무선 센서 네트워크에서 전력과 위치정보 기반 라우팅 프로토콜 디자인†

(Power and Location Information based Routing Protocol Design in Wireless Sensor Networks)

손 병 락*, 김 중 규**
(Byung-Rak Son, Jung-Gyu Kim)

요 약 최근 분산 컴퓨팅과 임베디드 시스템을 위한 응용 영역이 급성장하고 무선 통신 기술과 컴퓨터 하드웨어의 발전으로 매우 작은 크기의 센서 노드로 이루어진 센서 네트워크를 구성하는 것이 가능해졌다. 하지만 센서 네트워크의 특징 때문에 기존 라우팅 프로토콜을 적용하기 어렵다. 본 논문에서는 센서 네트워크의 특징을 고려하여 에너지 효율적으로 동작할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 먼저 센서 노드가 관찰한 데이터를 싱크로 전송할 때 센서 노드의 에너지의 상태를 고려한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 둘째, 센서 노드의 상대 위치를 측정하여 인접 노드를 휴지 상태로 전환시켜 에너지 소모를 줄이는 기법을 제안한다. 센서 노드의 에너지 상태와 위치정보를 주기적으로 재설정하여 센서 네트워크의 서비스 시간을 향상시킨다. 제안하는 기법은 트리기반 라우팅 프로토콜에 비해 경로 유지 시간이 2배 이상 향상되고, 평균 에너지 소모율이 약 30% 줄어든다.

핵심주제어 : 무선 센서 네트워크, Ad-hoc, 라우팅 프로토콜, 전력 관리, 위치 정보, min-max 알고리즘

Abstract In recent years, wireless sensor networks(WSNs) have emerged as a new fast-growing application domain for wireless distributed computing and embedded systems. Recent progress in computer and communication technology has made it possible to organize wireless sensor networks composed tiny sensor nodes. Furthermore, ad-hoc network protocols do not consider the characteristics of wireless sensor nodes, making existing ad-hoc network protocols unsuitable for the wireless sensor networks. First, we propose power-aware routing protocols based on energy-centered routing metrics. Second, we describe power management techniques for wireless sensor nodes using the spatial locality of sensed data. Many nodes can go into a power-down mode without sacrificing the accuracy of sensed data. Finally, combining the proposed techniques, we describe an overall energy-efficient protocol for data collection. Experimental results show that the proposed routing protocol can extend the routing path lifetime more than twice. The average energy consumption per sensing period is reduced by up to 30%.

Key Words : Sensor Networks, Ad Hoc, routing protocol, Power Management, min-max algorithm

1. 서 론

최근 분산 컴퓨팅과 임베디드 시스템(Embedded

† 이 논문은 2003학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.
* 대구대학교 대학원 정보통신공학과
** 대구대학교 정보통신공학부 교수, 교신저자

System)을 위한 응용 영역이 급성장하고 무선 통신 기술과 컴퓨터 하드웨어 기술의 발전으로 매우 작은 크기의 센서 노드의 제작이 가능해 졌다. 특히 무선 통신 기술의 발달은 이동 단말들(mobile nodes)이 특정 위치가 아닌 임의의 위치에서도 서로 통신할 수 있게 함으로써 시간과 공간의 제약을 받지 않는 이동통신의 발전을 가져왔다[1][2][3].

이러한 무선 통신 및 하드웨어 기술의 발전으로 매우 작은 크기의 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크를 구성하는 것이 가능해졌고, 이를 이용해 공장자동화, 생태계 모니터링, 재난관리, 군사적인 응용 영역에 사용하려는 시도가 많이 이루어지고 있다[7]. Ad-Hoc 네트워크의 라우팅 프로토콜은 센서 네트워크의 특징을 고려하지 않았다. 센서 네트워크는 주기적으로 데이터를 수집하고 인접한 장소에서 수집한 데이터는 비슷할 수 있다. 이런 이유로 빈번한 주기와 협소한 영역에서 데이터를 수집할 필요는 없다. 그러므로 데이터 수집할 때, 위치 정보, 관찰 주기 그리고 전송 주기를 고려할 필요성이 있다.

본 논문에서는 각 센서 노드의 에너지 상태와 인접 노드의 상대위치를 측정하여 무선 센서 네트워크에서 전력 관리와 위치정보를 통합한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 먼저 센서 노드의 에너지 상태를 비교 분석하여 각각의 에너지 효율적인 경로를 설정하고, 수신 신호 세기를 측정하여 인접한 센서 노드를 상대 거리를 측정하고, 설정된 상대거리보다 작은 값을 가지는 인접 노드는 휴지상태로 전환시켜 전체 네트워크의 수명을 연장하는 기법을 제안하고, 수집된 데이터 분석을 통해 경로를 재설정함으로써 전체 센서 네트워크의 서비스 시간을 향상시키는 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은, 2장에서 관련 연구에 대해서 살펴보고, 3장에서 센서 노드의 에너지 상태를 분석한 경로 설정 기법, 4장에서는 위치 정보를 활용한 전력관리 기법, 5장에서는 시뮬레이션 결과를 제시하고 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 관련연구

보통 센서 네트워크를 구성하는 센서 노드는 매우 한정된 자원을 갖는다. 그림 1은 센서 노드의 하드웨어 구성도이고, 표 1은 센서노드의 하드웨어 특성이다[8][15]. 센서 네트워크는 한정된 자원 때문에 표 2와 같은 제약들을 갖게 된다. 그리고 연구용으로 제작된 센서 노드의 경우 적용하는 라우팅 프로토콜은 간단한 형태의 트리 기반 라우팅 프로토콜 방식을 따르고 있다[4]. CPU 속도, 메모리 용량, 전송속도 등 센서 노드의 하드웨어 특성을 보면 기존의 Ad-Hoc 네트워크에서 라우팅 프로토콜은 센서 네트워크의 특징을 잘 반영하지 않았기 때문에 그대로 적용하기에는 무리가 따른다[9][19][20][27].

2.1. 센서 노드의 에너지 상태를 고려한 연구

센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 주로 에너지 소모를 줄이는 방향으로 연구되고 있다. 센서 네트워크에서 노드들의 에너지 소모는 대부분 통신할 때 발생한다. 그러므로 통신의 양을 가능한 줄이기 위한 연구가 주로 수행되고 있다. 이를 위해 수집한 데이터를 집성(aggregation)을 통해 전송함으로써 통신량을 줄이는 방식이 제안되었고, 노드는 사용자로부터 관찰 주기를 입력받아 전력관리를 수행함으로써 에너지 소모를 줄이는 방식이 제안한다[10][11].

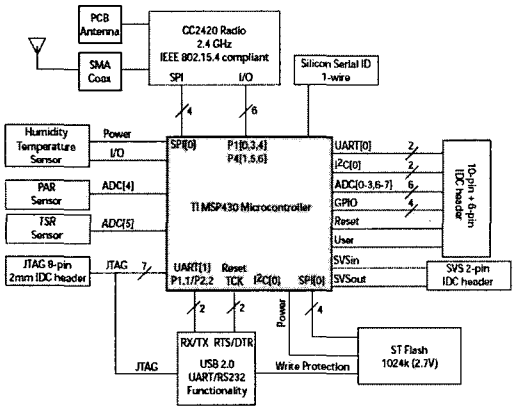
ESRT는 센서 네트워크에서 데이터 집성을 필요로 한다. 이러한 특징을 바탕으로 센서 노드의 관찰 주기를 설정하여 노드가 싱크노드로 전달하는 데이터의 양을 줄임으로써 에너지 소모와 데이터 트래픽을 줄이는 기법을 제안하였다[13]. Singh 등은 저 전력 라우팅 프로토콜을 제안하였다[22]. 하나의 패킷이 송신노드에서 수신노드까지 가는 에너지의 총합을 최소로 하는 라우팅 프로토콜과 남아 있는 노드의 에너지가 최대가 되도록 하는 라우팅 프로토콜 등을 제안하였다. C-K. Toh가 제안한 CMMBCR[21]은 각 노드들의 에너지가 일정 수준이상으로 남아 있으면, 최단 경로를 이용하여 라우팅을 실시하고, 일정 수준이하로 남게 되면, 에너지가 상대적으로 많이 남아 있는 노드를 라우팅 경로로 사용한다[24][25][26].

<표 1> 센서노드의 하드웨어 특성

Mote	Rene	Dot	Mica	Mica2	iMote	Telos
Released	2000	2001	2002	2003	2003	2003
Clock (MHz)	4	4	4	7	12	20
CPU	Atmel	Atmel	Atmel	Atmel	ARM	Moto-rola
Flash (code, KB)	8	16	128	128	512	60
RAM (KB)	0.5	1	4	4	64	4
Radio (kBaud)	10	10	40	40	460	250
Radio Type	RFM	RFM	RFM	Chip Con	Zeevo BT	Zig-Bee

<표 2> 센서 네트워크의 제약 사항

통신 (Communication)	● 매우 제한된 서비스를 제공 ● 일정하지 않은 지연시간 ● 제한된 대역폭(bandwidth) ● 높은 데이터 손실
전력소모 (Power Consumption)	● 제한된 에너지양을 갖게 됨 ● 전력 소모를 최소화 시스템을 설계 주요 제약 ● 예) Mica2 Mote 센서보드 : 전원으로 두 개의 AA 건전지를 채용, 대략 2000㎃A의 전력량 제공
계산능력 (Computation power)	● 크기의 제약으로 인하여 제한된 계산 능력 ● 제한된 계산능력/저장 공간으로 복잡한 알고리즘의 구현이 거의 불가능

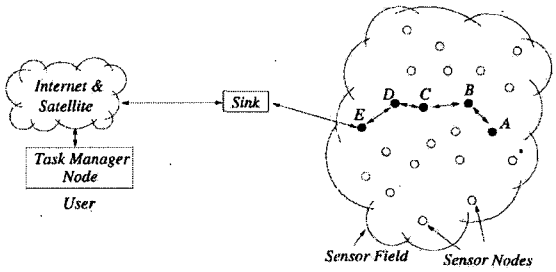


<그림 1> Telos 계열 센서 노드 시스템 구성도

2.2. 통신 신뢰성 연구

센서 네트워크는 싱크노드 주변에서 충돌이 대부분 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 통신 신뢰성 측면에서 많은 연구가 되어 왔다.

신뢰성 있는 경로 재설정을 위해 PSFQ가 제안되었다. PSFQ는 통신 신뢰성을 위해 홉 간 패킷 손실 복구를 지원한다[18]. 그러나 종단 간(end to end) 통신 신뢰성은 보장하지 않는다. 노드에서 싱크노드까지 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 ESRT가 제안되었다[13]. 이 방법은 통신 시 발생되는 부하를 줄이기 위해 각 노드들 데이터 전송 속도를 조절한다. 무선 통신에서 신뢰성을 확보하기 위해서 통신할 때 발생하는 데이터 충돌을 줄여야 한다. 이를 위해 MAC 계층에서의 전송 속도를 조절해 주는 방법이 제안되었다[17][23]. 그리고 노드의 휴지상태 또한 많은 전력을 소비하기 때문에 전원을 꺼서 에너지를 절약하려는 여러 가지 방법들이 제안되었다.



<그림 2> 센서 네트워크의 통신 구조

SELECT	{ attributes, aggregates }
FROM	{ Sensordata S }
WHERE	{ predicate j }
GROUP BY	{ attributes 9 }
HAVING	{ predicate }
DURATION	time interval
EVERY	time span e

<그림 3> 센서 네트워크에서 사용되는 질의어의 형태

2.3. 데이터 수집 방법

그림 2는 무선 센서 네트워크의 통신 구조를 간단하게 나타낸다. 무선 센서 네트워크는 사용자가 요구하는 데이터를 센서 노드들이 수집하여 싱크

노드로 전송하고, 싱크노드는 수집된 데이터를 사용자에게 전달하는 구조를 가지고 있다.

데이터를 수집하기 위해 사용자는 질의문을 통해 원하는 데이터의 종류와 수집 방법을 요청한다[12]. 이 질의문은 네트워크를 통해 모든 노드에게 전달되고, 각 노드는 질의문을 분석하여 데이터를 관찰하고 전송할 지 결정한다. 결정된 정보를 바탕으로 주기적으로 수행하며 이 때 관찰한 데이터를 싱크노드로 전달하고, 싱크노드는 각 노드로부터 전달되는 데이터를 집성하여 사용자에게 제공한다. 사용자는 선언적인 질의어를 사용함으로써 사전 지식 없이 결과를 얻는 것이 가능하다. 데이터 처리에 대한 역할을 시스템에 전가시킴으로써 제한된 자원을 갖는 노드들에게 최적화된 형태로 데이터를 처리하는 것이 가능하다. 그림 3은 질의어의 형태를 나타낸다.

무선 센서 네트워크는 일종의 분산 데이터베이스 시스템으로 간주될 수 있으며 데이터의 수집 과정을 요청(request)과 응답(reply)으로 보고, 이를 질의어(query language)를 사용하여 처리하는 방식이 주로 사용되고 있다[6]. 각 노드들은 측정한 데이터를 레코드(record)로 처리하게 된다. 필드는 그 레코드를 생성한 노드의 번호와 관찰한 시간을 포함한다. 이러한 같은 형태의 레코드들이 통합되어 분산된 형태의 테이블(table)로 인식한다. 결과적으로 센서 네트워크의 데이터는 일종의 분산 데이터베이스 시스템으로 생각될 수 있다.

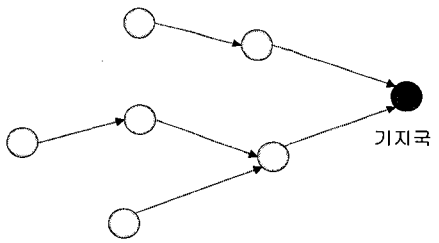
3. 센서 노드의 에너지 상태를 고려한 라우팅 프로토콜

3.1. 센서노드의 에너지 상태에 따른 경로 설정

무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 기본적으로 트리 기반 라우팅 프로토콜을 사용한다. 그림 4와 같은 간단한 형태의 트리 기반 라우팅 프로토콜을 사용함으로써 Ad-Hoc망과 같은 멀티 홉(multi-hop) 통신을 지원하고 라우팅 프로토콜이 차지하는 부하를 줄여 한정된 자원을 가진 센서 노드에 쉽게 적용될 수 있다. 이 라우팅 프로토콜은 One-to-Many 통신에 적합하다. 또한 한 번의 라우팅 경로 설정 단계를 통해 모든 소스 노드에서 싱크노드까지 통신 경로를 설정함으로써 부가적인 라우팅 설정 단계를 수행할 필요가 없다. 이는 경로를 설정하는데 부수적인 통신 부하를 줄일 수 있는 장점이 있다.

그림 5의 트리 기반 라우팅 프로토콜에서 경로 설정 단계를 설명하면, 첫째, 싱크노드가 되는 센서노드가 이웃한 모든 소스노드들에게 경로 설정 메시지를 브로드캐스트 한다. 둘째, 이를 수신한 노드들은 자신의 부모 노드를 싱크노드로 설정한다. 이 때 싱크노드로부터 경로 설정 메시지를 수신한 소스노드들은 싱크노드와 한 홉(hop)거리에 있다. 셋째, 한 홉 거리에 있는 노드들은 자신의 부모 노드를 싱크노드로 설정한 후, 자신의 노드 번호를 경로 설정 메시지에 포함하여 주변 노드들에게 다시 전달한다. 이 경로 설정 메시지를 수신한 노드는 자신의 라우팅 경로상의 부모 노드를 경로 설정 메시지를 보낸 노드로 설정함으로써 라우팅 경로에 자신을 포함시킬 수 있다.

이러한 방식으로 라우팅 경로 설정 메시지를 전달하며 적절한 부모 노드를 선택함으로써 싱크노드와 2홉 이상의 거리에 있는 노드들도 전체 라우팅 경로에 참여할 수 있게 된다.



<그림 4> 트리 기반 라우팅 경로 설정

```
procedure receivePacket( Packet p )
        if ( p.type = ROUTING_SETUP_MESSAGE )
            if ( current_parent = null )
                        current_parent := p.sender
                        broadcast p
            else discard p
            end if
        else if ( p.type = DATA_MESSAGE )
            forward p to current_parent
        end if
end procedure
```

<그림 5> 트리 기반 라우팅 프로토콜 동작 알고리즘

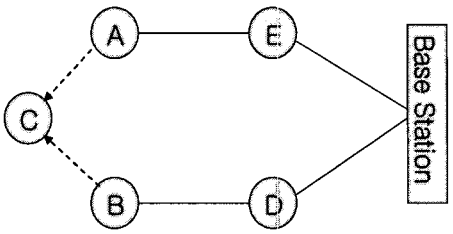
트리 기반 라우팅 프로토콜은 한 번의 경로 설정 과정을 통해 모든 소스노드부터 싱크 노드까지

경로를 설정할 수 있다. 라우팅 경로 설정 단계를 거친 각 노드들은 자신의 부모 노드를 알게 되고 싱크노드까지 데이터를 전달하기 위해서는 자신의 부모 노드에게 이 데이터를 전송하게 된다. 또한 자식 노드로부터 받은 데이터는 자신의 부모 노드에게 전송함으로써 최종적으로 싱크노드까지 모든 노드의 데이터가 전송된다.

그림 5는 트리 기반 라우팅 프로토콜에서 각 노드들의 동작 알고리즘을 나타낸 것이다. receivePakcet 함수는 노드가 데이터를 전송 받았을 때 호출되게 된다. Ad-Hoc 네트워크의 노드들은 주변 노드들의 연결성을 보장하기 위해 라우팅 경로에 참여하게 된다. 예를 들어 어떤 노드가 중간 노드라면 연결성을 지원하기 위해 라우팅 경로에 참여하게 되며, 이 참여도에 따라 센서노드의 에너지 소모율과 직결된다. 이러한 특징은 센서 네트워크에도 나타난다. 특정 노드에 통신 부하가 집중된다면 그 노드의 수명은 매우 짧아진다. 이런 경우 중간 노드가 멈추게 되면 이 노드를 라우팅 경로로 사용하던 노드들의 연결성을 보장할 수 없다.

이러한 문제점을 보완하기 위해서 라우팅 경로를 설정하는 단계에서 각 노드들의 에너지 상태를 고려해서 경로를 설정하는 기법을 제안한다. 각 노드들의 에너지 상태 정보를 활용한다면 라우팅 경로 설정 과정에서 통신 부하를 분산시켜 주는 일이 가능하다[16].

트리 기반 라우팅 프로토콜에서 라우팅 경로 설정은 경로 설정 메시지를 전달해 가면서 자신의 부모 노드를 선택한다. 그림 6에서 노드 C는 노드 A로부터 경로 설정 메시지를 받게 되고 노드 A를 부모 노드로 설정한다. 하지만 노드 C가 노드 B로부터 경로 설정 메시지를 받는다면 노드 C는 노드 A 또는 B를 통해 데이터를 전달하는 두 가지 경우를 갖는다. 에너지를 고려하지 않는 트리 기반 라우팅 프로토콜의 경우 먼저 설정된 부모 노드가 있을 경우 이후에 도착하는 경로 설정 메시지를 무시한다. 만약 가능한 경로 중 에너지 측면에서 가장 효율적인 경로를 선택한다면 이를 이용하는 것이 에너지 효율적이다. 결국 노드 C는 노드 A를 부모 노드로 설정한 상황에서 노드 B로부터 새로운 경로설정 메시지를 받았을 경우, 두 경로 중 에너지 효율적인 경로를 부모 노드를 갱신하는 작업을 하게 된다.



<그림 6> 두 개의 부모 노드를 가지는 상황

3.2. 에너지 상태를 고려한 경로 선택 기준

센서 노드에서 싱크노드까지 가능한 경로 중 가장 에너지 측면에서 효율적인 경로를 선택하는 과정을 거치게 된다. 이 경우 어떤 경로가 가장 에너지 측면에서 효율적이라고 할 수 있는지를 판단할 수 있는 기준이 필요하다. 이를 판단하기 위한 기준은 다음과 같다.

3.2.1 최소 홉 수

우선 가장 간단하고 직관적인 기준은 센서 노드에서 싱크 노드까지 데이터를 전송하는데 필요한 전체 에너지가 최소인 경로를 설정하는 것이다. 센서 노드가 싱크 노드까지 데이터를 전송할 때 여러 단계의 중간 노드를 거치게 되고, 각 중간 노드는 센서 노드가 보내온 데이터를 전송할 때 통신으로 인한 에너지를 소모하게 된다.

$$e_j = \sum_{i=1}^{k-1} T(n_i, n_{i+1}) \qquad (1)$$

수식 (1)에서 $T(a, b)$는 A 노드가 B 노드에게 데이터를 보낼 때 소모되는 에너지라고 정의한다. 노드 n_1부터 노드 n_k까지 $n_1, n_2, \cdots, n_k$의 경로를 통해 데이터를 전달할 경우 e_j는 소모되는 에너지의 총합이 된다. 데이터의 송수신 에너지가 동일하다고 가정한다면 $T(a, b) = k$인 일정한 상수로 볼 수 있고, e_j는 홉 수의 총합에 비례한다. 즉, 센서 노드부터 싱크 노드까지 데이터를 전송할 때 소모되는 에너지는 경로의 전체 홉 수에

비례한다. 결과적으로, 각 경로를 비교하여 전체 홉 수가 작은 경로를 선택함으로써 데이터를 전송하는데 필요한 전체 에너지가 작게 드는 경로를 이용할 수 있다[1]. 그림 7은 최소 홉 수를 라우팅 경로를 결정하는 알고리즘이다.

```
Procedure receivePacket(Packet p)
        if ( p.type = ROUTING_SETUP_MESSAGE )
            if ( current_hop_count > p.hop_count or current_parent = null
                                )
                        current_parent := p.sender
                        current_hop_count := p.hop_count
                        p.hop_count := p.hop_count + 1
                        broadcast p
            else discard p
        end if
        else if ( p.type = DATA_MESSAGE )
            forward p to current_parent
        end if
end procedure
```

<그림 7> 최소 홉 수 측정 알고리즘

3.2.2 부모노드의 에너지 상태 비교

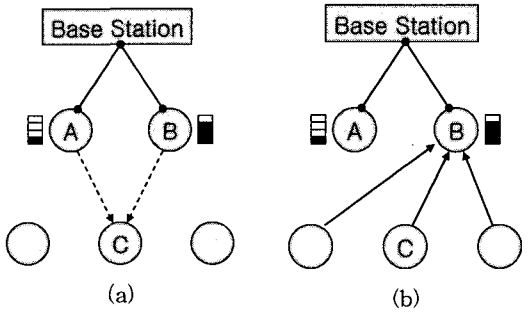
각 노드의 현재 에너지 상태를 고려해 경로를 선택함으로써 에너지가 적은 노드보다 에너지가 많은 노드의 사용량을 상대적으로 증가시켜 특정 노드가 빨리 멈추는 문제를 보완할 수 있다.

그림 8에서 노드 C는 노드 A와 노드 B로부터 경로 설정 메시지를 받고 노드 A와 노드 B의 에너지 상태를 비교하여 부모 노드를 선택한다. 이 방식을 사용하면 상대적으로 적은 에너지를 갖는 노드가 부모 노드로 선택되는 것을 방지할 수 있다. 그림 9에서 부모 노드의 에너지 상태에 따라 자식 노드가 경로를 결정하는 알고리즘이다.

3.2.3 min-max 알고리즘 적용

부모 노드의 에너지 상태만을 비교하여 경로를 선택할 경우에는 그림 10과 같은 상황에서는 경로 유지 시간이 짧아지는 문제점이 발생할 수 있다. 이 경우 노드 C는 에너지가 많은 노드 B를 선택하여 노드 A가 일찍 멈추는 것을 방지할 수 있지만, 중간 노드인 노드 D가 에너지를 작게 가지고 있기 때문에 전체 경로 유지 시간은 오히려 노드 A를 통하여 경로를 설정하는 것보다 짧아지게 되는 문제점이 있다.

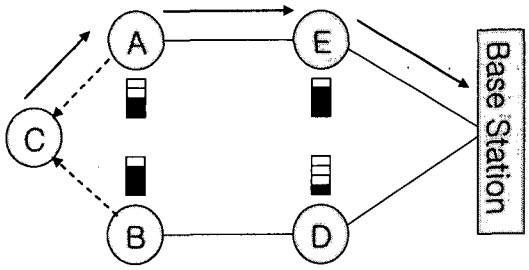
이를 해결하기 위해 min-max 알고리즘을 적용한다. min-max 알고리즘을 사용하면 중간 노드들의 에너지 상태를 모두 고려하여 경로 유지 시간이 가장 긴 경로를 선택하게 된다. 그림 10에서 노드 C는 노드 A와 노드 B의 에너지 상태만을 비교하는 것이 아니라 노드 A를 통해 싱크노드까지 가는 중간 노드 중에서 가장 에너지 상태가 낮은 노드를 비교하여 에너지 상태가 보다 높은 경로를 부모 노드로 선택하게 된다. 그림 11은 min-max 알고리즘을 이용하여 실제 부모 노드를 결정함으로써 라우팅 경로를 만들어가는 과정을 나타내며, 그림 12는 min-max 알고리즘이다.



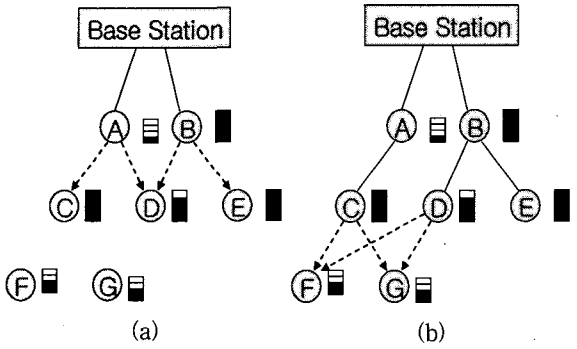
<그림 8> 에너지 상태에 따른 부모 노드의 선택

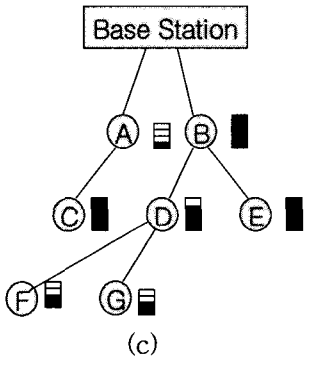
```
Procedure receivePacket(Packet p)
        if ( p.type = ROUTING_SETUP_MESSAGE )
        if ( current_parent_energy < p.energy or current_parent = null
)
            current_parent := p.sender
            current_parent_energy := p.energy
            p.energy := get_current_energy( )
            broadcast p
        else discard p
        end if
        else if ( p.type = DATA_MESSAGE )
            forward p to current_parent
        end if
end procedure
```

<그림 9> 부모 노드의 에너지 상태를 측정기준으로 하는 알고리즘



<그림 10> min-max 알고리즘을 이용한 경로설정





<그림 11> min-max 알고리즘을 이용한 경로 설정 과정

```
Procedure receivePacket(Packet p)
    if ( p.type = ROUTING_SETUP_MESSAGE )
      if ( current_path_energy < p.energy or current_parent = null )
        current_parent := p.sender
        current_path_energy := p.energy
        if ( get_current_energy( ) < p.energy )
           p.energy := get_current_energy( )
        end if
        broadcast p
    else discard p
    end if
    else if ( p.type = DATA_MESSAGE )
        forward p to current_parent
    end if
end procedure
```

<그림 12> min-max 알고리즘

3.3. 상대 위치 정보를 이용한 전력관리기법

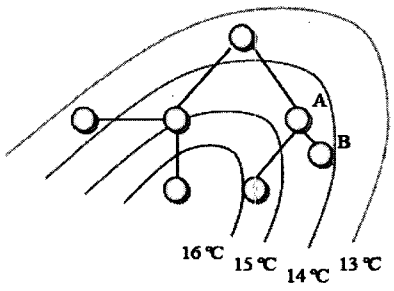
3.3.1. 상대거리 정보 이용 방법

센서 네트워크의 각 센서 노드들은 일정 지역을 관찰하고 수집한 데이터를 싱크 노드로 전달하는 역할을 하게 된다. 센서 네트워크를 이용하는 사용자는 각각의 센서 노드들이 보내는 데이터보다 일정지역의 집성된 데이터에 관심을 갖는 경우가 대부분이다.

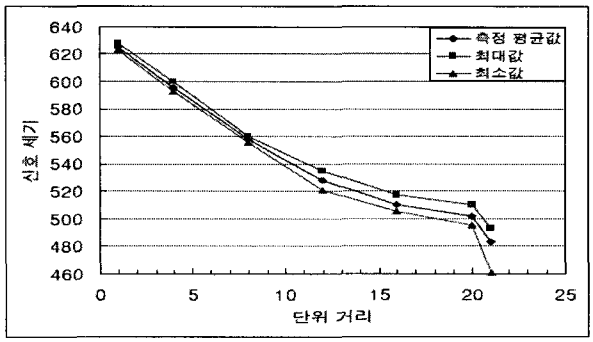
그림 13에서 센서노드가 일정 지역의 온도 분포를 관찰하여 싱크노드로 전송하는 역할을 한다고 가정할 때, 인접한 노드 A와 노드 B는 유사한 정보를 관찰하기 때문에, 이 때 둘 중 어느 하나의 정보만 이용해도 정보의 손실 없이 일정 지역의 온도 분포를 알아낼 수 있다.

센서 노드의 위치 정보를 이용하여 상대적으로 중요도가 낮은 노드들을 센서 네트워크에서 제외함으로써 그 노드들의 전원을 끌 수 있고 이를 통해 전체 센서 네트워크의 에너지 소모율을 줄일 수 있다.

여기서 두 노드 간의 절대위치를 측정할 필요는 없고, 단지 센서 노드 사이의 상대적인 거리만으로도 위치의 유사성을 판단할 수 있다. 상대적인 거리를 측정하는 방법은 여러 가지가 제안되었지만, 각 노드가 데이터를 송수신할 때 통신 신호의 세기가 거리와 비례(RSSI ; Received Signal Strength Indication)하는 성질을 이용한다. 그림 14는 거리에 따라 측정된 신호의 세기를 나타내고 [14], 이 방식은 각 센서 노드의 상대 거리를 실시간으로 측정할 수 있다.



<그림 13> 온도 분포를 관찰하는 무선 센서 네트워크



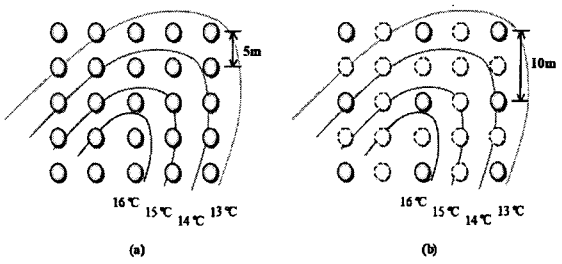
<그림 14> 거리에 따른 신호의 세기

3.3.2 센서 노드 간 상대거리를 이용한 전력 관리

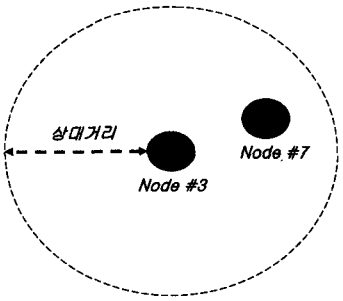
사용자가 원하는 상대거리 정보를 각 노드에게 제공한다. 상대 위치정보를 이용한 전력 관리는 사용자가 제공한 상대거리보다 가까운 거리에 있는 센서 노드가 보낸 데이터는 중요도가 낮다고 판단하고 버리는 방법이다. 사용자가 제공한 상대거리에 만족하지 못하는 센서 노드는 휴지 상태(idle state)로 갈 수 있다. 그림 15는 사용자가 제공한 상대거리 정보보다 가까운 거리에 있는 센서노드들이 휴지상태로 전환되는 상태를 보여준다.

센서 노드가 휴지 상태로 가기 위해서는, 먼저 사용자가 제공한 상대 거리보다 더 가까운 인접 센서 노드가 존재해야 한다. 둘째, 자식 노드가 존재하지 않아 한다. 두 가지 조건을 만족하는 센서 노드만이 휴지 상태로 전환이 가능하다. 두 번째 조건은 2장에서 각 노드들은 자신의 부모 노드만을 알고 있고 자식 노드에 대한 정보는 가지고 있지 않기 때문에, 자식 노드의 유무를 알기 위해 라우팅 프로토콜에 자식 노드의 정보를 추가할 필요가 있다. 이를 위해서 경로 설정 단계에서 부모 노드에게 자식노드의 유무를 알려 주어야 한다. 이를 통해 각 센서 노드들은 부모 노드와 자식 노드에 대한 정보를 모두 유지할 수 있게 된다.

첫째 조건을 검사하려면 이웃한 센서노드와의 상대 거리를 알아내야 한다. 이는 송수신 신호의 세기를 측정함으로써 상대 거리를 확인할 수 있다. 그리고 경로 설정 단계에서 이 작업을 수행하면, 모든 이웃한 센서 노드들의 상대 거리를 유지할 수 있다. 추가적으로 그림 16과 같이 두 센서노드가 동시에 만족할 경우 센서 노드의 번호를 사용하여 센서 노드를 휴지상태로 전환시킬 수 있다.



<그림 15> 위치정보를 이용한 센서 노드의 배제



<그림 16> 상대거리 제약조건 검사

3.3.3 전력 관리 기법 평가 기준

거리 정보를 이용한 전력 관리를 통해 센서 노드의 일부를 휴지 상태로 전환할 경우 사용자의 제약조건을 만족시키는 기준이 필요하다. 사용자가 제공한 상대거리를 만족시키는 정도를 측정하는 방법은 수식 (2)와 같다.

$$D = \sum_{\forall n \in N} Dist(n, MinDist(n)) - C^2 \qquad (2)$$

$D(a, b)$는 노드 A와 노드 B 사이의 거리를 나타내고, $MinDist(a)$는 노드 A와 가장 인접한 거리에 있는 노드를 의미한다. C는 사용자가 제공한 상대거리이다. D의 값은 작은 값일수록 사용자가 제공한 상대거리를 더 잘 만족시킨다.

수식 (2)의 D값의 최적해는 계산하여 비교했을 때 최소가 되는 값이다. 다시 말하면, 총 t개의 노드가 있는 센서 네트워크 N에서 s개의 선택하여 만든 노드의 집합을 P_i라고 할 때, 모든 선택 i에 대하여 $P_i \subset N$이고, $P = \{P_1, P_2, \cdots, P_n\}$이라고 할 때, $n = \frac{t!}{(t-s)! \cdot s!}$이고, 어떤 $P_i \in P$에 대한 수

식 (2)의 D값을 D_i라 하면 최적해 D^*는 수식 (3)과 같이 계산 된다.

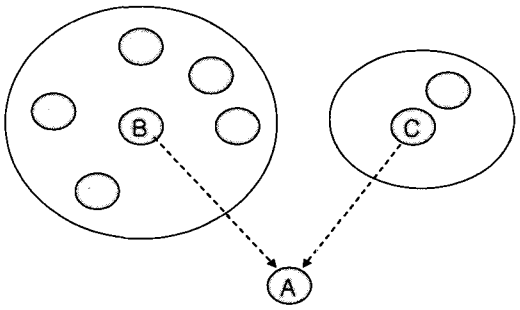
$$D^* = \min(D_i) \quad \text{for } \forall i \qquad (3)$$

어떤 전력 관리 기법 k에서 총 s개의 노드가 선택되었을 때, s개의 노드를 선택하는 문제에 대한 최적해 D^*을 구하고, 실제 이 기법에 의해 선택된 노드들로 D_k를 계산하였을 때, 이 값을 D^*와 비교하여 최적해에 얼마나 근접하는지를 알아볼 수 있다.

4. 수집된 데이터를 이용한 경로 재설정

위치 정보를 이용한 전력 관리 기법에서는 센서 노드의 주변에 사용자가 제공한 상대거리보다 가까운 곳에 있는 센서 노드가 있을 경우 자신을 휴지 상태로 만들 조건을 갖게 된다. 하지만 만약 자신이 다른 노드들의 라우팅에 참여하는 중간 노드가 되면 어쩔 수 없이 휴지 상태로 가지 못하는 상황이 발생한다. 그러므로 경로를 설정하는 단계에서 이러한 상황이 발생하는 것을 어느 정도 막아주는 작업을 해 준다면 위치 정보를 이용한 전력 관리 기법을 더 효과적으로 적용할 수 있게 될 것이다.

그림 17에서 노드 A는 노드 B와 노드 C로부터 라우팅 경로 설정 메시지를 받는 상황을 보여준다. 이 때 3장에서 제안한 기준을 이용하여 부모 노드를 선택하게 되는데, 여기서 전력 관리를 효과적으로 적용하기 위한 측정기준을 추가적으로 적용한다. 노드 B가 유지하고 있는 이웃 노드들과의 거리표에서 사용자가 제공한 거리보다 가까운 센서 노드들의 개수를 경로 설정 메시지에 포함하여 노드 A에게 전송한다면, 노드 A는 노드 B와 노드 C 중 어떤 노드가 인접한 센서 노드를 많이 가지고 있는지를 판단 할 수 있다. 만약 노드 B가 사용자가 제시한 거리보다 가까운 이웃노드를 많이 가지고 있다면, 노드 B가 사용자가 요구한 제약 조건을 고려했을 때 위치적인 중복성이 더 크다. 이 때 노드 B를 부모 노드로 선택하는 것은 이후 위치 정보를 이용한 전력 관리 기법을 적용할 때 노드 B가 일찍 죽게 되므로 노드 C를 부모 노드로 선택하는 것이 이후의 전력 관리 기법을 적용하는데 도움이 된다.



<그림 17> 위치 정보를 이용한 부모 노드의 선택

지금까지 설명한 센서 네트워크에서 데이터 수집 방법은 사용자가 센서 네트워크에서 수집되는 데이터의 특성을 파악하고 이를 제약 조건으로 제공하는 것을 가정하고 있다. 하지만, 센서 네트워크에서 수집되는 데이터의 특성에 대한 정보가 없다면 이러한 제약 조건을 알맞게 설정하는 일은 어려울 것이다. 만약 센서 네트워크에서 수집된 데이터를 분석하여 센서 네트워크의 경로를 재설정할 수 있다면, 사용자의 제약 조건이 정확하지 않더라도 이를 자동적으로 수정해 나갈 수 있다.

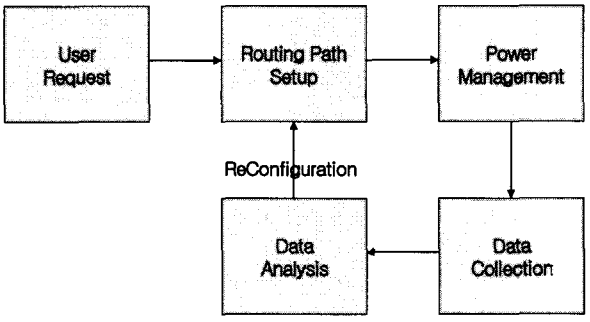
수집된 정보를 바탕으로 자동적으로 센서 네트워크를 재설정하는 방법에 대해서 설명한다. 질의어를 기반으로 하는 센서 네트워크에서는 기본적으로 관찰 주기를 사용자에게 입력 받게 된다. 각 센서 노드들은 관찰 주기마다 한 번씩 데이터를 수집하여 싱크노드로 데이터를 보낸다. 관찰 주기는 센서 네트워크에 제공되는 시간적인 제약 조건이라고 할 수 있다. 즉, 관찰 주기가 10초로 설정된 센서 네트워크의 경우, 10초미만일 경우 데이터의 변화량이 거의 없다고 가정하는 것이다. 그러므로 시간에 따른 변화가 많은 데이터라면 관찰 주기를 빠르게 설정하고 정보를 세밀하게 관찰해야 한다. 시간에 따른 변화가 적은 환경이라면, 너무 빠른 관찰 주기는 비효율적이므로 이를 늦춰주는 것이 에너지 효율적으로 데이터를 수집하는 방법이다.

예를 들어, 온도를 관찰하는 센서 네트워크에서 어떤 센서 노드가 전송하는 온도 데이터가 계속 동일한 값이라면, 실제 데이터의 변화량보다 관찰 주기가 너무 짧게 설정된 것이라고 볼 수 있다. 이

는 관찰 주기를 좀 더 느리게 설정하여 센서 네트워크의 부하를 줄여 에너지 효율적으로 동작할 수 있다. 반대로 어떤 노드가 보내오는 온도 데이터가 관찰주기 사이의 변화폭이 크다면, 이는 관찰주기를 빠르게 설정함으로써 세밀하게 관찰할 수 있다.

데이터의 시간적인 중복성과 마찬가지로, 데이터의 위치적인 중복성도 수집된 데이터를 분석하여 재설정 할 수 있다. 위치적인 중복성은 전력 관리 기법에서 사용자에게 제약 조건을 입력 받아 해당 센서 노드를 휴지 상태로 전환시키지만, 수집된 데이터에서 각 센서 노드들이 보내온 데이터가 중복된 것이 많다면, 위치적 중복성에 대한 제약 조건을 강화시킴으로써 좀 더 많은 센서 노드들을 휴지 상태로 전환시킬 수 있으면 이를 적용하는 것이 전체 센서 네트워크에서 에너지 효율적이다.

그림 18은 수집된 데이터 분석을 통한 경로 재설정 과정을 나타낸다. 최초 사용자는 원하는 데이터와 초기 조건을 센서 네트워크에 제공하고, 라우팅 경로 설정 과정과 위치정보를 이용한 전력 관리를 통해 센서 네트워크가 구성 된다. 일정 시간의 데이터 수집이 이루어 진 후, 수집된 데이터를 바탕으로 초기에 지정한 관찰 주기나 위치 중복성에 대한 제약 조건이 적절하게 설정되었는지 분석한다. 이 분석을 통해 새로운 관찰 주기와 위치 중복성에 대한 제약 조건을 계산하여, 차후 경로 재설정 과정에 이를 적용해 센서 네트워크의 경로를 재설정 한다.



<그림 18> 수집된 데이터 분석을 통한 경로 재설정 과정

5. 성능분석

5.1. 성능분석 환경

노드의 에너지 상태를 고려하고 상대 위치 정보를 이용한 전력 관리 기법의 성능을 평가하기 위해 각각의 조건을 성능분석 하였다. 시뮬레이터 평가 모델로 사용된 센서 보드는 Telos 계열의 보드이다[15]. 우선 MAC 계층을 CSMA/CA로 구현하고 그 상위 계층에 에너지를 고려한 라우팅 프로토콜을 구현하였다. 시뮬레이터에 구현된 각 노드는 Telos 계열 보드의 에너지 모델을 사용하였다. 시뮬레이션 환경은 표 3과 같이 설정하였다.

<표 3> 성능분석 환경

망의 크기	200m × 200m
전체 노드의 개수	100 개(1개 싱크노드, 99개 센서 노드)
Traffic	CBR(Constant Bit Rate) 초당 10Kb
Packet size	512byte
통신가능 거리	60m
노드의 초기 위치	random
노드의 초기 에너지 상태	random
노드의 에너지 모델	Telos 에너지 모델
센서 노드의 관찰 주기	1초

5.2. 성능분석 결과

5.2.1 센서노드의 에너지 상태를 고려한 라우팅 프로토콜

에너지 상태를 고려한 라우팅 프로토콜을 평가하기 위해 시뮬레이션한 후 각 센서 노드들의 동작을 기본적인 트리 기반 라우팅 프로토콜과 비교하였다. 트리 기반 라우팅 프로토콜에는 부모 노드를 선택할 때 최소 홉 측정기준만 사용하였고, 에너지 상태를 고려한 라우팅 프로토콜에서는 트리 기반 라우팅 프로토콜에 min-max 알고리즘을 적용하였다.

센서 네트워크의 에너지 효율성을 평가하기 위한 수치로 센서 노드가 가용하면서 싱크노드까지 데이터를 전송할 수 있는 경로가 있을 때까지의 시간인 서비스 시간(service time)을 사용한다. 시뮬레이션은 센서 노드의 초기 위치와 에너지를 임의로 바꾸면서 반복 실험하였다.

그림 20은 센서노드들의 평균 서비스 시간을 나타낸다. 그래프에서 min-max 알고리즘을 적용할 경우 평균적으로 16% 향상된 서비스 시간을 제공

하고, 경로를 선택하는데 있어 min-max 알고리즘을 적용함으로써 경로 유지 시간이 증가하고 서비스 시간이 연장됨을 확인할 수 있다. 그림 21은 몇 번의 관찰 주기가 지난 후 노드의 에너지 상태의 분산값이다. min-max 알고리즘을 적용한 라우팅 알고리즘의 경우 에너지 상태에 따라 통신 부하를 할당해 줌으로써 시간이 지날수록 전체 노드의 에너지 상태가 비슷해지는 경향을 확인할 수 있다.

그림 22는 관찰주기 마다 싱크노드에 도착하는 데이터 수를 측정한 그래프이다. 두 방식 모두 약 60번째 관찰 주기까지는 센서노드가 송신한 데이터의 대부분을 싱크노드가 수신한다. 이후부터 트리 기반 라우팅 프로토콜의 경우 약 절반의 데이터만 수신하는 이유는 통신량이 많은 중간 노드가 에너지를 모두 소모하고 경로가 단절되어 데이터를 전송하지 못함을 의미한다. 그러나 min-max 알고리즘을 이용하여 통신 부하를 각 센서노드에 분산시킴으로써 보다 높은 경로 유지 시간을 보임을 확인할 수 있다.

5.2.2 상대 위치 정보를 이용한 전력관리 기법 평가

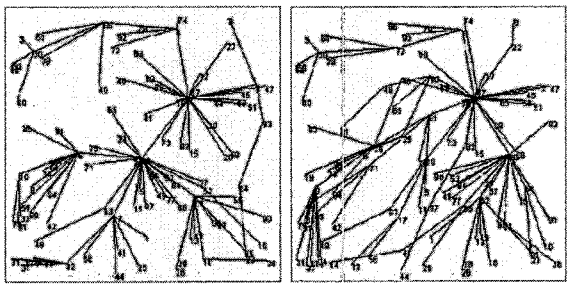
사용자가 원하는 상대 위치 정보를 센서 노드에 제공하고, 이를 만족하는 센서 노드들을 휴지 상태로 전환했을 때 센서 네트워크의 상태를 보고 제공한 조건을 얼마나 만족 시키는지 평가한다.

그림 23은 사용자가 제공한 정보를 바탕으로 전력 관리 수행 후 각 노드들의 에너지 상태를 나타낸다. 표 4는 전력 관리 수행 후 센서 네트워크의 변화를 보여준다. 그림에서 약 75%의 센서노드만 동작하고 나머지 센서노드는 휴지상태에 있어 전체 센서 네트워크의 에너지를 절약할 수 있다. 여기서 D는 수식 (2)에 의해서 계산된 값으로, 상대 거리정보를 바탕으로 전력 관리 기법을 적용한 후에 사용자의 조건을 더 잘 만족시키는 것을 보여준다.

사용자가 제공한 정보를 바탕으로 전력 관리를 수행함으로써 적용범위에는 약간 손실이 발생한다. 휴지 상태로 전환되는 센서노드가 네트워크의 가장자리에 위치한다면 적용범위의 손실을 가져오지만, 손실되는 적용범위는 약 2% 정도이므로 전체 네트워크에는 큰 영향을 미치지 않는다. 그림 24-27은 초기 조건이 다른 상황에서의 결과를 나타낸다.

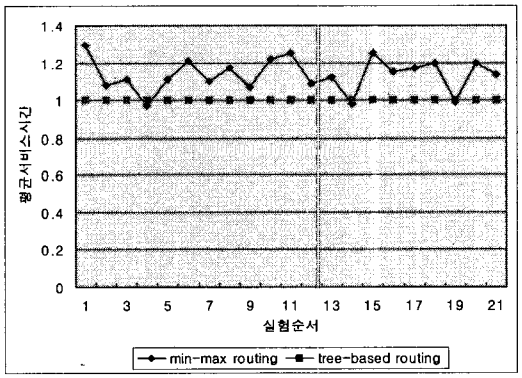
<표 4> 전력 관리 적용 후 센서 네트워크의 상태

	전	후
관찰 노드의 수	99	75
D 값	11,174	3,651
적용 범위	38,688	37,542

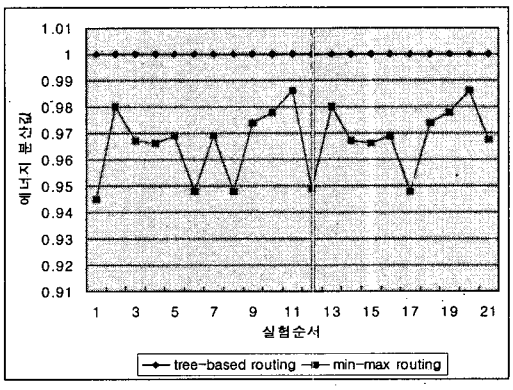


(a) 기본적인 트리기반 라우팅 결과 (b) min-max 알고리즘을 적용한 라우팅 결과

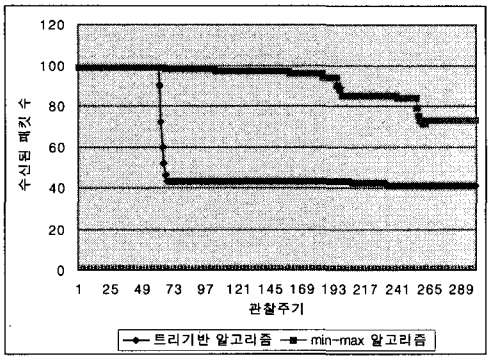
<그림 19> 노드의 에너지 상태를 고려한 경로 설정



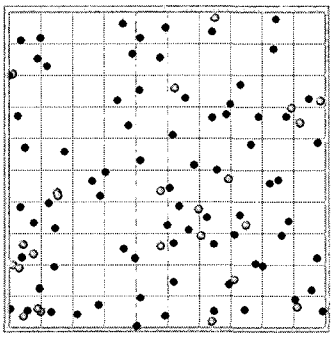
<그림 20> 평균 서비스 시간



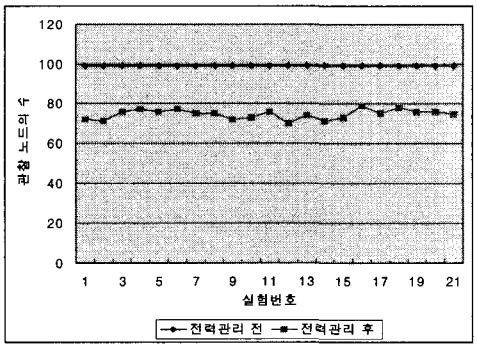
<그림 21> 센서 노드의 에너지 상태의 분산값



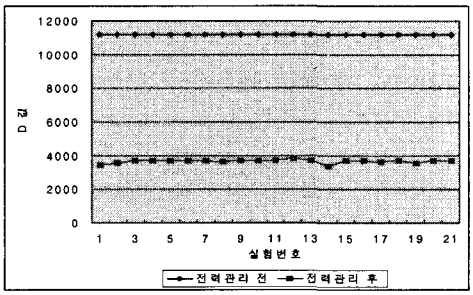
<그림 22> 관찰 주기에 따라 수집된 데이터 수



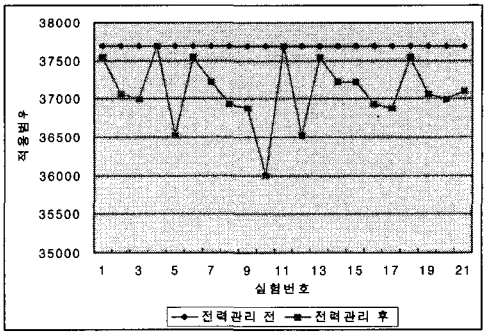
검정색원 : 동작 / 회색원 : 휴지상태
적용범위 : 200*200
<그림 23> 전력관리 적용 후 센서 노드의 상태



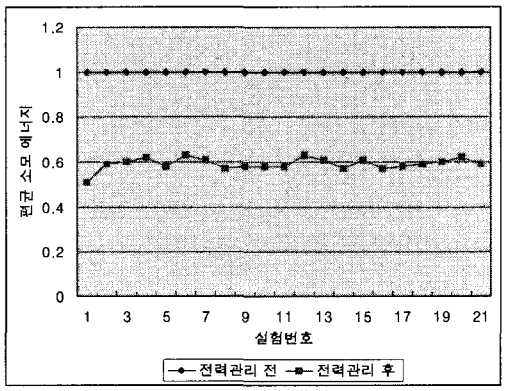
<그림 24> 전력관리 적용 후 관찰 노드 수의 변화



<그림 25> 전력관리 적용 후 D 값의 변화



<그림 26> 전력관리 적용 후 적용범위의 변화



<그림 27> 전력관리 적용 후 평균에너지 소모량 변화

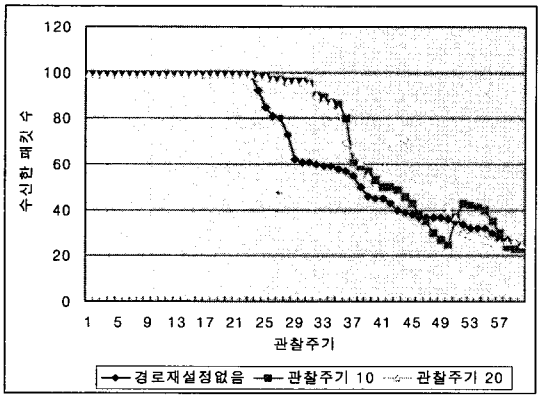
5.2.3 경로 재설정 평가

한번 설정된 경로를 지속적으로 사용할 경우 자식 노드가 많이 할당된 중간 노드의 경우 그렇지 않는 경우보다 에너지를 빨리 소모하게 된다. 이러한 상황을 방지하기 위해 주기적인 경로 재설정이 필요하다. 하나의 노드가 통신 부하 많이 걸린다면, 차후 경로 재설정을 할 때 중간경로에서 제외시킬 수 있다. 경로 재설정 과정 역시 에너지를 고려하여 수행하므로 에너지가 적은 노드는 자동적으로 중간 노드에서 제외된다.

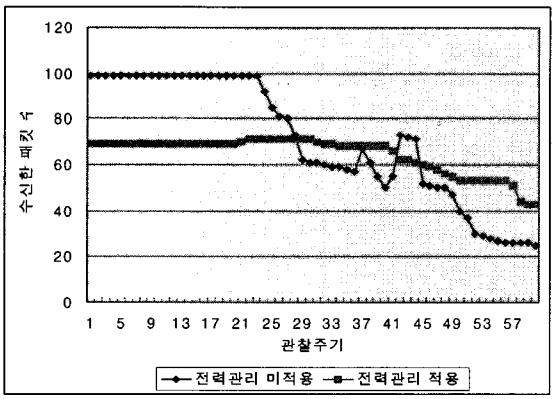
그림 28은 경로 재설정 과정을 수행하는 것이 센서 네트워크의 동작에 어떤 영향을 미치는지를 나타낸 그래프이다. 경로 재설정을 해준 경우, 싱크노드에서 수신한 패킷 수가 경로 재설정이 없는 경우 보다 그래프의 기울기가 완만함을 확인할 수 있다. 기울기가 완만함은 전체 센서 네트워크의 서비스 시간이 연장됨을 알 수 있다.

그림 29는 관찰 주기가 20번째 마다 경로 재설정과 위치정보를 기반한 전력 관리 기법을 적용했

을 때의 센서 네트워크의 동작을 나타낸다. 사용자의 상대위치정보 조건을 고려하여 전력 관리를 수행하므로 센서 네트워크에서는 약 70개의 데이터는 사용자에게 의미 있는 데이터가 된다. 전력 관리를 수행함으로써 절약된 에너지를 경로 재설정 과정을 통해 활용함으로써 싱크노드에서 받는 패킷의 수가 전력 관리를 사용하지 않았을 경우 보다 완만하게 감소함을 확인할 수 있다.



<그림 28> 경로 재설정에 따른 싱크노드에서 수신한 패킷의 수



<그림 29> 경로 재설정 / 사용자 위치정보 기반 전력관리 기법 적용 후 수신하는 패킷의 수

6. 결 론

무선 센서 네트워크는 매우 한정된 자원을 가지고 있다. Ad-hoc 네트워크에 사용되는 프로토콜은 무선 센서 네트워크가 가지고 있는 특성으로 인해 그대로 적용하기는 어려움이 따른다. 본 논문에서는 센서 네트워크에서 많이 사용되는 트리 기반 라우팅 프로토콜에 각 센서 노드의 에너지 상태를 고려한 측정기준을 적용하여 에너지 측면에서 효율적으로 동작하는 라우팅 프로토콜을 제안하였고, 이 프로토콜을 이용하면 트리기반 라우팅 프로토콜에 비해 2배 이상 경로 유지 시간이 연장됨을 실험을 통하여 알 수 있었다.

인접한 센서 노드가 관찰하는 데이터는 비슷하다는 위치적인 특징을 이용하여 중복된 데이터를 수집하는 인접 센서 노드를 휴지 상태로 전환함으로써 에너지 소모를 줄이는 기법을 제안하였다. 센서 노드는 사용자가 제공한 위치 정보를 기반으로 자율적으로 경로를 설정한다. 위치정보를 적용하지 않았을 경우보다 센서 네트워크의 평균 에너지가 약 30% 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 또한, 주기적인 경로 재설정을 통해 더욱 효율적으로 적용될 수 있음을 확인할 수 있다.

더 나아가, 센서 노드의 에너지 상태와 인접 센서노드의 위치정보 이용한 전력관리를 수행하는 라우팅 프로토콜은 다양한 종류의 센서노드로 넓은 지역에 적용했을 경우에 어떤 일정 지역에서 데이터는 수집하지만 싱크노드까지 전송할 수 없는 클러스터 홀(Cluster Hole)이 발생하여 특정 지역을 관찰할 수 없는 문제점이 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위한 라우팅 프로토콜과 토폴로지 컨트롤에 관한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. Singh, M. Woo, C. Raghavendra. (1993). Power-aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks. In Proc. of MOBICOM, 181-190

[2] Bahl, P., & Padmanabhan, V. (2000). RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System. In Proc. of INFOCOM, 775-784

[3] Toh, C-K. (2002). Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems, USA : Prentice Hall PTR

[4] Hill, J., Szewczyk, R., Woo, A., Hollar, S., Culler, D., Pister, K. (2000). System Architecture Directions for Networked Sensors. In Proc. of ASPLOS, 93-104

[5] Hill, J., & Culler, D. (2002). MICA: A

Wireless Platform for Deeply Embedded Networks. IEEE Micro Magazine, Volume 22, Issue 6, 12-24

[6] Yao, Y., & Gehrke, J. (2003). Query Processing for Sensor Networks. In Proc. of CIDR

[7] Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramanian, Y., Cayirci, E. (2002). A Survey on Sensor Networks. IEEE Communications Magazine, Volume 40, Issue 8, 102-114

[8] Wireless Integrated Network Sensors (WINS). http://www.janet.ucla.edu/WINS/wins_intro.htm.

[9] Xu, Y., Heidemann, J. Estrin, D. (2001). Geography-Informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing. In Proc. of Mobile Communication and Network, 70-84

[10] Cerpa, A., & Estrin, D. (2002). ASCENT: Adaptive Self-Configuring Sensor Networks Topologies. In Proc. of INFOCOM, 189-200

[11] Madden, S., Franklin, M., Hellerstein, J. (2002). TAG: a Tiny AGgregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks, ACM SIGOPS Operating Systems Review, Volume 36, Issue SI, 131-146

[12] Madden, S., Franklin, M., Hellerstein, J. (2003). The Design of an Acquisitional Query Processor for Sensor Networks. In Proc. of SIGMOD, 491-502

[13] Sankarasubramaniam, Y., Akan, O., Akyildiz, I. (2003). ESRT: Event-to-Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Networks. In Proc. of MOBIHOC, 177-188

[14] Whitehouse, K., RF Characterization over Distance. In Localizaton, Millennium.Berkeley. Edu Data Repository.

[15] http://www.moteiv.com/

[16] Smart Battery System Implementers Forum. http://www.sbs-forum.org/.

[17] Woo, A., & Culler, D. (2003). A Transmission Control Scheme for Media Access in Sensor Networks. In Proc. of MOBICOM, 221-235

[18] Wan, C., Campbell, A. Krishnamurthy, L. (2002). PSFQ: A Reliable Transport Protocol for Wireless Sensor Networks. In Proc. of WSNA, 1-11

[19] Johnson, D., & Maltz, D. (1996). Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks. Mobile Computing, Volume 353, Issue 5, 153-181

[20] Perkins, C., & Royer, E. (1999). Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing. In Proc. of MOBICOM, 90-100

[21] Toh, C-K. (2001). Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks. IEEE Communication Magazine, Volume 39, Issue 6, 2-11

[22] Singh, S., Woo, M., Raghavendra, C. (1998). Power-aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks. In Proc. of Mobile Communication and Network, 181-190

[23] DR3000 ASH Radio Module. http://www.rfm.com/products/data/dr3000.pdf/.

[24] Banerjee, S., & Misra, A. (2002). Minimum Energy Paths for Reliable Communication in Multi-Hop Wireless Networks. In Proc. of Mobile Communication and Network, 146-156

[25] Singh, S., & Raghavendra, C. (1998). PAMAS: Power Aware Multi-Access Protocol with Signaling for Ad Hoc Networks. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 28(3), 5-26

[26] Chen, B., Jamieson, K., Balakrishnan, H., Morris, R. (2001). SPAN: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Network. In Proc. of Mobile Communication and Network, 85-96

[27] Shih, E., Bahl, P., Sinclair, M. J. (2002). Wake On Wireless: An Event Driven Energy Saving Strategy for Battery Operated Devices. In Proc. of Mobile Communication and Network, 160-171

손 병 락 (Byung-Rak Son)

- 2000년 2월 대구대학교 정보통신공학부 졸업
- 2005년 2월 대구대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사)
- 2005년 3월 ~ 현재 대구대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정
- 관심분야 : 라우팅 프로토콜, 토폴로지 컨트롤, 컴퓨터 네트워크

김 중 규 (Jung-Gyu Kim)

- 1984년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1986년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1992년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1992년 3월~현재 대구대학교 정보통신공학부 교수
- 관심분야 : RFID/USN, 컴퓨터네트워크, 통신프로토콜