

# 이동 ad-hoc 망에서의 트래픽 속성을 고려한 클러스터링 방안

정희원 김 영 응\*, 조 동 호\*\*

## Clustering Scheme Based on Traffic Characteristics in Mobile Ad-Hoc Networks

Young-Woong Kim\*, Dong-Ho Cho\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 동적으로 분산된 이동체로 구성된 이동 ad-hoc 망에서 고속의 멀티미디어 데이터 서비스를 제공하기 위해 다양한 트래픽 속성에 따라 전송 전력의 크기를 변화시키는 새로운 클러스터링 방안을 제안한다. 제안한 클러스터링 방안에서는 실시간 트래픽에 대해서는 경로설정 지연을 줄일 수 있도록 전송전력의 크기를 크게 설정하여 홉수를 줄인다. 반면, 비실시간 트래픽은 지연에 둔감하므로 전송전력의 크기를 작게 설정한다. 시뮬레이션 분석을 통하여, 실시간 트래픽에 대해서는 평균 홉수를 줄일 수 있고, 비실시간 트래픽의 경우에는 호 블로킹 확률 및 경로 재설정 비율이 조금 증가하지만 미미한 수준이므로 수용 가능성을 보여준다. 즉, 기존의 획일적인 전송전력의 크기를 사용하는 방안에 비해 제안한 클러스터링 방안이 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

### ABSTRACT

A mobile ad-hoc network is composed of only mobile nodes, which are distributed dynamically, without any wired backbone. We need a new clustering scheme for a support of multimedia services in mobile ad-hoc networks. Therefore, we propose a novel scheme that can support a variety of traffic characteristics and could be applicable to high-speed and multimedia data services in mobile ad-hoc networks by using adaptive transmission power level. When an urgent data or voice traffic is applied, we should support a real-time transmission since it is most important to reduce a route query response time. In this case, we use a larger transmission power level. On the other hand, for a non real-time data traffic, which is insensitive to delay, we can use a smaller transmission power level. As a result of simulation, we can reduce the average number of hops for real-time traffic. In the case of non real-time traffic, the call blocking probability and call re-routing rate are slightly increased, although they are acceptable. The proposed scheme has better performance than conventional method, which is performed based on uniform transmission power level, in view of route query delay time.

### I. 서 론

오늘날, 무선 통신 환경의 비약적인 발전과 더불어 PDA(Personal Digital Assistants)와 휴대형 컴퓨터 등 이동 컴퓨팅 단말의 진보로 다음 세대의 통신 서비스는 현재의 단순한 음성 위주의 서비스가

아닌 고속의 멀티미디어 데이터 서비스로 진화할 것이다. 이와 함께 이동 컴퓨팅 단말을 이용한 이동 인터넷 서비스 관련 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 이동 인터넷 서비스를 제공하기 위해서 IMT-2000 시스템 등이 개발되고 있다. 이와 관련하여 최근 대두되고 있는 것이 이동 ad-

\* LG전자 차세대단말연구소 개발 1실 (herokim@lgic.co.kr)

\*\* 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 통신정보시스템 연구실 (dhcho@ee.kaist.ac.kr)  
논문번호 : 00316-0804, 접수일자 : 2000년 8월 4일

hoc 망이다. 이동 ad-hoc 망에 관한 연구는 특정한 기지국을 설치하고 각 단말이 이를 통하여 동일한 망의 다른 단말 또는 다른 망에 속한 단말과 통신하는 기존의 무선 셀룰러 망과는 달리, 기지국과 단말의 구별 없이 각 단말이 모두 중계기의 역할을 수행하여 통신 서비스를 제공함으로써 고정된 기지국 및 유선 망 시설을 별도로 설치할 수 없거나 각 단말들이 극심하게 동적으로 이동하는 경우에도 통신 수단을 제공할 수 있도록 하는 것을 목적으로 하고 있다. 그러므로 본 논문에서는 차세대 통신망 구축 기술 중에서 특히 차세대 가정용/사무용 LAN (Local Area Network) 구축 기술로 각광 받고 있는 이동 ad-hoc 망 환경에서 효율적으로 경로 설정을 수행하기 위해 트래픽 속성에 따라 송신 전력의 크기를 달리 적용하는 새로운 클러스터링 방안을 제안한다. 음성 데이터 또는 긴급 메시지와 같은 실시간 트래픽의 경우 보다 큰 전력으로 경로 설정 요구 메시지를 전송함으로써 경로 설정시 거쳐가는 홉(hop)의 수를 줄일 수 있으므로 보다 빨리 최적화된 경로를 찾을 수 있다. 반면 데이터 트래픽과 같은 비실시간 트래픽은 실시간 트래픽에 비해 지연에 둔감하므로 보다 작은 전력으로 경로 설정을 요구한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 기존의 ad-hoc 경로 설정 프로토콜에 대해서 설명하고 각각의 장단점에 대해 기술한다. 3장에서는 트래픽 속성을 고려한 클러스터링 방안에 대해서 기술한 후, 4장에서 수학적 분석 및 시뮬레이션을 통해 제안 방안의 성능 분석을 수행한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 기존의 ad-hoc 경로 설정 프로토콜

모든 경로 설정 프로토콜의 가장 큰 목적은 네트워크 안에 있는 시작 단말과 목적 단말 간의 정확하고 최적화된 경로를 찾는 것이다. 특히, ad-hoc 환경의 경우 제한된 공유 자원을 가지고 이루어져야 하므로 오버헤드 및 대역폭 소모를 최소화해야 한다. 일반적으로 기존의 경로설정 프로토콜은 table-driven 방식, demand-driven 방식 그리고 hybrid 방식의 세 가지로 나누어진다<sup>[2]</sup>.

### 1. Table-driven 방식

Table-driven 방식은 연속적으로 경로 탐색 작업을 수행하며, 각 단말로부터 모든 다른 단말로 가는

모든 경로 설정 정보를 항상 유지하고 있다. 그러므로, 경로 설정 요구가 들어오는 즉시 경로를 찾을 수 있다. 이러한 방식의 예로는 거리 벡터 계열의 프로토콜들을 들 수 있다. 다시 말해, DSDV (Destination Sequenced Distance Vector Routing)<sup>[3]</sup>, CGSR (Cluster-head Gateway Switch Routing), WRP (Wireless Routing Protocol), IMEP (Internet MANET Encapsulation Protocol)<sup>[8]</sup>, CBRP (Cluster Based Routing Protocol)<sup>[12]</sup>, OLSR (Optimized Link State Routing protocol)<sup>[9]</sup>, AMRoute (Ad-hoc Multicast Routing protocol)<sup>[11]</sup> 등이 그 대표적 예라 할 수 있다. Table-driven 방식의 장점은 경로가 설정될 때까지의 지연이 작다는 것이지만, 망 특성 상 끊임없이 단말들이 움직이고 있는 ad-hoc 망의 경우에는 경로 정보를 유지하기 위해서 많은 망 자원을 소모하게 된다. 즉, table-driven 방식은 유한한 망 자원을 가지고 통신을 해야 하는 ad-hoc 환경에서는 적합하지 않다<sup>[7]</sup>.

### 2. Demand-driven 방식

Demand-driven 방식은 시작 단말에 의해 경로 설정 요구가 들어올 때에만 경로 설정 정보를 갱신하여 경로를 설정하는 방식이다. 각 단말은 목적 단말까지 경로 설정의 요구가 들어오거나 생성되었을 경우에만 경로 탐색 과정을 시작한다. 이러한 demand-driven 방식의 예로는 AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing)<sup>[5]</sup>, DSR (Dynamic Source Routing)<sup>[4]</sup>, LMR (Lightweight Mobile Routing), TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm)<sup>[6]</sup>, ABR (Associativity-Based Routing), SSR (Signal Stability Routing) 등이 있다. 또한, demand-driven 방식은 경로 설정 요구가 들어올 때마다, 새롭게 경로 설정 정보를 갱신해서 찾아가므로 목적지까지 경로를 설정하는데 걸리는 지연이 상대적으로 크다. 결국 실시간 통신에는 적합하지 않다<sup>[7]</sup>.

### 3. Hybrid 방식

마지막으로 hybrid 경로 설정 방안이 있다. 즉, table-driven 방식과 demand-driven 방식이 혼재하는 방식이다. 대표적인 예로 ZRP (Zone Routing Protocol)와 같은 프로토콜이 있다<sup>[7]</sup>. 이 방식은 크게 두 단계로 나누어진다. 우선 각 단말들은 자신의 이웃 정보를 가지고 있고, 이러한 이웃들은 이른바 zone이라는 하나의 클러스터로 묶이게 된다. 1단계

로 같은 zone에 존재하는 단말들에 대한 경로 탐색 과정은 table-driven 방식에 기반하여 수행하고, zone을 벗어나는 영역에 있는 단말에게 정보를 전송하고 싶을 때에는 2단계로서 zone의 최외곽에 존재하는 단말들에게 경로 설정 정보를 전달하게 된다. 한편, 이러한 경로 설정 정보를 이전 단말로부터 전달받은 최외곽 단말들은 자신의 zone에서 목적 단말을 찾게 되고 결국, 최종적으로 목적 단말을 찾을 때까지 이와 같은 과정을 계속 반복한다. ZRP는 table-driven 방식의 영역을 네트워크 전 영역이 아닌 자신의 zone으로 국한시킴으로써 순수한 table-driven 방식의 과다한 자원 소모를 줄일 수 있다.

앞에서 기술한 바와 같이 순수한 table-driven 방식은 무선 자원이 제한적인 ad-hoc 환경에는 적합하지 않으며, demand-driven 방식은 실시간 전송에 문제점을 가지고 있다. 또한, 이 두 가지 프로토콜의 단점을 보완하기 위한 방안으로서 두 프로토콜을 접목시킨 ZRP와 같은 hybrid 방식은 다양한 트래픽 속성을 고려하지 않고 있다. 향후 가정용/사무용 네트워크를 위한 이동 ad-hoc LAN 환경에 이러한 기존의 경로 설정 프로토콜을 그대로 적용할 경우, 다양한 데이터 트래픽의 속성에 맞는 차별화된 서비스를 제공할 수 없을 것이다. 특히, 이러한 차세대 LAN 환경에서 필수적으로 지원해야 할 멀티미디어 서비스 지원에 있어서 어려움이 많을 것으로 예상된다. 그러므로 기존의 경로 설정 프로토콜을 적용함에 있어서 멀티미디어 서비스를 위한 다양한 트래픽 속성에 적응적으로 대처할 수 있는 새로운 방안이 마련되어야 한다.

### III. 트래픽 속성을 고려한 클러스터링 방안

ad-hoc 망에서 다양한 종류의 데이터 서비스를 지원하기 위해서 데이터의 다양한 트래픽 속성을 고려하여야만 한다. 앞에서 살펴본 바와 같이 기존의 경로 설정 프로토콜들은 멀티미디어 서비스 데이터의 다양한 트래픽 속성이 고려되지 않은 획일적인 시스템이다. 그러므로 경로 설정시, 트래픽 종류에 따라 각 트래픽의 속성을 고려하여 전송 전력을 다르게 할당함으로써 경로 설정 프로토콜의 효율성을 높일 수 있다. 트래픽 속성을 실시간 및 비실시간 트래픽의 두 가지로 나누어 각각에 대해서 제안한 클러스터링 방안에 대해 자세히 기술한다.

#### 1. 트래픽 속성을 고려한 클러스터링 방안

##### 1.1 실시간 트래픽

음성 트래픽 또는 긴급 데이터 트래픽의 경우, 무엇보다도 실시간 전송이 중요하다. 즉, 지연에 매우 민감하므로 경로 설정 지연을 줄이는 것이 가장 중요하다. 이러한 실시간 전송을 지원하기 위해 보다 큰 전송 전력을 사용하여 클러스터링을 수행한다. 다시 말해 각 단말들이 자신과 직접적으로 통신할 수 있는 단말의 숫자를 증가시키는 것이다. 이는 각 단말의 이웃 단말이 늘어남을 의미하며 클러스터의 크기가 커지게 된다. 이로 인해 경로 설정시 걸리는 홉수를 줄일 수 있고 홉수를 줄임으로써 경로 설정 지연 감소가 가능하다. 우선 경로 설정 요구를 생성한 시작 단말은 자신의 커버리지 영역에서 목적 단말을 탐색한다. 목적 단말을 찾지 못하는 경우 자신의 영역에 있는 단말들 중에서 가장 먼 거리에 위치하는 단말들을 선택하여 자신의 경로 설정 요구 패킷을 넘겨준다. 이렇게 선택된 단말들은 각각의 자신의 영역 안에서 최종 목적 단말을 찾을 때까지 같은 과정을 반복 수행하게 된다. 물론 이전 단말의 커버리지 영역과 현재의 커버리지 영역이 겹치는 부분은 중복되는 영역이므로 탐색과정에서 제외된다. 결국, 최종적으로 시작 단말에서 목적 단말까지 여러 개의 경로를 찾을 수 있으며, 탐색된 여러 가지 경로 중에서 홉수가 가장 작은 경로를 선택함으로써 최적화된 경로를 확정할 수 있다. 이와 같은 방법으로 경로의 홉수를 줄임으로써 평균 경로 설정 지연을 줄일 수 있게 된다.

##### 1.2 비실시간 트래픽

비실시간 데이터 트래픽의 경우, 상대적으로 지연에 둔감하므로 보다 작은 전력 세기로 신호를 송신함으로써 보다 작은 영역에 대해 클러스터링을 수행하게 된다. 작은 전력으로 데이터를 전송할 경우 이웃 단말의 수가 줄기 때문에 그만큼 여러 홉을 거쳐야만 한다. 비실시간 트래픽의 경우, 실시간 트래픽과는 달리 홉수에 제한이 없으므로 정보 전송의 최소한의 안정성을 보장하는 범위 안에서 전력을 줄여줌으로써 ad-hoc 환경의 제한적인 자원 문제를 해결한다.

#### 2. 동작 시나리오

새롭게 제안한 다양한 트래픽의 속성을 고려한 클러스터링 방안의 동작은 다음과 같다.

2.1 경로 설정 요구 메시지 입력

단말에 새로운 메시지가 들어오면, 우선 경로 설정 요구인지 응답인지를 판단한다. 경로 설정 요구 메시지인 경우 먼저 자신이 최종 목적 단말인지를 살핀 후, 현재의 단말이 목적 단말이면, 메시지에 담긴 경로 정보를 저장하고, 저장된 정보 중 최적의 경로를 선택한다. 이 때, 선택된 최적 경로 정보는 응답 메시지에 실려 시작 단말로 보내지게 되며 이를 위해서는 최적 경로 정보의 역순으로 응답 메시지를 전송한다. 한편, 자신이 최종 목적 단말이 아닌 경우, 다른 단말에게 경로 설정 요구 정보를 넘겨주어야 한다. 먼저, 현재 들어온 경로 설정 요구가 실시간 트래픽인지 아닌지를 판단한 후, 만약 실시간 트래픽이면, 큰 전력으로 클러스터링을 수행하여 클러스터 영역을 넓힌다. 반면, 비실시간 트래픽의 경우에는 작은 전력으로 전송함으로써 클러스터 영역을 좁힌다. 이와 같이 클러스터 영역을 확장한 후, 확장된 클러스터 영역 내에서 목적 단말의 존재 여부를 확인한 후, 목적 단말이 있는 경우에는 목적 단말에게 경로 정보를 넘겨 주고 목적 단말이 없는 경우에는 자신의 클러스터 영역 최외곽에 위치하는 단말들에게 경로 설정 요구 메시지를 넘겨준다.

2.2 경로 설정 응답 메시지 입력

단말에 들어온 메시지가 경로 설정 응답 메시지인 경우에는 우선 메시지 내에 있는 시작 단말 정보와 비교하여 현재 단말이 시작 단말인지를 살펴본다. 만약 자신이 시작 단말인 경우에는 경로 설정이 완료된 것으로서 메시지 내의 경로 정보에 따라 통화가 시작된다. 반면, 시작 단말이 아닌 경우에는 메시지 내의 경로 정보의 역순으로 응답 메시지를 넘겨준다.

이상에서 설명한 내용을 그림 1에 도시하였다.

2.3 동작 예

그림 2는 다양한 트래픽 속성을 고려한 클러스터링 방안을 ad-hoc 망에서의 경로 설정에 적용한 경우의 한 가지 예를 보여준다. 실제로 연결된 경로는 실시간 트래픽에 대한 최적 경로(S-B-F-T)이며, 점선으로 연결된 경로는 비실시간 트래픽에 대한 최적 경로(S-A-C-D-E-G-T)를 나타낸다. 보는 바와 같이 실시간 전송의 경우 전송 전력을 크게 함으로써 홉수를 줄일 수 있다. 물론 시작 단말에서 목적 단말까지 여러 개의 다양한 경로가 존재하므로 그림에서 표시된 경로와는 다른 최적 경로를 찾는 것

도 가능하다.

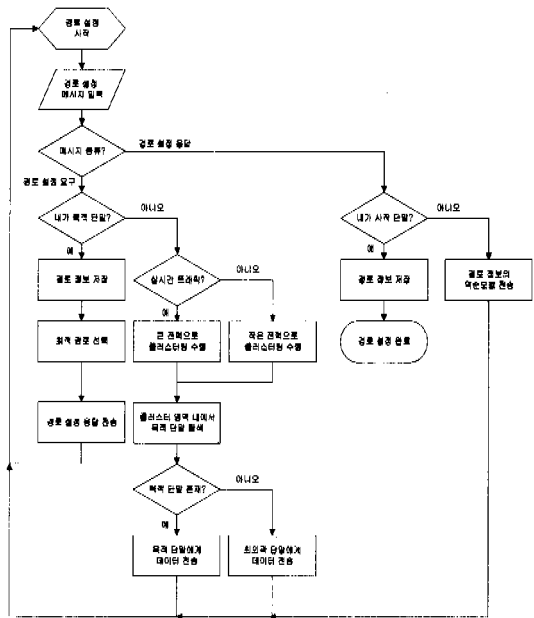


그림 1. 제안한 클러스터링 방안의 흐름도

IV. 제안 방안의 성능 분석 및 고찰

본 장에서는 수학적 분석 및 시뮬레이션을 통해 제안 방안의 성능을 분석한다.

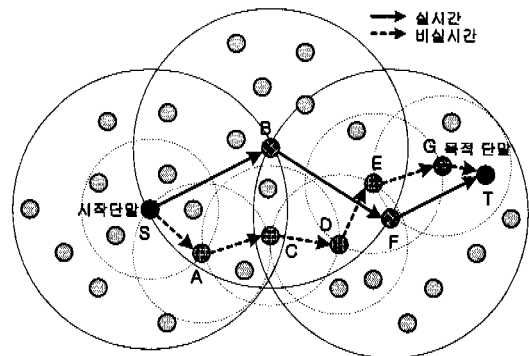


그림 2. 제안한 클러스터링 방안을 적용한 경로설정 예

1. 수학적 분석

제안한 방안의 성능을 분석하기 위해서 우선 이동 ad-hoc 망의 각 영역을 집합으로 표현하여 확률을 계산하는 원론적인 접근 방법을 택하였다<sup>[16]</sup>. 본 성능 분석의 최종 목표는 제안한 클러스터링 방안을 적용하였을 때의 호 블로킹 확률(call blocking

probability) 및 경로 재설정 비율(call re-routing rate)을 도출하는 것이다. 이를 위해서 우선 평균 흡수 및 현재 통신 중인 하나의 흡이 단절될 확률을 도출하여야 한다. 여기에서는 평균 흡수를 구하는 방법에 대해서만 간단히 논하기로 한다.

단말의 수가  $M$ 개일 때,  $k$ 흡 만에 시작 단말과 목적단말 사이의 호가 설정될 확률을  $P_k^{(M)}$ 라고 하면, 전체 평균 흡수는 다음과 같다.

$$\bar{k} = \sum_{k=0}^M k \cdot P_k^{(M)} \quad (4-1)$$

정사각형 모양의 영역  $A$ 안에  $M$ 개의 단말이 단일 분포를 가지고 분포되고, 모든 단말의 커버리지 반지름을  $R$ 이라고 가정한다. 시작 단말과 목적 단말의 거리  $d(s, t)$ 가  $D$ 보다 작을 확률은 다음과 같이 표시된다.

$$p(d(s, t) < D) = \frac{\pi D^2}{A} \quad (4-2)$$

즉,  $d(s, t)$ 가  $D$ 와  $D + dD$ 사이에서 존재할 확률은

$$\begin{aligned} p(D < d(s, t) < D + dD) &= \frac{\pi D^2}{A} - \frac{\pi(D + dD)^2}{A} \\ &= \frac{2\pi}{A} D \cdot dD \end{aligned} \quad (4-3)$$

이 되고, 첫번째 흡에서 경로가 설정될 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_1^{(M)} &= \int_A P_1^{(M)(D)} \frac{2\pi}{A} D \cdot dD \\ &= \int_0^r \frac{2\pi}{A} D \cdot dD = \frac{\pi r^2}{A} \end{aligned} \quad (4-4)$$

여기에서  $r$ 은 정사각형 영역에 의해 제한되는 반지름  $R$ 의 영역을 계산한 후에 이로부터 역산해낸 effective coverage 반지름이다.

다음으로  $M$ 개의 단말이 있는 경우 두 흡 만에 경로 설정에 성공할 확률  $P_2^{(M)}$ 은 적어도 하나의 단말이 시작 단말과 목적 단말의 커버리지 영역이 겹치는 영역에 존재할 확률의 평균값이다. 마찬가지로  $d(s, t) = D$ 일때, 시작 단말과 목적 단말의 커버리지 영역이 서로 겹치는 영역을  $I(D)$ 라고 하면,

$$\begin{aligned} P_2^{(M)} &= \int_A P_2^{(M)}(D) \frac{2\pi}{A} D \cdot dD \\ &= \int_r^{2r} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{I(D)}{A} \right)^M \right\} \frac{2\pi}{A} D \cdot dD \end{aligned} \quad (4-5)$$

가 되며, 이 값은 closed form으로 구하기 어렵다. 그러므로 근사적으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_2^{(M)*} = \left( 1 - \frac{2\pi}{A} \right) \times \left[ 1 - \left( 1 - \left\{ \frac{1}{A} \int_r^{2r} I(D) \frac{2\pi}{A} D \cdot dD \right\}^M \right) \right] \quad (4-6)$$

여기에서,

$$\begin{aligned} I(D) &= 4 \left( -\frac{1}{2\pi} \arccos\left(\frac{D}{2r}\right) \pi r^2 - \right. \\ &\quad \left. \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{2} \sqrt{r^2 - \frac{D^2}{4}} \right) \end{aligned} \quad (4-7)$$

이므로

$$\int_r^{2r} I(D) \frac{2\pi}{A} D \cdot dD = \frac{4.081}{A} r^4 \quad (4-8)$$

가 되어 식(4-8)을 식(4-6)에 대입함으로써  $P_2^{(M)}$ 을 구할 수 있다. 이와 같이  $k=1, 2, 3, \dots$ 일 때, 각각의 경로 설정 확률을 구한 후 식(4-1)에 대입하여 전체 평균 흡수를 구할 수 있다.

## 2. 시뮬레이션

### 2.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안한 클러스터링 방안의 성능을 분석하기 위해 이벤트 구동 방식의 시뮬레이션 패키지인 OPNET을 사용하였다. 우선 시뮬레이션에서 구축한 네트워크 모델은 30 [m] × 30 [m]의 정방형 영역에 단말을 배치하였으며 이 때, 초기 위치는 단일 분포로부터 임의 추출된다. 호 발생 회수는 시간당 평균 5회이며 발생된 호의 지속 시간은 평균 3분으로서 지수분포를 가진다. 각 단말의 이동 속도  $v$ 는 0 [m/s]과 1 [m/s]사이에서 단일 분포로부터 임의로 추출되며, 이동 방향을 나타내는 방향각( $\theta$ ) 역시 0과  $2\pi$ 의 범위 안에서 임의 추출된다. 한편, 단말이 시뮬레이션 영역의 모서리에 도달한 경우에는 그대로 반사되어 되돌아간다고 가정한다. 즉, 가로방향의 모서리에서는  $-\theta$ , 세로방향 모서리에서는  $\pi - \theta$ 로 방향각을 설정해준다. 이 때, 물리적 충돌에 의한 속도의 크기 변화는 없다고 가정한다(완전 탄성 충돌). 자세한 시뮬레이션 네트워크 모델은 그림 3에 나타내었다. 이러한 시뮬레이션 환경은 학술 대회나 강연회와 같은 곳에서의 임시망이나 가정용/사무용 소규모 네트워크 구성을 위한 이동

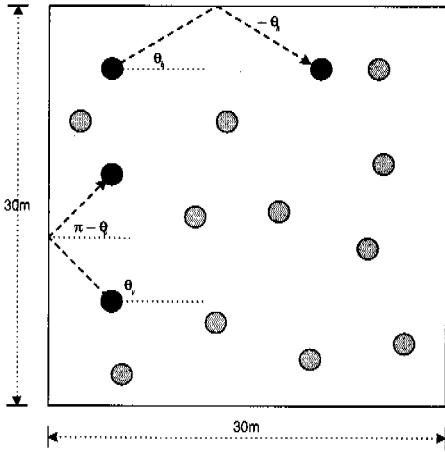


그림 3. 시뮬레이션 네트워크 모델

ad-hoc LAN 환경을 고려하여 구성하였다.

한편, 제안한 방안의 시뮬레이션을 위한 가정은 다음과 같다.

- Ⓢ 네트워크 토폴로지는 경로 설정 과정이 진행되는 동안에는 변하지 않는다.
- Ⓢ MAC (Medium Access Control) 계층에서의 채널 충돌은 없다.
- Ⓢ 패킷 전송시  $d_T$  이내에서는 손실 없이 수신되며,  $d_T$ 를 넘어서는 영역에서는 완전 손실된다. ( $d_T$ 는 각 단말에서의 커버리지 영역 반지름)

여기서 MAC 계층 채널 충돌을 없는 것으로 가정한 이유는 특정한 MAC CA(collision avoidance) 방안에 의해 경로 설정 지연의 특성이 영향을 받는 것을 방지하기 위함이다.

2.2 시뮬레이션 파라미터

본 논문에서 제안한 클러스터링 방안의 성능을 분석하기 위해서 호가 설정되기 위해 거쳐야 하는 흡수의 평균과 호 설정에 실패할 확률인 호 블로킹 확률 및 통화 도중 경로가 재설정되는 비율인 경로 재설정 비율을 분석한다. 또한, 실시간 최대 전송 거리 및 비실시간 최대 전송 거리의 비( $d_R/d_N$ )의 영향을 보기 위해  $d_R/d_N$ 을 다르게 적용하여 각각의 성능을 비교 분석하였다. 구체적인 시뮬레이션 파라미터 값은 표 1과 같다.

제안 방안의 성능을 살펴보기 위해 채택한 성능 지표는 호 설정시 평균 흡수, 호 블로킹 확률, 경로 재설정 비율 등이다. 실시간 트래픽과 비실시간 트

표 1. 시뮬레이션 파라미터

파라미터(기호)		값
시뮬레이션 영역 (A)		30 [m] × 30 [m]
시뮬레이션 시간 (T)		86400 [sec]
평균 호 발생 회수		5 [회/hr]
평균 호 지속 시간		3 [min]
단말의 수 (N)		30
단말의 속도 (v)		0 - 1 [m/sec]
단말의 이동 각도 ( $\theta$ )		0 - $2\pi$ [rad]
최대 전송 거리 비 ( $d_R / d_N$ )		1.0 1.1 1.2 1.3
최대 흡수	실시간 ( $n_{R,max}$ )	4
	비실시간 ( $n_{N,max}$ )	제한 없음

래픽의 특성을 고려하여 궁극적으로 비실시간 트래픽의 기본 요구사항을 만족시키면서 실시간 트래픽의 경로 설정 지연을 줄이는 것이 목표이므로 평균 흡수를 측정하여, 이 값을 통해 간접적으로 경로 설정 지연을 비교할 수 있다. 아울러 평균 흡수가 작은 값을 가질수록 통화 도중 호가 단절될 확률인 호 드로핑율이 낮아지므로 궁극적으로 흡수를 줄이는 것이 중요하다. 그러나 흡수를 줄이기 위해서는 전력의 소모가 항상 수반되기 때문에 허용 범위 안에서 효율적으로 수행되어야 한다. 한편, 전력 재분배가 네트워크 시스템 성능에 미치는 영향은 호 블로킹 확률 및 경로 재설정 비율을 통해 비교해 본다. 호 블로킹 확률은 망 성능을 결정짓는 중요한 지표로서 새롭게 제안한 방안을 적용했을 경우 호 블로킹 확률에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 점검이 꼭 필요하다. 또한, 경로 재설정 비율은 ad-hoc 망과 같이 동적인 환경에서 끊임없이 변화하는 네트워크 토폴로지에 얼마나 효율적으로 대처할 수 있는지에 대한 능력을 나타내는 성능 지표이다.

제안한 방안과 기존의 시스템과의 공평한 비교를 위해 각 단말에서의 단위시간당 소모하는 전력량에 대하여 위의 세 가지 항목의 성능 지표들을 비교 분석하였다. 한편, 각 단말의 단위시간당 소모 전력을 얻기 위해 무선 전송구간의 거리( $d$ )로부터 전력을 도출하였으며 이를 위해 무선 구간에서의 경로 손실(path-loss)을 설명하기 위한 가장 단순화된 형태인 two-wave 모델을 사용하였다<sup>[15]</sup>. 전체 시스템 평균 송신전력을  $P_0$ 라 할 때, two-wave 모델로부터  $P_0 \propto d^4$ 의 관계를 이끌어낼 수 있으며, 이 관계식에 전체 모든 실시간 호의 흡수의 평균( $n_R$ ) 및

비실시간 호의 흡수의 평균( $n_N$ )과 시뮬레이션시 사용한 실시간 최대 전송 거리( $d_R$ ) 및 비실시간 최대 전송 거리( $d_N$ )을 대입하여 각 단말의 단위시간당 평균 소모 전력을 계산할 수 있다. 즉, 각 단말의 단위시간당 평균 소모 전력은 다음과 같다<sup>[15]</sup>.

$$\begin{aligned} \bar{P}_0 &= \frac{n_R a d_R^4 + n_N a d_N^4}{NT} \\ &= a \frac{n_R d_R^4 + n_N d_N^4}{NT} \end{aligned} \quad (4-9)$$

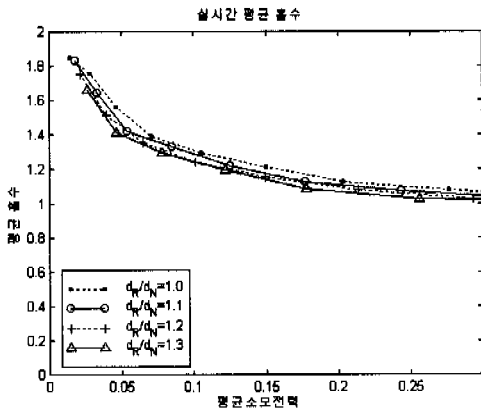


그림 4. 실시간 트래픽의 평균 흡수

여기서,  $N$ 은 시스템의 전체 단말 수이고,  $T$ 는 전체 시뮬레이션 시간이다. 이때,  $a$ 는 비례상수로서 1이라 가정하고 단말의 단위시간당 평균 소모 전력  $\bar{P}_0$ 를 구한 후, 이 값에 대해 각각의 성능을 비교 분석한다.

2.3 시뮬레이션 결과

최대 전송 거리 비  $d_R/d_N$ 이 1일 때가 기존의 획일적인 시스템에서의 성능을 나타내고,  $d_R/d_N$ 을 1.1, 1.2, 1.3으로 변화시키면서 각각의 성능을 도시 하였다. 우선 호 설정시 평균 흡수를 그림 4와 그림 5에 나타내었다. 평균 소모 전력이 증가할수록 전체 적으로 흡수는 감소하며, 실시간의 경우  $d_R/d_N$ 이 증가함에 따라 흡수가 감소하고 비실시간의 경우 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, 지연에 민감한 실시간 트래픽에 대해서 보다 빠르게 경로 설정을 해주기 위해 전력을 더 사용함으로써 흡수를 줄일 수 있었고, 대신 상대적으로 지연에 덜 민감한 비실시간 트래픽의 흡수는 증가한다. 한편, 기존의 방안의 경우 트래픽 종류에 상관없이 같은 값을 가진다. 또

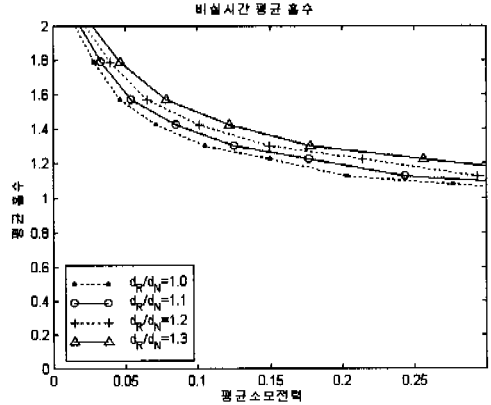


그림 5. 비실시간 트래픽의 평균 흡수

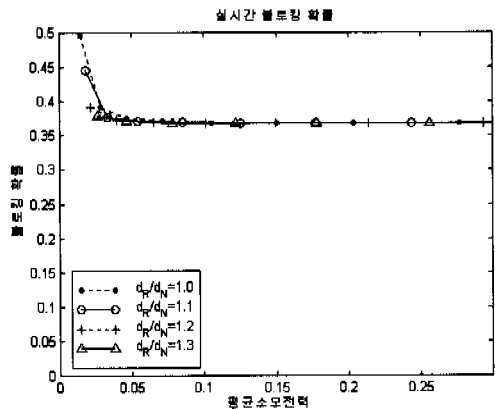


그림 6. 실시간 트래픽의 블로킹 확률

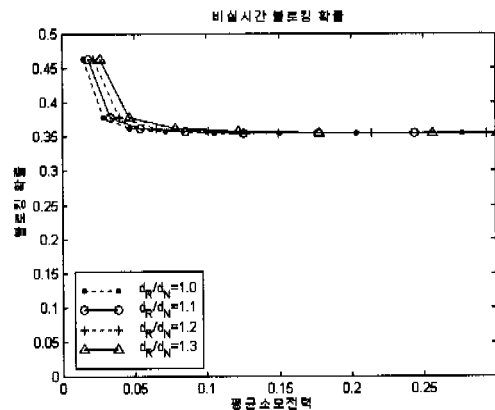


그림 7. 비실시간 트래픽의 블로킹 확률

한 그림 6과 그림 7은 각각 호 블로킹 확률을 보여 주고 있다.  $d_R/d_N$ 이 커질수록 작은 값이기는 하지만 실시간 트래픽의 경우는 제안 방안을 사용했을

경우 호 블로킹 확률이 낮아지고 비실시간 트래픽은 다소 높아진다. 이는 전송 전력을 실시간 트래픽에 보다 많이 할당하였기 때문에 나타난 결과이다. 비실시간 트래픽의 경우 제안 방안의 블로킹 확률이 약간 크지만 실시간 트래픽에서의 평균 흡수의 성능향상에 비해 블로킹 확률의 증가는 그렇게 심각한 수준은 아니므로 나쁘지 않다고 할 수 있다. 기존의 방안의 경우 평균 흡수의 경우와 마찬가지로 트래픽 종류와 관계없이 일정한 값을 가진다. 마지막으로 그림 8과 그림 9는 통화가 시작된 순간부터 통화가 완료될 때까지 얼마나 많은 호의 경로가 바뀌는지를 나타낸 그림이다. 블로킹 확률의 경우와 마찬가지로, 작은 값이기는 하지만 제안 방안의 경우 실시간 트래픽에 대해서는 경로 재설정 비율이 높아지고 비실시간 트래픽은 다소 감소하는 경향을 살펴볼 수 있다. 이는 블로킹 확률에서 설명한 바와 같이 실시간 트래픽에 대해 더 많은 전력을 할당하였기 때문이다. 경로 재설정 비율이 크다는 것은 그만큼 네트워크 토폴로지 변화에 대처하여 새롭게 경로를 찾는 빈도가 많아지는 것을 의미한다. 다시 말해, 경로 재설정 비율이 작으면 그만큼 통화 도중 호가 단절되는 호 드로핑율이 커지는 것으로 생각할 수 있다. 한편, 기존의 방안을 적용한 경우에는 트래픽의 종류와 관계없이 경로 재설정 비율 값 역시 거의 일정한 값을 가진다.

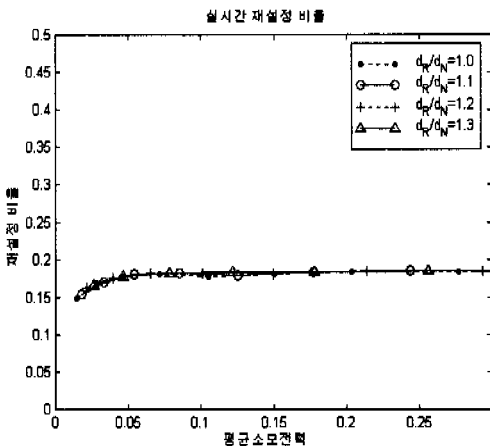


그림 8. 실시간 트래픽의 경로 재설정 비율

이상의 결과를 정리하면, 기존 방안( $d_R/d_N=1.0$ )의 경우, 평균 흡수, 블로킹 확률, 경로 재설정 비율 등 전 부문에 걸쳐서 실시간과 비실시간이 같은 값을 가지는 것을 알 수 있으며, 실시간 트래픽에 더

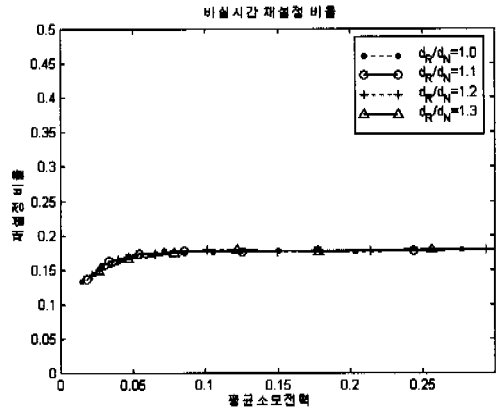


그림 9. 비실시간 트래픽의 경로 재설정 비율

많은 전력을 할당했을 경우, 실시간 트래픽의 흡수 및 블로킹 확률은 감소하고 재설정 비율은 높아지는 반면, 비실시간 트래픽은 흡수 및 블로킹 확률은 증가하고 재설정 비율은 감소한다. 흡수에 있어서는 확연하게 차이가 나는 반면 블로킹 확률 및 재설정 비율은 차이가 미미하며, 평균 소모전력이 커짐에 따라 같은 값으로 수렴한다. 블로킹 확률이 전력을 높여도 더 이상 줄어들지 않는 이유는 목적 단말까지의 경로를 찾았다고 하더라도 목적 단말이 통화 상태에 있을 경우 호가 블로킹되기 때문에 아무리 전력을 높여주어도 블로킹 확률이 어느 임계값 이하로 떨어질 수 없다. 이 임계값은 평균 호 발생 회수와 관계가 있다.

## V. 결론

이동 ad-hoc 망은 고정된 인프라가 없기 때문에 효율적인 망 관리를 위해서는 기존의 셀룰러 시스템과는 달리 보다 복잡하고 분산된 알고리즘이 필요하다. 그래서 이동 ad-hoc 환경에서의 경로 설정 알고리즘에 관한 많은 연구가 수행되어왔다. 그러나 차세대 이동통신 시스템에서 필수적이라 할 수 있는 멀티미디어 서비스 지원을 위한 고려가 부족한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 이동 ad-hoc 환경에서의 효율적인 멀티미디어 서비스 지원을 위해서 트래픽 속성에 따라 전송 전력을 달리 적용하는 새로운 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 음성 트래픽과 같은 실시간 트래픽의 경우 높은 송신 전력을 사용함으로써 평균 흡수를 줄이고 이로 인해 경로 설정에 걸리는 시간을 줄일 수 있었고, 이로 인해 호 블로킹 확률을 줄이고 경로 재설정 기회율을 높



일 수 있었다. 반면, 상대적으로 지연에 둔감한 웹 트래픽이나 단문전송서비스와 같은 데이터 트래픽의 경우, 송신 전력을 줄임으로써, 흡수가 늘어나게 되지만 이는 비실시간 트래픽의 특성상 큰 문제가 되지 않는다. 또한, 호 블로킹 확률이나 경로 재설정 비율 역시 약간의 성능 저하를 가져왔지만 작은 차이이므로 그리 심각한 수준은 아니다. 결국 기본적인 QoS를 해치지 않는 범위 내에서 효율적으로 전력을 분산함으로써 실시간 트래픽의 흡수를 줄일 수 있었고, 이를 통해 성능 향상을 꾀하였다.

제한한 방안은 실시간 트래픽 비율이 낮은 환경에서 실시간 트래픽에 전력을 많이 할당함으로써 성능 향상을 가져올 수 있지만 반대로 실시간 트래픽이 많은 경우에는 과도한 전력을 사용해야 하므로 적합하지 않다. 결국 실시간 트래픽의 점유율이 상대적으로 적은 시스템에서 더 큰 효과를 볼 수 있을 것이다. 즉, 이동 ad-hoc 환경의 주요 적용 대상이 될 가정용/사무용 LAN의 경우, 현재의 셀룰러 망과는 달리 실시간 음성 트래픽보다는 비실시간 데이터 트래픽의 비율이 상대적으로 높은 환경이다. 또한, 학술대회나 강연회와 같은 곳에 구축될 ad-hoc 망의 경우 역시 대부분 PDA 또는 노트북 컴퓨터와 같은 이동 컴퓨팅 시스템을 통한 데이터 전송이 주가 되므로 제한한 방안을 사용할 경우, 보다 좋은 성능을 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Zygmunt J. Hass and Siamak Tabrizi, "On Some Challenges and Design Choices in Ad-Hoc Communications, *Proc. of MILCOM 98*, vol.1, pp.187-192, October 1998

[2] Elizabeth M. Royer and Chai-Keong Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks", *IEEE Personal Communications*, vol.6, no.2, pp.46-55, April 1999

[3] Charles. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", *Computer Communications Review*, pp.234-244, October 1994

[4] J. Broch, D. B. Johnson and D. A. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile

Ad-Hoc Networks", *IETF Internet Draft*, December 1998

[5] Charles. E. Perkins and Elizabeth. M. Royer, "Ad-Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing", *IETF Internet Draft*, November 1998

[6] V. D. Park and M. S. Corson, "Temporally-Ordered Routing Algorithm(TORA) Version 1: Functional Specification", *IETF Internet Draft*, November 1997

[7] Zygmunt J. Hass and M. R. Pearlman, "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad-Hoc Networks", *IETF Internet Draft*, August 1998

[8] M. S. Corson and V. D. Park, "An Internet MANET Encapsulation Protocol(IMEP) Specification", *IETF Internet Draft*, November 1997

[9] P. Jacquet, P. Muhlethaler and A. Qayyum, "Optimized Link State Routing Protocol", *IETF Internet Draft*, November 1998

[10] R. Sivakumar, P. Sinha and V. Bharghavan, "Core Extraction Distributed Ad-Hoc Routing (CEDAR) Specification", *IETF Internet Draft*, October 1998

[11] A. Bommaiah, A. McAuley, M-K. Liu and R. Talpade, "AMRoute: Ad-Hoc Multicast Routing Protocol", *IETF Internet Draft*, August 1998

[12] M. Jiang, J. Li and Y. C. Tai, "Cluster Based Routing Protocol(CBRP) Functional Specification", *IETF Internet Draft*, August 1998

[13] Bevan Das and Vaduvur Bharghavan, "Routing in Ad-Hoc Networks Using Minimum Connected Dominating Sets", *Proc. of IEEE ICC'97*, vol.1, pp.376-380, July 1997

[14] Chai-Keong Toh, *Wireless ATM and Ad-Hoc Networks-Protocols and Architectures*, Kluwer Academic Publishers, 1997

[15] William C. Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications*, 2<sup>nd</sup> Ed., McGraw-Hill, 1995

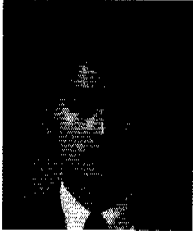
[16] F. Balazs, G. Jeney and L.Pap, "Capacity Expansion Capabilities in ODMA Systems", *Proc. of WPMC'99*, pp.207-213, September 1999

[17] Sander van Valkenburg, Asko Vilavaara and Ramjee Prasad, "The Implementation of a Mobile Ad-hoc Network Routing Protocol" ,

Proc. of WPMC 99, pp.324-330, September 1999

김 영 웅(Young-Woong Kim)

정회원



1998년 2월: 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과  
(공학사)  
2000년 2월: 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과  
(공학석사)

2000년 2월~2001년 1월: LG/IMT-2000 사업추진단  
2001년 2월~현재: LG전자 차세대단말연구소  
<주관심 분야> 이동 ad-hoc 망, GPRS packet network, UMTS 단말 소프트웨어

조 동 호(Dong-Ho Cho)

정회원



1979년 2월: 서울대학교  
전자공학과 (공학사)  
1981년 2월: 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과  
(공학석사)  
1985년 2월: 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과  
(공학박사)

1985년 3월~1987년 2월: 한국과학기술원 통신공학  
연구실 선임연구원  
1987년 3월~1989년 12월: 한국과학기술원 통신공  
학연구실 위촉연구원  
1987년 3월~1998년 1월: 경희대학교 전자계산공학  
과 조교수, 부교수, 교수  
1989년 9월~1995년 7월: 경희대학교 전자계산소  
소장  
1998년 2월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공  
학과 부교수  
<주관심 분야> 유무선 통신망, 유무선 멀티미디어  
통신 서비스, 유무선 통신 프로토콜