



Reporte Técnico

RT-ID-06/03



Ruteo en redes inalámbricas de sensores inteligentes

Estela D'Agostino¹, Enrique Giandomenico², Rosa Corti³ y Roberto Martinez⁴

*Departamento de Sistemas e Informática
Escuela de Electrónica
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario*

Disciplina: Redes de Sensores Inalámbricas

29 de diciembre 2006

Secretaría de Ciencia y Técnica
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario
Av. Pellegrini 250 - 2000 Rosario – Argentina
<http://www.fceia.unr.edu.ar/secyt>

Ruteo en redes inalámbricas de sensores inteligentes

Estela D'Agostino¹, Enrique Giandomenico², Rosa Corti³ y Roberto Martinez⁴

*Departamento de Sistemas e Informática
Escuela de Electrónica
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario*

Resumen:

Las redes inalámbricas de sensores inteligentes (RISI) son un tipo de red Ad_Hoc. Nacieron gracias al avance extraordinario de la nanotecnología que permitió lograr costos adecuados, tamaño reducido, bajo consumo de potencia y procesamiento limitado. Estas redes están compuestas de nodos, llamados nodos sensores. Se propone un algoritmo de ruteo para dichas redes en el cual consideramos como camino óptimo de los mensajes hacia el sink, al que incluya la menor cantidad de saltos. El algoritmo presentado es tolerante a fallos en la red, y propone soluciones para reconfigurar la misma y hallar rutas alternativas al sink. Además la red garantiza la llegada de los mensajes a la estación base.

Palabras claves: redes Ad-Hoc, redes sensores inalámbrica, encaminamiento.

Abstract:

The wireless sensor networks (WSN) are Ad_Hoc networks. They were born thanks to the extraordinary advance of the nanotechnology that allowed to achieve suitable costs, limited(size) size, low power consumption and limited processing.

These network structures are based on nodes, called sensor nodes. A routing algorithm is proposed. The ideal way of the messages towards the sink includes the minor quantity of hop. The algorithm is tolerant to failures in the network, and proposes solutions to re-set it and to find alternative routes to the sink. Besides, the arrival of the messages to the base station is guaranteed

Keywords: Ad_Hoc networks, wireless sensor networks, routing.

1 estelad@fceia.unr.edu.ar

2 giandome@fibertel.com.ar

3 rcorti@fceia.unr.edu.ar

4 rmartinez@dsi.fceia.unr.edu.ar

Introducción

Las redes inalámbricas de sensores inteligentes (RISI) son un tipo de red Ad_Hoc. Nacieron gracias al avance extraordinario de la nanotecnología que permitió lograr costos adecuados, tamaño reducido, bajo consumo de potencia y procesamiento limitado. Estas redes están compuestas de nodos, llamados nodos sensores [5]. Se trata de un tipo de red formada por un grupo de nodos fijos o móviles, que constituyen una red autoconfigurable sin la ayuda de ninguna infraestructura externa. Para que esto se pueda llevar a la práctica, es necesario que los nodos colaboren entre sí para conseguir el objetivo común de comunicación entre ellos. [4]. En la gran mayoría de estas redes los nodos son generalmente fijos. Un nodo sensor está habitualmente constituido de 4 componentes básicos: [1]

- Sensor propiamente dicho
- Sistema de comunicación
- Sistema de proceso
- Sistema de potencia

Este artículo tratará el proceso de comunicación, atacando como se determinará la ruta, y las acciones a llevar a cabo cuando se reciben los distintos mensajes que se analizarán en secciones subsiguientes. El artículo está organizado de la siguiente forma: la sección 2 versa sobre técnicas de encaminamiento, la sección 3 explica el algoritmo desarrollado, la sección 4 enumera las conclusiones a las que se ha arribado y la sección 5 hace una breve referencia a trabajos futuros

2. Técnicas de encaminamiento

2.1. Generalidades

Con el objetivo de que los nodos establezcan una metodología cooperativa para establecer la comunicación, se debe fijar un algoritmo de encaminamiento que cumplirá con las condiciones que se establezcan, de acuerdo a las necesidades propias de la aplicación.

Toda técnica de encaminamiento propuesta para trabajar en una red RISI debe ser eficiente en cuanto al gasto de energía, ya que generalmente los sensores están alimentados a pilas y habitualmente se encuentran en lugares donde es difícil su reposición.

Cualquier algoritmo de encaminamiento determina el camino de un paquete desde una fuente a un destino. Este camino se debe pensar en base a un objetivo planeado, como ser máximo tiempo de vida de la red, seguridad de que todos los mensajes lleguen al nodo sink, o mínima sobrecarga de la red. Un buen camino es aquel que proporciona costo mínimo de acuerdo al objetivo planteado. No siempre el camino mas corto es el de costo mínimo.

Cuando en una red dos nodos se deben comunicar para el envío de un mensaje existen dos procesos que es útil diferenciar, el enrutamiento propiamente dicho, que es decidir que rutas utilizar y la acción o acciones a tomar cuando llega un paquete y se lo debe enviar a un próximo nodo.

En la definición de un algoritmo de encaminamiento existen muchas condiciones que es necesario tener en cuenta, como ser: distribución de los nodos, método de entrega de datos, heterogeneidad de los nodos, tolerancia a fallas, escalabilidad de la red, topologías cambiantes, medio de transmisión, conectividad, área de cobertura, agregación de datos y calidad de servicio, como se detalla en [4].

2.2. Algoritmos de enrutamiento

Uno de los algoritmos de encaminamiento más conocido, es el llamado inundación, donde cada nodo envía la información que desea mandar a todos sus vecinos, sin considerar si estos ya la recibieron por otra ruta. Este comportamiento puede llevar rápidamente a provocar una implosión en la cantidad de mensajes ni bien la red se torne más compleja para reflejar situaciones del mundo real.

Uno de los comportamientos que se puede pensar para limitar esta implosión es no enviar el mensaje al nodo del cual se recibió, no enviar un mensaje ya enviado con anterioridad, o alguna otra acción que acote la cantidad de mensajes enviados.

Otra técnica de encaminamiento habitualmente usada en los algoritmos, se basa en buscar un camino óptimo mediante el ajuste de algunas características, como ser cantidad de saltos, máximo ahorro de energía, máxima calidad de comunicación.

Las redes de sensores inalámbricas deben manejarse con algoritmos que gasten lo menos posible de energía. En una red la mayor parte de la energía se consume durante la transmisión de datos de un nodo a otro y por lo tanto se buscan técnicas que minimicen la cantidad y el tamaño de los mensajes.

En estos algoritmos lo fundamental son los datos a transmitir. Por ese motivo se los califica como centrados en datos (DC). Sobre ellos es posible realizar algún procesamiento de las variables sensadas aplicando agregación, limitando de esta forma, la información a transmitir para lograr algún ahorro de energía.

Otras redes trabajan con algoritmos centrados en direcciones, donde cada nodo tiene definido a que vecino dentro de la red, debe enviar los datos. Cuando tiene información para transmitir, lo hace sin analizar si el mensaje es significativo para los objetivos de la red. Por ejemplo, considerar si es correcto enviar un mensaje ya enviado, o si es posible que la transmisión dure menos tiempo, para mejorar la funcionalidad y lograr mayor performance. Estas redes no presentan en general restricciones de energía y por lo tanto el análisis sobre cantidad de mensajes enviados o consumo de potencia no es problema para ellas.

2.3. Protocolos centrados en datos

En los protocolos centrados en datos, generalmente se busca aplicar algún tipo de procesamiento en la red de forma que los tiempos de comunicación y tamaño de los mensajes sean lo más pequeños posibles.

El flujo de información puede darse en dos sentidos. El primero es cuando el sink requiere alguna información particular a los nodos que integran la red. Los nodos que poseen esos datos responden encontrando caminos hacia el sink, estableciendo lo que se conoce como multicast inverso. El otro sentido en el que se disemina la información, es cuando un nodo desea enviarle datos al sink y debe encontrar un camino posible hacia él.

Entre los protocolos centrados en datos más conocidos podemos mencionar la familia de algoritmos SPIN y la difusión dirigida.

2.3.1. *Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN)*

Heinzelman propone una familia de protocolos adaptativos que distribuyen la información de cada nodo de la red a todos los nodos. La familia de protocolos SPIN usa negociación de datos y algoritmos de recursos adaptativos. Un protocolo se considera adaptativo si los parámetros de red, varían según la cantidad de energía disponible. [6].

2.3.2. *Difusión dirigida*

Intanagonwiwat propone la difusión dirigida. Es un protocolo de tipo DC y todos los datos generados por los nodos sensores son pares atributo-valor. La idea principal es combinar los datos que vienen de distintas fuentes en la ruta, eliminando redundancia, minimizando el número de transmisiones y salvando energía de la red para prolongar su tiempo de vida. Además la difusión dirigida utiliza refuerzos positivos y negativos para seleccionar los caminos entre los nodos y el sink [3].

2.4. Características de las aplicaciones de interés

Las RISI se usan en aplicaciones muy variadas, entre las que podemos nombrar:

- Monitoreo ambiental
- Monitoreo de vehículos
- Alerta de incendios
- Monitoreo de animales

El dominio sobre el cual se aplican las redes RISI fija una gran parte de las características de la red, como ser:

Sensores homogéneos y/o heterogéneos

- Nodos fijos o móviles
- Una o varias estaciones base
- Algoritmo de enrutamiento seleccionado
- Utilización de técnicas de agregación

3. Algoritmo de encaminamiento desarrollado

Como primer trabajo se presenta un algoritmo que no realiza agregación de datos en cada nodo, y cuyo funcionamiento se verifica mediante simulación en el simulador de redes desarrollado por el grupo de investigación de Redes Inalámbricas de Sensores Inteligentes (GRISI)¹.

¹ Grupo de investigación del Dpto. de Sistemas e Informática de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario.

3.1.Generalidades

El grupo de investigación GRISI está focalizado en las aplicaciones de monitoreo ambiental. En particular, le interesa lograr un mapa de temperaturas de una laguna de estabilización de desechos cloacales. Las dimensiones de estas lagunas en Argentina, varían entre una y tres hectáreas, y por lo tanto, el número de nodos sensores a distribuir no es demasiado alto. [2]

En el algoritmo propuesto, cada nodo debe ser capaz de identificar cual es el camino más conveniente en su ruta al sink. El criterio de selección aplicado se basa en la menor cantidad de saltos necesarios en dicha ruta.

En este contexto se torna de gran importancia el concepto de nivel de cada nodo. Se entiende por nivel de cada nodo la menor cantidad de saltos con conexiones posibles desde él al sink.

La comunicación entre nodos estará fijada por:

Condiciones propias de la red

Condiciones del algoritmo de encaminamiento

El formato de los mensajes a intercambiar y el almacenamiento de los mismos, son determinados por las condiciones fijadas.

Durante este análisis se irán cambiando las condiciones de la red y del algoritmo para ilustrar como evolucionó el diseño del algoritmo propuesto.

3.2.Establecimiento de la estructura de la red y mensajes de los nodos al sink.

Condiciones propias de la red:

Nodo sink único. No se muere nunca.

- Cada nodo será identificado unívocamente en la red por un número entero. El nodo sink tendrá el número cero.
- Cantidad finita de nodos homogéneos y fijos
- Los nodos no se mueren

Condiciones del algoritmo de encaminamiento:

- Cada nodo sólo puede enviar mensajes al sink, es decir se plantea un algoritmo tipo multicast inverso.

Configuración del nodo:

Cada nodo almacenará dos variables utilizadas por el algoritmo:

- Ruta actual al sink (nodo al que debe comunicarse para llegar al sink, RAH)
- Nivel (mínima cantidad de saltos que le permiten enviar un mensaje al sink.)

3.3.Desarrollo del algoritmo

En esta situación extrema de simplificación la red comenzará a funcionar con el envío de un mensaje de estructura desde el sink, al que se llamará tipo E. El mensaje E se difunde con la finalidad de establecer la topología de la red y será de la forma:

Codmsj	Emisor	Receptor	Nivel
--------	--------	----------	-------

En particular el mensaje E que difunde el sink tendrá el siguiente formato:

E	0	Todos los que escuchan	0
---	---	------------------------	---

El envío de los mensajes tipo E es por inundación, excepto que no se envía al nodo del cual se recibió. Cada nodo que recibe el mensaje, utiliza los datos del mismo para establecer su RAH y su nivel. Fija su nivel sumándole uno al nivel del nodo del cual recibió el mensaje, y establece su RAH igual al identificador de dicho nodo. Luego reenvía el mensaje, actualizando el campo de nivel y colocándose él mismo como emisor.

Un nodo puede recibir mensajes de este tipo más de una vez desde diferentes vecinos en la red. En esta situación, analiza la información incluida en los mensajes y puede tomar dos actitudes: desechar el mensaje si los datos que incluye no le permiten mejorar su nivel, o actualizarlo cuando es posible, y reenviar el mensaje para notificar a sus vecinos de su cambio de situación. Para que un nodo pueda mejorar su nivel se debe verificar que:

nivel_nodo_emisor < nivel_nodo_receptor - 1

La circulación de este mensaje entre los distintos nodos de la red permite establecer su topología, a partir de la cual cada nodo conoce la mejor ruta para transmitir las variables sensadas hacia la estación base.

Cuando los nodos sensores necesiten hacer llegar información al sink, utilizarán otro tipo de mensajes que llamaremos D.

El nodo que deba transmitir un mensaje tipo D, lo hará enviandoselo a su RAH. Este mensaje se propagará a través de todos los nodos que forman parte de su ruta al sink.

La estructura de este mensaje será:

Codmsj	Emisor	Receptor	Tramos recorridos	Mensaje
--------	--------	----------	-------------------	---------

En los mensajes tipo D, es interesante almacenar los saltos recorridos por un mensaje para llegar al sink. Con este dato se puede calcular posteriormente, la totalidad de saltos recorridos por todos los mensajes componentes de una transmisión determinada. Este cálculo, en una etapa posterior del desarrollo, puede dar idea del consumo de energía

3.4. La red debe asegurar la llegada de los mensajes tipo D

Para hacerlo el sink contestará cada mensaje tipo D que reciba con un mensaje tipo R de confirmación de recepción.

Este mensaje deberá recorrer la misma ruta que el D que le da origen, pero en forma inversa.

Al exigir que la red incluya esta característica, se hace necesario variar la configuración del nodo, pues éste debe tener capacidad de almacenamiento para guardar los mensajes enviados al sink, y desecharlos sólo después de haber recibido el mensaje tipo R correspondiente. Cada nodo tendrá entonces una estructura de datos para almacenar los mensajes enviados, la cual se llamará listaD.

Con estas hipótesis de trabajo surgen una serie de interrogantes cada vez que un mensaje R llega a un nodo:

- ¿A quien enviarle el mensaje R enviado por el sink?
- ¿Como reconocer en la listaD del nodo (a que) el mensaje tipo D (de los guardados) al que le corresponde el R recibido?

Para responderlos, se debe modificar la estructura de mensaje que se planteó hasta este momento, de forma de poder establecer una correspondencia cierta entre los mensajes almacenados en listaD y los mensajes tipo R que van llegando al nodo.

La nueva estructura de mensaje adoptada es:

Cod Msj	Emisor	Receptor	Nodo que espera Rspta	Tramos Recorridos.	ID único del Msg	Mensaje
---------	--------	----------	-----------------------	--------------------	------------------	---------

Nodo que Espera Respuesta: El nodo que inicia la transmisión de un mensaje hacia el Sink coloca su ID en este tramo. Luego cada vez que un nodo recibe un mensaje tipo D lo almacena en su ListaD y lo retransmite al nodo RHA colocando en este tramo su propio ID.

ID único del Mensaje: Este tramo debe representar una variable que permita identificar perfectamente a cada mensaje como único. Se ha adoptado en este caso la variable Tiempo. El nodo emisor original colocará en este tramo la fecha y hora de la transmisión.

De esta forma pueden contestarse las dos preguntas planteadas anteriormente.

Cuando un nodo recibe un mensaje tipo R busca en su ListaD el equivalente y obtiene de él el nodo a quien debe retransmitir el mensaje y lo elimina de la lista pues dicho mensaje ya ha recibido su respuesta. Si el nodo a quien se le debe reenviar la respuesta es el mismo nodo que esta realizando el proceso, significa que fue él quien envió el mensaje original y por lo tanto no debe retransmitirlo a ningún otro.

3.5. Los nodos pueden quedar fuera de funcionamiento.

El habilitar esta nueva condición abre la posibilidad de que un mensaje enviado por un nodo cualquiera nunca reciba la respuesta que le corresponde. Esto podría ocurrir en un nodo origen del mensaje o en cualquier otro que lo haya retransmitido en su ruta al sink. Esto haría que el mensaje permanezca en la ListaD en forma indefinida.

Para detectar esta situación se establece un valor llamado TiempoDeExpiracion. Este tiempo se establece basándose en las características de la aplicación.

TiempoDeExpiracion: es el tiempo que debe transcurrir, desde el momento en que fue originado un mensaje, para considerarlo expirado. La existencia de mensajes expirados indica que existen problemas en la red y por lo tanto deberán iniciarse acciones tendientes a encontrar para dicho mensaje una nueva ruta al sink.

Para descubrir estas nuevas rutas se introducirá el concepto de round, que es el período de tiempo transcurrido entre dos revisiones sucesivas de la listaD.

Bajo estas nuevas hipótesis de trabajo se modifican las condiciones para la red y el algoritmo, agregándose algunas características.

Las condiciones que se modifican son:

- Los nodos pueden quedar en algún momento aislados del sink, sin que por ello se vea afectado el buen funcionamiento de la red.
- Debe ser posible incrementar el número de nodos aun después que la red esté en funcionamiento.

El algoritmo de encaminamiento debe aceptar que el nodo sink puede recibir el mismo mensaje más de una vez. Para poder cumplir las nuevas condiciones planteadas, se hace necesario establecer una nueva configuración del nodo sensor.

Configuración del nodo:

Cada nodo tendrá las siguientes variables que permiten almacenar la información que debe conocer:

- Ruta actual al sink (nodo al que debe comunicarse para llegar al sink, RAH)
- Nivel (mínima cantidad de saltos que le permiten enviar un mensaje al sink.)
- Ruta alternativa al sink (nodo al que debe comunicarse para llegar al sink, si el RAH no está disponible, RAHA)
- Nivel-RAHA (nivel que tendría el nodo si usa RAHA)
- Status-conexión: indica si el nodo está aislado. No es posible establecer una RAHA alternativa.
- Status-nodo: indica si el nodo está en condiciones de transmitir y/o recibir, independientemente de que tenga o no ruta válida al sink.
- Ultimo-mensaje tipo E: indica el momento en que se recibió el último mensaje de tipo estructura.

3.5.1. Mensajes tipo V

La presencia de mensajes expirados durante la revisión de la listaD de un nodo, implica que existen problemas en la red. Entonces, el nodo cuya listaD se está revisando, actúa enviando un nuevo tipo de mensaje, que se identificará como mensaje V. Esta transmisión busca establecer rutas alternativas para los mensajes con tiempo de expiración vencido. El mensaje V se enviará a todos los nodos que lo escuchan, y obliga a tener una nueva estructura de almacenamiento, que se llamará listaV, dónde se guardará el mensaje tipo V, almacenando en el tramo receptor su RAH.

Estos mensajes pueden ser respondidos, con un mensaje tipo B, lo que indica que existe una posible nueva ruta al sink. En caso que nadie responda con un mensaje B, el nodo queda momentáneamente aislado.

3.5.2. Mensajes tipo B

Los nodos que reciben un mensaje tipo V, responden con un mensaje tipo B, si ellos no tienen problemas. Este último mensaje evidencia que están activos y se utiliza para determinar nuevas rutas alternativas al sink.

Los nodos no responden un mensaje V si se dan alguna de estas alternativas:

- el nodo que recibe el mensaje V, tiene como RAH al emisor del V
- tiene mensajes tipo D expirados en su listaD
- el nodo tiene almacenado en el campo status el valor desconectado

Cuando un nodo recibe un mensaje tipo B, significa que puede tomar al nodo que le respondió como ruta al sink alternativa (RAHA). Aquí como con los mensajes de estructura, elegirá como RAHA al nodo de menor nivel que le respondió. Si el que le envía el mensaje B es su RAH, el nodo que lo recibe, no debe tomar ninguna acción, ya que significa que su ruta al sink está disponible. Si nadie contesta, el nodo queda aislado.

Cuando se descubre una ruta alternativa, se reenvían los mensajes que estaban atascados en las listasD, pero se debe modificar su hora de envío, para que este mensaje no se considere rápidamente como expirado. Por lo tanto, en el tramo fecha-hora del mensaje debe figurar la nueva hora de envío. Sin embargo, es necesario mantener la hora de emisión original como parte del mensaje. Los motivos se detallan más adelante cuando se analiza otro tipo de mensajes llamados T.

La estructura general de los mensajes V es:

V	emisor	receptor	tramos/nivel	tiempoGen	tiempoUltMsg	mensaje
---	--------	----------	--------------	-----------	--------------	---------

3.5.3. Mensajes tipo T

El mensaje tipo T tiene como objetivo advertir al nodo que lo recibe que debe actualizar el tiempo en los mensajes de su listaD que tienen como nodo receptor al nodo que ahora le está enviando el mensaje tipo T.

Lo envían los nodos que encuentran problemas en su RAH y hallan una RAHA alternativa. Es un mensaje prioritario.

Todos los nodos que reciben el mensaje T, actualizan en forma recursiva los tiempos de todos los mensajes que han sido nuevamente enviados hacia el sink.

Cada nodo tiene dos buffer de ingreso de mensajes. Uno es prioritario sobre el otro. El nodo solo lee del otro buffer si el prioritario está vacío. Los mensajes tipo E y T se almacenan en el buffer prioritario. Esto garantiza mantener actualizada la topología de la red.

4. Conclusiones

En el caso de necesitar asegurar que todos los mensajes lleguen al sink este algoritmo, cuyo funcionamiento se experimentó utilizando el simulador de red diseñado por el grupo de investigación, demostró un comportamiento correcto. Las rutas al sink se establecieron respetando la restricción de menor cantidad de saltos, y todos los mensajes enviados fueron recibidos en la estación base. El diseño y prueba de este primer algoritmo, fueron de gran utilidad para afianzar el funcionamiento de GRISI, establecer metodologías de trabajo y definir características para el simulador en desarrollo.

Sin embargo, teniendo en cuenta las características de las redes de sensores, se hace necesario refinar el algoritmo propuesto. Los cambios futuros se establecerán en base a los requerimientos de la aplicación seleccionada, siendo una prioridad disminuir la cantidad de mensajes intercambiados. Esto surge a partir de la experimentación en el simulador, donde se vio que la cantidad de mensajes difundidos por cada paquete de datos era muy alta. Respetando la mayoría de las restricciones impuestas al algoritmo se plantea el mejoramiento del mismo de forma que se realice agregación de mensajes. Con ello se mejoraría el consumo de energía de la red y por lo tanto aumentaría el tiempo de vida de la misma. Para ello la idea es establecer clusters. Se definirán algunos nodos como cabecera de cluster, el cual recibirá datos de nodos sensores y aplicando alguna función de agregación adecuada, enviará los datos hacia el sink

5. Referencias

- [1] Bharathidasan A. & Ponduru V. , *Sensor Networks: an Overview*. **Proceedings of the fifth international conference on Information processing in sensor networks** Nashville, Tennessee, USA. pp: 186 – 193 ISBN:1-59593-334-4, 2006.
<http://www.wcsif.cs.ucdavis.edu/~bharathi/sensor/survey.pdf>
- [2] Ingallinella, A.M., Sanguinetti G., Fernández R.G., Strauss M. & Montangero A.. *Cotreatment of sewage and septage in waste stabilization ponds*. Water Science and Technology Vol 45 No 1 pp 9–15 ©, 2002.
- [3] Intanagonwiwat C., Govindan R. & Estrin D. *Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks*. Proceedings of the ACM/IEEE Conference on Mobile Computing and Networking, Boston, MA, USA. ACM, pp. 56–67, August 2000.
- [4] Karaki J. & Kamal A., *Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: a Survey*. **Wireless Communications, IEEE** , Volume: 11, Issue: 6. ISSN: 1536-1284, Dec. 2004.
- [5] Karl H. & Willig A. *A short survey of wireless sensor networks*, Technical University Berlin Telecommunication Networks Group, Reporte Técnico. Berlin, October 2003.
http://www.tkn.tu-berlin.de/publications/papers/TechReport_03_018.pdf
- [6] Heinzelman W., Kulik J. & Balakrishnan H.. *Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks*. Mobicom '99 Seattle Washington USA.