논문 2005-42TC-7-2

모바일 Ad-hoc 네트워크를 위한 지오멀티캐스트 구조 및 프로토콜

(Geomulticast Architectures and Protocols for Mobile Ad-hoc Networks)

안 병 구*, 안 홍 영*

(Beongku An and Hongyoung Ahn)

요 약

지오멀티캐스트는 특별한 지역의존 멀티캐스트 기술이며, 여기서 메시지는 특별한 지역 내에 있는 특별한 사용자 그룹들에게 멀티캐스트 된다. 본 논문에서는 모바일 ad-hoc 네트워크에서 효율적인 비용과 높은 메시지 전송률을 가지는 지오멀티캐스트 구조 및 프로토콜이 제안된다. 또한, 모바일 ad-hoc 네트워크에서 지오멀티캐스트 서비스를 지원하기 위해서 사용되는 방법들의 성능을 평가하기 위한 구조를 정의하고 제안한다. 이러한 성능평가 구조에 기초하여 제안된 지오멀티캐스트 방법 및 프로토콜들의 성능을 평가하고 이를 기반으로 하여 여러 가지 디자인 및 동작 파라미터들의 영향에 관하여 고찰 점검한다.

Abstract

Geomulticast is a specialized location-dependent multicasting technique, where messages are multicast to some specific user groups within a specific zone. In this paper, we propose architectures and protocols for supporting geomulticast services in a cost effective way and with high message delivery accuracy in the challenging environment of mobile ad-hoc networks. Furthermore, we define and formulate a framework in order to evaluate the performance of the design alternatives used for the support of geomulticast services in mobile ad-hoc networks. Based on this framework, we evaluate the performance of the proposed architectures and protocols and we obtain some insight about the impact of the various design and operational parameters on the overall system performance.

Keyword: Geomulticast, multicast, Ad-hoc networks, Location-dependent service

I. 서 론

지오멀티캐스트(geomulticast)는 특별한 지역의존 멀티캐스트(multicast) 기술이며, 여기서 메시지는 특별한 지역내에 있는 특별한 사용자 그룹들에게 멀티캐스트 된다. 기존의 멀티캐스트 프로토콜들이 멀티캐스트 주소를 가진 노드들의 집합으로 멀티캐스트 그룹을 정의하고, 지오캐스트(geocast)는 어떤 주어진 시간에 어떤 특별한 지역내에 있는 모든 노드들의 집합으로 지오캐스트 그룹을 정의하는 반면에, 지오멀티캐스트 그룹은 어떤 특별한 지역내에 있는 어떤 특별한 그룹의 노드들의 집합으로 정의된다.

일반적으로 멀티캐스트는 통신비용(cost) 측면에서

* 평생회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
(Dept. of Computer and Communications Eng., Hongik University)
※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구지원사업 (R01-2005-000-10902-0)의 지원으로 수행되었음.
접수일자: 2004년9월1일, 수정완료일: 2005년7월11일

유니캐스트나 브로드캐스트 보다 더 유용하다. 모바일 ad-hoc 네트워크는 동적(dynamic)이고, 때때로 급속하게 변화하며, 랜덤(random) 다단계 홉(hop) 구조를 가지며, 각 노드들은 무선링크를 통해서 통신을 하기 때문에 비용의 고려는 매우 중요한 포인트이다. 지난 몇 년 동안 지오캐스트 문제는 활발한 연구주제가 되어 왔다. 논문 [1]에서는 고정된 하부구조를 가지는 네트워크에서 GPS (Geographic Position System) 기반 지오그랙픽(geographic) 주소화(addressing)와 라우팅에 대하여 연구하고 고려하였다. 고정된 지오그래픽 라우터들이 존재한다는 가정을 가지고 물리적인 위치 개념을 현재 인터넷 디자인으로 융합하는 방안에 대하여 집중 연구 하였다. 지오캐스트 서비스를 지원하기 위하여 저자들은 위치인지(location aware) 라우터, IP 멀티캐스트를 변형하는 멀티캐스트 라우팅, 그리고 확장된 DNS(Domain Name Service)를 사용하였다.

논문 [2]에서는 고정된 하부구조를 가지지 않는 네트워크에서 지오캐스트 프로토콜이 고려되어진다. 이 논문에서는 어떤 특별한 영역내에 있는 모발 노드에게 패킷을 전송하기 위해서 플러딩(flooding) 알고리즘이 사용 되었다. 정방향 영역(forwarding zone) 개념을 가지고 단지 지오캐스트 플러딩과 비교하여 적은 수의 모바일 노드의 지원에 의하여 메시지가 전송(forward)된다. 최근에 모바일 ad-hoc 네트워크에서는 라우팅의 수단으로서 지오그래픽 위치의 사용이 큰 이슈로 떠오르고 있다. ZRP[3]와 GPS 큐리 최적화 구조에 기초를 둔 논문 [4]에서 저자들은 루트 큐리 수를 줄이기 위한 어떤 라우팅 구조를 제안 했다. 이 방법은 ZRP의 상대적인 부분의 적응을 조사하고 이웃한 모바일 노드의 위치를 사용한다. 따라서 ZRP 프로토콜 내에서 GPS의 장점을 취한다. 논문 [5]에서 라우팅 프로토콜은 요구기반 방식 프로토콜(proactive protocol)들의 장점을 규합하는데(예: Dynamic Source Routing (DSR)[6]), 이들은 위치기반 정보를 사용하므로써 시간지연, 자원(bandwidth) 및 에너지를 줄일 수 있는 향상된 성능을 얻을 수 있다. Ad-hoc 네트워크에서 지오그래픽 위치 정보의 유용한 전달을 위한 어떤 구조가 논문 [7]에서 소개된다. 이 구조들의 기본원리는 각 노드가 그 자신의 이동성(mobility)에 따라서 그 자신의 전달주기를 지역적으로 채택 결정한다. 그래서, 멀리 떨어진 두 노드들은 가까이 있는 두 노드들보다 낮은 전달주기를 가지고 그 자신들의 위치정보를 갱신(update)한다. 이러한 전달 개념을 가지고 몇몇 다단계(multi-point) 통신 프로토콜들이 다음 논문들에 제안 되었다[8].

본 논문에서는 모바일 ad-hoc 네트워크에서 효과적인 비용 절약 방법과 높은 메시지 전송률을 가진 지오멀티캐스트 서비스를 지원하기 위한 구조와 프로토콜을 제안한다. 모바일 ad-hoc 네트워크에서는 고정된 기지국들이 없다. 그러나 만약에 여러 모바일 노드들을 클러스터 하는 클러스터링 기술을 사용 한다면 우리는 이러한 셀룰러 네트워크의 개념을 확장 적용 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 목적을 얻기 위해서 이동성 기반 클러스터링 (mobility based clustering (MBC))[9] 방법을 사용 하는데, 이는 셀룰러 네트워크에서 처럼 지오멀티캐스트 서비스의 지원을 하기위한 기반 구조로서 역할을 한다. 기반 기술로서 이러한 구조를 사용하여 우리는 방향성 안내 라우팅(direction guided routing(DGR)) 프로토콜을 제안 하는데, 이 프로토콜은 어떤 안내된(guided) 영역 내에서 클러스터헤더 기반의 제한된 그물(mesh) 구조를 형성한다. DGR의 목적은 신뢰성과 적은 오버헤더(overhead)를 가지고 패킷을 전송하는 것이다. 두 개의 지오멀티캐스트 멤버십 관리 전략이 다루어지고 조사되어 진다. 더욱이 모바일 ad-hoc 네트워크에서 지오멀티캐스터 서비스를 지원하기 위해서 사용되어진 방법들의 성능을 평가하기 위한 구조를 정의하고 형성한다. 이러한 구조를 기반으로 하여 우리는 제안된 구조들(architectures)과 프로토콜의 성능을 평가하고, 수치적인 연구를 통하여 이러한 디자인 파라미터들과 동작특성들이 시스템 성능에 어떠한 영향을 주는지에 대한 안목(insight)을 얻는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II 장은 지오멀티캐스트 서비스를 지원하기위한 구조들과 프로토콜들을 상세하게 설명한다. 제 III 장에서 지오멀티캐스트의 구조들(architectures) 과 프로토콜을 평가하기 위해서 사용되어지는 성능분석(analysis) 구조를 제안한다. 제 IV 장은 수치적인 결과들에 대한 논의를 하며, 제 V 장에서 결론을 맺고자 한다.

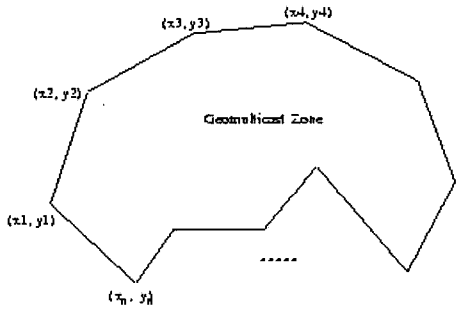
II. 지오멀티캐스트 구조와 프로토콜

다음에 우리는 모바일 ad-hoc 네트워크에서 특별한 사용자 그룹에게 효과적인 비용의 지오그래픽 메시지

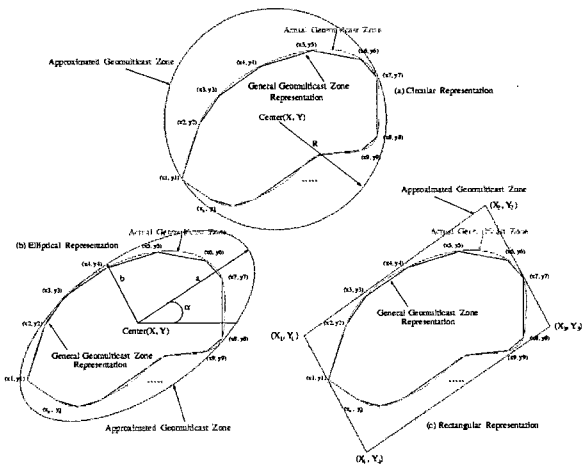
서비스를 제공하기 위하여 제안된 구조를 설명한다.

2.1 지오멀티캐스트 영역 형성 및 표현

어떤 송신자는 단지 어떤 특정한 지역 내에 있는 모바일 노드들에게 메시지를 전송하기를 원한다. 이러한 경우에 우리는 그 특정한 지역의 영역 형성 및 표현이 요구된다. 일반적으로 지오멀티캐스트 영역들은 그림 1(a) 처럼 GPS 좌표를 사용하는 n-측면(sided)의 폴리곤으로 표현되어진다. 여기서 각 일치하는 n 포인트 (즉, vertices)(x1, y1) ,..., (xn, yn)들은 라인 부분들 (segments)을 다음처럼 연결한다. 즉, (xi-1, yi-1) 와 (xi, yi), i = 1 ,..., n. 그러나, 이러한 일반적인 영역 형성 방법은 만약에 타겟 영역(즉, 지오멀티캐스트 영역)이 매우 복잡하다면 매우 높은 오버헤드(overhead)를 유발한다. 따라서, 우리는 라우팅 과부하(overload)



(a) 일반적인 방법
(a) General geomulticast zone representation.



(b) 근사적인 방법
(b) Approximated geomulticast zone representations.

그림 1. 지오멀티캐스트 영역 형성 및 표현
Fig. 1. Geomulticast zone representations.

를 줄이기 위해서 다음과 같은 몇몇 근사적 지오멀티캐스트 영역 표현 방법을 사용한다. 원형표현(circular representation), 타원형 표현(elliptical representation), 그리고 사각형 표현(rectangular representation).

그림 1 (b) 은 이러한 표현방법들을 보여주고 있다. 이러한 적당한 표현방법들의 선택은 실제적인 응용과 정확도에 의존한다. 원으로 표현하는 경우 단지 표현하고자 하는 영역의 센터 (x, y) 위치와 반지름만이 필요하므로 가장 간단한 방법이지만 불필요한 영역들이 포함될 수 있다는 단점이 있다. 타원형 표현방법은 영역의 센타(x,y) 위치, 길이(a), 폭(b), 그리고 기울기에 대한 정보가 필요하다. 만약 길이(a)와 폭(b)이 같으면 이 방법은 원으로 표현하는 방법과 같다. 마지막으로 직사각형 표현방법은 네개의 위치 정보((x1, y1), (x2, y2), (x3, y3) 및 (x4, y4))가 필요하다. 이 방법의 응용 적용은 타겟영역(즉, 지오멀티캐스트 영역)이 고속도로 같은 곳에 적용되어 질 수 있다.

2.2 네트워크 구조 및 구성요소

위에서 언급한 것처럼 제안된 네트워크 구조의 주요한 아이디어는 모바일 ad-hoc 네트워크에서 안정되고 효과적인 비용 효율을 갖게 하기 위해서 셀룰러 네트워크 개념을 모바일 ad-hoc 네트워크로 확장 적용하는 것이다. 지오멀티캐스트 서비스를 지원하기 위해서 우리가 제안한 네트워크 구조의 주요 요소들은 다음과 같다: 지오멀티캐스트 컨트롤 오피스(GeoCO), 클러스터 헤더(CHs), 그리고 모바일 노드(MNs) 등이다.

CH와 GeoCO에 의해서 수행되는 기능들은 셀룰러 네트워크에서 기지국 (BS(base station)) 과 교환국 (MSC:Mobile Switching Center)에 의해서 수행되는 기능과 각각 같다. 우리의 제안된 구조에서 소스 (source) 클러스터헤더 (CH)는 GeCO의 역할을 한다. GeCO의 주요기능은 멤버십 관리 (membership management)(즉, 지오멀티캐스트 그룹 구성과 유지)이다. 다음, 우리는 본 논문을 통하여 사용되어질 몇몇 파라미터들을 정의한다. 지오멀티캐스트 영역은 고려되어지고 있는 지정학적 영역을 말하며, 이 영역에는 특별한 지오멀티캐스트 그룹의 멤버일 수도 있고 아닐 수도 있는 모바일 노드들이 포함되어진다. 지오멀티캐스트 그룹은 똑같은 지오멀티캐스트 ID를 가지는 노드들의 집합을 의미한다.

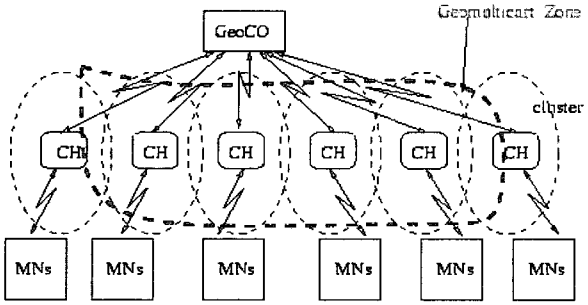


그림 2. 지오멀티캐스트 네트워크 구조 및 구성요소
Fig. 2. Network architecture for supporting geomulticast.

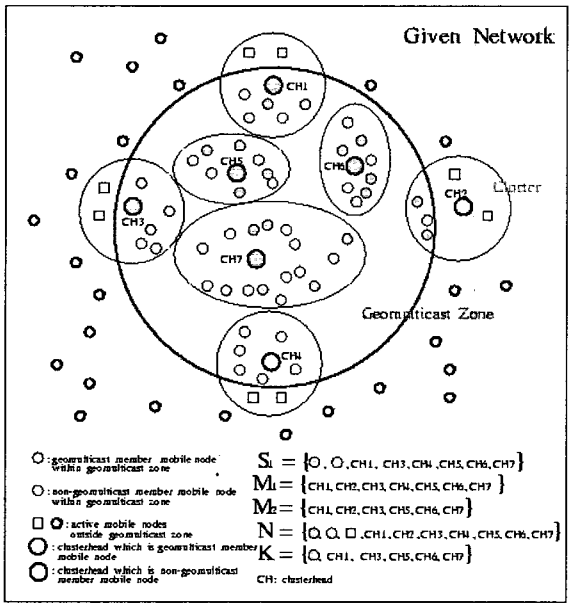


그림 3. 지오멀티캐스트 시나리오
Fig. 3. Geomulticast scenario example.

특히, 어떤 특별한 지오멀티캐스트 영역의 어떤 부분을 서비스하는 클러스터헤더의 어떤 집합을 M_1 으로 나타내며, 지오멀티캐스트는 멤버 모바일 노드들을 가지는 어떤 특별한 지오멀티캐스트 영역의 어떤 부분을 서비스하는 클러스터헤더의 집합을 M_2 로 나타내고, M_1 에 의해서 서비스를 받는 모든 활동 모바일 노드들의 집합을 N으로 나타낸다. 더구나, $d(S_1)$, $d(M_1)$, $d(M_2)$, d(N), 그리고 d(K)는 각각 집합 S_1, M_1, M_2, N과 K의 크기정도(degree(cardinality))를 나타낸다. 여기서 주의를 가지고 알아야할 사항은 위에서 정의한 집합들의 정도들(cardinalities) 사이의 실제적인 관계는 네트워크 안에서의 노드들의 분포와 구조에 의존함을 알 수 있다. 예를 들어서 집합 N에 속하는 노드들이 집합 S_1에는 속하지 않을 수도 있으며, 집합 N에 속하는 모든 노드들이 집합 S_1에 역시 속할 수도 있다. 위에서 서술한 관계들은 어떤 특별한 지오멀티캐스트 시나리오에 대하여 그림 3에 설명되어 있다.

2.3 기반 구조

위치기반 서비스를 지원하기위한 유용한 지오멀티캐스트 전략의 실현을 위해서 어떤 특별한 지역의 영역 내에 있는 모바일 노드들에 대한 그 특별한 영역의 경계선들(boundaries)과의 매핑(mapping)이 요구된다. 고정된 어떤 구조가 존재하지 않는 모바일 ad-hoc 네트워크에서 이러한 유용한 매핑을 얻기 위해서 클러스터링 기술을 사용한다. 클러스터링은 레벨 되지 않은 특징 벡터(unlabeled feature vectors)를 그룹 클러스터로 형성 하려고 시도한다. 여기서 어떤 클러스터 내에 있는 모바일 노드들은 다른 클러스터 내에 있는 노드들보다 좀더 밀접하고 비슷한 관계를 가진다.

일반적으로 두 종류의 분산 클러스터링 알고리즘이 있다. 하나는 lowest-ID 알고리즘인데, 이 알고리즘에서는 이웃한 노드들 중에 lowest-ID 노드[10]가 클러스터헤더로서의 역할을 한다. 다른 알고리즘은 highest connectivity 알고리즘[11]인데, 이 알고리즘에서는 이웃한 노드들 중에 가장 많이 연결된 노드가 클러스터헤더로서의 역할을 한다.

본 논문에서 사용된 클러스터링(즉, 이동성 기반 클러스터링 (Mobility Based Clustering (MBC))은 노드들의 이동성(노드 각각의 이동성 및 그룹 이동성[12])과 신뢰성 있는 GPS 시스템을 통한 위치정보에 기반을 두고 있다. 클러스터링 알고리즘은 네트워크의 분할을 위해서 물리적이고 논리적인 방법을 함께(combination of both physical and logical) 사용할 뿐만 아니라 유니캐스트 라우팅 프로토콜의 도움 없이 상대 노드들에 대한 이동성의 정도를 알기 위해서 상대적인 이동성의 정보를 사용한다. 이동성기반 계층적 클러스터링 알고리즘인 MBC는 노드들의 이동성 특성에 따라서 변화된 사이즈를 가지는 클러스터이다. 몇몇 클러스터 그룹은 각각의 그룹이 가지는 이동성에 따라서 하나의 그룹으로 합쳐질 수 있다. 주어진 시간동안 상대 노드들에 대한 이동성의 정도를 알기위한 상대적인 이동성 개념의 도입은 그룹 지향적인 이동성[12]을 가지는 노드들 사이의 다단계(multi-point) 통신 및 그들의 이동

성 좌표를 지원하는 모바일 ad-hoc 네트워크에 주로 사용 되어 왔다. 우리의 목적은 지오멀티캐스트 서비스 지원을 위한 적응적 클러스터(adaptive clusters)의 구성이므로, 제안된 알고리즘은 모바일 노드 각각의 이동성 및 그룹 이동성 정보를 사용하며, 기반 라우팅 프로토콜에 의존하지 않는다. MBC의 상세한 설명과 깊은 성능분석은 다음 논문[2]에 자세히 설명되어 있다.

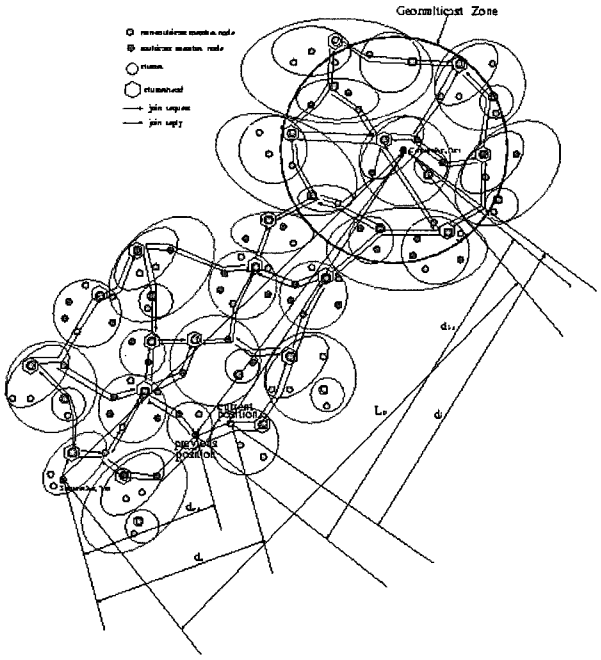
2.4 방향성 안내 라우팅 (Direction guided routing(DGR))

방향성 안내 라우팅(DGR) 프로토콜은 안내된 지역 내에 제한된 그물 망(mesh) 구조의 클러스터헤더를 생성한다. 안내된 지역은 네트워크의 안정도(stability)나 사양(specifications)에 의해 조정될 수 있다. DGR의 목적은 적은 오버헤드로 신뢰성 있는 패킷 전달에 있다. 그림 4 은 경로탐색과 경로할당을 위한 그물 망(mesh) 구조를 보여준다. 제안된 DGR 알고리즘은 다음과 같이 동작한다.

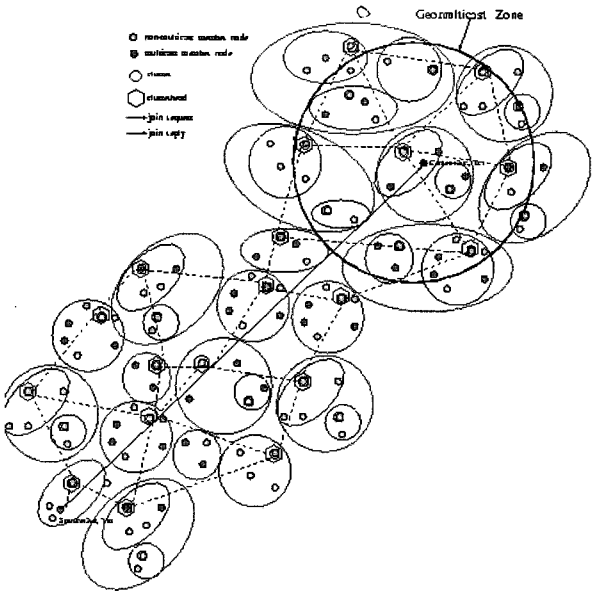
- **스텝1** : 송신자는 지오멀티캐스트 지역을 명시하고 지역의 센터 (x_c, y_c)와 송신자의 (x_s, y_s) 사이의 거리(Lo)를 계산한다. 그 다음 송신자는 다음 노드를 통해 클러스터헤더(CH)에게 지오멀티캐스트 지역 경계정보(boundary information)가 포함된 메시지를 보낸다. 여기서 다음 노드 ID 정보는 하부 구조(즉 MBC)로부터 얻는다.

- **스텝2** : 소스 클러스터헤더(CH)가 지오멀티캐스트 메시지를 수신하면 GJRQM(GeoJOIN REQUEST Message)를 Boundary Crosscast[3]로 이웃 CH들에게 광고한다. GJRM는 지역 경계정보, 참여하고자 하는 그룹 ID, 소스 ID, CH ID로 구성된다. 클러스터 내에서 GJRQM을 받으면 Boundarycast[3] 한다. 클러스터 사이의 라우팅을 위해 Boundary Crosscast가 사용되며 경계노드는 이웃 클러스터들의 경계노드들에게만 GJRQM를 보낸다.

- **스텝3** : 클러스터헤더(CH)가 아닌 노드가 GJRQM을 받으면 자신의 위치와 메시지헤더내의 지오멀티캐스트 지역 경계정보를 비교하여 지역 내인지 외인지를 검사한다. 지역내에 있으면 GJRQM을 받아들이고 CH에게 그것을 전달한다. 지역외에 있으면 자기 (x_i, y_i)와 지역센터 (x_c, y_c), 자기 (x_i, y_i)와 송신자 (x_s, y_s)간 거리를 계산한다.



(a) 라우팅 경로 탐색
(a) Route search operatiom



(b) 그물 망 경로 구조
(b) Mesh route structure

그림 4. 방향성 안내 라우팅
Fig. 4. Direction guided routing (DGR).

노드는 다음의 세가지 조건이 만족되면 GJRQM을 받아들이고 CH에게 전달한다. i) $d_i < d_{i-1}$, ii) $d_i < Lo$, iii) $(d_s + d_i) < D_{th}$. 여기서 d_i와 d_{i-1}은 현재위치 (x_i, y_i)와 그 전위치 (x_{i-1}, y_{i-1})에서 지오멀티캐스트 영역중심 (x_c, y_c) 까지의 거리를 각각 나타낸다.

위의 조건이 만족되지 않으면 노드는 GJRQM을 거절한다. D_{th}의 목적은 관련 메시지 전파에 참가하는 영역의 크기를 줄임으로써 경로를 찾아가는 과정에 필요한 오버헤드(overhead)를 줄인다. D_{th} 값은 네트워크 안정도와 이동성 정도에 따라 다르며, 경로탐색과 경로를 찾기 위한 오버헤드 등을 결정한다.

- **스텝4** : 클러스터헤더(CH)가 GJRQM을 수신하면, CH 테이블에 상향(소스 CH방향) CH ID를 저장하고 지오멀티캐스트 멤버쉽 여부를 검사한다. 멤버쉽이면 CH 테이블 정보를 이용하여 GeoJOIN REPLY Message(GJRPM)로 상향 CH들에게 응답한다. 각 CH는 GJRPM을 수신하면 하향(지오멀티캐스트 영역 방향) CH ID를 저장한다. 소스 CH가 GJRPM을 수신하면 첫 단계 연산은 종료된다. 두번째 연산은 이웃 CH가 스텝2, 3을 이용하여 이웃 CH에게 GJRM을 전달하는 것이다.

- **스텝5** : 명시된 시간동안 소스 클러스터헤(CH)가 GJRPM을 가지고 있는 한, CH는 그물 망(mesh) 경로를 통해 지역내의 멤버쉽들에게 지오멀티캐스트 패킷을 전송한다.

2.5 지오멀티캐스트 그룹 생성과 유지

이 절에서는 위치정보 저장장소에 따른 지오멀티캐스트 멤버쉽 관리를 위한 두 전략을 제시한다. 첫째 전략은 각 모바일 노드가 GPS를 통해 위치정보를 알고 있는 경우이며, 둘째 전략은 각 클러스터헤더(CH)가 모든 멤버쉽들의 위치정보를 가지고 있는 경우이다.

전략 1

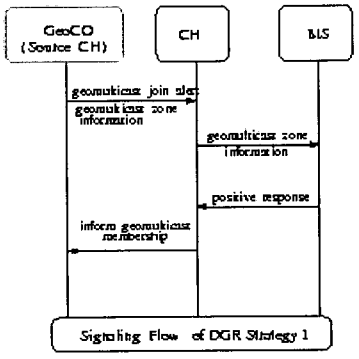
- **스텝1** : 클러스터헤더(CH)가 GJRQM을 수신하면 서비스 지역 내의 모든 MN(mobile node)에게 중계한다.

- **스텝2** : MN들은 자신들의 위치와 GJRQM에 포함된 지오멀티캐스트 지역경계와 비교하여 영역내인지 외인지를 결정한다.

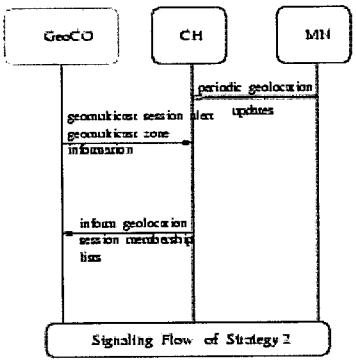
- **스텝3** : 영역 내이고 지오멀티캐스트 그룹 ID가 있으며, MN은 CH에게 긍정 응답을 보낸다. 지오멀티캐스트 그룹 ID는 소스 CH가 송신하며 특정 멀티캐스트 그룹을 식별 하는데 사용된다.

- **스텝4** : CH는 멤버쉽 상태를 주기적으로 검사한다. 멤버쉽이 있으면 GeoCO(소스 CH)에게 GJRPM을 보낸다.

그림 5(a)는 전략 1의 신호 흐름도를 나타낸다. 전략 1에서 전송되는 메시지 수는 최악의 경우 $((d(N) + d(K)) + d(M_1) + d(M_2))$이다. 지오멀티캐스트 세션의 도착율을 λ라 하면, 단위 시간당 시그



(a) 전략 1
(a) Strategy 1



(b) 전략 2
(b) Strategy 2

그림 5. 지오멀티캐스트 멤버쉽 관리전략
Fig. 5. Signal flows for geomulticast group construction and management.

널링 부하는 $\lambda((d(N)+d(K))+d(M_1)+d(M_2))$ 이다.

전략 2

- **스텝1** : 각 MN(mobile node)은 소속된 클러스터헤더(CH)와 주기적으로 위치정보를 갱신한다.
- **스텝2** : CH는 클러스터 내의 MN들에 대한 위치정보 테이블을 유지한다.
- **스텝3** : CH가 GJRQM을 수신하면 지오멀티캐스트 경계정보(boundary information)와 멤버쉽 들의 위치정보를 비교하고 멀티캐스트 ID를 검사한다.
- **스텝4** : 클러스터 내에 멤버쉽들이 있으면 GJRPM을 GeoCO(소스 CH)에게 보낸다.

전략 2의 주요 목적은 지오멀티캐스트 세션(session) 프로세싱(processing)동안 시간지연을 줄이는 것이다. 어떤 세션이 시작될 때 전송되는 메시지 수는 $(d(M_1)+d(M_2))$이고 단위 시간당 시그널링 부하는 $\lambda(d(M_1)+d(M_2))$이다. 총 시그널링 부하는 여기에 각 MN의 위치 갱신을 위해 주기적으로 생성하는 시그널링 부하를 더한 것이다.

추가적인 부하는 위치 갱신 시간간격에 좌우되며 MN(mobile node)의 수와 짧은 갱신(update) 간격일수록 크게 증가할 수 있다. 시그널링 부하와 그룹멤버쉽 오류 확률은 절충할 필요가 있음을 알아야 한다. 활성중인 MN의 수를 $d(L)$이라 하고, MN의 위치 갱신율을 α라 하면 세션(session) 설정에 필요한 시그널링 부하는 $\lambda(d(M_1)+d(M_2))+\alpha\cdot d(L)$이다. 그림 5 (b)는 전략 2의 신호 흐름도 이다.

Ⅲ. 성능 분석 및 평가를 위한 모델

이 절에서는 모바일 ad-hoc 네트워크에서의 지오멀티캐스트 서비스에 사용되는 설계 구조들과, 알고리즘 구현의 성능을 평가하기 위한 모델을 정의하고 제안한다.

성능평가의 척도로서 지오멀티캐스트 에러(Geoerror : Pge)와 지오멀티캐스트 패킷 전달 정확도(Accuracy of Geomulticast Packet Delivery : AGPD)를 도입한다.

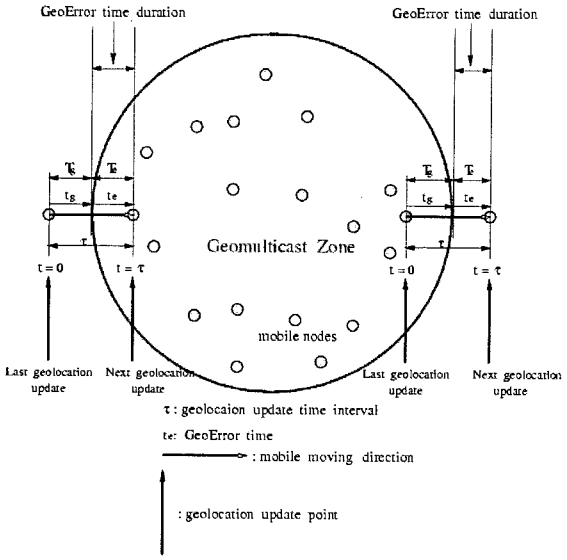


그림 6. 지오멀티캐스트 성능분석 및 평가모델
Fig. 6. The model for geomulticast performance analysis and evaluation.

그림 7에서 P_{ge}는 다음 두 가지 사건들이 일어날 확률이다. a) MN(mobile node)가 지오멀티캐스트 영역 내에 존재하고 있으나 얼마동안 메시지를 수신하지 못할 때, b) MN 가 지오멀티캐스트 영역밖에 존재하고 있으나 얼마동안 여전히 메시지를 수신할 때. τ를 위치 갱신 인터벌(location update interval), Te를 위의 두 사건중 하나로 특정 MN의 지오에러(Geoerror)시간 인터벌이라 하자.

첫 번째 사건은 MN(mobile node)가 초기에 영역(즉, 지오멀티캐스트 영역)밖에 있어서(t=0 때) 클러스터헤더(CH)가 멤버쉽 확인 과정에는 비멤버쉽 이었다가 Tg시간 후에 영역 안으로 이동했지만 CH와는 위치갱신을 하지 않았을 때 발생한다(즉, 위치 갱신시간 τ 전이다). 이 경우 MN은 영역안이고 멤버쉽이 되기를 원하지만 Te 기간동안 메시지를 받지 못할 것이다. MN는 다음번 위치갱신 이후 ($t \geq \tau$) 그룹 멤버쉽이 되고 메시지를 받을 것이다.

두 번째 사건은 MN(mobile node)가 초기에 영역안에 있어서(t=0) 클러스터헤더(CH)가 멤버쉽 확인 과정에는 멤버쉽이었다가 Tg시간 이후에 영역밖으로 이동했지만 CH와는 위치갱신을 하지 않았을 때 발생한다. 마찬가지로 MN는 멤버쉽이 아니고 영역 밖이지만 Te 기간동안 메시지를 계속 받게 된다.

위로부터 멤버쉽 갱신 전에 지오멀티캐스트 영역 교차율(boundary crossing rate), λ, 이 지오에러(GeoError)의 가장 큰 요인임을 알 수 있다. 이는 전략 2에서처럼 모든 MN이 CH에게 위치 갱신해야 하는 네트워크 레벨에서 멤버쉽 갱신이 이루어질 때 특히 그러하다.

전체적으로 P_{ge}는 위치 갱신 인터벌(즉, 시간 구간)과 MN이 얼마나 자주 메시지를 받는지, 이동성이 얼마나 되는지에 달려있다. 위치 갱신 구조와 갱신 인터벌의 최적화는 이동 통신망에서의 위치 관리를 위해 활발하게 연구되고 있다[13,14]. 일반적으로 갱신 인터벌, 트래픽 변수, 시스템 변수들 간에 복잡한 관계가 존재한다. 여기서는 수치적 연구를 통해 최적 갱신 인터벌에 대한 영향과 절충을 평가하고 직관적인 값을 얻고자 한다. 구체적으로 위치 갱신 인터벌이 패킷 전달 정확도와 시그널링 부하에 미치는 영향을 연구한다. 갱신 인터벌이 작아지면 MN 위치를 정확하게 유지하기 위한 시그널링 트래픽은 증가하지만 P_{ge}는 줄어들 것이다.

3.1 제안된 모델: 지오멀티캐스트 성능분석 및 평가모델

본 논문에서는 MN(mobile node)의 이동성 패턴을 위해서 랜덤 유니폼(random uniform) 모델[14]을 이용한다. 이 모델에서는 MN가 τ동안 $[0, 2\pi]$ 구간의 균일 분포상의 임의의 방향 (θ)으로 일정한 속도로 움직인다. 경계선 길이가 S이고 단위 면적당 ρ개의 MN이 존재하는 지오멀티캐스트 영역을 고려하면, 단위 시간당 경계선 교차율은 $\lambda_c = \frac{\rho v s \beta}{\pi}$, 여기서 β는 MN들의 활동비(보통 $\beta = 1$)이고 v는 MN의 평균 속도이다. 예를 들면 영역(즉, 지오멀티캐스트 영역)이 반경 R인 원이라면 $\lambda_c = 2\rho v R$이다. 일반적으로 λ_c (경계선 교차율)는 영역의 실제 크기, 네트워크 밀도, MN들의 이동성 패턴에 달려있다. 시간 t동안 MN에 도착하는 메시지 수는 도착율 λ_a인 Poisson 랜덤 변수이다. 지오에러(Geo Error) 시간 인터벌을 나타내는 랜덤 변수가 t_e이고 MN의 경계선 교차 간격이 τ보다 훨씬 크면 t_e는 구간 $[0, \tau]$에서의 균일 운동이다. 즉, t_e 의 확률밀도함수 $f_e(t_e)$는

$$f_e(t_e) = \begin{cases} \frac{1}{\tau}, & 0 \le t_e \le \tau \\ 0, & t_e \ge \tau \end{cases} \quad (1)$$

T_e동안 k 메시지 도달 확률은

$$P_e[n=k] = \int_0^{\tau} P[n=k \mid T_e = t] f_e(t) dt$$

$$= \int_0^{\tau} \frac{e^{-\lambda_a t}(\lambda_a t)^k}{k!} \frac{1}{\tau} dt \quad (2)$$

에러 메시지 평균율은

$$E[\textit{error packet trate}] = 2 \cdot \lambda_c \cdot \lambda_a \cdot \frac{\tau}{2} \cdot k \quad (3)$$

여기서 계수 2는 앞 절에서 설명한 2가지 지오멀티캐스트 에러를 고려한 것이고 h는 영역 내에 있는 노드의 비이다. 지오에러(Geo Error) 확률 P_{ge} 은 식 (4)과 같다.

$$P_{ge} = \frac{E[error \quad packet \quad rate]}{E[desired \quad packet \quad rate]}$$

$$= \frac{2 * \lambda_a * \lambda_c * \frac{\tau}{2} * h}{\lambda_a * B}$$

$$= \frac{\lambda_c * \tau * h}{B} \quad (4)$$

여기서 B는 영역내 멤버쉽의 평균 노드 수이다. 이 모델에 대해 면적 F인 영역내의 총 노드 수는 ρF이고 따라서 $h = \frac{B}{\rho * F}$ 이다. 이 수식을 앞 관계식에 대입하면 다음 결과를 얻을 수 있다.

$$P_{g_e} = \frac{\lambda_c * \tau}{\rho * F} \quad (5)$$

따라서, AGPD(Accuracy of Geomulticast Packet Delivery)는 다음처럼 정의된다.

$$AGPD = 1 - P_{g_e} \quad (6)$$

Ⅳ. 수치적 결과 및 토의

이 절에서는 앞 절에서 개발한 모델과 OPNET (Optimized Network Engineering Tool)을 사용한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 수치 연구 목표는 제안된 구조, 노드 이동성, 위치 갱신율, 지오멀티캐스트 그룹 사이즈 등의 설계 변수들이 시스템 성능에 미치는 영향에 대해 통찰력을 얻고자 함이다.

본 논문에서 사용된 모바일 ad-hoc 네트워크는 $1000m \times 1000m$ 지역에 50개의 MN(mobile node)을 임의로 배치했다. 반경 R ($150m - 300m$)인 원형 지오멀티캐스트 영역을 사용했고 전파 도달 반경(즉, Radio Range)은 $300m$로 가정했다. MN의 전파 반경을 벗어나면 링크 고장으로, 전파 반경 안으로 들어오면 링크 복구가 된 것으로 가정한다. 모바일 노드들은 균일 분포를 갖는 속력 $[0, 80km/h]$, 방향 $[0, 2\pi]$ 범위 내에서 임의의 값(즉, 속력과 방향)을 취한다. 지오멀티캐스트 소스는 하나이며 지오멀티캐스트 멤버쉽들은 영역 내에서 임의로 선택된다. 수치 평가에서는 지오멀티캐스트 패킷 전달 정확도(AGPD : Accuracy of Geomulticast Packet Delivery)를 주로 다룬다. 지오멀티캐스트 패킷 전달 정확도는 수신측에 실제 도착한 패킷수와 수신측에 전송된 패킷수의 비이다. 성능 평가의 척도는 이동성과 확장성(scalability) 두 차원에서 실시하였다. 이동성은 모바일 ad-hoc 네트워크의 중요 특성 중 하나이므로 모바일 노드들의 속도에 따른 성능 분석이 필요하다. 또한 멀티캐스트 그룹크기, 영역 사이즈, 패킷 생성 속도에 따른 제안된 구조와 알고리즘의 확장성(scalability)을 조사할 필요가 있다.

그림 7은 패킷 도착율 (Packet Arrival Rate (PAR) ($PAR = 5$ *packets*/sec), 멀티캐스트 영역 반경 ($R = 250m$), 위치 갱신 시간 인터벌 ($\tau = 1$ sec) 조건하에서 MN들의 속력변화에 따른 지오멀티캐스트 패킷 전달 정확도이다. MN들의 속력이 빠름에도 AGPD는 좋은 성능을 보이는데 이것은 이동성 기반 클러스터링과 이에 기초한 그물 망(mesh) 구조 라우팅이 안정적이기 때문이다. 이는 목적지까지 데이터를 전송하는데 링크 이탈의 영향이 거의 없음을 보여준다.

그림 8은 $PAR = 5$ *packets*/sec, MN의 속력 $40km/h$, $\tau = 1$ sec 조건에서 멀티캐스트 영역반경 (R) 변화에 따른 패킷 전달 정확율이다.

그림 9는 $PAR = 5$ *packets*/sec, MN의 속력 $40km/h$,, $R = 250m$, $\tau = 1, 3, 5$ sec 조건에서 멀티캐스트 그룹 멤버쉽 수 변화에 따른 지오멀티캐스트 패킷 전달 정확도이다. 그림 8, 9은 제안된 구조가 멤버쉽 규모가 커지더라도 지오멀티캐스트 패킷 전달 정확도 성능에 큰 변화가 없는 확장성(scalability)이 있다는 것을 보여준다.

그림 10은 $PAR = 5$ *packets*/sec, MN의 속력 $40km/h$,, $R = 250m$ 조건에서 τ 변화에 따른 지오멀티캐스트 패킷 전달 정확도이다. τ가 증가함에 따라 지오멀티캐스트 패킷 전달 정확도가 감소함을 알 수 있고 이는 시그널링 부하의 감소를 뜻한다.

그림 11는 $PAR = 5$ *packets*/sec, $R = 250m$ 일

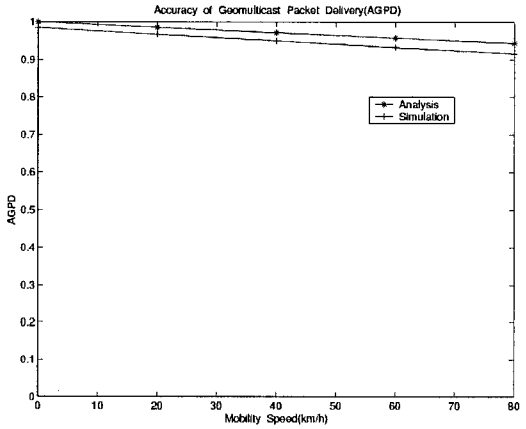


그림 7. MN들의 속력변화에 따른 지오멀티캐스트 패킷 전달 정확도

Fig. 7. Accuracy of geomulticast packet delivery as a function of mobile speed

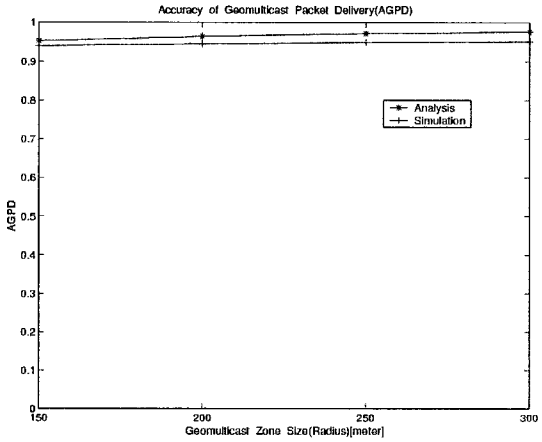


그림 8. 멀티캐스트 영역반경 변화에 따른 패킷 전달정확율

Fig. 8. Accuracy of geomulticast packet delivery as a function of geomulticast zone size.

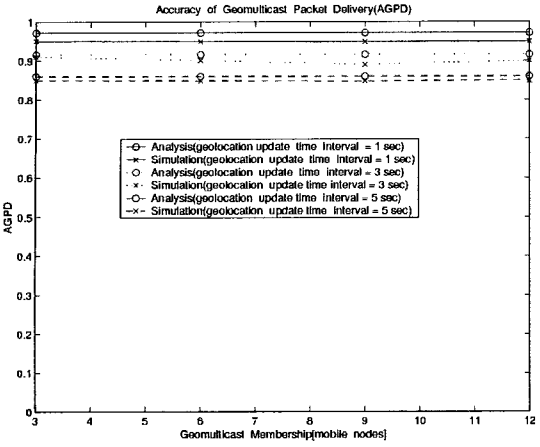


그림 9. 멀티캐스트 그룹 멤버쉽 수 변화에 따른 지오멀티캐스트 패킷 전달 정확도

Fig. 9. Accuracy of geomulticast packet delivery as a function of geomulticast.

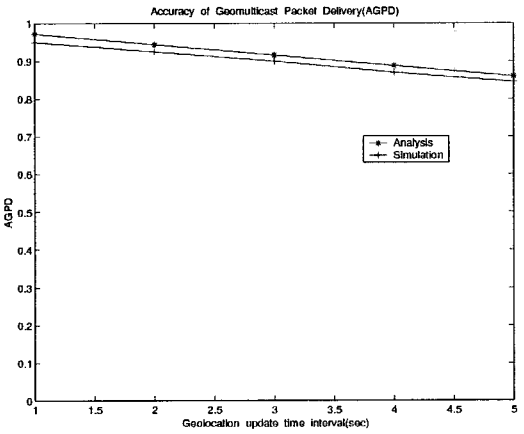


그림 10. 업데이트 률(τ) 변화에 따른 지오멀티캐스트 패킷 전달 정확도

Fig. 10. Accuracy of geomulticast packet delivery as a function of geomulticast update rate.

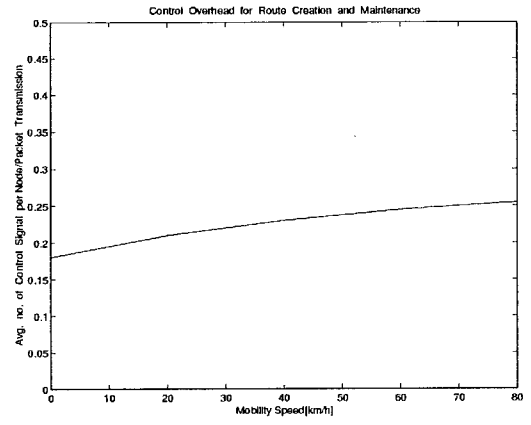


그림 11. 경로 생성, 유지에 필요한 제어 오버헤드

Fig. 11. Accuracy number of total control signal/node/packet transmission as a function of mobility speed.

때 경로 생성, 유지에 필요한 제어 오버헤드(control overhead)를 보여준다. 제어오버헤드는 클러스터와 경로를 생성, 유지하기 위해 모든 노드들 사이에 교환되는 제어 패킷을 말한다. 제어 오버헤드는 그물 망(mesh) 경로 탐색 범위를 조정하는 D_{th}에 의해 변화될 수 있다. 실험에서는 $D_{th}=1.5\times L_0$를 사용했으며 L_0는 소스와 영역 센터와의 거리이다. 제어 오버헤드는 MN의 속도가 증가함에 따라 다소 증가하는데 이는 클러스터링과 경로 갱신이 주기적으로 일어나기 때문이며 MN의 속도가 증가함에 따라 클러스터링에 변화가 더 많게 되어 더 많은 제어 정보들이 교환되어야 하기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 모바일 ad-hoc 네트워크에서 높은 패킷 전달율을 지원하는 지오멀티캐스트 구조와 프로토콜을 제안하였다. 구조의 주요 특징은 하부 구조로 이동성 기반 클러스터링, 지오멀티캐스트 영역 표현, 방향성 안내 멀티캐스트 라우팅(Direction guided routing (DGR)) 전략이다. 우리는 또한 설계 변수들에 따른 성능 분석모델을 제공하였다. 지오에러(GeoError)와 지오멀티캐스트 패킷전달 정확도(AGPD)를 유도 하였으며 위치 갱신 인터벌과 시그널링 부하 사이의 절충을 언급했다. 제안된 지오멀티캐스트 구조의 성능을 패킷 전달율, 확장성(scalability), 제어 오버헤드(control overhead), 이동성(mobility), 영역 크기, 위치 갱신 인터벌, 멤버쉽등의 함수로 성능 평가하였다. 제안된 구조는 모바일 ad-hoc 네트워크에서 지오멀티캐스트 서비스를 신뢰성 있게 수행 할 수 있음을 보여주었다.

참 고 문 헌

[1] Julio C. Navas and Tomasz Imielinski, "GeoCast - Geographic Addressing and Routing," Proc. of MOBICOM'97, pp.151-160, Budapest, Hungary, September 26-30, 1997.

[2] Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya, "Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks: Location-Based Multicast Algorithms," Proc. of IWMCSA'99, New Orleans, USA, 1999.

[3] Zygmunt J. Hass, "A new routing protocol for the reconfigurable wireless networks," Proc. of

ICUPC'97, pp.562-566, 1997.
[4] A. Boukerche, S. Rogers, "GPS Query Optimization in Mobile and Wireless Ad Hoc Networking," Proc. of 6th IEEE Symp. on Computer and Communications, pp.198-203, July 2001.
[5] S. Basagni, I. Chlamtac, and V. R. Syrotiuk, "Dynamic Source Routing for Ad Hoc Networks Using the Global Positioning System," Proc. of WCNC(the IEEE Wireless Communications and Networking Conference), 1999.
[6] D. Johnson, and D. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," T. Imielinski and H. Korth, Eds. Mobile Computing, ch. 5, Kluwer, 1996.
[7] Stefano Basagni, Imrich Chlamtac, Violet R. Syrotiuk, "Geographic Messaging in Wireless Ad-hoc Networks," Proc. of VTC1999 Spring, vol.3, pp. 1957-1961, Dallas, TX, USA, 1999.
[8] A. Boukerche, "Simulation Based Study of On-demand Routing Protocols for Ad-hoc Wireless Networks," Proc. of 34th Annual Simulation Symposium, pp. 85-92, April 2001
[9] Beongku An and Symeon Papavassiliou, "A Mobility-Based Clustering Approach to Support Mobility Management and Multicast Routing in Mobile Ad-hoc Wireless Networks," The International Journal of Network Management (JNM), vol. 11, no. 6, pp.387-395, December 2001.
[10] Anthony Ephremides, Jeffrey E. Wieselthier, and Dennis J. Baker, "A design concept for reliable mobile radio networks with frequency hopping signaling," Proc. of IEEE 75(1), pp.56-73, 1987.
[11] M. Gerla and J.T. Tsai, "Multicluster, mobile, multimedia, radio network," ACM/Baltzer Journal Wireless Networks Journal, vol.1, no.3, p.p. 255-265, 1995.
[12] Xiaoyan Hong, Mario Gerla, Guangyu Pei and Ching-Chuan Chiang, "A Group Mobility Model for Ad-Hoc Wireless networks," Proc. of ACM /IEEE MSWiM'99, Seattle, WA, August, 1999.
[13] I.F. Akyildiz and J.S.M. Ho, "Dynamic mobile user location update for wireless PCS networks," Wireless Networks 1 (1995) 187-196.
[22] Leonardo P. Araujo and Jose Roberto Boisson de Marca, "Paging and Location Update Algorithms for Cellular Systems", IEEE Transactions on Vechicular Technology, vol. 49, no. 5, Sep. 2000.

저 자 소개

안 병 구(평생회원)

1988년 경북대학교 전자공학과 (BS)

1996년 (미) Polytechnic University, Dept. of Electrical and Computer Eng. (MS)

2002년 (미) New Jersey Institute of Technology (NJIT), Dept. of Electrical and Computer Eng. (Ph.D)

1990년~1994년 포항산업과학기술연구원(RIST), 선임연구원

1998년~2002년 Lecturer, New Jersey Institute of Technology(NJIT). USA

2003년~현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 조교수

Marquis Who's Who in Science and Technology(세계과학기술 인명사전)등재

<주관심분야 : Wireless Networks, Ad-hoc Networks, Sensor Networks, Multicast Routing Protocols, Mobility Management, QoS, Location-Based Technology>

안 홍 영(평생회원)

1975년 서울대학교 전자공학과 (BS)

1986년 (미) University of Florida, Dept. of Electrical and Computer Eng. (MS)

1991년 (미) University of Florida, Dept. of Electrical and Computer Eng. (Ph.D)

1975년~1984년 국방과학연구소(ADD) 선임연구원

1984년~1991년: Research Assistant, University of Florida, USA

1991년~1998년 홍익대학교 컴퓨터정보통신 공학과 조교수

1998년~현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 부교수

<주관심분야 : Wireless Networks, Ad-hoc Networks, Sensor Networks, Wireless Internet, VoIP, 4세대 이동통신, BcN>