

유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 부하 분산 AODV 프로토콜

AODV Protocol with Load Distribution for Ubiquitous Sensor Networks

조영준*, 김성철*, 조용범**, 조성준*

Young-Jun Jo*, Seong-Chul Kim*, Yong-Bum Cho** and Sung-Joon Cho*

요 약

유비쿼터스 센서 네트워크 (USN)의 노드에서 노드의 에너지가 한정되어 있기 때문에 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위해서는 각 노드의 에너지 소모를 가능한 균일하게 하여야 한다. USN에서 라우팅 프로토콜로서 많이 도입이 되어 지고 있는 AODV는 각 노드의 잔여 배터리 전력량을 고려하지 않고 경로를 채택하므로 각 노드의 불균형적인 전력 소모 현상이 심각하게 발생한다. 본 논문에서는 AODV를 수정하여 각 센서 노드의 패킷 중계량에 따라 적응적으로 그 중계량을 제어하여, 특정 노드에 트래픽이 몰리는 것을 방지하고 전체 네트워크의 수명을 높일 수 있는 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘을 센서 네트워크에 적용했을 때, 각 센서 노드의 패킷 중계량이 비슷하게 유지됨으로써 USN의 동작 수명을 높일 수 있음을 검증하였다.

Abstract

In Ubiquitous Sensor Network (USN), the sensor nodes are required to consume their energy evenly to prolong the lifetime of the entire sensor network because of the limited energy of the sensor node. AODV which is applied to USN as routing protocol selects route according to only the shortest distance of the minimum hop count but regardless of the remaining battery power for each node. Thus it comes to ill-balanced power consumption seriously. In this paper, a scheme that controls packet relay quantity of each sensor node adaptively to prevent traffic overhead at a certain node and to increase the entire network lifetime is proposed. As it is analyzed by simulations, the proposed scheme enhances USN lifetime by balancing each sensor node's packet relay quantity.

Key words : USN, AODV, load distribution, battery power

I. 서 론

유비쿼터스 센서 네트워크 (Ubiquitous Sensor Network, USN)는 일반적으로 광범위하게 설치되어 있는 유무선 네트워크 인프라에 상황인지를 위한 다양한 센서 노드 (Sensor node)를 결합하여 감지된 데

이터를 응용 서비스 서버와 연동하는 것을 말한다. 센서 기술, 저전력 전자공학 기술, 저전력 RF 설계 기술 등의 발달로 무선 네트워크를 통하여 연결될 수 있는 소형, 저가, 저전력 센서 노드들의 개발이 가능하게 되었고, 이 기술들을 사용하여 홈 네트워크, 군사, 재난감시, 환경감시, 지능형 물류관리, 원격 건강

* 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 (Dept. of Inform. & Telecom. Eng., Graduate School of Korea Aerospace University)

** 정보통신연구진흥원 (Institute for Information Technology Advancement)

· 제1저자 (First Author) : 조영준

· 접수일자 : 2007년 9월 19일

관리 등에 적용을 시도하는 등 우리의 일상생활과 밀접한 분야에 응용이 확대되고 있어서 다양한 기술개발이 이루어지고 있다 [1],[2].

USN에서 센서 노드들은 자체의 송신거리보다도 멀리 있는 사용자에게 데이터를 전송하기 위해서 멀티 홉 (Multi-hop) 통신을 이용해야 하고 이를 위해서 라우팅 기능이 필요하다. USN에서는 센서 노드들이 협력을 해서 데이터를 싱크 노드 (Sink node)까지 전송하기 때문에 각 센서 노드의 수명이 USN의 수명을 결정짓는 중요한 요소가 된다. 센서 노드의 수명은 각 센서 노드가 가지고 있는 배터리에 의존하므로 될 수 있는 한 소모하는 에너지 양을 줄여 모든 센서 노드가 골고루 오래 동작할 수 있도록 하여 전체 통신망의 수명을 늘릴 수 있는 방안이 요구된다.

USN에서 센서 노드는 지속적으로 에너지를 공급받지 못하기 때문에 센서 노드의 한정된 에너지를 효율적으로 소모하는 라우팅 기법에 관한 많은 연구가 있어 왔다. LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering-Heads) [3]는 센서 네트워크의 전송 부하를 균일하게 하여 전체 네트워크의 수명을 연장시켰으며 SPIN (Sensor Protocol for Information via Negotiation) [4]은 센서 노드들 사이에서 메시지를 주고 받아 중복된 데이터 전송을 줄이고 신뢰성을 향상시켰다. AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector)는 패킷 헤더에 전체 경로를 포함하지 않으므로 자원낭비 문제점을 개선하였고, 통신이 필요할 경우에만 경로를 설정함으로써, 제어 메시지를 줄였다. 하지만 LEACH의 경우 클러스터 헤더로 선택된 노드들이 싱크 노드와 통신할 수 있어야 한다는 제약이 있으며, SPIN은 전송 손실이 많은 무선 통신의 특성을 고려할 때 데이터 전송 전에 메시지를 주고 받는 방식은 이 메시지가 손실될 경우 데이터를 전송할 수 없다는 제약이 있다. 그리고 AODV는 최소 비용 방식으로 라우팅 경로를 결정하는데, 이는 라우팅 시 특정 노드에 트래픽이 몰릴 수 있어, 해당 노드의 전력 소모가 타 노드들에 비해 현격히 증가될 수 있다.

본 논문에서는 AODV 라우팅 프로토콜의 전력 소모 집중 문제를 해결하기 위해, USN에서 특정 노드에 트래픽이 집중되는 현상을 방지하기 위한 새로운 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은

센서 노드의 패킷 중계량에 따라 각 센서 노드가 전달하는 트래픽 양을 적응적으로 제어하여 특정 노드의 전력 소모가 현격히 증가하는 것을 방지한다. 시뮬레이션을 통해, 제안한 알고리즘을 적용했을 때 특정 노드에 트래픽이 집중되어 이웃 노드들에 비해 전력 소모가 훨씬 증가하는 현상을 상당부분 방지하고, 트래픽이 분산됨으로써 전체 네트워크의 수명이 연장됨을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 USN 환경과 USN 환경에서 고려해야 할 사항들에 대해 설명하고, III장에서 Ad-hoc 네트워크의 특징과 Ad-hoc 라우팅 프로토콜의 종류에 대해 분석한다. IV장에서는 USN에 적용할 AODV 라우팅 프로토콜에 대해 언급하고 USN 전체 네트워크의 수명 연장을 위해 제안하는 알고리즘을 설명한다. V장에서는 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션 결과를 분석한 뒤, 마지막으로 VI장에서 결론을 내린다.

II. 유비쿼터스 센서 네트워크

유비쿼터스 센서 네트워크 (USN)는 어느 곳이나 부착된 태그와 센서로부터 사물과 환경 정보를 감지, 저장, 가공하여 인터넷을 통해 전달하는 기술로 거의 모든 인간 생활에 활용하는 것을 목적으로 한다.

USN을 구성하는 데 필요한 기술적 초점은 저전력과 신뢰성이다. 이는 특히 MAC (Media Access Control)과 라우팅 기술을 중심으로 하는 프로토콜 기술이 핵심 포인트이다. 저전력과 신뢰성을 확보하기 위해서는 프로토콜의 검증을 위한 시뮬레이션 기술 뿐만 아니라 구현 단계에서부터 시스템의 트래픽 특성, MAC, 라우팅 프로토콜의 효율과 동작검증 등이 필요하다. USN이 기존의 Ad-hoc 네트워크와 다른 가장 큰 특징은 배터리와 같이 제한된 자원을 갖는 센서 노드를 활용하여 서비스가 구현되어야 한다는 것이다. USN 관련 주요 핵심 기술들은 센서 노드의 수명을 증가시키고, 서비스 신뢰성을 확보하는데 중점을 두고 있다 [5].

센서 노드는 센싱, 컴퓨팅, 무선통신 기능을 갖춘 초소형장치로서 노드 간에서 자율적으로 네트워크를

형성하여 외부의 환경 정보를 획득, 처리 및 제어 기능을 수행하는 USN의 핵심 소자이다. 센서 노드들은 다양한 종류의 센서, 실행기, 무선통신 칩 및 제어기를 가지며, 센서 네트워크는 센싱 정보와 실행기의 제어 정보를 센서 노드들 간에 분산하여 저장하거나 싱크 노드로 무선 통신에 기반하여 전달하므로, 센서 노드는 이들 정보를 제어하고 관리하여 전력소모를 줄이면서 효율적으로 사용자의 요구에 따라 전달하거나 처리할 수 있도록 배치, 운영, 통신할 수 있는 저전력형의 초소형 센서 노드 기술 개발이 필요하다.

배터리 기술은 센서 노드에 장기적으로 안정적 전력을 공급하여 소자의 원활한 구동을 가능하게 해주는 핵심부품 기술이다. 센서 네트워크의 전원은 대개의 경우 교체가 불가능한 배터리에 의존하므로, 저전력 기술과 효과적인 전력 소모 기술은 각 노드의 수명뿐만 아니라 전체 네트워크와의 수명과 직결된 사항이다. 따라서 USN의 실용화를 위해서는 시스템 차원의 저전력 기술이 매우 중요하다.

또한 USN을 구성하는 센서 노드 자체가 초소형 컴퓨팅 단말인 관계로 각종 장치를 구동, 관리하고 애플리케이션 실행을 위한 운영체제가 필요하다. 센서 노드에 탑재되는 운영체제는 프로세싱과 메모리 자원이 매우 제한적인 환경에서 수행되는 초소형을 요구하는데 센서 네트워크 응용이 용이하도록 하드웨어와 상위 미들웨어와의 인터페이스가 효율적으로 설계되어야 한다.

위에서 살펴본 바와 같이 USN에서는 전원절약 방법이 핵심적 요소이다. 하지만 무선 시스템에서는 수신도 송신처럼 에너지를 소모하므로, 전력소모는 배터리를 전원으로 장시간 동작해야 하는 센서 네트워크에서는 치명적이다. 무선 시스템 입장에서 에너지 소모를 야기하는 요소는 collision, overhearing, idle listening, protocol overhead 등이 있다. Collision은 2개 이상이 패킷이 한 채널에 동시에 전송되어 전송 패킷에 오류가 발생하여 재전송으로 인한 쓸데없는 에너지 낭비 초래를 말하고, overhearing은 다른 노드로 가는 패킷을 쓸데없이 수신하여 에너지가 낭비되는 현상을 말하며, idle listening은 아무도 송신 중이 아닌 데도 쓸데없이 수신 대기하면서 전력을 소비하는 것을 의미한다. 그리고 protocol overhead는 RTS

(Request To Send)/CTS (Clear To Send) 등의 제어메시지 송수신에 의한 전력 소모이다.

대부분의 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 주로 센서 노드에서 감지된 데이터를 싱크 노드로 전송하기 위한 기법들이 제안되었다. 하지만 센서 네트워크를 센서 노드들 간의 자료 수집, 센서 네트워크를 통한 인터넷 연결 등 다양한 응용 분야에 적용하기 위해서는 노드들 간의 유니캐스트 형태의 통신이 필요하다. 이를 위한 라우팅 프로토콜은 AODV, DSR (Dynamic Source Routing) 등의 Ad-hoc 라우팅 프로토콜로써, 센서 네트워크는 이동성 관리와 peer-to-peer 통신을 하고 있는 Ad-hoc과 매우 많은 유사성을 갖고 있기에 센서 네트워크의 이동성 관리와 데이터 전송 경로에 대한 라우팅 프로토콜에 대한 기술들은 Ad-hoc으로부터 이어지고 있다. USN에서는 센서 노드들 간 라우팅을 통해서 데이터를 전송하기 때문에 각 센서 노드의 수명이 USN의 수명을 결정짓게 된다. 그리고 센서 노드의 수명은 자신의 배터리에 의존하는데, 센서 노드들은 네트워크가 형성된 후 유지보수가 어렵기 때문에 소모하는 배터리 양을 최대한 줄여 네트워크의 동작 수명을 높여야 한다. 하지만 대부분의 Ad-hoc 라우팅 프로토콜들은 에너지를 고려하지 않고 설계되어 있기 때문에 USN에 그대로 적용하면 에너지 효율성의 측면과 네트워크 수명 측면에서 큰 문제점이 발생한다.

III. Ad-hoc 라우팅

Ad-hoc 네트워크는 이동성이 부여된 단말들이 고정된 기반망에 독립적으로 무선 인터페이스를 이용하여 자율적으로 구성하는 임시적인 네트워크이다. Ad-hoc 네트워크는 기반망이 존재하지 않거나 기반망에 기초한 네트워크의 전개가 용이하지 않은 지역에서 임시적으로 네트워크를 구성하기 위해 개발된 기술로서, 초기에 군사적인 응용 목적으로 연구가 시작되었으나, 최근에는 USN과 PAN과 같이 실생활에 적용될 수 있는 여러 분야로 응용이 확대되고 있다.

3-1 Ad-hoc 네트워크의 개요

Ad-hoc 네트워크는 노드 간의 통신을 위해 무선 인터페이스를 사용한다. 유선 인터페이스 방식과 비교할 때 무선 인터페이스 방식은 전송 대역폭이 작다는 특성이 있다. 또한 무선 인터페이스 방식은 제한된 전송 거리를 가지므로 무선 전송 거리가 멀어질수록 데이터 전송률이 낮아지게 되어 적절한 전송률을 유지하기 위해서는 전송 거리상에 제약이 따르게 된다. 이를 해결하기 위해 Ad-hoc 네트워크에서는 멀티홉 방식을 사용하여 데이터가 전달될 수 있는 범위를 확장해 주고 있다.

Ad-hoc 네트워크를 구성하는 대부분의 노드는 이동성을 지원하기 위해 제한된 용량의 배터리를 에너지원으로 사용한다. 이와 같은 에너지의 제약 때문에 노드들의 에너지 상태를 고려하여 루트를 선택해야 안정적인 데이터 전송이 가능하다 [6],[7].

3-2 Ad-hoc 라우팅 프로토콜

Ad-hoc 라우팅 프로토콜은 그림 1과 같이 루트 정보 생성과 관리를 기준으로 기존의 유선환경에서 사용되는 Bellman-Ford 알고리즘을 사용하는 Table-driven 방식, 모든 단말이 이동하는 Ad-hoc 환경을 고려한 On-demand 방식으로 크게 나눌 수 있으며, 좀 더 세분하여 위 두 가지 방식의 장점을 혼합한 Hybrid 방식과 기타 방식으로 분류할 수 있다 [6],[8].

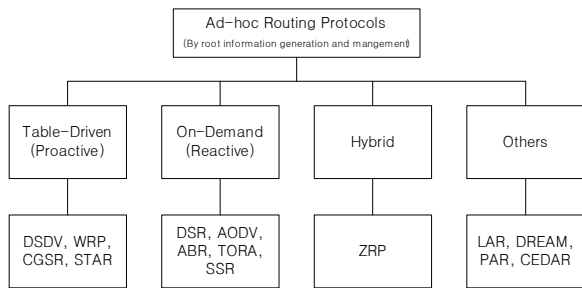


그림 1. Ad-hoc 라우팅 프로토콜의 분류

Fig. 1. Classification of Ad-hoc routing protocol

지금까지 제안된 프로토콜들은 각자의 어느 특정 한 상황에서 장단점을 가지고 있으며 모든 상황에서

가장 적합한 프로토콜은 명확하지 않다. 따라서 Ad-hoc 라우팅 프로토콜 선택은 네트워크 내 노드들의 이동 특성과 트래픽 특성에 의해 좌우될 것이다.

AODV 라우팅 프로토콜은 출발지와 목적지 사이에 홉 수가 최소인 경로를 설정하므로 종단 간에 데이터 전달 시 지연시간을 최소화한다. 또한 실제 센서 노드에서 가장 큰 에너지 소모를 요구하는 것이 데이터 전송인데 AODV의 경로 설정은 종단 간 최소의 전송과 수신이 발생하도록 하여 전체 에너지 소모 측면에서는 좋은 특성을 갖는다. 이러한 이유로 AODV는 USN 환경에 적합하여, USN에서 라우팅 프로토콜로 많이 도입되고 있다. 하지만 AODV는 경로 설정 시에 각 노드의 잔여 배터리 전력량을 고려하지 않고 홉 수가 가장 적은 최단 거리만을 고려한 경로를 채택하므로 각 노드의 불균형적인 전력 소모 현상이 심각하게 발생한다. 따라서 본 논문에서는 USN에 도입이 활발히 이루어지고 있는 AODV의 문제점을 보완하기 위해, 센서 노드의 전력 소모량을 고려하여 부하를 분산하도록 하는 새로운 라우팅 프로토콜을 제안한다.

IV. 부하 분산 Ad-hoc 라우팅 기법

Ad-hoc 라우팅 프로토콜은 네트워크 토폴로지가 변하지 않는 한 새로운 경로 설정을 하지 않는다. 따라서 무작위적으로 발생 되어 목적지까지 전송되는 트래픽은 몇몇 노드로 집중될 수 있으며, 그 결과 해당 노드들의 혼잡으로 인한 종단 간 지연이 커질 수 있다. 또한 몇몇 특정 노드들만 오랫동안 계속해서 사용됨에 따라 그들의 배터리가 빠르게 소모되므로, 결국 배터리가 방전되어 토폴로지 상의 연결 단절뿐만 아니라 새로운 경로 설정을 위한 많은 제어 메시지를 생성 시키게 된다.

대부분의 Ad-hoc 네트워크는 가장 홉 수가 작은 경로를 가장 짧은 경로로 판단하여 데이터를 전송하게 된다. 하지만 이러한 경로가 꼭 종단간 최소한의 지연을 가져오는 것은 아니다. 위에서 이야기한 특정 노드의 부하 집중 문제와 같이 생각해 볼 때, 특정 노드에 데이터가 집중될 경우 근처에 위치한 이웃 노드

들의 데이터 전송 지연에도 영향을 미치게 되어 네트워크 전체의 지연이라는 문제를 야기하게 된다.

이와 같은 문제를 미연에 방지하기 위해 본 논문에서는 AODV 라우팅 프로토콜을 부하 분산이 가능하도록 수정한 LD-AODV (Load Distribution AODV) 프로토콜을 제안하여, USN에서 특정 노드에 트래픽이 집중되는 현상을 방지한다.

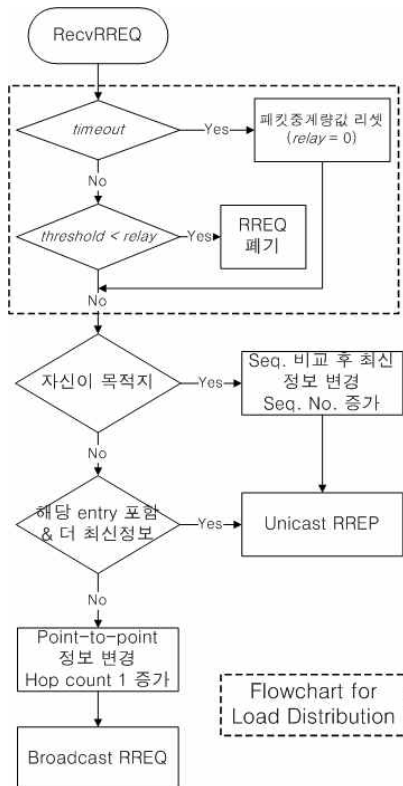


그림 2. 제안하는 알고리즘의 순서도
Fig. 2. Flowchart of the proposed algorithm

노드에서 *threshold* 값을 설정하여 각 노드의 트래픽 양을 제어하는 알고리즘의 순서도는 그림 2과 같다. 그림 2에서 *relay*, *threshold*, *timeout*은 제안하는 알고리즘에 쓰이는 변수로서, *relay*는 각 센서 노드가 중계해주는 패킷량을 의미한다. 즉 노드가 패킷을 하나 중계할 때마다 *relay* 값을 1증가시킨다. *threshold*는 알고리즘이 동작할 때 트래픽 양을 조절하기 위한 기준이 되는 값으로써 시뮬레이션을 통해 얻은 최적의 값으로 설정하였다. *timeout*은 노드의 패킷 중계량 값을 초기화하기 위하여 쓰이는 변수이다. 이는 패킷 중계량이 많아질수록 *timeout* 값을 감소시켜 각 센서 노드의 *relay* 값이 *threshold* 값을 초과하여 패킷을 중

계할 수 없는 것을 방지하도록 한다.

알고리즘의 구체적인 동작과정은 다음과 같다.

- 1) 새로운 패킷을 전송할 때만 부하 분산을 수행하기 위해 RREQ 패킷을 수신한 경우에 알고리즘을 적용한다.
- 2) RREQ 패킷 수신 시, 패킷 중계량 값의 초기화 여부를 결정하기 위해 *timeout* 여부를 판단한다. 노드가 다시 동작할 수 있는 일정 시간 (*timeout*) 이 지나면 *relay* 값을 다시 0으로 초기화시킨다.
- 3) *relay* 값이 0으로 설정되면, 노드는 기존의 AODV 알고리즘과 마찬가지로 상황에 따라 RREQ 패킷을 재브로드캐스팅 시키거나 RREP 패킷을 유니캐스팅한다.
- 4) *timeout*이 지나지 않았다면 *relay* 값을 그대로 유지한 채, 설정된 *threshold* 값과 비교한다.
- 5) *relay* 값이 *threshold* 값보다 크면, 이는 노드가 이전에 많은 양의 패킷을 중계했다는 것을 뜻하고 전력을 많이 소모했다는 것을 의미한다. 따라서 부하 분산을 수행하기 위해 노드는 수신된 RREQ 패킷을 버림으로써 더 이상 새롭게 설정된 트래픽의 패킷을 중계하지 않는다.
- 6) 중계 노드에서 RREQ 패킷이 버려졌기 때문에 이웃 노드는 중계 노드로부터 RREP 패킷을 수신하지 못하게 되고, 따라서 이웃 노드는 부하가 걸린 노드를 피해 새로운 경로로 패킷을 전송하게 된다.
- 7) 이처럼 부하가 걸린 중계 노드는 기존의 패킷은 계속 중계하면서 새로운 트래픽은 차단함으로써 다른 이웃 노드들과의 전력 소모를 비등하게 감소시킬 수 있다.
- 8) *threshold* 값을 초과하지 않으면, 노드는 3) 과정과 같이 기존의 AODV 알고리즘과 같이 동작한다.

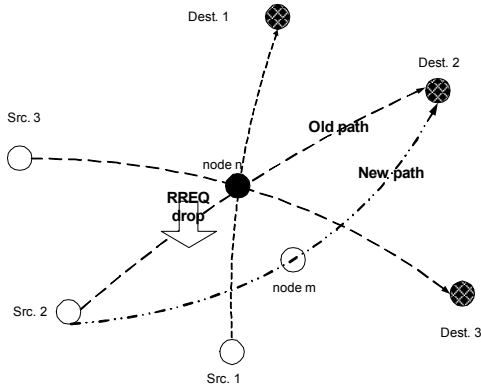


그림 3. 부하 분산 시나리오
Fig. 3. Load distribution scenario

그림 3은 위에서 제안한 알고리즘을 적용하였을 경우, 부하 분산이 일어나는 상황을 간단히 나타내었다.

그림 3에서 소스 노드 1, 2, 3는 기존에 노드 n을 통하여 각자 목적지까지 패킷을 전달하였다. 이 때 소스 노드 2가 기존의 트래픽을 중단하고 다시 새로운 패킷을 전송할 경우, 이미 많은 트래픽을 중계한 노드 n은 더 이상 자신은 새로운 트래픽을 중계할 수 없다고 판단하여 부하 분산을 시작한다. 따라서 제안한 알고리즘에 따라, 노드 n은 새로운 경로를 찾기 위한 소스 노드 2의 RREQ 메시지를 받아 들이지 않고 폐기시킨다. 대신 소스 노드 2는 노드 m에서 브로드캐스팅 시킨 RREQ 메시지에 대한 응답 (RREP)을 받고 노드 m을 거쳐 목적지로 패킷을 전송할 수 있게 된다.

V. 시뮬레이션

5-1 시뮬레이션 모델

제안하는 알고리즘의 성능평가를 위하여 버클리 소재 캘리포니아 주립대학의 Network Simulator, ns-2를 사용하였다[9].

시뮬레이션 모델은 그림 4와 같이 최대 25명의 사용자가 각각 하나의 센서 태그를 소유하고, 전체 81개의 센서 노드와 1개의 싱크 노드로 구성되어 있는 센서 네트워크 내에서 랜덤하게 이동한다고 가정하였다. 81개의 센서 노드는 이 사용자들의 움직임에

센싱하여 각 센서 노드를 거쳐 1개의 싱크 노드로 데이터를 보내 사용자들의 위치를 파악하는 환경을 가정하였다. 각각의 사용자와 싱크 노드 간 하나의 flow를 형성하며 최대 25개의 flow가 존재한다. 패킷은 사용자에서 싱크 노드로 전송되고, 송신단인 사용자에서는 traffic이 계속 생성된다고 가정하였다.

한편 제안하는 알고리즘의 성능은 네트워크의 대역폭이나 노드의 버퍼 크기 그리고 사용자 수 등에 따라 달라지며, 최적의 부하 분산을 위한 threshold, timeout 값들도 각각 다르다. 따라서 반복된 시뮬레이션 결과 가장 최적으로 근사한 값으로 threshold와 timeout 값을 설정하였다.

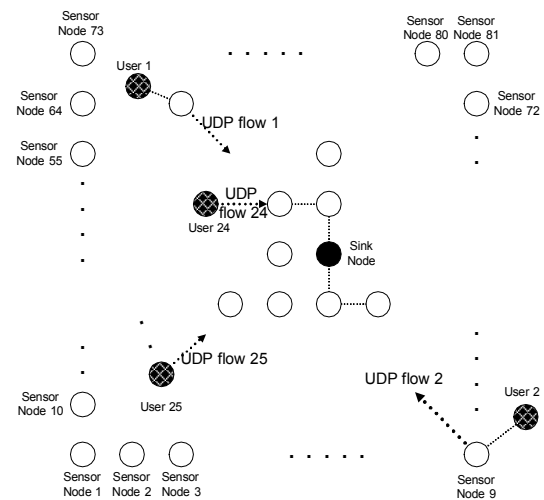


그림 4. 시뮬레이션 모델
Fig. 4. Simulation model

그 밖의 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Size of Network	1km x 1km
Number of Users	1, 5, 10, 25
Transport Layer Protocol	UDP
UDP Packet Size	100 byte
Number of Sensor Nodes	81
Number of Sink Node	1
Node Buffer Type	DropTail
Node Buffer Size	100 packets
<i>threshold</i>	200
<i>timeout (Sec.)</i>	3
Simulation Time (Sec.)	100

5-2 시뮬레이션 결과 및 분석

우선 부하 분산을 위한 아무런 기법도 사용하지 않았을 때의 시뮬레이션 결과 중 사용자가 1일 때를 그림 5에 나타낸다.

그림 5 (a)의 가로축은 노드의 실제 x축 좌표를, 세로축은 노드의 실제 y축 좌표를, 높이축은 각 노드의 패킷 중계량을 나타낸다. 그리고 그림 5 (b)는 그림 5 (a)의 그래프를 y축을 기준으로 2차원으로 표현하여 각 노드의 패킷 중계량을 비교하기 쉽게 하였다. 그림에서 보이는 바와 같이, 총 81개의 센서 노드 중 어떤 센서 노드는 매우 높은 패킷 중계량을 보이는 반면, 어떤 센서 노드는 낮은 패킷 중계량을 보이고 있다. 센서 네트워크 내에서 모든 사용자가 랜덤하게 이동하도록 하여 싱크 노드로부터 같은 홉 수에 있는 노드들은 비슷한 양의 패킷을 중계하도록 했음에도 불구하고, 어떤 센서 노드는 너무 많은 양의 패킷을 보내어 전력 소모가 심각하게 커지게 되고, 어떤 센서 노드는 패킷을 거의 보내지 않아 전력 소모가 거의 없는 것을 볼 수 있다. 또한, 패킷 중계량의 편차가 약 3650 패킷 (3732 패킷 대 82 패킷)으로 매우 큰 차이가 나타남을 확인할 수 있다. 이는 사용자가 랜덤하게 이동한다 하더라도, 한 명의 사용자만 존재하는 경우 네트워크 상에 전체 트래픽이 하나만 생성되므로 패킷이 전송되는 경로가 네트워크 내 한곳에 집중되어 발생하는 현상일 수도 있다. 따라서 사용자 수가 25인 네트워크의 각 노드의 패킷 중계량을 그림 6에 나타낸다. 사용자 수가 25로 증가한 경우 패킷 중계량 편차는 3650에서 27544 패킷으로 크게 증가한다. 사용자 수가 증가할수록 네트워크 전체 패킷 중계량이 많아지고 특정 센서 노드에 트래픽이 몰려, 센서 노드간 패킷 중계량 격차가 커져서 배터리 전력 소모량도 센서 노드 간 큰 차이가 발생한다. 즉, 부하 분산 기법이 사용되지 않을 경우 사용자의 수가 많아질수록 네트워크 내에서 특정 센서 노드에 부하가 집중되어 해당 센서 노드의 전력 소모가 이웃 센서 노드에 비해 급격하게 증가하므로 전체 네트워크 수명이 매우 빠르게 단축될 수 있다.

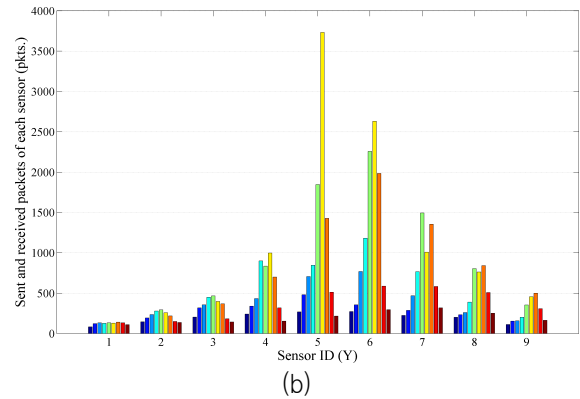
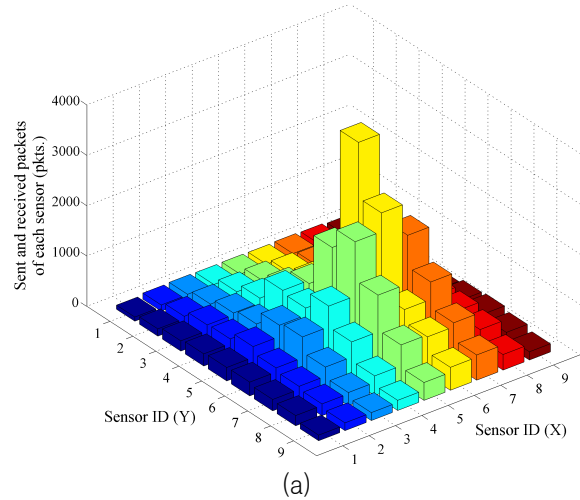
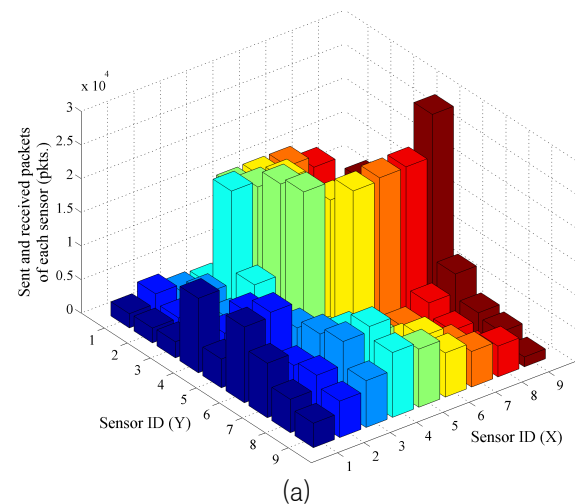


그림 5. AODV만 쓰였을 때 노드 별 패킷 중계량 (User = 1)

Fig. 5. Number of packets relayed by each node when the proposed algorithm is not used (User = 1)



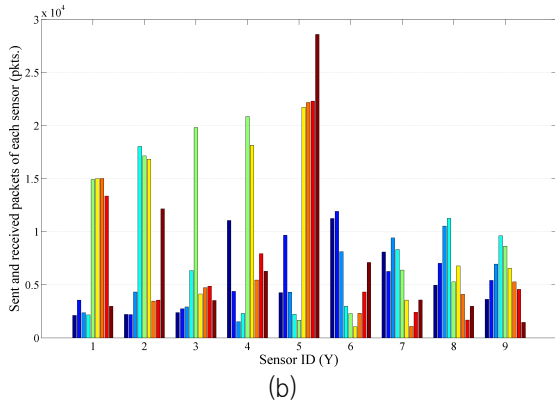


그림 6. AODV만 쓰었을 때 노드 별 패킷 중계량 (User = 25)
 Fig. 6. Number of packets relayed by each node when the proposed algorithm is not used (User = 25)

다음으로 본 논문에서 제안하는 부하 분산 기법을 사용했을 때의 시뮬레이션 결과를 그림 7에 나타낸다. 시뮬레이션은 반복 실행 결과 최적값에 가장 근사한 값으로, threshold를 200, timeout은 3초로 설정하여 100초간 수행되었다.

그림 7의 결과 그래프를 보면 총 81개의 센서 노드가 서로 비슷한 수준의 패킷 중계량을 보이고 있으며 싱크 노드를 중심으로 같은 홉에 있는 센서 노드들의 패킷 중계량이 증가하는 양상 또한 서로 비슷함을 볼 수 있다. 각 센서 노드 별 패킷 중계량의 편차가 1305 패킷 (1365 패킷 대 60 패킷)으로 편차는 어느 정도 존재하나 많이 줄어든 것을 확인할 수 있다. 각 센서 노드 간 패킷 중계량의 편차가 줄어든 것은 센서 노드에서 급격한 배터리 전력 소모를 방지하기 위해 어느 이상 패킷이 중계되었을 때 각 센서 노드는 일정 시간(timeout) 동안 새로운 트래픽에 대한 수신을 거부하여 더 이상더 패킷 중계를 차단하였기 때문이다. 즉, 많은 수의 패킷을 중계하며 배터리를 과도하게 소모하던 센서 노드는 더 이상 패킷을 중계하지 않고, 적은 수의 패킷을 중계하며 매우 적은 배터리만을 소모하던 센서 노드로 패킷을 중계하게 함으로써, 결국 각 센서 노드 별로 비슷한 수준의 패킷 중계량과 배터리 전력 소모를 갖게 되었다.

한편 그림 8에 사용자의 수가 25로 증가한 경우의 패킷 전송량을 나타낸다. 그래프에 나타난 것처럼, 사용자의 수에 늘어나더라도 제안하는 기법에 의해

모든 센서 노드의 패킷 전송량이 비슷하게 증가하였고, 부하 분산이 잘 되어 센서 노드 간 전력 소모가 비등하게 되었음을 확인할 수 있다.

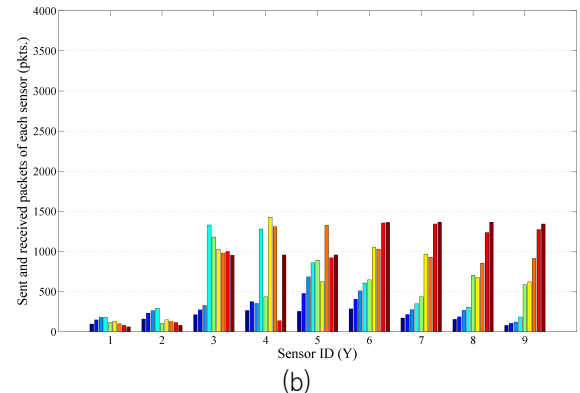
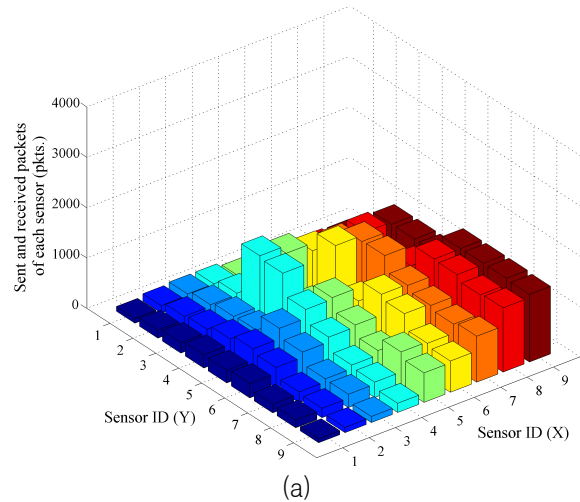
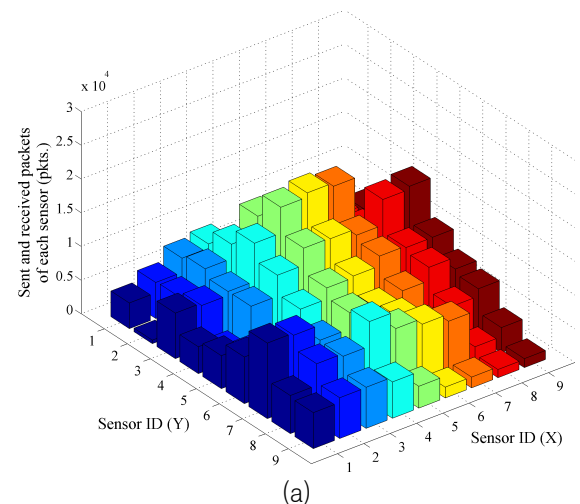


그림 7. LD-AODV가 쓰였을 때 노드 별 패킷 중계량 (User = 1)
 Fig. 7. Number of packets relayed by each node when the proposed algorithm is used (User = 1)



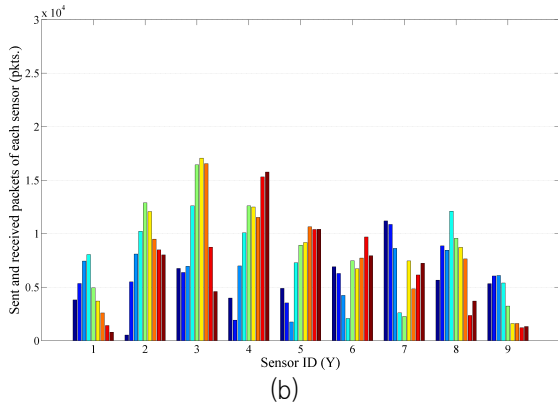


그림 8. LD-AODV가 쓰였을 때 노드 별 패킷 중계량 (User = 25)

Fig. 8. Number of packets relayed by each node when the proposed algorithm is used (User = 25)

제안하는 부하 분산 알고리즘이 쓰일 때와 쓰이지 않을 때를 정량적으로 비교하기 위해 식 1로 표현되는 Load Balancing Index (LBI) [10]를 계산하여 사용한다.

$$LBI = \frac{\max\{P_{i_x}\} - \min\{P_{i_x}\}}{\max\{P_{i_x}\}} \quad (1)$$

여기서 P_{i_x} 는 싱크 노드로부터 i 홉 떨어져 있는 센서 노드 집합 중 x 번째 센서 노드의 패킷 중계량을 나타낸다. 즉, $\max\{P_{i_x}\}$ 는 싱크 노드로부터 같은 홉에 위치한 센서 노드들 중 가장 많은 양의 패킷을 중계한 센서 노드를 말하고, $\min\{P_{i_x}\}$ 는 가장 적은 양의 패킷을 중계한 센서 노드를 말한다. LBI는 0부터 1까지의 값을 갖는데, 부하 분산이 좋을수록 0에 가까운 값을, 부하 분산이 나쁠수록 1에 가까운 값을 갖는다.

제안하는 기법이 동작하는데 필요한 적정 패킷 중계량 값인 threshold 값을 변경해가며 수행한 시뮬레이션 결과의 평균을 싱크 노드로부터 떨어진 홉 수에 따라 비교해보기 위해, 싱크 노드와의 거리에 따른 LBI를 그림 9에 나타낸다. 제안하는 알고리즘이 쓰이지 않을 때는 싱크 노드와의 거리와 상관없이 전반적으로 LBI가 0.85 ~ 0.92로 높은 것을 볼 수 있다. 이는 싱크 노드와 같은 홉 거리에 있는 센서 노드 집합 중에서 어느 특정 센서 노드에서는 과도하게 패킷을 중

계하고 타 이웃 센서 노드에서는 적은 양의 패킷을 중계하여서, 서로 간의 큰 편차의 패킷 중계량 차이가 발생한다. 결국 어느 특정 센서 노드만 배터리 전력 소모가 심하게 증가하여 네트워크 수명이 단축된다.

제안하는 알고리즘이 쓰일 경우는 LBI가 0.49 ~ 0.52로 센서 노드들 간의 패킷 중계량 편차가 크게 감소하였다는 것을 확인할 수 있다. 어느 특정 센서 노드에 트래픽이 집중되지 않고 패킷 중계량이 많은 센서 노드는 부하 분산 기법을 사용하여, 패킷 중계량이 적은 센서 노드가 패킷을 중계하여 자신의 급격한 배터리 전력 소모를 줄였다. 한편 그림 10, 그림 11, 그림 12에는 사용자의 수에 따른 LBI를 나타낸다. 그래프를 보면, 사용자의 수가 증가할수록 알고리즘 적용 전, 후 모두 LBI가 약간씩 감소한다. 이는 사용자의 수가 증가할수록 트래픽 발생 지점이 증가하여 네트워크 내 어느 한 부분으로 트래픽이 집중되는 경향이 줄어들기 때문이다. 하지만 사용자 수에 상관없이 제안하는 알고리즘의 LBI가 훨씬 작은 것을 확인할 수 있다. 따라서, 제안하는 알고리즘이 부하 분산을 적절하게 사용하여 각 센서 노드들 간 전력 소모량을 비등하게 줄여 전체 네트워크 동작 수명을 높이게 되는 것이다.

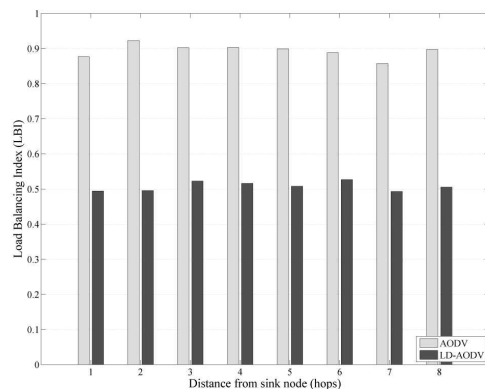


그림 9. 싱크 노드와의 거리에 따른 평균 LBI 비교 (User = 1)

Fig. 9. Average LBI for distance from sink node (User = 1)

VI. 결 론

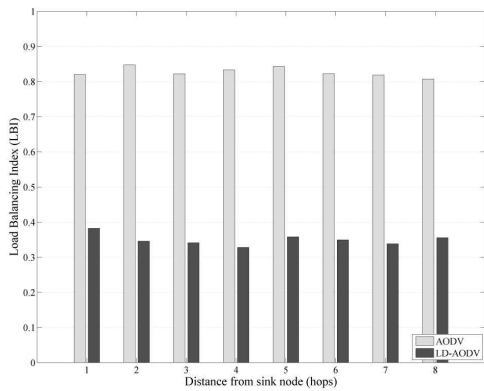


그림 10. 싱크 노드와의 거리에 따른 평균 LBI 비교 (User = 5)
 Fig. 10. Average LBI for distance from sink node (User = 5)

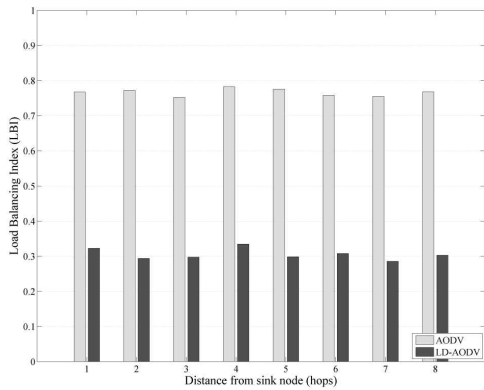


그림 11. 싱크 노드와의 거리에 따른 평균 LBI 비교 (User = 10)
 Fig. 11. Average LBI for distance from sink node (User = 10)

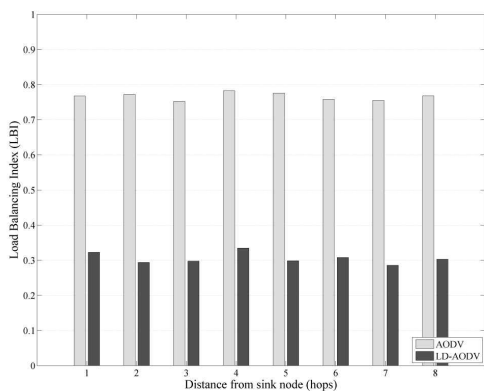


그림 12. 싱크 노드와의 거리에 따른 평균 LBI 비교 (User = 25)
 Fig. 12. Average LBI for distance from sink node (User = 25)

본 논문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크 (USN) 에서 병목점이 되는 센서 노드의 패킷 전송량을 줄여 USN의 동작 수명을 증가시키는 LD-AODV 라우팅 프로토콜을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 그 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 결과, 기존의 AODV 라우팅 프로토콜을 사용했을 때는 경우에 따라 패킷 중계량의 편차가 크게 나타났다. 즉, 어떤 센서 노드에서는 트래픽이 집중되어 너무 많은 패킷을 중계하나, 어떤 센서 노드는 패킷을 거의 중계하지 않았다. 센서 노드 간 패킷 중계량의 편차가 크면 특정 노드의 배터리 소모량이 급격히 증가하여 USN의 수명이 크게 감소하는 매우 나쁜 경우가 발생하게 된다.

한편 제안하는 LD-AODV 라우팅 프로토콜을 적용 하였을 때에는 부하 분산이 적절히 사용되어 센서 노드 간 패킷 중계량의 편차가 크게 감소해 어느 특정 센서 노드에서만 배터리 전력 소모가 발생하는 것이 아니라, 전체 센서 노드에서 비등하게 전력 소모가 발생하여 USN의 동작 수명이 증가함을 확인할 수 있었다.

LD-AODV 알고리즘은 네트워크 내 트래픽이 많은 경우 훨씬 더 많이 부하 분산 과정을 거쳐야 하고, 이는 기존의 AODV의 특성처럼 홉 수가 가장 적은 최단 거리로만 패킷을 전달하지 못하고, 더 많은 홉을 거쳐 패킷을 전송하게 된다. 물론 제안한 부하 분산 알고리즘을 통해 센서 노드 간의 배터리 전력 소모는 비등하게 이루어져서 USN의 수명은 증가하나, 기존의 AODV에 비해 처리율 (throughput)은 감소하게 된다. 하지만 USN에서는 전송하는 데이터의 양이 적기 때문에 전체 네트워크의 처리율보다는 각 노드의 배터리 수명을 증가시켜 네트워크 동작 수명을 증가시키는 것이 더 중요하다.

본 논문에서는 USN 내 센서 노드에서의 부하 분산 알고리즘을 제안하여 센서 노드의 패킷 중계량에 따라 각 센서 노드가 전달하는 트래픽 양을 적응적으로 제어함으로써, 센서 노드 별 패킷 중계량의 편차를 줄여 특정 노드의 전력 소모가 현격히 증가하는 것을 방지하고 이에 따라 USN의 수명을 크게 증가시킬 수 있다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 한국산업기술평가원 지정 한국항공대학교 부설 인터넷정보검색 연구센터의 지원에 의함.

heterogeneous mobile ad hoc network architecture and its load-balance routing problem,” *IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 4, pp. 2163-2167, Oct. 2003.

참 고 문 헌

- [1] W. Mark, “Some computer science issues in ubiquitous computing,” *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 3, Jul. 1999.
- [2] C. Y. Chong and S. P. Kumar, “Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 91, pp. 1247-1256, Aug. 2003.
- [3] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks,” *IEEE System Sciences 2000 Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference*, vol. 2, pp. 10, Jan. 2000.
- [4] J. Kulik, W. Heinzelman, and H. Balakrishnan, “Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks,” *Wireless networks Kluwer Academic Publishers*, vol. 8, Mar. 2002.
- [5] Yu Wang, Wu Hongyi, R. Nelavelli, T. Nian-Feng, “Balance-based energy-efficient communication protocols for wireless sensor networks,” *IEEE International Conference Distributed Computing Systems (ICDCS) Workshops 2006*, pp. 85-85, Jul. 2006.
- [6] C. K. Toh, *Ad hoc Mobile Wireless Networks – Protocols and Systems*, Prentice hall PTR, 2002.
- [7] C. Siva Ram Murthy and B. S. Manoj, *Ad hoc Wireless Networks – Architectures and Protocols*, Prentice hall PTR, 2004.
- [8] E. M. Royer, and C. K. Toh, “A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks,” *IEEE Wireless Communications Personal Communications*, vol. 6, pp. 46-55, Apr. 1999.
- [9] VINT Project, “The Network Simulator – ns-2,” URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [10] C. F. Huang, H.W. Lee, Y. C. Tseng, “A Two-tier

조 영 준 (曹榮俊)



2006년 2월 : 한국항공대학교 정보통신공학과(공학사)
2007년 2월 : 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 석사과정
관심분야 : USN, Ad-hoc, Load Distribution

조 성 준 (趙成俊)



1969년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)
1975년 2월 : 한양대학교 대학원(공학석사)
1981년 3월 : 오사카대학 대학원(공학박사)
1972년 8월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수
관심분야 : 이동통신, 무선통신, 환경전자공학, 이동무선인터넷

김 성 철 (金成哲)



2005년 2월 : 한국항공대학교 정보통신공학과(공학사)
2006년 2월 : 한국항공대학교 대학원(공학석사)
2007년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 정보통신공학과 박사과정

관심분야 : Network Mobility

조 용 범 (趙容範)



1996년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)
1998년 2월 : 한국항공대학교 대학원(공학석사)
2007년 8월 : 한국항공대학교 대학원(공학박사)
1996년 3월 ~ 2003년 5월 : (주) 스탠더드텔레콤 CDMA 개발실 주임연구원

2005년 5월 ~ 현재 : 정보통신연구진흥원 차세대이동통신사업단 연구원

관심분야 : Wireless TCP, 이동무선인터넷, MIH, NEMO