

Data-driven simulation methodology using DES 4-layer architecture

Metodología de simulación data driven utilizando una arquitectura de 4 capas de simulación por eventos discretos

Aída Sáez Más^a, José P. García-Sabater^b, Joan Morant Llorca^c y Julien Maheut^d

^aUniversitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia (Spain), adsems@upv.es ^bROGLE, Dto De Organización de Empresas, Universitat Politècnica de València, (Spain), jpgarcia@upv.es ^cUniversitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia (Spain), joamollo@upv.es and ^dEDEM Escuela de Empresarios, Marina Real Juan Carlos I, Muelle de la Aduana, s/n, 46024 Valencia (Spain), jumal@edem.es

Recibido: 2016-02-24 Aceptado: 2016-03-22

Abstract

In this study, we present a methodology to build data-driven simulation models of manufacturing plants. We go further than other research proposals and we suggest focusing simulation model development under a 4-layer architecture (network, logic, database and visual reality). The Network layer includes system infrastructure. The Logic layer covers operations planning and control system, and material handling equipment system. The Database holds all the information needed to perform the simulation, the results used to analyze and the values that the Logic layer is using to manage the Plant. Finally, the Visual Reality displays an augmented reality system including not only the machinery and the movement but also blackboards and other Andon elements. This architecture provides numerous advantages as helps to build a simulation model that consistently considers the internal logistics, in a very flexible way.

Keywords: *Data driven approach, Simulation modeling methodology, Manufacturing plant, 4-layer architecture, Discrete event simulation.*

Resumen

En este trabajo presentamos una metodología para la construcción de modelos de simulación data driven para plantas de fabricación. Se ha ido más allá de lo propuesto en otras investigaciones al enfocar el desarrollo del modelo como una arquitectura de 4 capas (red, lógica, base de datos y realidad visual). La capa de Red abarca toda la infraestructura del sistema. La capa Lógica incluye el sistema de planificación y control de operaciones, y el sistema de manejo de materiales. La Base de Datos alberga toda la información necesaria para que represente la simulación, los resultados utilizados para analizar y los valores de la capa lógica para gestionar la planta. Finalmente la capa de Realidad Visual proporciona un sistema real argumentado, incluyendo no solo la maquinaria y los movimientos, sino también las pizarras y otros elementos andon. Esta arquitectura proporciona numerosas ventajas, como ayudar en la construcción del modelo que de manera consistente considera la logística interna de una manera muy flexible.

Palabras clave: *Enfoque data driven, modelado y simulación, Planta de fabricación, Arquitectura de 4 capas, Simulación por eventos discretos.*

Introducción

La producción flexible y personalizada ha sido durante mucho tiempo un tema de interés en los entornos de fabricación (Wang, Chang, Xiao, Wang, y Li, 2011). Para mantenerse en el mercado competitivo, es necesario tener la habilidad de adaptarse a los cambios del entorno y a manejar la complejidad del sistema (Hao y Shen, 2008). La necesidad de diseñar nuevos sistemas o reconfigurar los presentes, para producir nuevos productos se ha incrementado, en gran parte debido a los cambios en la demanda de los clientes, tanto en aspectos de variedad como de cantidad de productos (Lu, Shpitalni, Y Gadh, 1999).

El diseño de sistemas de producción, implica la selección y disposición de las máquinas y estaciones, así como la ruta del flujo de material y de medios de manutención necesarios (Sly, Grajo, y Montreuil, 1996), que puede tener un gran impacto en la efectividad y eficiencia de las operaciones de fabricación (Negahban y Smith, 2014). Para ello la simulación por eventos discretos (DES) ha sido ampliamente utilizada en líneas de montaje (Wang, Li, y Wang, 2011), para evaluar el diseño y rendimiento de las operaciones de los sistemas de fabricación.

Así mismo, también resulta necesario un conocimiento experto que permita modelar múltiples alternativas de diseño y realizar su correspondiente evaluación de manera fácil y rápida. Por ello surgió la simulación data driven, que Pidd, (1992) define como “un modelo genérico que está diseñado para aplicarse a una amplia gama de sistemas que tienen similitudes estructurales”. La simulación data driven también puede definirse como un modelo de simulación que puede ser completamente parametrizado por el suministro de datos a través de un conjunto de formularios, tablas, hojas de cálculo o plantillas, y está diseñado específicamente para el modelado de un conjunto identificado de sistemas (McLean, Jones, Lee, y Riddick, 2002).

Un importante número de investigadores ha aplicado este enfoque de simulación a sus trabajos. Tjahjono (2008) tiene una interfaz flexible que permite construir automáticamente modelos de líneas de montaje de motores a partir de datos de hojas de cálculo Excel, sin que el usuario tenga que hacer nada más que pulsar el botón "run". Lim, (2014) aporta un simulador data driven, capaz de manipular grandes volúmenes de datos, de funciones estadísticas y reducir el tiempo de preparación de datos. Wy et al. (2011) aplican un marco a líneas de montaje, el cual desarrollaron mediante un modelo genérico de simulación data driven. Los datos se centran en representar el modelo de simulación genérico y el flujo lógico. Wang et al (2011) proponen una metodología para la simulación data driven, que puede generar automáticamente modelos de simulación de sistemas de producción y realizar modificaciones rápidamente.

Si bien la simulación data driven se desarrolló para reducir la complejidad de sistemas productivos complejos y permitir el modelado con conocimientos de simulación y experiencia limitada (Franz, 1989), y resultó ser un salto en el modo de concebir los modelos de simulación, en esta investigación se propone ir más allá, al separar el proceso de modelado en 4 capas (*network, logic, database y visual reality*).

La propuesta de trabajo en cuatro capas permite reducir el tiempo de modelado, generar modelos de manera automática mediante la parametrización e integrar los diferentes sistemas de producción como son las operaciones, sistema de manejo de materiales y el flujo de material. El objetivo de este trabajo es proponer una metodología de construcción de modelos de simulación data driven con una arquitectura de 4 capas (*network, logic, database y visual reality*), que permita modificar con facilidad y rapidez el modelo genérico, y separar la lógica de simulación de la parte física, integrando dos sistemas dinámicos complejos, el sistema de producción, y el de manejo de materiales y la información asociada.

Con esta metodología se quiere ayudar en el proceso de diseño/rediseño de layout, para facilitar el proponer y comprobar posibles cambios que puedan suponer una mejora. Aplicando la metodología propuesta se podrán simular diferentes escenarios what-if de layout y operaciones, así como modificar fácilmente los modos de gestión.

El resto del trabajo está organizado de la siguiente manera. A continuación se detalla la metodología de simulación propuesta. Más tarde se describe la generación de los modelos data driven. Por último, se proponen las ventajas de aplicar la metodología y arquitectura propuesta y las conclusiones al trabajo.

Arquitectura de 4 capas propuesta

El desarrollo del modelo de simulación se ha planteado como un sistema de 4 capas (Figura 1), en el que las partes comunes del modelo conforman un subconjunto independiente al resto de capas, pero a su vez estrechamente relacionadas entre sí.

- *Network*. La capa Network compone la infraestructura de la simulación por la que se moverán los elementos del sistema. Esta capa representa el equipamiento de la planta, los materiales utilizados y los caminos por los que se mueven o se transportan estos. Dentro del equipamiento de la planta se reconocen todo tipo de máquinas, almacenes, células de fabricación, líneas de montaje y buffers necesarios para representar cualquier sistema de producción o logístico real, así como su distribución en planta o ubicación. El material utilizado forma también parte de esta capa, donde cada producto final estará compuesto por una serie de componentes o piezas, así como del embalaje específico para cada uno de ellos. También está formado por los nodos, que corresponden con los puntos de paso y uso de material. Los caminos, que permiten la conexión entre diferentes nodos, harán posible el movimiento del flujo de los materiales utilizados, como son pasillos, conveyors, medios de manutención y de transporte, y personal necesario para representar la realidad del sistema.
- *Logic*. Esta capa representa la lógica que coordina las operaciones realizadas en la planta. Es el sistema de planificación y control de operaciones. Representa el flujo de información que coordina las operaciones realizadas en la planta. El diseño de esta capa se ha planteado de un modo altamente parametrizado a través de la capa *Database* que actúa a modo de ERP, de manera que se puedan generar modelos de una manera dinámica. Esto asegura que el modelo de simulación sea robusto ante posibles cambios en las alternativas y escenarios. Incluye no sólo el sistema de programación de producción que genera las secuencias de trabajo en cada sección de la planta, sino el sistema que gobierna a los elementos de manutención y al personal que suministra y mueve los materiales en la planta.
- *Database*. Esta capa mantiene la información necesaria para hacer funcionar el sistema. Dado que se propone una estructura de tipo Data-Driven para la simulación la base de datos incluye 2 grandes secciones: la clásica que parametriza el funcionamiento del sistema (por ejemplo velocidades de máquinas para la capa *Network* o Puntos de Pedido para la capa *Logic...*), y la que mantiene los datos que permiten simular el comportamiento dinámico del sistema (por ejemplo producción acumulada para la capa *Network* y niveles de stock para la capa *Logic...*). Esta última haría referencia a los datos del sistema ERP que maneja la producción, logística, distribución, inventario, envíos etc.

- *Visual Reality*. La capa de realidad virtual es la que permitirá al modelo relacionarse con los stakeholders. Desde un punto de vista de simulación es irrelevante (salvo en el caso de que algunos aspectos de la capa *Network* permitan considerar restricciones de tipo volumétrico). Pero el cliente final de la simulación mayormente analizará el comportamiento del simulador bajo este prisma. Según la propuesta aquí planteada la capa de Realidad Virtual debe incluir sobre el propio layout de la planta indicadores de tipo *Andon*, que faciliten la conexión del usuario con su realidad física. Este tipo de indicadores se encuentran asociados principalmente a máquinas, en esta capa se propone asociarlos a los datos de gestión de la base de datos, para conocer la situación en cada momento, no solo de la maquinaria, sino de los elementos de la red en cuanto a ocupación de pasillos o accesos.

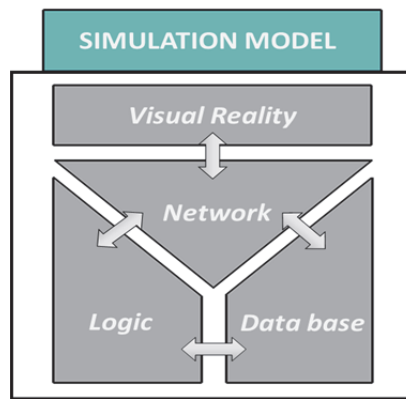


Figura 1. Modelo de simulación basado en 4 capas

La figura 1 trata de representar la estructura de las relaciones entre las diferentes capas. La consideración de las mismas permite por ejemplo considerar que la lógica de funcionamiento de una estación por sí sola no aporta nada al modelo general, pero a través de la base de datos capta los datos de simulación necesarios y se le asigna dicha lógica a una determinada estación de la red. La realidad visual se relaciona con la red proporcionando una imagen real de aquello que representa, y esta a su vez le proporciona la información recabada por la base de datos con ayuda de la lógica de simulación, formando todas ellas el modelo de simulación.

Metodología de simulación propuesta aplicada al caso de estudio

Los modelos genéricos de simulación data driven de la literatura muestran que este enfoque híbrido de simulación se utiliza principalmente para reducir los esfuerzos de modelado. El concepto de un simulador genérico incluye la extracción y el almacenamiento de las partes comunes de un dominio. Las partes comunes en la simulación de sistemas de fabricación pueden ser la lógica de programación y las reglas de operación de los sistemas automatizados de manejo de materiales. A continuación se especifican las etapas realizadas para la construcción de un modelo de simulación bajo este enfoque.

Descripción del problema y datos iniciales

Inicialmente se especifica en detalle el modelo a generar, se detecta la problemática del caso en cuestión, el porqué de realizar una simulación, y los objetivos perseguidos con esta. En problemas de diseño/rediseño de layout, es relevante para poder ponerse en situación toda la información acerca de la distribución en planta actual, la futura, si se desea realizar modificaciones, y sus antecedentes. También resulta importante la información relativa a la lógica de trabajo, a las operaciones realizadas, y al flujo de materiales a lo largo de la planta. Modelar los flujos de información resultará útil para describir y entender la compleja relación entre los datos.

Desarrollo del modelo

En esta fase se definen las consideraciones del modelo, así como los algoritmos y demás componentes del modelo. También se desarrolla el modelo de simulación y la lógica de producción para comprobar su funcionamiento.

En esta etapa se desarrollaría la arquitectura de 4 capas propuesta anteriormente.

- *Network*. Construir esta capa de manera aislada, permite centrarse en la distribución en plan actual o diseñada, representar las etapas del proceso de fabricación o logístico, la conexión entre ellas mediante medios de manutención, personal, conveyors o cinta transportadora, y el material y embalaje a transportar. En general, tener una visión detallado del proceso que sigue el producto a lo largo de todo el sistema y representarlo sin preocuparnos por su comportamiento lógico. A partir de un documento CAD (*Computer-Aided Design*) se puede realizar la construcción guardando proporciones reales.
- *Logic*. Una vez conocido en detalle el sistema a simular y representada su red, se empieza a programar las lógicas de los procesos que se van a llevar a cabo. En esta fase se intenta parametrizar gran parte de los procesos, lo que permitirá modificar la lógica de funcionamiento manteniendo la misma distribución.
- *Database*. Construir la base de datos de manera independiente, obliga a pensar con detenimiento la cantidad de datos necesarios, ya que durante esta fase ya se tiene una visión global del sistema a simular. De otro modo, se puede caer en el error de incluir información repetida o irrelevante para la simulación.
- *Visual Reality*. Finalmente, una vez representado el modelo, se mejora su aspecto visual de manera que resulte sencillo interactuar con personal ajeno a la investigación y no familiarizado con el software. Así mismo los resultados e indicadores perseguidos con la simulación y obtenidos con la capa lógica, en esta fase se representan para que sean percibidos y evaluados.

Verificación y validación del modelo

Después de desarrollar un modelo de simulación, hay que verificar y validar. El objetivo de la validación del modelo de simulación es proporcionar información que ayude a los usuarios a aceptar o rechazar el modelo (Campuzano y Mula, 2011).

En primer lugar, la verificación se debe hacer con el fin de asegurar que el modelo se comporta como se espera (Kleijnen, 1995) en función del diseño. Nuestra propuesta es ejecutar dos tipos de análisis de sensibilidad: en el primero se modifican ligeramente los datos del problema y se comprueba que el sistema tiene un comportamiento como el intuitivamente esperado; en el segundo se somete al sistema a datos

extremos para los que no está necesariamente preparado y se comprueba el funcionamiento en esas condiciones.

A continuación, se realiza la validación, que consiste en la definición de si el modelo de simulación se comporta igual que el sistema real (Jiménez-García et al, 2013). Existen dos razones para no llevar adelante este caso: la primera es que no exista tal sistema real contra el que comparar; la segunda sería que el desconocimiento específico del sistema real, previo a la transformación, fuera tal que no compensara dicho análisis. En ese caso habría que reforzar la fase de verificación.

Una vez validado, se asegura que el modelo construido se corresponde con aquel que se desea construir, en otras palabras, se determina que el modelo de simulación trabaja como se esperaba.

Experimentación y análisis de los resultados

Una vez construido y validado el modelo se lleva a cabo la experimentación. Es importante distinguir entre escenarios y alternativas. Cuando la simulación se realiza para una gran corporación la diferencia entre escenario y alternativa puede ser demasiado sutil. Lo que para unos niveles de decisión son alternativas (opciones entre las que se puede elegir) para otras son escenarios, pues deben seguir tomando decisiones a su nivel, sin saber cuál es la alternativa que elegirán en otros niveles. Es relevante establecer a priori los medibles que determinarán la bondad de una alternativa frente a otra en los escenarios. La representación de los mismos debe enfocarse en las mejoras propuestas y a ser posible estar embebidos en la misma simulación.

Generación de modelos de simulación

Para la generación de modelos de simulación en base a un modelo genérico data driven, se sigue el proceso descrito en la figura 2. Se introduce una serie de parámetros o modificaciones que se quieran experimentar en el modelo que hacen referencia a los datos de producción, lógica de trabajo o layout. Estas especificaciones nutren las capas de la lógica, base de datos y la red, formando el modelo deseado. Esta arquitectura resulta muy útil a la hora de realizar la experimentación, ya que permite plantear múltiples alternativas de layout y estrategias de trabajo y enfrentarlas a diferentes tipos de demanda con un solo modelo de simulación inicial, únicamente realizando cambios sobre los parámetros en el experimentador del software.

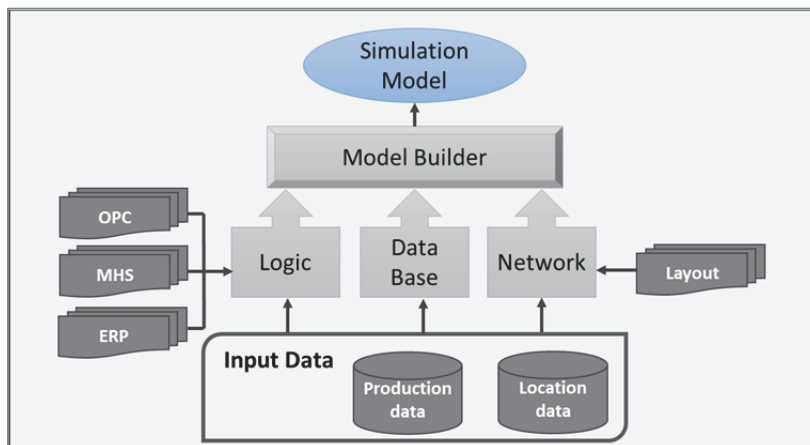


Figura 2. Creación del modelo de simulación.

Ventajas de aplicar la metodología de simulación propuesta

La arquitectura de simulación de 4 capas propuesta permite:

- Permite generar una simulación más fiel a la realidad, puesto que en general los flujos de información van desacoplados con los flujos de materiales.
- Permite simular simultáneamente tanto los recursos ligados a producción como los ligados al flujo de materiales, utilizando un esquema de sistemas de información parecido a la realidad en el que la información está separada de los recursos que la utilizan.
- Los modelos pueden adquirir un nivel de complejidad mayor al considerar simultáneamente diferentes tipos de flujos.
- Se pueden realizar cambios únicamente en una de las capas, sin interferir en las otras. Esto evita tener que modificar el modelo completo, o que un pequeño cambio provoque una cadena de modificaciones en el modelo general.
- Permite reutilizar las capas programadas en futuros modelos de simulación. Por ejemplo la capa lógica puede tener módulos de gestión de carretillas cuyo comportamiento será similar en muchas otras realidades.
- Permite evaluar lógicas de trabajo (modelos de gestión logística, programación de producción...) sin tener que hacer grandes modificaciones en el modelo.
- La creación de escenarios únicamente realizando cambios sobre parámetros de entrada, sin necesidad de realizar modificaciones en la programación. Consiguiendo un ahorro de tiempo considerable, al no tener que realizar diferentes modelos de simulación para cada alternativa y escenario.
- Permite testar código (la capa lógica) que va a ser utilizada en formato *stand-alone* en un entorno casi real.

Conclusiones

En este trabajo se ha propuesto una metodología de simulación DES bajo un enfoque data driven de 4 capas (*network, logic, database* y *visual reality*). Gracias a ella es posible construir modelos genéricos paso a paso, a partir de los cuales se pueden proponer múltiples alternativas de mejora al caso inicial en un tiempo reducido. Con la aplicación de esta metodología a la construcción de modelos de simulación es posible:

- Entender y analizar en profundidad entornos productivos complejos, al separar el flujo de materiales del flujo de información en dos grandes partes, la lógica y la parte física. De esta manera se pueden percibir problemas que de otro modo se pasarían por alto.
- Integrar sistemas dinámicos complejos, como son el sistema de producción y control de operaciones y el manejo de materiales en una única capa del modelo de simulación (logic).
- Validar propuestas de layout y reconocer mejoras potenciales como futuras alternativas.
- Simular múltiples alternativas de manera fácil y rápida gracias a la parametrización de las modificaciones.

Finalmente, a la vista de la creciente complejidad en los entornos de fabricación, esta arquitectura se puede utilizar como una herramienta rápida para la simulación de plantas de producción y su correspondiente posterior análisis.

Referencias

- Campuzano, F., y Mula, J. (2011). *Supply Chain Simulation: A System Dynamics Approach for Improving Performance*. Recuperado a partir de <http://books.google.ca/books?id=wLM5xDvWZqMC>
- Franz, L. . (1989). Data driven modeling: an application in scheduling. *Decision Science*.
- Hao, Q., y Shen, W. (2008). Implementing a hybrid simulation model for a Kanban-based material handling system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(5), 635-646. <http://doi.org/10.1016/j.rcim.2007.09.012>
- Jiménez-García J. A, Téllez-Vázquez S, Medina-Flores J.M, Rodríguez-Santoyo H. H, C.-O. J. (2013). Materials Supply System Analysis Under Simulation Scenarios in a Lean Manufacturing Environment. *Journal of Applied Research and Technology*, 10(2), 1-9. [http://doi.org/10.1016/S1665-6423\(14\)70589-9](http://doi.org/10.1016/S1665-6423(14)70589-9)
- Kleijnen, J. P. . (1995). Verification and validation of simulation models. *1998 Winter Simulation Conference. Proceedings (Cat. No.98CH36274)*, I(mimic). <http://doi.org/10.1109/WSC.1998.744907>
- Lim, D.-E. (2014). A Generic Simulation Framework for Efficient Simulation Analyses for Semiconductor Manufacturing: A Case Study. *International Journal of Control y Automation*, 7(2), 75-84. <http://doi.org/10.14257/ijca.2014.7.2.08>
- Lu, S. -Y., Shpitalni, M., y Gadh, R. (1999). Virtual and Augmented Reality Technologies for Product Realization. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 48(2), 471-495. [http://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63229-6](http://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63229-6)
- McLean, C., Jones, A., Lee, T., y Riddick, F. (2002). An architecture for generic data driven machine shop simulator. En *Proceeding of the Winter Simulation Conference*.

- Negahban, A., y Smith, J. S. (2014). Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(2), 241-261. <http://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.12.007>
- Pidd, M. (1992). Guidelines for the design of data driven generic simulators for specific domains.
- Sly, D., Grajo, E., y Montreuil, y B. (1996). Layout design and analysis software.pdf. Recuperado a partir de <http://go.galegroup.com/ps/anonymous?id=GALE|A18514886&sid=googleScholar&v=2.1&it=rylink&access=fulltext&issn=10851259&yp=AONE&ysw=wyauthCount=1&isAnonymousEntry=true>
- Tjahjono, B., y Fernández, R. (2008). Practical approach to experimentation in simulation study. En *Proceedings of the Winter Simulation Conference*.
- Wang, J., Chang, Q., Xiao, G., Wang, N., y Li, S. (2011). Data driven production modeling and simulation of complex automobile general assembly plant. *Computers in Industry*, 62(7), 765-775. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2011.05.004>
- Wang, N., Li, S. Q., y Wang, J. F. (2011). A Data Driven Modeling and Simulation Methodology for Automotive Assembly Plant. *Advanced Materials Research*, 346(2012), 228-235. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.346.228>
- Wy, J., Jeong, S., Kim, B. I., Park, J., Shin, J., Yoon, H., y Lee, S. (2011). A data-driven generic simulation model for logistics-embedded assembly manufacturing lines. *Computers and Industrial Engineering*, 60(1), 138-147. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2010.10.011>