

Optimización conjunta de la gestión de la movilidad y la capacidad en redes 5G

Alejandro Ramirez-Arroyo⁽¹⁾, Juan F. Valenzuela-Valdés⁽¹⁾, Javier Carmona Murillo⁽²⁾, Francisco Luna Valero⁽³⁾, Antonio Valenzuela-Valdés⁽¹⁾ and Pablo Padilla⁽¹⁾

alexrufox@gmail.com, juanvalenzuela@ugr.es, jcarmur@unex.es, flv@lcc.uma.es,
antonio.valenzuela.valdes@gmail.com, pablopadilla@ugr.es

⁽¹⁾Dept. of Signal Theory, Telematics and Communications, University of Granada-CITIC, Granada, Spain,

⁽²⁾ Departamento de Ingeniería de Sistemas Informáticos y Telemáticos, Universidad de Extremadura, 06800 Mérida, (Badajoz), España.

⁽³⁾ Dept. of Languages and Computer Science, University of Málaga, Málaga, Spain

Abstract- Technology development is needed to meet users' traffic demands. From 2017 to 2022, global annual traffic growth is estimated at 220%. This annual growth leads in turn to an increase in the number of users connected to IP networks, going from 2.4 to 3.6 devices connected per person. These data show the importance of developing an infrastructure where this traffic can be maintained. Currently, 4G networks are capable of handling this load. However, the need for the emergence of 5G networks in a short period of time, which is expected by 2020, is visible. On the other hand, it is mandatory to reduce the power consumption by telecommunication industry. In this work, a preliminary study of the optimisation of various parameters of the 5G system is presented. It presents the configuration of the different basic parameters of the system, describes the different assignment plans of each user to each of the base stations and optimizes the power transmitted by the base stations to obtain simultaneous improvements in system capacity, overall consumption of base stations and the cost of signaling in different mobility protocols. In other words, for the first time a joint optimisation for several network levels is presented.

I. INTRODUCCIÓN

Las necesidades de conexión a la red no paran de aumentar [1] [2]. El crecimiento de tráfico en las redes de comunicaciones es prácticamente exponencial y se está diseñando una nueva generación de comunicaciones móviles (5G) para responder a estas demandas. 5G aparece con la idea de tratar de cambiar la concepción de las redes que actualmente conocemos, multiplicando por cien el número de dispositivos conectados y ahorrando hasta un 90% el consumo de energía existente en la red entre sus principales novedades, lo que da lugar a mayor penetración y velocidad y menor latencia para el usuario, así como la introducción de IoT permitiendo las comunicaciones M2M (machine to machine) a mayor escala. Para ello, el término Massive MIMO [3] toma especial relevancia debido a que la puesta en escena de múltiples antenas tanto en transmisor como en receptor permite multiplicar las velocidades obtenidas en tecnologías anteriores como 4G, obteniendo en diversos test capacidades de hasta 145 bits/s/Hz. Sin embargo, cuando todavía no se ha lanzado la 5G ya se ha comenzado hablar que habrá algunas necesidades como el internet táctil que no serán satisfechas por las redes 5G

Por otra parte, el consumo de energía en el ámbito de las telecomunicaciones no para de crecer y está empezando a tener impacto en la emisión global de gases de efecto

invernadero [4]. Por lo tanto, la eficiencia energética (EE) es uno de los objetivos de diseño dentro de las futuras redes de comunicación. Una de las soluciones propuestas para hacer frente al aumento casi exponencial del tráfico móvil de datos es aumentar el número de estaciones base (EB). Por tanto, se hace necesario el ahorro de energía en las estaciones base, manteniendo las prestaciones en cuanto a capacidad de la red. Es por tanto que los operadores buscan aumentar simultáneamente la EE y la capacidad de la red, para ello surge una nueva métrica para evaluar el rendimiento de las estaciones base que son los "bits por julio". Es decir, cuantos bits podemos transmitir gastando un Julio. Este paradigma de diseño está sincronizado con las prioridades mundiales en materia de gestión de la energía, donde las cifras recientemente publicadas sugieren que el 3% [5] de la energía mundial es consumida por las infraestructuras TIC, induciendo alrededor del 2% [5] de las emisiones mundiales de CO₂.

Pero no solo debemos tener en cuenta el tráfico de datos entre las EB y el usuario final ya que el tráfico que se genera desde la estación base hasta el router de acceso a internet cada día tiene mayor peso. Este tráfico tiene que ser encaminado de manera eficiente minimizando los costes de ruteado y señalización. Esto en el escenario planteado con una alta movilidad de los usuarios y la gran cantidad de estaciones base pequeñas (con un radio de cobertura pequeño) es una ardua tarea y por tanto será un coste más añadir a las redes de telecomunicación. Este coste resulta aún más importante cuando se ha visto que determinados costes, como los costes de señalización están creciendo a un ritmo un 50% más rápido que el tráfico de datos [6]. Por tanto, habrá que tener en cuenta el tanto el consumo de las comunicaciones desde las EB a los router de acceso como la cantidad de datos de señalización usados por los distintos protocolos.

En consecuencia con todo lo anterior, los estándares 3GPP [7] actualmente están considerando nuevos enfoques de eficiencia energética en el diseño de las futuras redes móviles de 5G o más allá de las 5G. El enfoque se hace a través de toda la pila de protocolos examinando las ventajas y desventajas de forma global para todo el sistema buscando maximizar la nueva métrica "bits por julio" para todo el sistema y no solo para la capa física del mismo.

Para el desarrollo de un nuevo modelo de red es necesario una fase de planificación donde se deben tener en cuenta todos

los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento de la red, existiendo fases de prueba donde se lleva a cabo el testeado de la red. Además es necesaria una fase de optimización donde se estudia el funcionamiento del sistema observando como cambios en este pueden provocar cambios en parámetros vitales. La idea gira en torno a la minimización de costes (energéticos y de señalización) y la maximización de parámetros referentes al rendimiento como puede ser la capacidad por usuario o la capacidad global de la red.

En este trabajo, se presenta un estudio preliminar de la optimización de varios parámetros del sistema 5G previa planificación de dicho sistema. La estructura de este documento es la siguiente. En la sección II se presenta la configuración del sistema, presentándose los diferentes modelos de cálculos de potencias, capacidades y costes de los distintos elementos que forman del sistema. A continuación, en la sección III, se describen los distintos planes de asignación de cada uno de los usuarios a cada una de las estaciones base sobre el terreno. En la sección IV, se muestra la optimización realizada a distintas variables del sistema tras aplicarle la asignación correspondiente. Por último, en la sección V, se extraen las conclusiones.

II. CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA

Este apartado se va dividir en tres partes, a) configuración, b) cálculo de la capacidad, c) cálculo de la potencia consumida.

A. Configuración

Las características del escenario sobre el que vamos a trabajar son las siguientes: se realiza sobre una superficie de $500 \times 500 \text{ m}^2$. Las EB están distribuidas de forma aleatoria por el escenario, y los usuarios también que se mueven de forma aleatoria siguiendo un modelo RWP. Además, se puede diferenciar entre tres tipos de usuarios, dependiendo del número de antenas de transmisión con las que cuentan, siendo dos, tres y cuatro respectivamente los valores que tomarán en el modelo. Por lo que corresponde a las EB, también se realiza una clasificación atendiendo a las características asociadas a dicha EB, pudiendo realizar una división en EB macro, micro o femto.

Las características de cada tipo de EB son mostradas a continuación en la tabla 1.

Tabla 1 Características de las Estaciones base

	<i>EB Macro</i>	<i>EB Micro</i>	<i>EB Femto</i>
Frecuencia (GHz)	2	5	28
Ancho de Banda (MHz)	10	25	140
Ganancia de antena (dBi)	15	5	5
Potencia máxima de transmisión (dBm)	46	25	20
PIRE (dBm)	61	30	25
Altura (m)	25	10	6
Número de antenas transmisoras	5	20	100

El número de EB y usuarios viene modelado por cada una de las configuraciones existentes. En este caso, se han considerado tres posibles configuraciones donde el número de usuarios es 20, 40 y 50 respectivamente y el número de EB es 5, 14 y 20 respectivamente.

Referente a las conexiones generadas en el escenario, estas siguen un proceso de Poisson con un ratio de llegadas de media $\lambda = 0,2$. Donde la duración de una sesión sigue una distribución exponencial con una media $\mu = 10 \text{ s}$. En este escenario, las estaciones base están conectadas a una red de acceso donde se encuentran los *routers* que ofrecen conectividad IPv6 a los usuarios móviles con el resto de la red. Esta topología de red se muestra en la Figura 1 y en ella los nodos hoja son los *routers* conectados a las estaciones base, mientras que el nodo raíz actúa como el nodo de ingreso al dominio.

B.) Cálculo de la capacidad

Para el cálculo de la capacidad del sistema es necesario primero el cálculo de la relación señal interferencia y para el cálculo de esta es necesario primero calcular la potencia recibida por el usuario se sigue la siguiente expresión:

$$P_{RX}[\text{dBm}] = P_{TX}[\text{dBm}] + G[\text{dB}] - L_{PATH LOSS}[\text{dB}]$$

Donde $P_{RX}[\text{dBm}]$ es la potencia recibida en dBm, $P_{TX}[\text{dBm}]$ es la potencia de transmisión en dBm, $G[\text{dB}]$ es la ganancia de las antenas transmisora y receptoras en dB y $L_{PATH LOSS}[\text{dB}]$ es la pérdida de señal debido al camino de transmisión en dB. A su vez, $L_{PATH LOSS}[\text{dB}]$ se modela de la siguiente manera:

$$L_{PATH LOSS}[\text{dB}] = L_{SPACE}[\text{dB}] + L_{SHADOW FADING}[\text{dB}]$$

Donde $L_{SPACE}[\text{dB}]$ es la pérdida de señal debido a la distancia entre EB y usuario, y que decae siguiendo un exponente de atenuación. $L_{SHADOW FADING}[\text{dB}]$ es la variación en la atenuación debido a múltiples variables como la propagación multitrayecto, cuya distribución sigue una log-normal. Estas pérdidas debido al camino de transmisión se han modelado de seis formas distintas siguiendo tres modelos de transmisión [8], UMi (Urban Microcells), UMa (Urban Macrocells), RMa (Rural Macrocells) para dos casos posibles, LOS (Line-Of-Sight) y NLOS (Non-Line-Of-Sight).

Finalmente, la relación SINR se ha calculado de la siguiente manera:

$$SINR_k = \frac{S}{N} = \frac{P_{rx,j,k}(mW)}{(\sum_{n=1, n \neq j}^M P_{rx,n,k}(mW)) + P_{N_0}(mW)}$$

Donde $P_{rx,j,k}(mW)$ es la potencia recibida por el usuario k desde la EB j , $\sum_{n=1, n \neq j}^M P_{rx,n,k}(mW)$ es la potencia recibida por el usuario k desde el resto de estaciones, es decir, la interferencia, y $P_{N_0}(mW)$ es el ruido debido a las componentes en frecuencia.

Una vez calculada la SINR se calculará la capacidad del sistema como la formula bien conocida para los sistemas MIMO:

$$C_{r,xt} = \log_2 \left(\det \left(I_R + \frac{SNR}{t} \times H_{r,xt} \times H_{r,xt}^H \right) \right)$$

Donde R es el número de antenas del receptor, t es el número de antenas en el receptor, I_R es la matriz identidad de dimensiones $R \times R$ y H es la matriz del canal, en este caso se ha trabajado con una matriz Rayleigh generada aleatoriamente.

C.) Cálculo de la Potencia consumida

Se trabaja con un modelo de consumo de energía que tenga en cuenta tanto el consumo entre el usuario y la estación base como el consumo entre la estación base y el router de acceso. En este caso, el modelo de consumo de energía elegido es el modelo básico de consumo de energía para un transmisor se basa en el modelo presentado en [9-10]. El consumo regular de energía de una EB, que denotaremos como P_{bc} , puede expresarse como:

$$P_{bc} = \alpha * P + \beta + \delta * S$$

donde P representa la potencia transmitida o radiada de cada EB. El coeficiente α denota la eficiencia de transmisión de potencia debida a un amplificador de RF y a las pérdidas del alimentador, mientras que β representa la potencia disipada debido al procesamiento de la señal, δ es una constante que denota un consumo dinámico de energía por unidad de datos, y S es la velocidad de datos.

La potencia transmitida es la suma de las potencias de los diferentes transmisores más la energía consumida por el backhaul (P_{BH}) que es necesario incluir, que se da en la siguiente formulación [11]

$$P_t = \sum P_{bc} + P_{BH}$$

III. PLAN DE ASIGNACIONES

Una vez vista la configuración de los parámetros del sistema, así como el cálculo de potencias y SINR dados estos parámetros, se procede a realizar cuatro modalidades de emparejamientos entre los usuarios y las estaciones base, es decir la planificación de las asignaciones de los usuarios a las EBs.

Se presentan de más simple a más compleja, teniendo todas ellas como objetivo maximizar la SINR. Estas asignaciones podrían realizarse siguiendo otros objetivos como la minimización de la distancia o la maximización de la potencia recibida entre usuario y EB. Sin embargo, la maximización de la relación señal-interferencia es la que nos permite obtener mejor resultados en lo que a capacidad del sistema se refiere, proporcionando al usuario mayor velocidades de conexión a la red. A continuación las cuatro asignaciones:

Planificación 1: se empareja al usuario con aquella EB que proporcione la mayor SINR entre todas las disponibles en el escenario.

Planificación 2: Evita el salto continuo entre EB. Para ello empareja al usuario aquella EB que proporcione la mayor SINR entre todas las disponibles en el escenario siempre que el cambio provoque una mejora de la SINR por encima de un determinado umbral.

Planificación 3: Se realiza una asignación dual de EB para el mismo usuario. Aquí debe diferenciarse entre EB principal y EB auxiliar, donde la EB principal siempre será una macro celda y la EB auxiliar siempre será una micro o femto celda. De esta forma, la asignación empareja al usuario aquella EB principal que proporcione la mayor SINR entre todas las EB

principales y empareja también al usuario aquella EB auxiliar que proporcione la mayor SINR entre todas las EB auxiliares. Provoca mejoras en la capacidad que recibe el usuario gracias al hecho de estar conectado a dos EB simultáneamente.

Planificación 4: Combinación de la planificación 2 y 3. Toma las ventajas de cada una de ellas evitando saltos continuos de celdas y al ser una asignación dual se mejoran los parámetros del usuario. Se empareja al usuario aquella EB principal que proporcione la mayor SINR entre todas las EB principales siempre que el cambio provoque una mejora de la SINR por encima de un determinado umbral y se empareja al usuario aquella EB auxiliar que proporcione la mayor SINR entre todas las EB auxiliares siempre que el cambio provoque una mejora de la SINR por encima de un determinado umbral.

Una vez expuesta tanto la configuración del sistema como la planificación de la asignación de usuarios con estaciones base pasamos a realizar la optimización del sistema.

IV. OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS

En esta primera aproximación a la optimización multicapa de un sistema 5G, el parámetro que se va configurar es la potencia de transmisión de las distintas estaciones base, siendo la máxima potencia transmitida la potencia que se encuentra reflejada en la tabla número 1. Para la optimización se ha utilizado la toolbox de Matlab de optimización multiobjetivo donde se han fijado diferentes objetivos.

Primero se hace la optimización buscando 2 objetivos únicamente la capacidad total del sistema y la potencia consumida, se hace con dos planificaciones diferentes, la planificación 1 (en color rojo) y la planificación 2 (en color azul). En la figura 1 se muestran los diferentes frentes de Pareto obtenidos para esta optimización. El conjunto de soluciones muestra diferentes soluciones (puntos) óptimos, es decir soluciones donde para esa potencia consumida la capacidad es máxima. Se puede observar como la planificación 1 obtiene resultados mucho mejores puesto que para misma potencia consumida se obtienen capacidades mucho más altas. Esto es debido a que al utilizar un umbral de potencia para minimizar la señalización bajando el número de handovers, la SINR disminuye y por tanto disminuye la capacidad. En la figura 2 se muestra para este mismo conjunto de soluciones los bits por julio obtenidos. Se muestra como las soluciones obtenidas para la planificación 1 son muy parecidas entre si y las soluciones obtenidas para la planificación 2 son muy parecidas a la vez entre sí. También se muestra claramente como en la métrica elegida de bits/w es mucho mejor la planificación 1 que la planificación 2.

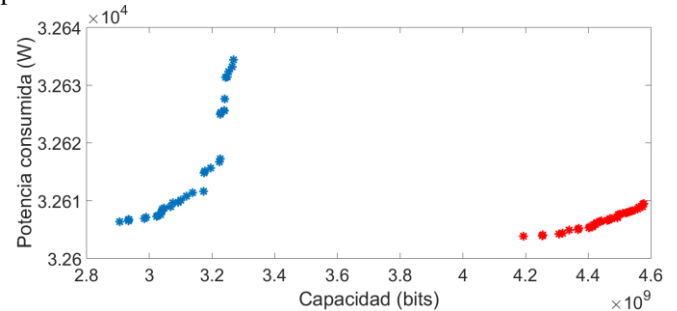


Figura 1 Frentes de Pareto obtenidos para esta optimización de la configuración 2 con las planificaciones 1 y 2.

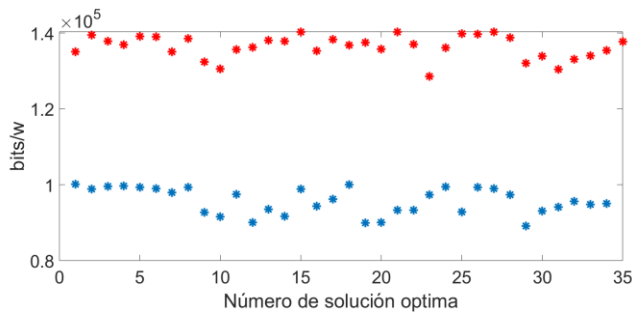


Figura 2 Diferentes prestaciones de las soluciones obtenidas para las soluciones de la figura 1.

En segundo lugar se realiza una optimización multiojetivo con tres objetivos diferentes, potencia consumida, capacidad total del sistema y costes de movilidad. Esta optimización se realiza para la configuración 1 y la planificación 1. Se muestra en la figura 3 en un gráfico 3d las soluciones obtenidas por el algoritmo. En esta figura 3 se ha representado el eje z la potencia consumida, en el eje x los costes de movilidad y en el eje y la capacidad del sistema. Se han representado las diferentes soluciones en función del nivel de potencia consumida (de menor a mayor rojo, celeste, verde, morado, amarillo y negro) para su mejor identificación. En dicha optimización se puede ver como hay muchas soluciones con baja potencia y para mejorar en uno de los parámetros es necesario empeorar en alguno de los otros dos. En la figura 4 se muestra la métrica de bits/w de las soluciones anteriores. Se puede observar como al tener en cuenta también los costes de movilidad ya la calidad de las soluciones es diferente.

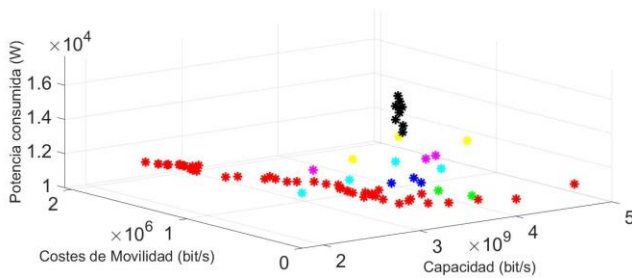


Figura 3 Soluciones obtenidas para la optimización con 3 objetivos de la configuración 1 y la planificación 1.

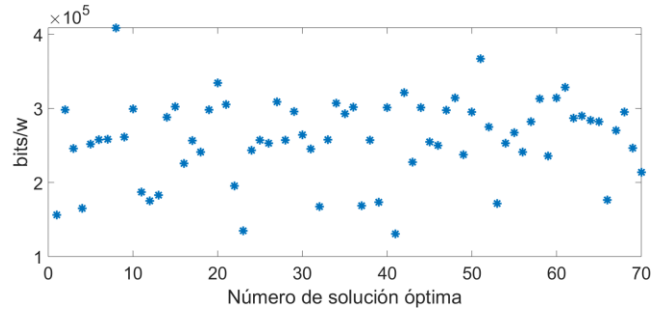


Figura 4 Diferentes prestaciones de las soluciones obtenidas para las soluciones de la figura 2.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha planteado una optimización de un Sistema 5G con diferentes parámetros de configuración. En estas optimizaciones preliminares se muestra como para mejorar un parámetro es necesario perjudicar a otro. Se busca a través de estas optimizaciones maximizar la métrica de bits/w. Durante la presentación en el congreso se presentarán muchos más casos. Es necesario un trabajo futuro en algoritmos de planificación que maximicen la eficiencia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente apoyado por los proyectos TIN2016-75097-P y EQC2018-004988-P del Programa Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación de España.

REFERENCIAS

- [1] Ericsson Mobility Report June 2018
- [2] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022
- [3] E. G. Larsson and L. Van Der Perre, "Massive MIMO for 5G," *IEEE 5G Tech Focus*, vol. 1, no. 11, March 2017.
- [4] G. Fettweis and E. Zimmermann, "ICT energy consumption—Trends and challenges," in Proc. WPMC, 2008, pp. 2006–2009.
- [5] M. De Sanctis, E. Cianca, and V. Joshi, "Energy efficient wireless networks towards green communications," *Wireless Pers. Commun.*, vol. 59, no. 3, pp. 537–552, Feb. 2011.
- [6] Signaling is growing 50% faster than data traffic, Nokia Siemens Network, 2012
- [7] Third-Generation Partnership Project, "Technical specification group radio access network; evolved universal terrestrial radio access (e-utra); potential solutions for energy saving for e-utran (release 10)," Sophia Antipolis, France, Tech. Rep. TR 36.927, V10.0.0, Sep. 2011.
- [8] K. Haneda et al, "5G 3GPP-like Channel Models for Outdoor Urban Microcellular and Macrocellular Environments," *2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Nanjing, 2016
- [9] F. Richter, A. Fehske, and G. Fettweis, "Energy efficiency aspects of base station deployment strategies for cellular networks," in Proc. IEEE 70th VTC-Fall, Sep. 2009, pp. 1–5.
- [10] S. Tombaz et al., "Impact of backhauling power consumption on the deployment of heterogeneous mobile networks," in Proc. IEEE GLOBECOM, 2011, pp. 1–5.