

De la simulación a la realidad: metodología para el aprendizaje de sistemas ciber-físicos

Aitor Arrieta, Gaizka Bellido, Jorge Da Silva, Urtzi Markiegi

Departamento de Electrónica e Informática

Mondragon Unibertsitatea

20500 Arrasate-Mondragon

{aarrieta, gbellido, umarkiegi}@mondragon.edu

jorge.dasilva@alumni.mondragon.edu

Jennifer Gago

Dpto. Técnico Académico

MathWorks

Dirección MathWorks

jgagomu@MathWorks.com

Resumen

El estudio de los sistemas ciber-físicos en el marco de la asignatura Informática Industrial no resulta atractivo para el alumnado del grado de ingeniería informática. Este aspecto queda reflejado en las encuestas de satisfacción que el alumnado rellena cada curso. Otras asignaturas como programación web, inteligencia artificial o seguridad son más atractivas a priori para los estudiantes. Con objeto de mejorar la motivación e implicación del alumnado, los cursos 19-20 y 20-21 se ha incorporado la herramienta de simulación MATLAB® y Simulink® para desarrollar parte de las competencias. Los resultados positivos obtenidos indican que es el camino a seguir. Además se prevé que complementar la herramienta de simulación con maquetas (basadas en hardware Arduino) que permitan experimentar la parte física, resultará en una formación más completa y atractiva para el alumnado. El artículo presenta dos contribuciones relevantes para la comunidad. Primero, se presenta la metodología seguida para establecer un marco de colaboración entre universidad y empresas líderes del sector de sistemas ciber-físicos. Y segundo, se presenta la metodología llevada a cabo para incorporar las nuevas tecnologías, alinearlas con los objetivos de aprendizaje y adaptar los criterios de evaluación, de cara a mejorar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes.

Abstract

The study of cyber-physical systems within the framework of the Industrial Computer Science subject is not particularly appealing to students of the computer engineering degree. This aspect is reflected in the satisfaction surveys that students fill out each year. Other subjects such as web programming, artificial intelligence or security are more attractive a priori for students. With the aim of improving student motivation

and involvement, the simulation tool MATLAB and Simulink has been incorporated in academic years 19-20 and 20-21 to develop part of the skills. The positive results obtained indicate that this is the way forward. Furthermore, it is expected that complementing the simulation tool with mockups (based on Arduino hardware) that allow students to experience the physical part, will result in a more complete and attractive learning experience for students. The article presents two relevant contributions for the community. Firstly, it presents the methodology followed to establish a collaboration framework between the university and leading companies in the cyber-physical systems sector. Secondly, it presents the methodology used to incorporate new technologies, align them with learning objectives and adapt evaluation criteria, in order to improve the learning experience of students.

Palabras clave

Aprendizaje basado en proyectos, Sistemas ciber-físicos, Informática industrial.

1. Introducción

La metodología de aprendizaje basado en proyectos ha sido demostrada como una metodología efectiva a la hora de enseñar y motivar a los alumnos [1, 2, 5, 7]. Los sistemas ciber-físicos integran tecnologías digitales con procesos físicos. El diseño y control de sistemas ciber-físicos es instruido en diferentes cursos a través de diferentes asignaturas, no solo del grado en ingeniería informática, sino también en otros grados y másteres (p.ej., grado en ingeniería electrónica). La naturaleza multidisciplinar de los sistemas ciber-físicos, donde la electrónica, mecánica y software son integrados conjuntamente, hace difícil que las asignaturas donde se trabajan tales competencias sean atractivas para el alumnado.

Este artículo tiene como objetivo reportar la experiencia de un proyecto que se está llevando a cabo de cara a cambiar la manera en la que se enseña el diseño y control de los sistemas ciber-físicos. En lugar de hacer uso únicamente de herramientas de simulación, se hará uso de ambas, las herramientas de simulación y maquetas reales basados en los Arduino Engineering Kits (AEK).

La Universidad de Mondragon y MathWorks, la empresa líder en modelado y simulación de sistemas ciber-físicos, han lanzado un proyecto colaborativo de cara a mejorar el contenido académico para la enseñanza del diseño y control de sistemas ciber-físicos. Para ello se analizarán los tres proyectos AEK (motocicleta auto-balanceada, robot controlado por web-cam y robot de dibujo), obteniendo para cada uno de los proyectos su resultado de aprendizaje. Cada uno de estos resultados de aprendizaje se relacionará posteriormente con los resultados de aprendizaje de las asignaturas seleccionadas tanto de grado como de máster. Esto permitirá identificar qué proyecto AEK puede utilizarse en cada una de las asignaturas.

En el aspecto práctico, se desarrollarán librerías específicas para cada proyecto AEK que permitan un mayor uso de los kits en diferentes asignaturas, haciendo posible el uso de un proyecto AEK específico incluso sin tener conocimiento de todos los resultados de aprendizaje. Por ejemplo, para la asignatura de informática industrial que se imparte en el segundo grado de ingeniería informática, un resultado de la asignatura está relacionado con el control basado modelos utilizando Simulink y Stateflow y otro con el control basado en bloques. El proyecto AEK de control por cámara web hace uso de ambos resultados. Sin embargo, para desarrollar el proyecto también son necesarios conocimientos de visión artificial, lo que no permitiría utilizar este proyecto AEK en la asignatura ya que los alumnos no tienen conocimientos de visión artificial en segundo curso de grado. Este problema será resuelto por las librerías desarrolladas (por ejemplo, en este caso una librería de algoritmos de visión) para ser utilizadas por los estudiantes cuyos conocimientos son limitados en un resultado específico del proyecto AEK. Esto permitirá trabajar un resultado de aprendizaje específico mediante el uso de un proyecto AEK que implemente este resultado, incluso sin tener conocimiento de otros resultados de aprendizaje del proyecto AEK.

La contribución de este artículo se centra en compartir con la comunidad dos metodologías: (1) una metodología para establecer el marco colaborativo con proveedores de primer nivel del ámbito educativo-profesional de los sistemas ciber-físicos y (2) una metodología para acondicionar y completar los recursos proporcionados por los proveedores al currículo universitario.

2. Trabajos Relacionados

En los sistemas ciber-físicos se da una integración de los procesos de computación con los procesos físicos cuyo comportamiento está determinado tanto por la parte computacional como por la parte física. Por lo tanto, el diseño y desarrollo de los sistemas ciber-físicos requiere de aprendizaje multidisciplinar como ha sido recogido en múltiples trabajos [3, 6, 8, 9]. Stankovic et al. [8] identifican en su trabajo las áreas fundamentales a desarrollar al diseñar un currículo para el aprendizaje de los sistemas ciber-físicos. Estas áreas incluyen el desarrollo de conocimiento en computación, matemáticas discretas y continuas, sensores y modelado de sistemas dinámicos y de control. A diferencia del trabajo de Stankovic et al., en la metodología propuesta se plantean áreas más limitadas, pero con un nivel de desarrollo más práctico y detallado. En su trabajo, Mourtzis et al. [6] describen como Educación 4.0, la educación necesaria para dar respuesta a la cuarta revolución industrial en el ámbito de la fabricación. Para ello proponen un marco de educación para integrar los sistemas ciber-físicos con las tecnologías de la cuarta revolución industrial. La propuesta de este trabajo, sin embargo, se centra exclusivamente en las tecnologías relacionadas con los sistemas ciber-físicos. En su trabajo, Törngren et al., [9] recopilan los retos y oportunidades que los sistemas ciber-físicos proporcionan en el sistema educativo. Destacan como aspecto clave en el diseño de los planes de estudio buscar un equilibrio entre la profundidad y extensión de los conceptos trabajados, así como entre la teoría y la práctica. Esta propuesta profundiza en este concepto realizando una propuesta específica que permite adaptar la profundidad y extensión y la teoría y prácticas realizadas en función del contexto en el que se aplique. Recientemente, el estudio llevado a cabo por Marwedel et al. [3] ha analizado las diferentes propuestas que la educación superior ha realizado para dar respuesta a las necesidades de formación en sistemas ciber-físicos. En su trabajo, concluyen que es posible realizar una formación básica en los sistemas ciber-físicos con un coste moderado para los centros, si bien una formación más en profundidad requeriría de cursos más especializados y en consecuencia más costosos para los centros. Este trabajo persigue optimizar los recursos proporcionados por MathWorks y Arduino para adaptarlos al currículo, haciendo posible que se pueda profundizar en la materia de aprendizaje.

3. MATLAB Simulink y AEK

MATLAB Simulink es una herramienta para el diseño, modelado y desarrollo de sistemas de control basado en modelos, la cual es la principal herramienta

utilizada por desarrolladores de sistemas ciber-físicos [4]. Esto es debido a que, además de ser una herramienta muy potente de simulación, ofrece la posibilidad de generar código automáticamente. Este código es, además, compatible con diferentes estándares de seguridad, como por ejemplo AUTOSAR (estándar de automoción). Por ello, la Universidad de Mondragón cuenta con una licencia de campus que ofrece la posibilidad de utilizar MATLAB Simulink a todos los alumnos de la facultad de ingeniería.

Por otro lado, Arduino es una empresa de desarrollo de software y hardware libre que diseña y proporciona componentes hardware. Una parte de su negocio está dedicado a la educación, donde proporcionan soluciones para diferentes rangos de edades. Entre las ofertas de este negocio, se encuentran diferentes kits orientados a la capacitación de los estudiantes universitarios (p.ej., Kit de IOT). Entre estos kits se encuentra el Arduino Engineering Kit (AEK), el cual proporciona tres proyectos hardware con todos los componentes requeridos para llevar a cabo cada proyecto. Este kit tiene como objetivo proporcionar una comprensión de los conceptos básicos de sistemas ciber-físicos a través de un entorno de aprendizaje colaborativo.

Se ha seleccionado el AEK como kit para la inclusión en el currículo de las diferentes asignaturas debido a su alta interconexión con MATLAB y Simulink, ya que cubre los conceptos clave de programación en este entorno (p.ej., sistemas de control, diseño basado en modelos, procesamiento de imágenes, etc.). La posibilidad de que los alumnos pudieran ver un resultado práctico del uso de la herramienta MATLAB Simulink conllevó a que nos decantásemos por este kit de cara a evolucionar una enseñanza basada en la simulación de los sistemas al uso de hardware real. El kit fue galardonado en los BETT 2020 awards debido a que “es un juego de herramientas innovador y bien diseñado que permite a los estudiantes de ingeniería utilizar el software estándar de la industria para completar proyectos interesantes, atractivos y relevantes”.

4. Metodología

Esta sección presenta las dos metodologías definidas para llevar a cabo el proyecto. Estas metodologías preferiblemente recomendamos que se apliquen secuencialmente, de forma que la primera garantice el contexto de desarrollo de la segunda.

4.1. Metodología Colaborativa

Para llevar a cabo el proyecto se ha establecido una metodología colaborativa entre la universidad y MathWorks, en el que ambos agentes son beneficiarios. Además, MathWorks financia la beca de un becario y

su supervisión. En esta sección se explica dicha metodología y cómo se puede establecer en el contexto de otras universidades.

Una vez aceptado el proyecto, se lanza el proyecto, estableciendo para ello los diferentes actores que formarán parte en ella. Los actores de la universidad son (1) el becario, (2) el supervisor y (3) el coordinador de título. Por otra parte, el actor por parte de MathWorks será el responsable de la universidad. El becario tiene como objetivo principal la puesta en marcha de la parte técnica, en este caso, los tres proyectos de los AEKs. También apoyará en tareas de documentación. El supervisor tiene como objetivo ayudar en la parte técnica al becario, estableciendo para ello reuniones regulares (2-3 por semana). Además, es responsable de la generación del material docente que va a ser puesto a disposición de la comunidad académica. Por otro lado, se encargará de gestionar las relaciones con MathWorks mediante reuniones bisemanales y reportar los resultados al coordinador de título. El coordinador de título se asegura que todo el trabajo cumple con los criterios establecidos por la universidad, y coordina la relación con profesores de otras asignaturas (tanto del grado en informática como de otros grados y másteres) de cara a que el material pueda ser lo más reutilizado posible. Por último, el responsable de la universidad por parte de MathWorks será el encargado de supervisar todo el proceso, asegurarse que el contenido generado cumple con los criterios de calidad establecidos por MathWorks y da soporte técnico a la universidad cuando estos requieren de ella.

Los siguientes pasos son simples. El becario se encarga de la parte técnico-tecnológica, asesorado por el supervisor para tareas técnicas de las que carece de dominio técnico. Cada dos o tres días, el becario y el supervisor se reúnen para realizar el seguimiento técnico y definir los siguientes pasos a dar. Se han montado dos unidades de cada proyecto AEK, para que el supervisor y el becario puedan trabajar en paralelo. Por su parte, el supervisor se encarga de la identificación de las competencias técnicas a trabajar en los tres kits. En total se han identificado doce competencias (por ejemplo, computación matemática, diseño de software y hardware basado en modelos, procesamiento de imágenes, etc.). Por cada una de estas competencias, el supervisor será el encargado principal de desarrollar el material educativo, tanto teórico como práctico. Dicho material será repasado por (1) el becario, (2) otro profesor del área experto en la temática, (3) el coordinador de título y (4) el responsable de MathWorks, con el objetivo de mejorar su calidad. Cada dos semanas, el supervisor se reúne con el responsable de MathWorks para reportarle los resultados, consultar dudas y establecer objetivos comunes. Mensualmente, el supervisor se reúne con el coordinador de título para indicarle el progreso

del proyecto.

4.2. Adaptación de los kits

Los materiales proporcionados por MathWorks requieren de una adaptación para que puedan ser empleados en las actividades académicas del currículo. Para identificar las posibilidades que ofrecen los materiales y adaptarlos a las necesidades del currículo se ha empleado una metodología que consta de cinco pasos. En un primer paso (1) se han identificado las competencias que el fabricante describe en los materiales didácticos proporcionados. Estas competencias están orientadas a las capacidades tecnológicas que pueden desarrollarse con el AEK. Además, cada competencia puede desarrollarse con uno o varios de los proyectos. Es por ello, que en el segundo paso (2), se han relacionado las competencias descritas por el fabricante, con cada uno de los proyectos. En el tercer paso (3), se han identificado las competencias del currículo del grado de Ingeniería Informática que pueden desarrollarse con el AEK. En el cuarto paso (4) se han asociado las competencias del kit con las competencias del currículo académico. Y finalmente, en el quinto paso (5) se ha realizado un diseño detallado de las actividades a desarrollar para adaptar los contenidos de aprendizaje del AEK al currículo. Para cada una de las competencias asociadas en el paso cuarto, se han definido (5.1) los prerrequisitos o conocimiento previos necesarios para desarrollar la competencia, (5.2) los objetivos de aprendizaje de la misma, (5.3) los contenidos a desarrollar y (5.4) el sistema de evaluación.

Los materiales desarrollados con esta metodología permitirán al profesorado configurar las competencias a trabajar en función factores como los conocimientos previos, objetivos y profundidad del aprendizaje deseado.¹ De esta forma, una asignatura que desee trabajar una competencia de conceptos básicos podrá configurar los materiales para desarrollar únicamente aquellos aspectos deseados y se le proporcionarán el resto de módulos ya completados. Sin embargo, otra asignatura que busque profundizar en competencias de forma más avanzada, podrá seleccionar los materiales con menos módulos resueltos, dejando que sean los alumnos quienes los desarrollen.

5. Conclusiones y Líneas Futuras

Este artículo ha presentado dos metodologías de cara a introducir el uso de hardware real en la enseñanza de asignaturas de diseño y control de sistemas ciber-físicos. Para ello, la Universidad de Mondragon y MathWorks han lanzado una estrecha colaboración

que se llevará a cabo durante el presente curso. Una vez terminado el proyecto, los resultados de este serán accesibles para la comunidad académica. Internamente, los resultados del proyecto se aplicarán dentro de la asignatura de Informática Industrial dentro del grado en ingeniería informática, así como en otras asignaturas relacionadas dentro de otros grados y másteres.

Como línea futura, durante el curso 2021-2022, se evaluarán empíricamente los resultados obtenidos del proyecto mediante su aplicación en la asignatura de informática industrial del grado en ingeniería informática de la Universidad de Mondragon. Se medirá para ello cómo de atractivo resulta la experiencia con una encuesta.

Referencias

- [1] Phyllis C Blumenfeld y col. «Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning». En: *Educational psychologist* 26.3-4 (1991), págs. 369-398.
- [2] Finn Kjærdsdam y Stig Enemark. *The Aalborg experiment project innovation in university education*. Aalborg Universitetsforlag, 1994.
- [3] Peter Marwedel y col. «Survey on education for cyber-physical systems». En: *IEEE Design & Test* 37.6 (2020), págs. 56-70.
- [4] Reza Matinnejad y col. «Test generation and test prioritization for simulink models with dynamic behavior». En: *IEEE Transactions on Software Engineering* 45.9 (2018), págs. 919-944.
- [5] Rafael Molina-Carmona y col. «Convencido del Aprendizaje Basado en Proyectos, ¿por dónde empiezo?». En: *Actas de las JENUI* (2020), págs. 117-124.
- [6] Dimitris Mourtzis y col. «Cyber-physical systems and education 4.0—the teaching factory 4.0 concept». En: *Procedia manufacturing* 23 (2018), págs. 129-134.
- [7] Eduardo Rodríguez-Sandoval, Édgar Mauricio Vargas-Solano y Janeth Luna-Cortés. «Evaluación de la estrategia de aprendizaje basado en proyectos». En: *Educación y educadores* 13.1 (2010), págs. 13-25.
- [8] John A Stankovic, James W Sturges y Jon Eisenberg. «A 21st century cyber-physical systems education». En: *Computer* 50.12 (2017), págs. 82-85.
- [9] Martin Törngren y col. «Strategies and considerations in shaping cyber-physical systems education». En: *ACM SIGBED Review* 14.1 (2017), págs. 53-60.

¹El material puede encontrarse en <https://github.com/MU-MATHWORKS>