

# 센서 네트워크에서 홈에이전트와 액세스 노드에 기반한 모바일 싱크를 위한 데이터 전송 기법

이 좌 형<sup>†</sup> · 정 인 범<sup>††</sup>

## 요 약

센서네트워크에서 이동하면서 데이터를 수집하는 모바일 싱크(Mobile Sink)는 유비쿼터스 환경에서 사건들에 대한 실시간 처리에는 적합하지만 많은 문제점을 지니고 있다. 특히 네트워크상에서 이동하는 모바일 싱크로 어떻게 데이터를 전송할 것인가에 대한 의문은 무선 센서 노드들의 효율적 운영 측면에서 중요한 문제가 되고 있다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 모바일 싱크를 위한 새로운 데이터 전송 기법인 DHA를 제안한다. DHA 방법은 홈에이전트와 액세스 노드의 개념을 사용하여 최소한의 비용으로 모바일 싱크에게 신뢰성 있고 효과적인 데이터 전송을 수행할 수 있다. 제안된 기법에서는 모바일 싱크의 이동 정보는 모든 센서 노드들 대신 홈에이전트와 액세스노드에게만 통보한다. 무선 센서 노드들에서 수집된 데이터들은 고정된 홈에이전트로 전송하며, 홈에이전트가 이들 데이터를 모바일 싱크로 전송한다. 제안된 방법은 무선망에서 발생하는 데이터 패킷들의 충돌 현상을 감소시킬 수 있으므로 모바일 싱크에 전달되는 패킷 수신 성공률을 향상시킨다. 실험을 통하여 제안된 기법은 무선 센서 네트워크내에서 브로드캐스트 패킷수를 감소시키며 그 결과 데이터 전송 및 수신에 위하여 소모되는 에너지를 감소시킴을 보인다. 이런 효과는 배터리로 동작하는 무선 센서 네트워크의 전체적인 수명 연장에 기여한다.

키워드 : 센서네트워크, 모바일 싱크, 홈에이전트, 액세스 노드

## Data Dissemination Protocol based on Home Agent and Access Node for Mobile Sink in Sensor Network

Joahyoung Lee<sup>†</sup> · Inbum Jung<sup>††</sup>

## ABSTRACT

The mobile sink is most suitable to guarantee the real time processing to events in ubiquitous environment. However it brings many challenges to wireless sensor networks. In particular, the question of how to transfer the collected data to the mobile sink is an important topic in the aspect of effective management of wireless sensor nodes. In this paper, a new data dissemination model is proposed. Since this method uses the home agent and the access node concepts, it provides reliable and efficient data delivery to mobile sink with minimum overhead. In this proposed method, the information of the mobile sink which is constantly moving is informed only to the home agent node and the access node, instead of all sensor nodes. Thus, the collected data from sensor nodes are transferred to the fixed home agent and it sends these data to the mobile sink. Since the confliction phenomenon between data packets in wireless networks could be reduced, the success ratio of data arriving in the mobile sink is highly enhanced. In our experiments, the proposed method reduces the number of broadcast packets so that it saves the amount of energy consumed for transmitting and receiving the data packets. This effect contributes to prolong the lifetime of the wireless sensor networks operated by batteries.

Keywords : Sensor network, Mobile sink, Home agent, Access node

## 1. 서 론

최근 MEMS와 마이크로프로세서 그리고 무선 통신 기술

의 발전으로 센서노드들을 이용하여 넓은 지역에 걸쳐 정확한 정보를 얻고자 하는 센서네트워크가 널리 보급되기 시작했다. 이러한 센서네트워크는 새롭게 부각되고 있는 유비쿼터스 환경을 구성하기 위한 필수적인 기반구조로 평가되고 있다. 사람들이 주위로부터 정보를 얻고 주변환경을 컨트롤 하는 유비쿼터스 환경에서 센서네트워크는 정보를 수집하는 중요한 구성요소이다[1].

센서네트워크에서 이동하면서 데이터를 직접 수집하는 개

\* 본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

† 준 회 원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정

†† 종신회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수(교신저자)

논문접수 : 2008년 4월 4일

수정일 : 2008년 5월 21일

심사완료 : 2008년 5월 21일

념으로 모바일 싱크(Mobile Sink)에 관한 연구가 최근 시작되고 있다[4,5,6,7]. 센서네트워크에서 이동하면서 데이터를 수집하는 모바일 싱크가 유비쿼터스 환경에 적합하지만 많은 문제점을 지니고 있다. 여러 문제점들 중에 하나로 네트워크 상에서 이동하는 모바일 싱크로 어떻게 데이터를 전송할 것인가에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 센서노드와 모바일 싱크 간에 직접적인 통신이 이루어지는 경우 센싱된 데이터를 전송할 모바일 싱크의 위치를 센서노드들이 알고 있어야 한다. 모바일 싱크의 위치정보가 부정확하게 알려지거나 늦게 알려지는 경우 센서노드들은 엉뚱한 곳으로 데이터를 전송하게 되어 데이터 손실을 야기할 뿐만 아니라 이는 센서노드들의 에너지 낭비로 이어진다[8,9,10].

모바일 싱크의 위치를 센서노드들에게 알리는 단순한 방식은 위치정보를 센서네트워크에 주기적으로 브로드캐스트하는 것이다[15,16]. 모바일 싱크가 자신의 위치를 주변 노드들에게 브로드캐스트하면 이를 수신한 주변 노드들이 다시 브로드캐스트하여 전체 네트워크로 전파되도록 하는 것이다. 이 방식은 대부분의 노드들에게 위치정보가 전달된다는 장점이 있지만 네트워크 상에 브로드캐스트 스토밍(Broadcast Storming)이 발생할 수 있다는 단점이 있다. 무선 통신에 많은 에너지가 소모되는 센서노드들에게 브로드캐스트 스토밍은 에너지 측면에서 매우 치명적이다[22]. 또한 센서네트워크가 광범위하게 퍼져있는 경우 위치정보가 전파되는데 걸리는 지연으로 인하여 멀리 떨어져 있는 노드들은 잘못된 위치로 데이터를 전송하여 손실을 초래할 수도 있다[12,13].

본 논문에서는 센서네트워크 환경에서 위치가 변하는 모바일 싱크로 정확하게 데이터를 전송하고 위치정보를 알리는데 필요한 자원의 낭비를 최소화하기 위한 기법으로 DHA(Dissemination protocol based on Home agent and Access node)를 제안한다. DHA는 홈에이전트(Home Agent)개념을 도입하여 센서노드들에게 모바일 싱크를 대리하도록 한다. 센서노드들은 모바일 싱크가 아니라 홈에이전트로 데이터를 전송한다. 추가적으로 홈에이전트에게 모바일 싱크를 대리하는 액세스 노드(Access Node)를 사용한다. 액세스 노드는 모바일 싱크가 위치한 영역에서 모바일 싱크를 대리하는 역할을 한다. 센서노드들은 홈에이전트로 데이터를 전송하고 홈에이전트가 데이터를 모바일 싱크 근처의 액세스 노드로 중계하면 액세스 노드가 모바일 싱크로 전달해준다. 따라서 센서노드들은 모바일 싱크의 위치를 알고 있을 필요가 없다. 센서노드들은 고정된 경로를 통하여 홈에이전트로 데이터를 전송하기 때문에 데이터 손실이 없으며 모바일 싱크의 위치 정보가 극히 일부의 노드에만 브로드캐스트되기 때문에 브로드캐스트 스토밍 문제를 야기하지 않는다[19,20,22].

홈에이전트에 더하여 액세스 노드를 두는 이유는 모바일 싱크가 좁은 지역에서 미세하게 움직이는 경우에 대처하기 위해서이다. 모바일 싱크의 움직임 거리가 짧은 경우 위치정보의 갱신이 빈번해지는 문제점을 초래할 수 있으며 데이터가 손실될 가능성이 있다. 이 경우 모바일 싱크 주변에 있는 노드를 액세스 노드로 설정하고 홈에이전트에 모바일 싱크의

위치가 아니라 액세스 노드의 위치를 알려주면 홈에이전트는 액세스 노드로 데이터를 전송한다. 모바일 싱크의 위치가 크게 변할 경우에만 액세스 노드를 변경하기 때문에 모바일 싱크가 좁은 지역에서 움직이는 경우에는 위치정보를 갱신할 필요가 없다. 홈에이전트로부터 전송된 데이터는 액세스 노드를 거쳐서 모바일 싱크로 전달되기 때문에 데이터의 손실도 줄어들게 된다. 제안된 DHA는 모바일 싱크로 전달되는 패킷의 수신율을 보장하고 브로드캐스트 스토밍을 없애 네트워크 전체에 걸쳐 소모되는 에너지를 줄여 네트워크의 라이프타임을 늘릴 수 있음을 제시한다[19,20].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서네트워크에서 데이터 전파에 관련된 연구들을 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 기법인 DHA의 구성과 동작방식 등을 설명하고 4장에서는 DHA의 성능을 측정하고 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺고 향후 연구계획을 설명한다.

## 2. 관련연구

최근 센서네트워크의 많은 분야에서 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다[2,3,5,6,10]. 그 중에서도 에너지 효율적으로 데이터를 전파시키는 기법에 대한 연구가 중요한 연구과제로 떠오르고 있다. 초기에 제안된 SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation)은 센서노드가 수집한 데이터를 네트워크 전체의 모든 노드들에게 효율적으로 전파시키는데 중점을 두고 있다[14]. SPIN은 데이터의 중복 전송을 줄이기 위해 메타데이터 협상을 사용한다. 보다 최근의 연구에는 Directed Diffusion, Declarative Routing Protocol(DRP) 등이 있다[15,16]. Directed Diffusion과 DRP는 네트워크 상에서 데이터 통합(Aggregation)을 위하여 데이터 중심의 네이밍(Naming) 기법을 사용한다. Direct Diffusion은 초기에 낮은 레이턴시의 데이터 플러딩(Flooding)을 사용하며 네트워크와 싱크의 변화에 적응하기 위해 그라듀얼 레인포스먼트(Gradual reinforcement) 기법을 사용한다. 이러한 기법들은 정적으로 고정되어 있는 싱크로 데이터를 전송하는 것을 목표로 하고 있는데 싱크가 이동하는 경우 효율적으로 데이터를 전송하기 어렵다. 본 논문에서 제안하는 DHA는 싱크가 고정적일 경우뿐만 아니라 싱크가 이동하더라도 적은 오버헤드로 데이터의 수신율을 보장한다.

TTDD(Two-tier Data Dissemination)는 모바일 싱크로의 효율적인 데이터 전송을 목표로 제안되었다. TTDD에서는 싱크가 아니라 센서노드가 중심이 되어 경로를 설정한다[2]. 이벤트를 감지한 센서노드는 그리드 형태로 자신의 데이터를 알리며 데이터에 관심이 있는 싱크는 센서노드가 형성한 그리드를 찾아서 해당 데이터를 요청한다. 센서노드가 데이터를 알리기 위해 형성하는 그리드의 크기가 TTDD의 성능을 결정하는데 그리드를 구성하는 셀의 크기가 클 경우 브로드캐스트 패킷의 수가 증가하며 셀의 크기가 작으면 그리드가 복잡해지는 단점이 있다. TTDD는 센서노드가 중심이 되어

데이터를 알리고 싱크는 수동적으로 데이터에 접근하기 때문에 불필요한 데이터에 대한 그리드 형성이 발생하면 자원이 낭비될 수 있다. 또한 싱크가 위치하지 않은 영역까지 포함하여 네트워크 전체에 걸쳐 그리드가 형성되기 때문에 비효율적이라 할 수 있다. 이에 반해 DHA는 홈에이전트와 액세스 노드를 사용하여 필요한 데이터만 싱크로 전송되도록 하며 센서노드에서 관리해야 하는 데이터의 양이 매우 적어 TTDD에 비해 효율적인 프로토콜이라 할 수 있다.

Dissemination Tree와 액세스 노드를 이용하는 SEAD (Scalable Energy-efficient Asynchronous Dissemination protocol)는 DHA와 유사한 연구이다[3]. SEAD에서는 싱크로 전송하는 경로를 최적화 하기 위해 Steiner Tree인 Dissemination Tree를 구성한다. 하나의 센서노드로부터 데이터를 수신하는 싱크의 수가 증가할 경우 기존 싱크로 가는 경로상에서 새로운 싱크로 가는 경로를 설정하여 Dissemination Tree를 구성한다. 싱크가 이동하는 경우에는 싱크 근처의 노드를 액세스 노드로 설정하여 싱크를 대리하도록 하는 개념은 DHA와 비슷하다. 하지만 NP-hard의 복잡성을 가지는 Steiner Tree를 이용하여 Dissemination Tree를 구성하는 것은 센서네트워크에 부적당하다. 또한 싱크가 이동하는 경우에 대비하여 액세스 노드를 사용하지만 싱크의 이동이 클 경우에는 네트워크상에 경로가 재설정되는 문제가 발생한다. 이에 반해 DHA는 센서노드들이 홈에이전트로만 데이터를 전송하도록 하고 위치기반 라우팅을 사용하기 때문에 경로를 설정하는데 드는 오버헤드가 적다. 그리고 고정된 홈에이전트를 사용하기 때문에 싱크의 이동이 크더라도 경로를 재설정하는 오버헤드가 발생하지 않는다.

### 3. DHA (Dissemination protocol based on Home agent and Access node)

본 논문에서는 센서네트워크 환경에서 위치가 변하는 모바일 싱크로 정확하게 데이터를 전송하고 위치정보를 알리는데 필요한 자원의 낭비를 최소화하기 위한 기법으로 DHA(Dissemination protocol based on Home agent and Access node)를 제안한다. DHA는 홈에이전트와 액세스 노드를 사용하여 브로드캐스트 패킷수와 데이터의 손실을 줄인다.

홈에이전트는 센서네트워크 상에서 모바일 싱크를 대리하여 센서노드들로부터 데이터를 모아 모바일 싱크로 데이터를 중계해주는 역할을 담당한다. 센서네트워크상에서 이동하는 모바일 싱크는 자신의 위치를 주변 노드들에게 브로드캐스트한다. 주변 노드들은 이 정보를 다시 브로드캐스트하는 것이 아니라 모바일 싱크의 홈에이전트로만 전송한다. 모바일 싱크의 위치 정보를 알고 있는 홈에이전트가 데이터를 모바일 싱크로 중계해주기 때문에 센서노드들은 모바일 싱크의 위치를 알고 있을 필요가 없다. 모바일 싱크의 위치정보가 극히 일부의 노드로만 전달되기 때문에 브로드캐스트 스토밍 문제를 야기하지 않는다. 센서노드들은 고정된 경로를 통하여 홈에이전트로 데이터를 전송하기 때문에 데이터의 손실이 없으

며 실시간으로 모바일 싱크로 데이터를 전송할 수 있다.

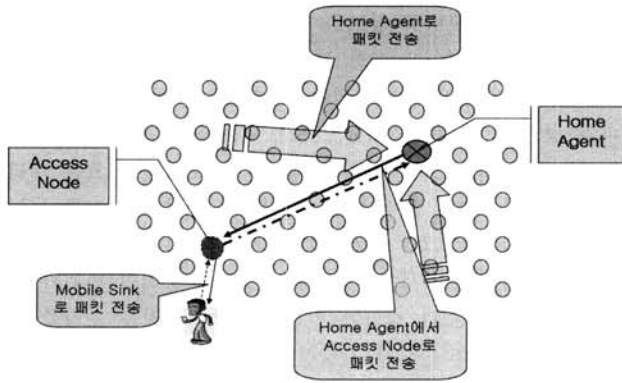
DHA에서는 센서 노드들 전체에 대하여 모바일 싱크를 대리하는 홈에이전트에 대비되는 개념으로 홈에이전트에게 모바일 싱크를 대리하는 액세스 노드 개념을 사용한다. 액세스 노드는 모바일 싱크가 위치한 영역에서 모바일 싱크를 대리하는 역할을 한다. 홈에이전트에 더하여 액세스 노드를 두는 이유는 모바일 싱크가 좁은 지역에서 미세하게 움직이는 경우에 대처하기 위해서이다. 모바일 싱크의 움직임 범위가 좁은 경우 위치정보의 갱신이 빈번해지는 문제점을 초래할 수 있으며 데이터가 손실될 가능성이 있다. 이 경우 모바일 싱크 주변에 있는 노드를 액세스 노드로 설정하고 홈에이전트에 모바일 싱크의 위치가 아니라 액세스 노드의 위치를 알려주면 홈에이전트는 액세스 노드로 데이터를 전송한다. 모바일 싱크의 위치가 크게 변할 경우에만 액세스 노드를 변경하기 때문에 모바일 싱크가 좁은 지역에서 움직이는 경우에는 위치정보를 갱신할 필요가 없다. 홈에이전트로부터 전송된 데이터는 액세스 노드를 거쳐서 모바일 싱크로 전달되기 때문에 데이터의 손실도 줄어들게 된다.

DHA에서는 위치 기반 라우팅 프로토콜을 사용하며 모바일 싱크만 이동성이 있고 다른 노드들은 고정적인 것으로 가정한다. 센서노드들은 자신의 위치를 알고 있다고 가정하며 비콘메시지등을 통하여 주변노드들을 확인할 수 있다. 센서네트워크가 배치되면 노드들은 주변노드 정보를 수집하며 패킷을 중계할 때 목적지 노드방향에 있는 노드로 패킷을 전송한다.

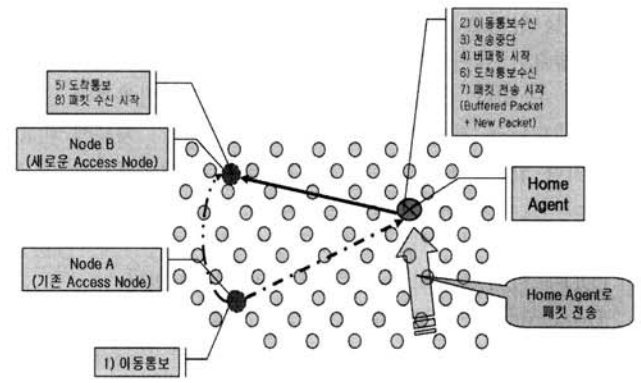
#### 3.1 홈에이전트와 액세스 노드

모바일 싱크의 위치를 센서노드들에게 알리는 단순한 방식은 모바일 싱크의 위치정보를 센서네트워크에 주기적으로 브로드캐스트하는 것이다. 모바일 싱크가 자신의 위치를 주변노드들에게 브로드캐스트하면 이를 수신한 주변노드들이 다시 브로드캐스트하여 전체 네트워크로 전파되도록 하는 것이다. 이 방식은 대부분의 노드들에게 위치정보가 전달된다는 장점이 있지만 브로드캐스트 스토밍이 발생할 수 있다는 단점이 있다.

본 논문에서는 홈에이전트와 액세스 노드를 이용하여 브로드캐스트 횟수를 줄이고자 한다. 인터넷상의 홈에이전트가 모바일 노드를 대리하는 것처럼 센서네트워크상에서 이동하는 모바일 싱크를 대리하는 홈에이전트를 사용한다. 액세스 노드는 모바일 싱크가 위치한 영역에서 모바일 싱크를 대리하는 역할을 한다. 모바일 싱크는 네트워크상에 홈에이전트를 설정하여 센서노드들로부터의 데이터를 중계하도록 한다. 모바일 싱크는 네트워크상에서 이동하면서 자신과 가까운 위치에 있는 노드를 액세스 노드로 설정하여 홈에이전트로 알려준다. 홈에이전트는 거의 바뀌지 않지만 액세스 노드는 모바일 싱크가 이동하는 경우 바뀔 수 있다. (그림 1)은 DHA에서 홈에이전트와 액세스 노드의 역할을 보여준다. 홈에이전트가 모바일 싱크를 대리하기 때문에 센서노드들은 센싱한 데이터를 모바일 싱크가 아니라 홈에이전트로 전송한다. 홈에이전트는 모바일 싱크 주변에 있는 액세스 노드로 데이터



(그림 1) DHA에서 홈에이전트와 액세스 노드



(그림 2) DHA에서의 모바일 싱크 이동

를 중계한다. 모바일 싱크의 위치는 홈에이전트로만 전송되기 때문에 브로드캐스트 스토밍 문제를 야기하지 않는다.

센서네트워크의 여러 특징들 중 하나는 센서노드들이 데이터를 생성하여 전송하는 역할과 다른 노드들의 데이터를 중계하는 역할 모두를 수행한다는 것이다. 일반적인 유선 네트워크에서는 일반 사용자들이나 서버와 같은 노드들은 데이터를 생성하여 전송하는 역할만 수행하며 허브나 라우터와 같은 네트워크 장치들이 데이터를 주고받는 노드들 간의 패킷을 중계해주는 역할을 수행한다. 일반 노드들은 데이터를 전송하거나 수신하는 역할만을 수행하며 데이터를 중계하는 역할을 수행하지는 않는다. 하지만 센서네트워크에서는 라우터와 같은 인프라스트럭처가 별도로 존재하지 않으며 일반 센서노드들이 인프라스트럭처가 되어 네트워크를 구성한다. 본 논문에서 제안하는 DHA기법에서의 홈에이전트나 액세스 노드도 별도의 노드를 설치하거나 기능을 추가한 노드가 아니라 일반 센서노드들 중에서 선택하여 사용한다. 모바일 싱크가 센서네트워크에서 데이터를 수집할 필요가 있을 경우 임의의 노드를 홈에이전트와 액세스 노드로 설정하고 데이터를 수집한다. 모바일 싱크는 이동하면서 필요할때만 홈에이전트와 액세스 노드를 설정하여 사용하고 필요한 데이터를 수집하였으면 데이터 수집을 중단하기 때문에 홈에이전트나 액세스 노드에 장시간에 걸친 부하가 발생하지는 않는다. 홈에이전트를 어떤 위치에 어떻게 설정하느냐는 본 논문의 범위 밖이며 DHA기법을 GHT(Geographic Hash Table)와 같은 프로토콜과 연계하여 사용할 경우 GHT 프로토콜에서 홈에이전트를 설정할 수 있을 것이다[23].

### 3.2 모바일 싱크 이동중의 데이터 전송

DHA에서는 모바일 싱크로 전달되는 데이터는 모두 홈에이전트를 거치기 때문에 모바일 싱크가 이동하는 동안 홈에이전트에서 데이터를 버퍼링하였다가 이동을 멈추었을 때 데이터를 전송할 수 있다. (그림 2)는 DHA에서 모바일 싱크가 이동하는 경우 버퍼링을 통하여 패킷 손실을 줄이는 것을 보여준다. 모바일 싱크가 노드 A를 액세스 노드로 사용하다가 노드 B가 있는 위치로 이동하는 경우 노드 A는 모바일 싱크의 이동을 감지하여 홈에이전트로 모바일 싱크의 이동과 자신이 더 이상 액세스 노드가 아님을 통보한다. 노드 A로부터

모바일 싱크가 이동하였다는 정보를 통보받은 홈에이전트는 노드 A로의 패킷 전송을 중지하고 버퍼링을 시작한다. 모바일 싱크가 노드 B위치에 도착하여 노드 B를 새로운 액세스 노드로 설정하여 홈에이전트로 통보하면 홈에이전트는 노드 B로 전송을 시작한다. 전송되는 데이터는 모바일 싱크가 이동하는 중에 버퍼링되어 있던 데이터와 새로 도착하는 데이터 모두를 포함한다.

홈에이전트가 버퍼링하여야 하는 데이터의 양은 모바일 싱크의 이동시간과 노드들의 센싱주기 그리고 노드수에 비례하여 증가한다. 센서네트워크에 노드의 수가 많거나 센싱주기가 짧은 경우에는 버퍼링하는 양이 많아질 수 있다. 홈에이전트에서 버퍼링하여야 하는 데이터의 양이 홈에이전트의 용량을 초과하는 경우 홈에이전트의 주변노드들을 임시 저장소로 사용할 수 있을 것이다. 아니면 먼저 들어온 데이터를 지우고 새로운 데이터를 저장하여 일정시간 동안의 데이터만 유지할 수도 있을 것이다. 이러한 손실을 방지하기 위한 확실한 방법은 홈에이전트에서 데이터가 손실되기 전에 모바일 싱크가 새로운 액세스 노드를 설정하는 것이다. 즉 모바일 싱크가 새로운 액세스 노드를 설정하는데 걸리는 시간을 홈에이전트가 버퍼링할 수 있는 시간내로 제약을 둔다면 홈에이전트에서의 데이터 손실은 발생하지 않을 것이다. 어떠한 방법을 사용하든 버퍼링을 통하여 데이터 손실을 줄일 수 있을 것이다. 또한 모바일 싱크가 어느 위치로 이동하든지 상관없이 홈에이전트와 액세스 노드사이에 경로만 재설정하면 되기 때문에 네트워크상의 다른 노드들이 경로를 재설정하여야 하는 오버헤드가 발생하지 않는다.

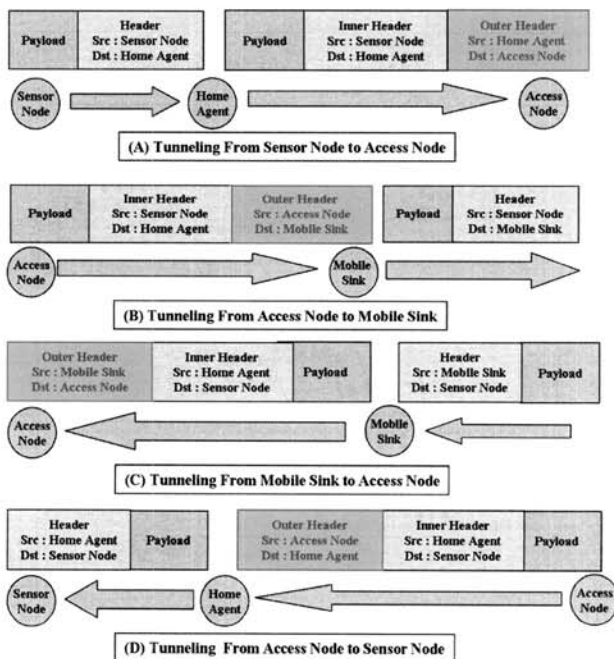
### 3.3 터널링 (Tunneling)

DHA에서는 홈에이전트와 액세스노드 사이 그리고 액세스노드와 모바일 싱크사이에 터널링 기법을 사용한다. 홈에이전트가 센서노드와 액세스노드간에 데이터를 중계해줄기 때문에 센서노드에서 홈에이전트로 전송된 데이터를 액세스노드로 전송할 때 터널링이 필요하며 액세스 노드에서 센서노드로 보내는 데이터도 홈에이전트를 거쳐가기 때문에 터널링이 필요하다. 또한 액세스 노드에서 모바일 싱크로 보내는 데이터도 센서노드로부터의 패킷을 유지하기 위하여 터널링 기법이 필요하다. 반대의 경우도 마찬가지이다.



(그림 3)은 DHA에서의 터널링을 보여준다. (그림 3)의 (A)는 센서노드로부터 액세스 노드로의 터널링을 나타내는데 센서노드로부터 홈에이전트로 전송되는 패킷에는 센서노드의 위치정보가 발신지로 입력되고 홈에이전트의 주소가 목적지로 입력된다. 이런 식으로 입력해야만이 패킷이 홈에이전트로 전달되기 때문이다. 패킷을 수신한 홈에이전트는 패킷을 새로 만들어 패이로드에 수신한 패킷을 적재한다. 새로 만든 패킷의 헤더부분(Outer Header)에는 홈에이전트의 위치가 발신지로 입력되고 목적지 주소로는 액세스노드의 위치정보가 입력된다. 홈에이전트로부터 패킷을 수신한 액세스노드는 (그림 3)의 (B)처럼 새로운 터널링 기법을 적용한다. 외부패킷에는 모바일 싱크의 위치정보가 목적지로 들어가며 액세스노드의 위치정보를 발신지로 사용한다. 액세스노드로부터 패킷을 수신한 모바일 싱크는 외부헤더를 제거하고 내부패킷을 상위로 올린다. 내부패킷에는 모바일 싱크가 목적지로 되어 있으며 센서노드가 발신지로 되어 있다.

모바일 싱크가 센서노드로 패킷전송을 요청하면 DHA는 새로운 패킷을 생성하여 요청받은 패킷을 페이로드부분에 적재한다. (그림 3)의 (C)에서처럼 모바일 싱크의 DHA는 외부패킷의 헤더에는 모바일 싱크를 발신지로 하고 액세스 노드를 목적지로 한다. 내부패킷의 헤더에는 센서노드를 목적지로 하지만 발신지로는 모바일 싱크가 아니라 홈에이전트의 위치정보를 사용한다. 모바일 싱크로부터 패킷을 수신한 액세스 노드는 홈에이전트를 목적지로하는 패킷을 새로 생성한다. 홈에이전트의 위치정보는 수신한 패킷의 내부헤더에 있는 발신지로부터 얻는다. 패킷의 발신지로는 액세스 노드가 된다(그림 3)의 (D)). 액세스노드는 자신을 발신지로 하는 패킷을 센서노드를 목적지로 하여 전송한다.



(그림 3) DHA에서의 터널링

## 4. 성능평가

### 4.1 실험환경

본 논문에서는 센서네트워크용 운영체제인 TinyOS를 이용하여 DHA를 구현하여 TinyOS기반 시뮬레이터인 TOSSIM을 이용하여 성능평가를 하였다[17,18]. TinyOS는 버클리 대학에서 만든 이벤트기반의 운영체제이며 TOSSIM은 TinyOS로 구현된 어플리케이션을 컴퓨터상에서 시뮬레이션 할 수 있도록 해주는 시뮬레이터로서 센서노드인 Mica2의 스펙을 따라 동작한다. TOSSIM용 스크립트 언어인 Tython을 이용하여 모바일 싱크용 모드가 이동하는 것을 시뮬레이션하였다. 위치기반 라우팅 프로토콜로는 USC에서 개발한 GFR\_CLDP 프로토콜을 사용하였다[21]. GFR\_CLDP는 센서노드의 위치를 알고 있다는 가정하에 동작하며 노드번호 대신 위치정보로 라우팅을 수행한다. 시뮬레이션환경은 100X100크기의 필드에 센서노드들을 그리드 형태로 배치하였으며 노드의 수를 40, 100, 200, 400개 단위로 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 센서노드는 그리드상에서 이웃하는 노드와의 통신만 가능하도록 라디오를 설정하였다. 모바일 싱크는 Random Way Point 이동모델에 따라 이동하도록 하였다. 싱크는 한지점에서 임의의 지점으로 일정속도로 움직이며 도착후 일정시간동안 머무른 다음 다시 이동할 지점을 선택하여 일정속도로 이동하도록 하였다.

SODD(Sink-Oriented Data Dissemination approach)기법을 구현하여 DHA와의 성능을 비교하였다[2]. SODD는 싱크가 자신의 위치나 질의를 브로드캐스트하는 기법으로 Direct Diffusion과 같은 기법이 포함된다[14,15,16]. 본 논문에서는 모바일 싱크가 네트워크 상에서 이동하면서 자신의 위치를 센서네트워크에 브로드캐스트하도록 하였으며 센서노드들은 주기적으로 센싱한 데이터를 모바일 싱크로 전송하도록 SODD를 구현하였다. DHA에서는 센서노드들이 홈에이전트로 데이터를 전송하도록 하고 홈에이전트와 액세스 노드를 거쳐 모바일 싱크로 데이터가 전달되도록 하였다.

### 4.2 성능척도

모바일 싱크가 이동하면서 센서노드들이 전송하는 데이터를 얼마나 많이 수신하는가로 DHA와 SODD의 성능을 비교하였다. 센서네트워크에서 센서노드들이 전송한 데이터를 얼마나 많이 수신할 수 있는냐는 프로토콜의 기본 평가기준이라 할 수 있다. 노드들이 전송하는 데이터를 제대로 수신하지 못한다면 좋은 프로토콜이라 하기 힘들 것이다. 하지만 수신율을 높이기 위해서 많은 오버헤드가 든다면 자원이 제한적인 센서네트워크에 적합한 프로토콜로 보기 어렵다. 센서노드들이 전송하는 데이터를 수신하기 위해 필요한 오버헤드들 중 하나로 싱크의 이동으로 발생하는 브로드캐스트 패킷수를 측정하여 비교하였다. 이 브로드캐스트는 싱크의 새로운 위치를 알리는 목적으로 사용되는 것으로 수신율이 높더라도 브로드캐스트의 양이 많다면 통신에 많은 에너지를 소모하는 센서노드에는 적합한 프로토콜이 아닐 것이다. 최종적으로 DHA와 SODD의 전력소모량을 측정하여 비교하였다.

4.3 패킷 수신율

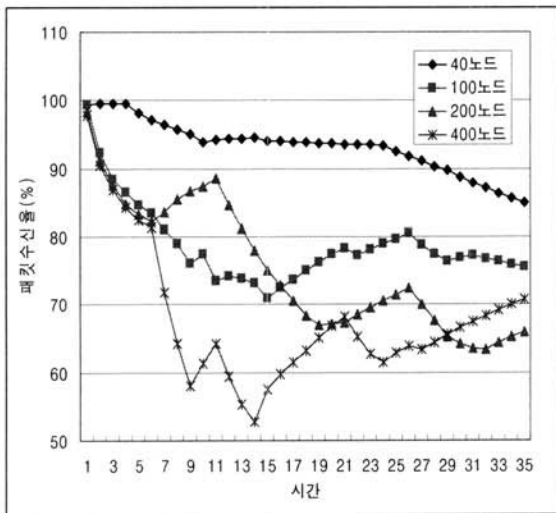
(그림 4)의 (A)는 SODD에서의 패킷 수신율을 보여주며 (B)는 DHA에서의 패킷 수신율을 보여준다. SODD의 경우 3장에서 언급된 것처럼 싱크가 이동하면 경로가 재설정되거나 위치정보가 지연되어 패킷이 손실되는 것을 알 수 있다. SODD 기법에서는 모바일 싱크가 이동하는 동안에 모바일 싱크의 위치가 가변적이기 때문에 위치기반 라우팅에서는 정확한 데이터 전송이 어렵다. 센서노드들이 전송하는 패킷 헤더에 모바일 싱크의 위치정보가 들어 있고 노드들이 이정보로 라우팅을 하기 때문에 모바일 싱크가 지나간 위치로 패킷이 전달되어 손실되어 수신율이 낮아진다.

모바일 싱크가 한 지점에 멈추는 경우 자신의 위치정보를 주변 노드들에게 브로드캐스트하며 주변 노드들은 이정보를 다시 브로드캐스트한다. 브로드캐스트를 통해 위치정보가 전파되면서 경로가 재설정되어 패킷이 중간에 드롭될 수 있다. 노드 수가 증가할수록 지연이 길어지고 재설정하여야 하는

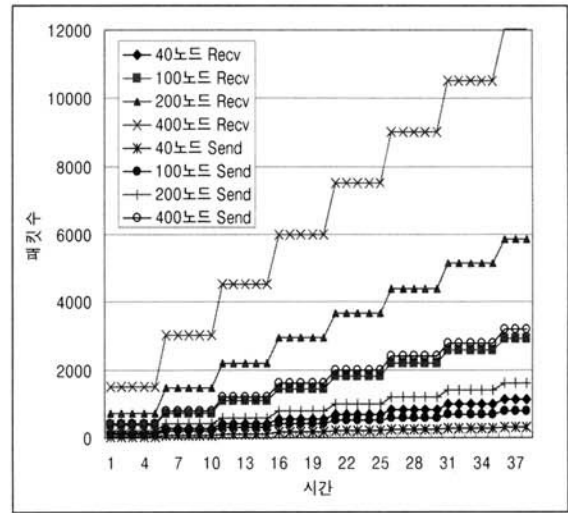
경로가 길어지기 때문에 수신율이 낮아진다. 그래프상에서 노드수가 많을수록 기록이 심하게 나타나는 부분이 있는데 이는 브로드캐스트 스토밍으로 인하여 네트워크 전체가 혼잡해지기 때문인 것으로 판단된다. 위치정보가 브로드캐스트되면 네트워크상의 모든 노드들이 최소 한번씩은 브로드캐스트에 참여하기 때문에 네트워크가 매우 혼잡해진다. 이로 인하여 데이터 패킷의 전송이 지연되면 싱크에서 수신되는 패킷량이 급격히 감소하였다가 브로드캐스트가 끝나서 혼잡이 사라지면 다시 데이터 패킷 전송이 원활해져서 싱크에서의 수신율이 높아지는 것으로 판단된다. 하지만 DHA의 경우 싱크가 이동하더라도 센서노드들이 전송하는 경로는 일정하며 홈 에이전트와 액세스노드사이에만 경로가 바뀌면 되기 때문에 노드수에 상관없이 패킷 손실이 거의 없는 것을 볼 수 있다.

4.4 브로드캐스트 패킷수

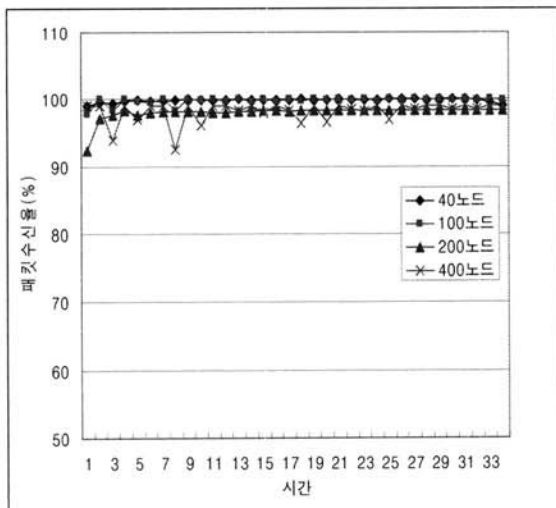
(그림 5)는 SODD와 DHA에서 각각 송수신된 브로드캐스트



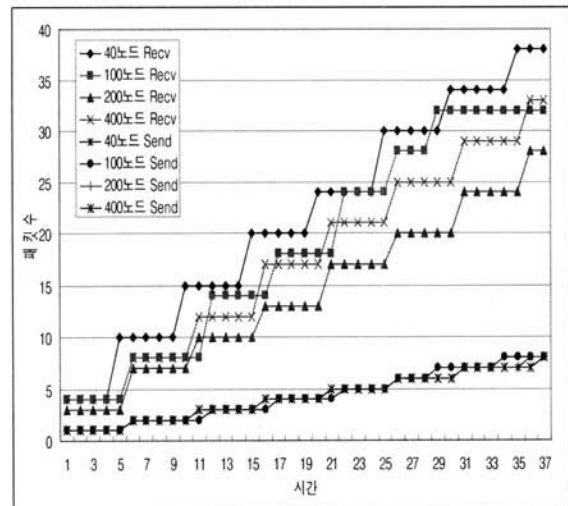
(A) SODD에서의 패킷 수신율



(A) SODD에서의 브로드캐스트 패킷수



(B) DHA에서의 패킷 수신율



(B) DHA에서의 브로드캐스트 패킷수

(그림 4) 패킷 수신율

(그림 5) 브로드캐스트 패킷수

패킷수를 보여준다. (그림 6의 (A))를 보면 SODD의 경우 모바일 싱크가 다른 지점으로 이동할 때마다 위치정보를 브로드캐스트하고 주변 노드들이 이를 다시 브로드캐스트하기 때문에 송수신되는 브로드캐스트 패킷수가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 무선네트워크상에서 발생하는 브로드캐스트 스토밍에 전형적인 형태로 네트워크상에 존재하는 노드수에 비례하여 패킷수가 증가하는 것으로 나타났다.

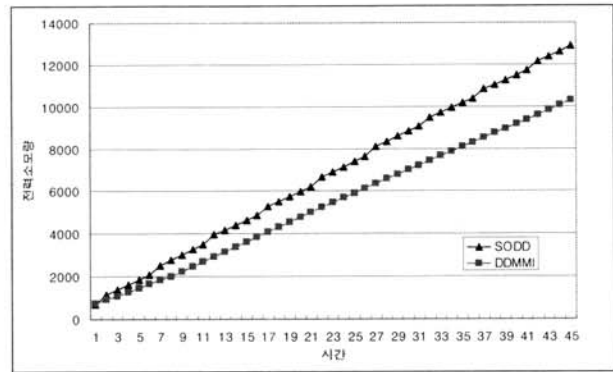
시뮬레이션상에서 노드들은 그리드 형태로 위치하며 이웃하는 노드와의 통신만 가능하기 때문에 노드당 4개의 이웃노드가 존재한다. 따라서 하나의 노드는 4개의 이웃하는 노드로부터 브로드캐스트 패킷을 수신하기 때문에 그래프상에서 수신하는 패킷수가 모바일 싱크가 이동할 때마다 4배씩 증가하는 것으로 나타났다. 시뮬레이션상에서는 통신범위를 좁혀서 4개의 이웃노드만이 존재했지만 실제 네트워크상에서는 더 많은 이웃노드들이 존재할 수 있고 따라서 시뮬레이션상에서보다 많은 브로드캐스트 패킷을 수신할 것이다. 브로드캐스트가 많을수록 네트워크상에 혼잡이 증가하며 노드에 많은 부하가 발생할 수 있다.

싱크가 이동하면서 매우 많은 브로드캐스트를 발생시키는 SODD에 비해 DHA는 브로드캐스트를 거의 사용하지 않는다. 모바일 싱크가 한 지점에 멈추면 자신의 위치를 주변 노드들에게 브로드캐스트하는 것은 SODD와 동일하다. 하지만 이를 다시 브로드캐스트하는 SODD와는 달리 DHA에서는 브로드캐스트가 더 이상 전파되지 않는다. 모바일 싱크 주변에 있는 노드들만 모바일 싱크의 정확한 위치를 알면 되기 때문이다. 따라서 (그림 6의 (B))에서 볼 수 있는 것처럼 DHA에서는 브로드캐스트가 모바일 싱크의 이동횟수에 비례하여 발생한다. 모바일 싱크가 전송한 브로드캐스트 패킷은 4개의 노드에만 전달되기 때문에 노드들이 수신하는 브로드캐스트 패킷의 수도 4개씩 증가하는 것을 볼 수 있다. 100개 노드일 경우 SODD는 100개의 브로드 캐스트 패킷이 발생하였지만 DHA의 경우 4개의 패킷만이 발생하여 4%정도의 패킷만으로도 높은 수신율을 가질 수 있다. 이 수치는 노드의 수가 증가할수록 더욱 작아질 것이다.

#### 4.5 전력소모

프로토콜의 전력소모량은 100개의 노드로 실험하였으며 라디오에서 소모되는 전력만 측정하였다. DHA가 통신프로토콜이기 때문에 센서나 CPU자원의 사용으로 인한 전력소모는 제외하고 통신으로 인하여 소모되는 에너지만 고려하여 비교하였다.

(그림 6)은 SODD와 DHA에서의 시간에 따른 전력소모량을 보여준다. 앞절에서 살펴보았듯이 SODD가 DHA에 비해서 브로드캐스트의 수가 많기 때문에 전반적으로 전력소모량이 많은 것으로 나타났다. 일반적으로 센서노드에서 패킷을 수신하지 않는 경우와 패킷을 수신하는 경우에 동일한 에너지를 소모하기 때문에 패킷 수신으로 인한 에너지소모는 측정하기 어렵다. 다른 노드들이 패킷을 송신하는지 확인하기 위해서 기본적으로 수신모드로 동작하기 때문이다. 시뮬레이션에서도 패킷을 송신하는 경우가 아니면 라디오가 수신모



(그림 6) 와 DHA의 전력소모량 비교

드로 동작하게 되어 있다. SODD에서처럼 브로드캐스트 패킷 수신량이 증가하더라도 전력소모량에는 크게 영향을 미치지 않는다고 볼 수 있다. 따라서 만약 패킷을 송수신하는데 소모되는 에너지만 고려한다면 DHA와 SODD의 전력소모량의 차이는 더욱 증가할 것이다. SODD의 전력소모량이 10000일 때 DHA의 전력소모량이 8000정도로 20%적은 전력을 소모하는 것으로 나타났다. SODD와 DHA의 전력소모량 차이가 시간에 비례하여 증가하는 것으로 나타나 장시간에 걸쳐 사용할 경우 DHA가 SODD에 비해 매우 많은 에너지를 절약할 수 있을 것으로 생각된다.

### 5. 결론

유비쿼터스 환경에서 데이터를 수집하여 사용자에게 전달하는 센서네트워크에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 센서네트워크에 관한 초기에 연구들은 고정적인 싱크를 가지는 정적인 네트워크였으나 최근에는 싱크가 이동하면서 직접 데이터를 수집하는 모바일 싱크의 개념이 대두되고 있다. 모바일 싱크는 네트워크 전체의 에너지 소모를 균등하게 하는 등에 많은 장점이 있지만 위치가 변하기 때문에 데이터 전송에 신뢰성을 보장하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 적은 오버헤드로 모바일 싱크로의 데이터 전송에 신뢰성을 보장하는 DHA기법을 제안하였다. DHA는 홈에이전트와 액세스 노드를 사용하여 모바일 싱크를 대리하도록 한다. 센서네트워크 전체에 대하여 모바일 싱크를 대리하는 홈에이전트를 사용함으로써 센서노드들이 데이터를 전송하는 목적지를 일원화 시키고 고정된 경로를 유지하도록 한다. 액세스 노드는 모바일 싱크가 이동하는 지점에 설정하여 홈에이전트와 모바일 싱크사이를 중계한다. 싱크의 이동이 적은 경우는 액세스 노드가 변하지 않고 이동이 큰 경우에만 액세스 노드를 변경하여 싱크의 이동으로 인한 오버헤드를 최소화한다. 실험을 통하여 DHA는 싱크의 위치를 알리는데 필요한 브로드캐스트 패킷수를 줄여 오버헤드를 최소화할 수 있음을 보이며 최소한의 오버헤드로 최대한의 데이터 전송의 신뢰성을 보장할 수 있음을 보였다. 또한 실험에서는 DHA가 기존의 방식보다 적은 전력을 소모하므로 센서네트워크의 수명을 증가시킬 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey." *Computer Networks*, Vol.38 No.4, pp.393-422, 2002.
- [2] H. Luo, Fan Ye, J. Cheng, S. Lu, L. Zhang, "TTDD: Two-Tier Data Dissemination in Large-scale Wireless Sensor Networks," *ACM Wireless Networks*, Vol.11, Issue 1-2, pp.161-175, January 2005.
- [3] H. S. Kim, A. bdelzaher, T. F., W. H., "Minimum-energy Asynchronous Dissemination to Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," *SenSys 2003*, pp.193-204, 2003.
- [4] J. Luo, J. Panchard, M. Piorkowski, M. Grossglauser, J. Hubaux, "MobiRoute: Routing towards a Mobile Sink for Improving Lifetime in Sensor Networks," *International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS '06)*, pp.480-497, San Francisco, 18-20 June 06.
- [5] P. Baruah, R. Urgaonkar, B. Krishnamachari, "Learning-Enforced Time Domain Routing to Mobile Sinks in Wireless Sensor Fields." *LCN 2004*, pp.525-532, 16-18 Nov. 2004.
- [6] D. Vass, Z. Vincze, R. Vida, A. Vidács, "Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks Using Mobile Base Station", *Proc. of 11th Open European Summer School and IFIP WG6.6, WG6.4, WG6.9 Workshop (EUNICE 2005)*, Vol.196, p.173-186, Colmenarejo, Spain, 6-8 July, 2005.
- [7] K. Akkaya, M. Younis, "Energy-Aware Routing to a Mobile Gateway in Wireless Sensor Networks," *Journal of Software*, ,17(8):1785-1795, 2006.
- [8] G. DK, Lin J, M. AS, R. BE, Y. YR, "Towards mobility as a network control primitive." *In Proceedings of ACM MobiHoc'04*, pp.163-173, Roppongi, Japan.
- [9] C. Curino, M. Giani, M. Giorgetta, A. Giusti, A.L. Murphy, G.P. Picco, "Mobile Data Collection in Sensor Networks: The TinyLime Middleware," *In Journal of Pervasive and Mobile Computing*, Vol.4, No.1, pp.446-469, Elsevier, December 2005.
- [10] R. Shah, S. Jain S. Roy, W. Brunette, "Data mules: Modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks," *Tech. Rep. IRS-TR03 -001, Intel Research Seattle*, January 2003.
- [11] D. Jea, Arun A. Somasundara, Mani B. Srivastava, "Multiple Controlled Mobile Elements (Data Mules) for Data Collection in Sensor Networks." *DCOSS 2005*, p. 244-257, 2005.
- [12] T. S. Oapos Keffe, D. Bacon, "Event dissemination in mobile wireless sensor networks," *Mobile Ad-hoc and Sensor Systems 2004*, pp.573- 575, 25-27 Oct. 2004.
- [13] I. Papadimitriou, L. Georgiadis, "Maximum Lifetime Routing to Mobile Sink in Wireless Sensor Networks," *SoftCOM 2005*, Croatia, September 15-17, 2005.
- [14] W. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks." *ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'99)*, p. 174 - 185, 1999.
- [15] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, "Directed Diusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks." *ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'00)*, p. 56-67, 2000.
- [16] D. A., Van Hook, Daniel J., McGarry, Stephen M., Kolek, Stephen R., "Declarative ad-hoc sensor networking", *Proc. SPIE Vol.4126*, p.109-120, 2000.
- [17] TinyOS, <http://www.tinyos.net/>
- [18] Tython, <http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/doc/tython/tython.html>
- [19] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", <http://www.ietf.org/rfc/rfc3775.txt>.
- [20] H. Soliman, "Mobile IPv6: Mobility in a Wireless Internet", ADDISON-WESLEY, 2004.
- [21] Y. Jin Kim, R. Govindan, B. Karp, S. Schenker, "On the Pitfalls of Geographic Face Routing " *Proceedings of the Third ACM/SIGMOBILE International Workshop on Foundations of Mobile Computing (DIAL-M-POMC 2005)*, p. 34-43, Sep., 2005.
- [22] S. Chen, Y. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network." *Wirel. Netw.* 8, p.153-167, 2/3 (2002).
- [23] S. Ratnasamy, B. Karp, L. Yin, F. Yu, D. Estrin, R. Govindan, S. Shenker, "GHT: A Geographic Hash-table for Data-centric Storage in Sensornets" *In First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA)*, September 2002.



#### 이 작 형

e-mail : Jinnie4u@kangwon.ac.kr

2003년 강원대학교 정보통신공학과(공학사)

2005년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 (공학석사)

2005년~현 재 강원대학교 컴퓨터정보통신 공학과(박사과정)

관심분야 : 멀티미디어 시스템, 센서 네트워크



#### 정 인 범

e-mail : ibjung@kangwon.ac.kr

1985년 고려대학교 전자공학과(학사)

1985년~1995년 ㈜삼성전자 컴퓨터 시스템 사업부 선임연구원

1992년~1994년 한국과학기술원 정보통신 공학과(석사)

1995년~2000년 8월 한국과학기술원 전산학과(박사)

2001년~현 재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수

관심분야 : 운영체제, 소프트웨어 공학, 멀티미디어 시스템, 센서네트워크