

# 모바일 Ad-hoc 네트워크에서 QoS 멀티캐스트 라우팅을 지원하기 위한 구조

안 병 구\*

## 요 약

본 논문에서는 모바일 ad-hoc 네트워크에서 QoS 멀티캐스트 라우팅을 지원하기 위한 구조들을 제안한다. 제안된 구조는 다음처럼 구성 되어져 있다. 첫째, 안정된 멀티캐스트 서비스를 지원하기 위한 기반 구조로 이동성 기반 클러스터링을 제시한다. 둘째, 라우팅 경로와 네트워크의 안정성을 지원하고 평가할 수 있는 엔트로피 기반 모델을 제시하고 QoS 라우팅 지원 방안에 대해서 논의 한다. 셋째, 앞에서 제시된 구조들을 사용하여 QoS 멀티캐스트 라우팅을 지원하기 위한 방법을 제시한다. 제안된 구조에 대한 성능 평가는 OPNET(Optimized Network Engineering Tool)을 사용한 모델링과 시뮬레이션을 통하여 이루어진다.

## An Architecture for Supporting QoS Multicast Routing in Mobile Ad-hoc Networks

Beongku An\*

## ABSTRACT

In this paper, we present an architecture for supporting QoS multicast routing in mobile ad-hoc networks. The proposed architecture consists of three parts as follows. The first part is a mobility-based clustering as underlying structure for supporting stable multicast services. In the second part, a framework which can support and evaluate the stability of route and network for supporting QoS routing is presented. In the third part, we describe a method which uses two structures of the first and second parts for supporting QoS multicast routing services. The performance evaluation of our proposed architecture is accomplished via modeling and simulation using the Optimized Network Engineering Tool(OPNET).

**Key words:** Multicast Routing(멀티캐스트 라우팅), Mobile Ad-Hoc Networks(모바일 ad-hoc 네트워크), QoS

## 1. 서 론

모바일 ad-hoc 네트워크는 임의적으로 형성 되다가 사라지는 무선 통신 망이며, 궁극적인 목표는 스스로 형성되고 사라지는 형태(즉, ad-hoc)의 하부

조직 모바일 무선 네트워크 영역까지 이동성이 연장된 통신망의 구성에 있다. 그러나, 모바일 ad-hoc 네트워크에서 노드의 임의적인 움직임, 자원(bandwidth)과 동력(power)의 한계, 고정된 하부조직의 부족 등으로 인해 관리기능, 라우팅[1]과 멀티캐스트[2,3] 기술은 복잡한 문제점을 갖고 있다. 모바일 ad-hoc 네트워크의 주요한 이슈 문제는 위치 관리를 위한 계산능력, 자원 할당, 라우팅, 멀티캐스팅 기능과 대역폭 예약 등이 있다. 많은 응용 서비스들이 최적 성능을 얻기 위하여 어느 정도의 QoS(Quality of Service)의 지원을 요구하는 것처럼 모바일 ad-hoc

※ 교신저자(Corresponding Author) : 안병구, 주소 : 충남 연기군 조치원읍 신안리(121-791), 전화 : 041)860-2243, FAX : 041)865-04600, E-mail : beongku@wow.hongik.ac.kr  
접수일 : 2004년 3월 12일, 완료일 : 2004년 7월 21일

\* 정회원, 홍익대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수  
※ 이 논문은 2003년도 홍익대학교 학술연구 조성비에 의하여 연구 되었음.

네트워크에서도 다양한 종류의 응용 서비스들의 지원이 요구되고 있으며 이러한 서비스를 제공하기 위한 프로토콜들을 개발하는 것은 추가적인 어려움이 동반 되고있다. 본 논문에서는 모바일 ad-hoc 네트워크에서 QoS 멀티캐스트 라우팅을 지원하기 위한 구조들을 제시한다. 첫째, 모바일 ad-hoc 네트워크에서 안정적인 멀티캐스트 서비스를 지원하기 위한 기반 구조로 이동성 기반의 계층적 클러스터링 구조를 제시한다. 제시된 클러스터링 구조는 각 모바일 노드가 가지고 있는 개인 이동성에 따라서 클러스터가 형성되며 형성된 클러스터의 이동성(즉, 그룹 이동성)에 따라서 계층적으로 클러스터가 구성되므로 매우 안정적인 기반 구조로서 노드들의 이동성 관리 및 멀티캐스트 서비스를 효율적으로 지원할 수 있다. 둘째, 모바일 ad-hoc 네트워크에서 QoS 라우팅 서비스를 지원하기 위한 라우팅 경로의 안정적인 지원과 평가를 할 수 있는 엔트로피[4] 기반의 모델을 제시한다. 예를 들어 소스 노드와 목적지 노드 사이에 존재하는 여러 경로들 중 가장 안정적인 경로를 선택할 수 있다면 많은 자원(bandwidth)을 절약하고 전송 지연과 과부하를 줄일 수 있으므로 메시지 전달 효율을 증가시킬 수 있다. 제안된 모델링의 기본 개념은 모바일 ad-hoc 네트워크에서 예측할 수 없는 노드의 위치 정보와 엔트로피 개념의 공통성에 기인하고 있다. 본 논문에서는 이러한 엔트로피 개념을 사용하여 모바일 ad-hoc 네트워크에서 안정적인 라우팅 경로를 찾을 수 있을 뿐만 아니라 이미 형성된 라우팅 경로의 안정도를 평가할 수 있는 두 종류의 라우팅 경로 파라미터를 제시한다. 셋째, 앞에서 제시한 두 가지 구조들, 이동성 기반의 계층적 클러스터 구조와 엔트로피 기반의 라우팅 경로 지원 및 평가 모델, 을 사용하여 QoS 멀티캐스트 라우팅 서비스를 지원하기 위한 방안을 제안 설명한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 모바일 ad-hoc 네트워크에서 멀티캐스트 라우팅 프로토콜과 QoS 라우팅 프로토콜들에 관련된 연구를 분석 및 검증하고 고찰한다. 3장에서는 모바일 ad-hoc 네트워크의 QoS 멀티캐스트 라우팅 서비스를 제공하는 구조들을 설명한다. 4장에서는 QoS 멀티캐스트 서비스를 지원하기 위해서 제시된 구조들에 대한 성능을 검증하고, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

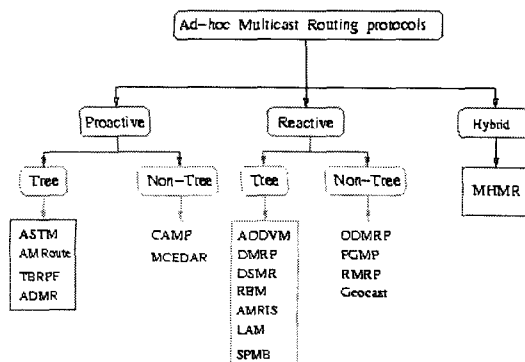
## 2. 관련 연구

Ad-hoc 네트워크에서의 라우팅에 관해서는 가용

대역폭(bandwidth) 및 전력량(power) 등의 자원 제약과 더불어 네트워크 토폴로지가 동적으로 예측할 수 없이 변화한다는 특성으로 기존의 고정 네트워크와는 다른 여러 가지 문제점들이 고려되어야 한다 [3]. Ad-hoc 멀티캐스트 라우팅 프로토콜은 경로 결정을 하는 시점에 따라 데이터의 실제적인 발생과 관계 없이 전달 구조를 구성하는 사전 결정 방식 멀티캐스트 프로토콜(proactive multicast routing protocols)과 데이터 발생에 의해 전달 구조를 구성하는 요구 기반 방식(reactive multicast routing protocols)으로 분류할 수 있다. 전달 구조의 형태에 따라 하나의 전달 경로를 통해 데이터가 전송되는 트리 기반 방식 멀티캐스트 라우팅 프로토콜(tree-based multicast routing protocols)과 하나 이상의 전달 경로가 존재하는 메쉬 기반 방식(mesh(non-tree)-based multicast routing protocols)으로 분류할 수 있다. 혼합형(hybrid) 방식은 성능을 증가시키기 위해서 위에서 설명한 여러 가지 방식을 혼합하여 사용한다. 표 1은 이들 두 가지 분류 기준에 따라 Ad-hoc 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들[3]을 분류한 것이다.

사전결정 방식 멀티캐스트 라우팅 프로토콜(proactive multicast routing protocols)은 각 노드로부터 네트워크내에 있는 멀티캐스트 멤버 노드들에게로의 갱신된 멀티캐스트 정보를 유지한다. 이러한 프로토콜에서 각 노드는 보통 하나 이상의 라우팅 정보 테이블을 보유한다. 그들은 필요한 멀티캐스트 정보를 언제 얼마나 자주 그러한 멀티캐스트 라우팅 정보가 요구되는지에 상관없이 항상 유지하고 주기적으로 갱신한다. 그러한 프로토콜은 근본적으로 많은 전력(power)과 자원(bandwidth)을 소모하는 반면에 이러한 프로토콜들의 실현은 간단하고, 소스 노드가

표 1. Ad-hoc 멀티캐스트 라우팅 프로토콜의 분류



멀티캐스트 그룹에게 전송할 데이터가 있을 때는 즉시 어떤 멀티캐스트 그룹에게 사용되어질 수 있는 라우팅 경로가 가능하다. 요구기반 방식 멀티캐스트 라우팅 프로토콜(reactive multicast routing protocols)은 소스 노드에 의한 요구가 있을 때만 멀티캐스트 경로들이 형성되며 멀티캐스트 멤버쉽과 멀티캐스트 경로들은 요구기반 위에서 유지되고 갱신된다. 일반적으로 정상적인 네트워크 작동에서 이러한 프로토콜들은 과부하를 줄이는 반면에 소스노드의 요구가 있을 때 마다 경로를 형성해야 하므로 경로 형성시간을 증가시킨다.

트리 기반 방식 멀티캐스트 라우팅 프로토콜(tree-based multicast routing protocols)은 목적지에 멀티캐스트 데이터를 전송하기 위해서 트리 구조들을 사용한다. 멀티캐스트 트리는 소스 노드와 목적지 노드 사이에 하나의 경로를 형성하는 것으로 유용하고 간단한 방법이다. 그러나, 기반 네트워크 토폴로지가 자주 변화할 때(예: 모바일 노드) 멀티캐스트 데이터의 전송을 위한 라우팅 경로를 유지하기 위한 많은 컨트롤 과부하가 요구된다. 메쉬 기반 멀티캐스트 프로토콜들(meshed(non-tree)-based multicast protocols)에서는 트리 기반 프로토콜에 비해서 멀티캐스트 멤버들 사이에 많은 연결 경로들을 제공할 수 있다. 이러한 많은 여분의 경로들은 트리 기반 프로토콜들이 가지고 있는 경로의 단절과 채널 페이딩 문제 등을 해결할 수 있다. 반면에 많은 라우팅 경로를 형성하기 위한 증가된 트래픽 문제가 대두된다.

이동성과 자원의 제한으로 모바일 ad-hoc 네트워크에서 QoS 라우팅은 중요한 이슈가 되고 있다. 실질적으로 모바일 ad-hoc 네트워크에서 QoS 라우팅은 기존의 이동 통신망이나 무선랜 등에 비해 오히려 노드만의 분산 운영과 시간 흐름에 따른 에너지 부족이나 유동적인 토폴로지의 변화에 따른 경로 유지 등으로 인해 QoS 보장이 어렵다. 특히, 네트워크의 부하 최소화, 신뢰성 있는 전달 지원, 최적의 경로, 효율성, 제한된 이동성 등의 요소들을 해결하여야 한다. 현재 모바일 ad-hoc 네트워크에서의 QoS 라우팅은 크게 두 가지 범주 안에서 분류될 수 있다. 첫 번째는 기존의 라우팅에 QoS 특성을 반영하여 확장하는 방안들이다. 이 방안들은 주로 선택된 경로 중에서 제약 조건에 따라 QoS 특성을 반영하는 방식이다. 두 번째 방안은 라우팅 알고리즘에서 QoS 관점을 고려한다. QoS에 관련된 제약 조건으로는 대역폭이

나 시간 지연과 같은 응용 측면과 노드의 자원이나 링크 상태 등의 네트워크 측면으로 나누어 볼 수 있다. 그러므로, QoS 관련 연구는 대역폭, 시간 지연, 경로 상태 등의 제약 조건에 의존하여 예상되는 매트릭을 만족시키는 경로를 선택하는 분야에 집중되고 있다. 본 논문의 다음 3장은 이러한 모바일 ad-hoc 네트워크에서 QoS 멀티캐스트 라우팅을 지원하기 위한 방안과 구조에 대해서 제시 및 논의를 한다.

### 3. Ad-hoc 네트워크에서 QoS 멀티캐스트 라우팅 지원을 위한 구조

Ad-hoc 네트워크에서 QoS 멀티캐스트 라우팅을 지원하기 위한 구조는 다음처럼 3개의 부분으로 구성되어 있다. 즉, i) 멀티캐스트를 지원하기 위한 기반 구조, ii) 경로 안정성의 지원 및 평가를 할 수 있는 구조, iii) 메쉬위의 트리 구조

#### 3.1 멀티캐스트를 지원하기 위한 기반 구조

본 논문에서는 ad-hoc 네트워크에서 멀티캐스트 라우팅을 지원하기 위한 기반 구조로서 모바일 노드의 이동성(개별적 이동성, 그룹 이동성)과 위치 추적 시스템(i.e. GPS)을 통한 위치 정보를 사용하여 구성되는 이동성 기반 클러스터링을 제시한다. 제시된 이동성 기반 클러스터링의 주 개념은 클러스터된 토폴로지의 안정성을 향상시키기 위한 상대적인 이동성의 개념뿐만 아니라, 이동성 패턴 등과 같은 노드 사이의 지리적 접근과 기능적 관계에 의하여 통신망의 물리적이고 논리적 부분을 결합하고 있다. 제안된 이동성 기반의 계층적 클러스터링 알고리즘 [5]은 노드의 이동성 특성에 의존하는 다양한 크기의 클러스터를 구성할 수 있으며 형성된 클러스터는 현재 유사한 이동성 특성을 갖는 몇몇 모바일 노드들로 이루어져 있다. 그리고, 몇몇 클러스터들은 각 클러스터의 이동성에 따라 하나의 클러스터 그룹에 계층적으로 합병될 수 있다. 알고리즘의 여러 단계를 설명하기 전에 먼저 알고리즘에 관련된 주요 파라미터와 모델을 설명한다. 특히, 통신망 토폴로지를 그래프  $G = (V, E)$ 로 나타내는데, 여기서  $V$ 는 노드의 집합이고,  $E$ 는 각 방향에 독립적으로 동작하는 양방향 연결들의 집합이다.  $G$ 의 두 노드  $x$ 와  $y$ 의 거리  $d(x, y)$ 는 노드  $x$ 와  $y$  사이의 최소 홉 수로 정의된다. 클러스터

$C_i \subset V$ 는 노드의 집합인데, 여기서 어떠한 두 노드  $x, y \in C_i$ 에 대해서  $d(x, y) \leq L$ 의 관계가 있다. 즉, 클러스터의 어떤 두 노드라도 대부분  $L$  홉 떨어져 있다.  $L$ 은 통신망 안정성에 의존하는 파라미터이고,  $W$ 는 가능한 모든 클러스터  $C_i$ 의 집합으로 정의된다. 클러스터 토폴로지에서의 클러스터 적용 범위  $K_i$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$K_i = \{C_j, C_l \in W .and. C_i \cap C_j = 0 .and. \cup_{i \in K_i} C_j = V\} \quad (1)$$

시간  $t$ 에서 노드  $m$ 의 속도를  $v(m, t)$ 로, 노드  $n$ 의 속도를  $v(n, t)$ 로 표시한다. 속도 벡터  $v(m, t)$ 와  $v(n, t)$ 가 속도와 방향을 나타내는 두 개의 파라미터를 가지고 있는 것에 주목해야 한다. 시간  $t$ 에서 노드  $m$ 과  $n$  사이의 상대적인 속도 벡터  $v(m, n, t)$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$v(m, n, t) = v(m, t) - v(n, t) \quad (2)$$

그리고, 상대적인 이동성  $M_{m,n,T}$ 은 시간간격  $T$  동안에 노드의 어떠한 쌍 ( $m, n$ ) 사이에 그들의 절대적인 상대속도를 합산한 다음 시간  $T$ 로 평균함으로써 정의된다.

$$M_{m,n,T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |v(m, n, t_i)| \quad (3)$$

여기서, 불연속적인 시간의 수  $N$ 에서 속도의 정보는 계산되어지며 시간 간격  $T$  내에 다른 노드로 전달된다. 그림 1은 제안된 클러스터링의 기본적인 개념을 보여준다.

이동성기반 클러스터를 구성하고 유지하기 위해

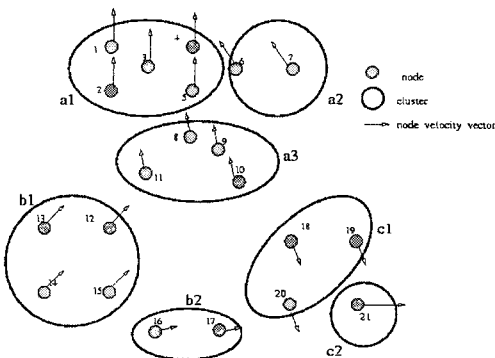


그림 1. 클러스터링의 기본적인 개념

제안된 알고리즘은 아래와 같은 5 단계로 구성된다.

**1단계 :** 이동성 정보 광고 (mobility information dissemination)

각각의 노드  $n$ 는 주기적으로 인근 노드들에게 자신의 속도 정보( $v(n, t_i), i=1, 2, \dots$ )를 보낸다.

**2단계 :** 이동성 매트릭스 계산 (calculation of mobility metrics)

노드  $n$ 의 속도 정보와 각 노드  $m$ 은 자신과 노드  $n$  사이의 상대 속도를 산출한다. 모든 이웃 노드  $n$ 을 고려한 노드  $m$ 은 관계에 따라 파라미터  $v(m, n, t)$ 을 산출한다. 그리고, 주기적으로 (기간  $T$ 로) 각각의 노드  $m$ 은 자신과 노드  $n$  사이의 상대적인 이동성  $M_{m,n,T}$ 을 산출한다.

**3단계 :** 첫번째(임시적인) 클러스터 구성 (initial (tentative) cluster construction)

노드  $m$ 과 노드  $n$ 으로부터 이동성 정보를 받은 모든 노드를 포함한 집합을  $S_m$ 으로 표시한다. 다음 상태를 만족시키는 가장 낮은 ID를 가진 node- $i$ 의  $S_m(M_{m,i,T} < Th_{mob}, i \in S_m)$ 은 임시적인 클러스터헤드 (TCH)로 선택되어 진다.

$$TCH = LST_{i \in S_m} \{ID \mid M_{m,i,T} < Th_{mob}\} \quad (4)$$

여기서, LST은 최소한을 의미하며, 클러스터헤드도 클러스터의 일부분이 되므로 노드  $m$ 은 노드 TCH에 클러스터링을 요청한다. 특히, 이동성 기준  $Th_{mob}$ 은 알고리즘의 중요한 파라미터이며 사용된 네트워크의 안정성에 따라서 변화될 수 있다.

**4 단계 :** 클러스터 병합 (cluster merging)

3 단계에 따라 임시적인 클러스터헤드( $TCH_1$ )가 다른 클러스터( $TCH_2$ )에도 포함되면, 자식 클러스터 (또는 임시적인 클러스터( $TCH_1$ ))는 현재 클러스터 구성원들과 함께 부모 클러스터(또는 상위클러스터( $TCH_2$ ))에 통합된다. 클러스터 병합을 위해 상위레벨(upperbound) (예를 들면,  $L$  홉) 규칙이 있다. 클러스터헤드를 합병한 후에 최상위 클러스터의 헤드는 새로 생성된 클러스터의 헤드로 선택된다. 자식 클러스터 ( $TCH_1$ )내의 각각의 노드는  $TCH_1$  정보(mobile id), 부모 클러스터헤드 정보 (mobile id) 등을 갖는다. 새로 생성된 클러스터헤드는 새로운 클러스터내의 모든 노드의 라우팅 정보를 가진다.

**5단계 :** 클러스터 유지 및 재구축 (cluster main-

tenance/reconstruction)

노드  $m$ 이 클러스터  $C_i$  내에서 움직일 때, 클러스터  $C_i$  내의 노드  $n$ 이 다음 상태,  $M_{m,i,T} < Th_{mob}$ , 를 만족시키면 노드  $n$ 는 이때 클러스터  $C_i$ 의 클러스터헤드이고 노드  $m$ 은 노드  $n$ 에 클러스터링을 요청한다. 이 상태를 만족시키지 못할 경우 노드  $m$ 은 5단계를 반복 수행한다.

### 3.2 경로 안정성 및 평가를 지원하기 위한 구조

그림 2는 모바일 ad-hoc 네트워크에서 QoS 라우팅 서비스를 지원하기 위해서 안정적인 라우팅 경로를 선택할 수 있고 형성된 라우팅 경로의 안정성을 평가할 수 있는 엔트로피 기반의 라우팅 경로 안정성 모델의 기본 개념을 설명한다[6]. 모델링 구조는 모바일 ad-hoc 네트워크에 안정성과 연결성의 평가를 위한 편리한 성능 수치를 제공할 뿐만 아니라 다중 경로가 가능한 환경에서 근원지와 목적지 사이의 가장 안정적인 경로를 선택하는 것이 목적이다. 제시된 모델은 모바일 ad-hoc 네트워크에서 모바일 노드들의 위치 불확실성과 엔트로피(entropy) 개념[4] 사이의 공통적인 특징을 갖고 있다는 것에서 기본 아이디어를 두고 있다. 여기서 말하는 ad-hoc 네트워크에서의 위치의 불확실성은 모바일 노드들의 위치의 랜덤성 및 일정한 패턴의 이동성 모두가 포함된다.

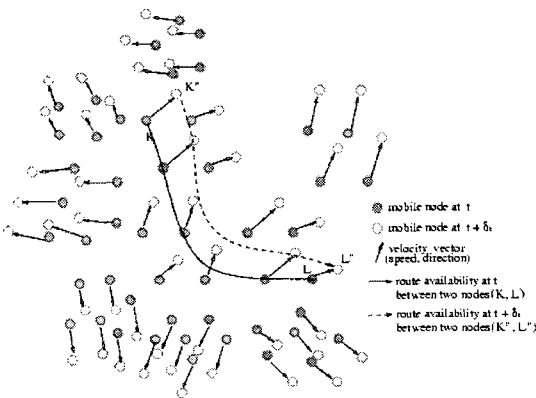


그림 2. 경로 안정성을 지원하기 위한 모델

### 3.3 메쉬 기반의 트리 라우팅 구조

본 장에서는 3.1과 3.2에서 제시한 두 구조(즉, 이동성 기반 클러스터링 구조, 엔트로피 기반 라우팅 경로 안정성 모델)를 함께 사용하여 ad-hoc 네트워

크에서 QoS 멀티캐스트 라우팅 서비스를 지원하기 위한 방법을 제시하고 설명한다.

먼저 실제적인 예를 사용한 QoS 멀티캐스트 지원 방안을 설명하면 다음과 같다.

그림 3은 모바일 ad-hoc 네트워크에서 하나의 어떤 멀티캐스트 라우팅 프로토콜 MHMR[7]을 예로 들어 QoS 멀티캐스트 라우팅을 지원하기 위한 단계를 제시 설명하고 있다. 여기서 사용된 MHMR는 2장에서 설명한 이동성 기반의 클러스터링 위에서 클러스터헤드 기반의 제한된 메쉬(mesh) 구조를 사용하고 있다. 메쉬 토폴로지에서 상호 중복성은 트리 기반의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜의 결점(즉, 트리 단절)을 극복할 수 있다. 그러나, 높은 과부하와 제어 트래픽을 발생으로 인하여 대규모의 동적인 모바일 무선 네트워크에서 멀티캐스트를 지원하는 메쉬 구조를 구축하기에 어려움이 있다. 따라서, 모바일 ad-hoc 네트워크에서 중복된 경로를 제거하여 자원(bandwidth)을 절약하고 전송 지연과 과부하를 줄이며, 데이터 전송효율을 증가시키는 QoS 서비스를 지원할 수 있는 구조를 제시 한다. 다음은 그림 5에서 보여준 실제적인 예를 사용한 QoS 멀티캐스트 라우팅 지원 방법 및 일반적인 방법을 각 단계별로 설명한다.

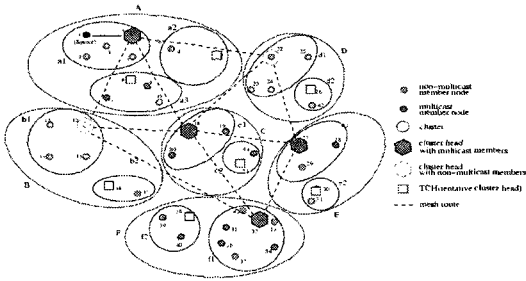
**단계 1:** 먼저 3.1 장에서 제시한 이동성 기반 클러스터링 구조를 형성한다. (그림 3(a))

**단계 2:** 형성된 기반 구조 위에 멀티캐스트 소스 노드와 멀티캐스트 멤버노드들 사이에 클러스터헤드 기반의 메쉬(mesh) 구조를 형성한다. (그림 3(b))

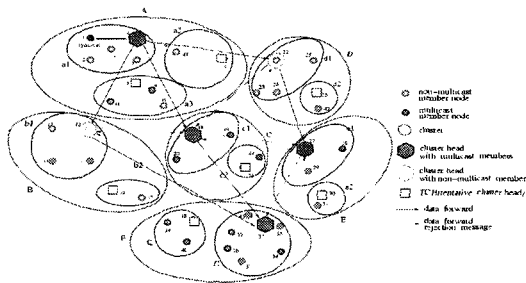
**단계 3:** 형성된 메쉬 구조 위에서 멀티캐스트 소스 노드와 멀티캐스트 멤버 노드들 사이에 하나 이상의 경로가 존재할 때, 3.2 장에서 제시한 경로지원 및 평가모델을 사용하여 각 경로의 안정도를 계산한다. (그림 3(b))

**단계 4:** 멀티캐스트 소스 노드와 목적지 노드 사이에 하나 이상의 라우팅 경로가 존재할 때 그 경로들의 안정도에 따라서 최적의 경로를 채택한다. 예를 들어, 모든 경로가 모두 안정적이면 그 중에서 가장 안정적인 경로 하나만을 사용하고, 만약에 모든 경로가 불안정하면 존재하는 모든 경로를 사용하여 패킷을 전송한다. (그림 3(c))

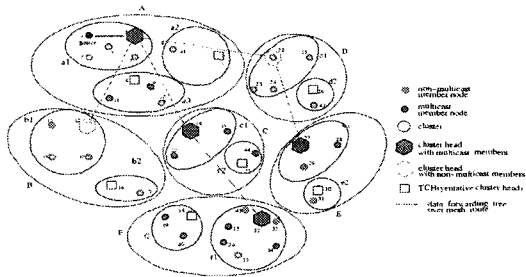
**단계 5:** 채택된 가장 안정된 경로위로 멀티캐스트 데이터를 전송한다.



(a) 멀티캐스트를 지원하는 클러스터링 구조



(b) 그물 구조



(c) 경로 안전성을 지원하는 구조

그림 3. 실제적인 예를 사용한 QoS 멀티캐스트 라우팅 지원

일반적인 경우의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 대한 QoS 지원방안에 대해서 설명하면 다음과 같다. 즉, 기존에 존재하는 많은 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 본 논문에서 제안한 방법을 사용하여 다음처럼 QoS 멀티캐스트 라우팅 서비스를 지원 할 수 있다.

**단계 1:** 메쉬(mesh) 구조를 가지는 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에는 앞에서(즉, 실제적인 예를 사용한 QoS 멀티캐스트 지원방안. 단계 1~단계 4) 설명한 똑 같은 방법을 사용하여 멀티캐스트 소스 노드와 목적지 노드 사이에 존재하는 하나 이상의 경로 중에 가장 최적의 경로를 선택하여 사용 할 수 있다.

**단계 2:** 트리구조를 가지는 멀티캐스트 라우팅 방법에서는 멀티캐스트 트리를 형성 할 때 III 절(3.2)에서 제시한 경로 안정성 및 평가를 지원하는 모델을 사용하여 가장 안정적인 트리 경로를 형성한다.

**단계 3:** 형성된 가장 안정성이 있는 경로위로 데이터를 보냄으로써 QoS(delay, bandwidth, overload)를 고려한 멀티캐스트 서비스를 지원 할 수 있다.

## 4. 성능 분석 및 검증

### 4.1 성능분석 시나리오

프로토콜의 성능 평가는 모델링과 Optimized Network Engineering Tool(OPNET)을 사용하는 시뮬레이션에 의하여 달성된다. 2 km×2 km의 직사각형 지역 내에 임의로 놓인 200개의 노드로 구성된 이동 ad-hoc 네트워크가 시뮬레이션을 위해 구성된다. 각각의 노드는 무한 버퍼로 store-and-forward queuing 하는 기지국으로 설계되어있고, 신뢰성 있는 위치 추적 시스템 (예를 들면, GPS)으로 그 위치를 알 수 있다고 가정한다. 이동 노드는 Z=250m의 일정한 무선 범위를 가진다고 가정한다. 두 개의 다른 이동성 계획이 이 연구에 고려된다. 첫번째 것 (이하, 이동성1이라고 언급한다)은 랜덤 이동성을 가진다. 여기서 각 노드들의 움직임의 속도와 방향은 각각 속도 범위 [0, Vmax km/h]와 방향 범위 [0,2π]로 일정하게 분배된다. 두 번째 것 (이하, 이동성 2라고 언급한다)은, 그룹기반의 이동성 패턴[5,8]의 모형이 만들어진다. 특히, 노드는 몇 가지의 그룹들로 묶이는데 여기서 같은 그룹 내에 있는 노드는 같은 이동성 특성(속도와 방향)을 가지고 있다고 가정한다. 각 그룹의 속도와 방향은 속도 범위[0, Vmax km/h]와 방향 범위 [0, 2π]내에서 시뮬레이션의 시작 포인트에서 임의적으로 선택되고 각 그룹은 시뮬레이션 동안 이 속도와 방향의 변화 패턴을 유지한다고 가정한다. 처음으로, 각각의 그룹은 10개의 노드로 이루어져 있다. 이동이 주어진 네트워크 유효 범위의 경계에 도착하면, 노드는 네트워크로 다시 되돌아 간다.

### 4.2 성능분석 결과 및 토의

첫 번째 부분 시뮬레이션에서, 멀티캐스트를 지원하기 위해 만들어진 클러스터 토폴로지의 안정성을 측정하고 평가한다. 사용된 수치들은 클러스터헤드

변화를 (또는 새로운 클러스터의 구성)의 수치를 표현하는 클러스터 변화의 개수이다. 그림 4는 아래와 같은 lowest-ID algorithm[9], highest-connectivity (degree) algorithm[10]와 본 논문에서 제안된 MBC algorithm의 3개의 다른 알고리즘 하에서의 개별적인 임의의 이동성 시나리오의 수치 결과 (예를 들면, 클러스터 안정성)를 보여준다. 마찬가지로, 그림 5는 그룹 이동성 시나리오 (i.e. 이동성 2)하에서의 대응 결과 (예를 들면, 클러스터 안정성)를 보여준다. 그림 4의 첫 번째 집합에서 보여지듯, lowest-ID와 highest-connectivity algorithms은 비슷한 행동을 보여주지만 이 실험에서는 lowest-ID가 highest-connectivity algorithm 보다 약간 더 잘 동작한다. 그러나, MBC 알고리즘은 클러스터 안정성 수치를 향상시킴으로써 그 둘보다 성능이 더 우수함을 알 수 있다. 향상은 그룹 이동성 시나리오(그림 5)를 이용한 실험의 2번째 세트에서 lowest-ID algorithm과 highest-connectivity algorithm과 비교하면 MBC 알고리즘은 대략 몇 배 정도로 클러스터헤드의 변화를 감소시킴을 알 수 있다. 이것은 MBC 알고리즘이 클러스터를 구성하기 위해서 그룹 이동성이 가지는 노드 이동 유사성의 이점을 이용하기 때문에 달성된다. 그러므로, 제안된 MBC 알고리즘은 안정된 멀티캐스트 서비스를 지원하기 위하여 기반구조로서의 작용을 할 수 있다. 그림 6은 초기 클러스터를 구성하기 위해서 각 노드 당 필요한 컨트롤 시그널 오버헤드를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 초기 클러스터를 구성하기 위해서 3개의 알고리즘, lowest-ID, highest-connectivity, MBC, 들은 3번의 컨트롤 시

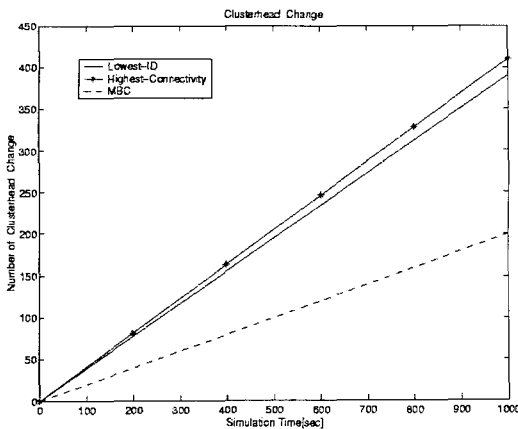


그림 4. 클러스터 안정성(이동성1)

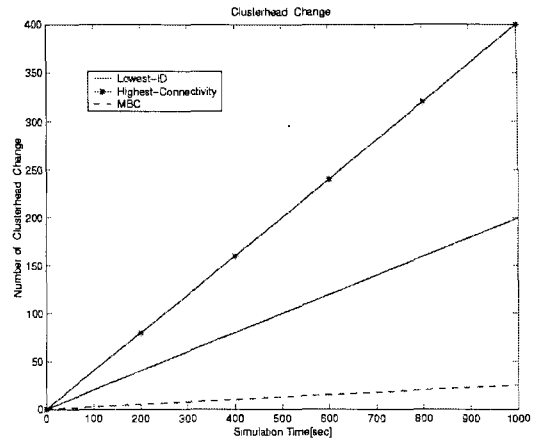


그림 5. 클러스터 안정성(이동성2)

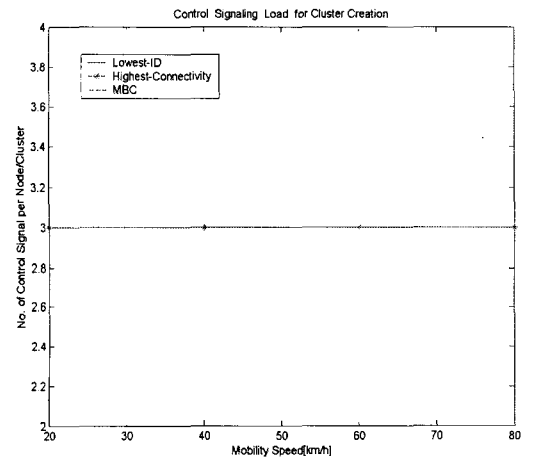


그림 6. 컨트롤 시그널링 오버헤드 (이동성1)

그널링이 필요함을 알 수 있다. 여기서 클러스터를 계층적으로 구성하는 경우에 필요한 컨트롤 시그널링은 고려하지 않았다.

두번째 부분 시뮬레이션에서는 수행된 멀티캐스트 라우팅 프로토콜 즉 MHMR [7] 상에서 3.2절과 3.3절에서 제안한 구조들을 사용하여 QoS 멀티캐스트 라우팅의 지원 정도를 측정하고 평가하려고 한다. 모바일 ad-hoc 네트워크에서 가장 명백한 특성 중의 하나는 이동성이다. 따라서, 우리는 서로 다른 네트워크 환경에서 그들의 적응성을 연구하고 측정하기 위해 이동성 속도의 함수로 프로토콜의 동작을 평가한다. 그림 7과 그림 8은 개별적 임의의 이동성 시나리오 상에서의 결과 수치(예를 들면, 이동성 1)를 나타내는 반면에, 그림 9와 그림 10은 그룹 이동성 시나리

오 상에서의 결과 수치를 보여준다(예를 들면, 이동성2). 그림 7과 그림 9이 이동성 함수로서 한 소스에

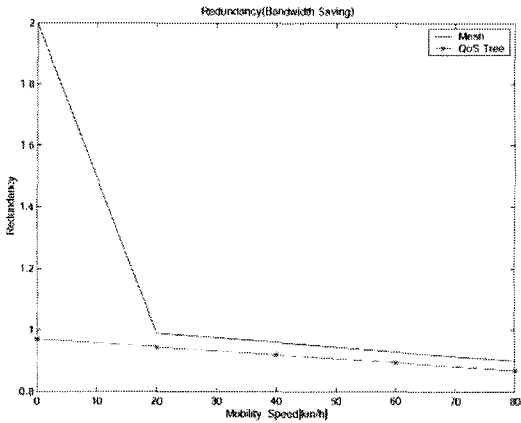


그림 7. 중복성- 대역폭 저장(이동성1)

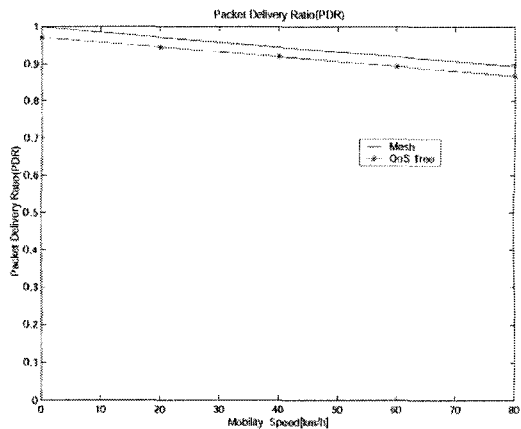


그림 8. 패킷 전달 비율(이동성1)

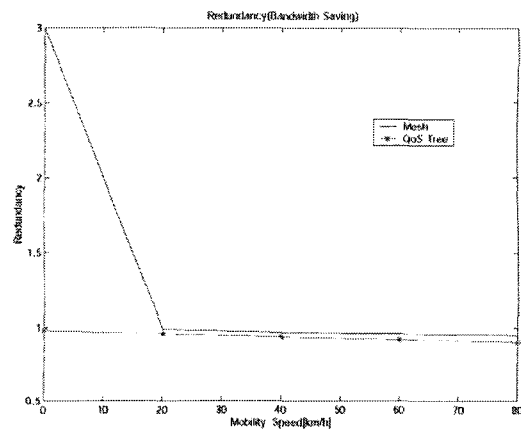


그림 9. 중복성- 대역폭 저장(이동성2)

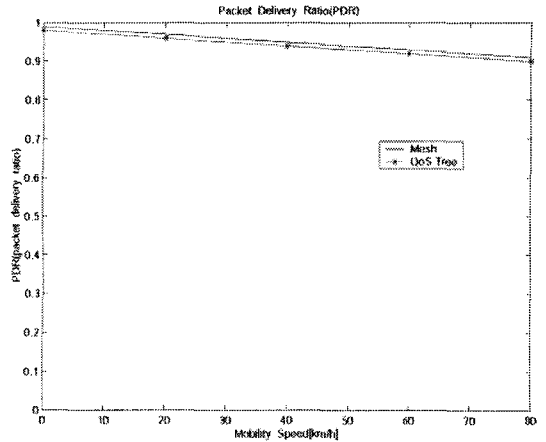


그림 10. 패킷 전달 비율(이동성2)

서 보내지는 패킷당 하나의 목적지에서의 중복전송의 정도를 나타내는 반면, 그림 8와 그림 10은 이동성 함수로서 패킷 전송율을 보여준다. 그림 7과 그림 9에서 보여지는 것과 같이 QoS 트리를 사용하는 방법에서 패킷의 중복전송은 그물 망 개념만을 사용하는 방법에서 패킷의 중복전송보다 적다. 특히, 낮은 이동 속도의 범위에서 QoS 트리를 사용하는 방법에서의 패킷 중복은 그물망 개념만을 사용하는 방법에서의 패킷 중복전송보다 몇 배 정도 적다. 이유는 낮은 이동 속도 환경에서 소스 노드와 목적지 노드 사이에는 형성 가능한 경로들이 여러 개 있을 수 있기 때문이다. 이런 경우에, QoS 트리는 소스 노드와 목적지 노드 사이에 모든 그물망 경로를 선택하는 대신에 단지 한 개의 가장 안정된 트리를 선택하여 패킷을 전송할 수 있기 때문이다. 그림 8 와 그림 10은 개별 적 임의 이동성 시나리오(예를 들면, 이동성1)의 패킷 전송율과 그룹 이동성 시나리오(예를 들면 이동성 2)에 대한 패킷 전송율을 보여준다. 그림 8와 그림 10에서 보는 바와 같이, 패킷 전송률은 그물 망을 사용하는 방법과 QoS 트리를 사용하는 방법이 비슷한 결과를 얻을 수 있다. 이유는 QoS 트리를 사용하는 방법에서는 QoS 트리가 소스 노드와 목적지 노드 사이에 있는 다수 경로들 중에서 가장 안정된 단일 경로로 선택될 수 있기 때문이다.

### 5. 결 론

본 논문에서 모바일 ad-hoc 네트워크에서 QoS 멀티캐스트를 지원하는 구조를 제안 한다. 제안된 구조



는 다음과 같이 3개의 부분으로 이루어져 있다. 첫 번째, 안정된 멀티캐스트 라우팅 서비스를 지원할 수 있는 기반 구조로서 이동성 기반 클러스터링 구조를 제시한다. 두 번째로, QoS 라우팅을 지원하기 위해서 안정된 경로를 형성 할 수 있고 형성된 경로들의 안정성을 지원 할 수 있는 엔트로피 기반의 경로 안정성 지원 및 평가모델을 제시한다. 세 번째로, 앞에서 제시한 두 방법을 사용하여 모바일 ad-hoc 네트워크에서 QoS 멀티캐스트 라우팅을 지원하는 방법을 제시한다. 제안된 방법의 성능 평가는 모델링과 시뮬레이션에 의하여 수행된다. 성능평가 결과는 제안된 구조가 모바일 ad-hoc 네트워크 서비스 내에서 QoS 멀티캐스트 라우팅 서비스를 능률적으로 지원 할 수 있다는 것을 보여준다.

**참 고 문 헌**

[1] Elizabeth M. Royer, Chai-Keong Toy, "A Review of Current Routing Protocols for Ad-hoc Mobile Wireless Networks", IEEE Personal Communications vol.6, issue 2, pp.46-55, April 1999.

[2] Lee S.J, Chiang C-C. "On-demand multicast routing protocol", Proc. of IEEE WCNC'99, New Orleans, LA, 1999

[3] Symeon Papavassiliou, Beongku An, "Supporting multicasting in mobile ad-hoc wireless networks: issues, challenges, and current protocols", Wireless Communications and Mobile Computing(WCMC), vol.2, issue 2, pp. 115-130, 2002.

[4] Akira Shiozaki, "Edge Extraction Using Entropy Operator", Computer Vision, Graphics, and Image Processing 36, 1-9, 1986.

[5] R. Ramanathan, M. Steenstrup, "Hierarchically-Organized, Multihop Mobile Wireless Networks for Quality-of-Service Support", ACM/Baltzer Mobile Networks and Applications, vol. 3, no. 1, p.p. 101-119, 1998.

[6] Beongku An, Symeon Papavassiliou, "An Entropy-Based Model for Supporting and Evaluating Stability in Mobile Ad-hoc Wireless Networks", IEEE Communications Letters, vol.6, no.8, pp.328-330 August 2002.

[7] Beongku An, Symeon Papavassiliou, "MHMR: A Mobility-Baed Hybrid Multicast Routing Protocol in Mobile Ad-hoc Wireless Networks", Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC), vol.3, issue 2, pp.255-270, 2003.

[8] Xiaoyan Hong, Mario Gerla, Guangyu Pei, Ching-Chuan Chiang, "A Group Mobility Model for Ad-Hoc Wireless networks", Proc. of ACM/IEEE MSWiM'99, August 1999.

[9] Anthony Ephremides, Jeffrey E. Wieselthier, Dennis J. Baker, "A design concept for reliable mobile radio networks with frequency hopping signaling", Proc. of IEEE 75(1), pp.56-73, 1987.

[10] Abhay K. Parekh, "Selecting routers in ad-hoc wireless networks", in ITS, 1994.



**안 병 구**

1988년 경북대학교 전자공학(BS)  
 1996년 (미) Polytechnic University  
 Dept. of Electrical and  
 Computer Engineering  
 (MS)  
 2002년 (미) New Jersey Insti-  
 tutof of Technology

(NJIT), Dept. of Electrical and Computer  
 Engineering (Ph.D)

1990년~1994년 포항산업과학연구원(RIST), 선임연구원  
 1998년~2001년 New Jersey Institute of Technology  
 Lecturer, RA

2003년~현재 홍익대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수  
 Marquis Who's Who in Science and  
 Technology(세계과학기술 인명사전) 등재  
 관심분야: Wireless Networks, Ad-hoc Networks, Sensor  
 Networks, Multicast Routing Protocols,  
 Mobility Management, QoS, Location-Based  
 Technology