

EVALUACIÓN DE ALGORITMOS METAHEURÍSTICOS EN LA GESTIÓN DE RUTAS DE COSECHADORAS AUTOPROPULSADAS DE FORRAJE

Carlos Amiama

Juan C. Fernández

Manuel F. Marey

Carlos J. Álvarez

Universidad de Santiago de Compostela

Abstract

The high number of variables involved in the route management for harvest the plots, derives quickly in NP-hard problems. These problems are difficult to solve by linear programming models, and they have high hardware requirements. Also software applications must provide answers quickly, considering the reduced time available for decision-making and the high number of changes in values in the input variables. So technicians tend to use metaheuristics algorithms, which provide approximate solutions with lower computational costs.

In this work we have compared the results with an algorithm based on trajectory methods, such as tabu algorithm with a genetic algorithm, based on populations. We have studied different strategies in each of the methods discussed, searching appropriate solutions that combine reasonable routes with the lowest analysis times.

Keywords: *Route management; metaheuristics algorithms; operational research*

Resumen

El elevado número de variables que intervienen en la decisión del orden a cosechar de las parcelas hace que rápidamente nos encontremos con problemas NP-hard. Estos problemas son difíciles de resolver mediante modelos de programación lineal y tienen elevados requerimientos de hardware. Además las aplicaciones utilizadas tienen que proporcionar respuestas de forma rápida, dado el reducido espacio de tiempo disponible para la toma de decisiones y el elevado número de modificaciones en los valores en las variables de entrada. Por ello tienden a utilizarse algoritmos metaheurísticos, que proporcionan soluciones aproximadas con menores costes computacionales.

En este trabajo se han comparado los resultados obtenidos con un algoritmo basado en métodos de trayectoria, como es el algoritmo tabú, con un algoritmo genético, basado en poblaciones. Se han estudiado distintas estrategias en cada uno de los métodos analizados, buscando soluciones que conjugasen rutas adecuadas con tiempos de análisis razonables.

Palabras clave: *Gestión de rutas; algoritmos metaheurísticos; investigación operativa*

1. Introducción

En la actualidad los problemas logísticos de distribución o recogida han sido ampliamente estudiados en numerosos ámbitos, mensajería urgente, distribución alimentación, recogida de residuos sólidos urbanos, etc. En el ámbito agrario también han sido numerosos los autores que han estudiado este problema, aplicado a distintos procesos, recogida de leche (Caramia y Guerriero, 2010; Dooley et al., 2005), recogida de ganado para sacrificio (Oppen y Lokketangen, 2008); transporte de algodón (Ravula et al., 2008)..

Nuestro estudio se centrará en la optimización de la logística de recolección de maíz forrajero. La información de partida será proporcionada por la cooperativa Os Irmandiños, situada en el norte de Lugo en el municipio de Ribadeo. Esta cooperativa cuenta con un importante parque de maquinaria dedicada principalmente a servicios agrícolas. Las máquinas más importantes que posee son cinco cosechadoras autopropulsadas de forraje, que se usan para recoger hierba y maíz en las campañas de primavera y otoño, respectivamente. Esta actividad afecta a unos 350 socios, lo que supone aproximadamente unas 5000 hectáreas repartidas por Asturias y las provincias de Lugo y A Coruña, en más de 3000 fincas.

Debido a variación espacial de las condiciones orográficas en el ámbito de actuación de la cooperativa, cada socio tiene un número más o menos grande de fincas, separadas entre sí distancias variables, lo que supone un gran esfuerzo organizativo para los responsables del parque de maquinaria. Actualmente los técnicos de la cooperativa asignan de forma manual cada cosechadora a una zona, y dentro de cada zona, según el orden en que vayan solicitando los socios, deciden en que turno si hará el ensilaje de cada socio. Estudios previos ha determinado que, aproximadamente, un 24 % de la actividad de las cosechadoras se invierte en desplazamientos entre fincas de socios y en mantenimiento de máquinas (incluidas reparaciones). Consecuentemente, uno de los objetivos a perseguir debe centrarse en reducir estos tiempos de desplazamiento. En esta misma línea han trabajado Foulds y Zhao (2007), creando un sistema de ayuda a la decisión (SAD) para la planificación de las operaciones de recolección de maíz.

Existen varios aspectos que distinguen este caso de un problema general de rutas. En primer lugar existen ventanas de tiempo asociadas con el momento de inicio de la cosecha de cada uno de los socios de la cooperativa. Esta ventana de tiempo vendrá definida por la fecha solicitada por el cliente y por una tolerancia, específica para cada socio, respecto a la fecha solicitada. El problema que se aborda está además relacionada con el denominado problema del viajante (TSP) con clusters, dado que todas las parcelas de un mismo socio han de ser cosechadas antes de iniciar las parcelas del siguiente socio, pero no necesariamente por la misma cosechadora. Esta limitación es consecuencia de las limitaciones que tiene la realización de silos de forraje, debido a los procesos de fermentación que en ellos se desarrollan. Por último, cada parcela tiene asignado un tiempo de cosecha específico, que condicionará la planificación total del proceso.

Fruto de un trabajo colaborativo ente la cooperativa agraria Os Irmandiños y los Departamentos de Ingeniería Agroforestal y de Estadística e Investigación Operativa, pertenecientes ambos a la Universidad de Santiago de Compostela se ha conseguido desarrollar una aplicación basada en la aplicación de un algoritmo tabú (Carpente et al., 2009), que ha permitido obtener de forma rápida una solución que ayude a los técnicos de la cooperativa a mejorar su cometido de organización y gestión de las rutas de la maquinaria a través de una correcta planificación de la secuencia de las fincas la cosechar.

2. Metodología

El planteamiento inicialmente adoptado se ha simplificado considerando únicamente una cosechadora, de forma que, a efectos de planificación de los trabajos, el técnico ha de realizar una clusterización de las parcelas a cosechar, de forma que cada parcela ha de asignarse biunívocamente a una cosechadora.

Previamente a la ejecución de los algoritmos evaluados es necesario crear una red cartográfica digital en la que se ubiquen las parcelas a cosechar, los silos de los socios y se defina la malla de caminos que potencialmente pueda ser utilizada. Además es necesario recopilar información sobre fechas previstas de recolección, número de parcelas por socio, holgura existente en la recolección y tiempo previsto de cosechado por parcela. Toda esta información ha de ser convenientemente estructurada para su procesado posterior por la herramienta de gestión de rutas.

2.1 Creación de base cartográfica digital y generación de ficheros de procesado.

Con la ayuda de un GIS, y a partir de la información recogida por el sistema de adquisición de datos implementado en las cosechadoras de forraje, (Amiama et al., 2008) se ha generado la red de caminos y se ha georreferenciado las parcelas a cosechar y los silos de los socios (véase figura 1).

Figura 1. Red cartográfica digital



Paralelamente se ha recopilado la siguiente información en la cooperativa:

- Fecha solicitada por cada socio para cosechar sus fincas.
- Matriz de propiedad de fincas.
- Tiempo invertido por la cosechadora en cultivar cada una de las fincas
- Número de tolvas por parcelas
- Tolerancias, días que puede variar en la fecha de solicitud de cosecha las parcelas de cada socio.

2.2 Algoritmos heurísticos evaluados

El problema de asignación de rutas es un problema de extrema dificultad, lo que origina que su resolución matemática exacta sea muy compleja y requiera un gran esfuerzo computacional. Se tratan de problemas conocidos como NP, es decir no existen algoritmos con esfuerzos computacionales de tipo polinomial para encontrar la solución óptima. En estos casos es frecuente recurrir a la utilización de técnicas heurísticas, es decir, a la utilización de determinados algoritmos que proporcionen soluciones de buena calidad para problemas combinatoriales complejos (NP-hard). Estos algoritmos requieren esfuerzos combinatoriales pequeños, pero no proporcionan la solución óptima al problema, es más, al desconocer la solución óptima únicamente podremos evaluar la “bondad” de las soluciones proporcionadas por comparación entre ellas y a su vez con la situación real.

En trabajos previos (Amiama et al., 2010) se ha observado como, si bien la utilización de algoritmos basados en métodos de trayectoria, como es el caso del algoritmo tabú, proporcionaba resultados satisfactorios con poblaciones pequeñas, los resultados tendían a empeorar cuando se trabajaba con un número elevado de datos.

Consecuentemente, apoyándonos en los trabajos de otros autores, se ha decidido implementar un algoritmo basado en poblaciones, un algoritmo genético, de forma que se pudiesen comparar los resultados obtenidos con los dos algoritmos considerados y a su vez con la situación acaecida en la realidad, sin la utilización de ninguna herramienta de apoyo a la decisión.

En la figura 2 se muestra el interface de configuración de los parámetros de cálculo del algoritmo tabú. De las sucesivas pruebas efectuadas los mejores resultados en esta versión preliminar se han obtenido realizando 10000 iteraciones, un tamaño de la población inicial de 60 y una tamaño de lista tabú de 50. Incrementar estos valores enlentece considerablemente la ejecución del algoritmo, sin que se obtengan soluciones significativamente mejores.

Figura 2. Parámetros de entrada del algoritmo tabú

Os Irmandiños

Menu Ayuda

CargarDatos Seleccionar Algoritmo Tablas Resultados Información

Selección Algoritmo

Algoritmo Búsqueda Local Número de iteraciones 1000

Algoritmo RNA Número de población 60

Algoritmo Búsqueda Tabú Tamaño lista Tabú 30

Algoritmo Genético Parámetro mutación

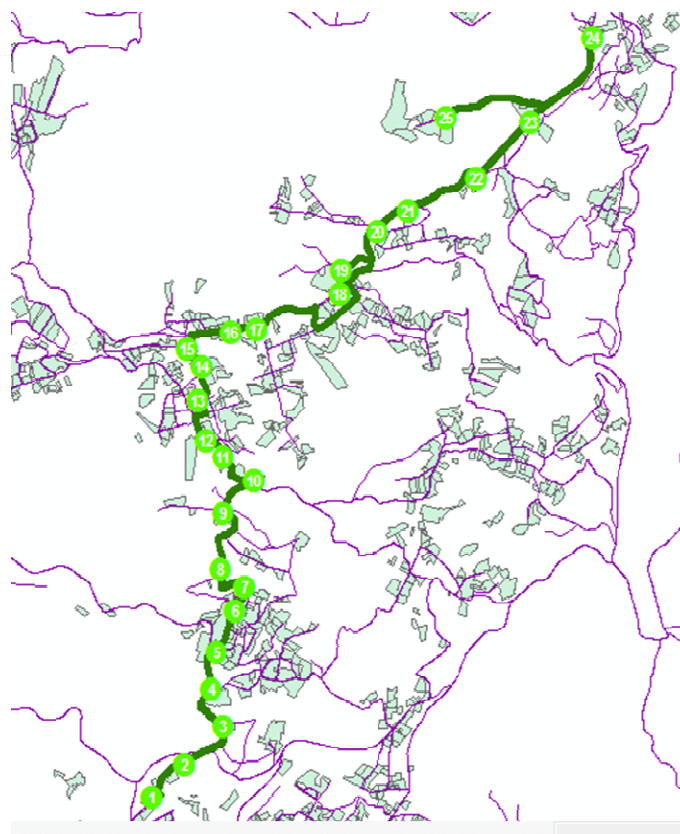
<< Anterior Aceptar

En el caso del algoritmo genético han de definirse el número de iteraciones, el tamaño de la población inicial y el parámetro de mutación. En este caso el número de iteraciones que mejores resultados ha proporcionado (en relación al tiempo invertido) se ha situado en torno a 10000, para la población inicial (que ha de ser múltiplo de 12) se ha adoptado el valor de 60.

3. Resultados

Partiendo de la configuración definida en el epígrafe de metodología se han evaluado los resultados obtenidos incrementando el número de parcelas. Para facilitar la interpretación de los resultados se ha partido de un único socio ficticio, que aglutina todas las parcelas a cosechar, partiendo de una distribución de parcelas alineada. Con la utilización del algoritmo genético, hasta 30 parcelas los resultados son coherentes, proponiendo una secuencia de recogida de parcelas lógica. En la figura 3 se muestra la secuencia propuesta por la aplicación. La distancia recorrida con la secuencia propuesta ha sido de 83 km, que se corresponde con la mínima distancia para recorrer estas parcelas.

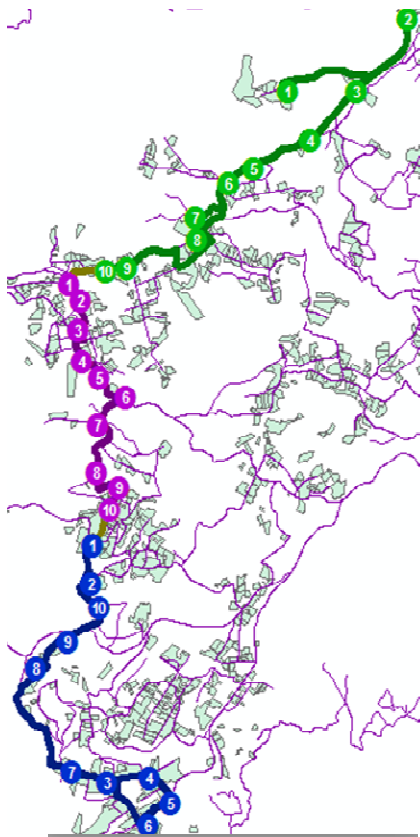
Figura 3. Ruta propuesta por el algoritmo genético 1 socio/30 parcelas



A continuación se ha procedido a comprobar si el hecho de que las parcelas analizadas perteneciesen a distintos socios tendría alguna incidencia sobre los resultados. En este caso ha de verificarse no que entre las parcelas de un mismo socio se realice el mínimo recorrido, sino de que la suma total de las distancias recorridas sea mínima. Además no se ha de realizar un cambio de socio sin haber finalizado las parcelas del socio precedente. No obstante se ha clisterizado las parcelas entre los socios, de forma secuencial, para analizar

el resultado obtenido. En este caso la restricción de finalización de las parcelas de un socio se ha cumplido, de forma que no se ha saltado al socio siguiente antes de finalizar el anterior, pero la distancia total se ha incrementado en 15 km, por una correcta ordenación de las parcelas del último socio, tal y como se puede observar en la figura 4.

Figura 4. Ruta propuesta por el algoritmo genético 3 socios/30 parcelas



Finalmente se han repetido los ensayos utilizando el algoritmo tabú. Los resultados obtenidos han sido ligeramente peores a los obtenidos con el algoritmo genético, fundamentalmente debido a la existencia de algún salto respecto a la ruta lógica. La restricción de finalización de las parcelas de un socio, previo a la cosecha de las del siguiente se cumple por los dos algoritmos.

Dado que persiste el problema detectado en trabajos anteriores, de forma que con un número de parcelas elevado (superior a 30) el comportamiento del heurístico empeora, es necesario profundizar en las restricciones propuestas, así como en la formulación de la función objetivo con objeto de poder realizar una aplicación práctica de la herramienta diseñada.

4. Referencias

Amiama, C.; Bueno, J.; Álvarez, C.J.; Pereira J.M. (2008). "Design and field test of an automatic data acquisition system in a self-propelled forage harvester". Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 61, Nº 2, pp:192-200.

Amiama, C.; Bueno, J.; Álvarez, C.J. (2010). "Evaluation of route Management software for self-propelled forage harvesters road displacements". AgEng 2010. Clermont-Ferrand, France.

Caramia, M.; Guerriero, F. (2010): "A milk Collection problema with incompatibility constraints". Interfaces, Vol. 40, Nº 2, pp. 130-143.

Carpente, L.; Casas-Méndez, B.; Jacome, C.; Puerto, J. (2009). "A model and two heuristic approaches for a forage harvester planning problem: a case study". TOP. Vol. 18, pp. 122-139.

Dooley, A.E.; Parker, W.J.; Blair, H.T. (2005). "Modelling of transport costs and logistics for on-farm milk segregation in New Zealand dairying". Computers and electronics in agriculture. Vol. 48, pp. 75-91.

Foulds, L.R.; Zhao, Z.D. (2007). "A decision support system for sustainable maize harvesting operations scheduling". International Journal of Business Information System. Vo. W, Nº 4, pp. 372-391.

Oppen, J.; Lokketangen, A. (2008). "A tabu search approach for the livestock collection problem". Computers & operations research. Vol. 35, pp. 3213-3229.

Ravula, P.P.; Grisso, R.D.; Cundiff, J.S. (2008). "Cotton logistics as a model for a biomass transportation system", Biomass and Bioenergy. Vol. 32, pp. 314-325.

5. Agradecimientos

Para la realización del presente trabajo ha sido fundamental la cooperación de la cooperativa "Os Irmandiños S.C.G.", en particular, del responsable del departamento de maquinaria, S. Sousa, así como de gran parte de los investigadores de grupo de investigación de teoría de juegos de la USC, en especial L. Carpenente, B. Casás-Méndez, G. Fiestras e I. García-Jurado

Correspondencia (Para más información contacte con):

Carlos Amiama Ares.
Departamento de Ingeniería Agroforestal
Escuela Politécnica Superior
Universidad de Santiago de Compostela
Campus universitario s/n 27002 Lugo
Phone: +34 982 252 231 Ext. 23627
E-mail : carlos.amiama@usc.es