

군 MANET 환경에서 그룹 이동성을 고려한 확장성 있는 콘텐츠 기반 라우팅 기법

정회원 고 광 태*, 강 경 란**, 종신회원 조 영 중**

A Scalable Content-Based Routing Scheme Considering Group Mobility in Tactical Mobile Ad-hoc Networks

Kwangtae Ko*, Kyungran Kang** *Regular Members*, Young-jong Cho** *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 군 MANET 환경에서 작전에 따라 단말들이 그룹으로 이동하는 경우를 고려하여, 효과적으로 메시지를 전달할 수 있는 확장 가능 콘텐츠 기반 라우팅 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 Publish/Subscribe 모델에 기반한 콘텐츠 라우팅 기법이다. 노드들은 자신의 위치나 관심에 근거하여 클러스터를 형성하게 된다. 제안하는 기법에서는 다단계로 포개지는 구조의 클러스터 구성을 허용한다. 각 노드는 클러스터 헤드에게 자신의 특정 콘텐츠에 대한 관심을 알리고, 클러스터 헤드는 이를 종합하여 이웃 클러스터 헤드에게 전달한다. 데이터는 관심이 전달된 역방향 경로로 클러스터 헤드를 거쳐 개별 단말에게까지 전달된다. 시뮬레이션을 통해 기존의 MANET 환경에서 사용했던 콘텐츠 기반 라우팅 기법과 본 논문에서 제안한 기법의 성능을 비교 분석한다. 제안한 기법은 노드 수가 증가하더라도 기존 기법에 비해 네트워크의 제어 메시지 부담이 크지 않으며, 특히 그룹 이동성을 가질 경우 기존 기법에 비해 메시지 전달율이 높다.

Key Words : Tactical MANET, Group Mobility, Content-Based Routing

ABSTRACT

In this paper, we propose a scalable content-based routing scheme for the tactical mobile ad-hoc networks where the nodes usually move together forming a group. Our scheme is classified as a content-based routing scheme based on publish and subscribe model. The nodes compose a cluster according to their position and interest. Our scheme allows multi-level cluster nesting. As a publish/subscribe model does, each node announces its interest to the cluster head who aggregates and announces the interests from cluster members to its neighbor cluster head. Actual data messages are delivered to the end node via cluster header in the reverse direction of the interest announcement. Using Qualnet simulator, we evaluated the performance of our scheme in comparison with two well-known content-based routing schemes. Simulation results show that our scheme maintains higher message delivery ratio as number of nodes increases whereas the two schemes show much lower delivery ratio. In addition, as the group mobility gets faster our scheme incurs less or similar control message overhead compared with the two schemes.

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

* 삼성전자(rangnae@ajou.ac.kr), ** 아주대학교 컴퓨터통신연구실({korykang, yjcho}@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-02-072, 접수일자 : 2010년 2월 10일, 최종논문접수일자 : 2010년 3월 19일

I. 서 론

군 전장 환경이 모든 전투 수행 개체가 네트워크를 통해 연결되는 네트워크 중심전(Network Centric Warfare, NCW)으로 전환됨에 따라, 전장 정보나 센싱 정보, 명령 메시지를 적합한 수신자에게 효과적으로 전달하는 기술을 필요로 하고 있다^[1]. 다수의 전투 개체가 작전이나 임무에 따라 동일한 메시지를 수신하며 함께 이동할 경우, 전송자의 정보 전달에 대한 부담을 줄이고, 네트워크 상에 중복되게 전달되는 데이터의 양을 줄이기 위해 멀티캐스트 기법이 주요하게 고려되어 왔으며, 클러스터링을 이용한 멀티캐스트 기법이 연구되어 왔다^[2,3]. 이 기법들은 동일한 이동성을 지닌 노드 간에 클러스터링 기법을 이용하여 멀티캐스트 그룹을 형성하고, 이들 간에 클러스터의 대표 노드인 클러스터 헤드를 통해 네트워크 정보를 주고받아 노드 간에 메시지를 전달한다. 그러나, 사용할 수 있는 멀티캐스트 주소가 제한적이고, 상황 변화에 따라 변화하는 멀티캐스트 그룹에 대해 멀티캐스트 주소를 동적으로 관리하고 할당하는 것이 현실적으로 어려우므로 Publish/Subscribe 모델 기반의 콘텐츠 기반 라우팅 기법이 대안으로 제시되고 있다^[4].

Publish/Subscribe 모델 기반의 콘텐츠 기반 라우팅 기법은 멀티캐스트 기법과 달리 수신자의 명시적인 주소를 사용하지 않고도 수신자의 관심 등록을 통해 송신자가 다수의 수신자에게 메시지를 전달할 수 있다^[5]. 수신자의 Subscription 메시지가 전달되는 과정에서 형성된 메시지의 역방향 경로를 따라 데이터 메시지가 수신자에게 전달된다. 특히, 지역적으로 가까운 다수의 수신자들이 송신자로부터 동일한 콘텐츠를 받을 경우, 중간의 라우팅 경로를 공유할 수 있기 때문에 동일 콘텐츠를 전달하는 경우에 더 효율적일 수 있다. 하지만, MANET에서 제안되었던 기존의 콘텐츠 기반 라우팅 기법들은 노드의 개별 이동성만을 고려하였기 때문에 네트워크 내에 존재하는 노드들의 수가 커지면 확장성에 제약이 발생한다.

본 논문에서는 군 MANET 환경과 같이 다수의 노드가 작전이나 임무에 따라 팀을 이루어 함께 이동할 경우 그룹 이동성을 이용한 Publish/Subscribe 모델 기반의 확장성 있는 콘텐츠 기반 라우팅 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 노드들의 위치와 관심 콘텐츠에 따라 클러스터를 형성하고, 다단계로 클러스터를 형성할 수 있는 방법론을 제시한다. 그리고, 클러스터 헤드들 간에 Subscription 메시지를 교환하여 Publication 메시지 전달 경로를 설정하고, 클러스터 내의

노드들에 대해서는 클러스터 헤드가 Publication 메시지 전달을 책임진다. 따라서 기존의 멀티캐스트 기법에 비해서는 주소 할당 및 그룹 관리의 어려움을 줄일 수 있고, 기존의 콘텐츠 기반 라우팅 기법에 비해서는 그룹 이동성을 고려하지 않아 발생했던 추가적인 제어 메시지의 부담을 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 시뮬레이션을 이용한 성능 분석을 통해 기존의 콘텐츠 기반 라우팅기법에 비해 본 논문에서 제안하는 기법이 적절한 제어 메시지의 부담을 가지면서 메시지 전달율이 향상되었음을 확인하였다.

본 논문은 나머지 부분은 다음과 같이 구성되어 있다. II절에서는 군 MANET 환경에서 메시지를 전달할 경우 적용할 수 있는 기존의 멀티캐스트 기법과 콘텐츠 기반 라우팅 기법을 분석한다. III절에서는 본 연구에서 제안하는 기법에 대해 설명한다. IV절에서는 시뮬레이션 환경 및 성능 측정 기준에 대해 설명하고, 기존 기법과 본 연구에서 제안한 기법의 시뮬레이션 결과를 제시하고 분석한다. 끝으로 V절에서는 앞으로의 연구 계획을 제시하며 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

군 환경이나 일반 상용 MANET에서의 팀 단위 이동성을 고려한 멀티캐스트 기법은 [2]와 [3]에서 볼 수 있듯이 2000년대 초부터 제시되어 왔다. 그러나 네트워크 중심의 작전 수행이 보편화되면, 작전이나 임무에 따라 수많은 그룹이 형성되는 환경에서 사용할 수 있는 멀티캐스트의 주소 자원이 제한적이다. 또한, 작전을 수행하면서 동적으로 형성되는 그룹들이 사용할 멀티캐스트 주소를 할당하고 관리하는 것이 현실적으로 불가능하다^[6]. 멀티캐스트의 한계를 극복하는 방안으로 콘텐츠 기반 라우팅 (content-based routing) 기법들이^[4,7] 제안되고 있다.

참고문헌 [4]와 [7]은 MANET 환경에서 제안된 간단한 콘텐츠 기반 라우팅 기법으로, 멀티캐스트 주소와 같은 명시적인 주소를 사용하는 것이 아니라 콘텐츠 주소를 사용하여 라우팅 경로를 설정하는 Publish/Subscribe 모델이다. 콘텐츠 주소는 애플리케이션에 따라 정의될 수 있으며, Publication 메시지와 Subscription 메시지의 라우팅을 결정한다. MANET 환경에서 콘텐츠 기반 라우팅 기법을 통해 메시지를 전달 받고자 하는 수신자는 원하는 콘텐츠 주소가 담긴 Subscription 메시지를 주변 이웃 노드에게 브로드캐스트하여 네트워크에 플러딩하고, Subscription 메시지의 콘텐츠 주소와 동일한 콘텐츠를 가진 송신자는

Subscription 메시지가 전달된 역방향 경로를 따라 데이터가 담긴 Publication 메시지를 전달한다. 이러한 콘텐츠 기반 라우팅 기법은 MANET 환경에서 노드의 수가 적을 경우 비교적 잘 동작하지만, 노드 수가 증가함에 따라 라우팅 테이블 및 네트워크 관리에 필요한 제어 메시지의 증가로 인해 심각한 성능 저하를 가져 온다.

참고문헌 [8]은 클러스터링을 이용한 기법을 MANET 환경의 콘텐츠 기반 라우팅 기법에 적용한 Hybrid Publish/Subscribe 모델로, 기존의 콘텐츠 기반 라우팅 기법의 확장성 문제를 해결하고자 제안되었다. 이 기법은 근접한 노드들 간에 클러스터를 구성해서 트리 형태의 데이터 전달 경로를 설정하고, 클러스터 헤드 간에 클러스터의 Subscription 메시지를 Document Flooding 방식에 의해 주고받는다. 이 기법을 사용할 경우 기존 콘텐츠 기반 라우팅 기법에 비해 네트워크의 확장성은 좋아지지만, 노드가 좁은 지역에 밀집되어 있을 경우 트리 구조의 전달 경로를 따라 제어나 데이터 메시지가 전달되어야 하므로 불필요하게 전달 경로가 길어지고 충돌이 많이 발생하게 된다.

III. 제안하는 콘텐츠 기반 라우팅 기법

3.1 개요

2008년에 발표된 미군의 자료^[9]에 따르면, 64대의 차량과 1대의 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)이 활동하는 실제 전장 환경에서 단위 그룹을 구성하는 노드들은 연결의 끊임이 없이 이동하는 것을 관찰할 수 있다. 또한, 한 분대가 작전 지역을 안전하게 이동할 경우 다른 분대가 뒤따라 이동하는 경우가 많아 그룹 단위 이동성이 존재함을 알 수 있다. 이러한 사례를 근거로 하여, 본 논문에서는 다수의 노드들이 그룹을 이루어 동일한 방향과 속도를 가지고 이동하면서 유사한 데이터를 수신하고자 하는 경우, 노드들의 그룹 이동 특성을 활용한 콘텐츠 기반 라우팅 기법을 제안한다.

인접한 노드들 간에 기본 클러스터를 구성하고, 클러스터들이 이동하면서 유사한 이동 패턴을 갖고 수신하고자 하는 주제가 유사한 클러스터를 만나게 되면 보다 큰 규모의 클러스터를 구성한다. 군 환경을 고려한다면, 가장 기본이 되는 클러스터는 분대 혹은 소대 단위의 규모로 만들어질 것이며, 중대나 대대처럼 다수의 소대들이 함께 동일 작전을 수행하기 위해 이동하는 경우 소대 단위의 클러스터들을 묶어 보다 큰 중대 규모의 클러스터를 구성하게 될 것이다.

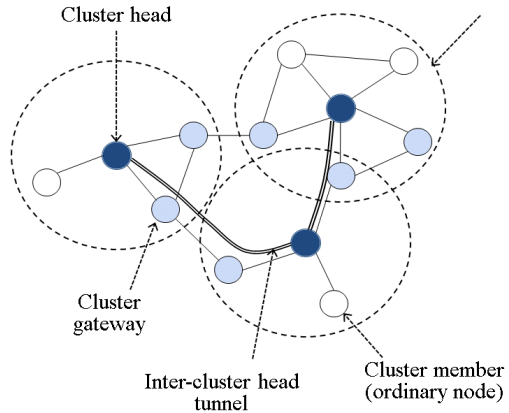


그림 1. 클러스터 구성 요소

본 논문에서는, 그림 1과 같이, 각 클러스터의 노드들을 ‘클러스터 헤드 (cluster head)’와 ‘클러스터 멤버 (cluster member)’로 구분된다. ‘클러스터 헤드’는 클러스터의 노드들을 대표하는 노드로 각 클러스터에 존재하는 노드 정보를 관리하며, 다른 클러스터의 노드와 멀티캐스트 통신을 할 수 있도록 클러스터 헤드 간에 Subscription 정보를 주고받는 역할을 한다. ‘클러스터 멤버’는 클러스터에 속한 일반 노드로, 클러스터 헤드의 관리 하에 Subscription 메시지와 Publication 메시지를 발송하고 클러스터 외부에서 발생한 Publication 메시지를 수신한다. 클러스터 멤버 중에 ‘클러스터 게이트웨이’로 분류되는 노드들이 있다. 이 노드는 주변 클러스터와 연결된 노드로 클러스터 간에 네트워크 정보를 전달하거나 데이터를 주고받을 경우에 전달(relay) 노드 역할을 한다.

Level-1 클러스터에서는 클러스터 헤드가 해당 Publication 메시지의 콘텐츠 가입자의 수에 따라 유니캐스트 혹은 지역적인 멀티캐스트를 사용한다. 무선 환경에서는 유니캐스트나 멀티캐스트나 모두 브로드캐스트의 형식으로 전달되므로 무선 자원을 소모하는 것은 유사하나, 네트워크 계층 이상에서의 처리 부담을 줄일 수 있으므로 콘텐츠 가입자의 수가 2 미만인 경우에는 유니캐스트를 사용한다.

광역에 산재한 다수의 노드들을 대상으로 다단계로 클러스터를 구성하게 되면 데이터의 이동 경로가 압축되어 데이터 전달의 효율성을 높일 수 있다. 특히, 이동 패턴과 관심 주제가 유사한 노드들이 클러스터를 구성하는 것이므로 데이터 전달 경로를 압축하는 효과가 더욱 증대된다. 특히, MANET과 같은 무선 환경에서 동일한 메시지를 수신하는 노드들을 하나의 클러스터로 묶을 경우, 무선 브로드캐스트 이의

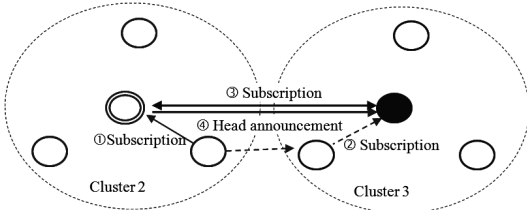


그림 2. Level-2 클러스터 형성 과정

(Wireless Broadcast Advantage) 효과에 의해 무선 링크 사용의 효율성을 높일 수 있다.

3.2 그룹 이동성을 이용한 클러스터링

클러스터는 동일한 콘텐츠에 대한 관심을 갖고 있고 이동하는 방향이 유사한 노드들 간에 구성된다. 가장 작은 단위의 클러스터를 ‘Level-1 클러스터’라고 칭하고, Level-1 클러스터들이 결합된 클러스터를 ‘Level-2 클러스터’라 칭한다. 클러스터의 범위는 단일 홉으로 통신이 가능한 노드들로 제한할 수 있으나, 보다 일반적인 경우를 고려하기 위해 h (단, h 는 0보다 큰 정수) 홉 범위를 갖는 것으로 가정한다.

Level-1 클러스터는 아무런 클러스터에도 소속되지 않은 노드들이 참여하여, 그림 2의 예와 같이, 다음의 세 단계를 거쳐 구성된다.

- 1 단계 Subscription 메시지 교환: 노드는 주기적으로 h 홉 범위로 Subscription 메시지를 브로드캐스트한다. Subscription 메시지에는 자신이 원하는 콘텐츠를 나열하고, 수식 (1)에 따라 계산된 웨이트를 제시한다.

$$Weight(n) = \sum \alpha_X R_X(n), \quad (1)$$

$$\forall X \in \{LEV, BAT, MEM, BW\}$$

노드 n 의 $Weight(n)$ 는 노드 n 이 가지는 자원 정보 $R_X(n)$ 에 서로 다른 α_X 의 가중치를 두어 계산한다. 여기서, LEV 는 해당 노드의 직급 혹은 계급을 의미하고, BAT 는 배터리의 잔여 에너지, MEM 은 메모리 용량, BW 는 사용할 수 있는 네트워크 대역폭의 최대량에 의미한다.

t 번 이상 동일한 콘텐츠를 요구하는 Subscription 메시지를 수신하면, 해당 노드와 클러스터 구성을 시작한다. 수신한 Subscription에 제시된 웨이트와 자신의 웨이트를 비교하여 클러스터 헤드를 결정하게 된다. 웨이트가 가장 크

다고 판단한 노드가 클러스터 헤드로 선택된다.

- 2 단계 클러스터 헤드 선정: 클러스터 헤드로 선택된 노드는 주변 h 홉 범위 내의 노드들에게 자신이 헤드임을 알리는 공지 메시지를 브로드캐스트한다.
- 3 단계 클러스터 헤드 공지: 클러스터 헤드로부터 공지 메시지를 받은 노드들은 자신의 클러스터 헤드 정보를 설정하고, 이후로 주기적으로 클러스터 헤드에게 Subscription 메시지를 보낸다. 각 노드가 소속된 클러스터를 구별하기 위해, Subscription 메시지에는 클러스터의 id가 포함되어 있다. 클러스터의 id는 클러스터 헤드의 id를 사용하는 것으로 한다.

클러스터 게이트웨이 노드들은 무선 통신의 특성상 주변 클러스터에서 교환되는 Subscription 메시지를 수신할 수 있으므로, 수신된 이웃 클러스터의 Subscription 메시지를 클러스터 헤드에게 전달한다. Level-1의 경우와 마찬가지로, t 번 동안 이웃 클러스터로부터 동일한 Subscription 메시지를 수신하면 유사한 이동성을 가진 것으로 판단하여, 그림 3에 제시된 바와 같이, Level-2 이상의 클러스터 구성을 시작한다.

- 1단계 이웃 클러스터 인지: 클러스터 게이트웨이 노드는 자신의 클러스터 id와 다른 클러스터 id를 갖는 Subscription 메시지를 수신하면 이 id를 자신의 Subscription 메시지에 포함하여 클러스터 헤드에게 전달한다. 그림 3의 경우를 보면, 클러스터 2의 노드가 보낸 Subscription 메시지 (그림 3의 ①)를 클러스터 3의 클러스터 게이트웨이가 수신하면, 클러스터 2의 id를 자신의 Subscription 메시지 안에 포함하여 클러스터 3의 헤드에게 전달한다 (그림 3의 ②)
- 2단계 클러스터 Subscription 메시지 교환 : 클러스터 3의 헤드는 전달된 Subscription 메시지 내에 포함된 클러스터 2의 헤드 id로 클러스터 3의 Subscription 정보를 종합하여 전송한다

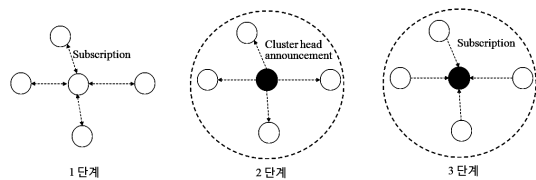


그림 3. Level-1 클러스터 구성 과정

(그림 3의 ③). 이 Subscription 메시지는 유니캐스트 라우팅을 사용하여 클러스터 2의 헤드에게 전달된다. 클러스터 2 헤드도 마찬가지로 자신 클러스터의 Subscription 정보를 종합하여 클러스터 3 헤드에게 전송한다.

- **3단계 클러스터 헤드 결정:** 각 클러스터 헤드는 수신한 Subscription 메시지와 자신 클러스터의 Subscription 메시지를 비교하여 수신하고자 하는 콘텐츠의 집합이 가장 큰 노드가 클러스터 헤드가 되고, 다른 클러스터들은 멤버가 된다.
- **4단계 클러스터 헤드 공지:** Level-1 클러스터 형성 과정과 마찬가지로, Level-2 클러스터 헤드로 선정된 클러스터 2 헤드가 클러스터 3의 헤드에게 자신이 헤드임을 알리는 메시지를 발송한다 (그림 3의 ④). Level-*k*의 클러스터에서는 각 Level-*(k-1)* 클러스터가 하나의 노드와 같이 추상화된다.

3.3 콘텐츠 기반 라우팅

3.3.1 Subscription 메시지 전달과 콘텐츠 라우팅 테이블 갱신

클러스터 멤버는 Subscription 메시지를 자신의 클러스터 헤드에게 주기적으로 전송하고, Subscription 메시지가 전달된 경로의 역방향으로 콘텐츠 기반 라우팅 테이블이 갱신되고 이 라우팅 테이블을 사용하여 Publication 메시지가 전달된다. 라우팅 테이블을 갱신하는 전략은 참고문헌 [5]에서 제시된 바와 같은 포함 관계를 적용할 수 있다.

그림 4의 예에서 보면, 클러스터 1의 헤드인 노드 1은 자신의 클러스터 멤버들의 Subscription 메시지를 종합하여 이웃 클러스터 헤드인 노드 2에게 전달한다. 이 때, 노드 1과 노드 2는 직접 연결되어 있지 않으므로 유니캐스트 라우팅 프로토콜에 따라 노드 6과 8을 거쳐 메시지가 전달된다.

클러스터 1의 Subscription 종합 메시지를 받은 노드 2는, 노드 1의 메시지와 자신의 클러스터인 클러스터

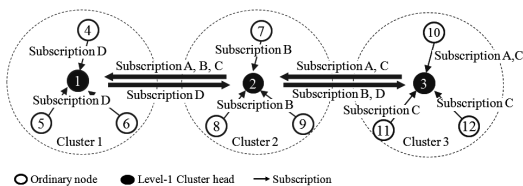


그림 4. 클러스터 내와 클러스터 간 Subscription 메시지 전달 과정

터 2의 노드들의 Subscription 메시지를 종합하여 이웃 클러스터의 헤드인 노드 3에게 전달한다. 그리고, 노드 2는 클러스터 2의 노드들의 Subscription을 종합한 것과 노드 3에게서 받은 메시지를 종합하여 노드 1에게 전달한다. 이렇게 Subscription 종합 메시지가 전달되는 과정에서 그림 5와 같은 콘텐츠 기반 라우팅을 위한 라우팅 테이블이 만들어진다.

다단계로 구성되어 있는 클러스터의 경우, Level-*k*의 클러스터 헤드는 해당 단계 클러스터의 Subscription을 종합하여 Level-*(k+1)* 클러스터 헤드에게 주기적으로 전송한다. 그리고, Level-*(k+1)*의 클러스터 헤드는 Level-*(k+1)* 클러스터 내 Subscription 정보를 종합한 메시지를 이웃 클러스터 헤드에게 전달한다. 클러스터 헤드는, 클러스터 멤버에게 라우팅 관련 제어 부담을 부여하지 않기 위해, 수신한 Subscription 정보를 클러스터 내에 재분배(redistribution)하지 않는다. 이 과정에서, 그림 9에 제시된 콘텐츠 기반 라우팅을 위한 테이블이 형성된다. 클러스터 3은 클러스터 2의 헤드를 Level-2 클러스터 헤드로 하여 2단계 클러스터를 구성하고 있으므로, 노드 3은 외부 클러스터의 Subscription 정보를 유지하지 않고, 자신이 헤드인 클러스터의 Subscription 정보만 유지하고, 자신의 클러

Content	Next hop
A	2
B	2
C	2
D	5,6

노드 1

Content	Next hop
A	3
B	7,8,9
C	3
D	1

노드 2

Content	Next hop
A	10
B	2
C	11,12
D	2

노드 3

그림 5. 그림 4를 고려한 클러스터 헤드의 콘텐츠 라우팅 테이블

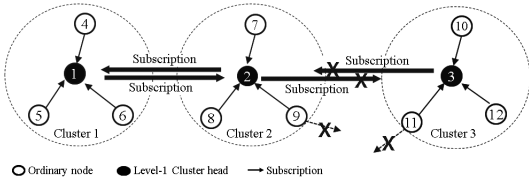


그림 6. 이웃 클러스터가 이동해서 연결이 되지 않는 경우

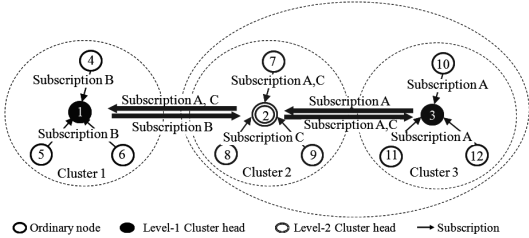


그림 7. 다단계 클러스터에서의 Subscription 메시지 전달 과정

스터에서 생성되는 콘텐츠에 대한 모든 전달을 노드 2에게 일임하는 것으로 한다.

3.3.1 Publication 메시지 전달

Publication 메시지를 생성하는 노드는 자신의 클러스터 헤드에게 Publication 메시지를 송신한다. 이를 수신한 클러스터 헤드는 콘텐츠 라우팅 테이블에 따라 자신의 클러스터 내의 노드들에게 메시지를 재분배하고, 해당 콘텐츠를 요청하는 다른 클러스터 헤드에게 데이터를 분배한다. 그림 8은 그림 4, 5에서 제시한 환경에서 메시지가 전달되는 과정으로 보여주고 있다. 노드 4에서 콘텐츠 A의 Publication 메시지가 발생하며, 일단 해당 클러스터의 헤드인 노드 1에게 전달한다. 노드 1은 콘텐츠 라우팅 테이블에서 해당 엔트리를 검색하여 노드 2에게 전달한다. 이 때, 노드 1과 노드 2가 직접 연결되어 있는 것이 아니므로 유니캐스트 라우팅을 활용하여 노드 6과 노드 8을 거쳐 노드 2에게 전달된다. 콘텐츠 A의 Publication 메시지를 수신한 노드 2는 자신의 클러스터에는 해당 콘텐츠를 요청한 노드가 없으므로 콘텐츠 라우팅 테이블의 해

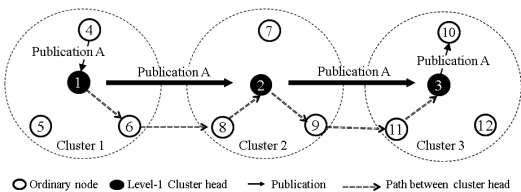


그림 8. 클러스터 내 그리고 클러스터 간 Publication 메시지 전달 과정

당 엔트리에 Next hop을 등록된 노드 3에게 전달한다. 이 때도 역시 유니캐스트 라우팅에 따라 노드 9와 노드 11을 거쳐 노드 3에게 전달된다. 노드 3의 콘텐츠 라우팅 테이블에서 콘텐츠 A의 수신자는 노드 10 밖에 없으므로 노드 10에게 유니캐스트한다.

다단계 클러스터 내에서는, Level-k 클러스터가 가장 먼저 Publication 메시지를 수신하고, 콘텐츠 라우팅 테이블에 근거하여 Level-(k-1) 헤드에게 Publication 메시지를 재분배하고, 이를 수신한 Level-(k-1) 클러스터 헤드가 자신의 클러스터 내에 해당 메시지를 재분배한다. 그림 10은 그림 7, 9에 제시된 환경에서 콘텐츠 A의 Publication 메시지가 발생했을 때 전달 과정을 보여 주고 있다. 노드 2가 노드 1으로부터 수신하여, 콘텐츠 라우팅 테이블에 따라 자신의 클러스터 내의 노드 7에게 전달하고, 노드 3에게 전달한다. 노드 3 역시 콘텐츠 라우팅 테이블에 따라 자신의 클러스터 내의 노드들에게 Publication 메시지를 전달한다. 이 때, 클러스터 3에서 콘텐츠 A를 수신해야 할 노드의 수가 3이 되므로 지역적인 멀티캐스트를 사용하여 노드 10, 11, 12에게 전달한다.

Content	Next hop
A	2
B	4,5,6
C	2

노드 1

Content	Next hop
A	3
B	1
C	8,9

노드 2

Content	Next hop
A	10,11,12
default	2

노드 3

그림 9. 그림 7을 고려한 클러스터 헤드의 콘텐츠 라우팅 테이블

3.4 클러스터 재구성

작전에 따라 그룹이 동적으로 이동하고 작전의 변경이나 상황의 변경에 따라 그룹의 관심 콘텐츠가 변경될 수 있어 클러스터를 재구성해야 할 필요가 발생

한다. 그룹이 이동하였거나 그룹 내 노드가 이동해서 연결이 단절되는 상황은 주기적으로 송수신하는 Subscription 메시지의 미수신으로 파악된다. 두 번 이상 Subscription 메시지가 수신되지 않으면 해당 콘텐츠에 대한 해당 클러스터 헤드 혹은 노드의 정보를 삭제하면 된다. 앞서 언급한 바와 같이, 콘텐츠 라우팅 테이블의 엔트리들은 저장 유효 기간이 설정되어 있으므로, 일정한 시간 동안 관련 Subscription 메시지를 수신하지 않으면 자동으로 엔트리가 삭제된다.

• 이웃 클러스터간의 연결 단절

그림 6은 그림 4의 예에서 클러스터 3에 해당하는 그룹의 이동으로 클러스터 2와 3 간의 연결이 끊어지는 사례를 보이고 있다. 클러스터 2의 헤드인 노드 2는 콘텐츠 A와 C에 대응하는 엔트리를 삭제하게 될 것이고, 클러스터 3의 헤드인 노드 3은 콘텐츠 B와 D에 대응하는 엔트리를 삭제할 것이다.

• Level-(k+1) 클러스터 내에 있던 Level-(k-1) 클러스터들의 연결 단절

그림 12는 그림 7의 환경에서 Level-2 클러스터 내에 있던 Level-1 클러스터들의 이동으로 연결이 되지 않는 사례를 보이고 있다.

클러스터 2와 클러스터 3이 Level-2 클러스터를 형성하고 있다가 클러스터 3의 이동으로 연결이 단절되었다. 그림 6의 경우와 마찬가지로 Subscription 메

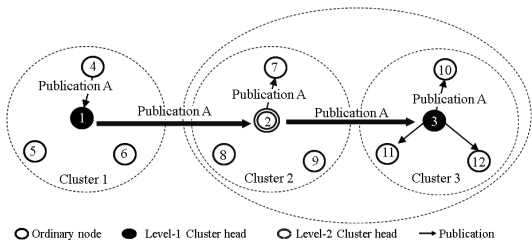


그림 10. 다단계 클러스터에서의 Publication 전달 과정

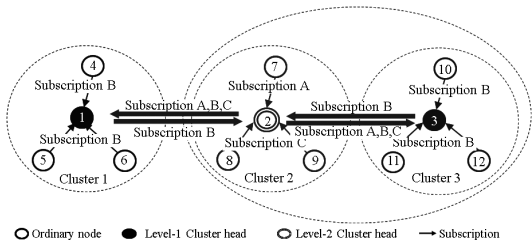


그림 11. Level-2 클러스터 내 Level-1 클러스터 간의 관심이 달라지는 경우

시지를 수신하지 못하면 콘텐츠 라우팅 테이블이 엔트리가 삭제되게 된다. 클러스터 3은 클러스터 게이트웨이인 노드 10을 통해 클러스터 1의 Subscription 메시지를 수신하게 되어 이웃 클러스터를 발견하게 된다. 그런데, 클러스터 2와는 달리 관심 콘텐츠에 일치하는 것이 없어서 Level-2 클러스터를 형성하지는 못한다.

• Level-(k+1) 클러스터 내에 있던 Level-(k-1) 클러스터들의 관심 콘텐츠 변경

그림 11은 그림 6의 환경에서 여러 가지 이유로 클러스터 3의 노드들의 관심 콘텐츠가 변경되게 되면, Subscription 메시지를 통해 Level-2 클러스터 헤드인 노드 2에게 알려진다. 이후로는 클러스터 2와 클러스터 3 사이에 형성된 Level-2 클러스터는 해체된다. 노드 2는 클러스터 1로부터 수집된 Subscription 정보까지 종합하여 클러스터 3에 전달한다. 그리고, 클러스터 1에게도 클러스터 3의 변경된 관심 콘텐츠를 반영하여 수정된 Subscription 메시지를 전달한다.

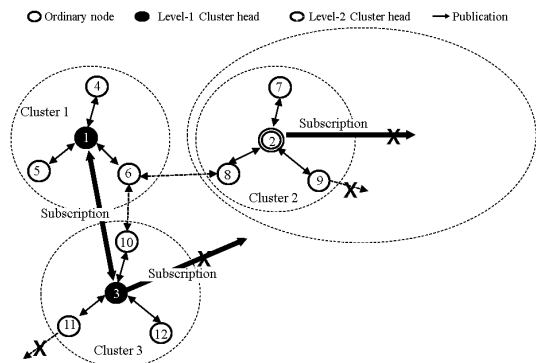


그림 12. Level-2 클러스터 내 Level-1 클러스터가 이동해서 Level-2 클러스터가 해체되는 경우

3.5 메시지

제한된 기법에서 사용되는 메시지는 표 1과 같다. 표 1에서 제시하는 바와 같이 4가지 종류의 메시지를 사용하며, 각각의 메시지 타입에 대한 구조는 다음과 같다.

3.5.1 Node_Subscription 메시지

각 노드가 수신하고자 하는 콘텐츠를 알리는 메시지로, 초기에 클러스터가 구성되기 전에 클러스터를 구성하는 용도로 사용된다. 그리고, 클러스터가 형성된 이후에는 클러스터 헤드가 해당 클러스터 내 콘텐츠 라우팅 테이블을 갱신하는 용도로 사용하게 되고,

표 1. 메시지의 정의

메시지의 종류	설명
Node_Subscription	노드의 Subscription 메시지
Cluster_Subscription	클러스터 헤드 간의 Subscription 메시지
Publication	콘텐츠를 포함한 메시지
Head_Announcement	클러스터 가입 확인 메시지

클러스터 내 멤버의 존재 여부 혹은 이웃 클러스터의 존재를 파악하고 확인하는데 사용된다. 이 메시지에는 Node_ID와 Cluster_ID, Neighbor_Cluster_ID, Content_ID, Weight 등이 포함된다. Node_ID와 Cluster_ID는 각각 메시지를 생성하는 노드의 id와 클러스터 id를 의미하며, Neighbor_Cluster_ID는 클러스터 게이트웨이 노드가 수신한 이웃 클러스터의 Cluster_ID이다. Weight는 수식 (1)에 따라 계산된 값이며, 클러스터 헤드 선출 시에 이용된다. Content_ID는 수신하고자 하는 콘텐츠의 정보를 나타낸다.

3.5.2 Cluster_Subscription 메시지

클러스터 헤드 간에 주고받는 Subscription 메시지로, 클러스터의 헤드와 멤버들이 수신하고자 하는 콘텐츠를 종합하여 담고 있다. 그림 4의 클러스터 3의 노드 3이 클러스터 2의 노드 2에게 Subscription 종합 메시지를 보내는 사례에서 볼 수 있듯이, 클러스터 멤버들이 서로 동일하거나 유사한 콘텐츠를 원할 경우, 클러스터 헤드는 이를 종합하여 클러스터의 Subscription 메시지로 생성한다. Sequence_Number를 사

용하여 클러스터 헤드가 중복된 Cluster_Subscription 메시지를 받는 것을 막고, Content_ID라는 필드에 클러스터의 노드들이 원하는 콘텐츠 정보를 나열한다.

3.5.3 Head_Announcement 메시지

클러스터 형성 과정에서 클러스터 헤드로 선정된 노드가 나머지 노드들에게 헤드가 확정되었음을 알리는 메시지이다. 이 메시지 안에는 Cluster_ID가 포함되는데, 클러스터 헤드로 선정된 노드의 id를 사용한다.

3.5.4 Publication 메시지

콘텐츠를 포함한 데이터 메시지이다. 메시지의 라우팅을 위해 헤더에 메시지 내 콘텐츠들을 표시하는 Content_ID가 있다. 메시지의 중복 전송을 막기 위해 Sequence_Number를 포함한다.

3.6 하이브리드 네트워크에서의 멀티캐스트와 콘텐츠 기반 라우팅의 결합

본 논문에서 제시하는 콘텐츠 기반 라우팅 기법의 운용 범위는 MANET으로 제한되지만, 그림 13과 같이 MANET과 유선망 혹은 무선 인프라스트럭처와 연결되는 환경에서의 연동이 가능하다. 유선망에서는 관심 콘텐츠별로 멀티캐스트 주소를 할당하고 이를 활용해서 유선 망 내에서의 메시지 전달이 이루어지도록 하고, 유선망과 MANET 사이의 게이트웨이 역할을 하는 무선 노드 (Gateway Node, GN)부터 그 이하 MANET에서는 본 논문에서 제안하는 콘텐츠 기반 라우팅을 적용한다.

유선망에서의 콘텐츠 기반 라우팅 기법과 멀티캐스

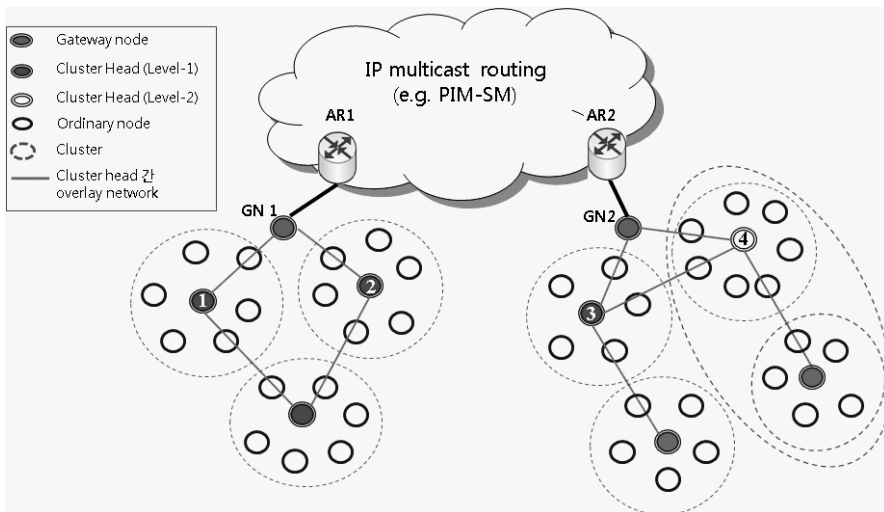


그림 13. 유선 망과 MANET 과의 콘텐츠 기반 라우팅 연동 방안

트를 결합하는 기법은 이미 여러 건 제안되어 있으며, 참고문헌 [6]에서는 콘텐츠 별로 멀티캐스트 주소를 효율적으로 할당하는 기법이 제안되어 있다. 멀티캐스트 그룹 멤버가 고정되어 있고 안정적인 연결이 보장되는 환경에서는 [6]에서 제안하는 기법을 사용하여 주소를 할당하고 수신자들을 관리하는 것이 가능하지만, 모든 노드들이 동적으로 움직이는 환경에서 적용하기가 어렵다.

그림 14에 제시된 바와 같이, MANET과 유선망을 연결하는 게이트웨이 노드는 두 개의 테이블을 관리한다. 첫째, 유선망에서 콘텐츠 별로 관리되는 멀티캐스트 주소 정보를 가지고 있으며, MANET에서 클러스터 헤드 등을 통해 전달되어 온 Subscription 정보를 종합한 테이블을 갖고 있고, 주제 별로 할당된 멀티캐스트 주소에 가입이 되어 있다. MANET에서 해당 콘텐츠 메시지가 발생하면 할당된 멀티캐스트 주소를 목적지로 하는 메시지를 만들어서 유선망으로 전송한다. 유선망에서 멀티캐스트되어 무선 게이트웨이 노드가 수신한 콘텐츠 메시지는 무선 게이트웨이 노드의 콘텐츠 라우팅 테이블에 근거하여 해당하는 다음 노드인 노드 1 혹은 노드 2에게 전달한다.

Content	Multicast address	Next hop
C1	224.0.0.1	AR1
C2	224.0.0.3	AR1
C3	224.0.0.1	AR1
C4	224.0.0.3	AR1

콘텐츠와 멀티캐스트 주소 매핑 테이블

Content	Next hop
C1	1
C2	2
C3	1
C4	1

콘텐츠 라우팅 테이블

그림 14. MANET과 유선 망과의 게이트웨이 노드 GN1의 콘텐츠 기반 라우팅 자료

IV. 성능 분석

4.1 시뮬레이션 환경

Qualnet 시뮬레이터^[10]를 사용하여 제안하는 기법의 성능을 분석한다. 제안하는 기법의 성능의 비교 대상으로, MANET 환경을 위한 Content-Based Routing

기법^[7]과 Hybrid Publish/ Subscribe 기법^[8]의 성능과 비교한다. 제안하는 방법은 범례에 GM-SCBR (scalable content-based routing using group mobility)로 표기하고, 기존의 콘텐츠 기반 라우팅은 각각 CBR, Hybrid P/S로 표기한다. 특히, 제안된 기법은 클러스터의 최대 Level에 따라 두 가지로 구분하며, 클러스터의 최대 Level을 CL로 표기한다. 표 2는 본 성능 평가에서 사용된 시뮬레이터 Qualnet의 환경 변수 값을 나타낸다.

네트워크 크기를 3500m × 3500m로 설정하고, IEEE 802.11b의 무선 액세스 기술을 사용하였고, 전송 거리가 200m인 노드들을 50에서 250으로 증가시키면서 랜덤하게 분포시켰다. 클러스터의 노드 수를 10개로 고정하였고 Level-1 클러스터의 경우만 실험하였다. Publication 및 Subscription 메시지의 크기는 참고문헌 [8]과 동일하게 각각 10 Kbytes와 512 Kbytes로 설정하였으며, 각각 초당 1개와 0.5개의 메시지가 발생한다. 콘텐츠 라우팅 테이블의 엔트리의 유효 기간을 10 초로 설정하여 주기적으로 갱신되지 않는 엔트리는 자동으로 삭제되도록 하였다.

그룹 이동성을 모사하기 위해서 Reference Point Group Mobility (RPGM) 모델^[11]를 적용하였다. RPGM 모델은 MANET 환경에서 그룹 이동성을 기반으로 한 이동성 모델로 각 그룹마다 리더에 의해 노드들이 움직이게 된다. 그룹 리더는 그룹의 이동성인 속도, 방향 등을 결정하고, 미리 정해진 좌표로 그룹 노드들과 함께 움직이거나 Random Waypoint Mobility 모델에 따라 그룹 노드들과 함께 이동한다. 다수의 Reference Point (RP)는 그룹 리더 주위에 위

표 2. 시뮬레이션 환경변수

환경 변수	값
네트워크 크기	3500m × 3500m
노드의 수	50 ~ 250
그룹의 노드 수	10
Publication 생성률	매 초마다 1개 메시지
Subscription 생성률	매 2초마다 1개 메시지
Subscription 유효 기간	10 초
Publication 메시지 크기	10 Kbytes
Suscription 메시지 크기	512 Kbytes
무선 신호 범위	200 m
MAC 계층 프로토콜	IEEE 802.11b
Mobility model	Reference Point Group Mobility (RPGM) model
시뮬레이션 시간	600 초

치하게 되며, RP와 그룹 리더 사이의 거리나 방향은 시뮬레이션 기간 동안 정해져 있다. 각 그룹의 노드들은 RP 중에 하나를 선택하여 그룹 리더 주위를 움직이며, 그룹 리더의 위치가 새로 갱신될 때마다 새로운 RP를 선택하여 움직인다.

4.2 성능분석 측정 기준

제안하는 기법의 성능을 분석하기 위해 다음의 두 가지 요소에 대한 평가를 시행하였다.

- 메시지 전달율 (message delivery ratio)

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{N_R(i)}{\sum_{j=1}^k N_S(j)}$$

여기서, n 은 네트워크 내의 노드의 개수를 의미하고, $N_R(i)$ 는 노드 i 가 수신한 Publication 메시지 개수를 의미하고, $N_S(j)$ 는 Publication 메시지 송신자인 노드 j 가 발송한 Publication 메시지의 개수를 의미한다. 메시지 전달율은 송신자들의 Publication 메시지 중 각 수신자가 얼마의 비율로 수신했는지 측정하고 이의 평균값을 계산한 것이다. Publication 메시지들이 얼마의 비율로 수신자에게 전달되었는지를 측정하는 것을 목적으로 한다.

- 제어 메시지 부담 (control message overhead)

$$= \frac{\sum_{i=1}^n N_C(i)}{\sum_{i=1}^n N_R(i)}$$

여기서 $N_C(i)$ 는 노드 i 가 수신하거나 발송한 모든 control 메시지 개수를 의미한다. 실제 데이터인 Publication 메시지가 수신자에게 전달되기 위해 필요한 제어 메시지의 양을 계산하기 위한 것으로, 프로토콜이 유발하는 제어 부담을 비교하기 위한 측정치이다.

4.3 성능분석 결과

4.3.1. 네트워크 내의 노드 수 변화에 따른 성능분석

그림 15는 네트워크에 존재하는 노드 수를 증가시키면서 제안된 기법과 다른 기법들의 메시지 전달율을 비교하는 그래프이다. 노드의 이동성은 보행 속도와 비슷한 2m/s로 고정하였고, 노드의 개수를 50에서 250개로 50씩 증가시켜 가면서 메시지 전달율과 제어 메시지 부담을 측정하였다.

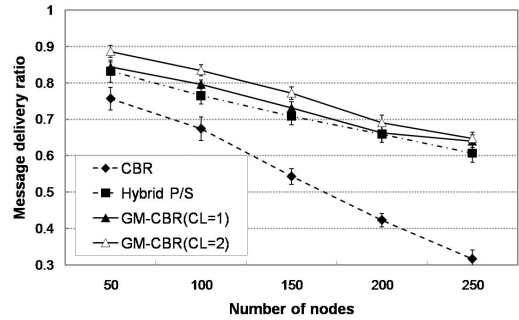


그림 15. 노드의 개수 변화에 따른 메시지 전달율 변화

그림 15에서 노드의 개수가 50개일 경우, CBR은 약 76%, Hybrid P/S 기법은 약 83%, GM-SCBR (CL=1)은 약 84% 정도의 전달율을 보인다. 노드의 수가 증가함에 따라 세 가지 기법 모두 메시지 전달율이 점차 감소하는 것을 볼 수 있다. CBR의 경우, 150개 이상의 노드가 존재하는 환경에서는 메시지 전달율이 50% 이하로 감소하는 것을 볼 수 있다. CBR에서는 네트워크의 모든 노드가 자신이 원하는 메시지를 수신하기 위해 Subscription 메시지를 네트워크에 플러딩하기 때문에 충돌이 발생하여 메시지가 손실되는 경우가 많아지기 때문이다.

클러스터링 기법을 사용하는 Hybrid P/S 기법과 GM-SCBR에서는, 클러스터 헤드에 의해 Subscription 메시지가 관리되고 네트워크 전체로 플러딩되지 않기 때문에, 메시지 전달 과정에서 충돌로 인한 손실을 크게 줄일 수 있으므로, 노드 수가 증가하여도 메시지 전달율이 CBR에 비해 상대적으로 높음을 알 수 있다. 특히, GM-SCBR (CL=2)는 다단계 클러스터로 구성되므로 클러스터의 헤드의 수가 감소하고 Publication 메시지의 전달이 클러스터 내로 제한되기 때문에 Publication 메시지 전달 과정에서 충돌로 인한 손실이 발생할 확률이 낮아지므로 메시지 전달율이 더욱 높게 나타난다.

그림 16은 노드 수의 증가에 따른 제어메시지 부담의 변화를 보여 주고 있다. CBR 기법은 메시지 전달율이 떨어지는 원인과 마찬가지로, 모든 노드들이 Subscription 메시지를 네트워크에 플러딩하기 때문에 이 메시지를 수신하는 노드들이 송신자를 향해 계속해서 플러딩하므로 네트워크 내에 전달이 이루어지는 제어 메시지의 수가 많다. 클러스터링 기법을 이용하는 Hybrid P/S 기법과 GM-SCBR 기법은 CBR에 비해 Subscription 메시지가 전달되는 범위가 제한되므로 상대적으로 매우 낮은 제어 메시지 부담을 보인다.

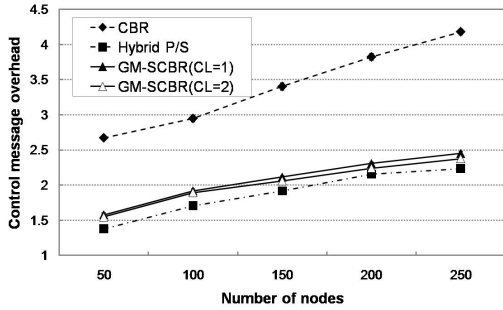


그림 16. 노드의 개수 변화에 따른 제어 메시지 부담 변화

이러한 현상은 콘텐츠의 포함 관계에 따라 동일한 클러스터에 속한 클러스터 멤버가 같은 콘텐츠를 요구할 경우, 클러스터 헤드에 의해 각 노드의 Subscription 메시지가 클러스터의 Cluster_Subscription 메시지로 종합되어 네트워크에 전달되기 때문이다.

GM-SCBR과 Hybrid P/S 기법을 비교하면, Hybrid P/S 기법이 보다 낮은 제어 부담을 갖는다. 이는, GM-SCBR이 클러스터를 구성하고 있는 노드들과 하위 Level의 클러스터가 이동할 것을 고려하여 주기적으로 Subscription 메시지를 플러딩하도록 하였으므로, 보다 정적인 환경을 고려하는 Hybrid P/S 기법에 비해 제어 메시지 부담이 크게 나타난 것이다. GM-SCBR에서 CL=2인 경우가 CL=1인 경우보다 제어 메시지 부담이 낮게 나온 것은, 개별 노드의 Subscription 메시지는 클러스터 내에서만 전달되고 클러스터 헤드는 이를 하나의 Cluster_Subscription 메시지로 종합하게 된다. 그리고, Level이 커질수록 클러스터 헤드의 수가 줄어들게 되고 Cluster_Subscription 메시지의 수도 줄어들게 되기 때문이다.

4.3.2 노드의 이동성 변화에 따른 성능 분석

네트워크 내 노드의 개수가 100개인 환경에서 노드들의 이동 속도를 증가시켜 가면서 메시지 전달율과 제어 메시지 부담에 대해 측정하였다. 노드는 보행 속도인 2m/s를 시작으로 하여 5m/s씩 증가시켜 가면서 전차의 최대 속도와 유사한 22m/s까지 증가시켰다.

그림 17에서 보듯이, 노드의 이동 속도가 증가할수록 모든 기법의 메시지 전달율이 감소한다. 이것은 노드의 이동성이 많을수록 네트워크의 토폴로지가 자주 변하기 때문에 메시지 전달 자체가 실패하는 경우가 많기 때문이다. CBR 기법의 경우는, 메시지 전달율이 급격하게 감소하여 22 m/s에 이르면 메시지 전달율이 30% 이하로까지 감소하고 있다. 이는 개별 노드가 Publication 메시지 전달 경로에 자신의 이동을 반영

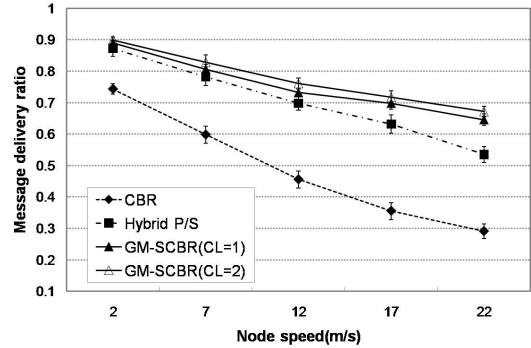


그림 17. 노드의 이동성 변화에 따른 메시지 전달율 변화

할 수 있도록 자주 Subscription 정보를 갱신하여야 하는데 이러한 빠른 갱신이 이루어지지 않아서 Publication 메시지가 손실되는 경우가 다수 발생하기 때문이다.

GM-SCBR은 노드의 이동성이 높은 환경에서도 60% 이상의 메시지 전달율을 가지는 것을 알 수 있다. 특히, CL=2일 경우에 더 높은 메시지 전달율을 보이고 있는데, 이는 클러스터 확장으로 인해 개별 노드의 이동이 클러스터 내로 제한되고 클러스터 내에서는 무선 브로드캐스트에 기반한 유니캐스트와 멀티캐스트가 적용되므로 클러스터 헤드까지 Publication 메시지가 전달되면 클러스터 노드까지의 Publication 메시지 전달이 보장될 수 있기 때문이다. Hybrid P/S 기법은 CBR에 비해 나은 데이터 전달율을 보이지만, 제안하는 기법에 비해 낮은 전달율을 보이고 있다. 이는 클러스터 내에서는 트리를 기반으로 Publication 메시지가 전달되므로 트리 상의 노드의 이동으로 경로가 끊어지게 되면 이로 인해 영향을 받는 노드들의 수가 많아지기 때문이다.

그림 18은 노드의 이동 속도 증가에 따라 요구되는 제어 메시지 부담의 변화를 보여주고 있다. 모든 기법이 노드의 그룹 이동 속도가 증가할수록 제어 메시지 부담이 증가하는 것을 볼 수 있다. CBR의 경우 가장 높은 제어 메시지 부담을 보이고 있고, Hybrid P/S 기법이 가장 낮은 제어 메시지 부담을 보이고 있다. Hybrid P/S 기법은 노드들의 이동성에 크게 영향을 받지 않는 Subscription 메시지 전달 정책을 갖고 있어 타 기법에 비해 제어 메시지 부담이 작고 속도 증가에 따른 제어 메시지 증가 비율도 크지 않다.

GM-SCBR의 경우 CBR보다 낮은 제어 메시지 부담을 보이고 있지만, 노드의 이동 속도가 증가할수록 Hybrid P/S 기법보다 높은 제어 메시지 부담을 보이고 있다. 클러스터가 이동하면서 다른 클러스터와 연

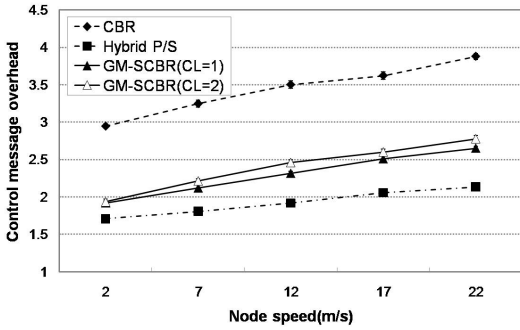


그림 18. 노드의 이동성 변화에 따른 제어 메시지 부담 변화

결될 때마다 클러스터 헤드 간에 종합된 Cluster_Subscription 메시지를 주고받기 때문에 제어 메시지가 증가하는 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 미래 군의 네트워크 중심전 환경을 고려하여, 군 MANET 환경에 초점을 맞춘 콘텐츠 라우팅 기법을 제안하였다. 군 MANET의 특성에 대한 실제 추적 실험 결과 그룹으로 이동하는 특성이 파악되어, 이를 활용한 기법을 제안하였다. 노드들의 그룹 이동성과 그룹 내 노드들의 관심 콘텐츠를 기준으로 클러스터를 구성하는 기법을 사용하여 그룹 이동에 적합한 콘텐츠 기반 라우팅 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 콘텐츠 기반 라우팅 기법은 MANET 환경을 고려하여 설계되었지만, MANET과 유선 망과의 연결 지점에 있는 게이트웨이 노드에 필요한 정보를 설정함으로써 유선망의 멀티캐스트 기법과 함께 연동하는 것이 가능하다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석에서, 기존의 개별 노드들만을 고려한 콘텐츠 라우팅 기법과 하이브리드 기법과의 성능 비교에서 본 논문에서 제안하는 기법이 네트워크 내의 노드의 수가 증가하거나 노드의 이동 속도가 증가하더라도 높은 메시지 전달율을 보였다.

본 논문에서는 그룹의 이동성과 관심 콘텐츠의 유사성에 기반한 클러스터 구성에 보다 집중된 콘텐츠 라우팅 기법을 제안하였으므로, 콘텐츠 기반 라우팅 테이블의 효율적인 관리는 많이 연구되지 못했다. 앞으로의 연구 주제로, 기존의 콘텐츠 라우팅 테이블의 정보를 효율적으로 관리하는 기법들에 대한 분석과 연구를 통하여, 본 논문에서 제안하는 콘텐츠 기반 라우팅 기법의 효율성과 확장성을 보다 높이도록 할 것이다. 본 논문에서는 유선 망 혹은 무선 인프라스트럭처

처와의 통합 운영 방안을 제시하고 있지만, 가능성만을 타진하고 있을 뿐 상세하게 제시하지 않고 있다. 무선망 게이트웨이 노드를 인지하고 이를 고려한 클러스터 헤드와 무선망 게이트웨이 노드 간의 라우팅 기법을 추가하는 등 인프라스트럭처와의 연동 방안에 대한 보다 구체적인 연구를 진행할 계획이다.

참고 문헌

- [1] David S. Albert, John j. Garstka, and Frederick P. Stein, "Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority," CCRP Publication, 2000.
- [2] Y. Yi, M. Gerla, and J. Park, "Team Oriented Multicast: a Scalable Routing Protocol for Large Mobile Networks," Proc. Networked Group Communications, October 2003.
- [3] E. Egbogan, A. Fapojuwo, and N. Chan, "Scalable Team Oriented Multicast Routing Protocol for Tactical Mobile Ad hoc Networks," Proc. Milcom, 2008.
- [4] Y. J. Lin, and N. Natarajan, "Secure content based routing in Tactical mobile ad hoc networks," Proc. Milcom, 2006
- [5] A. Carzaniga, M. J. Rutherford, and A. L. Wolf, "A Routing Scheme for Content-Based Networking," Proc. INFOCOM 2004
- [6] S. Erramilli, S. Gadgil, N. Natarajan, "Efficient Assignment of Multicast Groups to Publish-Subscribe Information Topics in Tactical Networks," Proc. Milcom 2008
- [7] M. Petrovic, V. Muthysamy, and H. Jacobsen, "Content-Based Routing in Mobile Ad Hoc Networks," Proc. MobiQuitous 2005
- [8] Sanghyun Yoo, Jin Hyun Son, and Myoung Ho Kim, "A scalable publish/subscribe system for large mobile ad hoc networks," Journal of Systems and Software, July 2009
- [9] X. Lu, Y. Chen, I. Leung, Z. Xiong, and P. Lio, "A Novel Mobility Model from Heterogeneous Military MANET Trace," Proc. of ADHOC-NOW 2008
- [10] Scalable Networks, Qualnet, <http://www.scalable-networks.com/products/qualnet/>
- [11] M. Zhang, and P. H. J. Chong, "Performance

Comparison of Flat and Cluster-Based Hierarchical Ad Hoc Routing with Entity and Group Mobility,” WCNC 2009

고 광 태 (Kwangtae Ko)

정회원



2010년 2월 아주대학교 석사
현재 삼성전자
<관심분야> 멀티캐스트, 무선 네트워크, 콘텐츠 기반 라우팅

조 영 중 (Young-Jong Cho)

중신회원



1985년 2월 KAIST 석사
1990년 2월 KAIST 박사
1996년 3월~현재 아주대학교
교수
<관심분야> 멀티캐스트, 무선 네트워크, 트래픽 모델링

강 경 란 (Kyungran Kang)

정회원



1994년 2월 KAIST 석사
1999년 2월 KAIST 박사
2004년 3월~현재 아주대학교
부교수
<관심분야> 멀티캐스트, 이동 네트워크, 전송 통신