

Congreso de Inteligencia Computacional Aplicada

Mario M. Figueroa de la Cruz

UTN – Facultad Regional Tucumán
San Miguel de Tucumán – Tucumán Argentina (4000)
mfiguero@gmail.com

and

Pablo C. Rovarini Diaz

UTN – Facultad Regional Tucumán
San Miguel de Tucumán – Tucumán Argentina (4000)
provarini@gmail.com

and

Jose S. de la Cruz

UTN – Facultad Regional Tucumán
San Miguel de Tucumán – Tucumán Argentina (4000)
jsdelacruz@gmail.com

Abstract

Cellular networks are growing in size and complexity in order to cope with boosting demand. In these circumstances operators require counting on automatic tools (Fig. 1) that support the ever more complicated planning tasks.

It is to be expected, taking all the above into account, that in a medium and long term, the evolution of commercial planning tools will incorporate a wider suit of propagation models laying the emphasis on physical models rather than on currently used empirical models and thus extending its applicability range beyond the traditional macrocellular one. Also facilities supporting automatic optimization of different network design aspects will be in offer, including supporting frequency planning optimization, coverage optimization and access network optimization.

Keywords: Cellular Network Planning, Genetic Algorithms, AG Planning Tolls

Resumen

Las redes celulares crecen en extensión y complejidad a fin de hacer frente a la evolución de la demanda. En este contexto, se hace cada vez más necesario para los operadores el poder contar con herramientas (Fig. 1) de ayuda a la planificación.

Con una perspectiva a medio y largo plazo, las futuras herramientas de planificación avanzadas introducirán nuevos modelos de propagación más cercanos a la teoría física que a los modelos empíricos actuales y elementos de optimización automática, no sólo en cuanto a la planificación de frecuencias, sino, también, en lo que se refiere a la planificación de coberturas y de los elementos de interconexión de la red de acceso.

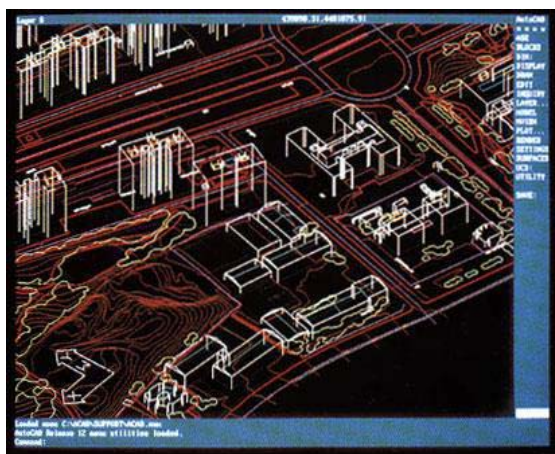


Fig. 1 - Modelado de un ambiente urbano en 3D

Palabras claves: Redes de Telefonía Celular, Algoritmos Genéticos, Planificación de Redes Celulares, AG como Herramientas de Planificación

3. Definición del Problema

El problema de la asignación de frecuencias [5] [6] [7] se puede formular en los siguientes términos: dado un conjunto de N estaciones de base (caracterizadas por el número de canales requeridos R_i , las frecuencias preasignadas FA_i y las frecuencias prohibidas FPI) y una matriz C de separación de canales (en la que $C_{i,j}$ expresa la separación que debe existir entre las frecuencias de las estaciones de base i y j), se pretende encontrar la asignación de frecuencias que, con el menor número de portadoras, cumple todas las restricciones impuestas por R_i , FA_i , FPI y C .

Está ya demostrado que un problema de este tipo es un problema de optimización combinatoria de tipo NP-completo, de complejidad de orden exponencial. A efectos prácticos, esto significa que no existen métodos exactos o deterministas que permitan encontrar la solución en tiempos de cálculo razonables. Dicho de otra manera, y dentro del ámbito del problema descrito, aunque dada una planificación de frecuencias siempre es posible verificar si cumple las condiciones, frente a un problema por resolver no siempre es posible decidir si existe una solución que, con un número determinado de portadoras, cumple todas las restricciones del problema. Es más, en muchas ocasiones tan sólo es posible hallar soluciones con un número de portadoras cercano a una cota mínima, pero sin poder garantizar ni evaluar cuan lejos se está del óptimo global.

4.1 Algoritmos de Resolución

Para resolver problemas de este tipo se utilizan técnicas y algoritmos de diversa índole que, en general, podrían ser clasificados en iterativos y no iterativos [8] [9]. Los segundos basan la búsqueda de las soluciones en el empleo de heurísticos y de ordenaciones muy específicas, por lo que no tienden a alcanzar buenas soluciones en problemas de campo, es decir, realistas. Por el contrario, los algoritmos iterativos, que se basan en el "refinamiento" sucesivo de una o más soluciones iniciales, suelen ser más robustos, en cuanto a que pueden ser aplicados a distintos problemas con equivalentes garantías de éxito. En cualquier caso, los métodos clásicos de resolución de problemas de optimización combinatoria adolecen de la dificultad para evitar los mínimos locales, singularidad para la que los algoritmos iterativos tienden a estar bien preparados.

Los Algoritmos Genéticos (AG's) son métodos adaptivos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin. Por imitación de este proceso, los Algoritmos Genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas.

En la naturaleza los individuos de una población compiten entre sí en la búsqueda de recursos tales como comida, agua y refugio. Incluso los miembros de una misma especie compiten a menudo en la búsqueda de una pareja.

Aquellos individuos que tienen más éxito en sobrevivir y en atraer compañeros tienen mayor probabilidad de generar un gran número de descendientes. Por el contrario individuos poco dotados producirán un menor número de descendientes. Esto significa que los genes de los individuos mejor adaptados se propagarán en sucesivas generaciones hacia un número de individuos creciente. La combinación de buenas características provenientes de diferentes ancestros, puede a veces producir descendientes particularmente interesantes (superindividuos), ya que se encuentran muy bien dotados, con una gran adaptación, típicamente mucho mayor que la de cualquiera de sus ancestros. De esta manera, las especies evolucionan logrando características cada vez mejor adaptadas al entorno en el que viven.

Los Algoritmos Genéticos usan una analogía directa con el comportamiento natural. Trabajan con una población de individuos, cada uno de los cuales representa una solución factible a un problema dado. A cada individuo se le asigna un valor ó puntuación, relacionado con la bondad de dicha solución. En la naturaleza esto equivaldría al grado de efectividad de un organismo para competir por unos determinados recursos. Cuanto mayor sea la adaptación de un individuo al problema, mayor será la probabilidad de que el mismo sea seleccionado para reproducirse, cruzando su material genético con otro individuo seleccionado de igual forma. Esta cruce producirá nuevos individuos – descendientes de los anteriores – los cuales compartirán algunas de las características de sus padres. Cuanto menor sea la adaptación de un individuo, menor será la probabilidad de que dicho individuo sea seleccionado para la reproducción, y por tanto de que su material genético se propague en sucesivas generaciones.

De esta manera se produce una nueva población de posibles soluciones, la cual reemplaza a la anterior y verifica una interesante propiedad: contiene una mayor proporción de buenas características en comparación con la población anterior. Así, a lo largo de las generaciones las buenas características se propagan a través de la población, con lo que las áreas más prometedoras del espacio de búsqueda van siendo exploradas al favorecer el cruce de los individuos mejor adaptados. Si el Algoritmo Genético ha sido bien diseñado, la población convergerá hacia una generación que contenga una solución óptima del problema.

El poder de los Algoritmos Genéticos proviene del hecho de que se trata de una técnica robusta, y pueden tratar con éxito una gran variedad de problemas provenientes de diferentes áreas, incluyendo aquellos en los que otros métodos encuentran dificultades.

Un Algoritmo Genético encuentra la solución óptima a un problema, hecho demostrado por Holland, pero sin tener en cuenta el tiempo para encontrarla, de modo que muchas veces esta búsqueda no resulta efectiva. Muchas veces existe evidencia empírica de que se encuentran soluciones de un nivel aceptable, en un tiempo competitivo con el resto de algoritmos de optimización combinatoria.

En el caso de que existan técnicas especializadas para resolver un determinado problema, lo más probable es que superen a los Algoritmo Genético, tanto en rapidez como en eficacia. El gran campo de aplicación de los Algoritmos Genéticos se relaciona con aquellos problemas para los cuales no existen técnicas especializadas. Incluso en el caso en que dichas técnicas existan, y funcionen bien, pueden efectuarse mejoras de las mismas construyendo un híbrido “Técnica Especializada - Algoritmos Genéticos”.

4.2 Algoritmo Genético Simple (AGS)

Un Algoritmo Genético Simple, también denominado canónico, necesita una codificación o representación del problema, que resulte adecuada al mismo. Además se requiere una función de ajuste (fitness) o adaptación al problema, la cual asigna un número real a cada posible solución codificada. Durante la ejecución del algoritmo, los padres se seleccionan para la reproducción, a continuación dichos padres seleccionados se cruzarán generando hijos (quizás dos), sobre cada uno de los cuales actuará un operador de mutación. El resultado de la combinación de las anteriores funciones será un conjunto de individuos (posibles soluciones al problema), los cuales en la evolución del Algoritmo Genético formarán parte de la siguiente población (ver Fig. 2).

```

begin /* Algoritmo Genético Simple */
generar una población inicial
computar la función de evaluación de cada individuo
while not terminado do
  begin /* Producir una Nueva Generación */
    for tamaño de la población/2 do
      begin /* Ciclo Reproductivo */
        seleccionar dos individuos de la anterior generación para la
        cruza, con una probabilidad de selección proporcional al valor de
        la función de evaluación de cada individuo.
        cruzar con una probabilidad adecuada los dos Individuos
        obteniendo dos descendientes
        mutar los dos descendientes aleatoriamente, con un valor de
        probabilidad asociada.
        computar la función de evaluación de los dos descendientes
        mutados.
        insertar los dos descendientes mutados en la nueva generación
      end
    if se encontró una solución con un error aceptable then terminado =TRUE
  end
end

```

Fig. 2 - Pseudocódigo de un Algoritmo Genético Simple

5.1 Parametrización de la Solución

Como ya se explicó, el problema que se intenta resolver consiste en optimizar los recursos [1] [4] empleados en un sistema de telefonía celular. Estos recursos son básicamente:

- Antenas: Es optimizar la ubicación de las antenas, minimizando la cantidad de las mismas, manteniendo una calidad aceptable de nivel de servicio. Las variables de este recurso sobre las que el sistema tiene control son: posición y potencia.
- Frecuencias: Este es el recurso más escaso y por consiguiente más caro. La finalidad es poder repartir las frecuencias entre las antenas, evitando la interferencia entre celdas adyacentes.

Otro elemento a tener en cuenta es la cantidad de canales que dispone una determinada celda. Esto influirá en la cantidad de llamadas simultáneas que pueden coexistir en una zona geográfica.

Además el sistema debe permitir asignar a distintas zonas geográficas niveles de tráfico distintivos, y esta información debe ser tomada en cuenta a la hora de posicionar las antenas.

Otro elemento a tener en cuenta es el hecho que existen determinados lugares que no son aptos para servir como punto de colocación de una antena (escuelas, ríos y mares, etc.).

5.2 Alcances de la Solución

Es importante tener en cuenta que las soluciones a los problemas planteados pueden ser tan simples o complejas como se desee, según la cantidad de variables que se consideren. Por ejemplo pueden tenerse en cuenta las estructuras de las edificaciones en una determinada ciudad, el material de las mismas, la curvatura terrestre, la topología del terreno y como éstas muchas variables más, a la hora de decidir la mejor manera de armar una red celular.

Las variables mas importantes que se pueden considerar son :

VARIABLES DE ENTRADA:

- Frecuencia de la señal portadora (MHz).
- Sensibilidad del receptor (DB).
- Demanda de servicio en cada punto de tráfico (Erlangs).
- Factibilidad de colocar una Antena en un determinado lugar geográfico.

VARIABLES DE SALIDA:

- Cantidad de Antenas necesarias.
- Posición y Potencia de cada antena.
- Nivel de cobertura de la solución.
- Trafico no cubierto (Erlangs).
- Frecuencias asignadas.

Al diseñar el Algoritmo Genético hay que definir los siguientes elementos:

- Individuo: Representa una posible solución al problema a través de una codificación.
- La Función Fitness: Indica el nivel de adaptación del individuo para el problema (qué tan buena es la solución).
- La Función de Selección: Determina la manera en que se seleccionan los Individuos más aptos para reproducirse de acuerdo a su función Fitness.
- La Cruza: Es la forma en la que se componen nuevos individuos a partir de los padres. Esto se logra recombinando los genes de cada individuo.
- La Mutación: Es un operador genético que altera los genes del individuo con el objeto de evitar la convergencia prematura. Además permite visitar otras regiones del espacio de solución que de otra manera quedarían inexploradas.

Opcionalmente se definen otros elementos destinados a aumentar la diversidad genética de los individuos, explorando así un mayor espacio de soluciones. Entre estos elementos encontramos los conceptos de Islas, migraciones, etc.

5.3 La Función Fitness

El diseño de esta parte del Algoritmo Genético es crucial para una correcta evolución de la población hacia una solución satisfactoria.

Los elementos de la Red Celular que se tienen en cuenta a la hora de evaluar el Fitness de una solución son los siguientes:

1. Cobertura de las TDA: se refiere a la cantidad de TDAs a las que se le presta servicio en la solución actual.
2. Nivel de Servicio: es la cantidad de TDAs cubiertas por esta solución dividida en la cantidad de TDAs existentes en el problema.
3. Tráfico Descubierta: es la cantidad de Erlangs que no pueden ser atendidos por la configuración de antenas que se propone en la solución.
4. Cantidad de Antenas: es la cantidad de antenas que utiliza la solución para brindar servicio a las TDAs.
5. Cobertura Total: es la sumatoria de la cantidad de veces que se sirve cada TDA.
6. DB Usados: es la sumatoria de los DB utilizados por todas las antenas que están presentes en la solución.

6. Simulación

Se elaboró una aplicación para planificación de redes celulares [2] [3] [10] basada en el lenguaje Builder C++ y se cargaron las siguientes consideraciones para la simulación:

Dado un escenario hipotético de prueba con las siguientes características:

- Tamaño Horizontal del Mapa: 93.4 Km.
- Tamaño Vertical del Mapa: 68 Km.
- Disponibilidad de Puntos Factibles: existe un río que cruza la ciudad, donde no pueden emplazarse antenas.
- Demanda: En este ejemplo, la demanda es uniforme, equivalente a 1 Erlang cada 25 Km².
- La red celular trabaja con una frecuencia de 1900 Mhz, y los equipos poseen una sensibilidad de -80 Db.
- Se cuenta con 3 intervalos de frecuencia distintos para asignar a las antenas, con capacidad para 82 canales cada uno.

Se buscará una solución a partir de los siguientes parámetros de configuración de la aplicación:

- División del área de cobertura en zonas de demanda:
 - Divisiones Verticales: 5
 - Divisiones Horizontales: 5
- Configuración Inicial del Algoritmo Genético:
 - Cantidad de Islas: 3
 - Tamaño de la población: 50 Individuos
 - Fitness: Fitness por Metas
- Parámetros Evolutivos:
 - Porcentaje a cubrir entre el centro y la esquina opuesta: 50%
 - Probabilidad de Mutación: 30%
 - Mutación Swapeo: 10%
 - Mutación Debilitar: 10%
 - Mutación Potencia: 10%
 - Mutación Eliminar: 70%

Con estos parámetros se ejecuta la aplicación, realizando 2 pruebas evolutivas, comenzando la primera con 10 generaciones (ver Fig.3) y la segunda prueba se considera 100 generaciones (ver Fig.4), obteniéndose las siguientes soluciones para la distribución de antenas.

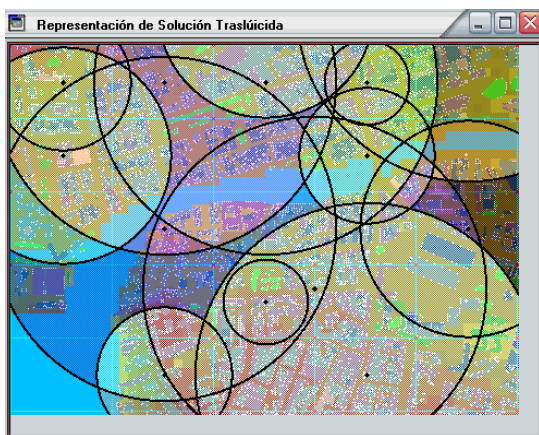


Fig.3 - Simulación de una Topología de red de Telefonía Celular luego de haber considerado 10 generaciones utilizando un AG para optimizar la cobertura en función del tráfico, potencia y zonas prohibidas.

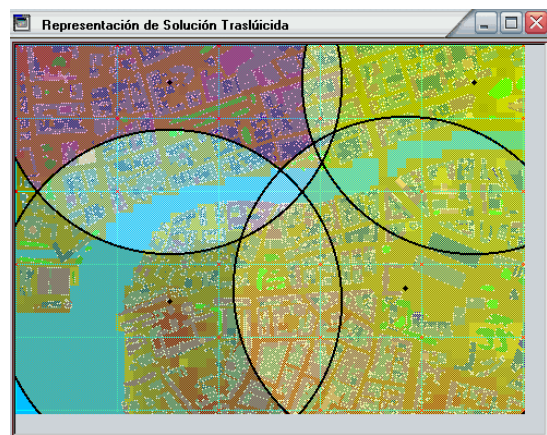


Fig.4 - Simulación de una Topología de red de Telefonía Celular luego de haber considerado 100 generaciones. Se puede apreciar como se han optimizado la cantidad de antenas necesarias para realizar la cobertura.

7. Conclusiones

Desde el punto de vista de la planificación, la evolución de los sistemas móviles hacia la Tercera Generación y posteriormente la 4ª Generación llevará la implantación de los sistemas en entornos hasta ahora no contemplados como ser las picoceldas en interior de edificios, celdas a bordo de satélites etc., así como la introducción de servicios de banda más ancha.

Desde el punto de vista de la predicción de coberturas, esto se traduce en la necesidad de modelar entornos hasta ahora no contemplados y con una mayor resolución. Por otra parte, los modelos de predicción de coberturas, han de

considerar, no sólo los niveles de potencia media recibidos y su varianza, sino también factores como la máxima dispersión temporal, a la que pueden ser sensibles algunos servicios y sistemas.

Se abren posibilidades alternativas para abordar este problema, donde el uso de técnicas de inteligencia artificial como por ejemplo los Algoritmos Genéticos, podrán proporcionarnos herramientas para la elaboración de planificaciones y posteriores modificaciones de las redes celulares.

Referencias

- [1] Jose L. Galoppo, Natalia Sosa. “*Sistemas Celulares de Comunicaciones Móviles*”. 2000.
- [2] Chae Y. Lee, Hyon G. Kang. “*Cell Planning with Capacity Expansión in Mobile Communications: A Tabu Search Approach*”. 2000.
- [3] Patrice Calégari, Frédéric Guidec, Pierre Kuonen. “*Urban Radio Network Planning for Mobile Phones*”. 1997.
- [4] Sana Ben Jamaa, Zwi altman, Jean-Marc Picard. “*Manual and Automatic Design for UMTS Networks*”. 2002.
- [5] Juan Camilo Restrepo, Horacio Reyes. “*Optimización de la Agrupación de Celdas en Zonas Virtuales para una Red Celular*”. 1999.
- [6] Makoto Yokoo, Katsutoshi Hirayama. “*Frequency Assignment for Cellular Mobile Systems Using Constraint Satisfaction Techniques*”. 2000.
- [7] Patrice Calégari, Frédéric Guidec, Pierre Kuonen, Daniel Wagner. “*A Genetic Approach to Radio Network Optimization for Mobile Systems*”. 1996.
- [8] Patrice Calégari, Frédéric Guidec, Pierre Kuonen. “*A parallel genetic approach to transceiver placement optimization*”. 1996.
- [9] Michel Vasquez, Jin-Kao Hao. “*A Heuristic Approach for Antenna Positioning in Cellular Networks*”. 2001.
- [10] Mario Figueroa de la Cruz, “*Introducción a los Sistemas de Telefonía Celular*”. Ed. HASA. 2008.

Anexo1 – Autores

Mg. Ing. Mario Marcelo Figueroa de la Cruz

Prof. Cursos de Posgrado en Telecomunicaciones y Arq. de Redes de Telecomunicaciones Avanzadas – UTN FRT
Prof. de las Cátedras de Base de Datos y Seminario de Integración – Mag. en Sistemas de Información – UTN FRT
Prof. Adjunto de la Cátedra de Nuevas Tecnologías de Redes WAN – Ing. en Sistemas de Información – UTN FRT
JTP de la Cátedra de Inteligencia Artificial – Ingeniería en Sistemas de Información – UTN FRT
mfiguero@gmail.com

MSc. Ing. Pablo Cesar Rovarini Diaz

Prof. Titular de la Cátedra de Proyectos – Ingeniería en Sistemas de Información – UTN FRT
Prof. Titular de la Cátedra de Inteligencia Artificial – Ingeniería en Sistemas de Información – UTN FRT
provarini@gmail.com

Ing. Jose Sabino de la Cruz

Prof. Adjunto en la Cátedra de Sistemas Operativos Alternativos – Ing. en Sistemas de Información – UTN FRT
Prof. Adjunto en la Cátedra de Gestión I – Ingeniería en Sistemas de Información – UTN FRT
Prof. de la Materia Programación 2 – Tecnicatura en Programación – UTN FRT
jsdelacruz@gmail.com

