

논문 2011-2-27

애드혹 네트워크에서 패킷 수신 횟수에 기반한 확률적 플러딩 알고리즘

A Flooding Scheme Based on Packet Reception Counts for Ad Hoc Networks

송태규*, 강정진**, 안현식***

Tae-Kyu Song, Jeong-Jin Kang, Hyun-Sik Ahn

요 약 애드 혹 네트워크는 네트워크의 구성 요소를 관리하는 AP가 없는 대신 각각의 노드가 라우팅 알고리즘에 의한 동작으로 노드간에 정보를 전송한다. 이 때 네트워크 내 모든 노드로 정보를 전송하는 브로드캐스팅 과정이 필수적이다. 브로드캐스팅 과정에서는 네트워크를 구성하는 노드에 대한 충분한 정보 없이 모든 노드로 패킷을 전송하므로 동일한 패킷의 중복 수신이 발생하며, 이는 네트워크의 전력 효율을 감소시키는 원인이 된다. 본 논문에서는 전송 효율을 증가시키기 위하여 패킷 수신 횟수에 의한 확률적 브로드캐스트 기법을 제안한다. 각 노드는 과거 패킷 수신 횟수에 근거하여 신뢰성이 보장된 범위 내에서 높은 전송 효율을 갖는 브로드캐스트 확률을 계산하고 이 확률에 따라 각 노드는 브로드캐스트를 수행한다. 본 논문에서는 모의 실험을 통하여 제안 기법의 성능을 검증하였다.

Abstract Ad-hoc networks do not rely on a preexisting infrastructure such as Access Points(AP) in wireless network infrastructure. Instead each node participates in routing by forwarding data for other nodes. It makes required broadcasting to transmit packets to the whole network. In that part, each node tries to transmit data without any information about the other nodes. Therefore it causes duplication of transmission and waste of power. This paper presents adaptive probabilistic broadcasting schemes based on packet reception counts to alleviate the broadcast storm problem for wireless ad hoc networks. In this algorithm, each node calculates efficiency broadcast probability. Simulation results for the proposed flood algorithm are also presented.

Key Words : Ad-hoc Networks, Flooding Algorithm, Broadcast Storm, Probabilistic Broadcast

I. 서 론

무선 네트워크는 유선망을 이용한 AP(Access Point)를 중심으로 네트워크가 구성되는 인프라스트럭처(infrastructure) 네트워크와 AP 없이 무선 노드만으로 네트워크가 구성되는 애드 혹(ad hoc) 네트워크 또는 인

프라스트럭처리스(infrastructureless) 네트워크로 분류할 수 있다. 애드 혹 네트워크에서는 출발지와 목적지 중간에 있는 노드들의 도움으로 통신을 한다. 이 과정에서 네트워크 토폴로지가 변할 수 있으며 이 때문에 기존 유선 네트워크에서 사용되는 라우팅 기법을 적용하는 것이 어렵다. 따라서 애드 혹 네트워크에 적합한 라우팅 알고리즘 사용이 필수적이다.

AODV^[1]나 DSR^[2] 등의 라우팅 프로토콜에서는 최초의 라우팅 정보를 알아내기 위해 routing request 패킷을 플러딩하는 과정이 필수적이다. 이 때 노드의 동일 패킷의 중복 수신이 발생하며 이는 브로드캐스트 스톰

*준회원, 국민대학교 전자공학과

**중신회원, 동서울대학 정보통신과

***정회원, 국민대학교 전자공학과(교신저자)

접수일자: 2011.3.2, 수정일자: 2011.4.8

게재확정일자: 2011.4.15

(Broadcast Storm) 현상³[4]을 유발하여 네트워크 전체의 효율 저하로 이어진다. 따라서 플러딩의 효율이 네트워크의 전반적인 성능에 큰 영향을 미친다⁵[6]. 각각의 노드가 브로드캐스트 동작 여부를 결정하는 방법은 네트워크 성능에 큰 영향을 미치며, 현재 브로드캐스트 스톰을 줄이기 위한 다양한 기법이 연구되고 있다⁷[8][9][10][11].

중복 전송을 감소시키는 기본적인 접근 방법 중 하나가 확률적 접근 방법이다. 이 기법에서는 각각의 노드가 확률 P 에 기반하여 자신의 이웃노드로 브로드캐스트 동작을 수행한다. 확률적 접근 방법에서 확률이 높게 설정될 경우 패킷 전송의 신뢰성은 보장되지만 중복 수신이 증가하여 전송 효율이 떨어지게 되며, 확률이 낮게 설정될 경우 중복 수신이 낮아져 전송 효율은 증가하지만 패킷 전송의 신뢰성을 보장할 수 없게 된다. 또한 밀집도가 균일하지 않은 네트워크의 노드가 동일한 확률에 기반하여 브로드캐스트할 경우 일부 영역에서는 전송 효율 저하 문제가 발생하는 동시에 다른 영역에서는 전송 신뢰성 문제가 발생할 가능성이 있다.

본 논문에서는 중복 수신을 최소화하여 전송 효율을 높이는 동시에 패킷을 수신하지 못하는 노드가 발생하지 않는 브로드캐스트 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 노드의 중복 수신 횟수를 기반으로 적절한 브로드캐스트 확률값을 결정하는 알고리즘이다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 플러딩을 위하여 제안된 브로드캐스트에 관련된 여러 가지 기법들에 대하여 살펴보고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 기법에 대하여 서술한다. IV장에서는 성능 평가를 위하여 수행한 실험과 결과에 대해서 분석하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 에드 혹 네트워크의 플러딩 알고리즘

1. 플러딩 알고리즘

가장 기본적인 형태의 플러딩은 브로드캐스트 패킷을 수신한 노드가 자신의 이웃 노드에게 브로드캐스트하는 블라인드 플러딩(blind flooding)이다. 블라인드 플러딩에서 각 노드는 이웃 노드의 패킷 수신 여부에 관계없이 무조건 전송하므로 각 노드는 자신의 이웃 노드 개수만큼

동일한 패킷을 수신하게 된다. 블라인드 플러딩은 구현이 단순하며 확실한 정보 전송을 보장하지만 동일 패킷의 중복 수신이 다수 발생하여 전송 효율이 떨어진다는 단점이 있다.

전송 효율을 높이기 위하여 패킷 전송 횟수를 최소화하는 문제는 비말단 노드의 수를 최소화하는 spanning tree를 찾는 문제와 동일해진다. 이 문제는 MCDS (Minimal Connected Dominating Set) 문제로 환산이 가능하며 MCDS 문제는 NP-complete¹²[13] 이므로 flooding tree 문제 또한 NP-complete 이다. 따라서 블라인드 플러딩보다 효율적인 휴리스틱 알고리즘(heuristic algorithm)을 찾아야 한다. 이 알고리즘은 ad hoc 네트워크에서 수집 가능한 정보만을 기반으로 동작할 수 있어야 한다.

대표적인 것이 이웃 정보에 기반한 Self-Pruning¹⁴이다. Self-pruning 알고리즘에서는 모든 노드가 인접 노드의 리스트를 유지한다고 가정한다. 많은 ad hoc 네트워크 라우팅 프로토콜은 인접 노드의 존재를 알고 있다고 가정하므로 이 가정은 타당하다.

self-pruning 방식에서는 1-홉 인접 노드의 토폴로지 정보를 이용하여 플러딩을 수행한다. self-pruning 방식의 경우, 모든 노드는 계층-2의 BEACON 신호 또는 계층-3의 HELLO 메시지의 주기적인 브로드캐스트를 통해 자신과 1-홉 거리에 있는 인접 노드에 대한 리스트를 관리한다. 노드가 브로드캐스트 패킷을 플러딩할 경우 자신의 인접 노드 리스트를 패킷에 포함시킨다.

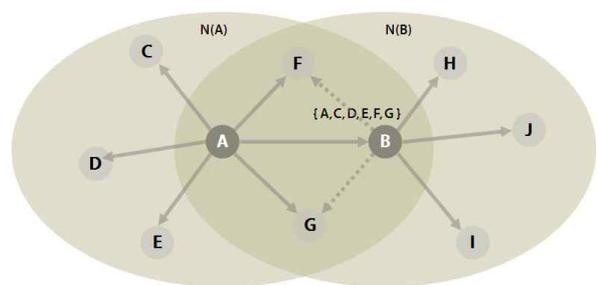


그림 1. 셀프 플러닝 알고리즘
Fig. 1. Self-pruning algorithm

그림 4과 같이 노드 A 가 노드 B 에게 브로드캐스트 패킷을 전송할 경우 노드 A 의 이웃 노드 리스트인 $N(A)$ 를 함께 전송한다. 노드 A 의 인접 노드 리스트를 수신한 노드 B 는 자신의 인접 노드 리스트인 $N(B)$ 중 $N(A)$ 가 아닌 노드로만 패킷을 전송한다. 그림 4의 경우 노드 B

는 노드 A 로부터 받은 인접 노드 리스트에 노드 F, G 가 포함되어있으므로 전송을 시도하지 않는다. 블라인드 플러딩에 비해 중복 전송 수가 감소했음을 알 수 있다. 이같은 방법은 블라인드 플러딩에 비해 불필요한 중복 전송을 감소시켜 전체 전송 시도 대비 불필요한 중복 전송 시도를 감소시킨다.

블라인드 플러딩에서는 모든 노드가 수신한 모든 패킷을 전송하므로 여러 노드가 같은 노드를 향해 동일한 패킷을 전송하는 문제가 발생한다. 네트워크를 구성하는 모든 노드가 패킷을 수신하기 위하여 모든 노드가 자신의 이웃 노드로 패킷을 전송할 필요는 없다. 이것에 기반한 플러딩 알고리즘이 확률 기반 플러딩 방식 알고리즘이다.

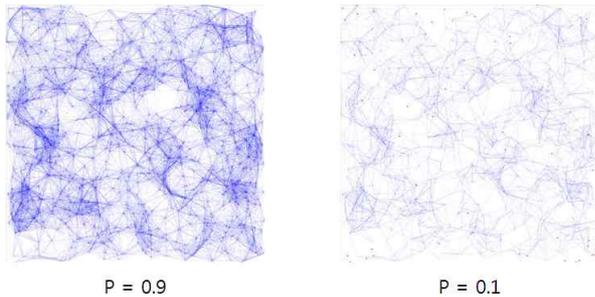


그림 2. 확률 P 에 따른 패킷 송신 그래프
Fig. 2. Packet transmit graph by probability P

확률 기반 플러딩 방식에서는 각 노드가 확률 P 에 따라 자신의 이웃노드로 플러딩 여부를 결정한다. 그림 5와 같이 확률 P 가 높을수록 각각의 노드는 자신의 이웃 노드 중 많은 노드로 패킷을 전송하여 네트워크 내의 많은 노드가 패킷을 수신할 수 있게 된다. 반면 중복 수신이 많아져 네트워크의 효율은 감소하게 된다. 확률 P 가 낮을수록 중복 수신이 감소하여 네트워크의 효율이 증가하지만 네트워크를 구성하는 노드 중 패킷을 수신하지 못하게 되는 노드가 발생할 확률이 증가한다.

네트워크의 신뢰성과 전송 효율은 확률 P 에 따라 그림 3과 같은 관계를 이룬다. 또한 노드의 밀집도에 따라 일정값 이상의 신뢰성을 보장하는 확률 P 가 달라진다. 이에 기반한 것이 지역 밀집도에 적응적인 브로드캐스트 알고리즘[15]이다. 이 알고리즘에서는 각 노드의 2 홉 이내 이웃 노드의 정보를 이용하여 자신의 브로드캐스트 확률을 결정한다. 동일 네트워크 내에서도 밀집도에 기반한 확률에 의해 브로드캐스트하므로 고정된 확률을 사

용하는 확률적 플러딩 알고리즘에 비해 영역에 따른 신뢰성과 전송 효율의 차이가 작다.

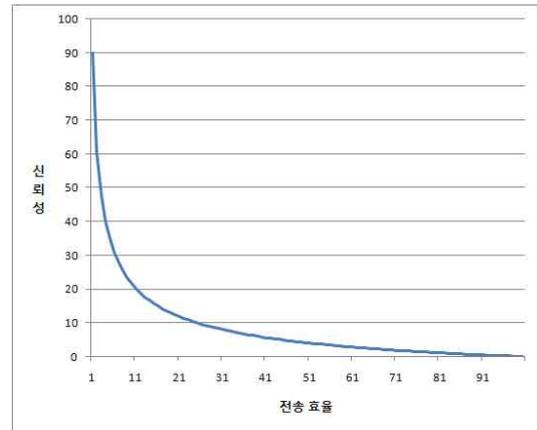


그림 3. 신뢰성과 전송효율의 추상적 모델
Fig. 3. The conceptual model of the reliability and the transmit efficiency

2. 패킷 수신 횟수에 기반한 확률적 플러딩 기법

모든 노드는 자신의 이웃 노드로부터 패킷을 수신한 후 자신의 이웃 노드로 패킷을 송신한다. 이웃 노드가 많을수록 패킷을 전송해오는 노드가 많으므로 동일한 패킷을 중복 수신할 확률이 높다. 한 노드의 이웃 노드 수를 근사적으로 계산할 수 있다면 그 노드가 패킷을 수신했을 확률 또한 근사적으로 계산할 수 있다.

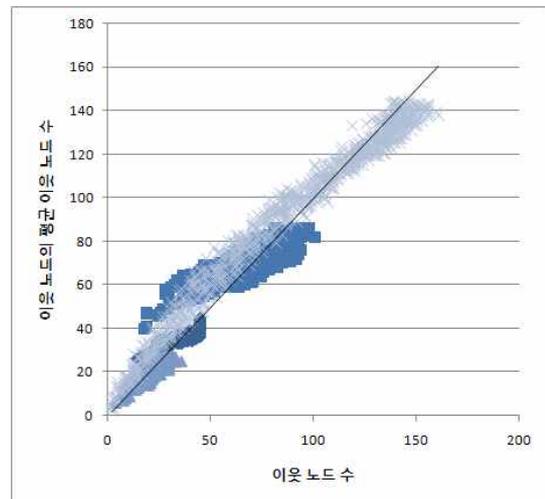


그림 4. 이웃 노드 수와 이웃 노드의 이웃 노드 수의 관계
Fig. 4. Correlation between the number of 1-hop nodes and the number of 1-hop nodes of 1-hop nodes

그림 7는 노드가 무작위로 분포된 네트워크 내에서 이웃 노드 수와 이웃 노드의 이웃 노드 수의 관계를 나타낸 것이다. 노드 A의 이웃 노드 수가 n이라고 가정할 경우, 노드 A의 이웃 노드 또한 각각 n에 근사한 수의 이웃 노드를 갖고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 노드 A의 이웃 노드 수와 노드 A의 이웃 노드의 이웃 노드 수가 유사하므로 노드 A의 중복 수신 횟수와 노드 A의 이웃 노드의 중복 수신 횟수 역시 유사하다는 것을 알 수 있다. 이를 근거로 노드 A가 동일한 패킷을 일정 범위 이상으로 중복 수신할 경우, 노드 A의 이웃 노드 또한 동일한 패킷을 일정 범위 이상 중복 수신하고 있다고 추정할 수 있다. 반대로 노드 A가 동일한 패킷을 일정 범위 미만으로 중복 수신할 경우, 노드 A의 이웃 노드 또한 동일한 패킷을 일정 범위 미만으로 수신하고 있다고 추정할 수 있다.

본 장에서 제안하는 알고리즘에서는 각 노드의 동일 패킷 중복 수신 횟수에 기반하여 자신의 브로드캐스트 확률 P를 결정한다.

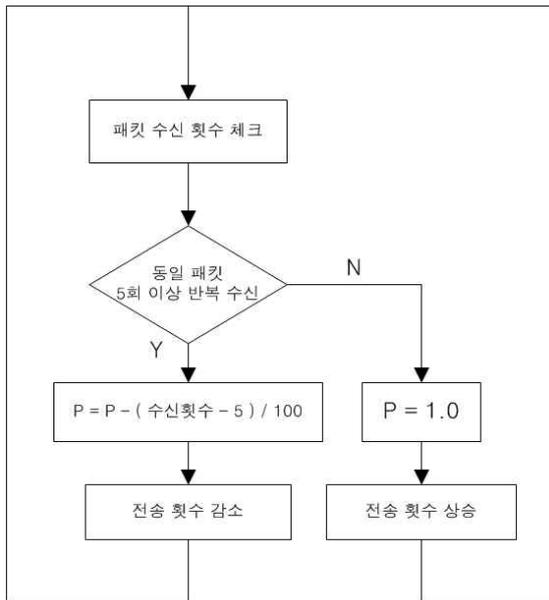


그림 5. 제안하는 기법의 순서도
Fig. 5. Flowchart of proposed scheme

그림 5는 제안하는 기법을 순서도로 나타낸 것이다. 노드 A가 동일한 패킷을 일정 횟수 이상 중복 수신했을 경우 그 다음 패킷을 송신할 때 확률 P를 감소시켜 이웃 노드로의 전송을 감소시키면 불필요한 중복 수신이 감소된다. 노드 A가 동일한 패킷을 일정 횟수 이하로 수신했

을 경우 확률 P를 1로 유지하여 이웃 노드로의 전송 횟수를 증가시키면 패킷의 전송 신뢰성이 향상된다. 각 노드는 패킷 수신과 송신을 반복함에 따라 확률 P를 증가 또는 감소시켜 미수신 노드가 발생하지 않는 범위 내에서 전송 효율을 증가시킨다.

III. 시뮬레이션 및 결과 고찰

1. 시뮬레이션 환경

제안한 기법의 성능 평가를 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 노드가 위치한 필드의 크기는 1000 × 1000이며 최대 전송 가능 거리는 50으로 정하였다. 노드의 좌표는 가로 세로 모두 평균 500, 표준편차 50의 가우시안 랜덤으로 설정하여 필드의 가운데는 밀집도가 높고 필드의 가장자리는 밀집도가 낮게 배치하였다. 패킷을 수신한 노드는 1회에 걸쳐 확률 P에 따라 자신의 이웃 노드로 패킷을 전송한다. 패킷을 수신한 모든 노드가 전송을 마치면 플러딩이 1회 끝난 것으로 간주하였다.

성능 평가 기준은 다음과 같다.

- 도착률 = $\frac{\text{노드가 패킷을 수신한 횟수}}{\text{노드가 패킷을 전송한 횟수}}$
- 수신율 = $\frac{\text{패킷을 수신한 노드 수}}{\text{전체 노드 수}}$

2. 시뮬레이션 결과

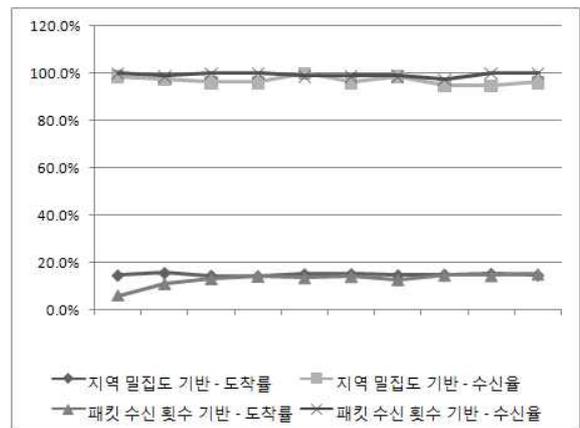


그림 6. n = 60의 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation result when n = 60

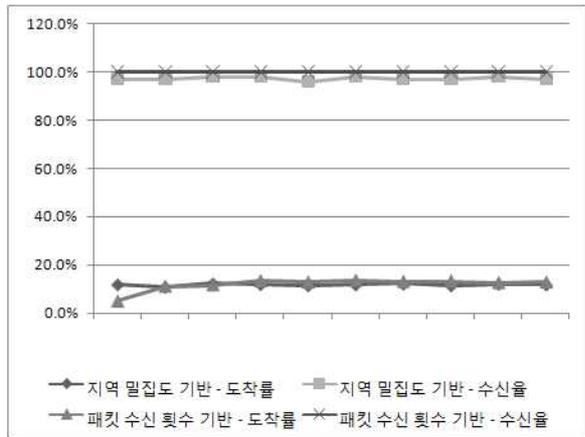


그림 7. n = 100 의 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulation result when n = 100

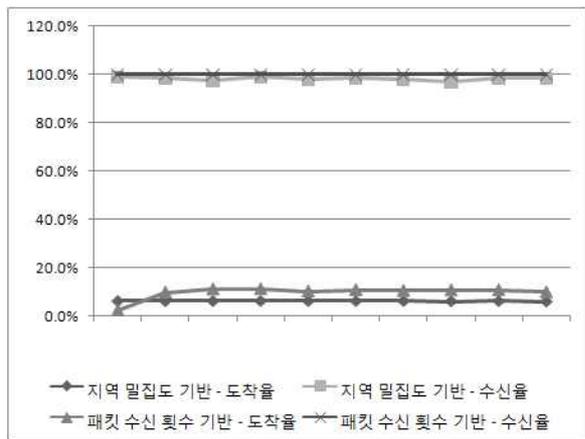


그림 8. n = 200 의 시뮬레이션 결과
Fig. 8. Simulation result when n = 200

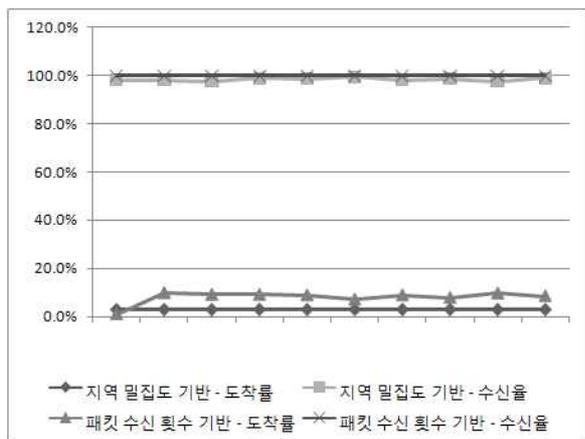


그림 9. n = 400 의 시뮬레이션 결과
Fig. 9. Simulation result when n = 400

그림 6-9 는 노드 수를 각각 60, 100, 200, 400 으로 변

경하며 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 실험군은 본 논문에서 제안하는 패킷 수신 횟수 기반 플러딩 알고리즘이며 대조군은 지역 밀집도에 적응적인 브로드캐스트 알고리즘이다. 실험군과 대조군 모두 100회 연속 플러딩하여 각각 도착률과 수신율을 측정하였다. 도착률이 높을수록 무의미한 전송이 적은 것을 의미하며, 수신율이 높을수록 네트워크 전체에 정확하게 정보가 전달되었음을 의미한다. 실험군의 경우 플러딩마다 브로드캐스트 확률이 다르므로 도착률 또한 매번 달라지는 것을 확인할 수 있다. 첫 플러딩에서는 낮은 도착률을 보이다가 플러딩이 반복됨에 따라 도착률이 상승하며 일정한 값에 수렴한다. 또한 노드 수 100개 이하의 실험 환경에서는 최종 도착률이 대조군에 비해 낮거나 같았으나 200개 이상의 실험 환경에서는 최대 2.7배의 도착률을 나타내었다. 이는 n=400 환경의 경우 대조군에 비해 약 56%의 전력만 이용하여 동일한 플러딩 효과를 보일 수 있음을 의미한다. 이처럼 실험군과 대조군은 노드 수에 따라 도착률의 차이를 보이고 있으며 밀집도가 높은 환경일수록 실험군은 대조군에 비해 높은 도착률을 보인다. 제안하는 알고리즘이 일정 횟수 이상으로 중복 수신이 이루어지는 것을 방지하는 효과가 크다는 것을 보여준다.

수신율의 경우 대조군은 전 영역에서 평균 95% ~ 99% 를 나타낸 반면 실험군은 평균 99% 이상을 나타내었다. 대조군의 경우 패킷을 수신할 확률이 낮은 곳에 위치한 노드는 연속적으로 패킷을 수신하지 못하는 일이 발생하는데 반해 실험군의 경우 패킷을 수신하지 못하면 다음 사이클에서 브로드캐스트 확률이 상승하므로 연속적으로 패킷을 수신하지 못하는 일이 발생하지 않아 결과적으로 높은 수신율을 나타내게 되었다.

본 장에서 지역 밀집도에 적응적인 확률적 플러딩 기법과 패킷 수신 횟수에 기반한 플러딩 알고리즘을 비교하였다. 실험의 결과를 통해 노드의 밀집도가 높은 환경일수록 중복 수신 방지 효과가 크며 안정적인 네트워크를 구성할 수 있다는 것을 확인하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 애드 혹 네트워크에서 패킷 수신 횟수에 기반한 적응적 플러딩 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 지역 밀집도에 적응적인 브로드캐스트 알

고리즘과 비교한 결과 도착률이 더 높았으며 노드 수가 많은 실험 조건에서는 수신율이 높다는 결과를 확인할 수 있었다.

따라서 제안하는 알고리즘을 사용할 경우 플러딩의 신뢰성이 더 높아지며, 일정 수 이상의 노드가 분포된 환경에서는 수신율 상승으로 인해 노드의 전력 낭비를 줄이고 브로드캐스트 스톱 현상을 감소시킬 수 있다.

시뮬레이션 수행 결과 네트워크에 따라 도착률과 수신율이 다른 것을 확인할 수 있었으며, 향후 과제로서 네트워크 내 노드 수 및 노드의 분포 패턴에 따른 도착률의 관계에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

[1] Charles Perkins, Elizabeth M. Royer, "Ad Hoc On Demand Distance Vector(AODV) Routing," Internet draft, IETF, Aug. 1998

[2] Josh Broch, David B. Johnson, David A. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Internet draft, IETF, March. 1998

[3] Y.-C. Tseng, S.-Y. Ni, Y.-S. Chen, and J.-P. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," Wireless Networks, vol. 8, pp. 153 - 167, Mar.-May 2002.

[4] Y.-C. Tseng, S.-Y. Ni, E.-Y. Shih, "Adaptive approaches to relieving broadcast storms in a wireless multihop mobile ad hoc network," ICDCS'01, pp. 481 - 488, April 2001.

[5] H. C. Obraczka, K. Tsudik, G. and K. Viswanath, "Flooding for reliable multicast in multi-hop ad hoc networks," DIALM, pp. 64.71, 1999.

[6] J. Jetcheva, Y. Hu, D. Maltz, and D. Johnson, "A simple protocol for multicast and broadcast in mobile ad hoc networks," Internet Draft : draft-ietf-manet-simple-mbcast-01.txt, July 2001.

[7] R. Gandhi, S. Parthasarathy and A. Mishra, "Minimizing Broadcast Latency and Redundancy in Ad Hoc Networks," MOBIHOC' 03, June 1 - 3, 2003.

[8] A. Qayyum, L. Viennot, and A. Laouiti, "Multipoint

relaying for flooding broadcast messages in mobile wireless networks," HICSS' 02, Jan 2002.

[9] W. Peng and X. Lu, "On the reduction of broadcast redundancy in mobile ad hoc networks," MOBIHOC, pp. 129 - 130, Aug 2000.

[10] J. Wu, Fei Dai, "Broadcasting in ad hoc networks based on self-pruning," INFOCOM, vol. 3, pp. 2240 -2250, 30 March - 3 April 2003.

[11] B. Williams and T. Camp, "Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks," MOBIHOC, ACM Press, pp. 194-205, 2002.

[12] Charles J. Colbourn, Lorna K. Stewart, "Permutation Graphs : Connected Domination and Steiner Trees," Discrete Mathematics, 86(1990), pp.179-189.

[13] David Lichtenstein, "Planar Formulae and Their Uses," Siam J. Comput. Vol. 11, No.2 May 1982, pp. 329- 343.

[14] H. Lim and C. Kim, "Flooding in Wireless Ad Hoc Networks," Computer Communications Journal, Vol. 24, No.3, pp.353-363, Feb. 2001.

[15] 김정삼, 류정필, 한기준, "에드 혹 네트워크에서 지역 밀집도에 적응적인 확률적 플러딩 기법," 전자공학회 논문지 제 42권 TC편 제 9호, pp. 11-19, Sep. 2005

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업 (NIPA-2011-C1090 -1121-0005) 및 2011년도 국민대학교 교내연구비를 지원받아 수행된 연구입니다.

저자 소개

송 태 규(준회원)



- 2009년 국민대학교 전자공학부 학사 졸업
- 2009년~현재 국민대학교 대학원 전자공학부 석사과정
- <주관심분야: USN 기술, 로보틱스 응용>

강 정 진(중신회원)



- 1991년 3월 - 2011현재 동서울대학 정보통신과 교수
- 2007년 2월 - 2010년 2월 미시간주립대학교 전기컴퓨터공학과 교환교수
- 1991년 8월 - 2005년 8월 건국대학교 전자정보통신공학과 대학원 및 학부 외래강사(논문지도)
- 2011년 현재 Marquis Who's Who in the world 인명록 등재
- <주관심분야: Green RFID/USN, 그린 스마트기기, 이동무선통신, 안테나 및 전파전파, 방통융합기술, 모바일컴퓨팅, 지능형 제어기술, 등>

안 현 식(정회원)



- 1992년 서울대학교 제어계측 공학과 박사
- 현재 대한전기학회 정보 및 제어부문 이사
- 현재 국민대학교 전자공학부 교수
- <주관심분야: 지능형 로보틱스 및 차량 전자 제어>