

# WLAN Mesh 망을 위한 라우팅 기법의 성능 분석

박재성<sup>\*</sup> · 임유진<sup>\*\*</sup> · 안상현<sup>\*\*\*</sup>

## 요약

무선 LAN (WLAN) 기반 mesh 망은 유선 액세스 망의 단점을 보완하기 위한 대안으로 많은 주목을 받고 있으나 성공적인 상업화를 위해서는 성능, 보안, 관리 등 기술적인 이슈들을 해결해야 한다. 특히 단말과 유선망 사이의 데이터 교환을 위한 효율적인 경로 설정 문제는 WLAN mesh 망의 신뢰성과 안전성에 많은 영향을 미치므로 효과적인 라우팅 기법의 개발은 선결해야 될 중요한 문제이다. WLAN mesh 망은 포설되는 환경과 단말의 이동성 등에 의해 다양한 특징을 가지므로 reactive 라우팅 기법 혹은 proactive 라우팅 기법 하나만을 이용하는 것은 모든 mesh 망 환경에 적합하지 않다. 따라서 망 환경 변화에 따른 동적인 라우팅 기법 개발이 필요하며 이를 위해서는 망과 단말의 특성이 각 라우팅 기법의 성능에 미치는 영향이 종합적으로 파악되어야 한다. 그러나 현재까지 제안된 라우팅 기법들의 성능 평가에 관한 연구는 제한된 환경에서 모의 실험을 통한 정량적 평가에 머물고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 망의 크기, 송신 단말의 밀도, 단말의 이동성, 망 형상 변화 주기를 모두 고려하여 reactive 기법인 AODV와 proactive 기법인 DSDV의 수학적 성능 분석 모델을 제시한다. 제안된 분석 모델은 변화하는 mesh 망 환경에 적응성 있는 라우팅 기법 개발에 이용될 것으로 기대된다.

키워드: 무선 mesh 망, 라우팅 기법, 성능분석모델, 신호부하율

## Performance Analysis of Routing Protocols for WLAN Mesh Networks

Park Jaesung<sup>\*</sup> · Lim Yujin<sup>\*\*</sup> · Ahn Sanghyun<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Mesh networks using WLAN technology have been paid attention as a key wireless access technology. However, many technical issues still exist for its successful deployment. One of those issues is the routing problem that addresses the path setup through a WLAN mesh network for the data exchanges between a station and a wired network. Since the characteristics of a WLAN mesh network can be very dynamic, the use of single routing protocol would not fit for all environments whether it is reactive or proactive. Therefore, it is required to develop an adaptive routing protocol that modifies itself according to the changes in the network parameters. As a logical first step for the development, an analytical model considering all the dynamic features of a WLAN mesh network is required to evaluate the performance of a reactive and a proactive routing scheme. In this paper, we propose an analytical model that makes us scrutinize the impact of the network and station parameters on the performance of each routing protocol. Our model includes the size of a mesh network, the density of stations, mobility of stations, and the duration of network topology change. We applied our model to the AODV that is a representative reactive routing protocol and DSDV that is a representative proactive routing protocol to analyze the tradeoff between AODV and DSDV in dynamic network environments. Our model is expected to help developing an adaptive routing protocol for a WLAN mesh network.

Key Words : Wireless mesh network, Routing protocols, Analysis model, Signaling load

## 1. 서론

IEEE 802.11 기반 무선 네트워크는 이동 전화 망에 비해 높은 대역폭을 제공하며 구현 비용이 저렴하고, 설치 및 이용이 편리하기 때문에 고속 무선 접속망으로 빠르게 포설되

고 있다. 전형적인 무선 LAN 망은 사용자 단말이 무선 링크를 통해 액세스 포인트 (AP)에 접속하고 AP들은 distribution system (DS)을 통해 연결되는 구조를 가진다. 즉, 이와 같은 망 구조에서 사용자가 인터넷에 접속하기 위해서는 모든 AP들이 유선 DS 망에 연결되어야 한다. 따라서 무선 LAN의 적용 범위는 DS의 설치 여부에 종속적이며 이로 인해 현재의 무선 LAN 설치 환경은 제한적이다. 이에 따라 유선 DS 없이 AP들 사이의 무선 연결을 통한 무선 DS (WDS: wireless DS)를 구축하여 무선 LAN의 용도를

\* 이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KJRF-2006-311-D00668)

† 정 회 원 : 수원대학교 인터넷정보공학과 전임강사

\*\* 정 회 원 : 수원대학교 정보미디어학과 선임강사

\*\*\* 정 회 원 : 서울시립대학교 컴퓨터과학부 정교수

논문접수 : 2007년 5월 23일, 심사완료 : 2007년 7월 19일

확장시키기 위한 무선 mesh 망에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다 [1]. 특히 IEEE의 802.11s task group (TG)은 medium access correlation function (MCF) 부 계층을 (sublayer) 도입하여 mesh 망의 자동 구성, 단말과 유선 망과의 경로 설정 및 데이터 전송, mesh 망 관리 및 보안 등 WLAN mesh 서비스를 위한 표준화를 진행 중이다[2][3].

WLAN mesh 망은 다수의 AP 사이의 무선 링크를 통해 사용자에게 인터넷 접속 서비스를 제공하므로 WLAN mesh 망에서 라우팅 (routing) 기능은 망의 신뢰성과 안전성에 중요한 영향을 미친다. 현재 802.11s TG에서는 IETF Mobile Ad Hoc Network (MANET) working group (WG)에서 개발된 라우팅 기법들을 이용하여 MAC 주소를 이용한 2계층 라우팅 기법의 개발을 목표로 하고 있다. MANET WG에서 개발된 라우팅 기법들은 크게 reactive 기법과 proactive 기법으로 구분된다. Reactive 기법의 경우 소스에서 목적지까지의 경로는 단말의 데이터 전송 요청이 있는 경우에만 설정된다. 따라서 reactive 기법은 경로 설정을 위한 신호 (signaling) 부하를 줄이는 대신 경로 설정 과정에 의해 패킷 전송 지연을 증가시키며 AODV[4], DSR[5], TORA[6] 등이 대표적인 reactive 라우팅 프로토콜들이다. Proactive 기법에서는 단말의 데이터 전송 여부와 무관하게 망을 구성하는 각 노드들이 주기적으로 라우팅 테이블을 교환하여 망의 전체 형상 (topology) 정보를 유지한다. 따라서 proactive 기법은 단말의 데이터 전송 여부와 무관하게 항상 경로가 설정되어 있으나 주기적인 라우팅 테이블 교환을 위한 무선 링크 상의 신호 부하가 커진다. 대표적인 proactive 라우팅 프로토콜로는 DSDV[7]와 OLSR[8]이 있다.

WLAN mesh 망의 특성은 망의 크기, 송신 단말의 밀도 및 이동성, 소스-목적지간 경로 변화 기간 등에 따라 매우 다양하게 변화한다. 따라서 모든 환경에 한 가지 라우팅 기법을 적용하는 것은 비효율적이며 망 환경에 따라 이들을 혼용하거나 망 특성이 변경 됨에 따라 동적으로 라우팅 기법을 적용시키는 것이 필요하다. 따라서 WLAN mesh 망의 특성에 가장 적합한 라우팅 기법을 개발하기 위해서는 WLAN mesh 망을 특징 짓는 여러 인자들을 모두 고려하여 reactive 라우팅 기법과 proactive 라우팅 기법의 성능을 정량적으로 비교하고 각 인자들이 이들의 성능에 미치는 영향을 분석하는 것이 필요하다.

두 라우팅 기법의 성능 비교에 관한 연구는 경로 설정을 위한 제어 메시지의 양, 평균 패킷 전송 지연 등의 측면에서 광범위하게 이루어졌다. [9]에서는 MANET 망을 위해 제안된 라우팅 프로토콜들의 동작 원리와 특성 및 차이점들을 정성적으로 분석하였다. [10]에서는 Dijkstra, Link State, AODV, DSR 프로토콜의 성능을 처리율과 에너지 효율 측면에서 비교하였다. 이들은 다양한 망 환경에서 SAM (Simple Ad hoc Simulator)를 이용한 모의 실험을 통해 망의 부하가 크지 않은 경우 AODV의 성능이 DSR보다 우수하며 트래픽 부하가 큰 경우 proactive 기법인 Link State 프로토콜이 reactive 기법보다 효율이 높다는 것을 보였다.

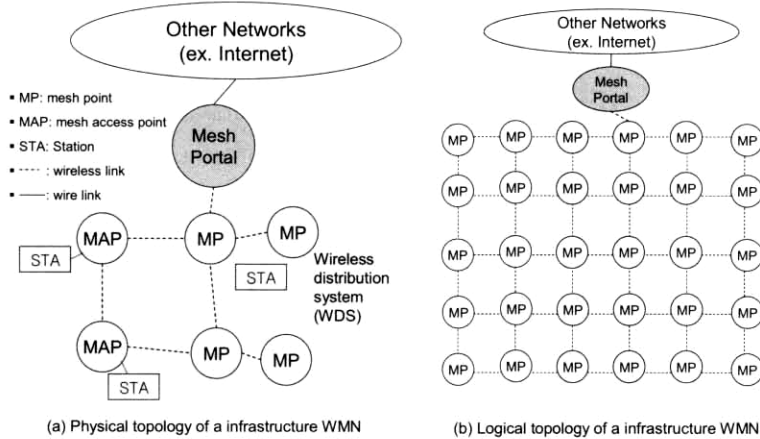
[11]에서는 ns-2 모의 실험기의 확장을 통해 단말의 이동 속도와 이동 단말의 비율에 따라 DSDV, TORA, DSR, AODV의 성능을 비교하여 단말의 이동성이 낮은 경우 DSDV의 성능이 안정적이며 AODV의 성능은 단말의 이동성과 이동율에 무관하다는 것을 보였다. 그러나 기존 라우팅 기법들의 성능 비교 연구는 특정 환경에서 모의 실험을 통한 정량적 비교였으며, WLAN mesh 망의 특성을 결정하는 모든 요소들을 고려한 종합적인 비교 결과는 제시되고 있지 않다. 이에 따라 본 논문에서는 reactive 라우팅 기법인 AODV와 proactive 라우팅 기법인 DSDV의 성능을 경로 설정을 위한 제어 메시지 부하 측면에서 비교하기 위한 수학적 분석 모델을 제안한다. 제안하는 분석 모델은 WLAN mesh 망의 특성을 결정하는 다음과 같은 모든 인자들을 - mesh 망의 크기, 송신 단말의 밀도, 이동 단말과 정지 단말의 비율, 이동 단말의 이동성, mesh 망의 물리적, 논리적 형상 변화 주기 - 고려하므로 이들 인자들이 각 라우팅 기법의 성능에 미치는 영향을 종합적으로 분석할 수 있도록 해준다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 사용자에게 고속 무선 인터넷 액세스 서비스를 제공하기 위한 WLAN mesh 망의 구조를 살펴보고 3장에서는 이와 같은 망 구조에서 AODV와 DSDV 프로토콜이 단말의 데이터 전송 경로 설정을 위해 야기하는 제어 메시지 양을 분석한다. 이후 4장에서는 단말의 이동성과 시스템 인자들이 각 프로토콜의 성능에 미치는 영향을 종합적으로 분석하고 5장에서는 분석 결과를 이용하여 각 라우팅 기법의 성능을 정량적으로 보인 후 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. WLAN mesh 망 모델

(그림 1-(a))는 인터넷 액세스 서비스 제공을 위한 WLAN mesh 망의 물리적인 구조를 나타낸다. WLAN mesh 망은 mesh point (MP), mesh portal (MPP), mesh access point (MAP)로 구성된다 [2]. IEEE 802.11 표준을 따르는 임의의 단말 혹은 AP에 mesh-relay 기능이 부가된 노드는 MP가 될 수 있다. MP는 이웃 MP의 탐지 및 이들과의 연결을 설정하며 양방향 무선 링크를 통해 타 MP가 전송한 데이터를 이웃 MP들에게 전달한다. MAP은 AP의 역할을 하는 MP로서 WLAN mesh의 일부로 동작할 수도 있으며 기존 AP로 동작할 수도 있다. 본 논문에서 모든 MAP은 WLAN mesh의 일부인 MP로 동작한다고 가정하고 특별한 구분이 필요하지 않는 한 MAP과 MP를 혼용하여 사용하기로 한다. MPP는 WLAN mesh와 인터넷과 같은 외부 망을 연결시켜 주는 MP이다.

단말은 MAP에 IEEE 802.11 표준에 따라 접속한다. 단말이 전송한 데이터는 여러 MP들로 구성된 WLAN mesh 망을 (IEEE 802.11 표준 용어로는 wireless distribution system이라고 함) 통해 MPP로 전달된 후 인터넷에 전송된다. 인터넷에서 단말로 전송되는 데이터는 MPP를 통해



(그림 1) 인터넷 액세스 서비스 제공을 위한 WLAN mesh 망 구조

WLAN mesh 망으로 전달되고 MP들 사이에 설정된 경로를 따라 해당 단말에게 전송된다.

즉, 일반적인 MANET 망과는 달리 인터넷 액세스 서비스 제공을 위한 WLAN mesh 망에서 트래픽은 MPP에 집중된다. 따라서 (그림 1-(a))와 같은 WLAN mesh 망은 논리적으로는 유선망과 연결된 MPP를 근원으로 WLAN mesh 망을 구성하는 MP들이 브랜치 (branch)인 트리 구조로 모델링 할 수 있다.

WLAN mesh 망 형상은 MP의 위치와 MP와 MP간의 무선 링크 여부에 따라 달라질 수 있으므로 mesh 망의 형상은 비정형적이다. 그러나 WLAN mesh 망은 상업적 서비스를 위해 이동 전화 망과 같은 셀 구조로 포설될 것이 예상되므로 본 논문에서는 (그림 1-(b))와 같은 격자 모양의 WLAN mesh 망 구조를 가정한다. 즉, MP의 데이터 전송 범위는 반지름  $r$  인 원 내부이고 각 MP가 격자 (grid)의 모퉁이에 위치하며 격자의 대각선에 위치한 MP간의 거리가  $\sqrt{2}r$  이라고 가정하면 각 MP는 4개의 이웃 MP를 가진다. 또한 단말과 MP간의 통신 채널은 각 MP들간의 통신 채널과 다르며 이들은 망이 초기화될 때 채널 할당 기법에 의해 간섭이 최소화 되도록 할당된다 [12][13].

### 3. 경로 설정을 위한 비용 분석

본 절에서는 AODV와 DSDV의 성능을 단말에서 MPP까지 경로 설정에 필요한 신호 메시지 부하 측면에서 비교 분석한다. 각 프로토콜에서 경로 설정을 위해 사용되는 제어 메시지의 크기는 다를 수 있으나 분석의 간소화를 위해 모든 제어 메시지의 송신 비용은  $C_t$  (메시지 송신 전력 등), 수신 비용은  $C_r$ 로 (메시지 수신 전력 등) 동일하며 제어 메시지 송수신 과정에 오류는 없다고 가정한다.

#### 3.1 AODV 신호 부하

AODV에서 단말과 MPP와의 데이터 전송 경로는 다음과

같이 설정된다. 우선 단말이 접속한 MP (serving MP)는 경로 설정을 위한 RREQ 메시지를 망 내에 브로드캐스트 (broadcast) 한다. 이후 RREQ 메시지를 수신한 MPP는 단말의 serving MP에 RREP 메시지를 유니캐스트 (unicast) 함으로써 이들간에 최단 경로가 설정된다 [4].

RREQ 메시지는 브로드캐스트 되므로 WLAN mesh 망내의 모든 MP는 이웃 MP들로부터 한번씩 RREQ 메시지를 수신하게 되며 자신은 RREQ 메시지를 한번만 전송한다. 따라서 WLAN mesh 망이  $nMP \times mMP$ 로 구성된다면 RREQ 메시지를 serving MP에서 MPP로 전송하기 위해 소요되는 제어 메시지 전송 비용은 논리적인 WMN의 중간에 놓인 MP들, 변에 놓인 MP들, 모서리에 위치한 MP들 (그림 1-(b))에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$C_{AODV}^{RREQ} = (n-2)(m-2)(C_t + 4C_r) + 2[(n-2) + (m-2)](C_t + 3C_r) + 4(C_t + 2C_r) = nmC_t + 2(2nm - n - m)C_r \quad (1)$$

Serving MP와 MPP 사이에 위치한 MP들은 상위 MP (이웃 MP 중 MPP에 가까운 MP)로부터 RREP 메시지를 수신하여 하위 MP로 유니캐스트 방식으로 전달한다. 따라서 serving MP에서 MPP까지의 홉 (hop) 수를  $a$  라고 하면 WLAN mesh 망에서 RREP 메시지 전송을 위한 비용은 다음과 같이 주어진다.

$$C_{AODV}^{RREP} = (C_t + 2C_r)a + (2a + 4)C_r = aC_t + 4(a + 1)C_r \quad (2)$$

따라서 식 (1)과 (2)에 의해 AODV를 이용하여 단말과 MPP까지의 경로 설정 비용은 식 (3)과 같이 구해진다.

$$C_{AODV} = C_{AODV}^{RREQ} + C_{AODV}^{RREP} \quad (3)$$

#### 3.2 DSDV 신호 부하

DSDV의 동작 원리는 유선망의 RIP와 유사하다. WLAN

mesh 망 내의 각 MP들은  $T_u$ 마다 주기적으로 DSDV 경로 갱신 메시지를 전송하며 이를 통해 각 MP들은 망 형상 정보를 구성한다 [7]. 따라서 매  $T_u$  시간마다 각 MP들은 이웃 MP들로부터 한번씩 DSDV 경로 갱신 메시지를 수신하게 된다. 임의의 시간  $T$  동안 각 MP들은 DSDV 경로 갱신 메시지를  $b = \lfloor T/T_u \rfloor$ 번 전송하게 되므로 (단  $\lfloor x \rfloor$ 는  $x$ 를 넘지 않는 최대 정수)  $nMP \times mMP$ 로 구성된 WLAN mesh 망에서 시간  $T$  동안 제어 메시지 송수신에 필요한 비용은 다음과 같이 주어진다.

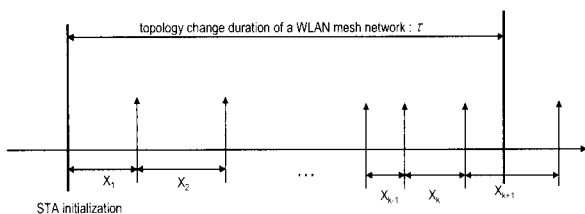
$$C_{DSDV}(b) = b \cdot [(n-2)(m-2)(C_i + 4C_r) + 2(n-2) + (m-2)(C_i + 3C_r) + 4(C_i + 2C_r)] \\ = [b(n-2)(m-2) + 2(n+m-2)]C_i + [4b(n-2)(m-2) + 6(n+m) - 16]C_r \quad (4)$$

식 (4)의 첫번째 항은 논리적인 WMN의 중간에 놓인 MP들, 두번째 항은 WMN의 변에 놓인 MP들, 마지막 항은 모서리에 위치한 MP들에 의한 비용을 나타낸다.

#### 4. 단말의 이동 및 시스템 인자에 의한 경로 설정 비용

본 절에서는 망 구조 변화 시간, 망 내 송신 단말의 밀도, 단말의 이동성을 모두 고려하여 WLAN mesh 망에서 각 라우팅 기법이 경로 설정에 필요한 제어 메시지 전송 비용을 분석한다. 단말이 현재 serving MP의 서비스 영역 (셀)을 벗어나 새로운 serving MP에 접속하는 경우 새로운 serving MP가 다른 단말을 위해 MPP와 이미 경로를 설정하고 있다면 이동 단말은 기존 경로를 재 사용하게 된다. 그러나 새로운 serving MP가 MPP와 데이터 전송 경로를 설정하고 있지 않다면 새로운 serving MP는 이동 단말을 위해 새로운 전송 경로를 설정해야 한다. 따라서 단말의 이동성과 mesh 망 내의 송신 단말의 밀도는 WLAN mesh 망에서 경로 설정을 위한 제어 메시지 전송 비용에 영향을 미친다.

단말이 망에 초기 접속한 이후 mesh 망 내에서 이동하여  $i$ 번째 접속한 serving MP의 서비스 영역에 체류하는 시간을  $X_i$ 로 표기하면, (그림 2)는 mesh 망 형상이 변화되기 전까지인  $\tau$  동안 mesh 망 내에서 단말의 이동성을 나타낸다. WLAN mesh 망의 형상은 물리적 혹은 논리적인 원인으로 인해 변경될 수 있다. 전력 소모 혹은 기능 장애로 인해 MP가 제거 되거나 새로운 MP가 추가되는 경우 망



(그림 2) 단말의 이동성 모델

형상은 물리적으로 변화 한다. 또한 경로 설정에 이용되는 인자 (링크 대역폭, 전송 지연 등)에 따라 MP 사이의 무선 링크에 인가되는 트래픽 부하가 변화하는 경우 망의 논리적인 형상은 변화한다.

$\{X_i : i=1,2,\dots\}$ 는 독립이며 모두 동일한 평균  $\mu_x$ , 분산  $\sigma_x^2$  및 확률 밀도 함수  $f_x(x)$ 를 따른다고 가정하면, 시간  $\tau$  동안 단말이  $k$ 번 serving MP를 변경할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$f_H(k | \tau) = \Pr(X_1 + X_2 + \dots + X_k \leq \tau < X_1 + X_2 + \dots + X_{k+1}) \quad (5)$$

$R_k = X_1 + X_2 + \dots + X_k$ 로 표기하면  $R_k$ 의 누적 분포 함수 (CDF)  $F_{R_k}(r)$ 는 central limit theorem에 의해 다음과 같이 구해진다.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} F_{R_k}(r) = \Phi\left(\frac{r - k\mu_x}{\sqrt{k\sigma_x^2}}\right)$$

$\Phi(x)$ 는 표준 정규분포 함수의 누적 분포 함수를 나타낸다. 따라서 식 (5)는

$$f_H(k | \tau) = \Phi\left(\frac{\tau - k\mu_x}{\sqrt{k\sigma_x^2}}\right) \left(1 - \Phi\left(\frac{\tau - (k+1)\mu_x}{\sqrt{(k+1)\sigma_x^2}}\right)\right) \quad (6)$$

이 된다.

전체  $N_s$ 개인 정적 (static) 단말이 크기  $nMP \times mMP$ 인 mesh 망에 균일하게 분포되어 있다고 가정하면 각 MP의 서비스 영역 내에 정적 단말이 존재할 확률은

$$p_s = \frac{N_s}{nm} \quad (7)$$

이 된다. 각 이동 단말이 임의의 MP의 서비스 영역 내에 위치할 확률은  $p_r = 1/(nm)$ 이 된다. 따라서 이동 중인 단말을 제외한 나머지 이동 단말의 개수를  $N_m$ 으로 표기하면 이동 중인 단말이 MP를 변경하는 순간 임의의 MP의 서비스 영역 내에 다른 이동 단말이 존재하지 않을 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$p_m = (1 - p_r)^{N_m} \quad (8)$$

이동 단말의 새로운 serving MP는 다른 정적 단말이나 이동 단말을 서비스하고 있지 않은 경우에만 새로운 경로를 설정한다. 이동 단말의 위치는 정적 단말의 위치와 무관하게 결정되므로 모든 단말은 항상 전송할 데이터가 있다고

가정하면 식 (7)과 (8)에 의해 임의의 단말이 이동한 경우 새로운 serving MP가 MPP와 경로를 설정해야 할 확률은 다음과 같이 구해진다.

$$p_{path} = (1 - p_s)p_m \quad (9)$$

따라서 이동 단말이  $\tau$  동안  $k$ 번 serving MP를 변경하는 동안  $i$ 번 새로운 경로 설정을 하게 될 확률은 다음과 같이 주어지며

$$p(i | k, \tau) = {}_k C_i p_{path}^i (1 - p_{path})^{k-i} \quad (10)$$

식 (6)과 식 (10)에 의해 이동 단말이  $\tau$  동안  $i$ 번 새로운 경로 설정을 야기할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$p(i | \tau) = \sum_{k=0}^{\infty} p(i | k, \tau) \cdot f_H(k | \tau) \quad (11)$$

이제 이동 단말이 항상 전송할 데이터가 있다고 가정하면 식 (3)과 식 (11)에 의해 mesh 망에서 AODV를 사용하는 경우 WLAN mesh 망의 형상이 변화할 때까지 이동 단말의 경로 설정을 위한 제어 메시지 전송 비용은

$$C_{AODV}(\tau) = \sum_{i=0}^{\tau} i \cdot C_{AODV} \cdot p(i | \tau) \quad (12)$$

이 된다.

DSDV의 경우 각 MP는 시간  $\tau$  동안 최대  $j = \lfloor \tau / T_u \rfloor$  번의 경로 갱신 메시지를 송신한다. 따라서 식 (4)와 식 (11)

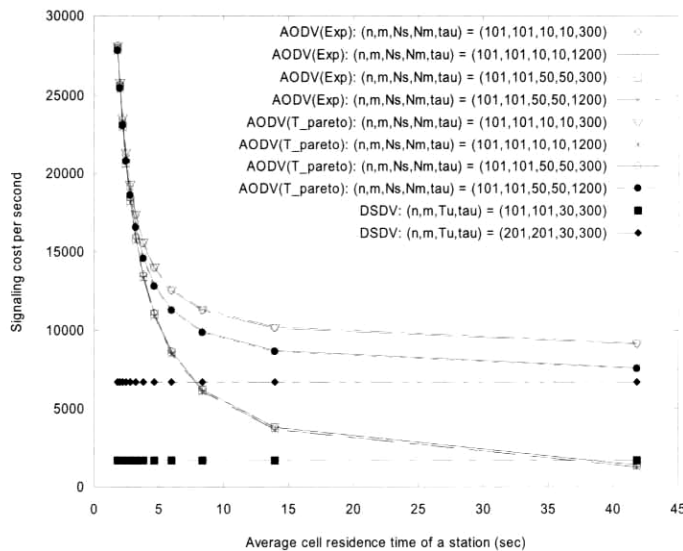
에 의해 mesh 망에서 시간  $\tau$  동안 이동 단말의 경로 설정을 위한 제어 메시지 전송 비용은 다음과 같이 구해진다.

$$C_{DSDV}(\tau) = C_{DSDV}(j) \quad (13)$$

### 5. 성능평가

본 장에서는 제안한 라우팅 프로토콜 성능 분석 모델을 이용하여 AODV와 DSDV의 성능을  $\tau$  동안 경로 설정을 위한 신호 메시지 부하 측면에서 평가한다. Proactive 프로토콜인 DSDV의 성능은 단말 관련 인자인 셀 체류 시간, 단말의 밀도에는 무관하며 mesh 망을 구성하는 MP의 개수 ( $m \times n$ ), 경로 갱신 주기( $T_u$ ), 망 형상 변경 시간 ( $\tau$ )에 영향을 받는다. AODV는 reactive 프로토콜로서 mesh 망의 크기 ( $m \times n$ 개의 MP), 망 형상 변경 시간 ( $\tau$ ) 이외에 mesh 망 내 단말의 밀도 ( $N_s, N_m$ ) 및 단말의 셀 체류 시간에 영향을 받는다. 본 장에서는 이들 모든 인자들을 다양하게 변경시켜 가며 두 라우팅 기법의 성능을 분석한다. 메시지 송 수신 비용인  $C_t$ 와  $C_r$ 은 송,수신기 구현 방법에 따라 달라질 수 있다.본 장에서는 분석의 편의성을 위해  $C_t$ 와  $C_r$ 은 같은 단위 비용을 가진다고 가정하였으나 실제 구현된 송,수신기의 특성 값에 따라 이들 값은 쉽게 변경이 가능하다.

(그림 3)은 WLAN mesh 망에서 경로 설정을 위해 각 프로토콜이 초당 발생시키는 제어 메시지의 양을 나타낸다. 단말의 이동성은 셀 체류 시간으로 모델링되며 단말의 셀 체류 시간은 단말의 이동 속도와 이동 방향에 의해 결정될 수도 있고 [15] 실측값 혹은 모의 실험 결과에 의해 직접 모

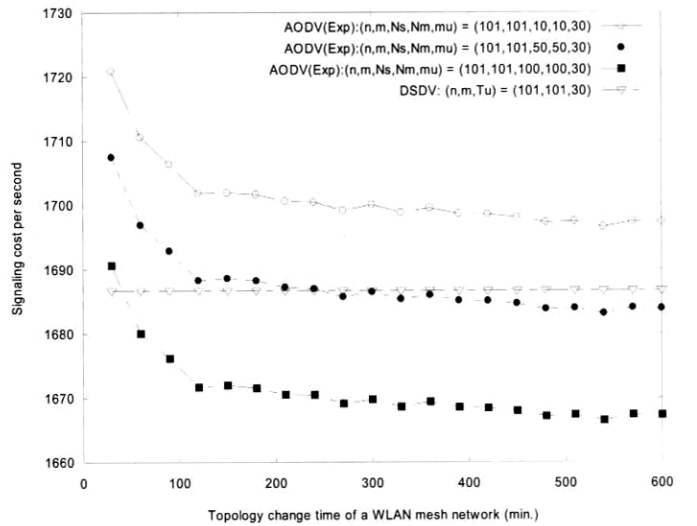


(그림 3) 단말의 이동성에 따른 AODV와 DSDV의 신호 비용 비교. (n, m, Ns, Nm은 개수를 나타내며, tau, Tu의 단위는 초를 나타낸다.)

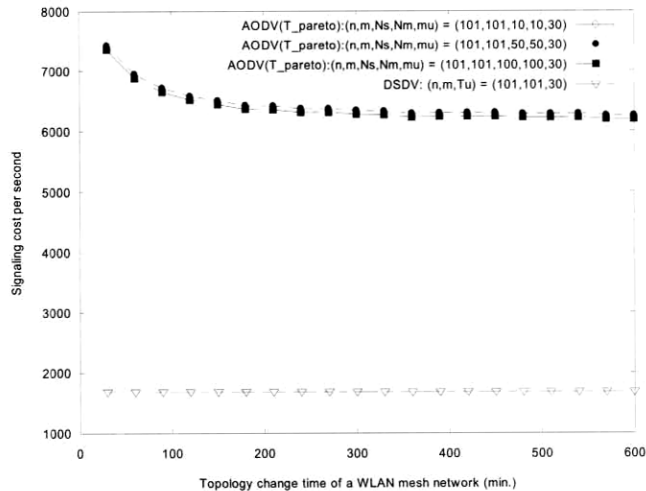
델링 될 수도 있다 [16]. 본 논문에서는 셀 체류 시간의 분포가 성능에 미치는 영향도 고려하기 위해 일반성에 위배됨이 없이 short range dependent한 특성을 보이는 지수 분포(그림 3에서 Exp로 표기)와 long range dependent한 특성을 가지는 임계값 10000초인 truncated pareto(그림 3에서 T\_pareto로 표기) 분포를 가정하였으며 두 분포의 평균 셀 체류 시간이 같도록 두 분포의 파라미터를 설정하였다. DSDV의 경우 각 MP는 망 형상 정보를 주기적으로 교환하기 때문에 신호 부하율은 단말의 이동성과는 무관하다. 그러나 mesh망의 크기가 101x101에서 201x201으로 커지게 되면 브로드캐스트 되는 경로 갱신 메시지의 범위가 증가하므로 신호 부하율이 증가하는 것을 볼 수 있다. AODV의 경우 평균 셀 체류 시간이 길어질수록 즉, 단말의 serving MP

변경 빈도가 낮을수록 신호 부하율은 낮아진다. 또한 셀 체류 시간의 분산이 작을수록(지수 분포인 경우) 신호 부하율의 감소율은 더 커진다는 것을 알 수 있다. 망 내 단말의 밀도가 커질수록 기존 경로를 재 사용할 확률이 높아지므로 신호 부하율이 낮아지며 셀 체류 시간의 분산이 큰 경우(T\_pareto 분포) 이와 같은 현상은 심화된다. WLAN mesh망의 크기가 101x101로 동일하고 DSDV의 경로 갱신 주기가 표준 기본값 30초이며 셀 체류 시간이 지수 분포를 따르는 경우 망 내 단말의 수가 망을 구성하는 MP의 25%이고 셀 체류 시간이 37초 이상이면 AODV의 성능이 DSDV보다 우수하며 그 이외의 경우 DSDV의 성능이 AODV보다 우수하다.

(그림 4)는 망 형상 변화 기간( $\tau$ )에 따른 각 프로토콜별



(a) 셀 체류 시간: Exponential 분포



(b) 셀 체류 시간: Truncated Pareto 분포

(그림 4) 망 형상 변화 기간에 따른 신호 부하 비교. (n, m, Ns, Nm는 개수를 나타내며 tau, Tu는 초 단위이며 mu는 초 단위의 평균 셀 체류 시간을 나타낸다.)

신호 부하율을 비교한 것이다. 망이 안정적일수록 (즉,  $\tau$  가 클 수록) AODV의 신호 부하율은 작아지며 DSDV는 매  $T_u$  시간마다 경로 갱신 메시지를 전송하므로 DSDV의 신호 부하율은  $\tau$ 와 무관하다. AODV의 경우 망 내 단말의 수가 많아 질수록 각 MP는 MPP와 경로를 설정하고 있을 확률이 높아진다. 따라서 단말의 밀도가 높아질수록 AODV의 신호 부하는 감소한다. 또한 AODV의 경우 평균 셀 체류 시간이 같더라도 체류 시간의 분산이 큰 경우 ( $T_{\text{pareto}}$  분포를 따르는 경우) DSDV의 신호 부하가 적다. 그러나 크기가  $101 \times 101$ 인 mesh 망에서 단말의 셀 체류 시간이 지수 분포를 따르며 평균 셀 체류 시간이 표준  $T_u$  값인 30초인 경우 망 내 정적 단말의 수와 이동 단말의 수가 각각 50개인 환경에서  $\tau$ 가 300분 이하이면 DSDV의 성능이 AODV보다 우수하며  $\tau$ 가 300분 이상이면 AODV의 신호 부하가 작다. 또한 같은 환경에서 정적 단말과 이동 단말의 수가 각각 100개씩으로 증가하면 AODV와 DSDV의 성능 임계값은 45분으로 감소하였다.

## 6. 결론 및 추후 연구

WLAN mesh 망은 사용 목적과 구성 방법 등에 따라 매우 다양한 특성을 보이므로 한가지 라우팅 기법을 모든 환경에 적용하는 것은 매우 비효율적이다. 따라서 망 환경에 따라 두 라우팅 기법이 혼용되거나 망 환경 변화에 적응성 있는 라우팅 기법을 개발 하는 것이 필요하며 이를 위해서는 mesh 망의 모든 특성을 고려하여 reactive 라우팅 기법과 proactive 라우팅 기법의 성능을 정확하게 평가할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 단말과 WLAN mesh 망을 특징짓는 인자들 모두 고려하여 reactive 라우팅 기법과 proactive 라우팅 기법을 정량적으로 비교하기 위한 수학적 분석 모델을 제시하였다. 제안 모델을 AODV와 DSDV에 적용한 결과 AODV의 경우 망의 크기 및 단말의 평균 셀 체류 시간과 셀 체류 시간의 분포가 망 내 송신 단말의 밀도보다 신호 부하율에 큰 영향을 끼치며, DSDV의 경우 망 크기, 경로 갱신 메시지 전송 주기 및 망 형상 변화 기간이 신호 부하율에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 또한 mesh 망의 크기가 동일하고 단말의 셀 체류 시간이 DSDV의 경로 갱신 메시지 전송 주기와 같은 경우 망 형상 변화 시간이 길고 망 내 송신 단말의 수가 많으며 단말의 셀 체류 시간의 변화가 작을수록 AODV의 신호 부하율이 DSDV의 신호 부하율보다 낮았다. 추후 연구로 본 논문에서 제안한 수학적 성능 분석 모델을 이용하여 WLAN mesh 망 환경 변화에 따른 적응성 있는 라우팅 기법을 개발하고 있다.

## 참고 문헌

- [1] R. Karrer, et. al., "Enabling Large-Scale Wireless Broadband: The Case for TAPs", in Proc. HotNets'03, November 2003.
- [2] IEEE Std 802.11s "Draft Amendment to Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN Specific Requirements - Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Amendment ESS Mesh Networking", IEEE P802.11s/D0.02, June 2006.
- [3] S. M. Faccin, et. al., "Mesh WLAN Networks: Concept and System Design", IEEE Wireless Communications, vol. 13, no. 2, pp. 10-17, April 2006.
- [4] C. E. Perkins, et. al., "Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing", in Proc. of 2<sup>nd</sup> IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'99), pp. 90-100, February 1999.
- [5] D. B. Johnson, et. al., Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks, in T. Imielinski, H. Korth, editor, Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [6] V. D. Park, et. al., "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks", in Proc. IEEE Infocom'97, pp. 1405-1413, April 1997.
- [7] C. E. Perkins, et. al., "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", in Proc. ACM Sigcomm'94, pp. 234-244, August-September 1994.
- [8] T. Clausen, et. al., "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)", IETF RFC 3626, October 2003.
- [9] E. M. Royer, et. al., "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks", IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 2, pp. 46-55, April 1999.
- [10] F. Bertocchi, et. al., "Performance Comparison of Routing Protocols for Ad Hoc Networks", in Proc. IEEE Globecom'03, pp. 1033-1037, December, 2003.
- [11] J. Broch, et. al., "A Performance Comparison of Multi Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols", in Proc. ACM/IEEE MobiCom'98, pp. 85-97, October 1998.
- [12] A. Raniwala, et. al., "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Network", IEEE Infocom'05, pp. 2223-2234, March 2005.

- [13] M. Alicherry, et. al., "Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multiradio Wireless Mesh Networks", IEEE JSAC vol. 24, no. 11, November, 2006.
- [14] R. D. Yates, and D. J. Goodman, Probability and Stochastic Process, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley and Sons, 2005.
- [15] K. L. Yeung, et. al., "Optimal Mobile-Determined Micro-Macro Cell Selction", in Proc. PIMRC'95, pp. 294-299, September 1995.
- [16] M. M. Zonoozi, et. al., "User Mobility Modeling and Characterization of Mobility Patterns", IEEE JSAC vol. 15, no. 17, pp. 1239-1252, September 1997.

**박재성**



e-mail: jaesungpark@suwon.ac.kr  
 1995년 연세대학교 전자공학과(학사)  
 1997년 연세대학교 대학원 전자공학과  
 (공학석사)  
 2001년 연세대학교 대학원 전기, 전자공학  
 학화(공학박사)

2001년~2002년 University of Minnesota PostDoc. Research Faculty  
 2002년~2005년 LG전자 선임연구원  
 2005년~현재 수원대학교 인터넷정보공학과 전임강사  
 관심분야: 이동성 관리 기술, 성능 평가, 무선 매쉬 네트워크 설계 등

**임유진**



e-mail : yujin@suwon.ac.kr  
 1995년 숙명여자대학교 전자계산학과(학사)  
 1997년 숙명여자대학교 대학원 전자계산학과(석사)  
 2000년 숙명여자대학교 대학원 전자계산학과(박사)

2000년 서울대학교 Post-Doc  
 2000년 서울시립대학교 연구교수  
 2003년 University of California Los Angeles, Post-Doc  
 2003년 삼성종합기술원 전문연구원  
 2004년~현재 수원대학교 정보미디어학과 전임강사  
 관심분야 : 센서 네트워크, 애드혹 네트워크, 홈 네트워크 등

**안상현**



e-mail : ahn@uos.ac.kr  
 1986년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)  
 1988년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사)  
 1989년 University of Minnesota 컴퓨터학과(박사)

1988년 (주)데이콤 연구원  
 1994년 세종대학교 컴퓨터학과 전임강사/조교수  
 1998년~현재 서울시립대학교 컴퓨터과학부 조교수/부교수  
 관심분야 : 애드혹 네트워크, 센서 네트워크, 홈 네트워크, 이동통신, 라우팅 프로토콜 등