

Aplicación del algoritmo evolutivo NSGAI en la ubicación de centrales telefónicas en un área geográfica determinada

*Clavel Quintana *Flor Montes de Oca

Recibido: 21 de Marzo 2009, Aceptado:10 de Julio 2009

Resumen

Almeida, Amarilla y Barán estudiaron el problema de minimización multiobjetivo de costo a corto, mediano y largo plazo para la ubicación de centrales telefónicas en la ciudad de la Asunción, Paraguay, determinando el número de centrales y la ubicación óptima de estas centrales usando el algoritmo evolutivo SPEAI. Proponemos en este trabajo aplicar el algoritmo evolutivo NSGAI al problema de ubicar centrales telefónicas en Cabudare, Estado Lara, Venezuela; demostrando que constituye una opción válida para abordar el problema multiobjetivo.

Palabras clave: Minimización multiobjetivo, algoritmo evolutivo, central telefónica.

Application of evolutionary algorithm on the location of NSGAI telephone exchanges in a given geographic area

Abstract

Almeida, Amarilla and Baran studied the problem of cost-minimization multi-objective in short, medium and long term for the location of telephone exchanges in the city of Asuncion, Paraguay, determining the number of central and convenient location of these plants SPEAI using evolutionary algorithm. We propose in this paper to apply the evolutionary algorithm NSGAI the problem of locating telephone exchanges in Cabudare, Estado Lara, Venezuela; demonstrating that an option to address multiobjective problems.

Keywords: minimization multi-objective, evolutionary algorithm, telephone exchanges.

Introducción

Problemas con objetivos múltiples aparecen de forma natural en muchos modelos de optimización y constituyen un área que ha adquirido gran relevancia en el mundo de la investigación científica y en aplicaciones de Ingeniería. Por ejemplo, el crecimiento del consumo y variedad de los servicios de telecomunicaciones, los cuales generan una necesidad cada vez mayor de implementar herramientas eficientes para la planificación de las redes de comunicación a fin de minimizar los altos costos de inversión y mantenimiento; más aún el uso de algoritmos evolutivos multiobjetivos en la resolución de problemas de ubicación de centrales de telecomunicaciones, presenta un enfoque inédito en la planificación de redes de telefonía, proporcionando una herramienta computacional que permite obtener un conjunto de soluciones eficientes. En consecuencia, se propone aplicar el algoritmo evolutivo NSGAI [3], en la planificación de centrales telefónicas a fin de minimizar los costos de inversión a corto, mediano y largo plazo, demostrando que constituyen una opción válida en la elaboración de propuestas, teniendo en cuenta la rapidez, variedad y la calidad de estas soluciones.

El resto del artículo se describe como sigue: En la próxima sección establecemos el problema a resolver. En la sección 3 describimos el algoritmo NSGAI. En la sección 4 presentamos algunos experimentos numéricos y en la última sección ofrecemos algunos comentarios finales.

**Departamento de Investigación de Operaciones, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" Barquisimeto, Lara 3001*

Problema de Estudio

El problema de estudio propuesto por Almeida, Amarilla y Barán (AAB) [2] es el siguiente:

Minimizar

$$y = (y_1(x), y_2(x), y_3(x))$$

donde:

$$x \in X \subset \mathbb{R}^n$$

$$0 \leq x_i \leq m$$

n ... número máximo de centrales;

m ... número máximo de cuadrículas en que se divide el área de estudio;

x_i ... designa la ubicación de una central dentro del área en estudio ($0 \leq x_i \leq m$)

y_j ... representa la inversión acumulada hasta el año considerado.

El costo de inversión y_j para dicho periodo será:

$$y_j = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^m c_{it}(x_i, x_t) h_{it}(x_i, x_t) + \sum_{i=1}^n q_i(x_i) g_i(x_i) w_i(x_i) + \sum_{i=1}^n c_e w_i(x_i) + \sum_{i=1}^n c_{ing} w_i(x_i) + \sum_{t=1}^m c_{eq} d_t^j(x_t) + \frac{c_{tr} \sum_{i=1}^n w_i(x_i) (\sum_{i=1}^n w_i(x_i) - 1)}{2}$$

donde:

$$c_{it}(x_i, x_t) = d_t^j(x_t) dist(x_i, x_t) \rho$$

$$dist(x_i, x_t) = (|X_i - X_t| + |Y_i - Y_t| + 1)$$

c_{it} ... costo de conectar los abonados pertenecientes a la cuadrícula x_t a la central x_i ;

d_t ... cantidad de abonados de la cuadrícula x_t ;

ρ ... costo de planta externa por unidad de longitud, por cada abonado;

(X_i, Y_i) ... coordenadas de la central x_i ;

(X_t, Y_t) ... coordenadas de la cuadrícula x_t .

$$h_{it}(x_i, x_t) = \begin{cases} 1 & \text{si el sitio } x_t \text{ está conectado a la central } x_i \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Se asume que cada sitio x_t puede estar conectado a una central x_i , por lo tanto:

$$\sum_{i=1}^n h_{it} = 1$$

con $x_t = 1, 2, \dots, m$. q_i ... área en m^2 a ser ocupada por la central x_i .

g_i ... costo del terreno por m^2 en la cuadrícula x_i .

$$w_i(x_i) = \begin{cases} 1 & \text{si la central está en el sitio } x_i \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

c_e ... costo de construcción del edificio de la central;

c_{ing} ... costo de la ingeniería de planificación de centrales;

c_{eq} ... costo de los equipamiento de la central, por abonado;

c_{tr} ... costo de equipamiento de transmisión;
 d_t ... demanda telefónica de la cuadrícula x_t .

Un vector de decisión, que representa una solución, se establece de la siguiente forma: $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ este vector contiene como máximo n centrales, donde cada componente $x_i < 0$ indica que ubicación de la matriz tenemos una central, $x_i = 0$ indica que no existe central.

Para la evaluación del costo de planta externa $c_1(x)$, se calculan las distancias de cada abonado a la central más cercana. En el cuadro [1] se muestra al municipio Palavecino y las parroquias Agua Viva

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1				<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>				
2				<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>		
3		13	14	15	<u>16</u>	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	
4		23	24	25	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>	<u>31</u>	<u>32</u>	<u>33</u>
5	34	35	36	37	<u>38</u>	<u>39</u>	<u>40</u>	<u>41</u>	<u>42</u>	<u>43</u>	<u>44</u>	<u>45</u>
6		46	47	48	<u>49</u>	<u>50</u>	<u>51</u>	<u>52</u>	<u>53</u>	<u>54</u>	<u>55</u>	<u>56</u>
7			57	58	<u>59</u>	<u>60</u>	<u>61</u>	<u>62</u>	<u>63</u>	<u>64</u>	<u>65</u>	<u>66</u>

Cuadro 1: Cabudare

(zona sin subrayado), Cabudare y José Gregorio Bastida (zona con subrayado arriba).

El vector de decisión para este caso es $\mathbf{x} = [9, 37, 55]$, donde se ve en el mapa de Cabudare (cuadro 1) que las centrales están ubicadas en las posiciones 9, 37 y 55 respectivamente.

A continuación se hace un procedimiento para calcular cuáles son las cuadrículas que pasarán a formar parte del área de servicio de una central. En cada una de las cuadrículas existe una demanda conocida.

Las cuadrículas que formarán parte del área de servicio de una central, son aquellas que tienen el costo mínimo de conexión cuando están conectadas a dicha central. Cada una de estas cuadrículas denotadas en adelante x_t , atiende a la condición: $1 \leq x_t \leq m$. A cada cuadrícula x_t van asociados dos valores que representan sus coordenadas (X_t, Y_t) en una matriz de 7 filas y 12 columnas.

La ubicación de la central, depende del costo de conectar los abonados de una determinada cuadrícula a la central, ya que los cinco últimos costos que son valores constantes tendrán un papel preponderante, solo si tienen valores numéricos muy grandes. Esto es, la función de inversión depende de la demanda en la cuadrícula y la distancia a la central. Más aún al considerar el mismo objetivo no habrá contradicción entre las funciones. En esta situación el algoritmo ubica la central telefónica en la cuadrícula 28 que representa el centro geométrico de Cabudare, muy próxima a la ubicación actual (cuadrícula 18). A medida que comenzamos a variar la demanda por cuadrícula en cada objetivo, creamos situaciones conflictivas y esto es posible debido a que Cabudare es una zona en expansión.

En consecuencia, el problema principal a ser resuelto consiste en encontrar la cantidad de centrales y la ubicación óptima de estas centrales en el área de estudio.

Este problema será resuelto via algoritmos evolutivos los cuales son una extensión de los algoritmos genéticos que basan su funcionamiento en la simulación del proceso de evolución natural, reproducción y supervivencia del más apto; según Goldberg (véase [4]).

Algoritmo Evolutivo NSGAI

Se trata de un algoritmo genético multiobjetivo propuesto por Deb ([3]) es una versión mejorada de su antecesor, el NSGA, desarrollado también por Deb. Básicamente, el NSGAI mejora la versión anterior en tres aspectos fundamentales:

1. Mejora el proceso de ordenamiento de las soluciones no-dominadas; en esta etapa, el NSGA tiene una complejidad computacional de $O(MN^3)$, donde M es el número de objetivos y N el tamaño de la población, por $O(MN^2)$ del NSGAI.
2. Adiciona el elitismo, esto es, las mejores soluciones pasan a la próxima generación.
3. Ausencia de parámetro σ_{shared} para incrementar la variedad de la población, y para el cual no suelen definirse métodos sistematizados de elección.

A continuación se presenta el pseudocódigo:

Algoritmo NSGAI

1. Dado N_{ind} , Gen /*Donde N_{ind} representa el tamaño de individuos en la población. Gen representa el número de generaciones.
2. Generar población inicial (P_0), con un procedimiento aleatorio.
3. Generar descendientes (Q_0), usando torneo binario y mutación uniforme.
4. Mientras el número de poblaciones (t) sea menor que Gen ,
 - 4.1 Determinar la población intermedia (R_t) mediante la unión de la población (P_t) y (Q_t).
 - 4.2 Generar el conjunto (F) conformado por los diversos frentes (F_i). Ordenando las soluciones según el principio de no dominancia.
 - 4.3 Generar la nueva población.
 - 4.3.1 Mientras el número de individuos en la nueva población (P_{t+1}) sea menor o igual que N_{ind} .
 - 4.3.1.1 Asignar distancia de agrupamiento (crowding-distance-assignment) a cada uno de los individuos en los diversos frentes (F_i).
 - 4.3.1.2 Determinar la nueva población mediante la unión de los frentes.
 - 4.4 Generar la descendencia (Q_{t+1}) ejecutando cruce y mutación.

Experimentación Numérica

En la figura [1], se puede observar como una única solución es alcanzable cuando las funciones objetivos no son contradictorias, es decir, que para nuestro caso particular las zonas con menos demanda relativa en la actualidad, permanece con menos demanda relativa a mediano y largo plazo, mas aún, en este caso la central telefónica fue ubicada en la cuadrícula 28 que es el centro geométrico de Cabudare, muy próxima a la ubicación actual de la central en Cabudare que es en la cuadrícula 18.

Al aumentar la demanda en una cuadrícula específica para un año considerado, el algoritmo tenderá a ubicar la central en cuadrículas cercanas a esta y al centro geométrico en búsqueda de una minimización de costos. A medida que la demanda comienza a cambiar entre un plazo y otro(por ejemplo, una zona

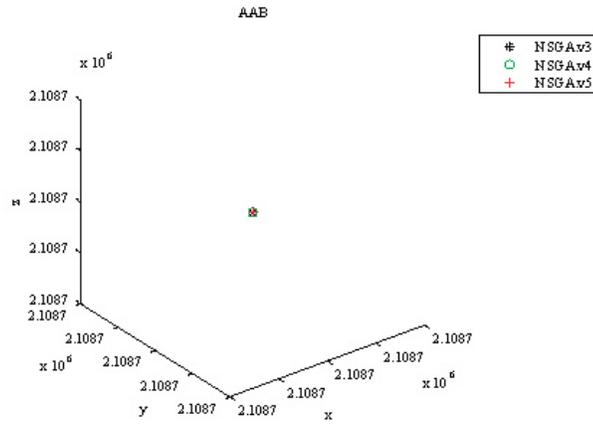


Figura 1: Cabudare demanda fija

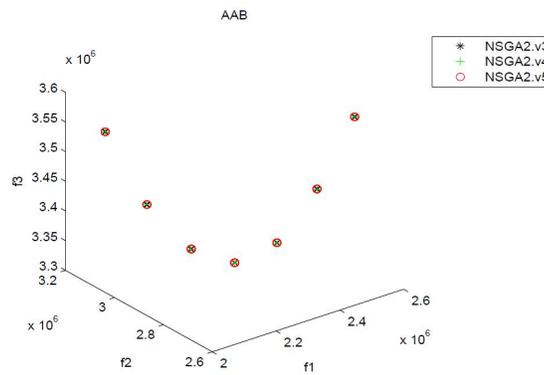


Figura 2: Cabudare demanda variable

con mucha demanda relativa a corto plazo a largo plazo tendrá una demanda menor relativa), las funciones son mas contradictorias y por tanto el frente de pareto requiere mas de un vector solución para la minimización de los objetivos. De esta forma obtenemos frentes de pareto como en la figura [2].

A continuación se muestran los datos suministrados por la alcaldía de Palavecino Dirección de Planificación y Desarrollo Urbano, en los cuales se observa la población de Palavecino para los años 1981, 2008 y proyecciones para el año 2024. Tomando en cuenta estas proyecciones de demanda se generaron deman-

	Años	1981	2008	2024
Parroquias				
Cabudare		59671	64247	10000
José Gregorio Bastidas		61439	76969	122500
Agua Viva		13290	17528	27500

Cuadro 2: Población del Municipio Palavecino por parroquia

das aleatorias a corto, mediano y largo plazo manteniendo proporcionalmente las ratas de crecimiento de la población de acuerdo a los datos mostrados en el cuadro 2. Así la demanda se simuló para las tres parroquias generando un número aleatorio uniformemente de la siguiente manera:

Parroquias	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
Agua viva	$0 \leq r \leq 13,290$	$0 \leq r \leq 17,580$	$0 \leq r \leq 27,500$
Cabudare	$0 \leq r \leq 59,671$	$0 \leq r \leq 64,247$	$0 \leq r \leq 100,000$
José Gregorio Bastidas	$0 \leq r \leq 61,439$	$0 \leq r \leq 76,969$	$0 \leq r \leq 122,500$

La ejecución del algoritmo dio como resultado las siguientes ubicaciones:

solucion	corto plazo	mediano plazo	largo plazo
[0,0,43]	2.1087	3.1792	3.5190
[0,0,40]	2.2927	2.8898	3.3325
[0,0,37]	2.5372	2.7187	3.5744
[0,0,38]	2.4502	2.7585	3.4591
[0,0,42]	2.1576	3.0724	3.4123
[0,0,41]	2.2223	2.9754	3.3482
[0,0,39]	2.3691	2.8169	3.3693

Cuadro 3: Tabla de valores soluciones no dominadas encontradas

Observamos que la ubicación actual de la central telefónica no es la mejor alternativa, sin embargo es una opción viable debido a que es cercana a las cuadrículas óptimas 28 y 29 pero si aumentamos la demanda en cuadrículas como las 43,44 y 55 el algoritmo tenderá a ubicar la central en cuadrículas mas cercanas a las cuadrículas anteriores. Las soluciones del problema AAB proponen ubicar solo una central en Cabudare cercana al centro geométrico y a las cuadrículas de mayor densidad de población.

Comentarios Finales

1. EL Algoritmo NSGAI puede emplearse en la ubicación de cualquier recurso en un área geográfica determinada.
2. En la experimentación numérica se observó que cuando los objetivos no son contradictorios el vector ideal es alcanzable, más aún coincide con el enfoque clásico donde se obtiene una solución única.
3. El uso de este tipo de modelo así como la aplicación del algoritmo NSGAI puede ser útil en la planificación de los servicios del estado.
4. Sería interesante estudiar el comportamiento del algoritmo NSGAI para la ubicación de las celdas de telefonía celular.

Referencias

- [1] Almeida C. y Barán B. *Optimización Multiobjetivo en la planificación de las centrales telefónicas*. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay, (2003)
- [2] Bagchi T. and Deb K. *Calibration de GA parameters: The design of experiments approach*. *Computer Science and informatics*. 26(4): 46-59, (1996).
- [3] Deb K. *Multi-objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, (2001).
- [4] Goldberg, D.E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc., Boston, MA, USA, (1989).