

## 대규모 무선 센서 네트워크 환경을 위한 다중 Sink 브로드캐스팅 기법 설계

이호선\*, 조익래\*\*, 이균하\*\*\*

### A Design of a Selective Multi Sink GRAdient Broadcast Scheme in Large Scale Wireless Sensor Network

Ho-Sun Lee \*, Ik-Lae Cho \*\*, Kyoon-Ha Lee \*\*\*

#### 요 약

대규모 무선 센서 네트워크는 네트워크의 신뢰성과 에너지 효율을 동시에 고려해야 한다. 네트워크의 신뢰성을 높이기 위해서는 유니캐스트 기반 데이터 전송 방법보다 브로드캐스트 기반 데이터 전송 방법을 사용해야 한다. 최근 발표된 GRAdient Broadcast (GRAB)는 브로드캐스트 기반 데이터 전송으로 네트워크의 신뢰성을 높일 수 있다. 하지만 한 개의 sink를 사용하기 때문에 네트워크 전체 에너지를 고르게 사용하지 못한다. 결국 네트워크의 동작 시간이 단축되는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 대규모 무선 센서 네트워크에 적합한 Selective Multi Sink Gradient Broadcast (SMSGB)를 제안한다. SMSGB는 여러 개의 sink를 사용하여 네트워크를 구성하고 한 개의 sink만 데이터를 수집한다. 특정한 이벤트가 발생이 되면 다른 sink가 데이터를 수집하게 된다. 이러한 방법을 통해 전체 네트워크의 에너지를 고르게 소모 할 수 있다. 또한 GRAB와 동일한 브로드캐스트 기반 데이터 전송으로 대규모 무선 센서 네트워크에서 신뢰성을 보장할 수 있다. 기존의 GRAB와 SMSGB를 비교한 모의실험을 통해 GRAB와 비슷한 신뢰성을 유지하면서 GRAB보다 SMSGB의 네트워크 동작 시간이 약 18% 이상 연장됨을 보인다

#### Abstract

The reliability and efficiency of network must be considered in the large scale wireless sensor networks. Broadcast method must be used rather than unicast method to enhance the reliability of networks. In recently proposed GRAB (GRAdient Broadcast) can certainly enhance reliability of networks by using broadcast but its efficiency regarding using energy of network is low due to using only one sink. Hence, the lifetime of networks is reduced. In the paper we propose the scheme of SMSGB (Selective Multi Sink Gradient Broadcast) which uses single sink of multi-sink networks. The broadcast based SMSGB can secure reliability of large scale wireless sensor networks. The SMSGB can also use the network's energy evenly via multi sink distribution. Our experiments show that using SMSGB was reliable as GRAB and it increased the network's lifetime by 18% than using GRAB.

▶ Keyword : 대규모 무선 센서 네트워크 (Large scale wireless sensor networks), 다중 sink (Multi sink), 브로드캐스트 (Broadcast)

• 제1저자 : 이호선

• 접수일 : 2005.05.30, 심사완료일 : 2005.06.25

\*, \*\* 인하대학교 컴퓨터정보공학과 석사과정, \*\*\* 인하대학교 컴퓨터정보공학과 교수

## I. 서론

최근 반도체 기술과 무선 통신 기술 그리고 센서 기술의 발전으로 초소형 저가의 센서 노드를 양산하는 것이 가능해졌다. 따라서 수천에서 백만 개 이상의 노드를 넓은 지역에 펼쳐서 정보를 수집할 수 있는 대규모 무선 센서 네트워크가 가능하게 되었다. 대규모 무선 센서 네트워크는 넓은 지역의 환경감시, 재난지역의 파악 등이 가능하며, 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

센서 네트워크는 각 노드가 매우 작고 제한된 전력을 가지며 에러 발생 확률이 높고 토폴로지의 변화가 자주 발생한다. 또한 데이터 수집 기능을 하는 sink 노드 주변의 에너지 소비가 네트워크의 다른 부분의 에너지 소모에 비해 훨씬 크다. 따라서 센서 노드의 에너지 효율을 높이는 것과 네트워크의 신뢰성을 높이는 것, 그리고 네트워크 전체 에너지를 고르게 소모하게 하는 것이 중요한 연구 분야이다[1][2].

일반적인 데이터 전송 방법은 유니캐스트 기반 데이터 전송과 브로드캐스트 기반 데이터 전송이 있다. 유니캐스트 기반 데이터 전송은 목적지까지 한 개의 경로를 설정하고 그 경로를 통해서 데이터를 전송한다. 따라서 경로에 해당하지 않는 노드는 sleep 상태가 될 수 있기 때문에 에너지 효율을 높일 수 있다. 하지만 설정된 경로 상의 노드 중에서 한 개의 노드라도 손상이 된다면 경로를 수정해야 하는 단점이 있다[3][4][5]. 결국 경로를 수정하지 않으면 데이터 전송이 실패하게 되어 신뢰성이 떨어지고, 경로를 수정하면 추가 비용이 발생한다.

브로드캐스트 기반 데이터 전송은 목적지까지 여러 개의 경로를 통해 이루어진다. 따라서 한 개의 노드가 손상되어도 데이터 전송이 가능하여 네트워크 신뢰성을 높일 수 있다. 하지만 여러 개의 노드가 데이터 전송에 참여하기 때문에 에너지 효율이 떨어지는 단점이 있다[6].

데이터를 전송할 때 대규모 무선 센서 네트워크는 소규모 무선 센서 네트워크에 비해 훨씬 많은 수의 홉을 지나야 하는 특징이 있다. 대규모 무선 센서 네트워크의 데이터 전송 방법을 유니캐스트 기반의 데이터 전송 방법으로 한다면 많은 수의 홉을 지나야 하는 특징으로 인해 경로 손상 확률이 높아지고, 네트워크 신뢰성이 떨어지게 된다[7]. 따라서

대규모 무선 센서 네트워크에서는 브로드캐스트 기반 데이터 전송 방법을 통해 네트워크의 신뢰성을 높이는 방법이 제안되고 있다[7][8].

최근에 제안된 GRADient Broadcast (GRAB)[7]는 대규모 무선 센서 네트워크에 적합한 데이터 전송 방법이다. GRAB는 브로드캐스트 기반 데이터 전송 방법을 사용하기 때문에 네트워크 신뢰성을 높일 수 있다. 또한 브로드캐스트되는 범위를 제한할 수 있기 때문에 과도한 에너지 소모를 막을 수 있다. 하지만 데이터를 수집하는 기능을 하는 sink가 한 개이기 때문에 sink 노드 주변의 에너지 소비가 네트워크의 다른 부분의 에너지 소모에 비해 훨씬 크다. 따라서 네트워크 전체 에너지를 고르게 사용하지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 브로드캐스트 기반 데이터 전송으로 신뢰성을 높이고 여러 개의 sink를 사용하여 네트워크 전체 에너지를 고르게 사용하는, 대규모 무선 센서 네트워크에 적합한 GRAB 기반의 Selective Multi Sink Gradient Broadcast (SMSGB) 방법을 제안한다.

## II. GRADient Broadcast

대규모 무선 센서 네트워크에서 신뢰성을 높이기 위한 방법으로 GRAB(GRADient Broadcast)[7]가 제안되었다. GRAB는 브로드캐스트 기반 데이터 전송 방법이며 sink를 한 개만 사용한다. 세부 사항을 살펴보면 다음과 같다.

### 2.1 Cost Field의 초기 구성 및 유지 보수

데이터 전송의 경로를 구성하기 위해 GRAB[7]에서는 링크 cost를 사용한다. 한 노드가 가지고 있는 cost Field에는 자신으로부터 sink까지 데이터를 전송하기 위해 필요한 최소 cost가 저장된다. 이것은 sink로부터 만들어지고, 모든 노드가 가지고 있다.

최초의 cost field 값은 sink는 0이고, 나머지 노드는 모두 무한대 값을 갖는다. 네트워크의 구성 초기에 sink는 자신의 cost가 포함된 Advertisement packet(ADV 패킷)을 한 홉 브로드캐스트 한다. 이 ADV 패킷을 수신한 모든 노드는 수식(2.1)과 같은 계산을 통해  $L_{Test}$ 를 구한다.

$$L_{Test} = L_{Send} + C_{Recv,Send} \dots\dots\dots (2.1)$$

수식 (2.1)에서  $L_{Send}$ 는 ADV 패킷에 저장된 송신 노드의 cost값이고  $C_{Recv,Send}$ 는 ADV 패킷을 송신한 노드와 수신한 노드 사이의 cost이다. 이렇게 얻어진  $L_{Test}$  값과 수신 노드가 저장하고 있던 cost ( $L_{Recv}$ ) 값을 비교하여  $L_{Recv}$ 가  $L_{Test}$  보다 큰 경우에만  $L_{Recv}$ 를  $L_{Test}$ 로 교체한다. 그리고  $L_{Recv}$ 를  $L_{Test}$  포함한 ADV 패킷을 한 홉 브로드캐스트 한다.

이 과정을 반복하면, 각 노드의 cost field 는 자신으로부터 sink까지의 최소 cost가 되고, cost가 작을수록 sink에 비용 상 가깝다는 의미가 된다. 데이터의 전송은 cost가 높은 노드부터 낮은 노드로 흘러가는 방식을 이용한다.

각 노드의 cost는 네트워크의 토폴로지에 의존한다. 노드의 소멸, 추가, 이동과 같은 이유로 토폴로지가 변경된다면 새로운 cost의 구성이 필요하다. 주기적인 재구성의 오버헤드를 피하기 위해 GRAB는 상황에 따른 재구성을 한다. 네트워크의 토폴로지가 변경되는 것을 알아내기 위해 sink는 최근 수신된 몇 개의 데이터의 success ratio, 소비된 credit의 양, 중복 수신된 데이터의 평균 개수 등의 정보를 저장한다. 새로운 데이터가 수신이 되면 위의 값을 구하고 이전에 저장된 값들과 비교를 하게 된다. 이때 미리 정해진 범위 이상의 차이가 발생하면 네트워크 토폴로지의 변화로 판단하고 cost field 재구성을 위한 ADV 패킷을 브로드캐스트 하게 된다. 재구성 과정은 초기 구성 과정과 동일하다.

### 2.2 Credit의 사용

GRAB는 브로드캐스트를 기반으로 한 데이터 전송 방법을 사용하기 때문에 여러 개의 경로가 구성된다. 이렇게 생기는 많은 경로에 제한을 두기 위해서 credit을 사용한다. 이것은 source부터 sink까지 소비될 수 있는 cost의 값이고, source가 정하게 된다.

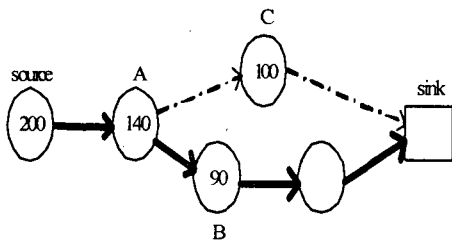


그림 1. GRAB에서 credit의 사용  
Fig 1. Credit Example in GRAB

(그림 1)에서 source가 credit을 200으로 하여 데이터를 전송할 때 source는 60의 credit을 소모하고, A 노드는 50의 credit을 소모한다고 가정한다. A노드에서 브로드캐

스트 된 데이터는 B와 C노드가 수신하고, 지금까지 소비된 credit이 110이므로 남은 credit은 90이다. B노드는 cost가 90이기 때문에 전송이 가능해서 다음 노드로 전송을 하지만, C노드는 cost가 100으로 남은 credit을 넘기 때문에 폐기한다. 만약 source가 credit값을 크게 하면 C노드 역시 전송이 가능해지므로 여러 경로로 전송이 가능하게 된다.

이렇게 credit값을 조절하여 데이터 전송에 참여하는 노드의 범위를 조절할 수 있게 된다. 이를 이용해서 네트워크의 과도한 에너지 소모를 막을 수 있다.

### 2.3 데이터의 전송

GRAB는 cost와 credit을 이용하여 데이터를 (그림 2)와 같이 전송할 수 있다.

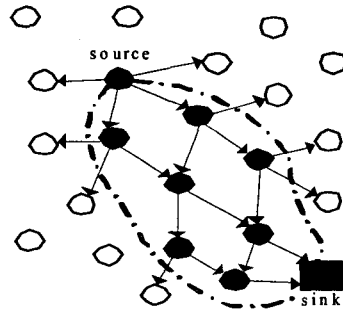


그림 2. GRAB에서 데이터의 전송  
Fig 2. Data Forwarding in GRAB

(그림 2)에서 보는 바와 같이 source부터 sink까지 화살표 방향으로 데이터의 전송이 가능하다. 검은색 노드가 데이터 전송에 참여하는 노드가 되고, 흰색 노드는 cost 또는 credit에 의해 전송에 참여하지 않는 노드이다.

지금까지 살펴본 바와 같이 GRAB는 다중 경로를 통한 데이터 전송으로 네트워크의 신뢰성을 높이고 credit을 통해 매쉬의 범위를 조절함으로써 에너지 효율을 높일 수 있다. 따라서 특정한 이벤트에 의해 발생하는 데이터를 신뢰성 있게 전송해야 하는, 대규모 무선 센서 네트워크에 적합한 방법이라고 할 수 있다. 하지만 데이터를 수집하는 sink가 한 개만 존재하기 때문에 sink 주변의 노드가 다른 지역의 노드에 비해 에너지의 소모가 빠르고 이로 인해 네트워크의 동작 시간이 줄어들게 된다. 따라서 네트워크 전체 에너지를 고르게 소모시켜 네트워크의 동작 시간을 연장시킬 수 있는 방법이 필요하다.

### III. Selective Multi Sink Gradient Broadcast

네트워크의 에너지를 고르게 소모시키기 위해서는 여러 개의 sink가 필요하다. GRAB에 여러 개의 sink를 적용한다면 몇 가지 문제점이 있다. GRAB에서는 각 노드가 네트워크의 상태나 데이터 전송 과정을 전혀 알지 못한다. 또한 cost field의 초기 구성이나 재구성 시에 많은 ADV 패킷이 사용된다. 따라서 여러 개의 sink가 사용된다면 각 노드가 여러 각 sink의 정보를 추가적으로 저장해야 하는 비용이 발생하고, cost field의 초기 구성이나 재구성 시에 발생하는 오버헤드는 sink가 한 개인 경우보다 훨씬 많아지는 문제점이 있다[7][9][10].

본 논문에서는 대규모 무선 센서 네트워크에 적합한 GRAB를 기반으로 하는 Selective Multi Sink Gradient Broadcast (SMSGB)를 제안한다. SMSGB는 여러 개의 sink를 사용하지만 여러 개의 sink가 동시에 동작하는 것이 아닌 한 개의 sink만 선택적으로 동작하는 방법을 택한다. 따라서 각 노드가 sink에 따른 cost field를 따로 저장하지 않고, cost field의 초기 구성이나 재구성 시에 발생하는 오버헤드를 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 SMSGB는 GRAB를 기반으로 하기 때문에 대규모 무선 센서 네트워크에서 신뢰성을 보장할 수 있다.

SMSGB에서는 노드가 sink로 데이터를 전송하는 경우는 노드에 특정한 이벤트가 발생하거나, 주기적으로 노드가 수집한 정보를 전송해야 하는 경우라고 가정한다. 또한 N개의 sink는 서로 송, 수신이 가능하다. 그리고 각 노드는 링크의 cost를 계산하는 것 뿐만 아니라 자신의 초기 에너지의 양과, 남은 에너지의 양을 알 수 있다고 가정한다.

#### 3.1 Cost Field의 초기 구성

SMSGB에서는 N개의 sink가 모두 고유 ID를 갖는다. 최초 네트워크 구성 시에 N개의 sink 중에서 가장 낮은 ID를 갖는 sink가 cost field 구성을 시작한다. SMSGB에서는 ADV 패킷(Advertisement packet)을 브로드캐스트하여 cost field를 구성하고 ADV 패킷은 (그림 3)과 같다.

0	1	7	8	15
T	Sink ID			Cost field seq.
Sender ID				
Sender cost				

그림 3. Advertisement 패킷  
Fig 3. Advertisement Packet

(그림 3)에서 T는 type 비트로서 ADV 패킷과 데이터 패킷을 구별한다. T가 0이면 ADV 패킷이고, 1이면 데이터 패킷(DAT 패킷)이 된다. Sink ID는 cost field 구성을 시작하는 sink의 고유 ID이고, cost field seq.는 cost field 구성의 고유 번호이다. Sender ID와 sender cost는 이 ADV 패킷을 송신한 노드의 고유 ID와 cost 값이다. 여기서 sink ID와 cost field sequence number는 sink가 cost field 구성 최초에 정하는 값으로 변하지 않는다. 또한 cost field sequence number는 같은 sink가 cost field 구성을 시도할 때 마다 1씩 커지는 값을 갖는다.

SMSGB는 다음과 같은 알고리즘으로 cost field를 생성한다. 각 노드는 초기값으로 sink ID는 NULL, cost field sequence number는 0, cost는 무한대(최대값)을 갖도록 cost field가 초기화 되어 있다.

```

Event: node N receives an ADV packet from node M
if (SIDN ≠ SIDADV) {
    SIDN = SIDADV
    SEQN = 0
    LN = ∞
}
if ((SIDN = SIDADV) & (SEQN ≤ SEQADV)) {
    if (LN > LTest) {
        LN = LTest
        reset timer to expire
    }
}
else { drop the ADV packet }
Event: N's backoff timer expires
broadcast an ADV packet
containing LN, sender ID

Variables:
SIDN, SIDADV: N 노드, ADV 패킷의 sink ID
SEQN, SEQADV: N 노드, ADV 패킷의 seq.
LN, LM: N, M 노드가 갖고 있는 cost
    
```

위의 알고리즘에서  $L_{Test}$ 는 수식 (3.1)과 같은 방법으로 계산한다.

$$L_{Test} = L_M + C_{N,M} \times (k - \frac{E_r}{E_i}) \dots\dots\dots (3.1)$$

수식 (3.1)에서  $C_{N,M}$ 은 N, M 노드 사이의 cost이고,  $E_i$ 는 각 노드의 초기 에너지의 양,  $E_r$ 은 남은 에너지의 양이다. 또한  $k$ 는 2보다 큰 상수이다. 이 값은 네트워크의 크기에 따라 조절되는 값이다. 이와 같은 방법으로 cost를 구하면 노드의 에너지 소모가 많아질수록 높은 cost를 갖는다.

처음으로 ADV 패킷을 수신한 노드는  $L_N > L_{Test}$  만 비교하고 ADV 패킷 수신이 두 번 이상 일어나면 sink ID와 cost field sequence number를 확인한다. 초기 구성 시에는  $SID_N$ 와  $SID_{ADV}$ 가 같고,  $SEQ_N$ 와  $SEQ_{ADV}$ 가 일치하기 때문에 이때에도  $L_N > L_{Test}$ 를 비교하게 된다. 이와 같은 알고리즘을 수행하면 cost field가 구성이 되고 각 노드에는 sink ID, cost field sequence number, cost 값이 저장이 된다. 이렇게 구성된 cost field를 바탕으로 데이터를 전송할 수 있게 된다.

### 3.2 데이터의 전송

데이터의 전송은 기존의 GRAB와 유사하게 이루어진다. SMSGB는 데이터 전송에 사용되는 DAT 패킷(데이터 패킷)의 헤더 부분을 (그림 4)와 같이 정의한다. (그림 4)에서 type 비트 T는 DAT 패킷을 의미하는 1이 된다. 최초로 데이터를 전송할 source 노드는 자신이 갖고 있는 sink ID를 destination sink ID로 하고 data sequence number를 정하고, credit을 정하여 자신이 소비하고 남은 credit의 양인 remaining extra credit cost를 계산하여 헤더의 각 필드를 채워서 브로드캐스트 하게 된다.

```

Event: node N receives an DAT packet from node M
if ( recent broadcasted DAT packet )
{ drop the DAT packet }

else if ( (L_N < L_M) & (L_N ≤ CRD_DAT) ) {
    CRD_EXT = CRD_DAT - CRD_N
    broadcast an DAT packet
        containing L_N, CRD_EXT, sender ID
}
else { drop the DAT packet }

Variables:
CRD_N, CRD_DAT: N 노드, DAT패킷의 credit
CRD_EXT: N 노드에서 소모하고 남은 credit
    
```

위와 같은 과정을 거치게 되면 GRAB와 유사한 데이터 전송이 가능하다. Source부터 출발한 데이터가 낮은 cost를 갖는 쪽으로 전송되어 결국에는 sink로 전송이 된다. 이렇게 데이터 전송에 참여하게 되는 노드가 여러 개 이기 때문에 한, 두 개의 노드가 전송에 실패해도 sink까지 데이터 전송이 가능하다. 따라서 대규모 무선 센서 네트워크에서 신뢰성을 보장하는 데이터 전송이 가능해진다.

다음 홉을 정하지 않은 브로드캐스트로 인해 반복 전송이 되는 문제가 발생할 수 있다. 이것은 DAT 패킷 헤더의 source ID와 sequence number를 통해 막을 수 있다. DAT 패킷을 브로드캐스트 한 노드는 최근 전송한 DAT 패킷의 source ID와 sequence number를 저장한다. DAT 패킷이 새로 수신이 되면 제일 먼저 이전에 자신이 전송했던 DAT 패킷인지 확인 하고, 이전에 전송했던 DAT 패킷이면 다시 전송하지 않는다. 또한 credit의 사용으로 source가 데이터 전송에 참여하는 노드의 범위를 제한 할 수 있기 때문에 너무 많은 노드가 데이터를 전송하는 것을 막을 수 있다. 이와 같은 방법으로 노드의 불필요한 에너지 소모를 막을 수 있다.

하지만 여전히 한 개의 sink만 데이터 수집을 한다. 따라서 네트워크 전체의 고른 에너지 소모는 기대할 수 없다. SMSGB는 여러 개의 sink를 사용하고, 그 사용은 cost field의 재구성 시에 적용이 된다. SMSGB는 cost field 재구성을 할 때 현재와는 다른 sink가 재구성을 한다.

0	1	7	8	15
T	Destination Sink ID		Data sequence number	
Source ID				
Sender cost				
Remaining extra credit				
Data packet size				

그림4. 데이터 패킷 헤더  
 Fig 4. Data Packet Header  
 SMSGB에서 데이터를 전송하는 알고리즘은 다음과 같다.

### 3.3 Cost field의 재구성

SMSGB는 현재 데이터를 수집하는 sink가 네트워크 토폴로지의 변화를 발견하면 전체 네트워크의 cost field를 재구성한다. 이 방법은 주기적인 재구성으로 인한 오버헤드를 막을 수 있다. 재구성을 시작하는 sink는 현재 데이터를 수집하는 sink를 제외한 다른 sink 중에 하나가 된다. Cost field가 구성이 되면 항상 한 개의 선택된 sink만 데이터를 수집하기 때문에 여러 개의 sink가 동시에 동작을 하여 발생하는 컨트롤 패킷의 오버헤드를 막을 수 있고, 각 노드가 여러 개 sink에 대한 정보를 알고 있어야 하는 비용이 발생하지 않는다. 또한 cost field 재구성 뒤에는 다른 위치에 있는 sink가 데이터를 수집하게 되고, 네트워크의 고른 에너지 소모가 가능하다.

현재 데이터를 수집하는 sink는 네트워크의 변화를 발견하기 위해 최근 수신된 데이터의 몇 가지 특징을 저장한다. 저장하는 값은 네트워크의 토폴로지가 변하면 달라질 수 있는 값들로, DAT 패킷의 success ratio, 소모되고 남은 credit의 평균, 중복 수신된 데이터 개수의 평균값 등을 저장한다. 새로운 데이터가 수신되고 수신된 데이터의 특징을 이전의 평균값들과 비교하여 일정한 범위를 벗어나면 네트워크의 토폴로지가 변하였다고 판단한다. 이렇게 sink가 네트워크의 변화를 발견하면 cost field의 재구성이 시작된다.

재구성을 시작하는 sink는 현재 네트워크에 참여하고 있는 모든 sink의 sink ID를 기준으로 순서대로 이루어진다. 가장 큰 sink ID를 갖는 sink 다음에 동작하는 sink는 가장 낮은 sink ID를 갖는 sink이다. 재구성을 시작하는 sink가 결정이 되면 결정된 sink가 ADV 패킷을 브로드캐스트 하게 된다. ADV 패킷을 수신한 노드는 3.1절에서 설명한 cost field 구성 알고리즘과 동일한 과정을 거친다.

```

Event: node N receives an ADV packet from node M
if (SIDN ≠ SIDADV) {
    SIDN = SIDADV
    SEQN = 0
    LN = ∞
}
    
```

위의 부분은 3.1절에서 설명한 cost field 구성 알고리즘의 일부이다. ADV 패킷을 수신한 노드가 저장하고 있는 sink ID가 ADV 패킷에 있는 sink ID와 다르다면 cost field의 재구성 단계임을 알 수 있다. 따라서 ADV 패킷을 수신한 노드

는 저장하고 있던 sink ID, cost field sequence number, cost를 모두 초기화 한다. 그리고 cost field 갱신 과정으로 진행한다. 이런 과정을 통하여 새로운 sink가 cost field를 재구성 할 수 있게 된다.

재구성을 마치면 (그림 5)와 같이 sink 1로 전송하던 것을 sink 2로 전송하게 된다. 따라서 sink 1 주변 노드의 에너지 소모를 당분간 줄일 수 있다. 또한 cost는 수식 (3.1)에 의해 노드의 남은 에너지 정도가 반영되어 있기 때문에 (그림 6)과 같이 남은 에너지가 적은 노드는 데이터 전송 경로에 포함되지 않는 경로가 만들어질 수 있다.

재구성을 시작하면 재구성을 시도한 sink 외에 다른 sink로 ADV 패킷이 전송이 된다. ADV 패킷을 수신한 sink는 재전송이나 다른 일을 하지는 않지만 cost field 구성이 완료되었음을 알 수 있다. 이러한 내용을 바탕으로 cost field의 구성이 성공하였는지 실패하였는지 알 수 있다. Cost field의 구성이 실패하였다면 cost field 구성을 시작한 sink와 연결된 경로는 완전히 사라졌다고 할 수 있다. 따라서 cost field 구성을 시도했던 sink는 더 이상 네트워크에 참여하지 않고, 다음 sink가 cost field 재구성을 시작한다.

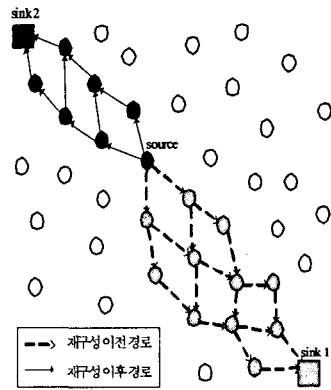


그림 5. Cost field의 재구성  
Fig 5. Cost Field Refreshment

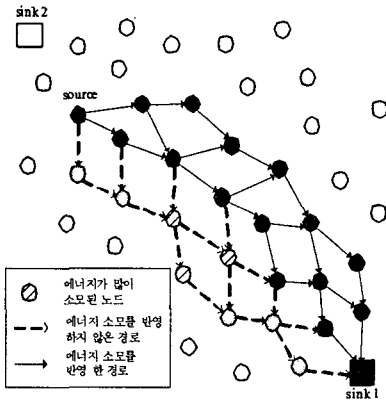


그림 6. 에너지 소모가 반영된 경로  
Fig 6. The path reflecting energy consumption

이상에서 살펴본 바와 같이 SMSGB는 대규모 무선 센서 네트워크에서 신뢰성이 보장되는 GRAB를 기반으로 한 데이터 전송 방법이다. 또한 노드의 남은 에너지를 반영한 cost의 계산과 선택적인 multi sink 구조를 갖는 특징이 있다. 이러한 특징으로 인해 네트워크의 에너지를 고르게 소모시킬 수 있다. 따라서 SMSGB는 대규모 무선 센서 네트워크에서 신뢰성을 보장 할 수 있고, 에너지 효율을 높일 수 있는 데이터 전송 방법이다.

#### IV. 실험 결과

SMSGB가 대규모 무선 센서 네트워크에서 신뢰성을 보장 할 수 있고, 에너지 효율을 높일 수 있는 데이터 전송 방법이라는 것을 모의실험을 통하여 확인하였다. 모의실험은 NS-2[11] 네트워크 시뮬레이션을 사용하였다.

센서 노드의 세부사항은 Berkeley motes[12]와 유사하게 하였다. 모의실험 세부 사항은 <표 1>과 같다.

표 1. 모의실험 설정 값  
Table 1. Simulation Parameters

구분	설정값
영역	150×150m <sup>2</sup>
노드 개수	1200 개
노드의 최대 전송 범위	10m
송신 소비 에너지	60mW
수신 소비 에너지	12mW
대기 소비 에너지	12mW
패킷 송, 수신 시간	10ms
데이터 발생 주기	10s

모의실험은 기존의 프로토콜과 SMSGB의 비교를 통해 SMSGB가 대규모 무선 센서 네트워크에서 네트워크의 신뢰성과 에너지 효율이 향상됨을 보였다. SMSGB에서 sink의 개수에 따른 위치는 미리 고정하였다. Sink의 개수가 한 개인 경우는 네트워크 필드의 한쪽 모서리, 두 개인 경우는 양쪽 모서리, 세 개인 경우는 세 모서리, 네 개인 경우는 사각형 네트워크 필드의 각 모서리로 하였다.

이와 같은 모의실험 환경은 실제 환경과 매우 다를 수 있다. 네트워크 필드의 모양이 실험 환경과 같은 직사각형 형태가 아니거나, sink의 위치가 서로 대칭적이 아닐 수 있다. 따라서 실제 환경에서는 모의실험 결과와 다른 결과가 나올 수 있다. 하지만 네트워크의 초기 구성 시에 네트워크 필드의 모양을 직사각형과 유사하게 하고, sink의 위치를 최대한 대칭에 가깝게 구성을 한다면, 모의실험의 결과와 유사한 결과가 나올 것이다.

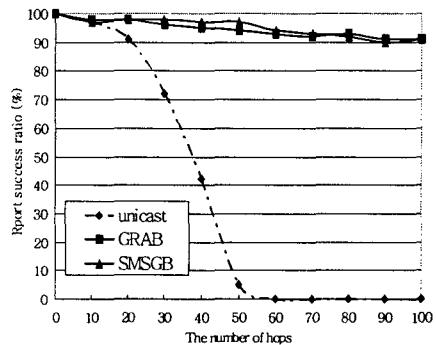


그림 7. 홉 개수에 따른 리포트 성공 비율  
Fig 7. Report Success Ratio per Hop Number

(그림 7)은 홉 개수에 따른 Report success ratio를 보여주고 있다. 여기서 노드의 실패 확률은 20%로 고정하였

다. 홉 개수가 적은 경우에는 유니캐스트 기반 데이터 전송도 브로드캐스트 기반 데이터 전송과 비슷한 success ratio를 보여주고 있다[13]. 하지만 홉 개수가 20개를 넘어가면 유니캐스트 기반 데이터 전송은 90% 이하의 success ratio를 보이는 반면에 브로드캐스트 기반 데이터 전송은 홉 개수가 100개가 되어도 90% 이상의 success ratio를 보이는 것을 알 수 있다. 이것은 단 한 개의 노드만 전송에 실패해도 유니캐스트 기반 데이터 전송은 전체 전송이 실패하고 브로드캐스트 기반 데이터 전송은 그렇지 않기 때문이다.

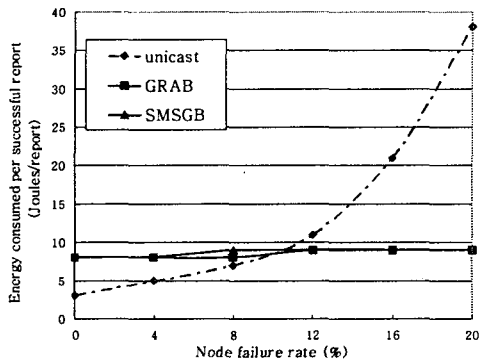


그림 8. 전송 성공 리포트에 따른 소모 에너지  
Fig 8. Energy Consumed per Successful Report

(그림 8)은 홉 개수가 40개로 고정되고 노드 실패 확률에 따라 전송 성공 report의 소모 에너지를 측정된 결과이다. 유니캐스트 기반 데이터 전송은 노드 실패 확률이 높아질수록 재전송 비용이 증가하여 전송 성공에 필요한 에너지가 아주 커지는 것을 알 수 있다[7][8]. 브로드캐스트 기반 데이터 전송은 40개 정도의 홉 개수일 때는 노드 실패 확률에 영향을 받지 않고 거의 일정한 정도의 에너지가 소모됨을 알 수 있다. (그림 7)과 (그림 8)의 결과를 볼 때 대규모 무선 센서 네트워크에서는 SMSGB와 같은 브로드캐스트 기반 데이터 전송이 유니캐스트 기반 데이터 전송 보다 네트워크의 신뢰성을 높일 수 있고 에너지 효율이 좋은 것을 알 수 있다.

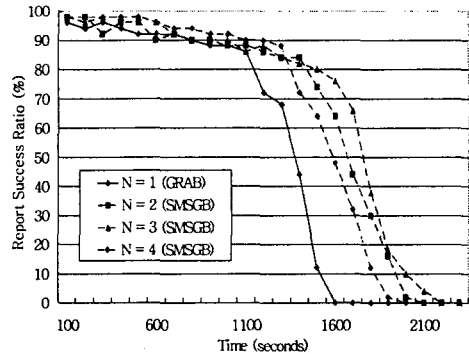


그림 9. 시간에 따른 리포트 성공 비율  
Fig 9. Report Success Ratio per Time

(그림 9)의 실험은 약 2300초 간 진행되었고, 50회 반복하여 sink에 수신되는 Report success ratio를 계산하였다. 각 실험을 sink의 개수를 달리하여 반복하였다. Source가 데이터를 전송할 때 결정하는 credit은 source의 cost의 6배로 하였다. 이는 GRAB의 실험에서 95% 이상의 전송 확률이 보장될 수 있는 값으로 확인되었기 때문이다[7]. 또한 수식 (3.1)에서의 k는 2로 고정하였다.

(그림 9)는 10초 간격으로 전송된 Report Success Ratio가 sink의 개수와 시간에 따라 변화하는 모습을 보여주고 있다. 네트워크가 동작하기 시작하는 시점부터 1000초까지의 결과를 보면, GRAB와 SMSGB의 Report success ratio는 거의 비슷하다. 하지만 1000초 이후부터는 SMSGB가 GRAB보다 더 높은 Report success ratio를 보여주고 있다. 이것은 SMSGB가 GRAB에 비해서 네트워크의 전체 에너지를 크게 소모하고 있기 때문이다.

Sink가 4개인 경우는 sink가 2, 3개인 경우보다 좋은 Report Success Ratio를 보이다가 약 1300초 이후에는 급격히 감소하고, 1900초 만에 0%가 된다. 이는 sink의 개수가 많아서 증가하는 컨트롤 패킷으로 인해 노드의 에너지 소모가 sink가 2, 3개인 경우보다 심한 것을 알 수 있다. 따라서 실험 환경과 같은 네트워크에서 sink의 개수가 4개인 경우는 에너지 효율이 오히려 감소하지만 여전히 GRAB보다 향상됨을 알 수 있다.



표 2. Sink 개수에 따른 네트워크 동작 시간  
Table 2. Network Life Time per Sink Number

sink 개수	네트워크 종료 시간	동작 시간 비율
1	1600 second	100%
2	2100 second	131%
3	2200 second	137%
4	1900 second	118%

〈표 2〉는 (그림 9)를 바탕으로 한 네트워크의 종료 시간을 보여주고 있다. 네트워크가 완전히 종료되는 시점은 Report success ratio가 0%가 되는 시점이라고 가정한다. 〈표 2〉에서 보는 바와 같이 sink가 한 개인 경우는 약 1600초 경과 후 이고 sink가 2개 이상인 경우는 약 2000초 이상 네트워크가 동작함을 알 수 있다. 이는 sink가 한 개인 경우는 sink 주변의 노드가 모두 동작을 멈출 때가 네트워크의 동작이 멈추는 시점이지만, 본 논문에서 제안한 SMSGB는 한 개의 sink 주변의 노드가 모두 멈추어도 다른 sink로의 경로를 구성할 수 있기 때문에 네트워크의 동작 시간이 약 18%-37% 정도 연장됨을 알 수 있다.

이와 같은 모의실험 결과를 통해 SMSGB가 대규모 무선 센서 네트워크에서 네트워크 신뢰성을 높이고 에너지 효율을 향상시킬 수 있으며, 네트워크 전체 에너지를 고르게 사용하여 네트워크 동작 시간이 약 18% 이상 연장됨을 확인하였다.

## V. 결론

본 논문에서는 대규모 무선 센서 네트워크에 적합한 SMSGB를 제안하였다. SMSGB는 대규모 무선 센서 네트워크의 특징인 많은 홉을 지나는 데이터 전송에서도 신뢰성을 유지하기 위해 브로드캐스트 방법을 사용하였다. 그리고 한 개의 sink가 데이터를 수집하게 되어 네트워크 전체 에너지를 고르게 사용하지 못하는 문제를 해결하기 위해 여러 개의 sink를 사용하였다. 또한 여러 개의 sink를 사용하여 발생할 수 있는 컨트롤 패킷의 증가와 같은 문제점을 해결하기 위해 한번에 한 개의 sink만 선택해서 사용한다. 이러한 방법을 통해 대규모 무선 센서 네트워크에서 SMSGB의 사용은 네트워크 신뢰성을 보장하고 전체 에너지를 고르게 사용하여 에너지 효율을 높일 수 있다. 모의실험을 통해 홉 개수가 많은 대규모 무선 센서 네트워크

에서도 90%이상의 신뢰성이 보장되고, 네트워크의 동작 시간이 기존의 방법인 GRAB에 비해 최소 18% 이상 증가함을 확인하였다.

## 참고문헌

- [1] I.F.Akyildiz, WeilianSu, Y.Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, vol. 40, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] 조영복, 정운수, 김동명, 이상호, "유비쿼터스 센서 네트워크에서의 저전력 상호인증 프로토콜," 한국컴퓨터정보학회, 10권 2호, pp. 187-197, 2005. 5
- [3] 박경배, 강경인, 유재휘, 김진용, "이동 애드혹 네트워크에서 신뢰성 향상을 위한 액티브 기반연구," 한국컴퓨터정보학회, 7권 4호, pp. 188-198, 2002. 12
- [4] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in Proceedings IEEE INFOCOM 2002, pp. 1567-1576, June 2002.
- [5] C. Schurgers, V. Tsiatsis, S. Ganeriwal, M. Srivastava, "Optimizing sensor networks in the energy-latency-density design space," IEEE Transactions Mobile Computing, vol. 1, pp. 70-80, Jan. 2002.
- [6] Christopher L. Barrett, Stephan J. Eidenbenz, Lukas Kroc, Madhav Marathe, James P. Smith, "Parametric probabilistic sensor network routing," in Proc. of the 2nd ACM international conference on Wireless sensor networks and applications, pp. 122-131, Sept. 2003.
- [7] F. Ye et al., "GRADient broadcast: a robust data delivery protocol for large scale sensor networks," to appear in ACM Wireless Networks (WINET), vol.11, Mar. 2005.
- [8] B. Deb, S. Bhatnagar, B. Nath, "ReInForM: reliable information forwarding using multiple paths in sensor networks," in Proc. of the 28th Annual IEEE International Conference on

- Local Computer Networks 2003(LCN'03), pp. 406-415, Oct. 2003.
- [9] C. Intanagonwivat, R. Govindan, D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'00), pp. 56 - 67, 2000.
- [10] E. I. Oyman, C. Ersoy, "Multiple sink network design problem in large scale wireless sensor networks," IEEE International Conference on Communications, vol. 6, pp. 3363-3367, June 2004.
- [11] NS2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [12] J. Hill, R. Szewczyk et al., "System Architecture Directions for Networked Sensors," in Proc. of the ninth international conference on Architectural support for programming languages and operating systems, pp. 93 - 104, Dec. 2000.
- [13] C. E. Perkins, E. M. Royer and S. R. Das, "Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks," IEEE Personal Communications, Vol. 8, Feb. 2001.

저 자 소 개



**이호선**  
 2004년 2월 인하대학교 컴퓨터공학  
 부 컴퓨터공학과 공학사  
 2004년 3월~현재 인하대학교 컴퓨  
 터 정보공학과 석사과정  
 <관심분야> USN (Ubiquitous Sensor  
 Network),  
 Mobile Communications



**조익래**  
 2004년 2월 인하대학교 컴퓨터공학  
 부 컴퓨터공학과 공학사  
 2004년 3월~현재 인하대학교 컴퓨  
 터 정보공학과 석사과정  
 <관심분야> USN(Ubiquitous Sensor  
 Network),  
 DSP(Digital Signal  
 Processing)



**이군하**  
 1970년 2월 인하대학교 전기공학과  
 공학사  
 1976년 2월 인하대학교 전자공학과  
 공학석사  
 1981년 2월 인하대학교 전자공학과  
 공학박사  
 1981년 9월~현재 인하대학교 컴퓨터  
 정보공학부 교수  
 <관심분야> Computer Network,  
 Mobile Computing,  
 DSP (Digital Signal  
 Processing)