

ESTRATEGIAS PARA ASIGNACIÓN DE CANALES EN SISTEMAS CELULARES

Esteban Carranza, Carlos Carossio, Mercedes Carnero y José Hernández

*Grupo de Optimización – Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad
Nacional de Río Cuarto, Argentina, {mcarnero | jlh}@ing.unrc.edu.ar*

Palabras clave: Problema de asignación de canales, Redes móviles celulares, Algoritmos Evolutivos, búsqueda por entorno.

Resumen. En la operación de sistemas celulares, la utilización de técnicas de Asignación Dinámica de Canales es primordial para reducir la probabilidad de bloqueo de llamadas y así ampliar la capacidad del sistema para absorber nuevas llamadas. Ello se logra reasignando los canales de las llamadas en curso al tiempo que se respeta un conjunto de restricciones que garantizan un nivel de interferencia admisible. Sin embargo la reasignación de canales tiene un impacto negativo en la calidad del servicio prestado, siendo entonces necesaria su minimización. La Asignación Dinámica de Canales es un problema de optimización de tipo combinatorio, donde se requiere minimizar la cantidad de reasignaciones necesarias para alojar un nuevo requerimiento, sujeto al conjunto de restricciones de compatibilidad electromagnética.

En este trabajo se propone resolver el problema planteado a través de la combinación de dos heurísticas diferentes como son los algoritmos evolutivos y la búsqueda por entorno variable con el objetivo de aprovechar la capacidad diversificación que brinda el paradigma evolutivo y la facultad de inspeccionar buenas regiones de la búsqueda local.

Se presentan resultados para diferentes escenarios que pueden presentarse en una red celular de tamaño considerable.

1 INTRODUCCION

Una red de telefonía celular consiste, esencialmente, en un grupo de estaciones base cada una de las cuales posee un área de cobertura denominada celda y un conjunto de equipos móviles que acceden a la red. Cada móvil se comunica con una de las estaciones base del sistema y solicita un recurso para recibir un servicio determinado. Generalmente el recurso tiene que ver con el otorgamiento de una frecuencia en la cual la comunicación tendrá lugar

Las redes de comunicaciones basadas en la tecnología celular, se utilizan para la transmisión y recepción con equipos móviles de diferentes tipos de tráfico. GSM (*Global System for Mobile*) surge a partir de la evolución de la tecnología y la estandarización de las interfaces lo que trajo consigo una reducción de los costos en un orden de magnitud, desplazando así las tecnologías existentes y prácticamente dominar el mercado. Esta situación generó una mayor cantidad de usuarios que demandaron por más y mejores servicios, lo que motivó el avance importante en esta área hasta la actualidad en la cual se combinan, voz, datos, multimedia, acceso a Internet, etc. en cualquier equipo móvil. Este aumento simultáneo de servicios y requerimientos genera la necesidad de una administración cada vez más eficiente de los recursos disponibles, los cuales están limitados entre otras cosas por los marcos regulatorios vigentes.

GSM utiliza mayoritariamente un esquema de multiplexado por división de frecuencia para mantener comunicaciones en paralelo. La banda de frecuencia disponible está dividida en canales los cuales deben ser localizados en trasceptores elementales instalados en las estaciones base de la red. El problema planteado se conoce como el de Asignación de Canales (CAP, Channel Assignment Problem). CAP es una generalización del problema de coloreo de grafos y por lo tanto es un problema catalogado como NP-Duro (Hale, 1980).

Los esquemas más comúnmente usados para resolver el CAP consideran la asignación fija de canales (FCA) o la asignación dinámica de canales (DCA). En el primer caso un conjunto de canales está permanentemente asociado a cada celda en la red. Si bien es un esquema simple, no presenta flexibilidad. En el segundo caso todos los canales se mantienen en un conjunto central, de modo tal que todas las celdas tienen acceso a todos los canales. A medida que las llamadas ingresan en una celda se les asigna un canal dependiendo de determinadas condiciones, (Shirazi, 2010).

En un esquema DCA, cuando ingresa una nueva llamada, la red entera debería ser susceptible de rearmar la asignación previa de canales de forma tal de disminuir la probabilidad de bloqueo manteniendo la calidad de servicio. Esta última está relacionada, por un lado, con las interferencias en comunicaciones en paralelo, razón por la cual debe tenerse en cuenta, como restricción al problema de optimización, una separación mínima medida en cantidad de canales entre llamadas pertenecientes a una o más celdas involucradas. Por otra parte también se ve afectada por los mecanismos de reasignación, debiendo ser entonces el número de reasignaciones de frecuencias un índice de desempeño a minimizar.

Para resolver este problema se han propuesto, en la literatura, diferentes metodologías las cuales incluyen Algoritmos Genéticos (Luna et al, 2007), Búsqueda Tabú (Gözüpek et al, 2009), estrategias de Cúmulo de Partículas (Ghosh et al, 2008), etc. En los últimos años, los investigadores han hecho notar un aspecto importante: las heurísticas trabajan bastante bien para encontrar buenas soluciones en tiempos razonables, pero la combinación de dos o más de ellas resultan en un mejor desempeño del algoritmo. Por esta razón han surgido, y recibido cada vez más atención, una nueva clase de métodos, llamados metaheurísticas híbridas las cuales son más eficientes y flexibles (Chen, 2010).

En este trabajo se propone resolver el problema de asignación dinámica de canales mediante la combinación de dos heurísticas diferentes como son los algoritmos evolutivos y

la búsqueda por entorno variable con el objetivo de aprovechar la capacidad diversificación que brinda el paradigma evolutivo y la facultad de inspeccionar buenas regiones de la búsqueda local.

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. En esta notación cada elemento f_{ij} 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 (medida en cantidad de canales) entre canales utilizados simultáneamente en las celdas i y j .

El problema del mínimo número de canales está resuelto para un vector \mathbf{D} 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 este trabajo se propone atacar el problema de asignación de llamadas considerando un conjunto de escenarios diferentes para una misma condición de tráfico esperado y representado por el vector de demanda.

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

Dados una matriz de asignación $\mathbf{F}_{\text{inicial}}$ y una celda c , demandante, se busca $\mathbf{F}_{\text{salida}}$ tal que a partir de ella sea posible asignar el tráfico solicitado por c , respetando las restricciones indicadas por \mathbf{C} y, además que la cantidad de cambios de asignación entre $\mathbf{F}_{\text{inicial}}$ y $\mathbf{F}_{\text{salida}}$ sea mínima, al tiempo que la cantidad de canales a utilizar permanece acotada. Matemáticamente la función objetivo puede ser expresada como sigue:

$$\begin{aligned} \min N_{\text{reassign}} &= \frac{G(\text{Xor}(\mathbf{F}_{\text{inicial}}, \mathbf{F}_{\text{salida}}))}{2} \\ \text{s.a.} \\ z &< z_m \\ \sum_{j=1}^z f_{i,j} &= d_i \quad \text{para } i=1, \dots, n \\ |p-q| &\geq c_{ij} \quad \text{para } p, q=1, \dots, z \text{ y } i, j=1, \dots, n \\ &\text{tal que } f_{pi} = f_{qj} = 1 \quad \text{y} \\ f_{i,j} &\in \{0, 1\} \quad \text{para } i=1, \dots, n \text{ y } j=1, \dots, z \end{aligned} \quad (1)$$

Donde $G(\mathbf{M})$ es una función que cuenta la cantidad de unos en una matriz binaria \mathbf{M} .

La primera restricción que debe satisfacerse es no sobrepasar una cantidad de canales prefijados z_m . La segunda restricción asegura la satisfacción de la demanda del sistema mientras que la tercera asegura la inexistencia de interferencias entre dos comunicaciones cualesquiera. La cuarta restricción simplemente fuerza a que la matriz \mathbf{F} sea binaria.

3 ALGORITMO DE ASIGNACIÓN

El vector \mathbf{D} de demanda es un parámetro de diseño que establece el tráfico esperado (obtenido de un análisis previo). Sin embargo el ingreso de las llamadas al sistema es un vector aleatorio. Esto es, un mismo vector de demanda da lugar a una enorme cantidad de posibles ordenamientos de llamadas lo que constituye diferentes escenarios de tráfico. Por lo tanto, el algoritmo a implementar debe poseer la flexibilidad necesaria para poder alojar la llamada en la mayor cantidad de escenarios posibles.

Cuando se solicita una llamada sobre una celda dada, el sistema realiza una asignación de un canal utilizando una estrategia de asignación exhaustiva (*Frequency Exhaustive Assignment*, FEA). Esta estrategia trabaja bien y rápido cuando el sistema no está fuertemente demandado. Pero, a medida que la cantidad de solicitudes aumenta, la cantidad de canales disponibles disminuye y la capacidad de asignarlos sin violar las restricciones impuestas decae significativamente. En muchos casos, el resultado es el bloqueo de la llamada entrante.

El aporte del algoritmo propuesto en este trabajo considera, como punto de partida, este escenario en el cual se considera una llamada que habría sido bloqueada utilizando otra estrategia, a la cual se intentará asignarle un canal para que la misma pueda ser cursada. La forma de hacerlo es revisar y modificar el esquema de asignación realizado en el momento de la solicitud. La redistribución de canales a celdas trae aparejado problemas de calidad de servicio, por lo que es necesario minimizar la cantidad de reasignaciones a realizar. Esta es la misión del algoritmo propuesto. El algoritmo completo de asignación de canales se muestra en la Figura 1.

```

Entrada:  $z$  cantidad de canales;
          $n$  cantidad de celdas;
         L0 lista de llamadas
Salida: Fi matriz de asignación ( $n \times z$ );
Para cada llamada en L0
    Fi=Asignación_Exhaustiva(Fi, $n$ , $z$ )
    Si la asignación exhaustiva falla
        Fi=Reasignación_Metaheurística(Fi, $n$ , $z$ )
        Si la metaheurística falla
            Bloquear_llamada()
        Fin
    Fin
Fin

```

Figura 1: Algoritmo de asignación de canales

Los datos con los cuales cuenta el algoritmo son los siguientes: una lista de llamadas **L0** en la cual cada elemento l_{0i} representa la celda en la cual ingresa la llamada i . Una matriz de asignación inicializada como matriz nula, la cual se irá modificando en el proceso. También se cuenta con los valores de cantidad de canales disponibles y celdas en el sistema.

El algoritmo intenta asignar, a medida que las llamadas ingresan, los canales desde el conjunto de disponibles. Esto lo realiza utilizando una estrategia FEA. Cuando una llamada no puede ser asignada mediante dicha estrategia, el algoritmo evolutivo trata de lograrlo modificando el esquema de asignación.

4 METAHEURÍSTICAS UTILIZADAS

Se describe a continuación el algoritmo utilizado cuando una llamada no puede ser asignada. El método utilizado está inspirado en el paradigma evolutivo, hibridizado con heurísticas de búsqueda local por entornos variables. Un conjunto de potenciales soluciones al problema, individuos, representadas por matrices de asignación binaria **Fi**, es modificado iterativamente utilizando los operadores de cruzamiento y mutación a la vez que cierto porcentaje de las mismas es ingresado al algoritmo de búsqueda local.

Las restricciones hacen que alojar una llamada no sea un problema sencillo de resolver. La inclusión de una llamada más al sistema, lo que se traduce en la incorporación de un 1 en la matriz de representación, resulta en un cambio complejo en el esquema de asignación.

El mecanismo de búsqueda local utilizado es el de búsqueda por entorno variable, (BEV). Se definieron dos entornos diferentes operando exclusivamente sobre la columna de la matriz **Fi** correspondiente a la celda en la cual ingresa la nueva llamada, en adelante columna j . El primero considera la vecindad formada por todas los intercambios posibles de 1s con 0s de la columna j . Esto implica afectar sólo a los usuarios que comparten la celda j .

El segundo entorno considerado consiste en la vecindad definida a partir de la ubicación de 1s dentro de la columna j en forma controlada desde una posición inicial definida en forma aleatoria y separados una distancia, k , mayor que la distancia máxima entre canales requeridas en la celda j , esto es: $k \geq c_{jj}$

El procedimiento se aplica a un conjunto de individuos del Algoritmo Genético, (AG), con una cierta probabilidad intentando mejorar la solución corriente. De esta forma, para una matriz **Fi** de la población se procede a generar los diferentes vecinos de acuerdo con el primer

criterio y se selecciona el mejor. Éste es tomado como punto de partida para la aplicación del segundo criterio evaluando la nueva vecindad y tomando, una vez más, el mejor vecino. El procedimiento retorna este último.

5 EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Se consideraron diferentes escenarios de arribo de llamadas sobre un sistema 25 celdas y 73 canales con un vector de demanda de 167 llamadas posibles. Dichos escenarios fueron obtenidos por simulación utilizando un generador de números aleatorios. Se tomó una muestra aleatoria de 20000 ordenamientos diferentes de llamadas obtenidos de manera tal que verifican la demanda de tráfico **D**. El sistema bajo estudio es un sistema de tamaño real y que corresponde a una ciudad de 1.5 millones de habitantes aproximadamente.

En el diseño del algoritmo genético se prestó especial atención a la conformación de la población inicial, de manera tal mejorar el desempeño global del mismo, incorporando en esta etapa conocimiento específico del problema. Una porción de la población inicial, está constituida por matrices de asignación que verifican la condición de tráfico impuesta aunque no necesariamente la restricción de compatibilidad electromagnética. Los restantes individuos son generados a partir de una base de datos cargada durante la propia operación del sistema que va almacenando soluciones de alta calidad sin bloqueos de llamadas para determinados requerimientos (ordenamientos).

Se utilizó una probabilidad de cruzamiento de 0.8 y una de mutación de 0.01, el método de selección fue torneo binario. Se realizaron ensayos sin el mecanismo de búsqueda local (AG sin BEV) y ensayos del algoritmo hibridizado, (AG con BEV) para poder determinar la capacidad de la búsqueda por entorno variable como procedimiento de mejora de soluciones dentro del Algoritmo Evolutivo.

La eficiencia de las metodologías propuestas se midió contabilizando el porcentaje de casos en los que hubo bloqueo de llamadas y porcentaje de éxito en la aplicación de la estrategia de reasignaciones. En este último caso se midió además la cantidad de reasignaciones realizadas para lograr incorporar la nueva llamada. Los resultados se muestran en la tabla 1.

	Bloqueos [%]	Reasignaciones exitosas [%]	Nº de reasignaciones promedio	Nº mínimo de reasignaciones	Nº máximo de reasignaciones
AG sin BEV	5	95	40.5	30	47
AG con BEV	3	97	35.32	28	45

Tabla 1: Resultado de la aplicación del algoritmo de asignación de canales

6 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha resuelto el Problema de Asignación de Canales en Redes Celulares a través de la combinación de dos heurísticas diferentes como son los algoritmos evolutivos y la búsqueda por entorno variable con el objetivo de aprovechar la capacidad diversificación que brinda el paradigma evolutivo y la facultad de inspeccionar buenas regiones de la búsqueda local.

La estrategia propuesta permite reasignar frecuencias en sistemas de comunicación

celulares con el objetivo de evitar el bloqueo de la llamada entrante debido a la falta de canales disponibles. El indicador de desempeño es el número de reasignaciones a realizar, ya que dicho valor afecta en forma directa la calidad de servicio ofrecida.

Los resultados evidencian que la incorporación de conocimiento del problema a un algoritmo evolutivo clásico junto con la hibridización del mismo permiten generar soluciones de mayor calidad, en términos de número de reasignaciones promedio así como disminuir el porcentaje de bloqueos.

REFERENCIAS

- Chen, P.; Huang H.; Dong. X “Iterated Variable Neighborhood descent algorithm for the capacitated vehicle routing problem”. *Expert System with Applications* V 37. pp 1620-1627. Elsevier, 2010
- Ghosh S., Konar, A., Nagar A., Dynamic Channel Assignment Problem in Mobile Networks using Particle Swarm Optimization, *Second UKSIM European Symposium on Computer Modeling and Simulation*, , pp. 64-69. 2008
- Gözüpek, D.; Genc, G.; Ersoy, C., Channel Assignment Problem in Cellular Networks: A Reactive Tabu Search Approach. *ISCIS METU*, pp 298-303, 2009
- Hale, W. K. Frequency assignment: Theory and applications. *Proceedings of IEEE* 68 pp 1497-1514, 1980
- Luna, F.; Alba, E.; Nebro, S.; Pedraza, S., Evolutionary Algorithms for Real World Instances of the Automatic Frequency Planning Problem in GSM Networks, *Seventh European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimisation (EVOCOP 2007)*, LNCS 4446, pp. 108-120, 2007.
- Seyed Alireza Ghasempour Shirazi, A new Hybrid Method for Channel Assignment Problems in Cellular Radio Networks, *Sixth International Conference on Wireless and Mobile Communications*, pp 461-465, 2010