

Gestión de Carga en Sistemas con Multi-acceso Inalámbricos

Ronnie Castro, Gabriela Lemos, Francisco Novillo
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Km 30.5 vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador
{rcastro, glemos, fnovillo}@espol.edu.ec

Resumen

Actualmente los sistemas de comunicaciones inalámbricos disponen de una cantidad limitada de recursos radio (e.g. ancho de banda, potencia de transmisión, etc.), en este sentido, se vuelve importante definir mecanismos que permitan utilizar estos recursos de una manera eficiente para mantener la calidad en el funcionamiento del sistema. Dado lo antes expuesto, en el presente artículo se presenta un mecanismo de gestión de carga, empleando la técnica probabilística simulated annealing (SA), este mecanismo se basa de la solución provista por un análisis de niveles de señales recibidas y la asignación de costos en base a las diferentes tecnologías de estudio que se realizan para cada uno de los múltiples accesos inalámbricos que dispone un dispositivo móvil. El presente trabajo se enfoca en el desarrollo de un algoritmo de balanceo de carga que permita a los sistemas gestionar sus múltiples accesos con el fin de mantener tasas de transmisión elevadas y ofrecer una buena calidad de servicio pese a limitaciones de ancho de banda y condiciones adversas de propagación que caracterizan al canal de radio. En resumen, el objetivo principal de éste trabajo es obtener un acceso o conjunto de accesos operativos con un nivel de carga balanceada, que permita minimizar el costo total de operatividad del sistema sujeto a mantener la capacidad de canal por encima de cierto umbral.

Palabras claves: dispositivo móvil; gestión; carga; técnica; acceso; balanceo; recocido simulado;

Abstract

Currently, wireless communication systems have a limited amount of radio resources (e.g. bandwidth, transmission power, etc.), in this order, it is important to define mechanisms to use these resources efficiently to maintain quality in the operation of system. Given the above, in this paper a mechanism for load management is presented using the probabilistic technique simulated annealing (SA), this mechanism is based on the solution provided by an analysis of levels of received signals and assigning costs based on different technologies study that are performed for each of multiple wireless access available to a mobile device. This work focuses on the development of a load balancing algorithm that allows managing your multiple access systems in order to maintain high data rates and provide a good quality of service despite bandwidth limitations and adverse conditions characterizing the propagation channel radio. In summary, the main objective of this work is to obtain a set of operational access or access to a level of load balancing, which minimizes the total cost of operation of the system subject to maintaining the channel capacity above a certain threshold.

Keywords: mobile; management; load; technique; access; swing; simulated annealing;

1. Introducción

Hoy en día, la demanda de dispositivos móviles que requieran realizar transmisiones cumpliendo un cierto nivel de calidad de servicio se ha incrementado en los últimos años, como es el caso de: los comunicadores de bolsillo o PDAs, teléfonos móviles, los drones, sistemas inalámbricos de monitoreo, sistemas informáticos móviles, sistemas de navegación de automóviles, equipos para educación a distancia, entre otros. Sin embargo muchos de estos dispositivos usan un acceso a la vez lo que les expone a problemas en su radio enlace,

por ejemplo: niveles elevados de interferencia co-canal y canal adyacente debido a accesos simultáneos en bandas de uso compartido (i.e. ISM band) donde el espectro de frecuencias de radio es limitado [1,2]; lo que conlleva a una disminución de la capacidad de transmisión de los canales radio y coberturas de menor alcance. Por otro lado, dispositivos con canales de uso exclusivo (e.g. 4G) según [3] podrían aumentar la cobertura inalámbrica, pero sujetos a nuevos inconvenientes, tales como la optimización del consumo de energía en [4,5], o el coste de conexión a una infraestructura de red de pago, cuya

consecuencia sería el incremento de costos operativos [6].

Una solución que se ha dado a estos problemas ha sido proveer de múltiples accesos a cada dispositivo móvil, creando un nuevo desafío en la comunidad científica acerca del uso eficiente de los diferentes accesos, ya que de no hacerlo se mantendrían los problemas antes mencionados. En este contexto de múltiples accesos se han planteado algunas soluciones que mejoran algunos aspectos como: reducción de costos operativos, mayor ahorro de energía, balanceo de carga, reducción de tiempos de ejecución y calidad de servicio. Por ejemplo en [6], se propone un mecanismo de control de potencia en sistemas inalámbricos para el estándar IEEE802.11e, que permite obtener capacidades de ahorro de energía y de calidad de servicio basado en teoría de juegos. En [7], se describe una herramienta para solucionar problemas del uso ineficiente de la potencia de transmisión en los dispositivos móviles utilizando esta metodología.

Para lograr una eficiente gestión de los requerimientos de carga (i.e. capacidad de flujo de datos), en [8] se define, balanceo de carga, como un mecanismo encargado de distribuir de manera más precisa y equitativa las tareas, que son asignaciones de información que se transmite por un acceso dentro de un sistema, por ejemplo la capacidad de canal en la que se transmiten los datos en un canal de comunicación.

En la actualidad, el balanceo de la carga en los sistemas con múltiples accesos es uno de los principales temas de estudio en el ambiente científico, ya que mediante este tipo de mecanismos se puede repartir el trabajo que tendría que soportar un único dispositivo entre varios procesos, ordenadores u otros recursos, con el fin de maximizar las capacidades de proceso de datos y optimizar los tiempos de ejecución de las tareas. Según [9], gracias a los algoritmos de balanceo de carga se puede conseguir que el rendimiento global del sistema incremente considerablemente debido a la redistribución de las tareas de los accesos sobrecargados a aquellos que se encuentran con una carga ligera.

Por lo tanto, en este artículo se propone un mecanismo de gestión de carga para un sistema con múltiples accesos inalámbricos, que permita minimizar el costo total de operatividad del sistema sujeto a mantener la capacidad de canal por encima de cierto umbral, con el propósito de obtener un acceso o conjunto de accesos operativos con un nivel de carga balanceada. Para esto se definen métricas asociadas a cada acceso, las cuales consideran algunos parámetros tales como potencia recibida, relación señal – ruido, capacidad de canal y los costos de las diferentes tecnologías. Estas métricas establecen una función de utilidad total al sistema, la misma que será optimizada mediante el uso de la conocida técnica probabilística de optimización llamada SA [10-13].

Este artículo está organizado de la siguiente manera. Sección II se describen los principales aspectos generales

del modelado del escenario de estudio. En la sección III, el problema de balanceo de carga es formulado matemáticamente. Luego en la sección IV, se presentan las respectivas funciones de utilidad y el algoritmo propuesto. En la sección V, se realiza la evaluación de desempeño del algoritmo propuesto. En la sección VI se obtienen las conclusiones en base a los principales resultados y aportes más significativos de este trabajo.

2. Modelo del Sistema

Para el análisis del presente trabajo se ha considerado un escenario urbano con alta densidad de edificaciones, donde se podría tener potencialmente una importante concentración de múltiples y diferentes sistemas de comunicación inalámbricos.

2.1 Descripción del Escenario

Por otro lado, sobre el escenario antes descrito un dispositivo móvil (DM) sigue una trayectoria a lo largo de una calle, para ello dispone de multi-acceso tales como Wifi, 4G, entre otros. Durante ese trayecto los múltiples accesos pueden ser objeto de múltiples interferencias provenientes de otros dispositivos ubicados dentro de las edificaciones (e.g. APs).

Además, para controlar la trayectoria del DM se dispone de un control remoto (CR) con los mismos múltiples accesos del DM, de manera que dependiendo de los niveles de interferencia que puedan existir entre el DM y CR se podría emplear un acceso u otro.

Para representar este despliegue, en la Fig. 1 se muestra el escenario de estudio donde se encuentran n_b edificaciones que han sido distribuidas a los costados de una avenida de largo a_1 y ancho a_2 , esta distribución densa de edificaciones está basada en un modelo Manhattan [14]. Dichas edificaciones de altura b_1 , ancho b_2 y profundidad b_3 , se encuentran separadas entre sí una distancia a_3 , distan a_4 respecto al borde de la avenida y poseen a_5 pisos, segmentados de forma tal que en cada piso se encuentra una cantidad b_7 de habitáculos, que tienen un ancho b_4 , longitud b_5 y altura b_6 .

DM está provisto de un número $i+j$ accesos inalámbricos, y se desplazará una distancia total q dando pasos de tamaño p cuyo punto de partida se referencia como o_1 y el punto final como o_2 . En cada paso se realizará un análisis de interferencias para cada uno de los accesos del DM en relación a otros dispositivos desplegados en el escenario.

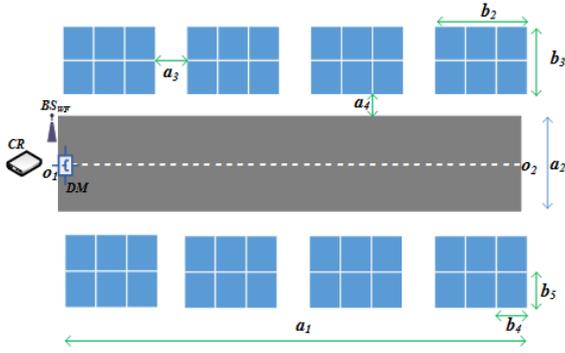


Fig 1a)

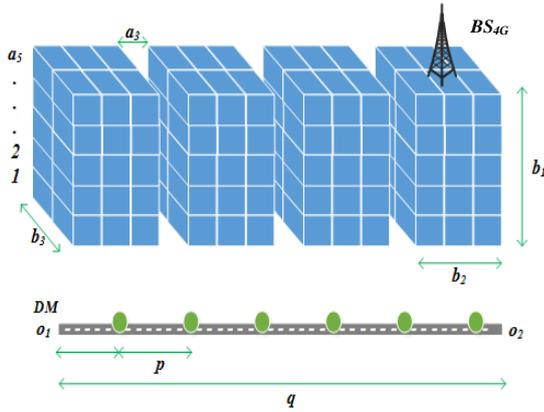


Fig 1b)

Fig. 1 Escenario de estudio. a) Vista transversal, b) Vista tridimensional

2.2 Modelo de Señales

Para este estudio en particular, se considera que el DM tiene i accesos tipo Wi-Fi y j de tipo 4G, los cuales mantendrán comunicación con sus estaciones bases BS_{WF} y BS_{4G} respectivamente, como se muestra en la Fig. 1.

Los niveles de señal que pueden ser percibidos en el DM cuyo origen es cualquier otro dispositivo en el escenario pueden ser descritos de la siguiente manera:

- Señal transmitida por la BS_{WF} y recibida en el DM: para cada uno de los i accesos de tecnología Wi-Fi que dispone el DM, se puede calcular el nivel de señal recibida en el DM desde una BS_{WF_i} , mediante la siguiente expresión:

$$P_{BS_{WF_i} \rightarrow DM_i} = P_{BS_{WF_i}} - L_{BS_{WF_i}, DM_i} - \Delta_{WF} \quad (1)$$

donde $P_{BS_{WF_i}}$ es la potencia transmitida por la BS_{WF_i} en el acceso i , $L_{BS_{WF_i}, DM_i}$ es la pérdida de la señal desde la BS_{WF_i} al DMi y Δ_{WF} es un factor de pérdida debido a que los accesos i usan canales que pueden solaparse entre ellos.

- Señal transmitida por la BS_{4G} y recibida en el DM: para cada acceso j de tipo 4G que posee el DM, el nivel de señal recibida en el DM para ese acceso se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$P_{BS_{4G_j} \rightarrow DM_j} = P_{BS_{4G_j}} - L_{BS_{4G_j}, DM_j} \quad (2)$$

siendo $P_{BS_{4G_j}}$ la potencia de transmisión de BS_{4G_j} al acceso j y $L_{BS_{4G_j}, DM_j}$ la pérdida de señal que existe entre BS_{4G_j} y DMj. Los niveles de señal recibida en el DM se muestran en la Fig. 2.

Por otra parte, dado que la banda en la que operan los accesos de tipo Wi-Fi el DM es de uso compartido, puede ser interferido por los diferentes puntos de acceso APs que están distribuidos en los edificios a lo largo del trayecto. Por consiguiente se considera relevante realizar un análisis de cuanto afecta esta interferencia al DM. :

- Interferencias desde dispositivos desplegados en zona urbana al DM: el nivel de interferencia en cada acceso i recibido en el DM en el canal k desde cualquier apm que emite señal en un canal r , se define de la siguiente manera:

$$I_{ap_m^r \rightarrow DM_i^k} = P_{ap_m} - L_{ap_m, DM_i} - \Delta_{r,k} \quad (3)$$

donde cada apm transmite a una potencia P_{ap_m} , L_{ap_m, DM_i} es la pérdida de señal que existe desde apm hasta DMi y $\Delta_{r,k}$ es el factor de pérdida por solape de canal. De tal manera que este factor puede ser calculado con la siguiente expresión [17]:

$$\Delta_{r,k} = -10 \log(\rho_{r,k}), \forall \rho_{r,k} > 0 \quad (4)$$

tal que $\rho_{r,k}$ representa el factor de interferencia por solape de canal, descrito a continuación:

$$\rho_{r,k} = \max(1 - 0.2|r - k|, 0) \quad (5)$$

Nótese en Fig. 2, que en el caso del acceso 4G, la interferencia que pudiesen ocasionar otros dispositivos al DM operando en este tipo de tecnología, no es considerada, debido al uso de subportadoras ortogonales, dado que los niveles de potencia son controlados por la

operadora, además la banda que este sistema utiliza es de uso exclusivo.

Adicionalmente para el presente trabajo, cada acceso i tendrá asignado un canal sin solape dentro de la banda compartida, por lo tanto el factor Δ_{WF} es igual a cero.

Por último, se ha considerado que la pérdida de señal entre CR y BS_{WF} es despreciable y que la comunicación entre CR y la BS_{4G} es óptima.

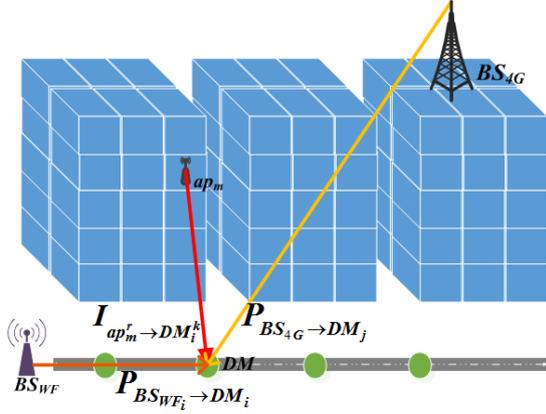


Fig. 2 Modelo de señales e interferencias recibidas en el DM.

2.3 Modelos de Propagación

Con la finalidad de describir de mejor manera las pérdidas de radio propagación en escenarios interiores y exteriores en zonas urbanas en este trabajo se han usado varios modelos de propagación que permiten describir este fenómeno de forma muy aproximada. Por consiguiente, a continuación se presentan los modelos de pérdidas propagación utilizados, de acuerdo al tipo de transmisión.

Pérdidas de propagación entre BS_{4G} y DM

Debido a que las estaciones bases se encuentran en localizaciones externas, el modelo de propagación a considerar solo toma en cuenta ese tipo de escenarios, así para estos casos se utiliza un modelo empírico de propagación, conocido como Log-Normal por desvanecimiento de sombra (Shadowing Path Loss Model) [16-17]. De manera que la pérdida de señal entre una BS_{4G} y el DM se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$L_{BS_{4G},DM_j} = L_o + 10\alpha \log d_{BS_{4G},DM_j} + Shadow \quad (6)$$

donde L_o es la pérdida de propagación a una distancia de un metro, en dB (calculada utilizando el modelo de pérdidas en el espacio libre) [17] definida como:

$$L_o = 10\alpha \log(41.9f) \quad (7)$$

de tal manera que f corresponde a la frecuencia de operación del sistema. Además α es la pendiente de propagación dependiente de las condiciones del entorno, d_{BS_{4G},DM_j} es la distancia desde la BS_{4G} al DM, y $Shadow$ es la desviación estándar de pérdida debido al desvanecimiento por sombra que se obtiene de una variable aleatoria Gaussiana [17].

Pérdida propagación entre el DM y la BS_{WF}

Dado que la comunicación entre la BS_{WF} y el DM se realiza en un escenario externo, el modelo de propagación utilizado es el mismo que para las pérdidas de propagación entre BS_{4G} y DM [16-17]. De modo que la pérdida entre BS_{WF} y el DM se define como:

$$L_{BS_{WF},DM_i} = L_o + 10\alpha \log d_{BS_{WF},DM_i} \quad (8)$$

donde L_o es la misma usada anteriormente en la ecuación (7) y d_{BS_{WF},DM_i} es la distancia de la BS_{WF} al DM.

Pérdidas de propagación entre cualquier ap y el DM:

Puesto que los puntos de accesos se encuentran desplegados al interior de los edificios, se debe considerar las pérdidas en interiores y exteriores, es así que para determinar la pérdida de trayecto entre cada ap_m y DM_i , se emplea el modelo de propagación COST 231 Kennan y Motley descrito en [17] de la siguiente manera:

$$L_{ap_m,DM_i} = L_o + 10\alpha \log d_{ap_m,DM_i} + L_{obs_{ap_m,DM_i}} \quad (9)$$

donde L_o y α definidos en la ecuación (7), d_{ap_m,DM_i} es la distancia de cada ap_m al DM_i , y $L_{obs_{ap_m,DM_i}}$ es un factor de pérdida debido a los obstáculos que debe atravesar la señal interferente del ap_m , DM, de modo que:

$$L_{obs_{ap_m,DM_i}} = \sum_{floor=1}^{n_{floor}} L_{floor} + \sum_{wall=1}^{n_{wall}} L_{wall} + \sum_{window=1}^{n_{window}} L_{window} \quad (10)$$

tal que n_{floor} es la cantidad de pisos, n_{wall} es el número de paredes y n_{window} es el total de ventanas que debe atravesar la señal de cualquier ap_m hasta interferir con el DM_i . Los factores de pérdidas para paredes, pisos y ventanas corresponden a L_{floor} , L_{wall} y L_{window} respectivamente.

3. Formulación Matemática

En esta sección, se define al mecanismo de asignación de accesos como una función matemática, la misma que tiene como fin obtener un acceso operativo con un nivel de carga balanceada.

3.1 Planteamiento del Problema

Hay que considerar, que cualquier tipo de acceso con el que se opere puede presentar inconvenientes de degradación de señal, ya sea por pérdidas en la trayectoria o debido a la saturación del canal causado por las interferencias de otros sistemas, con el objetivo de encontrar una solución que satisfaga las demandas de calidad en sistemas multi-acceso inalámbricos. En la Fig. 3 se presenta un esquema de solución para tales problemas.

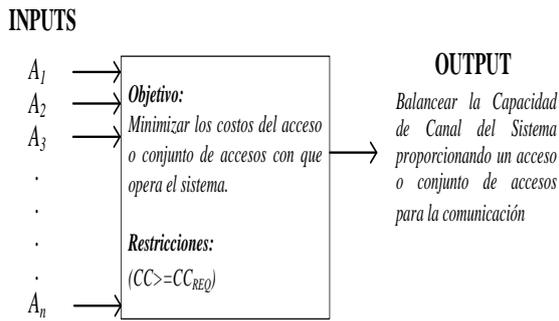


Fig. 3 Esquema de funcionamiento del sistema.

En la Fig. 3 se puede apreciar múltiples accesos ($A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$) que ingresan al sistema propuesto en el cual se asigna un costo a cada uno o en su lugar a conjunto de los mismos.

El sistema se encuentra configurado para alcanzar el objetivo de utilizar el acceso o conjunto de accesos que permitan minimizar los costos de operación y mantengan la capacidad de canal del sistema (CC) por encima de un umbral requerido (CC_{REQ}). El proceso devolverá como resultado un acceso o conjunto de accesos con un nivel de carga balanceada

3.2 Formulación del Problema

Para formular este problema de manera matemática, se ha considerado que, el conjunto $AP = \{ap_1, ap_2, \dots, ap_n\}$ corresponde a los n APs desplegados de manera uniforme dentro de los edificios, a su vez la posición de un ap_m cualquiera se define como $pos(ap_m) = \{(x, y, z) / x, y, z \in \mathbf{R}\}$ y el canal r que emplea asignado dentro de los once canales de banda WiFi, está dado por [18]: $ch(ap_m) = \{r | r = 1, 2, \dots, 11\}$.

En adelante se denotará como acceso g cualquier acceso que dispone el DM, ya sea Wi-Fi o 4G. Por lo tanto, basado en el modelo de señales analizado en la sección anterior en el DM las siguientes métricas pueden ser calculadas:

Potencia recibida

Se ha definido la potencia que recibe un acceso g , como la relación entre el nivel de señal en cada acceso del DM representados por las ecuaciones (1) o (2) y el nivel total de interferencia IC_g que cada acceso percibe debido al despliegue de sistemas en banda compartida, también se ha añadido un parámetro aleatorio δ con distribución normal como margen de protección [19] en el acceso, de modo que la potencia recibida en un acceso g puede expresarse de la siguiente manera:

$$P_g = P_{ij} + \delta - IC_g \quad (11)$$

donde P_{ij} es el nivel de señal recibido en un acceso i o j , el cual puede ser (1) o (2), siendo además IC_g expresado del siguiente modo:

$$IC_g = \sum_{m=1}^n \rho_{r,k} \left(I_{ap_m^r \rightarrow DM_g^k} - S \right) \quad (12)$$

donde $\rho_{r,k}$ ha sido definido en (5) y S es el nivel de sensibilidad para ese tipo de acceso, nótese también que para los accesos tipo 4G IC_g es cero debido a que su banda es de uso exclusivo.

Capacidad de Canal

La Capacidad de canal por acceso g se define con la siguiente expresión:

$$CC_g = B \log_2 \left(1 + SNR_g \right) \quad (13)$$

tal que B representa al ancho de banda necesario para satisfacer el servicio de comunicación y SNR_g es la relación señal a ruido por acceso g , calculado mediante la expresión:

$$SNR_g = 10^{\frac{P_g - N_g}{10}} \quad (14)$$

siendo N_g el factor de ruido en el canal [20].

4. Algoritmo Propuesto

En esta sección se proveerá un mecanismo que permita al dispositivo móvil seleccionar sus accesos radio de manera eficiente tratando de solucionar los problemas de balanceo de carga. Para esto se realizará un monitoreo del medio radio que permitirá generar ciertas métricas que serán empleadas para determinar un valor de utilidad por cada acceso o combinaciones de accesos.

A estas utilidades se les asignará una probabilidad basada en ciertas restricciones del sistema, luego empleando el conocido algoritmo SA [11-13] se determinará el acceso o conjunto de accesos con que opera el dispositivo.

4.1 Descripción del Algoritmo

El algoritmo basa su decisión de asignación de accesos en una utilidad que refleje los efectos de costos de operatividad asociados a valores monetarios, niveles de potencia o capacidades de canal en los accesos. Por lo tanto

A partir de las señales recibidas en el DM, la utilidad que puede ofrecer cada acceso, se define de la siguiente manera:

$$U_g = e^{-c} \left(w_1 \left(1 - \left(e^{-\frac{\min(S-P_g, 0)}{10}} \right) \right) + w_2 \max \left(\frac{(CC_g - CC_{REQ})}{(CC_g)}, 0 \right) \right) \quad (15)$$

donde el primer término relaciona la potencia recibida en el acceso g con el nivel de sensibilidad S para ese tipo de acceso, este término es multiplicado por un ponderador w_1 , el segundo término permite relacionar la capacidad de canal del acceso g con la capacidad de canal umbral requerida CC_{REQ} por el sistema, este término es ponderado al ser multiplicado por w_2 . Estos factores de ponderación permiten establecer cierta predominancia de una métrica sobre otra, tal que $w_1 + w_2 = 0.5$. La suma de ambos términos es multiplicada por una función exponencial decreciente, de manera que a mayor costo económico de operatividad c corresponde a una utilidad menor para el acceso g .

Por otro lado, dado que el DM puede operar con uno o varios accesos de manera simultánea, por lo tanto una utilidad total es definida como la sumatoria de las utilidades individuales de cada acceso de acuerdo a la combinación utilizada. Este concepto es representado matemáticamente de la siguiente manera:

$$U_{T_x} = \left(\sum_{g=1}^{n_c} \frac{U_g}{n_c} \right)^{n_c} \quad (16)$$

donde x es una de las n_x posibles formas de combinar los g accesos del DM y n_c es el número de accesos g combinados. De tal modo que la capacidad de canal total de cualquier combinación x de accesos g se define a continuación:

$$CC_{T_x} = \sum_{g=1}^{n_c} CC_g \quad (17)$$

Con el fin de seleccionar un acceso o conjunto de estos, se asigna a cada acceso o conjunto de accesos formado por su combinación, una probabilidad de selección mediante la siguiente expresión:

$$p_x = v1_x v2_x \frac{U_{T_x}}{\sum_{x=1}^{n_x} U_{T_x}} \quad (18)$$

siendo $v1_x$ es un factor discriminante de la probabilidad p_x para aquellas combinaciones formadas por un solo acceso, tal como se define a continuación:

$$v1_x = \begin{cases} 0 & ; Si CC_{T_x} < CC_{REQ} \\ 1 & ; otros \end{cases} \quad (19)$$

así también, $v2_x$ es otro factor que discrimina la probabilidad p_x , minimizando la posibilidad de uso de combinaciones compuestas por accesos que generan alto costo económico, $v2_x$ está definido por la siguiente expresión:

$$v2_x = \begin{cases} 0 & ; Si CC_{g \text{ es WiFi}} > CC_{REQ} \\ 1 & ; otros \end{cases} \quad (20)$$

A partir de los valores de probabilidad p_x asignados a cada posible combinación x , se crea un vector de probabilidad acumulada pdf_x , del cual se selecciona probabilísticamente una de las n_x combinaciones de accesos, para proveer de una posible solución al sistema y empleando los criterios de aceptación del algoritmo SA, el DM obtiene una nueva asignación de accesos que cumplan con los requerimientos de calidad del sistema.

4.2 Pseudocódigo

```

1. Set  $Ax \leftarrow Ax_0$  ; acceso inicial
   Set  $T \leftarrow T_0$  ; temperatura inicial
2. while número de iteraciones no es alcanzado
3.   Obtiene un nuevo acceso,  $Ax_0$  ;
4.   Compute  $\Delta U_{T_x} = U_{T_x}(Ax_0) - U_{T_x}(Ax)$ 
5.   if  $\Delta U_{T_x} < 0$  then
6.      $Ax = Ax_0$ ;
7.   elseif  $\Delta U_{T_x} > 0$  then
8.     if random[0,1] <  $e^{-\Delta U_{T_x}/T}$  then
9.        $Ax = Ax_0$ ;
10.    end_if
11.  end_if
12.  Update  $T = CF \cdot T$  and número de iteraciones;
13. end_while

```

Fig 4. Pseudocódigo del algoritmo de balance de carga para sistemas con multi-acceso inalámbricos

En la Fig. 4 se muestra el algoritmo que es ejecutado periódicamente en el DM, permitiéndole obtener la asignación de sus accesos balanceando; con el objetivo de cumplir con una capacidad de canal requerida por el sistema, lo cual se logra maximizando la utilidad total calculada para cada acceso o conjunto de accesos mediante la técnica estocástica SA.

El funcionamiento del algoritmo es de la siguiente manera: Inicia asignando al DM un acceso Ax cuyo nivel de interferencia total percibido sea mínimo según (3), además es configurada la temperatura inicial T_0 que emplea el algoritmo SA (línea: 1). Probabilísticamente se obtiene un posible nuevo acceso o combinación de estos Ax_0 evaluando un valor entre (0~1) en el vector de probabilidad acumulada $pdfx$ (línea: 3). La decisión de mantener el acceso Ax o adoptar la posible nueva asignación de accesos Ax_0 dependerá de la comparación entre utilidades ΔU_{T_x} (línea: 4), donde $U_{T_x}(Ax_0)$ denota la utilidad del nuevo acceso o de la combinación de accesos y $U_{T_x}(Ax)$ representa la utilidad del acceso presente. Por lo tanto, si la utilidad se incrementa i.e. $\Delta U_{T_x} < 0$, se acepta al nuevo acceso o combinación (línea: 5-6). En el caso de que la nueva posible asignación disminuya la utilidad, se puede aceptar en base a una probabilidad que depende de ΔU_{T_x} y el parámetro de temperatura actual T (línea: 7-9). Para otros casos, el acceso o combinación de accesos presente no cambia. El valor de temperatura T se actualiza en cada iteración a través de factor de enfriamiento CF y gradualmente disminuye, de manera que la probabilidad de aceptar una nueva asignación de accesos que no mejoran la utilidad tiene la misma tendencia (línea: 12).

5. Evaluación de Desempeño del Algoritmo

En esta sección se evalúa el desempeño del algoritmo de gestión de carga para sistemas multi-acceso inalámbricos (AGCSMI) bajo un denso despliegue de APs. El algoritmo propuesto es comparado con otros dos mecanismos de asignación para sistemas con múltiples accesos: MCCR (Min-Max Power), donde la asignación de accesos que se obtiene se realiza a partir del acceso o conjunto de accesos con el mínimo nivel de potencia que cumpla con los requerimientos de capacidad de canal del sistema, y la asignación de accesos realizada en forma aleatoria (RDM) que permite distribuir equilibradamente el uso de accesos de una forma probabilística simple. Todas las evaluaciones se realizaron usando técnica de instantáneas periódicas en 100 iteraciones para los casos estilo Manhattan 200x200m2 identificados en la sección

II, dentro de esta área se consideran los parámetros de configuración que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de Configuración

Parámetro	Valor
Cantidad de edificaciones, n_b	16
Cantidad de habitáculos por piso, b_7	6
Desplazamiento total del DM (ida y vuelta), q	300 m
Pasos del DM de tamaño, p	3 m
Accesos WiFi, i	3
Accesos 4G, j	1
Accesos totales, g	4
Potencia de transmisión de acceso WiFi, $P_{BS_{WiFi}}$	20 dBm
Potencia de transmisión de AP, P_{ap_m}	20 dBm
Pendiente de propagación, α	3.5
Frecuencia de operación WiFi, f	2400 MHz
Factor de pérdida por piso, L_{floor}	3 dB
Factor de pérdida por pared, L_{wall}	3 dB
Factor de pérdida por ventana, L_{window}	1 dB
Sensibilidad para WiFi, S	-85 dBm
Desviación estándar del desvanecimiento, $Shadow$	10 dB
Factor de Ruido del Canal, N_g	-103 dBm
Factor de ponderación métrica de potencia recibida, w_1	0.1
Factor de ponderación métrica de capacidad de canal, w_2	0.4
Temperatura inicial, T_0	85°
Factor de enfriamiento, CF	0.85

5.1 Resultados

El escenario inicial que se desplegaron fueron 480 puntos de accesos, en el cual los cálculos fueron realizados en 20 pasos y por cada paso 100 iteraciones. Con el fin de obtener una mayor probabilidad de aceptar un acceso o combinación de accesos con un costo mínimo, la Fig. 5 muestra la utilidad máxima por cada paso como una solución óptima. Este resultado se encontró bajo los parámetros de entrada $T_0 = 85^\circ$, $CF=0.85$ de la técnica SA, para esto se comparan 3 mecanismos para el balanceo de carga, es decir el uso de accesos.

El resultado fue que el mecanismo AGCSMI tiene la mejor utilidad promedio con aproximadamente el 70% frente a los otros mecanismos MCCR y RDM, además, conforme aumentan los pasos disminuye la probabilidad de una utilidad más alta, por lo que permite que el algoritmo requiera menos iteraciones para converger como se muestra en la Fig. 5. En consecuencia, la probabilidad del algoritmo SA disminuye (i.e., la línea: 8 de la figura 4.), de modo que podría realizarse más iteraciones para encontrar mejores accesos.

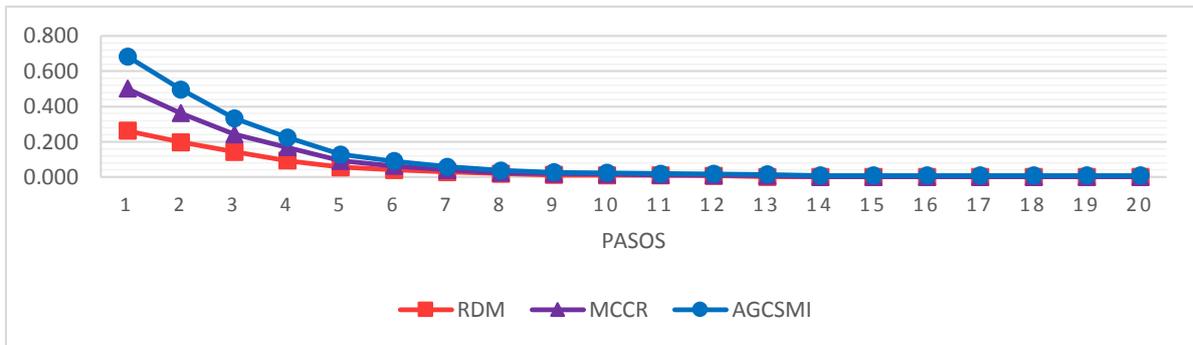


Fig. 5 Función de utilidad de cada mecanismo de asignación de accesos.

La Fig. 6 ilustra la distribución de la capacidad de canal por acceso o combinación de accesos Wi-Fi o 4G que se encuentra dentro de la zona de cobertura en el recorrido del DM. Durante la ejecución del mecanismo de asignación AGCSMI, a cada acceso se lo denota con un determinado color y en base a SA, los resultados obtenidos en la Fig. 6 muestran que el algoritmo converge al acceso 4G, debido a que tiene mayor cobertura y las velocidades de transmisión en las señales

es mayor respecto a los accesos Wi-Fi que por factores de interferencia y falta de cobertura sólo son elegidos para las zonas cercanas al DM. De tal manera que no se seleccionen los accesos con una capacidad de canal muy alta y se obtiene como solución óptima que el acceso que genere una capacidad de canal cercana a la requerida por el sistema $CC_{REQ}=150$ Mbps. Los resultados obtenidos por AGCSMI son mejores en cualquier circunstancia que los obtenidos por los otros algoritmos.

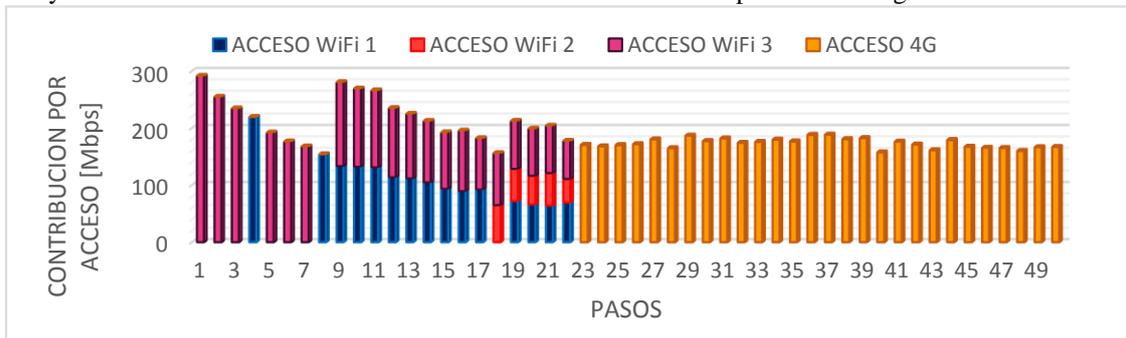


Fig. 6 Distribución de capacidad de canal en los accesos Wi-Fi y 4G mediante algoritmo AGCSMI.

La Fig. 7 representa la contribución del acceso 4G durante la ejecución del mecanismo de asignación AGCSMI, los resultados obtenidos en la Fig. 7 muestran que nuestro mecanismo permite el ahorro económico frente a los otros mecanismos en comparación. De tal manera que no se genera un valor monetario hasta que el DM se aleja de la zona de cobertura para accesos Wi-Fi y converge en el paso 25 hacia el acceso 4G,

encontrando estabilidad en el sistema en el paso 29 aproximadamente. AGCSMI es más estable que los otros algoritmos para cambios en la capacidad de canal; esto también se puede observar en el porcentaje de utilidad promedio obtenido por AGCSMI en la Fig. 5 en la cual, la función de utilidad disminuye a una velocidad menor que los otros algoritmos.

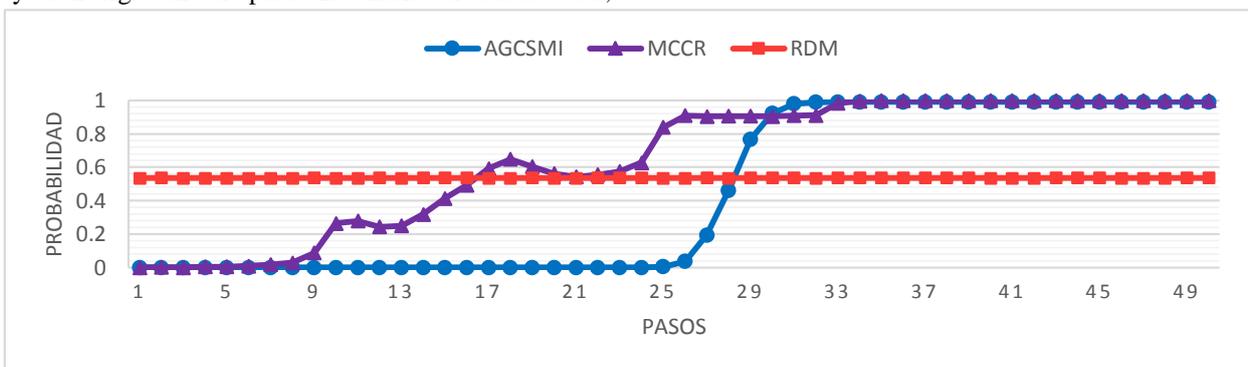


Fig. 7 Capacidad de Canal balanceada en los accesos Wi-Fi y 4G mediante AGCSMI.

6. Conclusiones

En este trabajo se ha propuesto evaluar el desempeño de un mecanismo de balanceo de carga llamado AGCSMI, diseñado para la gestión de carga debido a la asignación de un acceso o conjunto de accesos inalámbricos en un escenario estilo Manhattan con una densidad de edificaciones. El algoritmo ha demostrado que aumenta considerablemente la probabilidad de encontrar soluciones de asignación de accesos inalámbricos mediante la minimización significativa de los costos operativos balanceando la carga sobre sus accesos. El rendimiento de AGCSMI ha sido evaluado para redes Wi-Fi y 4G bajo diferentes escenarios de implementación y en comparación con otros mecanismos básicos es mejor. Los resultados obtenidos demuestran que el mecanismo AGCSMI es capaz de mejorar el rendimiento sobre los accesos inalámbricos, ya que permite optimizar los mismos dando prioridad al acceso o combinación que satisfaga mejor los requerimientos planteados.

7. Referencias

- [1] Albert Y. Zomaya, Aidan Smith, Franciszek Seredynski. "The use of the simulated annealing algorithm for channel allocation in mobile computing", 2003, PDF.
- [2] Scourias J. Overview of the Global System for Mobile Communications, Web-source as at June 2001: www.shoshin.uwaterloo.ca/~ajscouria/GSM/gsmreport.html, 1997.
- [3] Yokoo M, Hirayama K. "Frequency assignment for cellular mobile systems using constraint satisfaction techniques. Vehicular Technology Conference Proceedings", 2000. VTC 2000 Spring, Tokyo. 2000 IEEE 51st, Volume 2: 888–894.
- [4] Jesús Ramírez Sánchez, José Vicente Díaz Martínez. "Las Redes Inalámbricas, más ventajas que desventajas" <http://www.uv.mx/iiesca/files/2012/12/redes2008-2.pdf>
Del Razo, Minerva (2004). "Redes inalámbricas en Boletín Tress", junio 2004 Recuperado el 14 de enero de 2008 del sitio <http://www.tress.com.mx/boletin/junio2004/redes.htm>
- [5] "Consumo de energía en dispositivos móviles" <http://odedispmov.blogspot.com/2012/04/consumo-de-energia-en-dispositivos.html>
- [6] "Control de Potencia en Sistemas de Comunicaciones Inalámbricas basado en Juego No Formal" file:///C:/Users/gaby__000/Downloads/Dialnet-ControlDePotenciaEnSistemasDeComunicacionesInalamb-4183056.pdf
- [7] Andre Mesa Múnera "Método para el manejo de Balanceo de Carga en Sistemas de Cómputo Distribuido de alto desempeño" http://www.bdigital.unal.edu.co/3497/1/32296964.2009_1.pdf
- [8] Ángel Azpicueta González, Juan Antonio Rodrigo Yanes, María del Carmen Fernández Rodríguez y Juan José Pérez. "Algoritmo dinámico para equilibrar la carga mediante uso de vectores de probabilidades y matrices adaptativas" <http://ceur-ws.org/Vol-132/paper01.pdf>
- [9] Natalia L. Wienbach, Javier Echaiz, Alejandro J. Garcia. "Un Algoritmo Distribuido y Cooperativo para Balanceo de Carga Dinámico" <http://cs.uns.edu.ar/~nlw/files/cacic03loadbalancing.pdf>
- [10] Zomaya AY, Kazman R. Simulated annealing techniques (Chapter 37). In Handbook of Algorithms and Theory of Computation. Atallah MJ (ed.). CRC Press: Boca Raton, FL, 1999; pp. 37.1–37.19.
- [11] Callister Jr WD. Materials Science and Engineering, An Introduction. Third Edition, John Wiley & Sons; pp 325–326, 423, New York, 1994.
- [12] Kirkpatrick S, Gelatt Jr CD, Vecchi MP. "Optimisation by simulated annealing". Science 1983; 220: 671–680.
- [13] file:///C:/Users/gaby__000/Downloads/Dialnet-ModeloDeBalanceDeCargaParaUnClusterComputacionalBa-3764240.pdf
- [14] Nestor Becerra, Gonzalo Veas. "Modelo de Propagación Electromagnética en una Red UTRAN" http://www.tesis.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103521/cuevas_g.pdf?sequence=3, con fecha Abril 2009.
- [15] Laura Yepez, mael Gragirena. "Corroboración del modelo de propagación indoor Log-Normal Shadowing Path Loss Model" <http://www.poz.unexpo.edu.ve/postgrado/uct/descargas/XJornada/Electr%C3%B3nica/IEL09.CORROBORACION%20DEL%20MODELO%20DE%20PROPAGACION.pdf>
- [16] "Nuevo Modelo de Propagación para Redes Wlan Operando en 2.4GHz, en Ambientes Interiores" <http://www.publicaciones.urbe.edu/index.php/telematique/article/viewArticle/921/html>, con fecha 21-11-10.
- [17] Pahlavan, K., Levesque, A., "Wireless Information Networks (2nd Edition)", John Wiley & Sons. (2005).
- [18] Francisco Novillo, Ramon Ferrus., "Distributed Channel Assignment Algorithm based on Simulated Annealing for Uncoordinated OSA-Enabled WLANs", con fecha de publicación 2011.
- [20] Antonio Ricardo Castro Lechtaler, Rubén Jorge Fusario; Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información, volumen 2, Segunda edición, capítulo 6, páginas 370 y 371.