

무선 센서 네트워크에서 효율적인 메시지 방송 기법

김관웅* · 김변곤** · 배성환*** · 김대익****

An Improved Message Broadcast Scheme over Wireless Sensor Networks

Kwan-woong Kim* · Byun-gon Kim** · Sung-hwan Bae*** · Dae-ik Kim****

요약

다중-홉 센서 네트워크에서 방송은 경로 탐색과 주소 설정 등 많은 응용 작업들을 지원해 주는 기본적인 동작이다. 플러딩을 이용한 방송은 네트워크상에서 방송 폭풍 문제라고 언급되는 중복성, 경쟁, 충돌문제 등을 야기한다. 무선 센서 네트워크를 위한 여러 가지 방송 기법들은 단순 플러딩 기법 보다 우수한 성능을 얻기 위해 제안되었다. 무선 네트워크에서 제안된 방송알고리즘은 플러딩 기법, 확률적 기법, 카운터 기반 기법, 거리 기반 기법, 위치 기반 기법, 그리고 이웃 지식 기반 기법으로 분류 된다. 본 논문에서는 단순 플러딩 기법, 확률적 기법, 카운터 기반 기법, 거리 기반 기법과 이웃 지식 기반 기법을 소개하고, 각 기법들의 성능과 효율성을 네트워크 시뮬레이션을 통해 비교 분석한다.

ABSTRACT

In a multi-hop wireless sensor network, broadcasting is an elementary operation to support command message sending, route discovery and other application tasks. Broadcasting by flooding may cause serious redundancy, contention, and collision in the network, which is referred to as the broadcast storm problem. Many broadcasting schemes have been proposed to give better performance than simple flooding in wireless sensor network. How to decide whether re-broadcast or not also poses a dilemma between reachability and efficiency under different host densities. In this paper, we present popular broadcasting schemes, which can reduce re-broadcast packets and improve SRB(Saved ReBroadcast). Simulation results show different levels of improvement over the simple flooding scheme.

키워드

MANETs, Broadcasting, Routing Protocol, AODV

1. 서론

무선 센서 네트워크(WSN : Wireless Sensor Network)는 스스로 구성되어 지면서 동적으로 변화되는 다중-홉 네트워크이다[1, 2]. 또한 무선 센서 네트워크 상의 모든 센서 노드들은 기존의 통신 인프라(기지국,

AP) 또는 중앙 제어장치를 통하지 않고 서로 통신할 수 있다. 따라서 임시 구성용 네트워크나 지진, 태풍, 테러 등에 의한 재해/재난 복구 또는 구조와 전장터와 같은 군사용 네트워크 등에 적용할 수 있다.

방송(Broadcasting)은 무선 센서 네트워크에서 경로 탐색, 주소 설정, 그리고 다른 응용 작업 등을 수

* 한국원자력연구원 MMIS(kwkim@kaeri.re.kr)

** 군산대학교 전자공학과(bgkim@kunsan.ac.kr)

*** 한려대학교 멀티미디어정보통신공학부(shbae@hanlyo.ac.kr)

**** 교신저자 : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부 (daeik@chonnam.ac.kr)

접수일자 : 2010. 10. 06

심사(수정)일자 : 2010. 11. 02

게재확정일자 : 2010. 12. 10

행하는데 널리 쓰이는 방법이다. 노드는 제한된 전송 영역을 갖기 때문에, 각 무선 노드는 목적지에 정보를 전송하기 위해 라우터로써 동작한다. 무선 센서 네트워크의 방송을 위해 기존에 여러 가지 기법들이 소개되었다. 가장 단순한 방송 기법이 플러딩(flooding)이다[3]. 이 방법은 각 무선 센서 노드가 새로운 패킷을 받게 되면 그 패킷을 다른 노드로 재방송(re-broadcast)하며, 이미 수신한 적이 있는 패킷은 버리게 된다. 임의의 패킷을 처음으로 수신한 모든 노드들은 그 패킷을 재방송하기 때문에 재방송 패킷의 개수는 $N-1$ 이 된다. 여기에서 N 은 무선 센서 네트워크의 센서 노드의 개수이다.

플러딩 기법의 이러한 동작 특성으로 인해, 각 노드에 재방송을 제한하지 않으면 패킷 중복, 채널 경쟁, 패킷/채널 충돌이 발생된다. 이러한 현상을 방송 폭풍(broadcasting storm) 문제라고 한다[3]. 중복성은 하나의 노드가 두개 이상의 주변 노드들로부터 동일한 패킷을 받는 경우를 의미한다. 채널 경쟁은 다수의 노드들이 수신한 패킷을 동시에 재방송 할 때 발생하는 문제이며, 이로 인해 패킷/채널의 충돌율이 증가하게 된다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 패킷을 받는 각 노드에서 재방송 동작 유무를 결정해야 한다. WSN을 위한 방송 기법의 가장 중요한 점은 패킷의 도착률(reachability)을 최대화하면서 패킷 중복성을 최소화시키는 것이다.

본 논문에서는 단순 플러딩 기법을 개선하기 위해 제안된 센서 네트워크의 방송기법들에 대해 소개하고, 각 기법들의 성능과 효율성을 네트워크 시뮬레이션을 통해 비교 분석한다. 2장에서 기존에 제안된 방송 알고리즘에 대한 설명과 장단점을 살펴보고, 3장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 평가 결과를 논의하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

최근 무선 네트워크 상에서 효율적인 방송 기법을 찾기 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 방송 기법에서 해결해야 할 가장 중요한 사항은 패킷의 전달 지연 시간을 줄이고 도착율은 높이면서 재방송 패킷의 개수를 최소화시키는 것이다. 많은 양의 재방송 패

킷을 전송한다면 높은 도착율을 보장 할 수 있지만, IEEE 802.11 프로토콜은 신뢰성이 결여된 전송을 하기 때문에 네트워크 수율을 감소시키고 긴 패킷 지연 시간과 높은 충돌을 야기 한다[6]. 반면에, 재방송 패킷의 개수를 줄일 경우에는 요구되는 대역폭을 줄일 수 있고 네트워크 수율을 높일 수 있으며 패킷 지연 시간을 줄일 수 있다.

그러나 너무 적은 재방송 패킷을 보낼 경우에는 재방송 체인(chain)이 끊어지게 되어 어떤 노드들은 방송 패킷을 받지 못하는 문제가 발생된다. 따라서 도착율이 저하된다. 방송 기법은 플러딩 기법, 확률적 기법, 카운터 기반 기법, 거리 기반 기법, 위치 기반 기법, 그리고 이웃 지식 기반 기법으로 분류 된다[3, 5].

2.1 플러딩 기법

가장 단순한 방송 기법은 플러딩으로 각 노드들은 수신한 새로운 방송 패킷은 무조건 재전송하는 방식이다. 플러딩 기법의 동작은 각 무선 노드가 처음으로 수신한 방송 패킷을 재방송하고 다음에 참조하기 위해 그 패킷을 저장한다. 모든 무선 노드가 임의의 패킷을 한 번씩 재방송 해주기 때문에 N 이 네트워크상의 전체 노드 개수이고, 네트워크가 분할되지 않는 경우에 재방송 되는 패킷의 총 개수는 $N-1$ 이 된다.

그러나 대부분의 경우에 많은 재방송 패킷이 중복되어 채널 대역폭을 낭비하게 된다. 이러한 중복 패킷에 대한 재방송을 줄이기 위해 확률적 기법과 결정론적 기법이 제안되었다.

2.2 확률적 기법

확률적 기법은 방송 패킷을 수신한 모든 무선 노드들이 미리 정해진 확률 p 에 따라 그 패킷을 재방송한다[3]. 따라서 재방송 되는 패킷의 전체 개수는 pN 이 된다. [6]에서는 적절한 p 를 찾기 위한 최적화 방안이 연구되었다. 최적의 p 값은 네트워크에 산개된 노드의 수와 집적도에 따라 달라진다.

2.3 카운트 기반 기법

카운터 기반 기법은 무선 노드가 RAD 동안 수신한 동일 패킷의 개수를 카운트하여 재방송 여부를 결정한다. 즉, 한 노드가 임계치 C_{th} 보다 많은 개수의 동일한 패킷을 수신하면 그 패킷을 재방송 하지 않는

다. [4, 8]에서 임계치 C_{th} 가 3 또는 4인 경우 단순 플러딩 기법보다 도착율을 높이면서 중복 패킷의 개수를 줄일 수 있음을 보였다.

2.4 거리 기반 기법

거리 기반 기법은 송신 노드로부터 일정거리 이상 떨어져 있는 수신 노드들만 패킷을 재방송 한다. 거리 정보는 신호세기를 측정하거나 GPS와 같은 부가적인 장치를 사용하여 얻는다[11].

거리 기반 기법은 수신기가 커버하고 있는 새로운 영역이 미리 정해 놓은 임계치보다 클 경우에만 패킷을 재방송 한다. 이 기법 또한 각 무선 노드의 위치 정보가 요구되므로 거리 기반 기법과 같이 위치 정보 제공 장치가 필요하다. 이러한 이유로 거리 기반 기법과 위치 기반 기법을 영역 기반 기법이라고 부르기도 한다[3]. 거리 기반 기법을 이용하여 방송 폭풍 문제를 해결할 수 있지만, 네트워크의 동적 토폴로지에 패킷이 도달되지 않을 가능성이 잠재해 있다. 이 기법의 가장 큰 단점은 낮은 노드 밀도(sparser) 네트워크에서 전송범위 외부에 존재하는 노드들이 방송 패킷을 수신하기 어렵다는 것이다.

2.5 이웃 지식 기반 기법

이웃 지식 기반 기법은 정확한 이웃정보를 기반으로 하여 패킷의 재방송을 결정한다[9, 10]. 이 기법은 이웃정보를 수집하기 위해 이웃 간에 HELLO 메시지를 주기적으로 교환한다. [9]에서 제안한 기법은 HELLO 메시지를 이용하여 각 노드에서 1-홉 이웃 리스트를 작성한다. 현재 노드의 이웃 리스트는 모든 방송 패킷에 첨부된다. 패킷이 현재 노드의 이웃들로 전달되면 각 이웃 노드는 자신의 이웃 리스트와 패킷에 첨부된 리스트를 비교하여 자신의 모든 이웃들이 패킷에 첨부된 리스트에 포함되어 있으면 재방송하지 않는다.

[10]에서는 HELLO 메시지를 이용하여 각 노드에서 2-홉 이웃 리스트를 작성하는 SBA(Scalable Broadcast Algorithm)를 제안하였다. 이웃 지식 기반 기법은 재방송 개수를 거의 최적화 할 수 있지만, HELLO 메시지 자체가 채널 대역폭을 점유하고, HELLO 메시지 전송이 방송 기법을 사용하기 때문에 충돌 확률을 높이므로 전체적으로는 성능이 저하되는

문제점이 있다. 또한 거리 기반 기법을 이용하여 방송 폭풍 문제를 해결할 수 있지만, 네트워크의 동적 토폴로지에 패킷이 도달되지 않을 가능성이 잠재해 있다. 이 기법의 가장 큰 단점은 낮은 노드 밀도 네트워크에서 전송범위 외부에 존재하는 노드들이 방송 패킷을 수신하기 어렵다는 것이다.

재방송을 최적화하기 위한 원칙은 다음과 같다[5, 7]. 첫 번째로는 많은 양의 재방송 패킷은 충돌율을 증가시키기 때문에 재방송 패킷은 네트워크 토폴로지에 따라 최소화 되어야 한다. 두 번째로, 효율성을 높이기 위해 다른 노드들보다 더 큰 커버리지를 갖는 노드는 패킷을 재방송 할 기회를 더 가져야 한다.

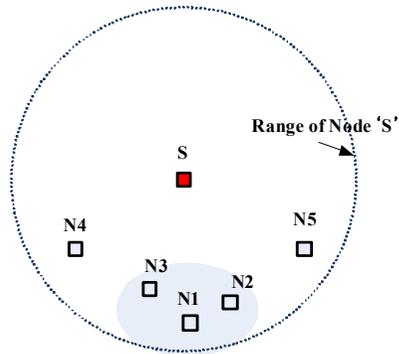


그림 1. 간단한 무선 센서 네트워크 토폴로지 예
Fig. 1 A simple topology of WSN

간단한 무선 센서 네트워크 예를 그림 1에 보여준다. 노드 S는 방송 패킷의 원 소스이고, 이웃 노드 N1-N5는 동시에 노드 S로부터 방송 패킷을 받는다. 회색 원 내에 있는 노드 N1, N2, N3이 서로 근접해 있기 때문에 세 노드에 대한 대부분의 커버리지는 서로 중첩된다. N1이 패킷을 재방송 하고 두 노드 N2, N3이 재방송 하는 것을 차단한다면 충돌 확률을 줄일 수 있다. 반면에 N4, N5 노드들은 N1에서 멀리 떨어져 있기 때문에 N4와 N5는 패킷을 재방송해야 한다. 따라서 최상의 재방송 방법은 세 노드 N1, N4, N5는 패킷을 재방송 하고, 나머지 노드들은 재방송을 차단시키는 것이다.

III. 성능 평가

3.1 시뮬레이션 구성

단순 플러딩, 확률 기반(PB), 카운터 기반(CB), 거리 기반(DB) 기법 그리고 SBA 기법을 모델링하여 시뮬레이션을 통해 성능을 비교하였다. 시뮬레이션을 위해 NS2 시뮬레이터를 사용하였으며, 네트워크 모델은 노드 밀집 효과를 조사하기 위해 1.0km × 1.0km 영역에 40 ~ 120개의 무선 노드로 구성하였다.

노드들의 초기 위치는 무작위로 설정되고, 노드 쌍 또한 CBR/UDP(Constant Bit Rate/User Datagram Protocol) 트래픽을 발생시키기 위해 무작위로 선택하였다. 채널 대역폭은 2Mbps로 설정하였다. 각 노드는 SMAC 프로토콜을 사용하였고, 채널 모델은 무선 채널/무선 물리 전송 모델을 이용하였다. 라디오 전송 모델로 Two Ray Ground 모델을 사용하였으며, 무선 노드의 전송 범위와 간섭 범위는 250m과 550m로 설정하였다. 트래픽 소스는 CBR이고, 방송 패킷을 위해 무작위로 5노드를 선택하였다.

UDP 패킷은 64바이트로 설정하였다. 각 실험에서 시뮬레이션 시간은 200초로 정하였고, 바이어스 된 무작위 숫자가 발생하는 것을 피하기 위해 동일 구성 조건에서 10번의 시뮬레이션을 수행하였다. PB의 릴레이 확률은 0.6으로, CB의 카운터 임계치는 3으로, DB에서 d_{th} 는 167m (0.67×전송 범위)로 설정하였다. 또한 CB, DB의 RDT의 최대 지연시간 T_{max} 는 32msec로 설정하였다. 이러한 시뮬레이션 환경은 각 알고리즘을 제안한 논문들을 참조하여 얻었다. 성능 평가 항목은 다음과 같다.

- 도착율 : m/n , 여기에서 m 은 방송 패킷을 수신한 무선 노드의 개수이고 n 은 직접 또는 간접적으로 도착 가능한 무선 노드의 개수이다.
- 절약된 재방송 비율(Saved re-broadcast rate) : $(m - t)/m$, 여기에서 t 는 패킷을 실질적으로 재방송한 노드의 개수이다.
- 충돌에 의한 패킷 손실(Lost packets by collision) : 충돌 때문에 손실된 패킷의 개수

3.2 시뮬레이션 결과

5가지 기법에 대한 노드 개수에 따른 도착율을 그림 2에 보여주고 있다. 40노드인 경우 DB가 가장 낮은 도착율을 보였는데, 거리 임계치 내의 노드들이 패

킷을 재방송하는 것을 방해했기 때문이다. 따라서 이와 같은 낮은 노드 밀도 네트워크상에서 방송 패킷이 모든 노드에 전달되기 어렵다. 60과 80 노드인 경우에는 모든 기법들이 가장 좋은 도착율을 보였다. 100이 넘는 노드를 갖는 네트워크에서는 높은 충돌율로 인해 도착율이 감소하였다.

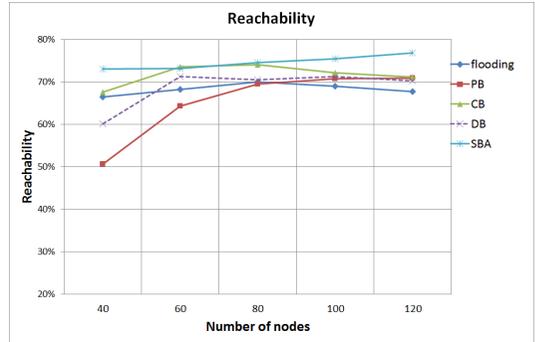


그림 2. 도착율 비교 그래프
Fig. 2 Comparison of Reachability

많은 노드들이 같은 패킷에 대한 릴레이를 계속 시도하기 때문에 충돌율이 증가하였고, 그림 4에서와 같이 많은 패킷이 손실되는 결과를 가져왔다. 결과적으로 다양한 실험 조건에서 SBA가 다른 기법들에 비해 높은 도착율을 보였다. 성능이 향상된 이유는 재방송 결정 방법이 이웃 노드들의 정보를 이용하여 다른 기법들에 비해 효율적으로 재방송하였기 때문이다.

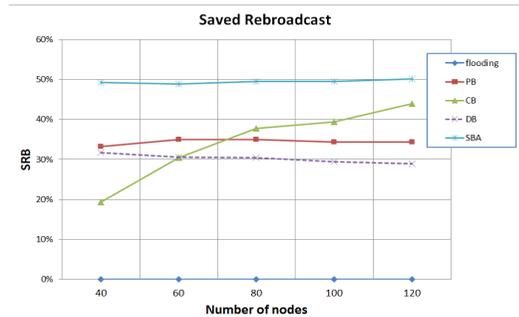


그림 3. 절약된 재방송 비교 그래프
Fig. 3 Comparison of saved re-broadcast

절약된 재방송 비율과 충돌에 의한 손실 패킷을 그림 3과 그림 4에 각각 도시하고 있다. 단순 플러딩 기

법은 방송 패킷을 수신한 노드의 개수와 패킷을 실질적으로 재방송한 노드의 개수가 같으므로 그림 3과 같이 모든 실험 조건에서 절약된 재방송 비율이 0%를 보이고 있다. 또한 패킷을 받은 노드들이 모두 재방송을 하기 때문에 많은 충돌이 발생하여 다른 기법에 비해 노드의 개수가 증가할수록 손실된 패킷이 많아짐을 확인할 수 있다.

SBA의 그래프 추이를 보면, 노드의 집적도에 관계없이 일정한 수준의 SRB를 보여준다. 이는 노드가 주변 이웃노드들의 정보와 집적도를 기반으로 최적의 재방송 여부를 판단하기 때문이다. 따라서 그림 3과 비교하면 낮은 밀도에서도 가장 좋은 도착율을 보임을 알 수 있다. 그림 3과 그림 4를 비교하면 SBA는 노드 밀도에 따라 재방송 패킷수를 조절함으로써 일정 수준 이상의 도착율을 유지시켜 줄 수 있다.

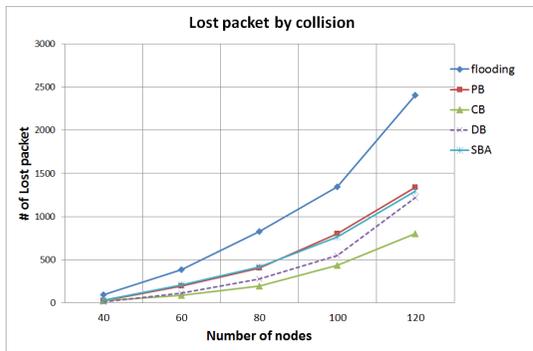


그림 4. 충돌에 의한 손실 패킷 비교 그래프
Fig. 4 Comparison of lost packets by collision

충돌에 의한 손실된 패킷 수를 그림 4를 통해서 살펴보면, 재전송이 가장 많이 일어난 플러딩 방식이 가장 높고, 제안된 알고리즘의 경우, 노드 밀도가 높아질수록 기존 기법에 비해 향상됨을 알 수 있다.

각 알고리즘별 패킷의 전송 지연시간을 그림 5에 보여준다. SBA를 제외한 알고리즘들은 노드의 개수가 늘어날수록 지연시간이 증가함을 알 수 있다. 그러나 SBA는 일정한 지연시간을 보여주는데 이는 메시지 재방송을 최단 경로를 통해 전송하기 때문이다.

시뮬레이션 결과, SBA 기법이 기존의 기법에 비해 도착율과 효율성에 있어서 20 ~ 30%의 향상된 결과를 보여줌을 확인하였다. 2장에서 기술했듯이 이웃정보 기반 알고리즘인 SBA는 정확한 정보를 기반으로

재방송 여부를 판단하기 때문에 거의 최적화된 성능을 보여준다. 그러나 다른 알고리즘들은 이웃정보를 사용하지 않기 때문에 재방송 판단을 위한 HELLO와 같은 추가 메시지가 필요 없고, 또한 이웃정보를 저장하기 위한 메모리가 요구되지 않는다.

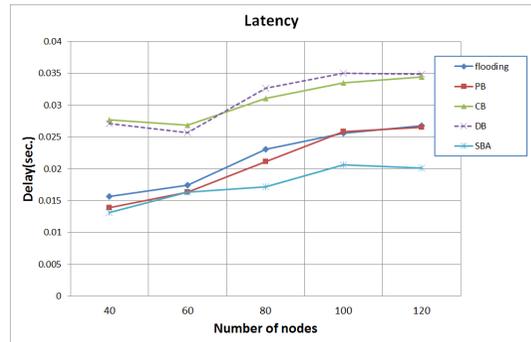


그림 5. 패킷전송 지연시간 비교 그래프
Fig. 5 Comparison of latency

SBA의 프로세싱 요구량과 메모리 요구량을 표 1에 보여주고 있다. 앞에서 살펴본 시뮬레이션 결과와 같이 SBA의 높은 성능을 얻기 위해서는 타 알고리즘에 비해, 프로세싱 파워 및 메모리, 채널 대역폭을 소모하는 trade-off가 발생하게 된다.

표 1. SBA의 프로세싱 요구량과 메모리 요구량
Table 1. Required processing power and memory space of SBA

Node Density	Average size of HELLO in SBA (bytes)	Required Memory for neighbor information in SBA (bytes)	CPU operation (SBA)	CPU operation (CB)
40	59.90	350	195	6
60	76.26	727	528	6
80	92.63	1238	1083	6
100	108.99	1883	1930	6
120	125.35	2661	3228	6

IV. 결론

재방송 제약조건을 적용하지 않은 단순 플러딩 기

법은 패킷의 과도한 중복과 채널 경쟁, 그리고 높은 충돌율을 발생시킨다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 방송 폭풍 문제를 줄일 수 있는 방송 기법을 살펴보고, 각 기법들의 장단점을 분석하였다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 플러딩, 카운터 기반 기법, 거리 기반 기법, 확률 기반 기법과 이웃정보 기반인 SBA의 성능을 비교 분석하였다. 실험결과 SBA가 도착율과 재전송 효율면에서 가장 우수한 성능을 보였다. 그러나 SBA는 다른 알고리즘에 비해 높은 프로세싱 부하 및 메모리를 요구하고 또한 이웃정보를 획득하기 위한 추가적인 메시지방송이 요구된다. 본 논문의 결과는 프로세싱 부하 및 메모리요구가 낮으면서도, 성능이 우수한 새로운 방송기법을 연구하는데 기초 자료로 사용된다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Yogesh Sankarasubramaniam, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Wireless Communication, p 12Aug. 2002.
- [2] <http://www.ietf.org/>, IETF MANET Working Group.
- [3] S.Y. Ni, Y.C. Tseng, Y.S. Chen, and J.P. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," Proceedings of the 1999 Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, New York, pp. 151 - 162, Aug. 1999.
- [4] Z. Haas, J. Halpern, and L. Li, "Gossip-based ad hoc routing," Proceedings of the IEEE INFOCOM, New York, 2002.
- [5] B. Williams and T. Camp, "Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks," Proceedings of the ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, pp. 194 - 205, 2002.
- [6] LAN MAN Standards Committee of the IEEE CS, IEEE Std 802.11-1997, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Nov. 1997.
- [7] R. Gandhi, S. Parthasarathy, and A. Mishra, "Minimizing broadcast latency and redundancy in ad hoc networks," Proceedings of the Fourth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, pp. 222 - 232, Jun. 2003.
- [8] Y. Tseng, S. Ni, and E. Shih, "Adaptive approaches to relieving broadcast storms in a wireless multihop mobile ad hoc network," IEEE Trans. Comput., vol. 52, no. 5, pp. 545 - 557, May 2003.
- [9] W. Peng, X. Lu, and Poster, "On the reduction of broadcast redundancy in Mobile ad hoc networks," Proceedings of the First ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing, Boston, pp. 129 - 130, 2000.
- [10] H. Lim and C. Kim, "Multicast tree construction and flooding in wireless ad hoc networks," Proceedings of the ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, Boston, pp. 61 - 68, 2000.
- [11] J. B. Anderson, T.S. Rappaport, and S. Yoshida. "Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels," IEEE Communication Magazine, vol. 33, no. 1, pp. 42-49, Jan. 1995.
- [12] Network Simulator: NS2.29 available via website <http://www.isi.edu/nsnam.ns/>

저자 소개



김관웅(Kwan-woong Kim)

1996년 전북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1998년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2002년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2004년 9월~2005년 8월 Post-doc. University of Haute Alsace

현재 한국원자력연구원 표준설계부/MMS 선임기술원

※ 주 관심분야 : Resource management, Mobile ad hoc network



김변곤(Byun-gon Kim)

1990년 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업(공학사)

1997년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2001년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

현재 군산대학교 공과대학 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 교환 및 시스템, 트래픽 제어



배성환(Sung-hwan Bae)

1993년 전북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1995년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2000년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

현재 한려대학교 멀티미디어정보통신공학과 교수

※ 관심분야 : ASIC 테스트, 통신시스템 설계



김대익(Dae-ik Kim)

1991년 전북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1993년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1996년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2006년 7월 ~ 2007년 6월 미국 오레건 주립대학 교환교수

현재 전남대학교 공학대학 전기전자통신컴퓨터공학부 부교수

※ 관심분야 : Ad hoc network, 저전력 VLSI 설계, 데이터 변환기