

Metaheurísticas para Resolver Problemas de Corte y Empaquetado

C. Salto¹, J.M. Molina², E. Alba², G. Leguizamón³

¹Fac. de Ingeniería, Universidad Nacional de La Pampa,
Calle 110 esq. 9, General Pico, Argentina.
saltoc@ing.unlpam.edu.ar

²Dpto. Lenguajes y Ciencias de la Computación, Universidad de Málaga,
Campus de Teatinos, 29071, Málaga, Spain.
{eat,jmmb}@lcc.uma.es

³Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional,
Universidad Nacional de San Luis
Ejército de los Andes 950 (5700), San Luis, Argentina.
legui@unsl.edu.ar

1. Introducción

En este trabajo presentamos una línea de investigación que comprende el desarrollo de metaheurísticas mejoradas para resolver grandes instancias de los problemas de corte y empaquetado (*Cutting and Packing* o C&T), problemas de optimización combinatoria \mathcal{NP} -duros (ver [2] para una revisión general).

Estos problemas describen patrones que consisten de combinaciones geométricas de grandes objetos y pequeños elementos. En el caso de los problemas de empaquetado, los objetos grandes (contenedores) necesitan ser llenados con pequeños elementos (por ejemplo, cajas). Por su parte, los problemas de corte están caracterizados por grandes objetos (por ejemplo, planchas o rollos) que necesitan ser cortados en pequeños elementos (por ejemplo, figuras de dos dimensiones). El objetivo de los procesos de corte y empaquetado es maximizar la utilización del material, es decir, asignar todos los elementos sin superposición en un mínimo número de contenedores o planchas.

Este tipo de problemas surge en muchas industrias y no está restringido sólo al sector de manufactura. La investigación operativa es un ámbito en el cual se han investigado y/o desarrollado métodos para resolver C&P y por otro lado, el sector financiero es un ámbito en el cual (de manera más abstracta) se pueden encontrar problemas de C&P.

En muchos casos hay un requerimiento especial sobre los patrones de corte: sólo se permiten cortes ortogonales, es decir, las piezas son siempre rectangulares y sólo se pueden realizar cortes de lado a lado de la plancha, paralelos a sus lados. Por otra parte, los cortes ortogonales pueden

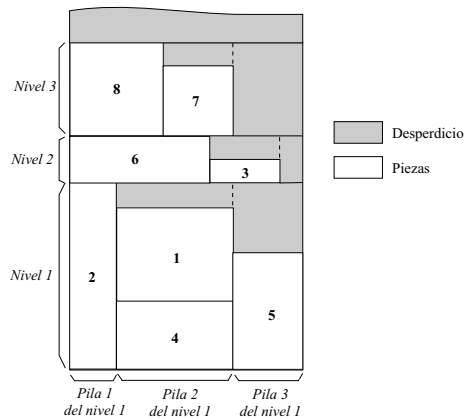


Figura 1: Patrón de Empaquetado por niveles en tres etapas.

ser guillotina o no. En los primeros se debe realizar una serie de cortes de lado a lado del largo restante de la plancha; mientras que los cortes no guillotina no imponen esta restricción (un elemento se puede colocar en cualquier posición disponible, siempre que no resulte en un solapamiento de piezas). En algunos problemas se asume que los elementos tienen orientación fija (es decir, no se pueden rotar) y no se impone restricción sobre el patrón de corte. En ciertos contextos reales, la rotación de elementos (generalmente por 90°) se puede permitir a fin de producir mejores asignaciones. Por ejemplo, la rotación no se permite cuando los elementos son artículos a ser acomodados en la página de un periódico o son piezas a ser cortadas de planchas corrugadas o decoradas; mientras que sí se permite en el corte de materiales lisos y en la mayoría de los contextos de empaquetamiento. La restricción de corte guillotina se impone generalmente por las características tecnológicas de las máquinas de corte automatizadas, mientras que generalmente no está presente en aplicaciones de empaquetamiento.

En particular, en esta línea de investigación consideramos el problema de empaquetado donde la plancha tiene un ancho definido pero su largo es infinito, conocido como *strip packing problem*. Por otra parte, se considera que las piezas no se pueden rotar y además deben ser empaquetadas en patrones con niveles en tres etapas (la Figura 1 muestra un ejemplo de tales patrones de empaquetado). En estos patrones las piezas se empaquetan en niveles horizontales (paralelos a la parte inferior de la plancha). Dentro de cada nivel, las piezas se empaquetan “bottom-left” justificadas, y cuando hay espacio suficiente en los niveles, las piezas con el mismo ancho se apilan unas sobre otras. Los patrones con niveles en tres etapas se usan en aplicaciones reales en la industria del vidrio, madera y metal y es la razón de incorporar esta restricción en la formulación de nuestro problema.

Durante los últimos años, los investigadores han propuesto un número creciente de opciones metaheurísticas para la solución del problema de empaquetado, las cuales ofrecen la habilidad de buscar en espacios de soluciones complejos y grandes de una manera sistemática y eficiente [1, 6, 7, 8]

2. Trabajos realizados

Actualmente, en esta línea de investigación se está trabajando con algoritmos genéticos híbridos: el GA está combinado con una rutina heurística de asignación de piezas. El GA determina el orden en el cual las piezas han de ser empaquetadas y la heurística de asignación determina la distribución de las piezas respetando el empaquetado en niveles en tres etapas.

En una primer etapa, hemos investigado las ventajas de usar operadores genéticos que incorporen en su procedimiento información específica del problema, tal como información sobre la distribución de las piezas. En particular se ha desarrollado un operador de recombinación que trasmite los mejores niveles (grupos de piezas que definen un nivel en la distribución) de un padre al hijo. De esta forma, los niveles heredados pueden permanecer sin modificaciones o bien pueden capturar algunas piezas de sus niveles vecinos, dependiendo de lo compactos que resulten los niveles. Se ha comparado su rendimiento con otros operadores clásicos hallados en la literatura, observándose una mejora en los resultados obtenidos. Esto se debe a que el operador de recombinación propuesto está basado en el concepto de bloques constructivos (en este caso un nivel), esto marca la diferencia con alguno de los operadores tradicionales, quienes seleccionan en forma aleatoria el conjunto de piezas a ser intercambiadas.

Además, para reducir el desperdicio en cada nivel, se aplica un nuevo operador, denominado operador de ajuste, el cual se aplica a cada individuo generado. Este operador ha mostrado ser beneficioso para el proceso evolutivo, realizando un rápido muestreo del espacio de búsqueda.

Por otra parte, se ha investigado la ventaja de generar las poblaciones iniciales usando un conjunto de reglas greedy que incluyen información relacionada al problema (tal como las dimensiones de las piezas, el área de las piezas, etc.), resultando en una población inicial más especializada. La selección aleatoria de las reglas para construir la población inicial ha dado los mejores resultados, obteniéndose buena diversidad genética de las soluciones iniciales y también una rápida convergencia sin caer en óptimos locales, mostrando que la performance de un GA es sensible a la calidad de su población inicial.

Como mecanismo alternativo para mejorar la eficiencia de las metaheurísticas, se han propuesto en los últimos años distintas versiones paralelas de las mismas. Utilizar algoritmos paralelos es una forma de aliviar los problemas vinculados a tiempos intensivos de ejecución e importantes requerimientos de memoria para resolver instancias complejas de interés actual. Por lo tanto, hemos realizado un amplio análisis de algoritmos distribuidos versus secuenciales, aplicados al problema de empaquetado, a fin de mejorar nuestro entendimiento sobre su rendimiento relativo. Las características de la búsqueda distribuida ha mostrado ser una técnica rápida para obtener buenos patrones de empaquetado. Los algoritmos distribuidos fueron capaces de mostrar un alto rendimiento (bajo esfuerzo) con niveles similares de precisión con respecto a los algoritmos panméticos secuenciales. También hemos alcanzado altos valores de speedup para los GAs distribuidos propuestos ejecutándose en paralelo.

3. Trabajo Futuro

Actualmente estamos trabajando en el desarrollo de un algoritmo de colonias de hormigas [3, 4, 5] para el problema de empaquetado. La aplicación de esta metaheurística ha ganado

mucho interés en problemas combinatoriales de alta dificultad. En la bibliografía consultada existen muy pocos trabajos que consideran esta metaheurística para aportar soluciones a este problema en particular. La mayoría de los trabajos tratan con el problema de empaquetado en 1 dimensión. En estos casos, los resultados reportados han sido de muy buena calidad en un tiempo razonable. Lo cual supone un campo de investigación importante para abordar.

Referencias

- [1] A. Bortfeldt. A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces. *European Journal of Operational Research*, 172(3):814–837, 2006.
- [2] H. Dickhoff. A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 44:145–159, 1990.
- [3] M. Dorigo. *Optimization, Learning and Natural Algorithms*. PhD thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnica di Milano, Italy, 1992.
- [4] M. Dorigo and G. Di Caro. *New Ideas in Optimization*, chapter The ant colony optimization meta-heuristic, pages 11–32. D. Corne and M. Dorigo and F. Glover, editors. McGraw Hill, London, 1999.
- [5] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni. The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 26(1):29–41, 1996.
- [6] C.L. Mumford-Valenzuela, J. Vick, and P.Y. Wang. *Metaheuristics: Computer Decision-Making*, chapter Heuristics for large strip packing problems with guillotine patterns: An empirical study, pages 501–522. Kluwer Academic Publishers BV, 2003.
- [7] J. Puchinger and G. Raidl. An evolutionary algorithm for column generation in integer programming: An effective approach for 2d bin packing. In X. Yao et al, editor, *PPSN*, volume 3242 of *LNCS*, pages 642–651. Springer, 2004.
- [8] J. Puchinger and G.R. Raidl. Models and algorithms for three-stage two-dimensional bin packing. *European Journal of Operational Research*, 183(3):1304–1327, 2007.