

EVALUACIÓN DE UNA APLICACIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN DE RUTAS DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Carlos Amiama

Javier Bueno

Jorge Gil

Carlos J. Álvarez

Universidad de Santiago de Compostela

Abstract

The aim of this work was to analyze and improve a software tool to manage and to plan the routes followed by forage harvesters of an agricultural cooperative in Lugo. This tool allow to reduce road displacements and idle times with the self-propelled forage harvesters.

In order to verify the benefits of this software tool, the obtained results were compared to the traditional way of planning the jobs in the cooperative. Different temporal plannings of the routes were performed to increase the possibilities of comparison.

Relevant reductions in the distance travelled by the machines and in the time invested by the organiser of the co-operative for planning the jobs were obtained. The planning of weekly routes caused the greater reductions, followed of biweekly and the monthly ones.

An economic evaluation of the savings obtained with the software application in the 2007 silage corn harvesting season was performed

Keywords: *Route optimization, self propelled forage harvester, logistics, route management software*

Resumen

En este trabajo se analiza una aplicación informática para la planificación de rutas, evaluándola con cosechadoras de forraje. Con el uso de esta aplicación se pretende minimizar el recorrido por carretera de estas máquinas, de lenta velocidad de avance, y disminuir así los tiempos no productivos.

La evaluación ha consistido en comparar los resultados obtenidos por el método tradicional con los obtenidos con la aplicación. Se han realizado distintas planificaciones temporales de las rutas para aumentar las posibilidades de comparación.

Se ha observado que con la utilización de esta aplicación se han conseguido reducciones importantes en las distancias recorridas por las máquinas y en los tiempos invertidos por los técnicos en la gestión. Las planificaciones de rutas semanales son las que mejor resultados ofrecen, seguidas por las quincenales y las mensuales.

En este trabajo también se han cuantificado, en términos económicos, los ahorros conseguidos con la utilización de la aplicación, con relación a los resultados obtenidos por la cooperativa en la campaña de recolección del maíz del año 2007.

Palabras clave: Optimización de rutas, cosechadoras de forraje, logística, software gestión de rutas

1. Introducción

En el ámbito de las cooperativas agrarias en Galicia cabe destacar por tamaño, número de socios y antigüedad 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. Estas máquinas se caracterizan por un elevado coste horario de funcionamiento debido al mantenimiento, gran número de averías y sobre todo la concentración de su actividad en un reducido número de días al año.

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. Para este difícil cometido los responsables se basan en un gran conocimiento de la zona, en la experiencia de campañas pasadas y en una negociación con los socios implicados. Esto da como resultado un plan semanal para cada cosechadora con un orden de socios previsto. Esta lista puede verse modificada por factores como averías, climatología adversa, anulación de solicitudes o nuevas peticiones de socios.

2. Objetivos

Fruto de un trabajo colaborativo entre 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 rápida y práctica 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 a cosechar. Esta aplicación debe estar dotada de flexibilidad para poder introducir restricciones o cambios a medida que evoluciona la cosecha.

El presente trabajo tiene como objetivos fundamentales:

- La evaluación de la aplicación para gestión de rutas, diseñada específicamente para la gestión de parques de maquinaria.
- La comparación de los resultados conseguidos mediante el uso de la aplicación con lo acontecido en la cooperativa durante la campaña de cosecha de maíz del año 2007.
- La cuantificación en términos económicos y de tiempo de los beneficios obtenidos con la aplicación de software desarrollada.

3. Metodología

3.1. Descripción de la aplicación

La aplicación desarrollada está basada en algoritmos heurísticos, lo que significa que la solución que da no es la óptima, pero puede ser muy semejante, en función de la bondad del heurístico utilizado. La validación de la aplicación se realizó en dos fases. En primer lugar el grupo de investigación de teoría de juegos, del Departamento de Investigación Operativa validó los heurísticos utilizados, comparando los resultados con los obtenidos con modelos de programación lineal binarios (Carpente et al., 2007). Los modelos de programación lineal proporcionan la solución óptima, pero requieren de ordenadores con una gran capacidad computacional. Esta es la principal razón que justifica la utilización de métodos heurísticos, con necesidades mucho menores en cuanto a esfuerzo de esfuerzo computacional. A continuación se procedió a validar la aplicación por el grupo de investigación de mecanización agraria, del Departamento de Ingeniería Agroforestal, analizando los resultados proporcionados por la aplicación en condiciones reales de trabajo.

El programa se presenta como un sencillo interfaz cuya utilización resulta bastante intuitiva. La aplicación precisa una serie de datos de entrada, que han de disponerse acorde a una configuración predeterminada. La información de partida consta de una matriz de distancias entre fincas (obtenida con un Sistema de Información Geográfica), medida en intervalos de tiempo (1'), una matriz que posee la información relativa a que socio pertenece cada finca, otra matriz con el tiempo medio que tarda la maquina en cosechar cada finca, una matriz que contiene la fecha de solicitud de cosecha de cada socio y una última matriz que contiene las tolerancias. La tolerancia se refiere a la holgura de la que disponemos para modificar la fecha de petición de un socio. Por ejemplo, un día de tolerancia significa que el programa puede planificar la cosecha de un socio un día antes o un día después con respecto a la fecha que solicitó. Esta tolerancia puede introducirse como un valor fijo para todos los socios (véase figura 1)

Archivo Configuración Ayuda

Datos Cooperativa

Matriz de distancias:

Matriz de propiedades:

Tiempos de procesado:

Solicitudes de procesado:

Tolerancia

Única

Variable

Figura 1. Interfaz de entrada de datos

3.2. Recopilación de información de la campaña 2007

Con objeto de poder comparar los resultados obtenidos con la utilización de la aplicación desarrollada, con la secuencia de fincas cosechada en la campaña de recolección del maíz del año 2007 fue necesario recopilar datos relativos a las fincas cultivadas y a la trayectoria seguida por la cosechadora. Para ello se volcaron los datos almacenados en el sistema de localización vehicular y telemetría implementado en las cosechadoras (Amiama et al., 2008). A los efectos comparativos, se consideró que la fecha de petición del socio coincidía con la fecha en la que realmente se comenzaron a cosechar las fincas de ese socio.

3.3. Evaluación económica de los resultados

Para evaluar el comportamiento de la aplicación se procedió a comparar los resultados proporcionados por la aplicación frente a lo sucedido en la campaña de recolección del maíz en el año 2007. Se comparó la distancia recorrida en los desplazamientos entre fincas por la cosechadora, con la distancia de la ruta proporcionada por la aplicación informática, analizando el ahorro conseguido con el uso de la aplicación. Se realizó una programación de las rutas semanal, quincenal y mensual. Sobre estas programaciones iniciales se consideraron distintos grados de tolerancia con respecto a la fecha de petición de los socios. Únicamente es necesario resaltar el hecho de que existe la restricción de que cuando se empiezan a cosechar las fincas de un socio, deberán de cosecharse consecutivamente todas sus fincas (es decir, no es posible cambiar de socio sin haber finalizado la cosecha de todas las fincas del socio anterior).

También se representaron sobre la base cartográfica las trayectorias seguidas por la cosechadora en la campaña 2007, y las rutas alternativas que propone la aplicación. De esta manera pudieron observarse la diferencia entre las dos rutas sobre un mapa. Esta comparación sobre mapa se hizo de forma individual para cada planificación temporal y para cada nivel de tolerancia permitido.

Dado que a cometido de planificación de las rutas supone una inversión de tiempo considerable para los técnicos de la cooperativa, también se evaluó el ahorro que se podría conseguir en horas de técnico con el uso de la aplicación.

4. Resultados

4.1. Comparación ruta real *versus* ruta propuesta

Para poder realizar comparaciones se midieron las distancias recorridas por la cosechadora semanalmente, agrupadas por quincenas y en el conjunto del mes. En la tabla 1 se presentan los resultados en km de las mediciones de las rutas reales que hizo a máquina en la pasada campaña 2007.

Mes	Quincena 1	Quincena 2	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
248,6	109,8	134,5	74,3	29,6	72,7	46,8

Tabla 1. Distancia recorrida por la cosechadora (km)

Puede observarse que no existe una coincidencia exacta entre los km del todo el mes y la suma de las dos quincenas o la suma de las cuatro semanas. Esto es debido a la forma de medición entre quincenas y semanas, puesto que no se tuvo en cuenta el tramo que recorre la maquina desde la última finca de la primera quincena y la primera finca de la segunda quincena (lo mismo pasa entre semanas).

Se han procesado los datos con la aplicación considerando que deberían de respetarse las fechas de cosecha de cada una de las fincas (tolerancia nula), asignando una holgura de ± 1 día respecto a la fecha real de cosecha (tolerancia 1 día) y dejando total libertad a la aplicación para que asigne el orden de parcelas y socios (con la única restricción ya comentada de que previamente a cambiar de socio deberán de haberse cosechado todas las parcelas del socio anterior). La transformación de intervalos de tiempo en km se ha realizado considerando una velocidad media de desplazamiento de 20 km.h^{-1} . Los resultados se muestran en las tablas 2, 3 y 4.

	Ruta real	Toler. nula	Toler. 1 día	Toler. total
Semana 1	74,3	57,0	48,0	44,0
Semana 2	29,6	21,0	21,0	20,6
Semana 3	72,7	68,3	64,3	61,0
Semana 4	46,8	46,6	41,6	36,6
TOTAL	223,4	192,9	174,9	162,2

Tabla 2. Comparativa ruta real/planificación semanal (km)

	Ruta real	Toler. nula	Toler. 1 día	Toler. total
Quincena 1	109,8	102,6	98,0	83,0
Quincena 2	134,5	134,0	131,3	124,3
TOTAL	244,3	236,6	229,3	207,3

Tabla 3. Comparativa ruta real/planificación quincenal (km)

	Ruta real	Toler. nula	Toler. total
Mes 1	248,6	248,0	239,0

Tabla 4. Comparativa ruta real/planificación mensual (km)

De los resultados expuestos puede concluirse que, como era previsible, al aumentar la tolerancia los resultados obtenidos mejoran. No obstante, con tolerancia nula, es decir, respetando estrictamente el orden de cosecha de los distintos socios los resultados

obtenidos con la aplicación mejoran sustancialmente respecto a la ruta real realizada, logrando ahorros que superan el 29 % en la segunda semana. Con tolerancia total los ahorros en distancia superan el 40 % en la primera semana.

Otro aspecto que merece ser destacado es que los resultados obtenidos con planificaciones semana a semana mejoran los obtenidos agrupando los datos en quincenas y estos a su vez a los datos del conjunto del mes. Este resultado parece carecer de lógica, ya que cuanto mayor sea el conjunto de finca a cosechar, más se podrá optimizar la ruta a realizar, ya que existirán más alternativas. Se puede concluir por tanto que el heurístico, a medida que aumentan el número de datos proporciona un peor resultado, si bien mejora en todos los casos la ruta realizada realmente.

4.2. Evaluación económica de los ahorros conseguidos.

Para evaluar el ahorro en tiempo de la cosechadora se utilizarán los datos obtenidos analizando la planificación semanal. Se evaluarán los ahorros con los tres tipos de tolerancia considerados. Para traducir los ahorros en distancias en tiempos se empleará la velocidad considerada inicialmente (20 km.h⁻¹). La traducción de tiempo ahorrado a euros se realizará considerando el coste horario que se factura al socio por la utilización de la cosechadora (250 euros. h⁻¹). Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 5.

	Toler. nula	Toler. 1 día	Toler. total
Horas por mes	1,53 h	2,43 h	3,06 h
Euros por mes	382,5 €	607,5 €	765 €

Tabla 5. Ahorro mensual en la cosechadora

En la tabla 5 puede observarse como considerar un día de tolerancia tiene supone un ahorro significativo para la cooperativa, que se trasladará a los socios. Parece interesante concienciar a los socios de la importancia de flexibilizar la fecha de cosecha, con objeto de reducir los costes de la maquinaria.

5. Conclusiones

La aplicación desarrollada proporciona resultados satisfactorios, que se traducen en ahorros significativos de tiempo y dinero. No obstante los heurísticos utilizados con un número elevado de datos proporcionan peores resultados, mejorando los valores obtenidos con programaciones semanales frente a las quincenales, y estas son mejores a su vez que las mensuales.

La inclusión de tolerancias se traduce en ahorros sustanciales en las distancias a recorrer por las cosechadoras, por lo que los esfuerzos deberían de enfocarse hacia una flexibilización en las fechas de recolección del cultivo.

Referencias

Amiama, C; Bueno, J; Álvarez, C.J; Pereira, J.M. "Design and field test of an automatic data acquisition system in a self-propelled forage harvester". *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 61, Issue 2, 2008, pp. 192-200.

Carpente, L; Casas, B; Fiestras, G; García-Jurado, I; Jácome, C; Puerto, J. "A model and heuristic algorithms for solving a time optimization problem in an agricultural cooperative". *VIII Congreso Galego de Estatística e Investigación de Operacións*. Santiago de Compostela. 2007.

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, D. Santiago Sousa Lema.

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