

Modelos de simulación aplicados a la planificación de sistemas de producción no-confiables

Héctor Rivera-Gómez, Oscar Montaña-Arango, Jaime Garnica-González y Eva Selene Hernández-Gress
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (México)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7485>

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es discutir los resultados obtenidos en Rivera-Gómez et al. [1], quienes compararon tres modelos de simulación aplicados al control de la producción de un sistema de manufactura no-confiable. El sistema es considerado como un modelo de control óptimo complejo, dado que soluciones analíticas son conocidas solo para algunos casos simples. Por lo tanto, soluciones alternativas son necesarias. El software de simulación ARENA es utilizado para reproducir con exactitud la dinámica y el comportamiento estocástico de dicho sistema de manufactura. En la literatura algunos autores han encontrado soluciones analíticas para este tipo de sistemas, como en Akella y Kumar [2], y Bielecki and Kumar [3]. Adicionalmente, la simulación ha probado ser una herramienta efectiva, tal como se indica en los trabajos de Kenné et al. [4], Errasti et al. [5], Gharbi et al. [6] y Rivera-Gómez et al. [7]. En esta investigación el desempeño de los modelos de simulación es evaluado, basado en dos indicadores: i) exactitud, y ii) economía de tiempo.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El sistema de manufactura considerado consiste en una máquina no-confiable que produce un tipo de pieza, ver Figura 1. La máquina puede producir a su máxima capacidad para satisfacer una demanda constante de productos, y es no-confiable porque está sujeta a

fallas aleatorias, con dinámicas markovianas para las reparaciones y fallas. La máquina para de producir partes cuando falla, reduciendo por ende el nivel de inventario. Si la máquina no está disponible por un periodo de tiempo, entonces los pedidos atrasados aumentan. El objetivo del modelo es determinar la tasa de producción que minimiza el costo total incurrido, compuesto del costo de inventario y pedidos pendientes.

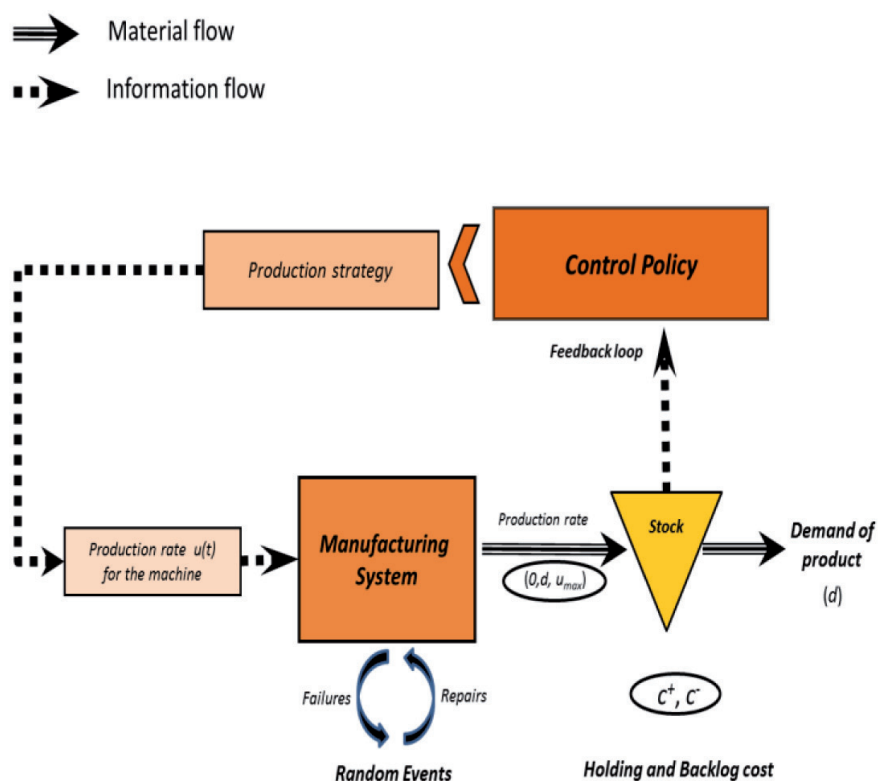


Fig. 1: Diagrama del sistema de manufactura

$$\rho v(\alpha, x, u) = \min_{(u) \in \Gamma(\alpha)} \left\{ g[\alpha, x, u] + \frac{dv}{dx} [\alpha, x] \dot{x} + Q(\cdot) v[\alpha, x](\alpha) \right\} \quad (1)$$

Este sistema de manufactura implica la formulación de un modelo de programación dinámica estocástico, donde el valor óptimo de la función costo sa-

tisfice propiedades específicas llamadas *condiciones de optimalidad*, las cuales conllevan a la ecuación Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB), ver Gershwin [8].

Al minimizar el lado derecho de la ecuación HJB, se obtiene una política de control, que en este caso está caracterizada por la Política del Punto de Cobertura, (PPC), ver Kimemia and Gershwin [8]. La PPC indica que cuando la máquina está trabajando, debe producir a su máxima capacidad, si el nivel del inventario es inferior al umbral de producción. Producir a la tasa de la demanda si el nivel de inventario es igual al umbral, y no producir si el nivel de inventario excede el punto de cobertura.

PROPUESTA

Dado que soluciones analíticas de la ecuación HJB son impracticables de obtener, Rivera Gómez et al. [1] proponen

$$C_{DISC} = 103.201 - 3.07156Z + 0.03889899Z^2 \quad (2)$$

$$C_{C++} = 98.461 - 2.86223Z + 0.0367528Z^2 \quad (3)$$

$$C_{VBA} = 98.4602 - 2.8622Z + 0.0367522Z^2 \quad (4)$$

un enfoque alternativo de simulación con la ventaja técnica de permitir una fácil implementación de asunciones extras al modelo, tales como: tiempos de preparación, múltiples máquinas, defectivos, etc., además dando una buena aproximación de los parámetros de control en periodos razonables de tiempo. Las actividades de investigación se organizaron como: i) Desarrollo de tres modelos de simulación con el software ARENA, (discreto, continuo Visual Basic, y Continuo C++). Los modelos continuos utilizan una ecuación diferencial para calcular el nivel de inventario en lugar de cambios en instantes discretos de tiempo como en el modelo discreto. ii) Determinación de una ecuación de regresión para determinar el costo total óptimo y parámetros de control óptimo. ii) Análisis de varianza (ANOVA) para asegurar un buen ajuste de los datos de simulación, y validación de los resultados con la solución analítica de Bielecki and Kumar [2].

RESULTADOS

Los modelos de simulación fueron comparados en términos de: i) exactitud, y ii) tiempo computacional. La duración de la simulación utilizada asegura condiciones estado estable, ver Rossetti [10]. Para determinar los coeficientes del modelo de regresión, cuatro replicas fueron necesarias. Análisis ANOVA fueron realizados a los resultados de simulación con el software estadístico STATGRAPHICS. El análisis muestra que el modelo de regresión cuadrático es un buen ajuste para los datos dado que el P-value < 0.05, y el 96% de la variabilidad total es explicada por el modelo cuadrático, en este caso se obtuvo.

Se validaron los resultados con la solución analítica de Bielecki and Kumar [3]. Con 30 replicaciones extras se calculó el umbral de producción y el costo total. Se observa un error relativo de 0.69% para el modelo discreto y un error del 0.20% para los modelos

continuos. Con respecto al tiempo computacional, se observa que el modelo Continuo C++ supera al resto de los modelos. Puesto que el modelo discreto requiere 110.55 segundos para terminar sus corridas, el modelo Continuo VBA necesita 782.9 segundos, mientras que el modelo Continuo C++ requiere solo 1.19 segundos. Esta economía de tiempo es sin duda muy importante en investigaciones futuras.

CONCLUSIÓN

De los resultados obtenidos es claro que el beneficio del modelo Continuo C++ es doble, dado que el error obtenido en el costo total es mucho más pequeño que el del modelo discreto, y también porque el modelo Continuo C++ es el más rápido de todos, con una economía de tiempo considerable de 98.92%. Los resultados de este trabajo son muy útiles en futuras investigaciones para analizar sistemas de producción reales más complejos, considerando un número de factores como: subcontratación, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, degradación, calidad, etc.

REFERENCIAS

- [1] Rivera-Gómez H, Montañón-Arango O, Garnica-González J and Hernández-Gress E. "Simulation models comparison for the production control of unreliable manufacturing systems". *DYNA Management*. 2014, Vol. 2-1, p. [no pages]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/MN7262>
- [2] Akella R and Kumar PR. "Optimal control of production rate in a failure-prone manufacturing system". *IEEE Transactions on Automatic Control*. 1996, Vol. 31-2, p. 116-126. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAC.1986.1104206>
- [3] Bielecki T and Kumar PR. "Optimality of zero-inventory policies for unreliable manufacturing systems". *Operations Research*. 1988, Vol. 36-4, p. 532-541. DOI: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.36.4.532>

- [4] Kenné JP, Gharbi A, Boukas EK. "Control policy simulation based on machine age in a failure prone one-machine, one-product manufacturing system". *International Journal of Production Research*. 1997, Vol. 35-5, p. 1431-1445. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/002075497195407>
- [5] Errasti A, Chackelson-Lurner C, Cipres-Bagüeste D et al. «Diseño de un sistema de picking producto a operario. aplicación del diseño de experimentos mediante simulación de eventos discretos.» *DYNA*. October 2011. Vol. 86-5 p.515-522. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4060>
- [6] Gharbi A, Hajji A, Dhoub K. "Production rate control of an unreliable manufacturing cell with adjustable capacity". *International Journal of Production Research*. 2011. Vol. 49-21, p. 6539-6557. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2010.519734>
- [7] Gershwin SB. *Manufacturing Systems Engineering*. First Edition. Cambridge, Massachusetts, US. Prentice Hall. 1994. 350 p. ISBN: 013560608X
- [8] Kimemia, JG., Gershwin SB. "An algorithm for the computer control production in a flexible manufacturing system". *IEEE Conference on Decision and Control including the Symposium of Adaptive Processes*. Vol. 20, p. 628-633. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CDC.1981.269285>
- [9] Rossetti MD. *Simulation modeling and Arena*. First Edition. United States of America. John Wiley & Sons, Inc. 2009. 600 p. ISBN: 0470097264.