

노드의 여유 에너지 기반 이동 Ad Hoc 네트워크의 라우팅 프로토콜

권 수 근^{*}

요 약

Ad Hoc 네트워크는 무선접속을 사용하는 이동 노드들이 중앙관리 없이 구성되는 네트워크이다. Ad Hoc 네트워크의 노드는 제한된 전원을 가지며, 따라서 효율적으로 에너지를 사용하는 라우팅 방식에 대한 연구가 필요하다. 기존의 여유 에너지 기반 라우팅은 특정 노드의 과도한 에너지 소모에 따른 노드들간의 공정성, 네트워크 전체의 과도한 에너지 소비 등의 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 기존의 문제점을 개선할 수 있는 Clustering Based Energy-aware Routing (CBEAR) 방식을 제안하였다. 성능분석 결과 제안된 방식은 노드의 생존성을 유지하면서 노드들간의 공정성과 네트워크 전체의 에너지 효율성을 개선함을 확인하였다.

Energy-Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Network

Sookun Kwon^{*}

ABSTRACT

A mobile Ad Hoc network is a dynamic mobile wireless network that can be formed without the need for any pre-existing wired or wireless infrastructure. A mobile ad hoc node has limited battery capacity. Hence, Ad Hoc routing protocol ought to be energy conservative. Previous energy aware routing has limit in fairness among nodes and network wide power consumption. In this research, we propose a new routing protocol called Clustering Based Energy-Aware Routing(CBEAR) which can improve the problems. Simulation results show that the routing protocol improves fairness and network wide power consumption as well as life time of nodes.

Key words: Mobile Ad-Hoc Network(이동 Ad-Hoc 망), Routing(라우팅), Protocol(프로토콜)

1. 서 론

휴대용 단말기와 이동통신의 발전은 곳곳에 산재한 전자장치들을 활용한 컴퓨팅 및 연동을 지원하는 유비쿼터스(Ubiquitous) 컴퓨팅, 웨어러블(wearable) 컴퓨팅 등 새로운 분야의 비전이 제시되고 있다[1,2]. 이런 비전에도 불구하고, 현존하는 여러 종류의 휴대

용 단말, 즉 랩탑 컴퓨터, 이동전화, PDA, MP3 등은 상호 연동되지 못하고 독립적으로 사용되고 있다. 이러한 연동을 지원하기 위해 지난날 전쟁터나 재난지역에서 임시 네트워크를 구축하여 상호통신을 지원한 통신방식과 블루투스, 멀티 홉 등의 새로운 기술이 접목되어 무선 Ad Hoc 네트워킹으로 발전하고 있다. Ad Hoc 네트워킹은 패킷데이터를 보내기 위해 무선접속을 사용하는 이동 노드들이 중앙관리 없이 구성되는 네트워크이다. 이 네트워킹에 포함된 노드는 이웃 노드 간에 직접통신이 가능하며 또한 광역이동망이나 무선 LAN 등을 통해 인터넷에도 접속이 제공된다.

구성된 모든 노드가 자유롭게 이동할 수 있는(노

※ 교신저자(Corresponding Author) : 권수근, 주소 : 경북 경주시 효현동 산 42-1(780-712), 전화 : 054)770-5176, FAX : 054)748-2895, E-mail : skkwon@gju.ac.kr

접수일 : 2004년 10월 8일, 완료일 : 2005년 4월 7일

^{*} 정회원, 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2003-000-11997-0)지원으로 수행되었음.

드가 갑자기 사라지거나 나타날 수도 있는) 다이나믹 토폴로지를 가지며, 또한 모든 노드가 라우터와 호스트로 동시에 동작할 수 있는 특성을 가지는 무선 Ad Hoc 네트워크는 효율적인 서비스를 제공하기 위해서는 네트워크 구조, 라우팅 프로토콜, 매체접근 제어 등의 분야에서 연구가 요구된다. 특히, 무선 Ad Hoc 네트워크는 망내에서 노드가 다이나믹하게 이동하기 때문에 어떠한 시점에서 최적의 경로가 일정 시간 후에 전혀 동작하지 않을 수도 있다. 더구나 무선 채널의 stochastic 특성은 통신 품질의 불확실성을 증가시켜 고정 QoS를 보장하기가 지극히 어렵다. 무선 Ad Hoc에 효율적인 라우팅을 위해 많은 연구가 진행되어 왔다. 전달 홉의 수를 최소화하는 DSR, DSDV, TORA 방식[3]과 CGSR, LCC 등의 클러스터 방식[4], 신호링크의 안정성을 반영하는 SSA 방식[5], 위치인식 기반의 라우팅방식[6] 등의 연구 결과가 발표되었다.

최소 홉(Min-Hop) 라우팅을 기반으로 최대 전송 효율과 최소 지연시간을 목표로 하는 기존의 연구는 필연적으로 멀티 홉 환경에서 중심에 위치하는 특정 노드의 과도한 부하를 요구하며 이 노드가 충분한 여유 에너지를 가지지 못한 경우 조기에 에너지 고갈에 의한 fail을 야기한다. 이동성 지원을 위해 소형, 경량화가 필수적인 무선 Ad Hoc에서 노드는 제한된 에너지를 가지며 중심 노드가 충분한 여유 에너지를 가지지 못한 경우 해당 노드의 조기 서비스 중단 뿐 아니라 중심 노드의 제거로 인해 Ad Hoc 전체의 라우팅 체계 혼란을 야기한다. 따라서 전체 노드의 생존시간을 증대시켜 특정 노드의 fail을 방지하고 망 토폴로지의 안정성을 제공하기 위해 노드의 여유 에너지를 고려한 라우팅 방식의 연구가 필요하다.

이에 따라 노드의 에너지 인식을 기반으로 하는 라우팅에 대한 연구가 수행되었다[7-10]. 이들 방식이 여유에너지에 많은 비중을 둬에 따라 네트워크 안정성은 개선되나 이는 여유에너지가 많다는 이유만으로 특정 노드가 과부화되거나 네트워크 전체의 소모 에너지가 증가하는 등의 문제점을 보인다. 본 연구에서는 전송의 효율성을 최대한 유지하면서 또한 여유에너지가 적은 노드의 부하를 줄여줄 수 있는 방식으로 클러스터링과 여유에너지 라우팅 기법을 혼합하는 라우팅 기법(CBEAR : Clustering Based Energy-Aware Routing)을 제안하고 시뮬레이션을 통해 결과를 분석한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 무선 Ad Hoc의 전체 구조와 활용분야 등에 대하여 고찰하고, III 장에서는 기존의 라우팅 방식에 대해 분석 및 본 논문에서 제안하는 라우팅 방식을 설명하며, IV장에서는 제안된 방식의 성능을 분석하고 5장에서 결론을 내린다.

2. Ad Hoc 네트워크 구조 및 라우팅 방식

2.1 네트워크 구조

기존의 유무선 네트워크와는 달리 이동 Ad Hoc 네트워크는 그림 1의 (a)와 같이 이동 노드 간에 자율적이고 즉흥적인 연결 설정을 갖는다[10,11]. 이는 고정 게이트웨이 또는 AP를 가진 기반 망(infrastructure network)에서의 계층적이고 수직적인 연결 설정과는 구별된다. 특히, 기반망에서 계층적이고 수동적인 이동 노드는 이동 Ad Hoc 네트워크에서는 대등하고 능동적인 망의 주체가 된다. 이동 Ad Hoc 네트워크가 인터넷 또는 이동통신망 등의 기반 망과

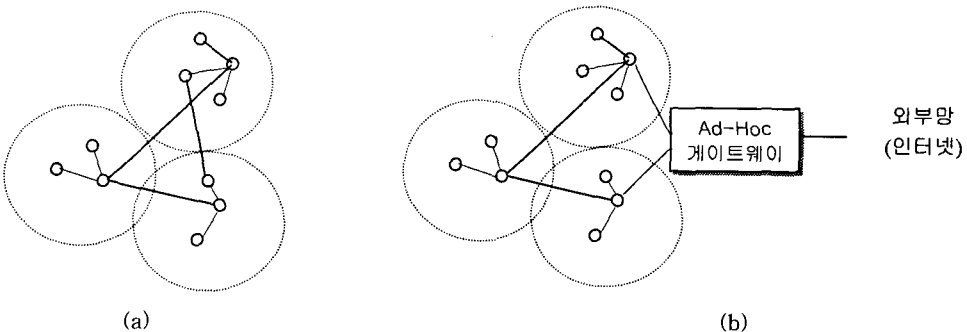


그림 1. 이동 Ad Hoc 네트워크의 존재 형태: (a) 독립적으로 존재하는 구조, (b) 기반망과 연동되는 구조.

구별되는 가장 큰 특징은 고정된 중재자의 도움 없이 자율적으로 망의 구성이 가능하며, 고정된 라우터가 존재하지 않아 이동 노드간의 협력에 의한 라우팅 기능이 제공되며, 특정 서비스제공자가 없이 단말에서 서비스가 해결되어야 한다는 점이다. 한편, 이동 Ad Hoc 네트워크의 특성을 살펴보면 다음의 네 가지로 요약된다[12]. 첫번째로 이동 Ad Hoc 네트워크의 가장 큰 특성은 네트워크를 구성하는 이동 노드들이다. 이동 노드는 이동 컴퓨팅 기능을 가진 호스트이자 이동 Ad Hoc 라우팅 기능을 가진 라우터로 동작한다. 또한 다른 노드를 대신하여 패킷을 전달하고 애플리케이션들을 실행할 수도 있으며 제한된 배터리로 동작함으로써 기능에 제약을 받는다. 두번째로, 이동 Ad Hoc 네트워크는 동적인 네트워크 토폴로지를 갖는다. 이동 Ad Hoc 네트워크는 노드의 일부 또는 전체가 수시로 네트워크에 나타나거나 사라질 수 있다. 이는 사용자의 이동 패턴과 트래픽 종류 또는 배터리를 사용하는 이동 노드의 에너지 잔량 등에 따라 다양하게 나타난다. 따라서 유동적인 네트워크의 토폴로지의 변화로 경로의 설정과 유지가 어렵고 기존의 라우팅 또는 전송 프로토콜의 적용이 어렵다. 그럼에도 불구하고 일반적으로 기존 네트워크에서 적용되는 연결 접속 및 트래픽 요구 사항, QoS 등이 이동 Ad Hoc 네트워크에서도 동일하게 요구된다. 이는 이동 Ad Hoc 네트워크 기술의 다양성과 난이도를 어렵게 하는 요인이 된다.

이동 Ad Hoc 네트워크의 존재형태는 그림 1의 (a)와 같이 독립적으로 구성이 가능하다. 이 구조는 고정된 라우터 없이 모든 노드들이 자유로이 이동할 수 있으며, 각 노드는 라우터의 역할을 동시에 수행한다. 이러한 응용의 예로 긴급 구난 구조 작전, 긴급한 정보 공유가 필요한 회의, 군사 네트워크 등이 있다. 위와 같은 고전적인 Ad Hoc과는 달리 모든 그림 1의 (b)와 같이 모든 전자 장치들이 네트워크화되는 유비쿼터스 환경에서는 노드들간의 통신 뿐 아니라 게이트웨이를 통해 외부 기간망과 연동되는 형태의 구성도 가능하다.

2.2 라우팅 방식

이동 Ad Hoc 네트워크는 이동 노드의 이동 패턴과 트래픽 종류, 링크 품질 또는 에너지 여유 등에 따라 토폴로지가 수시로 변하므로 특정 노드를 찾아

가기 위한 경로의 설정과 유지가 상당히 어렵다. 특히 이동 노드는 제한된 무선 전송 거리를 가지기 때문에 목적지에 대한 정보는 이웃 노드 또는 데이터 전달 경로상에 있는 중간 노드에 의해 결정된다. 또한 노드들의 이동 패턴에 따라 직접적인 통신이 가능한 이웃 노드들의 집합 또는 그룹이 함께 변하므로 각 노드는 주기적으로 자신의 존재를 방송하여 직접적인 통신이 가능한 이웃 노드 또는 그룹의 정보를 항상 유지해야 한다.

그러나 기존의 네트워크에서 사용이 되는 RIP (Routing Information Protocol) 또는 OSPF (Open Shortest Path First)와 같은 인터넷 라우팅 프로토콜들이 유동성이 적은 안정된 네트워크 환경에서 주기적인 라우팅 테이블 관리로 동작하므로, 주기적인 메시지의 교환이 요구되어 대역폭의 낭비가 심하고 네트워크의 동적인 변화에 빠르게 대응하지 못하므로 이를 그대로 이동 Ad Hoc 네트워크에 적용하기에는 많은 오버헤드가 따른다. 따라서 기존의 라우팅 프로토콜의 변형 또는 새로운 방식의 라우팅 프로토콜이 요구되고, 이동 Ad Hoc 라우팅 프로토콜에 대한 연구는 이동 Ad Hoc 네트워크의 주된 연구 대상이 되고 있다.

Ad Hoc 네트워크의 라우팅방식은 대표적으로 Table-Driven 방법과 On-Demand 방식이 있다. 그리고 이 두 방식을 혼합한 Hybrid 방식이 있다[3]. 그림 2는 이동 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 분류를 보여준다.

Table-Driven 방식은 현재 유선 인터넷에서 사용하는 라우팅 프로토콜 같이 한 노드가 네트워크 전체의 위치정보를 알고 있는 방식이고 이것은 데이터 트래픽의 유, 무에 상관없이 항상 이 라우팅 테이블을 갱신 및 유지, 보수하고 있어야 한다. 이 방식은 Ad Hoc 네트워크에 적용하는 것은 에너지 면에서 비효

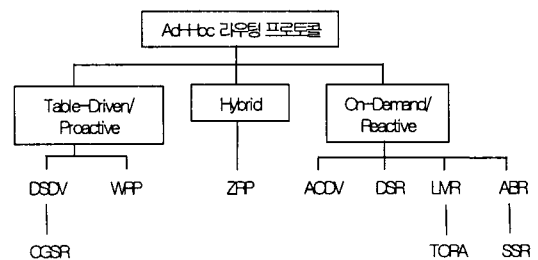


그림 2. 이동 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 분류

울적이다. 이에 비해 On-Demand 방식은 데이터 트래픽이 있을 때만 경로를 설정한다. 이 두 방식간에 Trade-Off가 존재하는데, Table-Driven 방식은 사용자의 트래픽 유무에 상관없이 항상 네트워크의 상태를 감시하고 경로 정보를 갱신해야 하기 때문에 제어에 대한 부담이 On-Demand 방식에 비해 많다. 반면 매번 경로 설정이 필요 없기 때문에 응답시간 또는 설정에 필요한 지연이 거의 없게 된다. 그렇지만 에너지소비의 입장에서 보면, Table-Driven 방식이 비효율적이다. On-Demand 방식은 사용자의 트래픽 전송 요청이 있을 경우 경로를 설정하기 때문에 제어에 대한 부담이 줄어들어, 결국은 에너지소비를 줄일 수 있다. 그렇지만, 매번 새로운 전송이 있을 때마다, 새로 경로를 설정해야 하기 때문에 응답시간이 Table-Driven 방식에 비해 늦어지는 단점이 있다.

Hybrid 방식은 노드의 숫자가 많을 경우 Clustering (or Zoning)을 한다. 클러스터 개념을 도입하여 라우팅 경로를 설정하는 과정에서 호스트들의 부하를 줄이는 알고리즘을 제안하였다. 클러스터란 여러 호스트들을 하나의 그룹으로 묶어서 관리하기 위한 단위로 하나의 클러스터에는 클러스터를 관장하는 조정자를 두어 클러스터 내의 호스트들의 정보를 관리하는 일종의 분산 시스템의 형태이다. 클러스터 내의 조정자 역시 하나의 이동 호스트이고, 하나의 클러스터 마다 존재하는 조정자는 클러스터 내에서 여러 호스트들 중에서 선정 알고리즘에 따라서 선출되도록 되어 있다. 클러스터 조정자는 하나의 클러스터 내에서 라우팅을 원하는 호스트가 있을 경우 조정자가 라우팅 경로를 대신하여 설정하고 이를 라우팅을 원하는 호스트에게 알려주는 역할을 한다. 클러스터 기반 라우팅은 클러스터내의 한 호스트가 다른 호스트와 통신을 원하는 경우 이 조정자가 패킷을 받아서 인접 클러스터의 조정자에게 목적 호스트 정보를 보내서 경로를 설정한 후, 그 경로를 다시 클러스터내의 송신 호스트에게 되돌려주어 이를 바탕으로 목적 호스트까지 소스 라우팅을 하는 개념이다. 클러스터내의 조정자가 대신 일을 처리하고 클러스터 내의 호스트들의 정보를 관리하기 때문에 일반 호스트들의 부하를 줄일 수 있다.

3. 노드의 여유에너지 기반 라우팅 방식

3.1 기존의 여유에너지 기반 라우팅

무선 Ad Hoc 노드는 이동 특성을 만족시키기 위

해 소형, 경량화 되어 하며 이에 따라 에너지소자의 소형화 연구와 아울러 사용 에너지를 최소화하기 위한 노력이 필요하다. 전통적인 네트워크의 라우팅 방식은 전송효율 및 중단간 지연시간이 등 효율적인 데이터 전송에 초점이 맞추어져 있다. 따라서, 특정 노드의 부하와 조기 에너지 고갈에 따른 노드의 fail, 이에 따른 전체 Ad Hoc 망의 라우팅 체계가 재구성 되어야 하는 문제점이 있다. 이와 같은 이유에서 근래에 여유에너지 기반의 멀티 홉 Ad Hoc 라우팅에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다[7-9].

이들 연구는 먼저 노드의 여유 에너지에 따라 멀티 홉 환경에서의 트래픽 중계의 부하를 할당함으로써 특정 노드가 조기에 에너지가 고갈되는 문제점을 해결하고 전체 Ad Hoc 망의 안정성을 유지하는 라우팅 방법을 제시하였다. 지금까지 연구되어져 온 주요한 라우팅 방식을 다음과 같다. 첫째로, *MTPR* (*Minimum Total Power Routing*)은 모든 가능한 경로 중에서 전송 에너지가 최소화되는 경로를 선택하는 방식이다. 경로 R 에 대한 전체전송 에너지 P_R 인 경우, 라우팅 경로는 아래 식으로 구해진다.

$$P_{MTPR} = \min_{R \in S} P_S \tag{1}$$

여기서 S 는 모든 가능한 경로의 집합이다. Downside의 경우, 이 방식은 대부분의 경우 다른 방식에 비해 홉 수가 많아 질수 있다. 또한 전송에너지는 거리의 역에 비례하므로 인접에 있는 더 많은 노드가 관여되어 그렇지 않으면 sleep 상태에 있을 많은 노드가 전송에 관련된 네트워크 전체적으로는 더 많은 에너지가 소모될 수 있다.

둘째로는, *MBCR*(*Minimum Battery Cost Routing*)이다. *MBCR*은 라우팅 상에서 선택되는 모든 인접노드에 대해 전원용량의 역의 합이 최소가 되는 경로를 선택한다. 이 경우 최소화되어야 하는 것이 노드들의 전원용량의 합이기 때문에, 여유에너지가 거의 없는 노드도 경로에 포함되어 overused 될 수 있는 가능성이 있다.

MMBCR(*Min-Max Battery Cost Routing*)는 여유에너지의 관점에서 노드들을 공정하게 처리하는 방식이다. 적은 여유에너지를 가진 노드는 라우팅에서 제외하고, 여유에너지가 많은 노드들이 경로의 선택에서 우선되게 한다. 경로의 선택은 아래의 식에 따른다.

$$P_{MMBCR} = \min_{R \in S} \left\{ \max_{n \in S} (1/battery_n \cap acity_n) \right\} \tag{2}$$

이 경우 네트워크 전체의 에너지 소모를 최소화하는 경로를 우선시 하지 않으므로 전체 에너지 소모는 증대될 수 있다. 그리고, 이들의 변형으로 모든 노드가 소위 battery-protection threshold 이상의 여유 에너지를 가지는 경우에는 *MTPR* 방식을 적용하고 그렇지 않은 경우에는 *MMBCR*을 적용하는 방식이 있다. 이 방식은 *CMMBCR*(*Conditional Min-Max Battery Cost Routing*)으로 불리 운다.

또 다른 방식으로, 무선 Ad Hoc 망을 위한 새로운 인프라 형태를 적용하여, 에너지를 절약하는 새로운 방식이 있다. *PA-VBS*(*Power-Aware Virtual Base Station*)라고 불리는 이 방식은 여유에너지가 많은 하나의 노드가 선택되어 존(Zone) 내에서 base station 역할을 하게한다. 다른 클러스터 알고리즘과는 달리, 이 방식은 노드의 여유에너지를 공정하게 사용하게 한다. Base station으로 선택된 노드의 에너지를 고갈시키지 않기 위해, 서비스 거부 개념을 사용하여 공정한 클러스터링을 유지한다.

위에서 언급된 에너지기반의 라우팅 기법의 성능 분석 결과를 보면 최소 홉 방식에 비해 모두 우수하지 못한 특성을 보인다[10]. *MBCR*은 공평하게 에너지를 소비하기 위한 시도이나, 다른 방식에 비해 망 전체적으로 더 많은 에너지를 소비한다. *MMBCR*은 이동성이 적은 경우 최소의 평균 에너지를 소비한다. 그러나 이 방식은 이동성이 높아짐에 따라 성능이 저하된다. 연구결과는 기존의 최소 홉 방식이 여유에너지의 기반의 방식에 비해 여전히 전체적으로 우수한 성능을 보여준다. 이와 같은 결과는 다른 방식이 여유에너지에 많은 강조를 두었기 때문이다. 이는 여유에너지가 많다는 이유만으로 과부하 된다. 최소 홉 방식이 현재의 여유에너지 기반 방식보다 우수하다는 결과는 이 분야에서 더 많은 연구가 요구된다고 할 수 있다.

3.2 CBEAR(Clustering Based Energy-Aware Routing) 방식

가. CBEAR 기본 개념

기존의 라우팅 연구는 대부분 전송의 효율성과 네트워크의 안정성 두 가지 측면중 하나만을 고려한 방식이었다. 즉, 최소 홉 방식으로 대표되는 전송의 효율 측면에 우선순을 둔 라우팅 방식과 여유 에너지에 기반을 둔 라우팅 방식이다. 이에 대한 분석 결과는 위에서 살펴본 바와 같이 만족한 상태가 아니다. 전

송의 효율 측면에 우선순을 둔 라우팅 방식은 노드가 충분한 여유 에너지를 가지지 못한 경우 해당 노드의 조기 서비스 중단 뿐 아니라 중심 노드의 제거로 인해 Ad Hoc 전체의 라우팅 체계 혼란을 야기하는 문제를 가지는 반면, 여유에너지 기반의 라우팅은 여유 에너지가 많은 노드에 지나친 부하를 가하여 노드들 간의 공정성(fairness)에 문제를 가지며 전송의 효율성이 떨어져 실제로는 더 많은 전체 에너지를 소비하는 문제를 가진다.

본 연구에서는 전송의 효율성을 최대한 유지하면서 또한 여유 에너지가 적은 노드의 부하를 줄여줄 수 있는 클러스터링 방식과 여유 에너지 기반 라우팅 방식을 혼합한 라우팅 기법(*CBEAR: Clustering Based Energy-Aware Routing*)을 제안한다. 이 방식에서는 1차적으로 기존의 라우팅 방식 중 전송 효율측면에서 가장 우수한 최소 홉 라우팅 방식을 기본으로 하여 라우팅 경로를 선택하고 선택된 경로상의 노드 중에서 battery-protection threshold 이하의 여유에너지를 가지는 노드가 포함되어 있는지를 조사하여 해당 노드가 있는 경우 이 노드가 포함되는 클러스터의 헤드노드가 이 노드를 대신하여 라우팅을 하는 방식이다. CBEAR 라우팅 방식은 전송효율을 기반으로 하여 초기 라우팅 경로를 선택함으로써 효율적인 전송을 기본적으로 유지하면서, 여유에너지가 적은 노드에 대한 부하 경감효과를 가져오며, 공정성 측면에서도 기존의 클러스터링 방식이나, 여유에너지 기반 방식에 비해 개선효과를 가질 수 있다. 또한 여유에너지가 적은 노드를 라우팅에서 제외하기 위해 1차적으로 선택된 최적의 경로를 변경하는 경우에도 제외되는 노드를 동일 클러스터의 헤드노드가 대신함으로써 경로 변경을 최소화 할 수 있으며, 존 영역의 크기 조절에 의한 헤드 노드의 부하 조절 가능하다.

나. 여유에너지 기반 클러스터 구성 방식

Ad-hoc에서 효율적인 라우팅 및 관리를 위해 노드들을 그룹핑하여 클러스터링을 하는 방식에 대한 많은 연구가 진행되었다[4,17]. 클러스터링 방식은 멀티 홉 환경에서 시스템 자원을 증대시키고, 노드의 변화시 토폴로지를 안정시키며 또한 라우팅 정보를 위한 메시지 교환이 줄어드는 장점을 가진다. 클러스터를 구성하는 방식은 랜덤 알고리즘 방식과 결정론적(deterministic) 알고리즘 두가지 방식이 주로 사용

된다[4]. 랜덤 알고리즘 방식에서는 모든 노드들이 베르누이 시행을 통해 성공하는 경우 클러스터 헤드 노드로 예비 지정되고, 아닌 경우에는 슬레이브 노드로 예비 지정된다. 클러스터 헤드 노드로 예비 지정된 노드는 inquiry 메시지를 발송하고 이를 수신한 슬레이브 예비 노드는 inquiry response 메시지를 보낸다. 일정치 이상의 inquiry response 메시지를 수신한 예비 클러스터 헤드 노드는 자신을 헤드 노드로 선언하고 inquiry response를 보낸 노드들과의 connection을 설정하여 클러스터를 구성한다. 이에 반해 결정론적 방식에서는 모든 노드들이 inquiry 메시지와 inquiry response 메시지를 주고 받으며, 각 노드는 inquiry response 수신 메시지와 inquiry response 수신 메시지를 보낸 노드가 수신한 inquiry response 수신 메시지를 합하여 I-phase를 계산하고 I-phase가 일정치 이상인 노드는 클러스터 헤드로 지정되며, 클러스터 헤드는 inquiry response 메시지를 보낸 노드들을 슬레이브 노드로 하여 클러스터를 구성한다.

본 연구에서 위에서 언급된 랜덤 알고리즘을 기본으로 하여 노드의 여유 에너지를 고려하는 클러스터 구성 방식을 적용한다. 기존의 랜덤 알고리즘에서 모든 노드가 베르누이 시행을 통해 클러스터 헤드로 지정 가능한데 반하여 이 방식에서는 일정치 이상의 여유에너지를 가진 노드들만이 노드들만 베르누이 시행을 통해 예비 클러스터 헤드 노드로 지정 가능하며 예비 노드가 지정된 이후의 클러스터링 절차는 기존의 랜덤 알고리즘과 동일한 절차를 따른다. 베르누이 시행에 참여 가능한 여유에너지와 베르누이 시행의 성공 확률을 클러스터의 규모에 따라 조절 가능하도록 한다.

다. 라우팅 방식

1차적으로 기존의 라우팅 방식 중 전송 효율 측면에서 가장 우수한 최소 홉(Min-Hop) 라우팅 방식을 기본으로 하여 라우팅 경로를 선택한다. 선택된 각 노드는 자신의 여유에너지 상태를 조사하여 battery-protection threshold 이상인지를 확인한다. 모든 노드가 threshold 이상인 경우에는 라우팅 처리를 수행하며, battery-protection threshold 이하인 노드가 존재하는 경우 해당 노드는 자신의 클러스터 헤드에게는 라우팅 경로상 자신과 연결되는 인접 노드의 Id를 포함하는 라우팅 경로 변경 요청 메시지를 보내며, 라우팅 경로상의 인접 노드에게는 클러스터 헤드

의 Id를 포함하는 라우팅 경로 변경 요청 메시지를 보내 국부적으로 라우팅 경로를 변경한다. 이와 같은 방식은 전체 라우팅 경로의 변화 없이 battery-protection threshold 이하의 노드와 이 노드와 직접 연결된 노드와 클러스터 헤드간에 지엽적으로 발생함으로 부가적인 부하요소는 크지 않을 것으로 판단된다. 그림 3은 여유에너지 기반 라우팅 경로 설정 흐름도를, 그림 4는 Battery-protection threshold 이하의 노드에 대한 경로 재구성 절차를 보여준다.

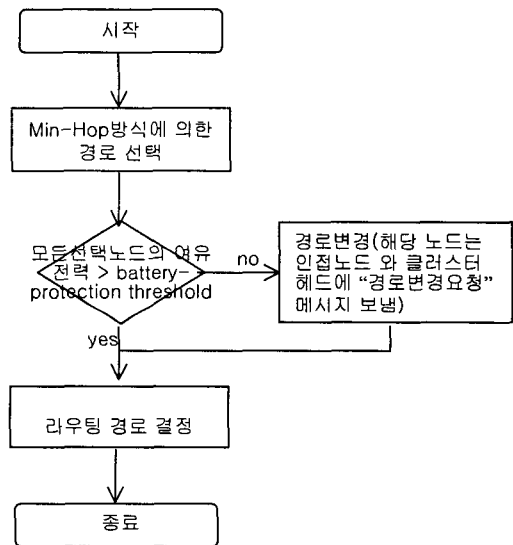


그림 3. 여유에너지 기반 라우팅 경로 설정 흐름도

4. 결과 및 고찰

4.1 에너지 소비 모델

멀티 홉 Ad Hoc 네트워크에서는 노드들은 항상 인접 노드로부터 트래픽을 받을 준비가 되어 있어야 한다. Ad Hoc 네트워크에서는 기지국(Base Station)이나 중앙 제어장치의 부재로 인하여 sleep 모드로 동작 될 수가 없다. 따라서, Ad Hoc 노드들은 항상 그들의 인접 노드들의 전송을 엿듣기 위하여 불필요한 에너지를 소비해야만 한다. 비록 이러한 것들이 부가적인 에너지의 소비지만, On-Demand 방식에서는 브로드 캐스트에 의한 경로 설정에 참여하기 위해 항상 powered-on 상태에 있어야 한다. 또한 Table-Driven 방식에서도 주기적인 경로 테이블 정정 및 패킷 라우팅에 참여하기 위해 지속적인 동작을 요구한다.

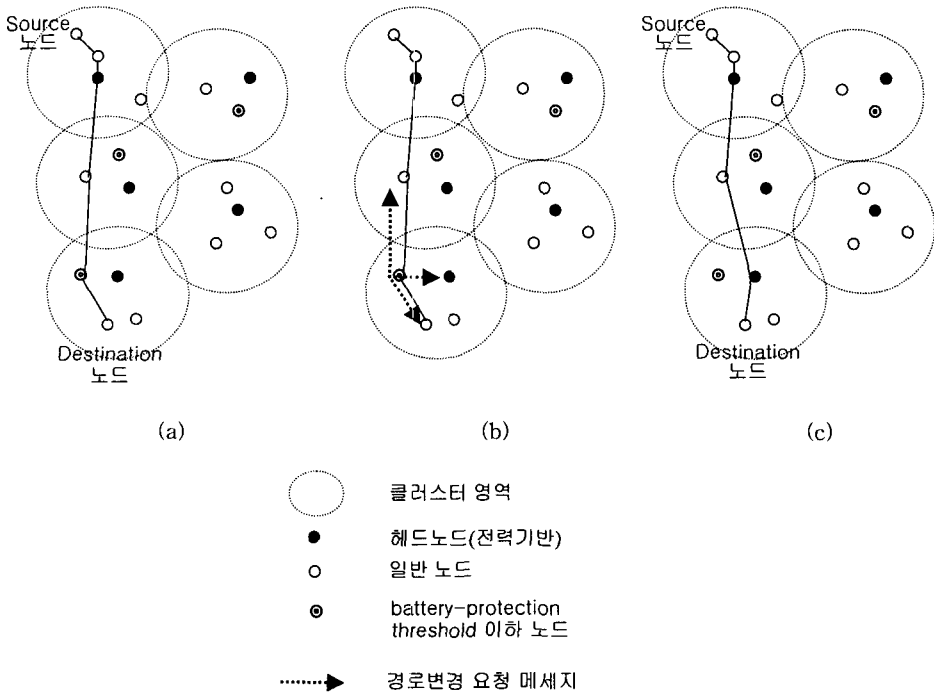


그림 4. Battery-protection threshold 이하의 노드에 대한 경로 재구성 절차: (a) Min-HOP 방식에 의해 1차 선택된 경로. (b) 경로 변경 절차. (c) CBPAR에 의해 수정된 경로.

기존의 연구 결과는 유휴(idle):수신상태(receive): 전송상태(transmission)의 소모 전력비를 1:1.05:1.4[7], 1:2:2.5[14], 1:1.2:17[15] 및 843mW:966.96mW: 1.327mW [16] 등의 결과를 제시하고 있다. 본 연구에서는 [16]을 적용하였다. 본 연구의 시뮬레이션은 IEEE802.11 PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 부계층에서 수행하였다. PLCP preambles과 header는 데이터 프레임 보다 적은 율(rate)로 전송되기 때문에 에너지소모의 원천을 계산하는데 유용하다. PLCP 프리엠블과 PLCP 헤드는 동기를 위해 모든 패킷의 앞부분에 attach 된다. 또한, 데이터 패킷의 길이와 전송율은 수신기에 의해 PLCP 헤드로부터 얻어진다. 저전송율의 네트워크 접속 카드와 높은 전송율의 네트워크 접속 카드간의 통신을 위해 PLCP 프리엠블과 헤드가 유용한 가장 낮은 전송율 1Mbps로 전송해야 한다. 1Mbps PLCP 전송율의 고려는 전송율이 낮으면 많은 에너지를 소모하므로 대단히 중요하다. 기타, 여러 가지의 IEEE802.11 패러미터가 고려되었다.

4.2 시뮬레이션 환경 및 결과

가. 시뮬레이션 환경

Event driven simulator ns-2를 사용하여 Min-

Hop, MTPR, MBCR, MMBCR 그리고 본 논문에서 제안한 CBEAR에 대한 성능을 측정, 비교하였다. 각 노드의 범위는 250m로 하였고, 1,000×1,000 m²에 20개의 노드를 설정하였다. 각 노드의 범위는 250m로 하였고, 100개의 링크가 랜덤하게 설정되도록 하였다. 연결은 가변 접속시간을 가지는 ftp로 하였고 평균접속 시간은 20sec로 설정하였다. 전체 동작시간은 10,000sec, 노드 이동은 10m/sec, 랜덤 이동은 4sec의 pause time을 가지게 하였다. 초기에 각 노드에 유니크한 노드 Id와 x, y 좌표상의 random 위치가 주어졌다. DSSS를 위한 프레임간 spaces로 사용된 값은 표 1과 같다.

표 1. DSSS를 위한 프레임간 spaces(Interframe spaces for DSSS)[13]

InterFrame Space	Value used in Simulation
short Interframe Spaces(SIFS)	10usec
random backoff slot	20usec
DCF unterFrame spaces(DIFS)	50usec

나. 성능 측정 패러미터

제안된 라우팅 방식을 기존의 라우팅 방식과 비교하기 위해 사용된 패러메티는 아래와 같다.

○ 평균 소모 에너지(Average Dissipated Power) : 라우팅을 위한 각 노드의 평균에너지 소모로 단위는 W.s(Joules)이며, 이 값이 적은 경우 에너지 효율이 좋은 방식으로 판단한다.

○ 소모 에너지의 표준 편차(Standard Deviation of the Dissipated Power) : 이 값은 각 노드들 간의 사용된 에너지의 표준편차이다. 이 값은 라우팅 방식에서 어떤 노드가 과부하(overused)되는 지를 나타내며, 따라서 이 요소는 노드들 간의 공정성(fairness)을 측정하는 중요한 요소이다. 이 값은 0인 경우 가장 이상적인 값이며, 값의 크기가 적을수록 공정한 라우팅 방식이라고 볼 수 있다.

○ 네트워크 생존시간(Network Lifetime) : 네트워크 생존시간은 다양한 관점에서 평가를 할 수 있다. 노드의 일부가 여유에너지 고갈에 의해 서비스에서 제외되는 경우, 하나의 노드가 제외되는 경우, 모든 노드가 제외되는 경우 등의 정의를 가질 수 있다. 본 연구에서는 첫 번째 방식을 적용하였다.

다. 시뮬레이션 결과

그림 5는 각 방식별 평균 소모 에너지를 보여준다. 최소 홉 방식이 가장 좋은 성능을 보여준다. 이 결과는 대부분의 경우 가장 짧은 경로를 가지는 경우 에너지 소비 효율에서도 가장 우수함을 나타낸다. 최소 홉 방식은 가장 적은 노드가 관련되므로 전체 소모 에너지가 최소화된다. MBCR이 가장 많은 에너지를 소비한다. 최소 전원 코스트를 소모하는 경로가 쉽게

overused 되기 때문이다. 이것은 다른 문제 즉, MAC 계층에서의 충돌, overused 노드의 노드가 busy medium에 대해 더 많은 에너지를 소비하는 문제를 야기한다. 제안된 CBEAR 방식은 최소 홉 방식에 비해서는 약간 높지만 다른 방식에 비해서는 우수한 특성을 보여준다. 이는 정상적인 경우에는 최소 홉과 동일하게 동작하고 여유에너지가 없는 노드가 라우팅 경로로 선택되는 경우에만 헤드 노드가 대신 처리하기 때문이다.

그림 6은 각 방식별 소모 에너지의 표준 편차를 나타낸다. 최소 홉 방식이 가장 좋은 특성을 보여준다. MTPR을 제외한 다른 방식은 전체에너지의 소비보다는 여유에너지에 크게 비중을 두기 때문이다. 여유에너지 기반의 방식에서는 여유에너지가 많은 노드는 여유에너지가 적은 노드에 비해 overused 되는 경향이 있다. MBCR이 표준편차가 가장 크며 따라서 가장 unfair한 방식이다. battery capacity protection 값은 최대값의 반으로 가정하였다. 이 경우에서도 마찬가지로 제안된 CBEAR 방식은 최소 홉 방식에 비해서는 약간 높지만 다른 방식에 비해서는 우수한 특성을 보여준다. 이 경우에도 정상적인 경우에는 최소 홉과 동일하게 동작하고 헤드 노드가 라우팅에 개입하는 경우에 unfair가 발생하나 여유에너지가 낮은 노드가 라우팅에 선택되는 경우에만 해당되므로 발생 확률이 높지 않을 볼 수 있다.

그림 7은 각 방식별 에너지고갈 노드의 발생의 발생 빈도를 보여준다. 이 경우 소모 에너지의 표준 편차를 나타낸다. 최소 홉 방식이 가장 좋은 특성을 보여 MMBCR 방식이 가장 좋은 특성을 보여준다. 이

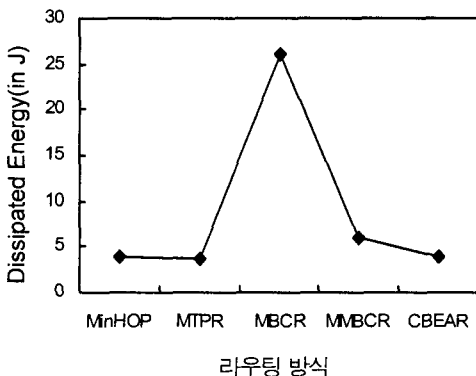


그림 5. 각 방식별 평균 소모 에너지

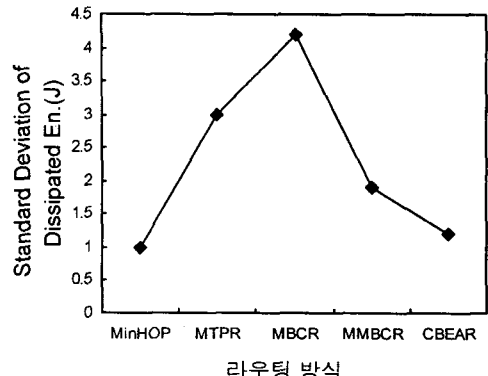


그림 6. 각 방식별 소모 에너지의 표준 편차

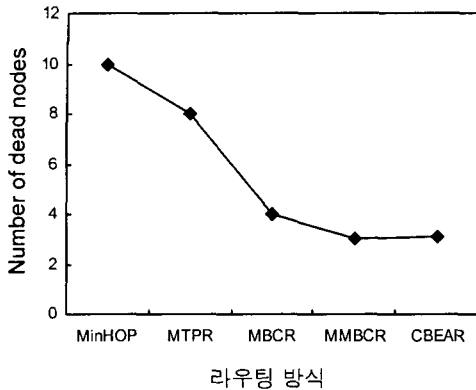


그림 7. 각 방식별 에너지고갈 노드의 발생

는 이 방식이 battery capacity protection 이하인 노드의 경우 라우팅 경로 선택시 제외되기 때문에 발생하는 당연한 결과이다. 제안된 CBEAR 방식은 MMBCR와 거의 동일하며 다른 방식에 비해서는 우수한 특성을 보여준다.

4.3 결과분석 및 검토

성능분석 결과, 전송효율, 노드간의 형평성에서는 Min-Hop 방식이 가장 우수하다. 그러나 이 방식은 network lifetime 측면에서는 가장 미흡한 결과를 보여준다. 이에 반해, 기존의 여유 에너지 기반의 라우팅 방식은 network lifetime 측면에서는 우수하나 네트워크 전체의 에너지 소모, 노드간의 형평성 측면에서는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서 제안된 CBEAR 방식은 전송효율, 노드간의 형평성, network lifetime 측면 등의 전반적인 측면에서 양호한 특성을 나타내었다. 반면, CBEPAR 방식은 클러스터 구성과 경로의 변경에 따른 추가적인 부하가 요구된다. 첫째로, CBEAR 방식은 타 방식에 비해 클러스터링은 구성하기 위한 초기설정 단계에서 추가적인 메시지를 교환해야 하는 부하가 필요하다. 기존의 연구에 따르면 클러스터 초기화를 위한 부하는 표 2와 같다. 이와 같은 초기 설정 단계 및 관리상의 추가적인 부하 부담에도 불구하고 클러스터링 방식은 시스템 자원 증대, 토폴로지의 안정성 유지 등의 장점으로 인하여 노드 수가 많은 망을 중심으로 충분히 적용 가치가 있는 것으로 인식되고 있다[17].

두번째로, Min-Hop 방식에 의해 1차적으로 경로가 구성 후 battery-protection threshold 이하의 노

표 2. 클러스터 초기화를 위한 부하

	노드=40	노드=60	노드=80
수행시간(in 10 usec)	112	170	292
제어 메시지 수	124	211	360
	3.1	3.52	4.5

드에 대해 클러스터 헤드로의 경로를 이전하기 위해 3개의 제어 메시지(하나의 threshold 이하의 노드당) 처리가 부가적으로 필요하다. 추가적인 메시지는 모든 경우에 필요한 것이 아니고 threshold 이하의 노드가 경로에 선택되는 경우에만 필요하며 이는 CBEAR 방식이 적용되지 않는 경우 Min-Hop 방식에서 해당 노드의 서비스 중단을 야기하는 것에 비해 바람직한 선택이 될 것으로 판단된다. 또한 제안된 방식은 경로 선택상의 단순성, 적은 Hop 수과 이에 따른 데이터 전송지연시간의 최소화 등 전송효율측면에서 Min-Hop 방식의 장점(기존의 노드 여유에너지 기반 라우팅 방식 대비)을 대부분 유지한다.

위와 같은 결과 분석과 특정 노드의 에너지 고갈에 의한 서비스 중단이 망 안정성에 큰 영향을 미치는 점을 고려 할 때 제안된 방식은 클러스터링과 경로변경에 따른 추가적인 부하에도 불구하고 라우팅의 효율성과 여유 에너지가 적은 노드를 보호 및 노드간의 공정성 유지라는 상반된 요구를 충족시킬 수 있는 효율적인 방법으로 판단된다.

5. 결 론

이동성 지원을 위해 소형, 경량화가 필수적인 무선 Ad Hoc에서 노드는 제한된 에너지를 가지며 중심 노드가 충분한 여유 에너지를 가지지 못한 경우 해당 노드의 조기 서비스 중단 뿐 아니라 중심 노드의 제거로 인해 Ad Hoc 전체의 라우팅 체계 혼란을 야기한다. 이에 따라 전체 노드의 생존시간을 증대시켜 특정 노드의 fail을 방지하고 네트워크 토폴로지의 안정성을 제공하기 위해 노드의 여유 에너지를 고려한 라우팅 방식에 대한 많은 연구가 수행되어왔다. 그러나 기존의 여유 에너지기반 라우팅 프로토콜인 MTPR, MBCR, MMBCR 등은 분석 결과, MBCR은 공평하게 에너지를 소비하기 위한 시도이나, 다른 방식에 비해 네트워크 전체의 소비 에너지가 증가하였으며, MMBCR 또한 이동성이 적은 경

우 적은 평균 에너지를 소비하나 이동성 높아짐에 따라 성능이 저하된다. 이들은, 또한 최소 홉 방식 등 전통적인 라우팅 방식에 비해 공정성 면에서도 나쁜 특성을 가지는 것으로 분석되었다. 전체적으로 볼 때 여유 에너지 기반 라우팅 방식은 전송효율 기반 기존 라우팅 방식에 비해 나쁜 특성을 보였다. 이는, 여유 에너지 기반 라우팅 방식들이 여유에너지에 만 강조를 두어, 여유에너지가 많다는 이유만으로 과부화되며, 또한 전체망의 소비 에너지의 증가, 노드들 간의 형평성 등의 문제를 가지기 때문이다.

본 연구에서는 노드의 여유에너지를 고려하여 망의 생존시간을 증대시키면서 또한 기존의 여유에너지 기반 방식의 문제점인 전체망의 소비 에너지 증가, 노드들 간의 형평성 등을 감소시킬 수 있는 클러스터링 방식과 여유에너지 라우팅 방식을 혼합한 라우팅 기법(CBEAR: Clustering Based Energy-Aware Routing) 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방식에서는 1차적으로 가장 좋은 전송효율을 가지는 Min-Hop 방식에 따라 경로를 선택하고 선택된 노드 중에서 일정치 이하의 여유에너지를 가지는 노드에 대해 여유 에너지가 많은 노드인 클러스터 헤드가 이 노드를 대신하여 라우팅을 하는 것을 기본 개념으로 하였다. 시뮬레이션을 통한 성능분석을 하여 전체 소비 에너지 평균, 소비 에너지의 표준 편차, 네트워크 생존시간 등의 평가요소들을 비교한 결과 하나 이상 평가요소의 취약성을 가지는 기존 방식에 비해 제안된 방식은 모든 평가 요소에서 양호한 특성을 보여줌을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. Weiser, "The Computer for the Twenty-first Century," *Scientific America*, pp. 99-104, Aug. 1997.
- [2] S. Roberts, "Wearable Computing: A First Step Toward Personal Imaging," *IEEE Computer*, Vol. 30, No. 2, pp. 22-32, Feb. 1997.
- [3] E. Elizabeth M. and Chai-Keong Toh, "A Review of Current Routing Protocol for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," *IEEE Personal Communications*, pp. 46-55, Apr. 2000.
- [4] C. Chiang, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," *Proc., IEEE SICOM*, pp. 197-211, Apr. 1997,
- [5] R. Dube and K.Y. Yang, "Signal Stability-Based Adaptive Routing for Ad Hoc Mobile Networks," *IEEE Personal Communications*, pp. 36-45, Feb. 1997,
- [6] Y.B. Ko and N.H. Vaidya, "Location Aided Routing in Mobile Ad Hoc Networks," *Proc IEEE INFOCOM*, Mar. 1999.
- [7] Stemm, M. and Katz, R. H., "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in handheld devices," *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications, and Computer Science*, Special Issue on Mobile Computing, 80(8):1125-1131, August 1997.
- [8] S. Singh and C.S. Raghavendra "Power-efficient MAC protocol for multihop radio networks," *Proc. of IEEE PIRMC'98 conf.*, Vol. 1, pp. 153-157, September 1998.
- [9] L. Feeney and M. Nilsson, "Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment," *Proceedings of IEEE Infocom*, 2001.
- [10] A. Safwat, Hossam Hassanein, and H. Mouftah, "Energy aware routing in MANETs: analysis and Enhancements," ACM.
- [11] Charles E. Perkins, *Ad Hoc Networking, Addison-Wesley*, 2001.
- [12] C. K. Toh, *Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems, Prentice Hall PTR*, 2002.
- [13] 권혜연, 신재욱, 이병복, 최지혁, 남상우, 임선배, "이동 Ad Hoc 네트워크 기술 동향," *전자통신 동향분석* 제18권 제2호 2003년 4월.
- [14] O. Kasten, "Energy consumption," http://inf.ethz.ch/~kasten/research/bathtub/energy_consumption.html, 2001.
- [15] S. Sing and C. S. Raghavendra, "Power-efficient MAC protocol for multihop radio networks," *Proc. of IEEE PIMRC'98 conf.*,

Vol. 1, pp. 153-157, September 1998.

- [16] L. Feeney and M. Nilsson, "Investigation the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment" *Proceeding of IEEE Infocom*, 2001.
- [17] T. C. Hou and T. J. Tsai, "An Access-Based Clustering Protocol for Multihop Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, Vol. 19, No. 7, pp. 1201-1210, July 2000,



권 수 근

1982년 2월 경북대학교 전자공학과 학사

1984년 2월 경북대학교 전자공학과 석사

1998년 8월 충북대학교 정보통신공학과 박사

1984년 3월~1999년 2월 한국전자통신연구원 책임연구원

1999년 3월~현재 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수

관심 분야 : 이동통신시스템, 무선인터넷, 유무선통합망