

Estrategias de control topológico para reducir la interferencia en Redes Inalámbricas Multisalto

Nelson Rubén Rodríguez¹, María Antonia Murazzo², Edilma Olinda Gagliardi³

^{1,2}Departamento e Instituto de Informática, Universidad Nacional de San Juan, Complejo Universitario Islas Malvinas, Rivadavia, San Juan, Argentina

³Departamento de Informática, Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina

nelson@iinfo.unsj.edu.ar¹, maritemurazzo@gmail.com², oli@unsl.edu.ar³

Abstract. Las redes inalámbricas presentan características distintivas en cuanto a interferencia, tiempo de vida de batería y pérdida de conectividad en redes móviles. Diversas estrategias se han tratado de proponer ya sea a nivel de la capa MAC, o mediante la reducción de tráfico. El control topológico es una estrategia basada en la teoría de grafos y la geometría computacional que permite obtener un subgrafo que mantenga la conectividad, dado que la comunicación se efectúa por medio de saltos intermedios, y reduzca la interferencia para cada tipo de red. Este trabajo presenta estrategias aplicadas para la reducción de la interferencia en redes multisalto mediante el control topológico y las compara con el modelo basado en distancia, que es el tradicional que utilizan los algoritmos de ruteo.

Keywords: Topological Control, Interference, MANET, Wireless Networks

1 Introduction

El avance de las redes inalámbricas ha sido sorprendente. Esto se debe a muchas razones como son: la expansión de la telefonía celular, la reducción de costos de todos los dispositivos que tienen que ver con la comunicación (*handsets, switchers, routers, antenas, etc.*), la expansión de los *hotspots*, el incremento de las ventas de los equipos de usuarios (celulares, teléfonos inteligentes, *notebooks, tablets, netbooks*), la difusión de la tecnología por parte de usuarios Linux (creando comunidades inalámbricas) y la cultura a los *gadgets* por parte de los jóvenes [1]. El rápido desarrollo que las redes inalámbricas han experimentado en los últimos años ha permitido ofrecer a los usuarios diferentes soluciones. Se están presenciando cambios fundamentales en la tecnología, servicios, y los paradigmas de negocios. Estos cambios son esenciales para la creación del paradigma de comunicación conocido como 4A (“*anytime, anywhere, anyhow, anyone*”) o sea en cualquier momento, lugar con cualquier dispositivo y como sea [2].

El área de aplicación de estas redes es amplia, como misiones de búsqueda y rescate, monitoreo de medio ambiente, vigilancia, comunicación militar en campo de

batalla, exploración del espacio, operaciones bajo el mar, sistemas de transporte inteligente, sensores para la agricultura, etc. Además pueden ser usadas como tecnología de la última milla para proveer acceso Internet en ciudades altamente pobladas [3].

Las redes Mesh son utilizadas en redes comunitarias o de vecindad y también para proveer Internet de banda ancha para redes “caseras”, interconexiones de equipamiento de consumo electrónico y comunicaciones de servicio público, cobertura WLAN puertas adentro y acceso de usuarios móviles [4].

Las WSN se utilizan además para entornos inteligentes, en la toma de datos en áreas peligrosas como volcanes o químicos industriales, temperatura, humedad y radiación en zonas inhóspitas, monitoreo de control (por ej. robots), casa inteligentes con alta seguridad, seguimiento, identificación y personalización [5].

En el caso particular de las redes Ad hoc, son muy convenientes para situaciones donde la infraestructura o no está disponible o no es confiable, mientras que las redes Mesh deben contar con una infraestructura para ofrecer los servicios para la que fueron diseñadas.

2 Wireless Networks

Las redes inalámbricas multisalto pueden ser clasificadas según sus características generales en 4 tipos: redes ad-hoc, redes de sensores, redes Mesh y redes híbridas.

Las redes ad-hoc pueden ser fijas o móviles, en este último caso se denominan MANETS (Mobile Ad hoc Networks), y la movilidad agrega una dificultad más a la conectividad de la red. La característica más destacada de las MANETS es que a diferencia de las redes WLAN, no dependen de ninguna infraestructura fija para establecer la comunicación, en cambio, los nodos inalámbricos cooperan entre sí para establecer la comunicación. Las MANETS por lo tanto son conocidas como redes inalámbricas sin infraestructura [6].

Los objetivos de las redes son diferentes. La siguiente ilustración (Fig. 1) permite reflejar gráficamente las coincidencias y diferencias de las mismas.

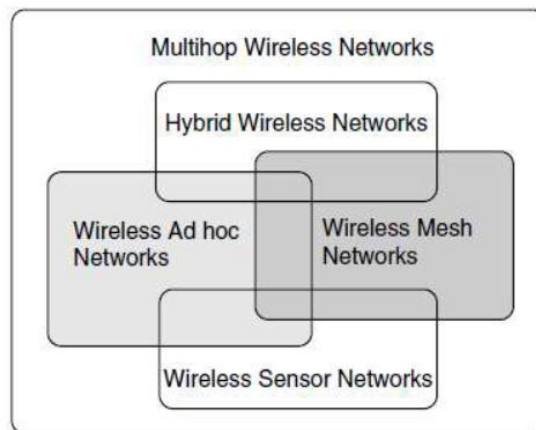


Fig. 1. Clasificación de distintas redes inalámbricas multisalto [7]

A diferencia de las MANETs, los nodos en las WMNs (Wireless Mesh Networks) son estacionarios y los cambios dinámicos de la topología son menos frecuentes. También los nodos inalámbricos en WMNs son puntos de accesos y Gateway de Internet y por no tanto no presentan restricciones de energía.

Por otro lado, las WSN (Wireless Sensor Networks) usualmente presentan una alta densidad de nodos, debido a que por restricciones de energía, muchos sensores pueden quedarse sin batería, inclusive aquellos con energía solar.

Las WSN usualmente alcanzan velocidades menores que el resto debido a reducción de consumo de energía y la utilización de protocolos como *Zigbee* (del orden de Kbps). A diferencia las WMN, al soportar múltiples canales, permiten alcanzar velocidades bastante mayores.

La ventaja principal de una WMN es su inherente tolerancia a fallas, la simplicidad de configuración de red y la capacidad para soportar banda ancha. A diferencia de las redes celulares donde la falla de una sola estación base deja a una región geográfica sin servicio, las WMN proveen alta tolerancia a fallas, aun cuando algún nodo deja de funcionar. En cambio, en WSN la única manera de proveer tolerancia a fallas es con una mayor densidad de sensores.

Las redes inalámbricas híbridas pueden incluir una variedad de tecnologías tanto para el *backbone* como para el *back haul*. Las redes híbridas son aquellas en las cuales cualquier nodo móvil puede tener conectividad de forma directa o vía un nodo *gateway*, para una infraestructura de red. Esta red puede ser una red IP como Internet, una red WAN 3G o LTE o una WLAN 802.11. Actualmente otras tecnologías de red pueden ser consideradas. [8].

3 Consumo de energía

El consumo de energía es quizás el problema más importante de las redes inalámbricas, dado que un buen uso de la misma permite que extender la vida de la red. En redes de sensores y redes ad-hoc, la energía es consumida principalmente por 3 propósitos: transmisión de datos, procesamiento de señal y operación de hardware.

El consumo de energía es mayor cuando se transfieren con más potencia para lograr más alcance. Por ejemplo un sensor puede consumir 35 mA transmitiendo a 8dBm, mientras que a 4dBm consume 27 mA. Estos valores son aproximados dado que dependen de diversos factores como tipo de sensor y protocolo de comunicación, pero en todos los casos aumentar la potencia de transmisión para alcanzar a más nodos incrementa notablemente el consumo [9] [10].

Teniendo en cuenta lo expresado, si se ajusta la energía de transmisión de cada nodo de forma tal de mantener la red conectada y llegar de un nodo a otro de forma directa o por medio de saltos si está más alejado, el consumo de energía resultará menor. Además si se reduce la interferencia producida por la conexión de todos con todos, la cantidad de retransmisiones por ruido se reducirán también.

La eficiencia de energía de un nodo es definida como la relación entre la cantidad de datos entregados por un nodo y el total de energía gastada. Alta eficiencia de energía implica que un gran número de paquetes puedan ser transmitidos por un nodo

con una determinada cantidad de reserva de energía. Las principales razones para la administración de energía en redes ad-hoc inalámbricas y WSN son: reserva de energía limitada, dificultades en el reemplazo de baterías, falta de coordinación central, restricciones en la elección de fuentes de energía y utilización de canales compartidos.

Por otro lado hay que tener en cuenta que un modelo de consumo de energía debe incluir los cuatro estados en los que se encuentra un nodo: adquisición, transmisión, recepción y espera. Aplicando las estrategias adecuadas se reducen los consumos de empaquetado de datos, codificación, entramado y envío para la transmisión, decodificación, detección de error y chequeo de la dirección para recepción.

4 Interferencia

El problema de la interferencia ocurre cuando un mensaje de un nodo se corrompe debido a otra transmisión concurrente de otro nodo en el mismo rango de transmisión. Para una red, cada nodo genera una transmisión que es modelada con un disco o círculo, la interferencia de un nodo es definida como el número de discos que lo incluyen. La interferencia causa pérdida de mensajes lo cual resulta en un alto consumo de energía. Esta situación puede frecuentemente ocurrir en redes densas con alto tráfico.

Algunos modelos de interferencia como el publicado por Meyer [11], están basados en el tráfico corriente de red. La cantidad y naturaleza del tráfico de red, sin embargo este tráfico es altamente dependiente de la aplicación elegida. Debido a que usualmente no existe información a priori acerca del tráfico de red, un modelo estático de interferencia es deseable, dado que depende solamente del conjunto de nodos.

Sugerencias de la capa física para reducir la interferencia, como analizadores de espectro, pueden resultar útiles en redes estáticas, al igual que adquirir *switchers* que administren problemas de interferencia; pero en MANETs y WSN móviles es imposible de llevar a cabo.

Otra de las alternativas es sobre diseñar la capacidad de la red, agregando alta densidad de puntos de acceso, pero esto puede producir interferencia de co-canal y tampoco es aplicable en MANETs y WSN.

Existen diversos trabajos que apuntan a reducir la interferencia en redes inalámbricas y en particular en MANETs y redes de sensores. Pero no todas las publicaciones se basan en control topológico utilizando geometría computacional. Algunos de los trabajos publicados hacen estimaciones estadísticas de la interferencia basada en características de la subcapa MAC (con sus variantes) por ejemplo lo referido en el capítulo 8 del libro “Ad-hoc Networks” de Ramin Hekmat [12], otro trabajo presenta un modelo para analizar la performance de las estrategias de transmisión en redes de packet radio multisalto donde cada estación tiene radio de transmisión ajustable [13]. En ambos casos se presentan análisis de *throughput* pero no se proponen cambios ni estrategias para mejorar la eficiencia de las redes.

A menudo se argumenta que las tecnologías dispersas con pequeños grados o limitadas en grados son apropiadas para reducir la interferencia. Sin embargo grados

bajos no necesariamente implica baja interferencia. Además se puede demostrar que la mayoría de los algoritmos de control topológico obtienen valores que no están cercanos a la interferencia óptima, y por lo tanto se debe encontrar el grafo que minimice la interferencia en primer lugar [14].

5 Control Topológico

En redes inalámbricas cada nodo de la red tiene la posibilidad de variar la topología de la red por medio del ajuste de la potencia de transmisión en relación a otros nodos vecinos. En contraste las redes cableadas tienen una infraestructura fija pre-configurada. Este ajuste podría ir al extremo de tener cero alcance (sin consumo de energía en transmisión pero resultando una red in conexas), hasta alcanzar a todos los nodos resultando conexas pero con interferencia máxima.

La razón fundamental del esquema de control topológico es proveer un mecanismo de control para mantener la conectividad de la red y optimizar la performance para prolongar el tiempo de vida de la red y maximizar la velocidad de transferencia de la misma [15]. Por otro lado, establecer la conectividad en redes inalámbricas puede ser una tarea compleja para lo cual varios (algunas veces en conflicto) objetivos puedan necesitar que sean optimizados. Para permitir que un paquete sea ruteado desde cualquier nodo origen a cualquier nodo destino de la red, el correspondiente grafo de comunicación debe estar conectado. En resumen, además del requerimiento de conectividad, varias propiedades pueden ser impuestas en la red., incluyendo mejor consumo de potencia, carga promedio de tráfico limitada, menor cantidad o distancia de saltos promedio entre pares de emisor-receptor y existencia de mínima interferencia [16].

Una red inalámbrica puede depender de factores incontrolables tales como movilidad de los nodos, clima, interferencia, ruido y también factores controlables como son potencia de transmisión, comunicación con antenas direccionales y comunicación multicanal.

Según el tipo de red, el objetivo del control topológico es diferente. En WMN se trata de obtener rutas con baja latencia o alta velocidad de transferencia que sean eficientes en consumo de energía. Este consumo es sumamente importante en WSN y en redes ad hoc, por lo que en este tipo de redes, se trata de reducir la interferencia para obtener menos cantidad de retransmisiones.

Las técnicas empleadas para aplicar el control topológico se basan en la geometría computacional. Dicha disciplina brinda un marco teórico y formal para el diseño de estructuras y análisis de algoritmos requeridos para dar soluciones a problemas que surgen en diversas áreas de la informática, resolviendo los mismos aplicando geometría de modo constructivo [17]. Existen una variedad de trabajos publicados sobre la construcción de algoritmos sobre grafos aplicando estas técnicas e inclusive resolviendo problemas de ruteo en redes [18].

Las redes inalámbricas son modeladas como Grafo de Disco Unidad (UDG) [19]. En este tipo de grafo, dos nodos sólo pueden comunicarse si la distancia que los separa es como máximo la unidad, entendiendo por unidad el radio de alcance de cada nodo. Suele utilizarse también en intersección con otros grafos planos para

obtener planaridad. Se muestra en la figura 2 una arista que es la comunicación entre dos nodos y un grafo de disco unidad de ejemplo para una red dada. A partir de este disco unidad se trata de obtener un grafo conexo que minimice la interferencia.

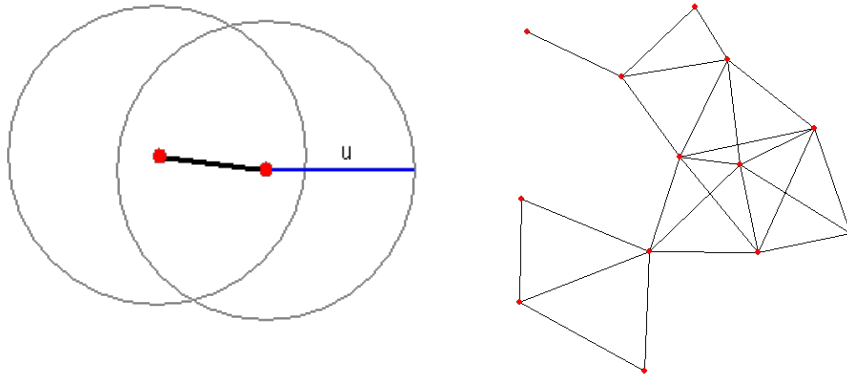


Fig. 2 Arista del UDG y Grafo de Disco Unidad [20]

Debido a limitaciones de potencia y memoria, un nodo inalámbrico prefiere solamente mantener la información de un subconjunto de vecinos con los cuales comunicarse, el cual es llamado control topológico. Los algoritmos de control topológico fueron diseñados para diferentes objetivos: minimizar la longitud máxima del enlace (o potencia del nodo) mientras mantiene la red conectada [21], limitar el grado de los nodos, limitar la tasa de expansión, o construir localmente un *spanner planar* (en teoría de grafos, el concepto de *t-spanner*, consiste en encontrar un subgrafo G' de un grafo G tal que aproxima las distancias en G con un factor de precisión t). [22].

Algunos investigadores han probado reducir la interferencia disminuyendo el consumo de energía de cada nodo (o sea reduciendo la potencia de transmisión) o proveyendo controles para proveer topologías de bajo grado para los nodos, pero ninguna de estas estrategias garantiza reducir la interferencia en todos los casos.

Burkhart y otros [23] proponen varios métodos para construir topologías cuya interferencia del enlace máxima es minimizada mientras la topología mantiene a los nodos conectados.

En la mayoría de los casos en los cuales las redes ad-hoc y WSN son utilizadas, los nodos no tienen conocimiento de la ubicación de otros nodos. Con lo cual el objetivo es obtener un método para construir la red de forma local. Que es, que el radio de comunicación de un sensor o nodo no depende de la ubicación de un sensor o nodo que esté lejano [24].

Cada nodo de la red puede ajustar su potencia de transmisión a cualquier valor entre 0 y su máximo nivel de potencia de transmisión. El algoritmo de control topológico obtiene un subgrafo a partir del grafo origen, reduciendo la potencia de transmisión de los nodos, teniendo en cuenta la interferencia de los enlaces.

6 Simulaciones

Las topologías regulares (triángulo, cuadrado, hexágono, u otras figuras geométricas) y las distribuciones aleatorias uniformes son ampliamente usadas en modelos tratables analíticamente. Pero los casos reales resultan en topología malla o arbitrarias, es cuyo caso es más adecuado un modelo de simulación.

Los resultados presentados a continuación fueron desarrollados bajo determinados supuestos:

Los enlaces son bidireccionales y simétricos

Se considera a los nodos estacionarios, dado que pueden existir diferencias con los modelos de tráfico y movilidad.

El rango de transmisión de cada nodo es modelado por un círculo.

No se modelan antenas direccionales ni por sector.

Los nodos son generados aleatoriamente en el 50% de los grafos, en los restantes se generan grafos de topologías conocidas como lineales, anillos y figuras geométricas.

Los valores de las simulaciones se han contrastado con el modelo de distancia mínima. Es decir, el subgrafo obtenido reduce la interferencia y produce un grafo de mayor longitud, por otro lado el modelo de distancia mínima presenta el grafo de menor longitud pero con mayor grado de interferencia.

Se realizaron simulaciones para redes con 5 nodos, 10 nodos, 50 nodos y 100 nodos.

Para grafos con 5 nodos, en el 50% de los casos, coincidieron los valores de interferencia entre el subgrafo obtenido aplicando el modelo de interferencia y el modelo de distancia mínima; y por supuesto en el 50% restante el valor de interferencia resultó menor. En cuanto a la longitud total del grafo obtenido, también en el 50% de los casos coincidieron y en el resto la longitud del grafo de interferencia resultó mayor.

Para grafos de 10 nodos, los resultados fueron similares, pero un resultado importante es que en las topologías con nodos generados aleatoriamente la interferencia es importante y por lo tanto conviene un subgrafo basado en la interferencia, pero en topologías basadas en figuras geométricas, la interferencia resultante es baja y el modelo de distancia mínima resulta conveniente, porque mantiene la misma interferencia, pero minimiza la distancia total de la red.

Con 50 nodos y 100 nodos se mantienen las relaciones entre ambos modelos comparados, pero lógicamente los valores de interferencia al ser mayor cantidad de nodos, aumentan a 5 y 10 en promedio en ambas simulaciones, resultando conveniente el modelo de interferencia.

A modo de ejemplo en la fig. 3 se muestran los resultados obtenidos para grafos con 10 nodos, comparando el modelo de interferencia con el modelo de distancia mínima. Se puede notar en la gráfica que compara las interferencias (la de la izquierda) que el modelo de interferencia es mejor, y en la gráfica que compara las distancias el modelo de distancias presenta ventajas. No obstante cuando se transmite una retransmisión por interferencia produce mayor demora que unos metros más en el enlace y además consume energía de las baterías.

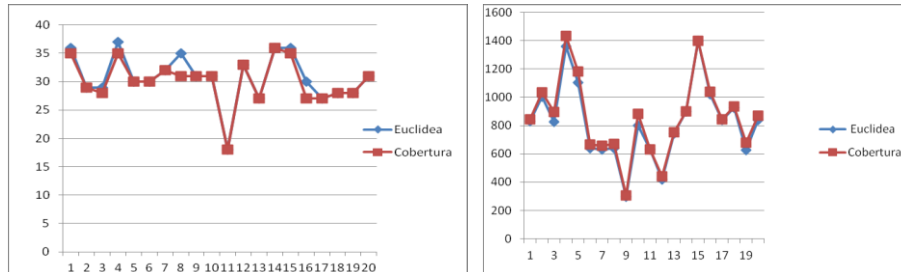


Fig. 3 a) Comparación Interferencia b) Comparación Longitud

7 Conclusiones y futuros trabajos

El control topológico permite obtener una subred de una red dada que mejora determinados parámetros de la red. Debido a que las redes inalámbricas son muy diversas, los objetivos de este control también cambian.

En WSN y MANET la reducción de la interferencia impacta directamente en el consumo de energía que en este tipo de redes determina la “vida” de la red. Sin embargo en WMN la performance es más importante dado que los nodos suelen estar conectados a alguna línea de alimentación, aunque en este tipo de redes si se reduce la interferencia también impacta en la performance.

Se prevé trabajar en un futuro con escenarios de movilidad, aunque sin implementar modelos de tráfico. También se prevé modelizar las redes aplicando el modelo de control topológico con comunicaciones cooperativas [25], pero contratándolos con los resultados obtenidos. Este tipo de sistemas son aquellas redes donde los usuarios comparten y coordinan sus recursos para mejorar la calidad de la transmisión de información.

También se ha previsto realizar el análisis de QoS por clase de aplicación (en este caso sin aplicar modelos de movilidad). Por ejemplo por un lado aplicaciones sensibles a la latencia y a la capacidad como voz sobre *wireless* LAN (VoWLAN) y por otro lado aplicaciones menos sensibles a la demora como navegación Web.

Referencias

- Rodríguez N. : Nuevas configuraciones de redes inalámbricas y consideraciones en la elección. In: II Congreso de Informática del nuevo cuyo - Jornadas de Informática – San Juan (2007).
- Wirth P., AT&T Labs: The Role of teletraffic modeling in the new communications paradigms. In: IEEE Communications Magazine. (1997).
- Gaurilovska L., Prasad R. ; Ad hoc networking towards seamless communications. Ed. Springer, Holanda (2000).
- Sichitiu M.: Wireless Mesh Networks: Opportunities and Challenges. In: Wireless World Congress.(2005).
<http://www4.ncsu.edu/~mlsichit/Research/Publications/wwcChallenges.pdf>

5. Min R., et al.: Low Power Wireless Sensor Networks. In: in the Proceedings of International Conference on VLSI Design. Bangalore, India. (2001).
6. Chandra P.: Bulletproof Wireless Security - GSM, UMTS, 802.11, and Ad Hoc Security – Elsiever Communications engineering series pp. 121-127 (2005).
7. Garg P., Pawar N.: A Review on the topology control approaches for utilizing MRMC over WMNs. In: SSRG International Journal of Computer Science and Engineering (SSRG-IJCSE) – EFES (2015). ISSN: 2348 – 8387, www.internationaljournalssrg.org
8. Tchepnda , Moustafa H., Labiod H. France Telecom R&D: Hybrid Wireless Networks: Applications, Architectures and New Perspectives Christian Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, SECON '06. 2006 3rd Annual IEEE Communications Society on. Date 28-28 (2006).
9. Puccinelli D., Haenggi M.: Wireless Sensor Networks-Applications and Challenges of Ubiquitous Sensing. In: IEEE Circuits and Systems Magazine, 5:19-29 (2005).
10. Calle Torres M. G.: Energy consumption in wireless sensor networks using GSP. Master of Science in Telecommunications. University of Pittsburgh . (2006). Thesis Director: Kabara J., <http://d-scholarship.pitt.edu/7682/1/calleMariag072606.pdf>
11. Meyer auf der Heide F., Schindelhauer C., Volvert K. : Congestion, Energy and Delay in Radio Networks. Proceedings of the fourteenth annual ACM symposium on Parallel algorithms and architectures. Pages 230-237. (2002).
12. Hekmat R. : Ad-hoc Networks: Fundamental properties and Network topologies – Cap. 8 : Interference in Ad-hoc Networks – Pag. 77 a 94 – (2006). Holanda.
13. Ting-Chao Hou : Transmission Range Control in Multihop Packet Radio Networks. In: IEEE Transactions on communications Vol. Com 34 – N^o 1. (1986).
14. Pascal von Rickenbach, Roger Wattenhofer, and Aaron Zollinger. Algorithmic Models of Interference in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks. In: IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 17, No. 1, (2009).
15. Asha T., Muniraj N. Network Connectivity based Topology Control for Mobile Ad Hoc Networks. In: International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Vol.56– No.2, (2012).
16. Khabbazian M., Durochez S., Haghnegahdaz A. Bounding interference in wireless ad hoc networks with nodes in random position. In: Networking, IEEE/ACM Transactions on issue 99.(2014).
17. Gagliardi O., Taramilla M., Berón M. Hernández Peñalver G.: La geometría computacional a nuestro alrededor. In: IV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. (2002).
18. Berón M., Gagliardi O., Hernández Peñalver G. Estrategias de ruteo alternativas para redes móviles. In: XI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. (2005).
19. Clark B.N., Colbourn C.J., Johnson D. S.: Unit Disk Graphs. In: Discrete Mathematics 86 165-177. (1990).
20. Peñalver Hernandez G., <http://www.dma.fi.upm.es/gregorio/grafos/prorout/grafos.htm>
21. Ramanathan, R., Rosales-Hain, R.: Topology control of multihop wireless networks using transmit power adjustment. In: INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE. (2000).
22. Chen Z., Xu P., Deng X. : A Distributed Planar t-Spanner Topology Control Algorithm in Wireless Sensor Networks. Journal of Computer Research and Development. Vol. 49, No. 3. (2012).
23. Burkhart M., Von Rickenbach P., Wattenhofer R., Zollinger A.: Does Topology Control Reduce Interference? In: In Proceedings of ACM Mobi-Hoc 04 9–19.(2004).
24. Korman M.: Minimizing interference in ad hoc networks with bounded communication radius. In: Information processing Letters 112 (2012) 748-752.
25. Guan Q., Yu R., Jiang S., Leung V.: Topology control in mobile ad hoc networks with cooperative communications. In: IEEE Wireless Communications. (2012).