

대규모 다중 센서 네트워크에서 효과적인 경로 관리 기법

임 유 진[†] · 박 재 성^{**} · 안 상 현^{***}

요 약

다수의 이종 센서 네트워크가 넓은 지역에 포설된 경우 각 센서 네트워크에서 수집된 데이터를 싱크 (sink)에서 게이트웨이 (GW)로 전송하기 위해 릴레이 포인트 (relay point: RP)들로 구성된 전달망이 이용된다. 전달망 내에서 RP의 위치는 전달망의 에너지 효율을 결정하는 중요한 요인이지만 전달망 내의 싱크의 수가 동적으로 변하고 특히 싱크가 이동하는 경우 이들의 경로를 미리 알지 못한다면 각 RP의 최적 위치를 전달망 포설시에 결정할 수 없게 된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 RP를 격자 모양으로 포설한 트리 기반 전달망에서 RP의 운용 비용과 경로 관리 부하 측면에서 효율적인 싱크와 GW 사이의 경로 관리 기법을 제안한다. 제안 기법의 성능은 단일 경로 설정 비용에 대한 수학적 분석과 ns-2를 이용한 모의 실험을 통해 검증되었다. 분석 결과 제안 기법은 싱크와 GW 사이의 데이터 전송 시간, 전달망의 서비스 지속 시간 및 경로 관리 부하 측면에서 AODV보다 우수하였다.

키워드 : 센서 네트워크, 트리, 경로 관리

Designing a Path Management Method in Large-scale Multiple Sensor Networks

Lim Yujin[†] · Park Jaesung^{**} · Ahn Sanghyun^{***}

ABSTRACT

In the environment with multiple heterogeneous wireless sensor networks with a single point of sensed data collection or a gateway (GW), relay points (RPs) may be required for the energy efficient delivery of sensed data from static or mobile sinks to the GW. The optimal placement of RPs becomes an even more difficult problem if static sinks are dynamically added or the trajectory of mobile sinks can not be known in advance. In order to resolve this problem, we propose a mechanism to deploy RPs in a grid pattern and to use the tree-based relaying network for reducing the cost of the RP and for reducing the control overhead incurred by the route setup from sinks to the GW. For the performance evaluation of our proposed mechanism, we have carried out a numerical analysis on a single route setup from a sink to the GW and, for more general performance evaluations, ns-2 based simulations have been carried out. According to the performance evaluation results, our tree-based relaying network mechanism outperforms that based on AODV in terms of the data delivery time, the network service time and the control overhead.

Key Words : Sensor network, Tree, Path management

1. 서 론

일반적으로 센서 네트워크는 특정 공간에 포설된 다수의 센서 노드와 이들로부터 측정된 데이터를 수집하기 위한 싱크 (sink)로 (혹은 데이터 수집 장치) 구성된다. 센서 네트워크는 이용 목적에 따라 다양한 형태로 포설되어 왔으며 포설 형태에 따라 네트워크의 수명 연장 혹은 높은 신뢰성 제

공과 같은 성능 최적화를 위한 다양한 기법들이 제안되고 있다. 그러나 센서 네트워크는 기본적으로 센서 노드에서 측정된 데이터를 싱크로 전달할 수 있어야 하기 때문에 센서 네트워크의 구성 형태나 어플리케이션에 무관하게 이들 사이의 효과적인 정보 전달 방법을 제공하는 것은 센서 네트워크의 중요한 설계 요구 사항이다[1].

센서 노드와 싱크 사이의 정보 전달 방법은 네트워크의 서비스 제공 범위, 네트워크 구성 장비의 종류 및 포설 형태, 장비의 이동성 여부에 따라 달라질 수 있다. 센서 네트워크의 서비스 영역이 작은 경우 싱크와 센서 노드는 직접 통신 할 수 있다. 그러나 전쟁터나 재난 지역과 같이 센서 네트워크의 서비스 영역이 넓은 경우 센서 노드에서 전송된

* 이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업)으로 한국과학기술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-331-D00385).

† 정 회 원 : 수원대학교 정보미디어학과 전임강사

** 정 회 원 : 수원대학교 인터넷정보공학과 전임강사

*** 정 회 원 : 서울시립대학교 컴퓨터과학부 정교수

논문접수 : 2007년 11월 28일

수정일 : 2008년 1월 30일

심사완료 : 2008년 2월 4일

데이터가 싱크에 전달되기 위해서는 다수의 홉을 경유해야 한다. 이 경우 센서 노드와 싱크 이외에 데이터 전달을 전담하는 릴레이 노드 (RN, relay node)와 같은 특별한 장치가 추가될 수 있으며 네트워크 구성 형태에 따라 RN으로 구성된 전달망의 수명을 최적화 하기 위한 연구들이 많이 진행되어 왔다[2]. 센서 네트워크의 일반적인 포설 형태는 동일한 데이터를 측정하는 다수의 센서 노드와 하나의 싱크로 구성 하는 것이다. 그러나 호텔이나 공항과 같은 넓은 지역에서는 특정 목적을 가진 다수의 이중 센서 네트워크가 동시에 포설될 수 있으며, 이 경우 이들 각각의 센서 네트워크에서 측정된 데이터는 각 센서 네트워크 내의 싱크로부터 중앙의 데이터 수집 장소 혹은 게이트웨이 (GW)를 통한 외부 망 (e.g. 인터넷)으로 전송될 필요가 있다. 이와 같은 환경에서 GW와 싱크 사이의 거리는 멀고 네트워크의 크기에 비해 싱크의 수는 적기 때문에 이들 간에 정보 전송을 위해 직접 통신을 하게 되면 싱크의 에너지 소모량이 증가되고 GW 주변의 다른 통신을 방해하게 된다. 따라서 일반적으로 이와 같은 환경에서는 싱크와 GW 사이에 에너지 효율적인 데이터 전송을 위한 RP (relay point)가 주로 이용된다. 그러나 싱크의 수는 시간에 따라 변화하며 이동성 있는 싱크의 최적 이동 경로를 미리 알 수 없으므로 RP로 구성된 전달망의 효율성 증대를 위한 연구가 필요하다.

이에 따라 본 논문에서는 다수의 이중 센서 네트워크가 동시에 설치되어 있는 대규모 이중 센서 네트워크 환경에서 RP를 격자 형태로 포설하여 전달망 내에서 싱크의 위치를 유연하게 설정할 수 있게 하였다. 다시 말해서 격자 구조의 전달망을 통하여 시간에 따라 위치가 변화하는 이동 싱크에 대한 정보 유지 부하를 제거하였다. 그리고 본 논문에서는 각 센서 네트워크 내의 싱크와 GW 사이의 데이터 전송을 위한 효율적인 경로 관리 기법을 통해 전달망의 성능을 서비스 지속 시간과 데이터 전송 지연 측면에서 향상시키는 방안을 제안한다. 싱크와 GW 사이의 경로 관리를 위해서는 기존 MANET(Mobile Ad hoc Network) 라우팅 프로토콜을 이용할 수도 있다. 그러나 대규모 이중 센서 네트워크 환경에서 이들 MANET 라우팅 프로토콜들의 과도한 부하는 전달망의 수명을 단축시키게 된다. 본 논문에서 제안한 경로 관리 기법은 망 내에서 측정된 데이터의 목적지는 언제나 GW이고 RP는 단순히 데이터 전달 작업만을 담당한다는 것을 이용하여 기존 MANET 라우팅 프로토콜의 복잡한 라우팅 기능들을 제거함으로써 전달망의 서비스 지속 시간을 증가시킨다.

본 논문에서 제안된 기법의 성능은 대표적인 MANET 라우팅 프로토콜인 AODV와의 비교를 통해 검증하였다. 우선 네트워크 내 임의의 위치에 있는 싱크와 GW 사이의 경로 설정을 위한 관리 부하를 수학적으로 분석하였으며 분석 결과 AODV를 이용하는 경우 관리 부하가 제안 기법보다 약 7배 증가하는 것을 보였다. 또한 ns-2를 이용한 모의실험을 통해 제안 기법이 AODV에 비해 데이터 전송 시간, 전달망의 서비스 지속 시간, 및 경로 관리를 위한 부하량 측면에서 우수하다는 것을 보였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 센서 네트워크의 포설 특성에 따라 센서 노드와 데이터 수집장치 사이의 정보 전달을 위한 관련 연구를 살펴보고, 3장에서는 대규모 이중 센서 네트워크의 필요성과 특징 및 RP 기반 전달망 구조에 대해 기술한다. 이와 같은 환경에서 전달망을 통해 싱크와 GW 사이에 효율적인 데이터 전송을 위한 경로 관리 기법을 4장에서 제안하고 5장에서 그 성능을 평가한 후 6장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

센서 네트워크에서 측정된 데이터를 효과적으로 데이터 수집 장치에 전달하기 위한 방법은 센서 네트워크의 포설 형태 및 싱크의 이동성에 따라 달라진다.

센서 노드와 싱크 혹은 싱크와 GW 사이에 직접 통신이 가능한 단일 홉 환경에서 효과적인 경로 제공 문제는 이들 사이의 링크 품질을 관리하기 위한 문제로 귀결된다. 링크 품질 관리를 위한 방법으로는 전송 전력 제어 기법[3]과 이웃 노드와의 충돌을 최소화 하기 위한 MAC 프로토콜이 제안되었다[4].

모든 센서 노드들이 데이터 수집 기능과 전송 기능을 보유하고 있는 환경에서 측정 데이터를 싱크 혹은 GW에 전송하기 위한 방안으로는 라우팅 기법이 제안되었다[4]. 가장 단순한 라우팅 기법은 네트워크 내에 데이터를 플로딩하는 것이지만 플로딩은 불필요한 데이터 전송을 야기시키므로 비효율적이다. 센서 노드는 일반적으로 배터리로 동작하므로 에너지 소모량을 최소화하기 위해서 클러스터 기반 라우팅 기법과 위치 기반 라우팅 기법이 제안되었다. 클러스터 기반 라우팅 기법은 전체 센서 네트워크를 지역적인 클러스터로 구분하고 각 클러스터 내의 센서 노드들은 클러스터 헤드에게만 데이터를 전송하며 클러스터 헤드는 수신 데이터를 취합하여 싱크에게 전송함으로써 네트워크의 수명을 연장시킨다[5]. 위치 기반 라우팅 기법은 각 노드의 위치 정보를 이용하여 측정 데이터를 목적지에 가장 가까운 이웃 노드에게 전송함으로써 망 내에 경로 설정 및 관리를 위한 부하량을 감소시켜 망의 수명을 증가시킨다[6].

센서 노드의 에너지 소모를 감소시키기 위해 센서 노드를 대신하여 측정 데이터의 전송을 전담하는 RN이 도입되었으며 이와 같은 환경에서 전달망의 서비스 지속 시간 최적화를 위한 RN의 위치 결정 기법들이 연구되었다. Hou의 연구에서는 에너지 공급과 RN 위치 결정 문제를 동시에 고려하여 성능 최적화를 위해 반복적으로 RN의 위치를 이동시키는 방안을 제안하였다[7]. 대규모 이중 센서 네트워크 환경에서 장비의 위치를 최적화 하기 위한 연구는 Xu에 의해 처음으로 연구되었으며, 이 연구에서는 밀도 함수를 이용하여 세가지 임의(random) 포설 방안이 제안되었다[8]. Wang은 RN의 최적 위치 결정 문제를 네트워크의 수명과 각 노드들 사이의 접속 가능성 측면에서 접근하였다[9]. 이들은 보장하고자 하는 네트워크의 수명에 따라 첫 단계에서는 센서 노드들에게 연결성을 제공하기 위한 RN을 포설하고 다

음 단계에서는 첫 단계에서 포설된 RN들로부터 전송되는 트래픽을 전달하기 위한 RN을 추가로 포설하는 2 단계 포설 방안을 제안하였다.

센서 노드에서 측정된 데이터는 싱크로 전송되므로 싱크 노드 주변 노드에게 트래픽이 집중된다. 따라서 싱크 주변 노드의 에너지 소모량은 싱크와 거리가 먼 노드에 비해 크며 이들의 에너지 고갈 시간으로 전체 네트워크의 수명이 결정된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방안으로 이동 싱크 기법이 제안되었다. 이동 싱크 기법에서 싱크는 네트워크 내에서 이동하여 센서 노드로부터 데이터를 수집하므로 싱크의 이동 경로와 패턴이 전체 네트워크 성능에 영향을 미친다. 싱크의 이동 경로를 미리 알 수 있는 경우 싱크는 센서 노드로부터 데이터를 원하는 시간에 효과적으로 수집할 수 있다[10]. 그러나 일반적으로 센서 노드는 싱크의 이동 경로를 미리 알 수 없으며 이 경우 센서 노드들로부터 싱크로의 데이터 전송 문제가 발생한다. TTDD[11]는 대표적인 이동 싱크 기법으로 데이터의 목적지, 즉 싱크가 시간에 따라 변화하는 환경에서의 효과적인 데이터 전송 기법을 제안하였다. 각 센서 노드별로 격자 망을 구축하여 시간에 따라 변화하는 싱크의 위치 정보를 전체 네트워크에 브로드캐스트하는 오버헤드를 줄였다.

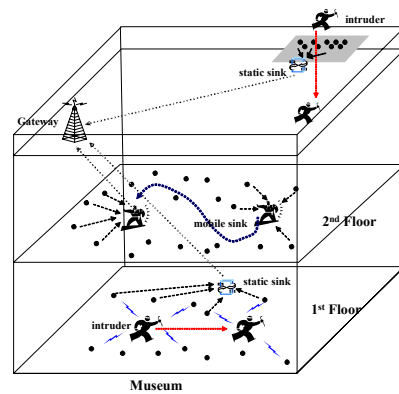
이와 같이 현재까지의 연구들은 싱크가 하나인 단일 센서 네트워크 내에서 센서 노드들과 싱크 혹은 센서 노드들 사이에 데이터 전송 경로를 효과적으로 제공하기 위한 방안을 다루고 있다. 그러나 다수의 이종 센서 네트워크가 동시에 혼재하는 경우 각 센서 네트워크의 싱크에서 수집된 데이터는 중앙의 저장소 혹은 GW에 전달되어야 한다. 기존 연구에서 제안된 기법들은 대규모 이종 센서 네트워크에서 싱크와 GW 사이의 경로 제공에 이용될 수도 있다. 그러나 이와 같은 환경에서 싱크의 수는 시간에 따라 가변적이며 특히 싱크가 이동성을 가진 경우 이들의 이동 경로에 대한 정보를 미리 알지 못할 수 있다. 따라서 특정 RN 포설 기법이나 이동 싱크 기법은 어느 순간에는 원하는 성능을 제공하지만 그 이외의 경우에는 원하는 결과를 야기하지 못하게 되므로 전체적인 전달망의 성능은 저하된다.

따라서 본 논문에서는 싱크의 위치가 전달망에 미치는 영향을 배제하기 위해 전달망을 격자 (grid) 구조로 포설하고 싱크와 GW 사이의 효과적인 경로 관리 방안을 통해 전달망의 수명 및 서비스 품질을 향상시키는 방안을 제안한다.

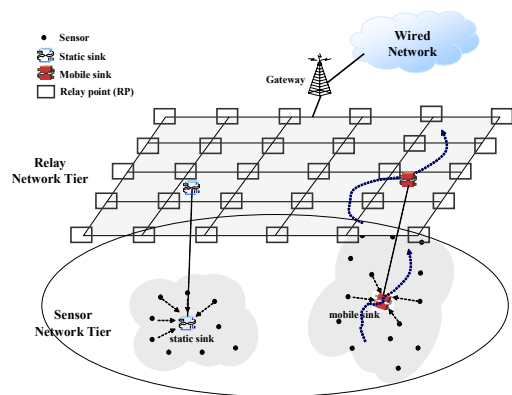
3. 대규모 이종 무선 센서 네트워크

3.1 3-계층 무선 센서 네트워크 구조

다수의 이종 센서 네트워크가 광범위하게 포설되고 측정된 데이터들이 GW를 통해 수집되어야 하는 환경은 기존 센서 네트워크에서의 문제와는 다른 문제들을 야기시킨다. (그림 1)은 다수의 센서 네트워크가 혼재하는 환경의 한 예를 보여준다. 박물관의 경우 침입자 탐지를 위한 센서 네트워크와 전시물의 상태를 감시하기 위한 센서 네트워크 등이 필요하며 수집된 데이터는 중앙의 보안실로 전달되어야 한



(그림 1) 다수의 센서 망 포설 시나리오 (박물관)



(그림 2) 3-계층 무선 센서 망 구조

다. 이와 같이 다수의 센서 네트워크가 존재하는 환경은 호텔이나 리조트 같은 큰 건물이나 공항 등에서도 찾아볼 수 있다. 이러한 환경에서 싱크와 GW 사이의 거리는 센서 노드와 싱크 사이의 거리에 비해 상대적으로 멀다. 또한 싱크의 수는 센서 노드의 수에 비하여 현저하게 작기 때문에 싱크와 GW만 가지고는 싱크와 GW사이의 네트워크 연결성을 제공하기 힘들다. 따라서 (그림 2)와 같이 RP(relay point)로 구성된 전달망이 싱크와 GW 사이에 필요하다. 단일 센서 네트워크에서의 RN의 위치와 마찬가지로 다수의 센서 네트워크가 혼재된 환경에서도 RP의 위치는 전달망의 성능에 많은 영향을 미친다. 그러나 단일 센서 네트워크와는 달리 본 논문에서 고려하는 환경에서의 싱크 수와 위치는 시간에 따라 변화한다. 따라서 본 논문에서는 각 RP에 직접 연결되는 싱크의 수가 평균적으로 같도록 RP를 격자 구조로 배열한 후 전달망의 서비스 지속 시간 및 서비스 품질 향상을 위한 효과적인 라우팅 기법을 제안한다.

3.2 3-계층 무선 센서 네트워크의 특성과 라우팅 문제

3-계층 무선 센서 네트워크에서 싱크와 GW 사이의 경로 설정을 위해 MANET에서 제안된 기존 프로토콜들을 이용할 수도 있다. 그러나 이와 같은 기존 프로토콜들은 3-계층 무선 센서 네트워크의 특성으로 인해 많은 제어 메시지를 야기시킬 수 있다.

MANET 라우팅 프로토콜은 주기적인 라우팅 정보 교환을 통해 경로 설정 요청 여부와 무관하게 네트워크 내의 임의의 지점 사이에 경로를 유지하는 예방형 기법 (proactive routing, e.g. DSDV[13])과, 연결 요청이 있을 때 마다 경로를 설정하는 반응형 기법 (reactive routing, e.g. AODV[12])으로 구분된다. 예방형 기법을 사용하는 경우 싱크의 이동 여부에 무관하게 싱크에서 GW로 경로 설정 지연 없이 데이터를 전달할 수 있다. 그러나 센서 네트워크가 넓은 지역에 포설된 경우 싱크의 수는 네트워크 크기에 비해 작다. 따라서 예방형 기법을 3-계층 무선 센서 네트워크에 적용하게 되면 대부분의 RP는 싱크와 직접 연결되지 않음에도 불구하고 모든 RP와 GW 사이에 불필요한 경로를 유지하게 된다. 반응형 방식의 라우팅 기법을 사용하는 경우 싱크의 연결 요청이 있는 경우에만 경로가 설정되므로 위와 같은 문제는 발생되지 않는다. 그러나 반응형 방식은 경로 설정 후 데이터 전송이 가능하므로 데이터 전송 지연시간을 증가시키며 대부분의 반응형 방식은 브로드캐스트를 기반으로 동작하기 때문에 전달망에 많은 부하를 부과하게 된다.

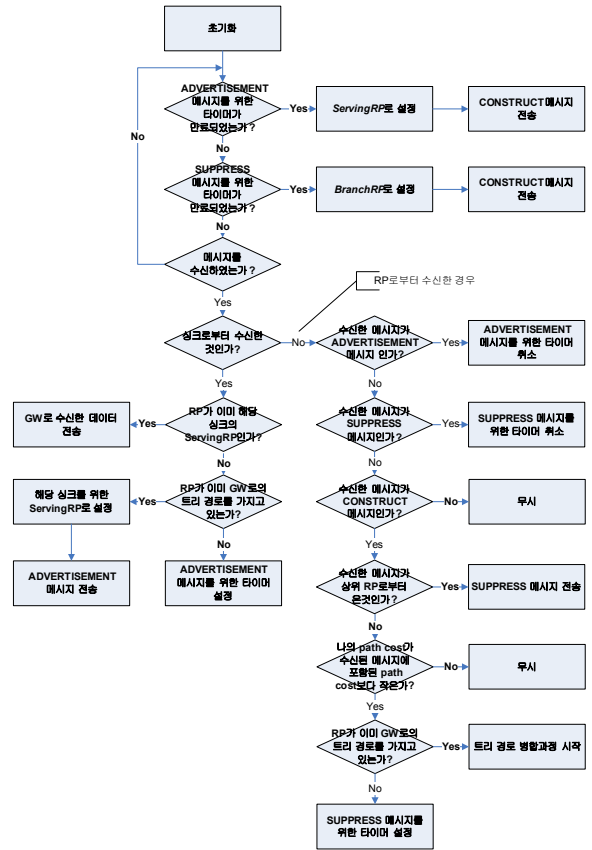
본 논문에서는 3-계층 무선 센서 네트워크의 특성을 이용하여 경로 설정 지연을 제거하고 필요한 경우에만 경로를 설정함으로써 전달망의 효율을 증대시키기 위한 라우팅 기법을 제안한다. 네트워크 내의 임의의 노드 사이에 경로 설정이 필요한 MANET과는 달리 3-계층 무선 센서 네트워크에서는 싱크로부터 전송된 데이터는 모두 GW로 전달된다. 따라서 데이터 전송 경로들은 GW를 근원(root)로 하는 트리 구조를 가지므로 RP는 설정된 트리에 따라 데이터 포워딩 기능만을 담당할 수 있다. 따라서 라우팅 기능을 RP로부터 분리함으로써 RP의 처리 부하, 메모리 사용량 등을 감소시킬 수 있으며 특히 처리 부하의 감소로 인한 배터리 사용량 감소를 통해 RP로 구성된 전달망의 수명을 증가시킬 수 있다.

4. 트리 기반 라우팅 기법

RP는 자신의 서비스 영역 안으로 이동중인 싱크가 유입되거나 이동성이 없는 싱크가 추가포설되는 경우 싱크로부터 GW까지 데이터 전송을 위해 자신으로부터 GW까지 트리 경로를 설정한다. 만일 RP가 이미 GW로의 트리 경로(branch)를 가지고 있는 경우에는 기존의 경로를 재 사용한다. 새로운 트리 경로를 구성하는 과정에서 기존에 존재하는 경로를 발견하게 되면 새로운 트리 경로는 기존 트리 경로와 병합된다. RP가 트리 내의 다른 RP의 고장 (예를 들어, 링크 오류 등.)을 발견하게 되면 싱크와 GW와의 연결성을 보장하기 위해 지역 복구 작업을 시작한다. GW는 초기에 네트워크에 브로드캐스트하는 PROBE 메시지 이외에는 다른 제어 메시지를 전송하지 않는다. 따라서 모든 트리 관리 절차는 분산적인 방법으로 이루어지므로 GW에 관리 부하를 부과하지 않는다.

4.1 트리 생성

RP와 GW사이 에 최단 경로 트리 구성을 위한 인자



(그림 3) 트리 생성 과정

(metric)로 홉(hop) 수를 사용한다. 네트워크 초기화 상태에서 GW는 PROBE 메시지를 망 전체에 브로드캐스트 함으로써 네트워크 내의 각 RP가 자신이 GW로부터 최소 몇 홉 떨어져 있는지를 알 수 있게 한다. 홉 수 정보는 싱크가 접속할 RP (이후 본 논문에서는 싱크와 직접 통신하는 RP를 서빙 RP라고 지칭함) 선정과, 이후 서빙 RP로부터 GW까지 트리 경로 상의 RP들 (상위 RP라고 지칭함)을 차례로 결정하는데 이용된다. 자세한 트리 생성 과정은 (그림 3)과 같다.

4.1.1 서빙 RP(serving RP) 선택

트리 생성 과정은 RP가 싱크로부터 데이터를 처음 수신함으로써 시작된다. 무선 전송은 브로드캐스트되는 특성이 있으므로 싱크가 전송한 데이터는 격자 내의 다수의 RP가 수신 할 수 있으며, 이들 중 데이터를 GW로 전송할 RP (i.e. 서빙 RP)를 선택해야 한다. 서빙 RP는 다음과 같은 분산 방법에 의해 선정된다.

싱크로부터 데이터를 수신한 각 RP는 타이머를 설정한다. 만일 자신이 설정한 시간 동안 이웃 RP로부터 ADVERTISEMENT 메시지를 수신하지 못한 RP는 자신을 서빙 RP로 선언하고 ADVERTISEMENT 메시지를 이웃 RP에게 전송한다. 타이머는 RP와 GW 간의 최소 홉 수에 비례하여 선정되며 이로 인해 GW에 가까이 위치한 RP가 서빙 RP가 될 확률이 커진다. 또한 RP와 GW까지의 최소 홉 수가 k이면 타이머는 [k-1, k) 사이에서 임의로 선정되

어 최소 홉 수가 같은 RP들이 동일한 타이머 값을 설정할 확률을 낮춘다. 자신이 설정한 타이머가 만료하기 전에 *ADVERTISEMENT* 메시지를 수신한 RP는 다른 RP가 서빙 RP로 선정되었다고 간주하고 서빙 RP 선정 과정을 종료한다.

4.1.2 상위 RP(upstream RP) 결정

싱크의 서빙 RP가 선정된 후 서빙 RP는 *CONSTRUCT* 메시지를 이웃 RP에게 전송 함으로써 트리 경로 설정 과정을 시작한다. 서빙 RP로부터 GW까지의 상위 RP 설정을 위해 서빙 RP는 *CONSTRUCT* 메시지에 자신과 GW 사이의 홉 수 정보를 기재한다.

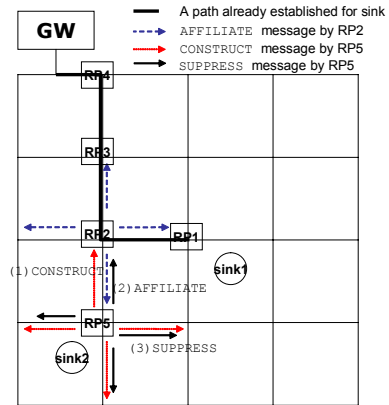
CONSTRUCT 메시지를 수신한 RP는 서빙 RP가 전송한 홉 수와 자신이 망 초기화 과정에서 *PROBE* 메시지를 통해 얻은 자신과 GW 사이의 거리를 비교한다. 만일 초기화 과정에서 RP가 획득한 홉 수가 *CONSTRUCT* 메시지에 기재된 홉 수보다 작다면 이 RP는 트리 경로 상의 상위 RP가 될 수 있으며 이들을 후보 상위 RP라고 명명한다. 일반적으로 하나 이상의 후보 상위 RP가 존재할 수 있으므로 앞서 설명한 서빙 RP 선정 과정과 비슷한 방법으로 서빙 RP의 상위 RP를 결정한다.

후보 상위 RP는 자신과 GW 사이의 홉 수에 비례하여 타이머를 설정한다. 만일 자신이 설정한 시간 동안 이웃 RP로부터 *SUPPRESS* 메시지를 수신하지 못하면 RP는 자신을 상위 RP로 결정한다. 상위 RP로 결정된 RP는 자신과 GW 사이의 홉 수를 *CONSTRUCT* 메시지에 기재하여 전송함으로써 GW까지의 동일한 상위 RP 결정 과정이 반복된다. 이와 같은 과정은 *CONSTRUCT* 메시지가 GW까지 전달되거나, 생성중인 새로운 트리 경로가 기존의 트리 경로에 병합될 때까지 반복된다. 자신의 상위 RP로부터 *CONSTRUCT* 메시지를 수신한 하위 RP(downstream RP)는 *SUPPRESS* 메시지를 전송하여 다른 이웃 RP들이 상위 RP 경합 과정을 종료하게 한다.

4.2 트리 경로 병합

상위 RP를 결정하고자 하는 RP가 이미 구성되어 있는 트리 경로를 발견하면, 기존에 설정되어 있는 경로를 자신의 상위 경로로 이용할 수 있다. 이와 같은 트리 경로 병합 과정을 통해 트리 구성 메시지가 GW까지 전파 되는 것을 줄임으로써 네트워크 내 전송되는 제어 메시지 양과 트리 구성 시간을 단축 시킬 수 있다. 트리 경로 병합은 GW가 아니라 기존 트리 경로를 발견하면 이루어 지는 것을 제외 하고는 상위 RP 결정 과정과 동일한 절차를 따른다.

(그림 4)는 트리 경로 병합 과정의 예를 보여 주고 있다. 싱크 1(sink1)에 대한 트리가 RP1, RP2, RP3, RP4를 통해 구성되어 있다. RP5를 싱크 2(sink2)의 서빙 RP라고 가정하면 RP5는 싱크 2를 위한 트리 생성을 위해 *CONSTRUCT* 메시지를 전송하며 싱크 1을 위한 트리에 속해있는 RP2가 이 메시지를 수신하게 된다. 만일 *CONSTRUCT* 메시지에 포함된 홉 수가 RP2와 GW 사이의 홉 수보다 크다면 RP2는 타이머 설정 없이 바로 *AFFILIATE* 메시지를 전송하여



(그림 4) 트리 경로 병합 과정

RP5로 하여금 싱크 2에 대한 트리의 상위 RP로 RP2를 설정하게 만든다. *AFFILIATE* 메시지를 수신한 RP5는 *SUPPRESS* 메시지를 전송하여 다른 이웃 RP들이 자신의 상위 RP가 되려는 것을 멈추게 한다. 또한 *AFFILIATE* 메시지를 전송한 RP2는 *CONSTRUCT* 메시지를 전송하지 않으므로 싱크 2에 대한 트리 구성 과정은 RP2에서 종료된다.

4.3 트리 관리

트리 상의 모든 RP들은 자신의 상/하위 RP에 대해 소프트웨어 상태를 유지한다. 서빙 RP의 경우 상위 RP와 자신이 서비스 중인 싱크의 정보를 유지한다. 즉, 트리 상의 각 RP는 주기적으로 *HELLO* 메시지를 전송함으로써 상태 정보를 유지한다. 하위 RP가 상위 RP로부터 일정 시간 동안 *HELLO* 메시지를 수신 받지 못하면 해당 RP에 대한 상태 정보를 삭제한다. 상위 RP의 상태 정보를 삭제한 RP는 트리 생성과 트리 경로 병합 과정에서와 마찬가지로 *CONSTRUCT* 메시지를 전송함으로써 트리 경로를 복구한다.

반면에 트리 상의 RP가 일정 시간 동안 데이터를 수신하지 못하면, RP는 더 이상 이 경로를 통해 서비스 할 싱크가 없다고 판단하고 자신이 유지하고 있던 모든 트리 관련 정보를 삭제한다. 이와 같은 과정을 통해 불필요한 트리 경로를 제거할 수 있다.

4.4 지향성 플로딩 (Directional flooding)

반응형 라우팅 기법의 단점인 초기 경로 설정 시간을 제거하기 위해 본 논문에서는 지향성 플로딩 기법을 채택하였다. 다시 말해서, 반응형 기법은 경로 설정 후 설정된 경로를 통하여 데이터를 전송함으로써 초기 경로 설정 시간 동안 데이터의 전송이 지연되는 단점을 가지고 있다. 그러나 본 논문에서는 경로설정 시간 동안 데이터 전송을 연기하는 것이 아니라 일단 데이터는 지향성 플로딩 방법에 의하여 전송 한 후 경로 설정 작업을 수행함으로써 초기 경로 설정 지연시간을 제거하였다. 경로가 설정된 이후에는 설정된 경로를 따라 데이터가 전송된다. 트리 생성 전에 싱크로부터 첫 번째 데이터를 수신한 RP는 자신과 GW와의 홉 수 정보를 데이터와 함께 1-홉 플로딩을 통해 이웃 RP에게 전

달한다. 이를 수신한 이웃 RP들 중 수신한 데이터에 포함되어 있는 홉 수보다 자신과 GW와의 홉 수가 더 작은 RP들만 자신의 이웃 RP들에게 수신한 데이터를 1-홉 플러딩 하며, 이 과정은 데이터가 GW에 도착할 때까지 반복된다. 즉, 지향성 플로딩은 GW 방향 쪽의 이웃 RP들만 데이터를 포워딩함으로써, 네트워크 전체에 데이터가 브로드캐스트됨으로써 발생할 수 있는 과도한 부하를 줄이고 트리 생성 전 초기 데이터 전송에서 발생할 수 있는 전송 지연을 줄일 수 있다.

5. 성능 분석

본 장에서는 제안 기법의 성능을 대표적인 반응형 MANET 라우팅 프로토콜인 AODV와 비교 분석한다. 우선 RP로부터 GW까지 경로 설정 부하를 수학적으로 분석하고 ns-2 [14] 기반으로 한 모의 실험을 통해 두 기법의 성능을 망 내 부하와 전달망의 수명 및 데이터 전송 지연 측면에서 분석한다.

5.1 단일 경로 설정 분석

본 절에서는 AODV와 제안 기법의 성능을 RP에서 GW까지 경로 설정을 위한 제어 메시지 부하량의 측면에서 비교 분석한다. 수학적 분석을 위해 다음과 같이 가정한다.

- 각 프로토콜에서 사용되는 제어 메시지의 종류에 관계없이 제어 메시지 전송 비용 (e.g. 메시지 전송 전력)은 C_t 이며 메시지 수신 비용 (e.g. 메시지 수신 전력)은 C_r 로 동일하다.
- 서빙 RP와 GW 사이에 트리 경로는 병합되지 않는다.
- 메시지 송, 수신 오류 및 이로 인한 재전송은 발생하지 않는다.
- RP의 유효 전송 거리는 r 이고, 각 RP는 격자의 모서리에 위치하여 최대 4개의 RP와 이웃한다.

5.1.1 AODV의 경로 설정 비용

AODV의 경우 서빙 RP에서 GW까지의 경로는 다음과 같이 두 단계를 거쳐서 설정된다. 첫번째 단계는 RREQ 메시지를 서빙 RP에서 GW로 브로드캐스트하는 단계이며, 두번째 단계는 RREP 메시지를 GW에서 서빙 RP로 유니캐스트하는 과정이다. 서빙 RP에서 GW까지 RREQ 메시지는 브로드캐스트되므로 네트워크 내의 모든 RP는 RREQ 메시지를 한번씩 전송한다. 또한 모든 RP는 각 RP는 이웃 RP들이 송신한 RREQ 메시지를 수신하므로, 전달망이 $mRP \times nRP$ 로 구성된 경우 서빙 RP에서 GW로 RREQ 메시지 전달에 의한 비용은 다음과 같이 주어진다.

$$C_{AODV}^{RREQ} = (n-2)(m-2)(C_t + 4C_r) + 2[(n-2) + (m-2)](C_t + 3C_r) + 4(C_t + 2C_r) \quad (1)$$

여기서 첫 번째 항은 전달망의 내부에 위치한 RP들에 의한 비용 (이웃 RP의 수가 4인 경우)이며 두 번째 항은 격자의

모서리에 위치한 RP들에 의한 비용이고 마지막 항은 격자의 네 귀퉁이에 위치한 RP에 의한 비용을 나타낸다.

서빙 RP와 GW까지의 경로 상에 위치한 RP들은 자신의 상위 RP로부터 RREP 메시지를 수신하게 된다. GW까지의 홉 수가 동일한 이웃 RP들은 RREP 메시지를 전달하지 않으므로 서빙 RP와 GW까지의 홉 수를 k 라고 가정하면 RREP에 의한 비용은 다음과 같이 주어진다.

$$C_{AODV}^{RREP} = (C_t + 2C_r)k + (2k + 4)C_r \quad (2)$$

따라서 식 (1)과 (2)에 의해 AODV에 의한 전체 경로 설정 비용은 다음과 같이 주어진다.

$$C_{AODV} = C_{AODV}^{RREQ} + C_{AODV}^{RREP} \quad (3)$$

5.1.2 제안 기법에 의한 경로 설정 비용

서빙 RP는 *ADVERTISEMENT* 메시지 전송 이후 *CONSTRUCT* 메시지 송신을 통해 트리 생성을 시작한다. 이후 서빙 RP가 이웃 RP로부터 *CONSTRUCT* 메시지를 수신하면 *SUPPRESS* 메시지를 송신하여 다른 RP들이 자신의 상위 RP가 되려는 시도를 방지한다. 따라서 서빙 RP의 상위 RP가 아닌 다른 이웃 RP들은 *ADVERTISEMENT*, *CONSTRUCT*, *SUPPRESS* 메시지를 수신하게 된다. 따라서 서빙 RP에 의한 제어 메시지 부하는 다음과 같이 주어진다.

$$C_{TREE}^{S,RP} = (3C_t + C_r) + 9C_r \quad (4)$$

서빙 RP를 제외한 경로 상의 다른 RP들은 자신의 하위 RP로부터 *CONSTRUCT* 메시지를 수신하고 상위 RP 결정을 위해 이웃 RP에게 *CONSTRUCT* 메시지를 전송한다. 상위 RP가 결정되면 (즉, 상위 RP로부터 *CONSTRUCT* 메시지를 수신하면) *SUPPRESS* 메시지를 송신하여 다른 이웃 RP들의 상위 RP 결정 과정을 종료 시킨다. 따라서 서빙 RP와 GW까지의 홉 수를 k 라고 가정하면 서빙 RP를 제외한 상위 RP에 의해 발생하는 트리 생성 비용은 다음과 같이 주어진다.

$$C_{TREE}^{B,RP} = [(2C_t + C_r) + 4C_r](k-1) \quad (5)$$

식 (4)와 (5)에 의해 제안 기법을 통해 서빙 RP에서 GW까지의 경로 설정 비용은 다음과 같이 주어진다.

$$C_{TREE} = C_{TREE}^{S,RP} + C_{TREE}^{B,RP} \quad (6)$$

즉, 서빙 RP와 GW까지의 홉 수가 같은 경우 이들 사이의 경로 설정 비용은 식 (3)과 (6)에 의해 제안 기법이 AODV의 경우보다 약 7배 작다는 것을 알 수 있다.

5.2 모의 실험 결과

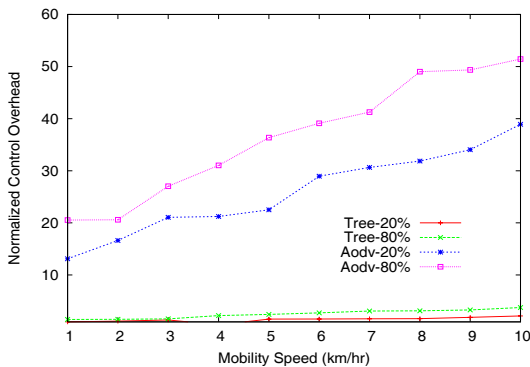
본 절에서는 ns-2를 이용한 모의 실험을 통해 제안 기법과 AODV의 성능을 평균 데이터 전송 지연, 전달망 서비스 지속 시간 및 경로 관리 부하의 측면에서 비교한다. 평균 데이터 전송 지연은 데이터가 싱크에서 GW까지 전송되는

데 소요되는 평균 시간을 의미하며, 전달망 서비스 지속 시간은 네트워크 초기화 이후 임의의 서빙 RP로부터 GW까지 경로 설정이 불가능할 때까지 걸리는 시간으로 정의된다. 경로 관리 부하는 경로 설정, 유지 및 보수를 위해 필요한 제어 메시지를 전달망 서비스 지속 시간으로 나눈 값으로 정의하였다.

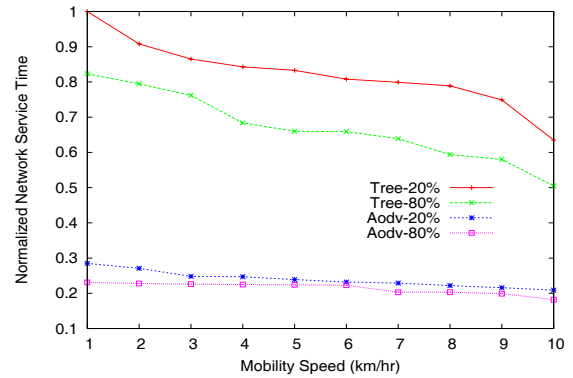
전달망 구성을 위해 121개의 RP들을 같은 간격으로 격자 형태로 포설하였다. 무선 환경은 Fritz의 경로 손실 모델 (path loss model)[15]으로 모델링 하였으며 in-building 환경을 고려하였다. 싱크는 2초마다 데이터를 송신하며 싱크의 수는 RP의 개수의 15%가 되도록 설정하였다. 또한 RP가 이동하는 경우 random waypoint 모델[16]을 따른 다고 가정하였으며 싱크와 RP, RP들 사이의 통신은 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에 따라 이루어지며, 이들 사이는 서로 다른 채널을 사용하여 이들간의 간섭은 발생하지 않도록 설정하였다.

(그림 5)에서 (그림 7)은 싱크의 이동 속도에 대한 경로 관리 부하, 전달망 서비스 시간, 평균 데이터 전송 시간을 각각 보여준다. 각 그림의 범례는 “사용기법-X%” 형태로 표기하며 X는 전체 싱크 중 이동 싱크의 비율을 나타낸다. 예를 들어 Tree-20%는 이동 싱크가 전체 싱크의 20%인 환경에서 제안 기법을 적용한 경우 얻어진 결과를 나타낸다. 또한 (그림 5)에서 (그림 7)의 결과는 각 실험에서 결과가 가장 좋은 경우 (Tree-20%, 싱크 이동 속도 1km/h)에 대해 정규화 된 값을 나타낸다.

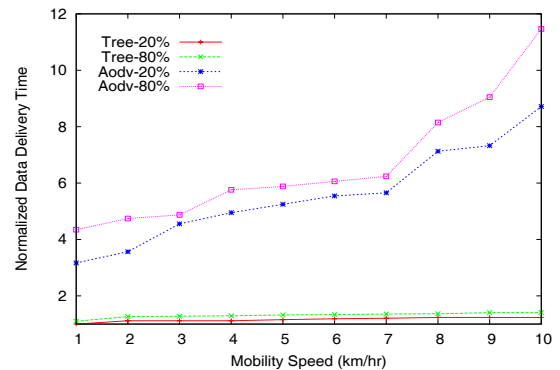
(그림 5)에서 보는 바와 같이 제안 기법은 경로 관리 부하 측면에서 AODV보다 우수한 성능을 나타낸다. 특히 이동 싱크가 많고 이들의 이동 속도가 빠를수록 이동 싱크가 이웃 RP로 이동할 확률이 커진다. AODV의 경우 싱크가 새로 접속하는 경우 RP와 GW 사이의 경로 설정이 수반되므로 RREQ 메시지의 브로드캐스트로 인한 제어 메시지 양이 증가한다. 실험 결과 AODV의 제어 메시지 양은 제안기법에 의해 평균 15배, 최대 40배 많았다. 이처럼 높은 경로 관리 부하로 인해 AODV를 이용하는 경우 전달망의 수명은 제안기법 보다 낮아진다(그림 6). 즉, 제어 메시지의 교환 부담이 증가되면 RP의 배터리 소모량이 증가되고 이로 인해 방전된 RP의 수가 증가하게 되어, 임의의 서빙 RP에서 GW까지 경로 설정이 불가능해 질 확률이 증가되므로 전달



(그림 5) 이동 싱크의 이동 속도에 대한 경로 관리 비용



(그림 6) 이동 싱크의 이동 속도에 대한 전달망 서비스 지속 시간



(그림 7) 이동 싱크의 이동 속도에 대한 평균 데이터 전송 지연

망의 서비스 지속 시간은 줄어 들게 된다. 또한 동일한 조건에서 이동 RP의 비율이 증가하게 되면 경로 관리를 위한 제어 메시지 발생 빈도가 증가하게 되어 전달망 수명이 감소하게 된다. 실험 결과 AODV를 적용하는 경우 제안 기법보다 네트워크 수명이 40~70% 감소하였다.

(그림 7)은 싱크의 이동 속도에 대한 평균 데이터 전송 지연을 나타낸다. AODV의 경우 경로가 설정되기 전에는 데이터가 GW로 전달될 수 없는 반면, 제안 기법을 이용하는 경우 지향성 플로딩을 통해 초기 데이터를 경로 설정 전에 GW로 전송할 수 있다. 따라서 (그림 7)은 제안 기법을 적용한 경우 AODV를 적용한 경우보다 평균 데이터 전송 지연을 거의 10배 줄일 수 있다는 것을 보여준다.

6. 결론

다수의 센서 네트워크가 넓은 범위에 동시에 포설되는 경우 싱크의 수는 네트워크 크기에 비해 적으며 이들 센서 네트워크에서 수집된 정보를 GW를 통해 전달할 필요가 있게 된다. 따라서 싱크와 GW 사이에 데이터 전송을 위한 효과적인 경로 관리 기법이 필요하다. 본 논문에서는 싱크와 GW 사이의 데이터 전송을 위하여 RP들이 격자 형태로 포설된 전달망을 가정하였으며 이러한 환경에서 효율적으로 동작할 수 있는 GW를 근원으로 하는 트리 기반 경로 관리 기법을 제안하였다. 제안 기법은 1-홉 플로딩에 의해 경로

를 설정하고 링크 오류시 지역 정보만을 이용해 복구가 이루어 지므로 경로 관리 부하가 적으며 지향성 플로딩에 의해 초기 데이터 전송 지연을 최소화 한다.

제안기법의 타당성은 AODV와의 수학적 비교 및 모의실험을 통해 검증하였다. 분석 결과 제안 기법을 통해 RP에서 GW까지 경로를 설정하는 제어 메시지 부하는 AODV에 비해 최대 7배 작았으며, 모의 실험 결과 제안 기법은 평균 데이터 전송 지연, 전달망 서비스 지속 시간 및 경로 관리 비용 측면에서 AODV보다 우수하였다.

참 고 문 헌

[1] K. Romer and F. Mattern, "The Design Aspect of Wireless Sensor Networks," *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol.11, 6, pp.54-61, 2004.

[2] E. L. Lloyd and G. Xue, "Relay Node Placement in Wireless Sensor Networks," *IEEE Trans. on Computers*, Vol.56, 1, pp.134-138, 2007.

[3] D. Son, B. Krishnamachari and J. Heidemann, "Experimental Study of the Effects of Transmission Power Control and Blacklisting in Wireless Sensor Networks," *Proc. IEEE SECON*, pp.289-298, 2004.

[4] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Elsevier Ad Hoc Networks*, Vol.3, pp.325-349, 2003.

[5] M. J. Handy, M. Haase, and D. Timmermann, "Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy with Deterministic Cluster-Head Selection," *Proc. IEEE MWCN*, pp.368-372, 2002.

[6] B. Krap and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," *Proc. ACM MCN*, pp.243-254, 2000.

[7] Y. T. Hou, Y. Shi, H. D. Sherali, and S. F. Midkiff, "On Energy Provisioning and Relay Node Placement for Wireless Sensor Networks," *IEEE trans. on wireless communications*, Vol.4, 5, pp.2579-2590, 2005.

[8] K. Xu, H. Hassanein, and G. Takahara, "Relay Node Deployment Strategies in Heterogeneous Wireless Sensor Networks: Multiple-Hop Communication Case," *Proc. IEEE SECON*, pp.575-585, 2005.

[9] Q. Wang, K. Xu, H. Hassanein, and G. Takahara, "Minimum Cost Guaranteed Lifetime Design for Heterogeneous Wireless Sensor Networks (WSNs)," *Proc. IEEE IPCCC*, pp.599-604, 2005.

[10] A. Kansal, A. A. Somasundara, D. D. Jea and M. B. Srivastava, "Intelligent Fluid Infrastructure for Embedded Networks," *Proc. ACM Mobisys*, pp.99-110, 2004.

[11] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu and L. Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-Scale Wireless Sensor Networks," *Proc. ACM Mobicom*, pp.148-159, 2002.

[12] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing," *IETF internet-draft (RFC3561)*, July 2003.

[13] C. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic

Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol.24, no.4, pp234-244, Oct. 1994.

[14] The Network Simulator, ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

[15] G. L. Stuber, 'Principles of Mobile Communication', 2nd Ed., Kluwer Academic, 2001.

[16] G. Resta and P. Santi, "An Analysis of the Node Spatial Distribution of the Random Waypoint Mobility Model for Ad Hoc Networks," *Proc. ACM POMC*, pp.44-50, 2002.



임 유 진

e-mail : yujin@suwon.ac.kr

1995년 숙명여자대학교 전자계산학과(학사)
1997년 숙명여자대학교 대학원 전자계산학과(석사)
2000년 숙명여자대학교 대학원 전자계산학과(박사)

2000년 서울대학교 Post-Doc
2000년 서울시립대학교 연구교수
2003년 University of California Los Angeles, Post-Doc
2003년 삼성종합기술원 전문연구원
2004년~현 재 수원대학교 정보미디어학과 전임강사
관심분야 : 센서 네트워크, 애드혹 네트워크, 홈 네트워크 등



박 재 성

e-mail : jaesungpark@suwon.ac.kr

1995년 연세대학교 전자공학과(학사)
1997년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
2001년 연세대학교 대학원 전기,전자공학화(공학박사)

2001년~2002년 Univ. of Minnesota PostDoc. Research Faculty
2002년~2005년 LG전자 전임연구원
2005년~현 재 수원대학교 인터넷정보공학과 전임강사
관심분야 : 이동성 관리 기술, 성능 평가, 무선 매쉬 네트워크 설계 등



안 상 현

e-mail : ahn@uos.ac.kr

1986년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)
1988년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사)
1989년 University of Minnesota 컴퓨터학과(박사)

1988년 (주)데이콤 연구원
1994년 세종대학교 컴퓨터학과 전임강사/조교수
1998년~현 재 서울시립대학교 컴퓨터과학부 정교수
관심분야 : 애드혹 네트워크, 센서 네트워크, 홈 네트워크, 이동통신, 라우팅 프로토콜 등