

무선메쉬망에서 효율 증대를 위한 확률적 접속 MPP 선정 기법

박재성*, 임유진**

A Stochastic Serving MPP Selection Method for Increasing the Efficiency of a Wireless Mesh Network

Jaesung Park*, Yujin Lim**

요 약

무선메쉬망에서 트래픽은 인터넷 게이트웨이로 동작하는 MPP로 집중되기 때문에 이들 간에 부하가 균등하게 분담되지 않으면 망 내 트래픽 양이 망의 전체 용량보다 작더라도 망의 전체 효율은 낮아진다. 따라서 본 논문에서는 망 내 MPP의 부하 정보를 이용하여 MP(Mesh Point)들이 접속할 MPP를 확률적으로 결정하는 확률적 트래픽 부하 균등 기법을 제안한다. 제안 기법의 성능 평가를 위해 ns-2를 이용한 모의실험을 통해 제안 기법과 큐 길이 기반 기법을 망 안정화 시간과 패킷 손실을 측면에서 비교하였다. 제안 기법은 혼잡한 MPP의 부하를 다수의 MPP에 분담시킬 수 있기 때문에 새로운 접속 MPP(serving MPP)로 트래픽이 급증하는 것을 방지한다. 따라서 제안기법은 동일한 망 환경에서 망 혼잡 발생 후 이를 해결하기 위한 망 안정화 시간이 큐 길이 기반 기법보다 최대 34초 빠르며 이로 인해 망의 패킷 손실율도 최대 7.6% 낮출 수 있었다. 즉, 제안기법은 망 자원의 효율적 이용으로 망 혼잡을 빠르게 해소하여 무선메쉬망의 안정적 운용에 기여한다.

Abstract

Since traffic is aggregated to a MPP that acts as an Internet gateway, if traffic load is not balanced among the MPPs in a WMN, the overall performance of a WMN becomes poor even though the total traffic load is far below the capacity of the WMN. Therefore, in this paper, we propose a stochastic load balancing scheme where each MP (Mesh Point) probabilistically selects its serving MPP according to the congestion levels of MPPs. Through extensive simulations using ns-2, we have verified that our scheme can stabilize a WMN fast when congestion occurs and

• 제1저자 : 박재성 교신저자 : 임유진

• 투고일 : 2009. 04. 07, 심사일 : 2009. 06. 15, 게재확정일 : 2009. 06. 20.

* 수원대학교 인터넷정보공학과 ** 수원대학교 정보미디어학과

※ 이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2008-331-D00342).

reduce packet loss rate by distributing traffic load of a congested MPP to multiple MPPs in the inverse proportional to their congestion levels. Compared to queue-based load balancing scheme, our method can decrease network stabilization time by 34 seconds, and reduce packet loss rate by 7.6%. Since the proposed scheme can reduce network stabilization time by efficiently using network resource, it is expected to contribute to the reliable operation of a WMN.

▶ Keyword : 부하 균등 부담(Load balancing), 무선 메쉬망(Wireless mesh network), 망 안정화 시간(Network stabilization time), 라우트 플랩 문제(Route-flap problem)

I. 서론

무선메쉬망(WMN: Wireless Mesh Network)은 넓은 지역에 유연성 있게 경제적으로 광대역 무선 인터넷 접속 서비스를 제공할 수 있는 기술로 각광받고 있으며 IEEE에서는 802.11s TG(Task Group)에서 관련 표준을 마련 중이다 [1]. 모든 AP(Access Point)가 유선망에 연결되는 무선랜과는 달리 WMN에서는 MPP(Mesh Portal Point)라 불리는 일부 AP만 유선망에 연결된다. MP(Mesh Point)라 불리는 유선망에 연결되지 않은 나머지 AP들은 무선 백홀(backhaul) 망을 구성하며 MP들 간의 다중 홉 통신을 통해 MPP와 연결되어 사용자에게 인터넷 연결을 제공한다. MP가 인터넷 연결을 위해 접속한 MPP를 MP의 접속 MPP(serving MPP)라 명명한다. 기존 애드 혹(ad hoc) 망과는 달리 WMN은 형상 변화가 거의 없으며 주로 인터넷 액세스 서비스 제공을 위해 사용되므로 트래픽은 MPP로 집중되는 특성을 가진다. 따라서 어떠한 라우팅 기법[2][3]이나 라우팅 인자를 사용하더라도 다중 인터페이스와 다중 채널을 이용하여 증가된 WMN의 용량에 비해 상대적으로 MPP의 무선 인터페이스가 병목지점으로 작용하게 된다. 특히 망 내 트래픽 양이 WMN의 전체 수용 용량보다 작더라도 일부 MPP에 과중하게 트래픽이 집중되면 WMN의 효율은 낮아진다. 따라서 WMN의 부하를 망 내 MPP 사이에 균등하게 분산시키는 부하 균등(LB: Load Balancing)은 효율적이고 안정적인 WMN 운용에 매우 중요한 문제가 된다.

WMN에 적합한 효율적인 LB 기법을 개발하기 위해서는 다음과 같은 WMN의 특성을 고려해야 한다. WMN은 광대역 무선 인터넷 접속망의 기능을 수행한다. 따라서 다수의 응용 서비스에서 발생하는 다수의 세션을 동시에 지원할 수 있어야 하므로 WMN을 위한 LB 기법은 확장성이 우수해야 한다. 또한 WMN은 무선 다중 홉 통신을 통해 서비스를 제공하기 때문에 사용자 단말과 MPP 사이의 무선 경로는 이를 구성하는 무선 링크의 특성에 많은 영향을 받는다. 무선 링크의

신뢰성은 무선 통신의 특성상 시간과 공간에 따라 광범위하게 변화한다. 따라서 단말과 MPP 사이의 경로 품질을 이용한 LB 기법은 망 내 시그널링 부하를 증가시킬 수 있다.

따라서 본 논문에서는 이와같은 WMN의 특성을 반영하여 WMN에 적합한 확률적 LB 기법을 제안한다. 제안 기법은 각 MP가 망 내 MPP의 혼잡 수준에 따라 확률적으로 새로운 접속 MPP를 선정하게 한다. 따라서 혼잡한 MPP의 부하를 망 내 타 MPP의 부하 정도에 따라 다수의 MPP에 분담시켜 혼잡을 빠르게 해소 할 수 있다. 또한 제안 기법은 WMN의 특성인 MPP에 가까울수록 트래픽 집중양이 많다는 특성을 이용한다. 즉, 제안기법에서는 새로운 접속 MPP 선정시 MP와 자신의 현재 접속 MPP 사이의 거리 정보를 적절히 고려하여 특정 MPP로 트래픽이 급증하는 것을 방지함으로써 잦은 접속 MPP 변경 확률을 낮추고 이를 통해 패킷 손실율을 줄일 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련연구를 살펴보고 3장에서는 제안기법인 확률적 부하 균등 기법에 대해 자세히 설명한다. 4장에서는 제안 기법을 구현하고 ns-2를 이용한 모의실험을 통해 제안 기법의 성능을 큐 기반 분산 LB 기법과 비교하여 제안 기법이 망 안정화 시간 및 패킷 손실율 측면에서 우수함을 검증한 후 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

WMN에서 부하 균등 기법은 동작 방식에 따라 중앙 집중식 방식과 분산적 방식으로 구분된다. 중앙 집중식 방식에서는 MPP간 부하 부담을 위해 중앙 서버 혹은 MPP가 WMN 내 모든 MP와 MPP의 트래픽 정보를 수집한 후 어느 MP가 어떤 MPP를 이용할 것인가를 결정한다[4][5]. 그러나 이들 기법은 제어의 정확성이 크지만 중앙 서버나 모든 MPP가 망 내 모든 MP의 자원 사용 양을 감시해야 하므로 확장성이 결여된다. 따라서 LB 기법에 관한 연구는 대부분 분산적 방식에 집중되어 있다.

분산적 LB 기법은 망의 혼잡 상황을 결정하는 방법에 따

라 경로 기반 기법과 게이트웨이 기반 기법으로 구분된다. 경로 기반 기법에서는 MP가 MP와 MPP 사이의 경로 품질을 기반으로 접속 MPP를 결정한다[6][7]. MP는 MPP가 주기적으로 전송하는 광고(ADV) 메시지를 통해 자신과 MPP 사이의 경로 품질을 평가하게 되고 경로 품질이 가장 좋은 MPP를 접속 MPP로 선정한다. 이와 같은 경로 품질 기반 분산 LB 기법은 MPP 간 부하 균등 부담보다는 MPP로의 경로 품질 문제를 해결하는 것이 주된 목표이기 때문에 접속 MPP는 MP와 MPP간의 경로 품질에 의해 내포적으로 선정된다. 그러나 WMN에서 무선 경로 품질은 모든 타임 스케일에서 변화 폭이 크다는 것이 최근 WMN 측정 연구를 통해 밝혀지고 있다[8][9]. 따라서 경로 품질 기반 분산 LB기법의 경우 MP는 최악의 경우 매번 광고 메시지를 수신할 때마다 접속 MPP를 변경해야 한다. 이와 같은 잦은 MPP 변경으로 인해 MP의 패킷 손실을 등 서비스 품질이 악화될 수 있고 WMN이 안정적으로 운영되지 못한다. 또한 경로 커플링(path coupling) 문제로 인해 경로 기반 LB 기법을 통해 얻을 수 있는 이득은 거의 없기 때문에 게이트웨이 기반 LB 기법의 개발이 필요하다는 것이 알려졌다[10].

게이트웨이 기반 LB 기법에서는 MPP의 혼잡 정도에 따라 MP가 접속 MPP를 선택하며 MPP의 혼잡 정도를 결정하는 인자는 MPP의 평균 큐 길이가 주로 이용된다. 이들 큐 기반 분산 LB 기법에서 MP는 MPP가 주기적으로 전송하는 평균 큐 길이 정보를 기반으로 최소 평균 큐 길이를 가진 MPP를 접속 MPP로 선정한다[11]. 큐 기반 분산 LB 기법은 MPP의 혼잡 상태에 따라 명시적으로 접속 MPP를 선택하기 때문에 무선 환경에 의해 변화 폭이 큰 경로 품질을 이용하는 LB 기법에 비해 안정적이다. 그러나 큐 기반 분산 LB 기법은 MPP의 큐 길이가 적정 수준을 기준으로 진동하는 라우트 플랩(route-flap) 문제를 야기 시킬 수 있다. 즉, MPP의 평균 큐 길이가 일정 임계값을 넘어서서 혼잡하게 되면 이 MPP에 접속 중인 MP들은 평균 큐 길이가 최소인 MPP를 새로운 접속 MPP로 선택한다. 다수의 MP가 동시에 같은 MPP로 접속 변경하면 새로운 접속 MPP로 트래픽이 급증하여 혼잡 발생 확률이 증가되고 반면에 이전 MPP의 부하는 급감한다. 이후 새로운 접속 MPP가 다음 주기에 평균 큐 길이를 전송하게 되면 MP들은 자신의 접속 MPP의 혼잡을 감지하게 되고 부하가 급감한 이전 접속 MPP로 접속 변경하게 되며 이와 같은 현상이 반복된다. 이와 같은 라우트 플랩 문제는 잦은 패킷 수신 순서 변경을 야기하며 패킷 손실 확률을 증가시킨다.

III. 확률적 부하 균등 기법

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 확률적 부하 균등 기법에 대해 기술한다. 제안 기법은 크게 두 가지 단계로 구성된다. 첫 번째 단계는 MPP가 MP에게 자신의 혼잡 수준을 알려주는 단계이다. WMN에서는 라우팅 프로토콜에 의해 MP와 MPP 사이의 경로 관리가 이루어진다. 따라서 LB 기법을 위한 추가적인 신호 메시지를 정의하는 대신에 본 논문에서는 기존 라우팅 프로토콜에서 사용되는 메시지에 MPP의 혼잡 수준 정보를 추가하여 전송한다. 두 번째 단계는 MP의 현재 접속 MPP가 혼잡한 경우 MP가 망 내 MPP의 혼잡 수준에 따라 확률적으로 새로운 MPP를 선택하는 단계이다. MP는 망 내 모든 MPP의 혼잡 수준과 자신과 현재 접속 MPP와의 거리 정보를 이용하여 MPP 선택 지수를 결정하고 이를 통해 확률적으로 접속 MPP를 선택한다. 제안 기법은 LB를 위해 새로운 제어 메시지를 요구하지 않으므로 경제적이며, LB를 위한 특정 서버나 MPP를 요구하지 않는 분산 방식이므로 확장성이 우수하다.

1. 혼잡 수준 광고

WMN 내 모든 MPP는 평균 큐 길이를 자신의 혼잡 수준의 기준으로 이용한다. 인터넷 트래픽은 비대칭적 특성을 가지므로 MPP는 MPP에서 MP로 향하는 하향 링크의 평균 큐 길이를 지속적으로 감시한다. 즉, MPP *i*가 시간 t_1 과 t_2 에서 $(t_2 > t_1)$ 하향 링크 패킷을 수신하면 MPP *i*의 평균 큐 길이는 다음과 같은 가중치 이동 평균에 의해 결정된다.

$$\overline{Q}_i(t_2) = aQ_i(t_2) + (1 - a)\overline{Q}_i(t_1) \dots\dots\dots(1)$$

식 (1)에서 $Q_i(t_2)$ 는 시간 t_2 에서 MPP *i*의 순시 큐 길이이며 $0 \leq a \leq 1$ 인 상수이다. 망 내 순시적인 트래픽 입력율의 변동에 무관하게 안정적인 평균 큐 길이를 얻기 위해 일반적으로 $a=0.1$ 혹은 $a=0.01$ 이 사용되며 본 논문에서는 $a=0.1$ 로 설정하였다[12].

각 MPP의 최대 버퍼 용량은 상이할 수 있으므로 평균 큐 길이는 MPP들 사이의 상대적인 혼잡 수준을 반영할 수 없다. 예를 들어 MPP1과 MPP2의 최대 큐 길이가 각각 1Mbytes, 10Mbytes인 경우 평균 큐 길이 0.5Mbytes는 MPP1 큐의 50%를 MPP2 큐의 0.05%를 나타낸다. 즉 평균 큐 길이가 동일하더라도 MPP1의 혼잡 정도가 MPP2보다 심하다는 것을 의미한다. 따라서 각 MPP는 자신의 평균

큐 길이가 아니라 평균 큐 길이와 최대 큐 길이의 비율을 망 내에 방송한다. 즉 MPP i의 최대 큐 길이가 Q_i^{max} 이면 MPP i는 $Q_i = \overline{Q}_i(t) / Q_i^{max}$ 를 라우팅 프로토콜의 광고 메시지를 통해 전송하며, 망 내 MP들은 이를 통해 MPP들 간의 상대적인 혼잡 수준을 평가할 수 있게 된다.

2. 접속 MPP 설정 방법

MP가 자신의 접속 MPP가 전송한 ADV 메시지를 통해 접속 MPP의 혼잡 수준이 일정 임계값 (Q_{th}) 이상임을 확인하면 접속 MPP가 혼잡이라고 판단하고 새로운 접속 MPP를 확률적으로 결정한다. MP는 다음의 두 단계를 거쳐 새로운 접속 MPP를 결정한다. 우선 각 MPP의 상대적인 혼잡 수준과 MP와 혼잡한 접속 MPP와의 홉 수를 이용하여 각 MPP로의 이동 확률을 구한다. 이후 MP는 각 MPP로의 이동 확률의 상대적인 크기에 따라 랜덤하게 새로운 접속 MPP를 선택한다.

MP는 각 MPP가 송신한 ADV 메시지를 통해 각 MPP의 상대적인 혼잡 수준인 LBI (Load Balancing Index)를 계산한다. 망 내 n개의 MPP가 존재하고 $A = \sum_{i=1}^n Q_i$ 를 각 MPP가 송신한 혼잡 수준의 합이라고 하면 MPP i의 LBI는 다음과 같이 결정된다.

$$x_i = 1 - Q_i / A \dots\dots\dots(2)$$

망 내 MP와 MPP 사이의 최대 홉 수를 h_m 으로 표기하고 이 값은 망 포설시에 각 MP에게 설정된다고 가정한다. MP와 접속 MPP 사이의 홉 수가 k이면 홉 수에 의한 MP의 접속 MPP 변경 확률을 다음과 같이 정의한다.

$$y_k = k / h_m \dots\dots\dots(3)$$

식 (2)와 (3)에 의해 MP가 MPP i를 접속 MPP로 선택할 지수 (MSI: MPP Selection Index)를 다음과 같이 결정한다.

$$z_{i,k} = (1 - \beta)x_i + \beta y_k \dots\dots\dots(4)$$

식 (4)와 같이 MP가 망 내 모든 MPP에 대한 접속 MPP 선택 지수를 결정하면, MP는 MSI의 크기에 따라 확률적으로 이들 중 하나를 새로운 접속 MPP로 선택한다. 즉, 혼잡한 접속 MPP로부터 k 홉 떨어진 MP는 $z_{i,k} / B$ 를 ($B = \sum_{i=1}^n z_{i,k}$) 으뜸치순으로 정렬한다. 이처럼 정렬된 $z_{i,k} / B$ 를 $\{p_{1,k}, \dots, p_{n,k}\}$

로 표기하면 MP는 $z_{i,k} / B$ 가 다음 조건을 만족하는 $\widehat{p}_{j,k}$ 에 해당하는 MPP i를 확률 p로 새로운 접속 MPP로 선택한다.

$$\sum_{b=1}^{j-1} \widehat{p}_{b,k} \leq p < \sum_{b=1}^j \widehat{p}_{b,k} \dots\dots\dots(5)$$

즉, 제안기법은 x_i 를 통해 혼잡한 MPP의 부하를 MPP의 부하 정도에 따라 다수의 MPP에 분산시킴으로써 라우트 플랩 문제를 완화시킨다. 또한 y_k 를 통해 혼잡한 MPP로부터 멀리 떨어진 MP가 접속 MPP를 변경할 확률을 높임으로써 새로운 MPP로 급격하게 트래픽이 몰리는 현상을 완화하여 라우트 플랩 발생 확률을 보다 낮춘다.

3. 광고 메시지 전송 조건

MPP는 라우팅 프로토콜에 의해 주기적으로 발송되는 ADV 메시지를 통해 자신의 혼잡 수준 정보를 망 내에 전달한다. 따라서 MPP 혼잡 발생 이후에 ADV 메시지 전송 시기는 평균적으로 ADV 발송 주기의 반이 된다. 이로 인해 망의 혼잡을 해소할 수 있는 시간이 증가될 수 있으므로 본 논문에서는 MPP의 혼잡 수준에 따라 ADV 메시지의 전송 시점을 다음과 같이 결정한다. 혼잡 수준이 임계값 이하인 경우 MPP는 기존 라우팅 기법에서와 마찬가지로 주기 T마다 ADV 메시지를 전송한다. 그러나 혼잡 수준이 임계값 이상이 되면 혼잡 상황을 빠르게 해소하기 위해 MPP는 다음번 ADV 메시지 전송 주기까지 기다리지 않고 즉시 ADV 메시지를 송신하여 LB 과정을 시작시킨다. 제안 기법은 확률적인 분산 방식에 의해 MP의 이동 여부를 결정하므로 일정 시간이 지난 후에도 MPP의 혼잡이 해소되지 않을 수도 있다. 따라서 혼잡한 MPP는 자신에게 접속한 MP의 이동으로 인해 혼잡이 해소될 시간 (T_c)을 예측한 후 T_c 이후 혼잡 정도를 다시 판단한다. 정확한 혼잡 해소 시간은 접속한 MP들의 이동으로 인해 얼마나 많은 트래픽이 감소했는지에 의해 결정된다. 그러나 MPP는 자신에게 접속한 MP들이 야기하는 트래픽의 양을 알 수 없으므로 식 (4)와 같이 망 내 타 MPP의 LBI와 y_k 를 이용하여 T_c 를 예상한다. WMN에서 MPP의 ADV 메시지는 브로드캐스트되므로 혼잡 MPP는 타 MPP의 LBI를 알 수 있다. 그러나 y_k 는 홉 수에 의해 가변이므로 본 논문에서 MPP는 y_k 을 근사화 하기 위해 평균 홉 수($h_m/2$)를 이용한다. 평균 홉 수를 이용함으로써 제안 기법은 망에 추가적인 관리 부하를 발생시키지 않는다. 시간 t에서 MPP i의 혼잡 수준이 임계값을 넘고 이때의 트래픽 입력력을 λ_i , 출력력을 c_i 라고 하면, T_c 는 다음과 같이 예측된다.

$$T_c = \begin{cases} \frac{Q_{th} - Q_i}{\lambda_i/2 - c_i}, & z_{i,h_m/2} = 0 \\ \frac{Q_{th} - Q_i}{z_{i,h_m/2}\lambda_i/B - c_i}, & z_{i,h_m/2} > 0 \end{cases} \dots(6)$$

만일 ADV 전송 주기가 T_c 보다 작으면 ADV 메시지는 시간 $t + T$ 에 전송된다. 반대로 T_c 가 $t + T$ 이상이고 시간 $t + T_c$ 에서의 Q_i 가 여전히 임계값 이상이면 이전에 전송한 ADV 메시지에 의해 충분한 양의 트래픽이 타 MPP로 이동하지 않았음을 의미한다. 따라서 MPP i 는 다음번 전송 주기까지 기다리지 않고 ADV 메시지를 시간 $t + T_c$ 에 전송하여 자신에게 접속한 MP들이 추가적으로 새로운 접속 MPP를 선택하도록 한다.

IV. 성능 평가

본 장에서는 ns-2 모의실험을 통해 제안 기법의 성능을 망 안정화 시간과 서비스 품질 측면에서 큐 길이 기반 분산 LB 기법[11]과 비교하여 제안 기법의 타당성을 평가한다.

1. 실험환경 및 조건

제안 기법의 성능을 모의 실험을 통해 정량적으로 평가하기 위해 IEEE 802.11s WG에서 정의한 WMN의 4가지 사용 시나리오[13] 중 사무실 모델에 따라 그림1과 같이 21개의 MP와 4개의 MPP를 100m x 100m 정사각형 격자에 등 간격으로 포설하였다. MPP와 MP 사이의 무선 접속을 위해 표 1과 같은 IEEE 802.11b 표준의 기본 값을 사용하였다 [14].

표 1. IEEE 802.11b 시스템 인자값
Table 1. IEEE 802.11b system parameters

인자(parameter)	값(value)
슬롯 시간	20usec
SIFS	10usec
DIFS	50usec
최소 경합 윈도우	32 슬롯
최대 경합 윈도우	1024 슬롯

또한 다중 채널, 다중 인터페이스 기능을 위해 확장된 ns-2 기능을 적용하였다[15]. WMN 내의 전파 전송 환경은 [16]에서 제시한 로그-노말 (log-normal) 경로 손실 모델로 모델링하였다. 로그-노말 경로 손실 모델은 간섭이 없는 자유 공간에서 송신 노드로 부터 기준 거리만큼 떨어진 곳에서의 평균 경로 손실과 실제 전파 전송 환경에서 송신 노드와 임의의 거리 d 만큼 떨어진 곳에서의 평균 경로 손실의 비율을 나

타낸다. 즉, 로그-노말 경로 손실 모델은 송신 노드와의 거리에 따른 수신 신호 세기의 감쇄 정도를 경로 손실 지수와 전파 전송 환경에 따른 임의 (random) 오류를 확률적으로 나타내기 위한 랜덤 변수로 (X_o) 표현된다. 송신 노드로 부터의 기준 거리는 전파 환경에 따라 설정되며 이동 전화 망과 같은 매크로 셀의 경우 1km, IEEE 802.11b를 이용한 무선 랜과 같이 셀이 작은 마이크로 셀의 경우 1m로 설정된다. 경로 손실 지수는 전파 환경에 의해 결정되며 자유 공간에서는 2, 사무실에서는 4-6사이의 값을 가진다. X_o 는 dB 단위로 평균이 0이고 표준편차가 σ_{dB} 인 가우시안 분포를 따르고 σ_{dB} 역시 전파 환경에 따라 결정되며 실외에서는 4-12dB, 실내에서는 7-10dB 정도의 값을 가진다 [16]. 본 논문에서는 WMN의 4가지 사용 시나리오[13] 중 사무실 모델을 고려하고 있으므로 기준 거리는 1m, 경로 손실 지수는 5, σ_{dB} 는 7dB로 설정하였다 [16].

유선망의 특징이 성능평가에 미치는 영향을 제거하기 위해 각 MPP는 외부 서버와 100Mbps 유선 링크로 직접 연결하였다. 단말은 각 MP를 통해 외부의 서버와 크기 512Bytes인 CBR 패킷을 교환하며, MPP의 최대 큐 크기는 모두 100 패킷으로 설정하였고 혼잡 결정을 위한 임계값으로 $Q_{th}=0.8$ 을 설정하였다. MP의 패킷 전송율은 망의 부하가 망 내 MPP 모두에게 균등하게 부과되었을 때 이들의 평균 큐 길이가 80 패킷이 되도록 모두 187Kbps로 같게 설정하였다. 또한 동일한 환경에서 큐 길이 기법과의 비교를 위해 라우팅 프로토콜에 의한 ADV 메시지 전송 주기는 두 기법 모두 0.5초로 같게 설정하였다. 모의실험 시작 시에 모든 MP들의 접속 MPP로 MPP1을 설정하고, MPP1이 혼잡된 후 나머지 MPP들이 부하를 분담하여 혼잡이 해소되게 하였다. 결과의 신뢰성을 얻기 위해 동일한 실험을 10회씩 반복한 평균값을 이용하였다.

2. 실험결과 및 분석

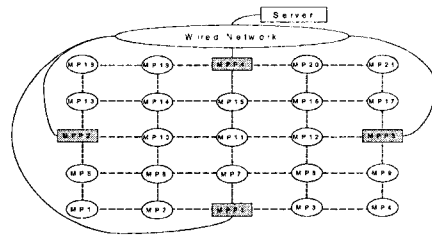


그림 1. WMN 망 형상
Fig. 1. Topology of a WMN

표 2는 제안기법과 큐 기반 분산 LB 기법 (표 2에 Q_{LB} 로 표기함)을 망 안정화 시간 측면에서 비교한 결과를 보여준다. 망 안정화 시간은 MPP에 혼잡이 발생된 후 혼잡이 해결

되기까지 소요된 시간으로 정의된다. 본 논문에서는 MP가 더 이상 접속 MPP를 변경하지 않는 경우 혼잡이 해결된 것으로 간주하였다. 큐 기반 분산 LB 기법에서 MP는 평균 큐 길이만을 기준으로 접속 MPP를 선택하므로 $\beta=0$ 인 제안기법과 유사하다. 그러나 평균 큐 길이가 최소인 MPP를 접속 MPP로 결정하는 Q_{LB} 와는 달리 제안기법에서 MP는 접속 MPP 선택 지수(MSI)에 따라 확률적으로 접속 MPP를 선택한다. 따라서 제안 기법은 혼잡한 MPP의 부하를 망 내 MPP들의 부하 정도에 따라 다수의 MPP로 분산시킨다. 이로 인해 $\beta=0$ 인 제안기법을 적용한 경우 망 안정화 시간은 모의 실험 결과 Q_{LB} 의 52.7초에서 18.7초로 감소하였다. 제안 기법에서 망 안정화 시간은 β 가 증가할수록 증가한다. β 가 증가할수록 MSI는 MP와 MP의 접속 MPP사이의 거리에 의해 결정되므로 혼잡한 접속 MPP로부터 멀리 떨어진 MP가 접속 MPP를 변경할 확률이 커진다. WMN의 특성상 MPP에 근접할수록 트래픽이 보다 집중되므로 접속 MPP를 변경하는 MP와 혼잡한 MPP의 거리가 멀수록 혼잡한 MPP로 향하는 트래픽 감소율은 작아진다. 따라서 혼잡한 MPP의 혼잡 해소를 위해 혼잡한 MPP는 보다 많은 ADV 메시지를 전송해야 하며 이로 인해 망 안정화 시간이 길어진다.

표 2. 망 안정화 시간 (t_{st}) (Q_{LB} : 큐 기반 분산 LB 기법)
 Table 2. Network stabilization time (t_{st}) (Q_{LB} : the queue-based LB scheme)

β	t_{st} (초)	β	t_{st} (초)
0.0	18.7	0.7	50.4
0.1	21.7	0.9	97.4
0.3	20.7	1.0	96.1
0.5	55.2	Q_{LB}	52.7

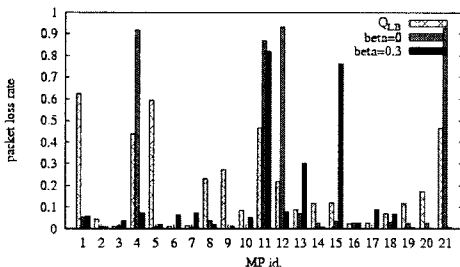


그림 2. 각 MP별 패킷 손실율
 Fig. 2. The packet loss rate per MP

그림 2는 각 MP들의 패킷 손실율을 나타낸다. WMN의 평균 패킷 손실율은 $\beta=0$ 인 제안 기법을 적용한 경우

19.1%였으며 Q_{LB} 를 적용한 경우 19.9%였다. 그러나 $\beta=0.3$ 인 경우 WMN의 평균 패킷 손실율은 12.3%로 감소하였다. 이와 같은 현상은 그림 2와 같이 각 MP별 패킷 손실율의 차이에 의한 것이며, 이는 MP와 접속 MPP 사이의 거리 정보를 (y_k) 적절히 고려함으로써 제안 기법은 패킷 손실율을 보다 감소시킬 수 있다는 것을 의미한다. 특히 격자 모양의 WMN의 모서리에 위치한 MP1, MP4, MP18, MP21과 격자의 중앙에 위치한 MP11의 패킷 손실율은 타 MP에 비해 매우 높았다. 이와 같은 현상은 그림 3에 보인바와 같이 각 MP들의 접속 MPP 변경 횟수와 밀접한 관련이 있다.

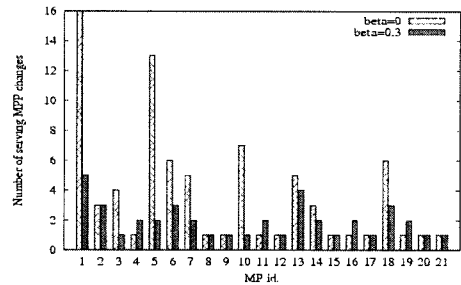


그림 3. 각 MP별 접속 MPP 변경 횟수
 Fig. 3. The number of serving MPP changes per MP

그림 3에서 보는 바와 같이 $\beta=0.3$ 인 경우에 비해 $\beta=0$ 인 경우 각 MP의 MPP 변경 횟수는 일반적으로 높았다. $\beta=0$ 인 경우 MP는 오직 LBI만을 고려하여 접속 MPP를 선택한다. LBI는 MPP의 혼잡 수준에 의해 결정되므로 망 내 모든 MP는 각 MPP에 대해 동일한 LBI 값을 가지게 된다. 따라서 혼잡한 MPP에 접속한 대부분의 MP들이 x_i 가 가장 큰 특정 MPP를 새로운 접속 MPP로 선택할 확률이 높다. 이 경우 특정 MPP로 트래픽이 급증하게 되고 이로 인해 불필요한 라우트 플러피 발생하게 된다. $\beta=0.3$ 인 경우 MP가 새로운 접속 MPP를 결정할 때 LBI뿐만 아니라 자신과 자신의 현재 접속 MPP 사이의 거리 정보를 고려한다. 제안기법은 식 (4)와 같이 이들 간의 거리가 멀수록 새로운 접속 MPP 결정 확률을 증가시킨다. 따라서 제안 기법은 혼잡한 MPP에 접속 중인 대부분의 MP가 x_i 가 가장 큰 특정 MPP를 새로운 접속 MPP로 선택할 확률을 감소시킨다. 이로 인해 불필요한 MPP 변경 횟수가 감소하며 결과적으로 MP별 패킷 손실율이 감소한다.

V. 결론

WMN은 무선 링크를 통해 구성되므로 망의 효율성 증대

를 위해서는 제한적인 무선 자원의 효율적 이용이 필요하다. 본 논문에서는 WMN에서 MP들의 확률적 접속 MPP 선택을 통해 다수의 MPP에게 망 내 부하를 균등하게 분담시킴으로써 망의 혼잡 시간과 패킷 손실을 감소를 목적으로 하는 확률적 부하 균등 부담 기법을 제안하였다. 제안 기법은 기존 예방형 라우팅 기법에서 사용하는 광고 메시지에 MPP의 혼잡 수준 정보만을 추가하기 때문에 망 내에 추가적인 제어 부하를 야기하지 않는다. 또한 MP가 접속 MPP를 독립적으로 선택하기 때문에 MPP의 관리 부하 측면에서 확장성이 우수하다.

제안 기법은 각 MPP들의 혼잡 정도를 고려하여 혼잡한 MPP의 부하를 망 내 MPP의 혼잡 정도에 따라 다수의 MPP에게 분배시킨다. WMN에서 모든 트래픽은 MPP를 통해 외부 망과 교환되므로 MPP에 가까울수록 집중되는 트래픽 양은 많아진다. 따라서 제안 기법은 접속 MPP와 MP 사이의 홉 수를 고려하여 홉 수가 큰 MP들의 접속 MPP 변경 확률을 증가시킨다. 이로 인해 새로 선택된 접속 MPP에 추가되는 트래픽의 양은 급증하지 않으므로 MP의 접속 MPP 변경으로 인해 새로운 접속 MPP가 혼잡해질 확률은 낮아진다. 따라서 제안기법은 망 내 혼잡이 발생한 후 해소될 때까지 소요되는 시간이 짧으며, 각 MP의 접속 MPP 변경 횟수를 작게 유지하므로 MP의 접속 MPP 변경으로 인한 패킷 손실을 낮게 유지한다.

참고문헌

- [1] IEEE P802.11sTM/D1.07, "Draft Standard for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Mesh Networking", Sep. 2007.
- [2] 정의현, "개미 집단 최적화를 이용한 무선 센서 네트워크의 라우팅 알고리즘", 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 12권, 제 5호, 131-137쪽, 2007년 11월.
- [3] 정윤수, 김용태, 박길철, 이상호, "WSN의 확장성과 에너지 효율성을 보장하는 라우팅 프로토콜", 한국컴퓨터정보학회논문지, 제13권, 제 4호, 105-113쪽, 2008년 7월.
- [4] C-F Huang, H-W Lee, and Y-C Tseng, "A Two-tier Heterogeneous Mobile Ad Hoc Network Architecture and its Load Balance Routing Problem," Proc. of IEEE VTC, pp. 2163-2167, Orlando, US, Oct. 2003.
- [5] D. Nandiraju, L. Santhanam, N. Nandiraju, and D. P. Agrawal, "Achieving Load Balancing in Wireless Mesh Networks Through Multiple Gateways," Proc. of IEEE MASS, pp. 807-812, Vancouver, Canada, Oct. 2006.
- [6] K. N. Ramachandran, M. M. Buddhikot, G. Chandranmenon, S. Miller, K. Almeroth, and E. M. Belding-Royer, "On the Design and Implementation of Infrastructure Mesh Networks," Proc. of IEEE WiMesh, pp. 1-12, Santa Clara, US, Sep. 2005.
- [7] A. Raniwala and T-C Chiueh, "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Network," Proc. of IEEE INFOCOM, pp. 2223-2234, Miami, US, March 2005.
- [8] C. E. Koksal and H. Balakrishnan, "Quality-Aware Routing Metrics for Time-Varying Wireless Mesh Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 24, No. 11, pp. 1984-1994, Nov. 2006.
- [9] S. M. Das, H. Pucha, K. Papagiannaki, and Y. C. Hu, "Studying Wireless Routing Link Metric Dynamics," Proc. of ACM IMC, pp. 327-332, San Diego, US, Oct. 2007.
- [10] M. R. Pearlman, Z. J. Haas, P. Sholander, and S. S. Tabrizi, "On the Impact of Alternate Path Routing for Load Balancing in Mobile Adhoc Networks", Proc. of IEEE MOBIHOC, pp. 3-10, Lausanne, Switzerland, Nov. 2002.
- [11] J. H. Zhao, X. Z. Yang, and H.W. Liu, "Load-Balancing Strategy of Multi-Gateway for Ad Hoc Internet Connectivity," Proc. of IEEE ITSS, pp. 592-596, Vienna, Austria, April 2005.
- [12] S. Woon, N. Golmie, and Y. A. Sekercioglu, "Effective Link Triggers to Improve Handover Performance", Proc. of IEEE PIMRC, pp. 1-5, Helsinki, Finland, Sep. 2006.
- [13] W. S. Conner, "IEEE 802.11 TGs Usage Models", IEEE P802.11-04/662r16, Jan. 2005.
- [14] IEEE Std 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification: Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4GHz Band", 1999.

- [15] Hyacinth project,
<http://www.ecsl.cs.sunysb.edu/multichannel/>.
- [16] T. S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice 2nd Ed.," Prentice Hall, pp. 138-166, 2002.

저자 소개



박재성

1995년 연세대학교 전자공학과 학사
1997년 연세대학교 전자공학과 석사
2001년 연세대학교 전기전자공학과 박사
2001년~2002년
Univ. of Minnesota Post Doc.
2002년~2005년 LG전자 선임연구원
2005년~현재
수원대학교 인터넷정보공학과 조교수
관심분야 : 4세대이동통신, VANET, 성능분석



임유진

1995년 숙명여자대학교 전산학과 학사
1997년 숙명여자대학교 전산학과 석사
2000년 숙명여자대학교 전산학과 박사
2000년 서울대학교 박사후 연구원
2000년~2002년 UCLA 박사후 연구원
2003년~2004년 삼성종합기술원 전문연구원
2004년~현재 수원대학교 정보미디어학과 전임강사
관심분야 : 센서네트워크, VANET, 무선 통신