

---

# 무선 센서 네트워크 상에서 효율적인 데이터 전송을 위한 제한된 다중경로 플러딩

조현태\* · 백윤주\*

## Restricted Multi-path Flooding for Efficient Data Transmission in Wireless Sensor Networks

Hyun-Tae Cho\* · Yun-Ju Baek\*

---

본 연구는 부산대학교 학술연구 조성비(연구정착금)에 의한 연구임

---

### 요 약

많은 수의 노드들로 구성되어 있는 센서 네트워크에서 가장 우선적으로 고려되어야 할 사항은 에너지 효율성(energy-efficiency)이다. 현재 센서 네트워크의 수명을 연장시키고, 트래픽을 줄이기 위해서 데이터 중심의 라우팅 프로토콜들이 제안되고 있다. 본 논문에서는 기존의 무선 애드 혹(ad hoc) 네트워크에서 연구되어진 많은 라우팅 알고리즘들이 센서 네트워크에 적용되었을 때 발생하는 문제점에 대해 살펴보고, 네트워크에서 전달되어지는 메시지의 수를 줄임과 동시에 노드가 소모하는 에너지량을 최소화하는데 역점을 둔다. 본 논문은 네트워크 내에 플러딩 수행 시, 많은 오버헤드가 발생하는 것을 해결하기 위해 다중경로 플러딩(Restricted Multi-path flooding) 기법을 제안한다. 다중경로 플러딩 기법은 기존의 라우팅 기법과 달리 노드의 제한된 에너지를 효율적으로 활용하며, 여러 경로를 통해 수신된 정보를 이용하여 최적의 경로를 선택한 후 원격지 노드와 정보를 교환할 수 있다.

### ABSTRACT

The key in wireless sensor networks, which consist of a number of sensor nodes, is an energy efficiency. Many routing protocols have been proposed for prolonging network lifetime and reducing traffic in wireless sensor networks. Wireless sensor networks usually use wireless ad-hoc network protocols for routing, but these protocols are not well-suited for wireless sensor networks due to many reasons. In this paper, RM-flooding protocol is proposed for reducing routing overhead occurred when packet flooding. The nodes using this routing protocol can consume the limited energy effectively, and exchange information with remote nodes using information receiving from multipath. So, RM-flooding prolongs the network's lifetime.

### 키워드

무선 센서 네트워크, 라우팅 프로토콜, RM flooding, Restricted flooding

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크는 원격지의 정보를 수집하

기 위해 수많은 노드들이 밀집하게 배치되어 있다. 무선 애드 혹 네트워크와 매우 유사하지만 각 노드들의 크기가 작기 때문에 메모리의 용량 및 에너지에 대한 제약사항이 아주 심하다[1]. 이러한 특성들로 인하여 무선 애드 혹 네트워크 기술들이 그대로 무선 센서 네트워크에 적용되어지기 어렵다.

무선 센서 네트워크에서 연구되어지는 분야는 여러 가지가 있지만, 이들 중 네트워크의 정보를 가능한 적게 유지하고, 데이터 전달에 필요한 에너지를 효율적으로 사용하는 라우팅 알고리즘이 가장 우선시 되어야 할 이슈이다. 무선 센서 네트워크는 초기에 네트워크의 상태를 유지하고 있지 않으므로, 정보를 전달하기 위해서 브로드캐스트를 해야만 한다. 이 경우 네트워크에 수많은 노드들이 존재할 경우 브로드캐스트 폭풍(storm)이 발생하게 된다. 이 문제는 네트워크에서 많은 트래픽 오버헤드가 발생시킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 많은 네트워크 라우팅 알고리즘들이 연구되었으며[2], 그 중 데이터 중심의(data-centric) 방식의 Directed Diffusion[3], 계층적 라우팅 방법인 LEACH[4], 위치 정보 기반의 GEAR[5]와 GPSR[7]이 대표적인 기법으로 가장 잘 알려져 있다.

하지만 이들 라우팅 기법들은 주기적인 메시지 전송으로 인하여 많은 에너지를 소모하고, 브로드캐스트 메시지를 받은 주위 노드들이 네트워크 상태 정보를 유지하기 위해 많은 메모리를 필요로 하는 문제점이 있다.

본 논문의 목적은 싱크의 정보를 목적지로 전달할 때, 노드들의 불필요한 브로드캐스트 트래픽과 노드가 유지해야 하는 정보의 수를 줄이고, 목적지에서는 최적의 경로를 통하여 싱크로 데이터를 전달하는데 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 센서 네트워크의 라우팅이 무선 애드 혹 네트워크와 어떠한 차이가 있는지 살펴본다. 3장에서는 효율적으로 데이터를 전달하기 위하여 제한된 포워딩을 사용하는 RM-flooding (Restricted Multipath flooding)을 제안한다. 4장에서는 기존의 기법들과 성능을 비교 및 분석하고, 5장에서 결론을 내린다.

## II. 무선 센서 네트워크 라우팅 기법

### 1. 무선 센서 네트워크

무선 센서 네트워크는 그림 1과 같이 센서 노드들이 배치된 센서 필드(sensor field)와 센서 필드와 외부 망을 연결하는 싱크(sink)로 구성된다.

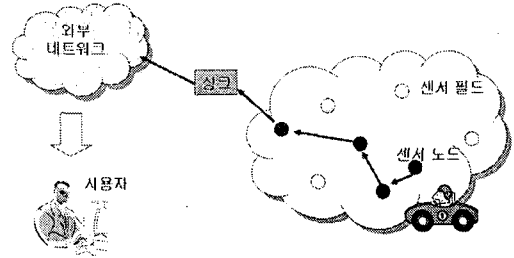


그림 1. 무선 센서 네트워크 구조  
Fig 1. Architecture of a wireless sensor network.

### 2. 라우팅 기법

센서 필드에 배치되는 센서 노드들은 인터넷과 같은 고정된 네트워크 하부 구조에 직접 연결되는 것이 아니라, 자동 구성이 가능한 애드 혹 네트워크를 형성한 후 내부에서 통신하며, 인터넷과 같은 외부로의 통신은 게이트웨이 역할을 하는 싱크를 통하게 된다. 따라서 무선 매체의 저속, 오류가 심한 전송 특성 및 제한된 전원 공급, 센서 노드의 임의 배치로 인한 교체 불가능 등의 문제점을 가진다. 그러므로, 이러한 무선 센서 네트워크를 위한 프로토콜은 에너지 소비를 네트워크 전체에 분산시켜 전체적 시스템의 수명을 증가시키는 방향으로 설계되어야 하며, 센서 네트워크의 동적인 변화에 빠르게 대응할 수 있어야 한다.

무선 센서 네트워크는 인프라 네트워크가 부재하고, 필요에 따라 자율적인 네트워크 구성한다는 점에서는 무선 애드 혹 네트워크와 유사하다. 하지만, 네트워크 내에 산재해 있는 노드수가 여러 차수 이상 많고, 노드의 크기 제한으로 인하여 에너지, 메모리, 컴퓨팅 능력 등과 같은 자원의 제한이 심하다. 또한, 데이터 전달 기법이 주소 중심(address-based)이 아니라 데이터 중심이라는 점에서 무선 애드 혹 네트워크와는 차이가 있다.

주소 중심의 라우팅은 “주소 1234를 가진 노드가 가진 온도는 얼마인가?”하는 방식으로 특정노드에게 질의를 하는 방식이며, 데이터 중심은 “센서 노드가 배치된 지역 내(x1, y1, x2, y2)에서 온도는 얼마인가?”와 같이 특정 지역에 배치된 노드들에게 태스크를 할당하여 interest를 전달하는 것을 말한다[2].

### III. RM-Flooding

본 논문에서 제시하는 프로토콜은 크게 Restricted flooding, 목적지까지의 interest 확산, 목적지 내에서 interest 확산, 그리고 데이터 분배의 네

단계로 나누어 설명하며, 다음과 같은 가정 하에 동작한다.

첫째, 각각의 노드들은 GPS 또는 다른 위치 측정방법을 이용하여 이미 자신의 위치정보를 알고 있다. 둘째, 노드들의 초기 전달 범위는 모두 같다. 마지막으로, 노드들의 이동은 거의 없다고 가정한다.

**1. Restricted Flooding**

노드가 네트워크의 정보를 알지 못하는 상황에서 데이터를 전달하기 위해서는 브로드캐스트를 해야만 한다. 이때, 전송범위 내의 모든 노드들이 플러딩을 수행하게 되므로 많은 트래픽을 발생시키고, 에너지 소모 또한 많아지게 된다.

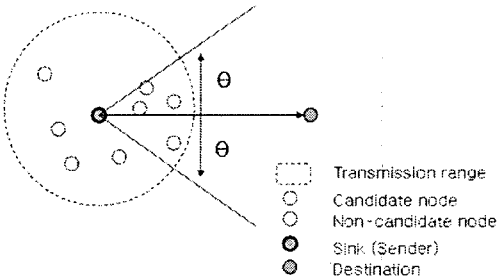


그림 2. 제한된 플러딩  
Fig 2. Restricted flooding.

RM-flooding의 interest 확산[3]은 기본적으로 송신자(sender)와 목적지의 위치를 기준으로 일정 각도를 기준으로 전송영역을 만들어 참여 후보로 만든다[8](그림 2). 즉, 송신자와 목적지의 선상으로 부터 임의의  $\theta$  이동한 영역내의 노드들만 데이터를 전달할 수 있는 후보 노드가 된다. 이 후보 노드들 중 하나의 노드를 선택하여 포워딩을 수행하도록 한다.

참여 후보 노드들은 이전의 송신자로부터 데이터를 받은 후 임의의 wait\_time 동안 대기후 wait\_time이 종료됨과 동시에 다시 목적지를 향해 브로드캐스트 한다. 가장 먼저 wait\_time이 종료된 노드가 포워딩을 수행하게 된다.

이전 송신자에서는 다음 포워딩 노드가 수행한 브로드캐스트 메시지를 통하여 ACK를 확인하게 되고, 다른 포워딩 후보 노드들은 브로드 캐스트를 억제하게 된다. 이러한 작업은 이전의 송신자와 다음 포워딩 노드는 라디오 전송범위 내에 위치하고 있기 때문에 가능하다. 포워딩 노드가 반대편의 다른 후보노드들의 포워딩을 억제하기 위해서  $\theta$ 는 각 방향으로 30°를 초과해서는 안 된다[8].

여기서 참여 후보 노드들이 대기하는 wait\_time 은 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$wait\_time = 1 - \left( \alpha \frac{dist(N_s, N_c)}{r} + (1 - \alpha) \frac{E_R}{E_T} \right) \quad (1)$$

$N_S$  = Sender node,  $E_R$  = Remaining Energy  
 $N_C$  = Candidate node,  $E_T$  = Total Energy  
 $r$  = Transmission range or Constant value  
 $dist(x,y)$  = Distance between x and y

목적지까지 반복적으로 wait\_time이 가장 작은 노드들이 포워딩을 수행하도록 하여 질의를 전달하도록 한다. 이러한 플러딩의 단점은 각각의 노드들이 wait\_time 만큼 기다려야 하기 때문에 빠른 응답성을 보장하지 못한다. 이러한 현상은 가중치 기준을 에너지 중심으로 두었을 때 더욱 심하게 발생하게 된다. 또한 목적지까지 하나의 링크만 존재하기 때문에 지역적으로 링크 실패가 발생하게 되면 그림 3과 같이 전체적인 데이터 전달에 실패하는 문제점이 발생한다.

**2. 목적지까지의 Interest 확산**

무선 센서 네트워크는 주소 중심의 라우팅이 아니라 데이터 중심적인 라우팅을 수행해야 하므로, 목적지는 하나의 노드가 아니라 여러 노드들이 분포해 있는 사각의 영역으로 설정한다. 싱크에서는 목적지 영역의 중심점을 계산하여 데이터를 전달하기 위한 목적지 위치로 한다.

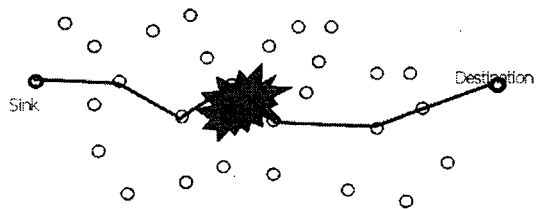


그림 3. 링크 실패  
Fig 3. Link failure.

링크 실패를 방지하기 위해서 초기에 싱크는 목적지를 기준으로  $\theta$ 의 크기로 범위를 나눈 후 interest의 복사본을 생성한다. 본 논문에서는  $\theta$ 를 45°로 설정하여 싱크 노드가 하나의 interest를 가지고 4개의 interest 복사본을 생성한다(그림 4).

싱크는 목적지를 향한 방향 당 하나의 복사본을 전송하고, 주위의 모든 노드들이 각 interest를 브

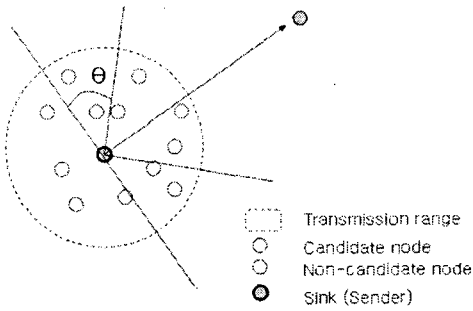


그림 4. 포워딩 후보 영역 결정

Fig 4. Decision of forwarding candidate ranges.

로드캐스트하면 참여 영역 이내에 있는 노드들만 자신의 위치정보를 이용하여 interest를 받게 된다.

송신자와 목적지간의 참여 영역 내에 있는 참여 후보 노드들은 받은 interest의 정보와 자신의 위치 정보를 이용하여 후보 노드인지를 판단한다. 후보 노드들은 여러 개가 존재할 수 있으므로 후보 노드들 중 하나의 노드만을 선택하기 위하여 노트 선택 (node selection) 알고리즘을 수행한다[5].

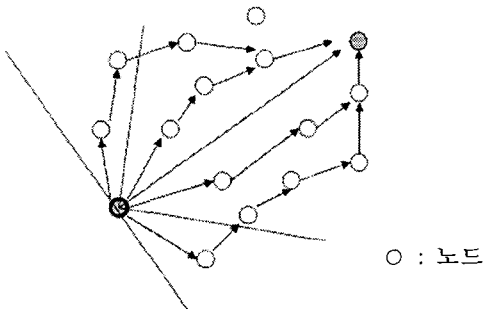


그림 5. 목적지를 향한 데이터 전달

Fig 5. Interest forwarding toward target region.

그림 5에서와 같이 다중의 경로를 통하여 데이터를 전달하게 링크의 실패가 발생하더라도 또 다른 경로를 통하여 데이터를 전달할 수 있다. 본 논문

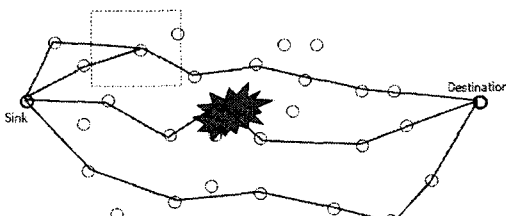


그림 6. 링크실패 복구 및 수렴

Fig 6. Link failure recovery and convergence.

문에서 제시한 기법의 마지막에서는 싱크에서 목적지까지 총 4개의 경로를 생성하게 될 것이다.

그림 6에서 나타나는 사각의 점선부분은 중간 노드가 같은 싱크노드가 보낸 같은 질의를 중복해서 받았을 경우, 중복된 질의는 폐기시켜 한 경로로 같은 데이터가 전달되지 않도록 한다.

### 3. 목적지 내에서 Interest 확산

본 논문에서 제시하는 기법은 데이터 중심의 기법으로, 목적지내의 모든 노드들로부터 정보를 얻고자 한다.

목적지가 그림 7과 같이 사각의 영역으로 표시될 때, 목적지에 가장 가까운 A 노드가 목적지내의 B노드에게 interest를 전송한다. 그러면 B 노드는 목적지 영역내의 모든 노드들에게 데이터를 전달하기 위해서 목적지 영역 내에 간단한 브로드캐스팅을 통해 interest를 전달할 수 있다.

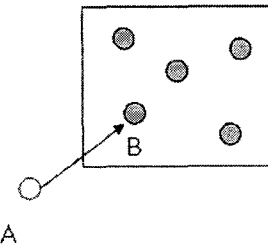


그림 7. 목적지 내에서 interest 확산

Fig 7. Interest forwarding within target region.

하지만, 목적지 영역 내에 노드들의 수가 많아지게 되면 브로드캐스트 하는데 오버헤드가 많이 발생하므로, 이때는 Recursive Geographic Forwarding 기법[5]을 적절히 사용함으로써 해결할 수 있다.

### 4. 데이터 분배

이벤트를 감지한 노드는 자신의 캐시(cache)에 저장되어 있는 interest를 확인하여, 이벤트가 캐시 내에 있다면 감지한 이벤트를 캐시에 저장 후 싱크-to-목적지의 역 방향인 목적지-to-싱크로 가장 짧은 경로를 통하여 수집한 데이터를 전송하게 될 것이다. 이때 가장 짧은 경로는 도착한 타임스탬프를 확인하여 결정할 수 있다.

데이터를 수신한 중간 노드는 자신의 캐시에 저장된 interest를 보낸 역방향으로 데이터를 전송한다. 전송에 실패할 경우는 싱크가 interest를 확산하는 방법을 이용하여, 여러 개의 링크를 재설정할 수 있다. 본 논문에서는 데이터 전송에 실패할 경

우 다시 4개의 역 경로를 설정하여 데이터를 전송한다. 하지만 전송에 실패할 경우마다 다시 4개의 역 경로를 설정하게 되면 네트워크 내에 많은 트래픽이 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해 패킷에 단편화 비트(fragmentation bit)를 두어 패킷 전달 실패 시 한번만 재 경로를 설정하도록 한다.

데이터는 캐시에 저장되어 메시지가 브로드캐스트 될 때 루프(loop)가 발생하는 것을 방지하고, 데이터가 손실되었을 때 재전송을 통해서 경로를 재 설정할 수 있다.

#### IV. 성능평가

성능평가를 위해서 본 논문에서는 NS-2 시뮬레이터를 사용하여 실험을 하였다. 실험은 500 × 500m 네트워크에 30, 60, 90, 120, 그리고 150개의 노드를 랜덤하게 생성하여 네트워크의 트래픽을 분석하였다.

임의로 3개의 싱크에서 3개의 목적지에 데이터를 전송하는 토폴로지를 구성하여 성능평가를 하였다. 그림 8은 각 라우팅 알고리즘별로 네트워크의 트래픽의 개수를 측정하여 성능 평가한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 노드의 수가 90 이상이면 서서히 RM-flooding과 Directed Diffusion에서 패킷수의 차이가 발생하는 것을 알 수 있다.

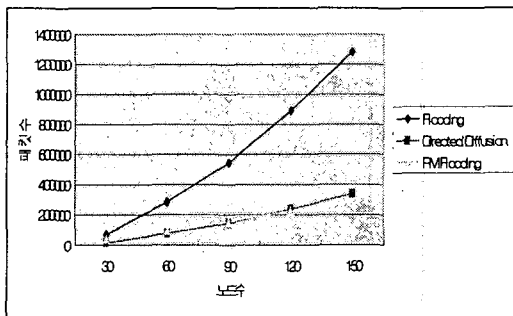


그림 8. 노드 수에 따른 패킷 수  
Fig 8. The number of packets.

Directed Diffusion 은 네트워크 전체로의 브로드캐스트 메시지가 발생하므로 네트워크의 크기가 증가할수록 메시지 전송 비용이 크게 증가하게 된다. 또한 네트워크내의 모든 노드가 이웃 노드에 대한 상태정보(gradient)를 유지하고 있으므로 이벤트의 종류에 따라 유지하는 정보도 많아진다. 반면 RM-flooding은 메시지 전송의 증가량이 적다.

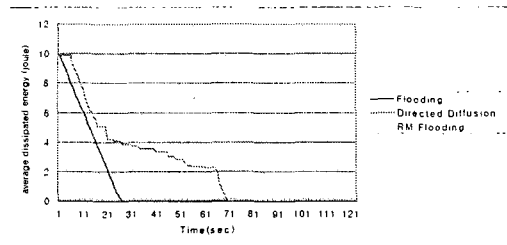


그림 9. 평균 에너지 소모율  
Fig 9. Average remaining energy over time.

그림 9는 노드의 수를 150으로 설정하여 시간에 따른 네트워크 내에서 소모되는 에너지량을 비교한 것이다. RM-flooding이 가장 오랜 시간 동안 살아 있다는 것을 보여준다.

#### V. 결 론

본 논문에서 제시한 기법은 전체 네트워크에서 발생하는 트래픽 수를 줄일 수 있다. 그리고 다중 경로를 이용함으로써 Directed Diffusion과 같이 네트워크의 견고성을 보장한다. 향후 연구 되어야 할 사항을 정리하면 측정된 실험이 실제 네트워크 상황을 빠르고 정확하게 반영할 수 있는지에 대한 연구와 측정된 값이 지역적이고 일시적이지 않고 전체 네트워크를 반영할 수 있는가에 대한 연구가 필요하며, 또한 제한하는 알고리즘을 수행하는데 드는 노드의 오버헤드가 실제 성능향상에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [2] Kemal akkaya, Mohamed Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, pp. 26, 2003.
- [3] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, John Heidemann, Fabio Silva, "Directed diffusion for wireless sensor networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, Volume 11, Issue 1, pp : 2 - 16, 2003.
- [4] W. Rabiner Heinzelman, A. Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. "Energy-Efficient Co-

munication Protocol for Wireless Micro-sensor Network," In Proceedings of the 33rd International Conference on System Sciences (HICSS '00), 2000.

- [5] Yan Yu, Ramesh Govindan, Deborah Estrin "GEAR : Geographical and Energy Aware Routing : a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks," Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023, UCLA Computer Science Dept., May 2001.
- [6] Y. -B. Ko and N. H. Vaidya. "Location- aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks," In ACM MOBICOM, October 1998.
- [7] B. Karp and H. T. Kung. "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks," In ACM MOBICOM, Boston, MA, August 2000.
- [8] Haksup Shim, Wonjun Lee, "Stateless Restricted Flooding for Energy-Efficient Data Dissemination in Wireless Sensor Networks," Proceedings of The 14th Joint Conference on Communications & Information, 2004.

## 저자소개

### 조현태(Hyun-Hae Cho)



2003년 2월 한국해양대학교 학사  
2005년 3월 부산대학교 석사  
2005년 3월 ~ 현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
※관심분야 : 애드 혹 네트워크, 센서 네트워크, 임베디드시스템,

### 백윤주(Yun-Ju Baek)



1990년 2월 한국과학기술원 학사  
1992년 2월 한국과학기술원 석사  
1997년 2월 한국과학기술원 박사  
1996년 6월 ~ 2002년 2월 NHN(주) 연구소장,  
2003년 9월 ~ 현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수  
※관심분야 : 임베디드시스템, 무선 센서 네트워크, 컴퓨터 구조