

Clustering Dinámico para Tiempo de Encendido Mínimo en Redes Inalámbricas de Sensores (CLUDITEM). Definición del árbol de encaminamiento

Estela D'Agostino*

Rosa M. Corti*

Enrique E. Giandomenico*

Javier Belmonte*

Roberto M. Martinez*

*Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura, Rosario, 2000, Argentina.
{estelad, rcorti, giandome, belmonte, romamar}@fceia.unr.edu.ar

Abstract

Intelligent Wireless Sensors Networks (IWSN) are particularly useful in hard access or hostile environments, where constitutive node maintenance is very difficult. These Networks are self organized to adapt to changing topologies, and shall work under strong energy constraints trying to maximize its life time. A hierarchical algorithm routing tree definition for periodical data acquisition in environmental supervision applications is analyzed in this work. The main objectives are to diminish and to adequately distribute the energy consumption using dynamic clustering and keeping shutted off the nodes transceivers as long as possible. Simulations made and achieved results are reported in this work. Future works are proposed based on the conclusions.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Routing Algorithm, Dinamic Clustering.

Resumen

Las Redes Inalámbricas de Sensores Inteligentes (RISI) son particularmente útiles en ambientes hostiles o de difícil acceso, donde el mantenimiento de los nodos que las constituyen es muy dificultoso. 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. En este trabajo se analiza la definición del árbol de encaminamiento de un algoritmo jerárquico para adquisición periódica de datos en aplicaciones de supervisión ambiental. Sus objetivos son disminuir y distribuir adecuadamente el consumo de energía, para lo cual se utiliza clustering dinámico y se mantienen apagados los transceptores de los nodos el mayor tiempo posible. En el trabajo se describen las simulaciones realizadas y se reportan los resultados alcanzados. Además, se proponen líneas de trabajo futuro teniendo en cuenta las conclusiones obtenidas.

Palabras clave: Redes de sensores inalámbricas, Algoritmos de encaminamiento, Clustering dinámico.

1 INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas de sensores inteligentes (RISI) se utilizan para medir variables del medio, con el objetivo de realizar la supervisión y control de entornos y actividades de la más diversa índole. Las RISI se integran en aplicaciones industriales, médicas, agrícolas, de preservación del medio natural o creación de ambientes inteligentes, entre otras. En muchas de las aplicaciones mencionadas, la adquisición 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 [1].

Los nodos que constituyen una RISI son capaces de procesar los datos colectados y colaborar con sus vecinos para transmitirlos hacia la/las estación/es 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 [2] [3].

Una RISI consta de un gran número de nodos constituidos por cuatro módulos: adquisición de datos, procesamiento, transceptor y potencia [4]. Cada nodo, de acuerdo a las tareas que realice, puede estar en uno de los siguientes estados: transmisión, recepción, en escucha y apagado. En transmisión, el nodo ha ganado acceso al medio y envía información a la red. En recepción, detecta la llegada de un mensaje enviado por un vecino, en estado de escucha está analizando el medio y cuando se apaga, no realiza actividad alguna consumiendo el mínimo de energía posible. Por lo tanto, cuanto más tiempo permanezca un nodo en este último estado, consumirá menos y su tiempo de vida será más prolongado [5].

En este trabajo se analiza la definición del árbol de encaminamiento de un algoritmo desarrollado por el Grupo de Redes Inalámbricas de Sensores Inteligentes (GRISI) [1]. Este algoritmo, llamado CLUDITEM, está dirigido a aplicaciones de supervisión ambiental y uno de sus objetivos es maximizar el tiempo que los nodos están apagados, como se explica en la sección 2. El entorno bajo estudio se divide en una cuadrícula uniforme, para lograr una distribución favorable de las cabeceras de clusters (CH), con el fin de distribuir uniformemente el consumo de energía entre los nodos de la red.

Este artículo se organiza de la siguiente forma: en la sección 2 se describe el algoritmo desarrollado, y en la sección 3 se detallan las simulaciones realizadas respecto a las dos fases de definición del árbol de encaminamiento. Finalmente en las secciones 4 y 5 se enumeran las conclusiones alcanzadas y se proponen líneas de trabajo futuro.

2 DESCRIPCIÓN DE CLUDITEM

El algoritmo desarrollado realiza adquisición de datos en forma periódica. Los nodos envían información útil a la estación base en cada período de sensado (T). Los nodos de la red son idénticos, respecto a recursos y energía inicial. Se distribuyen manualmente una única vez y son fijos. La estación base (sink) es única y se encuentra fuera del área bajo estudio.

El tiempo de vida de la red es una de las métricas más importantes para evaluar la performance de las RISI. Existen diversos criterios para fijar cuando se considera que la red ya no cumple con los objetivos para los cuales ha sido desarrollada [6]. Algunos de los criterios más utilizados son: cuando muere el primer nodo, cuando la pérdida de mensajes es superior a cierto porcentaje, o cuando una de las zonas en que se dividió el área a supervisar queda desconectada. En CLUDITEM se adopta un porcentaje de mensajes perdidos. Esto se debe a que en las aplicaciones de interés se colecta información redundante, por lo que resulta admisible la pérdida de algunas mediciones.

Los valores de las variables de interés, en aplicaciones de supervisión ambiental, poseen una fuerte correlación espacio/temporal entre nodos vecinos. Aprovechando esta característica se propone utilizar clusters aplicando alguna función de agregación, que dependerá de los parámetros medidos y del entorno bajo estudio [7]. Al incorporar agregación, se prolonga la vida útil de la RISI, reduciendo el tiempo en que los nodos están encendidos. Además disminuye la congestión en la red acotando la cantidad de colisiones [8] [9]. Por otro lado, la comunicación entre los nodos de la red es por radiofrecuencia, y un objetivo del algoritmo es que los nodos permanezcan apagados el mayor tiempo posible, para ahorrar energía.

CLUDITEM divide el área a supervisar en una cuadrícula virtual. Cada nodo de la red está diferenciado por un ID de un byte de longitud, del cual los cuatro bits más significativos identifican la división de la cuadrícula (IDHi), y los cuatro menos significativos representan al nodo (IDLi). El uso de una cuadrícula virtual ya fue propuesto por Al-Karaki [10]. En su algoritmo, los clusters coinciden con las divisiones de la cuadrícula, y el rol de cabecera se rota entre los nodos miembros de la misma teniendo en cuenta su energía remanente. En CLUDITEM, 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. El objetivo de combinar una grilla virtual con la definición dinámica de clusters es lograr una distribución uniforme de CH en el área bajo estudio, y un consumo de energía mejor distribuido entre los nodos de la red [11].

Por último, el funcionamiento de CLUDITEM se divide en dos rondas bien diferenciadas. La primera se ocupa del establecimiento del árbol de encaminamiento y la segunda del envío de datos al sink. Estas rondas se repiten periódicamente durante todo el tiempo de vida de la red [1].

2.1 Definición del árbol de encaminamiento

El árbol de encaminamiento jerárquico se define en dos niveles. El primer nivel establece la estructura de cada cluster. El segundo nivel se ocupa de la definición del árbol de CH, que se encarga de enviar los datos agregados hasta la estación base. Esta fase se considera crítica, ya que un fallo en la misma puede producir subredes desconectadas que afectan seriamente el funcionamiento de la red.

Cada cluster se define seleccionando en primer lugar su CH. Las cabeceras se postulan respetando un esquema de tipo TDMA mediante un mensaje de estructura de cluster (EC). Los nodos comunes adhieren a una cabecera y eligen su nodo de enlace (NDE). Dentro del cluster la comunicación es multisalto, y los nodos comunes (NC) poseen un nivel definido por la cantidad de saltos que los separan de su CH. Para definir la estructura del cluster, cada NC que escucha la postulación del CH reenvía el mensaje recibido con la información necesaria para que otros nodos puedan adoptarlos como NDE. Luego los nodos que no cumplen el rol de cabecera duermen hasta la fase de envío de datos. De acuerdo al TDMA definido, el nodo se propone como cabecera si carece de NDE, o posee un nivel mayor a 1 y su NDE corresponde a una celda distinta a la suya. Esta condición para postulación de los nodos permitió lograr una mejor distribución de CH en la red. Un análisis detallado de la definición de los clusters se presenta en [11].

2.2 Rotación de Cabeceras

Las postulaciones durante la fase de definición de clusters, se realizan en forma secuencial de acuerdo al IDLi de cada nodo. El rol de cabecera de cluster es exigente respecto del consumo de energía, por lo cual se hace necesario rotarlo periódicamente con el fin de distribuir el consumo en forma más uniforme. Cuando un nodo asume este rol lo cumple durante una cierta cantidad de rondas de envío de datos (X), y luego se realiza la rotación de CH. Si las cabeceras mantienen su rol demasiado tiempo,

se agotan y se producen desconexiones en la red. Si X es demasiado pequeño, se consume mucha energía en el rearmado del árbol de encaminamiento. Por lo tanto existe un valor de X que permite distribuir el gasto de energía en la red prolongando su tiempo de vida útil [6].

La energía inicial del nodo (E_{IN}) debe ser mayor o igual que la necesaria para un número entero de rotaciones completas de CH en una celda (Z), para lograr una distribución uniforme del consumo. Esto garantiza que todos los nodos han sido CH Z veces. El valor de E_{IN} se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$E_{IN} \geq Z \cdot (E_{AECH} + E_{CH} \cdot X + E_{AENC} \cdot (n-1) + E_{NC} \cdot (n-1) \cdot X)$$

E_{CH} : Energía gastada por CH para transmitir datos en un período de envío (T).

E_{NC} : Energía gastada por un nodo común (NC) para transmitir datos en T .

E_{AECH} : Energía gastada por CH para armar el árbol de encaminamiento.

E_{AENC} : Energía gastada por NC para armar el árbol de encaminamiento.

El armado del árbol de encaminamiento implica un gasto de energía considerable, y es deseable reducir la cantidad de veces que se lleva a cabo. Por lo tanto, para lograr que todos los nodos sean CH la misma cantidad de veces y minimizar el consumo, se asume que cada nodo es una única vez cabecera en su celda. Esto significa que Z es igual a uno. En consecuencia, a partir de la expresión anterior, se obtiene el valor más conveniente para X según:

$$X \leq \frac{E_{IN} - E_{AECH} - E_{AENC} \cdot (n-1)}{E_{CH} + E_{NC} \cdot (n-1)}$$

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 puede ocurrir que no todas las cabeceras alcancen la estación base. Por lo tanto la comunicación entre las cabeceras y el sink puede ser multisalto.

Durante la puesta en régimen de la red, la estación base difunde por inundación un mensaje que utilizan los nodos para sincronizar inicialmente sus relojes. El radio de transmisión de este mensaje es el mismo que utilizan los CH para comunicarse entre sí. Los nodos que escuchan directamente al sink, lo registran. Los nodos que asumen el rol de cabecera y han escuchado a la estación base, son los que inician el armado del árbol de cabeceras, con un mensaje de estructura de árbol de CH (ACH). A partir de los datos que se incluyen en el mismo, cada CH elige su nodo de enlace (NDE) como la cabecera que escucha con menor nivel (la más cercana al sink en saltos). Luego, reenvía el mensaje ACH comunicando su ID y su nivel. Este envío de mensaje tiene como objetivo que otros nodos lo elijan como NDE.

Un CH que no escucha a ningún vecino queda como CH sin enlace. Si asumimos la inexistencia de obstáculos, esta situación puede tener dos causas, una por corrupción de mensajes ocasionada por colisiones o interferencias, y la otra por utilizar una potencia de transmisión insuficiente. El último caso se previene proponiendo una potencia que garantice la comunicación entre los cabeceras y los CH de nivel uno con el sink, como se detalla en [11]. La desconexión de un CH por congestión en la red, constituye una falla grave ya que cada cabecera es la encargada de transmitir la información de todos los miembros de su cluster. En la sección que trata el envío de datos al sink se propone una posible solución para este problema. El comportamiento de un nodo durante la fase de armado del árbol de

2.3.1 Análisis de Tiempos

El tiempo que insume el armado del árbol de cabeceras (T_{AC}) se estima utilizando la siguiente fórmula:

$$T_{AC} = 2 \cdot T_{DAC} + K \cdot P \cdot (T_M + T_{MAC})$$

P: profundidad máxima del árbol.

T_M : tiempo para transmitir una trama.

T_{MAC} : tiempo de acceso al medio.

T_{DAC} : tiempo máximo de desfasaje entre CHs.

K: número estimado de mensajes enviados por cada CH.

Durante el armado del árbol de cabeceras, los CH transmiten un número variable de mensajes ACH. Esta cantidad está relacionada con los mensajes recibidos y la posibilidad de mejorar su nivel. Por lo tanto se define para el cálculo una constante K, que representa el número estimado de mensajes que envía cada CH. Una vez cumplida la fase de armado del árbol de CH, se procede al envío de datos hacia el sink.

2.4 Envío de datos a la estación base

La fase de envío de datos se divide en dos etapas. La primera consiste en el envío de datos intracluster, en la cual los CHs reciben la información colectada por los nodos miembros de su cluster. Cada cabecera aplica posteriormente la función de agregación seleccionada. La segunda etapa considera el envío de datos intercluster implementada por el árbol de cabeceras.

En la etapa intracluster los nodos comunes envían los datos adquiridos utilizando un esquema de tipo TDMA para reducir la posibilidad de colisiones. Cada nodo común que recibe un mensaje de datos y verifica que su ID coincide con el NDE del nodo emisor, reenvía el mensaje a su propio NDE.

En la segunda etapa de envío de datos intercluster el número de nodos involucrados es mucho menor, ya que solo participan los CH. Por lo tanto el tráfico de red es reducido, la cantidad de posibles colisiones es menor y solo se prevé un segundo intento de envío si en el primero las cabeceras no pueden acceder al medio. Si algún CH está desconectado del árbol de cabeceras, la solución que se propone es que envíe su mensaje agregado con un código de ayuda. El sink será el encargado de filtrar repeticiones, pues el mensaje de pedido de ayuda es retransmitido por todos los CH que lo escuchan.

3 RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Se realizaron simulaciones de las dos etapas de definición del árbol de encaminamiento. En primer lugar se trabajó para mejorar la etapa de definición de clusters evaluando distintos parámetros, y luego se analizó la definición del árbol de cabeceras. En ambos casos se dividió el área a supervisar en una cuadrícula de nueve zonas idénticas de lado r, con diez nodos en cada una (n). Para las pruebas se utilizó el simulador desarrollado por el grupo GRISI, disponible en [12].

3.1 Definición de clusters

Los parámetros que se evaluaron en las simulaciones de esta fase, fueron la cantidad de nodos postulantes para el rol de CH, las reglas de postulación y las condiciones bajo las cuales un nodo común procesa un mensaje de estructura. Se analizaron distintas configuraciones de la red, definidas

por el simulador, que ubica al inicio aleatoriamente n nodos en cada celda. Para cada configuración, se realizó una rotación completa de cabeceras, o sea, se configuraron los clusters n veces.

En primer término se permitió que en cada reestructuración, si se verificaban las condiciones exigidas, se postularan todos los nodos de cada cuadrícula como CH. Se observó que los clusters quedaban definidos en un tiempo mucho menor al correspondiente a las diez postulaciones. Por lo tanto, se concluyó que no era necesario que todos los nodos aspiraran al rol de cabecera en cada ronda de configuración. Al limitar el número de postulantes a CH se puede reducir el tiempo de encendido de los transeptores, y lograr un ahorro importante de energía. La desventaja asociada se refiere a la posibilidad de que existan nodos desconectados, que no logren enviar los valores medidos [11].

Se realizaron simulaciones variando la cantidad de nodos postulantes en cada rotación, para evaluar el número más adecuado de aspirantes a CH, con el fin de balancear el ahorro de energía por tiempo de apagado, respecto del número de nodos aislados en los clusters. Se analizaron los resultados de distintas pruebas con un número variable de postulantes de uno a tres.

Se descartó el uso de una postulación única por cluster, pues la cantidad de nodos aislados resultó muy elevada (10%). Con la postulación de dos nodos la cantidad de nodos desconectados disminuye, pero aún es alta de acuerdo a las necesidades de las aplicaciones (entre 2,3% y 2,8 %). La postulación de tres nodos presenta un decremento interesante de la cantidad de nodos aislados (1,5 %). Este porcentaje se encuentra dentro de los márgenes aceptables para las aplicaciones. Por lo tanto se decidió fijar en tres el número de postulantes por cada ciclo de armado de cluster. En la figura 2 se puede observar la cantidad de nodos aislados para dos y tres postulantes para diferentes configuraciones de la red. En dicha figura se contabiliza el número de nodos aislados en cada celda al realizarse diez rondas de definición de clusters.

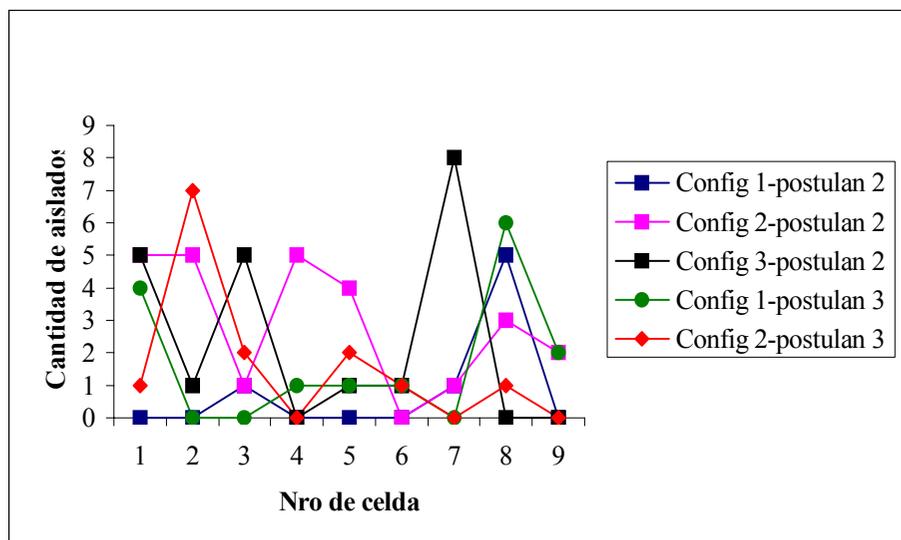


Figura 2: Nodos aislados al variar la cantidad de postulantes a CH

Las condiciones de postulación de CH y las reglas bajo las cuales un nodo común procesa un mensaje de estructura de cluster (EC), impactan en la cantidad de cabeceras en cada celda y en la cantidad de miembros de cada cluster. La tabla 1 resume las condiciones para procesamiento de mensaje EC definidas en las simulaciones realizadas. Como puede verse en la misma, no siempre que un nodo

tenga la posibilidad de mejorar su nivel procesará el mensaje EC recibido. Las condiciones propuestas apuntan a priorizar la elección de una cabecera en la misma cuadrícula.

Tabla 1: Condiciones de procesamiento de mensajes EC

Mejora su nivel	celda Msg = celda Mia	celdaCHactual = celda Mia	SI
		celdaCHactual \neq celda Mia	SI
	celda Msg \neq celda Mia	celdaCHactual \neq celda Mia	SI
		celdaCHactual = celda Mia	NO
No mejora su nivel	celda Msg = celda Mia	celdaCHactual \neq celda Mia	NO
		celdaCHactual = celda Mia	NO
	celda Msg \neq celda Mia	celdaCHactual = celda Mia	NO
		celdaCHactual \neq celda Mia	NO

Las condiciones de postulación para un nodo son: no tiene NDE o si lo tiene pertenece a otra celda y su nivel actual es mayor a 1. La primera opción es para no quedar desconectado. La segunda favorece el enlace dentro de la misma celda salvo que su nivel sea el mínimo posible. Nuestra hipótesis de trabajo es que las condiciones definidas permitirán lograr clusters más homogéneos y una cantidad de CH por celda aproximada a uno [11]. En la figura 3 se muestra el resultado de las simulaciones realizadas, que comprueban la validez de la hipótesis planteada.

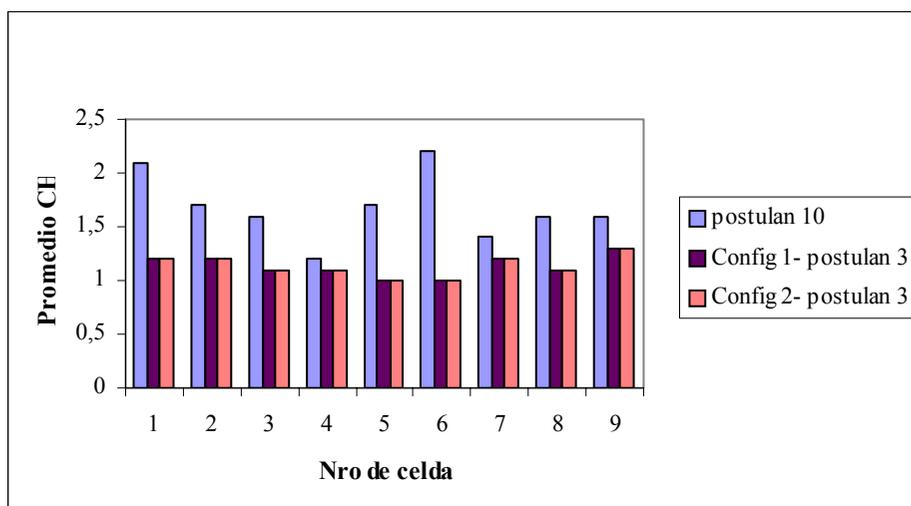


Figura 3: Promedio de CH por celda

Por lo tanto se adopta la modificación propuesta respecto a las condiciones para procesar un mensaje de estructura. Además, en las distintas simulaciones se observaron variaciones en los resultados dependiendo de la ubicación de los nodos en las celdas. Esta última queda definida por el simulador. Se verifica así que los resultados obtenidos varían de acuerdo con la topología de la red, como ya se puntualizó en [11].

3.2 Definición del árbol de CH

Las simulaciones de esta fase, incluyeron el sink ubicado fuera del área a supervisar, pero cercano a ella, como se muestra en la figura 6. Se obtuvo el árbol de CH correspondiente para cada estructura de clusters en una rotación completa de cabeceras, considerando distintas configuraciones de la red.

Para garantizar la comunicación entre CHs, se calculó un radio de transmisión R según la expresión:

$$R^2 = (2 \cdot L)^2 + L^2 + FS$$

FS: factor de seguridad.

L: lado de la cuadrícula.

La definición del árbol de CH se simuló utilizando R y se observó que más del 50% de las cabeceras se comunicaban directamente con el sink, resultando un árbol de muy poca profundidad. Por lo tanto, se decidió reducir progresivamente el radio de transmisión con el fin de disminuir la potencia consumida y prolongar el tiempo de vida de la red. Se verificó que la profundidad del árbol aumentaba, mientras la cantidad de CH de nivel 1 disminuía como se muestra en la figura 4. En la misma, el eje X está normalizado respecto de R^2 . La cantidad de CH mostrada contabiliza las cabeceras definidas para las n reestructuraciones correspondientes a una rotación completa.

La desventaja de reducir la potencia de transmisión reside en que, dependiendo de la ubicación de las cabeceras, pueden quedar CHs desconectados del árbol. Por lo tanto se buscó una solución de compromiso entre el ahorro de energía y la posibilidad de que se presenten cabeceras aisladas. Se decidió no aceptar que un árbol de CH presente el 20% o más de cabeceras sin NDE, considerando los requerimientos de las aplicaciones de interés.

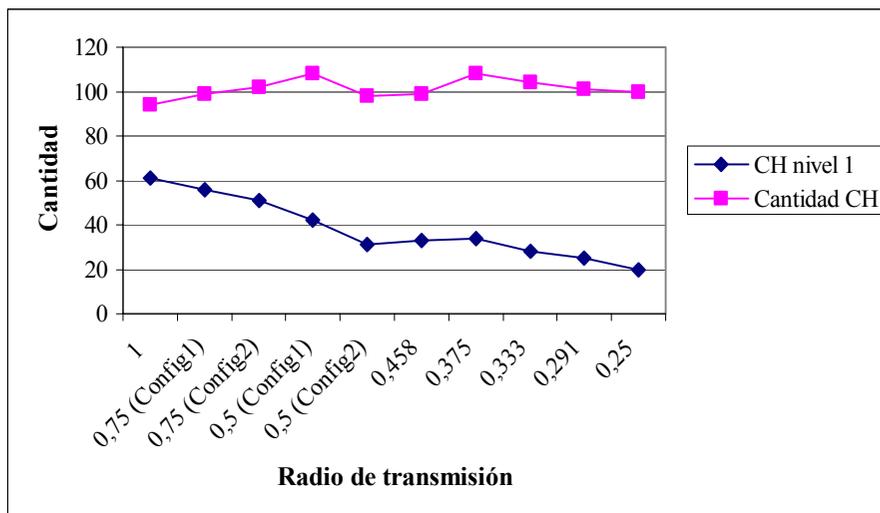


Figura 4: Proporción de CH de nivel 1.

Los resultados de las simulaciones realizadas para R^2 , $0,75 R^2$ y $0,5 R^2$ muestran que no quedan CHs sin NDE. La figura 5 presenta los casos en los cuales sí quedaron CHs aislados en el árbol, para distintos radios de transmisión. En todos los casos se definen árboles de CH con un número de cabeceras desconectadas que supera el porcentaje admisible. Por lo tanto, se adoptó la potencia de transmisión correspondiente a $0,5 R^2$, como la solución de compromiso buscada. La figura 6 presenta el resultado de una ronda de configuración del árbol de encaminamiento para la potencia de transmisión adoptada.

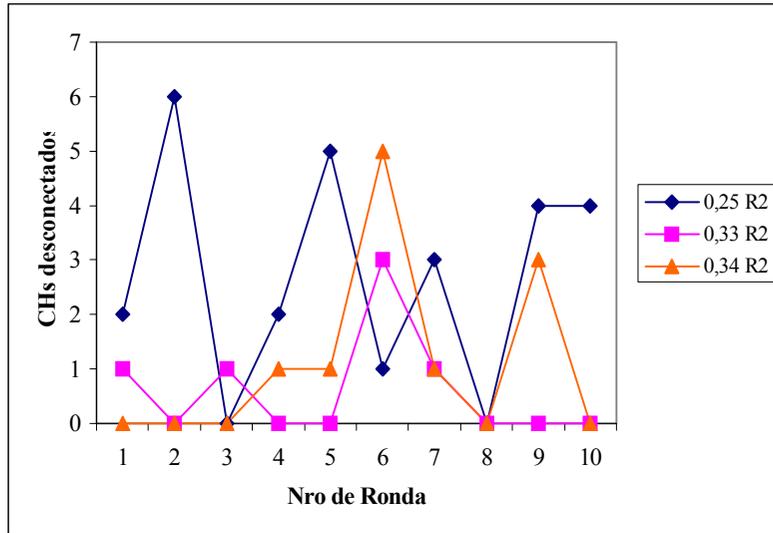


Figura 5: CHs desconectados por ronda para distintos R²

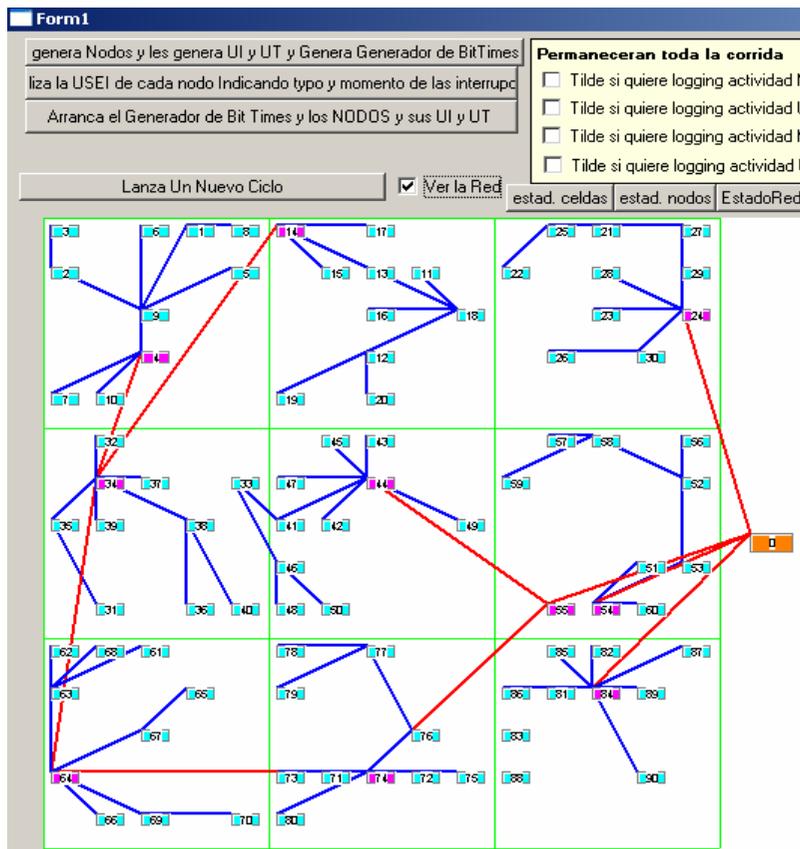


Figura 6: Árbol de encaminamiento definido en una ronda de configuración

4 CONCLUSIONES

Las simulaciones realizadas permitieron obtener conclusiones respecto de las dos fases de la definición del árbol de encaminamiento. Respecto de la definición de los clusters se modificó el número de nodos postulantes a CH, adoptando tres aspirantes por ronda para balancear el ahorro de energía por tiempo de apagado, respecto del número de nodos aislados en los clusters. Por otro lado se modificaron las reglas de procesamiento de mensajes EC, lo que permitió lograr que el número de CHs por celda se acercara a uno, y los clusters fueran más homogéneos respecto al número de miembros. Los resultados de simulación permitieron observar que la distribución de los nodos en las celdas era un factor determinante para la definición de los clusters.

La fase de definición del árbol de CH, se simuló para distintos radios de transmisión, lo que permitió adoptar el valor más adecuado con el fin de disminuir el consumo de energía sin resentir la conexión entre las cabeceras y el sink.

5 TRABAJO FUTURO

Se advirtió durante las simulaciones realizadas, que la ubicación de la estación base cumple un rol muy importante en el armado del árbol de CH. Por este motivo se planea analizar los resultados con el sink ubicado en distintas locaciones externas al área monitoreada.

Además se avanzará sobre la etapa de envío de datos intracluster. En esta fase, se analizará la carga en la red y el impacto de las colisiones sobre la pérdida de información. Este aspecto es muy importante ya que en las aplicaciones de interés, se admite que parte de las mediciones no alcancen la estación base, pero es importante que la pérdida de datos no se concentre en una misma zona o celda del área bajo estudio.

Finalmente, se trabajará sobre el envío de datos agregados hacia el sink. En esta última fase se estudiará el impacto de la solución propuesta para los CH que quedan sin NDE en el árbol de cabeceras, por corrupción de mensajes ACH. Si bien la misma incrementa la circulación de mensajes entre los CH, se espera que este aumento no ocasione inconvenientes ya que la cantidad de nodos participantes es mucho menor que en la fase de envío de datos intracluster.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Corti R., D'Agostino E., Giandomenico E., Martinez R. Algoritmo de encaminamiento para redes de sensores inalámbricas utilizando técnicas de agregación. XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación XIII CACIC. Corrientes y Resistencia, Argentina, octubre 2007.
- [2] Aboelaze M., Aloul F. Current and future trends in sensor networks: a Survey. Proceedings of Wireless and Optical Communications Networks, 2005. WOCN 2005, 2005.
- [3] Cook D., Das S. *Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications*. Wiley-Interscience, ISBN 0-471-54448-5, 2004.
- [4] D'Agostino E., Giandomenico E., Corti R., Martinez R., Belmonte J. Algoritmo de encaminamiento para redes inalámbricas de sensores inteligentes. 36° Jornadas Argentinas de Informática 36 JAIIO. Mar del Plata, Argentina, 2007.
- [5] Boukerche A., Cheng X., Linus J.: A Performance of a Novel Energy-Aware Data-Centric Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks. *Wireless Networks*, vol. 11, pp 619-635, Springer, 2005.

- [6] Heinzelman W. Application-specific Protocol Architectures for Wireless Networks. In PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [7] Li L., Song S., Wen X. An energy efficient clustering routing algorithm for wireless sensor networks. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, vol. 13, Issue 3, pp 71-75, 2006.
- [8] 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, ACM, 2004.
- [9] Stathopoulos T., Kapur R., Estrin D., Heidemann J., Zhang L. Application-Based Collision Avoidance in Wireless Sensor Networks. Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, LCN'04, 2004.
- [10] Al-Karaki J. N., UI-Mustafa R., Kamal A E. Data Aggregation in Wireless Sensor Networks - Exact and Approximate Algorithms. Proceedings of the Workshop on High Performance Switching and Routing, pp. 241-245, 2004.
- [11] Corti R., D'Agostino E., Giandomenico E., Belmonte J., Martinez R. Clustering Dinámico para Tiempo de Encendido Mínimo en Redes Inalámbricas de Sensores (CLUDITEM). Análisis de la Definición de Clusters. Anales de la Conferencia Latinoamericana de Informática, CLEI 2008, septiembre 2008.
- [12] Dpto. de Sistemas e Informática FCEIA. Universidad Nacional de Rosario. Argentina <http://www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/sensores/Simulador.zip>