

Análisis Comparativo de Algoritmos para la Planificación Automática de Redes WLAN en Interiores

Sergio Nistal Ariza⁽¹⁾, Alfonso Fernández Durán⁽²⁾, José Ignacio Alonso Montes⁽¹⁾

⁽¹⁾ Dpto. Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid.

⁽²⁾ Alcatel-Lucent. 28045 Madrid. marciu_00@hotmail.com, alfonso.fernandez_duran@alcatel-lucent.es, ignacio@gmr.ssr.upm.es.

Abstract — Este artículo aborda la planificación y optimización de redes WLAN en interiores, analizando resultados obtenidos mediante la implementación de varios algoritmos existentes, para determinar su aplicabilidad y rendimiento en un escenario real dado. La comparación de los distintos algoritmos se efectúa de acuerdo a los parámetros típicos de diseño y figuras de mérito usadas en los despliegues de redes WLAN. Los resultados presentados corresponden al rendimiento de la red conseguido gracias al mejor posicionamiento de los puntos de acceso, y al tiempo computacional requerido para su cálculo.

I. INTRODUCCIÓN

La optimización automática de los sistemas de comunicaciones inalámbricos en interiores, que incluyen varios puntos de acceso (AP, *Access Points*) es un tema complejo. Además, esta complejidad crece a medida que aumenta el número de estaciones. El éxito se logra con una distribución y configuración específicas de las estaciones base que, a menudo, no son triviales. Hay muchos parámetros que influyen en el rendimiento del sistema, como la propagación radioeléctrica (pérdidas de trayecto, desvanecimientos, zonas de sombra,...), las especificaciones del sistema (modulación, técnica MAC,...), y obviamente la composición de los usuarios a lo largo del área de servicio. Todos estos factores deben ser considerados con el objetivo de alcanzar un diseño eficiente de red [1].

En la literatura se encuentran numerosos métodos para evaluar el rendimiento de sistemas de comunicaciones ya desplegados [2], pero es difícil encontrar herramientas para la planificación automática de los mismos. Éste no es un hecho razonable, las labores de análisis y síntesis son complementarias. En pocas palabras, en este caso la síntesis se basa en varias etapas o iteraciones en las que se efectúa un análisis. Por tanto, la elección de técnicas adecuadas es el aspecto más importante en la optimización. Métodos simples suponen soluciones imprecisas y no realistas, mientras que un análisis extremadamente sofisticado requiere una capacidad computacional enorme.

La optimización obliga a prestar atención a temas como la elección del modelo de propagación, el modelo de sistema (en relación con el estándar tecnológico), una función objetivo apropiada, la estrategia de optimización, el uso de una solución de partida y la condición de terminación.

El problema principal del diseñador es la localización de los APs en la estructura del edificio o planta. Se desea una correcta cobertura, mientras que se minimiza la interferencia cocanal producida por celdas a lo largo del área de servicio o fuera de ella. Aunque muchos de estos sistemas operan en una banda no licenciada (2,4 GHz), todos ellos deben coexistir.

Otra decisión importante es la planificación en frecuencia, fundamentalmente cuando el escenario hace que el reuso de frecuencias sea inevitable. Esto también depende del estándar utilizado. Por otro lado, la potencia de transmisión de cada estación también ha de ser tenida en cuenta.

Debido a que los entornos son cada vez más dinámicos, la mejor estrategia de despliegue es la menos sensible a sus cambios. Los factores económicos y sociales también juegan un papel importante.

Este artículo da respuesta al problema de la planificación automática de estos despliegues, aportando métodos y criterios de optimización, para la localización de los APs y otros parámetros, de los cuales depende el rendimiento del sistema.

II. ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN: FUNCIONES OBJETIVO

Las Funciones Objetivo (OFs) son las herramientas esenciales para diseñar un despliegue de puntos de acceso, porque sentencian si se acepta o no como válida una solución del sistema determinada. Existen muchos enfoques para medir la calidad: eficiencia espectral, calidad de servicio (QoS, *Quality of Service*) en términos del retardo, capacidad de salida (*throughput*), costes económicos,... El diseñador establece una jerarquía para estos factores, incluso siendo algunos de ellos opuestos. Las OFs son la manera de cuantificar estos criterios, porque devuelven un valor representativo del “coste” del despliegue.

Estas funciones dependen de múltiples variables (PIRE, coordenadas espaciales, frecuencia,...), lo que convierte al problema de optimización en multidimensional y discontinuo. Las OFs son a menudo no diferenciables y no continuas. Por esta razón, las herramientas matemáticas analíticas tradicionales son inútiles. En cambio, se prefieren métodos heurísticos [3].

Una vez que se ha concretado la OF, se analizan los algoritmos, que son el núcleo de este artículo. El comportamiento de algunos de ellos depende de la elección de una solución de partida, lo que obliga a utilizar la misma solución para todos si se quiere comparar. Se implementan los algoritmos Pruning, Neighborhood Search (NS), Simulated Annealing (SA), [4] [5], Tabu Search (TS) [6] y un Algoritmo Genético (GA) [7]. Cada algoritmo tiene una técnica diferente de exploración de soluciones, pero su explicación teórica no es el objetivo de este documento.

Se definen tres OFs diferentes, las cuales se describen a continuación.

A. Cobertura

Esta OF tiene en cuenta la pérdida radioeléctrica de trayecto media y la máxima, desde cada AP a cada punto de usuario (TP, *Test Point*). Matemáticamente se expresa como sigue,

$$OF = \Psi \cdot f_1 + (1 - \Psi) \cdot f_2 \quad (1)$$

$$f_1 = \sum_{i=1}^M w_i \cdot (g_i^k + \mu \cdot \max[0, g_i^k - g_{i,\max}]) \quad (2)$$

$$f_2 = \max_i (g_i^k + \mu \cdot \max[0, g_i^k - g_{i,\max}]) \quad (3)$$

donde g_i^k es la pérdida de trayecto desde el punto de prueba (TP) i al AP k , $g_{i,\max}$ es la pérdida de trayecto máxima admitida para todo TP i , y w_i , μ y Ψ son factores de ponderación. Para las simulaciones se establecen los siguientes valores: $\Psi=0.7$, enfatizando la pérdida media frente a la máxima, $w_i=1/M$, $\mu=0.1$ y $g_{i,\max}=99$. M es el número total de TPs.

B. Tráfico

Esta OF refleja cómo es la distribución de usuarios en las celdas creadas por los APs. Calcula el número máximo de usuarios potenciales para cada AP, y la varianza de esta variable,

$$OF = \Psi \cdot f_1 + (1 - \Psi) \cdot f_2 \quad (4)$$

$$f_1 = \sigma^2(tf) \quad (5)$$

$$f_2 = \max(tf) \quad (6)$$

donde $tf(AP)$ es una función de cada AP y su valor es el número de usuarios potenciales para cada AP, σ^2 es la varianza, Ψ es un factor de ponderación, fijado en $\Psi=0.5$.

C. Interferencias

Se han considerado varias funciones para evaluar el fenómeno de la interferencia. En este caso se simula un escenario IEEE 802.11b, por lo tanto, se tienen 3 canales no solapados en la banda sin licencia 2,4-2,485 GHz. En principio, en las simulaciones se generan soluciones de despliegue con seis APs, por lo que existe el reuso de frecuencias. En este escenario se debe hacer una estimación de las interferencias (la interferencia en Wi-Fi se traduce en una reducción del *throughput* del sistema), y en este caso se calcula a nivel de TP. Otra opción más inexacta es calcular el simple solapamiento de las coberturas de cada AP. Para dicho objetivo es imprescindible conocer qué señales recibe cada TP de los APs en la misma frecuencia que él y el AP al que está ligado. La evaluación se resume matemáticamente,

$$OF = \sum_{i=1}^3 \sum_{l=2}^{\infty} \alpha(l) \cdot if(l) \quad (7)$$

donde α es un coeficiente relacionado con el número de APs involucrados en la interferencia, en cada frecuencia, $if(l)$ es la función que da el número de usuarios potenciales que sufren una interferencia creada por l APs en la misma frecuencia. Se establece el valor $\alpha(l)=l/2$. Se considera que un TP es "perturbado" por otros AP diferente al suyo en la misma frecuencia cuando la potencia que recibe de ellos está por encima de la potencia de la señal de su AP menos 30 dB.

III. MODELADO DEL ENTORNO

El punto de partida es la transformación de un espacio continuo en una malla de puntos discreta, con el fin de trasladar la realidad a MATLAB. El escenario es el de la figura 2. Se toman M TPs en una malla rectangular y N sitios candidatos a AP (CSs, *Candidate Sites*) en otra malla diferente. Por tanto, se trabaja sobre dos mallas independientes, que se solapan para

generar una global, en la que aparecen todos los puntos del escenario. Todos los CSs son a su vez TPs, pero no viceversa. K de esos N CSs se convierten en APs. En esta fase, un aspecto importante es decidir cuántos puntos TP y CS se utilizan para el cálculo. Esto se establece mediante la selección del paso de discretización. Debe existir un compromiso entre complejidad y precisión. A menor paso, mayor carga computacional. En la simulación de ejemplo esta distancia es tres metros, para la malla de TPs y la de CSs. En este ejercicio $M=N=299$ y $K=6$.

Es importante remarcar que el espacio de trabajo es bidimensional, y que una estructura de edificio tridimensional puede ser aproximada por la suma de dos superficies bidimensionales.

También es necesario modelar todos los obstáculos físicos (paredes, estanterías,...), y en este ejercicio se traducen en objetos lineales con un coeficiente de atenuación radioeléctrica específico. Los obstáculos influyen en la propagación y, por tanto, en la asociación de los TPs con los APs.

El modelo de propagación considera el rayo principal, basando las pérdidas en las correspondientes al espacio libre junto con la atenuación de los obstáculos [8]. Otra decisión importante a mencionar es la separación del código MATLAB encargado del cálculo de pérdidas, del código que implementa los algoritmos.

Una vez que el área de servicio está definida, un bloque de código específico se ejecuta, calculando absolutamente todas las pérdidas de trayecto desde todo TP a todo CS, y almacenándolas en una supermatriz accesible por otros módulos del programa. Gracias a esto, el tiempo de ejecución de los algoritmos no empeora debido a dicho cómputo (que es necesario para asociar los TPs con los APs).

IV. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

La diferencia de trabajar con mallas de discretización más o menos densas se traduce en tiempos de simulación mayores o menores, respectivamente.

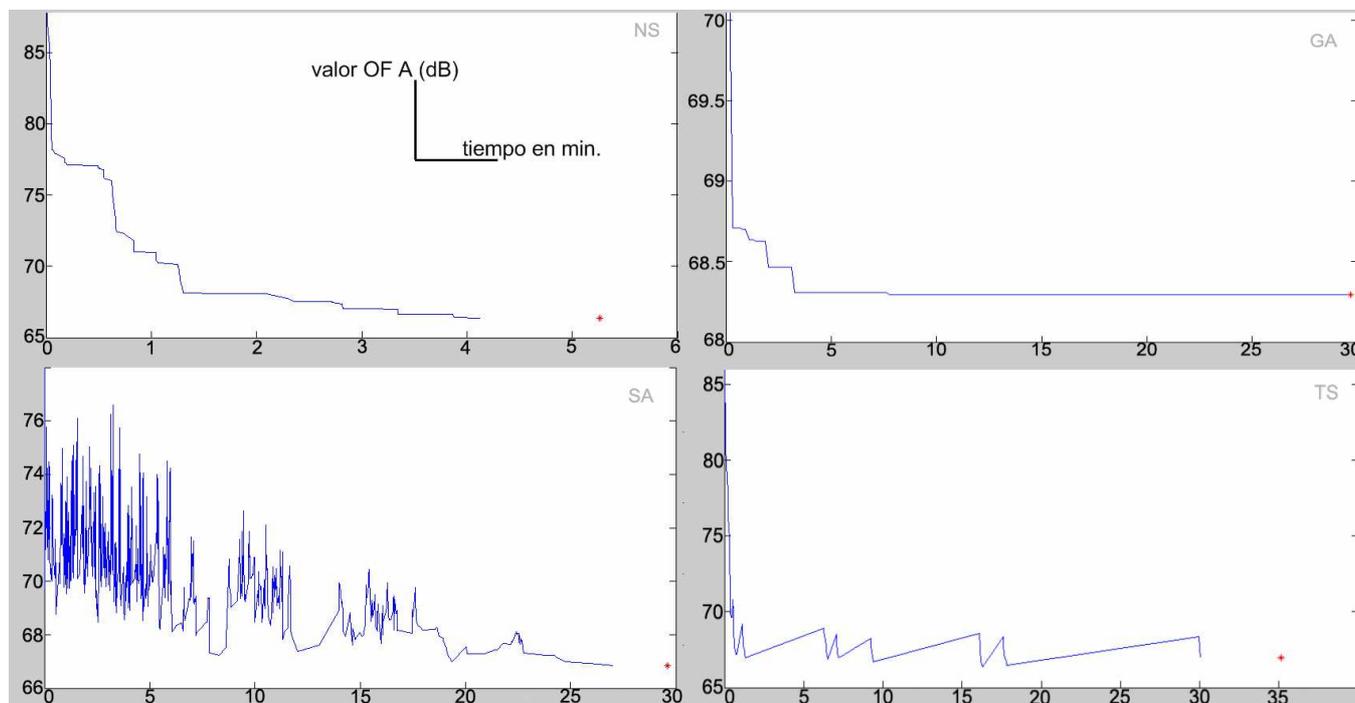


Fig. 1. Evolución temporal de la Función Objetivo A para los algoritmos NS, SA, TS y GA.

Se ejecutan los algoritmos con el paso de tres metros, como punto de partida. Los parámetros de los mismos se fijan de tal forma que exploren 50000 soluciones para cada simulación. Esto implica que el algoritmo NS debe correr con el radio de vecindad más grande, 105 metros. El algoritmo SA hace 10000 iteraciones en cada “temperatura”, con “temperaturas” desde 15 a 3 metros, en saltos de 3. Además el valor del parámetro gamma se coloca en 100 (gamma es un factor de la probabilidad de aceptación de una solución peor). El algoritmo TS hace 200 iteraciones en cada fase, con tantas fases como se necesite para cumplir la condición de terminación. TS usa un conjunto de 24 movimientos básicos y una gran memoria. GA crea 184 generaciones con 272 individuos cada una. Las probabilidades de cruce y mutación se fijan ambas en 0.7. Cada algoritmo optimiza cada OF, y la solución arrojada no sólo es evaluada en términos de la OF optimizada sino también según las demás. Los datos obtenidos optimizando la OF A se muestran en la tabla I.

El resultado más significativo es la velocidad de convergencia de los algoritmos así como el valor absoluto de OF al que llegan. En este caso, cuando menor sea el valor de OF, mejor es la solución. Esto es debido a la forma de definir las OFs.

Estas simulaciones se ejecutan en un PC de sobremesa, con procesador Intel Pentium 4 a 2.4 GHz. La figura 1 muestra la velocidad de convergencia. El eje x está graduado en minutos, mientras que el eje y corresponde al valor absoluto de la OF A. El algoritmo Pruning no aparece aquí porque este algoritmo modifica el número de APs de las soluciones según avanza, luego su espacio de soluciones es diferente.

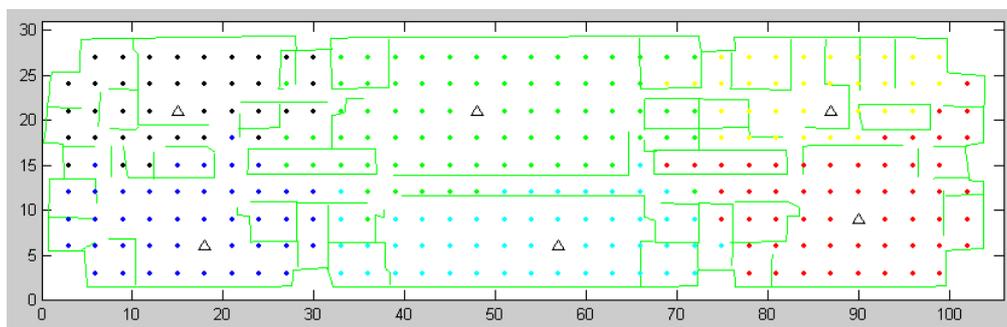


Fig. 2. Solución optimizada en cobertura obtenida con NS.

TABLA I

DATOS OBTENIDOS OPTIMIZANDO LA COBERTURA (OF A)

(NS=NEIGHBORHOOD SEARCH; SA=SIMULATED ANNEALING; TS=TABU SEARCH; GA= ALGORITMO GENÉTICO)

Algoritmo	Tiempo de simul. '=min. "=sec.	Valor OF A	Ratios OF A(% TPs en rango de potencia)					
			[20,-30) dBm	[-30,-40) dBm	[-40,-50) dBm	[-50,-60) dBm	[-60,-70) dBm	[-70,-∞] dBm
Pruning	28' 55"	70.971	8.03	14.04	47.16	24.75	6.02	0
NS	5' 16"	66.386	8.7	35.12	37.79	18.39	0	0
SA	29' 37"	66.854	8.7	33.44	37.46	20.40	0	0
TS	35' 7"	66.386	8.7	35.12	37.79	18.39	0	0
GA	37'	66.959	8.7	34.11	40.80	16.39	0	0

VII. Conclusión

En este artículo se presenta una simulación de una planificación automática de red inalámbrica, comparando diferentes algoritmos con diferentes funciones objetivo. Como resultado, se observa que el algoritmo NS termina antes que los demás debido a su definición. NS y GA siempre se desplazan a soluciones mejores, mientras que SA y TS disponen de mecanismos de escape basados en aceptar soluciones peores. Se comprueba que NS es invariante, sin embargo SA, TS y GA varían algo debido a su pequeño matiz aleatorio. En este caso NS y TS logran el mejor resultado de la OF A. Sin embargo, haciendo una valoración de tráfico e interferencias, la solución dada por NS no es la mejor. Es decisión del diseñador establecer un compromiso.

AGRADECIMIENTOS

En agradecimiento al soporte del Ministerio de Educación y Ciencia con el proyecto: TEC2005-07010-C02-01/TCM, y al proyecto CELTIC EW-2.

REFERENCIAS

- [1] M. J. Neve and K. W. Sowerby. "Optimising the performance of indoor wireless communication systems", *IEEE 49th Vehicular Technology Conference*, Vol. 2, pp. 968-972. July 1999.
- [2] R. M. Whitaker and S. Hurley. "Evolution of planning for wireless communication systems", *36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Vol. 9, No. 9, pp. 296. 2003.
- [3] E. Amaldi, et al. "WLAN coverage planning: optimization models and algorithms", *IEEE 59th Vehicular Technology Conference*, Vol. 4, pp. 2219-2223. May 2004.
- [4] X. Huang, U. Behr and W. Wiesbeck. "Automatic base station placement and dimensioning for mobile network planning", *IEEE 52nd Vehicular Technology Conference*, Vol. 4, pp. 1544-1549. 2000.
- [5] M. Unbehaun and M. Kamenetsky. "On the deployment of picocellular wireless infrastructure", *IEEE Wireless Communications*, pp. 70-80. December 2003.
- [6] R. A. Gallego, R. Romero and A. J. Monticelli "Tabu search algorithm for network synthesis", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 15, No. 2, pp. 490-495. May 2000.

- [7] K. Lieska, E. Laitinen and J. Lähteenmäki. "Radio Coverage Optimization with Genetic Algorithms", *The Ninth IEEE International Symposium*, Vol. 1, pp. 318-322. September 1998.
- [8] F. Aguado-Agelet, et al. "Optimization methods for optimal transmitter locations in a mobile wireless system", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 51, No. 6, pp. 1316-1321. November 2002.