

Algoritmo de Asignación de Canales para Redes de Comunicación Inalámbricas con Acceso Oportunista basado en Algoritmos Genéticos

Andrés Sacoto, Jonathan Solís, Francisco Novillo
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
{agsacoto, jojasoli, fnovillo}@espol.edu.ec

Resumen

La creciente demanda de conectividad inalámbrica (e.g. estándar IEEE802.11) en zonas densamente pobladas, conlleva a una gran cantidad de dispositivos de acceso inalámbrico operando sin coordinación sobre un mismo espacio geográfico, lo que podría llevar a altos niveles de interferencia entre los dispositivos, ya que operan en bandas de uso compartido (e.g. ISM). Fruto de esto se podrían generar problemas de funcionamiento tales como la atenuación del nivel de señal de transmisión y consecuentemente un bajo rendimiento de la red. Una posible solución a estos problemas podría ser el uso oportunista de canales de bandas licenciadas que tienen algún tipo de disponibilidad temporal o espacial. En este contexto se propone un sistema que disminuya la congestión del espectro en la banda ISM, mediante el desarrollo de un mecanismo de asignación de canales con acceso oportunista al espectro subutilizado, empleando conocidas técnicas heurísticas para la asignación de recursos como son los algoritmos genéticos, comúnmente utilizados en problemas de optimización complejos. Para esto será considerada la heterogeneidad del espectro y la priorización del uso de la banda ISM, con la finalidad de disminuir interferencias entre WLANs en un escenario urbano con diferentes densidades de dispositivos.

Palabras Claves: WLAN; Asignación de Canal, OSA, Algoritmo Genético.

Abstract

The growing demand for wireless connectivity (e.g. IEEE802.11 standard) in densely populated, leading to have a large number of wireless devices operating without coordination on the same geographic space, which could lead to high levels of interference between devices, already operating in bands shared (e.g. ISM). The result of this operation could lead to problems such as attenuation of the transmitted signal level and consequently low network performance. One possible solution to these problems could be the opportunistic use of channels licensed bands that have some sort of temporal or spatial availability. In this context, a system to decrease congestion spectrum in the ISM band, by developing a mechanism for allocating channels with opportunistic access to underutilized spectrum, using techniques known heuristics for the allocation of resources such as genetic algorithms is proposed, commonly used in complex optimization problems. To this will be considered the heterogeneity of the spectrum and prioritizing the use of ISM band, in order to reduce interference between WLANs in an urban setting with different densities of devices.

Keywords: WLAN; Channel Assignment; OSA; Genetic Algorithm.

1. Introducción

La creciente demanda de redes de área local inalámbricas (WLAN) en zonas urbanas densas, especialmente para acceso a internet [1], podría producir un crecimiento descontrolado y excesivo de niveles de interferencia entre puntos de acceso (APs), debido principalmente a que la banda ISM, en la cual operan comúnmente estos sistemas, es de uso compartido y tiene un limitado número de canales (i.e. 11 con solape y 3 sin solape), lo que podría provocar una disminución del rendimiento y un aumento de la inestabilidad de las redes [2].

Actualmente existen algunos mecanismos que permiten disminuir la interferencia entre puntos de acceso, los cuales han sido desarrollados con el fin de aliviar la congestión en las bandas de operación de estos sistemas y para hacer frente a este tipo de problemas de rendimiento. Entre estos mecanismos resaltan el control de asociación o equilibrio de carga [3], en el que una unidad principal asocia las estaciones con los APs con el propósito de equilibrar el tráfico en cada red, otro método es el control de potencia [4, 5], en la cual la potencia de transmisión de cada AP se sintoniza de forma dinámica. Otra técnica que es muy considerada y aplicada hoy en día es la asignación de canales, en la cual un canal de frecuencia es asignado a cada AP con el objetivo de garantizar la menor

interferencia entre ellos evitando que dispositivos cercanos tengan canales solapados [6].

Esto ha motivado que en la comunidad científica, durante los últimos años, se hayan generado algunos trabajos al respecto, así en [7], los autores proponen dos algoritmos heurísticos de asignación de canal con el objetivo de asignar una frecuencia óptima para cada AP de tal manera que se maximice el rendimiento mientras la interferencia entre diferentes puntos de acceso se reduce al mínimo. Otra propuesta es [8], en el cual se considera un algoritmo de asignación de canal distribuido para WLANs sin coordinación, donde los APs pueden auto-configurar sus canales de operación para minimizar la interferencia. Sin embargo, estos mecanismos de asignación de canal no son sostenibles a largo plazo debido al limitado número de canales.

Este hecho ha impulsado la investigación científica en técnicas de radio cognitiva, la cual busca que ciertos sistemas que operan en bandas sin licencia puedan acceder de manera oportunista a segmentos de espectro no utilizados (i.e. White Space) en bandas con licencia sin causar interferencias a los usuarios primarios. Este concepto es conocido como Opportunistic Spectrum Access (OSA) [9].

De esta manera, el estudio de la disponibilidad de canales en bandas licenciadas permite viabilizar la operación de sistemas basados en OSA. Respecto a este tema, existen estudios que identifican la disponibilidad espacial y/o temporal de White space (WS). Así por ejemplo en [10], se cuantifica el porcentaje de lugares en los que es posible explotar OSA para sistemas de comunicación de radio de corto alcance dentro de espacios interiores en zonas urbanas densas; o como en [11], donde los autores desarrollan una herramienta de evaluación de disponibilidad de espectro integrada para TV White Space (TVWS) con el fin de identificar la cantidad de espectro que es utilizable para acceso secundario oportunista; por ello, organismos reguladores y normalizadores (por ejemplo, IEEE, ECC) se han visto en la necesidad de dictar normas y estándares que permitan el acceso oportunista a espacios en blanco del espectro (OSA WLAN) [12].

Basados en los resultados de tales estudios se han propuesto mecanismos de asignación de canales que permitan disminuir la interferencia entre dispositivos permitiendo el uso de bandas licenciadas de manera oportunista. Es por esto que en [13] los autores proponen un algoritmo de asignación de canales para ambientes WLAN con posibilidad de OSA, en donde es necesario considerar dos restricciones o características particulares para este tipo de escenarios: (1) priorización de canal, es decir, criterios de priorización al momento de elegir entre un canal de la banda ISM o un canal de la banda primaria (PB); y (2) heterogeneidad del espectro, es decir, considerar que la disponibilidad de canales no es la misma para

todos los APs, pues esta depende de la ubicación de los puntos de acceso y la actividad de los usuarios primarios (PU).

Utilizando estos principios, el presente trabajo propone un mecanismo de asignación de canal centralizado para escenarios con despliegues densos de WLANs con acceso oportunista al espectro, considerando tanto la priorización de canal y la heterogeneidad del espectro en cada AP. En particular las WLANs tienen capacidad de operar en banda ISM o en banda licenciada, de manera que el algoritmo propuesto está diseñado para minimizar la interferencia entre todos los APs del escenario permitiendo el acceso a bandas licenciadas sólo si estos canales disminuyen la interferencia de todo el conjunto de APs. El algoritmo propuesto se deriva de técnicas de Computación Evolutiva, específicamente es una adaptación de los algoritmos genéticos (GA, por sus siglas en inglés) [14], cuyo conjunto de técnicas computacionales está ligada a conceptos de procesos biológicos reales que buscan la solución de un problema mediante la evolución de los individuos de una población genética inicial.

Este trabajo evalúa el GA en un escenario simulado con capacidad OSA y muestra resultados de esta propuesta para diferentes densidades de puntos de acceso WLAN y para diferentes condiciones de disponibilidad de espectro, además, el algoritmo es comparado con otro algoritmo de asignación de canal muy utilizado en WLANs.

El resto del documento se organiza de la siguiente forma: en la sección II se describe el escenario de estudio y se hace una caracterización del sistema en general. En la sección III, se describe detalladamente el algoritmo propuesto, mientras su evaluación de desempeño se realiza en la sección IV, y finalmente, la sección V presenta las observaciones finales y se discuten posibles trabajos futuros.

2. Modelamiento del Sistema

En esta sección se presentan las características del escenario utilizado sobre el cual se probará el mecanismo de asignación de canal propuesto. El escenario presenta tanto las características físicas que restringen la ubicación de los Access Points como las características del medio de transmisión inalámbrico, además de las condiciones de disponibilidad de banda primaria.

A. Descripción del Escenario

Se considera un escenario urbano con alta densidad de edificios, donde podría existir un alto número de sistemas de comunicación inalámbricos de corto alcance y por lo tanto, una gran cantidad de dispositivos usando el espectro radioeléctrico, como se aprecia en la Figura 1. Este análisis está basado en un

escenario tipo Manhattan [15], comúnmente utilizado para describir los trayectos de radio-propagación en escenarios urbanos complejos. En este escenario, se considera la existencia simultánea de sistemas de comunicación inalámbricos primarios y secundarios.

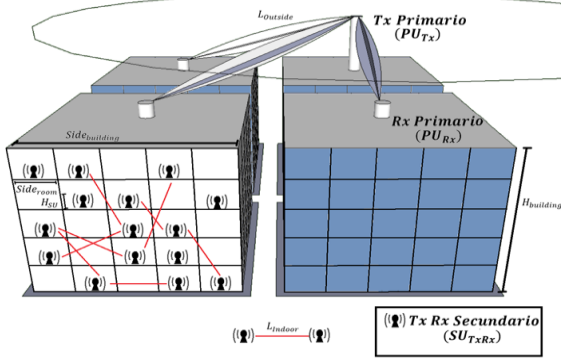


Figura 1. Escenario de Estudio

El sistema primario tiene cobertura en exteriores, se consideró un sistema punto-multipunto unidireccional, en donde se tiene una torre con antenas transmisoras de TV UHF en una de las azoteas de los edificios, y antenas pasivas receptoras de TV en las demás azoteas.

Las antenas de la torre se consideran direccionales, y en todo momento existe línea de vista entre éstas antenas y las antenas receptoras de TV. La potencia de transmisión se dimensiona de acuerdo a la cobertura del escenario establecido y considerando una propagación en espacio libre [16], tal como se detalla a continuación:

$$P_{Tx} = S_{Rx} + L_{(Tx-Rx)} - G_{Tx} - G_{Rx} \quad (1)$$

donde S_{Rx} es la sensibilidad de las antenas receptoras de Tv, $L_{(Tx-Rx)}$ es la pérdida de propagación en espacio libre entre las antenas transmisoras y las antenas receptoras de TV, y G_{Tx} y G_{Rx} son las ganancias de dichas antenas respectivamente.

En el sistema secundario, se consideran dispositivos de radiocomunicación de corto alcance operando en el interior de los edificios (e.g. redes WLAN residenciales). El tipo de antenas utilizadas en este medio es la omnidireccional, y se asume que estos dispositivos transmiten siempre a su máxima potencia en la banda ISM, por lo que no se realiza un cálculo de potencia de transmisión para canales de esta banda, sino que se consideran los parámetros de transmisión de un dispositivo comercial. De forma similar, cuando los dispositivos secundarios operan en la banda UHF lo hacen siempre transmitiendo a una máxima potencia establecida con el fin de igualar la cobertura típica que tienen estos dispositivos actualmente cuando operan en banda ISM. Es necesario precisar que los APs siempre pueden operar en banda ISM, y que sólo bajo ciertas condiciones pueden acceder a la banda primaria UHF.

B. Condiciones de Disponibilidad de Banda Primaria

Las condiciones que determinan la posibilidad de reutilizar el espectro están ligadas a niveles de potencia recibida en los receptores primarios desde las antenas de transmisión, y a niveles de interferencia causada en estos receptores desde los transmisores secundarios. Validando estas condiciones, se permite a los usuarios secundarios reutilizar la banda de frecuencia primaria sin causar interferencia al sistema primario. Por lo tanto, como se muestra en la Figura 2, un receptor primario entiende que un canal específico está en uso cuando la potencia recibida desde la antena transmisora primaria, $P_{PU_{Tx} \rightarrow PU_{Rx}}$, es mayor que su

sensibilidad S_{PU} menos un margen M_{PU} de protección. Es decir, cuando se cumple que $P_{PU_{Tx} \rightarrow PU_{Rx}} \geq S_{PU} - M_{PU}$. Aunque esta ecuación detecta la presencia de un canal usado en el escenario, un SU aún tiene la posibilidad de usar dicho canal sólo cuando la interferencia recibida desde un dispositivo secundario en dicho receptor PU, $I_{SU \rightarrow PU}$, sea menor que su sensibilidad S_{PU} menos el margen M_{PU} de protección. Esta condición que restringe a los SU, puede ser formulada como $I_{SU \rightarrow PU} \leq S_{PU} - M_{PU}$

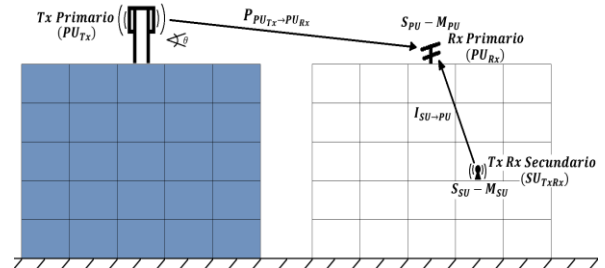


Figura 2. Caracterización de la interferencia para el reuso del espectro

El cálculo de canales disponibles se realiza mediante el cumplimiento de dos condiciones básicas ya establecidas en la sección D. Un SU posee disponibilidad de acceso a la banda primaria según las siguientes condiciones:

C1: Condición que busca mostrar si un canal en particular NO es recibido por las antenas Tv receptoras.

$$P_{PU_{Tx} \rightarrow PU_{Rx}} \triangleq P_{PU_{Tx}} - L_p + G_{PU_{Tx}} + G_{PU_{Rx}} \leq S_{PU} - M_{PU} \quad (2)$$

donde, $P_{PU_{Tx}}$ es la potencia de la antena repetidora de Tv, L_p [17] es la pérdida de propagación, $G_{PU_{Tx}}$ y $G_{PU_{Rx}}$ son las ganancias de las antenas transmisora y

receptora respectivamente, S_{PU} es la sensibilidad de las antenas receptoras de Tv, y M_{PU} es el margen de protección del enlace.

C2: Condición que busca determinar si NO existe interferencia de los SU a los PU.

$$I_{SU \rightarrow PU} \triangleq P_{SU} - L_p + G_{SU_{Tx}} + G_{PU_{Rx}} \leq S_{PU} - M_{PU} \quad (3)$$

donde, P_{SU} es la potencia emitida por el SU, L_p es la pérdida de propagación [17], $G_{SU_{Tx}}$ y $G_{PU_{Rx}}$ son las ganancias de las dispositivo transmisor secundario y de la antena receptora primaria respectivamente, S_{PU} es la sensibilidad de las antenas receptoras de Tv, y M_{PU} es el margen de protección del enlace.

La primera condición se prueba en todas las antenas receptoras de Tv, mientras que la segunda se lo hace en cada uno de los SU del escenario.

Si, al analizar un canal de enlace entre un SU y un PU_{Rx} no se cumple la primera condición, entonces el SU tiene disponible dicho canal. Si por el contrario, al realizar el mismo análisis, se obtiene que C1 sí se cumple, entonces se procede a comprobar C2, en donde, si C2 se cumple, entonces el canal está disponible para ese SU en particular, en caso contrario no está disponible.

En notación matemática, cada SU está representado como AP_i , y cada antena receptora de Tv como RTV_j , y la disponibilidad de reúso del espectro para un canal dado, según C1 y C2, sería:

$$Disp. Canal_{AP_i \rightarrow RTV_j} = C1 \vee C2 \quad (4)$$

C. Relación de Interferencia

- **Interferencia de SU a PU** La interferencia causada por un transmisor secundario sobre un PU, ($I_{SU \rightarrow PU}$), y planteada en (3) como una de las condiciones necesarias para la existencia de disponibilidad de banda primaria, está establecida para una interferencia co-canal. Sin embargo, se conoce que también un canal adyacente puede interferir en el enlace primario cuando existen máscaras que se solapan [18].

Es por esto que la ecuación (3) debió ser reescrita para considerar el solape de los canales adyacentes, tal como se muestra a continuación:

$$I_{SU \rightarrow PU} \triangleq P_{SU} - L_p + G_{SU_{Tx}} + G_{PU_{Rx}} - \Delta_{SU^i \rightarrow PU^j} \leq S_{PU} - M_{PU} \quad (5)$$

donde $\Delta_{SU^i \rightarrow PU^j}$ es el factor de interferencia de canal adyacente descrito en [18] expresado en dB, de modo

$$\Delta_{SU^i \rightarrow PU^j} = -10 \log \rho_{SU^i \rightarrow PU^j},$$

$$\forall \rho_{SU^i \rightarrow PU^j} > 0.$$

- **Interferencia de SU a SU** La interferencia entre APs, $I_{SU^i \rightarrow SU^j}$, se produce cuando un par de dispositivos u, v utilizando canales adyacentes i, j están transmitiendo al mismo tiempo. Estos canales pueden ser tanto de la banda ISM como de la banda UHF. Se considerara interferencia cualquier señal recibida que esté sobre el umbral de sensibilidad del dispositivo para dicha banda en particular. Matemáticamente se puede expresar esta relación entre dispositivos como:

$$I_{SU^i \rightarrow SU^j} \triangleq P_{SU^i} - L_p + G_{SU^i} + G_{SU^j} - \Delta_{SU^i \rightarrow SU^j} \leq S_{SU^i} - M_{SU} \quad (6)$$

donde, P_{SU^i} es la potencia emitida por el SU, L_p es la pérdida de propagación, G_{SU^i} y G_{SU^j} son las ganancias de ambos dispositivos secundarios respectivamente, S_{SU^i} es la sensibilidad del dispositivo según la banda de transmisión del canal i , y M_{SU} es el margen de protección del enlace.

De tal manera, la interferencia en un dispositivo v producida por un dispositivo u puede ser normalizada tal como se muestra en (7).

$$NI_{u,v}^{i,j} = \frac{I_{SU^i \rightarrow SU^j}}{P_{SU^i}} \quad (7)$$

3. Algoritmo de Asignación de Canal

En esta sección se formula el problema de la interferencia entre dispositivos WLAN como un problema de falta de organización en la asignación de canales. Se presenta la formulación matemática que sustenta el análisis del escenario, así como la descripción del algoritmo propuesto, el cual, utilizando las métricas y las restricciones presentadas en la Sección II, pueda hallar una solución óptima al problema planteado.

A. Planteamiento del problema

El problema de la asignación de canales para despliegues WLAN con acceso oportunista tiene como objetivo encontrar una adecuada asignación de canal para cada uno de los APs del escenario con la finalidad de requerir la menor cantidad de canales primarios y buscando mantener el nivel de interferencia siempre al mínimo. Como parámetros de entrada se consideran la disponibilidad del espectro en cada uno de los puntos de acceso y la relación de interferencia entre estos. Se busca mantener siempre al mínimo el uso de canales de la banda primaria, pues su disponibilidad varía

constantemente durante su uso. De igual manera, la disponibilidad de estos canales de banda primaria adicionales son diferentes para cada AP, pues dependen de la ubicación de cada Access Point (se utiliza heterogeneidad del espectro). La Figura 3 muestra un esquema del problema planteado.

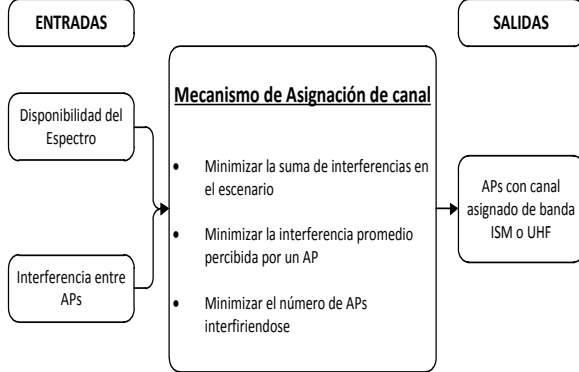


Figura 3. Mecanismo de Asignación de Canal

B. Formulación matemática

El escenario de estudio se representa como un grafo $G=(V,E)$, en el cual los vértices $V=\{ap_1, ap_2, \dots, ap_N\}$ corresponden a los N APs desplegados en el escenario, y los enlaces E corresponden a los niveles de interferencia entre los APs, como se muestra en la Figura 4.

En particular, existe un enlace $E_{u,v}$ entre dos APs, si la potencia recibida en el ap_u desde el ap_v , dada por $(Pr_{ap_v \rightarrow ap_u})$, es mayor que la sensibilidad S_{ap_u} del ap_u , es decir cuando se cumple que $Pr_{ap_v \rightarrow ap_u} > S_{ap_u}$, por lo que la interferencia estaría dada como $I_{u,v} = Pr_{ap_v \rightarrow ap_u}$, dicha interferencia normalizada viene dada por $NI_{u,v} = \frac{I_{u,v}}{Pt_v}$.

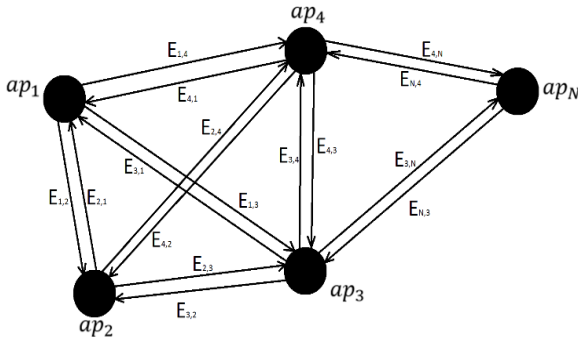


Figura 4. Representación del Escenario en Grafo

Esto es válido tanto para transmisiones en co-canal como en canal adyacente. La interferencia total

producida en un ap_u por los otros $N-1$ APs está dada por:

$$SNI_u = \sum_{v=1}^{N-1} NI_{u,v}$$

(8)

Adicionalmente, de (8) se puede inferir que la interferencia total en todo el escenario, definida como la sumatoria de la interferencia recibida en cada AP, estaría dada por:

$$TNI = \sum_{u=1}^N SNI_u$$

(9)

Para una correcta comprensión de la presente sección es necesario definir y mencionar que el canal asignado a un ap_u por el algoritmo está representado como $Ch(ap_u)$, donde $Ch(ap_u) \in (C_{ISM} \cup C_{PB})$.

C. Descripción del algoritmo propuesto

Para resolver el problema de asignación de canales en WLAN con disponibilidad OSA se propone un algoritmo basado en conocidas técnicas heurísticas de asignación de recursos, tales como la mecánica de selección natural y la genética natural [19].

Con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados en la Figura 3, se propone un algoritmo genético el cual evolucionará con el tiempo a medida que transcurren generaciones (e.g. iteraciones). Dicho algoritmo consta de una población de Np individuos

$Pob_x = \{Ind_1, Ind_2, \dots, Ind_y, \dots, Ind_{Np}\}$, los cuales representan distintas soluciones al problema y son evaluados mediante una función de utilidad representada en (9), el algoritmo tiene como objetivo minimizar el valor de dicha función. Los individuos están formados por los canales asignados a cada uno de los N access points del escenario $Ind_y = \{Ch(ap_1), Ch(ap_2), \dots, Ch(ap_u), \dots, Ch(ap_N)\}$.

En cada generación se crea un nuevo conjunto de individuos como resultado de la reproducción sexual o asexual de los individuos anteriores, logrando que sus características se mezclen y generen un individuo con un menor valor de función utilidad, lo que conlleva a una menor interferencia del escenario.

El algoritmo es ejecutado por una entidad central que permite su control y operación, tal como se muestra en la Figura 5; de manera que se pueda asignar un canal de operación a cada AP, ya sea de la banda ISM o de la banda primaria. Se asume que los APs tienen comunicación permanente con la entidad central, la forma cómo lo hacen está fuera del alcance de este estudio.

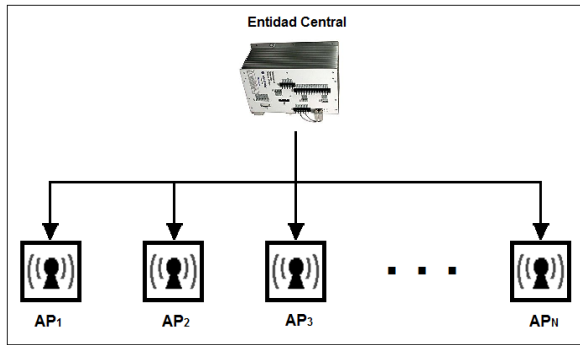


Figura 5. Entidad central

Además, el algoritmo necesita de diversas variables de control para su funcionamiento, las cuales son datos de entrada y definen su comportamiento. En particular, en este algoritmo se definen las siguientes variables de entrada:

- El número máximo de generaciones G_{\max} que evaluará el algoritmo.
- La cantidad de individuos Np que conforman una población.
- El conjunto de canales ISM (C_{ISM}) y UHF (C_{UHF}).
- La variable n representa el tamaño del conjunto $elit$, el cual está formado por los mejores individuos de una población, esto se conoce como elitismo.
- La probabilidad de cruce p_c y la probabilidad de mutación p_m que poseen los individuos genéticos.

El uso de estas variables en la ejecución del algoritmo dará como resultado una población en la cual se habrá minimizado el valor de la función de utilidad referida en (9).

El pseudocódigo usado para desarrollar el algoritmo se muestra en la Figura 6 y trabaja de la siguiente manera:

El algoritmo empieza creando la población Pob_G que está formada por Np individuos que representan diversas soluciones al problema propuesto, cada individuo está formado por los N canales asignados $Ch(ap_u)$ a cada uno de los APs. Inicialmente todos los APs de la población tienen asignado un canal de operación de la banda ISM $Ch(ap_u) \in C_{ISM}$ (línea: 1).

Como el algoritmo se ejecuta iterativamente, un criterio de parada se establece con el fin de detener el algoritmo. En particular, este algoritmo tiene un criterio de parada, el cual es evaluado después de analizar todos los individuos y detiene el algoritmo cuando el número de generaciones G llegue al máximo G_{\max} (línea: 2).

Función: Algoritmo Genético

Datos: (G_{\max}) , (Np) , (N) , (C_{ISM}) , (C_{UHF}) , (n) , (p_c) , (p_m)

Resultado: Población con menor TNI

1. Crear la población Pob_G de tamaño Np asignando de forma aleatoria un canal ISM (C_{ISM}) a cada AP
2. **WHILE** $G \leq G_{\max}$
; Verificar que se cumpla el criterio de parada
3. $TNI = \sum_{u=1}^N SNI_u$
; Cálculo de la función de utilidad de cada individuo
4. **IF** $elit \neq \emptyset$
5. $elit \rightarrow Pob_G$
; Añadir n mejores soluciones a la siguiente generación
6. **FIN**(4)
7. **WHILE** $size(Pob_{G+1}) < size(Pob_G)$
8. Seleccionar padres: $F_G = \{Ind_{y1G}, Ind_{y2G}\}$
; Selección por torneo determinístico + aleatorio
9. **IF** $random[0,1] < p_c$
10. Cruzar padres: $Ind_{y1G} \Leftrightarrow Ind_{y2G}$; uniforme
11. $Ind_{y1G+1} = Ind_{y1G} \wedge Ind_{y2G+1} = Ind_{y2G}$
12. **IF** $random[0,1] < p_m$
13. **Mutar Hijo**; Llamar función
14. **END**(12)
15. $\{Ind_{y1G+1}, Ind_{y2G+1}\} \rightarrow Pob_{G+1}$
16. **ELSE**
17. $\{Ind_{y1G}, Ind_{y2G}\} \rightarrow Pob_{G+1}$
18. **END**(9)
19. **END**(7)
20. $G = G + 1$; Aumentar contador de generaciones
21. **END**(2)

Figura 6. Pseudocódigo del Algoritmo Genético

Función: Mutar Hijo

Datos: Hijo 1 (Ind_{y1G+1}), Hijo 2 (Ind_{y2G+1}), Mutaciones máximas (M_{\max}), Priorización ISM (p_{ISM}), Canales ISM (C_{ISM}), Canales UHF (C_{UHF})

Resultado: Hijo 1 o Hijo 2 mutado

1. Seleccionar Ind_{y1G+1} o Ind_{y2G+1} aleatoriamente
2. **WHILE** $M \leq M_{\max}$
3. **IF** $random[0,1] < p_{ISM}$
4. $Ch(ap_x) = rand[1,11]$; Asigna canal C_{ISM} a AP_x
5. **ELSE**
6. $Ch(ap_x) = rand[22,32]$; Asignar un canal C_{UHF} disponible al AP_x
7. **END**(3)
8. $M = M + 1$; Aumentar contador de mutaciones
9. **END**(2)

Figura 7. Pseudocódigo de la función Mutar Hijo

Mientras no se cumpla el criterio de parada el algoritmo realiza una serie de acciones, se procede a calcular el valor de la función de utilidad de cada individuo, el cual representa la interferencia total generada entre APs (línea: 3). Para empezar a formar la nueva población se considera un escenario elitista, en el cual se mantienen los mejores individuos en la siguiente generación para permitir la mejora continua del algoritmo (línea: 4-6).

Para el paso de una generación a la siguiente se aplican una serie de operadores genéticos hasta que la siguiente generación se complete (línea: 7-19) [19].

Los más empleados son los operadores de selección, cruce, copia y mutación. El operador de selección será el encargado de escoger que individuos van a disponer de oportunidades de reproducirse, se ha de otorgar un mayor número de oportunidades de reproducción a los individuos que tengan un menor valor de interferencia total del escenario. En particular, este algoritmo usa el método de selección por torneo determinístico para obtener el primer padre (e.g. individuo que ha sido seleccionado para participar en el cruce), el cual selecciona dos individuos aleatoriamente y los hace competir entre sí, quedando como ganador el que tenga un menor nivel de interferencia total como primer padre; para obtener el segundo padre, se realiza una selección aleatoria de uno de los individuos de la población (línea: 8). Una vez que se han seleccionado los individuos que serán padres y que transmitirán sus genes a la siguiente generación, es necesario determinar si estos genes pasan por cruce entre ambos padres o por copia simple de individuos. El cruce de los padres depende de la probabilidad p_c , el cual es alto a fin de obtener diversidad en la nueva generación (línea: 9-18). De producirse el cruce, este algoritmo ha escogido el método de cruce uniforme, el cual hace uso de una máscara binaria para realizar el cambio de genes entre los padres, donde un "1" indica que los padres mantienen sus genes, mientras un "0" indica que deben cambiarlos entre sí (línea: 10). A continuación, los padres se convierten en hijos (e.g. individuos generados en el cruce) (línea: 11). Una vez que se ha generado la descendencia (e.g. hijos), se debe aplicar el operador de mutación con una probabilidad de ocurrir p_m (línea: 12-14). Para esto se llama a la función "Mutar Hijo" que permitirá el acceso oportunista al espectro, según la disponibilidad de canales que tenga cada AP, la cual será explicada más adelante (línea: 13). Luego de esto se añaden los descendientes a la siguiente generación (línea: 15). De no existir cruce, los padres son añadidos directamente a la siguiente generación sin cambios (línea: 16-17).

Una vez que esté completa la siguiente generación, se descarta la población inicial (o población actual) y se establece como nueva población a la siguiente generación, finalmente se aumenta el contador de

generaciones (línea: 19). Este proceso se repite hasta que el criterio de parada se cumpla.

En la Figura 7, se muestra el pseudocódigo requerido para la implementación de la función "Mutar Hijo". Esta función es la encargada de mutar los genes de un individuo hijo resultante del cruce entre dos padres. Se empieza seleccionando aleatoriamente dicho hijo, al cual se le mutarán sus genes (línea: 1). La cantidad de genes a mutar viene dada por la variable M , la cual irá aumentando a medida que transcurran las mutaciones (línea: 2). Para esto, se mutará un gen con una probabilidad p_{ISM} (línea: 3), la cual será alta a fin de cumplir con el objetivo de priorizar el uso de la banda ISM (línea: 4), caso contrario la función asignará canales disponibles de la banda primaria a los APs (línea: 6). Luego de esto se aumentará el contador de genes mutados (línea: 8) y se repetirá el ciclo hasta que se complete la cantidad de mutaciones máximas M_{max} .

4. EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Para la evaluación de rendimiento se consideró un escenario formado por un edificio sobre un área de 50x50m, con 5 pisos de altura y con una división por pisos a manera de cubículos o compartimientos de 10x10m. La altura del edificio es de 20m, y la de los pisos es de 4m. La torre de transmisión primaria tiene una potencia de operación de -16.9dBm a fin de proporcionar cobertura en todo el escenario. Por otro lado, los dispositivos secundarios tienen una potencia de transmisión en banda ISM de 15dBm, similar a los dispositivos comerciales existentes, y poseen una cobertura de 120m con línea de vista [9],[17]. A fin de igualar la cobertura de estos dispositivos para la banda UHF, se estableció una potencia de -15.9dBm. La sensibilidad del sistema primario es de -85dBm, mientras que la del sistema secundario es de -69dBm. Para ambos sistemas se consideró un margen de protección de 10dB [20].

Por otro lado, para los dispositivos secundarios operando en banda ISM se consideró un conjunto de 11 canales, y pérdidas de 6.9dB por pared y 18.3dB por piso [21],[22],[23]. Mientras que, cuando estos dispositivos operan en banda UHF se tienen 15 canales primarios de TV con máscara de 6MHz, agrupados para obtener máscaras de mínimo 22MHz, además se consideran pérdidas de 3.5dB y 9dB para paredes y pisos, respectivamente.

Los parámetros del algoritmo genético se muestran, con sus valores, en la Tabla 1, los cuales fueron escogidos tanto por los niveles de interferencia a los que converge el algoritmo, como por la velocidad de procesamiento que permiten.

Tabla 1. Parámetros del Algoritmo

PARÁMETRO	VALOR
Tamaño de población, <i>PS</i>	600 veces el número de genes
Elitismo, <i>n</i>	4 individuos
Algoritmo selección	Torneo determinístico + aleatorio
Tamaño de torneo, <i>TS</i>	2 candidatos
Algoritmo cruce	Uniforme
Tasa de Cruce, <i>Pc</i>	90%
Tasa de Mutación, <i>Pm</i>	2.5%
Priorización de Canal, <i>Pch</i>	90%
Algoritmo mutación	Puntual
Generaciones	3000

El algoritmo genético es comparado con un algoritmo comúnmente utilizado en problemas de asignación de recursos, llamado Minimax, el cual consiste en asignar el canal que permita la menor interferencia a un AP asumiendo que todos sus vecinos se encuentran operando en un canal que le produzca la mayor interferencia.

La Figura 8 muestra la interferencia promedio percibida en los APs para escenarios con diferentes densidades de dispositivos desplegados. El gráfico muestra claramente como el algoritmo genético logra dos objetivos: mayor reducción de interferencia respecto a la interferencia inicial del escenario, así como también una mayor reducción de interferencia respecto al algoritmo minimax. Si bien ambos algoritmos mejoran considerablemente la interferencia del escenario, el algoritmo genético logra mejoras entre el 92.44% y el 62.42% respecto a la interferencia inicial, y mejoras entre el 29.34% y el 18.25% respecto al algoritmo minimax.

Por otro lado, en la banda UHF, el algoritmo minimax logra niveles de interferencia más bajos que los obtenidos por el algoritmo genético, esto se observa en la Figura 9 en el caso de la interferencia promedio por escenario. Pese a incrementarse la interferencia en esta banda, el funcionamiento de los usuarios primarios no es afectado debido a las restricciones de disponibilidad de banda primaria, además, ambos algoritmos convergen a niveles de interferencia más bajos en la banda UHF, que los existentes en la banda ISM.

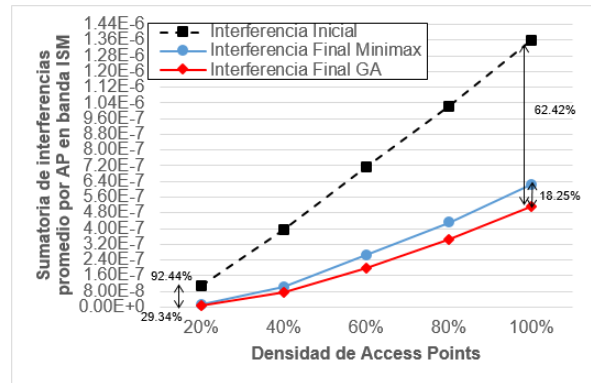


Figura 8. Sumatoria de interferencias promedio por AP en banda ISM versus Densidad de APs, Algoritmo Genético, Minimax

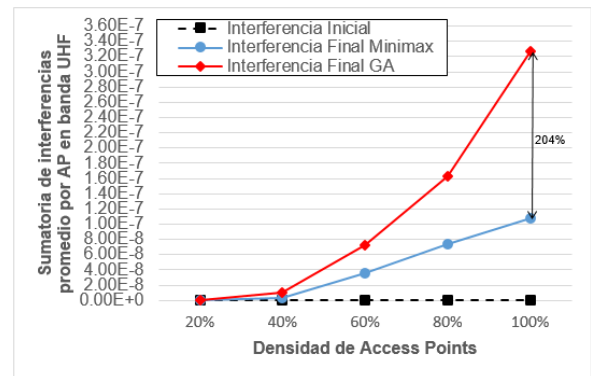


Figura 9. Sumatoria de interferencias promedio por AP en banda UHF versus Densidad de APs, Algoritmo Genético, Minimax

5. CONCLUSIONES

Se logró que el algoritmo genético disminuya el valor de la interferencia promedio por AP en la banda ISM mejorando en un 20% al algoritmo minimax, a pesar de que este converge más rápido. Además, con el GA se obtuvo un mayor nivel de interferencia promedio por AP en la banda UHF, sin embargo dicha interferencia no afecta a los usuarios primarios ya que el análisis previo de disponibilidad espacial lo garantiza.

El algoritmo genético mejora al minimax sin la necesidad de explotar la banda primaria, es decir que realiza una mejor distribución de los canales en la banda ISM.

Este algoritmo tiene una muy alta complejidad computacional, lo cual se refleja en los tiempos de ejecución del algoritmo, que pueden ser muy altos. Sin embargo, este algoritmo es capaz de lograr mejores resultados para escenarios con un alto número de puntos de acceso.

6. REFERENCIAS

- [1] Horrigan, J., Wireless Access, Pew and American Life Project, <http://www.pewinternet.org/2007/02/25/wireless-internet-access/>, consultado agosto 2014
- [2] Novillo, F., Ferrus, R., Agusti, R., Nasreddine, J., Opportunistic Channel Allocation Algorithms for WLANs Base don IEEE802.11, Future Network & MobileSummit 2010 Conference Proceedings, 2010
- [3] Bejarano, Y., Han, S., Li, L., Fairness and Load Balancing in Wireless LANs Using Association Control, en Proc. ACM Mobicom, 2004
- [4] Akella, A., Judd, G., Seshan, S., Steenkiste, P., Self-Management in Chaotic Wireless Deployments, in Proc. ACM Mobicom, 2005
- [5] Alawieh, B., Zhang, Y., Assi, C., Mouftah, H., Improving Spatial Reuse in Multihop Wireless Networks – A Survey, IEEE Commun. Survey Tutorials, 2009
- [6] Chiochan, S., Hossain, E., Diamond, J., Channel Assignment Schemes for Infrastructure-Based 802.11 WLANs: A Survey, IEEE Commun. Survey Tutorials, 2010
- [7] El-Hajj, W., Alazemi, H., Optimal frequency assignment for IEEE 802.11 wireless networks, Wirel. Commun. Mob. Comput., 2008
- [8] Yue, X., Wong, C., Chan, S., A Distributed Channel Assignment Algorithm for Uncoordinated WLANs, IEEE CCNC, 2010
- [9] Novillo, F., Galeana, H., Ferrús, R., Agustí, R., Spectrum Availability in Indoor Locations for Opportunistic Spectrum Access in Dense Urban Scenarios, Universitat Politècnica de Catalunya, consultado mayo 2014
- [10] Huang, S., Liu, X., Ding, Z., Opportunistic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks, INFOCOM, 2008
- [11] Alemu, T., Spectrum Availability Assessment Tool for TV White Space, Aalto University School of Electrical Engineering, consultado Julio 2014
- [12] ECC REPORT 159, Technical and Operational requirements for the possible operation of Cognitive Radio Systems in the ‘White Spaces’ of the Frequency Band 470-790MHz, Cardiff, enero 2011
- [13] Novillo, F., Ferrús, R., Channel Assignment Algorithms for OSA-Enabled WLANs Exploiting Prioritization and Spectrum Heterogeneity, IEICE TRANS. COMMUN., abril 2012
- [14] Gestal, M., Rivero, D., Rabuñal, J., Dorado, J., Pazos, A., Introducción a los Algoritmos Genéticos y la Programación Genética, Universidade da Coruña, consultado agosto 2014
- [15] Franceschetti, G., Marano, S., Palmieri, F., Propagation Without Wave Equation Toward an Urban Area Model, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, septiembre 1999
- [16] Butler, J., Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo, The WNDW Project, octubre 2013
- [17] Saunders, S., Aragón, A., Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd, consultado enero 2014
- [18] RECOMMENDATION ITU-R SM.337-6, Frequency and distance separations, consultado abril 2014
- [19] Gestal, M., Rivero, D., Rabuñal, J., Dorado, J., Pazos, A., Introducción a los Algoritmos Genéticos y la Programación Genética, Universidade da Coruña, consultado agosto 2014
- [20] Cisco, Cisco AP 541N Wireless Access Point Parte de la serie Cisco Small Business Pro, consultado marzo 2014
- [21] Plets, D., Joseph, W., Verloock, L., Tanghe, E., Martens, L., Evaluation of Indoor Penetration Loss and Floor Loss for a DVB-H Signal at 514 MHz, Ghent University, consultado enero 2014
- [22] Costa e Silva, J., Gomes, A., Nogueira, J., Sampaio, M., Determining the Average Penetration Loss: Measurement Procedure and Results, consultado mayo 2014
- [23] ITU-R, Recommendation ITU-R P.1238-7, Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz.