

ALGORITMOS DE AUTODESPLIEGUE PARA REDES DE RELEVOS MÓVILES

SELF-DEPLOYS ALGORITHMS FOR MOBILE RELAY NETWORKS

Karen Miranda, Abel García-Nájera, Antonio López-Jaimes

Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa, Depto. de Matemáticas Aplicadas y Sistemas, México

E-mail: [kmiranda, agarcian, alopez]@correo.cua.uam.mx

(Enviado Marzo 31, 2017; Aceptado Mayo 31, 2017)

Resumen

En caso de que la infraestructura de comunicación de una zona geográfica falle o sea destruida por algún fenómeno natural o desastre, es interesante poder organizar, enviar y diseminar componentes de red, tales como, encaminadores, relevos o puntos de acceso para reemplazar aquellos que fueron destruidos o para crear una red a la demanda. Una red de relevos móviles es una red temporal que se autodespliega para reemplazar dinámicamente una porción de la infraestructura de comunicación utilizando un conjunto de componentes móviles, robots con capacidad de movimiento y una interfaz inalámbrica. La estrategia de despliegue que deben seguir debe permitir que los relevos se distribuyan en la zona objetivo de manera eficiente, distribuida y autónoma. En este trabajo se presenta una clasificación de los algoritmos de autodespliegue para este tipo de redes, así como las características más importantes de ellos.

Palabras clave: *Redes Inalámbricas, MANET, Relevos Móviles, Autodespliegue.*

Abstract

In case the communication infrastructure of a geographical area fails or is destroyed by some natural phenomenon or disaster, it is interesting to be able to organize, send and disseminate network components, such as routers, relays or access points to replace those that were destroyed or to create a network on demand. A mobile relay network is a temporary network that self-deploys to dynamically replace a portion of the communication infrastructure using a set of mobile components, robots with movement capability and a wireless interface. The deployment strategy that must be followed must allow the relays to be distributed in the target area in an efficient, distributed and autonomous manner. In this paper we present a classification of self-deployment algorithms for this type of networks, as well as the most important characteristics of them.

Keywords: *Wireless Networks, MANET, Mobile Relay, Self-Deployment.*

1 INTRODUCCIÓN

Una red de relevos móviles es un tipo de red móvil *ad hoc* (MANET, por sus siglas en inglés) que está compuesta por dispositivos capaces de moverse autónomamente y equipados con conexión inalámbrica (tarjeta *WiFi*, por ejemplo) que funcionan como puntos de acceso (AP, del inglés *Access Point*) [1]. Este tipo de redes puede operar sin necesidad de infraestructura física, es decir, estaciones base o antenas. El objetivo de la red de relevos móviles es proveer conexión inalámbrica a dispositivos de comunicación dentro del alcance de la red en lugares donde, por alguna razón, no existe la infraestructura necesaria para ese fin.

Estos relevos móviles pueden ser de diferentes formas y procedencias. Algunos relevos son de fabricación “casera” donde se utilizan robots como

aspiradoras y se les adapta una antena inalámbrica. Otros relevos, son fabricados directamente con proveedores especializados. Algunos ejemplos son las aspiradoras iRobot [2] (ver Fig. 1 izquierda) o los Wifibot [3] (ver Fig. 1 derecha).



Figura 1 Ejemplos de relevos móviles.

La idea principal es, precisamente, que un conjunto de estos relevos móviles se despliegue con la menor ayuda del humano en áreas sin infraestructura de comunicación, estableciendo o restableciendo de manera temporal las comunicaciones en la zona. De aquí, que una de las tareas primordiales que deben ejecutar los relevos móviles es el autodespliegue sin conocimiento previo, o con poco conocimiento, sobre el área donde deberán desplegarse. Los algoritmos de autodespliegue permiten que los relevos se muevan dentro de la zona objetivo y la cubran de la mejor manera posible.

Las redes de relevos móviles son particularmente útiles en casos de misión crítica o postdesastres, donde la infraestructura fue destruida por alguna catástrofe natural u ocasionada por el hombre. Un ejemplo de esto fue el estado de Baja California Sur, México, que fue azotado por el huracán Odile en 2014. El paso del huracán provocó graves daños a la infraestructura de comunicaciones, antenas de telefonía celular, cables de telefonía fija y postes de luz, dejando a miles de personas incomunicadas durante días. Así, las redes de comunicación habituales colapsaron provocando un paro en los servicios.

Entre las ventajas de usar las redes de relevos móviles son la creación de redes multisalto a la demanda, permitir la comunicación entre usuarios tan pronto como son desplegados, garantizar una comunicación fiable, incrementar el área de cobertura y reducir la probabilidad de que la red se divida. En este trabajo se revisan las características más importantes que impactan en el desarrollo y desempeño de los algoritmos de autodespliegue, así como la descripción y clasificación de los mismos.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente manera. En la Sección 2, se presentan los conceptos básicos sobre redes de relevos móviles. En la Sección 3, se presenta los algoritmos de autodespliegue y su clasificación. La discusión sobre el estado y los temas abiertos se presenta en la Sección 4.

2 CONCEPTOS BÁSICOS

2.1 Estándar 802.11

El estándar 802.11 considera dos modos de operación. El modo *Ad hoc* y el modo infraestructura [4]. El primero se refiere a la comunicación directa entre los nodos que componen la red. El modo *ad hoc* fue diseñado para que grupos de usuarios crearan redes inalámbricas entre ellos de manera fácil y rápida sin necesidad de infraestructura adicional como encaminadores o puntos de acceso. El segundo modo consiste en un punto de acceso por el cual otros dispositivos móviles se conectan para formar parte de la red.

En las redes de relevos móviles se utilizan ambos modos de operación. Por una parte, se utiliza el modo *ad hoc* para mantener la conexión entre los relevos móviles y

que, de esta manera, formen un *backbone* de comunicación y que de esta manera los relevos puedan ofrecer servicios de extremo a extremo, así como de intercambio de mensajes de control.

Por otro lado, el modo infraestructura se utiliza para proveer servicios de comunicación tanto a los dispositivos de comunicación de los rescatistas como de las víctimas (en la medida de lo posible). La Fig. 2 ilustra ambos modos de conectividad del estándar; el lado derecho muestra el modo *ad hoc* donde los relevos forman el *backbone* de comunicación y del izquierdo se muestra el modo de punto de acceso, donde dispositivos móviles como teléfonos celulares inteligentes o tabletas se conectan a un relevo.

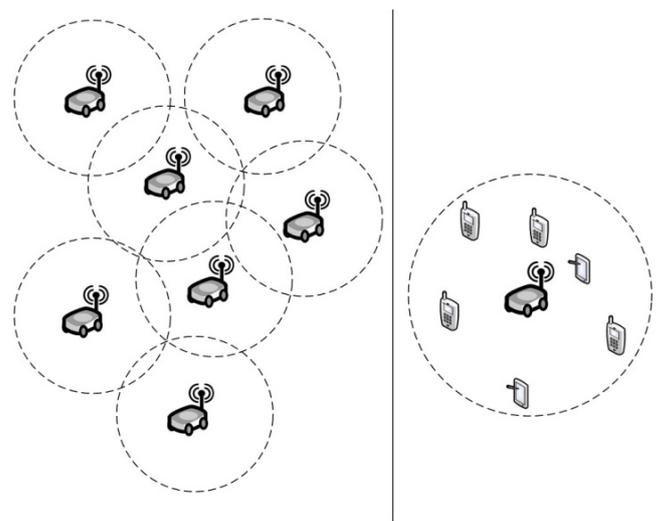


Figura 2 Modos IEEE 802.11 (Izq.) Modo *ad hoc* (Der.) Modo Punto de acceso.

2.2 Redes de relevos móviles

Cuando la infraestructura de comunicación no está disponible en una zona geográfica dada, una propuesta para sobrellevar esta carencia es organizar y distribuir un conjunto de componentes de la red, por ejemplo, encaminadores, puntos de acceso o relevos para reemplazar aquellos que no funcionan y crear una red a la demanda [5].

Sin embargo, desplegar una red de comunicaciones de esta naturaleza representa un conjunto importante de desafíos. Por ejemplo, la red debe diseminarse con nulo o poco conocimiento previo sobre las condiciones de la zona a cubrir; la distribución debe hacerse *al vuelo* y lo más rápido posible; la red debe ser adaptable, adaptativa, flexible y escalable para lidiar con escenarios dinámicos y desconocidos, es decir, la red debe desplegarse a la demanda de acuerdo a las necesidades del momento y lugar.

Además, como características cruciales, los relevos que componen la red, deben desplegarse con la menor

cantidad (o nula) intervención humana, de esta manera los rescatistas pueden enfocarse en sus tareas primordiales; y los relevos deben ser capaces de moverse por ellos mismos, pueden adaptar su topología a la demanda.

2.3 Modelos de movilidad

Uno de los factores importantes en los algoritmos de autodespliegue es el tipo de movilidad que los relevos móviles son capaces de usar. En general podemos nombrar tres tipos de movilidad: aleatoria, en patrones y controlada.

1. Movilidad aleatoria: bajo este modelo, los relevos se mueven libremente y sin restricciones. El destino, la velocidad y la dirección se eligen al azar e independientemente de otros relevos. Ejemplos de modelos de movilidad se encuentran *Random Waypoint* y *Random Walk*.
2. Movilidad en patrones: en este tipo de movilidad los relevos siguen un patrón específico para moverse, por ejemplo, un círculo o malla.
3. Movilidad controlada: este tipo de movilidad, a diferencia de la movilidad aleatoria, es la habilidad de los nodos de moverse a destinos específicos o con un propósito específico [6].

Generalmente, se considera que la movilidad en los componentes de red acarrea problemas que involucra el desempeño entre varias funciones del sistema, por ejemplo, la habilidad del sistema para comunicarse es afectada por la movilidad. Sin embargo, la movilidad controlada puede utilizarse para desplegar los relevos y de esta manera crear un *backbone* de comunicación que sea capaz de adaptarse y reconfigurarse de acuerdo a las necesidades del escenario donde se despliega la red, así como también para mantener la conectividad entre relevos y proveer un canal de comunicación confiable [7]. Las propuestas presentadas en este trabajo utilizan la movilidad controlada como base para los algoritmos de autodespliegue.

3 ALGORITMOS DE AUTODESPLIEGUE

Para ejecutar la tarea crucial de dispersar los relevos móviles en una zona dada, es necesario el uso de algoritmos de autodespliegue. Los algoritmos de autodespliegue deben ser capaces de trabajar en circunstancias donde el mapeo de la zona es costoso o simplemente no se puede llevar a cabo. Por lo que es deseable que estos algoritmos sean capaces de adaptarse con la poca o nula información que obtengan.

Los algoritmos de autodespliegue suponen que los relevos están habilitados con movilidad autónoma, es decir, que no existe un operador humano que maneje a los relevos robóticos ni que tome decisiones sobre el despliegue. Esta es una habilidad importante ya que permite que los relevos móviles ajusten su propia posición a la demanda. Adicionalmente, un algoritmo de despliegue eficiente debe ser capaz de tomar en cuenta las

condiciones de la red y los cambios que pueda tener para satisfacer la necesidad de relevos, como pueden ser, diferentes tamaños de zona, cambios en la distribución de los relevos o cambios en las condiciones del canal [8]. Por lo tanto, debe considerar la calidad del enlace de comunicación para decidir cuándo, cómo y dónde desplegar los relevos. El uso de métricas de la calidad del enlace permite obtener información relevante sobre el desempeño de una red inalámbrica [9].

Este enfoque usando dispositivos robóticos móviles surge gracias a los avances de la robótica misma y del control automático, permitiendo tener componentes más accesibles económicamente y más autónomos. No obstante, las tecnologías con las que trabajan estos dispositivos deben ser independientes de los algoritmos de autodespliegue por lo que no se consideran en esta revisión.

El objetivo de un *backbone* de comunicación robótico es proveer conectividad de extremo a extremo para usuarios móviles con la menor intervención humana posible durante el despliegue de los relevos. El grupo de relevos móviles debe ser capaz de autoorganizarse y, de ser posible, optimizar el rendimiento de la red.

A grandes rasgos, los relevos se colocan en una posición inicial, agrupados o no, utilizando un algoritmo de autodespliegue. Los relevos móviles se dispersan autónomamente en la zona deseada creando el *backbone* inalámbrico.

Podemos clasificar los algoritmos para el autodespliegue de redes de relevos móviles en dos categorías. En el primer tipo, que llamamos cadena, los relevos hacen una formación lineal uno detrás del otro y se mueven, tanto para desplegarse como para redespolearse, siguiendo esa formación. En la Fig. 3 se observa un ejemplo de despliegue en cadena, donde existen dos dispositivos de conectividad, p. ej., puntos de acceso, lejos uno de otro; entonces los relevos se despliegan entre ambos dispositivos formando una línea, así, los relevos crean una red conectando ambos puntos.

Entre los algoritmos basados en estrategias relacionadas en la formación en cadena se encuentra el presentado en [10]. Pezeshkian *et al.* proponen un arreglo tipo convoy donde pequeños relevos siguen a un robot líder, uno detrás del otro formando una línea. Luego, el último relevo en la fila se detiene una vez que la degradación en la potencia de la señal recibida cruza un umbral mínimo; el relevo se convierte estático deteniendo cualquier movimiento.

De manera similar, Nguyen *et al.* investigan el caso de dos AP que están fuera de su rango de transmisión en una red inalámbrica en malla (*Wireless Mesh Network*) [11]. Así, se despliega una cadena de relevos para restablecer la conexión entre dichos puntos. El algoritmo propuesto en este trabajo considera tres tipos de relevos: líder, seguidor y cola; cada relevo se mueve de acuerdo a su tipo. Todos los componentes se colocan cerca del

primer AP y comienzan a moverse en línea recta hasta que encuentran el segundo punto de acceso. Cada vez que el indicador de la potencia de la señal (RSSI, por sus siglas en inglés) decae por debajo de un valor mínimo, los seguidores se mueven formando una cadena para mantener la conectividad entre el primer punto de acceso y el líder. Una vez que el líder alcanza al segundo punto de acceso se detiene al encontrar el mejor valor del RSSI, asimismo, los seguidores se detendrán iterativamente basados en la misma regla.

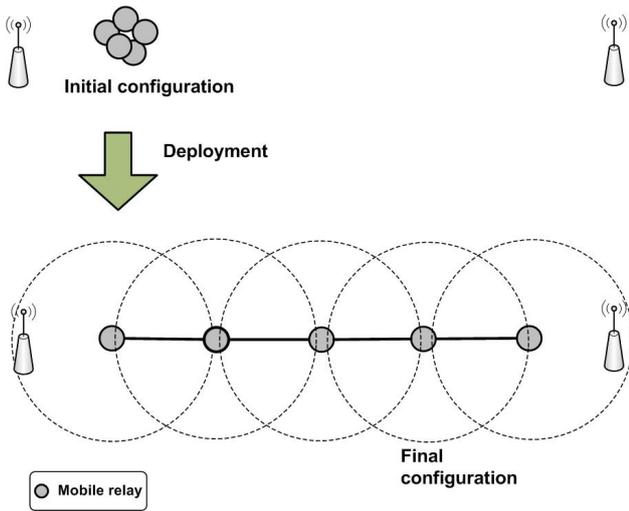


Figura 3 Despliegue en cadena de una red de relevos móviles.

En los dos algoritmos que se acaban de mencionar, se asume una diferenciación entre los relevos móviles, es decir, se considera la existencia de líderes y seguidores. Sin embargo, esto se puede considerar como una desventaja puesto que el movimiento de los seguidores depende de los movimientos que hagan los líderes, por lo que si el líder llega a fallar por alguna razón, la red completa pudiera fallar.

De manera similar, el sistema de relevos autónomos móviles permite a los relevos autodesplegarse en una formación tipo cadena; sin embargo, la diferencia principal es que en esta propuesta todos los relevos son iguales, es decir, no existen líderes [12]. Cada relevo móvil ajusta su posición dependiendo de la caracterización de la calidad del enlace, intentando alcanzar la mejor recepción posible en términos del ancho de banda.

Contrariamente, el segundo tipo de despliegue, que llamamos multicamino, crea una red en malla que busca cubrir una zona dada completamente, los relevos se dispersan por la zona, tratando de no particionar la red y de mantener, de ser posible, alternativas de caminos. La Fig. 4 presenta un ejemplo de despliegue de los relevos, donde al inicio estaban agrupados y se dispersaron hasta obtener la configuración final.

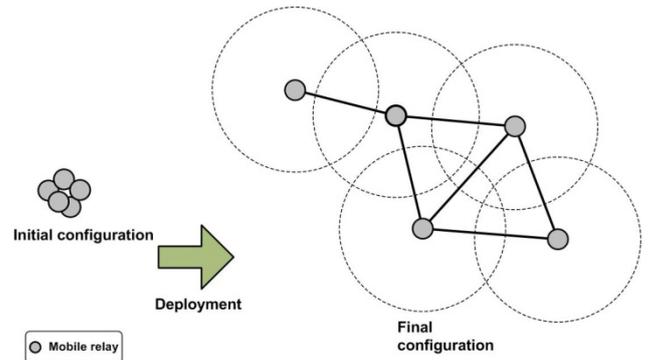


Figura 4 Despliegue en malla de una red de relevos móviles.

Timotheou y Loukas presentan un algoritmo de despliegue de relevos móviles basado en la ubicación de los civiles atrapados después de un desastre [13]. El objetivo es maximizar el número de civiles conectados para comunicarlos con el centro de comando de los rescatistas. Los relevos cumplen una doble tarea. Por un lado, buscan a los civiles atrapados, y por el otro, cooperan para mantener la conectividad de la red. Para este fin, cada robot controla su movimiento ejecutando tres grandes pasos: exploración, conectividad y asentamiento. Durante la primera etapa, el robot explora la zona de desastre en busca de civiles; el robot se detiene si el movimiento rompe con la conectividad en la red o si el robot provee conexión directa a los civiles. En el segundo caso, el relevo se convierte en líder de grupo y asigna la tarea de exploración a otros relevos. Una de las desventajas de este enfoque es que los autores asumen que los relevos tienen conocimiento previo sobre la zona de desastre como por ejemplo mapas.

Reich *et al.* consideran una red móvil que automáticamente mantiene su propia conectividad al mover constantemente los relevos que la conforman [14]. Los autores proponen un algoritmo para autodesplegar a los relevos móviles en un área dada. Cada nodo se mueve independientemente de los otros usando información en un radio de dos saltos. Los relevos determinan cuando detenerse de acuerdo a un criterio de decisión que indica el riesgo de dividir la red o causar una desconexión. De esta forma, cada relevo ejecuta el algoritmo para mantener la conectividad. El algoritmo trabaja de la siguiente manera. Si un relevo tiene un número predefinido de conexiones con sus vecinos, entonces el relevo continúa moviéndose, i.e., el relevo incrementa la distancia entre él y sus vecinos; en otro caso, el relevo debe dejar de moverse y mantenerse en esa posición, ya que incrementar la distancia implicaría una alta probabilidad de desconexión.

Miranda *et al.* proponen un algoritmo de autodespliegue que monitoriza las condiciones de la red para determinar si los relevos deben moverse o no, ajustando su posición basados en información del vecindario a un salto [15]. El relevo ejecuta tres grandes pasos para tomar la decisión de ajustar su posición, es decir, moverse: *i)* se mide la calidad del enlace de comunicación por medio de uno de los parámetros, por

ejemplo, potencia de la señal o relación señal a ruido; *ii*) el algoritmo procesa la información recopilada y toma la decisión sobre la dirección que debe tomar el relevo para mejorar la calidad del enlace; y *iii*) se determina la dirección conveniente del movimiento y el relevo se mueve de acuerdo a eso. Estos pasos se ejecutan cada vez que se detecta que la calidad del enlace decae o que las condiciones en la zona de despliegue cambian. Además, comparan el uso de diferentes métricas sobre la calidad del enlace de comunicación, tales como la potencia de la señal, la relación señal a ruido y el retardo de ida y vuelta, para determinar su utilidad en los algoritmos de este tipo.

Razafimandimby *et al.* se basan en el algoritmo propuesto por Miranda considerando además el consumo energético y el uso del promedio de diferentes métricas para determinar la calidad del enlace de comunicación y de esta forma desplegar o redespelgar los relevos móviles [16]. El algoritmo calcula dinámicamente la distancia que el relevo debe moverse cada vez que debe hacerlo. La calidad del enlace se calcula en términos del retardo de ida y vuelta, la potencia de la señal recibida y la relación señal a ruido.

Las tres últimas propuestas descritas usan la medición activa, i.e., utilizan paquetes de prueba para determinar la calidad del enlace de comunicación. En otras palabras, los relevos envían paquetes de prueba a todos los relevos que se encuentren a un salto dentro del rango de comunicación; cada relevo que recibe este paquete, envía a su vez un paquete de respuesta para confirmar la recepción. Así los relevos realizan los cálculos pertinentes de acuerdo a cada algoritmo.

Sin embargo, el uso de la medición activa implica que se envían paquetes adicionales a través de la red que no son carga útil, provocando sobrecarga (*overhead*). Esta es la motivación de la propuesta presentada en [17]. Los autores proponen utilizar datos subrogados. El algoritmo funciona de la siguiente manera; en cada periodo de decisión, el relevo estima el valor del enlace con sus propios estimados hasta que un nuevo periodo de envío de mensajes de prueba se ejecuta para obtener nuevos datos. El algoritmo corrige la divergencia entre la estimación y los datos reales al utilizar los datos reales en el modelo autorregresivo cada vez que recibe paquetes de respuesta. En otras palabras, se usan los datos surrogados para reducir la cantidad de periodos donde se envían paquetes de prueba y los periodos donde se toman la decisión del movimiento no son afectados.

4 DISCUSIÓN

Las redes de relevos móviles que usan componentes robóticos autónomos para crear un *backbone* de comunicación reducen considerablemente la intervención humana en el despliegue de la red. Además, la movilidad de los relevos permite que el despliegue sea flexible para adaptarse a las condiciones de la red tanto en escenarios en interiores como en exteriores. En particular, el [10] Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), Maui, 2012, pp. 137–143.

despliegue multicamino permite una comunicación robusta al mantener la redundancia en los enlaces. No obstante, algunos tópicos importantes aun permanecen abiertos.

Si bien es cierto que la movilidad controlada juega un papel importante en el desempeño de los algoritmos de autodespliegue, su uso conlleva un alto costo en términos del consumo de energía. Por lo tanto, un estudio del consumo energético de los relevos desde el punto de vista robótico y como esto afecta el desempeño de los algoritmos es indispensable.

En este trabajo únicamente nos hemos enfocado en relevos terrestres, por lo que sería interesante pensar en relevos aéreos, como drones, para formar la red. Los drones podrían desplegarse con mayor facilidad y podrían cubrir potencialmente un área más grande que los relevos terrestres. No obstante, la mayor desventaja del uso de drones es su capacidad energética limitada, que llega a ser de una hora en el mejor de los casos. En este sentido, la red formada por los drones se podría desplegar con objetivos específicos o como apoyo a la red de relevos terrestre.

Finalmente, el tema sobre el encaminamiento ha sido poco estudiado en este tipo de redes. Los autores en [18], han encontrado que la mayoría de los protocolos para MANET tienen un bajo desempeño en redes con componentes robóticos móviles.

5 REFERENCIAS

- [1] Miranda, K.; Molinaro, A.; Razafindralambo, T. A Survey on Rapidly Deployable Solutions for Post-disaster Networks, *IEEE Communications Magazine*, 54, 4(2016), pp. 117–123.
- [2] iRobot Roomba Create platform. URL: <http://www.irobot.com>
- [3] Wifibots, Networked robotics. URL: <http://www.wifibot.com/>
- [4] Wirtz, H.; Heer, T.; Backhaus, R.; Wehrle, K. Establishing Mobile Ad-Hoc Networks in 802.11 Infrastructure Mode, *Proceedings of the 6th ACM int. workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization*, Las Vegas, 2011, pp. 89-90.
- [5] Mase, K. How to Deliver Your Message from/to a Disaster Area, *IEEE Communications Magazine*, 49, 1(2011), pp. 52–57.
- [6] Natalizio, E; Loscri, V. Controlled mobility in mobile sensor networks: advantages, issues and challenges, *Telecommunication Systems*, 52, 4(2013), pp. 2411–2418.
- [7] Srinivas, A.; Zussman, G.; Modiano, E. Construction and Maintenance of Wireless Mobile Backbone Networks, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 17, 1(2009), pp. 239-252.
- [8] Miranda, K.; Algorithmes d’auto-déploiement adaptatifs pour des réseaux de substitution mobiles sans fil, Tesis de doctorado. (2013).
- [9] Feo Flushing, E.; Nagi, J.; Di Caro, G. A. A mobility-assisted protocol for supervised learning of link quality estimates in wireless networks, *Proceedings of the Int.*
- [11] Pezeshkian, N., Nguyen, H. G.; Burmeister, A. Unmanned ground vehicle radio relay deployment system for non-line-

- of-sight operations, Proceedings of the 13th IASTED Int. Conference on Robotics and Applications, Würzburg, 2007, pp. 501–506.
- [12] Nguyen, C. Q.; Min, B.-C.; Matson, E. T.; Smith, A. H.; Dietz, J. E.; Kim, D. Using Mobile Robots to Establish Mobile Wireless Mesh Networks and Increase Network Throughput, *International Journal of Distributed Sensor Networks (IJDSN)*, 2012, pp. 1-13.
- [13] Kim, K.-H.; Shin, K. G.; Niculescu, D. Mobile Autonomous Router System for Dynamic (Re)formation of Wireless Relay Networks, *IEEE Trans. Mobile Computing*, 12, 9(2013), pp. 1828–41.
- [14] Timotheou S.; Loukas, G. Autonomous Networked Robots for the Establishment of Wireless Communication In Uncertain Emergency Response Scenarios, Proceedings 2009 ACM Symposium on Applied Computing (SAC), Honolulu, 2009, pp. 1171–75.
- [15] Reich, J.; Misra, V.; Rubenstein, D.; Zussman, G. Connectivity Maintenance in Mobile Wireless Networks via Constrained Mobility, *IEEE JSAC*, 30, 5(2012), pp. 935–50.
- [16] Miranda, K.; Natalizio, E.; Razafindralambo, T. Adaptive deployment scheme for mobile relays in substitution networks, *International Journal of Distributed Sensor Networks (IJDSN)*, 2012, pp. 1-9.
- [17] Razafimandimby, J; Miranda, K.; Zorbas, D.; Razafindralambo, T. Fast and reliable robot deployment for substitution networks, Proceedings of the 10th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks (PE-WASUN), Barcelona, 2013, pp. 17–23.
- [18] Miranda, K.; Mitton, N.; Ramos, V. An autoregressive estimator for overhead reduction in Substitution Networks, Proceedings of the 9th Int. Conference on Next Generation Mobile Applications, Services, and Technologies, Cambridge, 2015, pp. 82-187.
- [19] Zeiger, F.; Kraemer, N.; Schilling, K. Commanding Mobile Robots via Wireless Ad-Hoc Networks – A Comparison of Four Ad-Hoc Routing Protocol Implementations, Proceedings of the IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, Pasadena, 2008, pp. 590-595.