

# 무선 센서 네트워크에서 데이터 병합을 위한 다중 경로 라우팅 기법

## (A Multi Path Routing Scheme for Data Aggregation in Wireless Sensor Networks)

손형서<sup>†</sup> 이원주<sup>\*\*</sup>  
(Hyeong Seo Son) (Won Joo Lee)

전창호<sup>\*\*\*</sup>  
(Chang Ho Jeon)

**요약** 본 논문에서는 전체 노드들의 에너지를 균등하게 사용하기 위한 다중 경로 기반의 새로운 라우팅 정책을 제안한다. 이 정책은 기존의 데이터 병합 라우팅 기법에 새로운 형태의 루트 노드들을 추가한다. 각 루트 노드는 싱크 노드의 일부 역할을 위임받고 개별적인 데이터 병합 경로를 구축한다. 그리고 전체 네트워크의 소스 노드들을 각 경로에 적절히 연결함으로써 더 많은 노드들의 에너지를 균등하게 사용할 수 있다. 따라서 전체 네트워크의 수명을 연장할 수 있다. 시뮬레이션을 통하여 네트워크를 구성하는 노드의 에너지 소모를 분산하면 네트워크의 생존시간을 연장할 수 있음을 검증한다. 또한 제안한 라우팅 기법은 소스 노드 수가 증가 할수록 전체 센서 네트워크의 성능 개선에 효율적임을 검증한다.

**키워드** : 데이터 병합, DD-G, MDD-A

**Abstract** In this paper, we propose a new routing scheme based on multi-path routing which provides uniform energy consumption for all nodes. This scheme adds a new type of root node for constructing multi-path. The sink node delegates some partial roles to these root nodes. Such root nodes carry out path establishment independently. As a result, each nodes consume energy more uniformly and the network life-time will be extended. Through simulation, we confirmed that energy consumption of the whole network is scattered and the network life-time is extended. Moreover, we show that the proposed routing scheme improves the performance of network compared to previous routing strategies as the number of source nodes increases.

**Key words** : Data Aggregation, DD-G(Direct Diffusion Greedy), MDD-A(Multipath Direct Diffusion- Aggregation)

### 1. 서론

무선 센서 네트워크는 초소형이고, 저가인 센서 노드들로 구성된 네트워크로 제한된 컴퓨팅 파워와 배터리 기반의 한정된 에너지를 사용한다. 일반적인 무선 센서 네트워크의 구성은 그림 1과 같다.

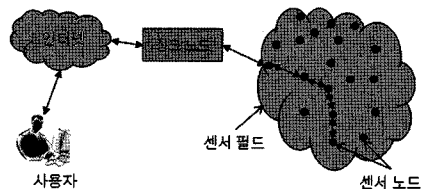


그림 1 무선 센서 네트워크 구성

그림 1에서 센서 노드는 소스 노드, 싱크 노드, 중간 노드로 분류할 수 있다. 소스 노드는 센서 필드에서 정보 수집 및 전송을 담당한다. 소스 노드에서 수집한 정보는 센서 필드의 다른 노드들을 통하여 싱크 노드로 전송된다. 싱크 노드는 소스 노드에서 수신된 정보를 직접 처리하거나 사용자에게 제공한다. 중간 노드는 소스 노드와 싱크 노드간의 네트워크 경로를 제공한다. 이러한 무선 센서 네트워크의 성능 향상을 위해서는 각 노드의 에너지 소모량을 최소화하여 생존시간(life-time)을 연장하고, 신뢰성 있는 데이터 전송이 가능한 라우팅 기법이 필수적이다[1].

무선 센서 네트워크의 생존시간 연장 방법은 데이터 전송에 소요되는 에너지 소모를 줄임으로써 전체 네트워크의 총에너지 소모량을 줄이는 것이다. 이러한 기법에는 최소 비용 라우팅과 데이터 병합 기법이 있다. 최소 비용 라우팅과 데이터 병합 기법은 전체 네트워크의

\* 이 논문은 2008 한국컴퓨터종합학술대회에서 '무선 센서 네트워크에서 부하 분산을 위한 다중 경로 라우팅 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것이다

† 정 회 원 : LG전자 MC R&D센터 연구원  
HyeongSeo@gmail.com

\*\* 중신회원 : 인화공업전문대학 컴퓨터정보과 교수  
wonjoo2@inhac.ac.kr  
(Corresponding author)

\*\*\* 중신회원 : 한양대학교 컴퓨터공학과 교수  
chj5193@hanyang.ac.kr

논문접수 : 2008년 12월 16일  
심사완료 : 2009년 2월 9일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터 제15권 제3호(2009.3)

에너지 소모량은 줄일 수 있지만 라우팅 경로 설정에 참여하는 소수 노드에 에너지 소모가 집중된다는 문제점이 있다. 무선 센서 네트워크의 생존시간을 연장하는 또 다른 방법은 전체 네트워크를 구성하는 각 노드들의 에너지를 균등하게 사용함으로써 특정 노드의 에너지 고갈로 인한 경로 재설정, 네트워크 분할 등의 문제를 해결하는 것이다. 이러한 기법에는 다중 경로 기반의 라우팅 기법이 있다. 이 기법은 각 노드들의 에너지를 균등하게 소모할 수 있지만 전체 네트워크의 에너지 소모량이 증가하는 문제가 있다[2,3].

따라서 본 논문에서는 다수의 데이터 병합 경로를 생성하여 추가적인 에너지 소모를 줄임으로써 전체 네트워크의 생존시간을 연장할 수 있는 새로운 다중 경로 라우팅 기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 센서 네트워크의 라우팅 기법 및 데이터 병합에 대하여 설명한다. 3장에서는 제안하는 새로운 다중 경로 라우팅 기법에 대하여 상세하게 설명한다. 4장에서는 제안한 다중 경로 라우팅 기법의 우수성 검증을 위한 시뮬레이션 환경과 결과를 분석하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 데이터 병합

데이터 병합은 여러 소스 노드로부터 전송된 데이터를 라우팅 경로상의 특정 노드에서 하나의 패킷으로 결합하는 것이다. 데이터 병합 기법은 요구되는 데이터의 종류에 따라 최적 병합(perfect aggregation)과 선형 병합(linear aggregation) 모델로 분류할 수 있다. 최적 병합은 수집된 데이터들의 대표값을 구하는 경우에 사용한다. 최적 병합의 경우 병합된 패킷의 크기는 입력된 패킷의 수에 상관없이 항상 일정하다. 최적 병합의 경우 병합된 패킷 크기( $L_{\text{aggregated\_packet}}$ )는 식 (1)로 구한다.

$$L_{\text{aggregated\_packet}} = L_{\text{header}} + L_{\text{payload}} \quad (1)$$

식 (1)에서  $L_{\text{header}}$ 는 패킷 헤더의 크기이고  $L_{\text{payload}}$ 는 병합된 데이터의 크기이다. 선형 병합의 경우 병합된 패킷 크기는 식 (2)로 구한다.

$$L_{\text{aggregated\_packet}} = L_{\text{header}} + (N * L_{\text{payload}}) \quad (2)$$

식 (2)에서 패킷 크기( $L_{\text{aggregated\_packet}}$ )는 입력된 패킷 수에 비례하여 증가한다. 그리고 병합된 데이터의 크기는  $N * L_{\text{payload}}$ 이다. 이때  $N$ 은 패킷의 수이다.

### 2.2 무선 센서 네트워크의 라우팅 기법

무선 센서 네트워크는 토폴로지 변화가 빈번히 발생하고 매우 제한된 에너지를 가진다. 따라서 무선 센서 네트워크 환경의 라우팅 기법은 최소 에너지를 사용하여 신뢰성 있는 통신을 제공할 수 있어야 한다. 무선 센서 네트워크를 위한 라우팅 기법은 논리적인 토폴로지

구조에 따라 계층적(hierarchical) 라우팅 기법과 평면(flat) 라우팅 기법으로 분류할 수 있다.

계층적 라우팅 기법은 클러스터라는 센서 노드들의 논리적인 그룹을 구성하고, 각 그룹마다 중심 노드를 선정한다. 각 그룹간의 통신은 중심 노드들을 통해서 이루어진다. 이러한 기법은 규모가 큰 네트워크에서 라우팅 정보를 줄일 수 있고, 라우팅 정보 및 데이터 전송 시 발생하는 통신 지연을 줄일 수 있다. 그러나 무선 센서 네트워크의 동적인 토폴로지 환경에서 적절한 수준의 클러스터를 구축하기 어렵고 클러스터의 중심 노드에서 에너지 소모가 집중될 수 있다. 따라서 효율적인 클러스터 구성 알고리즘과 중심 노드 선정 알고리즘이 요구된다. 대표적인 계층적 라우팅 기법으로는 LEACH[4], TEEN[5], APTEEN[6] 등이 있다.

평면 라우팅 기법은 데이터 중심의 속성 기반 어드레싱, 인접 노드간의 유사 데이터 중복 전달을 방지하기 위한 데이터 병합 기법 등을 적용함으로써 기존의 무선 Ad-hoc 네트워크가 가지는 문제점을 해결하였다. 이 기법은 경로 설정 과정에서 노드들의 동기화 과정이 필요 없고 네트워크 관점에서 최적의 라우팅 경로를 설정할 수 있다. 하지만 라우팅에 참여하는 특정 노드에 에너지 소모가 집중되는 것과 라우팅 방법이 복잡해지는 단점이 있다. 대표적인 평면 라우팅 기법으로는 SPIN[7], Directed Diffusion(DD)[8] 등이 있다.

### 2.3 DD-G 라우팅 기법

DD-G(Directed Diffusion Greedy)[9]는 Directed Diffusion 기반의 데이터 병합 라우팅 기법이다. 이 기법은 하나의 경로에 각 소스 노드들을 순차적으로 연결하여 전체 네트워크에 하나의 데이터 병합 경로를 구축한다. 이를 위해 임의의 소스 노드와 싱크 노드 간에 최초 경로를 설정한다. 그리고 나머지 소스 노드들은 기존의 경로와 최단 거리로 자신의 경로를 연결함으로써 데이터 병합 경로를 구축한다.

DD-G에 의해 구축된 경로는 전체 네트워크를 단일 경로로 연결한다. 또한 생성된 데이터 병합 지점은 소스 노드에 인접한 노드들로 구성한다. 따라서 싱크 노드에 근접 할수록 패킷 손실에 따른 데이터 재전송 비용이 증가하고 에너지 소모도 집중된다. 그리고 선형 데이터 병합 모델을 적용할 경우 소스 노드의 수에 비례하여 병합된 데이터의 크기가 증가하기 때문에 병합된 데이터를 한 번에 전송할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 다중 병합 경로를 이용한 새로운 라우팅 기법을 제안한다.

## 3. 제안하는 MDD-A 라우팅 기법

본 논문에서는 다중 경로를 이용한 데이터 병합 라우

팅 기법으로 MDD-A(Multipath Directed Diffusion-Aggregation) 기법을 제안한다. 이 기법은 다중 경로 구축 과정을 통하여 다수의 독립 경로를 구축한다. 그리고 각 경로에서 독립적인 데이터 병합 경로를 설정함으로써 전체 네트워크 경로를 구축한다.

3.1 루트 노드 선정 및 다중 경로 구축

MDD-A 기법은 다중 경로 구축을 위해 루트 노드 선정 과정과 다중 경로 구축 과정을 수행한다. 먼저 루트 노드 선정 과정에서는 싱크 노드로부터 1홉 거리에 있는 모든 노드들 중에 잔여 에너지양이 많은 노드들을 루트 노드로 선정한다. 이 루트 노드는 싱크 노드로부터 경로 설정 과정에 대한 역할을 위임 받고 독립적인 경로를 구축한다. 전체 네트워크의 다중 경로 수는 루트 노드의 수에 따라 결정된다. 만약 루트 노드의 수가 1이라면 DD-G와 유사한 경로가 설정될 것이고, 루트 노드의 수가 소스 노드와 동일하다면 데이터 병합을 수행할 수 없기 때문에 루트 노드의 수를 결정하는 것은 매우 중요하다. 루트 노드의 수는 식 (3)으로 구한다.

$$N_{root} = N_{source} / N_{source/path} \quad (3)$$

식 (3)에서  $N_{root}$ 는 루트 노드수이다.  $N_{source}$ 는 전체 네트워크의 소스 노드 수를 의미하고,  $N_{source/path}$ 는 각 경로의 최대 소스 노드 수를 의미한다. 여기서  $N_{source/path}$ 는 노드의 MTU(maximum transmission unit)를 고려하여 식 (4)로 구한다.

$$L_{aggregated\_data} \leq (MTU - L_{header}) \quad (4)$$

식 (4)에서  $L_{aggregated\_data}$ 는 병합된 데이터의 크기를 의미한다. 본 논문에서는 선형 병합 기법을 가정하기 때문에 병합된 데이터의 크기는 식 (5)로 구한다.

$$L_{aggregated\_packet} = L_{header} + (N * L_{payload}) \quad (5)$$

식 (5)에서  $L_{aggregated\_packet}$ 은 병합된 패킷의 크기이고,  $(N * L_{payload})$ 는 병합된 데이터의 크기이다. 여기서 N은 입력된 패킷의 수이다.  $N_{source/path}$ 는 식 (4)를 만족하는 N의 최대값이다.

루트 노드 선정 과정은 그림 2를 예로 들어 자세히 설명한다.

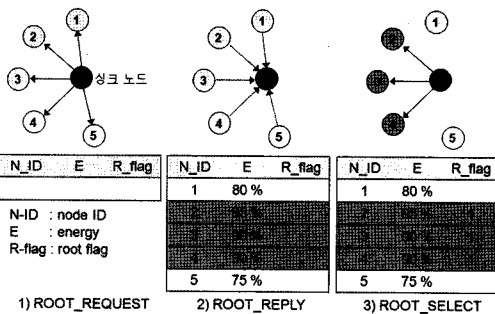


그림 2 루트 노드 선정 과정

그림 2에서 싱크 노드는 ROOT\_REQUEST 메시지를 통해 루트 노드 선정을 시작한다. 싱크 노드 주변의 노드들은 ROOT\_REPLY 메시지를 통해 자신의 ID와 잔여 에너지 정보를 싱크 노드에게 전송한다. 노드 2, 3, 4의 에너지가 노드 1, 5에 비해 많기 때문에 싱크 노드는 ROOT\_SELECT를 전송하여 노드 2, 3, 4를 루트 노드로 선정한다. 그리고 다중 경로 구축과정을 수행한다. 각 루트 노드에 의한 다중 경로 구축 과정은 그림 3을 예로 들어 자세히 설명한다.

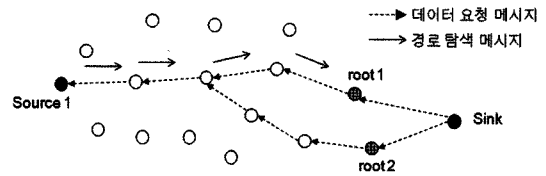


그림 3 다중 경로 구축 과정

- ① 루트 노드(root1, root2)는 자신의 ID가 추가된 데이터 요청 메시지를 네트워크 전체로 전송한다. 이때 다른 루트 노드들로부터 수신된 데이터 요청 메시지는 무시한다.
- ② 소스 노드(Source 1)는 수신한 데이터 요청 메시지 중 가장 홉(hop) 수가 낮은 루트 노드로 경로 탐색 메시지를 전송한다.
- ③ 루트 노드(root1, root2)는 자신에게 경로 탐색 메시지를 전송한 소스 노드의 ID를 소스 그룹 엔트리에 기록한다. 만약 소스 그룹 엔트리에 빈 공간이 없을 경우 네트워크 전체에 full 메시지를 전송한다. 루트 노드의 소스 그룹에 들어가지 못한 노드는 full 메시지를 보낸 루트 노드를 제외한 가장 낮은 홉을 가지는 루트 노드로 경로 탐색 메시지를 전송한다.
- ④ 소스 노드(Source 1)는 자신의 소스 그룹에서 홉 수가 가장 낮은 소스 노드와 최초 경로를 구축한다. 이러한 다중 경로 구축 과정을 통하여 전체 네트워크에 다중 경로를 구축한다. 그리고 각 경로들은 데이터 병합 경로를 설정에 필요한 초기 경로가 된다.

3.2 데이터 병합 경로 구축

본 논문에서 제안한 MDD-A 기법에서는 다중 경로를 이용하여 데이터 병합 경로를 구축한다.

초기 다중 경로 구축 과정에서 각 소스 노드는 루트 노드가 전송한 데이터 요청 메시지의 루트 ID와 홉 수를 통해 자신의 루트 노드를 알 수 있다. 기존 경로에 참여중인 소스 노드가 다른 임의의 소스 노드로부터 exploratory cost 메시지를 수신할 경우 자신의 루트 노드 ID와 확장 비용(incremental cost) 메시지에 포함된 루트 노드 ID를 비교하여, 루트 노드 ID가 일치하면, 동

일한 소스 집합에 속한 노드임을 확인한다. 그리고 현재 경로를 통하여 싱크 노드로 경로 강화(reinforcement) 메시지를 전송한다. 데이터 병합 경로 구축 과정은 그림 4를 예로 들어 자세히 설명한다.

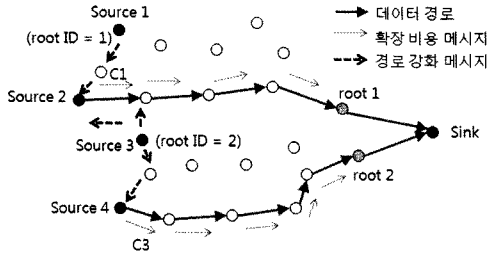


그림 4 데이터 병합 경로 설정 과정

그림 4에서는 root 1과 root 2에 의해 2개의 초기 경로가 설정되어 있다. root 1의 소스 집합은 {Source 1, Source 2}로, root 2의 소스 집합은 {Source 3, Source 4}로 설정되었다. 데이터 병합 경로 구축 과정에서 Source 3은 자신의 root ID가 포함된 경로 탐색 메시지를 전체 네트워크에 플러딩 한다. 이 메시지는 초기 경로에 참여한 Source 2와 Source 4에게 전달된다. Source 4의 경우 수신한 메시지의 root ID와 자신의 root ID가 동일하기 때문에 자신이 속한 루트 노드인 root 2에게 확장 비용 메시지를 전송하고 경로 구축에 참여한다. 그러나 Source 2의 경우 수신한 메시지의 root ID와 자신의 root ID가 다르기 때문에 Source 3가 다른 소스 그룹에 소속되어 있음을 알 수 있다. 따라서 수신한 메시지는 폐기하고 경로 구축에 참여하지 못한다. 이러한 과정을 반복적으로 수행함으로써 root1과 root2는 각각 독립적인 데이터 병합 경로를 구축한다.

### 4. 시뮬레이션 및 결과 분석

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 제안한 MDD-A 기법이 전체 네트워크의 성능 향상 면에서 기존의 DD-G 기법에 비해 우수함을 검증한다. 시뮬레이션에는 NS-2 시뮬레이터[10]를 사용한다.

#### 4.1 시뮬레이션 환경

전체 네트워크를 구성하는 센서 노드의 수는 50개이고, 200m×200m 크기의 정방형 영역에 무작위로 배치한다. 그리고 센서 노드들 간의 통신 반경은 40m이다. 싱크 노드는 우측 상단의 36m×36m 크기의 정방형 영역에 무작위로 배치하고, 모든 소스 노드들은 왼쪽 하단의 80m×80m 크기의 정방형 영역에 무작위로 배치한다. 각 센서 노드의 에너지 모델과 데이터 병합 모델은 표 1과 같다.

표 1 에너지 모델과 데이터 병합 모델

에너지 모델		데이터 병합 모델	
구분	값	구분	값
초기 에너지	1 joule	데이터 전송 주기	0.5 sec
유희 소모 에너지	0.3 mW	데이터 크기	2 KB
Tx 소모 에너지	0.66 mW	패킷 크기	8 KB
Rx 소모 에너지	0.395 mW	데이터 병합 지연	0.5 sec

#### 4.2 시뮬레이션 결과 분석

본 논문에서는 제안한 MDD-A 기법의 데이터 부하 분산 효과를 검증하기 위하여 평균 에너지 소모량과 에너지 분산, 네트워크 생존시간을 성능 평가 척도로 사용한다.

평균 에너지 소모량은 소스 노드에서 싱크 노드까지 하나의 데이터를 전송하기 위해 필요한 평균 에너지량을 의미한다. 에너지 분산은 네트워크를 구성하는 각 노드에서 소모된 에너지의 분산 값을 의미한다. 그리고 네트워크 생존시간은 활동 정지 노드가 발생하기 전까지의 시간을 의미한다.

제안한 MDD-A 기법과 기존의 DD-G 기법의 평균 에너지 소모량을 비교하기 위해 소스 노드 수 증가에 따른 평균 에너지 소모량을 측정된 결과는 그림 5와 같다.

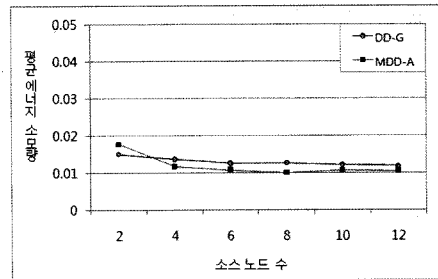


그림 5 소스 노드 수에 따른 평균 에너지 소모량

그림 5를 살펴보면 소스 노드의 수가 2, 3개 일 경우 MDD-A 기법의 에너지 소모량이 DD-G 기법에 비해 많음을 볼 수 있다. MDD-A 기법의 경우 다중 경로를 설정하기 위해 추가적인 메시지를 사용하기 때문에 데이터 전달에 필요한 에너지 소모가 증가할 수 있다. 특히, 소스 노드 수가 적은 경우, 추가적인 경로 설정 과정에서 발생하는 에너지 소모가 상대적으로 큰 영향을 미치기 때문에 MDD-A 기법의 평균 에너지 소모량이 DD-G 기법에 비해 상대적으로 높다. 하지만 소스 노드의 수가 증가하면 MDD-A 기법의 평균 에너지 소모량이 DD-G 기법에 비해 적음을 알 수 있다. MDD-A 기법은 다중 경로를 설정하여 네트워크 부하를 분산함으로써 각 노드의 에너지 소모량을 줄이기 때문이다.

전체 네트워크에서 각 노드들의 에너지가 균등하게 소모되는 것을 알아보기 위해 노드들의 에너지 분산 값

을 측정 한 결과는 그림 6과 같다. 그림 6에서는 분산 값이 작을수록 전체 네트워크의 에너지가 균등하게 소모되었음을 의미한다.

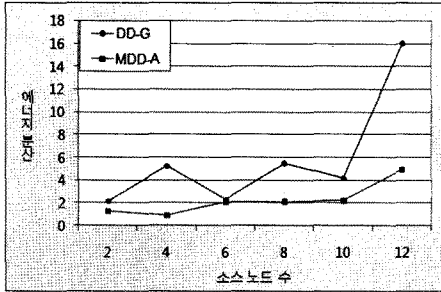


그림 6 소스 노드 수에 따른 에너지 분산

그림 6을 살펴보면 소스 노드 수가 적을 경우 MDD-A 기법에서 생성되는 다중 경로의 수가 적기 때문에 DD-G 기법과 큰 차이를 보이지 않는다. 하지만 소스 노드 수가 10 이상일 경우, MDD-A 기법의 에너지 분산 값은 DD-G 기법에 비해 우수함을 알 수 있다. 따라서 MDD-A 기법에서는 소스 노드의 수가 증가할수록 각 노드들의 에너지가 균등하게 소모된다는 것을 알 수 있다.

제안한 MDD-A 기법과 기존의 DD-G 기법의 네트워크 생존시간을 비교하기 위해 소스 노드 수 증가에 따른 네트워크 생존시간을 측정 한 결과는 그림 7과 같다.

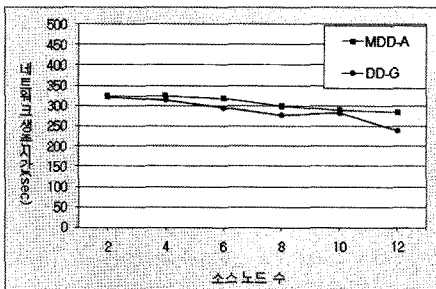


그림 7 소스 노드 수에 따른 네트워크 생존 시간

그림 7을 살펴보면 소스 노드 수가 많을수록 MDD-A의 네트워크 생존시간이 DD-G에 비해 크다는 것을 알 수 있다. 즉, MDD-A는 네트워크의 부하를 분산하여 각 노드의 에너지를 균등하게 소모함으로써 전체 네트워크의 생존시간을 연장하기 때문이다.

5. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 생존시간을 연장하기 위해 에너지 소모량이 적은 다중 경로 라우팅

기법인 MDD-A 기법을 제안하였다. 이 기법은 특정 노드에 집중되는 네트워크 부하를 다른 노드들에게 분산시키기 위하여 다중 경로를 구축한다. 먼저 각 경로의 루트 노드를 선정하고, 각 루트 노드에 의한 경로 구축 과정을 통해 다수의 독립적인 경로를 구축한다. 그리고 각 경로에서 독립적인 데이터 병합 경로 설정 과정을 통하여 전체 네트워크의 경로를 구축함으로써 각 노드의 에너지 소모량을 줄이고, 전체 네트워크의 생존시간을 연장하였다. 시뮬레이션을 통해 제안한 MDD-A 기법이 네트워크 부하를 분산하여 각 노드의 에너지 소모를 줄임으로써 전체 네트워크의 성능을 향상시킨다는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communication Magazine, Vol. 40, pp.102-114, Aug., 2002.
- [2] I. Solis, K. Obraczka, "In-Network Aggregation Trade-offs for Data Collection in Wireless Sensor Networks," International Journal of Sensor Networks, Vol. 1, No. 3/4, pp. 200-212, 2006.
- [3] Hong Luo, Yonghe Liu, and Sajal K. Das, "Routing Correlated Data with Fusion Cost in Wireless Sensor Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 5, No. 11, pp. 1620-1632, Nov., 2006.
- [4] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Micro Sensor Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 1, No. 4, Oct., 2002.
- [5] A. Manjeshwar, D.P., and Agrawal, "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," 1<sup>st</sup> IPDPSIEEE, Apr., 2001.
- [6] A. Manjeshwar, Agrawal, and D. P., "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," Parallel and Distributed Processing Symposium Proceedings International, IPDPS2002, pp. 15-19, Apr., 2002.
- [7] J. Kulik, W. Heinzelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," ACM Wireless Networks, Vol. 8, No. 2/3, pp. 169-185, Mar., 2002.
- [8] M. Chen, T. Kwon, Y. Choi, "Energy-Efficient Differentiated Directed Diffusion(EDDD) in Wireless Sensor Networks," Elsevier Computer Communication, Vol. 29, Issue 2, pp. 231-245, Jan., 2006.
- [9] C. Intanagonwiwat, D. Estrin, R. Govindan, and J. Heidemann, "Impact of Network Density on Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," Distributed Computing Systems, 22<sup>nd</sup> International Conference, pp. 457-458, July, 2002.
- [10] NS2 official web-site, <http://www.isi.edu/nsnam/>