

Un Algoritmo Greedy para la Agrupación de Colores en la Secuencia Maestra de una Empresa de Automoción

Poler R.¹, Garcia J.P.¹, Rodriguez A.¹, Lario F.C.¹,

¹Grupo G.I.P. (Gestión e Ingeniería de Producción) <http://gip.upv.es>
Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C.
Universidad Politécnica de Valencia
emails: rpoler@omp.upv.es; jpgarcia@omp.upv.es; arodriguez@omp.upv.es; fclario@omp.upv.es

RESUMEN

En este artículo se propone la utilización de un algoritmo Greedy para el post-tratamiento de la Secuencia Maestra definida, según diversas restricciones, para la fabricación de automóviles con el objetivo de conseguir la agrupación de colores sin alterar el cumplimiento de las restricciones planteadas. Esta agrupación de colores en la Secuencia Maestra se materializa en grandes ahorros en disolvente en la fase de pintado del automóvil. Se presenta el algoritmo utilizado, su implementación en una herramienta informática y su aplicación a una Empresa de Automoción.

Palabras clave: Secuenciación, Agrupación, Colores, Automoción, Greedy.

1 INTRODUCCIÓN

Los problemas de secuenciación son importantes para una utilización eficiente de líneas mixtas de montaje (Bard 1992) ya que cada vez son más utilizadas en la industria debido a los requerimientos de diversificación de producto. En este tipo de líneas se montan una variedad de productos con similares características básicas. Los diferentes componentes montados sobre el producto básico requieren equipos, operaciones y tiempos también diferentes.

Los objetivos perseguidos en la resolución de este tipo de problemas han sido variados: minimización del tiempo total de trabajo (Yano 1991), mantenimiento de ratio constante de consumo de componentes (Miltenburg 1899) (Monden 1991), minimización del coste de cambio de modelo (Burns 1987), etc.

La secuenciación de unidades en una línea de montaje trabajando en entorno JIT plantea una problemática bien conocida y analizada por diferentes autores. Esta problemática puede analizarse desde el punto de vista de problemas PRV (*Production Variation Problem*), ORV (*Output Variation Problem*) o LRV (*Load Variation Problem*).

En el Sistema Kanban utilizado por Toyota, los procesos que suministran las varias piezas o materiales a la cadena de montaje son los que reciben mayor atención. Con arreglo a este sistema de “atracción” la variación en las cantidades de producción o en los tiempos de transporte de dichos procesos debe minimizarse (Monden 1994), es decir, el objetivo prioritario es el mantener constante la velocidad de consumo de cada pieza en la cadena de montaje.

La propuesta original de Monden y propuestas similares, otorgan el mismo grado de importancia a todos los componentes. **Miltenburg** y **Sinnamon** en (Miltenburg 1989) plantean una visión del problema, donde los componentes están estructurados por niveles jerarquizados: productos, subconjuntos, componentes y materias primas. En el modelo se pondera la importancia de mantener la regularidad en cada nivel mediante unos pesos.

Estas y otras propuestas se basan en la búsqueda de la homogeneidad, bien en los productos secuenciados o en sus componentes. Conseguido este objetivo, la secuencia obtenida debería ser la mejor incluso desde el punto de vista de restricciones de secuencia. Sin embargo, una vez conseguida una secuencia de este tipo, puede ser interesante perseguir la agrupación de cierta característica. Este objetivo es totalmente contrario a los perseguidos, por lo que, si bien mediante la utilización de funciones objetivo complejas como la planteada por (Poler 1999) permite la búsqueda de una solución combinada en cuanto a la dispersión de ciertas características y la agrupación de otras, en general, si la resolución del problema se enfoca desde el punto de vista de la utilización de una heurística, no resulta sencillo combinar ambos objetivos. Sobre todo en el caso en que la característica a agrupar sea un objetivo secundario.

En los siguientes puntos se plantea la conveniencia de utilizar un post-tratamiento a una secuencia homogeneizada mediante cualquier algoritmo para la resolución de un problema ORV, con el objetivo de conseguir la agrupación una característica.

2 ALGORITMO DE AGRUPACIÓN DE CARACTERÍSTICAS

2.1 Introducción

Se parte de una secuencia de 1.500 vehículos a la que se le ha aplicado un procedimiento de homogeneización, normalmente, desde el punto de vista de componentes, ya sea mediante algoritmos similares al planteado por Monden, o

por otros que permitan considerar restricciones duras tales como "no dos productos del tipo X seguidos", "no más de dos productos Y cada 3", etc. Este último tipo de algoritmos operan en base a un conjunto de restricciones priorizadas de mayor a menor importancia.

El procedimiento de agrupación planteado puede clasificarse como un algoritmo Greedy y se basa en la permutación de los productos de idénticas características desde el punto de vista de las restricciones utilizadas, aunque con características diferentes en aquellas que no intervienen en estas.

2.2 Identificación de tipos de productos

Para ello es necesario poder identificar "tipos" de productos en función de las características primarias. Obviamente el primer problema a resolver es la determinación de tales características primarias o, más bien, la determinación del grado de agregación de todas las características que componen un vehículo. Esta definición se afronta a partir de las restricciones duras planteadas por la Planta de Montaje de la empresa. Tenemos ejemplos como: "no más de 3 vehículos con aire acondicionado seguidos", "no más de 3 vehículos con volante a la derecha seguidos", "no más de 2 vehículos turbo diesel con aire acondicionado seguidos" etc.

Identificadas tales características primarias se calcula el número de tipos de vehículo a definir a partir de la sucesiva inclusión de dichas características como presentes en un vehículo. Así, tendremos tipos básicos tales como "con aire acondicionado", "con turbo diesel", "con techo solar", "con volante a la derecha", etc. y tipos combinados tales como "con aire acondicionado y con turbo diesel".

Normalmente la identificación de tales tipos puede realizarse, a priori, de acuerdo a la tipología de carrocerías (vehículos en la fase de compartimento motor, piso, laterales y techo soldados antes de ser pintados) ya que, las características primarias mencionadas ya se dejan notar en la diferenciación de las carrocerías (soportes o agujeros especiales para el volante a la derecha, aire acondicionado, techo solar, etc.). Es posible que deba realizarse una ampliación de los tipos definidos según carrocerías según las restricciones de montaje que deban tenerse en cuenta.

A partir de la identificación de los tipos, el problema queda reducido a una secuencia de 1.500 vehículos agrupados en 20 o 30 tipos de vehículos. El conjunto de tipos definido debe ser el mínimo posible que tenga en cuenta a todas las características primarias utilizadas en la definición de las restricciones duras. Entonces, la permutación en la secuencia de dos vehículos del mismo tipo no alterará a esta desde el punto de vista de las restricciones planteadas.

2.3 Problemática a resolver

En la definición del algoritmo para la consecución del objetivo planteado, aparecen diversos problemas a tener en cuenta. Por un lado, la característica a agrupar (en este caso el color del vehículo) complica el problema cuanto más tipos (número de colores) contemple y también cuanta más diferencia porcentual exista entre ellos.

De los dos problemas, el más complicado de resolver es el segundo. En el caso que nos ocupa, existen colores que aparecen el menos del 1% de los vehículos a secuenciar. Obviamente, su agrupación resultará complicada, sobre todo teniendo en cuenta que deben competir con la agrupación de colores que representan, en ocasiones, a más del 20% de los vehículos a secuenciar.

2.4 Modelización del problema planteado

2.4.1 Función objetivo

La función objetivo planteada es la maximización de la repetición de colores en la secuencia final. Dicha repetición se establece desde un punto de vista amplio considerando que se da una repetición de color en la posición i de la secuencia si algún coche de las posiciones $i-1$ a $i-n$ es del mismo color al considerado. La repetición estricta se dará cuando $n = 1$, sin embargo se consideran interesantes contabilizaciones de repeticiones con $n = 3$, ya que, según se analiza en el apartado 3, pueden existir procedimientos físicos para convertir una cuasi-repetición en una repetición estricta.

2.4.2 Notación

Se define la siguiente:

- i : posición absoluta en la secuencia.
- VIN_i : identificación única del producto en la posición i .
- B_i : tipo del producto en la posición i .
- c_i : tipo de característica (color) a agrupar del vehículo en la posición i .
- pos_i : posición actual del vehículo ubicado en la posición original i .
- VIN_{pos_i} : identificación única del producto en la posición pos_i

2.4.3 Parámetros

Los parámetros planteados son variables definidas por el usuario previo a la aplicación del algoritmo sobre el problema. Para afrontar la problemática de la dispersión en cuanto al porcentaje de los tipos de la característica a agrupar (número de colores), se utiliza un parámetro que establece un umbral de consideración de colores agrupables o no:

- *MinBC* : tamaño mínimo del bloque compacto en la secuencia del mismo color para considerar a éste como agrupable.

2.5 Algoritmo de resolución

El algoritmo establece una serie de fases: la identificación de los colores agrupables, el posicionamiento de los bloques compactos de los colores agrupables, la definición del gradiente de colores y el posicionamiento de los colores no agrupables.

2.5.1 Fase 1: Identificación de los colores agrupables

En esta fase se clasifican los colores como agrupables o no, en función de la consecución o no de, al menos, un bloque compacto en la secuencia permutada de un tamaño igual o superior al *MinBC* establecido.

Para ello se calculan, para cada color y tomando como punto de partida cada posición de la secuencia, los bloques compactos que pueden conseguirse mediante permutación de los vehículos que se encuentran a la derecha y a la izquierda de la posición considerada. Cuando un bloque supera el *MinBC* establecido se almacena la posición que ha dado lugar a tal agrupación para el color considerado. Aquellos colores que hayan conseguido, al menos, un bloque compacto mayor o igual a *MinBC* se consideran colores agrupables. El resto se consideran como no agrupables.



Figura 1: Ejemplo de bloques obtenidos para un color a lo largo de la secuencia

La Figura 1 muestra un ejemplo de bloques obtenidos para un color. Obviamente, en la solución final únicamente existirá uno de ellos, ya que cada uno ha sido calculado sin imponer la limitación de la existencia de los demás.

2.5.2 Fase 2: Posicionamiento de los bloques compactos de los colores agrupables

En la fase 1 se han identificado, para cada color, los bloques compactos que han podido obtenerse mediante permutación de vehículos del mismo tipo. En esta fase se trata de seleccionar un bloque de cada color y ubicarlo definitivamente en la secuencia final. Como se comprobará en la siguiente fase, el objetivo perseguido es la obtención de un gradiente de colores centrado en un bloque compacto. El porqué de este objetivo se explica en el apartado 3. La selección de los bloques a fijar determinará irremediamente la solución final, por lo que esta es la fase más importante del algoritmo.

Se trata de un problema que combina dos decisiones: el orden en que serán colocados los colores y el bloque compacto seleccionado para cada color. El objetivo es conseguir el posicionamiento de los bloques compactos de los colores agrupables, tal y como muestra la Figura 2.



Figura 2: Posicionamiento final de los bloques compactos de los colores agrupables

Los espacios en blanco se refieren, tanto a los vehículos de color agrupable que todavía no han sido ubicados, como a los de color no agrupable. Para los primeros el objetivo es colocarlos lo más cerca posible de su bloque de color compacto ya situado, formando una especie de gradiente de color. Dicho gradiente alcanzará más extensión cuanto mayor sea la cantidad de vehículos que resten a colocar, esta cantidad, para el problema real analizado, está directamente relacionada con el tamaño del bloque compacto situado y con la cantidad total de vehículos del mismo color. El problema a solucionar es, pues, la selección de aquellos bloques compactos que dejen más espacio a la posterior ubicación del resto de colores agrupables.

Para conseguir este objetivo se utiliza un algoritmo que, seleccionando los colores a ubicar de mayor a menor cantidad de coches del mismo color, escoge aquel bloque compacto que minimiza la siguiente expresión:

$$\sum_{n=1}^b \frac{I}{(posB_n - posB_c)^2}; m \neq c$$

Donde:

- b : número de bloques compactos posicionados.
- $posB_n$: posición absoluta del vehículo que ha generado el bloque compacto n ya colocado.
- $posB_c$: posición absoluta del vehículo que ha generado el bloque compacto n pendiente de colocar.
- I : factor de peso.

Puede realizarse una analogía de la función utilizada con el modelo de repulsión de cargas eléctricas. En el problema real analizado se han utilizado cuatro procedimientos diferentes para el cálculo del factor de peso:

A: tamaño del bloque	B: cantidad de color	C: A+B	D: independiente
$I = \frac{1}{TB_n \cdot TB_c}$	$I = QC_n \cdot QC_c$	$I = \frac{QC_c}{TB_n}$	$I = 1$

2.5.3 Fase 3: Definición del gradiente de colores

Aplicada la fase 2 se habrá obtenido un resultado similar al presentado por la Figura 2. En esta fase se ubicarán los vehículos de color agrupable que restan. De forma ordenada de mayor a menor cantidad de vehículos del mismo color, se van ubicando, por permutación, pequeños bloques compactos a izquierda y derecha de cada bloque compacto colocado. Estos estarán separados por posiciones de otro color. Este procedimiento se realiza alternativamente para cada color cada vez que finaliza la expansión de un pequeño bloque compacto manteniéndose el bucle hasta que se han ubicado todos los vehículos del color de alguno de los bloques compactos. La alternancia utilizada tiene su razón en una más ordenada expansión del gradiente de colores vecinos. La Figura 3 muestra un ejemplo de gradiente para uno de los colores, sin embargo el mismo efecto se habrá producido en todos los bloques compactos colocados.

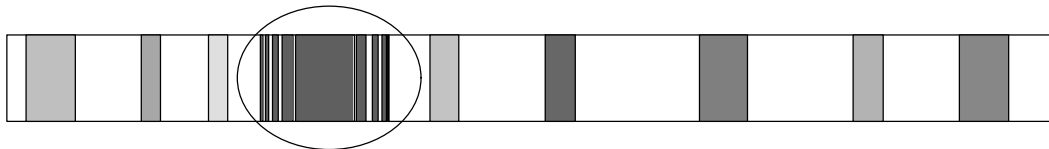


Figura 3: Ejemplo de gradiente de color

2.6 Software

El algoritmo descrito se ha implementado en el software *BatchPainting 1.0*. El post-tratamiento para 1.561 vehículos se lleva a cabo en 1.71 segundos en un Pentium Celeron a 300 MHz con 64 Mb RAM. Se han realizado experimentos con las diferentes opciones de *I*. Si bien la elección del tipo de peso viene muy condicionada por el problema concreto, la opción C se mantiene consistentemente como una de las que mejores resultados ofrece. Del mismo modo el parámetro *MinBC* debe estar comprendido entre 15 y 20.

3 Aplicación a un caso real

El algoritmo ha sido aplicado para la agrupación de colores en varias Secuencias Maestras de montaje de una empresa de automoción. El interés de la agrupación de colores es fundamentalmente económico, ya que una repetición de color en la cabina de montaje ahorra disolvente valorado en, aproximadamente 600 ptas. Las Secuencias Maestras tratadas ofrecen un número de repeticiones promedio en torno a las 100, mientras que el post-tratamiento eleva ese número hasta 760 repeticiones estrictas y a 1100 repeticiones $n = 3$ para un total de 1561 vehículos. Atendiendo únicamente a las repeticiones estrictas, el post-tratamiento de las Secuencias Maestras supondría un ahorro anual superior a los 85 millones de ptas.

Una de las razones por las que se ha optado por la generación de una Secuencia Maestra coloreada según un gradiente y se desestimó un primer algoritmo que generaba bloques compactos, es el hecho de que, a lo largo de la línea de producción se producen interrupciones en la secuencia definida. Una secuencia con un gradiente de colores es suficientemente robusta a estos problemas ya que, según los experimentos, considerando 30 puntos de interrupción antes de llegar a las cabinas de montaje en los cuales los vehículos sufren un adelanto o retraso de 20 posiciones, el número de repeticiones estrictas disminuye únicamente en un 28% mientras que el número de repeticiones $n = 3$ disminuye en un 10%. Se considera interesante este último resultado ya que, previo a las cabinas de pintura, puede utilizarse un procedimiento de resecuenciación que consiga restaurar los bloques de colores. Este procedimiento se basa en la utilización de un *lane bank*, en el que aplicando la regla del solitario para colores, se obtiene un número de repeticiones estrictas en torno a 1360, es decir, un 87% del total de vehículos. Utilizando este procedimiento el ahorro obtenido se eleva a 162 millones de ptas anuales.

4 Conclusiones

Se ha presentado un algoritmo de tipo Greedy que puede ser utilizado para el post-tratamiento de secuencias balanceadas de productos manteniendo el cumplimiento de restricciones duras. Dicho algoritmo ha sido aplicado a una empresa de automoción con la finalidad de obtener ahorros por la repetición de colores en las cabinas de pintura obteniendo resultados muy satisfactorios.

Referencias

- Bard J.F., Dar-El E.M. and Shtub A. "An analytic framework for sequencing mixed model assembly lines" Int. J. Prod. Res., 1992
- Burns L.D. and Daganzo C.F. "Assembly line job sequencing principles" Int. J. Prod. Res. 1987
- Miltenburg J. "Level schedules for mixed-model assembly lines in just-in-time production systems". Manage. Sci. 1899
- Miltenburg J. and Sinnamon G. "Scheduling mixed model multi-level Just-In-Time production systems" Int. J.P.R. 1989
- Monden Y. "Toyota Production System" Institute of Industrial Engineers, Norcross. 1991
- Monden Y. "Toyota Production System: An integrated approach". Chapman and Hall. 1994
- Poler R., Rodriguez A., Garcia J.P., Lario F.C. "ASGA: Genetic Algorithm for Assembly Sequencing" IEPM'99 - Glasgow July 12-15, 1999
- Yano C.A. and Rachamadugu R., "Sequencing to minimize work overload in assembly lines with product options" Manage Sci. 1991