

HP-FLOOD: Hop and Probability based Flooding algorithm

D. S. Acevedo

Departamento de Ingeniería Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de
Sevilla
Avda. Camino de los Descubrimientos, s/n, 41092 Sevilla,
España

A. B. Villarán

Departamento de Ingeniería Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de
Sevilla
Avda. Camino de los Descubrimientos, s/n, 41092 Sevilla,
España

Resumen—Este documento tiene como objetivo el diseño de un algoritmo de disseminación de mensajes para redes de sensores inalámbricos. HP-Flood permite que un mensaje transmitido por un nodo le llegue a todos los nodos que componen la red de forma eficiente reduciendo para ello el número de retransmisiones. Cada nodo retransmite un paquete mediante broadcast a sus vecinos en función de una probabilidad de retransmisión calculada según el número de saltos que el paquete haya efectuado sobre la red. El desarrollo de HP-Flood se ha realizado para el sistema operativo Contiki usando la primitiva de “Broadcast” de la pila de comunicación Rime. Para ello se han realizado una serie de simulaciones bajo diferentes condiciones y se han calculado tanto el alcance como el número de retransmisiones y se han comparado con las obtenidas con el algoritmo flooding obteniendo una mayor eficiencia en el algoritmo diseñado.

I. INTRODUCCIÓN

A. Redes de Sensores Inalámbricos

Las redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Network, WSN) son redes en las que se tiene una gran cantidad de dispositivos interconectados colaborando en una tarea común. Estos nodos son capaces de recoger información de su entorno gracias a sensores incorporados, procesar la información y enviarla mediante un enlace de comunicación inalámbrico hasta un nodo central que ejerce de coordinador.

Además de las WSN existen las Mobile Ad-Hoc Network (MANET), también llamadas; malla de nodos móviles. La principal característica de las MANET es que poseen movilidad, es decir, los nodos están montados sobre plataformas móviles. A diferencia de las WSN, los nodos tienen libertad para desplazarse independientemente en cualquier dirección, y eso permite que cambien dinámicamente las condiciones de enlace entre los dispositivos que conforman la red.

Por otra parte, están las Vehicular Ad-Hoc Network (VANET) en las que se utilizan a los vehículos como nodos de la red. Las VANET se consideran un tipo específico de las MANET ya que, debido al reducido alcance del canal de comunicación, la comunicación se hace de forma esporádica.

B. Algoritmos de disseminación de mensajes

Una de las características de las WSN es que crean una topología de red por la que se transmiten los paquetes de datos. Es por esto que una herramienta bastante útil para la construcción de la topología de red son los algoritmos de disseminación de mensajes. Estos protocolos tienen como objetivo que los mensajes generados por un nodo fuente lleguen a todos los nodos de la red de forma eficiente. Para conseguir esto, los algoritmos de disseminación de mensajes tratan de minimizar algunos parámetros como pueden ser el número de retransmisiones.

C. Introducción de nuestro algoritmo

HP-Flood está basado en el algoritmo Flooding el cual consiste en inundar la red con paquetes de datos. En el caso de las WSN, permite que el mensaje transmitido por un nodo le llegue a todos los componentes de la WSN.

Para reducir eficientemente el número de retransmisiones sobre la red, HP-Flood asigna una probabilidad de retransmisión a cada nodo cada vez que éste recibe un paquete que tiene que retransmitir. Esta probabilidad se calcula dinámicamente basándose en el número de saltos que el paquete ya ha efectuado hasta el nodo actual. Para ello, a menor número de saltos transcurridos, menor será la probabilidad de retransmisión y para mayor número de saltos la probabilidad disminuye.

Este documento está organizado de la siguiente forma. En la siguiente sección se explicarán brevemente algunos de los algoritmos de disseminación de mensajes existentes para WSN. En la sección III se describirá el funcionamiento algoritmo HP-Flood para, a continuación, realizar varias simulaciones y compararlas con el algoritmo Flooding en la sección IV. Finalmente se concluirá con las conclusiones obtenidas y futuros trabajos en la sección VI.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

A continuación, se describen 4 algoritmos de broadcast relacionados con probabilidad, saltos, área, auto-poda y distancia, al igual que DHFlood.

A. Esquema de probabilidad adaptativo

En esquemas adaptativos se usan parámetros locales o globales (densidad, velocidad, energía) para determinar la probabilidad de reenvío.

Pueden clasificarse a su vez en dos categorías:

- Basado en Contador
- No basado en contador

La diferencia principal entre ambos es que los esquemas basados en contadores usan el número de copias de un paquete de difusión dado como feedback del proceso de difusión en el vecindario del nodo. El objetivo principal del mecanismo basado en contador es evitar el problema “die out” de broadcasting (se produce cuando el proceso de difusión se detiene debido a las decisiones de reenvío).

Los esquemas de probabilidad adaptativos pueden subclasificarse según el parámetro que usen para ajustar la probabilidad (densidad, distancia, velocidad, número de vecinos cubiertos (auto-poda), energía e inteligencia artificial).

B. Esquemas basados en área/distancia

La idea principal es utilizar la distancia relativa entre dos nodos para ajustar la probabilidad de reenvío, por lo que los nodos no necesitan información global de otros nodos de la red.

En nuestro caso, nos centraremos en los esquemas basados en área según el número de saltos contados.

C. Esquemas basados en hop-count: GOSSIP4

Se trata de un esquema basado en el rendimiento del protocolo de enrutamiento híbrido ZRP.

Los nodos actúan reactiva o proactivamente dependiendo de la distancia desde el nodo fuente.; la cual se mide en número de saltos.

Existen dos zonas, una compuesta por nodos dentro del rango de K saltos desde el nodo fuente. Los nodos actúan proactivamente dentro de estas zonas, para activar el intercambio de información vecina cada vez que ocurre un cambio en la zona. Por otro lado, los nodos situados fuera de la zona se denominan nodos periféricos y se desempeñan de forma reactiva.

El algoritmo GOSSIP4(p, k, k_0) funciona como GOSSIP1(p, k) para los nodos situados fuera de la zona, y como flooding para los nodos dentro de la zona.

La probabilidad de retransmisión en dicho algoritmo se modela de la siguiente forma:

$$P = P_i \text{ si } n^\circ \text{ hops} < \wedge$$

D. Esquemas basados en hop-count: DV-Hop

Los esquemas basados en contar saltos son sencillos de implementar, pero la precisión es menor que en aquellos basados en técnicas de alcance. La simplicidad, la escalabilidad, la eficiencia energética y la rentabilidad son buenas características de los algoritmos basados en la cuenta del salto.

Debido a estas características, los algoritmos de cuenta de saltos son adecuados para redes ad hoc y WSN de gran escala.

Uno de los principales algoritmos basados en saltos es el propuesto por Niculescu: DV-Hop.

Se divide en 3 pasos:

Flooding beacon: en el primer paso, el nodo de anclaje difunde una trama beacon a través de la red que contiene la ubicación del nodo de anclaje y el valor del recuento de salto inicializado a 1. Además, cada nodo receptor mantiene el recuento mínimo de saltos para cada nodo de anclaje.

En el segundo paso, el tamaño promedio de un salto se calcula en el nodo de anclaje y se transmite a toda la red. Después de recibir el primer mensaje de tamaño de salto, los nodos normales con ubicaciones desconocidas multiplican el tamaño de salto por el valor de recuento de saltos para obtener la distancia a los nodos de anclaje. A continuación, se almacenan los datos en una tabla, como se muestra en la Fig.1. Los nodos normales también transmiten el tamaño del salto a sus nodos vecinos.

Finalmente, los nodos normales calculan su ubicación por trilateración.

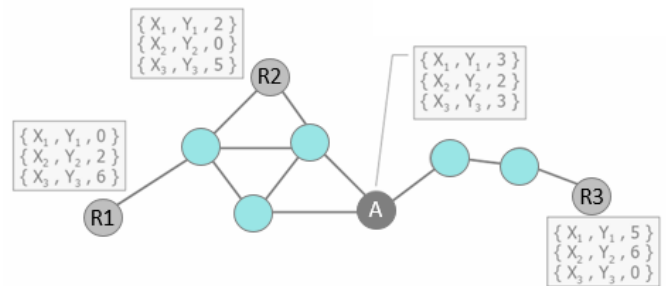


Fig. 1. Escenario DV-Hop.

E. Esquemas basados en self-pruning

El objetivo principal es cubrir el conjunto de 2 vecinos de saltos de un nodo determinado. En este tipo de esquemas probabilísticos, la probabilidad de reenvío se ajusta considerando cómo se cubre este conjunto de 2 vecinos de saltos.

III. ALGORITMO PROPUESTO

HP-Flood es un algoritmo que se ha desarrollado en el sistema operativo Contiki y que basa su principal funcionamiento en el algoritmo Flooding. Además, combina la técnica del cálculo de la probabilidad de retransmisión adaptativa con la técnica de los esquemas basados en el conteo del número de saltos a través de la red.

El funcionamiento es el que se explica a continuación: En primer lugar, cuando un nodo decide transmitir un paquete de datos debe incluir en el mismo la dirección del nodo origen, el número de secuencia y el número de saltos (que en el nodo origen de la transmisión será de cero saltos). Cuando un nodo recibe un paquete, el nodo debe fijarse en el número de saltos que se han producido sobre la red hasta llegar al nodo actual, en función del número de saltos, HP-Flood calcula la probabilidad

que tendrá de reenviar el paquete a sus nodos vecinos (excluyendo al nodo del cual recibe el paquete).

La probabilidad de retransmisión de un paquete se muestra en la Fig. 2. En la misma se puede ver que un paquete tendrá una probabilidad de ser retransmitido del 100% si el número de saltos está entre 0 y 3, del 75% si el número de saltos está entre 4 y 6, del 50% si el número de saltos está entre 7 y 9 y una probabilidad del 25% si el número de saltos supera a 10 y está por debajo de un máximo el cual se ha optado por fijar en 16.

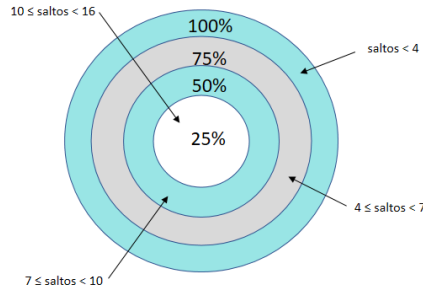


Fig. 2. Probabilidad de retransmisión en función del número de saltos

A. Función principal y envío de paquetes

Para la implementación en el sistema operativo Contiki de HP-Flood se ha utilizado una función principal en la que, en primer lugar, se procede a activar los botones de las motas Z1 los cuales indicarán el comienzo de la transmisión de un paquete al ser pulsados y se lanza el proceso principal. Una vez hecho esto, se entra en un bucle infinito en el que se espera a que el botón sea pulsado para transmitir un paquete con un determinado número de secuencia y con 0 saltos.

El contenido del paquete es el siguiente:

- “Mensaje”
- Dirección origen del paquete
- Dirección del nodo por el que recibe el paquete
- Número de secuencia

• Número de saltos

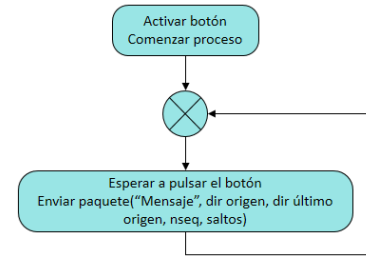


Fig. 3. Función periódica del envío de paquetes en Contiki

Cuando se comienza el envío del paquete, cada transmisión de un nodo se verá reflejado en pantalla con un mensaje que indica que el paquete ha sido transmitido.

B. Función para la recepción de paquetes

Por otro lado, cuando una mota recibe un paquete tiene como objetivo retransmitirlo a todos sus vecinos pero de forma eficiente para disminuir el número total de retransmisiones en la red. Es por eso que en la función que se ejecuta cuando se recibe un paquete se procede a calcular la probabilidad en función del número de saltos que posee el paquete recibido.

En la Fig. 4. Puede verse el funcionamiento del algoritmo cuando una mota recibe un paquete. Si el paquete recibido del nodo original y con un número de secuencia dado se recibe posteriormente por otro vecino este paquete se acaba desechando y no se retransmite. Si el paquete es nuevo y debe reenviarse se guarda para memorizarlo en un búfer. A continuación, se mira el número de saltos del paquete incluido en el mismo y se procede a decidir si se ha de retransmitir el paquete a sus vecinos.

C. Cálculo de la probabilidad adaptativa

Para el cálculo de la probabilidad de retransmisión generamos un número aleatorio entre 0 y 100, asignamos la probabilidad en función de los saltos y si el número generado está por debajo de la correspondiente probabilidad se permite la retransmisión del paquete a todos sus vecinos. En el caso que el número generado no esté por debajo del valor de la probabilidad

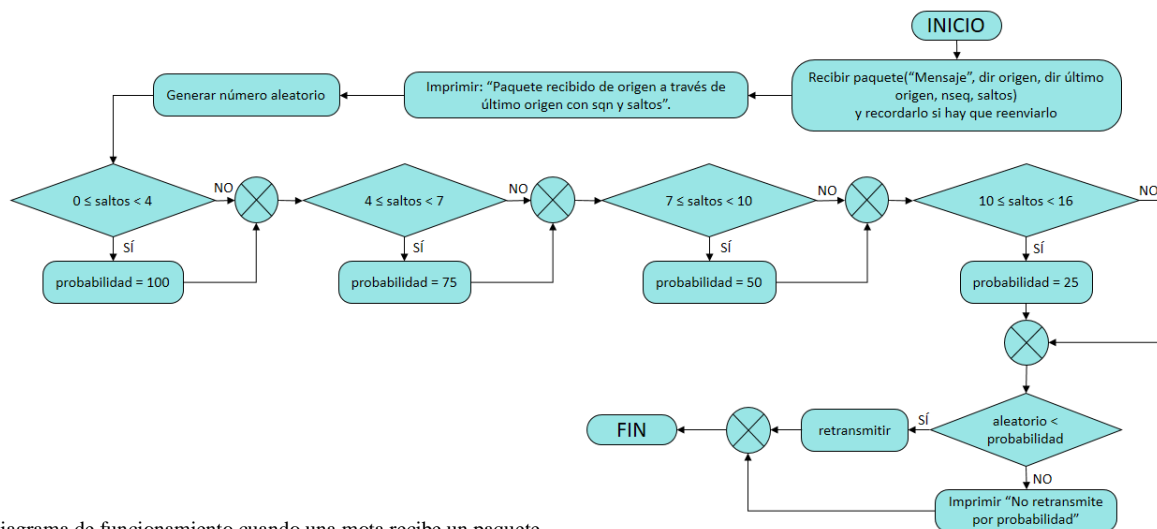


Fig. 4. Diagrama de funcionamiento cuando una mota recibe un paquete

no se procede a la retransmisión del paquete desechándolo e imprimiendo un mensaje avisando por qué no se retransmite.

IV. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

En esta sección, se van a presentar y analizar los resultados de las distintas simulaciones del algoritmo HP-Flood, comparándolos a su vez con las soluciones obtenidas al simular el algoritmo Flooding básico.

Para ello, se han propuesto tres escenarios de simulación principales en los que variamos distintos parámetros de la red:

- **Escenario 1**
Variación del n° de nodos total de la red (presentado en la Fig. 5) entre 25, 50, 100, 125 y 150 nodos
- **Escenario 2**
Variación del n° de nodos fuente (los que inician la retransmisión del paquete) de la red (presentado en la Fig. 6) entre 5, 10, 15 y 20 nodos.
El número de nodos total de la red en este caso será de 150 nodos.
- **Escenario 3**
Variación del tamaño (bytes) de los mensajes enviados en la red (presentado en la Fig. 7) entre 5, 10, 15 y 20 bytes.
Al igual que en el escenario 2, la red tendrá un total de 150 nodos.

A continuación, se presenta tres tablas de resultados a modo de resumen. En cada una de ellas se tienen en cuenta una serie de parámetros correspondientes a cada uno de los escenarios anteriormente descritos.

Reachability	1	1	1	0.992	0.96
N° retransmisiones	14	20	22	24	19
N° Nodos	25	50	100	125	150
Rango de cobertura	500 m				
Tamaño del escenario	1500 m x 1500 m				

Fig. 5. Resultados variando n° nodos total.

Reachability	4.98	9.98	15	20
N° retransmisiones	123	251	372	519
N°Nodos retransmitiendo	5	10	15	20
N° Nodos	150			
Rango de cobertura	500 m			
Tamaño del escenario	1500 m x 1500 m			

Fig. 6. Resultados variando n° nodos fuente.

Reachability	0.847	0.847	0.907	0.713
N° retransmisiones	47	46	50	41
Tamaño del mensaje (Bytes)	5	10	15	20
N° Nodos	150			
Rango de cobertura	500 m			
Tamaño del escenario	1500 m x 1500 m			

Fig. 7. Resultados variando tamaño del mensaje.

En los tres escenarios las dimensiones serán de 1500 m x 1500 m y el rango de cobertura de unos 500 m.

Además de dichos escenarios, se emplearán dos métricas principales: alcance o reachability, que es en cociente entre el n° de nodos que reciben el mensaje y el total de nodos de la red; y n° de retransmisiones de los mensajes generados por el nodo fuente.

En primer lugar, se simuló el escenario 1, presentado en la Fig. 8 en el cual podemos ver que para flooding (color rosa), las retransmisiones abarcan valores desde 15 hasta 21 retransmisiones excepto para el caso de 150 nodos, en el que aumenta considerablemente hasta las 47 retransmisiones.

En el caso de HP-Flooding (color morado), se consiguen disminuir las retransmisiones a valores entre 14 y 24 (único caso en el que son un poco superior es el caso de 125 nodos).

En especial, el cambio es notable para una red con 150 nodos, en la que se han obtenido 19 retransmisiones en vez de 47. Este dato hace que podamos decir que nuestro algoritmo es bastante eficiente para redes con alta densidad, disminuyendo la congestión en las mismas.

En cuanto al alcance (reachability), no se ha incluido ninguna imagen porque, como podemos ver en la Fig. 5, se ha obtenido el valor ideal (1) en la mayoría de los casos, adoptando un comportamiento muy similar al del algoritmo flooding, en el que el alcance es siempre 1.

En segundo lugar, se hicieron pruebas con un escenario como el que se propone en la Fig. 9.

En este caso, se han elegido de forma aleatoria un n° de nodos fuentes (inician la transmisión), y se ha medido su alcance. Al igual que en el caso anterior, el algoritmo adopta la ventaja principal de flooding, que es su alcance; obteniéndose valores entre 5 y 20 para ambos algoritmos.

En cuanto al n° de retransmisiones, disminuyen en 30 o 50 para cada uno de los casos planteados.

Por todo esto, podemos decir que el algoritmo funciona correctamente a pesar de que al aumentar el número de nodos fuentes, aumentamos considerablemente el tráfico (es por eso que el n° de retransmisiones supera al del escenario 1).

Por último, se obtuvieron los resultados mostrados en la Fig. 10, para el escenario 3.

En este caso, variamos el tamaño mensaje que transmiten los nodos, usando cadenas de 5, 10, 15 y 20 bytes para cada caso.

Como vemos en la imagen, el n° de retransmisiones para flooding varían entre 45 y 55, mientras que para nuestro algoritmo el rango disminuye un poco (entre 41 y 50).

En el caso del alcance, no se han llegado a valores ideales, pero si nos hemos aproximado bastante, como puede verse en la Fig. 7, donde se acercan a un valor de 0,9.

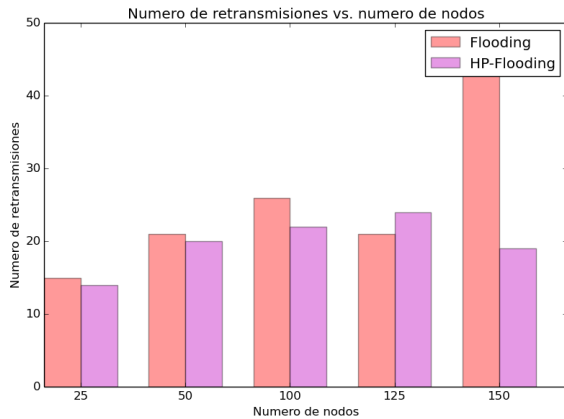


Fig. 8. N° de retransmisiones para escenarios con 25/50/100/125/150 nodos.

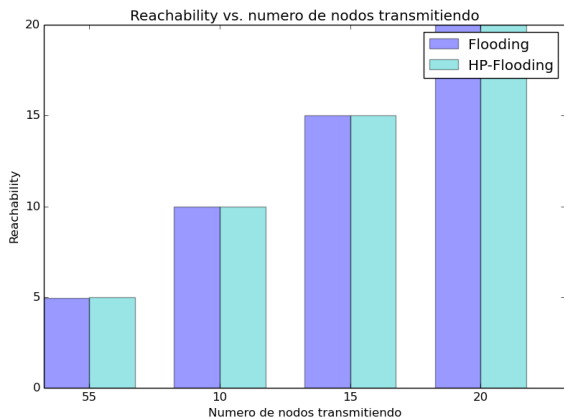


Fig. 9. Reachability para 5/10/15/20 nodos fuente.

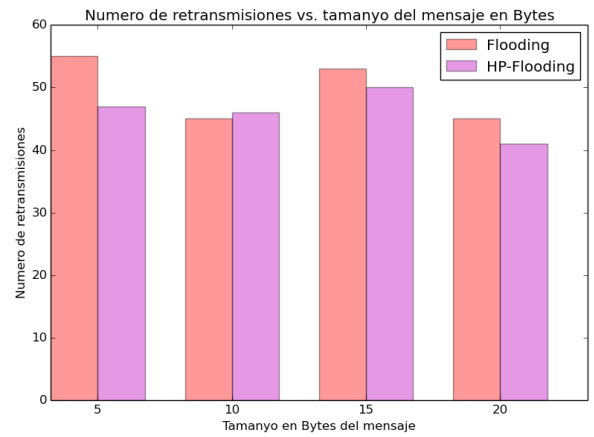


Fig. 10. N° de retransmisiones para mensajes de 5/10/15/20 B.

V. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Se ha presentado el algoritmo HP-Flood, que mejora al ya conocido algoritmo Flooding mediante el uso de parámetros que limitan los reenvíos, como la probabilidad asignada a cada transmisión y el podado de la red basándonos en el número de saltos hasta el destino.

Hemos observado en los resultados de las simulaciones que el algoritmo propuesto mejora considerablemente el rendimiento de la red para situaciones de alta densidad o congestión. En las distintas figuras y tablas presentadas, vemos que se consigue un alcance (reachability) muy cercano a 1 o incluso 1 en la mayoría de casos.

Es decir, se consigue mejorar flooding respetando el alcance máximo de 1 pero reduciendo el n° de retransmisiones.

Por ultimo, indicar que una mejora del algoritmo debería centrarse principalmente en disminuir aún mas las retransmisiones, pues ya se ha conseguido un resultado óptimo para el alcance. Para conseguir dicho objetivo, podrían hacerse tablas de vecinos, haciendo así que el conocimiento de la red sea aún más global y puedan evitarse un gran número de retransmisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. G. Reina, S. L. Toral, P. Johnson, and F. Barrero, "A survey on probabilistic broadcast schemes for wireless ad hoc networks," 263-292, October 2014.
- [2] Jiguo Yu, Nannan Wang, Guanghui Wang, and Dongxiao Yu, "Connected dominating sets in wireless ad hoc and sensor networks – A comprehensive survey", 121-134, October 2012.
- [3] P. Ruiz, and P. Bouvry, "Survey on Broadcast Algorithms for Mobile Ad Hoc Networks", Comput. Surv. 48,1 Article 8, July 2015.
- [4] A. A. Abbasi, and M. Younis, "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks", 2826-2841, June 2007.
- [5] A. Dunkels, F. Österlind, and Z. He, "An Adaptive Communication Architecture for Wireless Sensor Networks", November 2007.
- [6] "Python Tutorials", available online: <https://pythonspot.com/en/>
- [7] "Contiki: The Open Source OS for the Internet of Things", available online: <http://www.contiki-os.org/>
- [8] "The Rime communication stack", available online: <http://contiki.sourceforge.net/docs/2.6/a01798.html>