

Selección de *Access Point* en redes inalámbricas 802.11 garantizando mínima capacidad para QoS basado en control de potencia

Access point selection in 802.11 Wireless networks ensuring minimum capacity for QoS based on power control

Evelio Astaiza Hoyos

Ph.D.(c) Ciencias de la Electrónica,
Universidad del Quindío, Colombia.
eastaiza@uniquindio.edu.co

Dora Lucía Trujillo

Ingeniera Electrónica,
Universidad del Quindío, Colombia
dlucia_1987@hotmail.com

Héctor Fabio Bermúdez Orozco

Ph.D.(c) Procesado de señales y las comunicaciones,
Universidad del Quindío, Colombia.
hfbermudez@uniquindio.edu.co

Resumen— En este artículo se modela una red inalámbrica como un juego no cooperativo y estático, en el cual los usuarios buscan obtener su mínima capacidad través de la elección de un *Access Point*. Particularmente, en este documento se propone un algoritmo que busca realizar la selección del punto de acceso inalámbrico que permita garantizar la mínima Calidad del Servicio (QoS) basada en capacidad para todos los usuarios en redes 802.11, garantizadas las tasas de transferencia requeridas para realizar cualquier tarea en la red, y propender por el menor consumo energético posible. De acuerdo a la teoría de juegos, existen muchos conceptos de solución pero para este caso particular se utiliza el concepto de equilibrio de satisfacción eficiente, el cual garantiza el objetivo propuesto. El resultado obtenido del análisis del modelo planteado y de aplicar la teoría de juegos, es un algoritmo que permite realizar la selección de punto de acceso inalámbrico mediante el concepto de equilibrio de satisfacción eficiente, el cual garantiza calidad del servicio desde la perspectiva de capacidad y minimiza el consumo energético. Finalmente, se concluye que es posible mejorar el mecanismo de selección y asociación de punto de acceso en redes 802.11 mediante la implementación de algoritmos que articulen la calidad del servicio con la eficiencia energética, lo anterior, como un posible aporte para el desarrollo del estándar de radio cognitivo en redes 802.11.

Palabras clave— Capacidad, Calidad de servicio, Equilibrio de Nash, Equilibrio de Satisfacción Eficiente, Teoría de juegos, Radio Cognitivo.

Abstract— In this paper we model a wireless network as a static, non-cooperative game in which users seek to obtain its minimum capacity through the choice of an *Access Point*. Particularly, this paper proposes an algorithm that seeks to make the selection of the wireless access point that will guarantee a high Quality of Service (QoS) based on ability for all users in 802.11 net-

works, ensuring transfer rates required for any network task , tending the lowest possible energy consumption. According to game theory, there are many solution concepts, but for this particular case we use the concept of efficient satisfaction equilibrium, which guarantees the objective. The result of the analysis of the model proposed and applied game theory, is an algorithm that allows access point selection using the concept of efficient satisfaction equilibrium, which guarantees service quality from the perspective of capacity , minimizing energy consumption . Finally we conclude that it is possible to improve the mechanism of selection and access point association in 802.11 networks by implementing algorithms that articulate the quality of service to energy efficiency, above, as a possible contribution to the development of radio standard cognitive 802.11 networks

Keywords— Capacity, Quality of Service, Nash Equilibrium, Efficient Satisfaction Equilibrium, Game Theory, Cognitive Radio.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han logrado grandes avances en cuanto a las tecnologías empleadas en el estándar 802.11 [9], [14], con el fin de mejorar cada vez el rendimiento de ésta y prestar un mejor servicio a todos los usuarios. Dentro de este estándar, existen una gran variedad de protocolos que se diferencian entre sí por las técnicas de modulación, de codificación y velocidades de transmisión utilizadas, así como las mejoras en cuanto a la calidad de servicio y los niveles de seguridad en la red. La calidad de servicio es una de las variables más importantes, ya que tiene en cuenta

que toda actividad que se quiera desarrollar en la red requiere una capacidad determinada, de lo contrario cada usuario estaría insatisfecho con la prestación del servicio.

La teoría de juegos ha sido una herramienta muy utilizada para modelar una red inalámbrica con el fin de analizar los problemas que allí se presentan. Este artículo centra la investigación en el proceso de seleccionar un Access Point (AP) en este tipo de redes según la calidad de servicio, es decir, garantizarle al usuario una mínima capacidad para poder transmitir información en un tiempo dado. Para cumplir con este objetivo, es necesario cumplir con los requerimientos mínimos de algunos parámetros que son influyentes en el establecimiento de una comunicación como lo son la potencia de transmisión, la relación señal a ruido (SINR), las pérdidas de propagación, los desvanecimientos y los retardos en la señal, entre otras. Entonces, modelar como un juego una red inalámbrica en la cual influyen un determinado número de transmisores y receptores, ayuda a obtener estratégicamente modelos de solución mediante conceptos como son el equilibrio de Nash y el equilibrio de satisfacción.

Para este caso particular, el juego busca garantizar una buena calidad de servicio para los usuarios de una red desde el punto de vista de obtener la mínima capacidad y la mínima potencia requerida para ello, utilizada como función de utilidad la ecuación de *Shannon* mediante la cual se busca obtener una solución. Uno de los conceptos de solución más utilizados es el equilibrio de Nash, con el cual se garantizan soluciones donde cada uno de los usuarios obtiene máximas capacidades, habida cuenta que para lograr esta máxima capacidad, la potencia de transmisión también debe ser máxima, lo cual implicaría un esfuerzo significativo por parte del transmisor lo cual incrementaría el costo para poder obtener dicho resultado. En muchas ocasiones pueden presentarse múltiples equilibrios de Nash, un único equilibrio o en su defecto ninguno.

En múltiples trabajos e investigaciones realizadas, se han utilizado conceptos de solución, como lo son: el equilibrio de satisfacción y el equilibrio eficiente de satisfacción; en cuanto al primer criterio, se toma como solución una región de capacidades que están por encima de una capacidad umbral determinada por la tarea que vaya a des-

empeñar cada uno de los usuarios. A partir de este concepto surge el equilibrio de satisfacción eficiente, el cual da como resultado un único punto de satisfacción en el que los dos usuarios garanticen las capacidades umbrales, equivalente a la mínima capacidad obtenida para cada uno de ellos en la región de equilibrios de satisfacción. [1], [2], [3], [4], [5]

2. MODELO DEL SISTEMA

Para este trabajo se ha seleccionado como modelo un juego no cooperativo y estático [10],[11],[15], en el cual, se tiene a cada jugador como un ser racional y egoísta que va a actuar de acuerdo con sus necesidades sin importar en gran medida las elecciones que realicen los demás jugadores. Así mismo, es estático porque el análisis realizado se hará bajo conocimiento de todas las variables que interactúan a la hora de alcanzar la máxima utilidad de acuerdo con la función elegida pero únicamente en un instante de tiempo.

El modelo del juego planteado se puede visualizar en la Fig. 1, en el cual se puede ver un número finito de jugadores K , un número finito de puntos de acceso N (AP) y los múltiples canales de comunicación $h_{i,k}$ entre cada uno de los usuarios y el punto de acceso mediante el cual obtendrá una conexión a la red. El tipo de red sobre el cual se basará el proyecto, es en una red que esté trabajando de acuerdo al estándar 802.11 g.

El juego se puede plantear estratégicamente de la siguiente manera:

$$G = \{(i=1,2,\dots,K); P_{k,i}, P_{k,j}, \dots, P_{k,i}; U_k(P_k, P_{-k})\} \quad (1)$$

Donde i es el número de jugadores o usuarios de la red, $P_{i,k}$ las potencias que equivalen a cada una de las posibles estrategias que tiene disponible cada jugador y U_k como función de utilidad que dependerá básicamente del nivel de potencia de acuerdo a la estrategia seleccionada por cada jugador. Inicialmente el planteamiento de este problema se hace para un juego de una red de $N \times K$, es decir, K número de jugadores y N número de puntos de acceso. Pero, para mayor facilidad se trabajará como un juego de 2×2 , ya que la solución y el tratamiento que se le haga a este tipo de red son extensibles a un juego de múltiples elementos participantes en el juego.

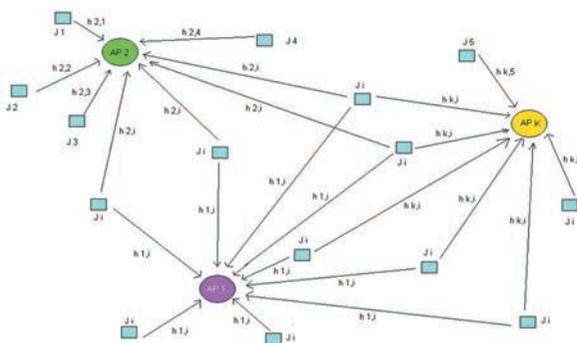
Es importante resaltar que cada uno de los transmisores tiene una potencia límite que puede transmitir al receptor definida por:

$$\sum_{k=1}^k P_{i,k} \leq P_{\max} \quad (2)$$

Donde $P_{i,k}$ es la potencia dedicada a un receptor k por parte del transmisor i y P_{\max} es la potencia de transmisión máxima con la que se puede establecer comunicación entre el transmisor y el receptor, estando ésta a su vez relacionada con la máxima potencia que puede recibir un receptor hasta llegar al punto de saturación. Así mismo, se debe tener en cuenta que el canal de comunicación $h_{i,k}$ tiene una respuesta al impulso diferente en cada uno de ellos y es determinante en el establecimiento de la comunicación entre cada transmisor y cada receptor. Cada canal de comunicación cuenta con una ganancia que está determinada por $g = |h_{ij}|^2$, que a su vez, no se comporta como una ganancia sino como una atenuación debido a diversos fenómenos que se presentan en dicho canal como son rutas multitrayecto, desvanecimientos, interferencias y disminución de la relación señal a ruido, entre otras. Pero de todos estos fenómenos uno de los más influyentes es la relación señal a ruido (SINR), la cual está determinada por

$$SINR = \frac{P_{i,k} g_{i,k}}{\zeta_{i,k}} \quad (3)$$

Fig. 1. MODELO DEL JUEGO BASADO EN LA ESTRUCTURA DE UNA RED INALÁMBRICA [5]



Donde $\zeta_{i,k} = \sigma_i^2 + \sum_{j \neq i} P_{i,j} g_{i,k}$ y $\sigma_i^2 = N_o B_s$ donde N_o es la densidad de ruido espectral.

De acuerdo a lo anterior, la función de utilidad [8], [11] escogida para dar solución a este juego está determinada por la siguiente ecuación, la

cual cumple con el concepto de convexidad y continuidad [5], [6]

$$u_i(t) = B \log_2 \left(1 + \frac{P_i(t) |h_{ii}|^2}{\sigma_i^2(t) + \sum_{k \neq i} P_j |h_{i,k}|^2} \right) \quad (4)$$

Donde,

P_i es la potencia a la cual radia cada transmisor.

$|h_{ii}|^2$ es la ganancia del canal con el que esta comunicándose el usuario i .

σ_i^2 es la densidad de ruido presente en el canal ($h_{i,i}$ o $h_{i,k}$).

$\sum_{k \neq i} P_j |h_{i,k}|^2$ es la suma de los niveles de potencia de los canales adyacentes que interfieren con el canal principal de comunicación entre el usuario y el punto de acceso.

Sin embargo, la potencia a la cual radia un transmisor es idealmente la potencia máxima del dispositivo inalámbrico. Pero tenidas en cuenta las consideraciones por multiplicidad de usuarios que radian e interfieren en el canal, finalmente la potencia P_i está determinada por la siguiente función de acuerdo [2],

$$f_i(S_{-i}) = \{S_i \in S_i : u_i(S_i, S_{-i}) \geq [i] \} \quad (5)$$

Donde S_i es el conjunto de potencias que hacen parte del conjunto de estrategias de cada usuario y cada una de ellas está definida por la siguiente función [2]:

$$S_i = \left\{ P_i = P_{\max} \left(10^{-\frac{i}{K-1}} \log_{10} K \right), i \in \{0, 1, 2, \dots, K-1\} \right\} \quad (6)$$

Donde K es el total de usuarios disponibles en la red inalámbrica y P_{\max} es la potencia máxima radiada por un dispositivo inalámbrico.

Finalmente, tenido en cuenta el modelo del juego planteado, se explicarán los conceptos de solución posibles para dar solución a éste. [5]

3. CONCEPTOS DE SOLUCIÓN EN TEORÍA DE JUEGOS PARA PROPORCIONAR QoS EN REDES INALÁMBRICAS 802.11

En el lenguaje común, la palabra *juego* hace referencia a una actividad en la que los participantes están sometidos a reglas que deben cumplir y con las cuales se puede perder o ganar, tenido en

cuenta que este resultado no sólo depende de las acciones de un jugador sino que depende de los otros participantes. Finalmente, lo que se busca es tener un conjunto de estrategias que permitan maximizar las utilidades obteniendo el mejor resultado posible.

Por lo tanto, la teoría de juegos se ocupa del análisis riguroso y sistemático de todas las posibles situaciones que se pueden presentar en el juego. De esta manera, su objetivo no es estudiar el azar, sino los comportamientos estratégicos de los jugadores; por lo tanto, para realizar el estudio de estos juegos, es necesario utilizar un modelo que se adapte a las características y problemáticas para solucionar en la red. Por esta razón, la teoría de juegos ha sido muy importante en el análisis de muchos problemas en la asignación de recursos y calidad de servicio en las redes inalámbricas bajo el estándar 802.11. En la actualidad, se han realizado trabajos de acuerdo a la eficiencia energética y la eficiencia de tasas, estas dos métricas son de gran importancia y determinantes a la hora de evaluar la calidad de servicio de una red inalámbrica ya que en este tipo de redes solo se logra establecer una comunicación con una buena calidad de servicio cuando se cumplan ciertos parámetros con condiciones específicas como lo son la relación señal a ruido (SINR), mínimos retrasos y altas tasas de la potencia del transmisor, entre otros. Por eso, para dar solución a este tipo de problemas que se pueden presentar en una red donde se utiliza uno de los conceptos de solución existentes en la actualidad, como lo es el equilibrio de satisfacción eficiente.

Normalmente, cuando los jugadores van a realizar la elección de una acción a jugar, cada uno de ellos debe cuidarse del costo o esfuerzo que le produzca dicha elección. En muchas ocasiones, las altas potencias de transmisión o el uso de esquemas de modulación complejos requieren de valiosos esfuerzos por parte del transmisor. Por esta razón, con este concepto sólo se tienen en cuenta las acciones bajo las cuales estos esfuerzos sean mínimos y garantizar una utilidad umbral para cada usuario. Este se define de la siguiente manera:

Definición 1 - Equilibrio de Satisfacción eficiente (ESE)[2]: Sea una función $C_k: S_k \rightarrow [0,1]$ para todo $k \in K$ y el juego G definido como:

$$G = (K, \{S_k\}_{k \in K}, \{U_k\}_{k \in K}, \{f_k\}_{k \in K}) \quad (7)$$

Donde, para todo $(k, s_k^*, s'_k) \in K \times S^2$, la acción s'_k será más costosa que la acción s_k^* , si $C_k(s'_k) > C_k(s_k^*)$. Entonces un perfil de acciones $s^* \in S$ es un ESE si y solo si

$$\forall k \in K, s_k^* \in \operatorname{argmin}_{s_k \in f_k(s_{-k})} \quad (8)$$

utilizar las ecuaciones fuera del texto para una mayor comprensión por parte del lector.

4. METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL JUEGO

Para dar solución al juego planteado inicialmente, fue necesario comenzar por analizar cada una de las situaciones posibles de acuerdo a la cantidad de jugadores (usuarios) y la cantidad de estrategias presentes en el juego. Después de determinar esto, se realiza el siguiente procedimiento:

4.1. Obtención de la matriz de utilidades

La matriz de utilidades [8], [11] es una manera de interpretar las utilidades de cada usuario cuando realiza la selección de determinado AP. Para realizar esta matriz se tiene en cuenta el número de jugadores, las estrategias posibles para cada uno de ellos y la ecuación de Shannon como función de utilidad, la cual varía la capacidad de acuerdo a la estrategia seleccionada. En la Tabla I se puede ver la utilidad de cada uno de los usuarios de acuerdo a la estrategia seleccionada en determinado instante de tiempo, se determinan primero las utilidades del jugador 1 y luego las del jugador 2 en cada caso.

Por lo tanto, a partir de los modelos matemáticos que representan las capacidades de cada uno de los usuarios, se pretende realizar un algoritmo que obtiene las regiones de capacidad óptimas para transmitir tanto para el usuario 1 como para el usuario 2, de acuerdo con los niveles de potencia generados a partir de la ecuación (6), habida cuenta que la densidad de potencia de ruido σ^2 es un valor que varía entre 0 y 1 y que para este caso particular como se analiza la red en un determinado instante de tiempo, se dio por criterio una densidad de potencia de ruido fuera igual a 0.1.

4.2. Generación de las ganancias de cada canal

Es importante considerar que la ganancia en un sistema normalmente se toma como un valor mayor a uno, pero para este caso se toman valores inferiores debido a que representan las pérdidas por propagación que están presentes en el canal, en consecuencia, no funciona como una ganancia sino como una atenuación de la señal causada por dicho fenómeno. Entonces, se obtienen 4 valores con la función RAND, la cual genera números aleatorios con media 0 y varianza 1 uniformemente distribuidos, dando como resultado:

$$G = \begin{bmatrix} 0,9483 & 0,9976 \\ 0,7986 & 0,8006 \end{bmatrix}$$

Donde $g_{11}=0.9483$, $g_{12}=0.9976$, $g_{21}=0.7986$ y $g_{22}=0.8006$.

La realización del algoritmo se divide en dos partes, teniendo en cuenta que los modelos matemáticos obtenidos en la Tabla I difieren por el término que representa la interferencia en el canal y son:

- 1) Cuando existe interferencia, es decir, que los dos usuarios eligen el mismo AP en el mismo instante de tiempo. De acuerdo a la Tabla I, esto se da para los casos (C_{11}, C_{21}) y (C_{12}, C_{22}) .
- 2) Cuando no existe interferencia, es decir cuando los dos usuarios eligen diferentes AP en el mismo instante de tiempo. De acuerdo a la Tabla I, esto se da para los casos (C_{11}, C_{22}) y (C_{12}, C_{21}) .

5. OBTENCIÓN DE LA REGIÓN DE CAPACIDAD TOTAL

5.1. Caso 1: sin interferencia entre canales

La función de utilidad que representa las capacidades de cada uno de los usuarios en este escenario viene dada de la siguiente manera:

$$u_i(t) = B \log_2 \left(1 + \frac{P_{Ti}(t) |h_{i,k}|^2}{\sigma^2} \right) \quad (9)$$

Donde la potencia de transmisión $P_i(t)$ está determinada por las potencias generadas a partir de (6) y son comunes para los dos usuarios, ya que los usuarios están conectados a diferentes AP en ese instante de tiempo y los transmisores no

tienen ninguna restricción de potencia por parte del receptor como sucede en el caso cuando los dos acceden al mismo AP en el mismo instante de tiempo. En este escenario se pueden presentar 2 situaciones:

- 1) Que el usuario 1 acceda al AP 1 y el usuario 2 acceda al AP 2.
- 2) Que el usuario 1 acceda al AP 2 y el usuario 1 acceda al AP 1.

5.2. Caso 2: con interferencia entre canales

A diferencia del caso anterior, la función de utilidad que representa las utilidades para este escenario se muestra en (10), donde se tiene un término adicional que representa las señales que interfieren sobre ese mismo canal por parte de otros usuarios, lo cual hace las capacidades obtenidas sean diferentes y, por ende, más pequeñas comparadas con las obtenidas en el caso sin interferencia.

$$u_i(t) = B \log_2 \left(1 + \frac{P_{Ti}(t) |h_{i,k}|^2}{\sigma^2 + \sum_{k \neq i} P_{Tj} |h_{i,k}|^2} \right) \quad (10)$$

Pero para esta caso, las potencias de transmisión equivale a las posibles estrategias que tienen los jugadores para maximizar sus capacidades o en su defecto obtener la capacidad necesaria que supera la capacidad umbral requerida por cada usuario para realizar una actividad. En este caso particular los dos usuarios acceden al mismo AP en el mismo instante de tiempo, por lo tanto, es necesario tener en cuenta la siguiente consideración:

“Un AP está en la capacidad de recibir señales de n usuarios que se conectan a él, hasta el punto donde la sumatoria de todas estas potencias recibidas sea igual o menor a la potencia máxima soportada por el AP. La potencia recibida es el producto de la potencia de transmisión y el factor de ganancia del canal de comunicaciones.”[6]

$$P_{R1} + P_{R2} = P_{\max} \quad (11)$$

Entonces, para efectos de simulación se consideró que la potencia de entrada máxima (P_{\max}) del AP es igual a la potencia emitida por una tarjeta de red inalámbrica de una laptop ($P_{\max} = 32$