

무선 애드 혹 네트워크 환경에서 정삼각형을 이용한 효율적인 브로드캐스팅 프로토콜

허인, 리트롱덕, 추현승
성균관대학교 정보통신공학부
e-mail:{oracle0307, letrongduc, choo}@skku.edu

Equilateral Triangle Based Broadcasting Protocol in Wireless Ad Hoc Networks

In Hur, Trong Duc Le, Hyunseung Choo
School of Information and Communication Engineering
Sungkyunkwan University

요 약

브로드캐스팅 프로토콜은 무선 애드 혹 네트워크에서 컨트롤 메시지를 전체 노드에 전송하기 위한 목적으로 널리 사용된다. 전통적인 브로드캐스팅 프로토콜은 모든 노드가 처음 받은 메시지를 재전송하기 때문에 극심한 중복전송과 충돌문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에 효율적으로 재전송노드를 줄이기 위한 브로드캐스팅 기법들이 제안되었지만 여전히 다수의 불필요한 재전송이 발생한다. 제안 기법은 1-홉 이웃노드의 위치정보를 이용하여 전파반경에 내접하는 정삼각형의 꼭짓점을 구하고 각 꼭짓점에 가장 가까운 이웃노드를 재전송노드로 선택한다. 우리는 먼저 재전송 노드를 최소화하기 위한 이상적인 모델을 제시하고 이상적인 모델에 근접하기 위한 방법을 설명한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안 기법이 기존의 효율적인 브로드캐스팅 프로토콜보다 성능이 우수하며 재전송 노드수가 lower bound에 근접하는 것을 보여준다.

1. 서론

무선 애드 혹 네트워크는 기존의 네트워크 하부구조에 의존하지 않고 스스로 구성하고 설정되는 망이다. 이러한 네트워크 특성으로 인해 구조 작업, 군사 작전과 같은 긴급 상황에서 실제적으로 활용이 가능하다[1]. 이와 같은 네트워크에서 브로드캐스팅 프로토콜은 네트워크내의 모든 노드에게 메시지를 보내기 위한 목적으로 유용하게 사용된다. 브로드캐스팅에서 각 노드는 처음 받은 메시지일 경우 자신의 이웃노드에게 재전송한다. 반대로 이전에 수신한 메시지의 경우 재전송 하지 않고 버린다. 이러한 브로드캐스팅 기법을 우리는 pure flooding 또는 blind flooding[2]이라고 부른다. pure flooding에서는 각 노드가 라우팅 테이블을 유지할 필요가 없기 때문에 속도가 빠르며 구현이 쉽다는 장점이 있다. 하지만 모든 노드가 최소한 한 번은 메시지를 전송해야하기 때문에 오버헤드가 크고 중복전송으로 인한 충돌 및 혼잡현상이 많이 발생한다. 이러한 현상으로 노드가 메시지를 받지 못하는 문제가 발생하는데, 이것을 Broadcast storm problem[3]라고 부른다. 이러한 이유로 크기가 큰 데이터 메시지를 전송하기 위해 브로드캐스팅 프로토콜을 사용하는 것은 부적절하다. 따라서 브로드캐스팅 프로토콜은 크기가 작은 데이터나 컨트롤 메시지를 전송하는데 주로 사용된다.

최근에는 Broadcast storm problem을 완화시키기 위해 재전송노드 수를 효율적으로 줄이는 브로드캐스팅 프로토

콜들이 제안되었다[4,5,6,7]. 하지만 여전히 불필요한 재전송이 존재하며 특히 [5]와 같이 2-홉 이웃노드의 위치정보를 고려하는 기법의 경우 추가적인 오버헤드가 더 필요할 뿐만 아니라 이동성이 높은 환경에서 정보의 정확성이 떨어지는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 브로드캐스팅 프로토콜에서 재전송노드를 효율적으로 최소화하기 위해 전파반경에 내접하는 정삼각형의 꼭짓점을 이용한다. 제안 기법은 전파반경에 내접하는 정삼각형의 꼭짓점을 구하고 이웃노드 중에서 그 꼭짓점과 가장 가까운 이웃노드를 재전송노드로 선택한다. 한 개의 이웃노드가 2개 이상의 꼭짓점에서 선택되지 않게 하기 위해 각 노드는 자신의 전파반경을 같은 크기의 3개 파티션으로 분할한다. 결국 각 파티션에는 하나의 꼭짓점만이 존재하므로 제안 기법에서 각 노드는 최대 3개 이상의 재전송 노드를 선택하지 않는다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안기법이 다양한 무선 애드 혹 네트워크 환경에서 기존 브로드캐스팅 프로토콜에 비해 재전송노드 및 충돌현상을 효과적으로 줄이는 것을 확인하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련연구로 다양한 브로드캐스팅 기법들에 대해 소개하고, 3장에서 제안기법에 대해 자세히 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 제안기법과 기존의 효율적인 브로드캐스팅 프로토콜의 성능을 비교한 후 5장에서 결론을 내리고 마무리한다.

2. 관련 연구

pure flooding기법[2]은 가장 기본적인 브로드캐스팅 기법으로써 재전송노드를 줄이기 위한 노력을 하지 않는다. 따라서 pure flooding기법은 이웃노드에 대한 추가적인 정보가 필요 없다. 이러한 특징으로 인해 pure flooding은 구현이 쉽기 때문에 널리 사용되지만 불필요한 재전송이 엄청나게 많이 발생하여 에너지측면에서 매우 비효율적이며 충돌현상으로 인해 정확한 메시지 전송이 어렵다.

재전송노드를 효율적으로 줄이기 위해 1-홉 이웃노드의 정보를 이용한 브로드캐스팅 기법 중 하나인 Edge Forwarding[4]은 자신의 전파반경을 같은 크기의 6개 파티션으로 나누는 방법을 통해 불필요한 재전송노드를 줄인다. Edge Forwarding기법에서는 메시지를 받은 노드가 자신의 재전송 여부를 판단한다. 수신노드는 메시지를 받자마자 자신의 위치가 송신노드의 어느 파티션에 위치하는지 판단한다. 송신노드의 파티션과 자신의 외곽파티션에 겹치는 지역에 이웃노드가 없을 경우에 재전송을 하고 한 개라도 있을 경우에는 재전송을 하지 않는다.

1-홉 이웃노드 정보를 이용하여 재전송노드를 줄이는 또 다른 기법인 1HI(1-Hop Information)기법[6]은 1-홉 이웃노드의 전파반경 경계를 계산하고 최외각 경계에 해당하는 이웃노드를 재전송노드로 선택한다. 다른 일반적인 브로드캐스팅 프로토콜들은 재전송노드를 선택하기 위해 $O(N^2)$ 의 시간 복잡도가 필요한 반면, 이 기법에서는 머지 정렬을 이용하기 때문에 $O(N\log N)$ 의 시간복잡도를 갖는다는 장점이 있다. (N은 전체 노드 수)

1HI기법은 네트워크 경계부분에서 효율적으로 재전송을 줄이지 못하는 단점이 있는데 2HBI(2-Hop Backward Information)[7]에서 이를 해결하였다. 2-hop backward information이란 2-홉 이전 노드의 정보로써 이 기법에서는 송신노드가 자신의 부모노드의 정보를 첨부하여 전송한다. 수신노드가 이 메시지를 받았을 때 송신노드의 정보 및 송신노드의 부모노드 정보까지 이용할 수 있다. 2HBI 기법에서는 1HI과 마찬가지로 이웃노드의 정보를 이용하여 이웃노드의 전파반경 경계를 계산한 후 이에 기여하는 이웃노드를 재전송노드로 선택한다. 이 후 2-홉 이전 노드의 정보를 이용한 3가지 최적화 기법을 통해 1HI보다 더 많은 재전송노드를 줄이며 네트워크 경계에서 발생하는 불필요한 재전송도 줄인다.

2-홉 이상의 이웃노드 정보를 이용하는 브로드캐스팅 기법 중에서는 CDS(Connected Dominating Set)을 이용한 기법이 대표적이다. 이 기법은 2-홉 이웃노드 정보를 이용하여 CDS를 구성하고 유지하며 CDS에 해당하는 노드들이 재전송 역할을 담당한다. 일반적으로 2-홉 이상의 이웃노드 정보를 이용하는 기법들의 유지비용은 상당히 크다. 특히 노드 밀집도가 크고 네트워크 토폴로지가 자주 바뀌는 애드 혹 환경에서는 이러한 2-홉 이상의 이웃노드 정보를 이용한 브로드캐스팅 기법을 사용하는 것이 적절하지 못하다.

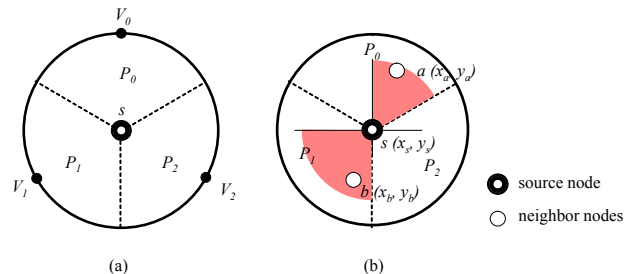
3. 제안기법

모든 효율적인 브로드캐스팅 기법에서의 목표는 효과적으로 재전송노드 수를 줄이면서 전체 네트워크의 노드를 커버하는 것이다. 결국 우리는 전체 네트워크의 노드를 커버하는 재전송노드를 찾고 그 재전송노드의 전파반경이 겹치는 지역을 최소화함으로써 이에 근접할 수 있다. 이러한 목표에 근접하기 위해 본 논문에서는 각 노드의 전파반경에 내접하는 정삼각형을 계산하고 그 꼭짓점에 가장 가까운 이웃노드를 재전송노드로 선택하는 기법을 제안한다. 소스노드는 메시지를 전송하기 전에 자신이 선택한 재전송노드 집합을 메시지에 첨부한다. 이 메시지를 처음 받은 이웃노드들은 메시지에 첨부된 전송노드 집합을 확인하여 자신이 재전송노드인지를 확인한다. 자신이 재전송노드일 경우 소스노드와 같은 방법으로 자신의 재전송노드를 선택하고 아닐 경우 더 이상 재전송 하지 않는다.

본 논문에서 우리는 네트워크 내의 모든 노드는 고유 ID를 가지고 있으며, 같은 전파반경 R을 갖는다고 가정한다. 노드 v의 1-홉 이웃노드들의 집합을 $N(v)$ 로 정의한다. $N(v)$ 의 모든 노드와 노드 v간의 거리는 R보다 작기 때문에 $N(v)$ 는 노드 v가 보내는 메시지를 수신할 수 있다. 모든 노드는 GPS나 distributed localization algorithm을 이용해서 자신의 지리학적인 위치 정보를 얻는다고 가정한다. 또한 각 노드들은 주기적인 HELLO 메시지를 보냄으로써 1-홉 이웃노드 정보를 유지하고 업데이트한다고 가정한다. 제안기법은 다음과 같이 3단계로 구성된다.

3.1 전파반경 파티셔닝

각 노드는 재전송노드를 선택하기 위해 먼저 자신의 전파반경을 같은 크기의 3개 파티션으로 분할하고, 각 파티션을 P_0, P_1, P_2 라고 정의한다. 이 단계를 전파반경 파티셔닝이라고 부르며 그림 1(a)에서 소스노드 s가 자신의 전파반경을 같은 크기의 3개 파티션으로 분할한 모습을 보여 준다. 각 노드는 자신의 모든 이웃노드들의 파티션을 결정해야 하는데 아래와 같은 공식을 이용하여 쉽게 결정할 수 있다.

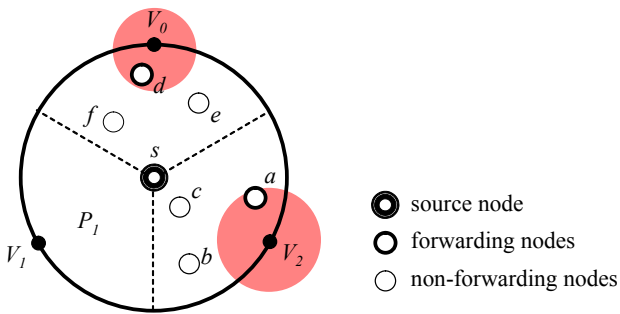


(그림 1) 전파반경 파티셔닝

- If $x_s \geq x_a$ and $y_s < y_a$, then node a is in P_0
- if $\frac{x_s - x_a}{y_a - y_s} \leq \sqrt{3}$; otherwise, node a is in P_1

- If $x_s > x_a$ and $y_s \geq y_a$, then node a is in P_1
- If $x_s < x_a$ and $y_s < y_a$, then node a is in P_0
- if $\frac{x_a - x_s}{y_a - y_s} \leq \sqrt{3}$; otherwise, node a is in P_2
- If $x_s \geq x_a$ and $y_s \geq y_a$, then node u is in P_2

그림 1(b)에서는 소스노드 s의 이웃노드인 노드 a와 b의 파티션을 결정하는 그림을 보여준다. 노드 s의 좌표가 (X_s, Y_s) 이고 노드 a와 b의 좌표가 각각 (X_a, Y_a) , (X_b, Y_b) 일 때 위의 공식을 이용하면 노드 a는 P_0 , 노드 b는 P_1 에 위치하는 사실을 알 수 있다.



(그림 2) 재전송노드 선택의 예

3.2 재전송 노드 선택

전파반경 파티셔닝 단계에서 자신의 이웃노드의 파티션을 결정한 후 이를 이용하여 재전송노드를 선택하여야 한다. 그림 1(a)와 같이 파티셔닝한 경우 각 파티션에 한 개의 정삼각형 꼭짓점이 오도록 V_0, V_1, V_2 를 계산할 수 있다. 이 세 꼭짓점은 재전송노드를 선택하기 위한 기준점으로써 각 파티션에 하나씩 위치한다. 소스노드는 각 파티션에 위치한 모든 이웃노드와 해당 꼭짓점의 거리를 계산한 후 가장 가까운 거리에 있는 이웃노드를 해당 파티션의 재전송노드로 선택한다. 임의의 파티션에 한 개의 이웃노드도 없는 경우 재전송노드를 선택하지 않는다.

그림 2에서는 소스노드 s가 자신의 이웃노드 중에서 재전송노드를 선택하는 모습을 보여준다. 소스노드 s의 이웃노드 $N(s)$ 는 {a, b, c, d, e, f}이며 노드 d, e, f는 V_0 에 위치하고, 노드 a, b, c는 V_2 에 위치한다. 소스노드 s는 노드 d, e, f와 V_0 간의 거리를 계산하고 가장 가까운 거리에 있는 d를 재전송노드로 선택한다. 마찬가지로 P_2 에 위치한 a, b, c와 V_2 간의 거리를 계산하고 가장 가까운 거리에 있는 a를 재전송노드로 선택한다. P_1 파티션에는 한 개의 이웃노드도 없기 때문에 재전송노드를 선택하지 않는다. 우리는 노드 s의 재전송노드 집합을 $F(s)$ 로 정의하며 그림 2에서 $F(s)$ 는 {a, d}가 된다.

제안기법에서는 두 가지 모양의 정삼각형을 사용하여 브로드캐스팅 과정을 진행한다. 그림 1(a)에서 보여주고 있는 정삼각형 모양을 TYPE-I로 하고 180도 반대의 모양

인 정삼각형을 TYPE-II로 정의한다. 소스노드가 TYPE-I의 정삼각형을 이용하여 파티셔닝 한 후 재전송 노드를 선택한 경우 메시지에 이 정보를 추가하여 전송한다. 메시지를 받은 이웃노드가 자신이 재전송노드인 경우 TYPE-II모양으로 파티셔닝을 한다. 이 재전송노드가 메시지를 전송할 경우 그 메시지를 받는 이웃노드는 TYPE-I모양의 파티셔닝을 한다. 즉, TYPE-I과 TYPE-II를 번갈아가면서 브로드캐스팅 과정을 수행한다.

3.3 재전송 노드 최적화

재전송 노드를 선택한 후 모든 노드는 자신의 재전송노드를 최적화하는 단계를 수행한다. 최적화 단계는 2가지 규칙에 의해 진행된다.

첫 번째 규칙은 재전송 노드 집합에서 자신의 부모노드의 전파반경에 들어가는 재전송노드를 재전송노드 집합에서 제거한다. 이 규칙은 메시지가 전송된 방향으로 돌아가는 것을 방지할 수 있다. 두 번째 규칙은 자신의 재전송노드가 부모노드의 또 다른 재전송노드의 재전송노드일 때 부모노드와의 거리가 가까운 노드가 포기하는 것이다. 이 두 개의 최적화 기법을 통해 재전송노드 집합이 공집합이 되면 자신 스스로가 재전송 역할을 포기한다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터들

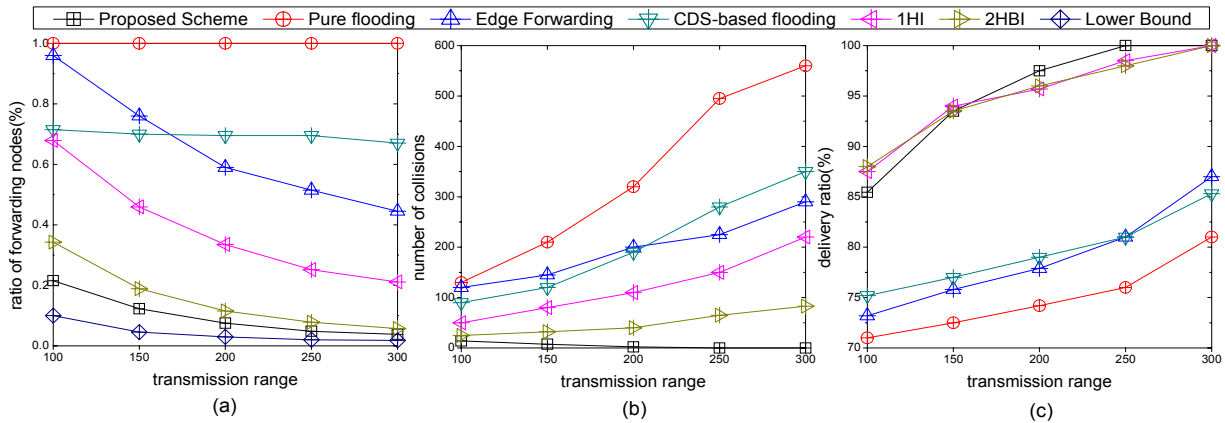
Parameters	Values
Simulator	ns-2 (version 2.31)
MAC Layer	IEEE 802.11
Data Packet Size	256 bytes
Transmission Rate	2Mb/s
Transmission Range	100~300m
Number of Nodes	200~1000
Number of Trials	100
Size of Square Area	1000m × 1000m
Network Load	10Pkt/s

4. 성능평가

본 논문에서 제안하는 브로드캐스팅 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 우리는 ns-2 시뮬레이터[8]를 사용하였다. 제안 기법의 성능을 비교하기 위해 pure flooding, CDS-based flooding, Edge forwarding, 1HI, 2HBI를 같이 시뮬레이션 하였다. 표 1에서는 성능평가를 위해 사용된 시뮬레이션 파라미터 값들을 보여준다.

제안기법 및 기존의 효율적인 브로드캐스팅 기법들의 가장 주요한 목적은 재전송노드를 최소화하는 것이기 때문에 우리는 재전송노드 비율을 측정하고 비교 분석한다. 또한 제안기법과 각 비교 브로드캐스팅 기법들의 충돌횟수를 체크하고 메시지 전송률을 계산하여 비교한다. 재전송노드의 비율을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\text{ratio of forward nodes} = \frac{\text{the total number of the forward nodes}}{\text{the total number of nodes in network}}$$



(그림 3) 성능평가 결과 그래프

또한 메시지 전송률은 아래의 공식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\text{deliverability ratio} = \frac{\text{the number of nodes that successfully received the message}}{\text{the total number of nodes in network}}$$

그림 4는 시뮬레이션 결과 그래프로서 제안기법과 각 비교기법들의 성능평가 결과를 보여준다. 그림 4(a-c)는 모든 노드의 전파반경을 100m에서 300m까지 증가시키면서 재전송노드 비율과 충돌횟수, 전송률을 측정 한 결과 그래프이다. 그림에서 볼 수 있듯이 제안기법이 모든 경우에서 비교기법들에 비해 적은 재전송노드 비율을 갖으며 결국 충돌횟수를 줄인다. 제안기법은 전파반경이 증가할수록 정삼각형 꼭짓점에 보다 더 가까운 재전송노드를 선택하기 때문에 기존의 브로드캐스팅 기법들과는 반대로 성능이 좋아진다. 결국 제안기법은 충돌횟수가 거의 없기 때문에 메시지 전송률이 모든 경우에서 100%를 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 정삼각형을 이용하여 효율적으로 재전송노드를 줄이는 브로드캐스팅 기법을 제안하였다. 제안기법은 1-홉 이웃노드 정보를 이용하여 전파반경에 내접하는 정삼각형 꼭짓점을 계산하고 각 꼭짓점에 가장 가까운 이웃노드를 찾아 재전송노드로 선택한다. 기존의 효율적인 브로드캐스팅 기법에서 재전송노드를 선택하기 위한 시간 복잡도가 $O(N \log N)$ 인데 비해 제안기법은 $O(N)$ 의 시간 복잡도만으로 재전송노드를 결정한다(N 은 전체노드 수). ns-2 시뮬레이터를 이용한 성능평가를 통해 제안기법이 기존의 효율적인 브로드캐스팅 프로토콜들보다 적은 재전송노드 비율을 갖으며 충돌 횟수가 적고 메시지 전송률이 가장 높다는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2009-(C1090-0902-0046)). 책임저자 : 추현승

참고문헌

- [1] Deying Li, Xiaohua Jia, and Hai Liu, "Energy Efficient Broadcast Routing in Static Ad Hoc wireless Networks", IEEE Transactions on Mobile Computing, VOL. 3, NO. 2, June 2004.
- [2] Christopher Ho, Katia Obraczka, Gene Tsudik, and Kumar Viswanath, "Flooding for Reliable Multicast in Multi-Hop Ad Hoc Networks", Proc. Int'l Workshop Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Comm., pp.64-71, 1999.
- [3] Sze-Yao Ni, Yu-Chee C. Tseng, Yuh-Shyan Chen, and Jang-Ping Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Networks", Proc. ACM/IEEE MOBICOM '99, pp.151-162, August 1999.
- [4] Ying Cai, Kien A. Hua, and Aaron Phillips, "Leveraging 1-Hop Neighborhood Knowledge for Efficient Flooding in Wireless Ad Hoc Networks", Proc. 24th IEEE Int'l Performance Computing and Comm. Conf.(IPCCC), April 2005.
- [5] Fei Dai and Jie Wu, "An Extended Localized Algorithm for Connected Dominating Set Formation in Ad Hoc Wireless Networks", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 15, no. 10, pp. 908-920, October 2004.
- [6] Hai Liu, Xiaohua Jia, Peng-Jun Wan, Xinxin Liu, Frances F. Yao, "A Distributed and Efficient Flooding Scheme Using 1-Hop Information in Mobile Ad Hoc Networks", IEEE Trans. Parallel and Distributed System, vol. 18, no. 5, pp. 658-671, May 2008.
- [7] Trong-Duc Le and Hyunseung Choo, "Efficient Flooding Scheme Based on 2-Hop Backward Information in Ad Hoc Networks", Proc. IEEE Int'l Conf. on Comm.(ICC), pp. 2443-2447, May 2008.
- [8] The Network Simulator-ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, 2002.