

무선 센서네트워크에서 노드의 에너지와 연결성을 고려한 클러스터 기반의 백본 생성 알고리즘

On Generating Backbone Based on Energy and Connectivity for WSNs

신인영* 김문성** 추현승***
Inyoung Shin Moonseong Kim Hyunseung Choo

요약

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)는 기존의 애드혹 네트워크(Ad-hoc Networks)보다 제한된 노드 자원, 배터리 의존성과 같은 제약사항을 가진다. 이러한 이유로 기존의 방법들과는 다른 형태의 에너지 효율적인 라우팅 연구가 진행되었지만 여전히 많은 문제점을 가지고 있다. 그러므로 본 논문에서는 노드의 에너지와 차수를 고려한 클러스터 기반의 백본 생성 알고리즘을 제안한다. 클러스터링과 같은 계층구조 방식은 본질적으로 데이터 집중 및 융합에 유리한 장점이 있으며, 클러스터 헤드의 관리에 의해서 일반 노드들을 조정하여 전력 소모도 낮출 수 있다. 또한 백본을 구성하는 백본노드만 라우팅 정보를 유지하여 제어트래픽과 같은 통신오버헤드를 크게 줄일 수 있으며, 깨어있는 노드의 수를 최소화할 수 있다. 그러나 백본노드들은 비백본 노드의 트래픽을 모두 처리해야 하므로 에너지 소모가 크다. 따라서 에너지레벨 또는 차수가 높은 노드를 클러스터헤드로 선정해서 강력한 백본을 형성하고, 헤드 주변 노드 간 패킷전달의 역할을 분산함으로써 전체 네트워크 라이프타임(Network Lifetime)을 증가시킬 수 있는 방안을 제안한다. 시뮬레이션 결과에서 제안 알고리즘은 기존 연구에 비해 클러스터헤드의 잔여에너지측면에서 약 10.36%, 차수측면에서 약 24.05%의 성능 향상을 보이며, 네트워크 라이프타임도 향상되었다.

ABSTRACT

Routing through a backbone, which is responsible for performing and managing multipoint communication, reduces the communication overhead and overall energy consumption in wireless sensor networks. However, the backbone nodes will need extra functionality and therefore consume more energy compared to the other nodes. The power consumption imbalance among sensor nodes may cause a network partition and failures where the transmission from some sensors to the sink node could be blocked. Hence optimal construction of the backbone is one of the pivotal problems in sensor network applications and can drastically affect the network's communication energy dissipation. In this paper a distributed algorithm is proposed to generate backbone trees through robust multi-hop clusters in wireless sensor networks. The main objective is to form a properly designed backbone through multi-hop clusters by considering energy level and degree of each node. Our improved cluster head selection method ensures that energy is consumed evenly among the nodes in the network, thereby increasing the network lifetime. Comprehensive computer simulations have indicated that the newly proposed scheme gives approximately 10.36% and 24.05% improvements in the performances related to the residual energy level and the degree of the cluster heads respectively and also prolongs the network lifetime.

☞ KeyWords : Wireless Sensor Networks (WSNs), Backbone, Clustering, Energy efficient, Load balancing

1. 서론

무선 센서 네트워크 환경에서 노드간의 통신을 위해 정확하고 효율적인 경로를 설정하는 것은 중요한 이슈이지만, 센서노드의 한정된 에너지를 고려하여 네트워크 라이프타임을 최대화하기 위한 라우팅 연구가 더욱더 중요해지고 있다. 네트

* 준회원 : 성균관대학교 일반대학원 휴대폰학과(석사)
yamaco3826@skku.edu
** 정회원 : Visiting Research Associate, Michigan State
University, USA mkim@msu.edu(책임저자)
*** 종신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
choo@ece.skku.ac.kr

[2008/08/20 투고 - 2008/08/21 심사(2008/10/10 2차) - 2008/10/20 심사완료]

워크 라이프타임은 소스 노드가 데이터 전달 경로를 더 이상 찾지 못하는 시점까지로 정의하며 최악의 경우 네트워크의 단절을 일으킬 수 있다. 따라서 저전력 소모와 네트워크 라이프타임에 관한 연구는 무선 센서 네트워크에서 중요한 과제이다.

현재까지 많은 에너지 효율적인 라우팅 연구가 진행되었지만 여러 문제점을 가지고 있다. 한홉 클러스터링 알고리즘[1]에서는 클러스터헤드만 싱크와의 통신에 참여하여 에너지 효율을 높인다. 그러나 클러스터헤드와 싱크와의 직접적인 통신을 가정하고 있는데, 이는 실제 상황에 적용하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제시된 멀티홉 라우팅 모델은 무선 센서 네트워크 환경에 좀 더 현실적인 방안이다. 그러나 멀티홉 라우팅 모델은 모든 노드들이 경로설정 과정에 참여하므로 라우팅을 위한 오버헤드와 유지비용이 크기에 백본을 활용하는 방법이 대두하였다[2]. 본 논문에서는 멀티홉 클러스터링에 기반한 백본을 형성함으로써 단지 백본노드만 라우팅 정보를 유지하여 제어 트래픽과 같은 통신오버헤드를 크게 줄이고, 깨어있는 노드의 수를 최소화한다.

그러나 백본 노드는 비백본 노드의 트래픽을 모두 처리하므로 높은 잔여에너지와 차수를 가진 노드들로 구성된 백본형성이 중요하다. 백본노드는 일찍 에너지를 소모하는데, 이는 네트워크 단절현상과 함께 전체 네트워크 라이프타임을 단축시키거나 빈번한 재클러스터링을 불가피하게 한다. 따라서 본 논문에서는 기존의 Max-Min D-클러스터 기법[3]에 잔여에너지와 차수를 고려하여 멀티홉 클러스터에 기반한 백본을 형성한다. 에너지레벨이 높은 노드를 클러스터헤드로 선정해서 강건한 백본을 형성하고, 헤드 주변에 많은 노드들을 배치하여 패킷전달의 역할을 분산함으로써 전체 네트워크 라이프타임을 증가시킬 수 있는 방안을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 현재까지 제안된 에너지 효율적인 백본 생성 알고리즘에

대해 알아본다. 이를 바탕으로 3장에서는 노드의 에너지와 차수를 고려한 클러스터 기반의 백본 생성 알고리즘을 소개한다. 그리고 4장은 이전 기법들과 성능을 비교하고, 마지막으로 5장에서 논문을 마무리한다.

2. 관련연구

백본을 이용한 라우팅 모델에서는 특정 노드들만 데이터전달 과정에 참여하게 함으로써 통신 오버헤드를 제한하여 불필요한 에너지 소모를 줄인다. 백본에 속하지 않는 다른 노드들은 송·수신할 데이터가 없을 경우 수면상태로 전환함으로써 전력 소모를 절감할 수 있다. 애드혹기반의 백본 생성 알고리즘인 Max-Min D-클러스터를 무선 센서 네트워크에 그대로 차용한 HCDD (Hierarchical Cluster-based Data Dissemination)[4]는 효율적인 데이터전달을 위해 D홉 클러스터를 생성한다. D홉 클러스터는 모든 노드가 클러스터헤드로부터 최대 D홉 떨어져 있고, 멀티홉 방식으로 데이터가 전달되므로 규모가 큰 센서 네트워크 환경에 효율적이다. 또한 각 클러스터를 구성하는 노드의 수를 비슷하게 하여 헤드가 분담하는 로드를 균등하게 분산시킨다.

하지만 센서 네트워킹은 제한된 노드 자원, 배터리 의존성, 고정된 노드 위치와 같은 애드혹 네트워킹과는 차별적인 다양한 특성을 지니므로 이를 그대로 무선 센서 네트워크 환경에 적용시킬 수 없다[5]. 특히 다음과 같은 특성으로 인해 애드혹 기반의 Max-Min D-클러스터 기법을 무선 센서 네트워크 환경에 그대로 적용하기 어렵다. 첫째, 센서는 배터리에 기반하여 동작하므로, 에너지 고갈은 해당 노드의 기능 상실을 의미한다. 둘째, 일반적으로 무선 센서 네트워크를 구성하는 모든 노드들은 동일한 컴퓨팅과 통신 자원을 갖는다고 가정한다. 셋째, 대부분 무선 센서 네트워크 환경에서는 노드가 움직이지 않는다고 가정한다.

Max-Min D-클러스터 알고리즘은 노드 ID를 이

웃노드에게 플러딩하고 그 ID를 랜덤수로 활용해 각 노드들이 최대 D홉 떨어진 클러스터헤드를 선정한다. 그러나 이 알고리즘은 애드혹기반의 백본 생성 기법이기때문에 에너지레벨에 민감한 무선 센서 네트워크 환경에는 부적합하다. 클러스터헤드 선출 시 센서노드의 잔여에너지와 차수에 대한 고려가 없기 때문에 특정 센서노드의 에너지가 급격히 고갈되는 경우가 많다. Max-Min D-클러스터는 센서노드들이 전혀 움직이지 않는 네트워크 환경에서 한번 할당되면 변하지 않는 ID를 기반으로 클러스터를 형성하기 때문에 클러스터헤드 재선발 시 동일한 노드가 선택될 확률이 매우 높으므로 특정한 노드의 에너지소비가 높아지는 단점이 있다. 따라서 Max-Min D-클러스터 알고리즘은 노드의 에너지가 많은 애드혹 환경에 적합할지 모르나, 무선 센서 네트워크 환경에 적용할 때는 노드 ID가 아닌 적절한 인자를 고려해서 백본을 구성해야 한다.

3. 제안하는 방식

3.1 네트워크 모델 및 기본 아이디어

백본을 형성하기 위한 일반적인 방법은 전체 네트워크를 클러스터로 분리하고 클러스터헤드와 게이트웨이를 연결하여 데이터전달 경로를 만드는 것이다. 이때 백본을 형성하는 노드는 일반 노드에 비해서 에너지 소모가 크므로 노드의 잔여에너지와 차수를 고려하여 강건한 백본을 형성하여 네트워크의 라이프타임을 증가시키는 것이 중요하다. 그러므로 본 논문에서는 에너지레벨 또는 차수가 높은 노드를 클러스터헤드로 선정해서 강건한 백본을 형성하고, 헤드 주변 노드 간 패킷전달의 역할을 분산함으로써 네트워크 라이프타임을 늘린다.

모든 일반 노드들이 클러스터헤드로부터 최대 D홉 떨어진 멀티홉 클러스터를 형성하기 위해 2D 라운드 동안 D홉 내의 이웃노드에게 자신의 플러딩값을 전달한다. 노드들은 각 라운드마다 선

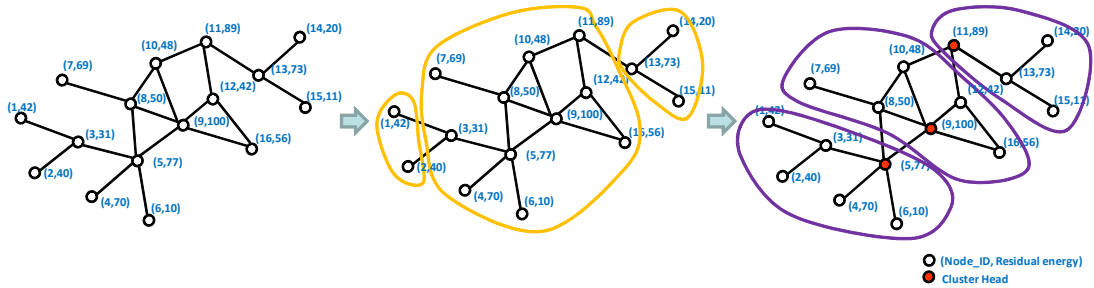
택한 플러딩값을 기반으로 클러스터헤드와 게이트웨이를 선정하고, 이들을 연결하여 백본을 형성한다. 각 노드는 클러스터 형성 초기에 잔여에너지와 차수를 기반으로 자신의 초기 플러딩값을 계산하는데 수식은 다음과 같다.

$$f(Node\ ID, \omega) = \omega \left(\frac{E_{residual}}{E_{initial}} \right) + (1 - \omega) \left(1 - \frac{Degree}{\max_{neighbor} \{Degree\}} \right) \quad (1)$$

수식 (1)에서 $f(Node\ ID, \omega)$ 는 Node ID를 ID로 가지는 노드의 플러딩값을 의미한다. ω 는 가중치로 $\omega \in [0, 1]$ 이며, 에너지와 차수의 중요도에 따라서 가중치를 조절할 수 있다. 높은 ω 는 에너지에 가중치를 더 부여하고, 반대로 낮은 ω 는 차수에 가중치를 높인다. $E_{initial}$ 와 $E_{residual}$ 는 각 노드의 에너지 초기량과 잔여량을 나타내며, $\frac{E_{residual}}{E_{initial}} \in [0, 1]$ 이다. Degree는 주변 노드와 통신이 가능한 노드의 수이고 $\max_{neighbor} \{Degree\}$ 은 자신을 포함한 이웃노드의 차수 중 가장 큰 값을 나타내며, $\frac{Degree}{\max_{neighbor} \{Degree\}} \in (0, 1]$ 이다. $\frac{E_{residual}}{E_{initial}}$ 가 일정하다고 가정하면 노드의 차수가 높을수록 플러딩값이 증가하고, $\frac{Degree}{\max_{neighbor} \{Degree\}}$ 와 $E_{initial}$ 이 일정하면 노드의 잔여에너지량이 높을수록 플러딩값이 증가한다.

3.2 클러스터링 기법

강건한 D홉 클러스터를 형성하기 위해 3단계의 과정을 거친다. 첫째, 클러스터 형성 초기에 각 노드는 잔여에너지와 차수를 기반으로 자신의 초기 플러딩값을 계산하고, 각 노드는 2D 크기의 플러딩 배열을 만들어서 라운드마다 선택되는 플러



(a) 초기 네트워크 (b) FloodMax과정 후 네트워크 (c) 클러스터 형성

Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Flooding Value	0.42	0.40	0.31	0.70	0.77	0.10	0.69	0.50	1.00	0.48	0.89	0.42	0.73	0.20	0.11	0.56
Max 1	0.42	0.40	0.77	0.77	1.00	0.77	0.69	1.00	1.00	1.00	0.89	1.00	0.89	0.73	0.73	1.00
Max 2	0.77	0.77	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.89	0.89	1.00
Min 1	0.77	0.77	0.77	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	1.00	0.89	0.89	0.89	1.00
Min 2	0.77	0.77	0.77	1.00	0.77	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	1.00
Result (ID)	5	5	5	5	5	5	9	9	9	9	11	9	11	11	11	9

(d) 플러딩 배열

(그림 1) 2홉 클러스터 형성 절차

딩값을 저장한다. 둘째, FloodMax와 FloodMin 과정을 각 D라운드만큼 수행하는데, FloodMax 과정에서는 라운드마다 각 노드가 이웃노드로부터 전달받은 플러딩값과 자신의 플러딩값을 비교하여 가장 큰 값을 현재의 플러딩 배열값에 저장한다. FloodMin과정은 FloodMax와 동일한 방법으로 진행되지만 비교한 값 중 가장 작은 값을 선택하여 현재의 플러딩 배열값에 저장하는 것이 차이점이다. 셋째, 2D 라운드 동안 저장한 플러딩 배열값을 기반으로 클러스터헤드 선정 법칙에 따라 헤드를 선정한다. 클러스터헤드 선정 법칙은 다음 절에서 설명하도록 한다.

그림 1(a)와 같이 16개의 노드로 구성된 네트워크에서 2홉 클러스터 형성을 위해 각 노드는 자신의 초기 플러딩값을 계산한다. 예를 간단하게 하기 위해 초기 잔여에너지를 100, ω 를 1로 가정한다. 그림 1(b)와 같이 FloodMax과정이 끝나면 16개의 노드 중 11개의 노드가 잔여에너지량이 100인 9번 노드의 플러딩값을 현재의 플러딩 배열값으로 저장한다. FloodMax는 일종의 그리드 알고리즘이기 때문에, FloodMin과정을 통해 토폴로지

를 적당한 크기로 나눈다. 그림 1(c)와 같이 FloodMin과정을 끝내고 헤드 선정법을 적용하면 잔여에너지가 가장 높은 3개의 노드가 클러스터헤드로 선정이 되고, 크기가 거의 균등한 3개의 클러스터를 형성한다.

3.3 클러스터헤드 선발 절차

FloodMin, FloodMax과정이 끝나면 4가지 법칙에 따라서 클러스터헤드를 선정한다. 첫째, FloodMin과정에서 자신의 초기 플러딩값과 동일한 값이 나왔다면, 그 노드는 자기 자신이 클러스터헤드라고 선언한다. 둘째, 첫 번째 법칙에 적용되지 않으면 각 노드는 플러딩 배열에서 FloodMax과정의 값들과 FloodMin과정의 값들을 비교한다. 두 과정에서 동일한 값이 나왔다면, 해당 플러딩값을 초기 값으로 가지는 노드를 자신의 클러스터헤드라고 지정한다. 만약 같은 값이 2개 이상 나오면 작은 값을 선택한다. 두 번째 법칙에도 적용되지 않는다면 세 번째 법칙을 적용한다. 셋째, FloodMax의 플러딩값 중에서 가장 큰

값을 선택하고, 그것을 초기 값으로 가지는 노드를 자신의 클러스터헤드로 지정한다. 위에 언급한 3개의 범칙으로 헤드선정이 끝나면 각 노드는 자신의 클러스터헤드 ID를 이웃노드에게 알린다. 만약 이웃노드에서 전송받은 ID가 다르다면 그 노드는 게이트웨이가 된다. 마지막으로 클러스터헤드가 일반노드와 그것의 클러스터헤드 사이에 놓여 있다면, 그 일반노드는 자신과 가까운 클러스터헤드를 자신의 헤드로 지정한다.

4. 성능평가

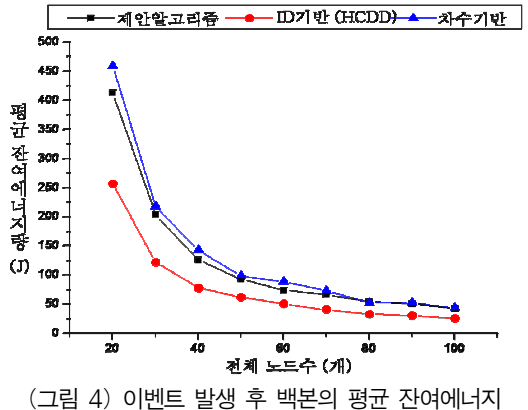
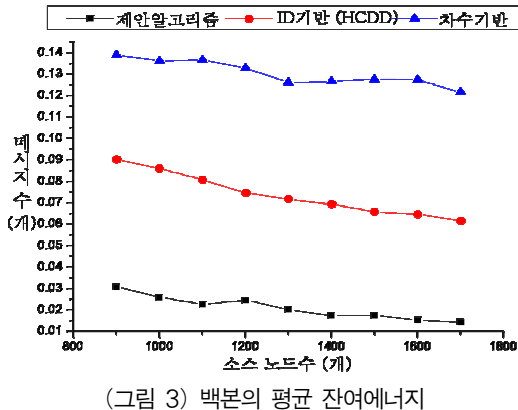
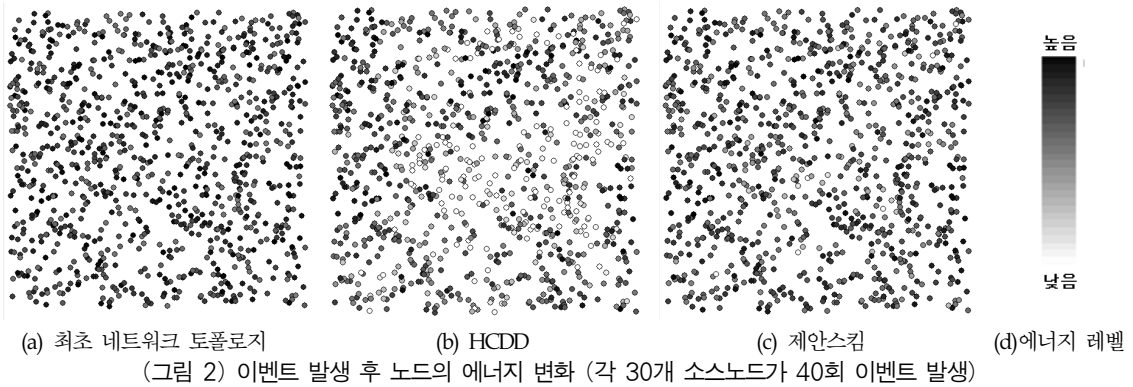
500m x 500m의 네트워크 크기에 28m의 전송반경을 가진 1000개 센서노드를 임의로 배치하며, 소스노드도 임의로 선정하였다. 각 센서노드들은 초기에 2.5J의 에너지를 보유하고 있으며, 잔여에

너지는 0~25J 사이의 값을 임의로 할당하였다. 에너지 모델은 다음과 같다.

$$E_{tx} = \alpha_{11} + \alpha_2 d^2, E_{rx} = \alpha_{12}$$

$\alpha_{11}, \alpha_{12} = 80\text{nJ/bit}, \alpha_2 = 100\text{pJ/bit/m}^2$ 로 설정했으며, 여기서 E_{tx} 와 E_{rx} 은 각각 거리 d 에 대해 1비트의 데이터를 송신과 수신 시 소모하는 에너지를 뜻한다. α_{11} 은 송신장치가 데이터 송신 시 1비트 당 소모하는 에너지이며, α_2 는 연산 증폭기(op-amp)가 소모하는 에너지이다. α_{12} 는 수신장치가 데이터 수신 시 1비트 당 소모하는 에너지이다.

그림 2는 30개의 소스 노드가 주기적으로 40회 이벤트를 발생시켰을 때 노드의 에너지 변화를 나타낸 것이다. 노드의 색깔이 열을수록 에너지가 낮다는 것을 의미한다. HCDD는 이벤트 생성 전 · 후 에너지레벨의 차이가 제안 알고리즘에 비해



서 크다는 것을 확인 할 수 있다. 이는 에너지레벨이 낮은 노드들이 백본을 형성했기 때문에 다수의 이벤트 발생 시 백본노드가 거의 에너지를 소모한다는 것을 나타내며, 최악의 경우에는 네트워크 단절현상과 함께 재클러스터링을 불가피하게 한다.

그림3은 전체 노드의 수를 변화시키면서 초기 백본노드의 잔여에너지량을 측정하였다. 제안 알고리즘($\omega=0.7$)은 전체노드 수에 관계없이 ID기반(HCDD)과 차수기반의 알고리즘에 비해 백본의 평균 잔여에너지량이 높다는 것을 확인할 수 있다. 그림4는 소스 수를 변화시키면서 백본을 재형성하기 전까지 소스에서 싱크로의 최대전달 가능한 메시지 수를 그래프로 표현한 것이다. 그래프와 같이 차수기반 알고리즘이 초기에 약 11%정도 우수하나, 소스수가 증가할수록 제안 알고리즘($\omega=0.7$) 값과의 차이가 작아진다. 하지만 제안 알고리즘은 가중치를 조절하여 차수가 높은 노드를 헤드로 선발할 수 있으므로 차수기반 알고리즘의 장점을 그대로 반영할 수 있다.

5. 결 론

기존의 MaxMin D-클러스터 알고리즘은 ID를 기반으로 클러스터를 형성하지만, 제안하는 알고리즘은 잔여에너지와 차수를 고려하여 클러스터를 형성한다. 백본에 속한 노드는 자신뿐 만 아니라 비백본 노드의 데이터전달을 대행하여 데이터 처리량이 상대적으로 많고 헤드 주변 노드들은 패킷포워딩을 위해 많은 에너지를 소모하므로 백본 형성 시 적절한 인자를 고려하여 백본을 형성해야 한다. 제안 알고리즘을 이용하면 에너지레벨 또는 차수가 높은 노드를 클러스터헤드로 선정해서 강건한 백본을 형성하고, 헤드 주변 노드 간 패킷포워딩의 역할을 분산함으로써 네트워크 라이프타임을 늘릴 수 있다.

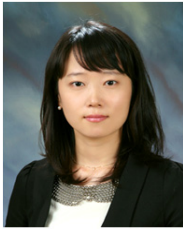
ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(NIPA-2009-(C1090-0902-0046))과 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 세계수준의 연구중심대학사업(No. R31-2008-000-10062-0)의 연구결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] C. R. Lin and M. Gerla, "Adaptive clustering for mobile wireless networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 15, no. 7, pp. 1265-1275, 1997.
- [2] X. Cheng and D.-Z. Du, "Virtual Backbone-Based Routing in Multihop Ad Hoc Wireless Networks," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2001.
- [3] A. D. Amis, R. Prakash, D. Huynh, and T. Vuong, "Max-Min D-Cluster Formation in Wireless Ad Hoc Networks," IEEE INFOCOM 2000, pp. 32-41, March 2000.
- [4] C.-J. Lin, P.-L. Chou, and C.-F. Chou, "HCDD: Hierarchical Cluster-based Data Dissemination in Wireless Sensor Networks with Mobile Sink," ACM International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing, pp. 1189-1194, 2006.
- [5] H. Zhang and J.C. Hou, "Maintaining scheme coverage and connectivity in large sensor networks," in Proceedings of NSF International Workshop on Theoretical and Algorithmic Aspects of Sensor, Ad Hoc wireless, and Peer-to-Peer Networks, 2004.

● 저 자 소개 ●



신 인 영(Inyoung Shin)

2003년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(학사)
2003년 8월 ~ 2005년 9월 삼성네트워크 SE팀
2006년 4월 ~ 2006년 11월 한국정보문화진흥원(KADO) 지식정보자원관리사업단
2007년 3월 ~ 2009년 2월 성균관대학교 일반대학원 휴대폰학과(석사)
2009년 2월 ~ 현재 삼성전자 DMC연구소 컨버전스솔루션팀
관심분야 : 센서네트워크, 서비스발견기법, 이동 컴퓨팅
E-mail : yamaco3826@skku.edu



김 문 성(Moonseong Kim)

2007년 2월 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(박사)
2007년 3월 ~ 2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 연구교수
2007년 12월 ~ 현재 Visiting Research Associate, Michigan State University, USA
관심분야 : 라우팅 프로토콜, 모바일컴퓨팅, 센서네트워크, 네트워크 보안
E-mail : mkim@msu.edu



추 현 승(Hyunseung Choo)

1996년 University of Texas 컴퓨터공학과 졸업(박사)
1998년 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
2005년 10월 ~ 현재 지식경제부 ITRC 지능형HCI융합연구센터장
관심분야 : 유/무선/광네트워킹, 모바일컴퓨팅, 센서네트워크, 임베디드SW, 그리드컴퓨팅
E-mail : choo@ece.skku.ac.kr