

UN NUEVO ENFOQUE PARA LA ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE LLAMADAS EN SISTEMAS DE TELEFONÍA CELULAR

Esteban Carranza^a, María L. Fissore^b, Mercedes Carnero^a and José L. Hernández^{ab}

^a*Grupo de Optimización, Fac. de Ingeniería -Universidad Nacional de Río Cuarto, Campus Universitario, 5800 Río Cuarto, Argentina, jlh@ing.unrc.edu.ar*

^b*Laboratorio de Informática, Fac. de Ingeniería -Universidad Nacional de Río Cuarto, Campus Universitario, 5800 Río Cuarto, Argentina, mfissore@ing.unrc.edu.ar*

Keywords: Redes celulares, Asignación de Canales, Algoritmos Evolutivos, Optimización

Abstract. Para optimizar la comunicación en redes inalámbricas, se deben asignar las frecuencias de operación a cada llamada entrante de manera tal que se maximice la utilización del espectro y se garanticen grados de interferencia electromagnética admisibles. Existen un número de casos testigos para los cuales se ha resuelto, por varios métodos, el problema de determinar el número mínimo de canales necesarios para atender un tráfico dado en las condiciones de compatibilidad especificadas. Sin embargo la posibilidad de atender el tráfico planteado depende del ordenamiento de las llamadas entrantes al sistema. En un esquema en producción es imposible predecir un determinado ordenamiento en las llamadas, de modo que el problema a resolver es atender una nueva llamada con un cuadro de ocupación preexistente. El problema de asignación de frecuencia en redes inalámbricas pertenece al campo de la investigación operativa y es NP-difícil, razón por la cual, para determinadas instancias del problema las técnicas heurísticas pueden producir buenos resultados. En particular las estrategias aportadas por la Computación Evolutiva, han demostrado un buen desempeño en la resolución de problemas combinatorios. El objetivo del trabajo es resolver el problema de asignación de canales manteniendo al sistema condiciones de permitir la asignación de las nuevas llamadas sólo usando los canales disponibles, mediante la modificación óptima de las asignaciones anteriormente. Esto será llevado a cabo a través de un algoritmo evolutivo híbrido combinado con técnicas de asignación clásicas. Se presentan ejemplos de aplicación para el análisis y discusión de los resultados obtenidos.

1 INTRODUCCIÓN

En los sistemas celulares el área de cobertura de servicio es dividida en celdas, en cada una de las cuales se ubica una estación base. Dependiendo del método de acceso al medio utilizado, los sistemas pueden ser clasificados en sistemas canalizados y no canalizados. Dentro de los primeros se distinguen como métodos de acceso, TDMA, FDMA o combinaciones de ambos. En estos casos el término canal es usado para identificar una porción del espectro en FDMA, o para identificar una porción de tiempo (*time spot*) en TDMA (Whenhao et al., 2003). En adelante se analizará el caso de sistemas celulares cuyo método de acceso es FDMA.

El tráfico en sistemas celulares es generalmente alto por lo que, para resolver más de una llamada simultánea en distintas celdas, es necesaria la reutilización de canales. Esta reutilización provoca interferencias con la consiguiente degradación de la calidad de las comunicaciones. De modo que, para mantener dicha calidad, se deben imponer ciertas restricciones sobre los canales que pueden ser reutilizados en forma simultánea dentro de un área. Esto se logra mediante la determinación de bandas de guardas lo que trae aparejado una reducción de la eficiencia en el uso del espectro. Los métodos para la asignación de canales deben ajustarse a tres tipos de restricciones de compatibilidad electromagnéticas RCE (Sivarajan, 1989), es decir:

Restricciones Cocanal: el mismo canal no puede ser asignado simultáneamente a ciertos pares de celdas.

Restricciones de canal adyacente: canales muy próximos en frecuencia no pueden ser asignados simultáneamente a celdas con cierta proximidad geográfica.

Restricciones Co-sitio: canales asignados simultáneamente en la misma celda deben guardar cierta separación en frecuencia.

Considerando que los requerimientos de tráfico son cada vez mayores se plantea la necesidad de contar con esquemas de asignación de canales eficientes. Islam y Hossain (2004), propusieron un algoritmo, basado en coloreo de grafos, para optimizar la asignación de canales respetando las RCE a partir de la topología de la red representada por un grafo equivalente, el vector de demanda, la matriz de interferencias y la lista de canales. Naik y Wei (2004), han propuesto una metodología basada en el concepto de llamada en espera para mejorar el desempeño de los algoritmos de asignación dinámica de canales en redes celulares. Su trabajo está basado en la hipótesis de que el impacto sobre la calidad de servicio por causa de la espera en una nueva llamada es menor que el causado por un bloqueo de la misma. Vidyarthi et al (2005), utilizaron una técnica basada en estrategias evolutivas para resolver el problema de asignación dinámica de canales, minimizando la cantidad de reasignaciones realizadas con las RCE como restricciones a satisfacer. Fu et al. (2003), propusieron un algoritmo de asignación de canales que utiliza tres etapas, las cuales se aplican sucesivamente hasta lograr la resolución de la asignación. En primer lugar se define un intervalo para las asignaciones de las frecuencias en función del análisis de las restricciones de compatibilidad electromagnética. La segunda etapa implementa un procedimiento del tipo goloso para incorporar celdas adyacentes. En la última etapa un algoritmo genético se encarga de buscar el ordenamiento óptimo de las llamadas en las celdas en las cuales no hay asignaciones realizadas. El problema del ordenamiento de las llamadas es atacado aplicando un índice de ordenamiento de las celdas (o regiones) según la dificultad de realizar asignaciones en las mismas. Lima et al. (2002), implementaron un algoritmo evolutivo con representación binaria para la matriz de asignación de canales y modelaron el problema con restricciones basadas en la distancia de reuso. La función de costo es una combinación ponderada de diferentes índices que tienen en cuenta el uso de los canales en las celdas co-canales de distintos niveles, a la

vez que consideran la cantidad de canales bloqueados.

2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Considerando un sistema con n celdas y z canales (frecuencias) disponibles, cada posible asignación de canales se describe por medio de una matriz binaria \mathbf{F} de n filas y z columnas (Duque, 1993). En esta notación cada elemento $f_{i,j}$ será igual a uno si el j -ésimo canal está asignado a la i -ésima celda y será cero en caso contrario.

La demanda del sistema se representa mediante un vector \mathbf{D} de dimensión n donde cada componente d_i representa el número de canales requeridos en la celda i .

Las restricciones electromagnéticas se simbolizan a partir de una matriz simétrica \mathbf{C} de dimensión $n \times n$, cuyos elementos c_{ij} describen la mínima separación en frecuencia (medida en cantidad de canales) entre canales utilizados simultáneamente en las celdas i y j .

El problema, entonces, es determinar una matriz \mathbf{F} de tal manera que se minimice el número de canales utilizados al tiempo que se cumplen las restricciones de compatibilidad electromagnética. El modelo matemático se formula como sigue:

$$\begin{aligned} \min \quad & z \\ \text{s.a.} \quad & \\ & \sum_{j=1}^z f_{i,j} = d_i \quad \text{para } i = 1, \dots, n \\ & |p - q| \geq c_{i,j} \quad \text{para } p, q = 1, \dots, z \text{ y } i, j = 1, \dots, n \\ & \text{tal que } f_{p,i} = f_{q,j} = 1 \quad \text{y} \\ & f_{i,j} \in \{0, 1\} \quad \text{para } i = 1, \dots, n \text{ y } j = 1, \dots, z \end{aligned} \tag{1}$$

La primera restricción asegura la satisfacción de la demanda del sistema mientras que la segunda asegura la inexistencia de interferencias entre dos comunicaciones cualesquiera. La tercera restricción simplemente fuerza a que la matriz \mathbf{F} sea binaria.

El problema del mínimo número de canales está resuelto para un vector dado de demandas. Sin embargo, esto supone un ordenamiento determinado de llamadas para el cual es posible utilizar dicho número mínimo de canales.

En un escenario real, esto puede no ocurrir. En general, para un ordenamiento arbitrario el número necesario de canales puede ser mayor que el mínimo determinado en función del vector de demandas.

Sin embargo, si se realiza una reasignación de las llamadas en curso, se podría estar en condiciones de alojar la nueva llamada, aunque deba tolerarse una disminución en la calidad de servicio la cual será menor mientras menos reasignaciones se realicen.

En los problemas de la ingeniería, los límites impuestos por el modelo pueden ser demasiado restrictivos. Si se permite un cierto grado de violación (mínimo) de las restricciones electromagnéticas, éstas pasan a ser un nuevo objetivo a minimizar, manteniendo la minimización de la cantidad de reasignaciones. Esto podría permitir explorar soluciones que, si bien están por debajo del límite impuesto por las restricciones, podrían tener un menor número de reasignaciones y, por lo tanto, ser soluciones aceptables.

En este trabajo se propone atacar el problema de asignación de llamadas independizando la asignación de la lista real de llamadas mediante reasignaciones. Para ello se propone la exploración de técnicas evolutivas para su resolución.

3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

El FAP es un problema catalogado como NP-Completo. Esto significa que las técnicas heurísticas aparecen como alternativas válidas para la resolución del mismo. En particular, las estrategias que provee la Computación Evolutiva han resultado efectivas al ser aplicadas en la resolución de problemas similares. Los aspectos fundamentales a tener en cuenta en este caso particular, se describen a continuación.

3.1 Definición de la función objetivo

Al generarse una solicitud de asignación para una nueva llamada, que no pueda ser atendida en la situación de asignaciones preexistente sin violar las RCC, se resolverá el problema cambiando el esquema de las asignaciones anteriores.

Dados una matriz de asignación $F_{inicial}$ y una celda c , demandante, se busca F_{salida} tal que a partir de ella sea posible signar el tráfico solicitado por c , respetando las restricciones indicadas por C y, además la cantidad de cambios de asignación entre $F_{inicial}$ y F_{salida} sea mínima, al tiempo que no la cantidad de canales a utilizar permanece acotada. Matemáticamente la función objetivo puede ser expresada como:

$$\begin{aligned} \text{Min } N_{reasig} &= \frac{G\left(Xor\left(F_{inicial}, F_{salida}\right)\right)}{2} \\ \text{s.a.} & \\ z &< z_m \end{aligned} \quad (2)$$

Donde $G(M)$ es una función que cuenta la cantidad de unos en una matriz binaria M . La restricción que debe satisfacerse es no sobrepasar una cantidad de canales prefijados z_m .

3.2 Representación de las soluciones

El espacio de soluciones está compuesto por matrices binarias de asignación, cuya mayor dimensión será $z \times n$, donde z es el número de canales disponibles en el sistema y n es el número de celdas. El manejo de las restricciones se realiza a través de la generación y mantenimiento de una población de individuos factibles. Dentro de todas las matrices binarias $z \times n$ sólo un subconjunto cumple con las restricciones de compatibilidad electromagnética indicadas por C .

3.3 Generación de la población inicial

Partiendo de la matriz F_i por medio de operaciones genéticas se generan nuevos individuos, que deberán ser soluciones aptas para las condiciones de tráfico existente. Esta estrategia tiene como objetivo la generación de un número determinado de individuos distintos para formar la población inicial. Las condiciones de tráfico preexistentes pueden hacer imposible llegar a esa cantidad de individuos. Entonces la rutina realiza un determinado esfuerzo (cantidad máxima de iteraciones) para obtener esta población. De no lograrlo propone una población de menor cantidad de individuos.

3.4 Mecanismo de Selección

El proceso de selección se realiza a través de un torneo binario tomando un porcentaje de individuos de la generación actual para que sean progenitores de la siguiente. Asimismo se utilizó elitismo a los efectos de no perder buenas soluciones. En lo que respecta al número de individuos seleccionados se ajustó el AE para que seleccione el 75% de la población como

progenitores.

3.5 Cruzamiento

Dentro del conjunto de progenitores se seleccionan aleatoriamente parejas que intercambian también en forma aleatoria parte de su mapa genético. A los fines de garantizar que el producto genético obtenido por el cruzamiento no altere la capacidad de tráfico por celda del individuo, se utilizaron porciones que incluyen columnas enteras. Por otro lado se verifica el cumplimiento de las restricciones impuestas por \mathbf{C} de cada nuevo individuo y de no cumplirlas es desechado como integrante de la nueva generación.

3.6 Mutación

Esta operación como sucede en la mayoría de los AE está propuesta para evitar la convergencia a óptimos locales. Utilizando un parámetro de probabilidad de mutación se seleccionan todos los individuos de la generación y sólo se los somete a mutación a aquellos superen ese parámetro. En este caso también se realiza un control de factibilidad para garantizar que los individuos mutados sean soluciones a las condiciones de tráfico y compatibilidad impuestas en el problema. Para el caso analizado se utilizó una probabilidad de mutación de 0.025

4 EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Se considera un ejemplo de una red celular compuesta de cuatro celdas $N=4$, un vector de demanda de tráfico $\mathbf{D}=[1 \ 1 \ 1 \ 3]$ y una matriz de compatibilidad electromagnética dada por

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 5 & 4 & 0 & 0 \\ 4 & 5 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 5 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 5 \end{bmatrix} \quad (3)$$

En este caso, con el objeto de realizar el análisis exhaustivo y dado que el tamaño del problema seleccionado lo permite, se procedió a analizar la asignación de todos los posibles ordenamientos de llamadas para el vector de demanda dado. Los resultados de este análisis son presentados en la figura 1.

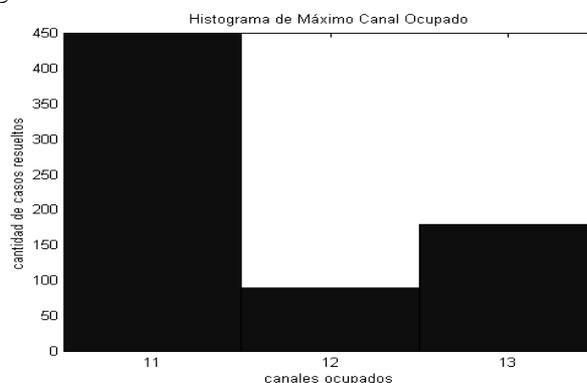


Figure 1: Asignación de canales para todos los ordenamientos de llamadas

En resumen, de un total de 720 casos de diferentes ordenamientos (para un mismo vector

de demanda) se resuelven 450 usando once canales, 90 usando doce canales y 180 usando trece canales. Lo que lleva a concluir que, si se dispone solo de once canales, para 270 ordenamientos se provocarán bloqueos mientras que, para 450 ordenamientos, todas las llamadas serán asignadas con éxito.

Los parámetros utilizados por el algoritmo propuesto se muestran en la Tabla 1.

Parámetro	Valor
Tamaño de la población	50
Prob. de Cruzamiento	0.75
Prob. de mutación	0.025
Mecanismo de selección	Torneo

Tabla 1: Parámetros utilizados en el algoritmo propuesto.

Se seleccionaron todos los casos en los cuales para realizar la asignación del tráfico total fueron necesarios mas de once canales. Este conjunto de ordenamientos está conformado por 90 casos en los cuales es necesario contar con 12 canales y 180 casos en los que se hacen necesarios 13 canales. Con este criterio se consideraron los casos en los cuales no puede realizarse la asignación con 11 canales, a saber: a) Ordenamientos tales que, sin estrategia de reasignación, necesitan 12 canales y b) Ordenamientos que, en ausencia de reasignación de llamadas, no pueden ser cubiertos por menos de 13 canales.

Se aplicó la propuesta al caso mencionado en dos etapas: la primera cuando arribó el 50% de las llamadas y la segunda, después del arribo del 66% de las llamadas previstas. La segunda etapa fue necesaria sólo en los casos más comprometidos. Las tablas 2 y 3 muestran, para los ordenamientos a y b respectivamente, el número de reasignaciones necesarias para lograr que, a través de la utilización de de una estrategia exhaustiva, sea posible completar la asignación del tráfico total con 11 canales. Un valor cero en la segunda etapa indica que no fue necesaria aplicarla.

Cantidad de Casos	Reasignaciones Etapa 1	Reasignaciones Etapa 2	Canales Usados Tráfico Total
36	3	0	11
33	2	0	11
21	1	0	11

Tabla 2: Asignación para el caso a.

Cantidad de Casos	Reasignaciones Etapa 1	Reasignaciones Etapa 2	Canales Usados Tráfico Total
47	3	2	11
38	3	1	11
34	3	1	11
26	3	0	11
21	2	1	11
12	2	0	11
2	1	0	11

Tabla 3: Asignación para el caso b.

5 CONCLUSIONES

Se ha planteado una estrategia basada en un algoritmo evolutivo que permite asignar canales en redes celulares con independencia del ordenamiento de las llamadas. Esto se realiza a través de reasignaciones de llamadas ya iniciadas y a sabiendas de que la calidad del servicio se afecta. No obstante, se logra evitar el bloqueo de la llamada entrante debido a la falta de canales disponibles. En virtud que la cantidad de canales es un recurso limitado con el que cuenta el operador de servicio, la posibilidad de ubicar la demanda con independencia del orden de arribo de llamadas es un logro de importante impacto económico.

Por otra parte, el método propuesto, permite prever un escenario a medida que las llamadas van ingresando al sistema. Esta previsión resulta en un acomodamiento de las asignaciones de frecuencias que permite incrementar la probabilidad de alojar mayor cantidad de llamadas con menor cantidad de canales disponibles.

REFERENCIAS

- Fu, X., Pan, Y., Bourgeois, A. G., and Fan, P. "A Three-Stage Heuristic Combined Genetic Algorithm Strategy to the Channel-Assignment Problem". In Proceedings of the 17th international Symposium on Parallel and Distributed Processing. IEEE Computer Society. 2003.
- Islam, M.I.; Hossain, A.B.M.S. "Channel allocation of mobile cellular network based on graph theory" TENCON 2004. IEEE Region 10 Conference Volume B, pp.529–532. 2004
- Lima, M.; Araujo, A.; Cesar, A.; "Dynamic channel assignment in mobile communications based on genetic algorithms". Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, The 13th IEEE International Symposium on Volume 5(1), 2204,2208. 2002.
- M. Duque-Antón, D. Kunz, and B. Rüber, "Channel Assignment for Cellular Radio Using Simulate Annealing," *IEEE. Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, no. 1, pp 14-21, 1993
- Naik, K.; Wei, D.S.L. "Call-on-hold for improving the performance of dynamic channel-assignment strategies in cellular networks" Vehicular Technology, IEEE Transactions on. Vol 53, N° 6, pp.1780–1793. 2004
- Sivarajan, K., R. J. McEliece, y J. W. Ketchum, "Channel Assignment in Cellular Radio" in Proc. 39th IEEE Vehicular Technology Conference , pp 846-850, (1989).
- Vidyarthi, G.; Ngom, A.; Stojmenovic, I.; "A hybrid channel assignment approach using an efficient evolutionary strategy in wireless mobile networks". Vehicular Technology, IEEE Transactions on. Vol. 54, Issue 5, Pp.1887-1895. 2005
- Whenhao S., F. Pingzhi, y P. Yi, "Performance Evaluation of a Hierarchical Cellular System with Mobile Velocity-Based Bidirectional Call-Overflow Scheme", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems 14(1), 72,83 (2003).