

무선 센서네트워크 환경에서의 효율적인 전력소비를 위한 라우팅 프로토콜

(Power Efficient Multi-hop Routing Protocol in Cluster for Wireless Sensor Networks)

배대진* · 김종태**

(Dae-Jin Bae · Jong-Tae Kim)

요 약

제한적인 환경에서 동작하는 무선 센서네트워크 환경에서 가장 중요한 목표 중 하나는 자원의 효율적인 사용을 통한 네트워크의 수명 연장이다. 본 논문에서는 이를 위해 동적인 클러스터헤드 선택 방법과 최단거리 전송기법을 사용하여 효과적인 다중-홉 라우팅 알고리즘을 제안한다. 대표적인 클러스터링 알고리즘인 LEACH 알고리즘과의 비교를 위해 Network Simulator 2을 통해 시뮬레이션 해본 결과, 무선 센서노드의 수명이 최대 37.71[%] 증가하였음을 확인하였다.

Abstract

In wireless sensor networks, one of the most important issue is improvement of network lifetime with an efficient energy consumption. we propose effective multi-hop routing algorithm which increases the number of nodes alive at any time. In our algorithm we use the dynamic selection of cluster head and short distance transmission method. We simulated the proposed algorithm by using Network Simulator 2 and compared its performance with LEACH. The experimental result shows that the number of the nodes alive is increased up to 39.71[%] during the simulation time.

Key Words : Wireless Sensor Network, Clustering Algorithm

1. 서 론

무선 센서네트워크는 네트워크가 구성된 지점에서 발생하는 다양한 정보를 수집한다[1]. 수집된 해당지역의 정보는 분석과정 이후, 정보를 필요로 하는 원

거리의 사용자에게 보내어진다. 무선 센서네트워크는 기본적으로 해당 지역의 정보를 수집하는 센서노드와 이 정보를 수집하는 싱크노드로 구성되며, 수백 수천 개의 센서노드가 모여 하나의 네트워크를 형성한다. 무선 센서네트워크의 구성요소인 센서노드는 제한적인 에너지와 연산, 통신, 감지능력을 가지고 있으며, 자신의 능력을 최대한 활용하여 데이터를 수집하고 전송한다. 또한 무선 센서네트워크는 센서노드의 생명연장을 위해 최적의 네트워크 토폴로지, 라우팅 기법, 데이터 융합 등의 방법을 사용한다[2].

일반적으로 무선 센서네트워크는 에너지 소비를

* 주저자 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

** 교신저자 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수

Tel : 031-290-7130, Fax : 031-299-4613

E-mail : jtkim@skku.ac.kr

접수일자 : 2007년 12월 20일

1차심사 : 2007년 12월 28일

심사완료 : 2008년 1월 10일

최소화하기 위해 네트워크를 여러 개의 클러스터로 분할하고 정보를 수집한다[2]. 각각의 클러스터는 내부에서 발생하는 정보를 수집하며 수집된 정보는 클러스터헤드로 전송된다. 결국 해당 지역의 정보를 가지고 있는 클러스터헤드는 수집된 정보를 수합하여 베이스스테이션으로 전송한다.

클러스터링 알고리즘은 네트워크를 구성하는 센서노드들을 계층화하여 전송동작의 횟수와 전송거리를 줄이고 네트워크의 수명을 연장시키는 방법이다. 다양한 무선 센서네트워크 알고리즘 중에서 Low-Energy Adaptive Cluster Hierarchy (LEACH), Base Station Controlled Dynamic Clustering Protocol(BCDCP), Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS)는 널리 알려진 클러스터링 알고리즘이다. LEACH 알고리즘은 클러스터헤드의 재사용과 전송거리를 줄이는 방법을 통해 네트워크의 수명을 연장시키는 방법이며, BCDCP는 클러스터내부의 센서노드의 수를 제한하는 방법을 통해 클러스터헤드의 과부하를 줄이고, 클러스터헤드 사이의 라우팅을 통해 전송거리를 줄이는 방법이다. 그리고 PEGASIS는 무선 센서노드들의 체인을 만들고 베이스스테이션과의 통신을 담당하는 헤드노드로 하여금 최종적인 데이터를 전송하도록 한다[3-5].

하지만 앞서 언급한 클러스터링 알고리즘은 몇 가지 결점을 가지고 있다. LEACH 알고리즘의 경우에 데이터 전송을 위해 클러스터내부의 센서노드와 클러스터헤드, 그리고 클러스터헤드와 베이스스테이션은 각각 단일-홉으로 데이터를 전송한다. 이러한 특징으로 인해 LEACH 알고리즘은 클러스터의 크기가 크거나 베이스스테이션이 센서 네트워크가 구성된 지점으로부터 멀리 떨어져 있는 환경에 적합하지 않다. 식 (1)은 데이터 전송에 의해 소비되는 에너지를 나타낸다[3].

$$\begin{aligned}
 E_{direct} &= E_{elect} * k + \epsilon_{amp} * k * r^2 \\
 &= k(E_{elect} + \epsilon_{amp} r^2)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

이 식에서 E_{elect} 는 송수신 회로에서의 무선 손실을 나타내고 k 는 데이터의 길이를 나타내며, ϵ_{amp}

는 전송에 데이터 전송에 필요한 에너지를 나타낸다. 또한 r 은 노드 사이의 거리를 표시한다. 위 식을 통해 노드 사이의 거리가 증가할수록 에너지 소비는 전송 거리의 제곱에 비례함을 알 수 있다. BCDCP는 무선 센서네트워크를 구성하는 모든 센서노드의 상태를 베이스스테이션에서 알고 있으며, 데이터 전송에 필요한 모든 연산은 베이스스테이션에서 이루어진다고 가정한다. 이러한 가정으로 인해 센서노드는 베이스스테이션으로부터의 명령에 의해 수동적으로 동작하게 된다. 만일 네트워크에 추가적으로 센서의 삽입이 필요한 경우가 발생하면, 베이스스테이션에 새로운 센서의 정보와 상태를 알려야 한다. 환경의 변화에 유연하게 대처해야 하는 무선 센서네트워크의 특성에 BCDCP의 이러한 특징은 합리적이지 못하다. 마지막으로 PEGASIS는 네트워크를 구성하는 체인의 길이가 길이지는 경우, 수집된 데이터가 베이스스테이션에 도착하기까지 지나치게 오랜 시간이 소비된다. 하지만 PEGASIS는 이러한 시간변수를 생략하고 있어 센서노드의 수가 많은 경우 적합하지 않다.

앞에서 설명한 클러스터링 알고리즘의 결점을 보완하기 위해 본 논문에서는 네트워크의 수명연장을 위한 효과적인 다중-홉 라우팅 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘은 동적인 클러스터헤드 선택 방법과 클러스터내부에서의 최단거리 전송기법을 통해 무선 센서네트워크의 수명을 연장시킨다. 최단거리 전송기법이란, 각각의 센서노드가 클러스터헤드부터 데이터 전송에 대한 우선순위 신호를 받은 이후, 우선순위에 따라 차례로 자신과 가장 가까운 이웃 센서노드로 데이터를 전송하는 것을 뜻한다. 자신과 가장 가까운 이웃 센서노드로부터 데이터를 수신한 센서노드는 수신한 데이터와 자신이 수집한 데이터를 융합하여 자신과 가장 가까운 이웃 센서노드이며 클러스터헤드와 좀 더 가까운 센서노드로 데이터를 전송하여 전송거리를 줄이고 전송되는 데이터의 양을 줄인다. 이러한 방법을 통해 클러스터헤드는 다중-홉 방식으로 클러스터내부에 있는 센서노드로부터 데이터를 전송 받고 최종적으로 베이스스테이션으로 전송된다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 아래와 같은 특징을 가지고 있다[6].

무선 센서네트워크 환경에서의 효율적인 전력소비를 위한 라우팅 프로토콜

모든 센서노드는 동일한 기능을 가지고 있다.

모든 센서노드는 제한된 에너지를 가지고 동작한다.

베이스스테이션은 네트워크 내부에 존재한다.

베이스스테이션과 센서노드는 네트워크 내부에 고정되어 있다.

2. 효율적인 다중-홉 라우팅 프로토콜

본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘은 네트워크 초기화, 네트워크 클러스터링, 데이터 전송의 3단계로 구분된다. 네트워크 초기화단계는 네트워크를 구성하는 센서노드 중 클러스터헤드를 선정하는 동작을 한다. 클러스터헤드의 선정 이후, 네트워크 클러스터링 단계에서는 각각의 센서노드가 속할 최적의 클러스터가 만들어져 네트워크가 여러 개의 클러스터로 분리된다. 또한 각각의 센서노드는 데이터를 전송할 노드에 대한 정보를 획득하여 데이터 전송 목적지를 설정한다. 마지막 전송 단계에서는 전송경로를 따라 획득된 데이터가 융합되어 클러스터헤드로 전송된다. 결국 클러스터내부에서 발생한 데이터를 수집한 클러스터헤드는 이를 베이스스테이션으로 전송한다.

2.1 네트워크 초기화 단계

네트워크 초기화 단계에서는 무선 센서네트워크를 구성하는 센서노드 중, 클러스터헤드 선정 동작이 이루어진다. 그림 1에 나타나 있는 네트워크 초기화 단계의 동작은 LEACH 알고리즘과 동일한 연산 방법으로 진행된다.

네트워크 초기화 단계에서 각각의 센서노드는 0부터 1사이의 임의의 수를 선택한 이후, 선택한 임의의 수와 수식 (2)의 $T(n)$ 을 비교한다. 만일 선택한 임의의 수가 $T(n)$ 보다 작은 경우, 해당 센서노드는 클러스터헤드로 선출된다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * (r \bmod \frac{1}{P})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에서 P 는 알맞은 클러스터헤드 개수의 백분율이며 r 은 현재의 라운드를 뜻한다. 마지막으로 G 는 최근 $1/P$ 라운드 동안 클러스터헤드로 선정되지 않았던 센서노드들의 집합이다.

식 (2)에 의한 클러스터헤드결정과정 이후, 클러스터헤드로 결정된 센서노드들은 자신이 클러스터헤드로 선정되었음을 알리는 어드버타이즈 메시지를 브로드캐스트한다.

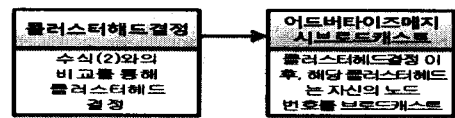


그림 1. 네트워크 초기화단계에서의 센서노드 동작 순서도
Fig. 1. In network initialization phase, operations of sensor nodes flow

2.2 네트워크 클러스터링 단계

클러스터헤드로부터 브로드캐스트된 어드버타이즈 메시지를 수신한 센서노드들은 어드버타이즈 메시지 신호의 세기를 통해 자신과 클러스터헤드까지의 거리를 측정할 수 있다. 신호의 세기에 따른 거리 측정을 통해 자신과 가장 가까운 거리의 클러스터헤드가 결정되면 각각의 센서노드들은 자신이 가입할 가장 가까운 클러스터헤드로 가입요청 메시지를 전송한다. 이와 같은 동작을 통해 네트워크는 여러 개의 클러스터로 분리되고, 각각의 클러스터헤드는 자신의 클러스터에 속한 센서노드를 인식하게 된다.

센서노드에서 클러스터헤드까지의 전송경로는 앞에서 언급한 가입요청메시지에 의해 결정된다. 각각의 클러스터헤드는 수신한 가입요청 메시지를 통해 가입메시지를 보낸 센서노드에서 자신까지의 거리를 측정하고, 측정된 거리에 따른 전송 우선순위를 결정한다. 전송 우선순위는 클러스터헤드에서 거리가 가장 먼 센서노드가 가장 높은 전송 우선순위를 가진다. 또한 각각의 센서노드들은 추후에 진행될 데이터 전송을 위해, 가입요청 메시지의 신호 세기를 측정하여 거리를 인식하고 자신과 가장 가까운 거리에 위치하는 센서노드를 자신의 이웃노드로 결정한다. 그림 2는 센서노드에서 발생하는 가입요청

메시지의 전송을 표현한 것이다.

가입요청 메시지의 세기는 센서노드에서 클러스터헤드의 거리에 상응하는 에너지인 $\epsilon_{r_1}, \epsilon_{r_2}, \dots, \epsilon_{r_s}$ 의 세기로 각각 브로드캐스트되고 메시지를 브로드캐스트한 센서노드와 반경 r_n 내부에 존재하는 센서노드는 이 메시지를 수신할 수 있다. 예를 들어 센서노드 ①과 ②는 가입요청 메시지를 클러스터헤드로 r_4, r_5 의 세기로 브로드캐스트하면 상대방의 메시지를 각각 수신하게 된다. 이와 같이 서로의 메시지를 수신하면 센서노드 ①은 ②의 이웃노드가 되고, 센서노드 ②는 ①의 이웃노드가 된다. 이웃노드는 여러 개 존재할 수 있으며, 이웃노드가 여러 개 발생하면 데이터를 전송하게 되는 이웃노드는 추후에 수신하게 되는 전송우선순위 정보에 의해 결정된다.

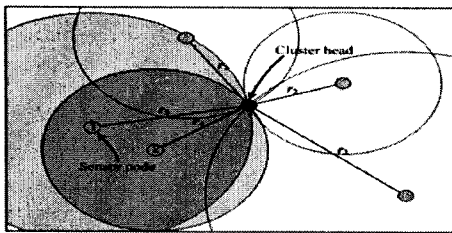


그림 2. 클러스터에서의 센서노드 신호 범위
Fig. 2. Signal scope of sensor nodes in cluster

각각의 센서노드에서 서로의 이웃노드가 결정되는 사이, 클러스터헤드는 자신의 클러스터에 속하는 센서노드들의 전송 우선순위를 결정한다. 전송 우선순위는 가입요청메시지의 세기에 따라 결정되며 클러스터헤드로부터 멀리 떨어진 센서노드가 가장 높은 전송 우선순위를 가지고, 가장 가까운 센서노드는 가장 낮은 전송우선순위를 가지게 된다. 이웃노드가 결정되고 전송우선순위가 결정되면 마지막으로 전송우선순위 데이터가 클러스터헤드로부터 브로드캐스트 된다. 전송우선순위를 수신한 센서노드들은 자신과 가장 가까이 있으면서 전송우선순위가 자신보다 낮은 이웃노드를 선택하여 데이터를 전송할 준비를 마친다. 단 전송우선순위가 자신보다 낮은 이웃 노드가 없는 경우에는 클러스터헤드로 데이터를 직접 보내도록 설정된다. 이는 클러스터헤드와 더 가까운 곳에 위치한 센서노드가 존재하지 않기 때문이다. 그림 3

은 네트워크 클러스터링 단계의 동작을 표현한다.

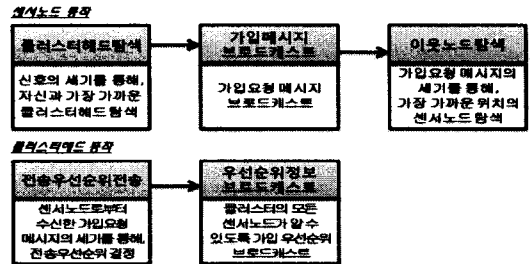


그림 3. 네트워크 클러스터링 단계에서의 센서노드와 클러스터헤드의 동작 순서도
Fig. 3. In network clustering phase, operations of sensor nodes and CHs flow

2.3 데이터 전송 단계

설정 단계를 완료한 이후, 각각의 센서 노드들은 자신과 가장 가까우면서 전송 우선순위가 낮은 이웃노드로 데이터를 전송하게 된다. 센서노드들은 전송 우선순위에 의해 데이터 충돌을 일으키지 않고 안전하게 데이터를 전송할 수 있다. 전송되는 데이터는 수신한 데이터와 자신이 수집한 데이터가 융합되어 이웃노드로 전송된다. 그림 2에서 센서노드 ①은 센서노드 ②로 데이터를 보낸다. 그리고 센서노드 ②는 수신한 데이터와 자신이 수집한 데이터를 융합하여 클러스터헤드로 보낸다. 센서노드 ②는 ①과 가장 가까운 거리에 위치하며, 우선순위가 ①보다 낮기 때문에 센서노드 ①의 데이터는 ②로 전송된다. 그리고 센서노드 ②와 ①은 가까운 거리에 위치하지만 센서노드 ②에 비해 ①이 더 높은 우선순위를 가지고 있기 때문에 센서노드 ②는 데이터를 ①로 보내지 못하고 클러스터헤드로 직접 보내게 되는 것이다. 각각의 클러스터에서는 이와 같은 동작을 통해 센서노드에 의해 수집된 데이터가 클러스터헤드로 모이게 된다. 마지막으로 클러스터 헤드에 의해 수집된 데이터는 베이스스테이션으로 보내진다.

클러스터헤드에 수집된 데이터가 베이스스테이션으로 전송되면 한 번의 시뮬레이션 라운드가 종료되며, 이와 같은 시뮬레이션 라운드는 생존 센서노드의 수가 최소로 필요한 클러스터헤드의 수보다 작아질 때까지 반복된다. 그림 4는 본 알고리즘을 사용한

네트워크에서 데이터 전송이 이루어지는 모습을 표현한 것이다. 그림 5는 데이터전송단계의 동작을 표현한다. 또한 표 1은 본 알고리즘의 전체적인 동작을 표현한 의사코드이다.

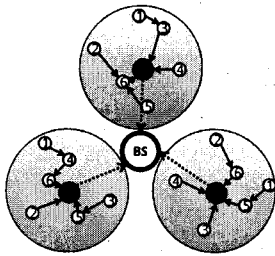


그림 4. 데이터전송 과정
Fig. 4. Data transmission operation

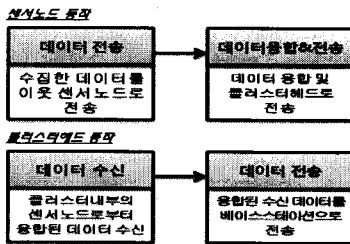


그림 5. 데이터 전송 단계에서의 센서노드와 클러스터헤드의 동작 순서도
Fig. 5. In data transmission phase, operations of sensor nodes and CHs flow

표 1. 제안하는 알고리즘의 의사코드
Table 1. Pseudo-code of the proposed algorithm

```

begin
{
    Decide Cluster Head( Node Number )
    if Node is Cluster Head then
    {
        Broadcast Advertisement Message( Node Number )
        TDMA_Scheduling( Join Message
            from Sensor Node )
        Broadcast Scheduling Information( Node Priority )
    }
    else Node is Normal Sensor Node then
    {
        Find Best Cluster Head( Advertisement Message )
        Broadcast Join Message( Node Number )
        Find Best Neighbor Node( Join Message
            from Neighbor Node)
        Environmental Information Sensing()
        Send Data to Best Neighbor Node( data )
    }
}
end
    
```

3. 성능 검증

제안하는 라우팅 알고리즘을 검증하기 위해 본 논문에서는 Network Simulator 2(NS2)[7]을 사용하였다. 시뮬레이션에서 사용되는 네트워크의 크기는 100×1,000[m]이며 베이스스테이션은 네트워크의 (50 [m], 50[m])에 위치한다. 모든 센서노드들은 2J로 충전되어 있고 센서노드의 전체개수는 500개이며 클러스터헤드는 전체 센서노드의 5%로 설정하였다[8].

제안하는 알고리즘과의 비교를 위해 대표적인 클러스터링 알고리즘인 LEACH를 사용하였다. 앞에서 언급은 BCDCP는 모든 연산과 제어가 베이스스테이션에서 이루어지는 특징을 가지고 있기 때문에, 비교대상에서 제외하였다. 또한 PEGASIS는 클러스터링 알고리즘의 분류에 속하지만 LEACH와 BCDCP와는 달리 클러스터가 아닌 체인을 형성해 데이터 전송을 수행하는 특징으로 인해 제외하였다.

시뮬레이션을 총 100번 반복하여, 네트워크가 동작하는 동안 특정 시뮬레이션 시각에서 생존 센서노드의 평균적인 개수를 계산하였다. LEACH와의 비교 결과 평균적으로 14.5%, 최대 39.71%의 성능 향상을 확인하였으며, 표 2는 본 알고리즘의 시뮬레이션 결과와 LEACH 알고리즘과의 비교를 나타낸다.

표 2. 시뮬레이션 시간에 따른 생존 노드의 수 변화
Table 2. The number of nodes alive at each simulation time

Simulation Time	Our Algorithm	LEACH	Improvement (%)
100	498	491	1.43
200	478	467	2.36
300	464	434	6.91
400	445	409	8.80
500	393	355	10.70
600	284	270	5.19
700	181	147	23.13
800	95	68	39.71
900	41	31	32.26

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 성능 검증 결과는 그림 6을 통해 더욱 명확하게 확인할 수 있다. 시뮬레이션이 이루어지는 동안 제안하는 알고리즘은

앞서 언급한 바와 같이 평균적으로 14.5[%], 최대 39.71[%]의 성능적 우위를 보이고 있다. 이는 센서 네트워크가 동작하는 동안 LEACH에 비해 좀 더 많은 센서노드가 생존해 있다는 뜻이다. 또한 센서 네트워크에 의해 수집되는 데이터의 신뢰도를 생각했을 때, 많은 수의 센서노드가 오랜 시간 동안 생존해 있다면 보다 넓은 범위에서의 데이터 수집이 가능하다. 이를 통해 본 알고리즘은 LEACH에 비해 신뢰도가 높은 데이터를 수집할 수 있다.

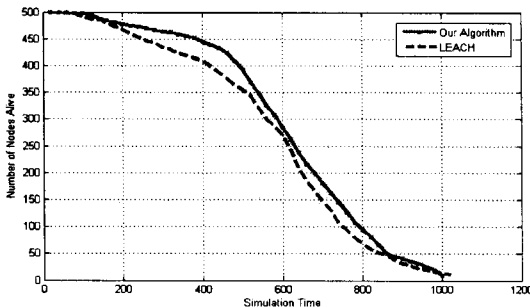


그림 6. 생존 노드의 수 변화 그래프
Fig. 6. Node alive number graph

4. 결 론

무선 센서 네트워크는 한정된 에너지를 최대한 효율적으로 사용하며 네트워크의 수명을 유지시키는 목표를 가지고 있다. 무선 센서네트워크에서의 클러스터링 기법은 무선 센서네트워크에서 전송 데이터의 크기를 줄여 에너지의 효율적인 사용을 이룩하였다. 하지만 특정 센서노드(클러스터헤드)의 중복사용과 크기가 큰 네트워크에서의 단일-홉에 의한 긴 전송거리는 피할 수 없는 문제이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 다중-홉을 사용하는 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 본 알고리즘은 다중-홉을 사용하는 최단거리 전송경로의 설정을 통해 데이터 전송의 거리를 감소시켜 에너지의 소비를 줄였으며, 동적인 클러스터헤드의 선택을 통해 클러스터헤드의 중복사용의 비율을 줄였다. 시뮬레이션 결과 LEACH 알고리즘에 비해 최대 39.71[%] 성능향상을 이루었다.

References

- [1] S. Lindsey, C. Raghavendra, K. Sivalingam, "Data Gathering in Sensor Networks using the Energy-Delay Metric," Parallel and Distributed Processing Symposium, Proceedings 15th International p.23-27 April 2001.
- [2] G. Huang, L. J. Xiaowei, "Energy-Efficiency Analysis of Cluster-Based Routing Protocols in Wireless Sensor Networks", HeAerospace Conference, 2006 IEEE, 4-11 March 2006.
- [3] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on, Jan 4-7 2000.
- [4] S.D. Muruganathan, D.C.F. Ma, R.I. Bhasin, A.O. Fapojuwo, "A centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks," Communications Magazine, IEEE, Volume 43, Issue 3, March 2005.
- [5] S. Lindsey, C.S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems," Aerospace Conference Proceedings, 2002. IEEE, Volume 3, 2002.
- [6] S.S. Miremadi, M. Fazeli, A. Patooghy, S.G. Miremadi, "Performance evaluation of a routing protocol for wireless sensor networks," Wireless and Optical Communications Networks, 2006 IFIP International Conference on 11-13 April 2006.
- [7] "NS2 User Information", http://nslam.isi.edu/nslam/Index.php/User_Information.
- [8] H. Kim, S.W. Kim, S. Lee, B. S., "Estimation of the Optimal Number of Cluster-Heads in Sensor Network," KES 2005, LNAI, Vol. 3683, p.87-94, 2005.

◆ 저자소개 ◆

배대진 (裵大珍)

1980년 8월 7일생. 2006년 한국외국어대학교 제어계측공학과 졸업. 2006년~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정 재학.

김종태 (金鍾兌)

1959년 11월 11일생. 1982년 성균관대학교 전자공학과 졸업. 1987년 University Of California at Irvine, 전기 및 컴퓨터공학과 대학원 졸업(석사). 1992년 University Of California at Irvine, 전기 및 컴퓨터공학과 대학원 졸업(박사). 1991~1993년 The Aerospace 연구원. 1993~1995년 전북대학교 컴퓨터공학과 교수. 1995년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수.