

# Herramienta de Planificación de Redes de TV Móvil DVB-H/SH

Jorge Martín, Ariana Saliato, David Gómez Barquero, Gema Roig, Alexis P. García y Narcís Cardona

**Abstract** — Este artículo presenta la herramienta de planificación DVB-H/SH desarrollada por el instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). A continuación se describirán los aspectos que se deben tener en cuenta en la planificación de este tipo de redes. En la versión final del artículo se analizará en detalle la influencia de todos ellos en la planificación final de la red.

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro de las comunicaciones móviles multimedia, el máximo exponente a día de hoy es la TV móvil. Recientes estudios de mercado han revelado un gran interés por parte de los consumidores, y se prevé que la demanda de estos servicios explotará en el 2011, con más de 500 millones de usuarios en todo el mundo. Aunque será necesario adaptar los contenidos al entorno móvil, la TV móvil permitirá ofrecer un servicio mucho más rico y personalizado que la TV convencional, con un abanico de nuevos servicios para los consumidores, proporcionando nuevas vías de negocio a todos los agentes de la industria audiovisual y de telecomunicaciones.

Aunque los operadores de telefonía móvil han empezado recientemente a ofrecer servicios de TV móvil con sus redes de tercera generación 3G, el mayor potencial para proporcionar estos servicios lo representan las redes de Televisión Digital Terrestre (TDT) móvil. Sólo estas redes tienen las capacidades necesarias para soportar un consumo a gran escala de este tipo de servicios.

El estándar europeo de TDT móvil es conocido como DVB-H (*Digital Video Broadcasting – Handhelds*), el cual es una evolución adaptada para terminales móviles del estándar DVB-T (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial*). La evolución tecnológica de DVB-H para transmitir contenidos multimedia vía satélite, se conoce como DVB-SH (*Digital Video Broadcasting – Satellite Services to Handheld Devices*). Las principales características de DVB-SH son dos: una arquitectura híbrida terrestre satelital, y la transmisión en la banda S situada en torno a los 2 GHz, la cual está disponible a nivel europeo para este tipo de servicios.

El satélite es probablemente el medio ideal para distribuir una señal de TV a grandes audiencias cubriendo áreas extensas. Un único satélite geostacionario es capaz de proporcionar cobertura en todo el territorio europeo desde el mismo momento en el que el satélite está operativo. La solución consiste en reforzar la señal procedente del satélite mediante una red terrestre de radiodifusión complementaria.

Tanto DVB-H como DVB-SH presentan una seria barrera para conseguir un mercado europeo de servicios de TV móvil: el elevado coste del despliegue de la red. El elevado coste de despliegue de red se debe a la gran cantidad de infraestructura terrestre de red necesaria para proporcionar niveles aceptables de cobertura. Las condiciones de recepción de DVB-H/SH son mucho más severas que las de DVB-T, sobre todo para situaciones de recepción en interiores (*indoor*) y en automóviles (*vehicular*), DVB-H/SH requiere mucha más infraestructura de red que la existente para DVB-T. Además DVB-H se encuentra con el problema adicional de la indisponibilidad de frecuencias a nivel europeo en su banda de operación.

Un aspecto fundamental para el éxito comercial de un sistema de comunicaciones móviles es la realización de una planificación eficiente de la red, ya que esta planificación puede conllevar un ahorro considerable en el coste de despliegue, lo que puede afectar positivamente al precio del servicio final. Por lo tanto, realizar una planificación adecuada para minimizar el coste del despliegue de red es un aspecto crítico para no comprometer las posibilidades de DVB-H/SH de proveer servicios de TDT móvil a bajo coste.

Este artículo presenta la herramienta de planificación DVB-H/SH desarrollada por el instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Se enumeran todos los aspectos que se deben tener en cuenta para realizar la planificación, en la versión final del artículo se profundizará en todas estas consideraciones.

## II. HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN DE REDES DE TV MÓVIL DVB-H/SH

En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques de la herramienta de planificación DVB-H/SH del instituto iTEAM de la Universidad Politécnica de Valencia. La herramienta de planificación está basada en ArcGIS, dado su gran potencial en elaboración y tratamiento de información geográfica. La herramienta permite realizar la planificación de una red de DVB-H o DVB-SH y asegurar el cumplimiento de los requisitos del sistema en cuanto a niveles de cobertura y capacidad, a través de un intuitivo interfaz gráfico. La herramienta ha sido desarrollada de manera modular para facilitar futuras mejoras.

La herramienta de planificación tiene como entradas de diseño los mapas del escenario de despliegue, que incluye un mapa digital del terreno (MDT), un mapa de alturas de los edificios y un mapa de clutter (rios, zona residencial, zona comercial, etc.), también se debe indicar la posición de los posibles emplazamientos de la red, así como las posibles configuraciones de los transmisores (rangos de potencia, tipo de antena, rango de tilt, etc.) y del satélite (tipo de antena, potencia transmitida, etc.). Por último, se debe introducir un mallado de puntos de test del escenario de despliegue.

A partir de estos parámetros de entrada la herramienta calcula las pérdidas de propagación de cada uno de los posibles emplazamientos y del satélite, empleando los modelos de propagación implementados. La herramienta de planificación implementa el modelo de propagación de Xia-Bertoni para el cálculo de las pérdidas de DVB-H y de la componente terrestre de DVB-SH, y un modelo de propagación que incluye las pérdidas de propagación troposférica (satélite). La resolución de las pérdidas dependerá del mallado de puntos de test. Una característica muy importante es la posibilidad de ajustar estos modelos mediante la utilización de medidas de campo, a partir de las cuales es posible calibrar los parámetros de los modelos para obtener una estimación de las pérdidas más exacta.

El bloque de modelo de cobertura calcula la cobertura de una configuración de red, empleando las pérdidas obtenidas y los parámetros de entrada referentes al modo de transmisión escogido. El cálculo de cobertura emplea un modelo de combinación de señales, debido a que la señal total recibida se corresponde con la suma ponderada de varias señales provenientes de distintos transmisores.

Por último, el bloque de planificación determina la configuración óptima de la red (posición de los emplazamientos, potencia transmitida, configuración de las antenas, etc.). Esta decisión se toma en base a ciertos criterios u objetivos, como pueden ser minimizar el coste de despliegue de red, obtener un máximo nivel de cobertura o minimizar la interferencia. El coste de despliegue de red dependerá principalmente del número de emplazamientos utilizados y de la potencia transmitida y será diferente para cada una de las tecnologías. Para decidir los parámetros de la red se utilizan algoritmos de planificación, los cuales hacen uso de los resultados del bloque del modelo de cobertura y emplean los datos provenientes del bloque de modelo de coste.

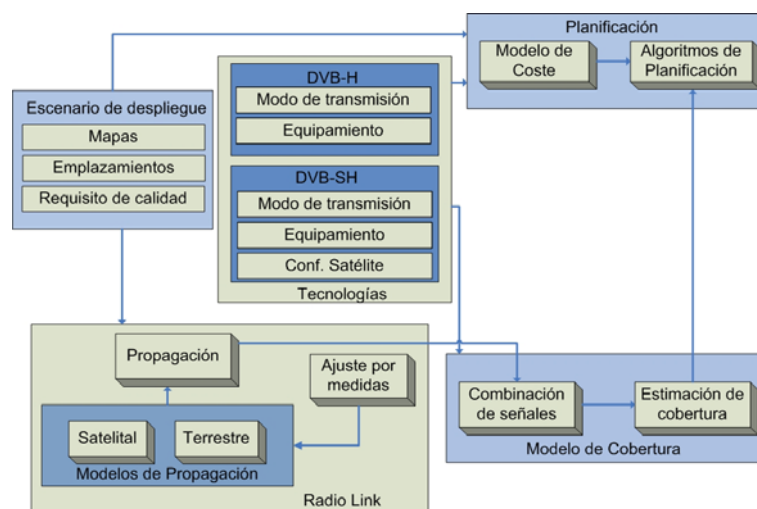


Fig. 1. Estructura de la herramienta de planificación DVB-H/SH.

### III. ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE COBERTURA

Uno de los aspectos más importantes en la planificación de cualquier tipo de red es la estimación del nivel de cobertura que proporciona. Para ello es necesario, en primer lugar, estimar las pérdidas de propagación medias entre el transmisor y el receptor y, en segundo lugar, modelar el comportamiento del receptor frente a la señal recibida.

Una característica importante de DVB-H y DVB-SH, es que, gracias a la modulación COFDM, se pueden implementar SFNs (*Single Frequency Network*) en las cuales todos los transmisores emiten la misma señal a la misma frecuencia. Por ello se necesita modelar el comportamiento del receptor frente a varias contribuciones de la misma señal, cada una retardada y atenuada de forma distinta. En el caso de DVB-SH a es posible recibir contribuciones provenientes tanto del satélite como de la red terrestre puesto que la modulación empleada por todas ellas es OFDM, mientras que en DVB-SH b la combinación de la señales provenientes del satélite y de la red terrestre se debería realizar en banda base (debido a que la componente satelital utiliza modulación TDM y la terrestre OFDM). Esta última solución resulta difícil de implementar y su viabilidad aún no ha sido demostrada.

#### A. Modelo de propagación

Para determinar la atenuación que sufre la señal se debe determinar un modelo de propagación terrestre para DVB-H y el segmento terreno de DVB-SH y un modelo de propagación satelital para DVB-SH. El modelo de propagación terrestre debe tener en cuenta los mecanismos propios de este tipo de propagación, como puede ser la reflexión o la difracción en edificios, mientras que el segmento satelital de DVB-SH los mecanismos de propagación que sufre la señal son muy distintos, debiéndose tener en cuenta, entre otros aspectos, la absorción de la atmósfera, que depende en gran medida de la posición del satélite y del receptor. El modelo de propagación terrestre utilizado es el Xia-Bertoni. Se trata de un modelo de propagación semi-empírico en el cual las pérdidas de propagación se expresan como la suma de las pérdidas de espacio libre, las pérdidas por difracción desde la terraza hacia la calle y las pérdidas debido a múltiples difracciones sobre edificios.

Finalmente, se debe tener en cuenta que los modelos de propagación realizan una estimación del nivel de señal en cada punto del escenario de despliegue. Sin embargo, hay condiciones supuestas por los modelos de propagación que en la realidad no se cumplen, como puede ser la distribución de las calles (que los modelos de propagación suponen uniforme) o la altura de los edificios. Para conseguir mejores resultados se debe adaptar el modelo de propagación elegido a un entorno en particular, ajustando algunos de sus parámetros del modelo en base a medidas de campo.

### B. Mapas y cartografía

Tal y como se ha explicado anteriormente, los modelos de propagación estiman las pérdidas que experimenta la señal entre el transmisor y el receptor en base a información cartográfica del área de despliegue. Concretamente, en caso de utilizar un modelo de propagación semi-empírico, las pérdidas se evalúan trazando el perfil entre el transmisor y el receptor. Los mapas necesarios, por tanto, serán de terreno (*Digital Terrain Mountain*, DTM) y de altura de edificios. Adicionalmente, se suele tener en cuenta los diferentes tipos de entornos existentes en el escenario de despliegue (conocidos como *clutter classes*) para calcular pérdidas adicionales. De este modo, en el escenario de despliegue puede haber diferentes *clutter classes* (río, área residencial, parque etc.). Normalmente el modelo de propagación añade un *offset* a las pérdidas diferente para cada tipo de entorno.

### C. Modelo de receptor y combinación de señales

Al trabajar con redes de frecuencia única en la que todos los transmisores emiten la misma señal a la misma frecuencia, a la entrada del receptor se tiene varias contribuciones de la misma señal, provenientes de distintos transmisores. Para estimar el nivel de cobertura es necesario determinar cómo estas señales transmitidas por los distintos emplazamientos contribuyen a la señal útil o a crear interferencias en el área de servicio. Para ello se debe utilizar una función de ponderación que determina la contribución a la señal útil y a la interferencia de las señales recibidas por los distintos emisores según su tiempo de llegada al receptor.

Por otro lado, se debe determinar la forma en que se suman las señales provenientes de cada transmisor, las cuales se suelen considerar variables aleatorias de distribución log-normal cuyo valor medio viene determinado por el modelo de propagación utilizado y la desviación típica se suele considerar de 5.5 dB para áreas de 100 m x 100 m. Además, se debe tener en cuenta que las señales provenientes de distintos transmisores pueden estar correladas. Esta correlación depende de varios factores, como pueden ser la dirección de llegada de las mismas y la distancia entre los transmisores de los cuales provienen. Conforme mayor sea la correlación entre las señales que llegan al transmisor, menor será la cobertura proporcionada por la red.

## IV. ALGORITMOS DE PLANIFICACIÓN DVB-H/SH

La planificación de red de DVB-H/SH es, en cierta medida, similar a la planificación de red de DVB-T. Sin embargo, requiere una metodología diferente, ya que no se considera una recepción fija mediante antenas en los tejados, sino recepción móvil, con lo cual la infraestructura necesaria, y por lo tanto el coste de despliegue de red, es mucho mayor. Ante esta problemática surgen dos soluciones: reutilizar la infraestructura celular existente y utilizar *gap-fillers* como alternativa a los transmisores sincronizados. Los *gap-fillers*, a diferencia de los transmisores sincronizados, reciben la señal de la propia red DVB-H/SH, la amplifican y la retransmiten a la misma frecuencia. La principal ventaja que presentan que son una solución de menor coste debido a la sencillez del equipamiento. Sin embargo, la ganancia máxima está limitada por el aislamiento entre las antenas transmisora y receptora con el fin de evitar oscilaciones debidas al acoplo producido entre ellas.

La planificación de una red DVB-H/SH consistirá por tanto, en decidir, dado conjunto de emplazamientos posibles (caracterizados por su posición, altura, máxima potencia transmitida, aislamiento en caso de ubicar un *gap-filler* etc.) y una frecuencia de operación conocida, qué emplazamientos utilizar, el tipo de emisor (transmisor o *gap-filler*), así como su configuración individual (especialmente la potencia transmitida, pero también el tilt y azimut de la antena transmisora, a qué emisor enganchar el *gap-filler*, etc.). Por lo general, el objetivo de la planificación es proporcionar un nivel mínimo de calidad de la señal sobre el área de servicio (cobertura) minimizando el coste de despliegue de red. Para realizar una planificación DVB-SH adicionalmente se debe calcular la cobertura que proporcionará el satélite para, posteriormente, realizar la planificación de la red terrestre.

Debido a las numerosas combinaciones posibles, el problema de planificación de red se traduce en un complejo problema combinatorial en el que es imposible estudiar todas las configuraciones de red posibles, por lo que es imprescindible utilizar algoritmos de planificación con un coste computacional aceptable. En el Grupo de Comunicaciones Móviles (MCG) de la UPV se ha estudiado el comportamiento de dos técnicas de optimización multiobjetivo: los algoritmos genético (concretamente el NSGA-II) y el *Simulated Annealing*.

Los algoritmos genéticos (GA) se basan en los mecanismos de selección de la naturaleza por los que los individuos más aptos de una población son los que sobreviven. El objetivo de la optimización es encontrar configuraciones de red que

minimicen el coste de despliegue de red en función del nivel de cobertura. El algoritmo genético consigue un amplio abanico de soluciones, por lo que puede ser utilizado para un despliegue progresivo de la red.

El *Simulated Annealing* (SA) es una variante de la búsqueda local, que permite movimientos hacia estados que representan soluciones peores, y de esta manera evitar quedar atrapado prematuramente en un óptimo local. El objetivo del SA es encontrar la configuración de red que alcance el objetivo de cobertura y que minimice el coste de despliegue de red.

## V. EJEMPLOS DE EJERCICIOS DE PLANIFICACIÓN

A continuación se va a mostrar los resultados de algunos ejercicios de planificación realizados en la ciudad de Valencia. La figura 2 muestra una comparativa de los resultados obtenidos mediante un algoritmo de planificación basado en el *Simulated Annealing* y un algoritmo basado en el NSGA-II para DVB-H, empleando tanto transmisores sincronizados como *gap-fillers* de potencia variable y optimizando el azimut de las antenas transmisoras de los *gap-fillers*. Se observa como el SA es capaz de obtener mejores soluciones que el algoritmo genético, ya que es capaz de “escapar” de los óptimos locales y encontrar el óptimo global, también es debido a que el SA se fija en una única cobertura objetivo y el GA se fija un gran rango de coberturas.

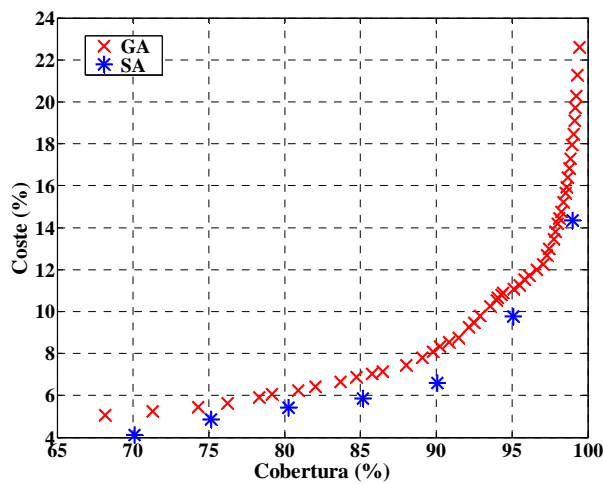


Fig. 2. Coste de despliegue vs. Cobertura. QPSK 1/2.

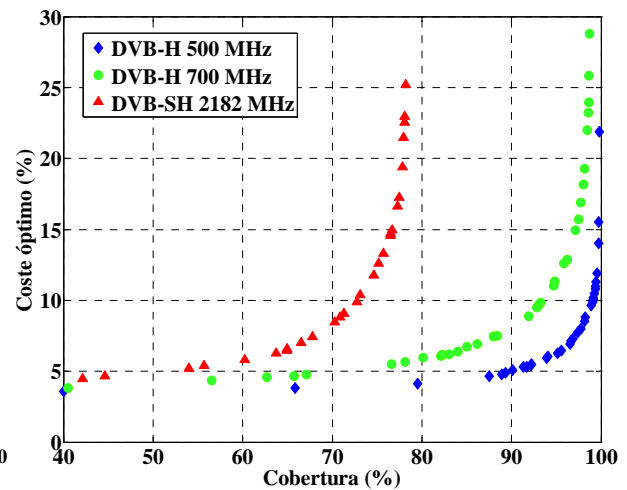


Fig. 3. Resultado del algoritmo genético NSGA-II.

La figura 3 muestra el resultado del algoritmo de optimización genético para DVB-H y para la componente terrestre de DVB-SH. Se debe tener en cuenta que los parámetros del balance de enlace son diferentes para cada uno de los sistemas. En primer lugar, debido a que DVB-SH opera en banda S a diferencia de DVB-H, que opera en UHF, las pérdidas de propagación son mayores. Sin embargo, el hecho de trabajar con frecuencias elevadas permite conseguir mayores ganancias de antena en terminales de tamaño reducido. Para conseguir buenos rendimientos de antena es necesario que el tamaño de la misma sea similar a la longitud de onda de la señal recibida, lo cual sí sucede trabajando con terminales móviles en banda S.



Fig. 4. Distribución de la SINR (dB) para una cobertura del 95% obtenido con el SA.

En la figura 4 se muestra la configuración óptima de red para DVB-H, obtenida mediante el *Simulated Annealing*. Se ha marcado con un símbolo rojo la situación de los transmisores sincronizados y con un símbolo verde la situación de los *gap-fillers*. Las líneas negras indican el transmisor sincronizado al que se engancha el *gap-filler*, los *gap-filler* que están enganchados a la torre de TV no tienen ninguna línea.