



Proceedings

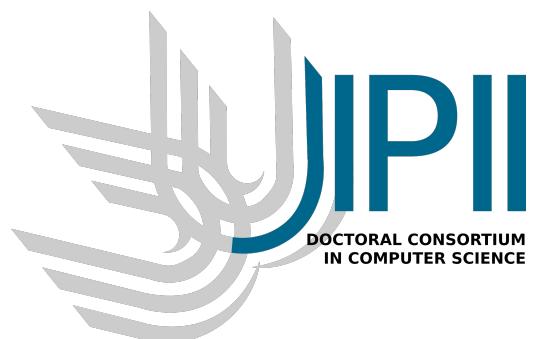
I Jornadas de Investigación Predoctoral en Ingeniería Informática

DOCTORAL CONSORTIUM IN COMPUTER SCIENCE

JIPII 2021

June 15th, 2021

Engineering School, University of Cadiz
Puerto Real, Cádiz, Spain (online)



**Actas de las Jornadas de Investigación Predoctoral en
Ingeniería Informática**

**Proceedings of the Doctoral Consortium in Computer Science
(JIPII 2021)**

June 15th, 2021

Guadalupe Ortiz Bellot, Inmaculada Medina Bulo (Editors)

Department of Computer Science and Engineering, University of Cádiz

ISBN: 978-84-89867-47-5

Preface

This volume contains the proceedings of the Primeras Jornadas de Investigación Predoctoral en Ingeniería Informática - First Doctoral Consortium in Computer Science, JIPII 2021, which was held online on June 15th, 2021.

The aim of JIPII 2021 was to provide a forum for PhD students to present and discuss their research under the guidance of a panel of senior researchers. The advances in their PhD theses under development in the Doctoral Program in Computer Science were presented in the Consortium. This Doctoral Program belongs to the Doctoral School of the University of Cadiz (EDUCA).

Different stages of research were covered, from the most incipient phase, such as the PhD Thesis plans (or even a Master's Thesis), to the most advanced phases in which the defence of the PhD Thesis is imminent.

We enjoyed twenty very nice and interesting talks, organized in four sessions. We had a total of fifty participants, including speakers and attendees, with an average of thirty-two people in the morning sessions and an average of twenty people in the afternoon sessions.

Several people contributed to the success of JIPII 2021. We are grateful to the Academic Committee of the Doctoral Program in Computer Science and the School of Engineering for their support. We would like also to thank the Program Committee for their work in reviewing the papers, as well as all the students and supervisors for their interest and participation.

Finally, the proceedings have been published by the Department of Computer Science and Engineering. We hope that you find the proceedings useful, interesting, and challenging.

Guadalupe, Inmaculada

Consortium Program Chairs

Inmaculada Medina Bulo, University of Cádiz, Spain

Guadalupe Ortiz Bellot, University of Cádiz, Spain

Program Committee

Anke Berns, University of Cádiz, Spain

Juan Boubeta Puig, University of Cádiz, Spain

Alejandro Calderón Sánchez, University of Cádiz, Spain

Lionel Cervera Gontard, , University of Cádiz, Spain

Manuel Jesús Cobo Martín, University of Cádiz, Spain

Juan Manuel Dodero Beardo, University of Cádiz, Spain

Juan José Domínguez, University of Cádiz, Spain

Bernabé Dorronsoro Díaz, University of Cádiz, Spain

Antonia Estero Botaro, University of Cádiz, Spain

Pedro Galindo Riaño, University of Cádiz, Spain

Alfonso García de Prado Fontela, University of Cádiz, Spain

Mercedes García Merayo, Universidad Complutense de Madrid, Spain

David Gomez-Ullate Oteiza, University of Cádiz, Spain

Elisa Guerrero Vazquez, University of Cádiz, Spain

Lorena Gutiérrez Madroñal, University of Cádiz, Spain

Nuria Hurtado Rodríguez, University of Cádiz, Spain

José Luis Isla Montes, University of Cádiz, Spain

Martin Kappes, Frankfurt University of Applied Sciences, Germany.

Dimitri Kolovos, University of York, United Kingdom

Vlado Lazarov, University of York, United Kingdom

Juan G. Lozano, Universidad de Sevilla, Spain

Alessio Malizia, University of Hertfordshire, United Kingdom

Inmaculada Medina Bulo, University of Cádiz, Spain

José Miguel Mota Macías, University of Cádiz, Spain

Peter Nauth, Frankfurt University of Applied Sciences, Germany

Sergio Nesmachnow, Universidad de la República, Uruguay

Manuel Núñez García, Universidad Complutense de Madrid, Spain

Elena Orta Cuevas, University of Cádiz, Spain

Guadalupe Ortiz Bellot, University of Cádiz, Spain

Ignacio Pérez Gálvez, University of Cádiz, Spain

Manuel Palomo Duarte, , University of Cádiz, Spain

Joaquin Pizarro Junquera, University of Cádiz, Spain

Daniel Rodríguez García, Universidad de Alcalá de Henares, Spain

Mercedes Ruiz Carreira, University of Cádiz, Spain

Patricia Ruiz Villalobos, University of Cádiz, Spain

Ángel Ruiz Zafra, University of Cádiz, Spain

Andrés Yáñez Escolano, University of Cádiz, Spain

Table of Contents

Técnicas avanzadas para la mejora de la prueba del software <i>Kevin J. Valle-Gómez, Pedro Delgado-Pérez and Inmaculada Medina-Bulo</i>	6
Towards Automated verification of Model-Driven Development Artifacts in Real-Time Systems <i>Sneha Sahu, Ruth Schorr and Inmaculada Medina-Bulo</i>	11
Navigation Problems of an Assistive Robot "ROSWITHA" <i>Sudeep Sharan, Juan Jose Dominguez-Jimenez and Peter Nauth</i>	16
Sustainable Fishing: applying Data Science to the Ecological Trap Hypothesis <i>Daniel Precioso and David Gómez-Ullate</i>	21
Procesamiento en el plano focal para un tratamiento de macrodatos más eficiente <i>Jorge Johanny Sáenz Noval, Juan António Leñero Bardallo, Rubén Gómez Merchán and Lionel Cervera Gontard</i>	26
A Comparison of Features of IoT Data Protocols <i>Manuel Matías Casado and Alfonso García de Prado Fontela</i>	31
Data Governance for Federated Machine Learning in secure Web-Based Systems <i>José Antonio Peregrina Pérez, Guadalupe Ortiz Bellot and Christian Zirpins</i>	36
Aplicación del Procesamiento de Eventos Complejos al Cuidado de las Personas Dependientes <i>Pablo Caballero Torres, Guadalupe Ortiz and Inmaculada Medina-Bulo</i>	40
Denoising Autoencoders for handling missing data problem with non-monotone pattern <i>Juan-Francisco Cabrera-Sánchez, Andrés Yáñez Escolano and Esther-Lydia Silva-Ramírez</i>	45
Sistema de Monitorización de Neonatos en Incubadoras Mediante Plataformas Embebidas de Visión Artificial <i>Blas Salvador and Lionel Cervera</i>	50
Aplicación Descentralizada para la Gestión de la Trazabilidad de Cadenas de Suministro <i>Jesús Rosa-Bilbao and Juan Boubeta-Puig</i>	55
Sistema para el muestreo manual de aguacates en plantas hortofrutícolas <i>Pedro Espejo Zarazaga, Sandra Del Pozo Arcos, Guadalupe Ortiz, Tatiana Person and Juan Boubeta-Puig</i>	60
Desarrollo de un sistema de posicionamiento híbrido para fábricas inteligentes basado en el Internet de las Cosas <i>Andrés Millán-Alcaide, Angel Ruiz-Zafra and Guadalupe Ortiz</i>	65
Tecnologías y arquitecturas de servicio para Smart Cities <i>Moisés Guerrero, Guadalupe Ortiz, Tatiana Person and Juan Boubeta</i>	71
Monitorización de Hogares Unipersonales con Necesidades Especiales <i>María José Agraso Martínez, Francisco Carmona Matías, Guadalupe Ortiz Bellot, Tatiana Person Montero and Juan Boubeta-Puig</i>	76
Procesamiento de eventos complejos aplicado al transporte público <i>Carlos Llamas and David Marcos</i>	81
Solving combinatorial optimization with deep reinforcement learning <i>José Antonio Caravaca Diosdado, Bernabé Dorronsoro Díaz and Sergio Nesmachnow Cánovas</i>	86
Aplicación de técnicas de aprendizaje automático para la minimización del coste computacional de la prueba de mutaciones <i>Miguel Ángel Álvarez-García, Inmaculada Medina-Bulo and Pedro Delgado-Pérez</i>	90
Optimización de Conjuntos de Casos de Prueba Mediante Algoritmos Genéticos <i>María Martín-Marín, Juan José Domínguez-Jiménez and Antonia Esterro-Botaro</i>	95

Técnicas avanzadas para la mejora de la prueba del software

Kevin J. Valle-Gómez, Pedro Delgado-Pérez, Inmaculada Medina-Bulo

Departamento de Ingeniería Informática, Universidad de Cádiz, España
`{kevin.valle,pedro.delgado,inmaculada.medina}@cuca.es`

Abstract. La verificación y validación de software es una etapa crucial en cualquier proyecto de desarrollo de software, independientemente de su alcance. Desde pequeñas aplicaciones informáticas en las que un defecto puede provocar una salida errónea en la pantalla, hasta complejos sistemas industriales en los que las consecuencias de un mal funcionamiento pueden ser devastadoras. A pesar de su importancia, suele ser una tarea costosa y muy difícil. Junto con otros obstáculos, como los estrictos plazos de entrega, a veces no se le presta la atención que merece. En este trabajo, se presenta el plan de investigación de una tesis doctoral cuyo objetivo principal consiste en reducir el coste total del desarrollo de software vía pruebas de software. Para ello, se analizan diferentes técnicas y se propone una solución para la generación automática de casos de prueba.

Palabras clave: Generación de Pruebas · Prueba de Mutaciones · Ejecución Simbólica Dinámica

1 Introducción

La prueba del software conlleva un esfuerzo tan elevado que sirve como motivación para el desarrollo de soluciones que permitan reducir costes sin comprometer la calidad de dicha etapa. En la búsqueda de dichas soluciones, encontramos herramientas que, aunque tienen un buen funcionamiento en casos específicos, resultan insuficientes cuando se introducen en entornos reales [1].

Este trabajo de tesis surge de la necesidad de encontrar técnicas aplicables a entornos reales, independientemente sean proyectos *open source* o industriales, con las limitaciones de cada uno. Resulta esencial el análisis de las técnicas actuales y las necesidades de los proyectos, lo que permitirá adaptar o combinar las soluciones en busca de un proceso automatizado, de bajo coste y gran calidad para la generación de casos de prueba. El objetivo principal de esta tesis consiste en la reducción del esfuerzo y coste total de los proyectos a través de la prueba del software, que a menudo resulta difícil y costosa.

Este trabajo sigue la siguiente estructura: esta sección sirve de introducción al trabajo de tesis, la Sección 2 describe los objetivos y la metodología a seguir y en la Sección 3 se muestran los conceptos básicos del trabajo. En la Sección 4 se describe la propuesta principal y, finalmente, en la Sección 5 se resumen las conclusiones y el trabajo futuro.

2 Objetivos

Para alcanzar el objetivo principal, descrito en la Sección 1, proponemos una serie de objetivos secundarios, que se detallan a continuación junto con la metodología a seguir en cada punto:

1. **Diseño de un método de aplicación de diferentes técnicas de prueba:** se trata de proponer y diseñar mejoras en las técnicas existentes, usadas actualmente durante la prueba del software.
 - *Metodología:* a partir de los trabajos vistos en la literatura, diseñar a través de diagramas métodos de mejora o combinación de técnicas de casos de prueba. Estos diagramas serán UML, siguiendo las líneas de diseño propuestas por otros autores para trabajos de verificación y validación de software [4].
2. **Desarrollo de un proceso de generación de casos de prueba:** desarrollo de pruebas de concepto que permitan demostrar la viabilidad de las técnicas estudiadas o desarrolladas a lo largo del trabajo de tesis.
 - *Metodología:* a partir de los diagramas diseñados en el objetivo anterior, codificar prototipos que permitan verificar la viabilidad de las soluciones propuestas. Para ello, se seguirá el modelo de desarrollo por prototipos [5], donde en cada iteración de desarrollo se implementa, prueba y arregla cada prototipo hasta conseguir el producto final.
3. **Integración y evaluación de todos los resultados:** se evaluará el proceso en proyectos *open source* y, de tener oportunidad, en proyectos industriales.
 - *Metodología:* evaluar los prototipos del objetivo del punto anterior no solo con proyectos propios, sino también con proyectos libres y, siempre que sea posible, con proyectos aplicados directamente a la industria. Dicha evaluación seguirá las líneas establecidas por diferentes autores para evaluar algoritmos aleatorios [2], que serán útiles debido a la naturaleza de los datos generados por las distintas técnicas de prueba.

De forma general, el trabajo se realiza de forma iterativa e incremental, de manera que se pueda trabajar a la vez en varias etapas. Esto permite generar prototipos que permitirán evaluar constantemente la viabilidad de las ideas, ayudando en la toma de decisiones de cara a tomar un rumbo concreto en cada parte del trabajo.

3 Conceptos básicos

El estudio realizado hasta el momento revela que la combinación de dos conocidas técnicas de prueba de software conlleva una mejora general del proceso de pruebas, especialmente en la calidad de los casos de pruebas generados automáticamente. Estas técnicas son la *ejecución simbólica dinámica* (ESD) y la *prueba de mutaciones* (PM).

La ESD [3] es una técnica diseñada para explorar al mismo tiempo varios caminos gracias a la utilización de valores simbólicos. Este tipo de valores, a

diferencia de los concretos, pueden evaluarse para decidir de qué manera se exploran las diferentes partes del código, lo que convierte a la ESD en una técnica con buenos resultados en criterios de cobertura como el de líneas (número de líneas de código cubiertas por las pruebas) o de decisiones (número de ramas cubiertas por las pruebas). Por otro lado, la PM [10] introduce la puntuación de mutación, una métrica que permite medir la calidad de un conjunto de casos de prueba. Esta técnica introduce de forma controlada pequeños cambios en el código, asemejándose a fallos reales que podrían cometer los programadores. Estos cambios se conocen como mutaciones, mientras que el programa con los cambios introducidos se conoce como mutante. La puntuación de mutación representa la proporción de mutantes detectados con respecto del total y, por lo tanto, mide la capacidad de los casos de prueba para detectar los cambios en el comportamiento del programa.

Dos herramientas conocidas para aplicar la ESD y la PM, respectivamente, son KLEE [6] y MuCPP [8]. KLEE es una herramienta de generación automática de casos de prueba que, internamente, usa un motor propio de ESD. Durante su ejecución, utiliza los valores simbólicos para construir unas fórmulas que, tras su resolución, sirven como entradas para casos de prueba. Estas fórmulas se resuelven a través de un resolvente externo, lo que dota a KLEE de una gran versatilidad a la hora de adaptar sus resultados a distintos propósitos. A su vez, MuCPP es una herramienta que aplica la prueba de mutaciones al código, independientemente del framework de pruebas utilizado por los proyectos software. Esto es posible gracias a la introducción de múltiples categorías de operadores de mutación (operadores que describen y aplican los cambios en el código), entre los que se incluyen, además, un conjunto de operadores tradicionales [8].

4 Propuesta para la generación automática de casos de prueba

Como al usar la ESD para generar casos de prueba produce buenos resultados en cuanto a criterios de cobertura estructurales, surge la pregunta sobre cómo de buenas son estas pruebas para detectar fallos, por lo que la PM juega un papel crucial. Hemos visto en la literatura cómo la combinación de ambas técnicas produce buenos resultados en situaciones concretas. Algunos autores usan la ESD para explorar mutantes con determinadas características, como aquellos en los que, tras una cantidad suficiente de pruebas, son muy difíciles de detectar [7]. Así mismo, otros autores modifican ciertos elementos de la ESD para identificar mutantes equivalentes [9], que son indistinguibles del programa original al producir las mismas salidas en su ejecución a pesar de la mutación. Esto sirve como motivación para elaborar un estudio a mayor escala que combine ambas técnicas de forma más genérica, con el objetivo de generar casos de prueba con una mayor calidad. Para evaluar la viabilidad de la propuesta, se ha desarrollado un prototipo que permite comprobar la puntuación de mutación de las pruebas generadas con ESD sobre determinados

programas. Para ello, usamos KLEE y MuCPP. Ambas herramientas están pensadas para código escrito en C o C++, por lo que, como caso de estudio, utilizamos el conjunto de utilidades GNU Coreutils¹, incluidas en la mayoría de distribuciones de sistemas operativos GNU.

Los primeros resultados indican que la ESD no detecta una gran parte de los mutantes generados por MuCPP en el conjunto de herramientas propuesto, lo que deja disponible un amplio margen de mejora. Sobre estos mutantes, podemos observar dos casos claramente diferenciados. El primero, relacionado al caso de estudio, donde los mutantes hacen que aparezcan fórmulas muy complicadas de resolver, por lo que no se genera un caso de prueba específico. El segundo, es que los operadores de mutación relacionados con los operadores aritméticos no suelen ser detectados por las pruebas iniciales, debido a los valores concretos que estas usan. Como prueba de concepto, se ha vuelto a aplicar ESD sobre los mutantes no detectados, lo que provoca que aparezcan nuevos casos de prueba capaces de detectar hasta un 20% más de mutantes que tan solo analizando el programa sin mutar. En un prototipo como este, la mejora es lo suficientemente notable como para tenerla en cuenta, lo que motiva a seguir explorando esta línea de investigación. Por lo tanto, es conveniente estudiar las distintas formas que hay para combinar la ESD con la PM con el objetivo de obtener conjuntos de casos de prueba con una alta calidad.

5 Conclusiones

En este trabajo, se ha mostrado un resumen del plan de investigación de un trabajo de tesis para la mejora de las técnicas de generación de casos de prueba. El estado actual del trabajo muestra cómo la combinación de diferentes técnicas de pruebas produce una mejora notable, lo que sirve de motivación para continuar con esta línea de trabajo.

Como trabajo futuro, se está centrando el esfuerzo en el desarrollo de una solución que, expresamente, combine la ESD con la PM. Esto permitirá analizar, en mayor profundidad, los beneficios de esta combinación y su aplicabilidad a diferentes proyectos software.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los fondos FEDER y el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades [RTI2018-093608-B-C33 y RED2018-102472-T].

References

1. Arcuri, A.: An experience report on applying software testing academic results in industry: we need usable automated test generation. *Empirical Software Engineering* **23**(4), 1959–1981 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10664-017-9570-9>

¹ <https://www.gnu.org/software/coreutils/>

2. Arcuri, A., Briand, L.: A practical guide for using statistical tests to assess randomized algorithms in software engineering. p. 1–10. ICSE ’11 (2011), <https://doi.org/10.1145/1985793.1985795>
3. Baldoni, R., Coppa, E., D’elia, D.C., Demetrescu, C., Finocchi, I.: A survey of symbolic execution techniques. ACM Computing Surveys. **51**(3), 1–39 (2018)
4. Baruzzo, A., Comini, M.: A methodology for UML models V&V. In: 2008 1st International Conference on Software Testing, Verification, and Validation. pp. 513–516. IEEE (2008)
5. Bhuvaneswari, T., Prabaharan, S.: A survey on software development life cycle models. International Journal of Computer Science and Mobile Computing **2**(5), 262–267 (2013)
6. Cadar, C., Dunbar, D., Engler, D.: KLEE: Unassisted and Automatic Generation of High-coverage Tests for Complex Systems Programs. In: Proceedings of the 8th USENIX Conference on Operating Systems Design and Implementation. pp. 209–224. OSDI’08, ACM, USENIX Association (2008)
7. Chekam, T.T., Papadakis, M., Cordy, M., Traon, Y.L.: Killing stubborn mutants with symbolic execution. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology **30**(2) (2021). <https://doi.org/10.1145/3425497>
8. Delgado-Pérez, P., Medina-Bulo, I., Palomo-Lozano, F., García-Domínguez, A., Domínguez-Jiménez, J.J.: Assessment of class mutation operators for C++ with the MuCPP mutation system. Information and Software Technology **81**, 169–184 (2017)
9. Ghiduk, A.S., Grgis, M.R., Shehata, M.H.: Employing dynamic symbolic execution for equivalent mutant detection. IEEE Access **7**, 163767–163777 (2019). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2952246>
10. Papadakis, M., Kintis, M., Zhang, J., Jia, Y., Traon, Y.L., Harman, M.: Mutation testing advances: An analysis and survey. Advances in Computers, vol. Volume 112, pp. 275 – 378. Elsevier (2019)

Towards Automated verification of Model-Driven Development Artifacts in Real-Time Systems

Sneha Sahu^{1,2}, Ruth Schorr¹, and Inmaculada Medina Bulo²

¹Frankfurt University of Applied Sciences, Germany

{sneha.sahu, rschorr}@fb2.fra-uas.de

²Universidad de Cádiz, Spain

inmaculada.medina@uca.es

Abstract. The lack of experience with correct use of formal verification techniques and specifications, makes it a difficult and not so popular choice for industrial applications. Moreover, it is also considered an expensive affair, both in terms of project scheduling and financing. Automated integration of the complete process of model-checking with Model Driven Engineering can help bypass all these concerns and still achieve formal-verification of Real-Time Embedded systems (RTE) without the need of any special training in the domain. This paper presents a discussion about the significance and existing state of the art research in relation to the formal verification of UML-RT models used in Model-Driven Development of RTE systems.

Keywords: Real-Time Systems. Model Driven Development. Self-Adaptive Systems. ROOM. UML-RT. Verification. Model Checking.

1 Introduction

Over the past two decades, there have been multiple works aimed towards automatic verification of diagrammatic model semantics using model-checkers. Starting with state charts and sequence diagrams of the original Unified Modeling Language (UML), the modeling constructs were later extended to include time constraints and behavioural capabilities. With the introduction of Real-Time Object-Oriented Modeling (ROOM) [1] and Model-Driven Development (MDD), a more formalized version called UML for Real-Time (UML-RT) became the standard for diagrammatic system model design of Real-Time Embedded (RTE) systems. The UML-RT modeling standards combines the powerful and better formalized constructs from ROOM concepts together with role modeling and UML representations, thereby providing a complete solution for modeling complex real-time systems [2]. UML-RT should not be confused with terminologies such timed-UML or Real-Time UML (RT-UML), which are basically UML diagrams annotated with time and not necessarily supporting software automation and other ROOM concepts. ObjectTime Developer (OTD) is one of the oldest MDD tool based on ROOM [3]. As of today, the Eclipse-based eTrice Real-Time Modeling

Tool [4] seems to be the only tool implementing the original ROOM methodology. IBM's Rational Software Architect Real Time Edition [5] and the Eclipse-based open-source project named Papyrus-RT [6] are two of the popular and publicly available MDD tools implementing UML-RT at present. Although UML-RT seems to be majorly derived from ROOM concepts, it has its own modifications. This makes it very important to formally define its semantics before any further work.

This paper presents an insight into the research activities conducted so far with regards to the verification of UML-RT models in coordination with MDD of RTE systems. In addition, a tentative work-in-progress proposal, aimed towards integrating automated verification of UML-RT, is also discussed.

The paper is structured as follows: Section 2 discusses the state-of-art research works. Section 3 proposes an approach for a possible integrated verification. Finally, the last section presents the conclusions and future lines of research.

2 State of Art

Most of the early researches focused mainly on verifying individual UML diagrams and used mainly the SPIN model-checker (Promela) [7, 8, 9]. The tools HUGO-RT [10] and TABU [11] however, considered two or more UML representations in combination and also added a time constraint. However, none of these works provided standardized semantics nor did they support MDD.

With the new UML-RT models, one of the most advance works was found in a technical report from 1999 written by Saaltink and Meisels [12]. Their work used the SPIN model-checker and was based on IBM's RoseRT tool, supported by IBM until 2003. They also presented a prototype that transformed certain features of UML-RT into SPIN. However, their work does not seem to handle timers, which is one very important aspect for Real-Time Systems. Another concern with their work was the use of shared state variables. UML-RT does not support the concept of shared memory and the only way to exchange information of the local attributes is through payloads associated with messages. Another work that considered SPIN based verification of UML-RT models, was performed by Carlsson and Johansson in 2009 [13]. They also initially considered RoseRT, but later migrated to IBM's RSARTE tool built on Eclipse platform. Their prototype tool for generating Promela models was built using the Java Emitter Template transformation, which is a part of the Model-to-Text project of Eclipse. However, unlike [12], they considered an even smaller subset of UML-RT, excluding not only signal payloads and guard conditions but also multiplicity of model elements, hierarchical state machines and pseudo-states. Their work does seem to handle concurrent capsules, but there is not enough information with regards to handling of threads, timers or the message queue system.

Another significant work based on RoseRT makes use of Petri-Nets for verifying UML-RT models [14]. It proposes an automation of the complete process, starting with model transformation, property verification and back translation of feedback. They were able to detect deadlock and flaws for smaller systems with less than 10 capsules, but for fairly larger systems, their meta-data generator and the analyser ran for hours without generating any results. The limited capability of Petri-nets to deal with detailed system behaviour, especially condition-based actions [15], does not make them a preferred choice over SMV based model checkers. However, Petri-nets do offer better

concurrency in comparison to state-machines, but since UML-RT already makes use of state-machines and not Petri-nets, this advantage may not be very helpful.

Apart from RoseRT, a research on the FUJABA Real-Time Suite [19], which is also based on similar concepts as UML-RT, introduces an interesting aspect, where the researchers adapt an incremental and compositional model-checking. The approach seems to work in the particular case, as the case study used is a system composed by replicating the same sequence of channels and communicating partners. However, unlike most researches in the domain, where a behavioral state-diagram exists only for the communicating partners, they have formulated a behavioural state-diagram even for the communication channel to include delays and reliability in communication. But because the work is specific to the selected case study, it must be generalized in order to apply a similar approach for UML-RT based system models.

The most recent research on verification of UML-RT shifts its focus from model transformation to building model-checking capabilities within MDD tools [16]. Instead of translating UML-RT into the input language of traditional model-checkers their attempt performs verification of temporal properties using Symbolic Analysis of the UML-RT models (SAUML). The tool is based on Symbolic Execution Trees (SETs) and is implemented as a plugin to the RSARTE tool. The implementation however, only works on unit level i.e., for single state machines and not a composite system. Another important concern with building a completely new model-checker is the detection of mutually exhaustive as well as mutually exclusive set of outgoing transitions for any given state in the state-machines. The UML-RT modeling semantics is not capable of validating either of the two properties by itself, which otherwise would be checked by default when using traditional model-checkers. Another work in the same direction performs bounded verification of UML-RT state machine using SMT solvers [17]. However, here too the state machines of the system are checked only in isolation and not in composition.

3 Proposed concept for the integration

Formal Verification in the form of model-checking is not only helpful to prove semantic correctness of system designs, but also generates counter-traces for the unsatisfied system properties, pointing out the exact source of erroneous behaviour. In order to ensure that the integration of model-checking does not add complexity to the use of MDD tools, but actually helps to detect flaws at the modelling stage, it is required that one takes care of every minute details involved in the verification process.

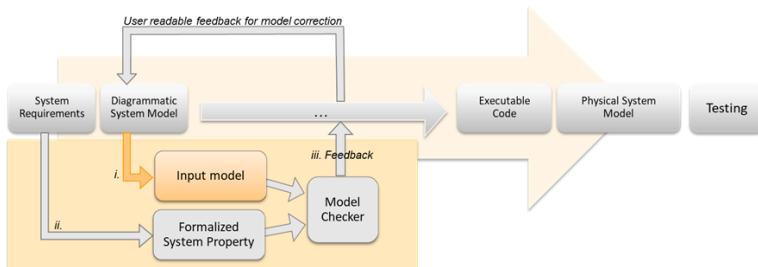


Fig. 1. Proposed steps for integrating Model-Checking with MDD

As shown in Figure 1, the whole process is divided into three sub-processes – In the first step it is required to develop a methodology for creating an input model for a model-checker, which is equivalent to the UML-RT representation of the system model developed using an MDD tool. Then as 2nd step, the system requirements need to be converted from neutral language into formalized temporal logic properties, preferably in LTL (Linear Time Logic) or CTL (Computational Tree Logic). For now, this ofcourse is a manual effort and requires an understanding of the temporal logics. The generated formal system model along with the formalized property specifications are fed together into a model-checker to perform the desired verifications and provide feedback including counter-traces. This feedback, then needs to be converted back into a user readable format such that the error-points could be identified and corrected in the original UML-RT model. The proposal is still a work in progress with current focus on development of a generic mechanism [20] for achieving step one and its subsequent automation.

4 Conclusion

The basic idea behind integration of Formal Verification with UML-RT models is about defining a mathematical approach that can be unambiguously applied for modeling and analysis of complex communication systems with respect to properties like correctness, reachability, deadlock, safety and liveness [18]. From the state of art analysis, it is significant that the most common choices for achieving verification have been model-checking (NuSMV, SPIN, Prism, etc.) and theorem-proving (ACL2, HOL, Isabelle, etc.), while process-algebra (sysML, pi-calculus, CSP, event-B, etc.) is intensively used for the formalization of the modelling semantics. A more detailed analysis of the same can be found in the technical report by researchers from Queen's University [21]. The report not only analyses the key features associated with formal verification techniques, Self-Adaptive Software (SAS) systems and MDD, but also highlights the concerns associated with verification of model-based SAS systems.

In UML-RT, the system behaviour is mainly defined using state diagrams, and because model-checking deals with closely resembling Finite State Machines, it becomes a favorable choice for verifying UML-RT models. As future work, it is intended to develop a software application that can automatically generate behaviourally equivalent nuXmv input model for a given UML-RT system model, the first step from Figure 1. In order to achieve this, a set of low-level objectives have been also been identified. The immediate next steps planned in this direction is the formulation of formal semantics for both the source and target languages.

References

1. Selic B.: Tutorial: real-time object-oriented modeling (ROOM). Proceedings Real-Time Technology and Applications, USA, 1996, pp. 214-217. doi: 10.1109/RTTAS.1996.509538.
2. Lyons A.: UML for real-time overview. Technical report, ObjectTime Limited, April 1998.
3. Gaudreau D., Freedman P.: Temporal analysis and object-oriented real-time software development: a case study with ROOM/ObjectTime. Proceedings Real-Time Technology and Applications, USA, 1996, pp. 110-118, doi: 10.1109/RTTAS.1996.509528.

4. Eclipse eTrice - Real-Time Modeling Tools (2012-2017), <http://www.eclipse.org/etrice/>.
5. Mattias Mohlin. "Modeling real-time applications in RSARTE." IBM, White Paper (2015).
6. Hili N., Dingel J., Beaulieu A. Modelling and code generation for real-time embedded systems with UML-RT and papyrus-RT. In 2017 IEEE/ACM 39th ICSE-C, IEEE, 2017, pp. 509-510, DOI: 10.1109/ICSE-C.2017.168.
7. Lilius J., Paltor I.P.: vUML: A tool for verifying UML models. In 14th IEEE international conference. on automated software engg., pp. 255-255. IEEE Computer Society, 1999.
8. Schäfer T., KnappA., Merz S. 2001.: Model Checking UML State Machines and Collaborations. ENTCS 55 (3): 357-369. doi:10.1016/S1571-0661(04)00262-2.
9. Jaroslav Rab.: Design and Verification of Real-Time UML System Models. IFAC Proceedings Volumes 36, no. 1 (2003): 311-314, doi:10.1016/S1474-6670(17)33762-X.
10. Knapp A., Merz S., Rauh C.: Model checking timed UML state machines and collaborations. In Int. Symp. on Formal Techniques in Real-Time and Fault-Tolerant Systems, pp. 395-414. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002, DOI: 10.1007/3-540-45739-9_23.
11. Beato M.E., Solórzano M.B., Cuesta C.E, de la Fuente P.: UML automatic verification tool with formal methods. ENTCS 127, no. 4 (2005): 3-16, DOI: 10.1016/j.entcs.2004.10.024
12. Saaltink M, Meisels I.: Using SPIN to analyse RoseRT models. Tech report, Canada, 1999.
13. Carlsson M.G.I., Johansson L.G. Formal verification of UML-RT capsules using model checking. MS Thesis (2009). <https://hdl.handle.net/20.500.12380/117319>.
14. Leeuwen V., Marcel L.S., Voorhoeve M., J.M.E.M. van der Werf. Verification of RoseRT models using Petri nets. In International Workshop on PNDS'08, China, pp. 1-16. 2008.
15. Fant JS, Gomaa H, Pettit RG. A comparison of executable model based approaches for embedded systems. In 2nd Int. Workshop on SEES, Zurich, 2012, pp. 16-22, doi: 10.1109/SEES.2012.6225484.
16. Zurowska K., Dingel J. Language-specific model checking of UML-RT models. SSM'16, no. 2 (2017): 393-415. <https://doi.org/10.1007/s10270-015-0484-y>
17. Kahani N., James R. Cordy. Bounded Verification of State Machine Models. In Proceedings of the 12th SAM'20. ACM, USA, 23–32. doi: <https://doi.org/10.1145/3419804.3420263>
18. Souris A., Rahmani A.M., Navimipour, N.J.: Formal verification approaches in the web service composition: a comprehensive analysis of the current challenges for future research. International journal of communication systems 31, no. 17 (2018): e3808
19. S. Burmester, H. Giese, M. Hirsch, and D. Schilling, “Incremental design and formal verification with UML/RT in the FUJABA real-time tool suite,” in SVERTS, 2004.
20. Sneha Sahu, Ruth Schorr, Inma Medina-Bulo, Matthias Wagner. “Model Translation from Papyrus-RT into the nuXmv Model Checker.” In: Software Engineering and Formal Methods. SEFM 2020 Collocated Workshops. pp: 3–20. Lecture Notes in Computer Science, vol 12524. Springer, Cham. (2021). Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-67220-1_1
21. Kahani, Nafiseh, Jeremy S. Bradbury, and James R. Cordy. "A Review of Model-Driven Verification Techniques for Self-Adaptive Systems: A Feature-based Analysis." (2018).

Navigation Problems of an Assistive Robot "ROSWITHA"

Sudeep Sharan^{1,2}, Juan Jose Dominguez-Jimenez¹, and Peter Nauth²

¹ UCASE Software Engineering Group, School of Engineering, University of Cádiz,
Avda. de la Universidad de Cádiz 10, 11519 Puerto Real, Cádiz, Spain

² Department of Computer Science and Engineering, Frankfurt University of Applied
Sciences, 60318 Frankfurt am main, Germany
s.sharan@fb2.fra-uas.de, juanjose.dominguez@uca.es,
p.nauth@fb2.fra-uas.de,

Abstract. The navigation problem is a crucial theme in an assistive robot. There are many navigation methods developed and recently the artificial intelligent and bio-inspired based algorithms are drawn an attention in the robotics community. This paper discusses the navigation problems such as localization and path planning in a dynamic and complex environment and the gaps to be solved in the problem of navigation.

Keywords: Robots · Mobile System · Navigation · Localization · Path Planning · Artificial Intelligence · Bio-inspired Algorithm

1 Introduction

Nowadays, with increasing life expectancy, more and more elderly people need help in their routine activities, such as moving to different rooms, and performing different tasks. To this end, numerous robotic technologies are available and being used in the care of the elderly, but some technical issues remain unresolved [1]. This paper focuses on the issue of mobile systems to perform an application. In any assistive robots, the mobile system is one of the most crucial aspects that needs to be taken care wisely. In the Laboratory for Autonomous Systems and Intelligent Sensors at the “Frankfurt University of Applied Sciences”, Frankfurt am Main, Germany, a human assistive intelligent robot called “ROSWITHA” (RObot System WITH Autonomy) with different kind of sensors and actuators is being developed (see figure 1). ROSWITHA is a robot that operates autonomously using three major systems - the vision system, the robotic arm and the navigation system. Moreover, the problems such as localization and path planning in the complex and dynamic environment is still not solved. Therefore in this paper, our main goal is to define the existing navigation problems in the dynamic scenarios for an autonomous assistive robot, and to consider our research work to develop a solution to improve it.

Section 2 expresses the background and related works. Section 3 introduces the new approaches to solve the problem of navigation for the robot ROSWITHA and finally the paper is concluded in Section 4.



Fig. 1. An Assistive Robot "ROSWITHA"

2 Background and Related Work

A robot in any surrounding environment may be thought of as being faced with some questions: "what do I have to do?", "where am I standing?", "where to go?", and "how to go?" The robot has to face these questions repeatedly until it reaches the final destination/target. Thus, the robot has to find the answer to these questions of the navigation system. Navigation system is an important and challenging robotic task. It needs to be very effective, when the robotics is applied to mobile systems like assistive service robots, autonomous automobiles, and aerial systems. Navigation system uses several sub algorithms such as mapping, localization, path planning, tracking algorithms to achieve the motion towards the destination/target (see figure 2).

To define the mobile system's motion, the system should have two qualities: one is to localize/estimate its location, and second is constructing a model/map of the environment. This is known as Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) [2], [3]. In SLAM, the mobile robot estimates the map of an environment and simultaneously finds its location related to the created map.

Path planning [6] refers to the prediction of the optimal/shortest path, to the destination/target while moving from a start location.

Recently, researchers are trying to solve the complicated task of navigation in dynamic and complex environment by using different types of sensors and their information. Moreover, the biggest problem is to get the relation between the forefront objects of a dynamic surroundings and the robot's manoeuvering [7].

Additionally, researchers are currently working on artificial intelligence for object recognition to cope with the problem of a dynamic environment [5]. Bio-inspired Intelligent Algorithms (BIAs) are also effective in solving the different

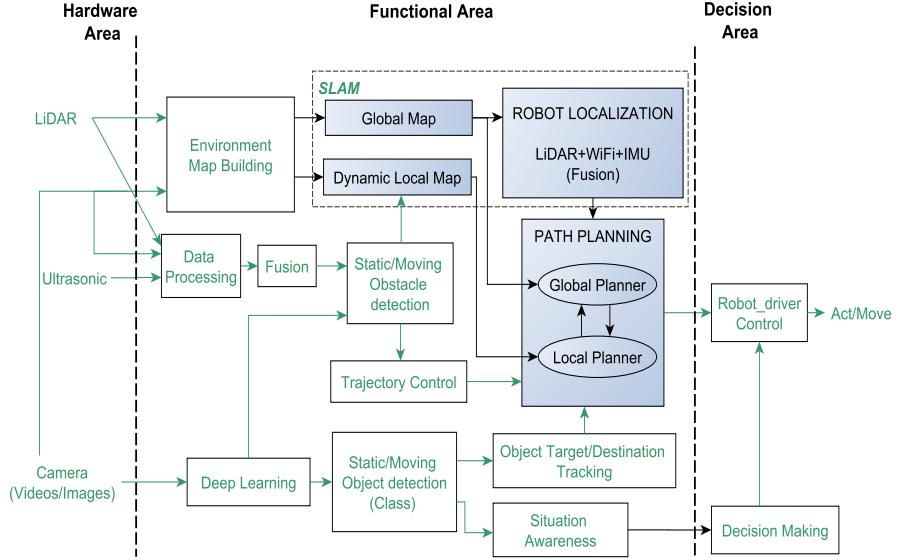


Fig. 2. Flow Diagram of Navigation System.

problems of robot mobile intelligence. In [8] authors presented an overview of current BIAs used in different mobile robot control applications.

In [9] we have a survey of behavior based bio-inspired intelligent algorithms. Moreover, researchers are working on solving the problem of navigation including path planning and SLAM, using some heuristics methods including bio-inspired algorithms such as swarm intelligence, ant colony optimization, etc.

In [10] authors presented a survey on different bio-inspired algorithms used to solve the path planning optimization problem. Three primary robot path planning optimization approaches are swarm intelligence, evolutionary algorithms, and neurodynamics are reviewed and analyzed. Authors also discussed the advantages and disadvantages of different bio-inspired robot path planning methods. In [11], authors discussed the problem of SLAM and presented a novel approach of bio-inspired methods to improve the scan matching step within the SLAM problem by using three methods of swarm intelligence optimization algorithms: particle swarm optimization, artificial bee colony and firefly algorithm.

3 A new system to solve the navigation problem in ROSWITHA

In Section 2, we expressed the problem of robust navigation in a complex or dynamic environment and the factors interfering the results in the complex surroundings. Our main goal of the research is to contribute to solve these problems of navigation of an assistive robot system in a difficult/complex indoor environments by developing and improving the available algorithms using bio-based algorithms and evaluate the results with the robot ROSWITHA.

The path tracking often fails in presence of moving objects/targets and in complex environments where sensors receive too many but similar features (i.e. reference points) which might contradict and are difficult to understand for the robot's location systems. Hence, the robot does not get precise measurement information from sensors used and it is difficult to develop an accurate measurement model.

Our objective is to improve the robust navigation of the assistive robot ROSWITHA, while additionally being able to cope in practice with the dynamic environment. The localization of the robot will be considered robust when the robot gets the details of the position and the orientation. We will focus on different methods like use of WiFi field infrastructure and other artificial landmarks to determine the robot location. However, the localization of the robot will be more robust when the robot gets the details of the position and the orientation. To achieve the robust localization the sensors such as LIDAR (2D SICK LMS100), depth cameras (Intel Realscence), and ultrasonic indoor GPS (Marvelmind Starter Set HW v4.9-NIA (915 MHz)) will be integrated with the WiFi-based position determination method. Also, the sensor fusion technologies will be used to fuse the information of the sensors to get more robust results. Moreover, the new bio-inspired based algorithms can also be in-cooperated to solve the problem of localization. Thereafter, the path planning problem will be improved by using a bio-inspired algorithm. Other algorithms like fuzzy logic approaches [12], Timed-Elastic-Band [13], dynamic window approach [14], etc. can be utilized to solve the other problems of navigation system such as obstacle avoidance, and motion control. Thus, our future research will be focused on finding the efficiency of the methods by implementing and evaluating with the robot ROSWITHA.

4 Conclusion

As mobile systems have become more prevalent in assistive robotics, the methods are still not robust enough to perform application in a dynamic environment. Although new methods like bio-inspired algorithms are developed, they need to be improved and integrated with the available navigation methods to improve the robustness and accuracy of the system. Bio-inspired methods have some advantages and disadvantages. One of the gaps for bio-inspired algorithms is that most of the algorithms are not available and implemented to provide results in the real-time navigation problem.

References

1. Robinson H., MacDonald B., and Broadbent E. The Role of Healthcare Robots for Older People at Home: A Review. *Int J of Soc Robotics* 6, pp. 575–591 (2014).
2. Durrant-Whyte, H. and Bailey, T. Simultaneous localisation and mapping (slam): Part I the essential algorithms. *Robotics & Automation Magazine*, 13(01) (2006).
3. Bailey, T. and Durrant-Whyte, H. Simultaneous localisation and mapping (slam): Part II state of the art. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 13(01) (2006).
4. Dali Sun, Florian Geißer, Bernhard Nebel. Towards Effective Localization in Dynamic Environments. In Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2016), pp. 4517-4523, Daejeon, Korea, Oct. 9-14, (2016).
5. Tayyab Naseer, W. B. and Stachniss, C. Robust visual localization across seasons. *IEEE Transactions on Robotics*, 34(02), pp. 289–302 (2018).
6. A. Gasparetto, P. Boscariol et al. Path Planning and Trajectory Planning Algorithms: A General Overview. In Carbone, Gomez-Bravo(eds), *Motion & Operation Planning of Robotic Systems. Mechanisms and Machine Science*, 29. Springer (2015).
7. Dan L., Dai-Hong J., Rong B., Jin-Ping S., Wen-Jing Z., and Chao W. Moving object tracking method based on improved lucas-kanade sparse optical flow algorithm. In Proceedings of the International Smart Cities Conference (ISC2), pp. 1–5 (2017).
8. Jianjun Ni, Liuying Wu, Xinnan Fan, Simon X. Yang. Bioinspired Intelligent Algorithm and Its Applications for Mobile Robot Control: A Survey. *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2016, Article ID 3810903, 16 pages, (2016).
9. F. Yang, P. Wang, Y. Zhang, L. Zheng and J. Lu. Survey of swarm intelligence optimization algorithms. *IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS)*, Beijing, pp. 544-549 (2017).
10. Junfei Li, Simon X. Yang and Zhe Xu. A Survey on Robot Path Planning using Bio-inspired Algorithms. In Proceeding of the IEEE International conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), China, 6-8 December, pp. 2111-2116 (2019).
11. Nadia Nedjah, Luiza Macedo Mourelle de, and Pedro Jorge Albuquerque de Oliveira. Simultaneous localization and mapping using swarm intelligence based methods. *Expert Systems with Applications*, Volume 159, 113547 (2020).
12. Q. Song, Q. Zhao, S. Wang, Q. Liu and X. Chen. Dynamic Path Planning for Unmanned Vehicles Based on Fuzzy Logic and Improved Ant Colony Optimization. In *IEEE Access*, vol. 8, pp. 62107-62115 (2020).
13. C. Roesmann, W. Feiten, T. Woessch, F. Hoffmann and T. Bertram. Trajectory modification considering dynamic constraints of autonomous robots. 7th German Conference on Robotics, ROBOTIK 2012, pp. 1-6 (2012).
14. D. Fox, W. Burgard and S. Thrun. The dynamic window approach to collision avoidance. In *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 4(1), pp. 23-33 (1997).

Sustainable Fishing: applying Data Science to the Ecological Trap Hypothesis*

Daniel Precioso^{1[0000-0003-3836-1429]} and David Gómez-Ullate^{1[0000-0002-6890-6584]}

Universidad de Cádiz, Spain

Abstract. Purse seine fishing uses buoys (called FADs) to increase the catchability of tuna, which is known to aggregate under floating objects. The ecological trap hypothesis discusses that small fishes may be biologically trapped by their strong association to FADs. This work uses real data collected from acoustic records of FADs, as well as interventions performed by fishers on those buoys, to test this hypothesis.

Keywords: Data Science · Machine Learning · Sustainable Computing.

1 Introduction

Many species of marine fishes, such as tuna, aggregate around floating objects [2], also called natural logs. Starting on the late sixties, fishers exploited this associative behaviour by performing purse seine fishing on floating objects [8]. Because of the increase on tuna catchability provided by natural logs, fishing companies started to develop and release artificial floating objects, called fish aggregating devices (FADs) [3]. Modern drifting FADs implement satellite-linked echo-sounder buoys [6]. These devices remotely inform fishers in near real-time about the accurate geo-location of the FAD and also provide rough estimates of the fish biomass underneath them [9].

In order to improve the tuna estimation from these acoustic records, some authors have applied Machine Learning approaches, specifically Random Forest [1]. These models are trained using the acoustic records prior to catch events, and learn how to predict the amount of tuna caught by using the echo-sound information, and even asses the risk of bycatch [7].

While FADs have improved the fishing of tuna and other marine species, some studies suggest that the use of artificial floating objects may be detrimental to the fish population and to the sustainability of marine fishing [4, 5]. The ecological trap hypothesis was first formulated by Marsac et al. [8] and states that drifting FADs may alter the natural movements of the tuna schools associated with them, affecting negatively the growth and the natural mortality of these schools.

In this work, we will use echo-sounder data to model the association of tuna stocks with drifting FADs. We first estimate the average time that tuna schools spent associated to a specific floating object. Then, we study which factors affect their length of stay. The conclusions derived from this work will be used to test the ecological trap hypothesis.

* Supported by Komorebi AI, Satlink, OPAGAC and the Spanish Institute of Oceanography.

2 Material and methods

Our data consist on acoustic records coming from Satlink drifting FADs on three different oceans: Atlantic, Indian and Pacific. Data was collected over three years, from January 1st of 2018 to September 25th of 2020. A total of 5151 drifting FADs are used in this study, each having an average operation time of 200 days, storing one record per hour. Each record contains the following information:

- Tons of biomass detected by the echo-sound, divided by 10 layers at different depths.
- Date of the record.
- Geo-location of the FAD, registered daily by a GPS satellite. Map on Figure 1 shows the distribution of acoustic records over the ocean.

For this study, we aggregated the records on a daily level, taking the maximum acoustic record out of all layers and hours. This aggregation was performed to dismiss the variations over the day-night cycle.

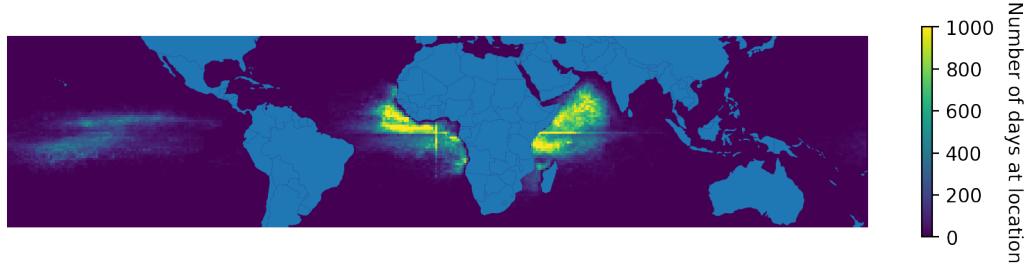


Fig. 1. Distribution of FAD location over the world. Color represents the amount of days spent by FADs at that coordinates.

In addition, we know the operations performed by the OPAGAC fishing boats when they are linked to a FAD. These operations include deploying new buoys, visiting them, fishing and ending the service of a buoy. Using this source of information, we split the recording period of each FAD in smaller series of “no intervention”, were we know no human operation affected the tuna associated to the buoy. Thus, each series starts with an operation and ends when another intervention happens. Figure 2 shows the distribution of echo-sound series by starting event, recording time and ocean. We end up with a total of 9794 series, and an average duration of 100 days each.

There is an additional type of split between series that does not come from human intervention: the “missing records”. When a buoy does not register any biomass under it, the FAD will not store the record, thus leaving a missing day in the dataset. This can happen multiple days in a row. When facing missing records, it is safe to assume that there were 0 tons of tuna under the FAD. However, long periods of missing data are not reliable, so we set a threshold: if N or more days are missing, the series is considered invalid and we split the period in two series, one before and one after those missing records. Our current threshold is $N = 6$.

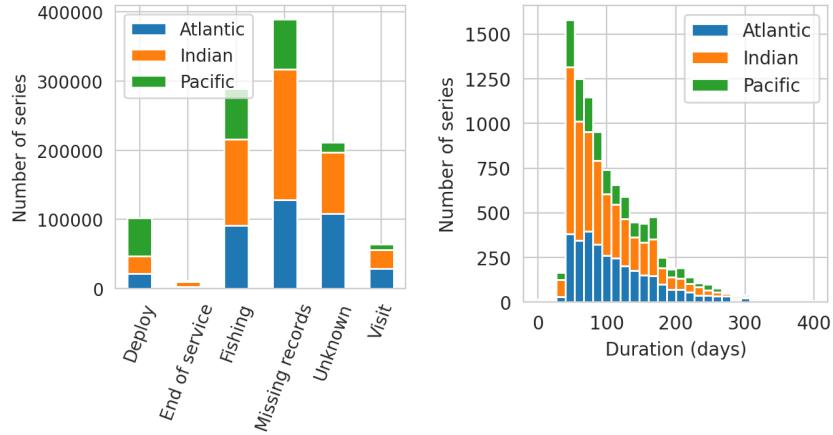


Fig. 2. Distribution of echo-sound series by the starting event of each (left) and their duration (right).

3 Preliminary results and future work

We approximated the tons of tuna under a FAD at a given day as the maximum acoustic record of that day at any layer depth. This value is just an estimation, as there is no established method to compute the amount of tuna under a FAD given its acoustic record. One of the goals of this work is to build Machine Learning models able to estimate the tuna biomass from the acoustic records. These models will be trained using data from fishing boat catches, assuming the tuna caught close to a FAD is directly proportional to the size of the school associated to it.

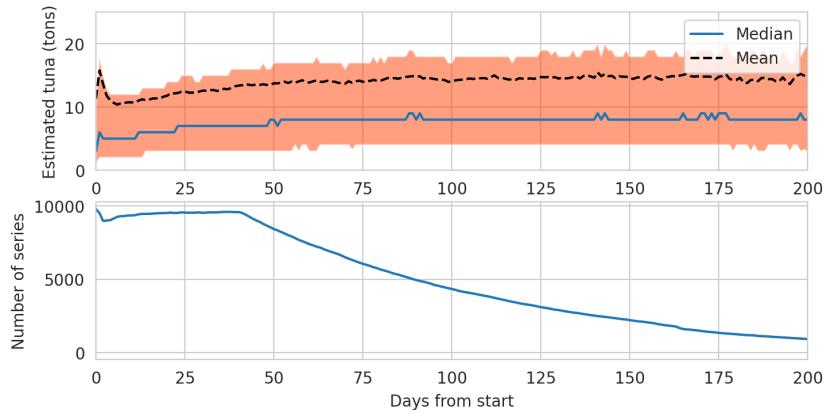


Fig. 3. Evolution of the tons of tuna under the FADs. Orange band comprehends the quantiles 25 to 75. Observe how, as days pass, less series are available, and thus the results become noisier.

Figure 3 shows the averaged evolution of the estimated tons of tuna associated to each FAD, in periods of no intervention. A few observations can be derived from this graph. First, we see that during the first month of recording, the number of series available seems to increase in time. This is caused by our definition of “day 0”: it is not the first date of acoustic records, but the last intervention that happened to the FAD. There are buoys that do not start the recording until several days after the intervention, thus we do not have data for those first days.

Looking at the median, the tuna mass tends to increase, then keeps steady on roughly 8 tons after 50 days have passed. This could be the result of tuna associating with FADs. However, when we study individual echo-sound series, we did not observe this tendency. As an example, twenty series are shown in Figure 4. This implies that averaging all the series is not a reliable method for studying the general behaviour of tuna. Finer studies must be made, like averaging lesser groups of echo-sound series, aggregating by ocean or season.

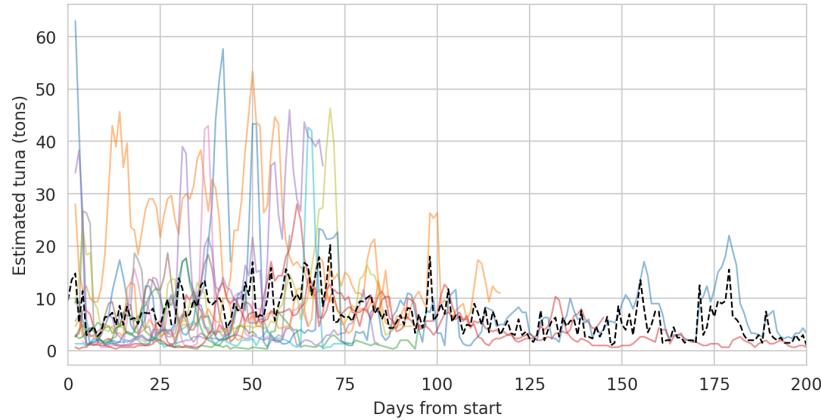


Fig. 4. Sample of 20 echo-sound series. Dashed line shows the mean of their acoustic records.

Our next steps involves studying the distribution of times in which tuna schools remain associated to FADs. This analysis will be performed individually to each acoustic series. We will smooth the series and study the variation of biomass in time. The space-time correlation between neighboring FADs will also be taken into account, to study whether tuna schools move within buoys.

References

1. Baidai, Y., Dagorn, L., Amande, M.J., Gaertner, D., Capello, M.: Machine learning for characterizing tropical tuna aggregations under Drifting Fish Aggregating Devices (DFADs) from commercial echosounder buoys data. *Fisheries Research* **229**, 105613 (4 2020). <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105613>, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165783620301302> <http://files/201/Baidai et al. - 2020 - Machine learning for characterizing tropical tuna .pdf>

2. Castro, J.J., Santiago, J.A.J., Santana-Ortega, A.T.: A general theory on fish aggregation to floating objects: An alternative to the meeting point hypothesis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **11**(3), 24 (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1020302414472>, <http://files/237/Castro et al. - A generaltheory on fish aggregationonto floating obj.pdf>
3. Dagorn, L., Holland, K.N., Restrepo, V., Moreno, G.: Is it good or bad to fish with FADs? What are the real impacts of the use of drifting FADs on pelagic marine ecosystems? *Fish and Fisheries* **14**(3), 391–415 (4 2013). <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2012.00478.x> <http://files/203/Dagorn et al. - 2013 - Is it good or bad to fish with FADs What are the .pdf>
4. Fonteneau, A., Menard, F., Marsac, F., Fonteneau, A., Ménard, F.: Potential Biological effects of drifting FADs on Tuna Populations: the Ecological Trap Hypothesis. SCTB13 Working Paper. BET-5. (July), 2 (2000), <http://files/207/Fonteneau and Menard - Potential Biological effects of drifting FADs on T.pdf>
5. Hallier, J., Gaertner, D.: Drifting fish aggregation devices could act as an ecological trap for tropical tuna species. *Marine Ecology Progress Series* **353**, 255–264 (4 2008). <https://doi.org/10.3354/meps07180>, <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v353/p255-264/> <http://files/205/Hallier and Gaertner - 2008 - Drifting fish aggregation devices could act as an .pdf>
6. Lopez, J., Moreno, G., Sanchristobal, I., Murua, J.: Evolution and current state of the technology of echo-sounder buoys used by Spanish tropical tuna purse seiners in the Atlantic, Indian and Pacific Oceans. *Fisheries Research* **155**, 127–137 (5 2014). <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.02.033>, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165783614000794> <http://files/242/Lopez et al. - 2014 - Evolution and current state of the technology of e.pdf>
7. Mannocci, L., Baidai, Y., Forget, F., Tolotti, M.T., Dagorn, L., Capello, M.: Machine learning to detect bycatch risk: Novel application to echosounder buoys data in tuna purse seine fisheries. *Biological Conservation* **255**(February), 109004 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109004>, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109004>
8. Marsac, F., Fonteneau, A., Ménard, F.: Drifting FADs used in tuna fisheries: an ecological trap? *Biology and behaviour of pelagic fish aggregations* (July 2015), 17 (2000), <http://files/209/Marsac et al. - Drifting FADs used in tuna fisheries an ecologica.pdf> <https://www.researchgate.net/publication/277222221>
9. Orue, B., Lopez, J., Moreno, G., Santiago, J., Boyra, G., Uranga, J., Murua, H.: From fisheries to scientific data: A protocol to process information from fishers' echo-sounder buoys. *Fisheries Research* **215**(February), 38–43 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.03.004>, http://files/224/Orue - 2019 - From fisheries to scientific data_Aprotocoltop.pdf

Procesamiento en el plano focal para un tratamiento de macrodatos más eficiente en microscopía 4D STEM

Jorge J. Sáenz Noval¹, Juan A. Leñero-Bardallo³, Rubén Gómez-Merchán³

y Lionel Cervera Gontard²

¹Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Cádiz, Puerto Real, Cádiz, España.

jorge.saenz@uca.es

²Departamento de Física de la Materia Condensada, IMEYMAT, Grupo GOAL, Universidad de Cádiz, E11510 Puerto Real, Cádiz, España.

lionel.cervera@uca.es

³Instituto de Microelectrónica Sevilla (CSIC) -Universidad de Sevilla, España

juanle@imse-cnm.csic.es, ruben@imse-cnm.csic.es

Resumen La microscopía electrónica de barrido en transmisión (STEM en inglés) ha sufrido una profunda revolución como resultado del desarrollo de nuevos sensores de imagen pixelados para electrones y la aplicación de técnicas de inteligencia artificial. El estado del arte, conocido como 4D STEM, se logra mediante el uso de sensores que capturan imágenes en cada posición de la sonda del microscopio. Sin embargo, este método produce enormes cantidades de datos que requieren repensar las metodologías y tecnologías actuales de transmisión, almacenamiento y procesamiento de los datos. En nuestro trabajo investigamos diferentes enfoques para adquirir y tratar imágenes generadas en 4D STEM, y cómo el software y el hardware pueden trabajar conjuntamente para reducir la tasa efectiva de transmisión de los datos.

Palabras clave: sensores de imagen, compresión de datos, procesamiento en el plano focal, microscopía electrónica

1. Introducción

A pesar de la disponibilidad de detectores de electrones de alto rendimiento (EMPADs en inglés), que ha impulsado la creciente popularidad de la técnica 4D STEM [1] en el ámbito de la microscopía electrónica, la adquisición, grabación y procesamiento de datos es el cuello de botella actual. Se ha identificado que la adquisición y el procesamiento de datos serían el área donde se necesitarían futuros desarrollos en microscopía electrónica. Uno de los enfoques más importantes para lidiar con el procesamiento de grandes cantidades de datos en disciplinas científicas es la aplicación de técnicas de Machine Learning. El objetivo es automatizar la extracción de información útil a partir de datos en bruto. Hoy en día, debido a la complejidad y el tamaño de los datos que se generan, cada vez se requiere más esfuerzo, tiempo y conocimiento específicos por parte del científico que los analiza.

Por ejemplo, en el contexto del 4D STEM, aunque los EMPAD están revolucionando la forma de detectar electrones, lo anterior supone la generación de un creciente conjunto de datos en forma de imágenes que requieren de plataformas de computación de muy alto rendimiento para el procesamiento los datos en tiempo real [2,3]. Es por ello, que, en muchos de los casos solo se registra y analiza un pequeño subconjunto de los datos seleccionado manual o automáticamente. Hay un gran interés en nuevas estrategias de procesamiento de datos masivos en el ámbito de 4DSTEM. Cabe mencionar el desarrollo

de software *open source* como py4DSTEM [4] o LiberTEM [5] que optimizan la transmisión, almacenamiento y procesamiento de los datos por medio de formatos de datos jerárquicos como el .HD5 y la paralelización de procesos en sistemas computacionales distribuidos. En nuestro trabajo usamos un paradigma diferente para optimizar el procesamiento, almacenamiento y transmisión de los datos ya a partir del píxel mismo dónde se captura el dato en bruto.

El artículo está organizado como sigue. La Sección 2 expone las principales limitantes en el tratamiento de imágenes 4D STEM. La Sección 3 presenta una propuesta basada en procesamiento en el plano focal. Finalmente, en la Sección 4 son presentadas las conclusiones y líneas de trabajo futuro.

2. Cuello de botella en microscopía electrónica 4D STEM

El enfoque actual existente en el diseño de los EMPAD no es adecuado para el procesamiento en tiempo real. Como ejemplo, analicemos los requisitos de la infraestructura de datos físicos para la obtención de imágenes por nano-difracción usando EMPADs actuales. Un experimento STEM 4D típico puede constar de medir en 256 x 256 posiciones de sonda, generando un conjunto de patrones de difracción de 144 x 144 píxeles con 16 bits de rango dinámico. El experimento se puede grabar en menos de 70 segundos (tiempo de adquisición de 1 ms por patrón de difracción) representando aproximadamente 21 Gb de almacenamiento. Para procesar esta cantidad de datos en tiempo real, deben transferirse y procesarse en una PC host a una velocidad de datos de 1 Gb / s. Siendo el cuello de botella la memoria y la potencia de procesamiento disponibles instantáneamente.

Es bien sabido que los datos contenidos en imágenes son en gran parte redundantes y que la información contenida en las imágenes se puede extraer de subconjuntos reducidos de los datos de la imagen sin procesar. Esto ha motivado el interés en los sensores de imágenes centrados en la información, a veces llamados retinas de silicio con inteligencia incorporada y concebidos para entregar información, en lugar de datos sin procesar. Esta estrategia, que también es adoptada por los sistemas de visión natural, relaja los requisitos a nivel del sistema con respecto al almacenamiento de datos y las comunicaciones y permite sistemas de visión muy compactos y rápidos. Otra limitación es que los EMPAD comerciales ofrecen un modo de adquisición de imágenes llamado "modo de conteo" que se usa para detectar la posición del impacto de electrones individuales [6]. Se construye una imagen con la acumulación de millones de tales impactos individuales. Sin embargo, las arquitecturas del sistema de los EMPAD están centradas en los datos, por lo que requieren una monitorización constante del área de detección completa. Si la tasa de dosis de electrones es moderadamente alta, la electrónica no puede hacer frente a la gran cantidad de eventos de electrones y el sensor se saturará, funcionando únicamente para dosis bajas. Esto es un factor limitante para su aplicación práctica en el modo de conteo. Aunque se ha propuesto un enfoque híbrido que utiliza el modo de integración y conteo dinámicamente en diferentes regiones de la misma imagen, aún se requiere un procesamiento externo e intensivo, especialmente para el caso 4DSTEM [7].

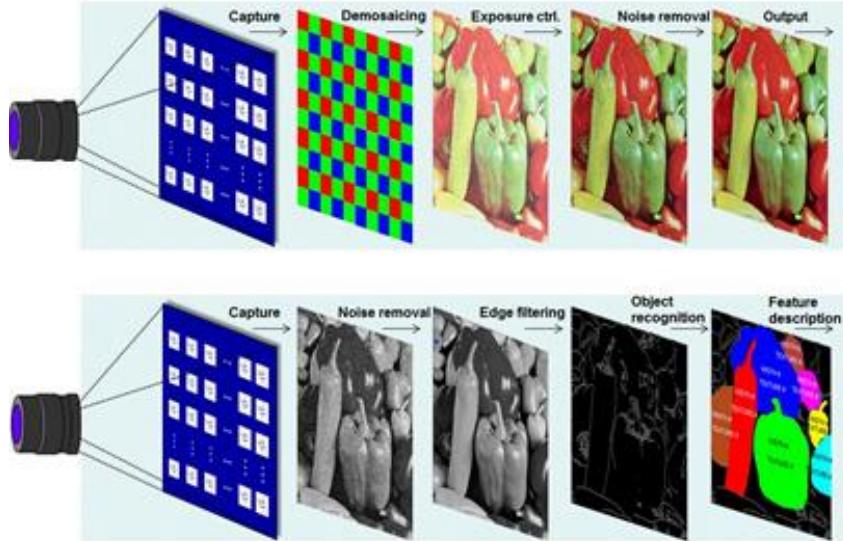


Figura 1. Diferencias entre paradigmas convencionales centrados en datos y centrados en información. Los últimos también conocidos como sensores de imagen computacional, sensores de visión, retinas de silicio y similares [8].

Las arquitecturas de detección de imágenes capaces de extraer e interpretar la información contenida en las imágenes y de provocar comandos de reacción han sido usados recientemente para las aplicaciones ópticas. Estos sensores no convencionales ya se utilizan y son cruciales para implementar cálculos a partir de imágenes con una respuesta ultrarrápida en sinnúmero de aplicaciones. Como muestra la Figura 1, en el caso de un sensor de imagen convencional centrado en datos, los resultados básicos son solo imágenes, comúnmente en formato digital. Por el contrario, los resultados de una retina de silicio pueden no ser imágenes, sino características de la imagen o incluso decisiones basadas en el análisis espaciotemporal de la información contenida en la escena [8].

3. Resultados

De la misma manera que una memoria caché en una CPU se ubica más cerca del núcleo del procesador para hacer más eficiente el intercambio de datos, la implementación del procesamiento de imágenes en 4D STEM se puede efectuar lo más cerca posible del lugar donde se sensa, y así, no incurrir en retrasos/cuellos de botella en la transmisión.

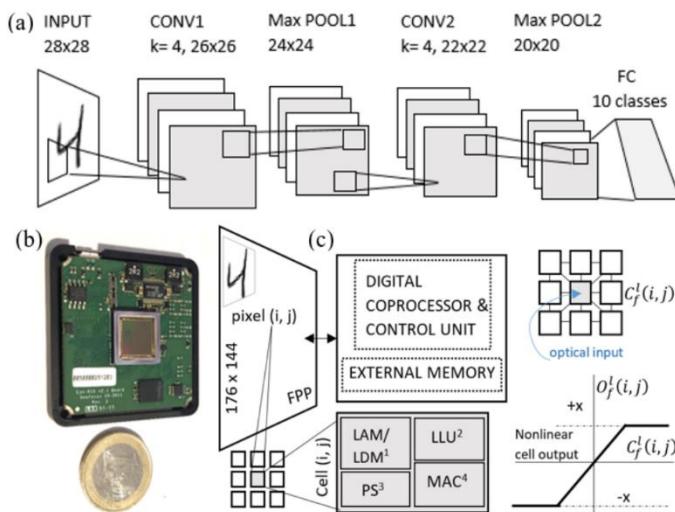


Figura 2. (a) Una implementación de LeNet usando chip CMOS 4CNNs (b) que presenta un FPP con una matriz de 176x144 píxeles. (c) Red de celdas interconectadas localmente [9].

En nuestro trabajo exploramos la aplicación de un paradigma de procesamiento sensorial diferente, denominado Procesador en Plano Focal (FPP), una plataforma adecuada para el procesamiento de imágenes ultra eficiente que ha sido ampliamente estudiado teóricamente, utilizando simuladores y que también se puede implementar en un solo chip con tecnología CMOS (Figura 2). Estos sistemas se basan en matrices bidimensionales de celdas interconectadas a los vecinos. Cada celda es un píxel complejo que el sensor de luz y amplificador, y, además, a diferencias de la mayoría de los sensores de imagen contiene memorias locales digitales y analógicas, unidades de multiplicación y suma analógico y circuitos para la aplicación de operadores lógicos. De este modo es posible llevar a cabo complejas operaciones de imagen (filtrado, umbralización, operaciones aritméticas, ...) directamente en la matriz, operando todos los píxeles en paralelo. Recientemente, hemos demostrado por ejemplo la implementación de una red neuronal convolucional (CNN) del tipo LeNet en un FPP [9] con tiempos de inferencia de imágenes de menos de 300 µs, casi dos órdenes de magnitud por debajo del tiempo requerido para aplicaciones típicas que operan en tiempo real a unos 30 cuadros por segundo, y por debajo de los tiempos de captura de imágenes en 4D STEM en el orden de 1 ms (1000 cuadros por segundo).

4. Conclusiones y Trabajo Futuro

En nuestro trabajo investigamos cómo la microscopía electrónica (por ejemplo) 4D STEM puede beneficiarse utilizando enfoques basados en el procesamiento embebido de imágenes en el plano focal concebidos inicialmente para aplicaciones como IoT, por su eficiencia en términos de velocidad y consumo, o que requieren alta velocidad de respuesta como es cadenas industriales. Concretamente, estamos estudiando la implementación de algoritmos de interés para aplicaciones reales en microscopía electrónica.

Nuestros ensayos demuestran que el paradigma de los FPP permitiría procesar las imágenes generadas en experimentos 4D STEM en tiempo real. Más aún, la salida de la FPP es información de alto nivel (por ejemplo, el número de píxeles con intensidades por encima de un umbral), de modo que sólo es necesario transmitir fuera del sensor una fracción de los datos que se transmiten con los sensores actuales. Esto último es importante para reducir las exigencias de los sistemas computacionales que analizan los grandes flujos de datos generados en los experimentos de 4D STEM.

Referencias

1. Ophus C. Four-Dimensional Scanning Transmission Electron Microscopy (4D-STEM): From Scanning Nanodiffraction to Ptychography and Beyond. *Microscopy and Microanalysis* 25 (2019) 563–582
2. Pennycook, TJ et al. Efficient phase contrast imaging in STEM using a pixelated detector. Part 1: Experimental demonstration at atomic resolution. *Ultramicroscopy* 151 (2015) 160-167.
3. Wang, Fulin et al. Electron backscattered diffraction using a new monolithic direct detector: High resolution and fast acquisition, *Ultramicroscopy*, Volume 220, 2021, 113160, ISSN 0304-3991
4. Savitzky B et al. (2021). Py4DSTEM: A Software Package for Four-Dimensional Scanning Transmission Electron Microscopy Data Analysis. *Microscopy and Microanalysis*, 1-32.
5. Clausen A, Weber D, Ruzaeva K, Migunov V, Bahuleyan A, Caron J ... and Dunin-Borkowski RE (2020). Libertem/libertem: 0.4.1, Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3674003>

6. Ballabriga R et al. Medipix3: A 64k pixel detector readout chip working in single photon counting mode with improved spectrometric performance. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 633 (2011) S15-S18.
7. Benjamin B, and Robert B (2020). Apparatus and method for high dynamic range counting by pixelated detectors (U.S. Patent No. US 20200336646 A1). U.S. Patent and Trademark Office.
8. Rodríguez-Vázquez A et al. In the quest of vision-sensors-on-chip: Pre-processing sensors for data reduction. Electronic Imaging 11 (2017) 96-101.
9. Gontard, LC, . Carmona-Galán R and Rodríguez-Vázquez A, "Cellular-Neural-Network Focal-Plane Processor as Pre-Processor for ConvNet Inference," 2020 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISCAS45731.2020.9181102.

A Comparison of Features of IoT Data Protocols

Manuel Matías Casado¹ [0000-0001-8822-9173] and Alfonso García de Prado Fontela¹ [0000-0002-6523-9974]

¹ Universidad de Cádiz, Cádiz, Spain
{manuel.casado, alfonso.garcia.deprado}@uca.es

Abstract. Choosing a particular data protocol for a specific application is no easy task. There is a variety of protocols that follow different communication paradigms and offer vastly different ways of achieving effective communication in the network. In this article we aim to summarize the main practical differences between some of the more often deployed IoT data protocols and find out the key areas where these protocols might benefit from future development. We explore their communication scheme, performance (regarding bandwidth use and latency), security and reliability.

Keywords: Internet of Things, IoT, Data protocols, performance, security, reliability, MQTT, AMQP, CoAP, DDS.

1 Introduction

Since the concept of the Internet of Things became mainstream, development of protocols has advanced at an accelerated rate. The task of choosing the appropriate protocols for a given task has become very confusing and time-consuming for non-experts.

In our research, our main goal is to find out the main areas where current IoT data protocols have room for improvement in terms of features, security and reliability, and then address some of these areas.

Table 1. Summary table

Feature	HTTP	MQTT	AMQP	CoAP	DDS
Comm. scheme	Req/resp	Pub/sub	Pub/sub, req/resp	Req/resp	Pub/sub
Transport	TCP	TCP	TCP	UDP	UDP, TCP
Bandwidth use	very high	medium/low	medium/low	very low	medium/low
Multithreaded implementations	yes	yes	yes	yes	yes
Reliability	N/A	QoS 0/1/2 (+ TCP)	high	confirmable/non-confirm	Configurable/high
Security	HTTPS	TLS	TLS	DTLS/none	DDS Security

In this paper we will focus on protocols that lay above the transport layer in the OSI model, often called data protocols. We will firstly describe the architecture and communication patterns used by some of the more prevalent protocols. Then we will compare their strengths and weaknesses regarding performance, security and reliability. See Table 1 for a summary of these features.

2 Communication Schemes

One key difference between data protocols is how the flow of information is organized: what mechanisms allow data to reach those destinations where it is needed.

2.1 Request/response

In this scheme, when a device needs a piece of information, it sends a request to the device that can provide it, which responds with the information requested. This response can be returned synchronously in the same connection, or asynchronously in a later message.

HTTP REST web service calls follow the request/response scheme with synchronous response in a client-server architecture. This method is in general use in the Web and it can be used in the IoT, but generally more specific methods are usually preferred. Web Service calls are synchronous, which requires connection stability, longer uptime for clients and permanent (or near-permanent) uptime in some cases. This is a serious limitation for many IoT applications.

CoAP [1] is a request-response protocol aimed for constrained devices (those with low computing power or narrowband or lossy connections). In CoAP, responses are asynchronous. It is also based on the REST model, but with small headers, compact encoding and UDP as the underlying transport protocol. This protocol can also use one-to-many communication by means of IP multicast and it can also use a publish/subscribe scheme by means of an extension [2].

2.2 Publish/subscribe

In this model, information is organized in hierarchical topics. Messages, each categorized in a topic, are sent from producers to the event service (broker). Then this broker relays the information to those consumers that are subscribed to that topic. Publication can be triggered by timers or by changes in data; because of this, publish/subscribe is considered an event-driven communication model [3, 4].

The main strength of publish subscribe (pub/sub) is the decoupling between producers (publishers) and consumers (subscribers), since they only need to interact with the broker, which handles all storing and forwarding issues.

A publish/subscribe protocol can follow one of two paradigms: a Message Service or a Message Queue.

In a Message Service, messages are distributed immediately to those subscribers that are available and, typically, only the last message in each topic is retained for temporarily unavailable subscribers. MQTT is a publish/subscribe Message Service protocol [5, 6]. DDS [7] is another pub/sub protocol that also fits within this category. As a key difference between the two, the MQTT architecture is centered on the broker, which relays information from publishers to subscribers, while DDS is brokerless, working in a decentralized, peer-to-peer fashion.

In a Message Queue, messages are stored in queues and wait for the recipient to retrieve them. This makes the message transmission completely asynchronous between sender and receiver. AMQP [8] is a Message Queue protocol.

3 Performance

Bandwidth use and server load. HTTP-based systems, like HTTP REST, are practical solutions for many situations, but the HTTP protocol generates relatively large overheads that can impact performance. That is especially relevant when there is a high volume of messages with a small payload. In these cases, protocols that limit overhead can yield higher throughputs.

Like HTTP, other protocols that use TCP as transport layer incur in TCP’s connection overheads. However, protocols aimed for the IoT have small headers and more compact messages than HTTP. MQTT is estimated to generate around half the overhead and server load than HTTP [9]. AMQP generates messages that are marginally larger than those of MQTT [10] but still much smaller than HTTP.

Latency. In experimental setups with constrained networks comparing MQTT against CoAP, DDS and a custom protocol, MQTT suffered more than double the experienced telemetry latency than CoAP and DDS, which only suffered an experienced latency marginally higher than system latency [11]. Also, when the available bandwidth was limited, MQTT experienced more notable increases in latency due to higher bandwidth usage. When the controlled limitation is packet loss rate, MQTT suffers lower delay than CoAP and DDS for lower loss rates (up to 20% loss rate) but much higher for packet loss rates of 25% and above [12].

DDS provides additional ways to regulate bandwidth usage, like a time-based filter which indicates that a subscriber should not receive all updates in a topic but only periodical updates in fixed intervals.

4 Security

Of all the studied protocols, DDS is the only one that has its own security specification that includes cryptography [13]. Other protocols rely on the transport layer to provide security. Protocols based on TCP recommend TLS, while those based on UDP, like CoAP, employ DTLS. However, DTLS increases the computational cost so heavily that some users choose to remove this security layer entirely. This has proven to be one of the most significant security holes in the history of the IoT [14].

5 Reliability

Protocols that use TCP as a transport layer (HTTP, MQTT, CoAP) count on the reliability offered by this transport. Still, nodes can be offline for periods of time, so an extra layer of reliability is often used by these protocols.

MQTT defines three QoS (Quality of service) levels. Level 0 (“fire and forget”), 1 (acknowledge delivery, can produce duplicates) and 2 (double-confirm delivery; messages are delivered exactly once, without duplicates), while AMQP offers two QoS levels that are equivalent to MQTT QoS 0-1. AMQP does not offer a way to avoid the possibility of duplicate messages, which means the receiver must take care of managing duplicates. DDS allows for a wide range of QoS options such as resending lost messages, deadlines on delivery, or whether data must be delivered in order or not.

All of MQTT, AMQP and DDS demonstrate effective reliability even against a high rate of packet loss [15]. CoAP, on the other hand, offers a choice between confirmable and non-confirmable messages, but still does not guarantee delivery [15].

6 Conclusion

We have reviewed the main characteristics of the most prevalent IoT data protocols and compared them to HTTP REST web services. When choosing a data protocol for an IoT application, all of MQTT, DDS and AMQP are effective choices for non-constrained systems, and the choice between these will depend on which communication scheme fits the application most. Lighter, UDP-based protocols like CoAP are efficient and useful in constrained systems, but their security issues should not be overlooked.

We also conclude that the areas where there appears to be more room for future development are the following:

- Broker-based protocols like AMQP and especially MQTT could benefit from an extra set of DDS-like options that could be negotiated between a client and a broker, indicating ways to reduce bandwidth consumption, like a frequency-based filter (e.g. “do not update more than once every minute”) or a content-based filter (e.g. “send updates to this topic only if value exceeds this minimum”).
- Lightweight protocols like CoAP could benefit from a custom security layer that is lighter than DTLS. Even if it provides a lesser level of security than DTLS, that would still be preferable to switching all security options off, like it often happens in networks with very constrained devices.

References

1. IETF: CoAP protocol specification, <http://coap.technology/>.
2. Iglesias-Urkia, M., Casado-Mansilla, D., Mayer, S., Urbeta, A.: Enhanced publish/subscribe in CoAP: describing advanced subscription mechanisms for the observe extension. In: Proceedings of the 8th International Conference on the Internet of Things. pp. 1–8. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (2018).

3. Cugola, G., Jacobsen, H.-A.: Using publish/subscribe middleware for mobile systems. SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev. 6, 25–33 (2002).
4. Eugster, P.Th., Felber, P.A., Guerraoui, R., Kermarrec, A.-M.: The many faces of publish/subscribe. ACM Comput. Surv. 35, 114–131 (2003).
5. OASIS: MQTT 3.1.1 protocol specification, <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>.
6. OASIS: MQTT 5.0 protocol specification, <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html>.
7. Object Management Group: DDS Specification version 1.4, <https://www.omg.org/spec/DDS/1.4/>, last accessed 2021/06/02.
8. OASIS: AMQP protocol specification, <http://docs.oasis-open.org/amqp/core/v1.0/os/amqp-core-overview-v1.0-os.html>, last accessed 2021/05/14.
9. Yokotani, T., Sasaki, Y.: Comparison with HTTP and MQTT on required network resources for IoT. In: 2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC). pp. 1–6 (2016).
10. Naik, N.: Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP. In: 2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE). pp. 1–7 (2017).
11. Chen, Y., Kunz, T.: Performance evaluation of IoT protocols under a constrained wireless access network. In: 2016 International Conference on Selected Topics in Mobile Wireless Networking (MoWNeT). pp. 1–7 (2016).
12. Thangavel, D., Ma, X., Valera, A., Tan, H.-X., Tan, C.K.-Y.: Performance evaluation of MQTT and CoAP via a common middleware. In: 2014 IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP). pp. 1–6 (2014).
13. Object Management Group: DDS Security Specification Version 1.1, <https://www.omg.org/spec/DDS-SECURITY/>, last accessed 2021/06/05.
14. Cimpanu, C.: The CoAP protocol is the next big thing for DDoS attacks, <https://www.zdnet.com/article/the-coap-protocol-is-the-next-big-thing-for-ddos-attacks/>, last accessed 2021/02/07.
15. Proos, D.P., Carlsson, N.: Performance Comparison of Messaging Protocols and Serialization Formats for Digital Twins in IoV. In: 2020 IFIP Networking Conference (Networking). pp. 10–18 (2020).

Data Governance for Federated Machine Learning in Secure Web-based Systems

Jose A. Peregrina^{2,1}, Guadalupe Ortiz¹, and Christian Zirpins²

¹Computer Science and Engineering Department, University of Cadiz, Spain

²Hochschule Karlsruhe, Tecknik und Wirtschaft,

guadalupe.ortiz@uca.es,

{christian.zirpins,jose_antonio.peregrina_perez}@h-ka.de

Abstract. Machine learning (ML) based security mechanisms are increasingly being developed with federated ML, in order to obtain models trained with high amounts of data, while complying with data protection regulations. Nevertheless, in order to achieve high quality models in a secure way, federated ML requires support for compliance processes, coordination among partners, and collection of historical metadata. Therefore, the assessment of the quality of data and models, as well as careful monitoring of all the processing steps is needed, to ensure that the models created suit the needs of the federated partners. Accordingly, this paper introduces ideas on how data governance can be adapted to federated ML processes. We discuss the alignment of different needs of involved partners, and how to achieve high quality models, ensuring privacy and security of participants.

Keywords: Data Governance, Federated Machine Learning, Data Quality, Data Access

1 Introduction

Today, the world is undergoing a digitalization process. Many transactions are made through web-based systems. This raises the need to ensure that the user performing such actions has not been impersonated by someone else. This is usually achieved by authentication mechanisms, some of which use machine learning (ML) [7]. ML mechanisms perform better when the data is of good quality [6]. Usually, the owners of such mechanisms need to get data elsewhere, as their data may lack examples of attacks, making such attacks undetectable by the security systems. However, the sensitive nature of such data makes it difficult to share, as any leakage would compromise the users and organization. Federated ML was conceived to comply with these privacy requirements. It obtains a trained model from many data sources of different organizations that could not share the training data due to data protection regulations [8].

Nevertheless, a new problem arises where the former was solved. Not all participants in the federated training process will possess the same type and quality of data. Moreover, some of them can even try to impair the resulting model in

purpose. Therefore, checking the quality of the resulting model is necessary to ensure that it does not contain any bias or other malfunction, and that its effecting predictions can be trusted. Recently, data governance has been proposed for governing artificial intelligence (AI) systems [4], tackling the problems above. However, there is no proposal for governing AI across multiple organizations matching the requirements of federated ML. Therefore, the adaptation of data governance to federated ML is still an open problem and this paper discusses ideas, on how data governance could support the federated ML process.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 explains the necessary background. Section 3 introduces ideas for the application of data governance to federated ML. Section 4 discusses related aspects of data governance in the literature. Section 5 concludes this paper.

2 Background

2.1 Data Governance for AI

Data governance for AI can be defined as organizations defining, applying and monitoring processes, for the proper management of data and ML models, as well as defining responsibilities among the partners, and holding accountable those responsible for an infraction [4].

To this end, data governance can be designed based on five principles [5]: *Data Principles*, to define how different assets must be used (by partners); *Data Quality*, for quality standards of data and models; *Data Access*, for defining how privacy and responsibilities for access to assets must be handled, and how data should be audited by third parties; and *Data and Model Lifecycle*, which establishes how data and models will be stored across their lifetime in the system. Finally, *Metadata* supports the other design principles by providing a historical record of all the processes and describing the assets in use.

Regarding AI governance, there are additional requirements. Models must not only be assessed in terms of accuracy. They should also be checked for the presence of bias and vulnerabilities to adversarial or inference attacks.

2.2 Data and Model Quality

Data quality can be defined as fitness for use [10]. In recent years, one of the most popular techniques to measure the value of data in the ML context is the calculation of *Shapley values* for data points [3], or for the dataset features [6]. The *Shapley values* concept is based on game theory. The goal is to calculate how much each participant contributes to reach a goal in a collaborative game. This concept can help on understanding how much a data point increases the accuracy of a ML-model, or how much a feature impacts the result.

However, model quality cannot be measured by *Shapley values* alone, as it is necessary to check a possible presence of bias in the model. There are multiple definitions of bias [9], and many of them can only be checked after the training

process [2]. Also, there are multiple additional requirements to look at, like interpretability of the model, or response time of model-based inference, which is similar to the timeliness requirement in data quality.

2.3 Federated Machine Learning

Federated ML was conceived by Google to create ML-models for the predictions of inputs to mobile device keyboards [1]. The novelty was that no user data left the owners' devices, as the model was trained directly inside the devices.

The federated ML process starts with the eligible participants downloading the last version of the model to their devices. The model is then trained in each device with local data, updating the global model to a local model version. Once the training has been completed, the local model is encrypted and sent back to the server, where it is aggregated with the other local models. The result of the aggregation is a new version of the global model.

3 Data Governance for Federated ML Environments

In the following, we discuss options to apply AI governance for federated ML.

Some of the problems for federated AI governance include that federated partners need to agree on the goals they want to achieve, before starting the federated ML process. The goal is not only the training of a federated ML-model, but the creation of a model that suits all the needs of the different partners. Additionally, there are other requirements in the process, like that no sensitive data get leaked, or can be inferred from the ML-model, or that a created ML-model is resistant to tampering, including adversarial attacks.

In order to tackle the requirements above, we follow the strategy to extend governance mechanisms in order to ensure different aspects before, during and after the training process. *Before*, partners have to share the minimum amount of information that allows them to map their data to a valid dataset. Furthermore, data access should define the data that can be shared among the partners. It should be kept to a minimum and it should be encrypted, so no sensitive data can be inferred. E.g., the weights after each local training round could denote information about the data. Concerning quality assessment, it is difficult to use *Shapley values* for data points as those can not be accessed by partners. Still, feature importance, along with other data quality measurements, can be shared. Its combination can better establish the real importance of the features.

During and after the training process, the local and global ML-models can be tested, based on jointly agreed ML quality requirements. Additionally, a dedicated data life cycle should manage how data and model will be stored, for how long, and what uses can be given. E.g., old models can be stored, but it is important to discern, which versions to keep, in order not to hold redundant or unlawful information.

Finally, metadata should be a supporting tool across the different principles. It can help to describe different elements across the federation, like the

different features in the datasets. It can also be collected and processed, like the information collected in the training process, to know how much each partner is contributing to the global model, or if their updates are valuable.

4 Related work

To the best of our knowledge, there is no prior work of using data governance for controlling federated ML across different organizations. Jannsen et al. [4] proposes some guidelines on how to develop data governance for AI within a single organization.

Shapley values, although being an old concept, have been used recently for defining the most valuable data points, which are those that help in the training process the most [3]. They have also been used for explaining ML-systems by computing the importance of a feature in the decision [6].

5 Conclusions

Federated learning is quite a complex process, in which many entities with highly sensitive data combine models that are trained locally into a global model in order to protect the privacy of their users. Ensuring a high quality model will result from the training process, while monitoring that no participants will launch adversarial attacks needs proper mechanisms of control.

Data governance appears as a promising solution to gain trust and reliability in the federated ML-process. Moreover, it will increase the confidence in the decisions made, such as ML-based security mechanisms of web services.

References

1. Google ai blog: Federated learning: Collaborative machine learning without centralized training data, <https://ai.googleblog.com/2017/04/federated-learning-collaborative.html>
2. Gajane, P., Pechenizkiy, M.: On formalizing fairness in prediction with machine learning (2017), <https://arxiv.org/abs/1710.03184>
3. Ghorbani, A., Zou, J.: Data shapley: Equitable valuation of data for machine learning (2019), <http://arxiv.org/abs/1904.02868>
4. Janssen, M., Brous, P., et al.: Data governance: Organizing data for trustworthy artificial intelligence. Government Information Quarterly 37 (2020)
5. Khatri, V., Brown, C.V.: Designing data governance. CACM 53, 148–152 (2010)
6. Lundberg, S., Lee, S.I.: A unified approach to interpreting model predictions (2017), <http://arxiv.org/abs/1705.07874>
7. Shah, S., Kanhere, S.: Recent trends in user authentication - a survey. IEEE Access PP, 1 (2019)
8. Truong, N., et al., K.S.: Privacy preservation in federated learning: An insightful survey from the gdpr perspective (2020), <http://arxiv.org/abs/2011.05411>
9. Verma, S., Rubin, J.: Fairness definitions explained. pp. 1–7. Association for Computing Machinery (2018), <https://doi.org/10.1145/3194770.3194776>
10. Wang, R.: Beyond accuracy: What data quality means to data consumers. Journal of Management Information Systems 12, 5–34 (1996)

Aplicación del Procesamiento de Eventos Complejos al Cuidado de las Personas Dependientes

Pablo Caballero^[0000-0003-0610-9608], Guadalupe Ortiz^[0000-0002-5121-6341], and
Inmaculada Medina-Bulo^[0000-0002-7543-2671]

Universidad de Cádiz, Avda. de la Universidad de Cádiz 10, 11519 Puerto Real,
Cádiz, España
`{pablo.caballero,guadalupe.ortiz,inmaculada.medina}@cuca.es`

Resumen El progresivo envejecimiento de la población europea, consecuencia de la baja natalidad y los avances médicos, supondrá un desafío a la hora de mantener un nivel adecuado de atención y cuidado para todas aquellas personas dependientes que vivan de forma autónoma. Como consecuencia, en los últimos años la investigación ha prestado especial atención al desarrollo de sistemas que permitan solucionar este problema, dando lugar a la llamada Vida Asistida por el Entorno (*Ambient Assisted Living*, AAL). Fruto de ello, han surgido numerosos sistemas que implementan funcionalidades como la monitorización del usuario, el reconocimiento de actividades o la detección de caídas. Sin embargo, una de las características más interesantes consiste en la detección de situaciones de interés en tiempo real, lo que requiere el análisis de una gran cantidad de datos. Además, dicho análisis no es sencillo, al requerir técnicas como la agrupación de los datos en ventanas temporales y la correlación de los mismos. Para solucionar este problema, este artículo presenta una línea de investigación que integra los sistemas AAL y el Procesamiento de Eventos Complejos (*Complex Event Processing*, CEP), tecnología que permite analizar, en tiempo real, un volumen elevado de datos para la detección de situaciones de interés. Por último, se describen algunos retos y oportunidades que quedan pendientes en la integración entre CEP y AAL.

Keywords: Vida Asistida por el Entorno (*Ambient Assisted Living*, AAL) · Procesamiento de Eventos Complejos (*Complex Event Processing*, CEP).

1. Introducción

Según los datos de la AAL Association [2], en 2017 un 19.5 % de la población europea tenía más de 65 años. Sin embargo, como consecuencia de la baja tasa de natalidad y los avances médicos, en 2060 se estima que este porcentaje alcance el 30 %. Esta tendencia no solo se limita a nivel europeo, sino que, según los datos de la ONU [1], en 2050 el 16 % de la población mundial tendrá más de 65 años.

Este envejecimiento de la población supondrá un aumento de situaciones como enfermedades crónicas o problemas de salud, dificultando la vida autónoma y autosuficiente de las personas dependientes.

Con el objetivo de ofrecer una solución a este problema, la tecnología se posiciona como una herramienta fundamental. De hecho, en los últimos años han surgido una gran cantidad de sistemas orientados a mejorar y facilitar la vida de las personas dependientes utilizando diferentes áreas de la tecnología. Todos ellos se engloban en la denominada Vida Asistida por el Entorno (*Ambient Assisted Living*, AAL), disciplina que pretende mejorar las capacidades de las personas dependientes mediante entornos digitalizados, garantizando una atención continua e incluso facilitando el día a día de todas las personas que viven de forma autónoma [7].

Existen numerosas soluciones que acometen esta tarea, pero a veces no presentan la flexibilidad e inteligencia necesarias para el AAL. Por ejemplo, un sistema podría obtener el pulso del usuario y, en el momento en que este exceda cierto umbral, generar una alerta. No obstante, que el pulso en un momento puntual excede un umbral puede no significar nada. Sería más interesante evaluar los datos durante un periodo de tiempo fijado por un experto y comprobar si, durante ese tiempo, el pulso sigue aumentando o no. Esto presenta una dificultad importante para sistemas de procesamiento tradicionales, ya que, por una parte, es necesario poder gestionar una gran cantidad de datos, y por otra, realizar operaciones muy concretas con los mismos, como su correlación y agrupación en ventanas temporales.

Para facilitar esta tarea y permitir la detección de situaciones de interés en tiempo real, este artículo propone el uso del Procesamiento de Eventos Complejos (*Complex Event Processing*, CEP) [6]. Esta tecnología permite la detección de situaciones de interés en tiempo real gracias a la definición de patrones mediante un Lenguaje de Procesamiento de Eventos (EPL). Posteriormente, dichos patrones se despliegan en un motor encargado de analizar los datos, tratando de buscar coincidencias entre dichos datos y los patrones. En caso de detectar alguna coincidencia, se genera un evento complejo ante el cual se podría ejecutar alguna acción.

Las posibilidades ofrecidas por esta tecnología hacen que su integración con el AAL sea de gran interés para desarrollar sistemas más inteligentes y capaces de reaccionar ante diferentes situaciones. No obstante, con el objetivo de lograr una integración óptima entre ambos, es necesario realizar un análisis de los retos y oportunidades que pueden surgir de dicha integración.

2. Trabajo relacionado aplicando CEP al AAL

Existe una gran cantidad de trabajos enfocados al desarrollo de sistemas AAL de diversa naturaleza. No obstante, a pesar de los interesantes beneficios que la integración de CEP y AAL podría proporcionar a diferentes tipos de sistemas, es más complicado encontrar trabajos que realicen dicha integración. Autores como Gonzalez-Usach *et al.* [5] han detectado la utilidad de esta tecnología en el ámbito

del AAL, haciendo uso de ella en el desarrollo un sistema de monitorización de residencias de ancianos. En concreto, dicho sistema hace uso de CEP para la detección de determinados patrones personalizados para cada residencia. Otros autores como L. La Blunda *et al.* [3] han utilizado CEP para implementar un sistema de detección de caídas que aprovecha la capacidad de procesamiento de dicha tecnología, evaluando datos de diferentes sensores para detectar una caída en tiempo real. Estos dos ejemplos demuestran cómo la idea de aplicar CEP al AAL es totalmente factible. A pesar de ello, el uso de dicha tecnología en sistemas AAL todavía es muy escaso. CEP tiene el potencial para desarrollar sistemas más inteligentes, capaces de aprovechar su potencial de procesamiento para correlar datos que provengan de diferentes sistemas. De esta forma, es posible aportar un mayor contexto a los patrones. Por ejemplo, si sabemos que el usuario está cocinando, es posible que aparezca una variación en la concentración de los gases de la cocina. Sin embargo, esa variación no tiene ningún interés, y se estabilizará una vez el usuario finalice la actividad de cocinar. Si obviamos dicha actividad, al crear un patrón para detectar la acumulación de gases nocivos, podríamos obtener falsos positivos. Sin embargo, si aportamos a dicho patrón más contexto (en este caso la actividad realizada por el usuario), podremos desarrollar sistemas más útiles e inteligentes.

3. Retos y oportunidades

Al igual que con otras muchas tecnologías, las posibilidades que ofrece CEP están, en ocasiones, acotadas por las habilidades del usuario. Si el experto en el dominio no tiene suficiente conocimiento en el EPL, no se utilizará el potencial ofrecido por CEP. Para solucionar este problema, existen herramientas gráficas que permiten modelar, de forma visual, los patrones a detectar, facilitando de esta manera la tarea del experto en el dominio [4]. Sin embargo, otro problema a considerar es que eventos de interés no sean detectados, no por fallos en los patrones, sino porque dichos eventos ni siquiera fueran considerados por el experto. Esta situación es especialmente preocupante en entornos cambiantes, donde entran en juego una gran cantidad de variables. Por este motivo, uno de los principales retos es la definición automática de patrones mediante *Machine Learning*. En esta línea, Simsek *et al.* [8] presentan un framework capaz de extraer reglas de CEP sin intervención de los expertos. Para ello, en primer lugar almacenan los datos en una base de datos. Posteriormente, se etiqueta cada dato como normal o anormal utilizando para ello un conjunto de redes neuronales de Deep Learning, entre las que se encuentran *Long Short-Term Memory* (LSTM), *Convolutional Neural Network* (CNN) y *Recurrent Neural Network* (RNN). La estrategia utilizada para la detección de valores anormales comienza por el entrenamiento de las redes neuronales. A continuación, se realiza una predicción de los valores esperados y se calcula el error de reconstrucción, siendo este la diferencia entre el valor real y el valor predicho. Finalmente, utilizando el error de reconstrucción se puede determinar la existencia de valores anormales, ya que estos se alejarían mucho de los valores predichos por las redes neuronales.

Una vez están etiquetados todos los datos, se utilizan aquellos que se consideran anomalías para generar las reglas de CEP con la sintaxis correspondiente. Por ejemplo, en el caso de un sensor de temperatura donde la media son 30 grados, se podría generar una regla a partir de un valor anómalo de 100 grados. Esto resulta muy interesante, aunque la diversidad de sistemas CEP existentes, cada uno con una sintaxis EPL diferente, puede complicar la idea de una herramienta de generación de patrones que funcione de forma independiente del motor. Por este motivo, también se considera la idea de sustituir la detección de eventos basada en patrones por otro método. En este aspecto, diversas técnicas de análisis de series temporales se han postulado como una de las opciones más interesantes a considerar, especialmente las basadas en extracción y análisis de *shapelets* [9]. Un *shapelet* no es más que una porción de una serie temporal que es lo suficientemente discriminatoria como para representar a una clase. Por ejemplo, si tenemos una serie temporal creada a partir de las lecturas de un sensor de temperatura, un *shapelet* podría ser la porción que se corresponda con los valores en el momento de un incendio. Por tanto, a diferencia de los métodos basados en creación de reglas de forma automática, los métodos basados en *shapelets* permitirían también detectar situaciones anómalas sin necesidad de crear ningún patrón, simplemente analizando las series temporales de forma continua en busca de esos *shapelets* que, por su propia definición, representarían una situación de interés.

4. Conclusiones

El AAL, surgido como respuesta al inevitable envejecimiento de la población, requiere de arquitecturas y tecnologías capaces de lidiar con el procesamiento de una gran cantidad de datos en tiempo real. Por este motivo y por las posibilidades que ofrece la detección de patrones y la ejecución de acciones en consecuencia, CEP es una tecnología que presenta un gran interés para el desarrollo de sistemas AAL inteligentes y con capacidad de reacción. Sin embargo, a pesar de los interesantes beneficios que puede ofrecer esta tecnología en un campo como el AAL, no existen muchos sistemas que integren CEP en sus herramientas, y los que la implementan hacen un uso muy limitado de la misma. Posiblemente, el hecho de tratar con entornos muy cambiantes, donde es complicado definir patrones fijos, sea uno de los motivos. Por ello, técnicas de *Machine Learning* capaces de sustituir a la definición de patrones, se postulan como un complemento de gran interés en la aplicación de CEP al AAL.

Referencias

1. Ageing (Jan 2019), <https://www.un.org/en/sections/issues-depth/ageing/>
2. AAL Association: The Ageing Demographic, <https://www.aal-europe.eu/about/the-ageing-demographic/>
3. Blunda, L.L., Gutiérrez-Madroñal, L., Wagner, M.F., Medina-Bulo, I.: A Wearable Fall Detection System Based on Body Area Networks. IEEE Access **8**, 193060–193074 (2020). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3032497>

4. Boubeta-Puig, J., Ortiz, G., Medina-Bulo, I.: MEdit4CEP: A model-driven solution for real-time decision making in SOA 2.0. *Knowledge-Based Systems* **89**, 97–112 (Nov 2015). <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.06.021>
5. Gonzalez-Usach, R., Collado, V., Esteve, M., Palau, C.E.: AAL open source system for the monitoring and intelligent control of nursing homes. In: 2017 IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC). pp. 84–89 (May 2017). <https://doi.org/10.1109/ICNSC.2017.8000072>
6. Luckham, D. (ed.): Event Processing for Business: Organizing the Real-Time Enterprise. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA (Jan 2012). <https://doi.org/10.1002/9781119198697>
7. Rashidi, P., Mihailidis, A.: A Survey on Ambient-Assisted Living Tools for Older Adults. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* **17**(3), 579–590 (May 2013). <https://doi.org/10.1109/JBHI.2012.2234129>
8. Simsek, M.U., Yildirim Okay, F., Ozdemir, S.: A deep learning-based CEP rule extraction framework for IoT data. *J Supercomput* (Jan 2021). <https://doi.org/10.1007/s11227-020-03603-5>
9. Ye, L., Keogh, E.: Time series shapelets: A new primitive for data mining. In: Proceedings of the 15th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining - KDD '09. p. 947. ACM Press, Paris, France (2009). <https://doi.org/10.1145/1557019.1557122>

Denoising Autoencoders for handling missing data problem with non-monotone pattern

Juan-Francisco Cabrera-Sánchez , Andrés Yáñez Escolano , and Esther-Lydia Silva-Ramírez 

School of Engineering, Universidad de Cádiz, Spain

Abstract. Machine Learning and Deep Learning models have proven to be suitable methods for handling missing data problems. However, the scope of the comparison between these techniques and some traditional methods have not been widely explored. In this paper, an approach using Denoising Autoencoder model is proposed to automate data imputation procedure. Performance of Denoising Autoencoder model is compared to methods such as Mean/Mode, k-NN or Bayesian Ridge regression using a total of eight data sets exposed to different percentages of missingness. Selected data sets cover a wide range of number of variables and registers which guarantee a fair comparison.

Keywords: Missing data · Imputation · Deep Learning

1 Introduction

Nowadays, large amounts of data are handled daily. Moreover, the sources where they are obtained have been steadily growing with the appearance of new platforms. However, data acquisition systems does not guarantee the absence of any kind of problem. One of them is the missing data which need to be handled in order to perform some type of processing (i.e. classification, regression or decision making). The procedure for resolving missing data problem is known as data imputation, where complete registers are used to estimate which value is appropriate to fill the gap. This process allows to generate a complete data set without errors that is prepared to perform a knowledge extraction process.

Missing data is not a contemporary problem. Since it was reviewed in [4], many methods have been proposed such as Mean/Mode, those based on regression or likelihood. However, these approaches may present biased estimations. As a result, machine learning has grown as an effective alternative to traditional methods, specially with Neural Networks and Decision Trees based models.

In the field of neural networks it can be highlighted the works of Jerez et al. [3] They applied data imputation techniques for predicting recurrence in a breast cancer data set. Conclusion was that Multilayer Perceptron (MLP) and K-Nearest Neighbours (k-NN) obtained the best results which showed the superiority of machine learning methods above traditional methods.

Also, fuzzy approaches were reviewed in García-Laencina et al. [2]. They concluded that these type of methods supposed a feasible approach for handling

missing data and that its performance would depend on the type of application after imputation.

Subsequently, Neuro Fuzzy Inference Systems were proposed considering properties of Neural Networks such as being an universal approximator and fuzzy systems interpretability. In Silva-Ramírez and Cabrera-Sánchez [8], CANFIS-ART method was proposed. A comparison of its effects on data quality and classification performance was carried out, showing that proposed method achieved not only closer results to original data set, but also higher accuracy in the classification task than other methods.

In the recent years, Deep Learning has become the trend in terms of missing data research. Multiple models have been proposed to handle it, such as Denoising Autoencoders (DAE), Variational Autoencoders or Generative Adversarial Networks (GAN). Sánchez-Morales et al. studied the effects of a preimputation using different methods such as MLP, Singular Value Decomposition (SVD) or Multiple Imputation by Chained Equations (MICE) as preprocessing step for DAE imputation [6]. They concluded that preimputation along with a deletion and compensation process improved classification accuracy in data sets with presence of missing data.

2 Proposed method

Considering the conclusions in [5], there are existing challenges considering Autoencoders as an imputation method. Thus, it is the chosen model for carrying out initial experiments in PhD course.

Autoencoders (AE) have been a widely used model for multiple applications such as dimensionality reduction and lately for generative modeling. In the first case, under certain conditions AE achieve similar results to PCA method. One of these is an undercomplete structure which means that each layer of the encoder has a lower dimensionality than the previous layer. On the other hand each layer on the decoder side has higher dimensionality than the previous layer.

However, in missing data problems there are particularities that need to be handled differently. So instead of using an AE, a Denoising Autoencoder is considered. This model allows to reconstruct a perturbed copy of the input rather than simply copying it to the network output. Equally to original Autoencoders, DAE can present an overcomplete and undercomplete structure. These two approaches require specific treatment. Contrary to undercomplete representations which escape from the overfitting effects by compressing the inputs, overcomplete DAE need some method in order to do so such as batch normalization or dropout. Moreover, theoretically there should be no need to include regularization but some researchers do it in any case [5].

Therefore, some recommendations were followed such as relative increment, combination of activation functions for encoder and decoder and the overcomplete structure of the autoencoder, which can be observed in figure 1, being h_i the number of hidden neurons in each layer and λ the increment factor.

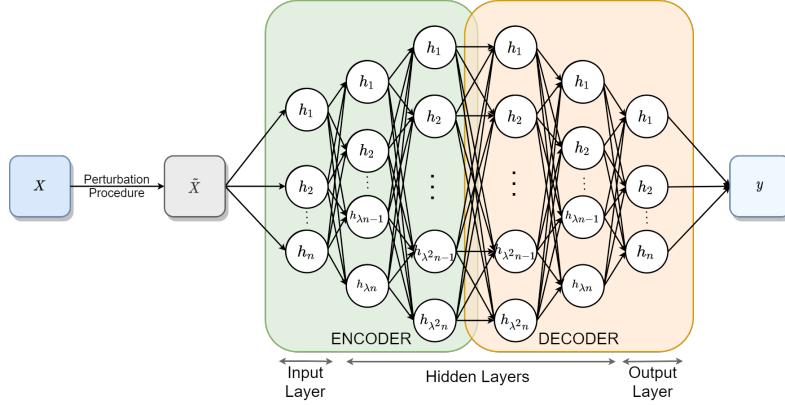


Fig. 1. Structure of Denoising Autoencoder

As a factor, an increment of 125% of the number of features is selected, this means that each layer of the encoder would be 2.25 times higher than previous layer. Identically, each layer of the decoder would be 2.25 times lower than the previous one. Also, a Rectified Linear Unit (ReLU) is considered as activation function for encoder while Sigmoid function is chosen for decoder. For avoiding overfitting dropout layers were added to encoder with a drop rate of 40%. This means that each neuron of the hidden layers of the encoder has a probability of 0.4 of being ignored during an epoch. In other words, its output to next layer is zero.

3 Experiments

The main objective for these experiments is to compare how well Denoising Autoencoder estimates values in respect of ground truth. There are some considerations to be made such as what kind of preprocessing is performed, how missingness is generated and what data sets will be used for the comparison. First, each data set is scaled using a normalisation algorithm, so values are within an [0, 1] interval. Second, missingness is generated using a MCAR mechanism following Santos et al. [7] with a 5%, 10%, 25% and 50% missing rates to generate five perturbed versions of each data set. Also, this procedure consider that MCAR follows a non-monotone pattern, meaning that any variable of any register may present an absent of value. Related to how missingness is coded a zero imputation is contemplated as a manner to compare DAE to other methods without considering other time consuming preimputation methods. Finally, all data sets to conduct these experiments but Twonorm, which can be found in [1], were selected from UCI Repository. As can be observed in Table 1, a variety of types of databases are considered, being n the number of registers and p_q number of quantitative variables.

Also, a 5-fold Cross Validation is applied to split each perturbed data set in training and validation sets. This suppose that 25 trials are carried out for each missing rate, meaning a total of 100 runs per database. In addition to

Name	n	p_q
Image-Segmentation	2310	18
Ionosphere	351	34
MAGIC	19020	10
Robot_Exe	463	90
Sonar	208	60
Twonorm	7400	20
Wine	178	13
Yeast	1484	8

Table 1. Data sets

proposed methods, other methods are considered for comparison: Mean/Mode, k-NN ($k = 5$) and Bayesian Ridge. They are available in Scikit-Learn library, while proposal was developed by authors using Tensorflow library.

For comparison purposes, R^2 metric, also known as coefficient of determination is considered as it is widely used in regression problems. It allows to compare how accurate is predicted value in respect to original values. Best scenario is to obtain a score near to 1, which means estimated values are close to original data set. This metric is defined as follows:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i^n (y_i - \hat{y})^2}{\sum_i^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Note that in this case, ground truth value y_i correspond to original dataset value X_i , as reconstruction error is calculated while \hat{y} represents estimated value.

3.1 Results

In Figure 2, mean of R^2 metric for the mentioned 25 trials of all data sets is represented for each missing rate. As can be observed, proposed method is closer to original data set in all situations. Furthermore, the higher the missing rate, the greater the difference compared to other methods.

In such situations, DAE achieves an improvement up to 5% – 10% in comparison to Mean/Mode, while Bayesian Ridge and k-NN situated around 2.5% – 5% below the proposal.

4 Conclusions

In this paper, a Denoising Autoencoder approach for data imputation is proposed. In order to measure proposal accuracy, it was compared to several methods such as k-NN, Bayesian Ridge or Mean/Mode, considering R^2 metric. So experiments with various missing rates and diverse data sets were carried out, covering multiple situations and following a non-monotone pattern for the MCAR mechanism in regards to perturbation procedure.

Results show that DAE approach achieves better results than the other methods with scores near to 1 up to 25% of missingness. Although in low rates there

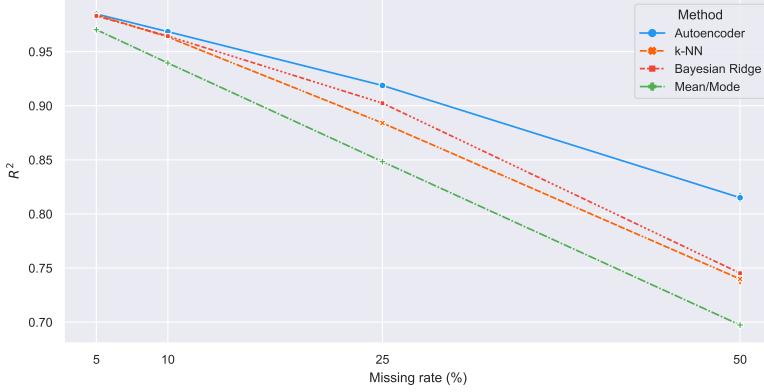


Fig. 2. Comparison of data imputation methods

are no significant differences, as it increases, gap between proposed approach and the others widens. In particular, when missing rate is 50% there is a divergence of at least a 10% in comparison to other methods, showing so DAE robustness.

To conclude, carried out experiments suggest that Denoising Autoencoders suppose a suitable method for handling missing data problems, specially when missingness is relatively high.

References

1. Delve: data for evaluating learning in valid experiments <https://www.cs.toronto.edu/~delve/data/twonorm/desc.html>
2. García-Laencina, P.J., Sancho-Gómez, J.L., Figueiras-Vidal, A.R.: Pattern classification with missing data: a review. *Neural Computing and Applications* 19(2), 263–282 (2010), <https://doi.org/10.1007/s00521-009-0295-6>
3. Jerez, J.M., Molina, I., García-Laencina, P.J., Alba, E., Ribelles, N., Martín, M., Franco, L.: Missing data imputation using statistical and machine learning methods in a real breast cancer problem. *Artificial intelligence in medicine* 50(2), 105–115 (2010)
4. Little, R.J.A., Rubin, D.B.: Statistical analysis with missing data. *Statistical Papers* 32(1), 70 (1987)
5. Pereira, R.C., Santos, M.S., Rodrigues, P.P., Abreu, P.H.: Reviewing autoencoders for missing data imputation: Technical trends, applications and outcomes. *Journal of Artificial Intelligence Research* 69, 1255–1285 (2020)
6. Sánchez-Morales, A., Sancho-Gómez, J.L., Martínez-García, J.A., Figueiras-Vidal, A.R.: Improving deep learning performance with missing values via deletion and compensation. *Neural Computing and Applications* pp. 1–12 (2019)
7. Santos, M.S., Pereira, R.C., Costa, A.F., Soares, J.P., Santos, J., Abreu, P.H.: Generating synthetic missing data: A review by missing mechanism. *IEEE Access* 7, 11651–11667 (2019)
8. Silva-Ramírez, E.L., Cabrera-Sánchez, J.F.: Co-active neuro-fuzzy inference system model as single imputation approach for non-monotone pattern of missing data. *Neural Computing and Applications* 5 (2021)

Sistema de Monitorización de Neonatos en Incubadoras Mediante Plataformas Embebidas de Visión Artificial

Blas Salvador Domínguez¹ y Lionel Cervera Gontard²

¹Departamento de Electrónica, IMEYMAT, Grupo GOAL. Universidad de Cádiz, Avda. de la Universidad de Cádiz 10, Puerto Real, Cádiz blas.salvador@uca.es

² Departamento de Física de la Materia condensada, IMEYMAT, Grupo GOAL. Universidad de Cádiz, Avda. de la Universidad de Cádiz 10, Puerto Real, Cádiz lionel.cervera@uca.es

Resumen En la actualidad para controlar las constantes vitales de neonatos en incubadoras se emplean diferentes sensores que se adhieren físicamente a la piel, y que están conectados a monitores fuera de la incubadora mediante varios cables. Esto implica molestias para el bebé y también para el personal sanitario que los tienen que manipular con frecuencia. La finalidad de este trabajo es investigar el uso de la visión artificial para mejorar la monitorización sin contacto de bebés prematuros en incubadoras, particularmente para la medición de las principales constantes vitales del recién nacido, como son la presión arterial, la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria, la temperatura corporal y la saturación de oxígeno. Más aún, se estudiarán nuevas aplicaciones del empleo de cámaras en incubadoras, por ejemplo, el acceso visual y auditivo remoto para la optimización de la comunicación con progenitores y personal sanitario, o la detección temprana de indicadores de deficiencias cognitivas.

Palabras claves: Visión artificial · Machine Learning · Edge Computing · Monitorización · Neonatos

1. Introducción y estado del arte

La monitorización sin contacto en incubadoras de Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN) es un campo muy activo. En la referencia [1] se revisa el estado del arte para la medición de signos vitales de estos bebés.

Las incubadoras, inventadas en el siglo XIX, han evolucionado poco en su diseño. Las mejoras aumentan la esperanza de vida o la calidad de vida de los neonatos; con diseños acústicos y nuevos materiales que reduzcan el ruido ambiente, o la luz del entorno; con un diseño más ergonómico centrado en el bebé que facilite la interacción con médicos y familia; y con el empleo de tecnología avanzada para medir signos vitales y detectar estados anormales de manera automática [2].

En la actualidad las incubadoras emplean sensores y electrodos con cables para llevar las señales al sistema. Esto suele derivar en una maraña de dispositivos enredados alrededor del recién nacido con la evidente incomodidad para el mismo. Por lo tanto, el desarrollo y la optimización de estas tecnologías tienen el potencial de crear métodos más fiables para el diagnóstico de bebés prematuros, además puede ser incluso una solución más rentable [3]. La Figura 1 muestra algunas de las aplicaciones clínicas más destacables que se pueden llevar a cabo en medicina neonatal.

Existen estudios con cámaras de diferentes rangos espectrales. El uso de imágenes obtenidas mediante cámaras de infrarrojo cercano (NIR) permite entre otras

aplicaciones monitorizar la oxigenación de tejidos corporales de tal manera que pueden proporcionar información acerca de actividades metabólicas [4] o la actividad cerebral [5]. El rango NIR también puede emplearse junto con iluminación activa para capturar imágenes en la oscuridad, cuando el bebé está durmiendo con la incubadora cubierta.

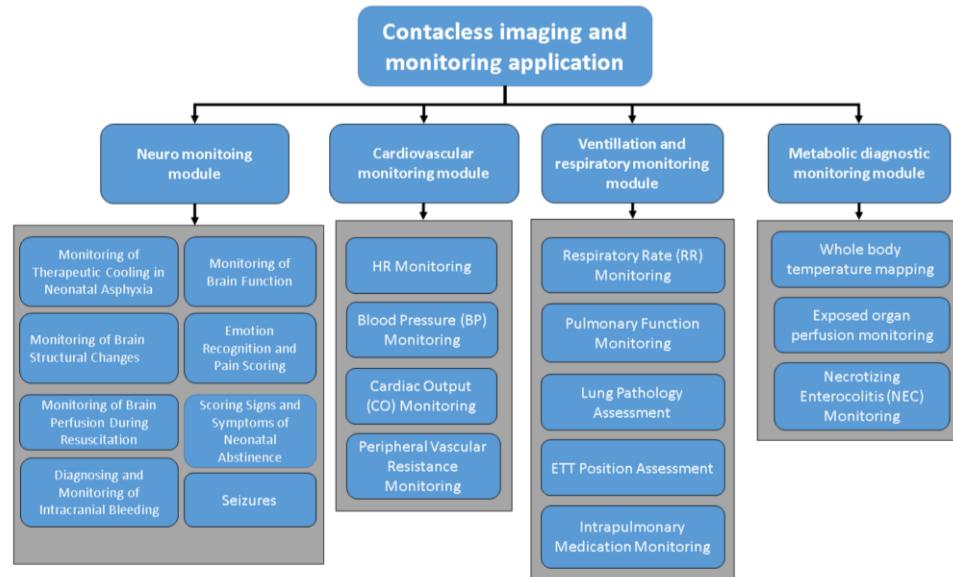


Figura 1. Posibles aplicaciones clínicas de técnicas de imagen sin contacto, que pueden ser utilizadas en la unidad de cuidados intensivos neonatales [1].

Las cámaras de espectro infrarrojo de onda corta (SWIR) permiten penetrar más profundamente a través de los tejidos que las NIR. Además, permite la visualización de estructuras vasculares bajo la piel, lo que permitiría detectar patologías vasculares como hemangiomas o malformaciones vasculares congénitas [6]. Para este tipo de aplicaciones es muy importante tener en cuenta el movimiento del bebé, lo que puede conducir a una baja calidad de los datos obtenidos.

En cuanto a la región de infrarrojos de onda media (MWIR) y de onda larga (LWIR). En cuanto a aplicaciones concretas, existen varios intentos de medida de la temperatura de la piel en recién nacidos [7]. En este artículo [8], se propone un método para localizar las regiones correspondientes a las fosas nasales utilizando dos características; la temperatura de la fosa nasal cambia sincrónicamente con la respiración, y la temperatura alrededor del ala de la nariz es más alta que la del interior.

En resumen, puede decirse que hay un gran potencial en el empleo de la visión artificial para monitorizar recién nacidos, y que existe aún un gran margen de mejora para estos procedimientos.

2. Metodología

Se ha realizado un estudio de las diferentes técnicas y tecnologías de visión artificial, sus fortalezas y debilidades, que se emplean actualmente en aplicaciones médicas para la monitorización de neonatos y se propone un sistema que aumente la aplicabilidad y la eficacia con respecto a las soluciones existentes [9].

Para ello se ha iniciado una relación de colaboración con la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN) del Hospital Puerta del Mar de Cádiz, para el análisis del problema con el personal que allí trabaja con neonatos. También se ha establecido una

colaboración con investigadores del Laboratorio de Ingeniería Acústica de la Escuela Superior de Ingeniería de Cádiz, que trabaja en un proyecto de insonorización de incubadoras para neonatos.

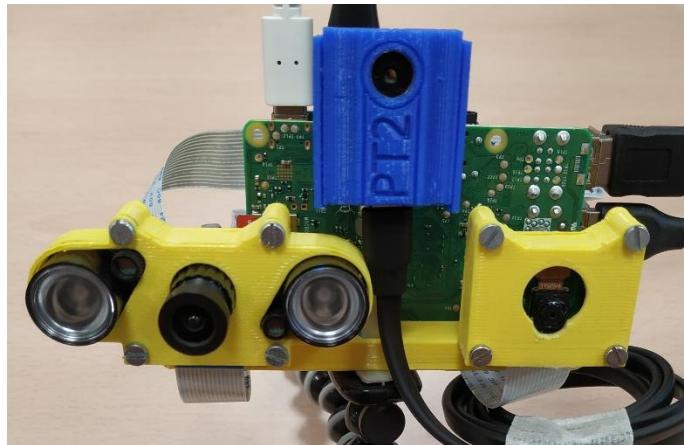


Figura 2. Prototipo del encapsulado realizado en la impresora 3D que alberga las tres cámaras empleadas y sistema embebido.

Se ha decidido implementar diferentes técnicas de captura y procesamiento de imágenes para la monitorización sin contacto de neonatos en incubadoras. Para ello se emplean cámaras multiespectrales en el visible (VIS) y otras longitudes de onda, como una solución que aporta robustez y flexibilidad. En cuanto a los tipos de cámara a emplear, se ha optado por integrar tres (VIS, NIR y LWIR) en un soporte prototipado con una impresora 3D que se observa en la Figura 2. El encapsulado permite fijar las 3 cámaras y el sistema embebido con todas sus conexiones y facilita la integración del dispositivo en la incubadora. Con estas cámaras se pueden medir las constantes vitales más importantes para llevar el control sobre la incubadora y sobre el neonato.

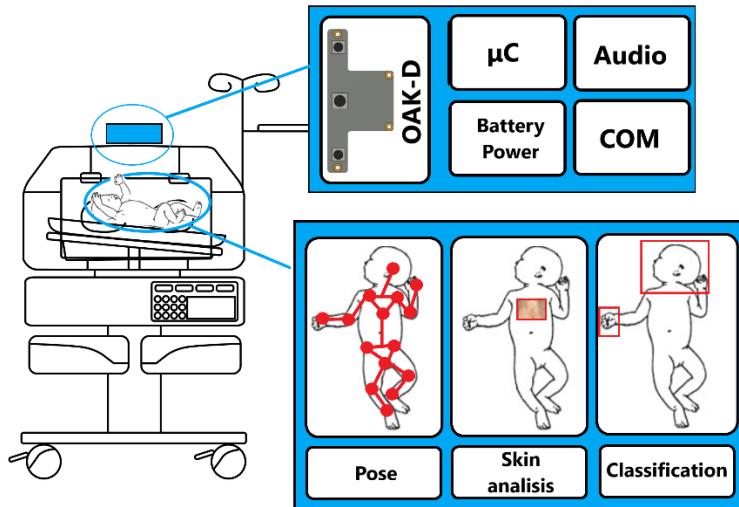


Figura 3. Sistema para la monitorización de los movimientos del neonato mediante una cámara OAK-D.

Para monitorizar al neonato se está desarrollando el software que permite analizar las imágenes y obtener los parámetros requeridos. Gracias al aprendizaje automático o machine learning se están desarrollando algoritmos que transforman los datos en información. Más concretamente se emplean algoritmos de localización de personas y

caras que permiten focalizar las medidas de los diferentes signos vitales. Técnicas como la detección de los cambios en la pigmentación de la piel en una determinada región de interés permitirían detectar el ritmo cardiaco. El empleo de redes neurales recurrentes permite identificar dinámicas de movimiento en secuencias de imágenes que puedan ayudar a diagnosticar posibles problemas psicomotores.

Se ha observado que en los neonatos pueden producirse convulsiones de movimiento consistentes en movimientos no rítmicos. Estos movimientos pueden producirse por el estrés, el dolor o un problema de salud en particular. Estamos testando el uso de cámaras con unidades de procesamiento visual (VPUs) para detectar y analizar los movimientos repetitivos de los bebés con objeto de ser capaces de hacer la detección temprana de deficiencias cognitivas incluso sin la presencia de personal experimentado. El sistema se observa en la Figura 3.

El objetivo final es diseñar e integrar una plataforma embebida de visión artificial para su mejor integración en incubadoras ya existentes, así como con el entorno físico.

3. Conclusiones y Trabajos Futuros

Las técnicas y algoritmos de software para procesamiento de imágenes, las redes convolucionales y procesamiento de señal tienen el potencial de medir de manera robusta los signos vitales para realizar la monitorización de los neonatos.

Será necesario finalizar y comprobar el correcto funcionamiento del software con neonatos de manera robusta. Hay que tener en cuenta que de los datos extraídos por estos programas dependería la salud del neonato.

Es necesario comprobar cuál es el funcionamiento del prototipo en las condiciones del interior de la incubadora, puesto que se trata de un entorno con unas condiciones de calor y humedad constantes. Esto habrá que tenerlo en cuenta para el desarrollo del software, especialmente aquel destinado a la obtención de datos a nivel termográfico.

Se deberá ratificar que el funcionamiento del hardware y los algoritmos implementados es el adecuado y que el prototipo funciona correctamente. Se propondrán los cambios que se considere necesario llevar a cabo para confirmar que los resultados obtenidos verifican o no las hipótesis propuestas.

Referencias

- [1] AlZubaidi, A. K., Ethawi, Y., Schmölzer, G. M., Sherif, S., Narvey, M., & Seshia, M. (2018). Review of biomedical applications of contactless imaging of neonates using infrared thermography and beyond. *Methods and Protocols*, 1(4), 39.
- [2] Ferris, T. K., & Shepley, M. M. (2013). The design of neonatal incubators: a systems-oriented, human-centered approach. *Journal of Perinatology*, 33(1), S24-S31.
- [3] Abbas, A. K., Heiman, K., Jergus, K., Orlikowsky, T., & Leonhardt, S. (2012). Neonatal infrared thermography monitoring. In *Neonatal Monitoring Technologies: Design for Integrated Solutions* (pp. 84-124). IGI Global.
- [4] Holst, G. C. (2000). *Common sense approach to thermal imaging* (pp. 90-109). Washington: SPIE Optical Engineering Press.
- [5] Wyatt, J. S., Cope, M., Delpy, D. T., Van der Zee, P., Arridge, S., Edwards, A. D., & Reynolds, E. O. R. (1990). Measurement of optical path length for cerebral near-infrared spectroscopy in newborn infants. *Developmental neuroscience*, 12(2), 140-144.
- [6] Cholewka, A., Kajewska, J., Marek, K., Sieroń-Stoltny, K., & Stanek, A. (2017). How to use thermal imaging in venous insufficiency?. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 130(3).
- [7] Villarroel, M., Chaichulee, S., Jorge, J., Davis, S., Green, G., Arteta, C., ... & Tarassenko, L. (2019). Non-contact physiological monitoring of preterm infants in the Neonatal Intensive Care Unit. *NPJ digital medicine*, 2(1), 1-18.

- [8] Ishida, A., & Murakami, K. (2018, January). Extraction of nostril regions using periodical thermal change for breath monitoring. In *2018 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT)* (pp. 1-5). IEEE.
- [9] Antink, C. H., Lyra, S., Paul, M., Yu, X., & Leonhardt, S. (2019). A broader look: Camera-based vital sign estimation across the spectrum. *Yearbook of medical informatics*, 28(1), 102.

Aplicación Descentralizada para la Gestión de la Trazabilidad de Cadenas de Suministro*

Jesús Rosa-Bilbao¹[0000-0002-4378-5229] y Juan Boubeta-Puig²[0000-0002-8989-7509]

¹ Grupo UCASE de Ingeniería del Software, Escuela Superior de Ingeniería, Universidad de Cádiz, Avda. de la Universidad de Cádiz 10, 11519 Puerto Real, Cádiz
jesus.rosabilbao@alum.uca.es

² Grupo UCASE de Ingeniería del Software, Departamento de Ingeniería Informática, Universidad de Cádiz, Avda. de la Universidad de Cádiz 10, 11519 Puerto Real, Cádiz
juan.boubeta@uca.es

Resumen *Blockchain* es una base de datos distribuida que se caracteriza por asegurar la confiabilidad, transparencia, inmutabilidad y trazabilidad de la información. Esta novedosa tecnología puede ser aplicada en diversos ámbitos cotidianos con el propósito de hacerlos más transparentes y trazables. En este artículo presentamos una aplicación descentralizada con la cual poder gestionar la trazabilidad de cualquier cadena de suministro. Esta aplicación se ha desarrollado con el marco de trabajo Truffle, haciendo posible su interacción con la red *blockchain* pública Ethereum. A través de esta aplicación, cualquier persona podrá acceder, en cualquier momento y desde cualquier lugar, a toda la información sobre una determinada cadena de suministro que contará con una trazabilidad total.

Palabras claves: Blockchain · Cadena de Suministro · Contrato Inteligente · Trazabilidad · Aplicación descentralizada

1. Introducción

La cadena de suministro [8] es un proceso que tiene lugar desde que el cliente realiza un pedido hasta que lo recibe. Está comprendido por varias etapas como son, la planificación, ejecución y control de actividades desde la compra de la materia prima hasta su transformación en el producto final que el cliente recibirá.

En los últimos años, este proceso se está aplicando en diversos dominios como, por ejemplo, alimentación, vacunas, material sanitario o grandes marcas de ropa [4]. Sin embargo, este proceso no es sencillo de implementar si se quiere que este cuente con una trazabilidad total y tenga una gestión adecuada, la cual permita un control sobre los activos.

* Trabajo financiado por el MICINN y los fondos FEDER a través del proyecto FAME (RTI2018-093608-B-C33), y por el Plan Propio de Investigación de la UCA y la empresa GEN a través del proyecto GANGES (IRTP03_UCA).

Para afrontar este problema, en este artículo se presenta una aplicación distribuida (DApp) aplicando tecnología *blockchain* a la gestión de la cadena de suministros. Esta DApp podrá ser aplicada en cualquier dominio como los ya mencionados anteriormente.

Concretamente, esta DApp desarrollada se basa en la red Ethereum, la cual nos va a permitir una gestión de cadena de suministros totalmente transparente. Además, toda la información que sea almacenada no podrá ser modificada ni eliminada bajo ningún concepto, permitiendo así que la cadena de suministros no pueda ser manipulada en ninguna de sus etapas. Por último, contamos con la ventaja de tener una trazabilidad completa de la cadena de suministros, es decir, en cualquier momento vamos a poder obtener en detalle todos y cada uno de los estados que la cadena de suministro ha ido tomando.

Recientemente, han surgido algunos trabajos, como el de Dolgui et al. [5], que también proponen la integración de *blockchain* con la cadena de suministro. Sin embargo, no cuentan con ninguna interfaz gráfica de usuario que permita a personas no expertas en la tecnología *blockchain* poder interactuar con el contrato inteligente y sus funciones.

Por lo tanto, el presente artículo también pretende responder a las siguientes preguntas de investigación (P):

- **P1:** ¿Las aplicaciones basadas en *blockchain* son capaces de garantizar la trazabilidad, inmutabilidad y transparencia de los datos?
- **P2:** ¿Qué ventajas proporciona el uso de la tecnología *blockchain* a la gestión de la cadena de suministro?

El resto del artículo está organizado como sigue. La Sección 2 describe los fundamentos de *blockchain*. La Sección 3 presenta nuestra DApp para la gestión de cadenas de suministro. En la Sección 4 se observa las respuestas a las preguntas de investigación planteadas. Finalmente, en la Sección 5 presentamos las conclusiones y las líneas de trabajo futuro.

2. Blockchain

Blockchain [6] puede describirse como si de una base de datos se tratara en la que se registran y confirman transacciones. Cada transacción realizada tiene que ser verificada, registrada y combinada con otras transacciones para producir nuevos bloques que luego se copiarán en los nodos iguales de la red participante, creando así un tipo de red distribuida [7].

La red *blockchain* Ethereum [1] es una plataforma global utilizada para DApp de código abierto, donde se puede escribir código que controle el valor digital y se ejecute tal como está programado, permitiendo acceder a ella desde cualquier parte del mundo.

Uno de los componentes más importantes de esta red son los contratos inteligentes o *smart contracts*, trozos de código que facilitan la verificación y el cumplimiento de un contrato de forma automática. Solidity es uno de los lenguajes soportados por Ethereum para implementar estos contratos. Por tanto,

un contrato inteligente permite agilizar muchos acuerdos entre agentes de la red, ya que no necesitan la intervención de terceros para comprobar y verificar su cumplimiento. *Blockchain* promueve un enfoque más igualitario, promoviendo así la colaboración [3].

Truffle [2] es un entorno de desarrollo que provee recursos para interactuar con Ethereum. Permite la compilación, vinculación e implementación de contratos inteligentes. Además, facilita la creación de *scripts* para hacer pruebas automatizadas en contratos inteligentes y cuenta con una consola interactiva para poder establecer una comunicación directa con los contratos inteligentes.

3. Propuesta

A continuación, describimos la arquitectura propuesta para la gestión de cadenas de suministro (véase Figura 1), compuesta de dos capas, y que hemos llevado a cabo siguiendo una metodología de desarrollo de software ágil.

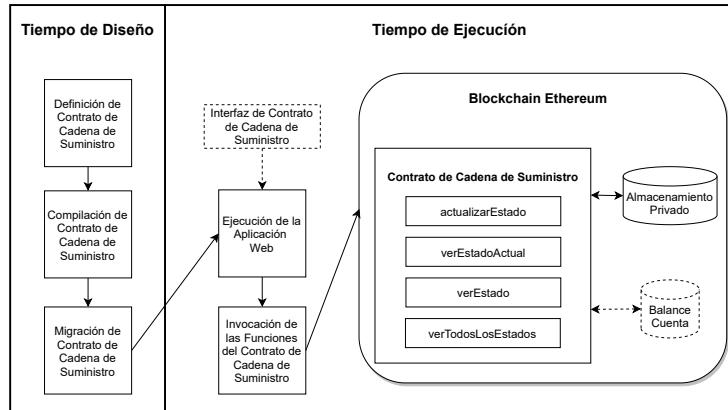


Figura 1. Visión general del enfoque propuesto.

La capa de **Tiempo de Diseño** consiste en la definición, compilación y despliegue del contrato inteligente en la red Ethereum. El entorno Truffle nos permite, a partir de un contrato inteligente desarrollado en Solidity, compilarlo y migrarlo. La migración consiste en la transformación del contrato Solidity en una especie de interfaz. Dicha interfaz es la forma estándar de interactuar con contratos inteligentes en Ethereum, ya sea en interacciones contrato-contrato o desde fuera de la blockchain.

La capa **Tiempo de Ejecución** se encarga del despliegue de la aplicación web, una vez que el contrato ha sido migrado. Esta aplicación web facilitará a los expertos del dominio la invocación de las funciones concretas del contrato desplegado previamente, así como su ejecución en Ethereum. Estas funciones

pueden simplemente consultar algún dato alojado en la red o insertar nuevos datos que quedarán registrados en la misma.

Por tanto, esta arquitectura permite gestionar de forma transparente, inmutable y trazable toda la información de la misma. A través de la aplicación web (véase Figura 2), implementada con Truffle, los expertos del dominio podrán registrar todos los estados por los que pasa la cadena de suministro, así como comprobar en cualquier momento todos los estados por los que ya ha pasado previamente.

El contrato inteligente, implementado en Solidity, permitirá abarcar el registro y la consulta en tiempo real de toda la gestión de la cadena de suministro en cualquier momento y en cualquier lugar. Para ello, este contrato inteligente consta de 4 funciones, las cuales, permiten registrar un nuevo estado, consultar el estado actual, consultar un estado específico o consultar todos los estados.

Aplicación Descentralizada para Trazabilidad de Cadena de Suministro 0x0FA8dffE2E162e1E6f87fD2913Cf1A0A9db9c9118

Actualización de Estado

Nuevo Estado

Actualizar Estado

Estado actual: Salida del almacén de distribución

Trazabilidad de la cadena de suministro

#	Estados
0	Creación del Contrato!
1	Salida del almacén de distribución

Figura 2. Aplicación web para la gestión de cadenas de suministro.

4. Discusión

En esta sección se analizan las respuestas a las preguntas planteadas en la Sección 1:

- **¿Las aplicaciones basadas en *blockchain* son capaces de garantizar la trazabilidad, inmutabilidad y transparencia de los datos?**
Sí, gracias al uso de la tecnología blockchain [9] podemos afirmar que es capaz de asegurar la trazabilidad, inmutabilidad y transparencia de los datos debido a sus características intrínsecas por el diseño de la tecnología. Además, nuestra aplicación desarrollada permite a personas no expertas en la tecnología aprovechar todas estas características de forma transparente.
- **¿Que ventajas proporciona el uso de la tecnología *blockchain* a la gestión de la cadena de suministro?**

Suministra un mecanismo eficaz para el rastreo de datos en cadenas de suministro complejas. Además, reduce los errores humanos y esclarece las obligaciones y responsabilidades a lo largo de toda la cadena. Si hubiese una interrupción de la cadena en cualquier lugar, esta información sería registrada y suministrada a las partes interesadas.

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

En este artículo hemos desarrollado una DApp, capaz de interactuar con la red *blockchain* de Ethereum, para llevar a cabo la gestión de cadenas de suministro. Más concretamente, nuestra propuesta es capaz de actualizar los posibles estados por los que puede pasar una cadena de suministros.

Nuestra propuesta ofrece una trazabilidad completa de la cadena de suministro desde la creación del contrato hasta que la cadena de suministro se dé por finalizada. Otra de las ventajas provenientes del uso de la tecnología *blockchain* es la inmutabilidad, por lo que, todos los estados que hayan sido registrados en la red, no podrán modificarse ni eliminarse en ningún caso.

Como trabajo futuro, pretendemos llevar a cabo un mapeo sistemático de la literatura sobre aplicaciones blockchain aplicada a ámbitos como la salud o la educación. También planeamos crear una aplicación móvil que permita a cualquier persona poder interactuar con la red blockchain sin necesidad de acceder a la aplicación web. Además, desarrollaremos contratos inteligentes más específicos para las cadenas de suministros implicadas en ámbitos como la salud.

Referencias

1. Ethereum blockchain. <https://www.ethereum.org/>, [Última consulta: 2021-04-27]
2. Truffle suite. <https://www.trufflesuite.com/truffle>, [Última consulta: 2021-04-25]
3. Ananthanarayanan, M., Mishra, R., Chakka, V.: How Integrated Process Management Completes the Blockchain Jigsaw. *Blockchain* pp. 4–7 (2018)
4. Deusto Formación: Ejemplos de cadenas de suministros: Casos de éxito. <https://www.deustoformacion.com/blog/gestion-empresas/ejemplos-cadenas-suministros-casos-exito>, [Última consulta: 2021-04-30]
5. Dolgui, A., Ivanov, D., Potryasaev, S., Sokolov, B., Ivanova, M., Werner, F.: Blockchain-oriented dynamic modelling of smart contract design and execution in the supply chain. *International Journal of Production Research* **58**(7), 2184–2199 (Apr 2020). <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1627439>
6. Drescher, D.: *Blockchain Basics: A Non-Technical Introduction in 25 Steps*. Apress, 1 edn. (2017)
7. Preukschat, A.: *Blockchain: la revolución industrial de internet*. Gestión 2000, 1 edn. (2017)
8. Stadtler, H., Kilger, C., Meyr, H. (eds.): *Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software, and Case Studies*. Springer Texts in Business and Economics, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 5 edn. (2015). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-55309-7>
9. Xu, X., Weber, I., Staples, M.: *Architecture for Blockchain Applications*. Springer International Publishing, Cham (2019). <https://doi.org/10.1007/978-3-03035-3>

Sistema para el muestreo manual de aguacates en plantas hortofrutícolas

Pedro Espejo Zarazaga, Sandra del Pozo Arcos
Guadalupe Ortiz, Tatiana Person y Juan Boubeta-Puig

Máster de Investigación en Ingeniería de Sistemas y Computación
{pedro.espejozarazaga, sandra.delpozo}@alum.uca.es
{guadalupe.ortiz, tatiana.person, juan.boubeta}@uca.es

Resumen. Las múltiples características que presentan las distintas variedades de aguacates, hacen que el proceso de escandallo de esta fruta sea un proceso laborioso y requiera ser realizado siempre manualmente. Es por ello que, tanto la recopilación de datos, como su posterior introducción en los sistemas de gestión de las empresas, se realicen también de manera manual e incluso por diferentes personas. Esto puede ocasionar errores que afectan a la trazabilidad del producto, lo que conlleva una repercusión directa sobre el balance de masas. A día de hoy, no existen soluciones automatizadas que aborden este problema, ya que la clasificación depende de la percepción humana. En este artículo se trata la problemática y se desarrolla el diseño de un sistema hardware y software para digitalizar y automatizar parte del proceso, concretamente, la recopilación y gestión de datos. Gracias al diseño del trabajo propuesto se consiguen datos exactos y fiables en tiempo real sobre la calidad del producto y estadísticas de producción. De esta forma se ha conseguido trasvasar un proceso manual a digital y tener el control del escandallo para realizar liquidaciones a los agricultores más rápidas y ajustadas.

Palabras Clave: Escandallo, Aguacate, Procesamiento de eventos complejos, Clasificación, Internet de las cosas.

1 Introducción

Actualmente, muchas plantas hortofrutícolas cuentan con máquinas especializadas para la clasificación automática de frutas, conocidas comúnmente como calibradores [1]. No obstante, hay que destacar que existen frutas y verduras particularmente difíciles de clasificar, como, por ejemplo, el aguacate, fruta en la que se basa nuestro estudio. Esto se debe a que el aguacate presenta una gran diversidad de formas y colores [2].

La gran cantidad de variedades y sus particularidades hacen que sea muy difícil clasificar esta fruta y requiere utilizar sistemas de clasificación electrónica que dispongan de sofisticados sensores; estos sistemas son los llamados calibradores, mencionados anteriormente.

Este nivel de automatización implica un alto coste de inversión, el cual, no todas las empresas tienen el poder de amortizarlo en un corto espacio de tiempo. Es por ello que

estas empresas se ven obligadas a realizar el proceso de clasificación de forma manual, y por esa razón, los trabajadores tienen que realizar el muestreo de la fruta a mano. Esto, aparte de ser un proceso más largo, puede provocar posibles errores durante la clasificación, generando bastantes problemas en el balance de masas, lo cual afecta a la trazabilidad del producto de manera negativa.

Balance de masa hace referencia a la equivalencia entre las cantidades, de manera que la suma del peso de las materias primas debe ser igual a la suma de pesos de los productos resultantes [3]. Entendemos por trazabilidad a la capacidad de rastrear todos los procesos desde la adquisición de materias primas, hasta la producción, consumo y eliminación, para poder aclarar “cuándo y dónde fue producido qué y por quién”. Ambos conceptos se encuentran estrechamente relacionados en el ámbito industrial.

Además de los métodos de clasificación anteriores, existe una clasificación propia del aguacate realizada posteriormente, que sigue la norma CODEX STAN 197-1995 [4]. Aquí se estipula que los aguacates se clasifican en 3 categorías ordenadas de mayor a menor calidad: extra, primera y segunda.

Este tipo de clasificación se realiza siempre de manera manual, ya que es un proceso que depende de la percepción humana y no existen máquinas capaces de realizarlo. Al realizarse de manera manual se pierde el control de la trazabilidad, ya que todo el proceso de escandallo posterior también ha de realizarse de manera manual.

El escandallo sirve para determinar el coste unitario de producción, que, en el ámbito hortofrutícola, significa cuánto hay que pagar al agricultor según la calidad del producto que ha suministrado. Para ello, se utilizan dos maneras: el escandallo estadístico o el escandallo de partida completa.

Este artículo contribuirá con un sistema hardware y software que permita automatizar el proceso de escandallo de partida completa. Mediante la utilización de sensores, se podrán ir registrando a tiempo real qué aguacates son clasificados en cada una de las categorías de calidad, sin posibilidad de pérdida de información en el recuento del producto.

La información generada por los sensores se recogerá mediante el uso de un bus de servicio empresarial (ESB) y se gestionará mediante tecnologías de procesamiento de eventos complejos (CEP).

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera. En la sección 2 se detalla el *background* de la propuesta. A continuación, en la sección 3, se desglosa la arquitectura utilizada en el sistema, tanto hardware como software. Y, por último, en la sección 4 se describen los resultados finales del trabajo, junto con el presupuesto necesario para su realización e implementación y se proponen los posibles trabajos futuros que puedan optimizar el trabajo propuesto.

2 Tecnologías utilizadas

En esta sección se presentan las principales tecnologías empleadas para la realización de este sistema: Node-RED, herramienta de programación por bloques que permite crear de manera visual relaciones y funciones sin tener que escribir una línea de código [5]; bus de servicios empresariales, la capa intermedia entre las aplicaciones que

permite la comunicación entre ellas, sin importar la heterogeneidad de protocolos y tecnologías [6]; procesamiento de eventos complejos, tecnología que permite procesar eventos en tiempo real de forma continua antes de almacenarlos para identificar eventos significativos o combinaciones de eventos basados en un conjunto de reglas predefinida [7]; MQTT, protocolo de comunicación *machine-to-machine* (M2M) y de mensajería *push* de tipo publicador/suscriptor, basado en las capas estandarizadas TCP/IP como base para la comunicación [8].

En esta propuesta se utiliza Mule (motor de ejecución de Anypoint Studio) como ESB. Mule es un *framework* de mensajería ligera basado en Java y una plataforma de integración que permite a los desarrolladores conectar aplicaciones de forma rápida y sencilla, sin tener en cuenta las tecnologías [9]. Y, como CEP, se utiliza EsperEPL; que es un lenguaje, un compilador y un servidor en tiempo de ejecución para el procesamiento de eventos complejos y el análisis de flujos, ofrece un lenguaje denominado *Event Processing Language* (EPL) que implementa y amplía el estándar SQL, permitiendo realizar expresiones sobre los eventos y el tiempo [10].

3 Arquitectura

En esta sección se explica el desglose de la arquitectura hardware y software empleada.

3.1 Arquitectura Hardware

Los dispositivos físicos que hacen posible el funcionamiento de esta propuesta son: Raspberry Pi 3 [11]; módulo PiFace Digital 2, que aporta relés, interruptores o entradas/salidas digitales y analógicas que permiten la conexión a sensores [12], y fotocélulas de reflexión directa, que se emplean en aplicaciones donde, por espacio, accesibilidad y distancia de detección, resulta imposible colocar un receptor o espejo [13].

En el proceso de clasificación de aguacates, los trabadores disponen de varias tolvas donde se van depositando los aguacates según su categoría: extra, primera, segunda e industria (producto que no cumple ninguna de las categorías de la norma CODEX STAN pero son aptos para el consumo). En estas tolvas se instalarán las fotocélulas que detectarán el paso de los aguacates y generarán un flanco de subida que será captado por la entrada digital de la Raspberry Pi 3.

3.2 Arquitectura Software



Fig. 1. Arquitectura Software

En la Fig. 1, se observa como la Raspberry, a través de una aplicación desarrollada en NODE-RED, se encarga de detectar las señales enviadas por las fotocélulas y transmitirlas mediante el protocolo MQTT al software Mule de AnypointStudio. Este software, además, realiza peticiones periódicas a través de REST:API a NODE-RED para recopilar información del estado del sistema: uso de CPU, temperatura, espacio libre; etc.

Con la información recibida, Mule envía los eventos simples hacia el servidor de EsperEPL, que será el encargado de generar los eventos complejos para que, posteriormente, Mule los procese de la siguiente manera:

- Eventos críticos: generan una alarma y la notifican mediante correo electrónico.
- Eventos de warning: se guardan en el registro de eventos del sistema.
- Eventos de recogida de información: son almacenados en una base de datos.

El uso de CEP en este proyecto es fundamental, ya que nos permite controlar en tiempo real el estado de los dispositivos asegurando que su funcionamiento es correcto y que no van a producir pérdida de información. Por otro lado, CEP da la posibilidad al cliente de poder configurar fácilmente los patrones que quiere utilizar en su sistema. De esta manera puede conocer en todo momento el nivel de calidad de su partida y tomar decisiones en tiempo real.

4 Conclusiones

Esta propuesta destaca por haber conseguido trasvasar un proceso que se realizaba íntegramente de manera manual a digital. Esto supone una mejora en la productividad y ahorro de tiempo y personal, lo que se traduce en un ahorro sustancial de dinero. Otro aspecto a destacar es el bajo coste del sistema hardware, que ha quedado por debajo de los 200 euros por puesto de trabajo, una cifra con un coste realmente bajo para la significativa mejoría que conlleva su implantación. El sistema se ha desarrollado con una combinación de tecnologías libres y open hardware, ampliamente implementadas y bien documentadas. Esto facilitará, que, en un futuro, cualquier desarrollador retome el

proyecto futuro para aumentar las funcionalidades y prestaciones del sistema, o tal vez, integrarla con otro software.

En estos momentos, el desarrollo del sistema se encuentra en las últimas fases de las pruebas de fábrica. Posteriormente a estas, se procederá a instalar el sistema en varias empresas del sector que ubican su fábrica en la comarca de la Axarquía, en la provincia de Málaga, donde se realizarán las pruebas de integración para comprobar su correcto funcionamiento en un entorno real.

Como trabajo futuro se estudiará la posibilidad de utilizar sensores de análisis de imagen, valorando los beneficios que nos pueden aportar para la detección de características del aguacate y qué impacto tendría la utilización de estos sensores en el coste del sistema.

Referencias

1. Calibrado, <https://www.maf-roda.com/es/page/calibrado.php>, last accessed 2021/04/03.
2. Pinto, J., Rueda-Chacón, H., Arguello, H.: Classification of Hass avocado (*persea americana mill*) in terms of its ripening via hyperspectral images. *TecnoLógicas*. 22, 109–128 (2019). <https://doi.org/10.22430/22565337.1232>.
3. Chacón, S.A.: Guía técnica para el balance de masas y otras variables en la industria frutícola, (2007).
4. CODEX: CODEX STAN197. Código de alimentación: Norma de CODEX para el aguacate (*Persea americana*). Organ. la Nac. unidas para la Agric. y la Aliment. FAO. 2–6 (1995).
5. Node-RED, <https://nodered.org/>, last accessed 2021/04/09.
6. Chappell, D.A.: Enterprise service bus. “ O'Reilly Media, Inc.” (2004).
7. What is Complex Event Processing (CEP)? | TIBCO Software, <https://www.tibco.com/reference-center/what-is-complex-event-processing>, last accessed 2021/04/20.
8. MQTT - The Standard for IoT Messaging, <https://mqtt.org/>, last accessed 2021/04/09.
9. What is Mule ESB? | MuleSoft, <https://www.mulesoft.com/resources/esb/what-mule-esb>, last accessed 2021/04/19.
10. Esper - EsperTech, <https://www.espertech.com/esper/>, last accessed 2021/04/20.
11. Buy a Raspberry Pi 3 Model B – Raspberry Pi, <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>, last accessed 2021/04/09.
12. PiFace – PiFace Digital 2, http://www.piface.org.uk/products/piface_digital_2/, last accessed 2021/04/09.
13. CONTAVAL, <https://www.contaval.es/que-tipos-de-sensores-fotoelectricos-existen/>, last accessed 2021/04/09.

Desarrollo de un Sistema de Posicionamiento Híbrido para Fábricas Inteligentes basado en el Internet de las Cosas

Andrés Millán-Alcaide, Angel Ruiz-Zafra y Guadalupe Ortiz

Departamento de Ingeniería Informática. Universidad de Cádiz, Cádiz, España.
`{andres.millan, angel.ruiz, guadalupe.ortiz}@uca.es`

Resumen Los sistemas de posicionamiento son una de las soluciones más demandadas en las fábricas inteligentes (*Smart Factories*) en el marco de la llamada Industria 4.0 y soportados principalmente por el concepto de Internet de las Cosas (*Internet of Things*). Este tipo de sistemas permiten la monitorización y seguimiento en tiempo real de los activos y del personal, aportando numerosos beneficios como la optimización en las tareas de reubicación o la reasignación de tareas en tiempo real. Sin embargo, las fábricas inteligentes son entornos peculiares, y los sistemas de posicionamiento tradicionales probados en otros escenarios (edificios inteligentes, oficinas, centros comerciales), apoyados en tecnologías comúnmente utilizadas (WiFi, Bluetooth) y técnicas de posicionamiento bien probadas (*fingerprinting*, K-NN) pueden no funcionar como deberían en un escenario industrial. Características como el tipo de material y la distribución del espacio pueden afectar negativamente a la precisión esperada del sistema de posicionamiento. De este modo, se deben abordar varias cuestiones y retos que se presentan en este tipo de escenarios. Este artículo presenta una investigación aún en curso que propone un enfoque para abordar el desarrollo de un Sistema de Posicionamiento Híbrido (interior y exterior) en entornos industriales como pueden ser el de la automoción o la aeronáutica. Se presenta una metodología compuesta por varias etapas donde se explica lo que se debe abordar en cada una de ellas para desarrollar y desplegar, con éxito, un Sistema de Posicionamiento Híbrido. La metodología comienza con el análisis de requisitos, donde se incluye el *know-how* de expertos industriales, y concluye con el despliegue del sistema de posicionamiento, analizando también las características industriales a incluir, la recomendación de la tecnología utilizada y también el uso de simulaciones.

Palabras claves: Internet de las Cosas · Industria 4.0 · Internet de las Cosas Industrial · Sistemas de posicionamiento híbrido · Fábricas inteligentes

1. Introducción

En la actualidad, el Internet de las Cosas (IoT) es una de las tendencias tecnológicas más destacadas que han surgido en los últimos años, permitiendo

la interconexión de entornos de dispositivos a través de redes dedicadas y otras tecnologías necesarias [1]. Como tecnología demandada, el IoT se está aplicando en muchos ámbitos diferentes, como la sanidad, la agricultura, los edificios inteligentes y, por supuesto, la fabricación inteligente [2].

Las fábricas inteligentes (también conocidas como *Smart Factories*) son la piedra angular de la cuarta revolución industrial (Industria 4.0), un término y concepto acuñado en 2011 para promover la informatización completa de la fabricación (digitalización) con el objetivo de potenciar y fomentar la automatización, mejorar las comunicaciones y el autocontrol, y la producción de máquinas inteligentes sin necesidad de intervención humana [3].

La Industria 4.0 se hizo pública durante la Feria de Hannover en 2011 [3]. Este paradigma se relaciona actualmente con el despliegue de Fábricas Inteligentes, que están hechas para ofrecer eficiencia y flexibilidad en la producción.

Así pues, la Industria 4.0 se basa en varias tecnologías habilitadoras, entre las que destacan: la computación en la nube, la visión artificial, el Big Data, la ciberseguridad y el IoT [4]. Aunque estas tecnologías son cruciales para permitir la fabricación inteligente, el IoT destaca especialmente por ser la tecnología que permite proporcionar información fiable relacionada con el entorno industrial a través de la recogida de los diferentes dispositivos integrados en el ecosistema de una fábrica inteligente. Por ejemplo, sensores/actuadores ambientales, dispositivos integrados basados en IoT en las máquinas de fabricación. Así, el IoT aplicado en la Industria 4.0 ha dado lugar a un área específica de investigación y aplicación denominada *Industrial Internet of Things* (IIoT) [5]. La Industria 4.0 y el IIoT van de la mano en lo que a objetivos se refiere. Podría decirse que la IIoT forma parte de las tecnologías de la Industria 4.0, así como de otras.

El IIoT es crucial en la fabricación inteligente al ser la tecnología que permite la recogida automática y fiable de datos, permitiendo así llegar a implementar otras funcionalidades requeridas, como una mejor gestión de la seguridad, la ciberseguridad, las operaciones totalmente autónomas, las herramientas analíticas avanzadas y tecnologías móviles [6]. Una de las primeras iniciativas de IIoT se pudo ver en [7]. Sin embargo, IIoT es un campo aún por explotar, existiendo numerosos retos por abordar y solucionar, como pueden ser la estandarización del IIoT, la eficiencia energética, el rendimiento en tiempo real y la interoperabilidad, entre otros [8].

Uno de estos retos, y a la vez una funcionalidad muy deseada en los entornos industriales por los beneficios que ofrece es la capacidad de posicionar activos y personal [9]. Esto permite alcanzarse por los llamados Sistemas de posicionamiento en interiores o Sistemas de Localización en Interiores (*Indoor Positioning Systems* (IPS) - *Indoor Location Systems* (ILS)), que permiten un posicionamiento de alta precisión y dimensión en entornos interiores [10]. Además, el uso de los servicios proporcionados por los IPS junto con el uso de *Outdoor Positioning System* (OPS) (por ejemplo, basado en *Global Positioning System* (GPS)) da lugar a *Sistemas de Posicionamiento Híbrido* (en adelante HPS), permitiendo la localización integral de activos y personas en complejos entornos industriales industriales [11].

Por otro lado, el diseño, desarrollo y despliegue de un HPS es complejo, ya que deben abordarse varios desafíos y cuestiones. En primer lugar, hay una amplia gama de tecnologías basadas en el IoT que son adecuadas para un HPS, y la elección de las tecnologías, en función del escenario de fabricación inteligente, es crucial. Por ejemplo, el tipo de red debe seleccionarse cuidadosamente debido a las restricciones en los entornos industriales, en función de los parámetros de la red, como el rango de frecuencia, el rango físico, el tamaño de la carga útil, el tiempo de respuesta, etc. Además de los desafíos relacionados con la tecnología IoT, también hay cuestiones de software, como el uso del algoritmo, la técnica o el procedimiento adecuado para determinar con precisión la posición de un objeto (por ejemplo, *Fingerprinting*, *k-Nearest Neighbors (K-NN)*, filtrado de Kalman, modelos probabilísticos) [12].

En esta revolución del IoT, las *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) se hicieron muy populares debido a su excelente rendimiento en muchas aplicaciones industriales de IoT [13]. Estas tecnologías dejaron atrás los protocolos de redes de área personal inalámbricos (WPAN) utilizados anteriormente, como el IEEE 802.11 o el IEEE 802.15, como red de área local inalámbrica (WLAN) [14]. Los protocolos LPWAN tratan de minimizar el efecto del ruido en la red, causando interferencias y pérdidas de paquetes [15]. Un ejemplo de protocolo LPWAN robusto y eficiente es LoRaWAN [16].

En segundo lugar, las fábricas inteligentes son entornos peculiares debido a los procesos de fabricación que se llevan a cabo. Por ejemplo, los materiales utilizados en la propia fábrica (paredes, zonas) y en algunos activos industriales pueden variar con respecto a entornos más convencionales (p.e., un edificio de oficinas inteligente), donde varios problemas (por ejemplo, la propagación multirayecto y el ruido debido a los entornos metálicos) pueden modificar el estado de la señal y conducir a errores en los sistemas de posicionamiento [15]. Por ello, se han de tener en cuenta diversos parámetros intrínsecos al entorno como son: frecuencia de la señal, distancia entre los puntos de acceso o la composición de los materiales. De este modo, los enfoques tradicionales apoyados en la tecnología y las técnicas comúnmente utilizadas (por ejemplo, WiFi, Bluetooth, técnicas básicas de huellas dactilares) no son la opción más adecuada para desplegar un HPS en una fábrica inteligente. Por lo tanto, la forma de diseñar, desarrollar y desplegar un HPS adaptable en una fábrica inteligente, en relación con su área de aplicación, sigue siendo un reto para los socios industriales, así como para los investigadores [17].

En este artículo se presentan los primeros resultados preliminares de una investigación aún en curso sobre este reto, es decir, el diseño, desarrollo y despliegue de un HPS en entornos industriales. Como resultados preliminares, se presenta una metodología para describir las diferentes etapas necesarias, comenzando por el análisis de los requisitos y concluyendo con la validación de la propuesta a través de una Prueba de Concepto (PoC) *in-the-wild*. A través de la metodología, se identifican los diferentes retos y problemas que se presentan, de acuerdo con la retroalimentación proporcionada por los socios industriales, así como una profunda revisión de la literatura.

2. Metodología e Hipótesis de Trabajo

En el diseño y despliegue de un HPS se presentan muchos retos y problemas diferentes. La forma de abordar estos retos y desafíos es crucial, y las tareas relacionadas deben llevarse a cabo correctamente, donde el orden así como la ejecución son importantes.

De este modo, esta sección introduce la metodología propuesta para describir las principales etapas y tareas que deben ser abordadas para diseñar, desarrollar y desplegar, con éxito, un sistema de posicionamiento híbrido para fábricas inteligentes utilizando tecnología basada en IoT.

La metodología, representada en la Figura 1, se divide en cuatro etapas o fases diferentes. A lo largo de las distintas etapas se llevan a cabo varias tareas y el resultado de cada una de ellas es la información de entrada necesaria para la siguiente.

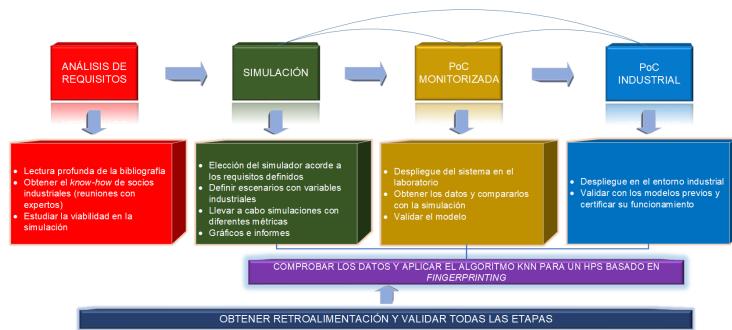


Figura 1. Metodología propuesta para el desarrollo de un HPS basado en la industria 4.0.

Análisis de Requisitos

Esta primera etapa se centra en la recopilación de los requisitos con el objetivo de conocer la viabilidad de la propuesta así como los retos tecnológicos que conlleva. Esto se hace mediante una profunda revisión de la literatura y la celebración de reuniones con expertos para obtener los conocimientos científico-técnicos de la materia en cuestión.

Simulación

Con los requisitos especificados, se aborda una investigación para determinar la propuesta de un nuevo sistema HPS. Debido a la amplia gama de tecnologías y técnicas disponibles para los sistemas de posicionamiento en interiores/exteriores, se pueden proponer muchas soluciones diferentes. Con el fin

de determinar la solución más adecuada para el escenario en cuestión (fábricas inteligentes), se diseña un escenario específico limitado por los requisitos y se realizan varias simulaciones para probar diferentes propuestas mediante herramientas adecuadas (software). El objetivo principal es obtener resultados prometedores en términos de precisión del sistema de posicionamiento en la fábrica inteligente.

Prueba de Concepto

Esta sección engloba las dos últimas etapas. Como en cualquier otro experimento o prueba realizada, el éxito del escenario de simulación y de la propuesta lleva a intentar validar (parcialmente) el sistema mediante una PoC. Primero de todo, en un entorno aislado (laboratorio) y, una vez validada la propuesta, desplegar la PoC en una fábrica inteligente real, comprobando los resultados (precisión, eficiencia, robustez, etc.).

3. Conclusiones y Trabajo Futuro

El despliegue de un HPS en entornos industriales (por ejemplo, fábricas inteligentes) es complejo, y las tecnologías, técnicas y enfoques tradicionales pueden no encajar en este ámbito debido a las características distintivas que presentan estos escenarios, como pueden ser la frecuencia de la señal, la distancia entre los puntos de acceso o cómo la composición de los materiales afecta a la intensidad de la misma. De este modo, el diseño, desarrollo y despliegue de un HPS implica el tratamiento de muchos retos y cuestiones particulares, donde es importante definir las etapas necesarias y las tareas relacionadas para desarrollar una sistema de posicionamiento con resultados fiables y precisos.

En este trabajo se aborda este hecho proponiendo una metodología que describe, a través de cuatro etapas diferentes, qué características y requisitos deben ser considerados en el desarrollo de un HPS en entornos industriales, así como las tareas relacionadas que deben llevarse a cabo para cumplir con dicho objetivo. La metodología comienza con un análisis de requisitos de los escenarios industriales y concluye con la necesidad de una PoC desplegada en el escenario industrial, pasando por simulaciones y pruebas realizadas.

La propuesta descrita hasta ahora en este documento se encuentra todavía en una fase inicial. Actualmente, se ha completado la etapa uno (Análisis de Requisitos) concluyendo, como uno de los resultados de esta etapa, el uso de LoRaWAN como una de las tecnologías más adecuadas para desarrollar un HPS en escenarios industriales, frente a tecnologías comunes como WiFi y Bluetooth.

Actualmente se está trabajando en la segunda etapa (Simulación) como en la tercera concurrentemente (PoC monitorizada), investigando sobre la construcción de un conjunto de simulaciones para su posterior análisis en entornos reales y elaborando pequeñas pruebas reales en entornos no complejos. Por lo tanto, en cuanto a los trabajos posteriores, se incidirá en las etapas restantes, abordando y desarrollando tanto el PoC en un entorno controlado (p.e. laboratorio) así como en un entorno real (p.e. fábrica), una vez que las simulaciones sean completadas.

Referencias

1. Daniele Miorandi, Sabrina Sicari, Francesco De Pellegrini, and Imrich Chlamtac. Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad hoc networks*, 10(7):1497–1516, 2012.
2. Luigi Atzori, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15):2787–2805, 2010.
3. Wolfgang Wahlster Henning Kagermann, Wolf-dieter Lukas. Announcement of the Industrie 4.0 project in the 2011 Hannover fair. <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/produktion/industrie-4.0-mit-internet-dinge-weg-4-industriellen-revolution/>. Accessed: 2020-12-01.
4. Alejandro Germán Frank, Lucas Santos Dalenogare, and Néstor Fabián Ayala. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210:15–26, 2019.
5. Alasdair Gilchrist. *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Springer, 2016.
6. John Conway. The industrial internet of things: an evolution to a smart manufacturing enterprise. *Schneider Electric*, 2016.
7. Li Da Xu, Wu He, and Shancang Li. Internet of Things in Industries: A survey. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 10(4):2233–2243, 2014.
8. Emiliano Sisinni, Abusayeed Saifullah, Song Han, Ulf Jennehag, and Mikael Gidlund. Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(11):4724–4734, 2018.
9. Detlef Zuehlke. Smartfactory—towards a factory-of-things. *Annual reviews in control*, 34(1):129–138, 2010.
10. Rainer Mautz. Overview of current indoor positioning systems. *Geodezija ir kartografija*, 35(1):18–22, 2009.
11. Lionel Reyero and Gilles Y Delisle. A pervasive indoor-outdoor positioning system. *J. Networks*, 3(8):70–83, 2008.
12. Zain Bin Tariq, Dost Muhammad Cheema, Muhammad Zahir Kamran, and Ijaz Haider Naqvi. Non-gps positioning systems: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 50(4):1–34, 2017.
13. Usman Raza, Parag Kulkarni, and Mahesh Sooriyabandara. Low power wide area networks: An overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2):855–873, 2017.
14. Hugh Boyes, Bil Hallaq, Joe Cunningham, and Tim Watson. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in industry*, 101:1–12, 2018.
15. Faheem Zafari, Athanasios Gkelias, and Kin K Leung. A survey of indoor localization systems and technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(3):2568–2599, 2019.
16. Bharat S Chaudhari, Marco Zennaro, and Suresh Borkar. LPWAN technologies: Emerging application characteristics, requirements, and design considerations. *Future Internet*, 12(3):46, 2020.
17. You Li, Yuan Zhuang, Xin Hu, Zhouzheng Gao, Jia Hu, Long Chen, Zhe He, Ling Pei, Kejie Chen, Maosong Wang, et al. Location-Enabled IoT (LE-IoT): A survey of positioning techniques, error sources, and mitigation. *arXiv preprint arXiv:2004.03738*, 2020.

Tecnologías y Arquitecturas de Servicio para Smart Cities

Moisés Guerrero López, Guadalupe Ortiz Bellot, Tatiana Person Montero y Juan Boubeta Puig

Máster de Investigación en Ingeniería de Sistemas y Computación
Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Cádiz
moises.guerrerolopez@alum.uca.es

Resumen. Investigamos el funcionamiento de las *Smart Cities* enfocándonos en las tecnologías orientadas a servicio que hacen posible su funcionamiento con el propósito de comparar algunos de sus servicios con las diversas tecnologías estudiadas. Para poder realizar esta comparación establecemos algunas secciones que consideramos esenciales para una *Smart City*, alumbrado, riego, calidad del aire y niveles de ruido, y comparamos distintos trabajos relacionados con estas secciones para orientarnos en cómo es el funcionamiento de los dispositivos de las distintas secciones y cómo clasificar los datos recogidos por los dispositivos.

Palabras claves: Smart City, SOA, Alumbrado, Riego, Calidad del aire, Nivel de ruido

1 Introducción

En los últimos años las ciudades han crecido masivamente en población siendo cada vez más difícil controlar y monitorizar todos los servicios que ofrece. Como método para facilitar esta tarea se usaron diversos sensores y electrónica con el que recoger datos y usarlos para manejar los servicios. Ciudades que hacen un uso masivo de estos aparatos y sistemas electrónicos se les llama *Smart City*. Sin embargo, estas ciudades no tienen tan sencillo administrar los datos recogidos. Cada conjunto de sensores recoge los datos de manera distinta, lo cual requiere un procesado para poder ser usado y sus sistemas requieren de datos de otros sistemas, la gran mayoría de estos sin interacción humana de por medio. Para tratar este problema existen las tecnologías y arquitecturas de servicios (SOA).

Se trata de una arquitectura orientada a servicios de la información en la que sus servicios se proveen a otros componentes de la arquitectura mediante protocolos de comunicación en la web. Este tipo de arquitecturas facilitan la interacción e implementación de distintos sistemas y tecnologías, permitiendo trabajar en entornos heterogéneos y reducir costes. Este tipo de sistemas y tecnologías pueden ser protocolos de envío de mensajes, transformadores de datos, códigos en un lenguaje de programación, servicios de bases de datos o servicios web. Muchas de estas se pueden conseguir de forma abierta y son sencillas de utilizar.

Los sistemas en los que estamos interesados son los de los siguientes ámbitos:

- **Alumbrado:** Para el control del alumbrado publico tanto exterior como interior.
- **Riego:** Para suministrar agua a los arboles y plantas tanto en los parques como en las calles según las necesidades de cada tipo de planta.
- **Calidad del aire:** Controlar los elementos del aire sobre todo en áreas urbanas.
- **Niveles de ruido:** Controlar niveles de ruido en áreas urbanas.

El objetivo de nuestro trabajo futuro es desarrollar un sistema en los mismos ámbitos que hagan uso de la tecnología ESB *Mule* de *Mulesoft*[3] junto diversos componentes de este servicio, el lenguaje CEP *Esper*[6], el protocolo de mensajería *RabbitMQ*, *ThingSpeak* para publicar los datos obtenidos y un simulador en *Java* con el que simular los datos y probar el sistema.

2 Trabajos relacionados

En esta sección trataremos los trabajos relacionados en las cuatro categorías que establecimos previamente:

2.1 Alumbrado

El enfoque de sistemas de alumbrado en *Smart City* es reducir el consumo eléctrico, tanto en alumbrado exterior como interior. En el trabajo *IoT-enabled smart lighting systems for smart cities*[8] se establecen dos posibles escenarios:

- Interior: Se enfoca en el interior de edificios públicos y su principal función es establecer la intensidad de la luz en función de las necesidades de lugar. *Sikder et al.* propone una serie de lamparas con sensores de luz posicionadas en lugares con luz natural mediante ventanas en la que dependiendo de la intensidad de la luz natural, las lamparas se enciendan y ajusten su intensidad según lo requerido. En sus pruebas pudieron ahorrar entre un 20% y 33%.
- Exterior: En cuanto a alumbrado público exterior, estos dispositivos tienen un consumo mayor y se basan en un esquema de cambio de tiempo que se enciende o apaga cada 10 o 12 horas. El escenario que plantean es un calle larga con 100 farolas con sensores de luz cada 20 metros en la que se establece un tiempo de funcionamiento de 18 horas, de 6 pm a 12 am. En función de la intensidad de la luz, tanto de la luz natural como de la que se genera por el resto de farolas, se establece la intensidad de luz de las farolas y en la madrugada, donde hay menos personas, cámaras que funcionan como sensores de movimiento para detectar si el origen del movimiento requiere que se enciendan las luces y así reducir aun más el consumo. Además de contar con placas solares para generar energía y ser más sostenible. En sus pruebas pudieron reducir el consumo alrededor del 33%.

Para nuestro trabajo futuro vemos más interesante tratar el escenario exterior, ya que el escenario interior tiene muy pocas variables a tener en cuenta, mientras que el exterior posee las mismas junto a un panel solar, que nos otorga más campos con los que trabajar en la simulación.

2.2 Riego

En *IoT Based Smart Irrigation Monitoring And Controlling System*[7] plantean usar una serie de sensores temperatura y humedad del ambiente, sensores para la humedad del suelo y para medir la capacidad del tanque de agua para el riego, de forma que no haya interacción humana para medir estos valores. Debido a que la localización de estos sensores haría peligrar el cableado se decidió por una opción inalámbrica que envía los datos a un nodo maestro, él cual los reenvía a un sistema en la nube que se encargará de la toma decisiones en función de los datos. Una placa *Arduino* se encarga de regular los valores controlando el subsistema de riego. En cambio, *Conceptual Model for Smart Cities: Irrigation and Highway Lamps using IoT*[9] decide no hacer uso de un sistema en la nube y en su lugar utilizar un software creado por ellos, junto a una serie de sensores y microcontroladores con el que poder monitorizar y controlar automáticamente o manualmente el riego de plantas en carreteras.

Nuestro enfoque no será tan complejo como el de estos dos ejemplos, aunque sí tomarán de ejemplo el tipo de sensores usados en estos dos proyectos.

2.3 Calidad del aire

Observando algunos trabajos[5, 4] vemos un nuevo y novedoso sistema de medición de calidad del aire llamado *AirSense*, el cual reduce coste de instalación y ofrece mejores resultados. Este hace uso de smartphones de distintos usuarios para medir la calidad del aire y enviarla para ser procesada en la nube, haciendo uso de técnicas de *crowdsensing*. Este sistema esta formado por el servicio en la nube, la aplicación móvil y el dispositivo AQMD. Los dispositivos AQMD (*Air Quality Monitoring Device*) se trata un dispositivo que engloba todos los componentes necesarios para la monitorización del aire, sensores, microcontrolador, dispositivo de comunicación y batería, y así facilitar su instalación. Estos sistemas están formados por cuatro capas, que de menor a mayor son:[2]

1. Detección de multitudes: Se trata del conjunto de multitudes del que se extraen los datos para *AirSense* y además son los usuarios que consumen su servicio.
2. Detección de la calidad del aire: Trata los datos y les da un formato para su envío.
3. Reenvío de datos: Se encarga del reenvío de datos. De esta tarea se encargan los *Smartphones*, ya que para monitorización primero se envían a dispositivos móviles y después son enviados a la central, que puede ser en la nube o local.

4. Análisis de datos: Se encarga del almacenamiento y análisis de datos. Los resultados son enviados a la capa 1 a través de la capa 3.

Es muy común contratar estos servicios de una empresa externa, aunque también es posible crear tu propio sistema[2, 5, 4]. En nuestro enfoque estudiaremos una arquitectura de medición de calidad del aire mediante *crowdsensing* de un modo similar a Airsense[5, 4].

2.4 Niveles de ruido

La gestión de ruido en las *Smart Cities* han avanzado considerablemente en los últimos años gracias al abaratamiento de los sensores. La principal estrategia para la monitorización de ruido es el mapeo de ruido de las ciudades mediante sensores WASN(*Wireless Acoustic Sensor Networks*), los cuales facilitan mucho la generación dinámica de mapas y se pueden integrar fácilmente en otros sistemas. Además, los datos recogidos se usan en sistemas de clasificación para clasificar el ruido según tipo y/o origen. De esta forma es más sencillo establecer medidas para el controlar el ruido[1].

Nosotros relacionaremos los niveles de ruido con la calidad del aire, de forma que no aplicaremos nada de la generación dinámica de mapas y solo nos enfocaremos en la relación de estas dos características de tal forma que podamos asociar la calidad del aire a la cantidad de tráfico en la zona o si es debido a otra fuente de polución.

3 Conclusiones

Gracias a este trabajo se ha podido comprender un poco mejor como funcionan estas grandes ciudades, así como de las herramientas que lo hacen posible. En nuestra pequeña comparación se ha podido comprobar, a menor escala, la cantidad de datos que manejan las *Smart Cities* y como las estructuras SOA facilitan esta tarea. Destacamos sobre todo la aplicación ESB, *Mulesoft* que permite conectar los componentes fácilmente, pudiendo comunicarse entre sí, junto al motor Esper, que facilita la detección de eventos en los datos, reduciendo significativamente la lógica necesaria para la detección de patrones.

References

1. Alías, F., Alsina-Pagès, R.M.: Review of wireless acoustic sensor networks for environmental noise monitoring in smart cities. *Journal of sensors* 2019 (2019)
2. Braem, B., Latré, S., Leroux, P., Demeester, P., Coenen, T., Ballon, P.: Designing a smart city playground: Real-time air quality measurements and visualization in the city of things testbed. In: 2016 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2). pp. 1–2. IEEE (2016)

3. Brebner, P.: Service-oriented performance modeling the mule enterprise service bus (esb) loan broker application. In: 2009 35th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications. pp. 404–411. IEEE (2009)
4. Dutta, J., Chowdhury, C., Roy, S., Middya, A.I., Gazi, F.: Towards smart city: sensing air quality in city based on opportunistic crowd-sensing. In: Proceedings of the 18th international conference on distributed computing and networking. pp. 1–6 (2017)
5. Dutta, J., Gazi, F., Roy, S., Chowdhury, C.: Airsense: Opportunistic crowd-sensing based air quality monitoring system for smart city. In: 2016 IEEE SENSORS. pp. 1–3. IEEE (2016)
6. Mathew, A.: Benchmarking of complex event processing engine-esper. Tech. rep., IIT Bombay, Department of Computer Science and Engineering (2014)
7. Saraf, S.B., Gawali, D.H.: IoT based smart irrigation monitoring and controlling system. In: 2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT). pp. 815–819. IEEE (2017)
8. Sikder, A.K., Acar, A., Aksu, H., Uluagac, A.S., Akkaya, K., Conti, M.: IoT-enabled smart lighting systems for smart cities. In: 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). pp. 639–645. IEEE (2018)
9. Solanki, V.K., Venkatesan, M., Katiyar, S.: Conceptual model for smart cities: Irrigation and highway lamps using iot. IJIMAI 4(3), 28–33 (2017)

Monitorización de Hogares Unipersonales con Necesidades Especiales

María José Agraso¹, Francisco Carmona²
Guadalupe Ortiz¹, Tatiana Person¹ y Juan Boubeta-Puig¹

¹ Escuela Superior de Ingeniería, Universidad de Cádiz, Cádiz, España
`{mariajose.agraso,guadalupe.ortiz,tatiana.person,juan.boubeta}@uca.es`

² Grupo Energético de Puerto Real S.A., Cádiz, España
`{francisco.carmona@grupoenergetico.es}`

Resumen Los ingresos en centros geriátricos están aumentando debido al envejecimiento que experimenta la población. En muchos casos, estos se producen por el miedo a vivir solo. También, personas con discapacidad sufren esta situación renunciando a una vida autónoma. Para paliar este problema, existen soluciones que monitorizan los niveles de salud de las personas por medio de sensores. Estas soluciones, además de ser más costosas al requerir de sensores propios, gestionan datos de salud que tienen la máxima protección legal. Todas estas circunstancias hacen que los autores propongan un sistema capaz de descubrir situaciones de riesgo vital mediante la combinación de técnicas de procesamiento de eventos complejos, el estudio de patrones de comportamiento y el uso de la sensórica comercial disponible en el hogar conectado. Esta solución aporta mayor sensación de seguridad a este tipo de personas sin invadir su intimidad y sin tener que tratar datos de salud. Así pues, se conseguirían los resultados esperados sin intrusión, manejando datos anonimizados y de manera más económica.

Keywords: Hogar inteligente, Hogar conectado, Dependencia, Internet de las cosas, Procesamiento de eventos complejos, Cuidado de mayores

1. Introducción

España ha rebasado el umbral de los dos millones de mayores de 65 años que viven solos [9]. Muchos de estos mayores no quieren ingresar en una residencia geriátrica, pero a la vez tienen una sensación de inseguridad que también sufren sus cuidadores. Es un caso similar al de personas con algún grado de discapacidad que pueden y desean ser autónomas pero que, a su vez, precisan de un sistema que les proporcione seguridad en caso de emergencia alertando a sus cuidadores en caso necesario.

Asimismo, el vertiginoso recorrido que la tecnología hiperconectada ha experimentado en la última década posibilita dotar de soluciones que tiempo atrás no eran factibles y que permiten a este tipo de personas mantener su autonomía y su independencia. De esta forma, la tecnología permite monitorizar patrones de comportamiento que pueden anteceder, predecir o detectar una situación

peligrosa para la persona y activar algún tipo de alarma sin precisar ninguna interacción humana. También, esta tecnología permite, sensorizar el hogar de una persona y determinar situaciones de riesgo.

No obstante, estas soluciones, para ser completas desde un punto de vista no solo legal sino también ético, deben preservar la intimidad de la persona y ser de carácter no intrusivo, aunque sea a costa de tener menor precisión, a priori, en la detección de los diferentes estados y alarmas que se puedan generar en relación con la actividad de una persona que decida ser monitorizada.

Actualmente, el mercado ofrece soluciones con elementos software y hardware específicos y programados expresamente para la monitorización de personas [2,4]. Estas soluciones se basan en la medición de parámetros de salud para garantizar el buen estado de una persona. Lanzan, por tanto, eventos de alerta en cuanto dicha persona deja de tener unos niveles de salud normales. Este tipo de sistemas están fuertemente indicados para personas con un perfil de salud delicada y con fuerte grado de dependencia. El balance entre el beneficio que se logra con respecto a la pérdida de intimidad que supone exponer sus datos personales de nivel alto es aceptable. El problema es aplicar este tipo de soluciones de una forma universal a cualquier persona sin tener en cuenta su grado de dependencia o nivel de salud. Es en este escenario en donde la balanza entre beneficios e intimidad no sólo no es la adecuada, sino que, claramente, supone un riesgo evidente, ya que se ponen en manos de terceros datos de salud en situaciones no justificadas. Además de lo anterior, estos productos suponen a los sistemas nacionales de salud un elevado costo [2] por lo que, nuevamente, hay que plantearse cuándo este tipo de sistemas son también eficientes desde el punto de vista coste/beneficio.

Esta propuesta, centrará su contribución en facilitar, a través de la tecnología de Internet de las cosas o *Internet of Things* (IoT) comercial, un servicio de carácter público para mantener la autonomía de las personas, tener una correcta conciliación de la vida personal y profesional del cuidador, así como mantener el derecho a la intimidad del dato, ya que se lograrán generar alarmas sin tener que recurrir a patrones de comportamiento que sean intrusivos. Incluso, estos patrones se podrían personalizar para que el sistema se adapte mejor al perfil y necesidad concreta de la persona a monitorizar.

El resto del artículo se estructura como sigue. En la Sección 2 se analizan los trabajos relacionados y en la Sección 3 se explica la propuesta de la solución. Por último, en la Sección 4 se presentan las conclusiones.

2. Trabajos Relacionados

Los primeros sistemas que se acercaban al concepto de monitorización lo hacían desde el punto de vista de la telemedicina. De esta forma los primeros trabajos modernos que experimentaban la monitorización de personas mayores [7] lo hacían invadiendo al usuario con infinidad de sensórica y de aparataje tecnológico “*ad hoc*”. Las propuestas actuales se acercan al concepto de universalización desplegando redes IoT más accesibles. Gonzalez-Usach [8] presenta en 2018 un estudio sobre un sistema inteligente de código abierto que tiene como objeti-

vo monitorizar hogares y residencias inteligentes. Para ello emplea sensores que envían los datos a un sistema centralizado que los analiza y toma decisiones sobre diferentes actuadores. En contraposición a estas, existen otras propuestas más clásicas, y que quedan fuera completamente de la automatización y detección de situaciones de emergencias, como son los sistemas de teleasistencia [10]. Otras propuestas basadas en la robótica [6], persiguen monitorizar a las personas desde el punto de vista de facilitar la labor al cuidador y presuponen su ámbito de actuación en una residencia. La academia también está proponiendo soluciones de aplicación centradas en la monitorización de personas en el hogar. Algunas incluso pretenden utilizar elementos IoT del hogar conectado [1], pero nuevamente relacionan estos con pulseras que miden y trasladan datos de salud del paciente monitorizado. Como se observa, al contrario que lo que persigue el sistema que se verá a continuación, las soluciones actuales inciden en la idea de utilizar sensórica “*ad hoc*” (mayores costos) y que monitoriza directamente parámetros de salud (menor privacidad).

Por último, las propuestas de futuro basadas en las Smart Grids proporcionan datos tanto a las empresas distribuidoras de electricidad como a los consumidores. En base a estos datos, existen propuestas que desagregan el consumo por tipo de aparato, de tal manera que podría establecer patrones de comportamiento. En este sentido, aparecen trabajos [5] que defienden la adopción de los sistemas NILM (Non-Intrusive Load Monitoring) sobre redes de energía eléctrica.

3. Propuesta

Este trabajo propone un sistema que utiliza la sensórica comercial desplegada en el hogar como fuente de datos. Para ello, hará uso de las APIs y servicios publicados por Amazon Alexa o Google Home con el fin de acceder a los sensores desplegados en el hogar de forma normalizada, de tal manera, que el sistema solo se relacionará con el asistente virtual. En este sentido, y centrándose el análisis previo en las soluciones de Amazon, el sistema se relacionaría con el servicio denominado AWS IoT Core [3], que es una plataforma IoT compatible con los protocolos de comunicación estándar (HTTP, MQTT, WebSockets y LoRaWAN). La comunicación está protegida con TLS. AWS IoT Core proporciona un gateway que permite una comunicación bidireccional, de baja latencia y baja sobrecarga entre dispositivos conectados, la nube y las aplicaciones móviles. Por último, AWS IoT permite la integración de Alexa.

Estos datos, a través de un topic MQTT desplegado en el elemento MULE ESB se transferirán a la capa de servicios en donde se procesarán para establecer patrones de comportamiento en base al análisis de eventos complejos que sirvan de actuadores del sistema. Previamente, se habrán definido los patrones mediante el elemento Medit4CEP generando un fichero EPL que se incluirá en el motor CEP ESPER a través de MULE ESB. Si se detecta algún patrón que suponga un riesgo, la capa de servicios la notificaría a los cuidadores. La arquitectura se detalla en la fig. 1.



Figura 1. Arquitectura del sistema

4. Conclusiones

La propuesta, a través del uso de la sensórica IoT presente en las soluciones comerciales del hogar conectado, logra desarrollar una solución que interpola de manera compleja los eventos que se producen en la rutina del hogar. De esta forma, determina si existe una situación de riesgo sin ser invasivos con la intimidad. Así pues, el sistema responde a las necesidades de los hogares unipersonales de personas mayores o dependientes de una forma no invasiva con su intimidad y a través de dispositivos comerciales, lo que universaliza el acceso a este servicio de una manera más económica y menos intrusiva.

Referencias

1. Coronavirus: Investigadores de la UJA desarrollan un sistema de monitorización para personas mayores en el hogar. <https://bit.ly/3obzyUV>, accedido 2021-04-09
2. 'Gadgets' para mayores: qué tecnología necesitas tener si ya pasas de los 65 años. <https://bit.ly/3boBtAi> (2018), accedido 2021-05-13
3. AWS IoT Core. <https://aws.amazon.com/es/iot-core/faqs/> (2021), accedido 2021-06-05
4. Abrahms, S.: Tecnologías para monitorear y cuidar ancianos a distancia. <https://bit.ly/3w57y8i> (2021), accedido en 2021-05-13

5. Alcalá Orzáez, J.M.: Non-intrusive load monitoring techniques for activity of daily living recognition. Ph.D. thesis, Universidad de Alcalá, <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/41536> (Feb 2017)
6. Bandera Rubio, A.J.: ARMORI: Asistente Robótico para la MOnitorización de personas mayores en Residencias Inteligentes | Andalucía Tech US. <https://bit.ly/2RTdfXN>, accedido 2021-04-09
7. García, J., del Pozo, A.: Seguimiento de personas mayores en espacios asistidos para la vida independiente. pp. 1–6 (2010)
8. Gonzalez-Usach, R., Yacchirema, D., Collado, V., Palau, C.: Interoperability, Safety and Security in IoT. In: Interoperability, Safety and Security in IoT. Springer International Publishing
9. INE: Número de hogares unipersonales por comunidades y ciudades autónomas según sexo, edad y estado civil. <https://www.ine.es/> (2019), accedido 2021-03-20
10. Junta de Andalucía: Servicio Andaluz de Teleasistencia. <https://bit.ly/3hlWYp0> (2021), accedido 2021-04-09

Procesamiento de eventos complejos aplicado al transporte público

Marcos, David

david.marcossanchez1@alum.uca.es

Llamas, Carlos

carlos.llamasjaen@alum.uca.es

Universidad de Cádiz

Resumen Los medios de transporte públicos son medios económicos y ecológicos para moverse por una ciudad, sin embargo, poseen distintos problemas que los hace incómodos a los usuarios. Tales como su ocupación de asientos elevada, el ambiente del autobús o la distancia para llegar a la parada. En este artículo se propone una arquitectura basada en procesamiento de eventos complejos para poder permitir a los usuarios visualizar dónde se encuentra su autobús mediante una web.

Keywords: Internet de las cosas, Smart City, Smart traffic, Comunicación móvil

1. Introducción

Dentro del mundo de las nuevas tecnologías y la informática el concepto del Big Data ha adquirido un gran protagonismo, sin embargo a este gran volumen de datos le ha salido un claro competidor: el Smart Data. El Smart Data recopila un gran volumen de datos al instante; sin embargo, a diferencia del Big Data, en este caso poseen un valor añadido con respecto al primero y es que además de recopilar la información es capaz de analizarla. La tecnología del Smart Data puede llegar a ser muy eficaz en muchos campos, como es el caso de la sanidad o los recursos humanos. El transporte público es un medio de transporte empleado por millones de personas a lo largo del mundo. Es un sistema ecológico y económico, dado que permite transportar a un número elevado de personas, reduciendo así el empleo del vehículo privado y por ende la contaminación. Económico ya que los viajes son mucho más baratos que si se emplea el vehículo privado. Sin embargo, no está exento de problemas, que provocan la pérdida de tiempo y dinero de las personas al tener que esperar a que pase el siguiente medio de transporte. Esto en parte porque de cara al público no suelen publicar datos en tiempo real del medio de transporte y que acarrea algunos problemas como la incertidumbre en los horarios al no saber dónde está el autobús, no disponibilidad de la ocupación los asientos de personas con discapacidad que les facilitaría el acceso o el control del ambiente dentro del autobús. Además en el último año se une el factor de la pandemia por COVID-19, lo que provoca que

menos usuarios empleen el transporte público y aquellas personas que sí van a seguir empleándolo prefieren que el autobús no esté lleno [3]. El problema que se va a resolver mediante esta propuesta es la incertidumbre de la ocupación, ambiente y localización del autobús para permitir a los usuarios decidir si deben tomar este autobús o buscar otra solución. Se va a proponer una arquitectura que permite a las personas saber dónde se encuentra el autobús y saber cómo de ocupado está. Se utilizará el procesamiento de eventos complejos como base para procesar la información proveniente de los autobuses.

2. Propuesta

Se va emplear una Arquitectura Orientada a Servicios, *Service Oriented Architecture (SOA)*, basada en el Bus de Servicios Empresariales, *Enterprise Service Bus (ESB)*, Mule con procesamiento de eventos complejos mediante Esper. Esta arquitectura permite recibir un gran número de eventos de forma sencilla para el dispositivo de obtención de datos, a su vez que permite un fácil escalado de cara a posibles futuras expansiones. Estos datos estarán expuestos mediante un servicio web, en el que se accede mediante una aplicación Angular. Vamos a detallar primero los dispositivos de obtención de datos, posteriormente del backend procesador de datos y del fronted para visualizar los datos

2.1. Dispositivos de obtención de datos

El dispositivo para obtener los datos de un autobús será un microcontrolador ESP32 con comunicación GPRS con el servidor de colas de mensajes, *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)*, el cuál posee conectados los siguientes sensores:

- Sensores HC-SR04 para detectar la entrada y salida de personas y la ocupación del asiento para personas con discapacidad
- Sensor ambiental BME280 para medir la temperatura y humedad
- Módulo GPS Beitian BN180 para saber la posición actual del autobús

2.2. Backend

En el backend se empleará un servidor RabbitMQ con un plugin MQTT, el cual permitirá emplear a los dispositivos de obtención dicho protocolo para la publicación. MQTT es un protocolo de colas de mensajes simple, ideado especialmente para dispositivos IoT, siendo más ligeros que sus competidores como *Advanced Message Queuing Protocol (AMQP)*. Un topic en Mosquitto es una cola de mensajes donde uno o más publicadores publican mensajes y uno o más suscriptores los leen. En nuestro caso, los dispositivos de obtención de datos serían publicadores y mule sería un suscriptor. Se empleará el topic *events*.Mule es un software que permite desarrollar arquitecturas SOA basadas principalmente en Java. Gracias a su lenguaje basado en *Extensible Markup Language (XML)*

y con herramientas de desarrollo muy sencillas, se pueden desarrollar sistemas complejos de forma rápida. Es por ello que hemos tomado esta opción. Dentro de Mule, se creará un servicio que escuche mensajes de la cola MQTT y los transmite a Esper. Esper es un motor de procesamiento de eventos complejos mediante su lenguaje *Event Processing Language* (EPL). Nuestro evento simple se recibe de los dispositivos de obtención de datos y contiene los datos del autobús. A partir de las siguientes reglas, se obtienen los eventos complejos procesados por Esper y luego Mule se encarga de ejecutar ciertas acciones en función de dicho evento:

- **EventoTelemetría:** Este evento se genera cada minuto con los datos del último minuto sobre cada autobús y sirve para visualizar los datos en el frontend en tiempo real. Este evento se envía a un WS para poder almacenarlos y realizar estadísticas con ellos.
- **EventoRetraso:** Este evento se genera si en 5 minutos la velocidad media del autobús es inferior a 10 km/h, una velocidad inusualmente baja.
- **EventoAltaOcupación:** Este evento se genera si la ocupación del autobús estaba por encima del 75 % y aumenta un 10 %.
- **EventoAltaOcupaciónMinusválidos:** Idéntico que el evento anterior, solamente que se aplica a los asientos de personas con discapacidad.

2.3. Frontend

El frontend es la parte de la aplicación que permite a los usuarios ver la telemetría de los autobuses, esto permite ver rápidamente dónde se encuentra el autobús y los datos del mismo, permitiendo a la persona decidir si tomar ese autobús o utilizar otro transporte. Se emplea el framework Angular de Google basado en Typescript, un conjunto de modificaciones encima de Javascript.

3. Trabajos relacionados

Lars Mikkelsen et al [5] monitorizan la ocupación del transporte público utilizando peticiones *probe*, peticiones que son enviadas por los dispositivos de los usuarios del autobús para informar su parámetros de comunicación, sin embargo también es posible utilizarla para detección de la localización de los dispositivos [1]. En comparación con el sistema propuesto, es un sistema más simple, pero no mide los asientos de personas con discapacidad y podría no medir correctamente el número de pasajeros. Otra similitud con este trabajo es la medición de los parámetros utilizando un módulo GPS. Si bien este sistema permite medir la ocupación sin emplear sensores físicos y por tanto podría parecer más eficiente que la solución planteada en esta propuesta, pudo provocar medidas incorrectas, al no medir a personas sin smartphones, especialmente ancianos, o medir personas que se encuentren fuera del autobús pero a una distancia cercana del mismo. Shane M. Anderson et al [2] desarrollaron una aplicación móvil para facilitar el acceso a los transportes públicos a personas con discapacidades intelectuales.

Esta aplicación avisaba también al cuidador de la persona de la ubicación y de la línea de autobús que iba a tomar. Se asemeja a nuestro trabajo al permitir el acceso a personas con discapacidad al autobús y controlar si la persona se encuentra en el autobús o no, pero no mide el resto de parámetros útiles como son si está ocupado o no el autobús permitiendo decidir si la persona puede entrar o no. Jay Lohokare et al [4] desarrollaron un sistema mediante MQTT y APIs REST para conocer la ubicación de los autobuses y poder informar a los usuarios de dónde se encuentra el autobús mediante una aplicación. Esta solución es similar a la nuestra, pero no mide la ocupación del autobús, como sí medimos nosotros.

4. Conclusiones

En esta propuesta se ha planteado una solución muy necesitada por todos los usuarios de los transportes públicos y realizable con la tecnología de hoy. Gracias a la implementación de la misma se podría ahorrar mucho tiempo y sobre todo dinero. Además se propone un favor social mediante la aportación de la ocupación de los asientos de personas con discapacidad, que es ayudar a aquellas personas que por desgracia tienen que desplazarse en sillas de ruedas. Este aporte propone una aplicación de tecnologías ya existentes y utilizadas ampliamente a un problema sobre el cuál no se han puesto excesivos medios para intentar subsanarlo. La innovación se centra en el conjunto de la propuesta y no en cada una de las tecnologías usadas, ya que por ejemplo, el empleo de sensores ultrasonidos para la detección de objetos es ampliamente empleado en sistemas de alarmas o de avisos de presencia.

Referencias

1. Ieee standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area network–specific requirements part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications amendment 5: Preassociation discovery. *IEEE Std 802.11aq-2018 (Amendment to IEEE Std 802.11-2016 as amended by IEEE Std 802.11ai-2016, IEEE Std 802.11ah-2016, IEEE Std 802.11aj-2018, and IEEE Std 802.11ak-2018)*, pages 1–69, 2018. <https://doi.org/10.1109/IEEEESTD.2018.8457463> doi:10.1109/IEEEESTD.2018.8457463.
2. Shane M. Anderson, Timothy H. Riehle, Patrick A. Lichter, Allen W. Brown, and Dorin Panescu. Smartphone-based system to improve transportation access for the cognitively impaired. In *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pages 7760–7763, 2015. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7320191> doi:10.1109/EMBC.2015.7320191.
3. S. Awad-Núñez, R. Julio, J. Gomez, B. Moya-Gómez, and J.S. González. Post-covid-19 travel behaviour patterns: impact on the willingness to pay of users of public transport and shared mobility services in spain. *European Transport Research Review*, 13(1), 2021. cited By 1. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85102369680&doi=10.1186%0d>

- 2fs12544-021-00476-4&partnerID=40&md5=c21e6e1d9a5bb050e7ccaee8df9facfc,
<https://doi.org/10.1186/s12544-021-00476-4> doi:10.1186/s12544-021-00476-4.
- 4. Jay Lohokare, Reshul Dani, Sumedh Sontakke, and Rahul Adhao. Scalable tracking system for public buses using iot technologies. In *2017 International Conference on Emerging Trends Innovation in ICT (ICEI)*, pages 104–109, 2017. <https://doi.org/10.1109/ETIICT.2017.7977019> doi:10.1109/ETIICT.2017.7977019.
 - 5. Lars Mikkelsen, Radoslav Buchakchiev, Tatiana Madsen, and Hans Peter Schwefel. Public transport occupancy estimation using wlan probing. In *2016 8th International Workshop on Resilient Networks Design and Modeling (RNDM)*, pages 302–308, 2016. <https://doi.org/10.1109/RNDM.2016.7608302> doi:10.1109/RNDM.2016.7608302.

Solving combinatorial optimization with deep reinforcement learning

José Antonio Caravaca Diosdado¹, Bernabé Dorronsoro Díaz (Codirector)², Sergio Nesmachnow Cánovas (Codirector)³

¹ Universidad de Cádiz, Av. de la Universidad, 10, 11519, Cádiz, España
joseantonio.caravacadiosdado@alum.uca.es

² Universidad de Cádiz, Av. de la Universidad, 10, 11519, Cádiz, España
bernabe.dorronsoro@uca.es

³ Universidad de la República, Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo, Uruguay
sergion@fing.edu.uy

Abstract. This paper presents an introduction to deep reinforcement learning applied to combinatorial optimization, including definitions, a review of the state of the art and future work.

Keywords: Combinatorial · Deep Reinforcement Learning · Optimization

1 Introduction

1.1 Combinatorial optimization problems

Inside the whole family of computation problems there is a group of problems called combinatorial, named this way because the solutions of these kind of problems are composed by different combinations of elements. A clear example of a combinatorial problem is the Boolean Satisfiability Problem (SAT), where given a propositional logic formula with variables, the solver must find the values of the variables that satisfy the proposition. An instance of SAT problem can have a solution, many solutions or not having any solution, but all the solutions are equally valid, there is no solution better than another. However, there are several combinatorial problems that have good solutions, better solution, and optimal solutions. These are the combinatorial optimization problems. In this kind of problems, the solver must find a solution maximizing or minimizing a given measure. A typical example of optimization problem is the Travelling Salesman Problem (TSP), where given a graph defined by a set of nodes and a set of weighted edges, the solver must find a way to visit all the nodes minimizing the summatory of the weight of the edges used to travel between nodes.

There are many types of optimization problems, scheduling, vehicle routing, resource allocation... Furthermore, each family of problems contains a lot of different problems, each one with its own objectives and constraints. This makes very difficult to treat the whole family of problems at the same time, so it is usual to focus a research on a single problem and try to generalize the most as possible from it. Nevertheless,

focusing on a single problem does not mean the research will be easy. A notable characteristic of these problems is their computational complexity. They are included in the family of Non-deterministic Polynomial Time (NP) problems, which means that, by now, we cannot find an optimal solution in a polynomial time. These characteristics, added to the importance these problems take in different parts of industry makes them an interesting research point.

1.2 Deep reinforcement learning

Artificial intelligence has evolved significantly since it was born. Traveling from search algorithms, passing through heuristics, metaheuristics, machine learning and neural networks, until deep learning algorithms, which have been capable of complete complex tasks such as image recognition or protein folding with super-human performance. Thanks to industry investment and researcher effort it keeps evolving every day, new paradigms and algorithms are developed and tested for multiple problems. It is the case of deep reinforcement learning, a new algorithm family which started taking fame in 2013 with Deep Q Network (DQN) [1].

In reinforcement learning algorithms, the problem to solve is defined as an interactive environment that receives actions and return rewards. An agent, which is the element in charge of interact with the environment, iteratively does actions against the environment and receives rewards based on these actions. The greater the reward, the better the action, finding this way the actions that maximize the reward. In deep reinforcement learning, the agent is a deep neural network, which takes the observable parts of the environment as input and all the possible actions as output. Each time the neural network takes an action, the received reward is used to recalculate the weights, this way the neural networks is trained, getting better actions in each iteration.

The way this paradigm's algorithms learn to solve a problem is similar as a human does when no external information is provided. In combinatorial problems and action refers to choose an element which composes a solution, measuring the reward of taking an element the agent can learn how good is the chosen element in the solution. The idea behind taking elements iteratively is the agent can find not only a close to optimal solution for a problem instance but learn the nature of the problem and be able of generalize the learning for all the instances of the problem.

2 State of the art

The publication of DQN model had an important impact on the researcher community since it was the first deep reinforcement learning framework which succeeded in solving and generalizing a complex problem with extremely high performance, sometimes showing superior skills than humans playing several Atari games. Researchers started working on this model and many papers have been published using DQN to solve combinatorial optimization problems, such as vehicle routing [2], production scheduling [3], even multi-objective problems for workflow scheduling [4]. However, DQN is not the only option, several models have been developed and tested. Some researchers

applied models used in natural language processing, for instance, encoder-decoder models with attention [5] or pointer networks [6]. Not only the models have evolved, but also the learning algorithms. Starting from the basis of REINFORCE [7] many researchers have implemented changes on the algorithm in different ways, for instance, stabilizing the learning using baselines [8] or using two models following the idea of dueling networks [9]. There is no algorithm better than another in every problem, combining different models, learning methods and problems characteristics deep reinforcement learning is growing every day but it is still in its early developments and there is a lot of work to do.

3 Future work

The main objective of our research is to study the behavior of different algorithms and models following the reinforcement learning paradigm. To accomplish our goal, we started choosing a problem. We decided to focus on vehicle routing problem because it is a well-known problem which has many variations, some of them have been already studied in reinforcement learning [5,6,8,9,10], so we do not start from zero, but others are pending, so we can contribute with new results. Most concretely, we are working on vehicle routing applied to electric vehicles, where we must take care of the battery and recharge points. Our research is on an early phase, so we are looking for different models and alternatives used for this problem. We are currently following the research made by [11], the framework is already implemented, and we are testing its performance. From this point, the next step is analyzing the test results and make the pertinent changes to improve its weaknesses.

References

1. Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Graves, A., Antonoglou, I., Wierstra, D., & Riedmiller, M. Playing atari with deep reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1312.5602*. (2013)
2. Atallah, R., Assi, C., & Khabbaz, M. Deep reinforcement learning-based scheduling for roadside communication networks. In *2017 15th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt)* (pp. 1-8). IEEE. (2017)
3. Waschneck, B., Reichstaller, A., Belzner, L., Altenmüller, T., Bauernhansl, T., Knapp, A., & Kyek, A. Optimization of global production scheduling with deep reinforcement learning. *Procedia Cirp*, 72, 1264-1269. (2018)
4. Wang, Y., Liu, H., Zheng, W., Xia, Y., Li, Y., Chen, P., ... & Xie, H. Multi-objective workflow scheduling with deep-Q-network-based multi-agent reinforcement learning. *IEEE Access*, 7, 39974-39982. (2019)
5. Nazari, M., Oroojlooy, A., Snyder, L. V., & Takáč, M. Reinforcement learning for solving the vehicle routing problem. *arXiv preprint arXiv:1802.04240*. (2018)
6. James, J. Q., Yu, W., & Gu, J. Online vehicle routing with neural combinatorial optimization and deep reinforcement learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(10), 3806-3817. (2019)
7. Williams, R. J. Simple statistical gradient-following algorithms for connectionist reinforcement learning. *Machine learning*, 8(3-4), 229-256. (1992)

8. Kool, W., Van Hoof, H., & Welling, M. Attention, learn to solve routing problems!. *arXiv preprint arXiv:1803.08475*. (2018)
9. Gao, L., Chen, M., Chen, Q., Luo, G., Zhu, N., & Liu, Z. Learn to design the heuristics for vehicle routing problem. *arXiv preprint arXiv:2002.08539*. (2020)
10. Kalakanti, A. K., Verma, S., Paul, T., & Yoshida, T. RL SolVeR pro: Reinforcement learning for solving vehicle routing problem. In *2019 1st International Conference on Artificial Intelligence and Data Sciences (AiDAS)* (pp. 94-99). IEEE. (2019)
11. Lin, B., Ghaddar, B., & Nathwani, J. Deep Reinforcement Learning for Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows. *arXiv preprint arXiv:2010.02068*. (2020)

Aplicación de Técnicas de Aprendizaje Automático para la Minimización del Coste Computacional de la Prueba de Mutaciones

Miguel Ángel Álvarez-García, Inmaculada Medina-Bulo, Pedro Delgado-Pérez

Grupo UCASE de Ingeniería del Software, Escuela Superior de Ingeniería,
Universidad de Cádiz, Avda. de la Universidad de Cádiz 10, 11519 Puerto Real,
Cádiz, Spain
`{miguelangel.alvarez, inmaculada.medina, pedro.delgado}@uca.es`

Abstract. La prueba de mutaciones es una técnica de pruebas de software que se ha aplicado con éxito en multitud de lenguajes de programación. Esta técnica se basa en la inserción de pequeños cambios sintácticos en el código fuente de un programa dado para, posteriormente, comprobar si las pruebas creadas por el desarrollador son capaces de detectar dichos cambios o no. A pesar de sus ventajas para las pruebas de software, el elevado coste computacional de la prueba de mutaciones ha impedido su uso de forma generalizada. Debido a esto, en gran cantidad de trabajos previos, se han propuesto diferentes técnicas para reducir su coste, ya sea mediante la reducción del número de mutantes generados o mediante la deducción del resultado a través algoritmos de aprendizaje automático. El presente estudio explora las técnicas más utilizadas para la reducción del coste en la prueba de mutaciones, haciendo hincapié en las técnicas más novedosas y ventajosas observadas. Tras dicho estudio, se proponen las líneas consideradas de mayor relevancia para su posterior investigación y mejora.

Keywords: prueba de mutaciones · coste computacional · aprendizaje automático.

1 Introducción

En el contexto de la Industria 4.0 y el avance de un mundo completamente conectado, con sistemas software cada vez más complejos, se hace necesaria la utilización de sistemas automáticos de pruebas debido al alto coste en tiempo de llevar a cabo las pruebas del software de forma manual, y a la dificultad de obtener pruebas de calidad si el proceso no es guiado por técnicas avanzadas de pruebas.

En este escenario se hace visible la prueba de mutaciones [24], una técnica de caja blanca y automática basada en la inserción de pequeños cambios sintácticos en el código fuente de un programa dado para, posteriormente, comprobar si las pruebas creadas por el desarrollador son capaces de detectar dichos cambios,

midiendo la calidad de estas. Estas modificaciones llamadas mutaciones son realizadas en base a unas reglas predefinidas denominadas *operadores de mutación*. Por otro lado, un *mutante* es una copia del código fuente de un programa al que se le ha aplicado la prueba de mutaciones con un operador de mutación específico, incluyendo únicamente una modificación sintáctica.

Este tipo de pruebas han sido utilizadas en multitud de lenguajes como son ADA [19], FORTTRAN [12], C [1][21], C++ [2][4] o Java [14][15], con el fin de mejorar las pruebas unitarias de los sistemas desarrollados para cualquier sector. Tal y como se puede observar en multitud de trabajos previos [8][9][17], este tipo de pruebas conllevan un gran coste tanto en tiempo como en recursos máquina debido a que se hace necesaria la compilación de cada uno de los mutantes generados y la ejecución de todas las pruebas creadas por el desarrollador sobre dichas compilaciones.

El aprendizaje automático, más conocido por su nombre en inglés, *machine learning* [7], es un conjunto de técnicas o algoritmos de inteligencia artificial que permiten que los sistemas aprendan sin haber sido programados expresamente para ello. Estos sistemas son capaces de detectar patrones entre los datos de los que disponen con el fin de realizar predicciones con cierto grado de confianza. Esta tecnología se ha extendido rápidamente en multitud de sectores, no siendo solamente utilizada en el sector tecnológico, como la salud [3], las finanzas [5] o la agricultura [13]. Esta tecnología también ha sido aplicada a la prueba de mutaciones con el fin de reducir el coste en tiempo y recursos de este tipo de pruebas.

El objetivo del presente artículo se basa en la necesidad de establecer las líneas más innovadoras y con interés de investigación en el campo de la reducción de costes computacionales de la prueba de mutaciones con el fin de establecer las líneas a seguir en un futuro próximo.

En la sección 2 se puede observar el estado del arte sobre la reducción del coste de la prueba de mutaciones, haciendo hincapié a las técnicas más innovadoras. Para finalizar, en la sección 3, se pueden observar las conclusiones obtenidas sobre las líneas de investigación consideradas de mayor interés para su posterior investigación y mejora.

2 Estado del arte

La prueba de mutaciones, aún siendo un proceso automatizable, supone un gran coste computacional, entendiendo este como el coste tanto en tiempo como en recursos debido a la constante compilación y ejecución de todas y cada una de las pruebas creadas con cada mutante generado. Debido a esto, multitud de autores han intentado reducir el coste de estas pruebas debido a los buenos resultados que se desprenden de ellas [20][23][25].

Entre los trabajos previos podemos encontrar la reducción de costes mediante la elección aleatoria de mutantes [27], la selección a partir de los operadores más predisuestos a generar posibles fallos en la ejecución de las pruebas (mutación selectiva) [18] o la prueba de mutaciones evolutiva [6].

A partir de estos estudios surge la prueba de mutaciones predictiva [26], o PMT de sus siglas en inglés, que utiliza algoritmos de aprendizaje automático para obtener un modelo con el que predecir el resultado que tendrían los mutantes en caso de ser ejecutados. Ya se han observado diferentes niveles de éxito en este innovador método [16], llegando a la conclusión de que se deben establecer un mayor número de características relevantes con el fin de afinar los modelos generados por los diferentes algoritmos. Como este método se ha utilizado mayoritariamente en Java [11][16][26], se considera de gran interés su aplicación a otros lenguajes como, por ejemplo, C++ o Python, que según el ranking TIOBE [10] son de los más extendidos. Además, se consideran escasos los algoritmos de aprendizaje automático utilizados, siendo necesario ampliarlos con nuevos algoritmos.

Por otro lado, se han realizado estudios para la disminución de los mutantes a ejecutar mediante aprendizaje automático [22], obteniendo resultados más fiables que en el caso anterior, debido a que los mutantes son procesados, y disminuyendo los costes de procesar una cantidad ingente de mutantes. Esta técnica se realiza a partir de las características de los operadores de mutación, de los propios mutantes y de los programas a mutar, consiguiendo así generar modelos acordes a cada segmento de sistema y tipo de mutante. Aunque los resultados son esperanzadores, en esta técnica queda mucho recorrido por realizar, como puede ser utilizar otros algoritmos de selección o establecer diferentes pautas en cuanto a la selección de los operadores de mutación, llevando así la diversidad de operadores a la técnica.

3 Conclusiones

Una vez analizado el estado del arte en la materia, y observado los resultados obtenidos en los trabajos previos centrados en la aplicación de aprendizaje automático en la prueba de mutaciones, se llega a la conclusión de que se debe investigar en un futuro en las siguientes líneas:

- **Prueba de mutaciones predictiva (PMT).** Este método se basa en la predicción del resultado de la prueba de mutaciones reduciendo así el coste de procesamiento de este tipo de pruebas a nivel general, dado que no será necesario crear, compilar y ejecutar los propios mutantes.
- **Aplicación de aprendizaje automático a la reducción de mutantes en la prueba de mutaciones.** Aunque este método pueda ser más costoso que el anterior, debido al procesamiento posterior de los mutantes, los resultados pueden describirse como reales, no siendo estos generados por algoritmos de inteligencia artificial.

References

1. Agrawal, H., DeMillo, R., Hathaway, R., Hsu, W., Hsu, W., Krauser, E.W., Martin, R.J., Mathur, A.P., Spafford, E.: Design of mutant operators for the c programming language. Tech. rep., Citeseer (1989)

2. Álvarez-García, M.Á.: Automation and evaluation of mutation testing for the new c++ standards. In: 2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings (ICSE-Companion). pp. 150–152. IEEE (2021)
3. Bhardwaj, R., Nambiar, A.R., Dutta, D.: A study of machine learning in healthcare. In: 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC). vol. 2, pp. 236–241. IEEE (2017)
4. Delgado-Pérez, P., Medina-Bulo, I., Palomo-Lozano, F., García-Domínguez, A., Domínguez-Jiménez, J.J.: Assessment of class mutation operators for c++ with the mucpp mutation system. *Information and Software Technology* **81**, 169–184 (2017)
5. Dixon, M.F., Halperin, I., Bilokon, P.: Machine Learning in Finance. Springer (2020)
6. Domínguez-Jiménez, J.J., Estero-Botaro, A., García-Domínguez, A., Medina-Bulo, I.: Evolutionary mutation testing. *Information and Software Technology* **53**(10), 1108–1123 (2011)
7. El Naqa, I., Murphy, M.J.: What is machine learning? In: machine learning in radiation oncology, pp. 3–11. Springer (2015)
8. Guizzo, G., Sarro, F., Harman, M.: Cost measures matter for mutation testing study validity. In: Proceedings of the 28th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering. pp. 1127–1139 (2020)
9. Harman, M., Jia, Y., Langdon, W.B.: A manifesto for higher order mutation testing. In: 2010 Third International Conference on Software Testing, Verification, and Validation Workshops. pp. 80–89. IEEE (2010)
10. Index, T.: TIOBE, The Software Quality Company. <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (2021)
11. Kim, J., Jeon, J., Hong, S., Yoo, S.: Predictive mutation analysis via natural language channel in source code. arXiv preprint arXiv:2104.10865 (2021)
12. King, K.N., Offutt, A.J.: A fortran language system for mutation-based software testing. *Software: Practice and Experience* **21**(7), 685–718 (1991)
13. Liakos, K.G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., Bochtis, D.: Machine learning in agriculture: A review. *Sensors* **18**(8), 2674 (2018)
14. Ma, Y.S., Offutt, J., Kwon, Y.R.: Mujava: an automated class mutation system. *Software Testing, Verification and Reliability* **15**(2), 97–133 (2005)
15. Ma, Y.S., Offutt, J., Kwon, Y.R.: Mujava: a mutation system for java. In: Proceedings of the 28th international conference on Software engineering. pp. 827–830 (2006)
16. Mao, D., Chen, L., Zhang, L.: An extensive study on cross-project predictive mutation testing. In: 2019 12th IEEE Conference on Software Testing, Validation and Verification (ICST). pp. 160–171. IEEE (2019)
17. Nguyen, Q.V., Madeyski, L.: Problems of mutation testing and higher order mutation testing. In: Advanced computational methods for knowledge engineering, pp. 157–172. Springer (2014)
18. Offutt, A.J., Rothermel, G., Zapf, C.: An experimental evaluation of selective mutation. In: Proceedings of 1993 15th international conference on software engineering. pp. 100–107. IEEE (1993)
19. Offutt, A.J., Voas, J., Payne, J.: Mutation operators for ada. Tech. rep., Citeseer (1996)

20. Pizzoleto, A.V., Ferrari, F.C., Offutt, J., Fernandes, L., Ribeiro, M.: A systematic literature review of techniques and metrics to reduce the cost of mutation testing. *Journal of Systems and Software* **157**, 110388 (2019)
21. Rautila, M.: Mut-tools: mutation testing for c/c++ programs (2021)
22. Strug, J., Strug, B.: Machine learning approach in mutation testing. In: IFIP International Conference on Testing Software and Systems. pp. 200–214. Springer (2012)
23. Usaola, M.P., Mateo, P.R.: Mutation testing cost reduction techniques: A survey. *IEEE software* **27**(3), 80–86 (2010)
24. Wong, W.E.: Mutation testing for the new century, vol. 24. Springer Science & Business Media (2001)
25. Wong, W.E., Mathur, A.P.: Reducing the cost of mutation testing: An empirical study. *Journal of Systems and Software* **31**(3), 185–196 (1995)
26. Zhang, J., Zhang, L., Harman, M., Hao, D., Jia, Y., Zhang, L.: Predictive mutation testing. *IEEE Transactions on Software Engineering* **45**(9), 898–918 (2018)
27. Zhang, L., Gligoric, M., Marinov, D., Khurshid, S.: Operator-based and random mutant selection: Better together. In: 2013 28th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE). pp. 92–102. IEEE (2013)

Optimización de Conjuntos de Casos de Prueba Mediante Algoritmos Genéticos

María Martín-Marín, Juan José Domínguez-Jiménez, Antonia Estero-Botaro

Grupo UCASE de Ingeniería del Software, Escuela Superior de Ingeniería, Universidad de Cádiz, Avda. de la Universidad de Cádiz 10, 11519 Puerto Real, Cádiz, Spain
maria.martin@uca.es, juanjose.dominguez@uca.es,
antonia.estero@uca.es

Abstract. Actualmente, durante las fases del ciclo de vida del desarrollo del software, se ha visto incrementado el tiempo empleado en la fase de pruebas, ocupando más de la mitad del tiempo total de desarrollo. El problema al que nos enfrentamos es que las pruebas se vienen realizando al final del ciclo de desarrollo y en ocasiones, no se cumplen los estándares de calidad para cumplir con el hito de entrega del software. Consecuencia de esto es que los errores se den mayormente en entornos de producción, disminuyendo la calidad del software desarrollado, surgiendo así la necesidad de abrir nuevas líneas de investigación que ayuden a la industria a mejorar la calidad de sus pruebas y una reducción en el tiempo empleado en realizarlas. En este artículo, presentamos un enfoque basado en algoritmos genéticos, para reducir el conjunto inicial de casos de prueba y minimizar el coste de tiempo.

Keywords: Algoritmos Genéticos, Algoritmos Evolutivos, Casos de Prueba, Testing.

1 Introducción

Hasta hace relativamente poco tiempo, las pruebas se realizaban al final del ciclo de desarrollo de software. En la mayoría de los casos, dichas pruebas se han realizado con el objetivo de llegar al hito de entrega, olvidando que estas sean realmente efectivas, repercutiendo esto drásticamente en la calidad del software desarrollado y haciendo posible que la mayoría de los errores aparezcan en entornos de producción. Esta situación ha ido cambiando y podemos decir que en el desarrollo software el tiempo empleado en la fase de pruebas se ha incrementado de forma notable, hasta tal punto que esta ocupa más del 50% del tiempo total de desarrollo [1]. Se hace necesario abrir nuevas líneas de investigación que ayuden a la industria y a las organizaciones en general a minimizar el tiempo dedicado a las pruebas sin que se resienta la calidad de estas.

En este trabajo se propone, tras estudiar previamente el estado del arte en este ámbito [2,3,4], un sistema que sea capaz de reducir significativamente el tiempo empleado en las pruebas, reduciendo el número de casos de prueba a aplicar. Esta tesis doctoral tiene como objetivo desarrollar una metaheurística basada en algoritmos genéticos (AGs) [5,6,7,8] que tomarán como entrada un conjunto de casos de prueba

inicial que constituirán el total de casos de prueba a aplicar al software y devolverá un subconjunto de casos de prueba minimizado. Posteriormente se llevará a cabo una priorización de estos casos de prueba, asignando prioridades a estos de forma que se ejecuten siguiendo un determinado criterio. Un criterio posible se puede apoyar en el uso de la prueba de mutaciones [9], ejecutando en primera instancia aquellos que más mutantes maten. Se ha optado por una solución con AGs porque estos son aproximados y cuando el espacio de búsqueda es grande, su tiempo de ejecución es aceptable. En el caso de los algoritmos exactos, este tiempo de ejecución se dispara.

El tipo de sistema sobre el que se va a implementar esta metaheurística, también debería ser tenido en cuenta, no obstante, como veremos en el punto 3, esta cuestión es prácticamente irrelevante, ya que se va a trabajar con matrices de ejecución binarias lo cual implica que dichos algoritmos puedan aplicarse contra cualquier tipo de sistema.

2 Antecedentes

A continuación, expondremos los conceptos teóricos sobre los que subyace la tesis a desarrollar.

2.1 Algoritmos genéticos

Los AGs están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza acorde a unos principios de selección natural y supervivencia de la especie más fuerte, postulados por Darwin (1859). Por imitación de este proceso, los AGs son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas.

Un AG, a diferencia de un método tradicional, funciona con un conjunto de soluciones al problema. Cada una de estas se denomina *individuo*, y al conjunto de individuos se le denomina *población*. Cada individuo tiene un *valor de aptitud* que estará relacionado con la adecuación de ese individuo a la solución del mismo. El AG realiza un proceso iterativo a lo largo de una serie de generaciones. En ellas, realiza procesos de *cruces* y *mutaciones* entre los individuos que son seleccionados previamente. Estas operaciones de cruces y mutaciones permite obtener nuevos individuos cruzando el material genético de los individuos seleccionados. La selección estará íntimamente relacionada con el resultado de la función de aptitud de cada individuo de la población. A lo largo de las distintas generaciones, el AG irá evolucionando mejorando la aptitud de los individuos, de modo que en la generación final dentro de la población tendremos al individuo con una mayor aptitud que representa la solución al problema que se resuelve.

2.2 Pruebas de mutaciones

La prueba de mutaciones [9,10] se utiliza para evaluar la calidad de las pruebas existentes. Esta técnica realiza pequeños cambios en el código fuente, de forma que

introducimos errores que posteriormente deberán ser detectados por las pruebas. Cada versión modificada del software original es un mutante y las pruebas deben ser capaces de distinguir el programa original del mutante a partir del comportamiento observado. Se dice que un mutante está muerto, si somos capaces de encontrar un caso de prueba que es capaz de diferenciar la salida de éste respecto al programa original, y en caso contrario se dice que está vivo. Para medir la efectividad de un conjunto de casos de prueba se emplea la tasa de mutación que representa el número de mutantes muertos frente al número de mutantes totales. No obstante, debemos ser conscientes del problema del mutante equivalente, que ocurre cuando un mutante m se comporta igual que su programa original bajo un determinado caso de prueba [11].

3 Optimización de casos de prueba: Un caso práctico

Es dominio de esta tesis doctoral, realizar la reducción de casos de prueba respecto al total de mutantes. Dicha reducción consiste en la eliminación de aquellos casos de prueba que puedan incurrir en redundancias innecesarias [12]. Lo veremos a través de un ejemplo. Partimos de una matriz en la que los mutantes se representan en las columnas y los casos de prueba, en las filas, tal y como vemos en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Matriz de conjuntos de casos de prueba frente a mutantes.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
T1	1	0	1	1	0	0	0
T2	0	0	1	1	0	0	0
T3	0	1	1	0	0	1	1
T4	0	0	1	0	1	0	0
T5	0	1	1	0	1	1	0

Si el valor del elemento en la posición i,j de la matriz es 1, indica que el caso de prueba T_i mata al mutante M_j . Si el valor es 0 el caso de prueba no mata al mutante. Si nos fijamos en la *Tabla 1* podemos ver que T_2 es un subconjunto de T_1 , y T_4 es subconjunto de T_5 . Podemos concluir que, si eliminamos de la matriz T_2 y T_4 , obtendremos la misma cobertura y habremos empleado un número menor de casos de prueba. La matriz reducida se muestra en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Matriz reducida de conjuntos de casos de prueba frente a mutantes.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
T1	1	0	1	1	0	0	0
T3	0	1	1	0	0	1	1
T5	0	1	1	0	1	1	0

Hemos obtenido una reducción importante del número de casos de prueba, pero se deben encontrar el mayor número de fallos críticos del software que se está probando y hacerlo en el menor tiempo posible. Esto se consigue otorgando prioridades a los

casos de prueba. Las técnicas de priorización [13] de casos de prueba, son capaces de programar el orden de ejecución de estos para cumplir con el objetivo deseado.

Así podemos garantizar que los casos de prueba más relevantes, se ejecuten primero, de forma que los problemas más graves, si existen, sean detectados en fases prematuras y su impacto sobre el ciclo de desarrollo del software sea menor y pueda ser corregido a tiempo. Siguiendo con nuestro ejemplo, si ahora aplicamos la priorización de casos de prueba a la *Tabla 2*, utilizando como criterio de priorización el número de mutantes que mata, se ejecutarán primero *T3* y *T5* y por último *T1*.

3.1 Implementación

El algoritmo genético hace evolucionar una población a través de varias generaciones. En nuestro caso, un individuo se representa como un vector binario de casos de prueba y el conjunto de todos estos, constituyen la población, representada como un vector de vectores o matriz. Por otro lado, necesitaremos la matriz de ejecución, que nos indica por cada caso de prueba, cuales son los mutantes que mata. La población inicial se genera de forma aleatoria y las siguientes generaciones siguiendo los pasos que a continuación se describen:

1. Calculamos la *puntuación* de cada individuo de la población a través de la función aptitud, para lo cual necesitaremos la matriz de ejecución.
1. Se seleccionarán dos o más individuos.
 - a. Aplicaremos el *operador de cruce* sobre estos individuos con una probabilidad determinada.
 - b. Aplicaremos el *operador de mutación* sobre el nuevo individuo (si es que tuvo lugar el cruce) o sobre los padres si no tuvo éxito, ya que, de no haber cruce, los padres pasan a la nueva generación.
2. Una vez que hayamos completado una nueva población a través de sucesivas operaciones de selección, cruce y mutación, volveremos de nuevo al punto 1 y aplicaremos los pasos de nuevo sobre la nueva generación.

Se probaron en laboratorio diferentes algoritmos de selección, cruce y mutación, quedándonos con aquellos con los que mejores resultados obtuvieron, llegando a un compromiso entre tiempo de ejecución y cercanía de los resultados con los casos óptimos.

4 Conclusiones

La prueba del software es una de las partes más críticas en el desarrollo de software debido a su coste en el proceso y que se realiza al final del mismo, por lo que implica un proceso intensivo en el ciclo de desarrollo. El objetivo que persigue esta tesis es precisamente introducir técnicas innovadoras que mejoren el proceso reduciendo el tiempo. Para ello se va a diseñar una estrategia de optimización basada en AGs que minimicen el conjunto de casos de prueba respecto al número de mutantes,

aproximándose o alcanzando el caso óptimo, que en la fase experimental conoceremos. Analizaremos el rendimiento de los algoritmos en situaciones reales y los optimizaremos mediante la unión con procesos de priorización, para encontrar los fallos de forma temprana, ejecutando primero aquellos casos de prueba que afectan a las zonas más críticas del software.

Referencias

1. Jamil, M. A.;Arif, M. ;Abubakar, N.; Ahmad, A. (2016). Software Testing Techniques: A Literature Review, pág. 177-182 (2016)
2. Kiran, A.; Haider, W. Butt; Waseem, M. Anwar; Azam, F.; Maqbool, N. A Comprehensive Investigation of Modern Test Suite Optimization Trends, Tools and Techniques. *IEEE Access*, vol. 7, pág. 89093-89117 (2019)
3. Lin, J.; Jabbarvand, R.; Garcia, J.; Malek, S. Nemo: Multi-criteria Test-Suite Minimization with Integer Nonlinear Programming. *IEEE/ACM 40th International Conference on Software Engineering (ICSE)*, pág. 1039-1049 (2018)
4. Sharma, C.; Sabharwal, S.; Sibal, R. A Survey on Software Testing Techniques using Genetic Algorithms. *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 10, Issue 1, Núm 1, pág. 381-393 (2013)
5. Akour, M.; Abuwardih, L.; Alhindawi, N.; Alshboul, A. Test case minimization using genetic algorithm: Pilot Study. *2018 28th International Conference on Computer Science and Information Technology (CSIT)*, pág. 66-70 (2018)
6. Goldberg, D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley (1989)
7. Goyal, S.; Mishra, P.; Lamichhane, A.; Gandhi, P. Software test case optimization using genetic algorithms. *International Journal Of Scientific Engineering and Science*, pág. 66-70 (2018)
8. Mateen, A.; Nazir, M.; Afsar Awan, S. Optimization of test case generation using genetic algorithm (GA). *International Journal Of Computers Applications*. 151, pág. 6-14 (2016)
9. Offutt, A. J. ; Untch, R. H. Mutation 2000: Uniting the Orthogonal. En *Mutation Testing for the New Century*, Springer, Boston, pág. 34–44 (2001)
10. Papadakis, M.; Kintis, M.;Zhang, J.; Jia, Y.; Traon, L.; Harman, M. Mutation Testing Advances: An Analysis and Survey. volume 112 of *Advances in Computers*, pág. 275-378. Elsevier (2019)
11. Esterio Botaro, A. Aplicación de la prueba de mutaciones a composiciones de servicios web en WS-BPEL para la generación de casos de prueba de calidad. (2013).
12. Palomo-Lozano, F; Esterio-Botaro, A; Medina-Bulo, I.; Núñez, M. Test Suite minimization for mutation testing of WS-BPEL compositions. *GECCO 2018*, pág. 1427-1434 (2018)
13. Yoo, S.; Harman, M. Regression testing minimization, selection and prioritization: a survey, *Software Testing, Verification and Reliability*, Vol. 22, Núm. 2, pág. 67-120 (2012)