

USN 노드의 소비전력 절감을 위한 경로설정 기법

이 문 호*

A Routing Scheme for Reducing the Power Consumption of USN Nodes

Moonho Lee*

Abstract

The ubiquitous computing system is expected to be widely utilized in digital home, logistics control, environment/disaster management, medical/health-care services and other applications. The ubiquitous sensor network (USN) is a key infra-structure of this system. Nodes in the USN are exposed to adverse environments and required to perform their missions with very limited power supply only. Also the sensor network is composed of much more nodes. In case some node consumes up its power capacity under a certain required level, the network topology should change and re-routing/re-transmission of data is necessitated. Resultantly communication protocols studied for conventional wireless networks or ad-hoc networks are not suitable for the sensor network. Schemes should be devised to control the efficient usage of node power in the sensor network. This paper proposes a routing algorithm to enhance the efficiency of power consumption for USN node and analyzes its performance by simulation.

Keywords : Ubiquitous Sensor Network, Routing Algorithm, Power Consumption

1. 서론

'유비쿼터스 컴퓨팅'은 다양한 사물이나 기기에 초소형의 컴퓨터와 통신장치를 내장시킴으로써 사용자가 컴퓨터나 네트워크를 의식하지 않고 장소에 상관없이 정보처리와 커뮤니케이션이 가능하도록 해 주는 정보기술(IT) 환경 또는 패러다임을 의미한다. 센서 네트워크는 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅의 핵심 구성요소이며 센싱 기능, 연산 및 네트워크 기능을 가지는 초소형의 센서 노드들이 근접한 거리 혹은 실내 환경에서 ad hoc 망을 구성하여 환경 및 재난 관리, 에너지 관리, 의료 및 건강 서비스, 로봇 탐사 등의 다양한 분야에 응용될 수 있는 네트워크이다[Wei et al., 2002; Martin et al., 2003; Ian et al., 2002].

센서 네트워크는 무선 ad hoc 네트워크에 비해 훨씬 많은 수의 노드가 밀집된 망을 구성하며, 노드의 고장으로 인해 토폴로지가 변경될 가능성이 있다. 또한 센서 네트워크의 노드들은 전력을 추가적으로 공급받지 못하므로 매우 제한된 전력을 이용하여 주어진 임무를 수행하여야 한다. 이러한 특성으로 인해 기존의 무선 네트워크 및 무선 ad hoc 네트워크 환경을 위해 제안된 많은 프로토콜들은 센서 네트워크 환경에 적합하지 않다[Rahul et al., 2002; Eugene et al., 2001]. 특히, 일부 노드가 전력을 모두 소비하여 기능 수행이 어려운 경우에 네트워크 토폴로지의 변경을 초래하여 경로 재설정 및 재송신을 요구할 때는 추가적인 전력 소비가 불가피하므로 효율적인 전력 관리는 센서 네트워크에서 해결되어야 하는 가장 중요한 연구 분야 중의 하나이다.

본 논문에서는 센서 네트워크 노드의 전력 소비를 최소화함으로써 노드 생존 시간을 최대화하기 위한 네트워크 경로설정 알고리즘을 제안

하고 그 성능을 평가하였다.

2. 센서 네트워크

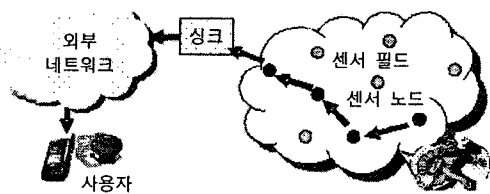
2.1 센서 네트워크 개념 및 특징

센서 네트워크는 유비쿼터스 네트워크의 기본이 되는 하위 망을 구성하는 네트워크 기술로서 센서 네트워크란 작은 크기, 저전력, 연산능력 및 네트워크 기능을 가진 센서 노드들이 ad hoc 망을 구축하여 환경 모니터링, 의료 시스템, 로봇 탐사 등과 같은 다양한 분야에 응용될 수 있는 네트워크 기술로써 다수의 노드들은 근접한 거리 또는 실내 환경에서 센싱 능력과 정보처리 능력, 그리고 무선 통신 능력을 가지며 각각의 센서 노드들은 multi hop 무선 네트워크를 구성하여 특정 상황에서 유용한 정보를 요구하는 sink 노드에게 정보를 제공한다[Wei et al., 2002; Martin et al., 2003; Ian et al., 2002].

센서 네트워크의 개발을 위해 센서 노드, 센서 OS 등의 하드웨어 및 소프트웨어 분야의 다양한 프로젝트가 진행 중이다. UC Berkeley의 'Smart Dust' 프로젝트는 1mm^3 내 극초소형의 자율센서 네트워크를 만들기 위하여 추진된 프로젝트로서 네트워킹, 소프트웨어, 시스템 디자인, 그리고 반도체 칩에 내장된 센서, 밸브, 기어, 반사경, 그리고 구동기와 같은 아주 미세한 기계장치와 컴퓨터를 결합한 MEM 기술의 연구가 수반되었다[이상학 외 3인, 2005]. 그 외에도 Crossbow사의 MICAx는 UC Berkeley의 센서 네트워크 운영체제인 Tiny OS와 Chipcon사의 CC2420, CC1000, TR1000을 가지고 설계된 Micro Mote를 기반으로 응용 서비스 모델의 개발과 함께 MICA 시리즈의 상용플랫폼을 제공하고 있다. TinyOs는 센서 네트워크를 위해 컴포넌트 기반의 프로그래밍 언어인 NesC의 동시 작

업 지원에 초점을 맞춘 것이다.

센서 네트워크의 기본적인 기능은 주변 상황을 센싱(인식 및 감지)하여 자료를 요청한 sink 노드 및 상위 인프라 네트워크에 데이터를 전송한다. 센서 네트워크의 트래픽 패턴은 센서 노드들의 이동성에 좌우되며 노드들의 이동성은 그 응용 분야에 따라 다르나 대부분 낮은 이동성을 가지며 특정한 시간에 트래픽의 발생이 집중되는 경향이 있다. 그리고 노드 주변의 환경으로 인해 노드의 고장률이 커질 수 있으며 토폴로지가 빈번히 변화될 수 있으며 고장이 난 노드는 재사용을 위해 수리하는 대신 폐기하도록 간단한 구조의 노드로 구성된다. 또한 센서 네트워크는 전력 사용의 제한과 더불어 대역폭 및 자료 저장능력의 제약이 있으며 특정한 노드에 관심을 갖는 것이 아니라 다양한 사건에 관심을 가지고 해당 데이터를 가진 노드들로부터 자료를 전송받는다. ad hoc 네트워크의 노드는 점-대-점 방식으로 통신이 이루어지나 센서 노드 간에 통신은 broadcasting 방식으로 이루어지며 센서 노드는 많은 수의 센서로 이루어져 있기 때문에 글로벌 ID를 가지지 않는다.



〈그림 1〉 U-SENSE 네트워크의 구성

2.2 센서 네트워크 프로토콜

센서 네트워크의 각 노드는 전력 공급의 제약으로 인해 전력의 소비에 민감한 특성을 가진다. 따라서 한정된 배터리의 파워를 가지고 보다 오랜 시간 동안 주어진 임무를 수행하기 위

해서 다양한 알고리즘 및 기술에 대한 연구가 요구된다. 또한 센서 노드의 전력 고갈로 인한 손실은 네트워크 전체의 토폴로지 및 경로설정 경로의 변화를 초래할 수 있고 그 결과 긴급한 실시간 데이터 전송의 요구에 대한 신뢰성 있는 데이터 전송을 못함으로 QoS 보장을 하지 못하는 상황이 발생할 수 있기 때문에 센서 노드들 전체를 고려한 전력 소비 알고리즘 개발이 절실히 요구된다.

센서 네트워크 프로토콜 스택은 물리계층부터 응용계층까지 계층에 따른 역할구분이 되어 있으며 파워, 이동성, 작업 제어 평면으로 나뉘어져 있다. 각 계층 및 제어 평면에서의 요구 사항을 살펴보면 다음과 같다.

전력 제어 평면 영역에서 물리계층의 요구사항은 전력 효율을 고려한 매체 접근 방식 및 변조 방식이 요구되며 데이터 링크 계층에서는 센서 노드의 파워상태의 On/Off mode 제어와 전송 프레임의 오버헤드의 최소화로 인한 전력 절감이 요구된다. 또한 전송중의 충돌 및 중복 수신으로 인한 전력의 손실을 최소화하기 위한 노력이 요구된다. 네트워크 계층에서는 전력 소비의 효율성을 고려한 경로설정 알고리즘의 개발이 요구되며 전송 계층에서는 센서 노드와 Sink 노드 사이에 최소의 전력 소비 및 메모리 사용을 위한 UDP 형태의 트래픽 알고리즘이 요구된다.

이동성 제어 평면에서는 각 계층에서 센서 노드들이 제한적으로 이동될 때 최소의 토폴로지 변화와 최대한으로 지속적인 흐름을 유지하기 위한 노력 및 이동시 주변의 노드 발견, 동기화 등을 위한 알고리즘이 필요하다. 작업 제어 평면에서는 센서 네트워크의 작업 유형에 따른 매체 접근 방식, 스케줄링, 경로설정 및 트래픽 특성을 고려한 흐름 제어 등이 각 계층에서 필요한 알고리즘이다.

3. 경로설정 알고리즘

3.1 Ad hoc 네트워크 경로설정 알고리즘

본 장에서는 센서 네트워크의 기반 기술이 되는 ad-hoc 네트워크에서 제안된 대표적인 경로설정 알고리즘을 살펴보고 센서 네트워크의 요구 사항을 알아본다.

ad hoc 네트워크에서의 경로설정 알고리즘은 크게 table driven 방식과 on-demand 방식으로 구분할 수 있다[Elizabeth et al., 1999; Perkins et. al., 1999]. table driven 방식은 각 노드에서 경로 설정을 위한 정보를 지속적으로 유지하여 경로 설정 및 변경에 대처한다. on-demand 방식은 경로 설정이 필요할 경우 인접 노드들에게 메시지를 전송함으로써 설정에 필요한 정보를 얻는 방법을 채택하여 정보유지에 따르는 부담을 경감시킨다. DSDV(Destination-Sequence Distance-Vector) 경로설정 프로토콜은 table driven 방식을 사용한 대표적인 알고리즘이며, Bellman-Ford 알고리즘을 기반으로 만든 경로설정 프로토콜로서 망 내의 모든 이동 노드들은 그들이 연결할 수 있는 다른 모든 노드들에 대해 경로설정 정보를 가지며 이동 노드들의 경로설정 루프를 방지하기 위해 목적지 노드가 표시된 순차번호를 사용한다.

Cluster head gateway switch routing(CGSR) 프로토콜은 DSDV를 기본 골격으로 하여 송신 노드와 목적지 노드 사이가 아닌, 계층적인 클러스터 헤드와 게이트웨이 간의 경로설정을 사용한다. 노드에서 발생된 패킷은 먼저 클러스터 헤드에게 전송되고 클러스터 헤드에서 다시 게이트웨이를 통해 목적지로 전송이 된다.

각 노드에서 지속적으로 모든 경로설정 정보를 관리해야하는 table-driven 경로설정 프로토콜의 부담을 줄이기 위한 대안으로서 on-demand 경로설정 프로토콜이 있다. On-demand 방식은

송신 노드의 요청에 따라 경로를 설정한다. on-demand 방식을 이용한 경로설정 알고리즘은 송신 노드의 경로설정에 기반을 둔 DSR 방식이 대표적이다. 이동 노드들은 경로설정 테이블과 같은 역할을 하는 경로 캐쉬를 계속 유지한다. 이 경로 캐쉬는 송신 노드까지의 경로를 포함하고 있고, 새 경로가 입력될 때마다 지속적으로 갱신한다. 경로 획득 절차인 경로 탐색 절차는 다음과 같다. 목적지 노드에 전송할 데이터를 갖고 있는 송신 노드는 우선 자신의 경로 캐쉬에서 목적지 노드에 대한 경로를 검색하고, 경로가 존재한다면 이 경로를 이용하여 데이터를 전송한다. 만약 캐쉬에 경로가 존재하지 않는다면 송신 노드는 자신의 주소를 경로요청 패킷에 추가하고 이것을 브로드 캐스트한다. 이 패킷을 받은 인접 노드들은 자신의 캐쉬를 확인하여 목적지 노드까지의 경로가 존재하면 경로 캐쉬에 존재하는 목적지 노드까지의 경로를 추가하여 송신 노드에게 경로응답 패킷을 전송하고 경로가 존재하지 않는다면 경로요청 패킷에 자신의 주소를 추가하여 다음 노드로 전달한다. ABR 알고리즘은 망에서 오래 지속되는 경로를 판단하여 사용하는데 이 알고리즘에서는 오래 지속되는 경로는 이동성이 적은 이동 노드들로 이루어진 경로이기 때문에 계속적으로 유지할 가능성이 크고 경로 재설정 가능성이 적으므로 상대적으로 높은 효율을 기대할 수 있다.

그밖에 경로설정을 위한 경로설정 패킷의 오버헤드를 최소화하기 위해 제어메시지를 토폴로지 변화가 일어나는 작은 노드의 집합 안에서만 교환하므로 오버헤드를 줄인 TORA 알고리즘 등이 제안되었다.

3.2 센서 네트워크 경로설정 알고리즘

mobile ad hoc network와 센서 네트워크는

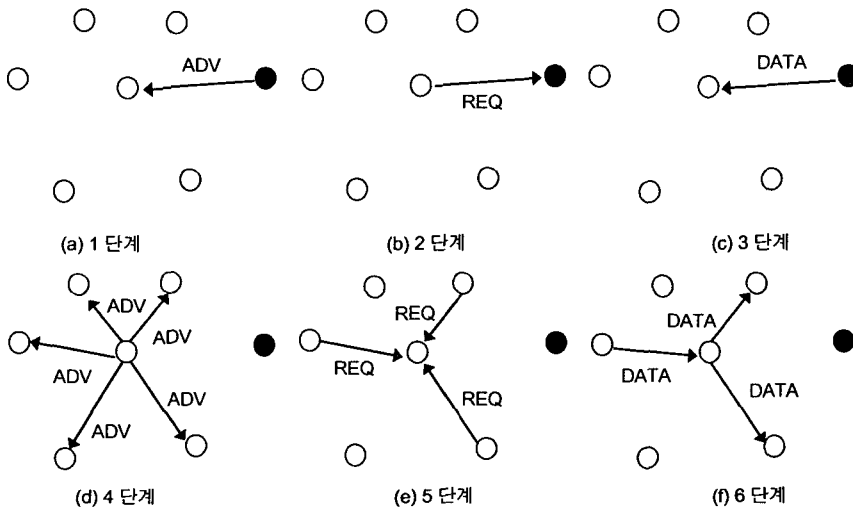
비슷한 환경에서의 경로설정을 수행하지만 다음의 몇 가지 사항으로 센서 네트워크에 고유한 경로설정 알고리즘이 요구된다. 센서 네트워크는 다음과 같은 특징을 가진다.

센서 네트워크의 목적지는 일반적으로 데이터를 요청한 sink 노드이기 때문에 센서 노드는 목적지의 정보를 알고 있다. 그리고 데이터 수집을 위한 spanning 트리가 요구되며 데이터가 중복 수신될 확률이 높다. 또한 센서 네트워크의 노드는 이동성이 낮으며 센서 네트워크는 데이터가 특정 노드로 요청되는 것이 아니라 특정한 요구에 만족하는 노드에게 데이터가 전송되는 데이터 중심적인 특성을 가진다. 따라서 특정 노드 간의 경로설정이 아니라 데이터 중심 경로설정이 이루어지므로 식별자를 기반으로 하여 이루어지는 경로설정은 사용되지 않는다. 그리고 센서 네트워크에서는 밀집된 지역에서 동일한 데이터가 발생될 수 있으므로 데이터를 모아서 전송하는 방식이 사용될 수 있다[Ian et. al., 2002; Ian, 2003]. 이러한 특성을 고려한 센서 네트워크 경로설정 알고리즘들 중에서 대표

적인 것은 다음과 같다.

<그림 2>에 보인 SPIN [Wenal et. al., 1999]은 데이터 중심 경로설정 기법으로서 ADV 메시지를 수신한 노드가 그 데이터에 관심이 있으면 REQ 메시지를 보내 데이터 수신을 허락함으로써 무조건적인 데이터의 수신을 방지하였다. 즉 센서 노드가 데이터 전체를 브로드캐스팅하는 것이 아니라 데이터의 특성을 알리는 ADV 메시지를 이웃노드들에게 전송함으로써 전송 데이터의 크기를 줄이고 이에 따라서 전력의 소비도 줄이는 방법을 사용한다.

또한 LEACH[Wendi. et. al., 1999; Wendi et. al., 2000]는 클러스터 기반 경로설정 프로토콜로서 클러스터 내의 노드 중 임의의 노드를 선택하여 헤더로 선정하고 그 헤더가 데이터를 수집하여 데이터를 전송하는 방식을 제안하였으며 클러스터 헤더 노드에 집중되는 부하를 분산시키기 위해 노드들 간에 순환하여 헤더 기능을 수행하도록 하였다. 경로설정 시간의 단축을 위해서 sink 노드와 이벤트 발생 노드 양단에서 모두 경로설정을 하고 두 경로가 서로 만나면 두



<그림 2> SPIN 알고리즘

노드 사이의 경로를 설정하는 Rumor routing 알고리즘도 제안되었다. Directed Diffusion 알고리즘[Chalermek. et. al., 2003]은 센서 네트워크에서 가장 기본적인 경로설정 알고리즘으로 sink가 네트워크 전체 노드에 interest 메시지를 보내면 해당 정보를 가진 노드로부터 gradient 값이 설정되고 이들 가운데 최적의 경로가 강화되어 데이터 전송이 이루어지도록 하였다. TEEN 알고리즘[Venkatesh et. al, 2002]은 LEACH 방식과 유사한 동작을 하는데 시간에 민감한 데이터를 처리하기에 적합하도록 수정하였다. 이 방식은 TDMA 기반 방식 고유의 단점을 내포하고 있기 때문에 기본적인 슬롯의 사용으로 인해 기인되는 지연의 문제를 가지고 있다.

[Manjeshwar et. al., 2001]에서는 센서 네트워크에 적용되는 경로설정 기법을 그 특성에 따라 크게 평면 경로설정과 계층적 경로설정으로 구분하였다. 평면 경로설정은 네트워크 전체에 대해서 모든 노드들이 경로설정 작업에 동등한 위치에서 참여하며 멀티 홉 경로설정을 이용한다. Direct Diffusion, SPIN 알고리즘 등이 대표적이다. 이들 경로설정 방식은 트래픽 특성에 따라 소비되는 전력이 다르며 트래픽의 지연이 존재하고 채널 할당의 공정성이 보장되지 않는다.

계층적 경로설정 기법은 클러스터링 기반 경로설정 알고리즘이라고도 볼 수 있는데 LEACH, TEEN 등의 알고리즘이 이에 속하며 동등한 위치에서 모든 노드들의 작업이 이루어지는 것이 아니라 클러스터 영역을 대표하는 헤더 노드가 경로설정 및 제어를 담당하는 방식이다. 이 경로설정 방식에서는 소비되는 전력이 일정하고 지연이 작으며 채널 할당의 공정성이 보장된다.

현재 센서 네트워크 노드의 생존시간을 고려한 경로설정 알고리즘은 대개의 경우, 경로 설정 시에 센서 노드의 가용 전력을 우선으로 고

려하여 각 단계마다 노드가 가지는 잔여 수명 및 데이터 전송 시 소비되는 전력 등을 고려하여 경로를 구성하는 Energy aware 방식과 전송 거리에 따른 전력 소비를 고려하여 최소한의 전력 소비가 이루어지도록 토폴로지를 관리하여 경로를 선택하는 경우 그리고 네트워크 영역에 클러스터를 구성하고 전력 공급에 영향을 받지 않는 gateway 또는 hub를 이용하여 각 클러스터와 sink간에 통신함으로써 트리 구조의 경로설정 경로를 설정하는 방식으로 나눌 수 있다 [Mohamed et. al., 2002; Chen 2003; Di et. al., 2003]. 또한 이미 설정된 경로를 통하여 더 이상 데이터를 전송할 수 없는 경우, 부분적으로 경로를 수정하는 방식과 sink 노드로부터 경로를 재설정하는 방식으로 나눌 수 있다.

4. 제안 경로설정 기법

센서 네트워크 노드들은 큰 장애물이 없는 자유공간에 위치한 것으로 가정할 때, 수신 노드에서의 전력세기와 노드 간의 거리는 $P_r \propto d^{-2}$ 의 관계를 가진다. 대부분의 센서 네트워크 경로설정 알고리즘은 노드의 파워 또는 최소의 전력 소비를 위한 토폴로지 설정을 고려하였으나 전력 소비가 이루어지는 여러 파라미터들을 함께 고려하는 방안에 대한 연구는 부족하였다. 본 논문에서 제안하는 방식은 경로설정 시에 전송 시점에서의 노드가 가지는 전력의 세기와 함께 전송 노드와의 거리로 인한 소비 전력을 고려하여 초기 경로를 설정한다. 또한 경로를 통해 지속적으로 데이터가 목적지 노드로 전송되는 경우 또는 데이터의 흐름이 집중되는 게이트웨이 역할을 하는 노드는 빠른 전력 소비를 보일 수 있으며 노드의 전력 고갈은 전체 경로설정 성능에 영향을 미칠 수 있다. 본 논문에서는 특정 노드의 전력 소비가 주위의 다른 노드

들에 비해 뚜렷한 차이를 보일 때 전체 경로설정 경로의 변경을 최소화하면서 각 노드의 생존 시간을 최대화하기 위한 알고리즘을 제안한다.

홉 간의 경로를 설정하는 경우 센서 노드의 가용 전력과 거리에 따른 링크 간의 비용을 고려하여 결정한다. 가용 전력이 가장 큰 노드를 선택하는 경우 링크 간의 전송 비용이 상대적으로 클 경우에는 전력 소비율이 높아지기 때문에 노드 선택에 따른 지속적인 효과를 기대하기 어려울 수 있다. 또한 거리에 따른 링크 간의 비용을 고려한 경우 노드의 가용 전력이 주변의 다른 노드들보다 적은 노드가 선택될 수 있으므로 센서 노드의 생존 시간에 큰 영향을 미칠 수 있게 된다.

아래에서 기술한 후보 노드의 선택 및 경로설정 알고리즘을 <그림 3>에서와 같은 센서 네트워크 환경에 적용하면 다음과 같다. 각 노드는 자신의 이웃 노드의 가용 전력 정보를 알고 있다고 가정한다. 먼저 노드 a에서 데이터가 발생하여 sink 노드로 경로설정 경로를 설정해야 하는 상황에서 노드 a는 이웃 노드 b, c, d, e의 가용 전력을 이용하여 그 평균 가용전력 $RP(LN_a)$ 를 계산한다. 위의 예에서 $RP(LN_a) = 7$ 이다. 노드 a

는 자신의 이웃 노드들 가운데 $RP(LN_a)$ 값보다 큰 노드를 후보 노드 집합으로 선택한다. 위의 예의 경우 b, c가 된다. 그리고 선택된 후보 노드와 현재 노드 a와의 거리에 따른 전송 비용을 이용하여 상대적으로 전송하는데 소비되는 전력율이 가장 낮은 노드를 선택한다. 위의 예의 경우 노드 c가 된다. 이와 같은 알고리즘을 적용하여 초기 경로설정 경로를 구하면 a-c-h-k-sink가 된다. 각 노드의 현재 가용전력이 가장 많은 노드를 선택하여 경로를 구성하는 경우의 경로는 a-b-g-j-sink이다. 이 때, 두 알고리즘의 거리에 따른 전력 소비에 대한 가용 전력의 비를 비교하면 평균 $5.5ap/c$, $5.25ap/c$ 이라는 결과가 나온다. 따라서 데이터 전송에 따른 각 노드의 전력 소비 부담이 단순한 현재 노드의 가용 전력만을 고려하는 경우보다 줄어들게 됨으로 링크가 지속적으로 이용되는 경우 성능의 향상을 기대할 수 있다.

센서 네트워크의 응용 분야는 많은 경우에 있어서 시간에 민감한 실시간 데이터 전송을 필요로 한다. 따라서 새로운 노드를 선택하여 우회하는 부분 경로 재설정 방식은 각 노드의 전력 소비의 분배를 고르게 할 수 있으나 긴급한 데이터 전송이 요구되는 경우에는 다소 성능의 저하를 가져올 수 있다. 즉 긴급한 실시간 데이터 전송 중 노드의 가용 전력이 기준 이하로 떨어져서 경로 재설정을 요구하는 경우, 경로 재설정을 요구하는 센서 노드에게 데이터를 송신하는 노드가 경로 재설정 요구 노드로부터 데이터를 수신하는 노드까지 전송 반경을 확장하여 데이터를 전송한다. 전송 범위의 확장으로 인한 노드의 전력 소비 부담은 일시적으로 늘어날 수 있지만 다른 노드로의 우회과정 없이 송신 전력을 조절하여 경로 재설정 노드를 제외한 두 노드간의 전송이 이루어지는 경우 채널의 선택과 정 및 노드 선택에 따른 시간 지연을 최소화 할

RP	11	10	9	7	6	8	10	11	8	10	11
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
a		3	2	3	3						
b						3	4				
c						2	3	3			
d							2	3			
e								3			
f									2		
g									3	3	
h										3	3
i	: 3										
j	2										
k	3										

<그림 3> 센서 네트워크 연결 예

수 있으며 노드의 전력 소비 문제에 있어서도 초기 경로 설정 과정을 통하여 기준 이하로 전력을 갖는 노드를 배제하여 선택함으로써 결과적으로 전체 노드 생존시간에 큰 영향을 미치지 않도록 할 수 있다.

5. 성능평가 및 결론

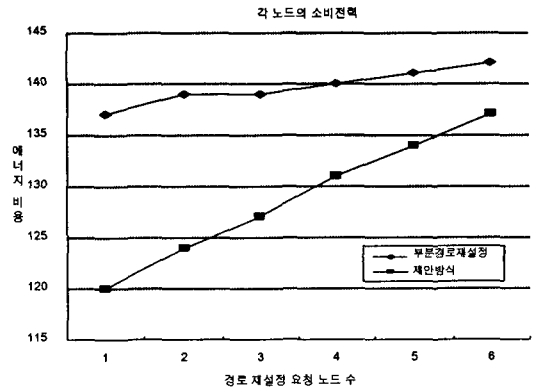
본 논문에서 제안한 USN 노드 경로설정 기법의 성능을 분석하기 위하여 시뮬레이션 도구를 이용하여 기존의 부분경로 재설정 알고리즘과 본 논문에서 제안한 경로설정 기법에 대해 센서노드의 평균 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 성능분석을 위해 50개의 센서노드와 sink 노드로 이루어진 센서 네트워크를 가정하였다. 각 노드가 가지는 초기 에너지 비용은 평균 950, 최소 915, 최대 1025사이의 임의의 값을 갖는 분포이며 sink 노드는 에너지 제한이 없는 것으로 가정하고 180초 동안의 데이터 전송 결과를 시뮬레이션 하였다.

각 노드에서의 전송비용은 수신노드와의 거리에 따라서 정해지는 것으로 하였으며 노드

1~7에서 sink 노드로 전송 데이터가 발생하면 각 경로설정 기법을 적용하여 목적지 노드의 경로설정이 이루어진다. 평균 데이터 발생 간격은 500ms 이며 경로 재설정요구는 1~6개의 노드에서 가용전력 고갈로 경로 재설정요구가 일어나는 것으로 가정하였다.

본 연구에서 제안한 경로설정방식과 비교한 부분경로 재설정 방식은 RDMAR(Relative Distance Micro-discovery Ad-hoc Routing) 방식이다. 임의의 노드에서 경로 재설정 요구가 발생되었을 때 해당 경로만을 우회하여 경로를 설정한다.

성능 평가의 요소로서 노드에서의 데이터 발생시간 간격에 따르는 전력소비를 측정하였으며



〈그림 4〉 경로 재설정 요구에 대한 에너지 비용

〈그림 4〉에 경로 재설정 요구노드에 대한 에너지 비용을 그래프로 나타내었다.

본 논문이 제안하는 경로설정 방식이 평균적으로 7~8% 정도 성능이 향상됨을 〈그림 4〉에서 확인할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 이상학, 김대환, 유준재, “유비쿼터스 센서 네트워크 기술 개발 동향”, 전자정보센터, IT리포트, 2005.
- [2] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, and John Heidemann, “Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 11, February, 2003, pp. 2-16.
- [3] Chen Cheng-fu, “Energy Efficient Routing for Clustered Wireless Sensors Network”, *Proceedings of IEEE IECON '03*. Vol. 2, November, 2003, pp. 1437-1440.
- [4] Di Tian, Nicolas and D. Georganas, “Energy-efficient Routing with Guaranteed Delivery in Wireless Sensor Networks”, *Wireless Communications and Networking*, March, 2003, pp. 1923-1929.

- [5] Elizabeth M. Royer and C-K Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad-hoc Mobile Wireless Networks", *IEEE Personal Communications*, Vol. 6, April 1999, pp. 46-55.
- [6] Eugene Shih, Seong Hwan Cho, Nathan Ickes, Rex Min, Amit Sinha, Alice Wang, and Anantha Chandrakasan, "Physical Layer Driven Protocol and Algorithm Design for Energy-efficient Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, 2001, pp. 272-287.
- [7] Ian F. Akyildiz, Sensor Networks' Communication Protocols, <http://users.ece.gatech.edu/~mcvuran/Sensor/work.html>, 2003.
- [8] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 8, August 2002, pp. 102-114.
- [9] Manjeshwar, A. and Agrawal, D. P., "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks", *Proceedings of 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium*, April, 2001, pp. 2009-2015.
- [10] Martin Kubisch, Holger Karl, Adam Wolisz, Sizhi Charlie Zhong, and Jan Rabaey, "Distributed Algorithms for Transmission Power Control in Wireless Sensor Networks", *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking*. Vol. 1, March 2003, pp. 558-563.
- [11] Mohamed Younis, Moustafa Youssef, and Khaled Arisha, "Energy-aware Routing in Cluster-based Sensor Networks", *Proceedings of IEEE MASCOTS'02*, October 2002, pp. 129-132.
- [12] Perkins, C. E, and Royer, E. M. "Mobile Computing Systems and Applications", *WMCSA '99. Second IEEE Workshop*, February 1999, pp. 90-100.
- [13] Rahul C. Shah and Jan M. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad-hoc Sensor Networks", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, March 2002, pp. 350-355.
- [14] Venkatesh Rajendran, J. J. Garcia-Luna-Aceves, and Katia Obraczka, "Energy-efficient Channel Access Scheduling for Power-constrained Networks", *Proceedings of The 5th International Symposium, Wireless Personal Multimedia Communications*, Vol. 2, October 2002, pp. 509-513.
- [15] Wei Ye, John Heidemann and Deborah Estrin, "An Energy-efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", *Proceeding of the IEEE Infocom*, 2002, pp. 1567-1576.
- [16] Wendi Rabiner Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan. "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks", *Proceedings of ACM MobiCom 1999*, pp. 174-185.
- [17] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Micro-sensor Networks", *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, January 2000, pp. 3005-3014.

□ 저자소개



이 문 호

서울대학교 공과대학에서 공학사, 숭실대학교에서 공학석사와 공학박사 학위를 취득하였다. 한국전자통신연구원, 현대전자(주)에서 근무하였으며 현재는 청운대학교 멀티미디어학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 유비쿼터스 컴퓨팅, 개인휴대통신, 멀티미디어통신, 멀티미디어 시스템 등이다.