

# 무선 센서 네트워크에서 3개의 채널을 이용한 MPR 기반의 브로드캐스트 기법

정회원 이지혜\*, 이기석\*\*, 종신회원 김치하\*\*

## An MPR-based broadcast scheme using 3 channels for WSNs

Ji hye Lee\*, Ki-seok Lee\*\* *Regular Members*, Chee-ha Kim\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

무선 센서 네트워크에서 싱크(sink) 노드의 브로드캐스트는 네트워크 관리 또는 질의를 통한 데이터 수집 및 시간 동기화 등 다양한 응용에 활용된다. 가장 단순한 형태의 브로드캐스트 방식인 플러딩(flooding)은 과도한 잉여 트래픽을 발생 시켜 브로드캐스트 스톰(broadcast storm) 문제를 야기하기 때문에 효율적인 브로드캐스트를 수행하지 못한다. 과도한 잉여 트래픽을 줄여 주는 브로드캐스트 기법으로 MPR (Multi-Point Relay) 을 활용한 브로드캐스트 방식이 있다. MPR은 2 홉(hop)범위에 브로드캐스트 메시지를 전달하기 위해 메시지를 중계하여야 하는 1 홉 범위의 노드 집합을 의미한다. MPR을 최소로 선발할 경우 잉여 트래픽을 크게 줄일 수 있으나, 브로드캐스트 메시지의 충돌과 중복된 수신으로 인한 에너지 낭비문제는 해결하지는 못 한다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 3 개의 채널을 사용하는 MPR 기반의 싱크 브로드캐스트 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 브로드캐스트 메시지의 충돌 가능성을 크게 줄여 신뢰성을 향상시키고 동시에 중복된 메시지 수신을 배제함으로써 에너지 소모를 줄인다. 성능 평가 결과는 제안하는 기법이 MPR을 이용한 브로드캐스트와 비교하여 에너지 효율적이고 전송 지연이 짧으며 전송 신뢰도가 높음을 보여준다.

**Key Words** : Broadcast, Multi-Channel, MPR, Wireless Sensor Networks

### ABSTRACT

Broadcast of sink node is used for network management, data collection by query and synchronization in wireless sensor networks. Simple flooding scheme induces the broadcast storm problem. The MPR based broadcast schemes reduce redundant retransmission of broadcast packets. MPR is a set of one hop neighbor nodes which have to relay broadcast message to cover all two hop neighbors. Though MPR can reduce redundant retransmission remarkably, it still suffers from energy waste problem caused by collision and duplicate packets reception. This paper proposes a new MPR based sink broadcast scheme using 3-channel. The proposed scheme reduces energy consumption by avoiding duplicate packet reception, while increases reliability by reducing collision probability remarkably. The results of analysis and simulation show that the proposed scheme is more efficient in energy consumption compared to the MPR based scheme. The result also shows that the proposed scheme reduces delivery latency by evading a contention with other relay nodes and improves reliability of broadcast message delivery by reducing collision probability.

### I. 서 론

무선 센서 네트워크는 각 센서 노드가 감지한 이

※ "본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2009-C1090-0902-0045)

\* 포항공과대학교 정보통신학과 jihyelee@postech.ac.kr \*\* 포항공과대학교 컴퓨터공학과 {mic0123, chkim}@postech.ac.kr

논문번호 : KICS2009-06-240, 접수일자 : 2009년 6월 4일, 최종논문접수일자 : 2009년 10월 14일

벤트를 메시지를 통해 싱크로 전달하여 정보를 수집하는 기능을 수행하는 네트워크이다. 각 노드는 한정된 배터리 에너지에 의존하므로 에너지를 효율적으로 사용하는 것은 센서 네트워크의 중요한 문제 중 하나이다. 센서 노드의 에너지 소모는 메시지의 전송과 수신에 대부분을 차지한다. 센서 네트워크의 전송은 일대일 통신인 유니캐스트와 일대전체의 브로드캐스트가 주를 이룬다. 브로드캐스트는 싱크로부터 모든 노드들에게 전달되는 방식으로 수행되는데, 질의를 통한 특별한 데이터의 수집<sup>[1]</sup>, 노드의 프로그램 업데이트<sup>[2]</sup>, 전체 센서 네트워크 시스템 제어 및 클락 표류(drift)로 인한 오차를 보정하기 위한 동기화(Synchronization)<sup>[3]</sup>에 사용된다. 앞에서 살펴본 바와 같이 센서 네트워크에서 브로드캐스트는 싱크가 네트워크를 제어, 관리하는 역할을 하는 중요한 전송방식이다. 이러한 이유로 효율적인 브로드캐스트는 센서네트워크에서 중요한 연구 주제 중 하나이다.

가장 단순한 브로드캐스트 기법인 플러딩은 전달되는 브로드캐스트 메시지 간에 충돌 확률이 높고, 과도한 잉여 재전송에 따른 에너지 낭비를 발생시키는 브로드캐스트 스톱<sup>[4]</sup>을 야기한다. 플러딩의 경우 재전송으로 커버되는 새로운 영역은 평균 41%로 불필요한 송수신 에너지 낭비, 과도한 노드 간 전송경쟁, 메시지가 높은 충돌 확률을 유발한다. 브로드캐스트는 과도한 메시지 전송을 막기 위해 성공적인 전송을 확인하는 ACK 메시지를 사용하지 않기 때문에, 충돌이 발생해 노드가 메시지를 받지 못하더라도 이를 확인할 수 없다. 이러한 이유로 신뢰성 있는 브로드캐스트를 수행하기 위해 충돌 확률을 줄이는 것 또한 브로드캐스트 기법에서 매우 중요한 고려사항이다.

본 논문에서는 싱크의 브로드캐스트 수행 시 불필요한 재전송으로 인한 송수신 에너지 낭비를 줄이고, 충돌로 인한 브로드캐스트 메시지 손실을 줄이는 것을 목표로 한다. 현재 Micaz mote의 CC2420 칩<sup>[5]</sup>은 단일 인터페이스의 멀티 채널 송수신을 제공하고 있으며 이러한 멀티 채널 송수신을 이용하여 위 목표를 성취하고자 한다. 멀티 채널을 이용하는 경우 전송간의 간섭을 줄일 수 있어, 노드 간의 전송경쟁을 줄여 지연을 줄일 수 있고 수신하는 노드는 다른 채널을 통한 전송을 수신하지 못하므로 중복된 메시지를 받을 확률과 메시지 간의 충돌 확률을 줄일 수 있다. 하지만 멀티 채널을 효율적으로 활용하기 위해서는 전송 시 간섭이 있는 노드들에

게 서로 다른 채널을 할당하는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 각 노드의 2 hop 이웃 정보만을 이용하여 최소한의 브로드캐스트 메시지 전달 노드를 선발하고 효율적으로 채널을 할당함으로써 효율적으로 브로드캐스트를 수행할 수 있는 기법을 제안하고자 한다. 최근 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 인해 기존의 텍스트 위주의 사용자 환경에서 벗어나 이미지, 그래픽, 오디오 및 비디오 데이터 등을 제공하는 멀티미디어 사용자 환경으로 변화하고 있다.

## II. 관련 연구

센서 네트워크에서 브로드캐스트 기법은 크게 2가지로 나뉜다. 첫 번째는 각 노드가 전체 네트워크 토폴로지 정보를 습득하여 최적의 브로드캐스트 전달 노드를 설정하는 것이다. 하지만 이 기법은 수천개의 노드가 배치되는 경우 한정된 센서 노드의 메모리 용량으로 모든 노드 정보를 저장해야 한다는 단점이 있다<sup>[6]</sup>. 두 번째는 주변의 이웃 노드 정보만을 이용하여 효율적인 브로드캐스트 전달 노드를 설정하는 것이다<sup>[7],[8]</sup>. 이웃 노드 정보만을 이용한 브로드캐스트 기법 중 MPR기반 기법은 2 홉 이웃 노드 정보를 이용하여 모든 2 홉 이웃 노드에게 메시지를 전달하기 위한 최소한의 1 홉 전달 노드를 선발하여 효율적으로 브로드캐스트를 수행하는 기법이다. 노드가 싱크로부터 n레벨에 있을 때, n+2의 레벨에 속한 자손 노드를 모두 커버할 수 있는 n+1의 자식 노드를 최소한으로 선출한다. 이때 선출된 자식 노드를 MPR이라고 부른다.

MPR 기반 기법은 모바일Ad-hoc 네트워크에서 소개되었고, QoS, 우선순위를 고려하거나 확률에 기반을 둔 다양한 기법이 제안 되었다<sup>[9]</sup>. 최소MPR 선발은 NP-complete<sup>[10]</sup>로 증명되어 많은 휴리스틱(Heuristic) 알고리즘이 연구되어 있다. 제안하는 기법은 MPR을 찾는 휴리스틱 알고리즘을 응용하여 개발하였다.

MPR을 사용한 브로드캐스트의 최대 장점은 불필요한 재전송을 줄이는 것이다. 최소한의 브로드캐스트 메시지 전달 노드를 선발하여 쓸모 없는 전송을 줄이는 것을 목표로 한다. 하지만 최소 MPR을 선발하더라도 2개의 다른 MPR의 전송 거리 내 포함되어 동일한 메시지를 2번 수신하는 경우가 발생할 수 있다. 더욱이 이런 MPR노드가 서로 히든 터미널(hidden terminal)관계에 있을 경우, 수신 노드에서 메시지 충돌이 발생하여 신뢰성 있는 메시지

수신을 하지 못하게 되는 경우가 발생할 수 있다.

### III. 3개 채널을 이용한 MPR기반 브로드캐스트 기법

#### 3.1 가정

제안하는 기법은 현재 상용 중인 MICAZ mote를 기반으로 설계하였다. MICAZ mote는 16개의 중복되지 않는 채널을 제공한다. 하지만 16개의 채널 중 타 무선 기술과의 간섭에 따른 패킷 수신율을 측정된 결과 3개의 채널에서 90% 이상의 안정적인 수신을 수행하는 것을 확인할 수 있다<sup>13)</sup>. 제안하는 기법에서는 안정적인 수신이 가능한 3개의 채널을 활용한다. 본 논문에서는 센서 네트워크의 동작 중 브로드캐스트 전송만을 고려하며 일반적인 동작은 S-MAC<sup>14)</sup>, RMAC<sup>15)</sup>과 같은 일반적인 MAC을 통해 동작한다고 가정한다.

제안하는 기법은 상대적인 노드 위치 정보를 필요로 한다. 상대적 위치라는 것은 각 노드가 자신의 주변 노드와 비교하여 좌우 중 어느 곳에 위치하는가를 가늠할 수 있을 정도의 정보를 말한다. GPS (Global Positioning System)와 같은 고가의 장비를 사용하지 않더라도 가상 좌표(virtual coordinate)<sup>16)</sup>와 같은 기법을 통해 상대적 위치 정보를 알아낼 수 있다. 제안하는 기법에서는 가상 좌표 기법을 통해 상대적인 위치정보를 알 수 있다고 가정 한다.

#### 3.2 MPR 선발과 채널 할당

##### 3.2.1 초기화

제안하는 기법은 MPR을 선발하고, 채널을 할당하는 초기화 과정과 브로드캐스트 메시지 전송하는 과정으로 나누어진다. 초기화는 크게 3단계로 구분 된다. 첫째, 주기적인 ‘Hello’ 메시지를 통해 초기화를 위해 필요한 정보를 습득하는 단계, 둘째, 주어진 정보를 통해 MPR을 선발하는 단계, 마지막 단계에서 MPR에 채널을 할당하여 초기화를 완료 한다. 초기화는 싱크 노드부터 시작하여 하위 레벨로 내려오면서 MPR 선출과 채널할당을 반복하게 된다.

##### 3.2.2 ‘Hello’ 메시지 교환

‘Hello’ 메시지를 통해 얻는 정보는 다음과 같다.

- 자신의 1 홉 이웃 노드 집합
  - 자신의 2 홉 이웃 노드 집합
  - 1 홉 이웃 노드가 커버하는 2 홉 이웃 노드
- 주어진 정보로 각 노드는 2차원 행렬을 만든다.

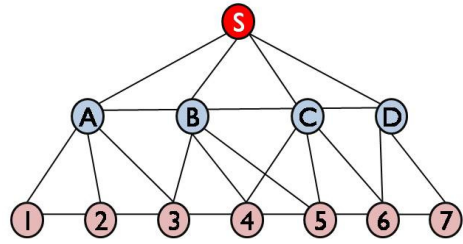


그림 1. 네트워크 토폴로지 구성 예

각 행은 1 홉 거리의 노드 집합을 나타내고, 각 열은 1 홉 노드와 연결된 2 홉 거리의 노드 집합을 가진다. 예를 들어 그림 1 네트워크 형태를 행렬로 표현하면 표 1과 같다.

아래의 표 1과 같이 먼저 1 홉 이내 노드인 A, B, C, D를 행에 삽입하고, 1 홉 노드와 연결된 2 홉 노드를 순차적으로 삽입하여 만든다. A노드는 1, 2, 3노드를 자식 노드로 취하고 있으므로 매트릭스 내에 A행 뒤에 1, 2, 3을 삽입한다. 각 노드는 자신의 레벨을 알고 있기 때문에 이웃 노드라 하더라도 자신보다 높은 레벨의 노드 정보는 매트릭스에 삽입하지 않는다. 네트워크 내 모든 노드가 ‘Hello’ 메시지를 통해 얻은 정보로 MPR 선발 노드 S는 표 1과 같은 매트릭스를 생성한다.

표 1. 2 홉 연결 정보를 표현한 매트릭스

	1	2	3	4	5	6	7
A	1	2	3				
B			3	4	5		
C				4	5	6	
D						6	7
Count	1	1	2	2	2	2	1

##### 3.2.3 MPR선발

위 과정을 통해 얻어진 매트릭스를 이용하여 MPR 선발 노드는 각 열마다 같은 숫자가 몇 번 중복되는 지 카운트를 한다. 카운트 값이 1이라는 의미는 해당 노드의 부모는 단 하나라는 의미로 그것의 부모는 반드시 MPR이 되어야 한다는 것을 말한다. 카운트가 낮은 노드부터 MPR 선출을 시작한다. 표 1의 예로 설명하면, 먼저 1번 노드가 1의 값을 가지므로 선발노드는 A노드를 MPR로 선발한다. 선발 후 A의 자식 노드인 2, 3번 노드는 다음 검색에서 제외된다. 다음 검색에서 노드 7의 카운트 값이 1이므로 D를 MPR로 선발한다. 같은 방법으로 6번 노드가 D에 속하기 때문에 다음 검색에서

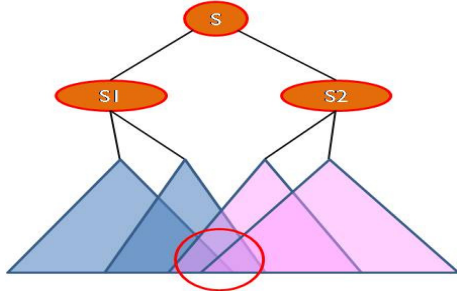


그림 2. 중첩된 자식 노드

제외된다. 이제 남은 것은 4, 5번 노드다. 4, 5번 노드 둘 다 같은 카운트 값을 가지므로, 순차적 검색에 의해 노드 B를 MPR로 선발된다.

그림 2에서 삼각형의 위 꼭지점은 선발된 MPR을 의미하고, 그 밑변은 MPR노드의 전달 영역을 나타낸다. S1과 S2가 각각의 이웃 정보를 이용하여 MPR을 선발한 경우 그림 2의 아래쪽 동그라미 영역 같이 최대 4중 간섭 영역이 발생할 수 있다. 이런 중첩된 노드를 제거하기 위해 MPR을 선발하는 이웃 노드 간에 MPR 협상과정을 거쳐야 한다. MPR을 선발하는 노드 간에 메시지 교환을 통해 서로 중첩된 노드를 찾아내어 삭제한다. 이런 협상 과정은 메시지의 중복 수신을 줄이고 채널 할당에 중요한 역할을 한다.

이러한 MPR 선발과정은 초기 MPR선발 노드인 싱크로부터 시작하여 MPR로 선발된 노드에서 반복적으로 수행한다. 이러한 MPR선발과정 중 MPR 간의 전송 간섭 영역이 발생할 수 있는데, 이를 줄이기 위한 방법이 요구된다. MPR선발과정 중 선발 수행노드가 자신의 이웃 선발 수행노드와의 상관관계를 고려하지 않는 경우 간섭 영역이 발생하기 때문이다. 그림 2

### 3.2.4 채널 할당

MPR 선발이 끝나면 선발된 MPR에게 채널 할당의 문제가 주어진다. 본 논문에서는 몇 개의 채널을 어떻게 할당할 것인가를 핵심 문제로 삼고 있다.

본 논문에서는 하나의 노드로부터 선발된 MPR들간의 간섭 없는 전송을 위해 필요한 채널 수가 2개라는 것을 증명하기 위해 귀류법 (Proof By Contradiction)을 사용하였다<sup>[7]</sup>. 최소MPR의 성질에 의해 동일한 레벨에 있는 임의의3개의 MPR에 의해 커버되는 자식 노드의 집합 A, B, C사이에

$$(A \cup B) \supset C \text{ or } A \supset C \text{ or } B \supset C \quad (1)$$

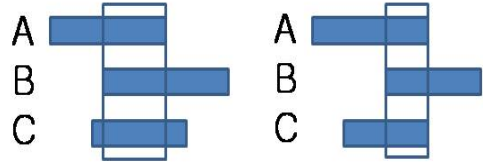


그림 3. 3중으로 중첩되는 2가지 경우

위와 같은 관계식은 절대로 성립하지 않는다. 모순 증명법에 의해 자식 노드가 3중으로 겹칠 수 있다고 가정했을 때, 이를 만족하는 경우는 그림 3과 같은 경우로 위의 대전제에 모순 되므로 가정은 거짓이 된다. 그러므로 하나의 노드로부터 선발된 MPR들 간의 간섭 없는 전송을 위해서는 2개의 채널만 사용하여 채널을 할당할 수 있다.

위와 같은 논리를 이용하여 여러 개의 노드로부터 선발된 MPR 간의 전송 간섭상황을 고려하면 선발 노드가 뽑은 가장 바깥 부분의 MPR에서 간섭이 일어난다는 것을 알 수 있다. MPR의 선발과정 중 그림 2와 같은 중첩 노드를 제거하였기 때문에 3중의 중복이 일어나지 않게 된다. 즉 각 선발 노드에 의해서 선택된 MPR에 의해 중첩되는 자식 노드는 토폴로지를 트리 형태로 표현했을 때, 가장 바깥 MPR만을 고려하면 되다는 것을 의미한다. 이러한 사실을 기반으로 본 논문에서는 3개의 채널을 이용한 홀짝 채널 할당 기법을 제안한다. 홀짝 채널 할당 기법은 하나의 선발노드에 의해 선택된 가장 왼쪽 MPR노드는 홀수의 채널을 할당하고 가장 오른쪽 MPR노드는 짝수를 할당하는 기법을 말한다. 선발된 MPR이 3개 이상일 경우 1,3,1,3... 순으로 할당되고 가장 마지막은 2로 끝난다. 이러한 채널 할당으로 다른 선발 노드로부터 선발된 MPR 간의 간섭을 피할 수 있다.

### 3.3 브로드캐스트 패킷 전송

MPR 선발과 채널 할당이 끝난 후 다음과 같이 브로드캐스트를 수행한다. 본 논문에서는 MICAZ 노드에 비콘(Beacon) 트랜시버를 추가하는 것을 가정하여 싱크에서 브로드캐스트 메시지 전송을 시작하기에 앞서 비콘 트랜시버를 통해 신호를 이웃 노드에게 알린다. 이것은 일반 MICAZ의 높은 전송 대역과 다른 낮은 대역을 사용하기 때문에 충돌 없이 다른 노드가 수신 할 수 있다. 비콘 신호를 들은 노드들은 곧 브로드캐스트 메시지를 수신 받을 것을 예상 할 수 있기 때문에 홀짝 채널 할당 기법에 의해 할당 받았던 수신 채널 상태로 채널을 번

경한다. 싱크에서부터 하위 레벨로 비콘 신호를 뿌려 브로드캐스트 전송을 준비하고 준비가 끝나면 브로드캐스트 메시지를 전송하는 방식을 반복하여 수행한다. 비콘 트랜시버의 에너지 소비는 50m내에 전송할 때 0.01mW가 소모된다. 이것은 MICAZ의 송신에 소비되는 59.1mW와 비교하였을 때 매우 적은 에너지 소비로 전체 에너지 소비에 미치는 영향은 매우 적다고 할 수 있다.

#### IV. 성능평가

시뮬레이션에 사용된 파라미터는 일반적인 센서 네트워크의 특성과 MICAZ 노드의 기본 특성을 그대로 가져왔다. 노드는 이동성을 가지지 않고 랜덤하게 뿌려지며 높은 밀집도를 가진다. MPR 기반의 브로드캐스트 전송과 제안하는 MPR 기반의 멀티 채널 브로드캐스트 기법과의 성능을 비교하였다. 멀티 채널을 이용함으로써 발생하는 오버헤드는 채널 스위칭 시간과 전송 프레임의 파라미터 추가 등이 있지만 파라미터 추가로 인한 프레임 길이의 차이는 거의 없으므로 무시하며 스위칭 시간만 고려하였다. 전체 네트워크 사이즈는 120m \* 140m이며 노드가 200, 300, 400, 500개인 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행 하였다. 표 2는 시뮬레이션에 사용된 상세한 파라미터를 보여 준다. 바탕이 회색인 파라미터는 멀티 채널 환경에서 추가되는 요소를 나타낸다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Data Rate	250 kb/s (32 μs/byte)
Tx mode	17.4mA(59.10mW)[11]
Rx mode	19.7mA(65.92mW)
Radio Range	20m
Packet Size	127 bytes
Channel Switching time	200 μs
Default channel	11 (19,25)
Network Size	120m * 140m
Sensing Range	5m
Beacon mode	0.01 mW(-20dbm) (50m)

본 논문에서는 브로드캐스트 메시지의 전달 소요 시간, 충돌 확률, 메시지 중복 수신에 따른 에너지 낭비를 비교해 보았다. 그림 4는 브로드캐스트 메시지의 전달 소요 시간을 보여준다. 노드 밀집도가 증가할수록 MPR이 더욱 많이 선발되고, MPR에 따른 경쟁이 증가함에 따라 전송 시간이 증가한다. 단

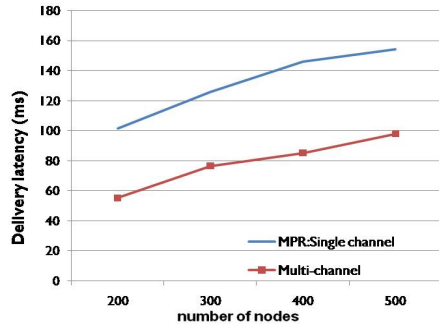


그림 4. 전달 지연시간

일 채널을 사용한 기법과 비교하여 제안하는 기법은 노드가 500개 일 때 36%의 성능 향상을 보인다. 멀티 채널에 사용에 따른 전송 경쟁이 줄어들어 전송 소요시간이 줄어 든 것으로 예상할 수 있다.

그림 5는 브로드캐스트 메시지 간의 충돌 확률을 보여준다. MPR기반 기법의 경우에도 3%~4%의 비교적 낮은 충돌 확률이 나타나지만, 제안한 멀티 채널 기법에서는 0.5%~1.5%로 노드 밀집도가 높아져도 높은 패킷 전송 신뢰도를 보장한다. 그림 6은 메시지 중복 수신으로 인한 에너지 낭비를 보여

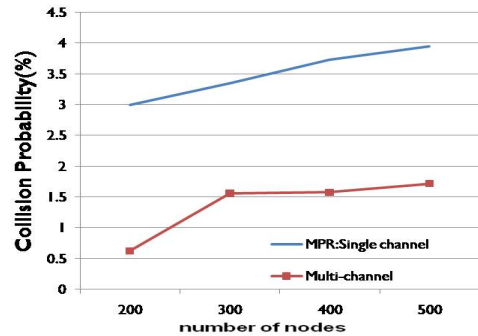


그림 5. 지식 노드 충돌 확률

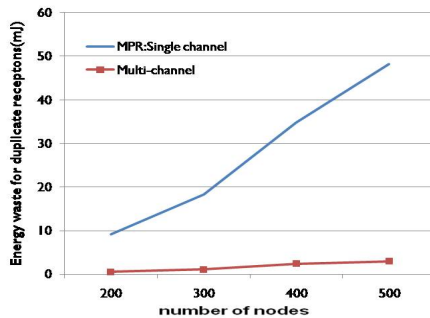


그림 6. 중복 패킷 수신에 의한 에너지 낭비



준다. 제안하는 기법의 경우 노드가 증가함에 따라 메시지 중복 수신으로 인한 에너지 낭비가 거의 상승하지 않지만, 단일 채널을 사용하는 경우 급격하게 에너지 낭비가 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 노드 500개일 때 제안한 기법의 경우 단일 채널을 사용하는 경우에 비해 95%이상의 에너지를 절약할 수 있다. 노드 밀집도가 높아짐에 따라 하나의 MPR이 커버하는 지식 노드 수가 많아지고 중복된 수신이 많아지지만 멀티 채널을 효율적으로 사용함으로써 에너지를 절약할 수 있음을 알 수 있다.

### V. 결 론

센서 네트워크에서 싱크는 다른 노드를 관리하거나 쿼리를 통해 특정 데이터를 얻을 목적으로 브로드캐스트를 사용한다. 본 논문에서는 쓸모 없는 재전송을 줄이기 위해 제안된 MPR 기법을 기반으로 MPR노드에 멀티 채널을 할당하여 전달 지연 시간을 줄이고 메시지 간의 충돌을 낮추며 에너지 낭비를 줄이는 기법을 제안하였다. 또한3개 채널의 규칙적인 할당만으로 위 목표를 성취함으로써 센서 네트워크에 적용하기 쉬움을 보여 주었다. 제안한 기법은 MPR을 선별하는 과정에서 채널 할당을 위한 데이터 프레임의 추가만 요구되므로 초기화 과정에서 메시지 교환이 추가적으로 발생하지 않는다. 비콘 송수신기를 사용하지만 에너지 소모가 매우 적으므로 오버헤드가 매우 적다.

본 논문은 센서 네트워크에서 최초로 멀티 채널을 활용한 브로드캐스트 기법을 제안하고 이 기법을 활용함으로써 전달 지연 시간을 줄이고 충돌 확률을 낮추며 중복된 메시지 수신을 방지하여 에너지를 절약하는 효과를 얻을 수 있음을 보여주었다.

### 참 고 문 헌

[1] Y. Yao and J. Gehrke. "Query processing in sensor networks," *In Conference on Innovative Data Systems Research (CIDR)*, 2003.

[2] Han, C.-C., Kumar, R., Shea R., Srivastavam, M. "Sensor Network Software Update Management: a Survey," *Intl. Journal of Network Management*, no. 15. John Wiley & Sons (2005) 283-294

[3] Bekmezci, İ., Alagöz, F., "Periodic global broadcast time synchronization (PGB-TS) for

TDMA based sensor networks," *IEEE Recent Advances in Space Technologies RAST 2007*, 531-536, İstanbul, 2007.

[4] S.Y. Ni et al., "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," *Proc. ACM MOBICOM*, pp. 151-162, Aug. 1999.

[5] [www.cs.ucsb.edu/~nchohan/docs/CC2420 DataSheet.pdf](http://www.cs.ucsb.edu/~nchohan/docs/CC2420 DataSheet.pdf)

[6] S. Guha and S. Khuller, "Approximation Algorithms for Connected Dominating Sets," *Proc. Fourth Ann. European Symp. Algorithms (ESA)*, pp. 179-193, 1996.

[7] W. Peng and X. Lu, "On the Reduction of Broadcast Redundancy in Mobile Ad Hoc Networks," *Proc. MOBIHOC*, 2000.

[8] W. Peng and X. Lu, "AHBP: An Efficient Broadcast Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," *J. Science and Technology-Beijing*, China, 2002.

[9] O. Liang, A. Sekercioglu, and N. Mani, "A Survey of Multipoint Relay based Broadcast Schemes in Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol. 8, No. 4, pp. 30-46, 2006.

[10] A. Laouiti, A. Qayyum, and L. Viennot, "Multipoint Relaying: an Efficient Technique for Flooding in Mobile Wireless Networks," *35th Annual Hawaii Int'l. Conf. System Sciences HICSS'2001*.

[11] X. Chen, P. Han, Q.-S. He, S. liang Tu, and Z.-L. Chen. "A uliti-channel MAC protocol for wireless sensor networks," *In Proceedings of The Sixth IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT'06)*, Seoul, Korea, 2006.

[12] Y. Kim, H. Shin, and H. Cha, "Y-mac: An energy-efficient multi-channel mac protocol for dense wireless sensor networks," in *Information Processing in Sensor Networks, 2008. IPSN '08. International Conference on*, April 2008, pp. 53-63.

[13] Y. Wu, J. Stankovic, T. He, and S. Lin, "Realistic and efficient multichannel communications in wireless sensor networks," in *Proceedings of IEEE INFOCOM 2008*, 2008, pp. 1193-1201.

[14] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. "An

energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks,” in Proceedings of *INFOCOM 2002*, Jun. 2002, pp. 1567-1576.

- [15] Shu Du, Amit Kumar Saha, and David B. Johnson. “RMAC: A Routing-Enhanced Duty-Cycle MAC Protocol for Wireless Sensor Networks,” In *Proceedings of the 26th Annual IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM 2007)*, pages 1478-1486, May 2007.
- [16] T. Moscibroda, R. O’Dell, M. Wattenhofer, and R. Wattenhofer. “Virtual coordinates for ad hoc and sensor networks”. In *DIALM-POMC ’04*, pages 8 - 16, New York, NY, USA, 2004. ACM Press.
- [17] [www.math.jmu.edu/~taal/235\\_2000post/235contradiction.pdf](http://www.math.jmu.edu/~taal/235_2000post/235contradiction.pdf)

이 지 혜 (Ji hey Lee)

정회원



2007년 2월 울산대학교 컴퓨터 공학과 졸업  
 2009년 2월 포항공과대학교 정보통신공학과 석사  
 2009년 3월~현재 SK communications 재직  
 <관심분야> 통신공학, 무선통신 공학

이 기 석 (Ki-seok Lee)

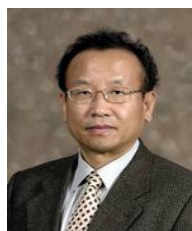
정회원



2006년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 졸업  
 2006년 3월~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과 통합과정  
 <관심분야> 통신공학, 무선통신 공학

김 치 하 (Chee-ha Kim)

종신회원



1974년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업  
 1984년 8월 University of Maryland 컴퓨터공학과 석사  
 1986년 8월 University of Maryland 컴퓨터공학과 박사  
 1986년 9월~1989년 11월 State Univ. of New York at Buffalo 컴퓨터공학과 조교수  
 1989년 12월~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과 정교수  
 <관심분야> 전자공학, 통신공학, 무선통신 공학