

# 암시적 클러스터기반 애드 혹 멀티캐스트 기법 성능 평가 및 분석

(Performance Evaluation and  
Analysis of Implicit Cluster-based  
Ad hoc Multicast Mechanism)

최영환<sup>†</sup>      박수창<sup>†</sup>  
(Younghwan Choi)    (Soochang Park)

이의신<sup>†</sup>      우부재<sup>†</sup>  
(Euisin Lee)      (Fucui Yu)

김상하<sup>\*\*</sup>  
(Sang-Ha Kim)

**요약** 무선 애드 혹(ad hoc) 망에서 제안된 응용계층 기반 멀티캐스트 선행 연구는 크게 계층적 구조와 비계층적 라우팅 구조를 갖는 멀티캐스팅 기법으로 분류된다. 이들 제안된 기법들은 애드 혹 노드들의 이동성 변화를 실시간으로 멀티캐스트 라우팅 경로 갱신을 위해 반영하지 못한다. 그러므로, 에너지, 전송률, 시간지연 등 여러 가지 성능 저하의 원인이 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해, 이미 앞선 연구를 통해 암시적 클러스터 기반 멀티캐스트 기법을 제안하였다. 본 논문은 그의 특성을 분석하고 선행 연구된 응용 계층 기반 프로토콜들과 실험을 통한 성능을 검증하고자 한다.

· 본 연구는 충남대학교 컴퓨터공학과 BK21 차세대정보기술SW인력양성 사업단 지원으로 수행하였습니다.

· 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 '암시적 클러스터기반 애드 혹 멀티캐스트 기법 성능 평가 및 분석'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 학생회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과  
yhchoi@cclab.cnu.ac.kr  
winter@cclab.cnu.ac.kr  
yufc@cclab.cnu.ac.kr  
eslee@cclab.cnu.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 충남대학교 전기전통신공학부 교수  
shkim@cnu.ac.kr

논문접수 : 2007년 12월 6일

심사완료 : 2008년 4월 5일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제5호(2008.7)

**키워드** : 애드 혹 멀티캐스트, 오버레이 멀티캐스트, 클러스터기반 기법, 성능 분석

**Abstract** Previous studies on overlay ad hoc multicasting are mainly divided into two categories: hierarchical structure-based multicast schemes and non-hierarchical structure-based multicast schemes. They do not reflect their real-time location information for routing updates. This can be a cause of low performance on energy consumption, throughput, and latency. For improving the problems, we propose an implicit cluster based overlay ad hoc multicast scheme with analysis of related work, and then we evaluate performance through computer simulation.

**Key words** : Mobile ad hoc multicast, Overlay multicast, Cluster-based schemes, Performance Evaluations

## 1. 서론

이동 애드혹 네트워크[1]에서 기존에 제안된 멀티캐스트 매커니즘들 중에는 수평적 네트워크 위상구조를 갖는 트리와 메쉬기반 기법들이 있다[2,3]. 그들은 네트워크 위상이 변할 때마다 멀티캐스팅 트리구조 혹은 메쉬구조를 갱신해야 한다. 그런 빈번한 갱신은 많은 제어메시지를 발생을 유도하기 때문에, 무선 대역폭을 낭비할 뿐만 아니라 이동노드의 제한적인 전력을 비효율적으로 소모시켜 네트워크의 수명을 단축시킨다.

오버레이 애드혹 멀티캐스팅[4-6]은 그런 단점을 보완하기 위해 응용계층의 가상 멀티캐스트 트리를 기반으로 유니캐스팅을 통해 멀티캐스트 데이터를 전달한다. 그러므로, 네트워크 위상 변화로 인해 트리를 재구성할 필요가 없다. 하지만, [4]에 고정된 오버레이 멀티캐스트 트리는 위상변화에 따라 물리적인 데이터전송 회수를 비효율적으로 증가시킬 수 있다. 예를 들어, 그림 1(a)에서 위상 변화 전에는 트리를 기반으로 S는 m1과 m2에게 4번의 전송회수를 갖지만, 그림 1(b)에서 위상 변화 후 같은 트리를 기반으로 증가된 6번의 전송회수를 갖는다. 만약, 그림 1(c)와 같이 오버레이 멀티캐스트 트리를 위상 변화에 따라 갱신하면, 전송회수는 줄어들지만, 제어메시지 교환으로 인해 [2,3]과 동일한 문제점들을 갖게 된다.

그 문제를 개선하기 위한 기법들 중, [5]는 위치정보를 인식하여 모든 멤버들이 소스에게 전달하고, 소스는 그 정보를 바탕으로 소스를 기준으로 가장 가까운 멤버들을 우선으로 오버레이 트리를 구성한다. 그 트리 정보는 데이터 패킷에 포함되어 유니캐스트 전송에 사용된다. 또한, [6]은 [7]을 통해 얻은 각 노드의 링크상태 정

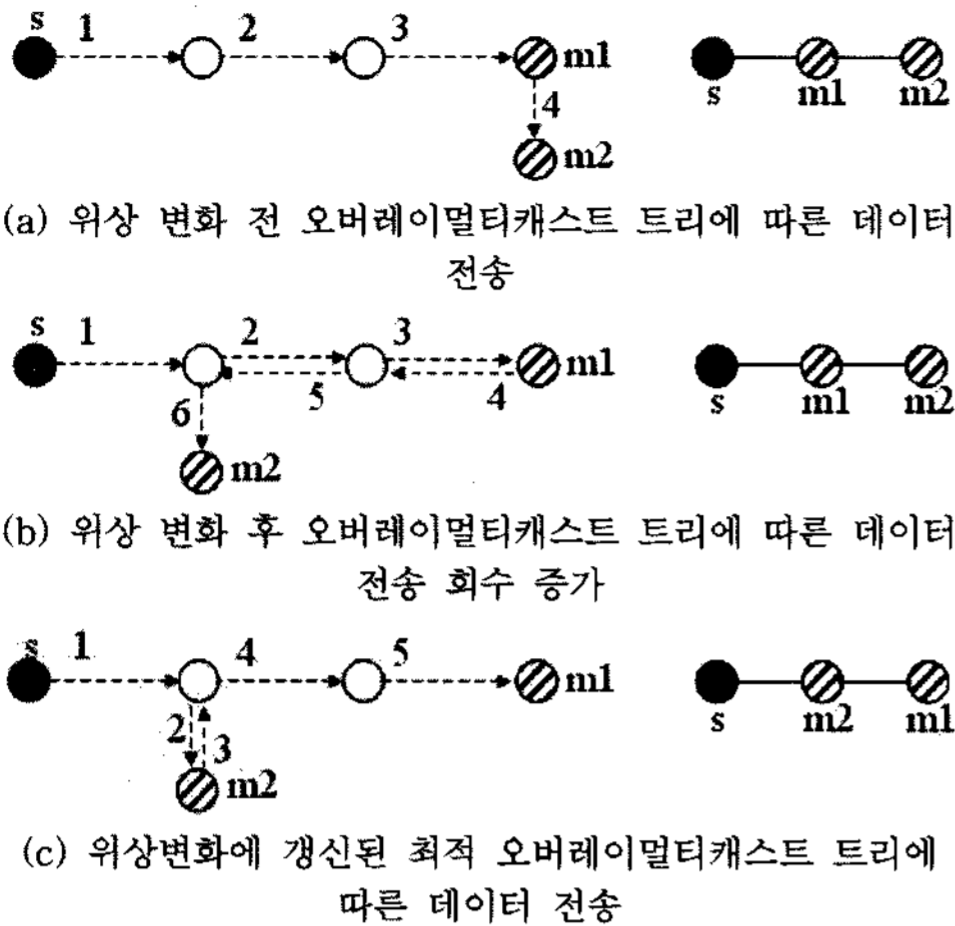


그림 1 오버레이 애드혹 멀티캐스트에서의 물리적 위상 변화에 따른 비효율적 전송회수 비교

보를 소스에게 전달하고, 소스는 링크상태 정보를 이용하여 오버레이 멀티캐스트 트리를 구성한다. 그 트리정보는 데이터 패킷에 포함되어 유니캐스트 전송에 사용된다. [5,6]은 모두 [8]의 데이터를 전송할 멤버의 트리 정보를 데이터 패킷에 포함하는 알고리즘을 사용하여 모든 멀티캐스트 노드간의 제어메시지 교환을 줄였다. 그리고, 모든 멀티캐스트 노드가 아닌 소스만이 오버레이 멀티캐스트 트리에 대한 상태정보를 데이터 패킷에 포함하여 전송함으로써, 모든 노드가 제어 메시지 교환 없이 위상변화에 대응할 수 있다. 그럼에도 불구하고 소스가 트리상태 정보를 인식할 수 있도록 멤버노드는 소스에게 최소한 위치에 대한 제어메시지를 전송해야 하는 단점을 갖는다.

하지만, [5,6]은 두 가지 단점을 갖는다. 첫째, 네트워크 확장성에 문제가 있다. 오버레이 멀티캐스트 트리 정보는 리스트 형태로 응용계층 헤더에 포함되기 때문에, 그 크기가 제한된다. 그런 제한은 소스가 데이터를 보낼 수 있는 노드 수의 제한을 의미하므로 네트워크의 크기가 제한된다. 즉, [5,6]은 네트워크의 크기가 크면, 모든 멤버노드들에게 데이터를 보낼 수 없다. 둘째, 소스는 전송반경 안에 있는 밀집된 노드들에게 브로드캐스팅과 같이 한번에 데이터를 보낼 수 있음에도 불구하고 유니캐스팅을 이용하기 때문에, 밀집된 노드의 수 만큼의 유니캐스트 전송이 발생한다(그림 2). 결국, 보다 많이 발생된 유니캐스팅은 무선자원을 낭비할 뿐 아니라, 노드의 전력을 비효율적으로 소비하게 한다.

본 논문은 앞서 제시한 확장성문제 및 무선자원과 에너지 소비에 대한 문제점을 개선하기 위해, 3장에서 트리 분할 기법을 통한 단일 홉 클러스터기반 오버레이

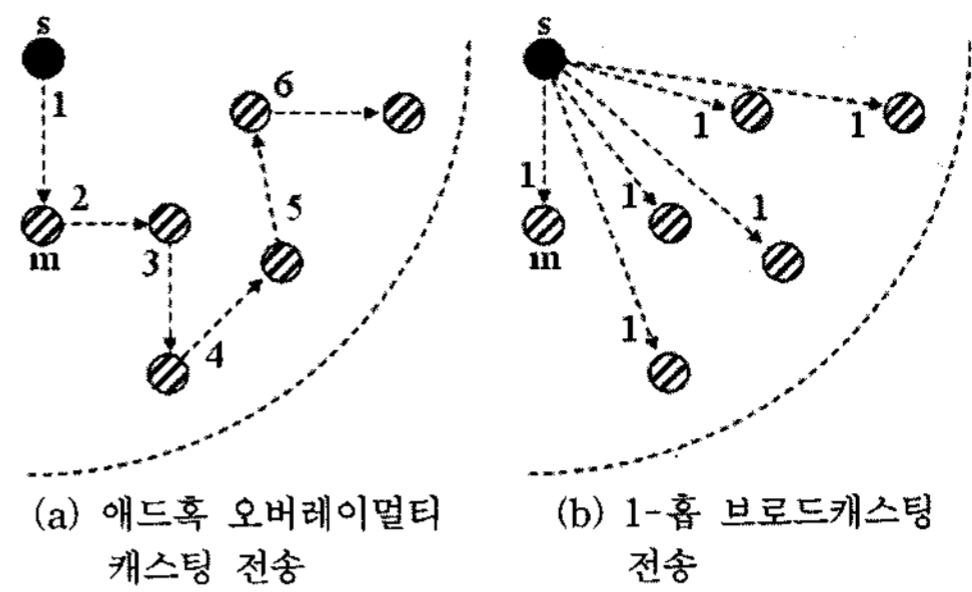


그림 2 전송반경 내에 오버레이멀티캐스팅과 브로드캐스팅 비효율적 전송회수 비교

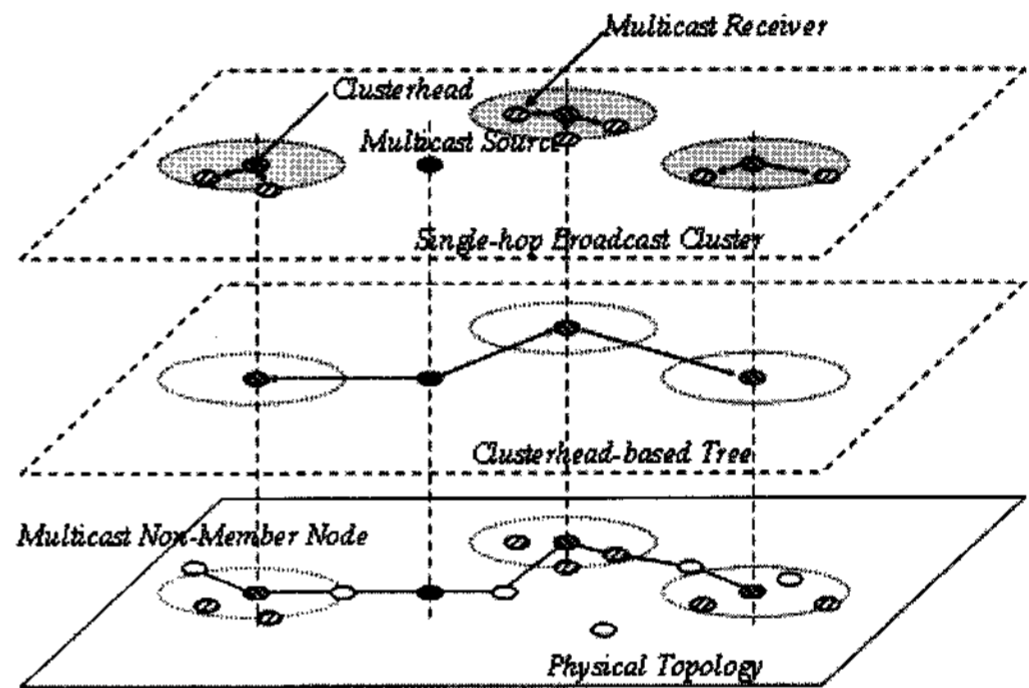


그림 3 단일 홉 클러스터기반 오버레이 멀티캐스트 네트워크 구조

멀티캐스팅 메커니즘을 제안한다.

## 2. 암시적 클러스터 기반 오버레이 멀티캐스트 기법의 개요 및 특징

본 논문은 본 연구에 앞서 선행 연구된 암시적 클러스터 기반 오버레이 멀티캐스트 기법[9]에 대한 요약 및 특징만을 기술한다. 보다 자세한 사항은 [9]을 참고한다.

제안된 메커니즘에서 네트워크를 구성하는 노드는 크게 두 가지로 나뉜다. 즉, 그들은 멀티캐스트에 참여하는 멤버노드와 참여하지 않는 노드들이다. 본 논문에서는 멀티캐스트에 참여하는 이동 노드 중에서 멀티캐스트 데이터를 송신하는 노드를 멀티캐스트 소스라고 하고, 멀티캐스트 데이터를 수신하는 노드를 멀티캐스트 리시버라고 부른다. 또한, 하나의 리시버를 기준으로 단일 홉 전송반경 내에 존재하는 리시버들을 멀티캐스트 이웃이라고 부른다.

모든 멀티캐스트 리시버들은 동적 위상 변화에 신속하게 대처하기 위한 수단으로 비콘 메시지를 주기적으로 방송한다. 그 비콘 메시지들은 리시버 자신의 위치정

보, 전송 반경 내에 위치한 멀티캐스트 이웃 노드들의 수, 그리고 가장 많은 이웃노드를 가진 리시버의 주소정보를 포함하여 방송된다.

그리고, 전송 반경 내에 주변 이웃 노드의 가장 큰 밀집도를 가진 리시버들이 클러스터를 구성하고, 대표 노드가 된다. 여기서 구성되는 단일 홉 클러스터를 브로드캐스트 클러스터(broadcast cluster)라고 부르고, 그 대표 노드를 클러스터헤드(clusterhead)[10]라고 부른다. 상대적으로 적은 이웃 노드 수를 가진 리시버들은 가장 많은 이웃 노드 수를 갖는 하나의 클러스터헤드로부터 브로드캐스트 데이터를 전송 받기 위해 준비한다. 각 클러스터에 중심에 존재하게 되는 클러스터헤드들은 클러스터 구성 후, 멀티캐스트 소스로 자신의 위치정보 및 오버레이 멀티캐스트 전송을 위한 주소 정보를 포함하여 “클러스터헤드 등록요청” 메시지를 보낸다. 멀티캐스트 소스는 그 요청 메시지를 받아 클러스터헤드 리스트에 위치정보 및 그들의 주소 정보를 기록하고, “클러스터헤드 등록확인” 메시지를 각 클러스터헤드들에게 보낸다. 그 등록확인 메시지를 받은 각 클러스터헤드들은 멀티캐스트 이웃 노드들에게 멀티캐스트 데이터 포워딩을 위해 준비한다.

이 과정을 통해 멀티캐스트 소스는 클러스터헤드 리스트를 그들의 위치정보를 기반으로 한 패킷에 담을 수 있는 단위로 클러스터헤드의 수를 고려하여 리스트를 재구성 한다. 그 재구성된 리스트들은 각각 다른 데이터 패킷을 통해 가장 가까운 순서대로 클러스터헤드들에게 유니캐스트로 전송된다. 데이터를 받은 클러스터헤드들은 자신의 클러스터내의 리시버들에게 이를 브로드캐스트 한다.

### 3. 성능분석

본 장은 암시적 클러스터 기반 멀티캐스트 기법과 선행 연구된 수평적 기반 멀티캐스트 기법인 LGT와 수직적 기반 멀티캐스트 기법인 NICE-MAN[11]을 비교 분석하고, 실험 결과를 토대로 해서 성능을 평가한다.

#### 3.1 실험 환경 및 성능 평가 요소

실험 도구는 QualNet ver.3.8[12]이 사용되었으며, 실험 환경 및 변수는 다음 표 1과 같다.

#### 3.2 프로토콜 비교분석

선행 연구된 네트워크 계층 기반 멀티캐스트 기법, 응용 계층 기반 수평적 멀티캐스트 기법, 그리고 응용 계층 기반 수직적 멀티캐스트 기법들의 특징을 멀티캐스트 라우팅 구조적 복잡도와 확장성을 기반으로 설명한다.

##### 3.2.1 멀티캐스트 라우팅 구조 복잡도

이동 애드 혹 망에서 선행 연구된 멀티캐스트 라우팅 기법들은 트리나 메쉬와 같은 멀티캐스트 라우팅 구조

표 1 실험 환경 및 변수

구분	값
네트워크 크기	1500m × 1000m
노드 개수	100 개
멀티캐스트 그룹 크기	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 그리고 100 개씩
노드 이동 속도	Uniform, [0, 20] m/s
전송 반경	Uniform, 250m
실험 시간	300 초
이동성 모델	Random way point

를 생성하고 그를 이용하여 데이터를 전달한다. 그러한 라우팅 구조는 복잡할수록 데이터 전송에 있어 성능저하를 일으킨다. 라우팅 구조 복잡도(R)는 다음 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$R = \frac{\#nodes\ participating\ in\ multicast\ routing\ structures}{\#multicast\ group\ members} \quad (1)$$

멀티캐스트 라우팅 구조를 형성하기 위해 참여하는 멤버의 개수가 많을수록 그의 복잡도는 높아진다. 식 (1)을 이용하여 네트워크 계층 기반 애드 혹 멀티캐스트 라우팅 구조( $R_N$ )은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{m}{m} = 1 \leq R_N \leq \frac{m+n}{m}, \quad (2)$$

for  $m \geq 1$  and  $n \geq 0$ ,

여기서,  $m$ 은 멀티캐스트 그룹 멤버 노드의 총 개수이고,  $n$ 은 멀티캐스트에 참여하지 않는 이동 노드의 개수이다. 네트워크 기반 애드 혹 멀티캐스팅[2-5]에서는 라우팅 구조를 생성할 때, 멀티캐스트 그룹에 속하지 않는 노드들도 라우팅 구조에 참여하기 때문에, 복잡도는 항상 1보다 크거나 같다( $R_N \geq 1$ ).

반면, 수평기반 응용계층 애드 혹 멀티캐스팅[6-8]에서 라우팅구조에 참여하는 노드들은 오직 멀티캐스트 멤버들뿐이기 때문에, 그의 라우팅 구조 복잡도( $R_A$ )는 다음 식 (3)과 같다.

$$R_A = \frac{m}{m} = 1, \quad \text{for } m \geq 1. \quad (3)$$

하지만, 제안된 수직기반 응용계층 애드 혹 멀티캐스팅에서는 클러스터 혹은 그룹 개념을 활용하여, 실제 멀티캐스트 라우팅 구조를 형성하는 노드가 그룹 혹은 클러스터 대표노드이다. 즉, 멀티캐스트 멤버가 무한 확장하더라도 대표노드에 의해서 구조가 형성되므로, 그의 복잡도( $R_C$ )는 다음 식 (4)와 같다.

$$R_C = \frac{r_{clusterhead}(m-1)+1}{m} \leq 1, \quad (4)$$

for  $m \geq 1$  and  $1 \geq r_{clusterhead} > 0$ .

여기서,  $r_{clusterhead}$ 는 멤버노드들 중에서 클러스터 혹은 그룹에 의해 대표노드의 비율이다. 그러므로, 멀티캐스트 소스를 제외한 나머지 멤버 중 그 비율에 해당하는

멤버만이 라우팅 구조에 참여한다. 즉, 그의 복잡도는 항상 1보다 작거나 같다( $R_C \leq 1$ ).

결론적으로, 세 가지 멀티캐스팅 기법들의 성능을 비교하면 다음과 같은 식 (5)가 성립된다.

$$R_C \leq R_A \leq R_N, \quad (5)$$

for  $n \geq 1$  and  $r_{clusterhead} \neq 1$ .

만약, 비 멤버 노드가 존재하지 않으며( $n=0$ ), 멀티캐스트 멤버의 개수와 대표노드의 개수가 동일( $r_{clusterhead}=1$ )하다면, 그들의 성능은 모두 동일하다( $R_N=R_A=R_C=1$ ).

### 3.2.2 클러스터 기반 애드 혹 멀티캐스트 네트워크 확장성

그림 4는 클러스터 기반 응용계층 애드 혹 멀티캐스트 기법에서 네트워크 확장에 따른 클러스터 개수의 변화량을 보여준다. 이는 다음 식 (6)(7)(8)과 같이 표현이 가능하다.

$$d_{member} = \frac{m}{x^3}, \text{ for } m > 1 \text{ and } x > 1, \quad (6)$$

$$d_{member} \propto \frac{1}{r_{clusterhead}}. \quad (7)$$

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \lim_{\Delta m \rightarrow 0} \frac{f(m + \Delta m) - f(m)}{\Delta m} = 0. \quad (8)$$

위의 식과 같이 한정된 공간( $x^3$ )에서 멤버의 개수가 무한 증가하더라도, 클러스터의 개수는 어느 정도 이상 무한히 증가하지 않는다. 즉, 무한히 네트워크가 확장되더라도 클러스터의 개수는 변하지 않기 때문에, 프로토콜의 성능은 안정될 가능성이 높다.

### 3.3 실험 및 결과 분석

본 논문은 시간지연, 패킷부하, 그리고 전송률을 애드 혹 노드들이 정적인 네트워크 및 동적인 네트워크로 나누어 측정하였다. 암시적 클러스터 기반 응용계층 멀티캐스팅(ICOM-TD)[13]의 성능 비교 대상은 수평기반 응용 계층 멀티캐스트 기법인, LGT[7]와 수직기반 응용 계층 멀티캐스트 기법인, NICE-MAN[9]이다.

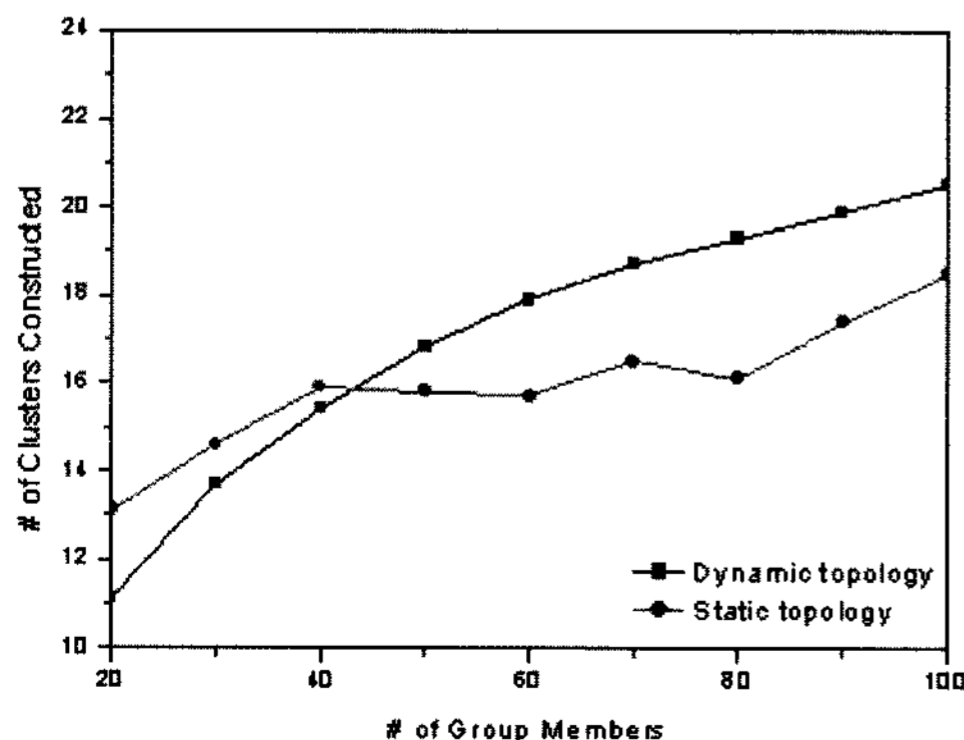


그림 4 클러스터 기반 애드혹 멀티캐스트 그룹 멤버수의 증가에 따른 클러스터의 개수 증가치

### 3.3.1 시간지연

그림 5(a, d)는 단대단 시간지연에 대한 실험 결과를 보여준다. LGT는 멀티캐스트 그룹의 크기가 증가함에 따라 단대단 지연시간이 NICE-MAN과 ICOM-TD에 있어서 비교적 급격히 증가한다. 이는 클러스터를 활용한 수직기반 기법은 멤버의 수가 증가하더라도 라우팅 구조의 변화가 적기 때문에 보다 멀티캐스트 데이터가 멤버들에게 전달되는 시간에 크게 영향을 주지 않는다. 그뿐 아니라, ICOM-TD는 그룹 멤버수가 60이상일 때 NICE-MAN 보다 안정적인 결과를 보여준다. 그림 5(d)에서 보듯이, 노드가 이동할 경우에는 정적인 경우에 비해 클러스터를 재구성하는 과정에 영향을 받기 때문에 지연시간이 정적 네트워크에 비해 증가한다.

### 3.3.2 패킷부하

그림 5(b, e)는 멀티캐스트 그룹의 크기 변화에 대한 발생하는 패킷의 양을 나타낸다. LGT가 NICE-MAN과 ICOM-TD에 비해 발생하는 패킷 양이 많은 것은 모든 멤버가 멀티캐스트 라우팅에 참여하기 때문이며, 반대로 NICE-MAN과 ICOM-TD가 비교적 발생하는 패킷의 양이 일정한 이유는 그룹의 크기가 증가하더라도 멀티캐스트 라우팅에 참여하는 멤버의 수의 변화는 적기 때문이다. ICOM-TD는 LGT에 비해 약 48.7%의 패킷량을 줄였으며, NICE-MAN보다는 14.1%의 패킷을 덜 발생시켰다. 동적인 네트워크에서는 라우팅 구조의 변화에 의해 보다 많은 패킷이 발생함을 그래프를 통해 확인할 수 있다.

### 3.3.3 전송률

유니캐스트 라우팅을 활용하는 응용기반 멀티캐스트는 비교적 높은 전송률을 나타낸다. 그림 5(c, f)에서 보듯이, 세 개의 프로토콜 모두 비슷한 전송률을 보이고 있으며, 평균 83% 이상의 전송률을 보인다.

클러스터를 기반으로 하는 ICOM-TD와 NICE-MAN은 클러스터를 생성하는 과정이 LGT보다 추가되므로 보다 많은 제어 메시지를 발생한다. 그뿐만 아니라 동적 네트워크에서는 이는 패킷 혼잡에 원인이 될 수 있기 때문에 전송률에 있어서 그림 5(e)에서 보여주는 바와 같이 다른 프로토콜에 비해 안정적이지 못하다. 이는 클러스터 생성 및 변경에 대한 보다 안정적인 기법을 통해 극복되어야 할 문제점 중 하나이다.

## 4. 결론

본 논문은 분석 및 실험 평가에 의해 이동 애드 혹 망에서의 멀티캐스트 기법 중 보다 효과적인 멀티캐스트 방안에 대해 분석한다. 애드 혹 멀티캐스트에서 가장 중요한 요소는 제한된 에너지를 공급받는 노드의 특성 및 그들의 이동성에 의한 성능에 주는 영향이다. 이러한



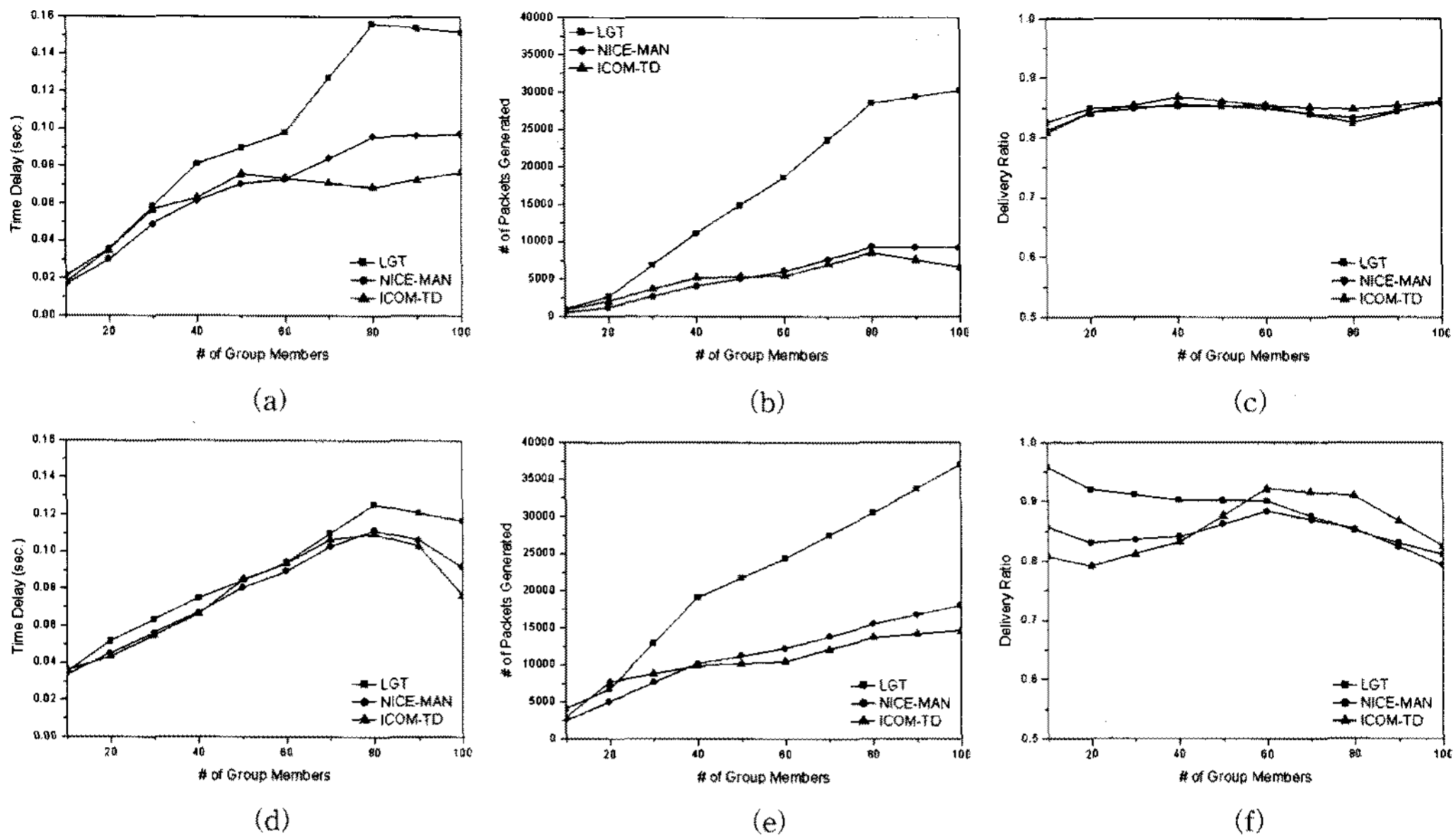


그림 5 실험결과 (a) 정적 네트워크에서의 단대단 시간지연, (b) 정적 네트워크에서의 패킷 부하, (c) 정적 네트워크에서의 전송률, (d) 동적 네트워크에서의 단대단 시간지연, (e) 동적 네트워크에서의 패킷 부하, (f) 동적 네트워크에서의 전송률

특성을 볼 때, 우리는 시간지연, 패킷 부하, 전송률 등 실험을 통해 보다 안정적인 방안으로 클러스터 기반 응용계층 애드 혹 멀티캐스트 기법임을 프로토콜 분석 및 실험 결과를 통해 확인할 수 있다. 하지만, 클러스터를 기반으로 한 기법에서는 클러스터를 생성하고, 변경하는 부하의 부담을 갖기 때문에 이를 최소화하기 위한 방법이 절실히 요구된다.

향후 연구에서는 클러스터 생성 및 변경에 있어 가지는 특성을 보다 면밀한 분석하여 보다 제어 메시지를 적게 발생하고 이동에 빨리 적응하여 클러스터를 구성하는 기법이 제시되어야 한다.

### 참 고 문 헌

[1] S. Corson and J. Macker, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," IETF RFC 2501, Jan. 1999.

[2] C.W. Wu and Y.C. Tay, "AMRIS: A Multicast Protocol for Ad hoc Wireless Networks," in Proceedings of IEEE MILCOM, Nov. 1999, pp. 25-29.

[3] E. M. Royer and C. E. Perkins, "Multicast Ad hoc On-demand Distance Vector Routing (MAODV)," IETF Internet-draft, Work in progress, Jul. 2000.

[4] S.J. Lee, M. Gerla, and C. Chiang, "On-Demand Multicast Routing Protocol," in Proceedings of IEEE WCNC, Sep. 1999, pp. 1298-1302.

[5] L. Ji and M. S. Corson, "Differential Destination Multicast - A MANET Multicast Routing Protocol for Small Groups," in Proceedings of IEEE INFOCOM, Apr. 2001, pp. 1192-1202.

[6] J. Xie, R. Talpade, A. Mcauley, and M. Liu, "AMRoute: Ad hoc Multicast Routing Protocol," in Proceedings of Mobile Networks and Applications, Vol.7, Dec. 2002, pp. 429-439.

[7] G. Chao and P. Mohapatra, "Efficient overlay multicast for mobile ad hoc networks," in Proceedings of IEEE WCNC, Mar. 2003, pp. 1118-1123.

[8] K. Chen and K. Nahrstedt, "Effective Location-Guided Tree Construction Algorithms for Small Group Multicast in MANET," in Proceedings of IEEE INFOCOM, Jun. 2002, pp. 1180-1189.

[9] Y. Choi, E. Lee, D. Lee, S. Park, F. Yu, and S.H. Kim, "An Implicit Cluster-based Overlay Multicast Protocol for Mobile Ad hoc Networks," IEEE WCNC2007, March 11 2007.

[10] J.Y. Yu and P.H.J. Chong, "A Survey of Clustering Schemes for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 7, 1st Qtr 2005, pp. 32-48.

[11] S. Blodt, "Efficient End System Multicast for Mobile Ad Hoc Networks," in Proceedings of IEEE PERCOMW, Mar. 2004, pp. 75-80.

[12] Scalable Network Technologies, QualNet, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>.