

# 불균일 분포 모바일 애드 혹 네트워크에서 집중되는 트래픽을 고려한 효율적인 클러스터 기반 라우팅 프로토콜

함 용 길<sup>†</sup> · 김 용 석<sup>\*\*</sup>

## 요 약

이동성이 활발한 모바일 애드 혹 네트워크에서는 노드들이 특정 지역들에 집중 분포되어 불균일한 네트워크가 형성될 가능성이 높다. 불균일하게 분포된 네트워크의 경우 밀집한 클러스터 사이에 존재하는 노드에 부하가 집중되는 현상이 발생하여 네트워크의 성능이 저하될 수 있다. 본 논문에서는 트래픽이 집중되는 모바일 노드들이 트래픽 부하에 따라 능동적으로 대처함으로써 손실되는 패킷을 줄이고 종단 간 전송 지연 시간을 향상 시키는 라우팅 알고리즘을 제안한다.

키워드 : 모바일 애드 혹 네트워크, 클러스터 기반 라우팅 프로토콜

## A Traffic-Aware Cluster Based Routing Protocol for Non-uniformly Distributed Mobile Ad Hoc Networks

Hamm Yong-gil<sup>†</sup> · Kim Yong-seok<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

Mobile nodes in high mobility ad hoc networks might come together in specific areas. In non-uniformly distributed networks, traffic load can be concentrated to intermediate nodes between dense clusters, and networks performance can be degraded. In this paper, we proposed a cluster based routing protocol that heavy traffic nodes adaptively react according to traffic load. The simulation result shows that the proposed protocol reduce packet loss and end-to-end delay.

Keywords : Mobile Ad Hoc Networks, Cluster Based Routing Procol, Traffic

## 1. 서 론

모바일 애드 혹 네트워크는 유선 통신망과 다르게 고정된 전송 시스템 없이 모든 객체(노드)가 라우터 역할을 동시에 수행하는 한편, 필요에 따라 자신의 역할을 선택하는 형태를 갖는다. 또한 불규칙적으로 자신의 위치를 변경할 수 있기 때문에 일반적인 유선 네트워크에 사용되는 라우팅 프로토콜을 그대로 사용하기에는 무리가 있다.

특히 이동성이 활발한 네트워크의 경우, 모바일 노드가 특정 지역으로 밀집되어 불균일하게 네트워크가 형성될 가능성이 높다. 불균일한 노드 분포를 가진 네트워크의 경우, 밀집된 노드 분포를 가진 네트워크 사이에 있는 클러스터

및 노드는 트래픽 부하 증가로 인해 패킷을 처리하지 못하고 버리게 되어 네트워크의 패킷 손실을 증가 및 그에 따른 전송 지연 시간이 증가할 가능성이 존재한다.

본 논문에서는 3장에서 불균일 분포 네트워크가 클러스터 기반 라우팅 프로토콜에 미치는 영향에 대해 시뮬레이션을 통해 확인하고, 4장에서 클러스터 헤더를 두어 다수의 노드를 관리하는 클러스터 기반 알고리즘에서 헬로우 패킷을 사용하여 추가적인 패킷 오버헤드 없이 불균일 분포 네트워크에서 특정 노드 및 클러스터에 발생하는 트래픽 부하에 능동적으로 대처할 수 있는 라우팅 알고리즘을 제안한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 AODV 및 DSR

모바일 애드 혹 네트워크서 모바일 노드 간 통신을 위해 제안된 요구 기반 라우팅 프로토콜 알고리즘으로는 AODV

<sup>†</sup> 준 회 원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학부 석사과정

<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

논문접수: 2010년 4월 27일

수정일: 1차 2010년 7월 5일

심사완료: 2010년 7월 22일

(Ad hoc On-demand Distance Vector)[1]와 DSR(Dynamic Source Routing)[7] 라우팅 기법 등이 있다.

AODV 라우팅 프로토콜은 요구 기반 프로토콜로서 모바일 애드 hoc 네트워크에서 사용되는 대표적인 프로토콜이다. 라우팅 테이블은 목적지 당 하나의 경로만을 유지하는 전통적인 방식을 사용하며, 새로운 목적지가 필요할 경우 경로 탐색 메시지를 플래딩하여 새로운 경로를 탐색한다. 모든 노드는 루프에 빠지는 것을 방지하기 위해 홉 카운트가 증가할 때마다 시퀀스 번호를 증가하여 늦게 도착하는 메시지는 무시하고 버린다. AODV는 모든 목적지들에 대한 라우팅 정보의 유지 시간을 개별적으로 관리한다. 따라서 일정 시간 동안 전송이 이루어지지 않을 경우 라우팅 테이블에서 해당 목적지에 대한 경로를 삭제하여 노드가 유지해야 할 정보의 양을 최소로 유지한다.

DSR 라우팅 프로토콜은 소스 라우팅 기법을 사용하는 프로토콜로서 소스에서 목적지까지 통과하는 모든 노드들의 리스트를 각 패킷의 헤더에 포함한다. 따라서 중간에 노드들은 라우팅 정보를 갱신하지 않아도 되는 장점을 갖는다. 소스 노드가 데이터를 전송해야 할 경우 소스 노드는 먼저 자신의 RC(Route Cache)를 확인하고, 만약 유효한 경로 정보가 없을 경우에는 RREQ(Route Request) 메시지를 플래딩한다. 메시지를 수신한 노드들은 RC에 유효한 경로가 있거나 목적지일 경우 RREP(Route Reply) 메시지를 소스 노드에 전송하고, 그렇지 않은 경우에는 메시지를 다시 플래딩하여 목적지까지의 경로를 탐색한다. 만약 모바일 노드가 네트워크 토폴로지의 변경과 같은 이유로 경로상의 다음 노드까지 패킷을 전송할 수 없게 되면 RERR(Route Error) 메시지를 소스노드에게 전송하여, 소스노드가 RC에 있는 다른 경로를 사용하거나 경로 탐색과정을 통해 새로운 경로를 탐색하도록 하여 새로운 경로를 설정한다.

2.2 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜

모바일 애드 hoc 네트워크에서의 모바일 노드는 각각 라우터로서의 독립적인 역할을 수행하며 최단 거리의 경로를 탐색하여 전송하는 것을 목표로 한다. 그러나 모바일 노드의 개수가 증가할수록 단위 노드가 부담해야 하는 정보가 많아지게 되어 원하는 정보를 전달하기 위해 많은 시간을 소비하게 된다. 따라서 이러한 특성을 지니는 네트워크를 관리하기 위해 클러스터 기반으로 노드를 관리하는 CBRP(Cluster Based Routing Protocol)[2]와 ECBRP(Efficient Cluster Based Routing Protocol)[3] 알고리즘이 제안되었다.

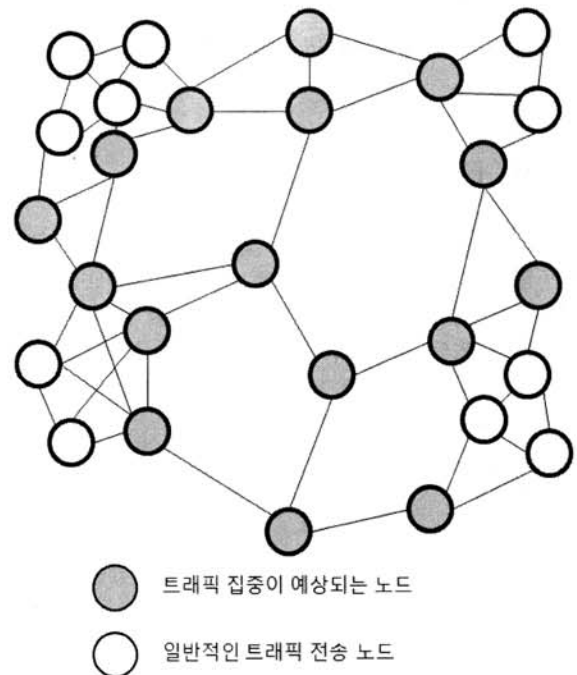
CBRP는 네트워크에 존재하는 노드들을 분포된 상태에 따라 중복되거나 분리된 클러스터 형태로 나누어 관리한다. 클러스터에는 클러스터 헤더가 존재하며 해당 클러스터에 속한 노드들의 정보들을 관리한다.[6] 클러스터 멤버는 새로운 경로를 탐색함에 있어 일차적으로 클러스터 헤더가 가진 클러스터 내부의 정보를 활용함으로써 일반적인 라우팅 프로토콜에서 필요한 경로 탐색 트래픽을 줄이고 탐색 속도를 향상시킬 수 있다. 다만 클러스터를 형성하고 유지하는 비

용이 들게 되며, 클러스터 헤더가 없을 경우 새로운 클러스터 형성에 따른 시간 지연에 의해 제 기능을 수행하지 못한다는 단점이 있다. 특히 모바일 애드 hoc 네트워크에서는 각각 노드가 빈번하게 이동할 수 있기 때문에 클러스터 형성이 성능 저하의 요소가 될 수 있다.[4]

ECBRP는 빈번한 노드의 이동이 생길 경우 CBRP에서 발생하는 잦은 클러스터 헤더의 변경에 의한 성능 저하를 개선하기위해 제안된 알고리즘이다. ECBRP는 기존의 CBRP에 클러스터에 속하지 못한 노드를 관리하는 CG(Cluster Guest) 노드 상태를 추가하였다. CG를 추가함으로써 얻는 이점으로는 (1) 특정 노드가 클러스터 헤더의 전송범위에서 벗어났을 경우 해당 노드는 CG 상태로 전환하고 링크 상태를 유지함으로써 새로운 클러스터를 형성하는 과정을 방지하며 (2) 클러스터 헤더가 다른 클러스터 헤더에 속한 클러스터 멤버를 발견할 경우 해당노드를 CG로 변경함으로써 노드가 여러 클러스터에 중복 되는 것을 방지할 수 있다.[5] ECBRP는 기본적으로 데이터 및 라우팅 패킷을 사용하여 새로운 테이블 정보를 업데이트 하는 방식을 제외하고는 CBRP와 같은 처리과정을 수행한다.

3. 불균일 분포 네트워크 라우팅 프로토콜

(그림 1)은 모바일 노드가 불균일하게 분포된 네트워크를 나타낸다. 불균일 분포 네트워크의 경우 클러스터 간 노드의 분포가 고르지 않아 밀집하게 분포된 네트워크 사이의 클러스터 및 노드에 트래픽이 편중되어 발생할 수 있다. 본



(그림 1) 불균일 분포 네트워크의 예

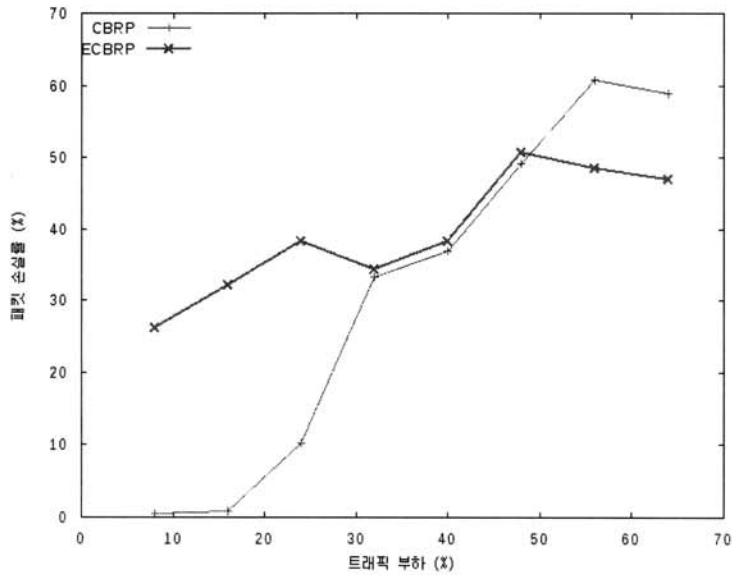
논문에서는 불균일 분포 네트워크가 패킷 손실률 및 전송 지연시간에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

(그림 2)는 네트워크의 분포가 (그림 1)과 같이 불균일할 때의 패킷 손실률에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 노드의 분포가 균일한 네트워크의 경우 이전의 실험[4]에서 ECBRP가 CBRP에 비해 더 나은 전송 시간과 패킷 손실률을 보였으나, 노드의 분포가 불균일할 네트워크에서는 CBRP 알고리즘에서 CG노드를 확장하여 관리하는 ECBRP 알고리즘은 (그림 2)와 같이 적은 트래픽 부하임에도 불구하고 CBRP 알고리즘에 비해 더 높은 패킷 손실률을 보인다.

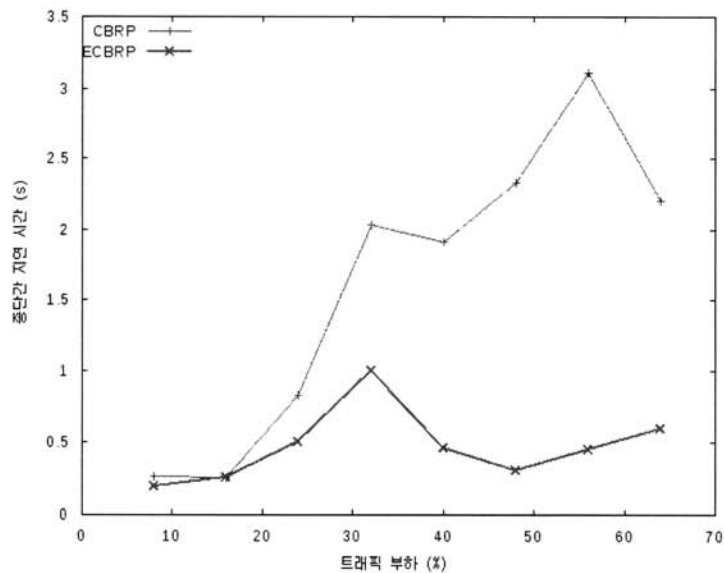
(그림 3)은 불균일하게 분포된 네트워크가 형성될 때의 패킷 전송 지연 시간에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

패킷 전송 지연 시간의 경우 기존의 비교 논문[4]의 실험 결과와 마찬가지로 불균일한 네트워크에서도 CBRP에 비해 더 나은 전송 지연 시간을 보장하는 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 밀집도 증가에 따라 발생하는 클러스터 간 중첩 노드를 ECBRP 알고리즘의 경우 CG 노드를 확장하여 관리함으로써 클러스터의 범위를 확장시키고 생성되는 전체 클러스터의 개수를 줄임으로써 더 빠른 시간에 경로를 탐색할 수 있기 때문에 나타난다. 하지만 지나치게 중첩된 노드들이 발생하고 이동성이 활발해질 경우 CG 노드 관리에 따른 패킷 부하가 발생할 수 있다.

불균일 분포 네트워크에서는 ECBRP가 CBRP에 비해 더 나은 전송 지연 시간을 보이는 반면 적은 트래픽 부하에서



(그림 2) 불균일 분포 네트워크에서의 패킷 손실률



(그림 3) 불균일 분포 네트워크에서의 전송 지연 시간

발생하는 패킷 손실률은 안정적인 패킷 전송을 하는데 부적합하다. 따라서 불균일 분포 네트워크에서 패킷 손실률을 줄이면서도 전송 지연 시간을 단축시키기 위해서는 모바일 노드가 트래픽을 감시하면서 특정 트래픽 이상일 경우 라우팅 알고리즘을 변경하는 방식을 사용하여야 한다. (그림 2)의 실험 결과를 보면 네트워크의 트래픽이 30% 미만일 경우에는 CBRP가 ECRBP에 비해 더 낮은 트래픽 손실률을 보이거나 30% 이후에서는 ECRBP가 CBRP와 비슷한 패킷 손실률을 보이면서도 더 나은 전송 속도를 보장하는 결과를 보인다. 그러므로 클러스터 헤더가 클러스터 내부의 트래픽 부하를 감시하면서 CBRP 알고리즘을 사용하다가 30% 이상의 트래픽이 발생하였을 경우에 라우팅 알고리즘을 ECRBP로 변경하면 적은 트래픽에서는 패킷 손실률을 줄이고 높은 트래픽에서는 전송 속도를 보장하는 성능 개선을 얻을 수 있다.

#### 4. 트래픽을 고려한 라우팅 프로토콜

본 논문에서 제안하는 TCBRP(Traffic-Aware CBRP)는 불균일 분포 네트워크에 대응하기 위해 트래픽 부하를 기준으로 라우팅 프로토콜을 변경하고, 노드가 자신의 현재 사용 트래픽을 감시하여 한계점에 도달하였을 경우 우회경로를 탐색하게 함으로써 패킷 손실률을 줄이고 충분한 전송 지연 시간을 보장할 수 있도록 한다.

TCBRP의 패킷 처리 알고리즘은 (그림 4)를 따른다. TCBRP의 각 노드는 자신의 현재 사용 트래픽을 항상 모니터링 한다. 모든 노드는 생성될 때 자신의 최대 트래픽 한계점과 최저 트래픽 한계점을 설정하고 FREE 상태로 선언한다. 단, 목적지가 해당 노드인 경우는 제외되며, 클러스터 헤더 및 클러스터 게이트웨이 상태에 있는 노드는 클러스터 간 원활한 데이터 전송을 위해 TCBRP 알고리즘을 적용하지 않는다. 따라서 일반 노드만이 TCBRP 알고리즘이 적용되어 BUSY 상태에 진입할 수 있다. 통신이 시작되고 특정 노드의 트래픽에 도달할 경우 해당 노드는 자신의 상태를 BUSY 상태로 전환하고, 헬로우 패킷을 사용하여 클러스터 헤더에게 BUSY 메시지를 전달한다.

BUSY 메시지를 받은 클러스터 헤더는 해당 노드에 대해 일시적으로 새로운 경로탐색에서 제외시킴으로써 추가적인 트래픽이 발생하지 않도록 한다. 따라서 새로운 경로탐색이 발생할 경우 클러스터 멤버들은 BUSY 노드를 제외한 새로운 우회 경로를 설정하여 데이터 전송을 한다. BUSY 상태의 노드는 자신의 현재 트래픽이 최저 트래픽 한계점에 도달하면 자신의 상태를 FREE 상태로 전환하고 헬로우 패킷을 사용하여 클러스터 헤더에게 FREE 메시지를 전달한다. FREE 메시지를 받은 클러스터 헤더는 일시적으로 라우팅 과정에서 제외되었던 해당 노드를 다시 라우팅 과정에 포함시킨다.

트래픽이 집중되는 노드의 패킷을 우회 경로를 통해 전송함으로써 얻을 수 있는 예상 효과는 혼잡 노드에 의한 패킷 손실률의 감소와 우회 경로 설정을 통한 전송 시간의 단축

```

When node N receives a packet
// If traffic load is under 0.3
// The basis protocol follows CBRP
// Otherwise, it follows ECRBP

IF ( traffic load of N is under least_bound ) THEN
    set N's status as FREE;

IF( ( node N is FREE and a cluster member )
    or node N is the destination
    or node N is a gateway ) THEN {
    IF ( packet type is RREQ
        and node N is the destination ) THEN {
        send RREP Packet to the source node;
        update own traffic load;
    } ELSE IF ( packet type is RREQ
        and node N is not the destination ) THEN {
        forward RREQ to the next node;
    } ELSE IF ( packet type is hello packet ) THEN {
        update neighbor tables;
    } ELSE IF ( node N is the destination ) THEN {
        process data packet;
        update own traffic load;
    } ELSE {
        forward data packet to next node;
        update own traffic load;
    } END IF

    IF ( traffic load of N exceeds upper_bound
        and N is cluster member ) THEN
        set N's status as BUSY;
} ELSE {
// node N is BUSY
ignore the packet;
}

```

(그림 4) 패킷 처리 알고리즘

이 있다.

불균일하게 분포된 네트워크의 경우 균일하게 분포된 네트워크에 비해 더 많은 노드를 관리하는 ECRBP의 클러스터 헤더들은 부담해야 하는 클러스터 정보가 증가하여 패킷 손실률이 증가할 수 있다. 따라서 네트워크의 트래픽을 감지하여 특정 트래픽을 기준으로 클러스터의 라우팅 프로토콜을 능동적으로 변경하여 패킷 손실률을 적절하게 제어할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 3장에서 시뮬레이션 결과에 따르면 불균일 분포 네트워크에서 네트워크 트래픽 부하가 30% 이하일 경우에는 CBRP가 ECRBP와 비슷한 전송 지연 시간을 보이거나 더 나은 패킷 손실률을 보장함을 알 수 있었다. 따라서 제안된 알고리즘을 적용하면서 더 나은 전송 지연 시간 및 패킷 손실률을 보장하기 위해 TCBRP가 라우팅 프로토콜을 변경하기 위한 기준 트래픽 부하를 이전 실험을 통해 얻은 30%로 설정하였다.

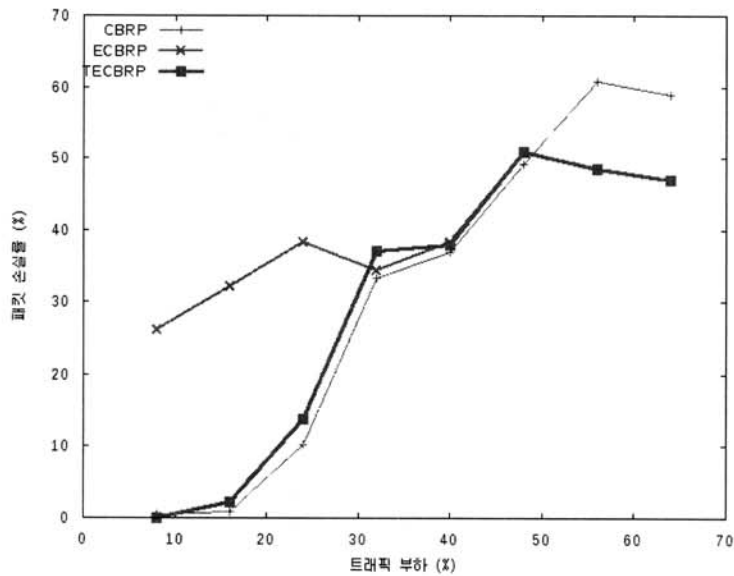
제안된 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 Network Simulator 2.34 버전을 사용하였다. 노드의 전송 속도는 기존 비교 실험 논문[4]의 알고리즘과 객관적인 비교를 하기 위해 2Mbps, 전송 반경은 250m로 설정하였다. 패킷은 패킷 당 512 바이트의 고정 크기를 갖고, 전송 주기는 각 시뮬레이션마다 파라미터로 전달하여 트래픽 모델을 생성한다. 시뮬레이션 공간 생성은 밀집도 설정에 따라 최대 3:1의 노드 차이를 형성하고, 노드의 생성 위치 및 이동 위치는 임의의 위치로 정해진다. 실험에 앞서 노드가 감지하는 최대 트래픽 한계점은 80%, 최저 트래픽 한계점은 20%로 설정하였다.

〈표 1〉 시뮬레이션 기본 설정

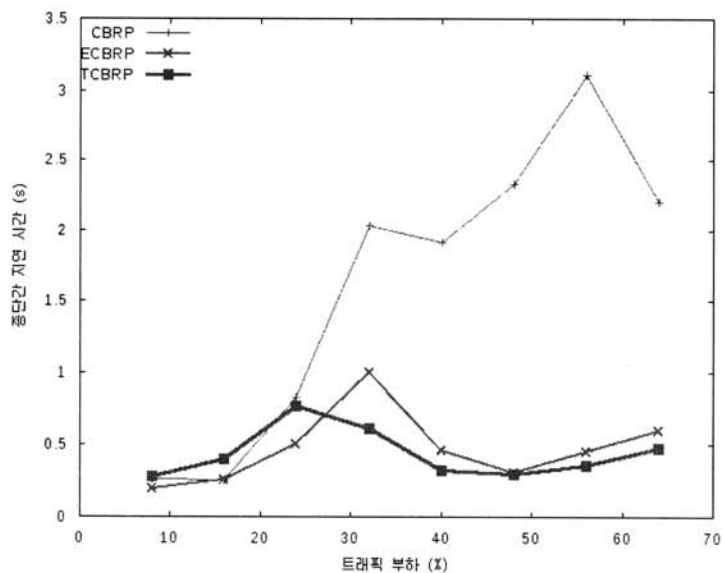
시뮬레이션 시간	100 초
패킷 사이즈	패킷 당 512 바이트
전체 노드 개수	50 개
전송 노드 개수	21 개
이동 방향	랜덤
이동 속도	10m/s
시뮬레이션 공간	1000m × 1000m
노드 전송 반경	250m
노드 밀집도 차이	최대 3 : 1
트래픽 부하 한계점	20% ~ 80%

(그림 5)는 불균일하게 분포된 네트워크가 형성될 때의 패킷 손실률에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. TCBRP의 경우 적은 트래픽 부하에서는 CBRP에 제안 알고리즘을 적용하고, 높은 트래픽 부하에서는 ECBRP에 제안 알고리즘을 적용하여 ECBRP만을 사용하였을 경우보다 더 나은 패킷 손실률을 보였다.

(그림 6)은 불균일하게 분포된 네트워크가 형성될 때의 전송 지연 시간에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 적은 부하에서 TCBRP의 경우 패킷을 모니터링 하는 과정이 포함되기 때문에 CBRP나 ECBRP보다 전송 지연 시간이 약간 증가하였으나, 트래픽 부하가 증가할수록 CBRP나 ECBRP보다 더 나은 전송 지연 시간을 보였다.



(그림 5) 불균일 네트워크에서의 패킷 손실률 비교



(그림 6) 불균일 네트워크에서의 전송 지연 시간 비교

## 5. 결 론

모바일 애드 혹 네트워크에서는 노드가 증가함에 따라 불균일하게 네트워크가 형성될 수 있으며, 특히 이동성이 활발한 경우에 불균일 분포 네트워크가 발생할 가능성이 높아진다. 불균일 분포 네트워크가 발생할 경우 클러스터 간 노드의 분포가 고르지 않아 밀집하게 분포된 네트워크 사이에 위치한 클러스터 및 노드에 집중적인 트래픽 발생하여 네트워크 성능이 저하될 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

불균일 분포 네트워크에서는 균일 분포 네트워크에 비해 CG 노드를 확장하여 관리하는 ECBRP가 적은 트래픽 부하에서는 비슷한 전송 지연 시간을 보이는 CBRP에 비해 많은 패킷 손실이 발생하였다. 따라서 클러스터가 네트워크의 트래픽 부하 상태에 따라 능동적으로 라우팅 알고리즘을 선택할 수 있는 개선된 알고리즘을 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 하나의 라우팅 알고리즘을 사용했을 때 보다 더 나은 전송 지연 시간과 패킷 손실률을 보이는 결과를 확인하였다.

본 논문에서는 불균일 분포 네트워크에서 트래픽이 집중되는 노드들이 자신의 트래픽을 감시함으로써 능동적으로 과도한 트래픽에 대응하고, 추가적인 오버헤드 없이 헬로우 패킷을 사용하여 클러스터 헤더에게 노드 정보를 전달함으로써 패킷 손실률 감소 및 평균 전송 지연 시간 단축 효과를 보이는 알고리즘을 제안하였다.

## 참 고 문 헌

[1] C.E. Perkins, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proceedings of 2nd IEEE Workshop Mobile Computer Systems and Applications, pp.90-100, 1999.  
 [2] M. L. Jiang, J. Y. Li, and Y. C. Tay, "Cluster Based Routing Protocol," Internet-Draft, draft-ietf-manet-dsr-10.txt, work-in-progress, 2004.  
 [3] Jane Y. Yu, Peter H. J. Chong and Mingyang Zhang, "Performance of Efficient CBRP in Mobile Ad Hoc Networks (MANETS)," Vehicular Technology Conference, IEEE, pp.1-7, 2008.  
 [4] Mingyang Zhang, Peter H. J. Chong, "Performance Comparison

of Flat and Cluster-Based Hierarchical Ad Hoc Routing with Entity and Group Mobility," Wireless Communications and Networking Conference, IEEE, pp.1-6, 2009.

[5] Jane Y. Yu and Peter H. J. Chong, "A Survey of Clustering Schemes for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.7, No.1, 2005.  
 [6] Jian Wan, Daomin Yuan, Xianghua Xu, "A Review of Cluster Formation Mechanism for Clustering Routing Protocols", International Conference on Communication Technology Proceedings, IEEE, 2008.  
 [7] D.B. Johnson, D.A. Maltz, and J. Broch, "DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop wireless Ad Hoc Networks", Ad Hoc Networking, 2001. 5: pp.139-172.

### 함 용 길



e-mail : skult82@gmail.com

2008년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학부 (학사)

2010년~현 재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학부 석사과정

관심분야: 실시간 시스템, 애드 혹 네트워크

### 김 용 석



e-mail : yskim@kangwon.ac.kr

1984년 서울대학교 해양학(학사)

1986년 한국과학기술원 전자공학(석사)

1989년 한국과학기술원 전자공학(박사)

1989년~1990년 KAIST 연수연구원

1990년~1994년 생산기술연구원 선임연구원

1994년~1995년 전자부품종합연구소 선임연구원

1995년~현 재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

관심분야: 운영체제, 실시간 시스템, 병렬처리 컴퓨터