

무선 센서망에서 이동 싱크의 동적 브랜치를 통한 데이터 수집 방안

A Data Gathering Scheme using Dynamic Branch of Mobile Sink in Wireless Sensor Networks

이 길 흥*
(Kilhung Lee)

요 약

본 논문은 무선 센서망에서 이동 싱크의 동적 브랜치를 통한 데이터 수집 방안을 제안한다. 데이터 전달에 이용되는 트리는 싱크 노드를 루트 노드로 하고 복수개의 브랜치를 가지며, 싱크의 이동과 함께 노드의 부모가 동적으로 변경된다. 또한, 홵 기반의 필터와 플러딩의 효과적인 제한을 통해 제어 트래픽을 줄이고, 효율적인 데이터 전달을 이루는 트리 구성 방안을 다룬다. 시뮬레이션 결과를 통해, 제안된 데이터 수집 방안이 기존의 방안과 비교하여, 높은 데이터 도착율과 낮은 전달 지연, 그리고 효과적인 에너지 절약을 보이는 것은 확인할 수 있었다.

Abstract

This paper suggests a data gathering scheme using dynamic branch tree in wireless sensor networks. A mobile sink gathers data from each sensor node using a dynamic data gathering tree rooted at the mobile sink node. As the sink moves, a tree that has multiple branch is formed and changed dynamically as with the position of the sink node. A hop-based scope filter and a restricted flooding scheme of the tree are also suggested. Simulation results show that the proposed data gathering scheme has better results in data arrival rate, the end-to-end delay and energy saving characteristics compared with the previous scheme.

Key words : data gathering, sensor network, mobile sink tree, multiple branch

I. 서 론

센서망에서 데이터 싱크는 넓은 지역에 분포해 있는 많은 센서 노드로부터 데이터를 수집한다. 센서망이 에너지를 절약하면서 장기간 안정적인 동작을 하기 위해서는, 데이터 전달율을 높이고 에너지 소모와 데이터 지연을 줄이는 효과적인 데이터 전달과 경보 관리 방안이 필요하다. 데이터 싱크는 데이터 전송을 위한 트리나 클러스터를 통해, 전송 에

너지를 줄이면서도, 적은 지연과 높은 효율을 통해 데이터를 수집한다[1]. 하지만, 보다 효율적으로 데이터를 수집하는 방안은 직접 싱크가 이동하면서 데이터를 수집하는 것이다[2].

본 논문에서는 이동 싱크에서 데이터를 효율적으로 수집하기 위한 동적 트리 생성 및 관리 방안을 제시한다. 제시한 방안에서, 복수개의 브랜치(Multiple Branch)를 가지는 이동 싱크를 루트로 하는 트리(Mobile Sink Tree)를 구성하고, 싱크가 이

* 주저자 및 교신저자 : 서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 교수
† 논문접수일 : 2011년 8월 15일
† 논문심사일 : 2011년 12월 7일
† 게재확정일 : 2011년 12월 12일

동하면서 센서 노드의 부모와 브랜치의 변경을 통해 트리를 동적으로 변경한다. 이러한 동적 구성 트리는 에너지 효율과 데이터 전송 지연을 최소화하도록 구성된다.

II. 기존 연구 내용

Directed Diffusion은 정보를 수집하고 분배하기 위한 데이터 중심의 고정 싱크를 통한 평면적 라우팅 방안으로서, 효율적인 에너지의 사용으로 네트워크의 생존시간을 증대시킨다[3]. 데이터 싱크는 주기적으로 얻고자 하는 특성-값 쌍을 갖는 Interest 메시지를 방송하고, 데이터 소스와 싱크 간에 복수 개의 경로를 구성한다. 이벤트 소스로부터 데이터가 수신되면, 싱크는 강화 메시지를 통해 하나 혹은 복수 개의 수신 경로를 강화하여 데이터를 받고, 장애가 발생 시 다른 경로를 강화하여 사용한다.

SRMS (Section-based Routing Scheme for Mobile Sink)는 이동 싱크에 기반한 그리드 방식을 적용하여 노드의 에너지 소비를 줄였다[4]. 대부분의 라우팅 작업량을 이동 싱크가 처리하고, 센서 지역을 작은 섹션으로 세분화하여 운영함으로써 전력 소비를 줄인다. 위치 기반의 데이터 전달은 싱크 노드가 자신의 위치를 주기적으로 노드에게 알리고, 이벤트 발생 시, 데이터는 라우팅 테이블의 도움 없이 싱크 노드의 방향에 있는 다음 노드로 보내진다. ALURP (Adaptive Local Update-based Routing Protocol)는 싱크의 위치 정보 전달을, 주변 지역으로 제한하여 트래픽을 줄인다[5]. 일단 싱크 주변으로 데이터가 보내지면, 싱크의 변경 위치를 플래딩 정보를 통해 파악하여 데이터를 싱크로 전달한다.

클러스터 방안은 지역적으로 구분된 영역 내에서 지역을 대표하는 리더를 뽑은 다음, 지역의 노드들은 리더와 통신하고, 지역 간의 통신은 리더가 책임지는 방안으로서, 대표적인 계층형 프로토콜이다. [6]은 기존의 클러스터 방안의 센서망 라우팅 프로토콜에 추가하여, 이웃 노드 테이블을 이용하여 싱크의 이동성을 지원해주는 방안이다. 이는 위치 기반 프로토콜에 의존하지 않으면서도 패킷 전달과

지연 등에서 우수한 성능을 보였다.

Data MULEs[7]은 센서망에서 3계층 구조를 갖는 데이터 수집 구조이다. 사람이나 차량, 혹은 동물을 중간 매체로 하여, 센서로부터 데이터를 수집해 액세스 포인트로 전달한다. 이 방안은 센서의 전원 소모를 줄이지만, 데이터 전달 지연이 높다. 트리 구조는 간단한 형태의 센서망을 위한 라우팅 방안이다. 이 방식은 다수의 센서 노드로부터 하나의 싱크 노드로 데이터를 수집하는 경우에 적합한 구조이다. SEAD (Scalable Energy-efficient Asynchronous Dissemination)는 트리를 구성하고, 이동 싱크로 데이터를 전달하는데 에너지를 최소화하기 위한 방안이다[8]. 복수 개의 싱크로 데이터를 전달할 때, 데이터를 복사하는 분기점의 효율적 선택을 통해 에너지 소비를 최소화한다. TTDD (Two-Tier Data Dissemination)는 복수 개의 이동 싱크에게 확장성 있고, 효율적인 데이터 전달을 제공한다[9]. 데이터 소스는 능동적으로 그리드 구조를 만들어 이동 싱크가 그리드내의 대표 라우터를 통해 싱크로 데이터를 전달하고, 셀 안에서 플래딩을 통해 이동 중에도 데이터가 싱크로 전달될 수 있도록 한다.

위에서 언급한 SEAD와 TTDD는 소스 기반의 데이터 분배 프로토콜이다. ART[10]와 AROT[11]는 센서망의 이동 싱크를 위한 싱크 기반의 데이터 전달 방안이다. 싱크가 이동하면서 데이터 전달을 위한 라우팅 트리가 변형되는데, 이러한 변형은 링크 반전 알고리즘에 의해 새로운 임시 루트 노드를 갖는 트리의 생성이 이루어진다. 이들 방안은 에너지를 줄이고 안정적인 프로토콜이지만, 싱크의 이동에 따라 트리 재구성을 위한 트래픽이 많아지고, 이는 데이터 도착율과 지연과 같은 전달 성능에 영향을 미친다.

III. 복수 브랜치의 이동 싱크 트리 (MST-MB) 방안

센서망에서 노드들은 데이터 검출이 필요한 지역에 배치되어, 데이터 수집 트리를 통해 싱크에게 데이터를 전달한다. 이동 싱크는 센서망이 배치된

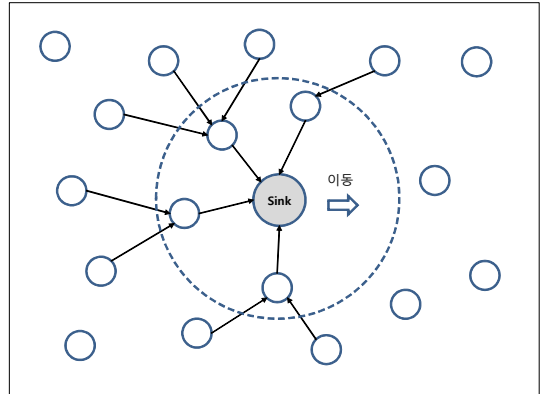
지역을 정지 또는 순회하며, 정기적 혹은 비정기적으로 데이터를 수집한다. 각 센서 노드는 부모 노드를 통해 데이터를 싱크 노드로 전달한다.

싱크 노드는 이동하면서 주기적으로 Interest 메시지를 방송하고, 이 메시지는 네트워크로 전파되어 지정된 지역의 모든 노드에 도착하게 된다. 전달 지역은 필터를 통해 정해지는데, GPS로 제한된 특정 지역을 나타내는 값으로 표시될 수도 있고, 메시지가 전파될 도달 홉 수로 지정이 될 수도 있다. 이동 싱크를 통해 만들어진 트리는 싱크 노드가 센서 노드 부근을 지날 때 사용되는 임시 트리이고, 싱크 노드가 지나가고 만료 시간이 지나면 소멸된다. 싱크가 이동하면서 싱크의 위치가 변경되고, 트리의 변경이 이루어진다. 트리의 변경은 기존 트리의 변경을 최소화하고, 새로 가입되는 노드나, 더 짧은 경로의 노드만의 변화를 반영한다. 이러한 동적 변경을 통해, 트리 재구성을 위한 데이터 교환을 최소화하여 에너지 소비를 줄이고, 제어 트래픽을 감소시켜 데이터 전달 지연을 줄인다.

1. 싱크 트리 생성

싱크 노드로부터 직접 메시지를 받은 센서 노드는, 싱크 노드를 자신의 부모(parent) 노드로 등록한다. 등록이 완료되면, 홉(hop) 수를 증가하고 브랜치 번호(bid)에 자신의 주소(this node)를 첨가한 다음, 다시 메시지를 플러딩한다. 이와 같은 부모-자식 간의 관계를 통해 트리가 확장되는데, 메시지에 표시된 최대 전파 길이(TTL) 만큼만 메시지가 전파되고, 이후에는 더 이상 전파되지 않고 소멸된다.

일단 부모에게 등록하여 트리를 구성한 이후에 추가적으로 수신되는 메시지는, 싱크까지의 거리가 기존의 값보다 더 작은 경우를 제외하고는, 정보 업데이트만을 수행하고 더 이상 주변 노드로 파하지 않는다. 새로 수신된 메시지에서, 싱크로부터의 거리가 기존의 부모를 통한 거리보다 적은 경우에는, 메시지를 보낸 노드로 등록을 수행하고, 성공하는 경우 새로운 부모로 라우팅 경로를 수정하고, 다시 메시지를 플러딩한다.



<그림 1> 모바일 싱크에서 제한된 길이를 갖는 트리 구성 (Fig. 1) A formation of the restrained-length tree at the mobile sink

<그림 1>은 트리의 레벨을 2로 하는 경우의 트리 구성 형태이다. 센서 노드가 Interest 메시지를 수신하면, 수신 메시지의 요청 식별자와 메시지를 송신한 노드(sender) 정보를 경로 캐시(route cache)에 저장한다. 같은 싱크 식별자를 가진 메시지는 여러 주변 노드로부터 들어올 수 있는데, 홉 수가 작고 먼저 수신된 메시지의 송신 노드에게 등록 한다. 부모 노드가 아닌 다른 노드로부터 들어온 메시지의 정보는, 기존의 부모 노드와의 관계가 소멸될 때 새로운 부모 노드 후보가 된다. 메시지의 타임아웃(timeout) 값이 현재시간(current time)을 지났거나, 싱크까지의 길이가 기준치를 초과한 경우에는 메시지를 더 이상 전파하지 않는다.

2. 싱크 트리 동적 업데이트

싱크 노드가 이동하면, 기존의 트리에 변형이 일어난다. 이전에 싱크에 연결됐던 노드들 중 일부가 싱크 노드와 통신이 불가능하도록 멀어질 수 있고, 부모 노드를 통해 싱크 노드와 통신을 하던 노드가 싱크 노드와의 직접 통신이 가능해 질 수 있다. 기존 부모로부터 수신한 요청 메시지의 거리가 변하는 경우, 변경된 거리가 기존의 거리(depth)보다 더 적은 경우에는 부모-자식 관계를 지속하지만, 다른 주변 노드로부터 받은 메시지의 거리보다 더 큰 값을 갖는 경우에는 부모 교체를 시도한다. 본 논문

서는 경로의 길이가 같다 하더라도, 신규 메시지의 경로가 기존의 브랜치와는 다른 브랜치일 경우에, 확률 값($rand()$)을 통해 브랜치 천이율(p)보다 적은 경우에 다른 브랜치로의 변경을 시도한다. 이는 기존의 경로보다는 신규 경로를 선호하게 하기 위함이다. 신규 경로를 통하면 경로의 유효 시간이 길어질 수 있음을 고려한 것이다. 부모로의 성공적인 등록이 완료되면, 다시 Interest 메시지를 주변 노드로 방송한다. 싱크의 바로 주변 노드의 경우, bid 의 값을 자신의 주소로 하여, 자신이 브랜치의 첫 노드인 앵커 노드임을 알린다. 이상의 내용을 <그림 2>에 정리하였다.

```

Procedure Interest(sink, bid, hops, timeout)
Begin
  Update (Route Cache)
  If ++hops >= TTL or
    (timeout > (current time)) then Exit
Endif
If parent == null or hops < (depth) or (hops = (depth)
  and bid != (bid) and rand() < (p)) then
  Register to the sender as a child and Exit
Else
  Exit
Endif
After Successful Registration
If hops == 1 then
  set bid as (this node)
Endif
broadcast Interest(sink, bid, hops, timeout)
End
    
```

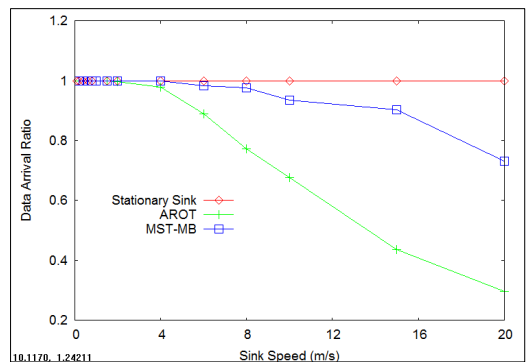
<그림 2> 센서 노드에서의 Interest 메시지 처리 프로시저
<Fig. 2> A Interest message processing procedure at a sensor node

IV. 실험 결과 및 고찰

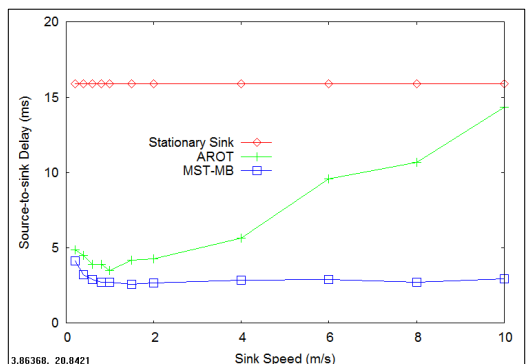
제안 방안의 성능 평가를 위해 시뮬레이션 프로그램을 통해 결과를 도출하였다. 실험에 사용된 네트워크에는 100-300개의 노드들이 격자 토폴로지의 형태를 기반으로 배치되었다. 싱크 노드는 낮은 속도에서 초당 20미터 이하로 이동하게 하였다. 메시지의 타임아웃 값은 노드의 이동 속도에 관계없이, 충분히 긴 시간으로 하였다. 노드간의 평균 길이는

200m이고, 성공적인 통신 길이는 최대 300m로 하였다. 각 노드는 기본적으로 하나의 256바이트의 메시지를 발생하여 싱크로 전달한다. 실험에서의 성능 측정 미터는 데이터 전달율, 데이터 지연, 노드의 에너지 소비율로 하였다. 성능 비교를 위해 고정 싱크 방안, 가상 루트노드를 갖는 AROT[11] 이동 싱크 방안, 제안 방안인 복수개의 브랜치를 갖는 이동 싱크 트리 방안 (MST-MB) 등을 같이 실험하여 결과를 비교하였다.

300개의 노드로 구성된 네트워크에서 이동 속도에 따른 데이터의 도착율을 <그림 3>에 보였다. 정지 싱크의 경우에는 트래픽을 낮게 유지한 상태에서 모두 잘 도착하였다. 이동 싱크의 경우, 속도가 증가함에 따라 도착율이 감소하였는데, AROT 방안



<그림 3> 싱크의 이동 속도와 데이터 도착율
<Fig. 3> The speeds of the sink node versus the data arrival rate

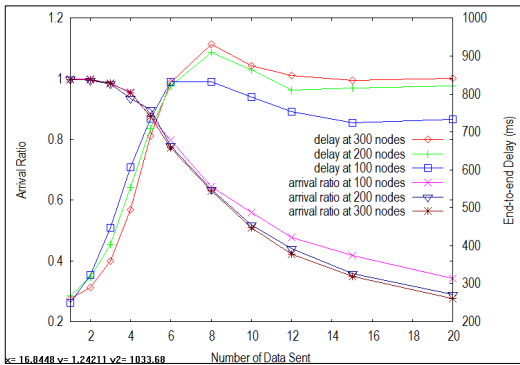


<그림 4> 싱크의 이동 속도와 데이터 전달 지연
<Fig. 4> The speeds of the sink node versus the data transfer delay

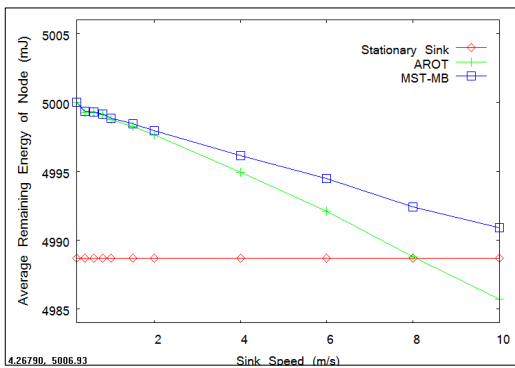
보다 제안 방안이 더 적은 감소율을 보였다. 속도가 커질수록 두 방안의 차이가 더 증가하였다.

이동 속도와 데이터 전달 지연과의 관계를 <그림 4>에 보였다. 이동 싱크의 경우에 낮은 속도에서 정지 싱크 경우보다 전달 지연이 작다. 이동 싱크의 경우, 1m/s 까지는 지연이 감소하다가 지연이 유지되거나 증가한다. AROT의 경우, 지연이 계속 증가하였고, MST-MB에서는 10m/s 까지는 정체하는 특성을 보였다. AROT에서 지연이 증가하는 이유는, 트리의 재구성을 위해 생긴 트래픽이 충돌과 데이터 전달 지연을 유발하기 때문이다.

<그림 5>에 MST-MB 방안의 네트워크 크기와 데이터 트래픽의 변화에 따른 도착율 및 지연의 변화를 보였다. 이 그림에서, 싱크의 이동 속도는



<그림 5> 전송 데이터 수와 도착율 및 전달 지연
(Fig. 5) The number of data sent versus the arrival ratio and the data transfer delay



<그림 6> 싱크의 이동 속도와 노드의 평균 잔류 에너지
(Fig. 6) The speed of the sink versus the average remaining energy of node

5m/s이고 노드의 브랜치 천이율 $p=0$ 이며, 데이터는 각 센서 노드에서 싱크 노드로 1-20개의 데이터를 보내도록 하였다. 트래픽이 증가함에 따라 데이터의 전달률이 낮아지고 지연은 초기에 증가하지만, 일정 시간의 이후에는 데이터가 싱크에 도달하지 못함에 따라 더 이상 증가하지는 않았다. 전체적으로 망의 크기에 따라 도착율과 지연에 있어 큰 변화는 보이지 않았다.

<그림 6>에 각 노드의 평균 에너지 잔류값을 보였다. 각 노드들은 초기에 5J의 에너지를 가지고 시작하였다. 속도가 느릴 때는 이동 노드의 경우에 정지 노드의 경우와 비교하여 에너지가 적게 소모하였고, MST-MB 방안이 AROT 방안보다 에너지를 더 적게 소모하였다. 싱크 노드의 이동에 따른 트리의 변경이 AROT의 방안보다 훨씬 덜 필요하고, 이에 따라 메시지의 교환이 줄기 때문이다. 하지만 이들 모두 이동 속도가 빨라지면, 정지 노드 때와 같은 수준으로 에너지 소비가 증가하였다.

이상의 결과를 바탕으로, 이동 싱크 노드의 경우에 10m/s 이하의 저속에서 데이터의 전달 경로가 감소되어, 정지 싱크 노드의 경우보다 더 적은 에너지 소비와 더 적은 지연 값을 보임을 알 수 있었다. 정지 싱크 노드의 경우 싱크 주변의 노드 에너지가 빨리 소모되어, 싱크와 망의 다른 노드 간에 네트워크 단절이 올 수 있다. 이런 점에서, 이동 싱크 노드의 경우가 더 효과적인 데이터 수집과 더 긴 네트워크 생존율을 보인다고 할 수 있다. 데이터 전달율의 경우, 저속의 경우 손실 없이 도착하다가, 10m/s 이상에서 98% 이하로 감소하였다. 따라서, 싱크의 이동 속도가 10 m/s 이하인 경우에 에너지와 지연, 도착율에서 제안 방안의 실질적인 개선 효과가 있다고 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서 센서망의 이동 싱크를 통한 데이터 수집 방안을 다루고 성능을 평가하였다. 제안 방안은 이동 싱크를 루트로 하고, 싱크 주변의 노드를 앵커 노드로 하여, 복수개의 브랜치를 갖는 트리를

통해 데이터를 수집하는 방안이다. 싱크 노드가 이동하면서 토폴로지의 변화가 생기고, 트리의 재구성을 통해 효율적인 데이터의 전달을 달성한다.

이러한 방안은 정지 싱크를 통한 데이터 수집 방안에 비교하여, 전달 지연을 줄이고 에너지 소비를 줄여줄 수 있었다. 또한, 기존의 이동싱크 방안과 비교하여, 전달 지연과, 도착율, 그리고 에너지 소비 면에서 개선된 결과를 가짐을 실험을 통해 확인하였다. 브랜치를 이용하여 데이터 트래픽을 제어하는 기능이 좀 더 보완된다면, 고정 싱크와의 보완적 운영을 통해 장기적 망 생존력을 가진 대규모 센서 네트워크에 효과적으로 사용 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] E. Hamida and G. Chelius, "Strategies for data dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 15, no. 6, pp.31-37, Dec. 2008.
- [2] Y. Faheem, S. Boudjit and K. Chen, "Data Dissemination Strategies in mobile Sink Wireless Sensor Networks: A Survey," *Proceedings of the 2nd IFIP conference on Wireless days*, IEEE Press Piscataway, NJ, pp.305-310, Dec. 2009.
- [3] C. Intanagonwivat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks," *Proceedings of the ACM Mobi-Com'00*, Boston, MA, pp.56-67, Aug. 2000.
- [4] 황미영, 박상준, 길아라, 김병기, "센서 네트워크에서 이동 싱크 라우팅 기법," *한국시뮬레이션학회논문지*, vol. 15, no. 4, pp.107-117, Dec. 2006.
- [5] G. Wang, T. Wang, W. Jia, M. Guo, J. Li, "Adaptive location updates for mobile sinks in wireless sensor networks," *The Journal of Supercomputing*, vol. 47, no. 2, pp.127-145, March 2008.
- [6] 김대영, 조진성, "무선센서 네트워크를 위한 계층적 라우팅 프로토콜에서의 이동 싱크 노드 지원 방안," *한국통신학회논문지*, vol. 33, no. 1, pp.48-57, Jan. 2008.
- [7] C.S. Rahul, R. Sumit, J. Sushant, B. Waylon, "Data MULEs: modeling and analysis of a three-tier architecture for sparse sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 1, issues 2-3, pp.215-233, Sep. 2003.
- [8] H.S. Kim, T.F. Abdelzaher, W.H. Kwon, "Minimum energy asynchronous dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks," *Proceedings of the First ACM International Conferences on Embedded Networked Sensor Systems*, pp.193-204, Nov. 2003.
- [9] F. Ye, H. Luo, J. Chung, S. Lu, L. Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Protocol for Large-Scale Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, Atlanta, Georgia, pp.23-28, Sep. 2002.
- [10] K.I. Hwang and D.S. Eom, "Adaptive Sink Mobility Management Scheme for Wireless Sensor Networks," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4159, Springer, pp.478-487, Sep. 2006.
- [11] K.I. Hwang, "Adaptive Reversal Tree Protocol with Optimal Path for Dynamic Sensor Networks," *한국통신학회논문지*, vol. 32, no. 10, pp.1004-1014, Oct. 2007.

저자소개



이 길 흥 (Lee, Kilhung)

1989년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사(공학사)
 1991년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 석사(공학석사)
 1999년 8월 : 연세대학교 대학원 전기컴퓨터공학과 박사(공학박사)
 1991년 1월 ~ 1995년 2월 : LG 정보통신 안양연구소 연구원
 2000년 5월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 교수