

Sistemas Inteligentes en la Industria 4.0

Henryk Dufek¹

Toijer Ignas²

Fredrik Strandberg³

Real Instituto de Tecnología. Suecia.

¹dhenryk(AT)kth.se, ²tignas(AT)kth.se, ³fstrandberg(AT)kth.se

En este siglo, una tendencia está definiendo la Industrie 4.0, el Internet industrial y las fábricas del futuro en todo el mundo como una ola orientada a revolucionar la producción y los servicios asociados en la nueva era. En esta visión revolucionaria los Sistemas Ciberfísicos (CPS), capaces de intercambiar información de forma autónoma e inteligente, son fundamentales como parte constitutiva de las máquinas inteligentes, los sistemas de almacenamiento y los procesos productivos. Por lo tanto, deberían ser capaces de decidir y llevar a cabo acciones y controlarse de manera independiente, por lo que se requiere utilizar sistemas inteligentes basados en conocimiento. En este artículo se presenta una perspectiva sobre cómo apoyar la Industrie 4.0 con este tipo de sistemas y se propone el modelo conceptual de una arquitectura para sistemas inteligentes basados en conocimiento.

Palabras clave: Industria 4.0; Gestión del conocimiento; Sistemas inteligentes; Sistemas ciberfísicos.

Intelligent Systems in Industry 4.0

In this century, a trend is defining Industrie 4.0, the industrial Internet and the factories of the future around the world as a wave aimed at revolutionizing production and associated services in the new era. In this revolutionary vision, Cyber-Physical Systems (CPS), capable of exchanging information autonomously and intelligently, are fundamental as a constituent part of intelligent machines, storage systems, and production processes. Therefore, they should be able to decide and carry out actions and control themselves independently, so it is necessary to use intelligent knowledge-based systems. This article presents a perspective on how to support Industrie 4.0 with this type of systems and proposes the conceptual model of an architecture for intelligent systems based on knowledge.

Keywords: Industry 4.0; Knowledge management; Intelligent Systems; Cyberphysical systems.

1. INTRODUCCIÓN

La Cuarta Revolución Industrial es una idea que poco a poco avanza en las hojas de ruta de empresas e investigadores por igual. Los gobiernos son conscientes de la importancia de las TI en la industria y, por tal motivo, desarrollan y lanzan nuevas iniciativas y programas de financiación. Entre ellas se puede mencionar Industrial Internet y Advanced Manufacturing Partnership en Estados Unidos, Industry 4.0 en Alemania [1] y Nouvelle France Industrielle en Francia, como ejemplos diferentes de esta visión. Incluso regiones más pequeñas con larga tradición en la fabricación están siguiendo la tendencia desde su propia perspectiva local (por ejemplo, el País Vasco con RIS3 en Fabricación avanzada). La idea general es que, en este siglo, hay un cambio de paradigma en los sistemas interconectados que eventualmente generará una nueva revolución industrial, comparable a la que trajo la energía de vapor a fines del siglo XVIII.

El uso extensivo de los sistemas TI en las industrias actuales y la amplia disponibilidad de tecnologías como grandes datos, computación en la nube y cuadrícula y, por supuesto, la semántica, prometen generar el valor agregado que, eventualmente, creará una nueva fábrica interconectada [1]. Últimamente se ha hablado mucho en diferentes foros sobre las ideas de Industrie 4.0 y las posibles formas de implementarlas en las actuales instalaciones de producción [2]. El sentimiento de la mayoría de los gerentes de las empresas manufactureras es que esta nueva revolución debe implementarse, lo antes posible, para mejorar sus líneas de fabricación con la inteligencia tan deseada que promete. Sin embargo, la realidad de muchas compañías es que tienen que lidiar con la existencia de sistemas heredados y soluciones monolíticas que, en el mejor de los casos, solo proporcionarían una interconectividad limitada al ofrecer registros de datos bastante básicos en formatos a veces desconocidos.

En este escenario se deben responder preguntas importantes como:

1. ¿Cuál es el estado actual de la empresa? En otras palabras, ¿en qué etapa de la evolución hacia la próxima revolución industrial podría ubicarse? Responder esta pregunta representa un buen punto de partida en el proceso de considerar estrategias para salvar las brechas existentes de aprendizaje e implementación.

2. ¿A qué se debe prestar atención para implementar la llamada próxima revolución industrial en la empresa? Responder esta pregunta inevitablemente debería conducir a productos software y hardware, nuevas normativas, nuevos enfoques de seguridad y almacenamiento, etc. También podría proporcionar información relevante sobre cuáles de los elementos requeridos ya están presentes, aunque incipientes, cuáles no están presentes y cuáles no son pertinentes.
3. ¿Cómo involucrar a los responsables de la toma de decisiones y, eventualmente, como monetizar la experiencia y el conocimiento que actualmente está en las mentes de los empleados? Esta pregunta conducirá a un nuevo cambio de paradigma en el que el conocimiento contextual, la experiencia del usuario y, en general, la semántica involucrada en los procesos de producción debe tenerse en cuenta si la empresa tiene como objetivo avanzar hacia la próxima revolución industrial.

Este artículo se centra básicamente en la tercera pregunta, una cuestión donde los aspectos semánticos relacionados con la implementación de la próxima revolución industrial deben ser cubiertos en su mayoría. Se presenta y analiza una propuesta sobre cómo los sistemas inteligentes y basados en conocimiento podrían desempeñar su papel en el contexto del cambio de paradigma mencionado, tomando a la Industrie 4.0 como idea motivadora. El trabajo se centra en el modelo conceptual, la arquitectura y los elementos clave necesarios para el soporte y la mejora de la Industrie 4.0 con sistemas inteligentes y basados en conocimiento. Un escenario de aplicación futura servirá como plataforma para los desarrollos propuestos y, si bien se presenta en esta etapa inicial, no obstante, deberá considerarse como la primera implementación real de la arquitectura.

2. ESTADO DEL ARTE

CPS se refieren a la convergencia del mundo físico y el mundo digital (ciberespacio) y, cuando se aplica a la producción, se orienta a los Sistemas de Producción Ciberfísicos (CPPS); incluso teniendo en cuenta que hay algunas críticas con respecto a cierta vaguedad en el término y a veces un marketing excesivo [3]. Hoy se acepta ampliamente que la visión y las tecnologías relacionadas con la Industrie 4.0 ya han tenido un impacto real en los sistemas de fabricación

industrial actuales y futuros. Documentos sobre el tema [4] muestran que el potencial de la Industria 4.0 ya está en camino, y que su alcance internacional es claro, especialmente para países con visión prospectiva. Para implementar la Industrie 4.0 se deben tener en cuenta diferentes tecnologías, tal como se muestra en la Figura 1.

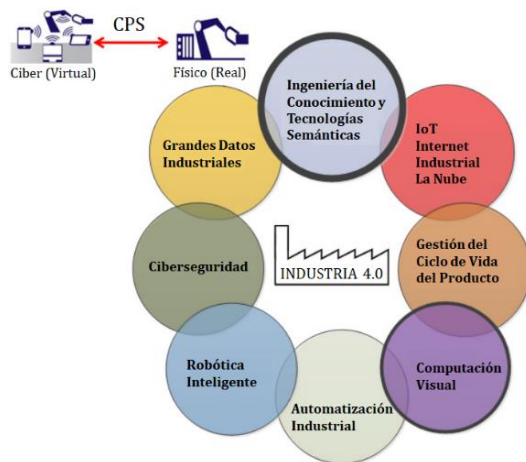


Figura 1. Contexto de la Industria 4.0

A nivel de taxonomía, se puede argumentar que el intento más conocido de proporcionar vocabularios estandarizados para el dominio de las plantas industriales es AutomationML [5, 6]. Este estándar tiene como objetivo describir los componentes reales de la planta como objetos que encapsulan diferentes aspectos del dominio. Cualquier objeto dado puede construirse con otros sub objetos, a la vez que ser parte de una composición más grande. Por lo tanto, AutomationML puede describir un tornillo, una grapa, un robot o una celda de fabricación completa en diferentes niveles de detalle. Los objetos típicos en la automatización de plantas comprenden información sobre topología, geometría, cinemática y lógica, donde esta última comprende secuenciación, comportamiento y control. Utilizando este enfoque, a continuación se mencionan algunos proyectos comenzados:

- ReApp [5] es un proyecto de investigación dentro del programa alemán de tecnología Autonomik für Industrie 4.0. El objetivo es la programación inteligente de robots, que simplifica el desarrollo y reduce la inversión económica, de modo que no solo las grandes empresas sino también las pequeñas y medianas puedan incorporarlos a su producción. Además, pretende proporcionar una cadena de herramientas para todos los participantes en el desarrollo (incluidos los desarrolladores de algoritmos y aplicaciones, integradores de sistemas, etc.). Utiliza

descripciones semánticas y es capaz de construir automáticamente el esqueleto del programa e incluso generarlo directamente. ReApp recurre a una extensión semántica de AML que utiliza una ontología en el dominio de la robótica.

- Otro esfuerzo dentro de un enfoque similar es el proyecto Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) [6]. ZIM se orienta hacia la fusión de datos semánticos interoperables para la generación automatizada de visualización de control de procesos basada en la vista (IDA). IDA se ocupa de la interoperabilidad de la visualización de procesos como una interfaz entre el hombre y la máquina. El objetivo es crear un proceso de ingeniería más eficiente y mejorar y simplificar los procesos durante la fase de operación. Por lo tanto, la visualización del proceso se genera automáticamente a partir de la información existente desde diferentes vistas de datos. Los datos existentes se interpretan y enlazan semánticamente, lo que respalda su enriquecimiento semiautomático por contexto. El resultado es una minimización del esfuerzo manual propenso a errores de ingeniería y un aumento de la calidad de los resultados. Los componentes del sistema de producción y su geometría se describen utilizando AutomationML.

Como ejemplo de la importancia de formalizar el uso de las diferentes tecnologías en el contexto de la Industrie 4.0, Stork [4] discute el papel de la visualización y mencionan la relevancia de la semántica y la ingeniería del conocimiento. Wahlster [7] discute la aproximación presentada en el proyecto SEMPRON [8], que describe la taxonomía y la definición de cómo almacena una memoria de producto semántico un diario digital de un objeto físico individual. Para que la información del producto esté disponible para su entorno por medios inalámbricos se debe garantizar la persistencia de estos recuerdos semánticos. SEMPRON presenta una gran variedad de memorias de productos semánticos con un amplio espectro de realizaciones técnicas en varios campos de aplicación que fueron diseñados, implementados y probados en el proyecto [7]. Además, investiga activamente el uso de memorias digitales activas de objetos como sistemas ciberfísicos móviles, convirtiéndose también en el primer enfoque hacia uno de los

muchos usos posibles de la semántica dentro del dominio. Las memorias semánticas de productos forman una subclase de memorias digitales de productos, las cuales proporcionan información legible por máquina sobre el ciclo de vida del producto; mientras que las memorias semánticas de productos van más allá, ya que proporcionan una descripción de significado comprensible por máquina de sus contenidos basada en tecnologías semánticas [7].

- Alineado con estas visiones, Shafiq et al. [9] presentaron la idea del Objeto de Ingeniería Virtual (VEO) y la definieron como la representación de un artefacto que puede comportarse como un especialista en ese artefacto, y que puede ayudar a tomar decisiones efectivas con base en la experiencia pasada. El concepto de VEO funciona con SOEKS y DDNA [10, 11] y está diseñado para tener todo el conocimiento del artefacto de ingeniería junto con la experiencia incorporada en él. Este enfoque pretende proporcionar un formato de representación de conocimiento estándar que eventualmente forme varias redes que, con base en su experiencia de fabricación anterior, permitirán una descripción completa de las experiencias llevadas a cabo por un objeto de ingeniería. Estas redes de VEO forman parte de un paraguas de Sistemas Ciberfísicos (CPS) más grande [12].

En todos estos casos y, en general, en cualquier sistema basado en conocimiento, los datos y la información juegan un papel muy importante. La estandarización y los lenguajes para la estandarización de las comunicaciones en un contexto de máquina a máquina, como Object Linking and Embedded (OLE) for Process Control

y OPC-UA, que utilizan una arquitectura unificada que no depende del sistema operativo Windows, también juegan papel importante [2].

Como se puede ver, en el trabajo relevante dirigido a mejorar Product Life Cycle (PLC) y Product Life-Cycle Management (PLM) se pensó que se había abordado una mejor comprensión de los datos y la información producida, tanto por parte de la academia como de la industria, sin embargo, todavía hay un margen de mejora para una visión alternativa utilizando algunos de los elementos ya presentados en un contexto más amplio. Además, los enfoques presentados se centran en aplicar un determinado estándar para el intercambio de datos o la introducción de una usabilidad propuesta (por ejemplo, el caso de las memorias semánticas de productos), pero siguen siendo una necesidad discutible una arquitectura fácil de seguir para la implementación y mejora de la Industria 4.0 a través de sistemas inteligentes y conocimiento. Este artículo trata directamente con este aspecto y propone una arquitectura y algunos ejemplos de implementación.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA

En este trabajo se considera que la separación clásica (a nivel conceptual) entre un sensor y un actuador se está volviendo cada vez más estrecha con la llegada de CPS. Inclusive, podría decirse que tal separación conceptual eventualmente desaparecerá cuando CPS se use ampliamente en las instalaciones de producción. Sin embargo, la arquitectura propuesta (Figura 2) comienza con una capa física donde se consumen y producen colecciones de señales de sensores y actuadores; esta información viaja a través del bus de datos a una capa de estandarización que puede realizar el intercambio de datos y la alineación en los plazos requeridos.

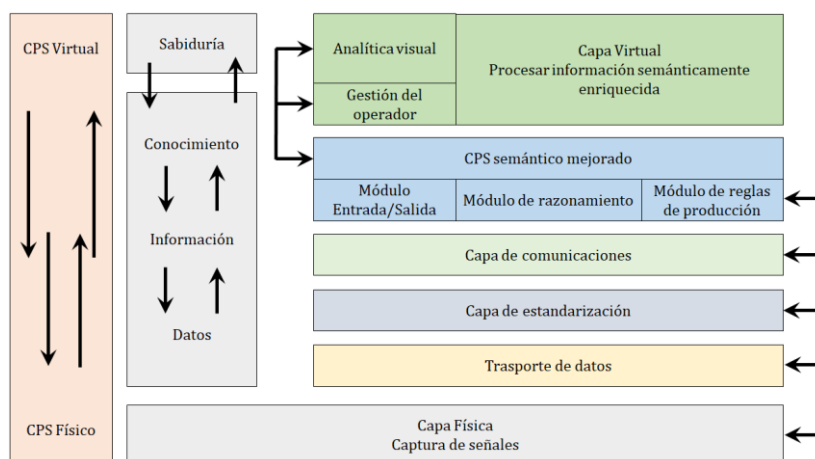


Figura 2. Representación de la arquitectura propuesta

Es importante mencionar que cada sensor/actuador tiene sus propios tiempos de captura/actuación de datos y, por lo tanto, es asíncrono por naturaleza. La precisión requerida para fines de monitoreo o para actuar de acuerdo con una perturbación (decisión) depende de las características del elemento máquina/dispositivo y los requisitos del proceso de fabricación. Dado que no se puede predecir qué sincronización será la más adecuada en circunstancias operativas, la sincronización de las señales de tiempo y frecuencia es una cuestión de gran importancia y es contextual por naturaleza [10].

La sincronización mencionada se implementa en la capa de estandarización donde también se produce la posible información contextual, análisis y almacenamiento de memoria. Una vez que los datos están alineados y sincronizados, la capa de comunicación se encarga de preparar los paquetes de datos para transmitirlos a la capa virtual.

La capa de comunicaciones puede dividir y controlar paquetes de información y debe garantizar la seguridad y el anonimato mientras sea necesario. Se puede argumentar que, hasta esta etapa, la información procesada se encuentra en el dominio físico y, a partir de aquí, un sistema de almacenamiento y gestión virtual alberga el resto de la arquitectura.

De acuerdo con este enfoque, es posible que CPS pueda apoyar por sí solo decisiones localizadas, pero también se debe considerar el conocimiento contextual. La razón de esta funcionalidad no es otra que poder considerar el impacto de un elemento dado en la máquina o en la línea de producción y viceversa. El conocimiento contextual permite considerar la imagen completa y no solo la información localizada o los datos recopilados. Se debe diseñar e implementar un administrador de conocimiento contextual en una ubicación donde se pueda acceder a toda la información relevante. Entre otras razones por las cuales se requiere esta característica, se puede mencionar la cantidad de datos producidos, la necesidad de un almacenamiento flexible para dichos datos y las consideraciones de seguridad siempre importantes.

El CPS semántico mejorado aglutina todo el proceso de razonamiento y contiene tres submódulos que permiten su enriquecimiento semántico *per se*. El proceso de semantización comienza con un módulo Entrada/Salida que

sincroniza la información a enriquecer con la capa de comunicación a través de mensajes HTTP/respuestas serializadas mantenidas entre el servidor y el cliente. Aquí se propone utilizar OPC/OPC-UA para este componente [13]. El módulo Entrada/Salida actúa en consecuencia respondiendo a las solicitudes de razonamiento, extrayendo o empujando flujos de datos y, como consecuencia, alimenta el procedimiento de razonamiento con la información necesaria para realizar sus tareas. El módulo de razonamiento implementa un *backend* lógico que se debe ejecutar siguiendo una suposición de mundo abierto y la Lógica de Primer Orden (FOL) [10], [11]. También contiene cláusulas RETE [3] y un sistema de gestión de reglas con métodos estadísticos compatibles con SDK de terceros como, por ejemplo, Scikit Learn [14].

Como el módulo de razonamiento tiene que alimentarse no solo con datos, sino también con reglas proporcionadas por especialistas en el dominio, el módulo de reglas de producción se encarga de almacenarlas y de interactuar con los usuarios a través de herramientas de autoría o de gestión de reglas semiautomáticas y la búsqueda de fuentes externas como Business Information Systems (BIS), Enterprise Resource Planning (ERP) y los repositorios y aplicaciones de software de Plant Life Cycle Management (PLM) [8].

En esta etapa, la capa física se enriquece a través de su contraparte virtual. Por último, esta capa de aplicación comprende las diferentes aplicaciones desarrolladas que explotarán la información semántica enriquecida y, aparte, contendrá dos módulos de interacción humano-máquina. Por un lado, la gestión del operador que, entre otras tareas, interactúa con el almacenamiento de reglas en la capa CPS mejorada semánticamente y el módulo de analítica visual que implementa la salida gráfica de la información semánticamente mejorada almacenada en la arquitectura. La importancia del módulo de analítica visual se basa en el hecho de que actuará como una función aglutinante.

4. CONCLUSIONES

Se presenta una perspectiva inicial sobre cómo apoyar la Industria 4.0 con sistemas inteligentes basados en conocimiento. La ventaja radica en el mejor uso de los datos y la información generados dentro de los procesos de fabricación para la reutilización, el análisis de tendencias y el pronóstico.

El trabajo se centra en el modelo conceptual, la arquitectura y los elementos necesarios para la implementación en el mundo real, pero dado que el trabajo es producto de un esfuerzo continuo, se encuentra en una etapa de desarrollo que se espera que termine con un sistema de trabajo implementado en las empresas como escenarios de prueba.

REFERENCIAS

- [1] Forschungs union & Acatech. (2014). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group.
- [2] Blanchet, M. et al. (2014). Industry 4.0: The New Industrial Revolution. How Europe will succeed. Roland Berger Strategy Consultants.
- [3] Drath, R. & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or Hype? Industrial Electronics Magazine, 8(2), 56-58.
- [4] Stork, A. (2015). Visual Computing Challenges of Advanced Manufacturing and Industrie 4.0. IEEE Computer Graphics and Applications, 35(2), 21-25.
- [5] <http://www.reapp-projekt.de/>.
- [6] <http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/18792/>.
- [7] Wahlster, W. (2013). SemProM: Foundations of Semantic Product Memories for the Internet of Things. Springer.
- [8] <http://www.semprom.de/>.
- [9] Shafiq, S. et al. (2014). Decisional DNA Based Framework for Representing Virtual Engineering Objects. In N. Nguyen et al. (Eds.), Intelligent Information and Database Systems, vol. 8397 (pp. 422-431). Springer.
- [10] Szczerbicki, E. et al. (2013). Current Research Advances and Implementations in Smart Knowledge-Based Systems. Cybernetics and Systems, 44(2-3), 95-97.
- [11] Terkaj, W., Schneider, G. & Pauwels, P. (2017). Reusing Domain Ontologies in Linked Building Data: The Case of Building Automation and Control. In The Joint Ontology Workshops. Bozen-Bolzano, Italy.
- [12] Fensel, D. et al. (2003). Introduction to the Semantic Web. In D. Fensel, et al. (Eds.), Spinning the Semantic Web. Bringing the World Wide Web to Its Full Potential (pp. 1-25). MIT Press.
- [13] Forgy, C. (1991). Rete: A fast algorithm for the many pattern/many object pattern match problem. In P. Raeth (Ed.), Expert systems (pp. 324-341). IEEE.
- [14] Pedregosa, F. et al. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12, 2825-2830.
- [15] Lee, J. et al. (2013). Recent Advances and Trends in Predictive Manufacturing Systems in Big Data Environment. Manufacturing Letters 1(1), 38-41.