

센서 네트워크를 위한 그리드 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜 (Grid-based Energy Efficient Routing Protocol for Sensor Networks)

정성영^{*} 이동욱^{*}
(Sung-Young Jung) (Dong-Wook Lee)

김재훈^{**}
(Jai-Hoon Kim)

요약 센서 노드와 싱크 노드로 구성된 센서 네트워크는 모든 센서 노드들이 한정된 에너지를 가지고 운용되기 때문에 네트워크를 오랫동안 유지하여 가용성을 높이기 위한 연구가 다양하게 진행되어 왔다. 대부분의 기존 연구들은 싱크 노드의 이동을 고려하지 않았기 때문에 사람이나 자동차 등에 의해 싱크가 이동성을 가지는 환경에는 부적합하다. 본 논문에서는 그리드 기반의 센서 네트워크에서 이동 싱크와 소스 노드간의 경로 설정에서 요구되는 통신 부하(제어 패킷의 수 및 전송 범위)를 줄여 센서 네트워크의 에너지 소모를 줄이고, 경로 설정의 신뢰성을 확보하기 위한 방안을 제안한다. 제안 기법은 다수의 싱크 노드가 존재하는 환경은 물론 큰 규모의 센서 네트워크에서도 성능

의 저하가 없어 확장성이 뛰어나며, 기존의 그리드와 클러스터 기반의 프로토콜과 비교하여 약 70% 수준으로 에너지 소모를 줄일 수 있어 센서 네트워크의 생명주기를 늘리고 가용성을 높일 수 있다.

키워드: 센서 네트워크, 이동 싱크, 클러스터, 라우팅, 경로 설정

Abstract Sensor nodes in wireless network have several limitations such as lack of energy resource and network bandwidth. There are many researches to extend lifetime of sensor network and enhance availability. However, most of the previous researches didn't consider the mobile sink node. Those researches aren't suitable in the environment having mobile sinks. In this paper, we propose a scheme that reduces communication overheads and energy consumptions and improves reliability in routing path setup. Proposed scheme has excellent scalability without degrading performance in environment where many sink nodes exist and/or the network size is huge. Proposed scheme saves the energy consumption up to 70% in comparison with the previous grid-based and cluster-based protocol. As a result, proposed scheme increases the lifetime of sensor network and enhances availability of wireless sensor network.

Key words: Sensor Network, Mobile Sink, Cluster, Routing, Path Setup

1. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 여러 개의 센서 노드들이 서로 협력하여 수집한 데이터를 네트워크를 통해 싱크에게 전달하는 시스템이다. 싱크가 받은 수집 데이터들은 어플리케이션에서 가공되어 사용되거나 사용자에게 제공된다. 센서 네트워크는 산업 전반에서 일상생활에 이르기까지 수많은 분야에 응용되며, 군사용, 교통, 환경 감시, 의료 분야, 홈 네트워크, 빌딩 제어 등 다양한 분야에 걸쳐 응용이 될 수 있다[1].

일반적으로 센서 노드들은 감지 대상 지역에 임의적인 방식으로 배치되어 무선 네트워크 환경에서 데이터를 수집한다. 배터리 파워로 동작하는 센서 노드는 일단 감지 대상 지역에 배치된 이후에는 충전이 사실상 불가능하기 때문에 배터리 파워를 효율적으로 사용하는 것이 필수적이다. 따라서 에너지 소모에 많은 비중을 차지하는 송수신 기능의 에너지 소모를 줄이기 위한 방안이 연구되어 다양한 라우팅 프로토콜이 제안 되었다[2-4]. 기존의 이러한 라우팅 프로토콜들은 사람이나 자동차 등에 의한 싱크의 이동을 고려하지 않은 라우팅 프로토콜이기 때문에 이동 싱크가 존재하는 센서 네트워크에서는 좋은 성능을 나타내지 못한다. 이는 싱크 노드의 위치가 바뀔 때마다 모든 센서 노드들에게 지속적으로

· 본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크원천기반기술개발사업의 지원에 의한 것이며, 2007년도 아주대학교 일반교내연구비 지원에 의하여 수행되었음

· 이 논문은 2007 한국컴퓨터종합학술대회에서 '센서 네트워크를 위한 그리드 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

* 학생회원 : 아주대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학과
inyoureyes98@ajou.ac.kr
dwlee@ajou.ac.kr

** 정 회원 : 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 교수
jaikim@ajou.ac.kr
논문접수 : 2007년 9월 28일
심사완료 : 2008년 1월 4일

Copyright©2008 한국정보과학회: 개인 목적이거나 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 제14권 제2호(2008.4)

자신의 위치 정보를 전송해야 하기 때문이다. 같은 위치 정보 업데이트는 센서 노드들의 배터리 소모를 가져오게 되므로 이동 싱크가 존재하는 환경에서 위의 프로토콜들은 부적합하다. 이동 싱크의 문제를 해결하기 위한 프로토콜로 TTDD(Two-tier data dissemination)[5], CBPER[6] 등이 제안 되었다.

본 논문에서는 TTDD와 CBPER의 단점을 보완하여 에너지 소모를 최소화 하여 센서 네트워크의 생명주기를 늘리고 가용성을 높일 수 있는 방법을 제안한다.

2. 관련 연구

2.1 TTDD(Two-tier Data Dissemination)

TTDD 방식은 관심사건을 감지한 소스 노드를 중심으로 그리드를 형성하고, 그리드의 교차점에 위치한 센서 노드가 싱크와 소스 사이의 통신을 위한 경로 구성을 책임지는 방식이다. 또한 1차 대행자(Primary Agent) 노드와 중계자(Immediate Agent) 노드를 두어 싱크 노드가 이동을 하더라도 이들 대행자 노드들을 통해 패킷을 전송할 수 있도록 하기 때문에 싱크 노드의 이동 시에도 안정된 패킷 전송을 보장한다. 하지만 그리드를 생성하고 유지하는데 많은 비용이 소모된다는 단점이 있다.

2.2 CBPER(Cluster-based Power-Efficient Routing)

CBPER 기법은 그리드와 클러스터의 개념을 결합한 라우팅 프로토콜로서 하나의 영구적인 그리드 구조를 만들어 네트워크에 플러딩 되는 제어 패킷의 수를 줄였다. 관심사건을 감지한 소스 노드는 자신이 위치한 셀의 세로방향에 위치한 셀로 데이터 공고 패킷을 보내며, 데이터를 원하는 싱크 노드는 자신이 위치한 셀의 가로방향에 위치한 셀로 데이터 요청 패킷을 보내어 두 패킷이 교차함으로써 싱크 노드와 소스 노드간의 경로가 형성되는 방식이다. 일반적으로 감지 대상 지역에는 싱크 노드의 수보다 소스 노드의 수가 상대적으로 많기 때문에 데이터 공고 패킷과 데이터 요청 패킷의 전송 범위에 차이를 두어 패킷 전송 횟수를 줄이고 에너지를 개선할 수 있다.

3. 제안 기법

제안 기법은 데이터 공고 패킷의 전송범위를 최소화함으로써 CBPER 기법보다 적은 양의 패킷으로 라우팅 경로를 설정한다.

3.1 헤더노드 선출

감지 대상 지역에 센서 노드들이 배치된 후 각 센서 노드는 자신의 위치정보를 근거로 자신의 셀을 결정한다. 각 센서 노드별로 임의의 시간이 지난 후 헤더 공고 패킷을 셀 내로 플러딩 한다. 헤더 공고 패킷은 공고하는 노드의 위치 및 셀 식별자, 헤더 공고 패킷 생성 시

간, 헤더 지속 시간 정보를 포함한다. 각 센서 노드가 수신한 패킷의 셀 식별자가 자신의 셀 식별자와 다를 경우 이 패킷을 버림으로써, 셀 내부로만 헤더 공고 패킷이 플러딩 되는 것이 가능하다. 헤더 공고 패킷을 수신한 노드는 자신의 헤더 공고 패킷 생성 시간보다 늦은 패킷일 경우 버린다. 이런 방식으로 한 셀 내에서 헤더 공고 패킷 생성 시간이 가장 빠른 패킷만이 셀 내부 전체로 플러딩 되며, 그 헤더 공고 패킷을 생성한 노드가 헤더 지속시간 동안 셀의 헤더 노드가 된다. 헤더 지속 시간은 센서 노드 자신의 배터리 양에 의해 결정된다. 특정 경계 값(Threshold) 이상의 배터리 양을 보유한 센서 노드는 자신의 배터리 양에 근거하여 헤더 지속 시간을 결정한다. 다음 헤더 노드를 선정하기 위해 헤더 공고 패킷을 생성하여, 현재 헤더 노드의 헤더 지속시간이 끝나기 전 지역적으로 플러딩 한다. 이후 헤더 노드의 선출 방식은 최초 헤더 노드를 선출하는 방식과 동일하다.

3.2 데이터 공고(Data Announcement)

감지 대상 지역에서 관심사건이 발생하면 그 관심사건을 제일 먼저 감지한 센서 노드가 소스 노드가 된다. 소스 노드는 자신의 위치, 셀 식별자, 데이터 생성 시간 정보를 포함하는 데이터 공고 패킷을 생성하여 자신이 속한 셀의 지역 헤더 노드(Local Header Node)에게 전송한다. 데이터 공고 패킷을 수신한 지역 헤더 노드는 데이터 공고 패킷을 세로방향 이웃 셀의 헤더 노드들에게 전송을 한다. 이런 방식으로 데이터 공고 패킷은 세로방향으로 퍼져 나간다. 단, 데이터 공고 패킷은 감지 대상 지역의 세로축 중앙 셀의 헤더 노드까지만 전송된다. 데이터 공고 패킷을 수신한 모든 헤더 노드는 데이터 공고 패킷의 정보를 자신의 캐시에 저장한다.

그림 1은 관심사건을 감지한 3개의 센서 노드가 소스

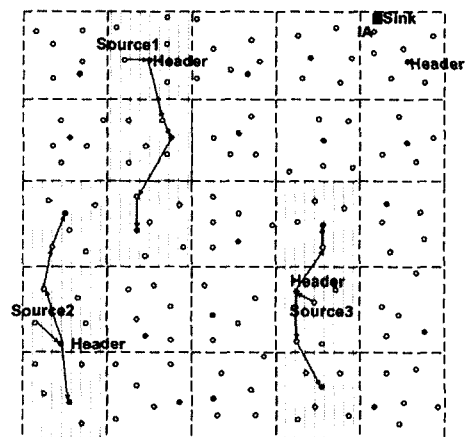


그림 1 소스 노드의 데이터 공고

노드가 되어 데이터 광고 패킷을 생성하여 지역 헤더 노드에게 보내고, 이를 수신한 지역 헤더 노드가 세로방향으로 데이터 광고 패킷을 전송하는 과정을 보여준다. 데이터 광고 패킷은 소스 노드가 위치한 셀의 세로방향 중앙 셀까지만 전송된다.

3.3 데이터 요청(Data Request)

싱크 노드는 감지 대상 지역에 배치될 때 자신에게서 가장 가까운 센서 노드를 중계자(Immediate Agent) 노드로 선택한다. 싱크 노드가 데이터를 원할 경우 중계자 노드의 위치, 셀 식별자 정보를 포함하는 데이터 요청 패킷을 생성하여 중계자 노드에게 전송한다. 중계자 노드는 데이터 요청 패킷을 지역 헤더 노드에게 전달하는 역할을 한다. 중계자 노드는 싱크 노드의 이동시 안정적인 라우팅을 보장하기 위해 존재한다. 만약 싱크 노드가 중계자 노드와 통신이 불가능한 거리로 이동하게 되는 경우 싱크는 중계자 노드와 통신 가능한 새로운 중계자 노드를 선택하고, 두 중계자 노드는 서로의 위치를 교환하여 경로를 유지함으로써 싱크 노드가 이동을 하더라도 지속적인 통신이 가능하게 한다. 이렇게 중계자 노드를 설정해 놓음으로써 지역 헤더 노드에게 싱크 노드 위치의 투명성을 제공한다.

그림 2는 싱크 노드가 데이터 요청 패킷을 전송하는 것을 보여준다. 싱크 노드가 중계자 노드에게 데이터 요청 패킷을 전송하면 이를 수신한 중계자 노드는 지역 헤더 노드에게 데이터 요청 패킷을 전송한다. 데이터 요청 패킷을 수신한 지역 헤더 노드는 데이터 요청 패킷을 자신의 가로방향 이웃 셀의 헤더 노드들에게 전송한다. 또한 감지 대상 지역의 세로축의 중앙 방향을 향하는 이웃 셀의 헤더 노드들에게도 전송한다. 이런 방식으로 데이터 요청 패킷은 싱크 노드가 위치한 셀의 가로방향 헤더 노드들과 세로방향 중앙의 헤더 노드에게 전송된다. 세로방향 중앙의 헤더 노드는 자신의 가로방향 이웃 셀의 헤더 노드들에게 데이터 요청 패킷을 전송한다. 이런 방식으로 데이터 요청 패킷은 감지 대상 지역 중앙의 가로방향의 모든 헤더 노드들에게 전송된다. 데이터 요청 패킷을 수신한 모든 헤더 노드는 패킷의 정보를 자신의 캐시에 저장한다. A, B, C, D 셀은 데이터 광고 패킷과 데이터 요청 패킷을 수신하는 헤더 노드가 가진다. 데이터 광고 패킷을 캐시하고 있는 헤더 노드가 데이터 요청 패킷을 수신하면 자신의 캐시에 있는 데이터 광고 패킷들의 유효성을 판단한다. 이는 데이터 광고 패킷에 포함된 데이터 생성 시간 정보에 근거하여 이루어진다. 유효한 데이터라고 판단한 경우, 데이터 요청 패킷을 소스 노드에게 전송할 것인지 여부를 결정한다. 데이터 요청 패킷의 전송여부 결정은 소스 노드와 싱크 노드의 위치에 따라 결정된다. 소스 노드와 싱크 노드가

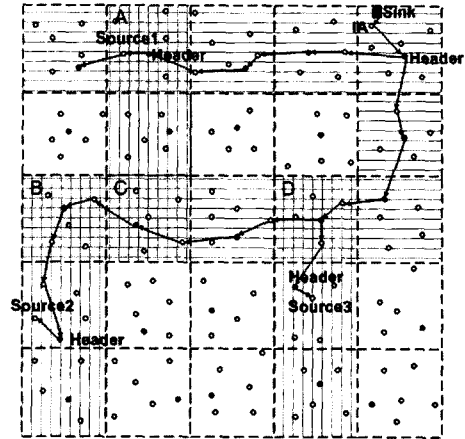


그림 2 싱크 노드의 데이터 요청

감지 대상 지역의 중앙 가로축을 경계로 다른 지역에 위치할 경우에는 데이터 요청 패킷을 바로 소스 노드에게 전송한다. B, D 셀의 헤더 노드가 이 경우이다. 하지만 중앙 가로축을 경계로 같은 지역에 위치할 경우 데이터 광고 패킷과 요청 패킷은 두 개의 셀의 헤더 노드에서 수신하게 되므로, 두 셀 모두가 동일한 소스 노드에게 데이터 요청 패킷을 전송하는 것은 불필요한 패킷 전송을 동반하므로 하나의 셀은 전송을 하지 않아야 한다. 이 경우 두 셀의 헤더 노드는 데이터 요청 패킷에 포함된 싱크 노드가 위치한 셀 식별자의 Y 좌표를 확인한 후 동일한 Y 좌표를 가진 셀의 헤더의 경우만 데이터 요청 패킷을 소스 노드에게 전송한다. 결국 C 셀이 아닌 A 셀의 헤더 노드가 소스1에게 데이터 요청 패킷을 전송한다. A, B, D 셀의 헤더 노드는 데이터 광고 패킷을 수신한 역 경로를 따라 소스 노드의 지역 헤더 노드까지 데이터 요청 패킷을 전송한다. 지역 헤더 노드는 각각의 소스 노드들에게 데이터 요청 패킷을 전송한다. 이러한 방식으로 데이터 요청 패킷은 각 소스 노드에게 전송이 된다.

3.4 데이터 전송(Data Forwarding)

데이터 요청 패킷을 수신한 소스 노드는 데이터 패킷(Data Packet)을 생성하여 지역 헤더 노드에게 전송한다. 지역 헤더 노드는 캐시하고 있는 데이터 요청 패킷의 셀 식별자를 보고 싱크 노드가 속한 지역의 헤더 노드까지 데이터 패킷을 전송한다. 지역 헤더 노드에 도착한 데이터 패킷은 중계자 노드를 거쳐 싱크 노드에게 전송된다. 만약 싱크 노드가 위치를 옮겨 새로운 중계자 노드를 선택했다면 이전 중계자 노드는 새로운 중계자 노드의 위치를 알기 때문에 데이터 패킷을 새로운 중계자 노드에게 보내고, 따라서 싱크 노드가 새로운 중계자 노드를 통해 데이터 패킷을 수신할 수 있다.

4. 성능 평가

본 장에서는 CBPER 기법과의 비교를 통해 제안 기법의 성능을 평가한다. 세 가지 조건(소스 노드의 수, 싱크 노드의 수, 감지 대상 지역의 크기)을 변화시키면서 에너지 소모를 측정 및 비교 하였다.

첫 번째 실험은 1000m × 1000m의 감지대상 지역을 200m × 200m 크기의 25개의 셀로 고정하고, 한 개의 싱크 노드와 400개의 센서 노드를 배치하여 소스 노드의 수를 변화시키면서 전송횟수와 에너지 소모를 측정하였다.

그림 3은 소스 노드 수의 증가에 따른 제어 패킷 전송량을 비교한 것이다. 소스 노드의 수가 많아질수록 CBPER 기법과 제안 기법 모두 제어 패킷의 양이 증가하지만 제안 기법이 CBPER 기법보다 적은양의 패킷으로 경로를 설정함을 확인할 수 있으며, 또한 소스 노드 수에 비례하여 제어 패킷 전송 횟수의 격차도 커짐을 알 수 있다. 이는 제안 기법이 CBPER 기법에 비해 효율적임을 증명함과 동시에 소스 노드가 많을수록 더욱 효율적임을 나타낸다. 소스 노드 20개일 경우를 보면, 제안 기법의 제어 패킷 전송량이 CBPER 기법의 약 54% 수준으로 나타났다. 이는 제어 패킷 중 데이터 공고 패킷의 양이 CBPER 기법의 50% 수준으로 감소하고, 데이터 요청 패킷의 양도 CBPER 기법의 53% 수준으로 감소하였기 때문이다.

그림 4는 실제 데이터 전송과정까지 포함한 에너지 소모량을 측정하여 CBPER 기법에 대한 제안 기법의 에너지 소모율을 나타낸 것이다. 소스 노드의 수가 증가함에 따라 제안 기법의 에너지 소모율이 CBPER 기법과 비교하여 지속적으로 낮아짐을 알 수 있다. 제안 기법의 에너지 소모율은 소스 노드가 20개일 때 CBPER 기법의 70% 정도이다. 이는 데이터 전송 과정에서의 에너지 소모는 비슷하지만 제어 패킷 전송을 위해 소모한 에너지가 54%로 감소했기 때문이다.

두 번째 실험은 첫 번째 실험과 동일한 조건에서 싱크 노드의 수를 1, 2, ..., 6으로 점진적으로 증가 시키면서 에너지 소모를 측정 및 비교 하였다.

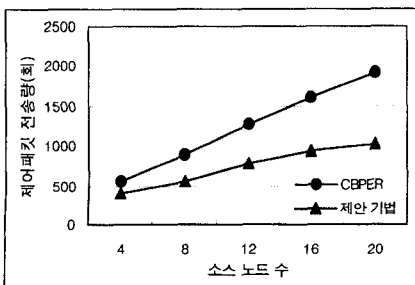


그림 3 소스 노드 수에 따른 제어 패킷 전송량

그림 5는 싱크 노드 수의 증가에 따른 에너지 소모량 차이를 나타낸 것이다. 싱크 노드의 수가 증가 할수록 두 기법의 에너지 소모 격차가 커짐을 알 수 있다. 이는 제안 기법이 다수의 싱크가 있는 환경에서도 CBPER 기법보다 에너지 소모 면에서 더 우수함을 보여준다.

세 번째 실험은 첫 번째 실험과 동일한 조건에서 감지 대상 지역의 규모를 1000m × 1000m에서 2000m × 2000m까지 200m 단위로 증가 시키면서 에너지 소모를 비교한 것이다.

그림 6은 감지 대상 지역의 크기에 따른 에너지 소모를 비교한 것이다. 제안 기법은 감지 대상 지역의 크기가 증가 하여도 에너지 소모 면에서 CBPER 기법보다 우수하며 CBPER 기법에 비해 70% 정도의 에너지 소모를 지속적으로 유지한다. 이를 통해 제안 기법은 센서

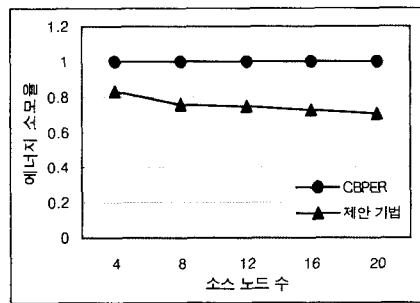


그림 4 CBPER 기법 대비 에너지 소모율

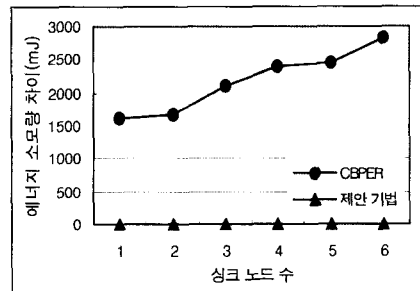


그림 5 싱크 노드 수에 따른 에너지 소모량 차이

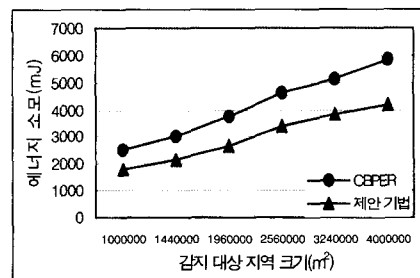


그림 6 감지대상 지역 크기 변화에 따른 에너지 소모

네트워크의 규모가 커지더라도 성능이 저하되지 않아 확장성이 뛰어난을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 그리드 기반의 센서 네트워크에서 경로 설정에서 요구되는 통신부하를 줄여 센서 네트워크의 에너지 소모를 줄이고, 경로 설정의 신뢰성을 확보하기 위한 방안을 제안하였다. 제안 기법은 제어 패킷의 전송량을 줄여 기존 기법에 비해 경로 설정에 요구되는 비용을 54%까지 감소시켰으며, 센서 네트워크의 에너지 소모를 70% 수준으로 낮추었다. 또한 싱크 노드의 수가 많아지거나 센서 네트워크의 규모가 커지더라도 성능이 저하되지 않아 다량의 싱크 노드가 있는 대규모 센서 네트워크에서도 뛰어난 성능을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, August 2002.
- [2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks," In *Proceedings of the International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, August 2000.
- [3] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, August 1999.
- [4] Fan Ye, Gary Zhong, Songwu Lu, Lixia Zhang, "GRAdient Broadcast: A Robust Data Delivery Protocol for Large Scale Sensor Networks," to appear in *ACM Wireless Networks (WINET) Journal*, March 2005.
- [5] Fan Ye, Haiyun Luo, Jerry Cheng, Songwu Lu, and Lixia Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks," In *Proceedings of ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, September 2002.
- [6] 권기석, 이승학, 윤현수, "센서 네트워크를 위한 클러스터 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜", *정보과학회논문지 : 정보통신* 제33권 제1호, 2006.2