

무선 메쉬 망의 서비스 품질 향상을 위한 확률적 부하 분담 기법

박재성[†] · 임유진^{††} · 안상현^{†††}

요 약

무선 메쉬망 (Wireless Mesh Network: WMN)에서 트래픽은 IGW (Internet Gateway)를 통해 유선망과 교환되므로 트래픽은 IGW로 집중되어 병목지점이 된다. 따라서 다수의 채널과 다수의 인터페이스를 이용하여 증대된 WMN의 전체 용량을 다수의 IGW를 통해 균등하게 분산시키는 것은 WMN의 안정적인 운영을 위해 필요하다. 이에 따라 본 논문에서는 무선 메쉬 망의 부하를 다수의 IGW에 분산시켜 망의 안정성과 서비스 품질 향상을 위한 확률적 부하 분담 기법을 제안한다. 제안 기법은 혼잡한 IGW의 부하를 망 내 IGW들의 혼잡 정도에 따라 다수의 IGW에 분산시킨다. 또한 IGW와 거리가 가까울수록 집중되는 트래픽 양은 증가하므로 급격하게 과도한 트래픽이 새로운 IGW에 집중되는 것을 방지하기 위해, 제안기법은 혼잡한 IGW와 인터넷 접속을 위해 이를 사용하고 있는 MR (Mesh Router) 사이의 거리 정보에 따라 접속 IGW의 변경 여부를 결정한다. NS-2를 이용한 모의 실험을 통해 제안기법은 최소 혼잡 IGW를 이용한 기법에 비해 IGW의 혼잡 발생시 이를 해결하기 위한 망 안정화 시간과 망 내 패킷 손실을 측면에서 우수하다는 것을 검증하였다.

키워드 : 부하균등분담 기법, 무선메쉬망, 확률적 접속 IGW선택

A Probabilistic Load Balancing Scheme for Improving Service Quality of a Wireless Mesh Network

Park Jaesung[†] · Lim Yujin^{††} · Ahn Sanghyun^{†††}

ABSTRACT

As the use of Internet and information communication technology is being generalized, the SSL protocol is essential in Internet because the important data should be transferred securely. While the SSL protocol is designed to defend from active attack such as message forgery and message alteration, the cipher suite setting can be easily modified. If the attacker draw on a malfunction of the client system and modify the cipher suite setting to the symmetric key algorithm which has short key length, he should eavesdrop and cryptanalysis the encrypt data. In this paper, we examine the domestic web site whether they generate the security session in the symmetric key algorithm which has short key length and propose the solution of the cipher suite setting problem.

Keywords : Load-Balancing scheme, Wireless mesh network, Probabilistic serving MPP selection

1. 서 론

최근 들어 무선 다중 홉 통신 기술의 발달로 인해 유선 인터넷 액세스 망을 효과적으로 대체하기 위한 기술로 무선 메쉬 네트워크 (Wireless Mesh Network: WMN)가 주목받

고 있다 [1]. WMN은 인터넷 게이트웨이 (IGW: Internet Gateway)라 불리는 일부 노드만이 유선망에 연결되고, 유선망과 연결되지 않는 메쉬 라우터 (MR: Mesh Router)들은 무선 다중 홉 통신을 통해 IGW에 접속함으로써 사용자에게 인터넷 접속 서비스를 제공한다. 즉, 소스 노드와 목적지 노드 사이에서 라우터들이 트래픽을 전달하는 유선망과 유사하게 WMN에서는 무선 단말과 IGW 사이에서 MR들이 무선 액세스망을 구성하여 트래픽을 전달한다. 따라서 WMN에서 무선 터미널이 전송한 데이터는 다수의 MR을 거쳐 유선망에 전달되므로 WMN은 유선망과의 연결없이 망 확장이 용이하며 이에 따라 망 포설의 신속성 및 경제성, 망 구성의

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 (휴넷트 워크연구센터) 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음.
※ 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-20154-0).
† 정 회 원 : 수원대학교 인터넷정보공학과 조교수
†† 정 회 원 : 수원대학교 정보미디어공학과 전임강사
††† 정 회 원 : 서울시립대학교 컴퓨터과학부 정교수
논문접수: 2008년 5월 20일
수정일: 2008년 6월 12일
심사완료: 2008년 6월 18일

유연성이 뛰어나다 [2]. 이와 같은 장점을 내세워 여러 회사에서는 WMN을 구성하기 위한 제품을 판매하고 있으며 이를 이용한 상업적 WMN이 구성되고 있다 [3]. BelAir, Firetide, Tropos, Strix, LocustWorld 같은 회사들은 IEEE 802.11 표준에 기반한 WMN 제품을 판매하고 있다. 이들 제품들은 IEEE 802.11 표준에 기반하고 있으나 WMN을 구성하기 위한 소프트웨어 측면에서 많은 차이를 보이고 있으므로 상호간의 호환성이 없다. 이와 같이 산업체의 WMN에 대한 관심이 증폭됨에 따라 IEEE 802.11 WG에서는 task group (TG) s를 구성하여 802.11 기반 WMN을 위한 물리 (PHY: physical layer) 계층과 매체 접근 제어 (MAC: medium access control) 계층 표준을 제정하기 시작하였고 [4], IEEE 802.16 WG에서는 TS j에서 802.16기반 WMN에 관한 표준화가 진행중이다 [5].

WMN은 기본적으로 MR과 IGW 사이의 무선 다중 홉 통신을 기반으로 하고 있다. 무선 다중 홉 통신의 특성상 홉 수가 증가할수록 패킷 손실율이나 종단간 전송 지연과 같은 서비스 품질이 열화될 수 있다. 따라서 WMN을 통해 많은 사용자와 트래픽을 처리하기 위해 WMN의 용량과 처리량을 높이는 것이 중요하며 이를 위해 스마트 안테나, MIMO (Multiple Input Multiple Output) 기술 등을 이용하여 물리 계층에서의 데이터 전송율을 높이기 위한 방안이 연구되고 있다 [6]. 또한 매체접속제어 (Media Access Control: MAC) 계층에서는 다수의 무선 인터페이스를 MR과 IGW에 설치하고 이웃 노드 (MR 혹은 IGW) 사이에 간섭이 최소가 되도록 채널을 설정하는 방법이 제안되었다 [7][8]. 또한 단말과 유선 망과의 데이터 교환을 위해 MR과 IGW 사이의 신뢰성 있는 경로 설정을 위한 라우팅 기법들이 제안되었으며 이들은 WMN의 목적에 따라 ad hoc 망에서와 비슷하게 예방형 (proactive) 라우팅 기법과 반응형 (on-demand) 라우팅 기법 및 혼합형 (hybrid) 라우팅 기법으로 구분된다 [9]. 이들 라우팅 기법들은 다양한 성능 인자 (metric)를 이용하여 서로 다른 방법으로 소스, 목적지 사이의 경로를 관리하지만 주어진 목적지에 도달할 수 있는 최상의 경로를 설정하고 유지하는 것을 목적으로 한다. 예방형 라우팅 기법은 기존 유선망에서와 마찬가지로 모든 MR이 망 내 임의의 지점까지 경로를 적어도 하나 유지하고 있는 기법이다. 예방형 라우팅 기법은 초기 패킷 전송 지연을 제거할 수 있는 장점이 있으므로 무선 단말에게 IGW를 통해 인터넷 접속 서비스를 제공할 때 적합하다. 반응형 라우팅 기법은 전송할 데이터가 있는 경우에만 목적지까지 경로 설정을 요청하는 방법으로 망 형상 변화가 심한 ad hoc 모드에서 주로 이용된다. 그러나 기존 ad hoc 망과는 달리 WMN은 물리적 형상 변화가 거의 없으며 주로 인터넷 액세스 서비스 제공을 위해 사용되므로 트래픽은 IGW로 집중되는 특성을 가진다. 따라서 어떠한 라우팅 기법이나 라우팅 인자를 사용하더라도 다중 인터페이스와 다중 채널을 이용하여 증가된 WMN의 용량에 비해 상대적으로 IGW의 무선 인터페이스가 병목지점으로 작용하게 된다. 특히 망 내 트래픽 양이 WMN의 수용 용량보다 작더라도 일부 IGW에 과중하게 트래픽이 집중되면 WMN의 효율은 낮

아진다. 따라서 WMN의 부하를 망 내 IGW 사이에 균등하게 분산시키는 부하 균등 분담 (LB: Load Balancing)은 효율적이고 안정적인 WMN 운용에 매우 중요한 문제가 된다.

이에 따라 본 논문에서는 WMN 환경에서 다중 채널 다중 인터페이스로 증대된 WMN의 용량을 효율적으로 이용하기 위한 큐 기반 LB 기법인 QLBSIS (Queue-based Load Balancing via Stochastic IGW Selection) 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 IGW가 주기적으로 방송하는 혼잡 수준 정보를 이용하여 MR이 현재 접속중인 IGW의 변경 여부를 결정한다. 현재 접속중인 IGW의 혼잡 수준이 특정 임계 값 이상인 것을 감지한 MR은 IGW들의 혼잡 수준에 반비례하게 새로이 접속할 IGW를 확률적으로 선택함으로써 혼잡한 IGW의 부하를 다수의 IGW에 균등하게 부과한다. 또한 제안 기법은 WMN에서 트래픽 양은 IGW에 근접할수록 증가한다는 특성을 이용하여 MR이 새로 접속할 IGW 결정시 현재 접속중인 IGW와의 거리 정보를 이용함으로써 새로운 IGW에 부하가 급증하는 것을 방지하여 망 안정화 시간을 단축시킨다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 WMN에서 기존에 제안된 LB 기법들을 분석하여 새로운 LB 기법의 필요성과 본 논문에서 이를 해결하기 위한 접근 방법을 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 QLBSIS 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 모의 실험을 통해 제안 기법의 성능을 망 안정화 시간과 패킷 손실율 및 종단간 지연 측면에서 검증하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

무선 멀티 홉 환경에서 LB 기법은 크게 경로 기반 (path-based) 방법과 게이트웨이 기반 (gateway-based) 기법으로 구분할 수 있다. 경로 기반 기법은 일부 MR들에게 과도하게 트래픽이 집중되면 트래픽 흐름의 병목지점이 되므로 다양한 인자를 이용하여 한 MR의 부하를 다수의 MR에 분산시키는 것을 목적으로 한다. 경로 기반 기법은 망 내 링크 절단과 같은 장애에 대한 복원력이 높지만 패킷 전송 순서 관리와 같은 트래픽 관리가 어려우며 후보 경로들 사이의 경로 커플링 (route coupling) 문제로 인해 LB 효과가 거의 없다 [10]. 또한 경로 기반 기법은 임의의 노드 사이에 경로 설정이 요구되는 ad hoc망을 위해 제안되었기 때문에 WMN에 적용될 경우 동일 IGW로 향하는 트래픽의 경로를 다양하게 변경해도 동일 IGW에 도달하는 전체 트래픽의 양은 변하지 않으므로 IGW간에 트래픽 부하를 균등하게 분배할 수 없게 된다.

게이트웨이 기반 LB 기법은 망 내 다수의 IGW를 두어 이들 사이에 부하를 균등하게 분배하는 것을 목적으로 하므로 각 MR들이 언제 어떤 IGW를 목적지로 선정할 것인가를 결정하는 것이 중요하다. 게이트웨이 기반 LB 기법은 접속 IGW 결정 주체에 따라 중앙 집중적 기법과 분산 기법으로 구분된다. Huang은 중앙 서버가 WMN 내 모든 MR과 IGW

의 트래픽 정보를 수집한 후 어느 MR이 어떤 IGW를 이용할 것인가를 결정하는 중앙 집중적 기법을 제안하였다 [11]. Nandiraju는 IGW에서의 호 수락 제어를 통한 LB 기법을 제안하였다 [12]. 각 IGW는 자신과 접속하고 있는 모든 MR들의 트래픽 발생량을 감시하며 자원이 부족한 경우 이들 중 특정 MR에게 다른 IGW에 접속할 것을 강제한다. 이동을 요청받은 MR은 새로운 IGW에게 접속 요청을 하고 새로운 IGW는 자신의 자원량을 기준으로 접속을 요청한 MR의 접속 수락 여부를 결정한다. 이들 기법은 중앙 서버나 IGW가 망 내 트래픽 정보를 기반으로 LB를 수행하므로 제어의 정확성이 크지만 중앙 서버나 모든 IGW가 망 내 모든 MR의 자원 사용량을 감시해야 하므로 확장성이 떨어진다.

분산 LB 기법에서는 각 MR들이 접속할 IGW 결정하며 접속 IGW 선정 기준에 따라 MR과IGW 사이의 경로 품질을 기반으로 하는 기법과 [13][14] IGW의 큐 길이를 기반으로 하는 기법 [15]으로 구분된다. MeshCluster 구조에서 각 MR은 망 내 모든 IGW로의 최적 경로에 대한 품질을 RTT (Round Trip Time) 프로브 (probe) 패킷을 통해 상시 감시하며 이들 중 지연이 가장 작은 IGW를 통해 유선망에 접속한다 [13]. 이 기법은 경로 품질 인자로 최소 지연이 사용된 경우에만 유효하며 각 MR들이 주기적으로 RTT 프로브 패킷을 전송하므로 대역폭의 낭비를 초래한다. Hyacinth에서 망 내 IGW들은 주기적으로 자신과 해당 MR까지의 경로 비용을 망 내에 광고한다 [14]. 각 MR들은 광고 메시지를 통해 현재 자신이 접속한 IGW로의 경로 비용보다 낮은 경로 비용으로 다른 IGW에 접속할 수 있다는 사실을 발견하면 접속 IGW를 변경한다. Hyacinth에서는 IGW 변경은 MR이 분산적인 방법으로 결정하지만 각 IGW는 자신의 여유 자원량에 따라 수락 제어를 통해 새로운 MR의 접속을 제한한다. 따라서 수락 제어를 위한 추가적인 제어 메시지 교환으로 인해 대역폭 낭비를 가져온다. 이와 같은 경로 품질 기반 기법은 IGW 간 LB보다는 IGW로의 LB 라우팅 (QoS 라우팅) 문제를 해결하는 것이 주 목표이기 때문에 접속 IGW는 MR과 IGW간의 경로 품질에 의해 내포적으로 선정된다. 그러나 WMN에서 무선 경로 품질은 모든 타임 스케일에서 변화 폭이 크다는 것이 최근 WMN 측정 연구를 통해 밝혀지고 있다 [16][17]. 따라서 경로 품질 기반 분산 LB기법의 경우 MR은 최악의 경우 매번 새로운 정보를 수신할 때마다 접속 IGW를 변경해야 한다. 이와 같은 잦은 IGW 변경으로 인해 MR의 패킷 손실율 등 서비스 품질이 악화될 수 있고 WMN이 안정적으로 운영되지 못한다.

큐 길이 기반 분산 LB 기법의 경우 각 IGW는 혼잡 척도로서 자신의 평균 큐 길이를 주기적으로 망에 방송하고, 각 MR은 평균 큐 길이가 최소인 IGW를 접속 IGW로 선택한다 [15]. 따라서 큐 길이 기반 기법에서 MR은 명시적으로 접속 IGW를 선택하므로 경로 기반 분산 LB 기법과 달리 무선 전송 환경의 영향을 받지 않는다. 그러나 큐 기반 분산 LB 기법은 IGW의 큐 길이가 적정 수준을 기준으로 진동하여 MR이 계속해서 접속 IGW를 변경하게 되는 라우트 플랩

(route-flap) 문제를 야기시킬 수 있다. 즉, IGW의 평균 큐 길이가 일정 임계값을 넘어서서 혼잡하게 되면 이 IGW (예를 들어 IGW1)에 접속 중인 MR들은 평균 큐 길이가 최소인 IGW (예를 들어 IGW2)를 새로운 접속 IGW로 선택한다. 다수의 MR이 동시에 IGW2로 접속 변경하면 IGW2로 트래픽이 급증하여 혼잡 발생 확률이 증가되고 반면에 IGW1의 부하는 급감한다. 이후 IGW2가 다음 주기에 평균 큐 길이 광고 메시지를 전송하게 되면 IGW2에 접속한 MR들은 자신의 접속 IGW의 혼잡을 감지하게 되고 부하가 급감한 IGW1으로 접속 변경하게 되며 이와 같은 현상이 반복된다. 이와 같은 라우트 플랩 문제는 잦은 패킷 전송 순서 변경을 야기하며 패킷 손실 확률을 증가시킨다.

따라서 본 논문에서는 큐 기반 분산 LB 기법과 마찬가지로 접속 IGW 선택 과정을 경로 설정 과정과 분리하여 MR이 접속 IGW를 명시적으로 선택하게 한다. 그러나 큐 기반 분산 LB 기법의 단점을 해결하기 위해 혼잡한 IGW에 접속하고 있는 모든 MR이 망 내 평균 큐 길이가 최소인 하나의 IGW로 접속 IGW를 변경하는 대신에 망 내 모든 IGW의 혼잡 정도에 따라 접속 IGW를 선택함으로써 다수의 IGW에 트래픽을 분산시킨다. 또한 제안 기법은 라우트 플랩 문제를 보다 완화시키기 위해 MR과 접속 IGW 사이의 거리 정보를 추가로 이용한다. WMN에서 트래픽은 IGW에 가까울수록 집중되고 라우트 플랩 문제는 한 IGW에 입력되는 트래픽 양이 급증하고 다른 IGW의 트래픽 입력율이 급감하기 때문에 발생한다. 따라서 제안기법은 MR이 새로운 접속 IGW를 선택할 때 각 IGW의 혼잡 정도뿐만 아니라 자신과 자신의 접속 IGW와의 거리 정보를 이용함으로써 라우트 플랩 문제를 보다 완화시킴으로써 WMN에서 혼잡이 발생한 경우 이를 빠르게 해소하여 망을 빠르게 안정화 시킨다. 이로 인해 제안 기법은 각 MR의 접속 IGW 변경 횟수를 감소시키며 패킷 손실율과 같은 서비스 품질도 향상시킨다.

3. QLBSIS (Queue-based Load Balancing via Stochastic IGW Selection) 기법

본 장에서는 제안 기법인 확률적 접속 IGW 선택을 통한 큐 기반 분산 LB 기법인 QLBSIS 기법에 대해 기술한다. 망 내 각 IGW는 라우팅 프로토콜에 의해 주기적으로 방송되는 광고 (ADV) 메시지에 자신의 혼잡 수준을 포함시킨다. 만일 현재 접속중인 IGW의 혼잡 수준이 특정 임계값 이상이면 MR은 다음과 같은 두 단계를 통해 새로 접속할 IGW를 선택한다. 우선 라우팅 프로토콜에 의해 각 IGW가 주기적으로 방송하는 광고 메시지에 포함된 IGW 혼잡 수준과 자신과 현재 자신의 접속 IGW 사이의 홉 수를 이용하여 각 IGW별로 IGW 호감 지수 (IGW preference index: IPI)를 결정한다. IGW i 의 IPI를 IPI_i 라고 하면 IPI_i 는 MR이 IGW i 를 새로운 접속 IGW로 선택할 경향을 나타내는 척도이다. 이 후 두번째 단계에서는 각 IGW의 IPI에 따라 확률적으로 새로운 접속 IGW를 결정한다.

3.1 IGW의 혼잡 수준 방송

WMN 내 모든 IGW는 평균 큐 길이를 자신의 혼잡 수준 의 기준으로 이용한다. 인터넷 트래픽은 비대칭적 특성을 가지므로 IGW는 IGW에서 MR로 향하는 하향 링크 (downlink)의 평균 큐 길이를 지속적으로 감시한다. 즉, IGW i가 시간 t_1 과 t_2 에서 ($t_2 > t_1$) 하향 링크 패킷을 수신하면 IGW i의 평균 큐 길이는 다음과 같은 가중치 이동 평균 (weighted moving average)에 의해 결정된다.

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

식 (1)에서 $Q_i(t_2)$ 는 시간 t_2 에서 IGW i의 순시 (transient) 큐 길이이며 $0 \leq a \leq 1$ 인 상수이다. 망 내 순시적인 트래픽 입력률의 변동에 무관하게 안정적인 평균 큐 길이를 얻기 위해 일반적으로 $a = 0.25$ 혹은 $a = 0.05$ 이 사용되며 [21] 본 논문의 모의 실험에서는 $a = 0.1$ 로 설정하였다.

각 IGW의 최대 버퍼 용량은 상이할 수 있으므로 평균 큐 길이는 IGW들 사이의 상대적인 혼잡 수준을 반영할 수 없다. 예를 들어 IGW1과 IGW2의 최대 큐 길이가 각각 1Mbytes, 10Mbytes인 경우 평균 큐 길이 0.5Mbytes는 IGW1 큐의 50%를 IGW2 큐의 0.05%를 나타낸다. 즉 평균 큐 길이가 동일하더라도 IGW1의 혼잡 정도가 IGW2보다 심하다는 것을 의미한다. 따라서 각 IGW는 자신의 평균 큐 길이가 아니라 평균 큐 길이와 최대 큐 길이의 비율을 망 내에 방송한다. 즉 IGW i의 최대 큐 길이가 Q_i^{\max} 이면 IGW i는 $Q_i = \tilde{Q}_i(t) / Q_i^{\max}$ 를 ADV 메시지를 통해 전송하며, 망 내 MR들은 이를 통해 IGW들 간의 상대적인 혼잡 수준을 평가할 수 있게 된다.

3.2 MR의 새로운 접속 IGW 선정 방법

MR이 자신의 접속 IGW가 전송한 ADV 메시지를 통해 접속 IGW의 혼잡 수준이 일정 임계값 (Q_m) 이상임을 확인하면 접속 IGW가 혼잡이라고 판단하고 새로운 접속 IGW를 확률적으로 결정한다. MR은 다음의 두 단계를 거쳐 새로운 접속 IGW를 결정한다. 우선 각 IGW의 상대적인 혼잡 수준과 MR과 혼잡한 접속 IGW와의 홉 수를 이용하여 각 IGW로의 이동 확률을 구한다. 이후 MR은 각 IGW로의 이동 확률의 상대적인 크기에 따라 랜덤하게 새로운 접속 IGW를 선택한다.

3.2.1 IGW 호감 지수 (IGW preference index: IPI) 결정

MR은 각 IGW가 송신한 ADV 메시지를 통해 각 IGW의 상대적인 혼잡 수준인 LBI를 계산한다. 망 내 n개의 IGW가 존재하고 $S_1 = \sum_{i=1}^n Q_i$ 을 각 IGW가 송신한 혼잡 수준의 합이라고 하면 IGW i의 LBI는 다음과 같이 결정된다.

$$p_{i,LBI} = 1 - \frac{Q_i}{S_1} \quad (2)$$

망 내 MR과 IGW 사이의 최대 홉 수를 l 으로 표기하고 이 값은 망 포설시에 각 MR에게 설정된다고 가정한다. MR과 접속 IGW 사이의 홉 수가 k이면 홉 수에 의한 MR의 접속 IGW 변경 확률을 다음과 같이 정의한다.

$$p^{k,HOP} = \frac{k}{D_m} \quad (3)$$

식 (2)와 (3)에 의해 MR은 IGW i의 IPI를 다음과 같이 결정한다.

$$p_i^k = (1 - \beta)p_{i,LBI} + \beta p^{k,HOP} \quad (0 \leq \beta \leq 1) \quad (4)$$

즉, 제안기법은 $p_{i,LBI}$ 를 통해 혼잡한 IGW의 부하를 IGW의 부하 정도에 따라 다수의 IGW에 분산시킴으로써 라우트 플랩 문제를 완화시킨다. QLBSIS은 또한 $p^{k,HOP}$ 을 통해 혼잡한 IGW로부터 멀리 떨어진 MR의 접속 IGW 변경 확률을 높임으로써 새로운 IGW로 급격하게 트래픽이 몰리는 현상을 방지하여 라우트 플랩 발생 확률을 낮춘다.

3.2.2 새로운 IGW의 확률적 결정.

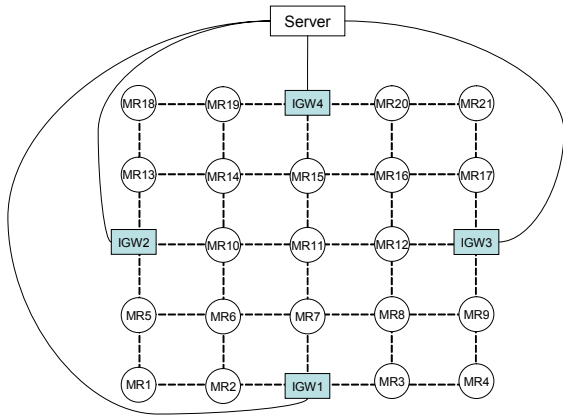
식 (4)와 같이 MR이 망 내 모든 IGW에 대해 접속 IGW 변경 확률을 결정하면, MR은 p_i^k 의 크기에 따라 확률적으로 이들 중 하나를 새로운 접속 IGW로 선택한다. 즉, 혼잡한 접속 IGW로부터 k 홉 떨어진 MR은 p_i^k / S_2 를 ($S_2 = \sum_{i=1}^n p_i^k$) 으로 차순으로 정렬한다. 이처럼 정렬된 p_i^k / S_2 를 $\{\hat{p}_1^k, \hat{p}_2^k, \dots, \hat{p}_n^k\}$ 으로 표기하면 MR은 p_i^k / S_2 가 다음 조건을 만족하는 \hat{p}_i^k 에 해당하는 IGW i를 확률 p로 새로운 접속 IGW로 선택한다.

$$\sum_{i=1}^{j-1} \hat{p}_i^k \leq p < \sum_{i=1}^j \hat{p}_i^k \quad (5)$$

4. 성능 평가

본 장에서는 ns-2 모의 실험을 통해 QLBSIS의 성능을 혼잡 해소 능력과 패킷 손실을 측면에서 평균 큐 길이 기반 분산 LB 기법과 [15] 비교 평가한다.

모의 실험을 위해 IEEE 802.11s WG에서 정의한 WMN의 4가지 사용 시나리오 중 [18] 사무실 모델에 따라 (그림 1)과 같이 21개의 MR과 4개의 IGW를 100m x 100m 정사각형 격자에 등 간격으로 포설하였다. IGW와 MR 사이의 무선 접속을 위해 IEEE 802.11b를 사용하였으며 다중 채널, 다중 인터페이스 환경을 설정하기 위해 hyacinth에서 제공한 NS-2 확장 모델을 적용하였다 [19]. WMN 내의 전파 전송 환경은 다음과 같은 경로 손실 (path loss) 모델로 모델링하였다 [20].



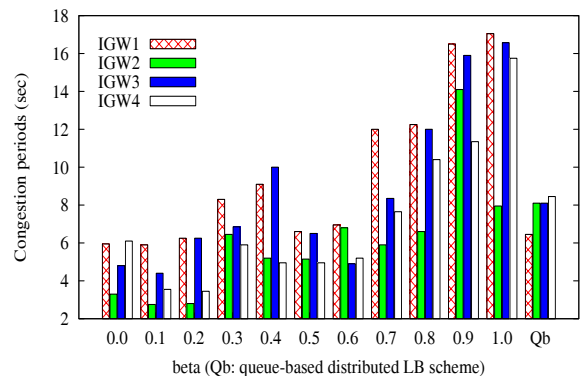
(그림 1) 모의실험을 위한 망 구조

$$\left[\frac{\bar{P}(d)}{\bar{P}(d_0)} \right]_{dB} = 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (7)$$

α 는 경로 손실 지수 (path loss exponent)라 불리며 거리에 따른 경로 손실 증가율을 나타낸다. $\bar{P}(d)$ 는 송수신기 사이의 거리가 d 인 곳에서의 평균 경로 손실이며 d_0 는 기준 거리이고 $\bar{P}(d_0)$ 는 d_0 에서의 평균 경로 손실을 나타낸다. X_σ 는 dB 단위로 평균이 0이고 표준편차가 σ_{db} 인 랜덤 변수로서 전파 환경에 따른 임의의 오류를 나타낸다. d_0 는 전파 환경에 따라 설정되며 이동 전화 망과 같은 거대 셀 (macro cell)의 경우 1km, 무선 LAN과 같이 셀이 작은 경우 1m로 설정된다. α 는 전파 환경에 의해 결정되며 자유 공간 (free space)에서는 2 사무실에서는 4-6사이의 값을 가진다. 역시 전파 환경에 따라 결정되며 측정결과 실외에서는 4-12dB 실내에서는 7-10dB 정도의 값을 가진다. 본 논문에서는 사무실 내의 전파 전송 환경을 모델링하기 위해 d_0 는 1m, $\alpha = 5$, σ_{db} 는 7로 설정하였다. WMN에서 LB 성능 평가에 유선망이 미치는 영향을 배제하기 위해 각 IGW는 100Mbps 유선 링크를 통해 외부 서버와 직접 연결시켰다. 단말은 각 MR을 통해 외부의 서버와 크기 512Bytes인 CBR (Constant Bit Rate) 패킷을 187Kbps로 교환하며, IGW의 최대 큐 크기는 모두 100 패킷으로 설정하였고 혼잡 결정을 위한 임계값 (Q_{th})으로 0.8을 설정하였다. 각 MR의 트래픽 발생율은 전체 트래픽이 망 내 IGW들에게 균등하게 분배될 경우 각 IGW의 평균 큐 길이가 80 패킷이 되도록 같게 설정하였다. 모의

실험 시작 시에 모든 MR들의 접속 IGW로 IGW1을 설정하였고, IGW1이 혼잡된 후 MR들이 새로운 접속 IGW를 선택함으로써 혼잡한 IGW의 부하를 다른 IGW로 분담시키는 동안 각 LB 기법들의 성능을 측정하였다. MAC 프로토콜과 다중 홉 통신에 의한 임의 (random) 타이머 등에 의한 영향에 무관하게 제안한 QLBSIS의 성능을 평가하기 위해 동일한 실험을 10회 반복하여 각 측정 결과의 평균을 취하였다.

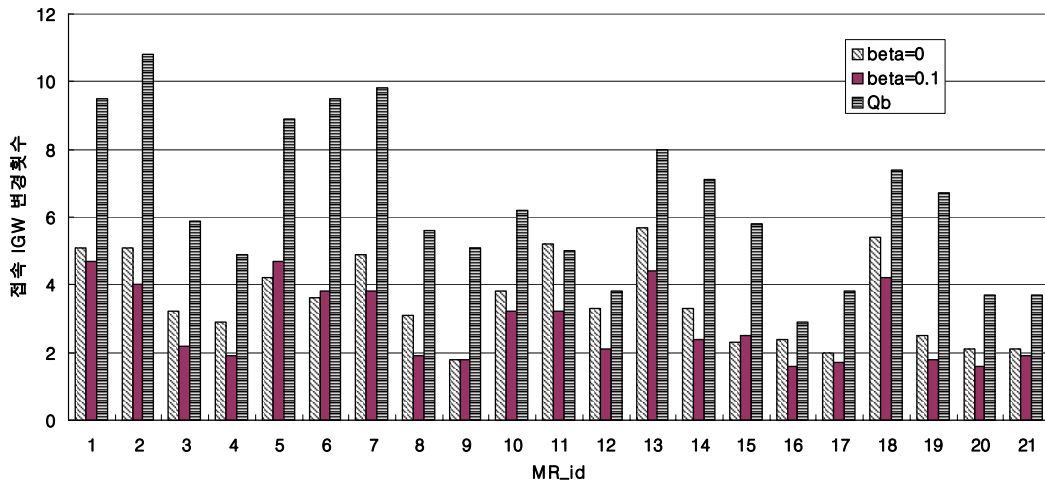
(그림 2)는 각 IGW별 혼잡 기간 (Congestion period: C_p)을 나타내며 표 1은 모든 IGW의 평균 혼잡 기간을 보여준다. IGW i 의 혼잡 기간은 실험 기간 동안 Q_i 가 Q_{th} 이상인 시 구간의 합으로 정의되며 IGW1의 혼잡 발생 이후 혼잡이 해소될 때까지 각 IGW가 혼잡한 시간을 나타낸다. 큐 기반 분산 LB 기법인 [15]의 (이후 Q_b 로 표기함) 경우 각 MR은 IGW의 평균 큐 길이를 기반으로 접속 IGW를 선택하므로 $\beta = 0$ 인 QLBSIS 기법과 유사하다. 그러나 Q_b 의 경우 망 내 평균 큐 길이가 최소인 IGW를 새로운 접속 IGW로 선택하는 대신 $\beta = 0$ 인 QLBSIS에서 MR은 각 IGW의 LBI ($P_{i,LBI}$)에 따라 확률적으로 새로운 접속 IGW를 선택한다. 따라서 QLBSIS는 혼잡한 IGW의 부하를 다수의 IGW에 분산시킬 수 있다. 이로 인해 Q_b 의 경우 평균 C_p 는 7.78초인 반면 $\beta = 0$ 인 QLBSIS가 적용된 경우 C_p 는 5.04초로 감소한다. (그림 2)에서 보인 바와 같이 제안 기법의 경우 $\beta \leq 0.2$ 의 경우 모든 IGW의 혼잡 기간은 6.25초 이하였다. 그러나 $\beta > 0.6$ 인 경우 각 IGW의 IPI는 MR과 현재 접속 IGW 사이의 홉 수에 의해 주로 결정되므로 IGW별 혼잡 기간은 급격히 증가하였다.



(그림 2) 각 IGW별 혼잡 시간 (Qb: 큐 길이 기반 분산 LB 기법이 적용된 경우)

<표 1> 평균 혼잡 기간 (C_p) 및 망 안정화 시간 (S_t) 비교

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	Qb
Avg. C_p (sec)	5.04	4.15	4.69	6.88	7.31	5.80	5.96	8.48	10.31	14.46	14.33	7.78
S_t (sec)	25.06	21.43	20.09	41.02	36.11	34.37	30.81	41.28	44.93	44.81	59.99	27.68



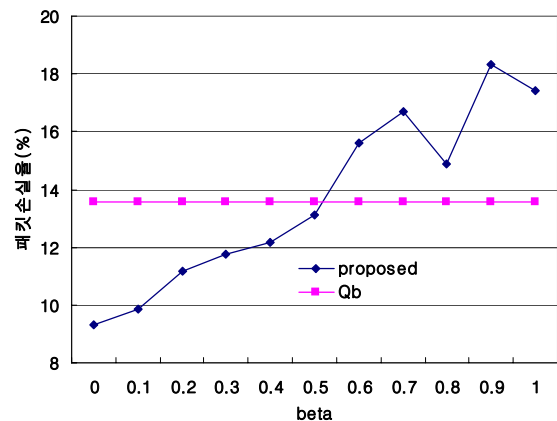
(그림 3) 각 MR의 접속 IGW 변경 횟수

<표 1>에는 또한 각 LB 기법이 얼마나 빠르게 IGW의 혼잡을 해소하는 가를 나타내기 위해 망 안정화 시간 (S_t)을 표기하였다. 망 안정화 시간은 IGW1에 혼잡이 발생된 후 LB 기법에 의해 혼잡이 해소하기까지의 시간으로 정의하였다. 큐 기반 분산 LB 기법에서 각 MR은 자신의 접속 IGW의 평균 큐 길이가 Q_m 이하인 경우 새로운 접속 IGW를 선택하지 않으므로 어떤 MR도 새로운 접속 IGW를 선택하지 않은 경우 혼잡이 해소된 것으로 간주하였다. $\beta=0$ 인 QLBSIS의 경우 다수의 IGW에 그들의 혼잡 수준과 반비례하게 트래픽을 분산 시킴으로써 라우트 플랩 문제 발생을 완화시킨다. 따라서 망 안정화 시간이 Qb의 27.68초에 비해 25.06초로 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 $\beta=0.1$ 인 경우 망 안정화 시간은 21.43초로 보다 감소하며 이는 (그림 3)에 보인 바와 같이 각 MR들의 접속 IGW 변경 횟수가 감소하기 때문이다.

(그림 3)에 보인 바와 같이 각 MR들의 접속 IGW 변경 횟수는 $\beta=0$ 인 경우의 평균 3.52회, Qb인 경우인 평균 6.39회에 비해 $\beta=0.1$ 인 경우 평균 2.83회로써 이들보다 적었다. $\beta=0$ 인 경우 MR은 새로운 접속 IGW를 IGW들의 LBI에 의해서만 결정한다. 망 내 모든 MR은 각 IGW에 대해 동일한 LBI값을 갖게 되므로 대부분의 MR이 LBI가 큰 특정 IGW를 새로운 접속 IGW로 선택할 확률이 커진다. 다수의 MR이 특정 IGW를 새로운 접속 IGW로 선택하면 불필요한 접속 IGW 변경이 야기된다. 그러나 $\beta=0.1$ 인 경우 MR이 접속중인 IGW에 가까울수록 식 (4)에 의해 새로운 IGW를 선택할 확률이 낮아진다. 따라서 다수의 MR이 LBI가 큰 특정 IGW를 새로운 접속 IGW로 선택할 확률이 낮아지며 이로 인해 불필요한 접속 IGW 변경 횟수가 줄어든다. 이와 같은 접속 IGW 변경 횟수의 감소는 β 가 0에서 0.1로 증가할 경우 평균 C_p 는 5.04초에서 4.15초로, S_t 는 25.06초에서 21.43초로 감소시켰다. 또한 이와 같은 안정화 시간의 감소는 (그

림 4)와 같이 WMN의 패킷 손실율 감소에도 도움을 준다.

본 논문에서 패킷 손실율은 모의 실험 시간 동안 MR과 외부 서버 사이에 교환된 총 패킷 수에 대해 MR 혹은 외부 서버가 수신하지 못한 패킷 수의 비율로 계산하였다. 패킷 손실율은 일반적으로 β 가 증가할수록 증가한다. 그러나 Qb의 경우 패킷 손실율이 13.6%인 것에 비해 β 가 0인 경우와 0.1의 경우 패킷 손실율은 각각 9.3%와 9.8%로 미비한 차이를 보였다. 제안 기법에서 혼잡한 접속 IGW와 홉 수가 먼 MR이 새로운 접속 IGW를 선택할 확률이 커진다. 따라서 최악의 경우 새로운 접속 IGW와 MR 사이의 홉 수가 증가되어 전송 지연이나 수율등이 저하 될 수도 있다. 그러나 MR과 외부 서버와의 종단간 패킷 전송 지연을 측정할 결과 β 가 0인 경우 평균 지연이 0.52초인 반면 β 가 0.1인 경우 평균 지연은 0.65초로서 크게 차이가 없었다. 예를 들어 (그림 1)에서 MR1의 현재 접속 IGW가 IGW4이고 IGW4가 혼잡인 경우 MR1은 IGW의 혼잡 정도에 따라 IGW1이나 IGW2를 새로운 접속 IGW로 선택할 수도 있으므로 β 가 증가하더라



(그림 4) 패킷 손실율

도 접속 IGW와 MR 사이의 평균 홉 수는 크게 차이가 나지 않으며 이로 인해 혼잡 접속 IGW와 MR 사이의 홉 수를 고려해도 중단간 지연이 크게 차이가 나지 않았다.

5. 결 론

본 논문에서는 WMN에서 MR들의 확률적 접속 IGW 선택을 통해 다수의 IGW에게 망 내 부하를 균등하게 분담하기 위한 LB 기법을 제안하였다. 제안 기법은 기존 라우팅 기법에서 사용하는 광고 메시지에 IGW의 혼잡 수준 정보만을 추가하기 때문에 망 내에 추가적인 제어 부하를 야기하지 않는다. 또한 MR이 접속 IGW를 독립적으로 선택하기 때문에 IGW의 관리 부하를 증가시키지 않으므로 확장성이 우수하다.

큐 기반 분산 LB 기법과의 정량적 비교를 통해 제안 기법은 다음의 두 가지 기능을 통해 망의 혼잡을 빠르게 해소 하여 패킷 손실율을 낮출 수 있다는 것을 검증하였다. 첫째로 제안 기법은 각 MR이 망 내 IGW의 혼잡 수준에 의해 확률적으로 새로운 접속 IGW를 선정하게 한다. 따라서 혼잡한 IGW의 부하를 IGW의 부하에 따라 다수의 IGW에 분담시켜 혼잡을 빠르게 해소 할 수 있다. 또한 제안 기법은 WMN의 특성인 IGW에 가까울수록 트래픽 집중양이 많다는 것을 이용하여 새로운 접속 IGW 선정시 MR과 자신의 현재 접속 IGW 거리 정보를 적절히 고려함으로써 라우트 플랩 발생 확률을 낮추고 이로 인해 망 혼잡 시간을 보다 개선할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] R. Bruno, et. al., "Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks," IEEE Communications Magazine, pp.123-131, Mar. 2005.
 [2] N. Nandiraju, et. al., "Wireless Mesh Networks: Current Challenges and Future Directions of Web-in-the-Sky," IEEE Wireless Communications, pp.79-89, Aug. 2007.
 [3] available at <http://www.antd.nist.gov/wctg/manet/adhoclinks.html>
 [4] IEEE P802.11s™/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.
 [5] IEEE 802.16j/026r4, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems: Multihop Relay Specification," June, 2007.
 [6] V. Jain, et. al., "A Cross Layer MAC with Explicit Synchronization through Intelligent Feedback for Multiple Beam Antennas," IEEE GLOBECOM'05, pp.3196-3200, Dec. 2005.
 [7] A. Ramachandran et al., "Interference-Aware Channel Assignment in Multi-Radio Wireless Mesh Networks," IEEE INFOCOM'06, pp.1-12, Apr. 2006.

[8] A. Raniwala, et. al., "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Networks," IEEE INFOCOM'05 pp.2223-2234, Mar. 2005.
 [9] Miguel Elias M. Campista, et. al., "Routing Metrics and Protocols for Wireless Mesh Networks," IEEE Network, pp.6-12, Jan./Feb. 2008.
 [10] M. Pearlman, et. al., "On the impact of alternate path routing for load balancing in mobile adhoc networks," ACM Mobicom, pp.3-10, Aug. 2000.
 [11] C-F Huang, et. al., "A two-tier heterogeneous mobile ad hoc network architecture and its load balance routing problem," IEEE VTC, pp.2163-2167, Oct. 2003.
 [12] D. Nandiraju, et. al., "Achieving Load Balancing in Wireless Mesh Networks Through Multiple Gateways," IEEE MASS'06, pp.807-812, Oct. 2006.
 [13] K. N. Ramachandran, et. al., "On the design and Implementation of Infrastructure Mesh Networks," IEEE WiMesh'05, Sep. 2005.
 [14] Raniwala, A., et. al., "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Network," IEEE INFOCOM'05 pp.2223-2234, Mar. 2005.
 [15] J. H. Zhao, et. al., "Load-Balancing Strategy of Multi-Gateway for Ad Hoc Internet Connectivity," IEEE ITSS'05, pp.592-596, Apr. 2005.
 [16] C.E. Koksal, et. al., "Quality-Aware Routing Metrics for Time-Varying Wireless Mesh Networks," IEEE JSAC, vol. 24, no. 11, pp.1984-1994, Nov. 2006.
 [17] S. M. Das, et. al., "Studying Wireless Routing Link Metric Dynamics," ACM IMC'07, pp.327-332, Oct. 2007.
 [18] W. S. Conner, "IEEE 802.11 TGs usage models", IEEE P802.11-04/662r16, Jan. 2005.
 [19] available at <http://www.ecsl.cs.sunysb.edu/multichannel/>
 [20] T. S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice 2nd Ed.," Prentice Hall, New Jersey, 2002.
 [21] S. Moon, et. al., "Effective Link Triggers to Improve Handover Performance," IEEE PIMRC'06, pp.1-5, Sep. 2006.



박 재 성

e-mail : jaesungpark@suwon.ac.kr

1995년 연세대학교 전자공학과(학사)

1997년 연세대학교 대학원 전자공학과
(공학석사)

2001년 연세대학교 대학원 전기,전자공학화
(공학박사)

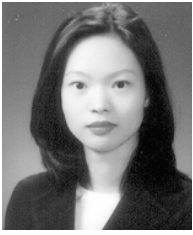
2001년~2002년 University of Minnesota PostDoc. Research Faculty

2002년~2005년 LG전자 선임연구원

2005년~2008년 수원대학교 인터넷정보공학과 전임강사

2008년~현재 수원대학교 인터넷정보공학과 조교수

관심분야: 이동성 관리 기술, 성능 평가, 무선 메쉬 네트워크 설계 등



임 유 진

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



안 상 현

e-mail : ahn@venus.uos.ac.kr
1986년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)
1988년 서울대학교 컴퓨터공학과(석사)
1993년 University of Minnesota
컴퓨터학과(박사)
1988년 (주)데이콤 연구원

1994년 세종대학교 컴퓨터학과 전임강사/조교수
1998년~현재 서울시립대학교 컴퓨터과학부 교수
관심분야 : 애드혹네트워크, 센서네트워크, 홈 네트워크,
이동통신, 라우팅프로토콜