

논문 2010-47CI-3-11

확장성을 갖는 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜

(Scalable Cluster Overlay Source Routing Protocol)

장 광 수*, 양 효 식**

(Kwang-Soo Jang and Hyo-Sik Yang)

요 약

확장성을 제공하는 라우팅 알고리즘은 대규모 MANETs를 운영하는데 중요한 요소 중 하나이다. 현재까지 개발된 라우팅 알고리즘의 성능은 네트워크내의 노드의 수에 종속적이거나 노드의 위치정보를 알아야 하는 등 여러 가지로 제한적이었다. 라우팅 알고리즘의 성능이 네트워크내의 노드의 수에 종속적이어서 노드의 밀도가 증가하는 경우 기존의 알고리즘들은 성능이 현저히 떨어지는 결과를 보인다. 본 논문에서는 확장성 제공을 위한 클러스터링 기반의 Dynamic Source Routing 알고리즘을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 성능분석을 수행하여 기존의 DSR과 비교하였다. 단위 메시지 당 전송한 경로발견에 사용된 메시지의 수의 경우 DSR과 비교하여 90% 이상 향상된 성능개선을 보였다. 또한 네트워크내의 노드 밀도와 네트워크 크기를 변화하면서 성능분석을 수행한 결과 제안된 알고리즘은 동작이 단순하고, 목적지까지의 경로 획득에 있어서 메시지나 경로 획득 수행시간의 복잡도가 네트워크 내의 노드의 수가 증가하더라도 일정한 성능을 보인다.

Abstract

Scalable routing is one of the key challenges in designing and operating large scale MANETs. Performance of routing protocols proposed so far is only guaranteed under various limitation, i.e., dependent of the number of nodes in the network or needs the location information of destination node. Due to the dependency to the number of nodes in the network, as the number of nodes increases the performance of previous routing protocols degrade dramatically. We propose Cluster Overlay Dynamic Source Routing (CODSR) protocol. We conduct performance analysis by means of computer simulation under various conditions - diameter scaling and density scaling. Developed algorithm outperforms the DSR algorithm, e.g., more than 90% improvement as for the normalized routing load. Operation of CODSR is very simple and we show that the message and time complexity of CODSR is independent of the number of nodes in the network which makes CODSR highly scalable.

Keywords: Complexity, Clustering, Mobile Ad-hoc Network, Routing Protocol, Scalability

I. 서 론

확장성을 제공하는 라우팅 알고리즘은 대단위 MANET (Mobile Ad-hoc Network)을 설계하고 운영하는데 있어서 중요한 요소 중 하나이다. 네트워크의 노드의 수가 증가함에 따라 네트워크를 효율적으로 운

용하기 위해서는 라우팅 알고리즘이 네트워크의 노드의 수와 독립적으로 운용이 가능하고 동작이 단순하여야 한다. 현재까지 발표된 확장성을 제공하는 라우팅 알고리즘들은 주로 다음의 문제점을 갖고 있다. i) 목적지까지의 경로를 찾는 데 있어서 총 소요 시간이나 경로를 찾기 위한 메시지의 수가 네트워크의 크기 (예를 들어, 네트워크상의 노드수나 무선 링크 (hop)의 수)에 의존하거나^[1-2], ii) 네트워크상의 노드의 밀도를 제한하거나^[2-3], iii) 특정한 시간에 노드의 위치 정보를 알고 있다고 가정하는^[4-5] 등 네트워크 구성에 있어서 제한적인 가정 하에 라우팅 알고리즘의 분석을 수행하여 왔다. 이러한 이유로 기존의 라우팅 알고리즘은 네트워크상의

* 학생회원, ** 정회원, 세종대학교 컴퓨터공학과
(Department of Computer Science and Engineering,
Sejong University)

※ 이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술
연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을
받아 연구되었음(KRF-2008-331-D00356)

접수일자: 2010년3월23일, 수정완료일: 2010년5월7일

노드수가 많다거나 노드의 위치 정보가 없을 때, 또는 네트워크의 크기가 큰 MANET의 경우 효율적으로 그 분석 결과를 보장할 수 없다.

본 논문에서는 확장성 제공을 위한 클러스터링 기반의 Cluster Overlay Routing (CODSR)을 제안하였다. 기본적으로 네트워크 노드는 클러스터링을 구성하여 각 노드가 속한 클러스터 리더의 도움으로 경로발견을 수행한다. 클러스터 리더는 장거리 전송을 이용하여 기존의 DSR 방식의 경로발견과 경로유지 절차를 수행한다. 기존 알고리즘과의 성능분석 결과 모든 면에서 향상된 성능향상을 보였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 확장성을 제공하는 라우팅 프로토콜과 클러스터링 알고리즘에 대하여 살펴보고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 CODSR에 대하여 설명하였다. IV장에서는 모의실험을 통한 DSR과의 성능분석 및 시간 및 메시지 복잡도에 대하여 논의하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

라우팅 프로토콜은 각 노드들의 구조에 의해 평면적 또는 계층적 라우팅 프로토콜로 구분 될 수 있다. 평면적 네트워크에서는 각 노드들이 서로 동등한 관계를 갖고 수행하는 일도 같다. 하지만 계층적 네트워크에서는 각 노드들을 몇 개의 그룹으로 나뉘 각 노드들의 역할에 따라 수행하는 일도 달라진다. 많은 수의 노드들을 이용한 MANET에서는 계층적 구조를 이용해야 기본적인 성능을 보장받을 수 있다^[6-7]. 계층적 네트워크의 한 예로 클러스터링을 들 수 있다. 각 노드들은 여러 개의 클러스터로 그룹화가 되고 하나의 클러스터 안에는 클러스터 리더, 게이트웨이 노드, 일반 노드가 존재하게 된다^[8]. 이런 계층적인 구조를 이용하게 되면 몇 가지 장점들을 가질 수 있다^[8-9]. 우선 라우팅에 관여하는 노드들의 수를 줄여 중복되는 메시지 플래딩 횟수를 줄일 수 있다. 두 번째로 네트워크의 토폴로지 변화를 하나의 클러스터 내로 제한 시켜 전체 네트워크에 영향을 주지 않을 수 있다. 마지막으로 공간상 자원을 나눠 쓸 수 있기 때문에 서로 겹치지 않는 클러스터링을 이용한 근접해 있지 않는 클러스터들은 같은 주파수 등을 공유할 수 있다.

하지만 클러스터링을 이용하게 되면 몇 가지 단점도 생기게 된다. 우선 부가적인 클러스터링 메시지를 사용

하게 되어서 부가적인 네트워크 오버헤드를 낳는다. 기본적인 ad-hoc 네트워크의 특성인 노드들의 이동성에 따른 잦은 네트워크 토폴로지 변화로 인한 패킷 손실이나 경로단절과 같은 현상들이 일어날 수 있다. 결국 MANET과 같이 빠르고 동적으로 변화하는 토폴로지에서 클러스터링 알고리즘은 동작이 단순하고 빨라야 한다. 본 논문에서는 LCC (The Least Cluster Change)을 기본 클러스터링 알고리즘으로 사용하였다^[10]. LCC는 해당 네트워크에서 최적의 클러스터 수와 클러스터 업데이트를 위한 비용을 요구하기 때문이다^[11].

이러한 단점에도 불구하고 클러스터링 알고리즘의 기본적인 확장성 지원으로 인하여 많은 클러스터링 기반의 라우팅 프로토콜이 연구되어왔다^[5, 12]. 그리고 이러한 계층적 라우팅 프로토콜들과 평면적 라우팅 프로토콜들의 확장성 성능분석을 통한 연구결과들은 계층적인 라우팅 프로토콜이 확장성면에서 더 효율적임을 증명하였다^[9, 13-15]. 계층적 구조를 갖는 COB 프로토콜은 평면적 구조를 이용하는 DSR과의 성능분석을 통하여 COB가 DSR보다 높은 확장성을 가지고 있음을 보여주었다^[14]. 그러나 COB에서 각 클러스터 리더들은 모든 데이터 전송 시 기존에 경로를 발견한 목적지로 데이터를 전송하는 경우에도 RREQ (Route Request) 메시지를 전송한다. DSR의 각 노드들은 라우트 캐쉬를 이용하여 과거에 이용되었던 루트를 저장하여 추가적인 데이터 전송이 요구될 경우 경로발견 절차를 다시 거치지 않고 저장되어있던 경로를 이용하여 데이터를 전송한다^[16].

III. Cluster Overlay DSR

CODSR은 기본적으로 클러스터링을 이용한다. 앞 장에 설명한 바와 같이 CODSR은 LCC 알고리즘을 사용한다. LCC 알고리즘은 클러스터링의 구조의 변화가 작고 O(1)의 복잡도를 갖는 알고리즘으로 알려져 왔다. CODSR은 여러 가지 LCC 알고리즘 중 lowest ID 알고리즘을 이용하여 클러스터링을 구성한다. 이렇게 구성된 클러스터 리더는 네트워크 내의 노드의 수, N , 과 무관하게 일정한 밀도를 갖게 된다.

본 논문에서는 기본적으로 대단위의 노드를 갖는 네트워크로 가정하였다. 각 노드는 단거리 전송과 장거리 전송의 두 개의 전송 모드를 갖고 있다고 가정하였다. 장거리 전송모드는 단거리 전송모드의 3배라고 가정하였고^[14] 이는 전력제어를 이용하여 구현이 가능하다^[17].

일반 노드는 단거리 전송모드를 이용하고 클러스터 리더는 장거리 전송모드를 이용하여 데이터 전송을 수행한다.

Lz를 노드 z의 클러스터 리더라고 가정하고 노드 z는 자신의 클러스터 리더 Lz를 알고 있다고 가정한다. 이는 클러스터를 구성하는 단계에서 취득할 수 있다. 그러나 클러스터 리더 Lz는 자신에게 속해있는 일반노드의 목록을 보유할 필요는 없다.

만약 노드 x가 임의의 노드 y로 M이라는 데이터를 전송하기 위해서는 우선 경로 요청 메시지 (RREQ, Route Request)를 다음의 절차와 같이 전송하여야 한다. 네트워크내의 모든 노드도 다음의 절차를 따른다.

데이터를 전송하고자 하는 노드 x는 메시지 M을 단거리 전송을 이용하여 x의 클러스터 리더인 Lx로 전송한다. 클러스터 리더 Lx가 (y, M)이라는 메시지를 받으면 Lx는 클러스터 오버레이 네트워크로 DSR 알고리즘을 이용하여 RREQ 메시지를 방송하게 된다. 만약 데이터를 전송하고자 하는 노드가 클러스터 리더라면 단거리 전송의 단계를 생략하고 RREQ메시지를 DSR을 이용하여 전송한다. 장거리 전송을 이용하여 전송한 RREQ 메시지는 일반 노드에도 전송이 되는데, 일반 노드가 RREQ 메시지를 받았을 때에는 포워딩 하지 않고 바로 삭제한다.

RREQ를 수신한 목적지 노드 y는 DSR 알고리즘에 따라 RREP (Route Reply) 메시지를 생성하게 된다. 이렇게 생성된 RREP 메시지는 노드 y의 클러스터 리더인 Ly에게 단거리 전송을 이용하여 전송한다. 클러스터 리더 Ly는 다시 수신된 RREP 메시지를 클러스터 오버레이 네트워크로 전송한다. RREQ 수신한 목적지 노드가 클러스터 리더라면 이전의 단거리 전송의 단계를 거치지 않는다. RREP 메시지에는 RREQ를 수신한 경로들이 저장되게 된다. 따라서 모든 클러스터 리더로 방송되지 않고 발견된 경로에 위치한 클러스터 리더를 거쳐서 RREP 메시지를 송신한 클러스터 리더 Lx로 전송된다. RREP를 수신한 Lx는 발견된 경로를 라우트 캐쉬에 저장한 후 발견된 경로를 이용하여 메시지 M을 전송한다. 경로의 유지 및 링크 단절 등에 대한 대처는 DSR 알고리즘을 따른다.

여기서 주의 깊게 살펴봐야 할 점은 일반노드는 목적지가 자기 자신일 때 제외하고는 어떠한 라우팅에도 관여하지 않는다는 점이다. 이로써 CODSR은 라우팅에 관여하는 노드의 수를 최대한 줄임으로서 확장성을 보

장하는 COB장점을 그대로 유지하고 있다. 기존의 COB와 같이 발견된 각각의 경로들은 각각의 클러스터 리더들의 연결에 의해 일반화되어진다. 그러나 이렇게 일반화되어지면 장거리 전송을 이용하는 링크들은 병목현상을 겪게 된다. 이러한 병목현상은 예상 되어질 수 있다. 평면적 라우팅에선 정확히 어느 링크, 어느 노드에서 병목현상이 생길지 예측하기가 힘들기 때문에 대처하기가 어렵지만 계층적 라우팅에서는 어느 링크, 어느 노드에서 병목현상이 생길지 예상되어 질 수 있기에 클러스터 리더에게 많은 대역폭을 할당하거나, 많은 에너지를 갖고 있는 노드들에게 낮은 ID를 부여하는 등 융통성 있게 대처할 수 있다.

제안된 CODSR 알고리즘이 COB 알고리즘보다 좋은 성능을 보이는 점은 많은 RREQ 메시지를 줄일 수 있기 때문이다. COB 알고리즘은 모든 메시지 요청에 의해 클러스터 리더가 RREQ를 주위의 클러스터 리더들에게 방송한다. 하지만 CODSR에선 DSR에서 사용되는 라우트 캐쉬를 이용하여 목적지 노드로의 경로를 질의 후 경로가 존재한다면 RREQ없이 바로 메시지를 목적지 노드로 전송한다. 이를 통해 RREQ 메시지를 줄일 수 있고 RREQ로 인한 메시지 오버헤드를 줄일 수 있다.

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 CODSR 및 기존의 DSR과 COB의 성능 분석 모의실험 결과에 대하여 설명한다. 모의실험에 사용된 DSR의 전송거리와 CODSR의 단거리 전송거리(P)는 같게 설정하였다. 2개의 단거리 전송 거리 P=25m과 50m으로 설정하였고 이에 따른 CODSR의 장거리 전송 거리는 각각 75m과 150m이다. 또한 노드들의 움직임을 모델링하기 위해 RWP (Random Way Point)를 사용하였고 각 노드들은 10m/s로 주어진 환경에서 각 모델에 따라 임의로 이동한다. pause time은 10초 설정하였다. 일반적으로 경로 설정을 위해 필요한 시간은 노드의 이동속도에 비하여 짧기 때문에 경로설정 시에 각 노드는 고정되어 있는 것으로 가정하였다. 데이터 링크 레이어의 부정적인 혹은 긍정적인 영향을 피한 네트워크 레이어의 성능측정을 위하여 이상적인 Medium Access Control (MAC) 프로토콜을 사용한다고 가정하였다.

모의실험 환경에서는 순차적으로 임의의 출발지 노

드를 정한 후 출발지 노드가 임의의 목적지 노드를 정해서 경로설정에 필요한 메시지를 전달하도록 설정하여 데이터 메시지를 전송하는데 필요한 경로설정에 사용되는 메시지 (normalized message)의 수를 측정하였고 경로 발견까지 소요되는 시간을 측정하였다. 각각의 시뮬레이션은 95퍼센트의 신뢰구간이 해당하는 10퍼센트의 샘플들의 평균보다 낮아 질 때 까지 진행되어졌다.

모의실험에서는 두 가지 시나리오 - Density scaling 과 Diameter scaling - 에 따른 성능분석을 수행하였다. Density scaling에서는 노드 밀도에 따른 성능 측정을 위하여 네트워크의 크기는 일정하게 두고 노드의 수를 증가시키면서 네트워크 내의 노드의 밀도를 증가하면서 성능분석을 수행하였고, Diameter scaling에서는 네트워크 크기에 따른 성능 측정을 위하여 노드의 수와 네트워크의 크기를 증가시키면서 네트워크내의 노드의 밀도를 일정하게 유지하면서 성능분석을 수행하였다. 두 개의 시나리오에서 각각 경로발견에 필요한 지연시간과 경로발견을 위해 전송한 메시지의 수를 측정하였다. 경로발견에 필요한 지연시간은 RREQ 메시지를 전송한 후 RREP 메시지를 받을 때까지 거치는 hop의 수로 측정하였고 경로발견을 위해 전송한 메시지의 수는 각 데이터 패킷을 보내내기 위해 필요한 경로를 찾는 데 사용된 메시지의 수와 데이터 요청 수의 비로 설정하였다.

1. Density Scaling

Density Scaling에서의 시뮬레이션 설정은 해당 네트워크의 고정된 크기 안에서 노드들의 밀도를 증가하면서 성능분석을 수행하였다. 각 노드의 전송거리를

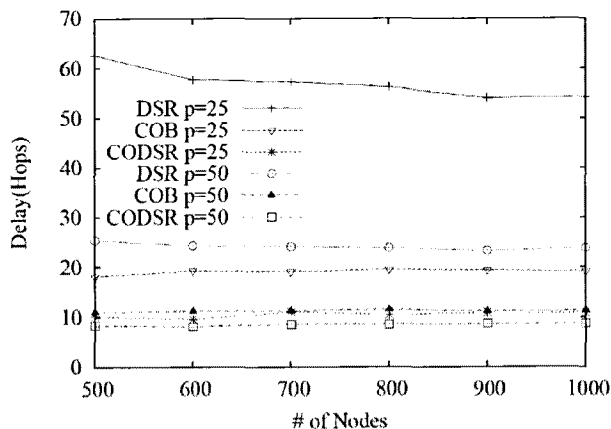


그림 1. 경로 발견에 필요한 지연시간: RWP
Fig. 1. The delay for a route discovery as a function of the number of nodes : RWP.

P=25m, P=50m로 설정하여 성능분석을 수행하였다.

각 노드들은 500m×500m 크기의 네트워크 공간에 균일하게 (uniform) 분포되어 있다고 가정하고 네트워크의 노드의 수, N, 을 500을 시작으로 100씩 증가시키면서 성능분석을 수행하였다.

그림 1에선 CODSR, COB와 DSR의 Density scaling에서의 경로 발견에 필요한 지연시간을 나타낸다. 이 그림에서 주목할 만 한 특징은 CODSR, COB와 DSR 모두 해당 네트워크에서 노드의 수가 증가함에도 불구하고 일정한 지연시간을 보이는 점이다. 이는 지연시간 성능이 메시지 근원지와 목적지 사이의 거리의 함수로 표현되어지기 때문이다. 또한 CODSR와 COB같은 클러스터 기반 네트워크에서 클러스터 리더의 수는 해당 네트워크에 존재하는 노드의 수에 의해 변화하는 것이 아니라 해당 네트워크의 크기에 따라 달라진다. 본 모의 실험의 결과가 이를 증명하여 준다. 즉 DSR은 평면적 라우팅 프로토콜이기 때문에 메시지 근원지와 목적지의 최단경로는 일반 노드들의 hop으로 표현이 되지만 CODSR와 COB같은 클러스터 기반 라우팅 프로토콜의 최단경로는 클러스터 리더간의 hop으로 표현이 된다. 더해서 또 주목할 점은 CODSR의 지연시간이 COB보다 작음을 알 수 있다. 이 것은 CODSR이 라우트 캐시를 이용하여 COB의 단점인 중복된 RREQ 메시지 수를 줄였기 때문이다.

그림 2에선 CODSR, COB와 DSR의 Density scaling에서의 경로 발견에 사용된 메시지 수를 나타낸다. DSR의 경우 실제 노드의 수가 증가함에 따라 사용되는

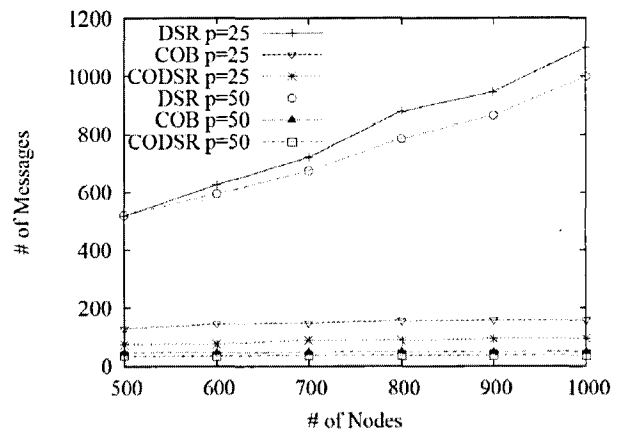


그림 2. 경로 발견에 사용된 메시지 수: RWP
Fig. 2. The number of normalized messages for a route discovery as a function of the number of nodes : RWP.

경로 발견에 사용된 메시지 수가 증가함을 알 수 있다. DSR은 평면적 라우팅 프로토콜이기 때문에 노드의 수가 증가함에 따라 브로드캐스팅 하는 RREQ 메시지가 증가하기 때문이다. 반면 CODSR와 COB의 경우 경로 발견에 사용된 메시지 수는 노드의 수가 증가해도 일정하다. 왜냐하면 일반 노드의 수가 증가해도 해당 네트워크 크기에 의해 클러스터 리더들의 수는 일정한 수로 고정되어 있기 때문이다. 즉 CODSR와 COB에선 라우팅에 관여하는 노드들은 클러스터 리더들이기 때문에 전체 노드의 수가 증가해도 경로 발견에 사용된 메시지가 증가하지 않는 것이다.

2. Diameter Scaling

Diameter scaling에서는 노드의 수와 네트워크의 크기를 증가시키면서 네트워크내의 노드의 밀도를 일정하게 유지하면서 성능분석을 수행하였다.

우선 250개의 노드들을 125m×125m 크기의 네트워크 공간에, 500개의 노드들을 250m×250m 크기의 네트워크 공간에, ... , 마지막으로 1000개의 노드들을 500m×500m 크기의 네트워크 공간에 균일하게 분포하도록 하였다.

그림 3에선 CODSR, COB와 DSR의 Diameter scaling에서의 경로 발견에 필요한 지연시간을 나타낸다. Diameter scaling에서의 네트워크는 Density scaling에서와는 다르게 실제로 노드의 수에 비례하여 네트워크의 크기가 커진다. 즉 메시지 근원지와 목적지 사이의 거리가 증가함을 의미한다. 그래서 네트워크의 크기가 증가함에 따라 CODSR, COB와 DSR의 경로 발견에 필요한 지연시간은 증가한다.

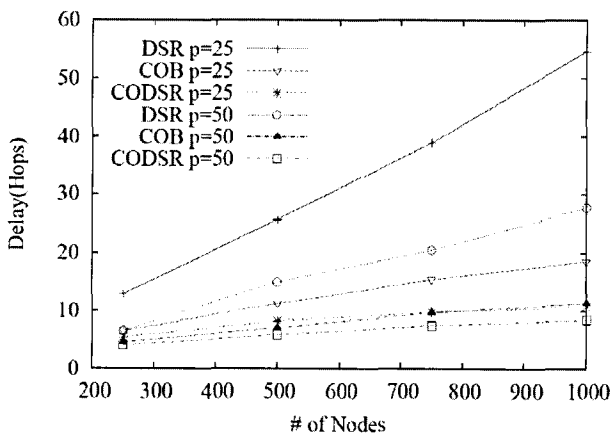


그림 3. 경로 발견에 필요한 지연시간: RWP
 Fig. 3. The delay for a route discovery as a function of the number of nodes : RWP.

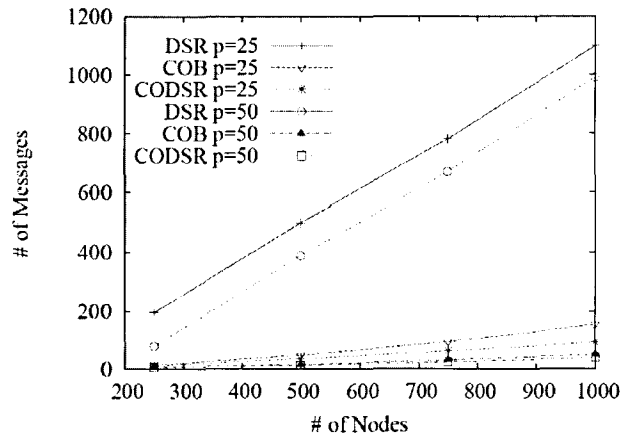


그림 4. 경로 발견에 사용된 메시지 수: RWP
 Fig. 4. The number of normalized messages for a route discovery as a function of the number of nodes : RWP.

그림 4에선 CODSR, COB와 DSR의 Diameter scaling에서의 경로 발견에 사용된 메시지 수를 나타낸다. 우선 그림에서 CODSR와 COB의 성능이 DSR을 압도하는 것을 알 수 있다. 이는 CODSR와 COB의 장거리 전송에 따른 영향이다. 또한 CODSR이 COB보다 더 나은 성능을 보이는 것을 관찰 할 수 있다. 이 또한 CODSR에서 이용되는 라우트 캐쉬에 의해 COB에서 사용되는 중복된 RREQ 메시지가 줄어들어 따라 생긴 현상이다. 또한 Density scaling과 다르게 Diameter scaling에서는 CODSR, COB 와 DSR의 경로 발견에 사용된 메시지 수가 해당 네트워크의 크기가 증가함에 따라 늘어나는 것을 발견할 수 있다. 이는 Density Scaling에서는 발견된 경로가 노드들의 수가 증가해도 일정하였으나 Diameter Scaling에서는 메시지 근원지와 목적지 사이의 최단경로가 해당 네트워크의 크기가 커짐에 따라 증가했기 때문이다. 마지막으로 실제 CODSR와 COB은 네트워크 크기에 의존적이지만 노드의 수에는 독립적임을 모의실험들을 통해 알 수 있었다. 또한 라우트 캐쉬의 영향 때문에 CODSR이 COB보다 뛰어난 성능을 보였다.

V. 결 론

본 논문에서는 클러스터링 기반의 CODSR 알고리즘을 제안하고 이에 따른 성능분석을 수행하였다. CODSR은 LLC 알고리즘을 이용한 클러스터 기반의 네트워크에서 클러스터 리더의 밀도가 네트워크 노드 수

에 관계없이 독립적으로 일정하게 유지되는 환경에서 경로설정을 수행한다. 컴퓨터 모의실험을 통한 결과에서 볼 수 있듯이 메시지와 경로설정에 필요한 시간의 복잡도가 네트워크 노드의 수와 독립적이고 네트워크 크기에 종속적이었다. 또한 기존의 DSR과 성능을 비교해 봤을 때 단위 메시지 당 전송한 경로발견에 필요한 메시지의 경우 약 90% 이상의 성능향상을 보였다. 더해서 라우트 캐시의 영향으로 COB보다 각 경우에 따라 약 10%~40%의 성능향상을 보였다.

본 논문에서는 이상적인 MAC 프로토콜을 가정하였다. 향후 IEEE 802.11같은 무선통신에서 사용되는 데이터 링크 계층의 구현을 통하여 보다 현실적인 성능측정이 이루어져야 할 것이다. 또한 전송망 등에 연구가 진행되고 있는 그룹이동성에 따른 성능 분석이 필요할 것이다^[18]. CODSR 알고리즘은 기본적으로 클러스터링을 기반으로 하고 있기 때문에 그룹 단위의 이동에 따른 성능이 다른 알고리즘에 비해 우수할 것으로 기대된다. 이외에 클러스터 리더의 전송 부담이 어느 정도 되는지의 측정과 에너지 효율적인 클러스터링 구성에 관한 연구가 추가되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] M. Abolhasan, T. Wysocki, and E. Dutkiewicz, "A Review of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 2, no. 1, pp. 1-22, Jan. 2004.
- [2] C. A. Santivanez, B. McDonald, I. Stavrakakis, and R. Ramanathan, "On the Scalability of Ad Hoc Routing Protocols," in *Proc IEEE Infocom*, pp. 1688-1697, 2002.
- [3] A. Iwata, C.-C. Chiang, G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen, "Scalable Routing Strategies for Ad Hoc Wireless Networks," *IEEE J. Selected Areas in Comm.*, vol. 17, pp. 1369-1379, Aug. 1999.
- [4] Y.-B. Ko and N. H. Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks," *Wireless Networks*, vol. 6, pp. 307-321, 2000.
- [5] S.-C. Woo and S. Singh, "Scalable routing protocol for ad hoc networks," *Wireless Networks*, vol. 7, no. 5, pp. 513 - 529, 2001.
- [6] E. M. Belding-Royer, "Hierarchical Routing in Ad Hoc Mobile Networks," *Wireless Comm and Mobile Comp.*, vol. 2, no. 5, pp. 515 - 32, 2002.
- [7] C. E. Perkins, "Ad Hoc Networking", Addison-Wesley, 2001.
- [8] J. Y. Yu and P. H. J. Chong, "A survey of clustering schemes for mobile ad hoc networks", *IEEE Comm Survey & Tutorial*, vol. 7, no. 1, pp. 32-48, 2006.
- [9] X. Jia, L. Zhi, L. Qian-mu, L. Feng-Yu, "An adaptive clustering routing transition protocol in ad hoc networks", *Computer Comm.*, Vol. 31, Issue. 10, pp. 1952-1960, Jun. 2008.
- [10] C.-C. Chiang, H.-K. Wu, W. Liu, and M. Gerla, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel", in *Proc IEEE Int'l Conf. Networks*, pp. 197-211, 1997.
- [11] H. Huang, A. W. Richa, and M. Segal, "Approximation Algorithms for the Mobile Piercing Set Problem with Applications to Clustering in Ad Hoc Networks", *Mobile Networks and Applications*, vol. 9, no. 2, pp. 151-161, Apr. 2004.
- [12] N. Nikaein, H. Laboid, C. Bonnet, "Distributed dynamic routing (DDR) algorithm for mobile ad hoc networks", in *Proc. of the MobiHOC*, 2000.
- [13] Z. Kai, W. Neng and L. Ai-Fang, "New AODV based clustering routing strategy", *Jourl on Comm.*, vol. 27, no. 1, pp. 132 - 139, Jan. 2006.
- [14] L. Ritchie, H.-S. Yang, A. Richa, and M. Reisslein, "Cluster Overlay Broadcast (COB): MANET Routing with Complexity Polynomial in Source-Destination Distance," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 5, no. 6, pp. 623-667, Jun. 2006.
- [15] M. Gerla, T.J. Kwon and G. Pei, "On-demand routing in large ad hoc wireless networks with passive clustering", in *Proc. of IEEE WCNC*, Sept. 2000.
- [16] D. B. Johnson, D. A. Maltz, Y.-C. Hu, "The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks," Addison-Wesley, 2001.
- [17] K. Xu and M. Gerla, "A heteroneneous routing protocol based on a new stable clustering scheme," in *Proc of IEEE Milcom*, pp. 838-843, 2002.
- [18] 양효식, 여인호, 이종명, "그룹이동환경에서의 무선 애드혹 네트워크 라우팅 알고리즘 성능분석", 전자공학회 논문지, 제 45권 6호, 52-59, 2008년 11월

— 저 자 소 개 —



장 광 수(학생회원)
 2008년 세종대학교 컴퓨터공학과
 (공학사)
 2008년~현재 세종대학교 컴퓨터
 공학과 (M.S.)
 <주관심분야 : IEC61850, Smart
 -Grid, MicroGrid, ad hoc 네트워
 크, 데이터통신>



양 효 식(정회원)
 1998년 명지대학교 정보통신공학
 (공학사)
 2000년 Arizona State Univ.,
 Electrical Eng. (M.S.)
 2005년 Arizona State Univ.,
 Electrical Eng. (Ph. D.)
 2005년 9월~2006년 8월 경남대학교 전자공학과
 전임강사
 2006년 9월~현재 세종대학교 컴퓨터공학부
 조교수
 <주관심분야 : Smart grid, 광 네트워크, ad hoc 네트
 워크, 데이터통신>