

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
OPTIMIZAR Y DIMENSIONAR LA UBICACIÓN DE LOS RSU EN UNA RED
VIAL MEDIANTE MODELAMIENTO MATEMÁTICO BASADO EN ILP
PARA DETERMINAR LA MEJOR POSICIÓN EN LA INFRAESTRUCTURA
DE COMUNICACIONES VANET**

**AUTOR:
HÉCTOR ANDRÉS PALACIOS SANTANA**

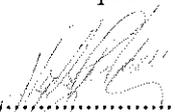
**TUTOR
JOSÉ RENATO CUMBAL SIMBA**

Quito, enero del 2016

Cesión de derechos de autor

Yo Héctor Andrés Palacios Santana, con documento de identificación N° 0803033356, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: OPTIMIZAR Y DIMENSIONAR LA UBICACIÓN DE LOS RSU EN UNA RED VIAL MEDIANTE MODELAMIENTO MATEMÁTICO BASADO EN ILP PARA DETERMINAR LA MEJOR POSICIÓN EN LA INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIONES VANET, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....

Nombre: Héctor Andrés Palacios Santana

Cédula: 0803033356

Fecha: Quito, enero 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, OPTIMIZAR Y DIMENSIONAR LA UBICACIÓN DE LOS RSU EN UNA RED VIAL MEDIANTE MODELAMIENTO MATEMÁTICO BASADO EN ILP PARA DETERMINAR LA MEJOR POSICIÓN EN LA INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIONES VANET, realizado por Héctor Andrés Palacios Santana, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero 2016



José Renato Cumbal Simba

Cédula de identidad: 1714663760

OPTIMIZAR Y DIMENSIONAR LA UBICACIÓN DE LOS RSU EN UNA RED VIAL MEDIANTE MODELAMIENTO MATEMÁTICO BASADO EN ILP PARA DETERMINAR LA MEJOR POSICIÓN EN LA INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIONES VANET

Héctor Palacios Santana 1¹, Renato Cumbal Simba 2²

Resumen

En este artículo se presenta un modelo matemático basado en ILP (Programación Lineal Entera) y aplicado a VANET. Este modelo busca determinar la mejor posición y el mínimo número de RSU necesarios para el despliegue de una red de comunicaciones VANET, considerando el radio de cobertura, la capacidad, la ubicación de los RSU y el porcentaje de vehículos a los que se debe garantizar la conexión como restricciones para minimizar la función objetivo mediante el uso de una herramienta informática que permita resolver el modelo propuesto. En los resultados, finalmente se obtiene, que para alcanzar el 90% de cobertura, el modelo optimiza el 75% de los RSU, de los cuales el 50% de los RSU activos utilizan toda su capacidad, consiguiendo identificar los sectores dentro del área de planeación donde sería necesario y adecuado activar un nuevo RSU para brindar mejor calidad de servicio.

Palabras Clave: capacidad, cobertura, ILP, RSU, VANET.

Abstract

This paper presents a mathematical model based on ILP (Integer Linear Programming) and applied to VANET. This model aims to determine the best position and the minimum number of RSUs required for the deployment of a communications network VANET, considering the radius of coverage, capacity, and location of the RSUs and the percentage of vehicles that must be online as restrictions for minimize an objective function by using a software tool to solve the proposed model. In the results, finally you get that to reach 90% coverage, the model optimizes 75% of the RSUs, of which 50% of the RSUs assets used its full capacity, achieving identify the sectors within the area of planning where would be necessary and appropriate activate a new RSU to provide better quality of service.

Keywords: capacity, coverage, ILP, RSU, VANET.

1 Estudiante Egresado en Ingeniería Electrónica mención Telecomunicaciones - Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Autor para correspondencia: hpalacios@est.ups.edu.ec

2 Ingeniero Informático, Estudiante de Doctorado en Ingeniería mención Telecomunicaciones – Universidad Pontificia Bolivariana – Medellín Colombia, Miembro del grupo de Investigación GIETET, Autor para correspondencia: jcumbal@ups.edu.ec

1. Introducción

En la actualidad los avances tecnológicos y la teoría del internet de las cosas promueven una tendencia donde los dispositivos electrónicos cuentan con la capacidad de conectarse a una red de comunicaciones y este es el caso de los vehículos, cuya característica de movilidad los limita al uso de redes inalámbricas[1] para lo cual es necesario desarrollar tecnologías apropiadas que satisfagan esta característica[2], por lo que una de las soluciones que ha llamado la atención de los investigadores es el uso de redes VANET (Vehicular Ad-Hoc Network) que son una subclase de MANET (Mobile Ad Hoc Network)[3].

Las VANET cuentan con nodos móviles que corresponden a los vehículos equipados con dispositivo de comunicación llamados OBU (On-Board Unit) y nodos fijos ubicados a lo largo de la carretera llamados RSU (Road Site Unit)[2]. En VANET se distinguen tres dominios de comunicación, V2V que se dan de vehículo a vehículo, V2I de vehículo a la infraestructura de red formada por RSU y por último I2I que se da a nivel de infraestructura entre dos RSU[4]. Estos dominios de comunicación permiten el intercambio de información sobre el estado del tráfico, condiciones de la carretera, alerta sobre accidentes y otras características propias de un Sistema de Transporte Inteligente (ITS)[5].

El despliegue de VANET puede resultar muy costoso en su etapa inicial debido a la falta de infraestructura y la poca inserción en el mercado [6], siendo de gran importancia la optimización de los recursos, especialmente el número de RSU para brindar cobertura y garantizar la conexión a los servicios. Esto se lo puede lograr utilizando un modelo basado en ILP que será resuelto por Lp_Solve para así, mediante el uso de MATLAB representar de forma gráfica los resultado sobre el área de planeación obtenida de Open_Street_Map[7].

En la sección 2 de este artículo se presenta la metodología usada para el diseño del modelo y el proceso de optimización además de plantear el escenario de planeación. En la sección 3 se

revisan los resultados de la optimización. Finalmente las conclusiones y recomendaciones son revisadas en la sección 4.

2. Materiales y Métodos

La comunicación inalámbrica presenta problemas complejos en la propagación de señales, que se ve afectada por edificios, condiciones climáticas y vegetación; por este motivo es necesario considerar un escenario ideal con radios de coberturas constantes y donde no se toma en cuenta la velocidad de trasmisión, de tal forma que se establece un área de planeación en un sistema vial para brindar conexión a los vehículos mediante el despliegue de RSU. Para esto se define un conjunto N de vehículos ubicados aleatoriamente sobre las vías y un conjunto M de sitios candidatos donde podría activar un RSU. Se establece que un vehículo tiene cobertura, si se encuentra a menos de una distancia ρ de un RSU, además los RSU tienen una capacidad de brindar conexión a un limitado número de vehículos simultáneamente.

A partir de la información anterior, se define el problema: ¿Cómo encontrar el mínimo número de RSU activos tales que se permita la conexión de al menos un porcentaje de los vehículos?

La representación del problema se basa en las siguientes definiciones:

El conjunto $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_M\}$, corresponde a los sitios candidatos donde se podría activar un RSU, además el conjunto $U = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$, corresponde a la posición de los vehículos.

Se define la cantidad $\alpha_{i,j} \in \{0,1\}$ de la siguiente forma. Si el vehículo j es cubierto por algún RSU en el sitio i , entonces el valor es 1 de lo contrario el valor es 0. Se define C como la cantidad de vehículos simultáneos a los que puede brindar conexión cada RSU, P como el porcentaje de vehículos a los que se requiere brindar conexión. Se define R_i como una variable que representa a un RSU en el sitio candidato i y V_j como una variable que representa al vehículo j dentro del área de planeación.

Se establece que la variable $X_{i,j}$ indica que el vehículo j se conecta al RSU i .

2.1 Modelo de optimización

$$\min \sum_{i=1}^M R_i \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^N V_j \geq N.P \quad (2)$$

$$V_j = \sum_{i=1}^M X_{i,j}; \forall j \in U \quad (3)$$

$$\sum_{j=i}^N X_{i,j} \leq CR_i; \forall i \in S \quad (4)$$

$$X_{i,j} \leq \alpha_{i,j} R_i; \forall i \in S, \forall j \in U \quad (5)$$

La ecuación 1 optimiza la función objetivo minimizando el número de RSU a partir de limitaciones o restricciones dadas a conocer anteriormente, las cuales se explicarán a continuación.

La ecuación 2 establece el porcentaje mínimo de vehículos a los cuales se debe garantizar la conexión, para esto la ecuación 3 define la sumatoria de la variable $X_{i,j}$ donde se restringe la conexión del vehículo j a un único RSU. Además la ecuación 4 limita la capacidad del RSU para brindar conexión a un número máximo de vehículos simultáneamente, mediante la sumatoria de los vehículos que se podrían conectar al mismo RSU representado por variable R_i , la cual debe ser menor o igual a la capacidad C que es la misma para cada RSU.

La ecuación 5 establece mediante el valor $\alpha_{i,j}$ la conexión entre un vehículo y un RSU.

2.2 Proceso de optimización

Definido el modelo es necesario realizar pruebas para determinar su funcionalidad, para empezar a

montar el escenario en MATLAB debemos obtener la información del área de planeación contenida en el archivo de extensión .osm de la cita [8], para esto es necesario agregar las funciones `xml2struct_fex28518.m` y `lat_lon_proportions` a Matlab para que reconozca la estructura XML (Extensible Markup Language) y además se dimensione el gráfico con referencia a las coordenadas geográficas. Estas funciones junto con la guía de configuración se pueden descargar en [9].

La información contenida en la estructura OSM se encuentra detallada en [10] de la cual debemos extraer los nodos que conforman las rutas vehiculares del área de planeación.

Una vez montado el escenario se genera el sistema de ecuaciones del modelo mediante programación en MATLAB y se lo exporta a `Lp_Solve`, que se puede descargar de [11] para minimizar la función objetivo, donde las variables deben estar sujetas a restricciones que se expresan como inecuaciones lineales [12] y así obtener los resultados que se exportarán en formato CVS hacia MATLAB para graficar el escenario optimizado únicamente con los RSU activos que cumplan con todas las restricciones expuestas anteriormente, además se analiza la posibilidad de conectar vehículos adicionales que se encuentren dentro del radio de cobertura de los RSU activos y que estos tengan capacidad de atenderlos.

El tiempo empleado para obtener la solución del modelo dependerá de la cantidad de variables que intervengan, de tal manera que para este artículo se plantea un escenario en el sector de Carcelén en la Ciudad de Quito-Ecuador donde se ubican 100 vehículos sobre las vías como se muestra en la Figura 1. Además se establece una distribución uniforme de 24 RSU cuyas ubicaciones geográficas se encuentran en la Tabla 1, con capacidad de brindar conexión hasta 15 vehículos en un radio de cobertura de 300m como se observa en la Figura 2. Con estos parámetros se busca garantizar una cobertura al 80% de los vehículos.

3. Resultados y discusión

Como resultado del modelo se tiene un escenario optimizado con 6 RSU activos, como se observa en la Figura 3, cuyas posiciones geográficas se encuentran descritas en la Tabla 2, y estos corresponden al 25% de los RSU planteados en el escenario a optimizar como se muestra en la Figura 4.

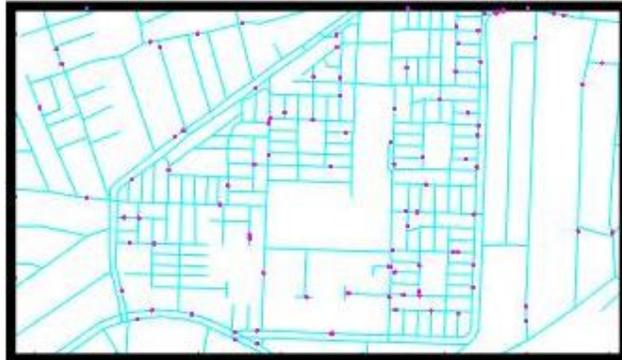


Figura 1. Área de planeación.

Tabla 1: Posición geográfica de los RSU en posibles sitios activo.

RSU	LATITUD	LONGITUD
1	-0.091000	-78.478
2	-0.087985	-78.478
3	-0.084998	-78.478
4	-0.091043	-78.476
5	-0.087999	-78.476
6	-0.085012	-78.476
7	-0.091043	-78.474
8	-0.088013	-78.474
9	-0.085012	-78.474
10	-0.091057	-78.472
11	-0.087999	-78.472
12	-0.085012	-78.472
13	-0.091057	-78.470
14	-0.088027	-78.470
15	-0.085026	-78.470
16	-0.091071	-78.468
17	-0.088041	-78.468
18	-0.085026	-78.468
19	-0.091071	-78.466
20	-0.088041	-78.466
21	-0.085040	-78.466
22	-0.091057	-78.464
23	-0.088056	-78.464
24	-0.085040	-78.464

Tabla 2: Posición geográfica de los RSU activos.

RSU	LATITUD	LONGITUD
6	-0.085012	-78.476
11	-0.087999	-78.472
13	-0.091057	-78.470
15	-0.085026	-78.470
17	-0.088041	-78.468
21	-0.085040	-78.466

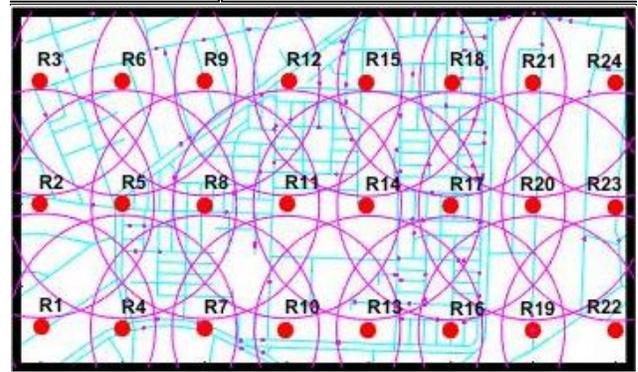


Figura 2. Escenario a optimizar.

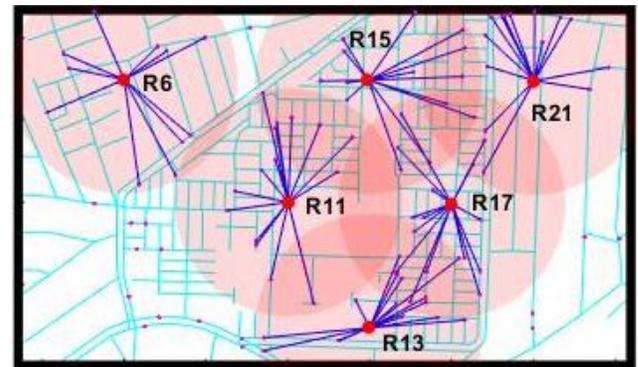


Figura 3. Escenario optimizado

En la Figura 5 se observa que el RSU 11 utiliza toda su capacidad, por lo cual no es posible brindar conexión a vehículos adicionales. Por otra parte los RSU 6, 13, 15, 17, y 21 no hacen uso de toda su capacidad, de los cuales los RSU 13, 17 y 21 brindan conexión a vehículos adicionales, donde solo los RSU 13 y 17 alcanzan su capacidad máxima por lo tanto los RSU 6, 15 y 21 permitirán un aumento futuro en el porcentaje de vehículos a los que se les brindará conectividad.

La capacidad de brindar conectividad a un porcentaje mayor de los vehículos planteados que el modelo, hace que sea más eficiente, como se observa en la Figura 6, la optimización garantiza la conexión al 80% de los vehículos, sin embargo se tiene un 4% adicional de vehículos conectados,

además la capacidad de los RSU permiten extender la conexión otro 6% teniendo una conexión del 90% de los vehículos y solo un 10% de vehículos a los que no se les podrá brindar el servicio.

El tiempo que le toma a Lp_Solve hallar la solución al modelo se encuentra en la Tabla 3, este valor depende de la cantidad de variables que interviene. En la Figura 7 se observa la curva del tiempo vs el número de variable donde se observa un crecimiento exponencial en el tiempo a medida que el número de variables se duplica.

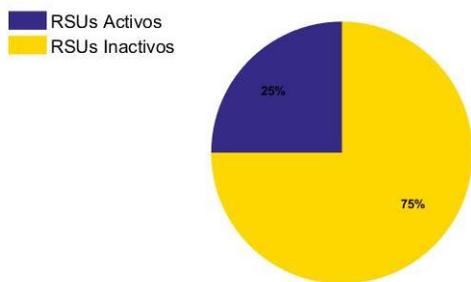


Figura 4. RSU activos

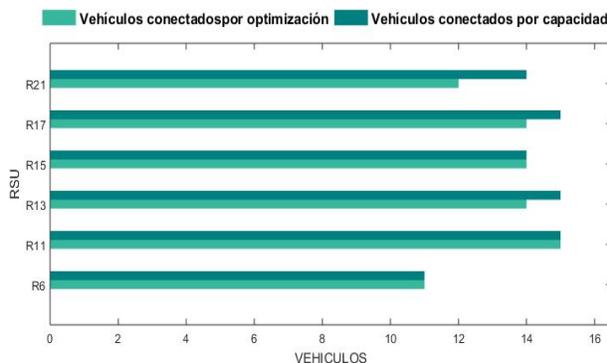


Figura 5. Cantidad de vehículos conectados a los RSU.

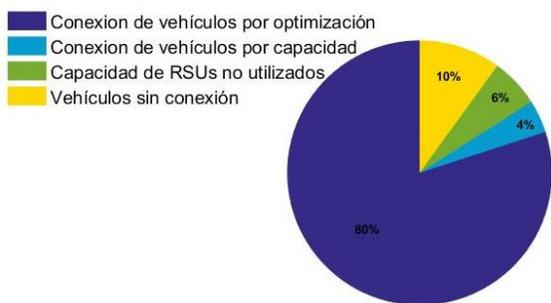


Figura 6. Cobertura de vehículos en el área de planeación.

Tabla 3: Resultados de diferentes escenarios de prueba.

RSUs	VEHICULOS	VARIABLES	TIEMPO (min)
24	100	2524	0,05
24	200	5024	9,17
24	400	10024	19,02
24	800	17524	307,92

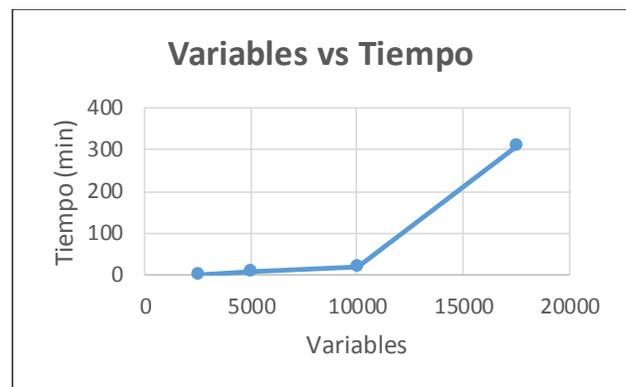


Figura 7. Tiempo de optimización en diferentes escenarios

4. Conclusiones

La conclusión principal en este trabajo es que al optimizar la cantidad de RSU necesarias al 25%, se reducen los costos de implementación inicial de una VANET, con la ventaja de permitir un crecimiento en la conexión de vehículos del 10% más de lo esperado.

El principal beneficio que presenta el modelo es para los proveedores de servicios, a los que les permite tener una referencia de los recursos necesarios para el despliegue de una nueva infraestructura de red orientada a las VANET.

El uso de software especializado permite resolver el modelo en menor tiempo, sin embargo los equipos tipo home en la optimización presentaron problemas en su rendimiento y tiempo de solución, limitando el área de planeación a un sector de la ciudad debido al número de variables utilizadas.

Por lo que se recomienda el uso del hardware dedicado como clúster de computadoras con lo que se podría extender el área de planeación a ciudades enteras.

Referencias

- [1] N. Lu, N. Cheng, N. Zhang, X. Shen, and

- J. W. Mark, "Connected Vehicles: Solutions and Challenges," *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 4, pp. 289–299, 2014.
- [2] S. Al-Sultan, M. M. M. Al-Doori, A. H. Al-Bayatti, and H. Zedan, "A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 37, pp. 380–392, 2014.
- [3] J. Liu, J. Wan, Q. Wang, P. Deng, K. Zhou, and Y. Qiao, "A survey on position-based routing for vehicular ad hoc networks," *Telecommun. Syst.*, 2015.
- [4] H. Song and H. S. Lee, "Decentralized Congestion Control Protocols for V2V Communications and Their Challenging Issues," pp. 505–509, 2014.
- [5] F. a. Silva, A. Boukerche, T. R. M. Braga Silva, L. B. Ruiz, and A. a. F. Loureiro, "Geo-localized content availability in VANETs," *Ad Hoc Networks*, 2015.
- [6] B. Aslam and C. C. Zou, "Optimal roadside units placement along highways," *2011 IEEE Consum. Commun. Netw. Conf.*, pp. 814–815, 2011.
- [7] P. Amirian, A. Basiri, G. Gales, and A. Winstanley, "OpenStreetMap in GIScience," pp. 211–228, 2015.
- [8] C. O. P. apoyado por la F. OpenStreetMap, "OpenStreetMap," 2015. [Online]. Available: <http://www.openstreetmap.org/#map=18/-0.08451/-78.46792&layers=T>. [Accessed: 20-Oct-2015].
- [9] I. . GitHub, "OpenStreetMap Functions - File Exchange - MATLAB Central," 2012. [Online]. Available: <https://github.com/johnyf/openstreetmap/releases>. [Accessed: 20-Oct-2015].
- [10] O. W. Contributors, "Map Features - OpenStreetMap Wiki," 2015. [Online]. Available: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features. [Accessed: 20-Oct-2015].
- [11] I. DHI Group, "Ipsolve - Browse /Ipsolve at SourceForge.net," 2015. [Online]. Available: <http://sourceforge.net/projects/Ipsolve/files/Ipsolve/>. [Accessed: 20-Oct-2015].
- [12] F. A. A. Aloul, A. Ramani, I. L. L. Markov, and K. A. A. Sakallah, "Generic ILP versus specialized 0-1 ILP: an update," *IEEE/ACM Int. Conf. Comput. Aided Des. 2002. ICCAD 2002.*, pp. 450–457, 2002.

NOTAS

NOTAS