

에드-혹 네트워크에서 신뢰성 있는 클러스터 기반 그룹 멀티캐스트 방식에 관한 연구

박 양 재[†] · 이 정 현^{††}

요 약

본 논문에서는 에드-혹 네트워크에서 조합가중치 클러스터링 알고리즘을 적용하여 강건하고 신뢰성 있는 클러스터 기반의 그룹 멀티캐스트 방식을 제안한다. 에드-혹 네트워크는 고정된 통신 하부 구조의 도움 없이 이동 단말기만으로 구성된 무선 네트워크이다. 제한된 대역폭과 높은 이동성으로 인하여 에드-혹 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 강건하고, 간단하면서 에너지 소비를 최소화하여야 한다. WCGM(Weighted Cluster Group Multicast) 방식은 조합 가중치 다중 클러스터 기반 구조를 이용하고 기존의 FGMP(Forwarding Group Multicast Protocol) 방식의 장점인 제한적인 플러딩에 의한 데이터 전달방식은 유지하면서 클러스터 헤드 선출시 조합가중치를 적용한다. 이것은 안정적이며 강건한 데이터 전달 구조를 가지기 때문에 데이터 전달 구조를 유지하기 위한 오버헤드(Overhead)와 데이터 전달을 위한 오버헤드를 모두 줄이는 효과가 있었다.

A Study on a Robust Clustered Group Multicast in Ad-hoc Networks

Yang-Jae Park[†] · Jeong-Hyun Lee^{††}

ABSTRACT

In this paper we propose a robust Clustered Group Multicast in Ad-hoc Network. The proposed scheme applies to Weighted Clustered Algorithm. Ad-hoc network is a collection of wireless mobile hosts forming a temporary network without the aid of any centralized administration or reliable support services such as wired network and base station. In ad hoc network routing protocol because of limited bandwidth and high mobility robust, simple and energy consume minimal. WCGM method uses a base structure founded on combination weighted value and applies combination weight value to cluster header keeping data transmission by scoped flooding, which is the advantage of the exiting FGMP method. Because this method has safe and reliable data transmission, it shows the effect to decrease both overhead to preserve transmission structure and overhead for data transmission.

키워드 : 에드-혹 네트워크(Ad-hoc Networks), 멀티캐스트(Multicast), 클러스터 그룹 멀티캐스트(Clustered Group Multicast)

1. 서 론

무선 네트워크는 기반구조(Infrastructure)를 이용한 기존의 이동통신 서비스와 특수한 환경에서 기지국과 같은 고정 장치나 중앙 집중식 통제 없이 일시적인 통신망이 형성되는 MANET(Mobile Ad Hoc NETwork) 그리고 두 가지 방식을 조합한 Hybrid 무선 네트워크까지 다양한 형태로 발전하고 있다[1-3]. 따라서, 노드의 무선 전파범위의 제약으로 인해 무선 도메인에서의 경로는 다중 홉으로 구성된다. 또한 노드들이 임의로 예측할 수 없이 이동하므로 네트워크의 위상이 동적으로 빈번하게 변화한다는 특성을 가지며, 고정 네트워크에 비하여 가용 할 대역폭과 전력 양의 제약이 크다.

무선 에드-혹 네트워크의 전형적인 응용분야는 재난복구, 전쟁, 응급구조 및 탐색작업 등과 같은 위급상황에서 대원들간의 통신 혹은 콘서트나 컨퍼런스나 같은 모임에서 구성원간의 통신 등을 들 수 있는데, 이와 같은 경우의 통

신은 대부분 구성원간의 공동작업을 수행하는 것이 목적이므로 브로드캐스트 또는 다중점-대-다중점 형태의 통신이 필요할 경우가 많다. 또한 에드-혹 네트워크는 물리적으로 브로드캐스트에 의해 전송이 이루어지기 때문에, 브로드캐스트 형태의 통신을 효율적으로 지원하기에 매우 적합한 네트워크이다. 이전 연구에서는 에드-혹 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜 연구에서 유니캐스트와는 별도로 에드-혹 네트워크의 브로드캐스트 능력을 활용할 수 있는 브로드캐스트 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 진행되어 왔다[4].

무선 에드-혹 네트워크에서의 각각의 이동 노드는 송신자와 수신자 사이의 단-대-단 연결을 위하여 라우터의 기능을 수행하여야 한다. 송신자가 전송한 패킷은 전송범위 내에 있는 모든 노드들에게 전달된다. 만일 최종 수신자가 송신자의 전송범위 밖에 있다면 송신자가 보낸 패킷을 직접 전달받지 못한다. 직접 패킷을 전달하지 못하는 송신자와 수신자 사이의 통신을 위해서 출발지에서 도착지까지의 일련의 이웃 노드들은 경로를 형성하고, 중간에 있는 노드들은 저장 후 전송 방식으로 패킷을 증계한다.

† 정 회 원 : 가천길대학 전산정보처리과 교수

†† 중신회원 : 인하대학교 컴퓨터공학부 교수

논문접수 : 2002년 11월 28일, 심사완료 : 2003년 2월 21일

무선 에드-혹 네트워크의 라우팅 프로토콜은 간단하고, 강건하며, 경로를 생성하고 유지하는데 사용하는 제어 패킷의 오버헤드가 최소화되어야 한다. 에드-혹 네트워크를 구성하는 이동 노드들은 일반적인 컴퓨터이므로 제한된 CPU 성능과 메모리를 갖고 있다. 또한 이동 노드들은 배터리에 의해서 전력을 공급받기 때문에 라우팅 프로토콜은 복잡한 경로계산 알고리즘을 사용할 수 없다.

무선 에드-혹 네트워크의 라우팅 방식은 경로를 결정하는 시기에 따라 순향적(Proactive) 라우팅 방식과 반응적(Reactive) 라우팅 방식, 혼합(Hybrid)방식으로 분류할 수 있다. 순향적 라우팅 방식은 주기적으로 네트워크 정보를 수집하여 모든 목적지에 대한 경로를 미리 결정해 두는 방식이다. 순향적 라우팅 방식은 미리 경로가 결정되어 있으므로 즉시 패킷을 전송 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 무선 에드-혹 네트워크를 위한 순향적 라우팅 방식으로는 DBF[4], DSDV[5], WRP[6]이 있다.

반응적 라우팅 방식은 패킷을 보낼 필요가 있을 때 요구 기반(On-demand)방식으로 경로를 설정한다. 이러한 방식에는 TORA[7], DSR[8], AODV[9], ABR[10], RDMAR[11]이 있다. 순향적 라우팅 방식으로 설정된 경로는 라우팅 정보를 교환하기 위하여 많은 양의 대역폭과 제어 패킷을 발생시켜서 비효율적이다. 이전 연구에서 동적으로 변화하는 에드-혹 네트워크의 특성상 순향적 라우팅 방식 보다는 반응적 라우팅 방식이 더욱 좋은 결과를 제공한다는 것을 발견하였다[12-14]. 혼합방식은 순향적 방식과 반응적 방식의 혼합형태로 ZRP(Zone Routing Protocol)와 같이 각 노드가 홉(Hop) 카운트를 반경으로 하는 지역(Zone)에 대해서 사전에 라우팅 정보를 유지하고 지역을 벗어나는 라우팅 정보에 대해서만 경로 설정절차를 요구하는 방식이다.

본 논문에서는 조합가중치 클러스터링 알고리즘을 적용하여 강건한 클러스터 그룹 멀티캐스트 방식을 제안한다. WCGM 방식은 조합 가중치 다중 클러스터 기반 구조를 이용해서 기존의 FGMP(Forwarding Group Multicast Protocol)방식의 장점인 제한적인 플러딩에 의한 데이터 전달방식은 유지하면서 클러스터 헤드를 조합가중치를 두어 선출함으로써 보다 안정적이며 강건한 데이터 전달 구조를 설정하여 데이터 전달 구조를 유지하기 위한 오버헤드와 데이터 전달을 위한 오버헤드를 모두 줄이는 방안을 제안한다.

서론에 이어 2장에서는 무선 에드-혹 네트워크에서의 라우팅 방식의 장단점을 설명하고 3장에서는 조합가중치 클러스터링 알고리즘을 적용한 강건한 클러스터 그룹 멀티캐스트 방식을 설명하였다. 4장에서는 시뮬레이션 환경 및 모델, 5장에서는 성능평가에 대해 설명하고 6장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 에드-혹 네트워크에서 브로드캐스트 라우팅 방식
오늘날 컴퓨터 네트워크 상에서 다자간 통신을 효율적으

로 지원하는 방법으로 브로드캐스트가 사용된다. 이 방법은 특정 그룹에 대하여 전송 트리를 만들고, 데이터를 트리를 통하여 전송하는 방법을 많이 사용하고 있다. 무선 에드-혹 네트워크의 라우팅 방식은 유니캐스트와 브로드캐스트로 구별된다. 멀티캐스팅은 방송이라는 매체의 기본적인 특성 때문에 그룹 통신에 사용되는 경우에 무선 네트워크에서 큰 효율성을 지니고 있다. 그러나 무선 네트워크의 특성 상 빈번한 패킷의 분실과 전송 에러가 발생하기 때문에 데이터 전달과 데이터 전달 구조를 신뢰성 있게 유지하기 위해서는 많은 패킷의 재전송과 지연 오버헤드가 발생된다. 브로드캐스트 라우팅 방식에는 트리 기반 라우팅 방식과 메쉬 기반 라우팅 방식으로 분류된다.

2.1.1 트리 기반 라우팅 방식

브로드캐스트의 트리 구성 방식은 플러딩(Flooding)과 확장(Spanning) 트리를 생성하며, 트리를 생성하는 방식에는 송신자 기반 트리와 공유 트리로 분류된다. 송신자 기반의 트리는 플러딩과 삭제(Prune)기법으로 트리를 생성한다. 이 방식은 송신자와 수신자 사이에 하나의 유일한 경로만을 제공하기 때문에 네트워크 위상이 빈번히 변하는 에드-혹 네트워크에서는 경로가 단절되는 점, 플러딩과 삭제기법을 사용함으로써 대역폭을 낭비하는 점 그리고 브로드캐스트의 규모가 커질 경우에 브로드캐스트 그룹마다 또는 송신자마다 트리를 구축해야 하는 문제점이 있다. 더욱 큰 문제점은 에드-혹 네트워크의 특징인 빈번한 노드의 이동으로 인하여 송신자가 동적으로 위치를 이동하는 경우 트리의 재구축 문제이다.

공유 트리 방식은 하나의 그룹에 대하여 트리를 공유하는 방식으로 최적의 트리를 생성하는 것이 아니라 확장성 측면과 자원 낭비 문제를 해결하기 위한 방식이다. 최적의 경로 보다는 확장성의 측면과 노드의 이동성이라는 점에서 브로드캐스트 그룹을 관리한다. 트리 기반 라우팅 방식에는 [15-17]이 있다.

2.1.2 메쉬 기반 라우팅 방식

송신자와 수신자 사이의 다수의 경로를 제공한다. 따라서 링크가 단절되더라도 다른 우회 경로를 사용하여 견고성이 높다는 장점을 가지고 있다. 메쉬 기반 라우팅 방식이 트리 기반 방식보다 네트워크의 위상 변화에 더욱 견고한 것으로 밝혀졌다[18, 19]. 메쉬 기반 라우팅 방식에는 [18, 20]가 있다.

3. 조합 가중치 클러스터 그룹 멀티캐스트 방식

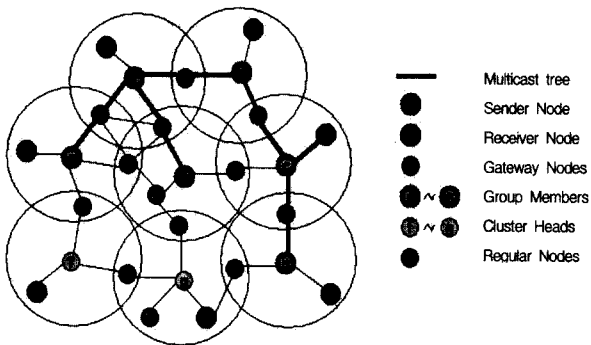
WCGM(Weighted Cluster Group Multicast)방식은 기본적으로 사전 결정 방식 프로토콜인 FGMP와 같이 제한적인 플러딩에 의하여 데이터를 전달한다. 제한적인 플러딩이란 데이터 전달이 플러딩에 의해 이루어지며 네트워크를 구성하는 노드들 가운데 일부만이 플러딩에 참여하는 것을 의미한다.

제안하는 WCGM은 크게 클러스터 구성과 경로설정, 그

리고 경로유지로 분류할 수 있다. 먼저 초기의 네트워크를 조합가중치 알고리즘에 의하여 조합가중치가 가장 작은 값을 갖는 노드를 클러스터 헤드로 선출한 후 이를 중심으로 클러스터를 구성한다. 클러스터 내의 정보는 이 클러스터 헤드들 사이의 연결정보를 이용해서 신속하게 모든 멤버들에게 전파한다. 네트워크내의 모든 노드들은 클러스터 헤드들간의 연결정보와 거처온 경로를 이용하여 라우팅 테이블을 작성한다. 만일 에드-혹 네트워크 특성상 노드의 이동으로 인하여 경로가 소실되었을 때는 자신의 이웃노드에게 질의 패킷을 플러딩하여 대체경로를 획득한 후 라우팅 테이블의 경로를 수정한다. 그리고 질의노드는 경로 소실로 인하여 영향을 받은 모든 노드들에게 대체경로를 전파한다.

3.1 제안 시스템 모델

본 논문에서 사용하는 시스템 모델은 (그림 1)과 같이 조합 가중치 다중 클러스터 기반구조를 이용해서 FGMP의 데이터 전달 구조를 유지하기 위해서 네트워크 내의 각 노드들은 브로드캐스트에 참여하고 있는 멤버 노드와 비 멤버 노드로 구별된다. 송신자 노드가 포함된 노드들 중에서 조합가중치가 가장 작은 값을 갖는 노드를 클러스터 헤드로 선출하여 클러스터를 형성하게 된다. 형성된 클러스터와 클러스터들 사이를 연결하는 게이트웨이 노드를 경로로 하는 브로드캐스트 트리를 구성한다. 노드들 중에는 멤버 노드가 아닌 단지 수동적인 패킷 포워딩(Passive Forwarding)만을 수행하는 노드가 발생할 수 있으며, 링크의 선택 기준으로는 최단거리 알고리즘에 의하여 결정된다.



(그림 1) 시스템 모델

기본적으로 1 : N 통신을 위해 설계되었으며, 회의용 응용보다는 방송용 브로드캐스트 응용들을 기준으로 하였다. 대역폭의 효율적인 이용을 위해 멤버 노드들간의 트리 구성보다는 비멤버 노드를 포함한 구성을 선택한다. 따라서 네트워크 내의 모든 노드들은 브로드캐스트 라우팅을 지원한다고 가정한다.

이전 연구에서는 경로 설정을 위하여 사용하는 기준은 목적지 노드로의 최단 홉 수이다. 최단 홉 수에 의한 경로는 결정된 경로상의 노드가 항상 데이터를 중계할 수 있는 상태로 준비되어 있고, 충분한 대역폭을 제공한다면 항상

최적의 경로가 될 것이다. 그러나 모든 노드는 다른 노드의 트래픽을 중계하는 역할을 하는 동시에 자신의 트래픽을 발생하며 그 노드를 지나는 모든 트래픽은 제한된 전송 장치와 대역폭을 공유하여야 한다.

에드-혹 네트워크에서 라우팅 경로 선택의 기준으로는 홉 카운트나 노드의 ID를 주로 사용하였다. 이와 같은 방법들은 경로 선택의 용이성이나 신속성을 제공할 수 있으나, 무선 매체의 특성 상, 노드들의 빈번한 이동으로 인하여 라우팅 경로의 재설정에 더 많은 패킷 전송 지연 오버헤드가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 조합가중치 알고리즘에 의한 클러스터 그룹 멀티캐스트 경로 설정 방안을 제안한다.

3.2 클러스터의 형성

WCGM에서는 각 이동 노드는 인접한 이웃 이동 노드들과의 연결상태를 감지하기 위하여 HELLO_INTERVAL 시간에 한 번씩 HELLO 메시지를 브로드캐스트(Broadcast) 한다. HELLO 메시지를 수신한 이웃 노드는 이를 이용하여 자신이 어느 이웃 노드와 연결 상태에 있는지 감지하고, 자신의 이웃 테이블에 <표 1>과 같은 형식으로 이웃 노드의 정보를 저장한다. 또한 각 이동 노드는 자신이 이웃 테이블인 <표 2>를 HELLO 메시지에 포함하여 HELLO_INTERVAL 시간 간격으로 브로드캐스트 한다.

<표 1> 이웃 테이블의 구조

Neighbor ID	Neighbor status	Link status
•	•	•
•	•	•
•	•	•

Neighbor ID : 이웃 노드의 ID
 Neighbor status : C_HEAD, C_MEMBER, GW(Gateway), C_UNDECIDED
 Link status : Uni-directional link, Bi-directional link

<표 2> HELLO 메시지 패킷의 형태

Neighbor ID	Neighbor status	Link status	Adjacent cluster ID
•	•	•	•

Neighbor ID : 이웃 노드의 ID
 Neighbor status : C_HEAD, C_MEMBER, GW(Gateway), C_UNDECIDED
 Link status : Uni-directional link, Bi-directional link
 Adjacent cluster ID : 인접 클러스터 ID

<표 1>에서 첫 번째 항목은 HELLO 메시지를 브로드캐스트하는 동안의 이동 노드의 ID이며, 두 번째 항목은 전송 이동 노드의 역할이 클러스터 헤드(C_HEAD)인지, 클러스터 멤버(C_MEMBER)인지, 게이트웨이(GW)인지, 또 어느 클러스터에도 속하지 않는지(C_UNDECIDED)를 의미한다. 이때 전송되는 HELLO 메시지 구조는 <표 2>와 같으며, 이웃 노드 B로부터 HELLO 메시지를 수신한 이동 노드 A는 자신의 이웃 테이블에 이동 노드 B가 속해 있는지 확인한다. 존재하지 않으면 이동 노드 B의 ID와 역할을 자신의 이웃 테이블에 추가한다. 이동 노드 B의 역할이 변경되었으면 이를

자신의 이웃 테이블에 이동 노드 B의 역할을 변경한다.

각 이동 노드는 자신의 이웃 테이블의 모든 항목을 HELLO_INTERVAL 시간에 의해 관리한다. 이웃 테이블에 있는 이동 노드로부터 HELLO_INTERVAL 시간동안 새로운 메시지를 수신하지 못하면 자신이 관리하는 테이블로부터 해당항목을 삭제한다. 이웃 이동 노드들의 위상이 변하지 않을 때, 각 이동 노드는 자신과 한 홉으로 연결된 모든 이동 노드들의 정보를 가지게 된다. 이러한 이웃 테이블의 정보는 클러스터 정보와 라우팅을 위한 정보로 사용된다. 클러스터 기반 알고리즘에서는 먼저 임의의 개수의 노드들을 묶어 클러스터를 만들어 클러스터에 속하는 노드들간에는 거리벡터의 변형과 같이 링크 연결상태를 모두 알게 한다. 클러스터의 모든 노드와 연결된 하나의 노드를 클러스터 헤드라고 하며, 다른 클러스터에 인접하거나 다른 클러스터의 내부에 포함되어 있는 경계노드를 게이트웨이 노드라고 한다.

클러스터 헤드가 브로드캐스트 그룹에 가입하고, 자신이 클러스터 내부에 어떤 노드가 브로드캐스트의 멤버인지를 알 수 있다. 클러스터 헤드도 이동으로 클러스터를 벗어나면 클러스터 헤드로서의 기능을 상실하게 되며, 이와 같은 경우에 클러스터 헤드가 재선출 된다.

본 논문에서 제안하는 WCGM 방법은 고정된 크기의 클러스터를 구성하는 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜이다. 각 클러스터들을 연결하기 위하여 게이트웨이 노드를 선출하여 클러스터 헤드사이의 경로 정보와 최소경로를 제공해 줌으로써 네트워크 내의 불필요한 패킷의 발생을 줄이고, 클러스터 헤드 사이의 최소거리를 항상 제공해 줄 수 있도록 한다. 또한 각 노드를 기준으로 클러스터 크기만큼의 지역 경로정보를 획득할 수 있게 하여 지역에 인접한 노드에 대해서는 클러스터 헤드의 도움 없이 데이터를 전송할 수 있게 한다. 각 이동 노드는 클러스터 형성을 위하여 (그림 2)와 같은 클러스터 형성 패킷을 사용한다.

Ver	Type	S	Priority	Seq_Num	Dest_ID	Hop_CNT
-----	------	---	----------	---------	---------	---------

Ver : WCGM(Weighted Cluster Group Multicast) 버전번호
 Type : 01 (클러스터 형성 패킷)
 S : 목적지 노드 상태
 Priority : 각 노드의 우선순위
 seq_Num : 패킷의 일련번호
 Dest_ID : 목적지 ID
 Hop_CNT : 송신자로부터 목적지까지 홉 수

(그림 2) 클러스터 형성 패킷

클러스터 형성 패킷의 역할은 첫째, 무선 에드-혹 네트워크 내에서 클러스터를 형성한다. 둘째, 각 노드가 클러스터 크기 만큼의 지역 경로 정보를 얻게 해주며, 클러스터가 형성된 후 클러스터와 클러스터를 연결하는 게이트웨이 노드를 선출한다. 게이트웨이 노드의 선출은 클러스터 헤드간의 데이터 전송 통로 역할을 수행하며, 네트워크 내에서 발생되는 오버헤드를 줄이고 이웃 클러스터들에게 최소 경로를 유지하는 역할을 한다.

3.3 클러스터 헤드의 선출 과정

본 논문에서는 이상적인 노드 연결성(위치계수), 이동성(노드의 평균이동 속도), 전송 전력(이웃 클러스터헤드들 사이의 거리 합), 배터리 파워(클러스터헤드로서 동작 시간)들의 시스템 파라미터들을 고려한 조합된 가중치를 사용한다. 모든 노드들을 처리할 수 있는 최소 개수의 클러스터 헤드를 선택하는 과정이다.

- ① 노드 자신의 조합가중치가 이웃 노드의 조합가중치보다 작으면 자신을 클러스터 헤드로 선언하고 이를 이웃 노드에게 방송한다.
- ② 이 방송을 청취한 노드들은 그 클러스터에 조인(Join)하고 자신이 해당 클러스터에 조인되었음을 이웃 노드들에게 알린다.
- ③ 이웃 노드들은 그 노드를 제외하고 자신의 조합가중치가 가장 작으면 자신을 클러스터 헤드로 선언하고 이를 방송한다.
- ④ ②부터 ③을 반복한다.

3.4 클러스터 헤드 노드의 최적화를 위한 가정

기본적으로 클러스터 헤드가 될 노드를 최적화하기 위해 다음 사항을 가정한다[21].

- 클러스터 헤드 선정은 비 주기적으로 시행하며 가능한 한 억제된다. 이것은 헤드 선정을 하기 위한 업데이트 회수를 줄여 계산량과 통신비용을 줄이기 위한 것이다.
- 각 클러스터 헤드는 효율적인 MAC 계층의 기능을 위해 미리 지정된 시스템 한계인 N개의 노드를 이상적으로 지원할 수 있다. 시스템의 높은 처리율은 각 클러스터 안의 노드의 개수를 제한하거나 최적화 함으로써 달성될 수 있다.
- 배터리 전력은 노드가 일반 노드로 사용될 때 보다 클러스터 헤드로 사용될 때 전력 소모가 크다. 즉, 두 가지 전력 모드를 사용한다. 일반 노드간의 통신은 저전력을 사용하며 클러스터 헤드간의 통신에는 고 전력을 사용한다.
- 일반 노드가 현재 있는 클러스터를 떠나서 다른 클러스터 지역으로 이동하면 재가입이 발생한다. 이 경우, 그 노드와 재가입 클러스터 사이의 정보 교환의 양은 국부적이며, 상대적으로 적다. 도미넌트 셋 내에서 변화의 이벤트로서의 정보 업데이트는 재가입 때보다 많다. 노드들의 이동성은 클러스터 헤드를 결정하는 중요한 요소이다.
- 클러스터 헤드는 주변의 노드가 전송 범위 이내에서 가까우면 가까울수록 더 나은 통신을 할 수 있으며, 노드에서 보내는 다른 패킷은 순서를 기다리게 된다.

3.5 클러스터 헤드 선출 알고리즘

클러스터 헤드 선출 알고리즘은 시스템이 활성화될 때와 현재의 도미넌트 셋이 전체 노드들을 포함할 수 없을 때

호출된다. 이 과정의 출력은 도미너트 셋이 된다. 다음은 클러스터 헤드 선출 알고리즘이다[21].

단계 1: 각 노드 v 의 이웃노드를 찾는다. (즉, 모든 노드에서 전송 범위 내의 노드들을 찾아 그 개수인 노드 연결성(degree) dv 를 부여한다.)

$$dv = |N(v)| = \sum_{v' \in V, v' \neq v} \{dist(v, v') < tx_{range}\}$$

단계 2: 각 노드 v 에 대하여, 노드의 연결성 차 Δv 를 계산한다. 클러스터헤드가 이상적으로 처리할 수 있는 노드들의 수는 $\delta=2$ 이다. 클러스터헤드에 과부하가 걸리는 것을 막고 시스템의 효율성이 기대된 수준에서 유지되는 것을 보증한다.

$$\Delta v = |dv - \delta|$$

단계 3: 각 노드 v 에 대하여 그 이웃 노드들과의 거리 합 Dv 를 계산한다. Dv 에 대한 값은 임의로 선택되어지며, 주로 에너지 소모와 관계가 있다. 먼 거리 통신을 위하여 더욱 많은 전력이 요구 되어지며, 거리의 제곱의 합으로 선형적인 것 보다 상당히 더 빠르게 증가하는 연결을 지원하도록 요구된다.

$$Dv = \sum_{v' \in N(v)} \{dist(v, v')\}$$

단계 4: 현재 시간 T 까지 모든 노드에 대하여 진행중인 평균 속도를 계산한다. 이동성의 척도를 제공하고 Mv 에 의하여 표시된다. Mv 에 대한 값은 임의로 선택되어지며, $Mv=0$ 는 전혀 움직이지 않는 노드를 의미한다. t 에서 노드 v 의 좌표는 (X_t, Y_t) 이고 시간 $(t-1)$ 에서의 좌표는 (X_{t-1}, Y_{t-1}) 이다.

$$Mv = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T S_t$$

S_t 는 단위 시간당 이동한 거리이며, 0km에서 1km 사이의 값을 난수를 이용하여 이동호스트의 움직임의 방향을 측정된 새로운 좌표인 X_t 와 Y_t 에 의하여 결정한다.

$$X_t = X_{t-1} + S_{t-1} \cdot \cos \theta_t, \quad i = 1, 2, 3 \dots$$

$$Y_t = Y_{t-1} + S_{t-1} \cdot \sin \theta_t, \quad i = 1, 2, 3 \dots$$

단계 5: 한 노드 v 가 클러스터 헤드로서 동작하는 동안의 누적되는 시간 Pv 를 계산한다. Pv 는 얼마나 많은 배터리 전력이 보통의 노드보다 클러스터헤드라고 가정했을 때 소모되었는지를 의미하며 임의의 값이 선택된다.

단계 6: 각 노드 v 에 대하여 조합된 가중치 Wv 를 계산한다.

$$Wv = \omega_1 \Delta v + \omega_2 Dv + \omega_3 Mv + \omega_4 Pv$$

각 노드 v 에서 $Wv = \omega_1 \Delta v + \omega_2 Dv + \omega_3 Mv + \omega_4 Pv$ 이며 가장 작은 조합 가중치 Wv 를 가진 노드가 클러스터 헤드가 된다. $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ 는 시스템 파라미터에 대응하는 가중치로 이들 계수의 합은 1이다.

단계 7: 클러스터 헤드로서 가장 작은 값 Wv 를 가진 노드를 선택한다. 선택된 클러스터헤드의 모든 이웃 노드들은 더 이상 클러스터 헤드의 선출 과정에 참여하지 않는다.

단계 8: 아직 클러스터 헤드로서 선택되지 않은 노드로 남아 있거나, 클러스터로 할당되어져 있는 동안 단계 2에서 단계 7 과정을 반복한다.

3.6 경로설정 방식

본 논문에서는 클러스터 내의 모든 정보전달은 클러스터 헤드를 통하여 이루어지며 이상적인 노드 연결성(위치계수), 이동성(노드의 평균이동 속도), 전송 전력(이웃 클러스터 헤드들 사이의 거리 합), 배터리 파워(클러스터 헤드로서 동작 시간)들의 시스템 파라미터들을 고려한 조합된 가중치를 사용하여 클러스터 헤드를 선택함으로써 안정적이고 강건한 데이터 전달 경로를 설정한 후 브로드캐스트 그룹의 멤버들 모두가 데이터 전달 플러딩 하는 것이 아니라 클러스터 헤드가 대표로 데이터 전달 플러딩한다.

각 클러스터에는 국부적으로 클러스터 내에서의 전송을 조정하는 하나의 클러스터 헤드가 있고, 인접한 클러스터 간에는 두 클러스터 모두에 속해 있는 게이트웨이 노드가 있다. 클러스터 헤드는 클러스터 내의 다른 모든 클러스터 멤버로부터 한 홉(Hop) 거리에 있고, 모든 멤버들은 양방향 링크로 클러스터 헤드와 연결되어 있다. 정보전달 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 클러스터 형성 후 클러스터 헤드가 자신의 클러스터내의 멤버들에게 정보를 전달하는 책임을 진다.
- ② 인접 클러스터와 연결된 멤버들은 이 정보를 인접 클러스터에게 전달한다.
- ③ 이 정보를 수신한 노드들은 인접 클러스터, 클러스터 헤드 그리고 멤버들에게 전달한다.
- ④ ②와 ③을 반복한다.

②에서 인접 클러스터의 헤드와 보통 노드에 모두 연결되는 경우, 데이터 전달은 오직 클러스터 헤드에 의해서만 전달된다. 이것은 다중 연결 시 정보의 전달 오버헤드를 감소시키기 위함이다. 그리고 정보를 한번 수신한 노드는 송신한 노드에게 다시 재전송하지 않는다.

데이터 전달을 담당하는 클러스터 헤드 수가 브로드캐스트 그룹의 멤버 수에 비하여 적으므로 전달 구조 유지를

위한 정기적인 데이터 전달 플러딩 오버헤드가 감소하며, 이들 두 값의 비율이 적어질수록 이와 같은 전달 구조 유지를 위한 오버헤드 감소 효과는 더욱 커지게 된다.

에드-혹 네트워크에서는 클러스터 내부 정보만을 가지고는 노드들에 대한 경로를 작성할 수 없다. 따라서 모든 노드들은 자신의 ID와 조합가중치 값, 거처은 경로와 같이 자신이 수신한 정보와 그 정보가 거처은 경로를 라우팅 테이블에 기록한다. 이 라우팅 테이블에서 자신의 이웃정보를 이용하여 최단경로를 구성한다. 정보전달의 중복을 피하기 위해서 정보가 클러스터 헤드를 지날 때 클러스터 ID를 기록한다. (그림 3)은 경로 질의 패킷의 구조이다.

Ver	Type	Q	Seq_Num	Neig_Head_ID	Sour_ID	Dest_ID
Source Address						
Multicast Address						
Previous Node ID			Previous Parentis ID			

(그림 3) 경로 질의 패킷의 구조

모든 노드에서 다른 경로로부터 같은 정보를 수신하는 경우에 짧은 길이의 경로는 사용되고 나머지 경로는 폐기하며, 같은 경로의 길이라면 먼저 도착한 경로는 사용하고 후에 도착한 경로는 폐기한다.

3.7 경로 유지

노드의 이동으로 인하여 경로를 설정 중이나 후에 경로가 단절되는 경우에 단절된 노드를 중간 노드로 하는 경로들은 모두 수정되어야 한다. 링크의 단절을 인지한 노드는 대체경로를 얻기 위하여 다음과 같은 대체경로 획득 알고리즘을 사용한다.

- ① 모든 이웃노드에게 필요한 노드들의 라우팅 목록을 가지고 있는지 자신의 ID를 붙여 질의 패킷을 플러딩한다.
- ② 질의를 수신한 노드는 자신의 라우팅 테이블에 질의한 목록이 있으면 임의의 노드에 대해서 다음 노드가 질의 패킷에 마지막으로 기록된 ID이거나 질의 노드의 이웃이면 자신의 ID를 붙여서 다시 질의 패킷을 플러딩한다.
- ③ 모든 노드에 대하여 수행한다.

응답을 받은 질의노드는 라우팅 테이블을 수정한 후에, 이 경로를 전파해서 소실경로에 의해서 영향을 받은 모든 노드들에게 전파한다.

대체경로의 전파는 경로의 설정 때처럼 클러스터 구조를 통하여 빠르게 이루어진다. 각 노드는 전파된 경로정보와 이 정보가 거처은 경로를 통해 새로운 경로를 설정한다. (그림 4)는 경로 응답 패킷의 구조이다.

Ver	Type	Seq_Num	Neig_Head_ID	Sour_ID	Hop_CNT
Source Address					
Multicast Address					
Previous Node ID			Previous Parentis ID		

(그림 4) 경로 응답 패킷의 구조

경로 질의 패킷과 경로 응답 패킷은 경로설정을 위해서 사용되는 패킷으로서 질의 패킷의 용도는 송신 노드가 경로요청을 하기 위하여 사용하고, 경로 응답 패킷은 중간 노드나 목적지 노드에 대한 경로 정보를 알려주기 위하여 사용된다.

4. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 환경은 MS-Windows 2000 Server/MS-Visual C++6.0 환경에서 Global Mobile Simulation(Glomosim) 라이브러리를 사용한다. Glomosim 라이브러리는 UCLA에서 무선 네트워크 시뮬레이션을 위하여 개발한 도구로서 라이브러리 기반으로 순차적이고 병렬처리가 가능하며 여러 개의 라이브러리 모듈로 구성되어 있어서 특정 통신 프로토콜의 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 이 라이브러리는 C언어 기반 병렬 시뮬레이터 언어인 PARSEC으로 개발되었다[22]. 그러므로 새로운 프로토콜과 모듈들은 PARSEC을 사용하여 프로그램 되거나 수정하여 사용할 수 있다.

Glomosim에서는 각 계층마다 기존의 여러 네트워크 프로토콜들이 라이브러리로 구현되어 있으며 에드-혹 네트워크와 같이 이동 노드의 위치가 빈번히 변하고 라우팅이 여러 홉을 경유하는 환경에 대하여 계층적으로 사용자 정의에 따라 구현하도록 되어있다. <표 3>은 Glomosim의 계층별 프로토콜이다.

<표 3> Glomosim의 계층별 프로토콜

Layer	Models
Physical(Radio propagation)	Free space, Rayleigh, Ricean, SIRCIM
Data-Link(MAC)	CSMA, MACA, MAC, AW, FAMA, 802.11
Network(Routing)	Flooding, Bellman-Ford, OSPF, DSR, WRP
Transport	TCP, UDP
Application	Telnet, FTP

본 시뮬레이션에서는 Physical Layer 모델은 Free space propagation 모델을 사용하였으며, Data-Link Layer의 모델로는 IEEE 802.11 MAC DCF(Distributed Coordination Function), Network Layer의 모델로는 IP 프로토콜을 사용한다.

4.1 시뮬레이션 모델

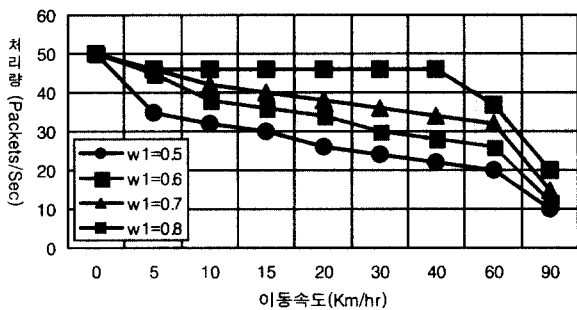
이동 지역은 1000×1000m이며 이동 노드는 50개를 랜덤하게 분포하게 하였다. 각 노드의 무선 전파범위는 250m이

며, 채널의 대역폭은 2Mbps이다. 시뮬레이션 시간은 600초, 패킷의 크기는 데이터가 10Kbit, 라우팅 테이블은 2Kbit, 제어 패킷은 500bit이며 트래픽은 패킷은 CBR(Constant Bit Rate)소스로 512byte이다. 송신자는 브로드캐스트 멤버들 중에서 임의로 선택된다. 멤버 노드들은 시뮬레이션 초기의 브로드캐스트 세션에서는 조인되며 멤버로서 유지된다.

5. 성능 평가

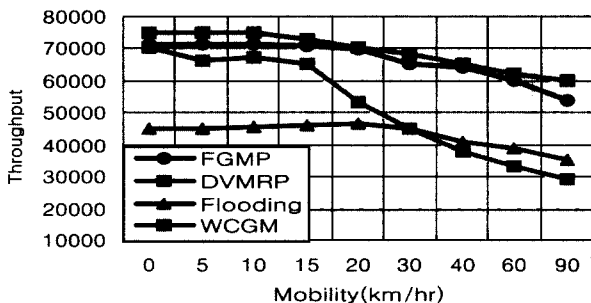
본 논문에서 제안한 WCGM의 성능을 평가하기 위하여 기존의 FGMP와의 이동성의 변화에 따른 경로 재설정과 패킷 재전송 횟수, 처리율, 제어 메시지 패킷의 수를 비교하였다.

제안한 WCGM에서 ω_1 은 위치계수이며, ω_2 는 이동성의 척도인 연속적인 노드의 속도 평균의 가중치는 0.1, ω_3 는 이웃 클러스터 헤드들과의 거리의 합(송신자로부터 홉 카운트)은 0.05, ω_4 는 클러스터 헤드로서의 동작 시간에 대한 가중치를 0.05로 설정하였다. $\omega_1 + \omega_2 = 0.9$ 로 가정하고 ω_1 의 위치계수 가중치를 0.5, 0.6, 0.7, 0.8인 경우의 이동속도 변화에 대한 패킷 처리율(패킷 수)과 각 가중치에서 이동속도가 증가함으로 인한 성능 평가를 하였다. 그 결과 위치계수의 가중치가 0.8일 때 가장 좋은 성능을 (그림 5)와 같이 나타내어 다른 방식과 비교시 WCGM의 가중치를 0.8로 설정하였다.



(그림 5) 위치 계수 가중치별 이동속도에 따른 처리율(패킷의 수)

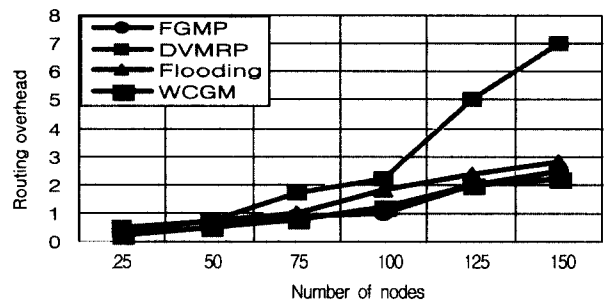
(그림 6)은 이동속도의 변화에 대한 처리율(패킷의 수)을 평가하였다. 이 결과 이동 속도가 증가할수록 다른 방식보다 처리율이 향상되었음을 알 수 있다.



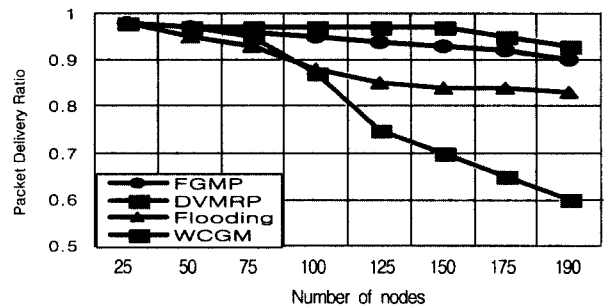
(그림 6) 이동속도의 변화에 대한 처리율 패킷의 수

노드간의 신호의 세기가 기준 이하이면 경로가 유지되더라도 작은 대역폭 때문에 패킷 전송 실패 및 지연 오버헤드가 크게 발생되며, 이웃 노드들과의 거리 합(송신자로부터 홉 카운트)이 커지면 두 노드간의 전송 경로의 실패 확률이 높아지게 된다. 결과는 (그림 7)과 같다.

또한 이동성의 척도인 노드의 속도 평균이 커질수록 경로 재설정과 재전송 횟수가 증가하게 되며, 클러스터 헤드로서 동작 시간이 클수록 안정적인 경로가 유지된다. 이와 같이 네 가지 요소를 복합적으로 이용하여 안정적인 경로를 선택하여 결과적으로 경로 재설정 및 패킷 재전송 횟수가 감소하게 한다. 결과는 (그림 8)과 같다.



(그림 7) 노드수의 증가에 따른 라우팅 오버헤드



(그림 8) 노드수의 증가에 따른 패킷 전달률

6. 결론

WCGM 방식에서는 데이터 전달을 담당하는 클러스터 헤드 수가 브로드캐스트 그룹의 멤버 수에 비하여 적으므로 전달 구조 유지를 위한 정기적인 데이터 전달 플러딩 오버헤드가 감소하며, 이들 두 값의 비율이 적어질수록 이와 같은 전달 구조 유지를 위한 오버헤드 감소 효과는 더욱 커지게 된다. 조합가중치 알고리즘에 의한 경로 설정 방식은 조합 가중치를 메트릭으로 선정함으로써 보다 안정적인 경로를 선택하게 하며 결과적으로 이동속도 변화에 따른 경로 재설정 및 패킷 재전송 횟수를 감소하게 한다. WCGM에서는 데이터 전달 구조도 클러스터 헤드와 게이트웨이로만 구성함으로써 브로드캐스트 전달을 담당하는 노드의 수를 줄일 수 있었으며 노드의 이동 속도의 증가로 인한 패킷 처리율도 다른 비교 방식에 비하여 향상되었으며 노드수의 증가에 따른 라우

팅 오버헤드와 패킷 전달율도 향상되었다.

참 고 문 헌

[1] David B. Johnson and David A. Maltz, "Mobile Computing-Dynamic Source Routing in ad hoc Wireless Networks," Kluwer Academic Publishers, pp.153-181, 1996.

[2] Rohit Dube and et al, "Signal Stability-Based Adaptive Routing(SSA) for Ad Hoc Mobile Networks," IEEE Personal Communications, Feb., 1997.

[3] C-K Toh, "Wireless ATM and AD-HOC networks," Kluwer Academic Publishers, 1996.

[4] D. Bertsekas and R. Gallager, *Data Network*, Second Ed., Prentice Hall, Inc., pp.404-410, 1992.

[5] Charles E. Perkins and Bhagwat, "Highly dynamic destination sequenced distance-vector routing(DSDV)for Mobile Computers," ACM SIGCOMM, Oct., 1994.

[6] S. Murthy and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An efficient routing protocol for wireless networks," ACM Mobile Networks and Applications Journal Special issue on Routing in Mobile Communication Networks, 1996.

[7] V. Park and S. Corson, "Temporally-ordered routing algorithm(TORA) Version 1," Internet draft, IETF, Aug., 1998.

[8] Josh Broch, David B. Johnson and David A. Maltz, "The dynamic source routing in ad hoc wireless networks," In Mobile Computing, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, Chapter 5, Kluwer Academic Publishers, pp.153-181, 1996.

[9] Charles E. Perkins, Elizabeth Royer and Samir R. Das, "Ad hoc on demand vector (AODV) routing," Internet draft, IETF, June, 1999.

[10] C. K. Toh, "Long-lived ad hoc routing based on the concept of associativity," Internet draft, IETF, Mar., 1999.

[11] G. Aggelou, and R. Tafazolli, RDMAR, "A bandwidth-efficient routing protocol for mobile ad hoc networks," Proc., of The Second ACM International Workshop on Wireless Mobile Multimedia(WoWMMoM), Seattle, Washington, Aug., 1999.

[12] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y. Hu, and J. Jetcheva, "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols," Proc., of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, ACM, Dallas, Oct., 1998.

[13] P. Johansson, T. Larsson, N. Hedman, B. Mielczarek and M. Degermark, "Scenario-based performance analysis of routing protocols for mobile ad-hoc network," MobiCom99, Aug., 1999.

[14] S. Corson and J. Macker, "Mobile ad hoc networking(MANET) : Routing protocol performance issues and evaluation considerations RFC 2501," IETF, June, 1999.

[15] Elizabeth Royer and Charles E. Perkins, "Multicast operation of the ad-hoc on-demand distance vector routing protocol," Mobicom 99, Aug., 1999.

[16] C. W. Wu, Y. C. Tay and C-K, Toh, "Ad hoc multicast

routing protocol utilizing increasinf id-numbers(AMRIS) Functional Specification," Internet draft, IETF, Nov., 1998.

[17] E. Bommaiah, M. Lui, A. McAuley and R. Talpade, "AM Route : ad hoc multicast routing protocol," Internet draft, IETF, Aug., 1998.

[18] J. J. Garcia-Luna-Aceves and E. L. Madruga, "The core-assisted mesh protocol," IEEE Journal on Selected Area in Communications, Special Issue on Ad-Hoc Networks, Vol. 17, No.8, Aug., 1999.

[19] S. Lee, W. Su, J. Hsu, M. Gerl and R. Bagrodia, "A performance comparison study of ad hoc wireless multicast protocols," INFOCOM 2000, Mar., 2000.

[20] S. Lee, W. Su and M. Gerla, "Ad hoc wireless multicast with mobility prediction," IEEE ICCCN 99, Boston, MA, Oct., 1999.

[21] M. Chatterjee, SK. Das and D. Turgut, "An On-Demand Weighted Clustering Algorithm (WCA) for Mobile Ad Hoc Networks," In Proc. of the IEEE GLOBECOM, 2000.

[22] UCLA Computer Science Department Parallel Computing Laboratory and Wireless Adaptive Mobility Laboratory, Glomosim, "A Scalable Simulation Environment for Wireless and Wired Network Systems," <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/domains/glomosim.html>.



박 양 재

e-mail : yjpark@gcgc.ac.kr

1999년 인하대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
 1990년 인하대학교 산업대학원 정보공학과 (공학석사)
 2002년 인하대학교 대학원 전자계산공학과 박사과정 수료

1984년~1985년 주식회사 서통 전자사업부 기술개발과 근무
 1985년~1993년 인하공업전문대학 전자과 조교
 2001년~2002년 주식회사 이메디피아 원격의료연구소 연구소장
 1993년~현재 가천길대학 전산정보처리과 부교수
 관심분야 : 에드-혹 네트워크, 이동 컴퓨팅, 피어투피어 네트워킹, 음성신호처리 등임



이 정 현

e-mail : jhlee@inha.ac.kr

1977년 인하대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
 1980년 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1988년 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1979년~1981년 한국전자기술연구소 시스템연구원
 1984년~1989년 경기대학교 교수
 1989년~현재 인하대학교 컴퓨터공학부 교수
 관심분야 : 자연어처리, HCI, 정보검색, MANET, 음성인식, 음성합성