

# Ad Hoc 네트워크에서 테이블 기반 라우팅 프로토콜의 확장성 분석

윤 석 열<sup>†</sup> · 오 훈<sup>\*\*</sup>

## 요 약

이동 Ad Hoc 네트워크에서는 노드들의 자유로운 이동성, 노드 수의 무제한으로 인하여 네트워크 토폴로지가 계속 변화한다. 따라서, 라우팅 프로토콜들의 확장성이 대단히 중요하다. DSDV와 같은 테이블 기반 프로토콜들은 노드 수가 비교적 적고 노드 이동속도가 낮은 경우에 적합한 것으로 알려져 있어 확장성에 대한 문제가 제기되어 왔다. 이러한 확장성의 문제를 해결하기 위하여 FSR, OLSR, PCDV같은 여러 가지 프로토콜들이 제안되었으나 확장성에 대한 충분한 비교 검토가 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 다양한 네트워크 전개 시나리오를 사용하여 이 프로토콜들의 확장성을 비교 분석한다. 고정 노드 밀도에서 네트워크 디멘전을 증가시키는 경우, 고정 디멘전에서 노드 밀도를 증가시키는 경우, 그리고 고정 밀도 및 디멘전에서 세션 수를 증가시키는 경우와 같이 세 가지 네트워크 전개모델을 사용하였다. 시뮬레이션 결과, DSDV의 경우에 낮은 오버헤드에도 불구하고 토폴로지 변화에 대한 수렴속도가 느려서 확장성이 낮게 나타났으며, FSR의 경우에는 노드 수가 증가함에 따라 오버헤드가 지속적으로 증가하기 때문에 성능이 저하되었다. 토폴로지 변화에 대한 수렴속도가 가장 빠른 OLSR은 비교적 우수한 성능을 나타내지만, 오버헤드가 상대적으로 높기 때문에 DSDV보다 최대 3배의 수렴속도를 갖는 PCDV에 비해 낮은 확장성을 보였다.

키워드 : 애드 혹 네트워크, 확장성, 성능 분석, 테이블 기반.

## Analysis on Scalability of Proactive Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks

Seok Yeol Yun<sup>†</sup> · Hoon Oh<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

Network topology in ad hoc networks keeps changing because of node mobility and no limitation in number of nodes. Therefore, the scalability of routing protocol is of great importance. However, table driven protocols such as DSDV have been known to be suitable for relatively small number of nodes and low node mobility. Various protocols like FSR, OLSR, and PCDV have been proposed to resolve scalability problem but yet remain to be proven for their comparative superiority for scalability. In this paper, we compare and analyze them by employing various network deployment scenarios as follows: network dimension increases while keeping node density constant, node density increases while keeping network dimension fixed, and the number of sessions increase with the network dimension and the number of nodes fixed. The DSDV protocol showed a low scalability despite that it imposes a low overhead because its convergence speed against topology change is slow. The FSR's performance decreased according to the increase of overhead corresponding to increasing number of nodes. The OLSR with the shortest convergence time among them shows a good scalability, but turned out to be less scalable than the PCDV that uses a clustering because of its relatively high overhead.

Key Words : Ad hoc networks, Scalability, Performance analysis, Table driven.

### 1. 서 론

이동 Ad Hoc 네트워크는 유, 무선 인프라가 없는 장소에서 이동 노드들이 임시적으로 구성하는 무선 통신 네트워크

이다. 통신을 원하는 두 노드가 서로 직접 통신 거리에 있지 않는 경우에는 다른 노드의 도움을 받아서 통신을 하며, 노드들의 생성, 소멸 혹은 이동이 자유롭기 때문에 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화하는 특징을 가지고 있다. 또한, Ad Hoc네트워크는 응용 분야에 따라 노드 수, 노드 밀도, 세션의 수, 네트워크 디멘전 등이 다양한 크기의 형태로 전개될 수 있다. 따라서, Ad Hoc 라우팅 프로토콜은 이러한 환경의 변화에 잘 적응할 수 있는 높은 확장성이 요구된다.

DSDV같은 테이블 기반 프로토콜들은 노드 수가 비교적

※ 이 논문은 2005년도 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.  
 ※ 본 연구는 부분적으로 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음.  
 † 정 회 원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사수료  
 \*\* 중 심 회 원 : 울산대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수(교신저자)  
 논문접수 : 2006년 10월 3일, 심사완료 : 2007년 2월 28일

적고 노드 이동속도에 낮은 경우에 적합한 것으로 알려져 있어 확장성에 대한 문제가 제기되어 왔다. 이러한 확장성의 문제를 해결하기 위하여 FSR, OLSR, PCDV같은 여러 가지 프로토콜들이 제안되었으나 확장성에 대한 충분한 비교 검토가 이루어지지 않았다.

기존 확장성 분석에서는 라우팅 프로토콜의 확장성에 관련된 노드 밀도, 노드 수, 노드 속도, 세션의 수, 단위시간당 전송량 등 여러 가지 요소들 중에 일부만을 고려하였다[2, 4].

본 논문에서는 PCDV[7], DSDV[9], OLSR[3], FSR[8] 등 네 가지 주요 테이블 기반 라우팅 프로토콜들에 대한 확장성을 분석한다. 이를 위하여 다음 세 가지 네트워크 확장 모델, 즉 (1) 노드 밀도를 일정하게 유지하면서 디멘전 크기가 증가하는 경우, (2) 고정 디멘전에 대하여 밀도가 증가하는 경우, 그리고 (3) 고정 밀도 및 디멘전을 갖는 네트워크에서 세션의 수를 증가시키는 경우를 사용한다.

시뮬레이션 결과, DSDV의 경우 낮은 오버헤드에도 불구하고 토폴로지 변화에 대한 수렴속도가 느려서 확장성이 낮았으며, FSR의 경우 노드 수가 증가함에 따라 오버헤드가 크게 증가하여 성능이 급격히 하락하였다. 토폴로지 변화에 대한 수렴속도가 가장 빠른 OLSR은 비교적 우수한 성능을 나타내지만 오버헤드가 상대적으로 높기 때문에 수렴속도가 비교적 빠른 PCDV에 비해 낮은 확장성을 보였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 주요 테이블 기반 라우팅 프로토콜들에 대한 특징을 비교하고, 제 3장에서는 세 가지 네트워크 확장 시나리오 모델을 기술하며, 그리고 제 4장에서 여러 가지 성능지표를 도출하고 시뮬레이션을 통한 성능을 비교 분석하며 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 주요 프로토콜들의 확장성

주요 테이블 기반 라우팅 프로토콜의 범주에는 DSDV, WRP[6], LS[5], GSR[1] 등이 있다. DBF 프로토콜을 무선환경에 적합하게 개선한 DSDV는 모든 노드들이 잠재적인 목적지 노드들에 대한 벡터 테이블 (테이블의 각 엔트리는 목적지 노드까지의 최단 거리 및 최단거리로 목적지에 도달하기 위한 다음 노드를 포함)을 유지한다. 각 노드는 주기적으로 혹은 자신의 링크 상태에 변화가 발생할 때 이웃 노드들에게 토폴로지 변경 내용을 전송하여 벡터 테이블을 최신의 것으로 유지하고자 한다. 네트워크 수렴 지연 원인 중의 하나인 루프 문제를 해결하기 위하여 벡터 테이블에 목적지 노드가 최종 갱신한 순서 번호를 기록한다. WRP에서 모든 노드는 자신의 거리 벡터 테이블에 목적지의 바로 이전 노드를 기록함으로써 루프 문제를 해결하였다. LS에서는 링크 정보의 변화가 발견되면 즉시 네트워크에 플러딩을 수행하여 각 노드는 전체의 토폴로지 정보를 유지하는 반면, GSR에서는 전체 토폴로지 정보를 이웃 노드들에게만 갱신하고 지속적인 전파를 통해서 전체 노드가 해당 정보를 갱신하게 된다. 각 노드는 전체 토폴로지 정보를 가지고 있기 때문에 최단 경로 탐색 알고리즘을 사용하여 목적지로 향하는 다음

노드를 선정하여 패킷을 전송한다. 이러한 방식들은 노드의 수가 적고 이동성이 낮을 때는 적절하게 작동하지만, 노드의 수가 많고 이동성이 높을 때는 토폴로지 정보를 최신으로 유지하는데 필요한 컨트롤 메시지의 양이 증가하게 되어 네트워크 효율이 떨어진다.

이러한 문제를 개선하기 위한 프로토콜로써 GSR을 갱신한 FSR과 LS를 갱신한 OLSR이 있다. FSR에서는 전체 네트워크의 토폴로지를 홉 수의 기준으로 여러 개의 겹치지 않는 복수개의 영역 (scope)으로 분할하여 정의하고 각 영역에 대하여 전송 빈도를 다르게 설정하여 가까운 영역에 속하는 노드들의 연결정보는 자주 전송하고 원거리의 영역에 속하는 노드들의 연결정보는 덜 자주 전송하는 형태로 전송률을 차등화하여 컨트롤 오버헤드를 줄이고자 하였다. 그러나 먼 영역에 속하는 노드들에 대한 부정확한 토폴로지 정보를 갖게 되는 단점을 가지고 있다. 네트워크의 크기가 변하는 경우에 영역 분할을 동적으로 조정함으로써 어느 정도 성능개선을 할 수 있다. 한편, OLSR은 LS에서의 플러딩 방법을 개선하는 알고리즘을 제시하여 네트워크 오버헤드를 크게 줄였다. 각 노드는 자신으로부터 2 홉 거리에 있는 모드 노드들에게 메시지를 전달할 수 있는 1 홉 거리에 있는 노드들의 최소 부분집합인 MPR 셋을 유지한다. 메시지 플러딩을 하는 경우에 각 노드의 MPR 셋에 속하는 노드들만 재전송에 참여한다. 하지만, 최소의 MPR 셋을 선정하는 문제는 NP-Complete로 알려져 있다. 따라서 휴리스틱 방법을 제시하였지만, 노드 수가 증가하면 MPR 셋을 선정하는데 여전히 많은 시간을 필요로 한다.

DSDV의 확장성 문제를 해결하기 위해서 제안된 PCDV는 클러스터링 기법을 이용하는 벡터 테이블 방식의 프로토콜이다. 각 클러스터에는 멤버들을 관리하는 클러스터헤드가 존재한다. 이 경우 클러스터헤드들은 상위 계층의 네트워크 백본을 형성하게 되는데 네트워크 백본에 수정된 DSDV프로토콜을 적용하였다. 클러스터헤드들은 갱신 메시지를 이웃 클러스터헤드들과 교환 함으로써 전역 라우팅 테이블을 구성한다. 전역 라우팅 테이블은 목적지 클러스터헤드로 가기 위한 최단거리에 있는 다음 클러스터헤드를 알려준다. 전역 라우팅 테이블의 각 클러스터헤드에 대한 엔트리는 그 클러스터헤드가 관리하는 멤버 노드들을 포함하기 때문에 목적지 노드가 속한 클러스터헤드를 쉽게 검색할 수 있다. 또한, 토폴로지 변경에 대한 갱신 메시지가 플러딩을 통해서 이웃 클러스터헤드들에게 전달되는 과정에서 이웃 클러스터헤드들 사이에 다중 지역경로가 부수적으로 설정된다. 패킷이 다음 클러스터헤드로 전송될 때는 이미 설정된 지역경로를 따라 이동한다. PCDV에서는 이웃 클러스터헤드들과 교환되는 전역 라우팅 테이블이 전체 클러스터헤드의 수에 해당되는 엔트리의 수만을 가지게 되고 결과적으로 라우팅 테이블의 크기가 그 만큼 줄어든다. 갱신 메시지가 최대 3 홉 거리에 있는 모든 이웃 클러스터헤드들에게 플러딩되기 때문에 오버헤드가 증가하지만 갱신 메시지의 크기가 작기 때문에 PCDV의 오버헤드는 DSDV의 오버헤드와 비

스하다. 각 갱신 메시지는 최대 3홉까지 곧바로 전달되기 때문에 토폴로지 변화의 수렴범위가 9배까지 증가하고 라우팅 테이블의 정확도가 크게 개선된다.

지금까지 논의한 바에 의하면 라우팅 프로토콜의 확장성을 개선하기 위해서 일반적으로 사용되는 세가지 접근 방식은 다음과 같다: (1) 컨트롤 오버헤드를 줄이거나; (2) 복수의 경로를 유지하여 경로 복구 속도를 높이거나; 혹은 (3) 토폴로지 변화에 대한 테이블 수렴 방식을 개선하는 것이다. FSR 프로토콜은 거리에 따른 토폴로지 정보의 차등화 갱신을 통하여 (1)을 개선하였다. OLSR 프로토콜은 토폴로지 정보에 대한 효율적인 플러딩 방식을 고안하여 (1)을 크게 개선하였으며, PCDV 방식에서는 라우팅 테이블 크기를 줄이고 이웃 클러스터헤드들 사이의 복수경로 유지, 그리고 개별 토폴로지 갱신정보를 이웃 클러스터헤드들까지 전송함으로써 (1), (2), (3)을 동시에 개선하였다.

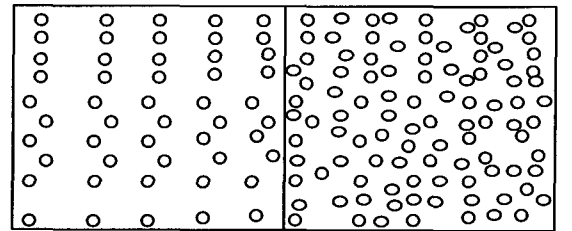
### 3. 네트워크 확장 모델

이 장에서는 시뮬레이션을 통한 네트워크 확장성 분석을 위한 세 가지 네트워크 확장 모델을 그 특징과 함께 설명한다.

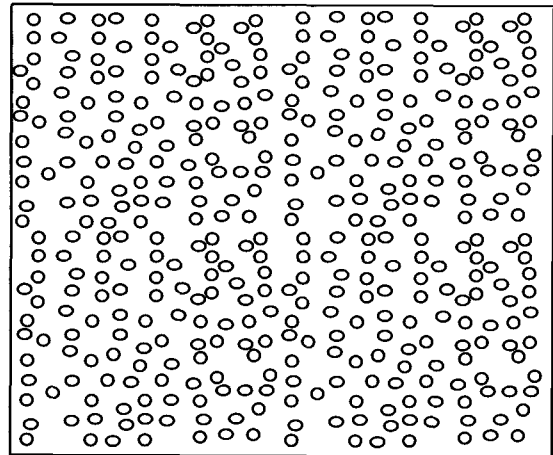
- (1) 고정 노드 밀도에서 디멘전의 크기가 변하는 경우
- (2) 고정 디멘전에 대하여 노드 밀도가 변하는 경우
- (3) 고정 밀도 및 디멘전에서 세션 수가 변하는 경우

그림 1-(b)에서 1-(c)로의 확장은 모델 (1)의 경우로 노드 밀도는 동일하지만 디멘전 크기가 증가한다. 하지만, 노드 수가 증가하므로 토폴로지 테이블의 크기가 커진다. 디멘전의 크기가 커지면 멀리 있는 노드들에 대한 토폴로지 정보의 정확성이 떨어질 수 있다. 이 경우 OLSR은 MPR 셋의 수가 증가하게 되고, PCDV는 클러스터의 수가 증가하게 된다. 홉 거리에 따라 영역을 나누는 FSR의 경우에 2영역으로 나눈다면 첫 번째 영역의 노드 수는 변하지 않으나 두 번째 영역의 노드 수가 급격히 증가한다.

그림 1-(a)에서 1-(b)로의 확장은 모델 (2)의 경우로 디멘전이 일정하면서 노드 수가 증가한다. 토폴로지 테이블의 크기가 증가하기 때문에 테이블을 교환하는 방식의 프로토콜은 오버헤드가 증가할 수 있으며, 또한 전송 충돌의 확률이 높다. 모델 (3)에서는 동일 시간대에 통신을 하는 세션의



a) Dimension 500x500 numNodes = 50      b) Dimension 500x500 numNodes = 100



c) Dimension 1000x1000 numNodes = 400

(그림 1) 네트워크 전개 시나리오

수가 증가하는 경우로 데이터들 간 혹은 데이터 및 제어 메시지들간의 충돌 가능성이 높아지고 그 결과로 전송 지연 혹은 데이터 손실이 증가할 수 있다. 마지막으로 속도의 변화에 대해서는 테이블 기반 프로토콜들의 성능이 취약한 경우인 비교적 높은 속도에서의 적용도를 보기 위해서 노드의 최대속도를 10 m/sec로 한정하였다.

### 4. 성능 분석

주요 프로토콜들의 특징을 비교 분석한 내용을 표 1에 나타내었다. 성능 분석을 위해서 GlomoSim 2.03[10] 시뮬레이터를 사용하였으며, 사용한 파라메타 값들은 표 2에 있다. FSR의 경우에는 영역 수 및 갱신 주기를 변경해 가면서 여

〈표 1〉 테이블 기반 라우팅 프로토콜 비교

	PCDV	DSDV	OLSR	FSR
Routing scheme	Distance Vector	Distance Vector	Link State	Link State
Routing metric	Shortest path	Shortest path	Shortest path	Shortest path
Critical nodes	Yes	No	No	No
Updates transmitted to	Neighbor clusterheads	Neighbors	Network	Neighbors
Frequency of update transmissions	Periodically and as needed	Periodically and as needed	Periodically	Varying over scopes
Data forwarding type	Hop-to-Hop routing	Hop-to-Hop routing	Hop-to-Hop routing	Hop-to-Hop routing
Number of required tables	Two	Two	Three	Four

〈표 2〉 시뮬레이션 파라메타 값

파라메타	값	
노드 이동성 패턴	Random Waypoint	
최대 노드 이동 속도	0 ~ 10 (m/sec.)	
이동 후 멈춤 시간 (pause time)	30 sec.	
세션 수	4, 8, 12, 16	
세션당 패킷 전송 간격	2 sec.	
데이터 패킷 크기	400 바이트	
시뮬레이션 시간	600초	
대역폭(MAC)	2 Mbps (802.11)	
FSR 프로토콜	영역 수	2
	영역별 갱신주기	영역 1의 갱신주기: 6초 영역 2의 갱신주기: 18초

러 번의 시뮬레이션을 반복하여 성능이 가장 좋은 경우의 영역의 수 및 영역 갱신주기를 사용하였다.

성능 지표로써 데이터 패킷 전송률, 양극단 지연시간, 컨트롤 오버헤드, 그리고 평균 지터 등을 사용하였다. 패킷 전송률은 소스 노드가 전송한 데이터 패킷의 수와 최종 목적지에 도달한 패킷 수의 비를 나타낸다. 지연시간은 소스 노드에서 데이터 패킷을 전송한 시간부터 경로 상의 중간 노드들을 경유하여 목적지 노드에 패킷이 도착한 시간까지의 평균 지연 시간이다. 컨트롤 오버헤드는 프로토콜이 토폴로지를 구성하기 위해서 혹은 라우팅 정보를 교환하기 위해서 전송하는 실제 데이터 패킷 이외의 모든 제어 패킷들의 총량을 노드 수로 나눈 것이다. 지터는 연속으로 전송되는 두 패킷의 지연시간 차를 모두 계산하여 전체 패킷의 수로 나눈 값으로써 패킷 전송 시간의 변화 정도를 나타낸다. 다음은 세 가지 네트워크 모델에 대하여 성능 분석 결과를 상세하게 기술한다.

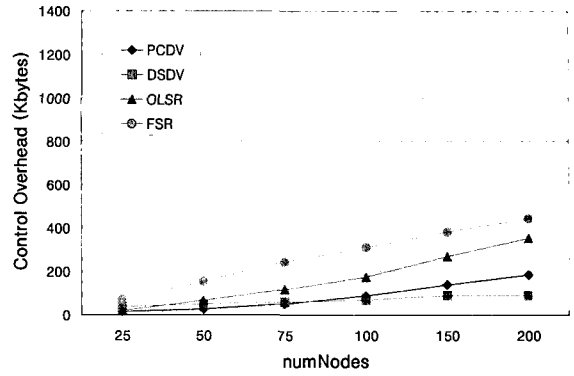
4.1 고정 밀도에서 네트워크 디멘전이 증가하는 경우 (세션 수: 4개)

표 3에 제시한 바와 같이 고정 노드 밀도를 갖는 여섯 개의 네트워크 모델의 경우에 대하여 성능을 측정하였다.

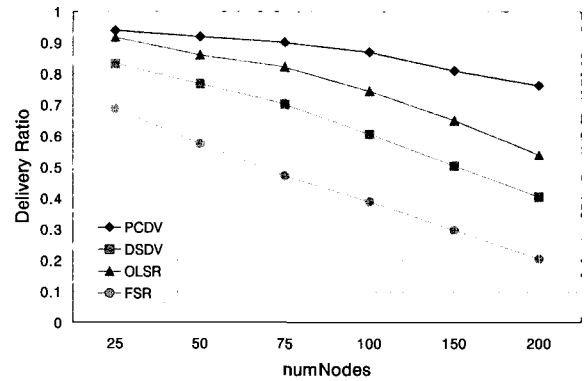
이 시나리오의 경우에는 밀도가 일정하기 때문에 디멘전이 커짐에 따라 노드의 수가 증가한다. 전송거리가 일정하기 때문에 FSR의 영역 1에 속하는 노드의 수는 동일하나 영역 2에 속하는 노드의 수는 전체 노드의 수에 비례하여

〈표 3〉 노드 밀도 (0.0001 node/m<sup>2</sup>)

노드 수 (numNodes)	디멘전
25	500 x 500
50	707 x 707
75	750 x 750
100	1000 x 1000
150	1225 x 1225
200	1414 x 1414



(그림 2) 고정 밀도에서 노드 수의 증가에 따른 컨트롤 오버헤드 변화



(그림 3) 고정 밀도에서 노드 수 변화에 따른 전송률 변화

크게 증가하게 된다. 그 결과로서 갱신 메시지의 크기가 지속적으로 증가한다. 그림 2에서 FSR의 오버헤드가 지속적으로 증가함을 알 수 있다. 특히, 디멘전이 커지는 경우 어떤 곳의 토폴로지 정보는 상대적으로 늦게 갱신되어 토폴로지 정보의 정확도가 떨어지고 그림 3에서 FSR의 전송률이 급속히 감소함을 볼 수 있다.

DSDV프로토콜에서는 각 노드가 주기적으로 혹은 토폴로지 변화를 감지하는 경우에 이웃 노드에게 라우팅 테이블 정보를 전송한다. 따라서, DSDV는 디멘전의 크기에 거의 관계없이 일정하게 낮은 컨트롤 오버헤드를 나타낸다. 하지만, 그림 3에서 처럼 DSDV의 전송률은 그다지 높지 않다. 가장 큰 이유는 라우팅 테이블 정보의 갱신 요청이 이웃 노드들에게만 이루어지고, 그 갱신된 정보가 전체 네트워크로 수렴되기 위해서는 최악의 경우에 떨어진 노드의 홉 수의 배수만큼의 주기가 필요하게 된다. 따라서, 먼 곳에 위치한 노드들은 부정확한 토폴로지 정보를 가지게 되고 라우팅의 정확도가 떨어진다.

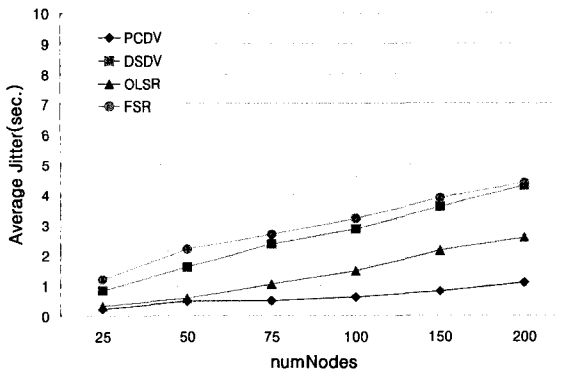
PCDV의 경우에 디멘전의 크기가 증가할수록 클러스터의 수가 증가하고, 그에 따라 제어 메시지를 생성하고 교환하는 클러스터헤드의 수와 각 클러스터가 관리하는 클러스터 멤버의 증가로 인해 컨트롤 오버헤드가 완만하게 증가하였다.

특히, PCDV는 DSDV와 비교될 정도로 낮은 오버헤드를 보이나, 갱신 메시지가 3 홉까지 곧바로 전달되므로 DSDV보다 수렴 속도가 훨씬 빠르다. 그 결과, PCDV는 더 정확한 라우팅을 수행하게 되며 전반적으로 높은 패킷 전송률을 보였다.

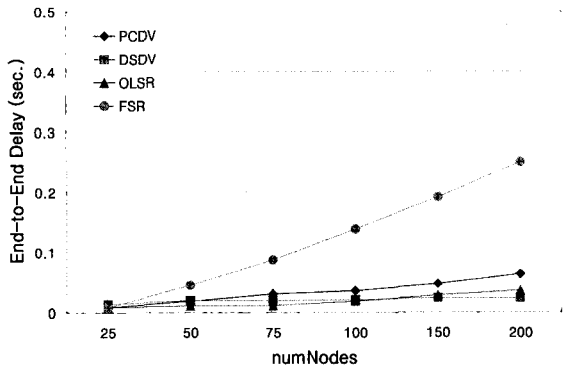
플러딩 방법을 개선한 OLSR은 전반적으로 낮은 오버헤드를 유지하지만, 노드 수가 많아지고 디멘전이 커지는 경우에 Hello 메시지 및 TC(Topology Control) 메시지의 크기가 증가한다. 따라서, 오버헤드가 완만하게 증가함을 알 수 있다. 또한, 노드 이동 속도가 빠른 경우에 전송 경로상의 MPR 셋의 재구성이 자주 일어나므로 전송률이 낮아지는 경향을 보인다.

그림 4는 노드 수와 평균 지터의 관계를 나타낸다. DSDV나 FSR의 경우에 먼 곳의 토폴로지 정보에 대한 수렴속도가 낮아 라우팅의 정확성이 떨어지고 그에 비례하여 지터가 비교적 크게 나타난다.

DSDV에 비해 수렴속도가 빠른 PCDV는 비교적 정확한 라우팅 테이블 정보를 유지하고 복수의 지역경로를 유지하기 때문에 PCDV의 지터는 아주 낮게 유지된다. 이것은 패킷 전송의 지연 변화가 낮다는 것을 의미한다. 그림 5를 보면 PCDV의 평균 지연시간은 DSDV와 OLSR보다 약간 높게 나타난다.



(그림 4) 고정 밀도에서 노드 수 변화에 따른 평균 지터 변화

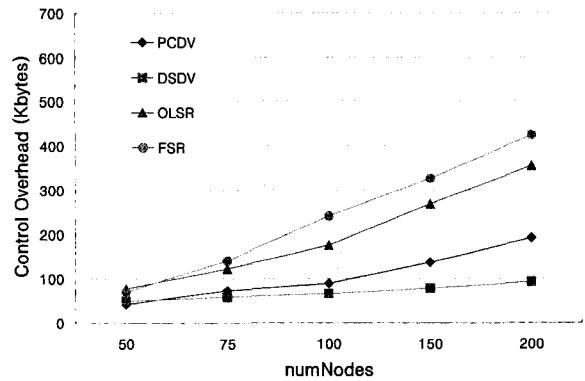


(그림 5) 고정 밀도에서 노드 수의 변화에 대한 양극단 지연시간

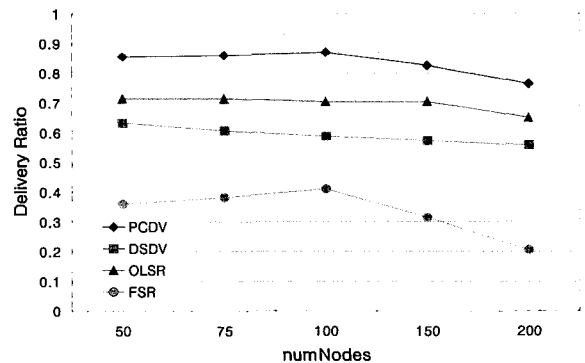
그림 5의 FSR그래프를 보면, 먼 곳의 토폴로지 정보가 부정확하기 때문에 초기에 최단 경로를 따라 패킷이 전송되지 못하고, 따라서 지연시간이 크게 증가함을 알 수 있다. DSDV의 경우에 가장 낮은 지연시간을 보였지만, 손실된 많은 패킷들이 통계에 잡히지 않은 것을 감안하면 PCDV와 OLSR이 가장 안정되어 있음을 알 수 있다.

4.2 고정 디멘전에서 노드 수가 증가하여 밀도가 증가하는 경우 (세션 수: 4개)

고정 디멘전(1000x1000)에서 노드 수가 증가하는 경우를 보자. 그림 6에서, FSR의 컨트롤 오버헤드는 노드 수가 증가할 때 지속적으로 증가한다. 이는 영역 1과 영역 2에 속하는 노드 수가 모두 증가하기 때문이다. DSDV의 경우 토폴로지 정보의 전체 갱신(full dump)을 선택적으로 수행하지만, 대부분 갱신된 정보만을 추출하여 이웃 노드들에게 전송하기 때문에 노드 수의 증가에 덜 민감하다. PCDV의 경우 클러스터의 수는 일정하나 클러스터 멤버의 수가 증가함으로써 오버헤드가 완만하게 증가한다. 하지만, OLSR의 경우에는 Hello메시지가 이웃 노드들의 정보를 실어서 보내기 때문에 오버헤드가 크게 증가한다.



(그림 6) 고정 디멘전에서 노드 수 변화에 따른 컨트롤 오버헤드 변화

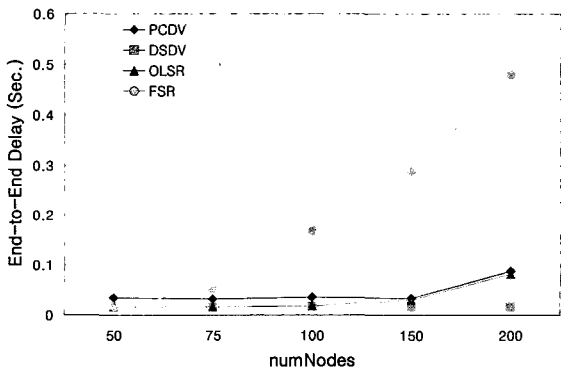


(그림 7) 고정 디멘전에서 노드 수 변화에 따른 전송률 변화

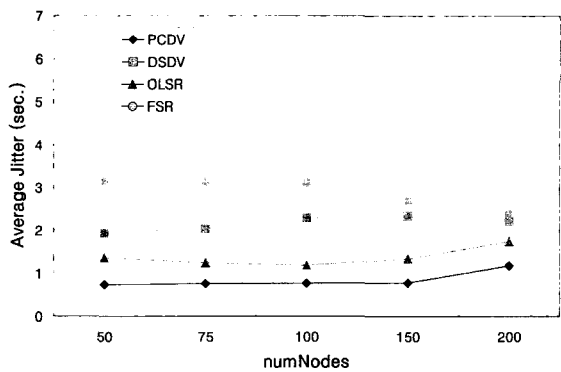
그림 7에서 FSR의 전송률은 노드 수가 100개가 될 때까지 완만하게 증가한다. 그 이유는 노드 수가 증가하는 경우에 연결성이 높아지고 최단 경로상에 있지 않더라도 목적지를 찾아갈 확률이 높아지지만, 노드 수가 계속 증가하는 경우에 오버헤드도 크게 증가하기 때문에 결국 전송률이 급격히 떨어진다. 다른 프로토콜들의 경우 노드 수가 200개까지 증가하는 동안 전송률의 변화가 느리게 나타났지만, 200개에서부터 오버헤드의 증가에 비례하여 전송률의 감소 폭이 커짐을 알 수 있다.

FSR의 경우 각 노드는 먼 곳에 떨어진 목적지 노드를 기준으로 전송할 다음 노드를 결정하기 때문에 목적지가 먼 곳에서는 패킷이 최단거리를 따라 이동할 확률이 낮다. 특히, 컨트롤 메시지가 토폴로지 정보를 운반하는 FSR의 경우에 노드 수가 많아지면 컨트롤 메시지가 커지고 충돌확률이 높아져 먼 곳의 토폴로지 정보에 대한 정확성이 떨어진다. 따라서, 그림 8에서 처럼 지연이 크게 증가한다. 그림 9에서 노드 수가 100이상으로 증가하는 경우에 FSR의 지터가 떨어지는 이상 현상은 그림 7에서 나타나 있듯이 패킷 손실의 급격한 증가 때문이다.

DSDV의 지연이 전반적으로 낮은 이유는 전송률이 낮고, 성공적으로 전달된 노드에 대해서만 지연 시간을 계산하였기 때문이다. 하지만, 지터가 높게 나타나고 있기 때문에 라우팅이 불안정함을 알 수 있다.



(그림 8) 고정 디멘전에서 노드 수 변화에 따른 지연시간 변화



(그림 9) 고정 디멘전에서 노드 수 변화에 따른 지터 변화

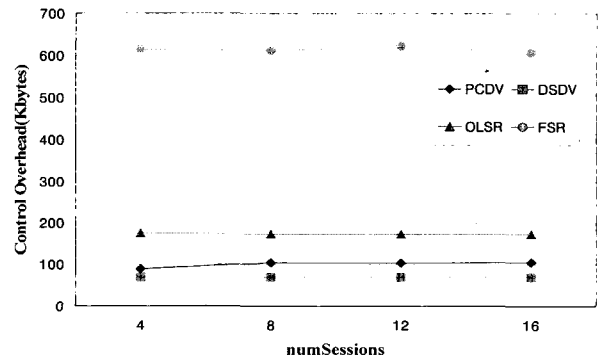
### 4.3 세션의 수가 증가하는 경우

세션 수 증가의 영향을 알아보기 위해 고정 디멘전 크기 (1000x1000) 및 고정 노드 수(100개)에서 세션 수를 증가하며 시뮬레이션을 수행하였다.

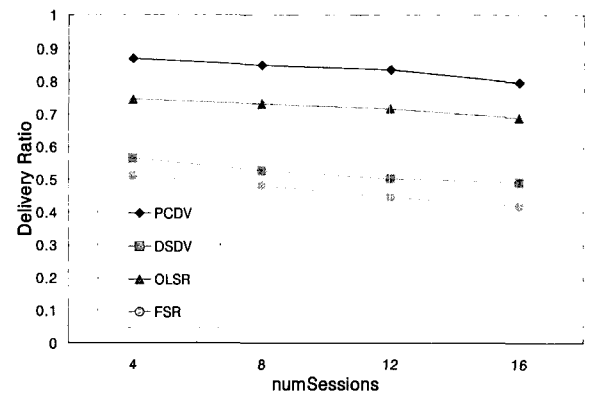
세션 수는 컨트롤 오버헤드와 거의 무관하기 때문에 그림 10에서와 같이 일정하게 유지되는 것은 당연하다.

그림 11을 보면 테이블 기반 방식의 라우팅 프로토콜들은 잘 알려진 바와 같이 세션의 수가 많은 경우에도 잘 적용한다는 것을 알 수 있다. 하지만, 모든 프로토콜들에 대하여 전송률은 세션의 수가 증가함에 따라 완만하게 감소한다. 전송률의 감소는 세션의 수가 증가함에 따라 증가된 패킷과 브로드캐스트 되는 컨트롤 메시지의 충돌이 증가하기 때문이다.

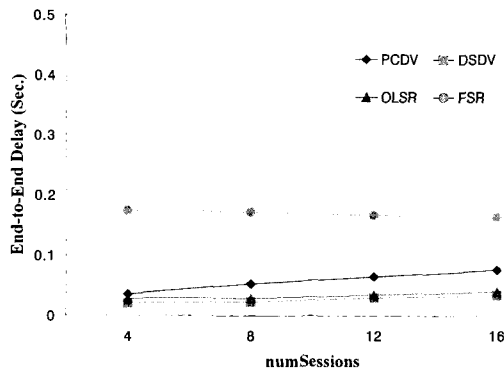
그림 12에서 FSR의 지연시간은 세션 수의 증가에 따라 약간 떨어지는 비정상적인 형태를 볼 수 있다. 이것은 전송률 저하 때문이다 (즉, 전송되지 않은 패킷의 지연은 계산되지 않음). 그림 13에 나타난 지터의 경우에도 FSR 및 DSDV는 비정상적인 현상을 보여준다. 이러한 현상은 위에 설명한 바와 같다. 비교적 적절한 노드 밀도 및 네트워크 규모에서 PCDV와 OLSR은 둘 다 지터를 낮게 유지한다. 특히, PCDV의 경우에는 높은 전송률에도 불구하고 낮은 지터를 유지하고 있어 확장성이 우수하다는 것을 알 수 있다.



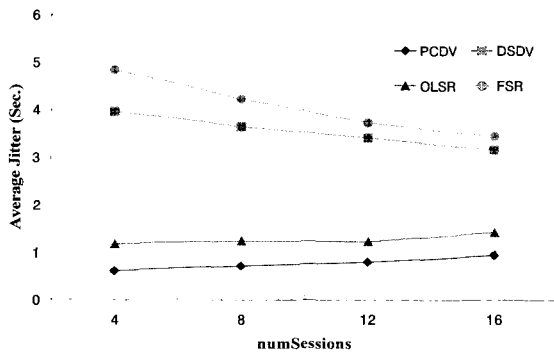
(그림 10) 세션 수 변화에 따른 컨트롤 오버헤드



(그림 11) 세션 수 변화에 따른 전송률



(그림 12) 세션 수 변화에 따른 지연시간



(그림 13) 세션 수 변화에 따른 지터

## 5. 결론

본 논문에서는 DSDV, FSR, OLSR, PCDV에 대하여, 이들 테이블 기반 프로토콜들이 취약하다고 알려져 있는 비교적 높은 속도 (최대속도 10m/s)에서 3가지 네트워크 확장 모델을 사용하여 성능을 비교분석 하였다. 라우팅 프로토콜들의 확장성은 컨트롤 오버헤드, 복수 경로 설정 및 유지, 토폴로지 변화의 수렴 속도 등에 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있다.

DSDV의 경우 주로 변경된 테이블 정보만을 교환하는 방식을 도입하여 낮은 컨트롤 오버헤드를 보이지만, 토폴로지 변화에 대한 수렴속도가 늦어 낮은 데이터 전송률을 보였다. 따라서, 토폴로지 변화가 빠른 환경에서는 수렴속도가 느린 DSDV는 적절하지 않음을 알 수 있다.

OLSR은 제어 메시지의 플러딩 방식을 개선하여 오버헤드를 크게 줄였다. 하지만, 토폴로지 변화가 빠른 경우에 MPR 셋을 자주 선출해야 하며, 노드 밀도가 높은 경우에 MPR 셋을 구하는데 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 실제 200개 이상의 노드를 Dual CPU 시스템에서 시뮬레이션한 경우 2개월 이상의 시간이 소요됐다.

우리가 기 제안한 PCDV는 클러스터헤드들만으로 전역 라우팅 테이블을 구성하여 테이블의 크기를 크게 줄였다. 따라서, 클러스터를 구성하기 위해서 부가적으로 Hello 메시

지를 사용함에도 불구하고 DSDV와 유사한 낮은 오버헤드를 보였다. 전역 라우팅 테이블 정보를 이웃 클러스터헤드들 간에 교환하는 과정을 통해서 부가적인 오버헤드 없이 이웃 클러스터헤드들 간의 복수의 지역 전송경로가 설정된다. 따라서, 링크손실이 발생하는 경우에 빠르게 복구 할 수 있다. 그리고 클러스터헤드의 테이블 갱신 메시지는 최대 3홉까지 떨어진 이웃 클러스터헤드들까지 전달됨으로써 토폴로지 정보의 수렴속도가 DSDV에 비해서 3배로 빠르다. 따라서, 높은 전송률과 낮은 지터를 나타내었으며 확장성이 뛰어남을 알 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] T. W. Chen, M. Gerla, "Global state Routing: A new routing schemes for ad hoc wireless networks," in Proc. IEEE ICC'98, pp.171-175 June 1998.
- [2] A. Iwata, C. C. Chiang, G. Pei, M. Gerla, T. W. Chen, "Scalable Routing Strategies for Ad Hoc Wireless Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, No.8, pp.1369-1379, August 1999.
- [3] P. Jacquet, P. Muhlethaler, T. Clausen, A. Laouiti, A. Qayyum, and Viennot, "Optimized link state routing protocol for ad hoc networks," IEEE International Multi Topic conference, 2001.
- [4] S. Lee, E. M. Belding Royer, and C. E. Perkins, "Scalability study of the ad hoc on demand distance vector routing protocol," Int. J. Network Mgmt 2003, vol.13, pp.97-114.
- [5] J. M. McQuillan, I. Richer, and E. C. Rosen, "The new routing algorithm for the ARPANET," IEEE Transaction of Communications, Vol.28, No.5, pp.711-719, May 1980
- [6] S. Murthy and J. J. Garcia Luna Aceves, "An efficient Routing Protocol for Wireless Networks," ACM/Baltzer Journal on Special Topics in Mobile Networks and Applications (MONET), Vol.1, No.2, pp.183-197, Oct. 1996.
- [7] H. Oh and S. Y. Yun, "Proactive cluster based distance vector (PCDV) routing protocol in mobile ad hoc networks," Accepted, IEICE Trans. On Communications.
- [8] G. Pei, M. Gerla, and T. W. Chen, "Fisheye state Routing: a routing scheme for ad hoc wireless networks," Proceeding of the IEEE International Conference on Communication (ICC): New Orleans, LA, pp.70-74, Jun. 2000.
- [9] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination sequenced distance vector routing(DSDV) for mobile computers," ACM SIGCOMM'94, pp.234-244.
- [10] UCLA Parallel Computing Laboratory and Wireless Adaptive Mobility Laboratory. GloMoSim: A Scalable Simulation Environment for Wireless and Wired Network Systems, <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosisim>

### 윤 석 열



e-mail : kw477@hanmail.net

1995년 강원대학교 재료공학과  
졸업(공학사)

1998년 강원대학교 대학원  
재료공학과(공학석사)

1999년 현재 강원대학교 대학원

컴퓨터정보통신공학과 박사 수료

관심분야: Ad Hoc 네트워크 프로토콜, 무선통신

### 오 훈



e-mail : hoonoh@ulsan.ac.kr

1981년 성균관대학교 전자공학 학사

1992년 텍사스A&M대학교 전산학 석사

1995년 텍사스A&M대학교 전산학 박사

1996년 삼성전자 중앙연구소 수석 연구원

2005년~현재 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부  
조교수

관심분야: 실시간 컴퓨팅, Ad Hoc 및 센서 네트워크 프로토콜,  
임베디드 시스템