

MODELO PRESCRIPTIVO DINÁMICO PARA UN SISTEMA DE EVENTOS COMPLEJO

Esteban Schab^(1,3), Carlos Casanova^(1,3) y Fabiana Piccoli^(1 y 2)

⁽¹⁾ Universidad Autónoma de Entre Ríos, Concepción del Uruguay

⁽²⁾ LIDIC- Univ. Nacional de San Luis, San Luis

⁽³⁾ Univ. Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Concepción del Uruguay
Argentina

mpiccoli@unsl.edu.ar

{schabe, casanovac}@frcu.utn.edu.ar

RESUMEN

La toma de decisiones en contextos dominados por grandes volúmenes de datos debe conjugar dos atributos usualmente contrapuestos: calidad y velocidad. La disponibilidad de información generada por personas y dispositivos abre nuevos desafíos en el diseño de mecanismos que puedan aprovecharla, de tal manera de que sean capaces de determinar las decisiones de mayor utilidad sujetas a ventanas temporales que garanticen su factibilidad. Uno de estos mecanismos lo constituyen las analíticas en sus distintos tipos, las cuales buscan transformar los datos en información a través de técnicas diversas. En este trabajo proponemos una línea de investigación enfocada en la analítica prescriptiva, capaz de determinar acciones a ser ejecutadas en el momento (decisiones operativas) o en el futuro (decisiones tácticas para corto y mediano plazo, decisiones estratégicas para largo plazo) para lograr un objetivo deseado. Para componerlas se propone la utilización de desarrollos provenientes de la Inteligencia Computacional y de la Computación de Alto Desempeño con el fin de obtener, de forma colaborativa, calidad y velocidad en las decisiones.

Palabras clave: Inteligencia Computacional. Analíticas. Big Data. Computación de Alto Desempeño.

CONTEXTO

Esta propuesta de trabajo se lleva a cabo dentro de los proyectos de investigación: “Tecnologías Avanzadas aplicadas al Procesamiento de Datos Masivos” (LIDIC, UNSL), “Cómputo de Altas Prestaciones aplicado a la Solución de Grandes Problemas” (UADER) y “Descubrimiento de conocimiento en bases de datos” (GIBD, UTN).

1. INTRODUCCIÓN

La mejora continua y adaptativa de los procesos de negocio resulta clave para mantener la competitividad de las organizaciones. La digitalización de los procesos, así como el incremento en las tecnologías de monitoreo, han llevado a producir una enorme cantidad de datos, los cuales tienen un gran potencial para la mejora de los procesos conducida por analíticas [1] [2] [3].

Las analíticas buscan transformar los datos en conocimiento para la toma de decisiones [4], pudiendo distinguirse cuatro tipos de analíticas según el nivel de automatización del proceso [5]. Primero, la descriptiva intenta responder qué ha

pasado o está pasando y la diagnóstica por qué ha pasado o está pasando, analizando para ello datos históricos. Luego, la analítica predictiva busca responder qué sucederá, aplicando el conocimiento para predecir nuevos datos sobre el presente o el futuro (pronóstico). Cabe aclarar que ninguno de estos enfoques sugiere acciones concretas, sino que descansan en el juicio subjetivo y las habilidades analíticas del usuario para deducir acciones de mejora. En cambio, la analítica prescriptiva responde qué debería hacerse para lograr un objetivo: determina acciones a ser ejecutadas en el momento (decisiones operativas) o en el futuro (decisiones tácticas para corto y mediano plazo, decisiones estratégicas para largo plazo).

Si bien el volumen de datos generados por personas y dispositivos se encuentra en continuo crecimiento, y a pesar de los avances tecnológicos en general, las analíticas de procesos existentes dentro de la industria actual no aprovechan completamente el conocimiento oculto debido a las siguientes limitaciones [1]:

- a. No hacen uso de técnicas prescriptivas para transformar los resultados del análisis en acciones de mejora concretas, dejando este paso completamente a criterio del usuario.
- b. Hacen un uso intensivo de datos de sistemas en producción, generando un deterioro en el desempeño de las herramientas de software que soportan los procesos.
- c. La optimización es conducida *ex post*, después de completado el proceso, en contraste a la mejora proactiva durante la ejecución del proceso.

En el área de datos masivos (o Big Data), se identifica como área emergente el procesamiento de *datastreams*, también llamado *Data Stream Mining* [6] [7] [8]. Un *datastream* es una representación digital y transmisión continua de datos, los cuales describen una clase de eventos relacionada [9] [11]. Mediante el

procesamiento de estos *datastreams* se puede lograr la respuesta en tiempo real a los eventos en forma de toma de decisiones.

Los grandes volúmenes de datos generados pueden ser utilizados en algoritmos de diversa índole para la generación de analíticas, particularmente las descriptivas y predictivas, como por ejemplo los de aprendizaje supervisado o no supervisado. Existe, sin embargo, una dificultad en lo relativo a las analíticas prescriptivas: no cuentan con un “profesor” [10] que les diga qué acción tomar en cada circunstancia. Un tipo de aprendizaje que no necesita de un profesor es el llamado aprendizaje por refuerzo. En este esquema es el propio agente quien es capaz de juzgar y criticar sus acciones con base en sus percepciones y de alguna medida de aptitud, recompensa o refuerzo. La tarea del aprendizaje por refuerzo es usar recompensas observadas para aprender una política óptima (o aproximadamente óptima) del entorno, sin asumir ningún conocimiento *a priori* [10]. Esta política le dice al agente qué hacer en cada estado posible a alcanzar. Por lo tanto, se juzga al aprendizaje por refuerzo como una herramienta muy útil para la elaboración de analíticas prescriptivas, ya que ambos comparten el mismo objetivo.

La ejecución de los algoritmos para la generación de analíticas debe ser lo suficientemente rápida como para procesar los *datastreams* generados de manera continua por el sistema, lo que implica el uso de técnicas y herramientas de Computación de Alto Desempeño (HPC).

En la siguiente sección se describen con mayor detalle las características de esta línea de investigación.

2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN

La línea de investigación se basa en la idea de la Optimización de procesos de negocio por recomendación. En este contexto, los *datastreams* abren nuevas y amplias oportunidades para la creación de valor en las organizaciones. Como se mencionó, mediante su procesamiento se puede conseguir respuesta en tiempo real a eventos en forma de toma de decisiones.

En [11], [12] y [13] encontramos distintos enfoques para la definición de eventos en un proceso de negocio, variando en su complejidad. Una secuencia o flujo de eventos (*Event Stream*) es una serie ordenada y potencialmente ilimitada de eventos [14]. Los flujos de eventos se generan y utilizan en muchos sistemas. Ejemplo de ellos son:

- Bancos: un caso de particular interés es el de los bancos y otros sistemas de atención al público [15]. En ellos la generación de *datastreams* es causada por los sistemas de gestión de atención implementados. Estos sistemas en general utilizan modelos relacionales de bases de datos y, si bien permiten la elaboración de analíticas, puede resultar inapropiada su implementación debido a que el desempeño del sistema de atención, especialmente en un contexto de *Software as a Service* (SaaS) [16], puede colapsar ante las continuas consultas para realizar el monitoreo. Por tal motivo, la generación y el procesamiento de los eventos en forma de *datastreams* como una componente paralela al sistema de atención puede ser la tecnología de base para permitir un monitoreo eficiente, sin deterioro del desempeño del sistema en general.
- Enrutamiento de vehículos: es otro caso de interés, conocido por su siglas VRP (*Vehicle Routing Problem*) [17] con suministro de

información y reencaminamiento en tiempo real, orientado a la búsqueda de un paradigma de movilidad inteligente [18]. Dentro de este problema se pueden estudiar de forma particular o en conjunto la logística urbana, el transporte de personas y los conductores individuales. En este caso los *datastreams* son generados de forma distribuida por cada agente involucrado y pueden ser procesados de forma centralizada o distribuida dependiendo del esquema elegido y los recursos disponibles.

Considerando estos problemas, esta línea propone la composición de modelos de analítica prescriptiva, para superar los inconvenientes descritos anteriormente. Estos modelos serán parte esencial de un proceso de mejora continua basado en la recomendación de acciones operativas y tácticas destinadas a mantener los indicadores de rendimiento del sistema dentro de valores deseados, en un contexto con grandes flujos de eventos y Computación de Alto Desempeño (HPC).

Para la construcción de estos modelos prescriptivos, cuya principal función es la determinación de las acciones a llevar a cabo, se debe hacer uso de modelos predictivos para explorar los futuros cercanos y modelos descriptivos para calcular la aptitud de dichos estados. Para ello se propone el uso de agentes basados en aprendizaje por refuerzo, técnicas provenientes de la Inteligencia Computacional: redes neuronales como modelos, teoría de conjuntos difusos como lenguaje de especificación, y métodos numéricos y metaheurísticos para el entrenamiento de tales modelos [19] [20] [21].

Además, ante la necesidad de dar rápida respuesta a los procesos de negocios dinámicos, y dadas las características propias de cada una de las técnicas de inteligencia computacional antes mencionadas, es mandatorio pensar en la

aplicación de modelos/paradigmas de computación de alto desempeño [22] [23] [24], principalmente en el entrenamiento de los modelos. Este proceso debe ser lo suficientemente rápido como para procesar los *datastreams* que el sistema genera de manera continua y brindar resultados en tiempo real.

3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

El primer caso de aplicación que se encuentra en desarrollo es el de enrutamiento de vehículos, con suministro de información y re-encaminamiento en tiempo real. Este caso es un caso de logística urbana. Se espera construir un modelo prescriptivo dirigido por los datos, basado en la recomendación automática y proactiva de acciones operativas y tácticas destinadas a mantener los indicadores de rendimiento del sistema dentro de los valores deseados, considerando un contexto de gran volumen de eventos.

Para el procesamiento, los primeros desarrollos tienden a construir algoritmos aplicando HPC capaz de reducir los tiempos derivados de entrenar y ejecutar el modelo. Aunque uno de los objetivos es lograr una solución paralela portable, de costo predecible, capaz de explotar las ventajas de modernos ambientes HPC a través de herramientas y “frameworks de computación” de alto nivel [23] [24], los primeros desarrollos se están haciendo en GPU Nvidia con CUDA [25], se prevé el uso de otras tecnologías como OneAPI[26].

4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Los resultados esperados respecto a la formación de recursos humanos son el desarrollo de 1 tesis de doctorado, 2 de maestría y de varias tesinas de grado en las universidades intervinientes.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Christoph Gröger, Holger Schwarz, and Bernhard Mitschang. “Prescriptive analytics for recommendation-based business process optimization”. In *International Conference on Business Information Systems*, pages 25–37. Springer, 2014.
- [2] Mandeep Kaur Saggi and Sushma Jain. “A survey towards an integration of big data analytics to big insights for value-creation”. *Information Processing & Management*, 54(5):758{790, 2018.
- [3] Usarat Thirathon, Bernhard Wieder, Zoltan Matolcsy, and Maria-Luise Ossimitz. “Impact of big data analytics on decision making and performance”. In *International Conference on Enterprise Systems, Accounting and Logistics*, 2017.
- [4] Clyde Holsapple, Anita Lee-Post, and Ram Pakath. “A unified foundation for business analytics. *Decision Support Systems*”, 64:130{141, 2014.
- [5] Michael Minelli, Michele Chambers, and Ambiga Dhiraj. “Big data, big analytics: emerging business intelligence and analytic trends for today’s businesses”. Volume 578. John Wiley & Sons, 2013.
- [6] Albert Bifet and Jesse Read. “Ubiquitous artificial intelligence and dynamic data streams”. In *Proceedings of the 12th ACM International Conference on Distributed and Event-Based Systems, DEBS ’18*, Pp. 1–6, Association for Computing Machinery. New York, USA, 2018.
- [7] Sergio Ramírez-Gallego, Bartosz Krawczyk, Salvador García, Michal Wozniak, and Francisco Herrera. “A survey on data preprocessing for data stream mining: Current status and future directions”. *Neurocomputing*, 239:39 – 57, 2017.
- [8] Taiwo Kolajo, Daramola Olawande, and Adebisi Ayodele. “Big data stream analysis: a systematic literature review”.

- Journal of Big Data, vol. 6, no 1, pp. 1-30, 2019.
- [9] Federico Pigni, Gabriele Piccoli, and Richard Watson. "Digital data streams: Creating value from the real-time flow of big data". *California Management Review*, 58(3):5–25, 2016.
- [10] Stuart J Russell and Peter Norvig. "Inteligencia Artificial: un enfoque moderno". 2004.
- [11] Chris Wrench, et al. "Data stream mining of event and complex event streams: A survey of existing and future technologies and applications in big data." *Enterprise Big Data Engineering, Analytics, and Management*. IGI Global, 2016. pp. 24-47.
- [12] Annika Hinze, Kai Sachs, and Alejandro Buchmann. "Event-based applications and enabling technologies." *Proceedings of the Third ACM International Conference on Distributed Event-Based Systems*. pp. 1-15. 2009.
- [13] Opher Etzion and Peter Niblett, "Event processing in action", Manning, 2011.
- [14] Thomas J. Owens, "Survey of event processing", Air Force Research Lab Rome NY Information Directorate, 2007.
- [15] T. Olanrewaju. "The rise of the digital bank." <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/ourinsights/the-rise-of-the-digital-bank/>. Accessed: 2020.
- [16] M. Turner, D. Budgen and P. Brereton, "Turning software into a service". In *Computer*, vol. 36, no. 10, pp. 38-44, Oct. 2003.
- [17] Kris Braekers, Katrien Ramaekers, and Inneke Van Nieuwenhuysse, "The vehicle routing problem: State of the art classification and review", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 99, pp. 300-313, 2016.
- [18] Sandra Melo, Joaquim Macedo, and Patrícia Baptista, "Guiding cities to pursue a smart mobility paradigm: An example from vehicle routing guidance and its traffic and operational effects", *Research in transportation economics*, vol. 65, p. 24-33, 2017.
- [19] A. Ebrahimnejad and J. L. Verdegay. "Fuzzy sets-based methods and techniques for modern analytics". Springer International Publishing. 2018.
- [20] Nazmul Siddique and Hojjat Adeli. "Computational intelligence: synergies of fuzzy logic, neural networks and evolutionary computing". John Wiley & Sons, 2013.
- [21] Lotfi A. Zadeh. "Fuzzy logic, neural networks, and soft computing". *Commun. ACM* 37, 3, 77–84. DOI: <https://doi.org/10.1145/175247.175255>. March 1994.
- [22] Mercedes Barrionuevo, Mariela Lopresti, Natalia Miranda, and María Fabiana Piccoli. "Solving a big-data problem with gpu: the network traffic analysis". *Journal of Computer Science and Technology*, 15(01): p.30–39, Apr. 2015.
- [23] S. Kurgalin and S. Borzunov, "A Practical Approach to High-Performance Computing". Springer. 2019.
- [24] Peter Pacheco. "An Introduction to Parallel Programming", 1st ed., San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2011.
- [25] Nvidia. "*CUDA C++ Programming Guide, Design Guide*". https://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA_C_Programming_Guide.pdf. 2019.
- [26] OneAPI Specification, release 1.0-rev 3. <https://spec.oneapi.com/versions/1.0-rev-3/>. 2020.