

무선 메쉬 네트워크에서 비용 인지 다중 경로 DSDV 라우팅 프로토콜

이성웅^{*} · 정윤원^{**}

요 약

최근, 무선 메쉬 네트워크에서 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 대표적인 proactive 라우팅 프로토콜인 DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector) 라우팅 프로토콜에서는 홉 수가 주요 라우팅 매트릭으로 사용된다. HMP (Hop-by-Hop) DSDV 및 EHMP (Enhanced HMP) DSDV 라우팅 프로토콜에서는 홉 수 및 한 홉 거리 내에 위치한 노드들의 잉여 대역폭을 고려하여 라우팅을 수행하고 있으나, 단대단 라우팅 관점에서 최적의 아닌 경로로 라우팅을 수행하는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 홉 수 및 단대단 최소 잉여 대역폭을 고려한 CAMP (Cost-Aware Multi-Path) DSDV 라우팅 프로토콜을 제안한다. NS-2를 이용한 성능 분석을 통해 제안하는 라우팅 프로토콜은 홉 수 및 단대단 최소 잉여 대역폭 정보를 적절히 사용함으로써 처리율 및 패킷 전달율의 측면에서 DSDV, HMP DSDV 및 EHMP DSDV 프로토콜에 비해 더 우수한 성능을 가지며 HMP DSDV 및 EHMP DSDV 프로토콜과 같은 수의 관리 메시지를 가지게 됨을 보인다.

키워드: 무선 메쉬 네트워크, 다중 경로 라우팅, 잉여 대역폭

A Cost-Aware Multi-path DSDV Routing Protocol in Wireless Mesh Networks

Seong Woong Lee^{*} · Yun Won Chung^{**}

ABSTRACT

In wireless mesh network, studies on routing protocols have been actively carried out recently, and hop count is used as a major routing metric in destination-sequenced distance-vector (DSDV) routing protocol, which is a representative proactive routing protocol. Although hop-by-hop multi-path (HMP) DSDV and enhanced HMP (EHMP) DSDV routing protocols perform routing by considering both hop count and residual bandwidth within one hop distance nodes, it has a shortcoming that routing is carried out via non-optimal path from the aspect of end-to-end routing. In order to overcome the shortcoming, a cost-aware multi-path (CAMP) DSDV routing protocol is proposed in this paper, which considers hop count and end-to-end minimum residual bandwidth. Simulation results based on NS-2 show that the proposed routing protocol performs better than DSDV, HMP DSDV, and EHMP DSDV protocols from the aspect of throughput and packet delivery ratio, by appropriately using hop count and end-to-end minimum residual bandwidth information and has the same number of management messages with HMP DSDV and EHMP DSDV protocols.

Key Words: Wireless mesh network, Multi-path routing, Residual bandwidth

1. 서 론

최근 차세대 이동통신 네트워크의 무선 접속 네트워크의 하나로써 관심을 받고 있는 무선 메쉬 네트워크에 대한 연구,

개발이 활발히 진행되어 오고 있다 [1]-[12]. 무선 메쉬 네트워크를 구현하기 위한 여러 요소 기술 중 라우팅 기술은 데이터를 효과적으로 전달하기 위한 핵심 기술로서 유사한 통신 특성을 가지는 이동 애드 혹 네트워크의 라우팅 프로토콜을 적절히 변형하여 적용하는 방안이 논의되고 있다 [1].

이동 애드 혹 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 크게 proactive 라우팅 프로토콜, reactive 라우팅 프로토콜 및 hybrid 라우팅 프로토콜로 구분된다 [2]. Proactive 라우팅 프로토콜에서 각 노드는 주위의 노드들과 라우팅 정보를 미리 교환하고 이를 통해 다른 노드로의 라우팅 경로 정보를 미리

* 본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크원천기술개발사업의 08B3-B3-10M 과제로 지원된 것임. 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

† 준 회 원: 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정

** 종신회원: 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수(교신저자)

논문접수: 2008년 5월 28일

수정일: 2008년 6월 27일

심사완료: 2008년 7월 15일

알 수 있다 [2]. Proactive 라우팅 프로토콜에서는 다른 노드의 경로 정보를 미리 관리하고 있으므로 데이터 전달 지연은 감소하지만 라우팅 테이블을 지속적으로 관리하기 위한 부하가 발생하는 단점이 있다. DSDV (destination-sequenced destination-vector) [3], OLSR (optimized link state routing) [4] 프로토콜 등은 대표적인 proactive 라우팅 프로토콜에 속한다. Reactive 라우팅 프로토콜에서는 각 노드는 다른 노드의 라우팅 경로 정보를 미리 관리하지 않고 다른 노드로 데이터를 전송하고자 하는 시점에서 라우팅 경로 발견 과정을 수행하여 경로 정보를 발견한다 [2]. Reactive 라우팅 프로토콜에서는 데이터 전달 시점에서 경로 발견이 수행되기 때문에 proactive 라우팅 프로토콜에 비해 전달 지연은 증가하는 반면 라우팅 테이블 관리를 위한 부하는 감소한다. 대표적인 reactive 라우팅 프로토콜로는 AODV (ad hoc on-demand distance vector) [5], DSR (dynamic source routing) [6] 프로토콜 등이 있다. Hybrid 라우팅 프로토콜은 proactive 및 reactive 라우팅 프로토콜의 장점을 결합한 라우팅 프로토콜로서, 각 노드와 일정 홉 내에 위치한 노드들에 대해서는 proactive 라우팅 프로토콜을 사용하여 위치 정보를 미리 관리하고 일정 홉 밖에 위치한 노드와는 reactive 라우팅 프로토콜을 사용하여 데이터를 전송하고자 하는 시점에서 라우팅 경로를 발견하게 된다 [2]. ZRP (zone routing protocol) 프로토콜은 대표적인 hybrid 라우팅 프로토콜에 속한다 [7].

이동 애드 혹 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 배터리로 동작하며 연산 능력이 충분하지 않은 이동 노드의 특성을 고려하여 설계가 된 것으로, 충분한 전원 공급이 가능하고, 연산 능력도 충분하며, 주로 고정된 환경에서 동작하는 메쉬 네트워크 환경에서는 이동 애드 혹 네트워크의 라우팅 프로토콜을 적절히 수정하여 적용하는 것이 바람직하다 [1]. 한 예로, 이동 애드 혹 네트워크에서는 이동 노드의 전원 및 연산 능력의 특성으로 인해 주로 최소 홉 수를 가지는 단일 경로를 통해 라우팅을 수행하게 되어 특정 노드 및 경로로 트래픽의 집중이 발생하게 되는데, 전원 공급이 충분하고 연산 능력도 우수한 무선 메쉬 네트워크에서는 다중 경로 라우팅을 통해 이러한 문제를 해결하고자 한다 [8]-[12]. Kim 등은 reactive 방식의 라우팅 프로토콜에서 주 경로와 백업 경로를 설정하고 ETR (expected transmission ratio)을 이용하여 경로를 선택하는 기법을 제안하고 있으며, 제안하는 기법을 통해 경로 재설정 시 시간 지연을 감소시키며 안정도 및 신뢰도를 향상 시키고 있다 [8]. Ma 등은 경로 선택 시 기존에 주로 사용되던 메트릭인 최소 홉 수가 아닌 WCETT-LB (weighted cumulative expected transmission time with load balancing) 메트릭을 제안하고 있다. WCETT-LB는 메쉬 라우터의 혼잡도를 인지하여 메쉬 라우터 전체에 부하를 균등하게 분포시키는 장점을 가진다 [9].

메쉬 네트워크에서 메쉬 라우터는 주로 정지된 환경에서 동작하며, 특별한 경우가 아니고서는 토폴로지의 변화가 거의 발생하지 않아, reactive 라우팅 프로토콜보다는 proactive 라

우팅 프로토콜이 좀 더 유리한 특성을 가지게 된다 [10]. 이에 Oh 등은 대표적 proactive 라우팅 프로토콜인 DSDV 프로토콜을 응용하여 목적지까지 동일한 최소 홉 수를 가지는 복수의 라우팅 경로를 유지하고, 메쉬 라우터간 링크의 잉여 대역폭 정보를 계산하여, 잉여 대역폭이 가장 큰 경로를 다음 홉으로 선택하여 데이터를 전송하는 HMP (hop-by-hop multi-path) DSDV 프로토콜을 제안하였다 [10], [11]. 이를 위해 HMP DSDV 프로토콜에서는 포워딩 테이블 및 이웃 테이블을 정의하고 있다. 포워딩 테이블은 목적지까지 하나의 라우팅 정보만 관리하는 기존의 DSDV 라우팅 프로토콜의 포워딩 테이블과는 달리 목적지까지 동일한 최소 홉 수를 가지는 라우팅 정보를 관리하고 있으며, 목적지, 다음 홉, 목적지까지의 홉 수의 정보를 관리하고 있다 [10], [11]. 또한, AODV 프로토콜의 Hello 메시지를 수정하여 두 홉 이내에 위치한 이웃 메쉬 라우터가 사용하고 있는 대역폭에 관한 정보를 주기적으로 교환하고 이를 이용하여 이웃 메쉬 라우터간 링크의 잉여 대역폭을 계산하고 다중 경로 중 하나의 경로를 선택할 때, 최대 잉여 대역폭을 가지는 경로를 선택하고 있다 [10], [11].

비록, HMP DSDV 프로토콜이 단일 경로만을 고려하는 DSDV 프로토콜에 비해 우수한 성능을 제공하고 있으나, 착신 메쉬 라우터까지 최소의 홉 수를 가지는 경로만을 고려하여 여전히 트래픽이 일정한 경로로 집중 될 수 있어 전체적인 네트워크의 성능 저하가 발생할 수 있는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 Lee 등은 발신 메쉬 라우터와 착신 메쉬 라우터간의 최소 홉 수를 가지는 경로 이외에 최소 홉 수에서 N 홉 이내의 홉 수를 가지는 모든 경로를 추가적으로 고려하고, 매 홉마다 다음 경로 선택시 최대 잉여 대역폭을 가지는 경로를 선택하는 EHMP (enhanced hop-by-hop multi-path) DSDV 프로토콜을 제안하였다 [12].

그러나, HMP DSDV 및 EHMP DSDV 프로토콜의 경우, 매 홉마다 다음 경로를 선택할 때 발신 메쉬 라우터로부터 착신 메쉬 라우터까지의 경로 전체의 잉여 대역폭 정보를 고려하는 것이 아닌 바로 다음 홉에 위치한 메쉬 라우터와의 링크에서의 잉여 대역폭 정보를 이용하여 라우팅을 수행함으로써 전체적인 단대단 관점에서는 최적인 경로를 선택하게 될 수도 있는 문제점이 존재한다 [11]. 이에, 본 논문에서는 이러한 기존의 HMP DSDV 및 EHMP DSDV 라우팅 프로토콜의 단점을 극복하기 위해 경로 선택 과정에서 다음 홉 선택 시 홉 수 및 단대단 경로 전체의 최소 잉여 대역폭을 동시에 고려한 비용함수에 기반하여 최소의 비용을 가지는 경로로 라우팅을 수행하는 CAMP (cost-aware multi-path) DSDV 라우팅 프로토콜을 제안하고 그 성능을 기존의 DSDV, HMP DSDV 및 EHMP DSDV 프로토콜과 비교하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 라우팅 프로토콜인 CAMP DSDV 라우팅 프로토콜을 소개하고 3장에서는 NS-2를 이용한 시뮬레이션을 통해 제안하는 프로토콜과 기존의 라우팅 프로토콜들의 성능을 비교, 분석한다. 마지막으로, 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 제안하는 CAMP DSDV 라우팅 프로토콜

본 장에서는 CAMP DSDV 라우팅 프로토콜을 잉여 대역폭 예측 및 경로 선택 알고리즘의 관점에서 상세히 기술하고자 한다.

2.1 잉여 대역폭 예측

CAMP DSDV 프로토콜은 홉 수 및 단대단 경로 전체의 최소 잉여 대역폭 정보를 이용하여 발신 메쉬 라우터와 착신 메쉬 라우터간 경로에 대해 비용 함수를 정의하고 라우팅 경로 선택 시 가능한 전체 경로 중에서 최소의 비용을 가지는 라우팅 경로를 선택하게 된다. 이를 위해 본 논문에서 제안하는 CAMP DSDV 프로토콜에서는 다중 경로 라우팅을 다루고 있는 기존 기법들 [10]-[12]과 유사하게 잉여 대역폭 테이블, 사용 대역폭 테이블, 라우팅 테이블 및 포워딩 테이블을 정의한다.

(그림 1)은 제안하는 프로토콜에서 정의되는 잉여 대역폭 테이블을 나타내며 한 홉 거리에 위치한 메쉬 라우터의 주소 및 그 메쉬 라우터에서 사용 가능한 잉여 대역폭 정보가 저장된다. (그림 1)에서 $N_{i,j}$ 는 발신 메쉬 라우터로부터 i 번째 홉에 위치한 j 번째 메쉬 라우터의 주소를 의미한다.

메쉬 라우터에서 사용 가능한 잉여 대역폭은 사용 중인 트래픽의 양, 주위 노드의 간섭 등의 다양한 요소에 의해 결정되며, 근사적으로 이러한 잉여 대역폭을 예측하기 위한 방법들이 제안되어 왔다 [13], [14]. Chen 등은 잉여 대역폭을 예측하기 위해서 Listen 기법과 Hello 기법을 제안하고 있다. Listen 기법에서 각 노드는 네트워크 할당 벡터 (NAV: network allocation vector)를 이용하여 채널의 사용 유무를 판단할 수 있는 특성을 이용하여 전체 시간에서 NAV 값에 해당하는 시간을 제외하여 전체 시간 중 채널을 사용 가능한 시간의 비율을 구한다. 또한, IFS (inter-frame space)에 해당하는 시간과 같이 추가적으로 채널을 사용하지 못 하는 시간 등을 고려하기 위해 채널을 사용 가능한 시간의 비율을 가중치로 나누어 주고 이후, 전체 대역폭을 이 값에 곱해 줌으로써 잉여 대역폭을 예측한다 [13]. Hello 기법에서는 AODV 프로토콜의 Hello 메시지를 응용하여 각 노드는 자신과 두 홉 이내에 위치한 이웃 메쉬 라우터들이 사용하고 있는 대역폭 정보를 수집한다. 이후, 전체 대역폭에서 두 홉 이내의 메쉬 라우터가 사용한 대역폭을 뺀 후, 이 값을 제어 패킷 등에 의한 영향을 고려하기 위해 가중치로 나누어 잉여 대역폭을 예측한다 [13]. Sarr 등은

다음 홉	잉여 대역폭 (Mbps)
$N_{1,1}$	0.15
$N_{1,2}$	0.43
$N_{1,3}$	0.5
...	...

(그림 1) 잉여 대역폭 테이블

Chen 등이 제안한 Listen 기법과 유사한 방식으로 채널 감시, 데이터 전송 시 발생하는 충돌 확률, 데이터 전송 충돌 시 후퇴(backoff) 시간 등을 구하고 이를 이용하여 잉여 대역폭을 예측하고 있다 [14]. 본 논문에서는 HMP DSDV [10], [11] 및 EHMP DSDV [12] 기법과 동일하게 Chen 등이 제안한 Hello 기법[13]을 이용하여 잉여 대역폭을 예측하고자 한다. Hello 기법에서 임의의 메쉬 라우터 n 에서 사용 가능한 잉여 대역폭은 자신과 한 홉 및 두 홉 거리에 위치한 메쉬 라우터가 사용하고 있는 대역폭에 기반하여 아래의 식 (1)과 같이 예측될 수 있다 [13].

$$BW_{residual, n} = \frac{BW_{total} - \left(\sum_{i \in \text{one hop neighbors}} BW_{used, i} + \sum_{j \in \text{two hop neighbors}} BW_{used, j} \right)}{\text{weight factor}} \quad (1)$$

식 (1)에서 BW_{total} 은 프로토콜에서 정의된 총 대역폭을, $BW_{used, i}$ 는 메쉬 라우터 i 에 의해 사용된 대역폭을, $weight factor$ 는 제어 패킷 등의 오버헤드를 고려하기 위한 가중치에 해당한다. 식 (1)에서 한 홉 및 두 홉 거리에 위치한 메쉬 라우터가 사용하고 있는 대역폭 정보는 한 홉 떨어진 거리에 위치한 메쉬 라우터 간 교환되는 수정된 Hello 메시지를 통해 전송되며, 이 정보를 저장하기 위해 해 각 메쉬 라우터는 (그림 2)와 같은 사용 대역폭 테이블을 관리한다.

(그림 1, 2)에서 정의된 잉여 대역폭 및 사용 대역폭 테이블 정보를 교환하기 위해 사용되는 수정된 Hello 메시지는 (그림 3)의 정보를 포함하며 Hello 메시지를 수신한 각 메쉬 라우터는 (그림 4)의 과정을 통해서 잉여 대역폭을 계산하고, 이웃 노드들의 잉여 대역폭 정보를 (그림 5)와 같은 잉여 대역폭 테이블에 연계하여 저장한다. 이를 통해 추후 임의의 종단간 라우팅 경로의 비용 계산시 최소 잉여 대역폭 정보를 구할 수 있다. (그림 5)에서 $M(i,j)$ 는 발신 메쉬 라우

다음 홉	사용 대역폭 (Mbps)
$N_{1,1}$	0.4
$N_{1,2}$	0.7
$N_{1,3}$	0.9
...	...

(a) 한 홉 거리에 위치한 메쉬 라우터의 사용 대역폭 테이블

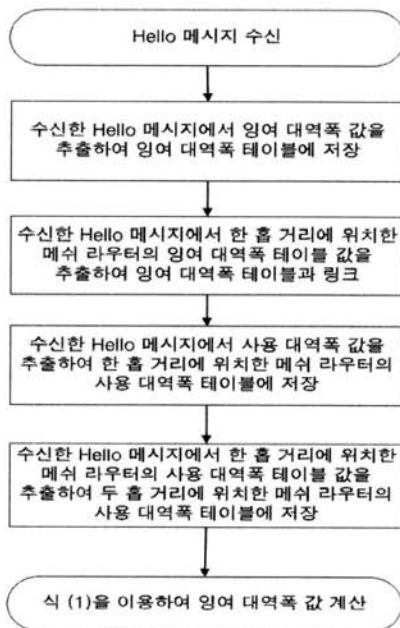
다음 홉	사용 대역폭 (Mbps)
$N_{2,1}$	0.1
$N_{2,2}$	0.8
$N_{2,3}$	0.3
...	...

(b) 두 홉 거리에 위치한 메쉬 라우터의 사용 대역폭 테이블

(그림 2) 사용 대역폭 테이블

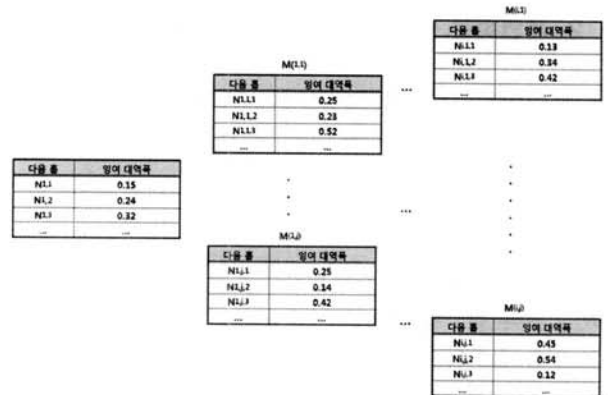
필드	값
발신 메쉬 라우터 식별자	발신 메쉬 라우터 식별자
영어 대역폭	발신 메쉬 라우터에 의해 계산된 발신 메쉬 라우터의 영어 대역폭
사용 대역폭	발신 메쉬 라우터가 현재 사용하고 있는 사용 대역폭
한 홉 거리에 위치한 메쉬 라우터의 영어 대역폭 테이블	발신 메쉬 라우터와 한 홉 거리에 위치한 메쉬 라우터의 영어 대역폭 테이블
한 홉 거리에 위치한 메쉬 라우터의 사용 대역폭 테이블	발신 메쉬 라우터와 한 홉 거리에 위치한 메쉬 라우터가 현재 사용하고 있는 사용 대역폭 테이블

(그림 3) 수정된 Hello 메시지에 포함되는 정보



(그림 4) 이웃 노드들의 영어 대역폭 정보 저장 및 영어 대역폭 계산 알고리즘

터로부터 i 번째 홉에 위치한 j 메쉬 라우터의 영어 대역폭 테이블을 의미한다. $N_{i,j,k}$ 는 발신 메쉬 라우터로부터 i 번째 홉에 위치한 j 번째 메쉬 라우터로부터 한 홉 거리에 위치한 k 번째 메쉬 라우터를 의미한다. 제안하는 CAMP DSDV 프로토콜에서는 링크 구조로 연계된 영어 대역폭 테이블 구성 시 전체 테이블의 크기가 커지는 것을 방지하기 위해서, 유전 알고리즘[15]을 적용하여 테이블에 저장된 서로 다른 전체 경로 중에서 중복된 부분 경로가 존재하는 경우 모든 중복된 부분 경로 정보를 다 저장하는 대신 그 중 하나의 부분 경로만 저장하고 나머지 전체 경로에서는 중복 되는 일부 경로로 포인터를 링크시켜 전체 경로의 정



(그림 5) 링크 구조로 연계된 영어 대역폭 테이블

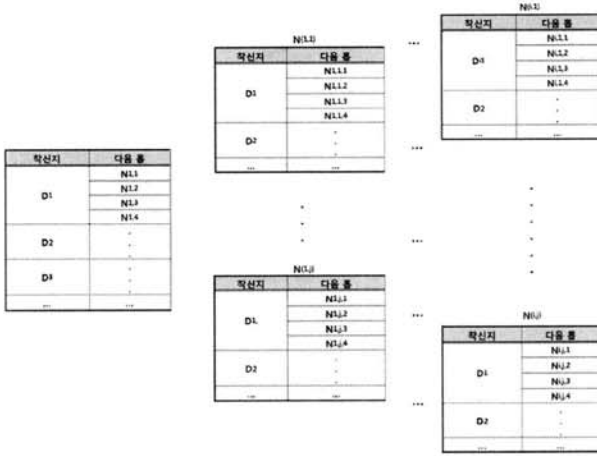
보를 포함한다.

제안하는 CAMP DSDV 프로토콜에서 데이터 전달시 사용하게 되는 라우팅 테이블 구조는 DSDV 프로토콜에서 정의된 라우팅 테이블을 변형하여 정의하였다. 즉, 착신 메쉬 라우터까지 최소 홉 수를 가지는 하나의 경로에 해당하는 다음 홉 정보 및 그 때의 최소 홉 수만을 관리하는 DSDV 프로토콜과 달리, 제안하는 프로토콜에서는 착신 메쉬 라우터까지 다중 경로를 관리하기 위해 착신 메쉬 라우터까지의 모든 경로에 대해 다음 홉 정보 및 홉 수 정보를 관리한다. 이 라우팅 테이블은 DSDV 프로토콜에서 라우팅 테이블이 주위 메쉬 라우터와 교환되는 것과 유사한 방식을 통해 주위 메쉬 라우터와 교환되며 이를 통해 발신 메쉬 라우터는 발신 메쉬 라우터로부터 착신 메쉬 라우터까지의 모든 경로에 대한 라우팅 정보를 (그림 6)과 같은 링크 구조로 연계된 라우팅 테이블을 통해 관리하게 된다. (그림 6)에서 $N(i,j)$ 는 발신 메쉬 라우터로부터 i 번째 홉에 위치한 j 메쉬 라우터의 라우팅 테이블을 의미한다. D_i 는 i 번째 착신 메쉬 라우터를 의미하며, $N_{i,j,k}$ 는 발신 메쉬 라우터로부터 i 번째 홉에 위치한 j 번째 메쉬 라우터의 k 번째 착신 메쉬 라우터를 의미한다. 링크 구조의 영어 대역폭 테이블에서와 마찬가지로, 링크 구조의 라우팅 테이블 구성 시 전체 테이블의 크기가 커지는 것을 방지하기 위해 유전 알고리즘을 사용하였다 [15].

2.2 경로 선택 알고리즘

(그림 5, 6)에서 링크 구조로 연계된 영어 대역폭 테이블 및 라우팅 테이블의 정보를 이용하여, 발신 메쉬 라우터로부터 착신 메쉬 라우터까지의 최적의 라우팅 경로를 선택하기 위해 본 논문에서 제안하는 CAMP DSDV 프로토콜에서는 발신 메쉬 라우터와 착신 메쉬 라우터간 경로 p 의 비용 값을 그 경로에서의 홉 수 및 최소 영어 대역폭 값을 동시에 고려하여 정의하고자 한다. 홉 수 및 영어 대역폭 값은 서로 단위가 달라 직접적인 비교가 용이치 않으므로 기존의 연구[16]와 유사하게 홉 수 및 최소 영어 대역폭의 역수가 가중치를 곱하여 이 값을 더한 식 (2)의 값으로 비용을 정의한다.

$$Cost_p = w_1 * hop\ count_p + w_2 * \frac{1}{\min(BW_{residual, n} | n \in p)} \quad (2)$$



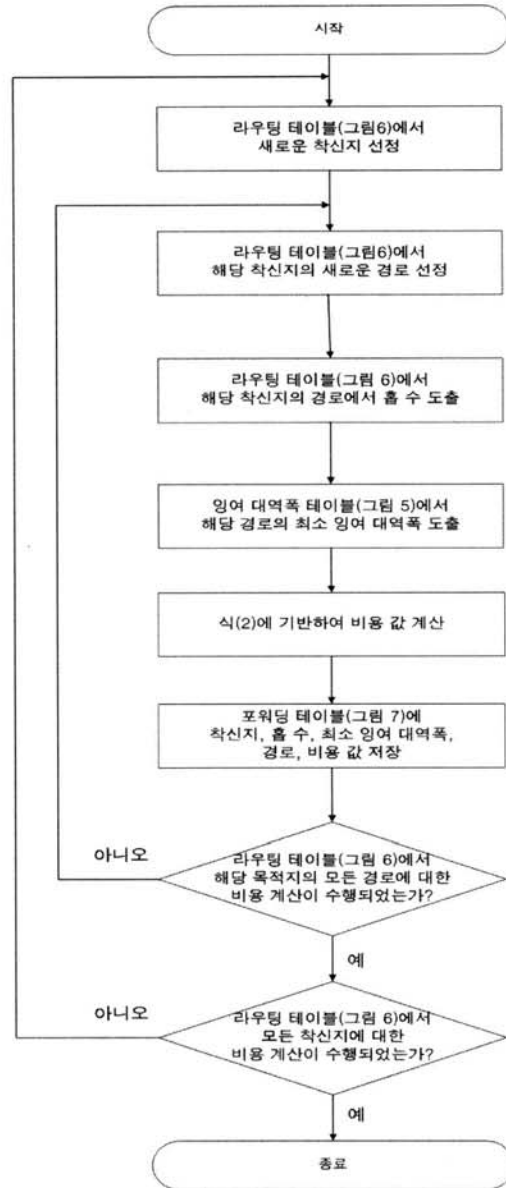
(그림 6) 링크 구조로 연계된 라우팅 테이블 구조

착신지	홉 수	최소 잉여 대역폭	경로	비용
D ₁	5	0.4	N _{1,1} -N _{2,1} -N _{3,1} ...N _{h,2}	4.3
D ₁	4	0.31	N _{1,2} -N _{2,2} -N _{3,1} ...N _{h,2}	3.7
D ₂	7	0.23	N _{1,3} -N _{2,1} -N _{3,2} ...N _{i,2}	2.9
...

(그림 7) 포워딩 테이블 구조

식 (2)에서 w_1 과 w_2 는 홉 수 및 잉여 대역폭과 관련된 가중치 값에 해당하며 $w_1+w_2=1$ 의 조건을 만족하는 것으로 가정한다. 비용 계산시 경로 전체의 잉여 대역폭 중에서 최소 잉여 대역폭을 고려하는 이유는 종단간 경로에서 최소 잉여 대역폭에 해당하는 링크가 전체 경로의 병목이 되기 때문이다.

CAMP DSDV 라우팅 프로토콜에서 발신 메쉬 라우터는 (그림 5, 6)에서 정의된 링크 구조로 연계된 잉여 대역폭 테이블 및 라우팅 테이블의 정보와 식 (2)에서 정의된 비용 함수를 이용하여 발생 가능한 모든 착신 노드 및 모든 경로에 대한 비용 값을 계산하고 그 값을 (그림 7)과 같은 포워딩 테이블에 저장한다. 잉여 대역폭 테이블, 라우팅 테이블, 비용 함수를 이용하여 포워딩 테이블에 저장될 비용 값을 구하는 상세한 알고리즘은 (그림 8)과 같다. 이후, 발신 메쉬 라우터가 착신 메쉬 라우터로 데이터를 전송하고자 하는 경우, 포워딩 테이블에서 저장되어 있는 착신 메쉬 라우터로의 다중 경로 중에서 최소의 비용을 가지는 경로를 추출하고 소스 라우팅 기법을 사용하여 그 경로로 데이터를 전송한다. 포워딩 테이블의 값은 Hello 메시지 교환 주기마다 교환되는 잉여 대역폭 테이블 및 라우팅 테이블 값에 의해 주기적으로 갱신되며, 이를 통해, 발신 메쉬 라우터는 착신 메쉬 라우터로의 경로를 동적으로 관리할 수 있게 된다.



(그림 8) 단대단 경로의 비용 계산 절차

3. 성능 분석

본 장에서는 NS-2 시뮬레이터를 이용하여 제안하는 CAMP DSDV 라우팅 프로토콜과 기존의 DSDV, HMP DSDV, EHMP DSDV 라우팅 프로토콜의 성능을 비교하고자 한다. 본 논문에서 사용된 시뮬레이션 매개변수는 <표 1>과 같다.

본 시뮬레이션에서는 5*5개의 메쉬 라우터로 구성된 격자 형태의 토폴로지를 가정하고 오른쪽 제일 위 쪽에 위치한 메쉬 라우터를 인터넷으로의 접속을 위한 게이트웨이의 역할을 수행하는 게이트웨이 메쉬 라우터로 가정한다. 통신은 메쉬 라우터와 게이트웨이 메쉬 라우터간의 인터넷 접속 통신 및 임의로 선택된 서로 다른 두 메쉬 라우터간의 P2P

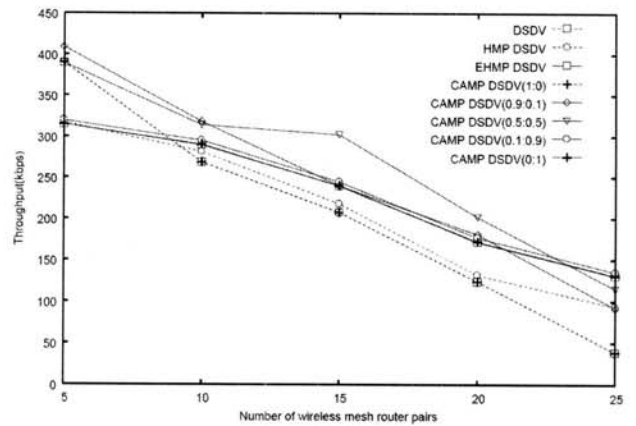
〈표 1〉 시뮬레이션 매개변수

매개변수	값
Topology	5 * 5 grid
Number of mesh routers	25
Distance between mesh routers	200 m
Transmission range	200 m
MAC	IEEE 802.11b
Traffic type	CBR (constant bit rate)
Packet size	512 kbytes
Packet rate	200 packets/s
Total bandwidth	11 Mbps
Hello message period	2 s
Simulation time	2000 s

(peer-to-peer) 통신을 가정하며 모두 UDP 통신 방식을 사용한다. 인터넷으로의 접속이 주가 되는 메쉬 네트워크의 특성을 반영하기 위해 메쉬 라우터와 게이트웨이 메쉬 라우터간의 인터넷 접속 통신에 참여하는 라우터 쌍과 서로 다른 두 메쉬 라우터간의 P2P 통신에 참여하는 라우터 쌍의 비는 0.6:0.4로 가정하였으며, 본 논문 전체에서 동일한 값을 가지는 것으로 가정하였다 [15]. 인터넷 접속 통신 및 P2P 통신에서 각 세션은 총 40초 동안 지속되는 것으로 가정하였으며, 하나의 세션이 종료되면 새로운 메쉬 라우터 쌍을 임의로 선택하여 40초 동안의 새로운 세션을 반복한다 [15]. 잉여 대역폭 정보를 교환하기 위한 Hello 메시지의 전송 주기는 2초로 가정한다. 대역폭 추정을 위한 *weight factor*의 값은 Chen 등에 의해 수행된 기존의 연구[13]에서 가정된 1.25, 1.4, 1.6 중에서 패킷 전달율, 지연 및 에너지 측면에서 최적의 특성을 보이는 1.6을 가정하였다.

한번의 시뮬레이션은 총 2000초 동안 수행하였으며 총 150번의 시뮬레이션 수행 결과를 평균 값을 취하여 최종 결과를 구하였다. 본 시뮬레이션에서는 매 시뮬레이션 시 하나의 메쉬 라우터를 임의로 선정하고 전체 시뮬레이션 기간인 2000초 동안 그 메쉬 라우터와 게이트웨이 메쉬 라우터간 세션을 지속시킨 후 그 세션에 대해 처리율 및 패킷 전달율을 측정하였다.

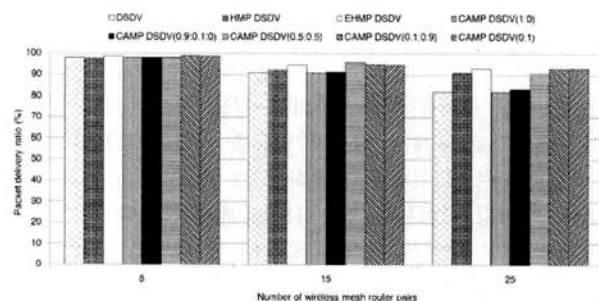
(그림 9)는 통신에 참여하는 전체 메쉬 라우터 쌍의 수를 변화시켜 가면서 처리율을 측정한 결과이다. EHMP DSDV에서는 최소 홉 수를 가지는 경로 이외에 최소 홉 수에서 2홉 이내의 홉 수를 가지는 모든 경로의 정보를 이용하였다 [12]. 통신에 참여하고 있는 메쉬 라우터 쌍의 수가 적은 경우, 즉, 메쉬 네트워크의 트래픽 부하가 적은 경우에는 DSDV 프로토콜이 HMP DSDV 프로토콜 및 EHMP DSDV 프로토콜에 비해 더 좋은 성능을 가지는 것을 알 수 있다. 왜냐하면, 트래픽 부하가 적은 경우에는 DSDV 프로토콜도 충분한 성능을 제공할 수 있고, HMP DSDV 및 EHMP DSDV 프로토콜은 잉여 대역폭 정보를 관리하기 위한 Hello 패킷을 주기적으로 교환하여 네트워크에 부하를 가져



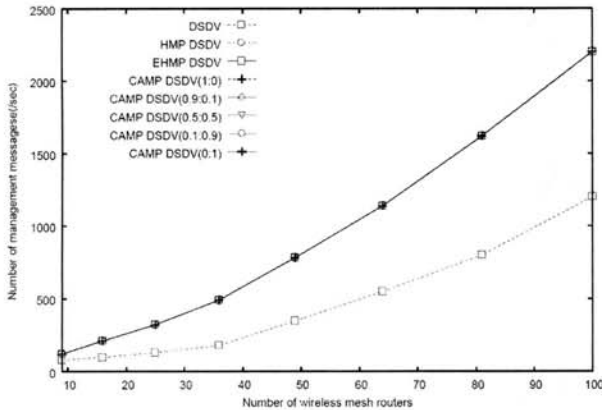
(그림 9) 처리율 측면의 성능 비교

오기 때문이다. 그러나, 통신에 참여하고 있는 메쉬 라우터 쌍의 수가 많은 경우에는 DSDV 프로토콜보다 잉여 대역폭을 고려하는 기법들의 성능이 더 우수한 것을 알 수 있으며, 이는 DSDV 프로토콜에서는 트래픽이 최소의 홉 수를 가지는 특정 경로로만 집중되기 때문이다. 가중치의 값이 1:0의 경우 CAMP DSDV 기법은 DSDV 기법과 유사한 값을 가지게 되는데 이는 CAMP DSDV 기법에서 홉 수만을 고려하는 경우 최소의 홉 수를 가지는 경로로 라우팅을 수행하여 CAMP DSDV 기법과 DSDV 기법은 유사한 경로를 선택하게 되기 때문이다. 또한, 가중치의 값이 0:1인 경우 CAMP DSDV 기법은 HMP DSDV 및 EHMP DSDV와 유사한 값을 가지게 되는데 이는 잉여 대역폭이 가장 큰 경로로 라우팅을 수행하기 때문이다. 1:0 및 0:1 사이의 가중치 값을 가지는 경우에는 CAMP DSDV 기법은 대부분의 경우 기존의 기법에 비해 더 우수한 성능을 가지게 되는 것을 알 수 있으며 이는 제안하는 기법은 메쉬 네트워크의 트래픽 환경에 따라 적절한 *weight factor* 값을 선택함으로써 기존 기법보다 더 우수한 성능을 가질 수 있음을 보여준다.

(그림 10)은 통신에 참여하고 있는 메쉬 라우터의 쌍의 수를 변화시켜 가면서 게이트웨이 메쉬 라우터에서의 패킷 전달율을 측정한 그래프이다. 트래픽 부하가 적은 경우에는 모든 프로토콜이 100%에 가까운 우수한 성능을 보여 주지만, 트래픽이 증가함에 따라 패킷 전달율이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, (그림 9)와 유사한 이유로 인해 CAMP



(그림 10) 패킷 전달율 측면의 성능 비교



(그림 11) 관리 메시지 수 측면의 성능 비교

DSDV 프로토콜은 메쉬 네트워크의 트래픽 환경에 따라 적절한 가중치 값을 적용하게 되는 경우 가장 좋은 패킷 전달율을 제공해 줄 수 있다는 것을 알 수 있다.

(그림 11)은 메쉬 네트워크의 크기가 3*3에서부터 10*10까지 증가함에 따라 발생하게 되는 라우팅 프로토콜 관리 메시지 수를 보여준다. HMP DSDV, EHMP DSDV 및 CAMP DSDV 프로토콜은 메쉬 라우터의 수가 증가함에 따라 잉여 대역폭 정보를 교환하기 위한 Hello 메시지가 증가함으로 인해 DSDV 프로토콜보다 좀 더 많은 관리 메시지를 발생시키는 것을 알 수 있다. 그러나, CAMP DSDV 프로토콜은 HMP DSDV 및 EHMP DSDV 프로토콜과 동일한 관리 메시지를 발생시키는 것을 알 수 있다. 왜냐하면 CAMP DSDV는 HMP DSDV 및 EHMP DSDV 프로토콜에서와 같이 수정된 Hello 메시지를 통하여 주위 메쉬 라우터와 정보를 교환하기 때문에 관리 메시지의 수는 프로토콜과 상관 없이 Hello 메시지의 전송 주기와만 관계가 있고, 따라서 동일한 Hello 메시지 전송 주기를 가지게 되는 경우 동일한 수의 관리 메시지가 발생하기 때문이다.

4. 결 론

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크에서 홉 수와 최소 잉여 대역폭을 이용한 CAMP DSDV 프로토콜을 제안하고, 그 성능을 처리율, 패킷 전달율, 관리 메시지 수의 관점에서 기존의 DSDV, HMP DSDV 및 EHMP DSDV 프로토콜과 비교하여 보았다. NS-2를 이용한 성능 분석을 통해 제안하는 라우팅 프로토콜은 관리 메시지 수 측면에서 HMP DSDV 및 EHMP DSDV 프로토콜과 동일한 성능을 가지며, 홉 수 및 단대단 최소 잉여 대역폭의 비용 가중치를 적절히 조절함으로써 처리율 및 패킷 전달율 측면에서 기존의 DSDV, HMP DSDV 및 EHMP DSDV 프로토콜에 비해 더 우수한 성능을 가지게 됨을 보인다. 추후 연구로는, 홉 수 및 최소 잉여 대역폭의 가중치 값을 네트워크 환경에 따라 동적으로 조절함으로써 항상 최적의 성능을 제공하는 방안 에 대한 연구를 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," *Computer Networks*, Vol.47, issue 47, pp.445-487, Mar. 2005.
- [2] 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.
- [3] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers," *Proceedings of SIGCOMM*, pp.234-244, Aug. 1994.
- [4] T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized link state routing protocol (OLSR)," *IETF RFC 3626*, Oct. 2003.
- [5] C. E. Perkins, E. B. Royer, and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing," *IETF RFC 3561*, July 2003.
- [6] D. Johnson, Y. Hu, and D. Maltz, "The dynamic source routing protocol (DSR) for mobile ad hoc networks for IPv4," *IETF RFC 4728*, Feb. 2007.
- [7] Z. J. Hass, M. R. Pearlman, P. Samar, "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks," *IETF draft-ietf-manet-zone-zrp-04.txt*, July 2002.
- [8] 김영안, 박철현, 홍충선, "무선 메쉬 네트워크 환경에서 효율적인 다중 홉 전달 기법," *한국통신학회 논문지*, 제31권 제 10B호, pp.872-882, 2006.
- [9] L. Ma and M. K. Denko, "A routing metric for load-balancing in wireless mesh networks," *Proceedings of the 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, Vol.2, pp.409-414, May 2007.
- [10] 오은주, 임재성. "무선 Mesh 네트워크에서 Mesh 라우터 간에 성능향상을 위한 홉 간 멀티패스(Hop-by-Hop Multipath) 라우팅 기법," *한국통신학회 추계학술대회 논문집*, Nov. 2005.
- [11] E. J. Oh, S. I. Lee, and J. S. Lim, "A hop-by-hop multipath routing protocol using residual bandwidth for wireless mesh networks," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.4217, pp.123-134, 2006.
- [12] 이성용, 정운원, "무선 메쉬 네트워크에서 홉 수와 잉여 대역폭을 이용한 개선된 다중 경로 DSDV 라우팅 프로토콜," *SK Telecommunications Review*, 제17권 제6호, pp.1066-1077, 2007.
- [13] L. Chen and W. B. Heinzelman. "Qos-aware routing based on bandwidth estimation for mobile ad hoc networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, Vol.23, No.3, pp.561-572, Mar. 2005.
- [14] C. Sarr, C. Chaudet, G. Chelius and I. G. Lalous, "Improving accuracy in available bandwidth estimation for IEEE 802.11-based ad hoc networks," *Proceedings of IEEE International Conference on Mobile Ad hoc and Sensor Systems*, pp.517-520, Oct. 2006.

- [15] L. Barolli, A. Koyama, N. Shiratori, "A QoS routing method for ad-hoc networks based on genetic algorithm," Proceedings of the 14th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, pp.175-179, Sept. 2003.
- [16] H. Ammari and H. E. Rewini, "Using hybrid selection scheme to support QoS when providing multihop wireless Internet access to mobile ad hoc networks," Proceedings of the First International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks, Oct. 2004.



이성웅

e-mail : octber29@ssu.ac.kr

2007년 숭실대학교 정보통신전자공학부 (학사)

2007~현 재 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정

관심분야: 무선 메쉬 네트워크, 이동 애드 혹 네트워크 (MANET), 이동성 관리, 버티컬 핸드오프 등



정윤원

e-mail : ywchung@ssu.ac.kr

1995년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (학사)

1997년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (석사)

2001년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (박사)

2001년~2002년 영국 런던대학 (King's College London)

Visiting Postdoctoral Research Fellow

2003년~2005년 한국전자통신연구원 연구원

2005년~현 재 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수

관심분야: 다양한 무선 및 이동 네트워크에서 이동성 관리 및 성능분석 등