

Algoritmo de encaminamiento para redes de sensores inalámbricas utilizando técnicas de agregación

Rosa M. Corti*

e-mail: rcorti@fceia.unr.edu.ar

Estela D'Agostino*

e-mail: estelad@fceia.unr.edu.ar

Enrique E. Giandomenico*

e-mail: giandome@fceia.unr.edu.ar

Roberto M. Martinez*

e-mail: rmartinez@dsi.fceia.unr.edu.ar

Abstract

Different environments supervision and control needs local variables measurements. When the places where these measurements are going to be made are of hard access it is used to use Wireless Sensor Networks (WSN). A hierarchical routing algorithm in two levels is proposed in this work to periodically collect the environment's data. Clusters which headers are rotated to uniform the power consumption are defined in the first level. The environment is divided in a grid which is used to locate the headers and to apply aggregation techniques. An intercluster communication structure is defined in the second level. Two well defined rounds are used to send the data to the base station, one to define the enrouting tree and the other to send the collected data. Finally, two kinds of critical network failures are considered: fail in the header election and fail in the inter header communication structure. In both cases solutions are proposed to mitigate the negative effects on the system performance.

Keywords: Communication Networks, Wireless Communication, Sensor Networks, Routing, Aggregation.

Resumen

La supervisión y control de entornos de distinta índole implica la necesidad de medir variables propias del ambiente. Cuando los sitios en que deben hacerse estas mediciones son de difícil acceso se suele recurrir a redes inalámbricas de sensores inteligentes (RISI). En este trabajo se propone un algoritmo de encaminamiento jerárquico en dos niveles que realiza una recolección periódica de datos del ambiente. En el primer nivel se definen clusters cuyas cabeceras se rotan para lograr un consumo de energía más uniforme. Se divide la red en una cuadrícula que se utiliza para ubicar las cabeceras y aplicar técnicas de agregación. En el segundo nivel se define la estructura de comunicación intercluster. Para el envío de los datos hacia la estación base se trabaja en dos rondas bien definidas, una de establecimiento del árbol de encaminamiento y otra de envío de la información recolectada. Finalmente, se consideran dos tipos de fallos críticos para la red: fallo en la elección de cabeceras y fallo en la estructura de comunicación entre cabeceras. En ambos casos se proponen soluciones para mitigar los efectos adversos en el funcionamiento del sistema.

Palabras claves: Redes de comunicación, Comunicación inalámbrica, Redes de sensores, Algoritmos de encaminamiento, Agregación de datos.

* Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Santa Fé (2000), Argentina.

1 INTRODUCCIÓN

La medición de variables del medio es fundamental para la supervisión y control de entornos y actividades de la más diversa índole. Se realiza en aplicaciones industriales, médicas, agrícolas, de preservación del medio natural o creación de ambientes inteligentes, entre otras. En muchas de las aplicaciones mencionadas, el sensado de las variables de interés debe realizarse en ambientes distantes u hostiles que hacen muy difícil el cableado y la atención periódica de los dispositivos de medición. Por estos motivos se han comenzado a utilizar las redes inalámbricas de sensores inteligentes (RISI) para obtener los datos necesarios.

Las RISI son un tipo particular de redes Ad-Hoc, constituidas por nodos que además de recolectar datos del ambiente, son capaces de procesarlos y colaborar con sus vecinos para transmitirlos hacia la/las estaciones base. Estas redes se auto-organizan para adaptarse a topologías cambiantes, y deben trabajar bajo fuertes restricciones de energía, tratando de maximizar su tiempo de vida útil [1] [2].

Una RISI realiza dos actividades fundamentales para llevar hasta el nodo base información relevante para la aplicación. La primera se ocupa del sensado y procesamiento de la información, y la segunda de la diseminación de la misma en la red. Ambas tareas consumen energía, que como ya se mencionó es un recurso que debe ser cuidadosamente preservado. Se ha establecido que la transmisión consume la mayor parte de la energía disponible, así que se intenta minimizar la tarea de diseminación realizando todo el procesamiento local posible [3]. En este sentido se han desarrollado técnicas de agregación de datos que permiten que el procesamiento de la información se realice en forma distribuida en nodos de la red. La eficiencia y aplicabilidad de estas técnicas, dependen del problema a abordar, por lo que deben ser cuidadosamente elegidas y posiblemente adaptadas teniendo siempre en cuenta el dominio de trabajo [4].

En este trabajo presentamos un algoritmo de encaminamiento para redes de sensores basado en clusters, que realiza una recolección periódica de datos del ambiente. El entorno a supervisar se divide en una cuadrícula uniforme para ubicar las cabeceras de clusters. El algoritmo trabaja en dos rondas bien definidas, una de selección de cabeceras y formación de clusters, y otra de envío de información hacia la estación base utilizando alguna función de agregación. Este artículo se organiza de la siguiente forma: en la sección 2 se analizan las técnicas de agregación de datos, la sección 3 trata sobre el control de topología centrándose en el uso de clusters. En la sección 4 se describe el algoritmo desarrollado y finalmente en las secciones 5 y 6 se enumeran las conclusiones alcanzadas y se proponen líneas de trabajo futuro.

2 AGREGACIÓN DE DATOS

Las RISI están constituidas por una gran cantidad de nodos, y por lo tanto es impracticable utilizar algoritmos de encaminamiento centrados en direcciones, en los cuales es necesario identificar cada nodo unívocamente [3]. Por este motivo, los algoritmos que se utilizan habitualmente en redes de sensores inalámbricas son centrados en datos. En los protocolos

centrados en datos, generalmente se busca aplicar algún tipo de procesamiento en los nodos de forma de reducir el tiempo de transmisión [5].

En este sentido se han desarrollado técnicas de agregación de datos, con el fin de lograr el mensaje más compacto posible que represente al conjunto de mensajes individuales. El mensaje agregado se transmite a través de la red en lugar del conjunto de mensajes procesados [5].

Al incorporar agregación, los algoritmos prolongan la vida útil de la red, reduciendo la cantidad de mensajes a difundir. La reducción del consumo de energía depende en gran medida de la aplicación a encarar, pues son sus características las que determinan la función de agregación a utilizar. Algunas aplicaciones admiten agregados sencillos como la obtención del valor máximo, mínimo o promedio. El estudio de otros fenómenos en cambio, requiere de la transmisión de todos los valores obtenidos o gran parte de ellos. Estos últimos casos son los más desafiantes al momento de diseñar alguna técnica de agregación, que manteniendo los errores acotados, permita cumplir con los requerimientos de la aplicación [6].

Si bien el ahorro de energía es un requerimiento fundamental para el diseño de una técnica de agregación, los algoritmos que la utilizan son evaluados también en otros aspectos [7]:

- Vigencia de los datos: diferencia entre el momento de obtención del dato y el de llegada a la estación base.
- Proporción de lecturas recibidas: Cantidad de lecturas recibidas por la estación base respecto del número total de lecturas realizadas.

Desde ya, el peso que se le dé a cada requerimiento dependerá de la aplicación particular. El problema a abordar será el que determine la magnitud de error aceptable, el período admisible de espera para la llegada de los datos o el porcentaje de mensajes que pueden perderse, sin afectar gravemente la eficiencia esperada para la aplicación.

2.1 Clasificación de las técnicas de agregación

Este trabajo se focaliza en aplicaciones donde es habitual realizar una adquisición periódica de datos, con el fin de mantener un estado de situación actualizado del fenómeno a sensor. Se habla de “rondas de recolección o sensado”, donde los nodos obtienen los valores de las variables de interés y los transmiten hacia la estación base. Estas “rondas” se repiten en períodos cuya duración queda determinada por la naturaleza del fenómeno bajo estudio. En general, podemos clasificar las técnicas de agregación periódicas como [4] [7]:

- Periódica simple: En este tipo de algoritmos, cada nodo espera un período fijo, agrega los datos recibidos en un único paquete de datos y transmite. Si algún nodo se retrasa en el envío de datos o falla, su información no formará parte del agregado enviado hacia la estación base. Un ejemplo muy conocido es el algoritmo de difusión dirigida [8].
- Periódica por salto: En estos algoritmos, cada nodo sabe quienes de entre sus vecinos le

enviarán información (nodos hijos). Entonces, los nodos agregan los datos recibidos y los envían cuando han colectado la información de todos sus hijos. En caso de que algún hijo no se reporte, se espera un período predeterminado, y si no se obtiene respuesta, se difunde el agregado logrado hasta ese momento. El algoritmo que proponemos en este trabajo pertenece a esta categoría.

- Periódica por salto ajustado: Estos algoritmos utilizan el mismo principio que los de agregación periódica por salto, pero incorporan un esquema de retardos para la difusión de los mensajes, basado en la posición de cada nodo en el árbol de distribución. El algoritmo propuesto por Solís [7] cae dentro de esta categoría.

3 CONTROL DE TOPOLOGÍA DE LA RED BASADO EN CLUSTERS

Las RISI son redes densamente pobladas donde cada nodo posee un número muy elevado de potenciales vecinos. Además, es habitual que la red deba reconfigurarse ante pequeñas modificaciones en su topología. Estas características ocasionan problemas para el funcionamiento de la red: se eleva la probabilidad de interferencias y el costo de reconfiguración es alto por la existencia de un gran número de rutas posibles. Una solución para estos inconvenientes consiste en limitar el número de vecinos, lo que se conoce como control de topología. Una de las opciones para controlar la topología es definir redes jerárquicas basadas en clusters o grupos locales de nodos. Para el funcionamiento de los clusters se suele seleccionar nodos con roles especiales conocidos como cabecera (CH). Los CH organizan la comunicación de los nodos miembro del cluster.

La utilización de clusters suma ventajas al control de topología. Por un lado se gestionan los recursos en forma local lo que facilita la escalabilidad de la red. Además estos grupos de nodos están orientados al uso de la técnica de agregación con el fin de reducir el consumo[5]. La ubicación de los puntos de agregación tiene una gran influencia sobre el funcionamiento de los algoritmos que utilizan esta técnica. [9].

3.1 El Protocolo LEACH

El protocolo desarrollado por Heinzelman [10] conocido con el nombre de “Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy” (LEACH) propone la utilización de clusters e introduce la rotación del rol de cabecera entre los nodos de la red. Selecciona en forma random algunos nodos para cumplir el rol de CH. Éstos son los encargados de aplicar alguna función de agregación para obtener un único mensaje a enviar al sink. Esto le permite lograr una distribución más uniforme del consumo de energía prolongando el tiempo de vida del sistema. La recolección de datos se realiza en forma periódica y por lo tanto es un protocolo que se comporta en forma correcta cuando se necesita una supervisión constante en un entorno dado [8].

Su funcionamiento se divide en dos fases, una de establecimiento del árbol de encaminamiento y otra de transmisión de datos hacia la estación base. En la primera fase se elige, mediante un algoritmo distribuido que utiliza probabilidades, las cabeceras de cluster. Éstas notifican que asumieron el rol de cabecera y cada nodo se incorpora al cluster cuya señal recibe con más fuerza.

En la segunda fase los nodos miembros le envían sus datos a la cabecera y ésta aplica alguna función de agregación y transmite el mensaje resultante directamente a la estación base. Se asume que todos los nodos miembro están a un salto de la cabecera. Por lo tanto ésta realiza una planificación de tiempos y cada miembro transmite en el periodo de tiempo que le corresponde para evitar colisiones.

4 ALGORITMO PROPUESTO

El algoritmo que se propone utiliza la idea de rotación de cabeceras de cluster propuesta por Heinzelman para el algoritmo descrito en la sección 3.1. Sin embargo, un inconveniente de LEACH es que al seleccionar las cabeceras en forma random, las mismas pueden quedar concentradas en algún sector de la red. Esto podría ocasionar la desconexión de un número indeterminado de nodos, como se puntualiza en [8]. Para subsanar este problema, basándose en las características de las aplicaciones de interés para este trabajo, se propone la división del entorno a supervisar en una cuadrícula con divisiones uniformes y adyacentes como se muestra en la figura 1. Las ventajas de este enfoque se detallarán en las subsecciones siguientes.

4.1 Generalidades del algoritmo

Este algoritmo se desarrolló para aplicaciones de supervisión ambiental con recolección periódica de datos. En este dominio las variables poseen una fuerte correlación espacio/temporal de valores entre nodos vecinos. Para aprovechar esta característica se propone utilizar clusters aplicando alguna función de agregación que dependerá de la aplicación particular. Otras características de la red sobre la que trabajará el algoritmo son:

- Nodos fijos y homogéneos; con el mismo nivel de energía inicial.
- Densidad de nodos uniforme.
- Nodo sink único fuera del área monitoreada.

La ubicación de cada nodo se conoce inicialmente y por lo tanto es posible dividir la zona bajo estudio en una cuadrícula uniforme, identificando cada nodo dentro de las divisiones de la misma. Este enfoque persigue dos objetivos: asegurar que no queden nodos desconectados para una disposición dada de CH, y mantener acotada la cantidad de saltos necesarios para que los datos de los nodos miembro alcancen la CH correspondiente.

El uso de una cuadrícula virtual ya fue propuesto en [9] por Al-Karaki. En su algoritmo, los clusters coinciden con las divisiones de la cuadrícula, y el rol de CH se rota entre los nodos miembros de la misma teniendo en cuenta su energía remanente. En el algoritmo que aquí se propone, cuando se rotan las CH, se vuelven a definir los clusters, pudiendo incorporarse nodos de otras divisiones de la cuadrícula. Esto involucra un mayor número de mensajes de control, pero dichos mensajes son muy breves. Lo que se busca minimizar al introducir clusters dinámicos es el número de transmisiones de datos, al disminuir la cantidad de saltos necesarios. Los mensajes con información del ambiente son mucho más extensos que los de control, y por este motivo se considera beneficioso reducir el tráfico de los primeros a cambio de un incremento de los últimos.

Por último, el funcionamiento del algoritmo se divide en dos rondas bien diferenciadas. La primera se ocupa del establecimiento del árbol de encaminamiento (R1) y la segunda del envío de datos al sink (R2). Estas rondas se repiten periódicamente durante todo el tiempo de vida de la red.

4.2 Establecimiento del árbol de encaminamiento

En cada división de la cuadrícula se seleccionará una cabecera de cluster, por lo que existirán tantos clusters como divisiones en la cuadrícula como puede verse en la figura 1.

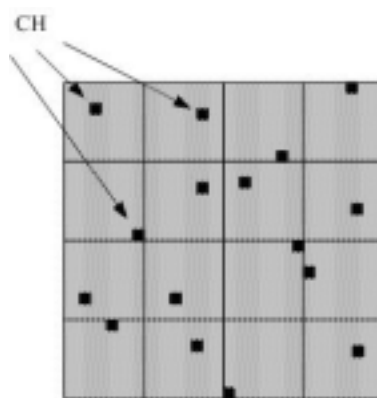


Figura 1: cuadrícula genérica

La ronda R1 del algoritmo se ocupa de definir la estructura de los clusters y la comunicación intra e intercluster. Para ello se encaran diversas tareas que se describen a continuación.

4.2.1 Selección de cabeceras

Los nodos de cada división están identificados con un ID. Cuando comienza a trabajar la red, el nodo con mayor ID de cada partición de la cuadrícula elige en forma random el primer cabecera. En las rondas siguientes cada cabecera elige en forma random a su sucesor y lo notifica. Cada nodo de la red conoce el mayor ID de su división y al asumir el rol de cabecera se autoelimina de una lista de candidatos a CH que recibe de su predecesor. Cuando todos los nodos de una división han cumplido con el rol de cabecera, todos serán nuevamente posibles candidatos. El cabecera que al autoeliminarse de la lista de candidatos obtiene una lista vacía, le advierte al nodo de mayor ID de su división este hecho y se repite el proceso.

4.2.2 Formación de clusters

El árbol de encaminamiento jerárquico se definirá en dos niveles. El primer nivel establecerá la estructura de cada cluster. Luego de seleccionar las cabeceras, cada nodo miembro decidirá a que cluster pertenece. Para ello cada CH debe enviar un mensaje de estructura de cluster (EC) como se muestra en la figura 2.

Tipo mensaje	ID cabecera	Emisor	Nivel Emisor
-----------------	----------------	--------	-----------------

Figura 2: Estructura del mensaje tipo EC

En este contexto es de gran importancia el concepto de nivel de cada nodo, que es la menor cantidad de saltos que lo separan de su cabecera. De la misma forma resulta relevante que cada nodo identifique al vecino que usará para enviarle mensajes a su CH, al que se llama Ruta Al Sink (RAS).

Los nodos no cabecera que escuchen los mensajes EC se incorporarán al cluster del primer CH que escuchen. Luego reenviarán el mensaje EC colocando su ID como emisor y anunciando su nivel, que será el del emisor mas uno. Los nodos que no escuchan ninguna cabecera eligen como RAS a un nodo común, es decir dentro de un cluster la comunicación será multihop. Un nodo puede recibir mensajes EC con diferentes emisores. Puede tomar entonces dos actitudes, desechar el mensaje si su nivel no mejora, o actualizar su nivel y reenviar el mensaje. Para que un nodo mejore su nivel se debe cumplir que el nivel del nuevo nodo emisor es menor que el nivel actual del nodo menos uno.

Las CH deben conocer a sus hijos, por lo que debe existir un mensaje de pertenencia al cluster que envía cada miembro del mismo. Este mensaje se enviará cuando se ha cumplido un tiempo de espera sin escuchar mensajes de tipo EC. Una vez enviado el mensaje de pertenencia, el nodo no puede cambiar de cluster.

La rotación de cabeceras tiende a lograr una distribución uniforme del gasto de energía. Podría ocurrir que los clusters tengan distinta cantidad de miembros. Es importante destacar, que un nodo común que está en una división de la cuadrícula puede sumarse a un cluster cuya cabecera pertenece a otra. En este caso un cluster quedará formado por nodos que pertenecen a más de una división como se muestra en la figura 3.

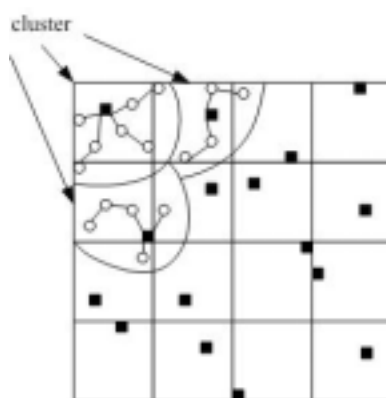


Figura 3: Ejemplo de formación de cluster

4.2.3 Comunicación entre cabeceras

El segundo nivel del árbol de encaminamiento definirá la ruta de comunicación al sink de

todas las cabeceras de cluster. Se establece con el objetivo de que la información agregada alcance al nodo sink, ya que el área a supervisar es de tamaño variable y se puede dar el caso de que no todas las cabeceras alcancen la estación base. En este caso es necesario que las cabeceras lleguen a la estación base a través de su comunicación con otras cabeceras, lo que significa que la comunicación entre las cabeceras y el sink será multihop.

Para establecer la estructura de comunicación entre los CH, el sink envía un mensaje por inundación que se identificó como mensaje tipo E. Este mensaje sólo será tenido en cuenta por los nodos cabecera de cluster, y tendrá la estructura mostrada en la figura 4.

Tipo mensaje	Emisor	Nivel emisor
-----------------	--------	-----------------

Figura 4: Estructura del mensaje tipo E

Cada nodo cabecera que recibe un mensaje tipo E, adopta como RAS al nodo que figura en el tramo Emisor, y su nivel lo calcula sumándole uno al nivel del Emisor. Luego reenvía el mensaje, colocándose él como nodo emisor [11].

Un nodo puede recibir mensajes de este tipo más de una vez desde diferentes nodos cabecera. Entonces su comportamiento es análogo al descrito en el primer nivel de la jerarquía: desecha el mensaje si su nivel no mejora, o actualiza su nivel y lo notifica.

Por lo tanto, luego de la circulación de este mensaje entre los distintos nodos cabecera, queda perfectamente definida la estructura de comunicación de los CH. Al finalizar la definición de los dos niveles del árbol de encaminamiento, se procede al envío de datos hacia la estación base.

4.3 Envío de datos al sink

Los datos son enviados en forma periódica durante la ronda R2 por los miembros del cluster a la cabecera. Esta lleva a cabo la función de agregación y envía el mensaje resultante a su RAS. De esta forma los datos llegarán a la estación base. El algoritmo desarrollado de acuerdo a la clasificación propuesta por Solis en [7] es periódico por salto. El mensaje de datos intracluster tendrá una estructura como se muestra en la figura 5.

Tipo mensaje	Origen	Receptor	Datos
-----------------	--------	----------	-------

Figura 5: Estructura del mensaje de datos intracluster

La comunicación intercluster puede realizarse teniendo en cuenta dos enfoques distintos. Uno es que las cabeceras al recibir mensajes ya agregados de otras cabeceras los reenvíen directamente hacia el sink y el otro es que vuelvan a aplicar una función de agregación y luego envíen el mensaje agregado. En principio, el primer enfoque implica mayor consumo

de energía ya que se transmiten mayor cantidad de mensajes. El enfoque que se adopte depende fuertemente de la función de agregación a realizar sobre los datos, la cual a su vez será definida de acuerdo a las necesidades de la aplicación. Por lo tanto, la estructura del mensaje de datos intercluster dependerá del enfoque adoptado.

4.4 Potencia de transmisión

La potencia de transmisión de los nodos será variable dependiendo del tipo de comunicación a establecer. Para la comunicación intercluster los nodos cabecera transmitirán con mayor potencia, para lograr la comunicación entre ellos y el sink. El intercambio de mensajes intracluster se podrá realizar con una potencia de transmisión menor. Se fija un radio de transmisión r y las divisiones de la cuadrícula tendrán una longitud $2r$ como se muestra en la figura 6. De aquí se concluye que:

$$d = \sqrt{(2r)^2 + (2r)^2}$$

$$d = 2r\sqrt{2} < 3r$$

Por lo tanto en la comunicación intracluster la mayor distancia entre un CH y un nodo será menor a 3 saltos.

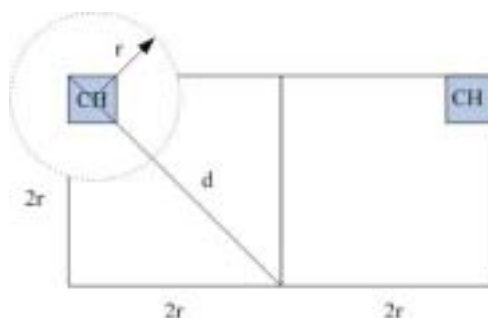


Figura 6: Radio de transmisión intracluster

4.5 Fallos en la red

Durante cada una de las tareas que se desarrollan en las dos rondas del funcionamiento del algoritmo, pueden presentarse fallos. El protocolo desarrollado no da seguridad respecto de la llegada de mensajes a la estación base. Este criterio se adoptó pues para el tipo de aplicaciones de interés es suficiente con fijar un umbral, que representa un porcentaje de pérdida de mediciones admisible, que una vez superado indica que el tiempo de vida de la red ha expirado. Sin embargo, en la ronda R1 de establecimiento del árbol de encaminamiento existen ciertos fallos, que de producirse degradan en forma significativa el funcionamiento de la red. Se considerarán como fallos críticos los que se producen en las etapas de elección de cabeceras y definición de la estructura de comunicación de cabeceras. Para disminuir el impacto de estos fallos se propone los siguientes cursos de acción.

- **fallos en la elección de cabeceras:** la cabecera actual de la cuadrícula elige en forma random a su sucesora y le envía la lista de candidatos a CH. El nodo elegido responde con un mensaje de aceptación. La cabecera actual espera por el mensaje de aceptación un Δt , en caso de no recibirlo elige una cabecera sustituta.

• **fallos en la definición de la estructura de comunicación de cabeceras:** para determinar el tratamiento de los fallos en esta etapa, se debe considerar el enfoque elegido para la comunicación intercluster. Si se adopta el enfoque sin agregación en la comunicación entre cabeceras, el nodo sink conoce la cantidad de mensajes que le deben llegar. Mientras la pérdida de mensajes no sea superior a un porcentaje que se fijará de acuerdo a la aplicación no toma ninguna acción, en caso que se supere ese porcentaje se considerará que el tiempo de vida de la red ha expirado. Si se adopta el criterio con agregación en la comunicación entre cabeceras, será cada CH el que deba verificar el porcentaje de pérdida de mensajes aceptado y tomar las acciones correspondientes. Esto es posible ya que cada cabecera conoce la cantidad de CH que reportan a él.

5 CONCLUSIONES

Se ha propuesto un algoritmo de medición periódica de las variables de interés. Este tipo de recolección de datos es muy utilizado en supervisión ambiental. En estas aplicaciones es muy frecuente que exista una fuerte correlación espacio/temporal de las variables involucradas, lo que permite utilizar técnicas de agregación. Se plantea el uso de una cuadrícula para evitar subdivisiones de la red y minimizar la cantidad de saltos para los mensajes de datos. Además, la propuesta de rotación de cabeceras de cluster contribuye al logro de un consumo más uniforme de potencia, prolongando el tiempo de vida de la red.

El algoritmo no garantiza la recepción de todos los mensajes en la estación base. Sin embargo controla dos puntos críticos en el envío, que son la selección de cabeceras y la definición de la estructura de comunicación entre cabeceras. Este control implica la incorporación de mensajes que incrementan el tráfico en la red. Dicho incremento se ha considerado necesario ya que los fallos en estas etapas degradan rápidamente el funcionamiento del sistema.

6 TRABAJO FUTURO

El funcionamiento del algoritmo propuesto debe ser verificado por simulación. Se espera realizar esta tarea con el fin de evaluar su desempeño para cotejarlo con el análisis realizado. Para un mismo entorno de trabajo se propone comparar la eficiencia del algoritmo propuesto en cuanto al tiempo de vida de la red, respecto a un algoritmo que no realiza ningún tipo de agregación. Otra simulación de interés es comparar los dos enfoques planteados, para la estructura de comunicación de cabeceras. Finalmente, se podría variar las dimensiones de la cuadrícula definida, lo que modificaría la definición de los clusters, y considerar su impacto sobre el desempeño de la red. Esta última prueba sería particularmente interesante cuando se trabaja con redes de distribución no homogénea de nodos.

REFERENCIAS

[1] Aboelaze M., Aloul F. Proceedings of Wireless and Optical Communications

Networks, 2005. WOCN 2005, 2005.

[2] Cook D., Das S. Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications. Wiley-Interscience, ISBN 0-471-54448-5, 2004.

[3] Krishnamachari B., Estrin D. and Wicker S. The Impact of Data Aggregation in Wireless Sensor Networks. *Proceedings of 22nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW '02)* p. 575, 2002.

[4] Dunlap R. In-Network Aggregation in Wireless Sensor Networks. College of computing. Georgia Institute of Technology. USA, 2004

[5] Karl H., Willig A. *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons. ISBN 0-470-09510-5, 2005.

[6] Shrivastava N., Buragohain C., Agrawal D. Medians and Beyond: New aggregation Techniques for Sensor Networks. University of California. *Proceedings of the Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2004)*, 2004.
<http://www.cs.virginia.edu/~son/cs851/papers/ucsb.sensys04.pdf>

[7] Solis I. and Obraczka K. In-network aggregation trade-offs for data collection in wireless sensor networks. *International Journal of Sensor Networks 2006*, Vol. 1, No.3/4 p. 200 – 212, 2006.

[8] Al-Karaki J. N., Kamal A. E. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey. *IEEE Wireless Communications*, 2004

[9] Al-Karaki J. N., UI-Mustafa R., Kamal A E.. Data Aggregation in Wireless Sensor Networks - Exact and Approximate Algorithms. *Workshop on High Performance Switching and Routing*, p. (4) 241-245, 2004.

[10] Heinzelman W.. Application-specific protocol architectures for wireless networks. *In PhD thesis, Massachusetts institute of technology*, June 2000.

[11] D'Agostino E., Giandoménico E., Corti R., Martinez R. Ruteo en redes inalámbricas de sensores inteligentes, Universidad Nacional de Rosario, *Reporte técnico*, RT-ID-06/03, 2007. http://www.fceia.unr.edu.ar/secyt/rt/2006/rtid06_03.pdf