

그룹 이동성을 가지는 모바일 사용자들 간의 효율적인 데이터 공유를 위한 클러스터 기반 그룹 라우팅 기법 메커니즘

유진희*, 한경아*, 정다희*, 이형준^o

Cluster-Based Routing Mechanism for Efficient Data Delivery to Group Mobile Users in Wireless Ad-Hoc Networks

Jinhee Yoo*, Kyeongah Han*, Dahee Jeong*, HyungJune Lee^o

요약

본 논문에서는 무선 애드혹 네트워크상에서 그룹 이동성이 있는 모바일 사용자들을 beacon 메시지 수신 상태 정보만을 이용하여 분산적인 방법으로 온라인 클러스터링 하는 기법과 그룹 내로 데이터를 효과적으로 전달하기 위한 클러스터 헤드 노드를 선정하는 기법을 제시하고, 선정된 클러스터 헤드 노드를 통해 그룹 내부로 데이터를 전달할 수 있는 효율적인 그룹 라우팅 기법을 제안한다. ns-2를 이용하여 518개의 정적 노드와 20개의 동적 노드로 구성된 네트워크에 대해 성능 평가한 결과, 평균적으로 96 %의 높은 클러스터링 정확도를 보임을 확인할 수 있었다. 또한 그룹의 개념 없이 개별적으로 모바일 노드들로 일대일 라우팅을 한 경우에 비해 제안한 클러스터 기반 라우팅 기법을 사용했을 경우, 총 라우팅 비용이 1/20 정도로 감소하였으며, 그룹의 개념은 존재하지만 임의의 모바일 노드를 통해 intra-cluster 라우팅 했을 경우에 비해, 제안한 클러스터 헤드 노드를 통해 라우팅 했을 경우, 라우팅 비용이 평균적으로 1/2 정도로 감소함을 확인할 수 있었다.

Key Words : Group Mobile Users, User Clustering, Data Delivery, Cluster-based Routing, Energy-Efficiency

ABSTRACT

In this paper, we present a cluster-based routing scheme for efficiently delivering data to group mobile users by extracting and clustering mobile user group simply from beacon message information in wireless ad-hoc networks. First, we propose an online-clustering mechanism that uses a local neighbor table on each node by recursively transmitting to neighbor nodes, and forms a group table where a set of listed nodes are classified as group members, without incurring much overhead. A node that appears the most frequently from neighbor tables throughout the network is selected as the cluster-head node, serving as a data gateway for the intra-cluster. Second, we design an inter-cluster routing that delivers data from stationary data sources to the selected cluster-head node, and an intra-cluster routing to deliver from the cluster-head node to users. Simulation results based on ns-2 in the ad-hoc networks consisting of 518 stationary nodes and 20 mobile nodes show that our

※ 이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2013R1A1A1009854).

♦ First Author : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 지능형 네트워크 시스템 연구실, jinhee@ewhain.net, 학생회원

° Corresponding Author : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 지능형 네트워크 시스템 연구실, hyungjune.lee@ewha.ac.kr, 정회원

* 이화여자대학교 컴퓨터공학과 지능형 네트워크 시스템 연구실

논문번호 : KICS2013-08-366, 접수일자 : 2013년 8월 28일, 최종논문접수일자 : 2013년 10월 30일

proposed clustering mechanism achieves high clustering accuracy of 96 % on average. Regarding routing performance, our cluster-based routing scheme outperforms a naive one-to-one routing scheme without any clustering by reducing routing cost up to 1/20. Also, our intra-cluster routing utilizing a selected cluster-head node reduces routing cost in half as opposed to a counterpart of the intra-cluster routing through a randomly-selected internal group member.

I. 서 론

최근 시스템온칩(SoC) 기술 발전으로 인한 저렴한 단가의 무선통신 칩의 공급으로 스마트폰이 급격하게 보급됨에 따라, 이동성을 지원하는 네트워크에 대한 관심이 점점 더 늘어나고 있다. 통신 노드의 이동성으로는 노드들의 이동시에 특별하게 공통되는 특성이 없이 모두가 별개로 이동하는 개별 단위의 이동성과, 공통의 특성을 공유하는 그룹이 멤버 노드간의 상호 의존성이 존재하면서 그룹 멤버끼리의 유사한 궤도를 따라 무리지어 이동하는 그룹 단위의 이동성이 있다.

이처럼 현실에서는 각 노드의 이동성이 개별 단위의 이동성뿐만 아니라 많은 경우가 그룹 단위로 움직이는 경향을 보이고 있다. 특히 박물관이나 학교, 회사, 관광지 등과 같은 곳에서 모바일 사용자들은 주로 그룹으로 이동하는 경우가 많다. 또한 이들은 같은 그룹 내에서 공통의 특성을 가진 비슷한 정보를 필요로 하게 되는 경우를 많이 볼 수 있다^[1].

이런 그룹 이동성을 가진 노드들 간 또는 노드들로 데이터를 전달하는 경우에도 개별 단위의 이동과 마찬가지로 각 노드들의 위치 변화가 전 네트워크에 걸쳐서 나타나게 된다. 그룹 이동성을 가진 노드들로 데이터 라우팅이 필요한 경우 라우팅 비용 증가, 데이터 전달률 감소와 같은 성능 저하에 직접적인 영향을 끼치게 된다. 따라서 그룹 이동성을 가지고 네트워크상에서 움직이는 모바일 사용자 노드들로 보다 신뢰성 있고, 에너지 효율적으로 데이터를 전송하는 방안에 대해서 보다 깊게 조명해볼 필요가 있다. 이에 현재 다양한 이동성을 가진 사용자들에게 보다 효율적으로 데이터를 전달할 수 있는 라우팅 기법에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

기존의 연구결과는 모바일 사용자들의 위치 정보가 주어져 있다고 가정한 상태에서 각 노드들의 거리에 따른 노드들의 연결 상태를 고려하여 그룹 내, 그룹 간 라우팅 기법을 제안하였다^[2]. 하지만 모바일 사용자의 위치를 알기 위해 GPS 하드웨어의 사용으로 인한 비용 증가 및 배터리 소모량 증가 등의 오버헤드가 존재할 뿐만 아니라, 실제 통신 링크 상황은 노드 거

리뿐만 아니라 무선 링크의 불안정성에 따라 달라지기 때문에, 노드 거리 정보를 기반으로 한 라우팅 기법은 실제 네트워크 테스트베드에 적용하기 힘들다는 한계점을 갖고 있다. 또한 링크 그룹 멤버들의 변화, 해체 등과 같이 그룹이 시간에 따라 변화함에 따른 그룹 멤버의 실시간 온라인 업데이트에 대해서 고려하지 않았다. 모바일 사용자의 위치정보를 사용하지 않은 기존 연구 [3]에서도 다양한 모바일 사용자 그룹의 변화에 따른 실시간 클러스터링과 효율적인 그룹 내 데이터 전달을 수행하는 클러스터 헤드 노드 선정에 대해서는 다루지 않았다.

본 논문에서는 정적, 동적 노드들로 구성된 무선 애드혹 네트워크에서 그룹 이동성을 가지는 모바일 사용자들에게 효율적으로 데이터를 전달하여 공유할 수 있도록, 오직 beacon 메시지만을 이용하여 효율적으로 모바일 사용자 그룹을 찾아낼 수 있는 온라인 클러스터링 기법과, 이 클러스터를 기반으로 그룹 모바일 사용자들에게 효율적으로 데이터 전달을 할 수 있는 클러스터 기반 라우팅 기법을 제안한다. 이는 모바일 사용자의 위치정보를 필요로 하지 않고 주기적으로 실시간 beacon 메시지의 업데이트와 이웃 노드 정보 교환만을 통해 이루어지기 때문에, 클러스터링 오버헤드를 경감시켜 클러스터링 효율을 향상시키게 된다. 또한 그룹 외부에서부터 정해진 모바일 그룹 내부의 노드들에게 데이터를 전달하기 위해, 클러스터 내부에 헤드 노드를 선정하여 효율적으로 그룹 간, 그룹 내 전달을 할 수 있는 inter-cluster 라우팅 기법과 intra-cluster 라우팅 기법에 대해 연구한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구를 기술하고, III장에서는 그룹 모바일 사용자 클러스터링 기법과 모바일 클러스터 헤드 노드를 이용한 라우팅 기법을 제안한다. IV장에서는 시뮬레이션 실험을 통해 기존의 라우팅 기법들과의 성능 평가를 수행하여, 본 논문에서 제안하는 기법이 라우팅 비용의 감소에 효과적임을 보인다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 방향을 제시하도록 한다.

II. 관련논문

본 연구와의 관련 기존 연구는 1) 클러스터링 기반 라우팅 기법, 2) 클러스터 헤더 선정 기법, 3) 하이브리드 라우팅 기법으로 분류될 수 있다.

2.1. 클러스터 기반 라우팅 기법 연구

클러스터 기반 라우팅 기법은 물리적으로 혹은 통신 거리상으로 근접한 노드들을 클러스터로 분류하여 클러스터 외부로부터 클러스터 내부 노드들로의 데이터 전달을 보다 확장성 있게 수행하고자 하는 라우팅 기법의 한 분류로 다양한 연구 기법들이 제안되었다^[4-11]. 이 중에서 MMWN (Multimedia support in Mobile Wireless Networks) 프로토콜 [4]은 셀룰러 또는 PCS 시스템에서 사용자 노드들을 한 클러스터의 cellhead로서의 switch와 클러스터 내부 멤버로서의 endpoint로 각각 분류하여, 다계층적 클러스터를 구성하여 효율적인 계층적 라우팅을 수행할 수 있는 구조를 제안하였다. 제안된 클러스터링 기법은 switch와 endpoint 간 한 홉으로만 떨어져있게 설계하여, 일반적인 애드혹 네트워크에서 여러 홉에 걸쳐 구성되어 있는 노드들을 하나의 클러스터로 분류하기에는 적합하지 않다. CGSR(Cluster-head Gateway Switch Routing) 프로토콜 [5]은 클러스터의 계층을 유지하지 않는 MMWN 보다 단순한 구조의 계층적 라우팅 기법이다. 클러스터 내부에서는 모든 클러스터 내부 노드들을 관리하는 클러스터 헤드, 다른 클러스터와의 통신을 담당하는 게이트웨이 노드, 그리고 일반 노드들로 구성한다. 각 노드들은 클러스터 멤버 테이블을 주기적으로 브로드캐스트하여 업데이트해서 클러스터를 유지해야 하는 다소 큰 시그널링 오버헤드를 갖는다. 최근 센서 네트워크 연구 분야에서도 클러스터 기반 계층적 라우팅 기법 [6]이 제안되었다. 이는 이론적인 제안을 넘어서서 실제 임베디드 시스템 상에서 TinyOS 2.0에 기반을 둔 라우팅 알고리즘을 구현하여, 로그 스케일의 라우팅 상태를 이용하더라도 작은 라우팅 스트레치의 성능을 가질 수 있음을 보였다.

기존의 연구들은 클러스터를 유지하는 오버헤드 비용과 클러스터 헤드 노드가 내부의 패킷 전송 제어와 각 클러스터 멤버로 데이터가 전달될 수 있는 전체 라우팅 경로를 유지해야 하는 오버헤드 비용이 존재하는 한계점이 있다. 본 논문에서는 분산적이고 적은 오버헤드를 갖는 그룹 테이블 업데이트 과정을 통해서 선정된 클러스터링 헤드 노드와 형성된 클러스터를 이용하여, 데이터 전달을 보다 감소된 라우팅 비용으로 확장성 있게 수행할 수 있도록 설계하였다는 점에

서 차별성이 있다고 할 수 있다.

2.2. 클러스터 헤더 선정 기법 연구

클러스터링을 수행하는데 있어서 클러스터 헤더를 선정하는 다양한 방법들에 대한 연구도 진행되었다. 대표적으로 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) [12] 클러스터 헤더 선정 알고리즘을 들 수 있다. 센서 네트워크에서 데이터 수집을 위해서 다수의 센서 노드들을 작은 그룹(클러스터)로 나누어서 클러스터 외부와의 통신을 담당하는 게이트웨이 역할을 수행하는 클러스터 헤더를 선정한다. 이때 보통 클러스터 헤더는 다른 클러스터 멤버들보다 더 많은 에너지를 소모하므로, 센서 노드들이 돌아가면서 클러스터 헤더의 역할을 수행하게 하도록 동적인 클러스터 헤더 선정 기법이 제안되었다. 하지만 LEACH 알고리즘이 지니고 있는 불균형적 헤더 선정 및 에너지 효율성이 다소 떨어지는 선정 방법과 새로운 헤더 선정 시 재 클러스터링 수행하고, 멤버들과의 한 홉을 구성하는 등의 한계점을 극복하기 위해 다양한 클러스터 헤더 선정 알고리즘들 [13]-[16]이 제안되었다.

하지만 이 연구들은 노드들의 기존의 헤더 선정 히스토리 [13],[14], 각 노드들의 사용 에너지 및 잔류 에너지 [15],[16] 등을 고려하여 보다 효율적으로 관리할 수 있는 헤더를 동적으로 선정을 하는데 초점이 맞추어져 있고, 본 연구에서 제안하는 클러스터링 내부로의 데이터 전달의 에너지 효율성 및 접근성 측면에서의 클러스터링 수행과 클러스터 헤더 선정에 대해서는 중요성 있게 고려되지 않은 측면이 있다.

2.3. 하이브리드 라우팅 기법 연구

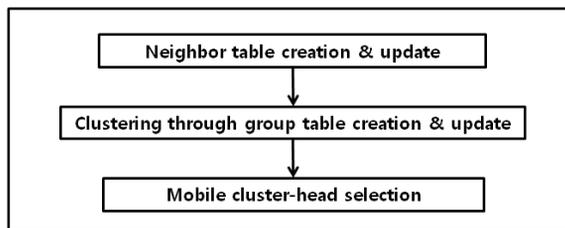
정적 노드들과 동적 노드들이 혼재되어 있는 하이브리드 네트워크에서의 라우팅 기법과 관련하여, proactive한 라우팅 기법과 reactive한 라우팅 기법을 혼용한 하이브리드 라우팅 기법 연구 [17]-[19]를 관련 연구로 들 수 있다. 대표적으로 ZRP(Zone Routing Protocol) [17] 라우팅 기법은 지정된 zone 안에서는 proactive한 라우팅 기법을 사용하고, zone 밖으로의 라우팅을 위해서는 on-demand한 reactive 라우팅 기법을 사용한다. 하이브리드 라우팅 기법은 zone 설정 범위와 관련되어 k 홉수 내에 있는 노드들로 한정하기 때문에 실제 같이 이동하고 있는 모바일 사용자들을 클러스터링 하여 효율적인 데이터 공유를 하는 목적과는 다소 차이가 있으며, 궁극적으로 네트워크 사이즈에 상대적인 k의 값에 따라 순수한 proactive 라

우팅 기법, 순수한 reactive 라우팅 기법도 될 수 있는 단점이 존재한다.

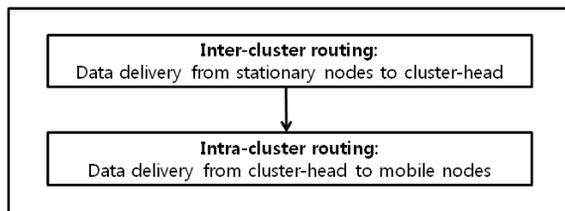
본 연구에서는 클러스터 내 멤버들 간의 특정 흡수의 제한 없이 클러스터링 주기 동안 공통적으로 이동한 동적 노드들을 분산적인 방법으로 찾아내고, 그 중 각 멤버들로의 링크 접근성이 좋은 노드를 클러스터 헤드로 선정하여, 클러스터 외부로부터 데이터 전달을 proactive한 방법으로 받아, 클러스터 내부로 효율적으로 전달할 수 있는 클러스터링 기법 및 라우팅 기법을 제안한다.

III. 본 론

그룹 이동성이 있는 모바일 사용자들을 beacon 메시지 수신 상태 정보만을 이용하여 분산적인 방법으로 온라인 클러스터링 하는 기법과, 그룹 내로 데이터를 효과적으로 전달하기 위해 사용되는 클러스터 헤드 노드를 선정하는 기법을 제시한다. 또한 제안한 클러스터링 기법을 기반으로 모바일 사용자 그룹에게 데이터를 전달하고자 하는 정적노드들로부터 모바일 클러스터 헤드 노드들의 inter-cluster 라우팅과, 선정된 클러스터 헤드 노드들로부터 모바일 클러스터 멤버 노드에게 데이터를 전달하는 intra-cluster 라우팅 기법을 제안한다. 이에 대한 전체적인 개념도는 그림 1과 같다.



(a) Clustering of group mobile users



(b) Routing for group mobile users

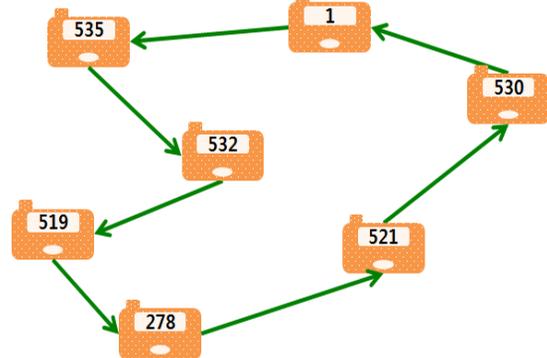
그림 1. 전체 개념도
Fig. 1. Concept Diagram

3.1. 그룹 모바일 사용자 클러스터링 기법

본 논문에서는 정적 노드들로 구성된 무선 애드혹 네트워크에서 정보를 요구한 한 개의 동적 노드(M_{dst}) 뿐만 아니라 그 동적 노드가 속한 이동성이 있는 그룹의 모든 모바일 노드로 데이터를 전달하기 위해 필요한 모바일 사용자의 그룹 클러스터링 기법과, 그룹 외부에서 데이터를 전달받아 클러스터 내부의 노드들로 공유하게 되는 클러스터 헤드 노드를 선정하는 기법을 제안한다. 모든 노드들은 각 주어진 시점부터 주기적으로 beacon 메시지를 브로드캐스트하며, 주위의 노드들 중 beacon 메시지를 수신한 노드들은 응답 메시지를 전송한다. 제안된 기법은 neighbor 노드들로부터의 beacon 메시지의 응답 정보만을 분산적으로 이용하여 그룹 모바일 사용자 클러스터링 작업과 모바일 클러스터 헤드 노드 선정을 수행한다.

Self Node	Neighbor Node	Recent Time	Ratio
535	532	58.1933	0.7588
535	519	59.4082	0.6633
535	1	33.3663	0.0013

(a) Neighbor table at node 535



(b) Data delivery procedure in ad-hoc networks

Node	Counter	Node	Counter	Node	Counter
1	0	1	1	278	7
278	0	278	7	519	8
...	...	519	8	530	6
532	0	521	2	532	10
535	1	532	10	535	8
		530	6		
		535	8		

(c) Group table creation

(d) Final group table

(e) Mobile cluster member and cluster-head selection

그림 2. 그룹 모바일 사용자 클러스터링 절차
Fig. 2. Group mobile user clustering procedure

이를 위해 다음과 같은 세 개의 세부 단계로 나누어

수행한다. 첫 번째 단계로는 무선 애드혹 네트워크를 구성하고 있는 노드들 간의 beacon 메시지의 응답 정보를 이용하여, 각 노드에서 neighbor table을 생성하고 지속적으로 업데이트한다. 두 번째 단계로는 위에서 주어진 한 개의 동적 노드에서부터 시작하여 neighbor table에서 수신 상태가 좋은 노드들만을 group table에 등록하고, 이를 재귀적으로 전달하면서, 공통적으로 group table에 나타나는 노드들에 대해 모바일 클러스터 그룹으로 분류한다. 마지막 단계로서는, 모바일 클러스터 노드들 중 가장 공통적으로 최종 group table에 많이 나타난 노드를 모바일 클러스터 헤드 노드로 선정하는 작업을 수행하게 된다.

3.1.1. Neighbor table 생성 및 업데이트

각 노드들은 자신의 노드 ID를 담은 beacon 메시지를 주기적으로 브로드캐스트하고, beacon 메시지를 수신한 주위 노드들은 자신의 노드 ID를 포함한 응답 메시지를 보낸다. 최신의 수신 상태 값(link quality)을 반영하여, 수신 상태가 좋은 노드들을 neighbor 노드로 지정하기 위해, 아래와 같이 EWMA(Exponentially Weighted Moving Average)를 적용하여 beacon 메시지에 대해 응답 메시지를 받을 때마다 각 노드별로 수신 상태 값(link quality)을 업데이트한다.

$$L_m(n) = \alpha \cdot B_m(n) + (1 - \alpha) \cdot L_m(n-1) \quad (1)$$

$L_m(n)$ 은 시간 T_n 일 때, 노드 m으로부터의 수신 상태 값을 의미하고, α 는 가중치 파라미터, $B_m(n)$ 은 시간 T_n 일 때, 노드 m으로부터 beacon 응답 메시지 수신여부 (1: 수신했을 경우, 0: 수신하지 못했을 경우), $L_m(n-1)$ 은 시간 T_{n-1} 일 때, 노드 m으로부터의 수신 상태 값을 의미한다. 따라서 각 노드는 beacon 메시지에 대해 응답 메시지를 받은 적이 있는 노드들을 각 노드 ID 별로 수신 상태 값을 관리하여 neighbor table을 구성하고 beacon 메시지 주기 (1초)마다 neighbor table을 업데이트한다. 예를 들면, 그림 2(a)에서 neighbor table로 Self Node는 현재의 노드 번호, Neighbor Node는 현재 노드에 대해 beacon message의 응답한 노드 번호, Recent Time은 제일 최근 beacon 메시지에 대해 응답한 시간, Ratio는 일정한 시간 동안 beacon message의 응답률을 위에서 제안한 EWMA에 기반하여 수신 상태 값을 계산하여 나타낸 것이다.

3.1.2. Group table 생성 및 업데이트를 통한 클러스터링

각 노드별 neighbor table에서 일정한 그룹 임계 값(Group Threshold) β 이상의 수신 상태 값을 갖는 노드들에 대해 neighbor table을 재구성하고, 노드 ID와 카운터 값(counter)으로 구성된 group table을 생성한다. 주어진 한 개의 동적 노드 M_{dst} 의 neighbor table을 시작으로 수신 상태 값이 큰 노드 순서로 group table의 멤버로 등록을 하고, 카운터 값을 증가시킨다. 이렇게 각각의 높은 수신 상태 값을 갖는 노드를 재귀적으로 깊이우선검색(depth-first search) 순서에 따라 traverse 하며 분산적으로 group table을 모두 업데이트한다. 최종 업데이트된 group table에서 각 노드ID에 대한 카운터 값(counter)이 평균값 Counter Threshold $\omega = (\text{minimum counter} + \text{maximum counter})/2$ 보다 큰 노드들만을 최종적으로 모바일 클러스터 멤버로 선정한다. (참고로 이 모바일 클러스터링 알고리즘은 주기 τ 마다 수행되어 그룹 멤버들을 업데이트하게 된다.) 그림 2(b)는 애드혹 네트워크상에서 노드들이 데이터를 전달할 때, 노드들 간의 절차의 한 예를 설명한 그림이다. 주어진 한 개의 동적노드 535번을 시작으로 재귀적으로 깊이우선검색 순서에 따라 traverse를 한다. 그림 2(c)는 처음 group table을 생성한 것으로, 시작노드인 535번의 Counter에 1이 업데이트되어 있다. 그림 2(d)는 재귀적으로 traverse하여 해당 카운터 값(counter)을 증가시킨 결과, 최종 업데이트된 노드 ID와 카운터 값(counter)을 가지는 group table을 보여준다.

3.1.3. 모바일 클러스터 헤드 노드 선정

이 단계에서는 모바일 클러스터 그룹 외부에서 데이터를 전달받아 그룹 내로 데이터를 효율적으로 전달(intra-cluster routing)할 수 있는 데이터 게이트 웨이로서의 역할을 하는 모바일 클러스터 헤드 노드를 선정한다. 위의 그림 2(c),(d) 과정을 거쳐 최종 업데이트된 group table에서 카운터 값은 그룹을 형성할 때에 각각의 노드들이 자신의 neighbor node로 가장 많이 공통적으로 포함하고 있음을 알려주는 척도가 된다. 이는 카운터 값이 클수록 현재 생성된 그룹의 노드들에게 보다 적은 홉수를 거쳐 데이터를 보다 효율적으로 전달할 수 있음을 의미한다. 따라서 결정된 모바일 클러스터 그룹 멤버 중에서 가장 큰 카운터 값(counter)을 가지고 있는 노

드를 모바일 클러스터 헤드 노드로 선정한다. 최종 업데이트된 group table인 그림 2(d)에서 Counter Threshold $\omega=(1+10)/2=5.5$ 보다 큰 카운터 값(counter)을 가진 노드들만이 그림 2(e)에서 모바일 클러스터 멤버로 결정됨을 보여준다. 또한 그룹 노드로 분류된 노드 532가 가장 큰 카운터 값을 가지기 때문에 모바일 클러스터 헤드 노드로 선정됨을 알 수 있다.

3.2. 그룹 모바일 사용자 라우팅 기법

본 논문에서는 정적 노드들로 구성된 네트워크에서 정보를 요구한 동적 노드(M_{dst})가 속한 이동성이 있는 그룹의 모든 노드로 데이터를 전달하기 위해 정적 노드들로부터 클러스터 헤드 노드로 데이터를 전달(inter-cluster routing)받는 라우팅 기법과 클러스터 헤드 노드를 이용해 클러스터 그룹 내부의 모든 동적 노드들에게 데이터를 전달(intra-cluster routing)하는 라우팅 기법을 제안한다. 본 논문에서의 정적 노드로부터 모바일 노드로 데이터 전달 방식은 정적 네트워크 토폴로지에 기반한 one-to-one 라우팅 기법을 인터 클러스터 라우팅 기법으로 활용하고, 정적 노드로부터 모바일 노드와 연결 상태가 좋은 정적노드를 거쳐서 모바일 노드로 데이터를 전달하는 인트라 클러스터 라우팅 기법 방식으로 세분화하여 설계하였다.

3.2.1. 인터 클러스터 라우팅 (inter-cluster routing) 기법

그룹 외부에 있는 정적노드들로부터 데이터를 전달받기 위해서 두 단계를 거친다. 먼저 그룹 내 선정된 클러스터 헤드 노드에서 neighbor table을 이용하여 가장 연결 상태(link quality)가 좋은 한 개의 정적 노드(S_{dst})를 찾고 네트워크에 정보를 요구하는 데이터 요청 메시지에 이 노드 정보를 포함시켜 전달한다. 이 모바일 사용자 그룹에게 데이터를 전달하고 싶은 정적 노드들은 전달받은 정적 노드(S_{dst})에게 Dijkstra 알고리즘을 이용해 최적의 경로를 지나가며 S_{dst} 를 향해 데이터를 전송(그림 3에 빨간색 실선으로 루트 표시)한다. 인터 클러스터 라우팅 기법으로는 기존의 정적 네트워크 토폴로지에 기반한 Dijkstra 알고리즘 기반 shortest-path 라우팅 기법을 사용한다. 각 노드들은 정적 네트워크 토폴로지 링크 정보를 가지고 있고, 소스 노드로부터 목적지 노드로의 최소의 비용을 갖는 경로를 찾아내어 멀티홉 라우팅을 수행하게 된

다. 이보다 더욱 효율적인 정적 네트워크 애드혹 라우팅 기법들 [20]-[22]도 대신 사용될 수 있다. 이렇게 다른 정적 노드들로부터 데이터를 전달받은 정적 노드(S_{dst})는 모바일 클러스터 헤드 노드에게 데이터를 한 홉을 거쳐 전달(그림 3에 빨간색 점선으로 루트 표시)하여, 그룹 외부로부터 데이터를 전달받게 된다.

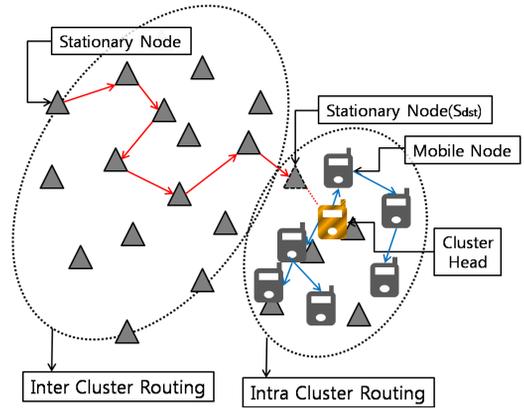


그림 3. 그룹으로의 라우팅과 그룹 내 라우팅
Fig. 3. Inter-cluster routing and intra-cluster routing

3.2.2. 인트라 클러스터 라우팅 (intra-cluster routing) 기법

2.1 절차를 통해 정적 노드 S_{dst} 로부터 데이터를 전달받은 모바일 클러스터 헤드 노드는 group table을 이용하여 수신 상태 값(link quality)이 높은 노드들 순서로 데이터를 전달한다. 순서를 가지고 있는 각 노드들마다 재귀적으로 수신 상태 값(link quality)이 높은 순서로 traverse (깊이우선탐색, depth-first search)하며 데이터를 클러스터 그룹 구성원들에게 분산적으로 전달한다. 데이터를 이미 전달받은 노드에 대해서는 별도로 체크를 하여 중복 전송이 없도록 하였으며, 그룹 구성원의 모든 노드들이 데이터를 전달 받았을 경우 데이터 전달을 중단한다. 데이터를 전달할 때, 이미 다른 노드로부터 데이터를 전달 받았거나 클러스터링을 통해 선정된 그룹 구성원이 아닐 경우에는 전달하지 않는다. 그림 3에서 파란색 실선의 루트를 통해 클러스터 내부로 데이터가 전달되는 과정을 도식화하였다.

IV. 성능 평가

본 논문에서 제안한 클러스터링 기법과 클러스터 기반 라우팅 기법을 검증하기 위해 ns-2 시뮬레이터

를 이용하여 그림 4에 나타난 바와 같이 $550 \times 550 m^2$ 의 공간에 518개의 정적 노드들과 20개의 동적 노드들로 구성된 무선 애드혹 네트워크에 대해서 총 720초 동안 모의실험을 수행하였다. 무선 propagation 모델로는 Two Ray Ground 모델을 사용하였고, 40 m의 근거리 통신 거리로 설정하였다. 각 노드들은 802.11 PHY/MAC을 사용하여 매 초마다 beacon 메시지를 브로드캐스트하고, beacon 메시지를 받은 노드들은 응답 메시지를 전송한다. 모바일 노드들은 평균 5m/s의 속력으로 움직이고, 그룹 이동성을 시뮬레이션하기 위해 random waypoint 모델에 따라 움직이는 한 개의 모바일 노드의 움직임에 기반으로 ns-2의 IMPORTANT mobility generator에서 제공하는 RPGM 그룹 이동성 모델을 사용하여 나머지 19개의 모바일 노드들의 움직임을 시뮬레이션 하였다. 실험을 위해 랜덤으로 생성된 5개의 다른 그룹 모바일 트레이스를 이용하여 시뮬레이션 테스트하였고, 평균치를 이용하여 모바일 클러스터링 정확도와 라우팅 비용에 대한 성능 평가를 수행하였다. 특별히 따로 표시되지 않는 한 클러스터링 업데이트 주기 τ 는 60초로 설정해 진행하였다.

제안한 클러스터 기반 라우팅 기법의 평가를 위해 모든 정적 노드들이 모든 모바일 노드들로 데이터를 전달하는 시나리오를 가정하여 성능평가를 수행하였다. 따라서 제안한 기법은 모든 정적 노드들이 클러스터 헤드 노드에게 데이터를 전달하는 인터 클러스터 라우팅 (inter-cluster routing)과 클러스터 헤드 노드가 클러스터 내부의 멤버들에게 데이터를 공유하는 인트라 클러스터 라우팅 (intra-cluster routing)으로 구성이 되며, 비교 평가를 위해 그룹의 개념이 없을 때의 일반적인 라우팅 기법과 그룹의 개념은 있지만 임의의 노드를 통해 인트라 클러스터 라우팅을 수행하는 라우팅 기법과의 성능 비교를 수행하였다. 실험에서 각 홉간의 라우팅 비용은 링크의 ETX (Expected Number of Transmissions)을 사용하였고, 특정 경로의 라우팅 비용은 각 홉간의 라우팅 비용의 합으로 계산되었다.

4.1. 모바일 클러스터링 정확도

클러스터링 성능의 정확도를 측정하기 위해, 전체 모바일 노드들 중에 클러스터링 절차를 통해 찾아낸 모바일 노드들 수의 비율로 모바일 클러스터링 정확도를 정의한다. EWMA 가중치 파라미터 α 와 그룹 임계값(Group Threshold) β 에 따른 모바일 클러스터

링 정확도를 평가한다. Counter Threshold ω 에 따라 클러스터링 된 노드들의 수와 그 중 실제 모바일 노드들 수를 확인한다. 또한 시간대별, 클러스터링 업데이트 주기 τ 에 따른 모바일 클러스터링 정확도의 변화에 대한 성능 평가를 실시한다.

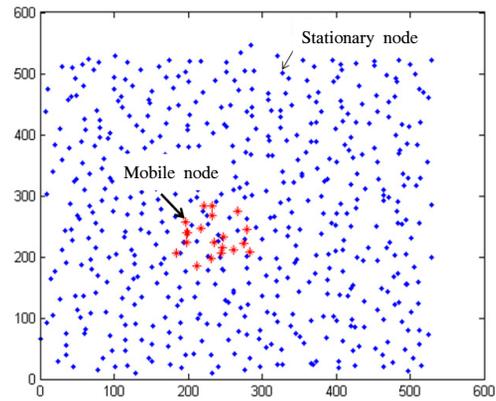


그림 4. 시뮬레이션 실험을 위해 사용한 애드혹 네트워크
Fig. 4. Ad-hoc networks for simulation evaluation
(•:정적노드 * :동적노드)

4.1.1. 가중치 α 와 임계값 β 에 따른 모바일 클러스터링 정확도

위 실험 환경에서 EWMA의 가중치 파라미터 α 와 그룹 임계값(Group Threshold) β 에 따라서 실제로 하나의 그룹을 이루어 이동한 모바일 사용자들에 대해 제안한 클러스터링 기법에 따라 성공적으로 그룹 멤버로 인식하였는지를 검증하였다. 또한 찾아낸 최적의 α 에 기반하여 시간대별(60초 간격)로 모바일 클러스터링 정확도의 추이를 살펴보았다.

표 1에 나타난 바와 같이, 그룹 임계값 β 가 0일 때는 가중치 파라미터 α 에 상관없이 모바일 클러스터링 정확도가 96.12 %의 높은 수치를 보이면서 모두 같은 값을 가지는 반면, 그룹 임계값 β 가 0 이외의 경우에는 가중치 파라미터 α 에 따라 모바일 클러스터링 정확도가 달라짐을 확인할 수 있다. 또한 그룹 임계값 β 가 0일 때를 제외하고는 그룹 임계값 β 가 증가함에 따라 모바일 클러스터링 정확도가 전체적으로 증가하는 경향을 볼 수 있다. 모바일 클러스터링 정확도가 EWMA의 가중치 파라미터 α 와 그룹 임계값(Group Threshold) β 에 따른 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다.

표 1. EWMA 가중치 α , 그룹 임계값 β 별 평균 모바일 클러스터링 정확도
Table 1. Average mobile clustering accuracy (%) as EWMA α and group threshold β change

Average Accuracy (%)		EWMA α					
		1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
Group Threshold β	0	96.12	96.12	96.12	96.12	96.12	96.12
	0.1	85.92	86.21	86.71	88.22	88.39	88.99
	0.2	86.59	86.09	86.96	87.55	87.88	88.38
	0.3	86.49	85.75	87.52	87.14	88.47	88.46
	0.4	86.99	88.59	88.67	89.60	89.44	88.94
	0.5	88.09	88.86	89.79	90.81	89.37	90.30
	0.6	88.18	89.79	90.20	90.46	90.89	92.23

표 2. EWMA 가중치 α , 그룹 임계값 β 별 그룹 내 평균 멤버 노드 수
Table 2. The average number of group member nodes as EWMA α and group threshold β change

# of Group Member Nodes		EWMA α					
		1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
Group Threshold β	0	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50	35.50
	0.1	44.25	39.57	37.98	37.67	36.63	36.67
	0.2	48.88	44.63	41.95	41.72	41.28	39.57
	0.3	53.18	48.75	51.37	49.70	49.47	47.72
	0.4	61.05	64.70	59.37	60.65	56.50	52.30
	0.5	72.25	79.55	86.27	87.67	82.53	80.67
	0.6	107.52	115.72	119.22	126.38	125.52	121.33

최적의 가중치 α 와 그룹 임계값 β 를 선정하는 데에는 모바일 클러스터링 정확도 외에도 실제 클러스터링 된 그룹 내 노드 수 또한 고려하는 것이 필요하다. 추정된 그룹 내 멤버노드 수가 많아지도록 파라미터를 설정한다면, 클러스터링 정확도는 높아지겠지만, 분류된 멤버노드들 중에 상대적으로 많은 수의 정적 노드들도 모바일 클러스터로 잘못 분류될 수 있기 때문에, 이 두 가지 요소를 모두 고려하여 최적의 파라미터를 결정하는 것이 필요하다. 모바일 클러스터링 정확도 결과만을 바탕으로 한다면 임계값이 클수록 그룹 내 모바일 정확도가 높아지지만 표 2에서 볼 수 있듯이, 클러스터링된 그룹 내 노드 수 또한 급격하게 증가한다는 점을 고려해야 한다. 따라서 예측된 그룹의 노드 수가 35.5 개(표 2 참고)로 가장 작고, 모바일 클러스터링 정확도 또한 96.12% (표 1 참고)로 가장 높기 때문에 그룹 임계값 $\beta=0$ 을 설정하였을 때 모바일 노드들을 성공적으로 분류하게 되는 실질적인 클러스터링 정확도가 최대가 됨을 확인할 수 있다. $\beta=0$ 으로 선정하였을 때, EWMA 가중치 α 에 따른 모바일 클러스터링 정확도와 그룹 내 노드 수의 변화가 없음을 확인하였고, 이는 최근 beacon 메시지 수신 여부에 특정한 가중치를 부여하는 것이 성능 향상에 큰 도움이 되지 않음

을 확인할 수 있었다. (성능 평가 시, $\alpha=1/3$ 로 설정하여 진행하였다)

4.1.2. Counter Threshold에 따른 그룹 클러스터링

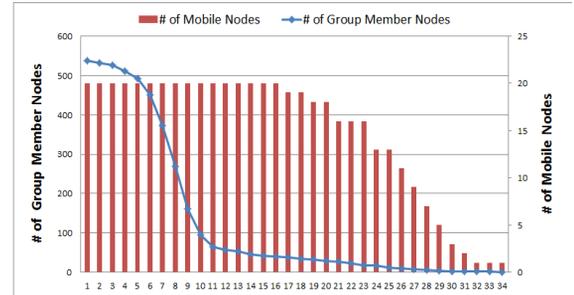


그림 5. Counter Threshold에 따른 모바일 노드 및 그룹 멤버 노드 수
Fig. 5. The number of group mobile nodes and entire group member nodes as Counter Threshold changes (EWMA $\alpha=1/3$, Group Threshold $\beta=0$)

그림 5는 group table에서 카운터 값을 기준으로 최종 그룹 멤버를 선정할 때 사용하는 Counter Threshold에 따른 모바일 노드 및 그룹 멤버 노드 수에 대한 결과 그래프이다. 전체적으로 Counter Threshold가 높아질수록 그룹 내의 멤버 노드 수(# of Group Member Nodes)와 모바일 노드 수(# Of Mobile Nodes)가 작아지는 것을 볼 수 있다. 또한 특정 Counter Threshold를 선정하여 클러스터링 멤버를 정할 때, Counter Threshold가 너무 낮을 경우 그룹 내의 멤버수가 크게 증가(정적노드들도 포함되기 시작)하게 되고, 반대로 Counter Threshold가 너무 높을 경우 그 이상의 기준을 충족시키는 그룹 내 모바일 노드 수가 낮아져 모바일 클러스터링 정확도가 낮아짐을 확인할 수 있다. 따라서 모바일 클러스터링 멤버로 선정을 할 때, 최종 업데이트된 group table에서 각 노드들에 대한 카운터 값이 Counter Threshold $\omega=(\text{minimum counter} + \text{maximum counter})/2$ 보다 큰 노드들로 선정을 하였을 때(그림 5에서 Counter Threshold $\omega = 17.5$), 모바일 노드는 총 20개 중에 19개를 성공적으로 클러스터링 하였으며, 전체 그룹 멤버수도 37개로 상대적으로 작게 유지됨을 알 수 있어, 제한한 모바일 클러스터링 멤버 선정 방식이 적정함을 확인할 수 있었다.

4.1.3. 시간에 따른 클러스터링 모바일 정확도 변화

그림 6은 위 실험에서 얻은 최적의 그룹 임계값 ($\beta=0$)을 이용하여 0 - 720초까지 시간대별 모바일

클러스터링 정확도를 보여준다. 전체적으로 95 % 이상의 높은 모바일 클러스터링 정확도가 유지되는 것을 확인해 볼 수 있다.

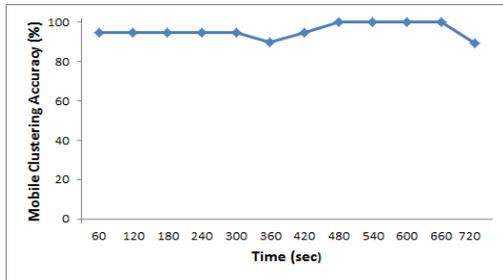


그림 6. 시간대별 평균 모바일 클러스터링 정확도 변화 추이
 Fig. 6. Average mobile clustering accuracy as time changes (EWMA $\alpha=1/3$, Group Threshold $\beta=0$)

4.1.4. 클러스터링 업데이트 주기 τ 에 따른 클러스터링 모바일 정확도 변화

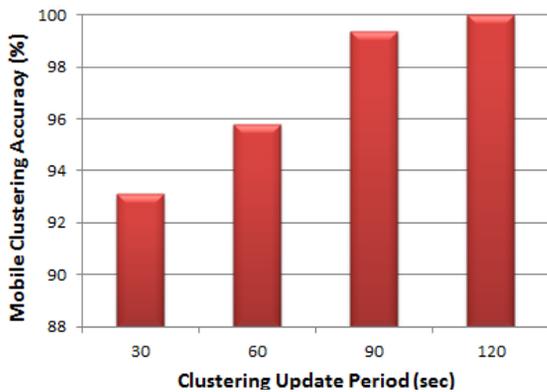


그림 7. 클러스터링 업데이트 주기 τ 에 따른 평균 모바일 클러스터링 정확도 (%)
 Fig. 7. Average clustering accuracy as update period changes (EWMA $\alpha=1/3$, Group Threshold $\beta=0$)

그림 7은 가중치가 1/3이고 그룹 임계값이 0일 때, 클러스터링 업데이트 주기 τ 을 30, 60, 90, 120초로 변경하면서 클러스터링 업데이트 주기 τ 에 따른 평균 모바일 클러스터링 정확도를 나타내었다. 클러스터링 업데이트 주기 τ (Clustering Update Period)가 길어질수록 모바일 클러스터링 정확도 (Mobile Clustering Accuracy)도 증가함을 알 수 있다. 이는 더 오랫동안 beacon 메시지 수신 정보를 활용할수록 꾸준히 그룹지어 이동하는 노드들을 더 정확히 분류할 수 있음을 재확인하는 결과라고 할 수 있다.

4.1.5. 클러스터링에 소요된 패킷 비용 분석

마지막으로 클러스터링 작업을 수행할 때 소모되는 패킷 비용을 분석하였다. 업데이트 주기를 60초로 설정하여 660-720초간의 데이터를 기반으로 측정하였고, Group Threshold는 0으로 설정하였다. 또한 처음 클러스터링을 시작하는 노드는 임의로 한 노드를 선정하여 시행하였다. 그 결과 클러스터링 작업에 참여한 총 노드 수는 538개였고, 클러스터링에 소모된 총 패킷 비용은 622.31로 측정되었다. 따라서 평균한 노드가 클러스터링 하는데 소모한 비용은 $1.15(=622.31/538)$ 로 계산된다. 이는 우리가 제안한 클러스터링 알고리즘의 비용이 노드 당 1.15개의 패킷만 보내는 것으로, 예상했던 바대로 비용적인 측면에서 매우 효율적이라고 할 수 있다. 이 클러스터링에 소요된 패킷 비용은 네트워크에 존재하는 모든 노드들이 한번 씩은 자신의 neighbor table을 group table에 반영하여야 하므로, 모바일 노드들의 속도 변화에 따른 클러스터링 비용 변화는 거의 없음을 확인할 수 있었다.

4.2. 라우팅 비용

4.2.1. 라우팅 비교 모델 선정

표 3. 성능 비교를 위한 라우팅 기법들
 Table 3. Routing schemes for performance comparison

	Routing A	Routing B	Proposed Routing
Cluster	X	O	O
Cluster-head	X	X	O

본 논문에서 제안한 클러스터링 기반 라우팅 기법과 다른 라우팅 기법과의 라우팅 비용을 비교해 보자 한다. 표 3에 나타난 바와 같이 ‘라우팅 기법 A’는 이동성을 가지는 모바일 노드들을 클러스터링하지 않고, 모든 정적 노드들이 각각 모바일 노드로 데이터를 전달하는 모델이다. 이 라우팅 기법 A로는 클러스터링의 개념 없이 라우팅 테이블에 기반해서 소스 노드로부터 목적지 노드로 proactive one-to-one 라우팅 하는 기법 [23]-[24]이 여기에 분류될 수 있다. 제안한 기법과는 그룹 개념의 유무에 따른 라우팅 비용의 성능 차이를 알아본다. 또한 ‘라우팅 기법 B’는 이동성을 가지는 모바일 노드들을 클러스터링 하되, 클러스터링 된 노드들 중 하나의 랜덤 노드

를 통해 intra-cluster 라우팅을 수행하는 모델이다. 라우팅 기법 B와 제안한 기법과의 비교를 통해 클러스터 헤드 노드의 유무에 따른 인트라 클러스터 라우팅 비용의 성능 차이를 알아본다.

4.2.2. 그룹 개념의 유무에 따른 전체 라우팅 비용 비교

본 논문에서 제안한 기법은 그룹 이동성을 가지고 있는 노드들을 클러스터링 하여, 개별적으로 모바일 노드로 데이터 전달을 하지 않고, 전체 그룹 단위로 보다 효율적으로 데이터를 전달하는 특징을 가지고 있다. 따라서 그룹을 형성하지 않고 개별 단위로 이동성을 가진 노드들에게 각각 데이터를 전달할 때 소모되는 비용과 비교해 보고자 하였다. 그림 8은 클러스터링을 하지 않은 라우팅 기법 A와 제안 라우팅 기법 간에 전체 라우팅 비용을 비교한 그래프이다. 그 결과 제안한 라우팅 기법이 라우팅 기법 A에 비해 비용이 약 1/20 수준인 것을 확인하였다. 라우팅 기법 A의 경우 모든 정적 노드들이 모바일 노드 20개로 개별적으로 데이터를 전달하였을 때에 소모되는 비용의 총합을 계산하는 것에 비해, 제안한 라우팅 기법은 정적노드에서 보내는 데이터를 그룹 내의 클러스터 헤드가 전달 받아 그룹으로 분류된 모든 내부 노드들에게 전달하기 때문에 전체 라우팅 비용이 현저하게 감소하였음을 확인할 수 있다. 또한 객관적인 비교를 위해 제안 라우팅 기법의 전체 라우팅 비용에 클러스터로 분류된 정적 노드들에게로 전달시 소모되는 라우팅 비용도 포함하였다. 따라서 그룹 이동성을 가지는 노드들에게 데이터를 전달할 때에는 각 노드별로 데이터를 전달하는 것보다, 그룹을 찾아내어 그룹 단위로 데이터를 전달하는 방법이 보다 효율적이고 확장성이 있음을 알 수 있다.

4.2.3. 클러스터 헤드 유무에 따른 그룹 내 클러스터 라우팅 비용

본 논문에서 제안한 기법은 그룹 내의 모든 멤버들과 연결 수신 상태가 좋은 클러스터 헤드를 선정해 라우팅을 한다. 따라서 그룹 내의 선별된 클러스터 헤드로부터 데이터를 전달할 때와 그렇지 않을 때 소모되는 라우팅 비용(intra-cluster routing cost)을 비교해보고자 하였다. 그림 9는 그룹 내에서 임의의 멤버 노드를 사용하여 라우팅을 시도한 라우팅 기법 B와 제안 라우팅 기법과의 그룹 내 클러스터 라우팅 비용(intra-cluster routing cost)을 비교한 그래프이다. 라우팅 기법 B에 대해서는 클러스터 헤드 노드와 그

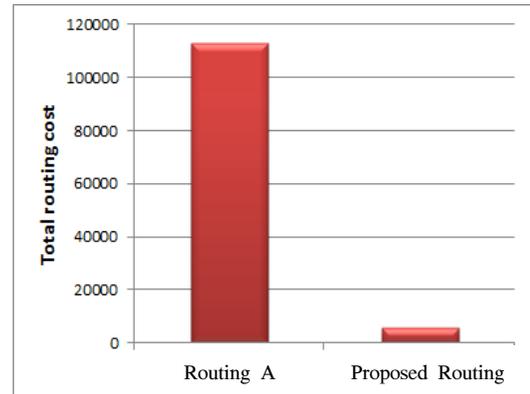


그림 8. 그룹 유무에 따른 클러스터 라우팅 비용 비교
Fig. 8. Routing cost without or with mobile group (Group Threshold $\beta=0$)

룹 멤버가 아닌 노드를 제외한 나머지 그룹 내의 모바일 노드들 중에서 임의의 한 노드를 통해 intra-cluster 라우팅 했을 때의 평균 비용을 나타낸 값이다. 그 결과 제안 라우팅 기법이 라우팅 기법 B에 비해 비용이 약 1/2 수준임을 확인하였다. 따라서 제안한 기법은 그룹 내에서 데이터를 보다 효율적으로 전달할 수 있는 클러스터 헤드를 잘 선정하였음을 의미하며, 선별된 클러스터 헤드를 통해 그룹 내부 멤버로 데이터를 전달하는 방법이 효율적임을 알 수 있다.

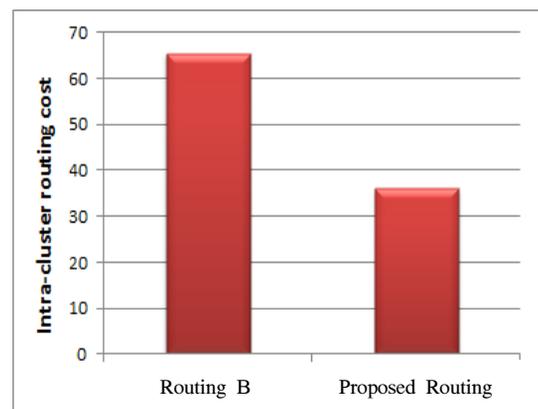


그림 9. 클러스터 헤드 유무에 따른 그룹 내 클러스터 라우팅 비용 비교
Fig. 9. Intra-cluster routing cost without or with cluster head node (Group Threshold $\beta=0$)

4.2.4 클러스터링 업데이트 주기 τ 에 따른 라우팅 비용

표 4. 클러스터링 업데이트 주기 τ 에 따른 라우팅 비용
Table 4. Routing cost with respect to clustering update period

Clustering Update Period (sec)	30	60	90	120
Routing Cost	48.11	36	44.81	37.4
# Of Group Member Nodes	34	29	33	27
Routing Cost per Node	1.41	1.24	1.36	1.39

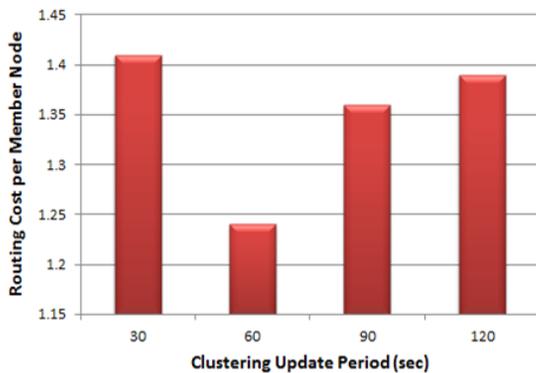


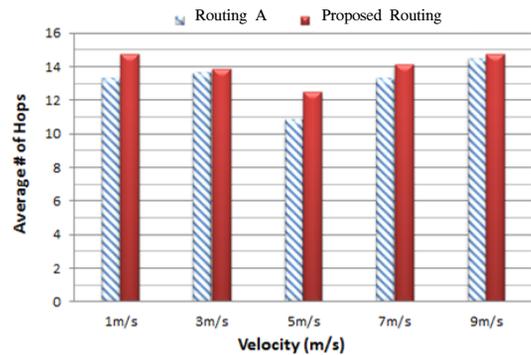
그림 10. 클러스터링 업데이트 주기 τ 에 따른 멤버 노드 당 라우팅 비용
Fig. 10. Routing cost per member node with respect to clustering update period (Group Threshold $\beta=0$)

표 4는 본 논문에서 제안한 기법을 이용하여 클러스터링 업데이트 주기 τ 을 변화시켰을 때 그룹 내 라우팅 비용(intra-cluster routing cost)을 비교하여 나타내었다. 클러스터링 업데이트 주기 τ 마다 클러스터링 된 그룹 멤버의 노드의 수가 다르기 때문에 단순히 라우팅 비용을 비교하기에는 무리가 있다고 생각되어 단위 멤버 노드 당 라우팅 비용을 계산하였다. 그 결과 클러스터링 업데이트 주기 τ 에 따른 멤버 노드 단위 당 라우팅 비용을 위의 그림 10에 나타내었다. 클러스터링 업데이트 주기 τ 가 클수록 단위 멤버 노드 당 라우팅에 소모되는 비용이 증가한다. 클러스터링 업데이트 주기 τ 가 60초일 때 값이 가장 작았고, 그 후 클러스터링 업데이트 주기 τ 가 증가할수록 그 결과 값도 증가하는 것을 알 수 있다. 이를 통해 클러스터링 업데이트 주기 τ 가 길

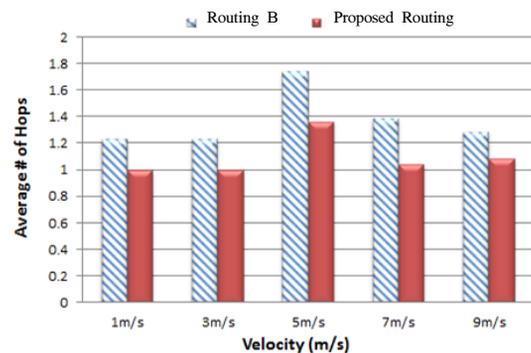
어질수록 모바일 클러스터링 정확도가 높아지지만 (그림 7 참고), 각 통신 링크의 최신 수신 상태가 상대적으로 적게 반영된 링크 비용을 사용하게 됨에 따라, 그룹 멤버 노드 당 소모하는 라우팅 비용도 증가하게 됨을 알 수 있다. 실험을 통해 클러스터링 업데이트 주기 τ 를 60초로 선정하였을 때 모바일 클러스터링 정확도와 함께 라우팅 성능도 함께 보장됨을 확인할 수 있었다.

4.2.5. 그룹 이동 속도에 따른 성능 평가

마지막으로 그룹 사용자들의 평균 이동 속도 변화에 따른 각 라우팅 기법의 평균 라우팅 전달 홉수와 패킷 전송 효율(Packet Delivery Ratio)에 대한 성능 평가를 수행하였다.



(a) Routing hops from stationary nodes to mobile nodes for Routing A vs. Proposed Routing

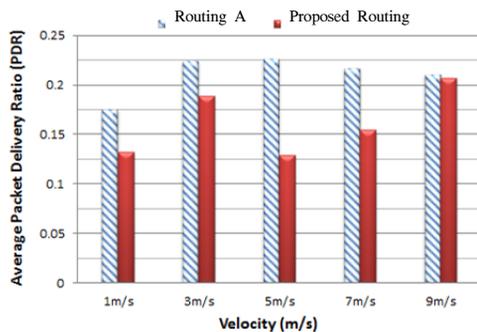


(b) Intra-cluster routing hops for Routing B vs. Proposed Routing

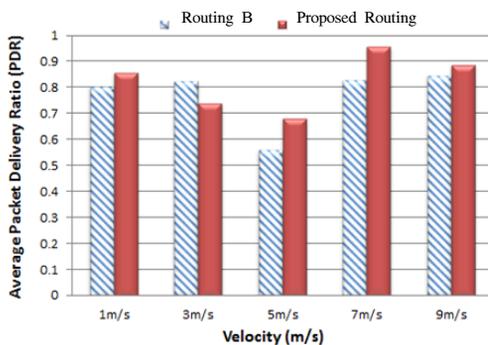
그림 11. 그룹 모바일 사용자들의 평균 이동 속도 변화에 따른 라우팅 경로 홉수 성능 비교 평가
Fig. 11. Average number of routing hops with respect to moving velocity of group mobile users

라우팅 기법 A와 제안 기법에서의 전체 라우팅 경로 홉수를 비교했을 때(그림 11(a) 참고), 라우팅 기법 A는 각 정적노드로부터 모바일 노드로까지의

평균 홉수가 11개에서 14.5개로 분포하였으며, 제안 기법은 12.5개에서 15개로 분포하여, 다양한 이동 속도 변화에 따라 제안 기법이 공통적으로 1 ~ 2홉 정도 더 소모함을 확인할 수 있었다. 이는 제안한 기법이 각 정적노드로부터 직접 모바일 노드로 전달하는 경로(라우팅 기법 A)를 사용하지 않고, 효율적인 그룹 내로의 데이터 전달을 위해 인터 클러스터 라우팅을 통해 클러스터 헤드에서 데이터를 받은 뒤 클러스터 내 라우팅을 수행하기 때문에, 약간의 우회 경로가 발생하여 해당하는 홉수만큼의 패킷 전달 딜레이가 더 발생할 수 있음을 알 수 있다. 하지만, 그림 8에서 보듯이, 제안한 기법은 훨씬 작은 라우팅 비용으로 데이터 전달 성능을 보임을 알 수 있어, 상반 관계가 있음을 확인할 수 있다. 그림 11(b)에서의 라우팅 기법 B와 제안 기법 비교에서는, 다양한 이동 속도 변화에서도 그룹 내의 모든 멤버들과 연결 수신 상태가 좋은 클러스터 헤드를 잘 선정하였을 때, 보다 적은 홉수를 거쳐 각 멤버들로 데이터를 전달할 수 있음을 확인하였다.



(a) Overall packet delivery ratio from stationary nodes to mobile nodes



(b) Intra-cluster packet delivery ratio

그림 12. 그룹 모바일 사용자들의 평균 이동 속도 변화에 따른 패킷 전달률 비교 평가
Fig. 12. Average packet delivery ratio with respect to moving velocity of group mobile users

마지막으로, 그룹 모바일 사용자의 평균 이동 속도에 따른 패킷 전달률을 라우팅 기법 A와 라우팅 기법 B와의 성능 비교를 수행하였다. 그림 12(a)에서는 링크별, 세션별 재전송을 전혀 수행하지 않은 상태에서 라우팅 기법 A와 제안 기법 사이의 패킷 전달률을 비교한 결과이다. 그림 11(a)에서 알 수 있듯이 제안 기법이 라우팅 기법 A보다 다양한 평균 속도 범위에서 모두 평균 전달 홉수가 컸기 때문에, 패킷 전달률도 따라서 상대적으로 다소 낮아짐을 알 수 있다. 라우팅 기법 A와 제안 기법 모두 패킷 전달률이 작게 측정된 이유는, 538개로 이루어진 다소 큰 네트워크로 실험 환경이 구성되어 있고, 모두 평균 전달 홉수가 10 이상인 데이터 전달 경로로 이루어져 있는 상태에서, 링크별, 세션별 재전송을 전혀 하지 않은 순수하게 라우팅 계층에서의 패킷 전달률을 측정하였기 때문이다. 실질적으로는 각 라우팅 계층 위에 전달 계층에서의 다양한 재전송 프로토콜이 사용될 수 있어 이에 대한 현실적인 보완이 가능하다. 또한 라우팅 기법 B와 제안 기법의 패킷 전달률 비교를 나타낸 그림 12(b)에서는 다양한 이동 속도 범위에서 전반적으로 평균 전달 홉수가 1~2개이므로, 두 기법 모두 그룹 내 패킷 전달률은 상대적으로 높음을 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 연구에서는 무선 애드혹 네트워크상에서 그룹 이동성이 있는 모바일 사용자들이 beacon 메시지 수신 상태 정보만을 이용하여 분산적인 방법으로 클러스터링 하는 기법과, 그룹 내로 데이터를 효과적으로 전달하기 위한 클러스터 헤드 노드를 선정하는 기법을 제안하였다. 또한 제안된 클러스터링 기법을 이용하여 모바일 그룹 내의 노드들로 데이터를 전달하기 위해 그룹 외부에서 클러스터 헤드 노드로 데이터를 전달하는 inter-cluster 라우팅 기법과 클러스터 헤드 노드에서 그룹 내의 노드들에게 데이터를 전달하는 intra-cluster 라우팅 기법을 제안하였다. 성능 및 비교 평가 결과, 제안한 클러스터링 기법은 최소한의 오버헤드로 96 % 정도의 높은 클러스터링 정확도를 보임을 확인하였고, 제안한 클러스터링 기반 라우팅 기법을 통해 모바일 그룹 내부로 데이터를 보다 효율적으로 전달할 수 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구는 일반 무선 네트워크상에서 다양한 형태의 그룹으로 이동하는 사용자들에게 데이터를 보

다 적은 비용으로 효율적으로 전달할 수 있는 그룹 라우팅 프레임워크를 제안함으로써, 현존하는 다양한 라우팅 기법과 결합되어 적용 가능하다는 점에서 다양한 실용적인 기여를 할 수 있을 것으로 기대한다.

향후 연구로는 다양한 관심사를 가진 복수의 사용자 그룹을 위한 데이터 전달 기법에 대한 연구와, 유사 관심사를 가지는 사용자들의 사회적 연관 관계 등을 고려하여 데이터들을 선별적으로 추천하여, 관심 사용자들에게 효율적으로 공유하는 데이터마이닝 기반 네트워크 연구를 수행하고자 한다.

References

- [1] P.-Y. Chen, W.-T. Chen, Y.-C. Tseng, and C.-F. Huang, "Providing group tour guide by RFIDs and wireless sensor networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 6, pp. 3059-3067, June 2009.
- [2] H. Kang, S. Lim, H. Jeon, J. Lee, S. B. Park, and Y. B. You, "Mobility-adaptive routing update scheme for wireless networks with group mobility," *J. Korea Inst. Commun. Inform. Sci. (KICS)*, vol. 37B, no. 1, pp. 39-49, Jan. 2012.
- [3] H. Dang and H. Wu, "Clustering and cluster-based routing protocol for delay-tolerant mobile networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 6, pp. 1874-1881, June 2010.
- [4] R. Ramanathan and M. Steenstrup, "Hierarchically-organized, multihop mobile wireless networks for quality-of-service support," *Mobile networks and applications*, vol. 3, no. 1, pp. 101-119, June 1998.
- [5] C.-C. Chiang, H.-K. Wu, W. Liu, and M. Gerla, "Routing in clustered multihop, mobile wireless networks with fading channel," in *Proc. IEEE Singapore Int. Conf. Networks (SICON)*, pp. 197-211, Singapore, Apr. 1997.
- [6] K. Iwanicki and M. van Steen, "On hierarchical routing in wireless sensor networks," in *Proc. Int. Conf. Inform. Process. Sensor Networks (IPSN)*, pp. 133-144, San Francisco, U.S.A., Apr. 2009.
- [7] A. Iwata, C.-C. Chiang, G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen, "Scalable routing strategies for ad hoc wireless networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 17, no. 8, pp. 1369-1379, Aug. 1999.
- [8] L. F. Xie, P. H. Chong, and Y. L. Guan, "Leader based group routing in disconnected mobile ad hoc networks with group mobility," *Wireless Personal Commun.*, vol. 71, no. 3, pp. 2003-2021, Nov. 2012.
- [9] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C.-C. Chiang, "A group mobility model for ad hoc wireless networks," in *Proc. 2nd ACM Int. Workshop Modeling, Simulation Wireless, Mobile Syst. (MSWiM '99)*, pp. 53-60, Seattle, U.S.A., Aug. 1999.
- [10] M. Zhang and P. H. J. Chong, "Performance comparison of flat and cluster-based hierarchical ad hoc routing with entity and group mobility," in *Proc. IEEE Wireless Commun. Networking Conf. (WCNC 2009)*, pp. 2050-2055, Budapest, Hungary, Apr. 2009.
- [11] C. Kim, W. Kim, and S. Jang, "Improved cluster-based routing protocol using cluster header in mobile ad hoc network," *J. Korea Multimedia Soc.*, vol. 16, no. 1, pp. 56-66, Jan. 2013.
- [12] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *Proc. 33rd Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, pp. 1-10, Island of Maui, U.S.A., Jan. 2000.
- [13] C.-M. Liu, C.-H. Lee, and L.-C. Wang, "Distributed clustering algorithms for data-gathering in wireless mobile sensor networks," *J. Parallel Distributed Comput.*, vol. 67, no. 11, pp. 1187-1200, Nov. 2007.
- [14] N. Kim, J. Heo, H. S. Kim, and W. H. Kwon, "Reconfiguration of clusterheads for load balancing in wireless sensor networks," *Comput. Commun.*, vol. 31, no. 1, pp. 153-159, Jan. 2008.
- [15] O. Younis and S. Fahmy, "HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering

approach for ad hoc sensor networks,” *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 3, no. 4, pp. 366-379, Oct.-Dec. 2004.

- [16] L. Qing, Q. Zhu, and M. Wang, “Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks,” *Comput. Commun.*, vol. 29, no. 12, pp. 2230-2237, Aug. 2006.
- [17] Z. Haas, M. R. Pearlman, and P. Samar, “The zone routing protocol (ZRP) for ad hoc networks,” *Internet Draft*, draft-ietf-manet-zrp-02.txt, work in progress, 1999.
- [18] M. Joa-Ng and I-T. Lu, “A peer-to-peer zone-based two-level link state routing for mobile ad hoc networks,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 17, no. 8, pp. 1415-1425, Aug. 1999.
- [19] S.-C. Woo and S. Singh, “Scalable routing protocol for ad hoc networks,” *Wireless Networks*, vol. 7, no. 5, pp. 513-529, Sep. 2001.
- [20] A. Neumann, C. Aichele, M. Lindner, S. Wunderlich, “Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking (B.A.T.M.A.N.),” *Internet Draft*, draft-wunderlich-openmesh-manet-routing-00, Apr. 2008.
- [21] T. Clausen and P. Jacquet, “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR),” *RFC 3626*, Oct. 2003.
- [22] J. Chroboczek, “The Babel Routing Protocol,” *RFC 6126*, Apr. 2011.
- [23] C. E. Perkin and P. Bhagwat, “Highly dynamic destination sequence distance-vector routing (DSDV) for mobile computers,” *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Review*, vol. 24, no. 4, pp. 234-244, Oct. 1994.
- [24] S. Murthy and J. J. Garcia-Luna-Aceves, “A routing protocol for packet radio networks,” in *Proc. 1st Annu. Int. Conf. Mobile Comput. Networking (MobiCom '95)*, pp. 86-95, Berkeley, U.S.A., Nov. 1995.

유진희 (Jinhee Yoo)



2011년 3월~현재 이화여자대학교 컴퓨터공학과 학사과정
<관심분야> 무선 애드혹 네트워크, 통신 네트워크

한경아 (Kyeongah Han)



2012년 3월~현재 이화여자대학교 컴퓨터공학과 학사과정
<관심분야> 무선 애드혹 네트워크, 보안, 데이터베이스

정다희 (Dahee Jeong)



2011년 3월~현재 이화여자대학교 컴퓨터공학과 학사과정
<관심분야> 무선 애드혹 네트워크, 통신 네트워크

이형준 (HyungJune Lee)



2001년 8월 서울대학교 전기공학부 학사
2006년 6월 Stanford 대학교 전기공학과 석사
2010년 8월 Stanford 대학교 전기공학과 박사
2012년 3월~현재 이화여자대학교 컴퓨터공학과 조교수
<관심분야> 무선 센서 네트워크, 이동 애드혹 네트워크, 네트워크 최적화, 임베디드 시스템