

논문 2010-47TC-7-8

멀티 라디오 무선 메쉬 네트워크에서의 차등적 안테나 배치를 통한 구축비용 최소화

(A System Cost Minimization Through Differential Antenna Placement in Multi-radio Wireless Mesh Networks)

이 지 수*, 유 명 식**

(Jisoo Lee and Myungsik Yoo)

요 약

무선 메쉬 네트워크 (Wireless Mesh Network)는 넓은 지역에 저렴한 비용으로 무선 인터넷 서비스를 제공할 수 있는 기술로 많은 관심을 받고 있다. 하지만 무선 메쉬 네트워크는 게이트웨이 주변 노드로 트래픽이 집중되는 병목현상이 발생하는 문제가 있다. 이러한 병목현상을 해결하기 위해서는 멀티 라디오를 사용하는 무선 메쉬 네트워크 구성이 필요하지만, 무분별한 안테나 설치에 전체 시스템 구축비용의 증가를 초래하게 된다. 이에 본 논문에서는 네트워크 트래픽 용량에 따라 최적화된 메쉬 클러스터 규모를 결정하고, 각 메쉬 라우터의 무선 채널 사용량에 따라 안테나 수의 차등적 배치를 통해 병목 현상 해소 및 시스템 구축비용의 최소화가 가능한 시스템 비용 최적화 모델을 제안한다. 제안 최적화 모델의 성능 분석을 위해 CPLEX를 사용해 사용자 트래픽과 게이트웨이 용량에 따른 네트워크 규모 및 최적의 안테나 수를 결정하는 최적해를 도출하였다. 그 결과 제안된 최적화 모델을 통해 멀티 라디오 무선 메쉬 네트워크 구성 시 병목 현상 해결 및 시스템 구축비용의 현저한 감소를 확인할 수 있었다.

Abstract

Wireless Mesh Network has drawn much attention due to wide area service coverage with low system cost. However, there is a bottleneck problem in wireless mesh network since the traffic is aggregated into a gateway. Placement of multi-radio can ease the bottleneck problem, but without careful design it results in unnecessary system cost increase. In this paper, we propose a system cost minimization through differential antenna placement where optimum antenna placement is determined by the required wireless link capacity. With CPLEX program, optimum number of antennae is determined as a function of local user traffic and gateway capacity. From numerical analysis, it is confirmed that our proposed model can solve bottleneck problem, and at the same time save the system cost.

Keywords : Wireless Mesh Network, Cost, Minimization, Multi-radio, MIP(Mixed Integer Programming)

I. 서 론

최근 모바일 단말의 증가에 따라 무선 인터넷 사용자

가 증가하고 있다. 현재 보편화 되어있는 AP (Access Point)를 통한 인터넷 접속 서비스는 제한된 전송 범위로 인해 다수의 AP를 설치해야 한다는 문제점을 가지고 있다. 하지만 이는 AP당 유선망 구축이 요구되어 시스템의 구축비용을 증가시키는 문제가 있다^[1~2]. 이에 대한 대안으로 IEEE 802.11s 무선 메쉬 네트워크 (Wireless Mesh Networks : WMN)^[3]가 많은 관심을 받고 있다.

일반적으로 무선 메쉬 네트워크는 AP 및 라우터 역할을 수행하는 메쉬 라우터와 유선망을 통해 인터넷을

* 정회원, ** 평생회원 숭실대학교 정보통신전자공학부 (School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 본 연구는 지식경제 프론티어 기술개발사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 유비쿼터스컴퓨팅 및 네트워크원천기술개발사업의 09C1-C1-20 과제로 지원된 것임

접수일자: 2010년6월22일, 수정완료일: 2010년7월17일

연결하는 게이트웨이(Gateway)가 그물망 형태로 구성된다. 이러한 무선 메쉬 네트워크에서는 사용자 트래픽을 게이트웨이로 전달하는 과정에서 트래픽이 게이트웨이에 가까워질수록 집중되어 병목현상(Bottleneck)이 발생하게 된다^[4]. 이러한 병목현상 해결을 위해 다수의 안테나 설치를 통한 용량 증대가 가능하지만 무분별한 안테나 설치의 망 구축비용의 증대를 초래한다. 따라서 무선 메쉬 네트워크의 설계 시 병목현상을 해결하고 구축비용의 최소화를 위해서 최적의 안테나 수 배치에 대한 연구가 요구된다.

기존 연구는 무선 메쉬 네트워크 구축비용 최소화를 위해 최적의 위치에 게이트웨이를 배치하는 방법^[5-6]과, QoS(Quality of Service)를 만족하는 최적의 게이트웨이 수와 배치를 결정하는 방법^[7], 다수의 메쉬 라우터들로 구성된 네트워크에서 게이트웨이 위치 선정에 따른 시스템 구축비용 최적화 연구^[8]와 메쉬 네트워크 처리량을 최대화 할 수 있는 최적화된 위치에 게이트웨이를 배치하는 방법에 대한 연구^[9]가 진행되었다. 하지만 이러한 기존의 최적화 연구들은 각 메쉬 라우터에 설치되는 안테나 수는 고려하지 않았다. 따라서 효과적인 최적화를 위해서는 네트워크의 설계 단계에서부터 게이트웨이의 배치, 안테나 수, 구축비용 등을 고려한 연구가 선행되어야 한다.

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크의 구축비용 최소화를 위해 MIP(Mixed Integer Programming) 모델을 사용하였다. 또한 배치된 네트워크를 최적화 하는 기존의 연구 방식과는 달리 클러스터를 먼저 최적화한 후 이를 배치해 전체 네트워크를 구성하는 방식으로 최적화를 수행하였고, 차등적 안테나 배치를 통해 최적화 전과 동일한 성능을 보장하면서, 구축비용을 최소화할 수 있는 최적화 모델을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, II장에서는 본 논문에서 제안하는 클러스터 기반 무선 메쉬 네트워크의 구조와 차등적 안테나 배치를 통해 시스템 비용 최소화를 위한 MIP 모델을 설명하고, 이어서 III장에서는 CPLEX를 통한 최적화 결과를 분석하고, 마지막으로 IV장에서는 결론을 제시한다.

II. 제안 메쉬 네트워크 구조 및 최적화 모델

가. 제안 무선 메쉬 네트워크 구조

본 논문에서 제안하는 멀티 라디오 기반의 무선 메쉬

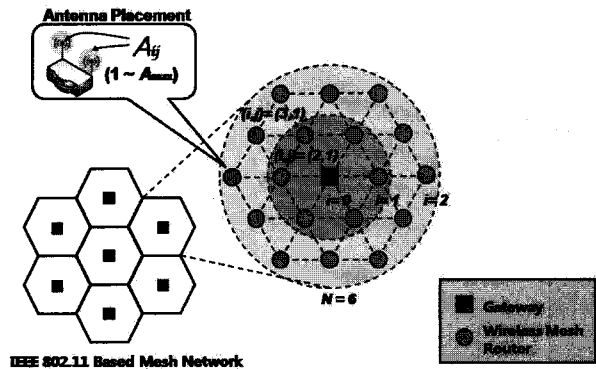


그림 1. 제안하는 무선 메쉬 네트워크 구조
Fig. 1. Wireless Mesh Network Architecture.

네트워크는 그림 1에서와 같이 여러 메쉬 클러스터들의 배치를 통해 구성된다. 메쉬 클러스터는 게이트웨이를 중심으로 N 각형 모양으로 매 홉마다 N 의 배수로 증가하며 메쉬 라우터가 배치된다. N 각형의 클러스터 구조는 기존 격자형(Grid) 구조에 비해 더 많은 무선 경로를 제공 가능하며, 전송영역을 조절하여 주파수의 공간적 재사용 기법을 사용할 수 있는 장점을 가진다.

본 논문에서 제안하는 네트워크 구조의 구성요소와 그 특성은 다음과 같다. 각 메쉬 라우터간의 무선 링크는 IEEE 802.11a(5GHz)를 사용하며, 사용자의 접속은 IEEE 802.11b/g(2.4GHz)를 사용한다. 각 라우터 사이의 통신은 전송범위를 조절하며 라우터 간 중복되지 않는 채널을 선택하여 공간적 주파수의 재사용기법을 사용한다^[10].

또한 사용자 접속에 필요한 안테나를 제외한 메쉬 네트워크 구성에 사용되는 안테나만 최적화의 고려 대상으로 하며, 무지향성(Omni-directional) 안테나를 기본으로 사용한다. 그러나 게이트웨이와 1홉 거리에 위치한 메쉬 라우터 사이는 단일 경로만 존재하므로 지향성(Directional) 안테나를 사용하여 링크의 용량을 증대시킬 수 있다.

나. 시스템 모델

본 논문에서 제시하는 시스템 모델을 표현하기 위해 표 1의 파라미터를 사용하였다. 먼저, 사용자들은 메쉬 라우터 주변에 일정하게 분포하며 동일한 트래픽을 발생하여 각 메쉬 라우터에서 발생하는 트래픽은 동일하다고 가정한다. 각 메쉬 라우터에서 발생한 사용자들의 상향 전송 트래픽은 U_{ij} 로 표현하며, 이는 i 번째 홉 j 번째 위치한 메쉬 라우터의 전송영역 내에서 발생한

표 1. 시스템 파라미터
Table 1. System Parameters.

기호	설 명
W_G	게이트웨이의 용량
W_{max}	안테나 당 할당된 무선 채널의 최대 용량
U_{ij}	i 번 홉 j 번 메쉬 라우터에서 발생한 사용자 상향 트래픽의 크기
α	상향 트래픽에 대한 하향 트래픽의 비율
C_R	안테나와 무선 인터페이스를 제외한 메쉬 라우터의 비용
C_O	무지향성 안테나와 무선 인터페이스의 비용
C_D	지향성 안테나와 무선 인터페이스의 비용
N	첫 번째 홉 라우터 수, $\{N \leq 8\}$
μ	지향성 안테나의 적용여부, $\mu \in \{0, 1\}$ $\mu=1$ 일 경우 지향성 안테나
A_{max}	설치 가능한 최대 안테나 수
A_{ij}	i 번 홉 j 번 메쉬 라우터에 설치할 안테나 수
H	메쉬 클러스터에서의 홉 수
H_{max}	메쉬 클러스터를 구성 할 수 있는 최대 홉 수
R_i	홉 i 에서의 메쉬 라우터의 수
T_{Rx}^i	홉 i 에서 수신되는 상향 트래픽 처리량
T_{Tx}^i	홉 i 에서 홉 $i-1$ 로 송신하는 상향 트래픽 처리량
T_A^i	메쉬 라우터에서의 무선채널 사용량
β	안테나 종류에 따른 안테나 수 결정 계수

트래픽의 합을 뜻한다. 하향 전송 트래픽은 게이트웨이에서 각 메쉬 라우터에 접속된 사용자에게로 전송되는 트래픽을 의미하며, 상향 전송 트래픽의 α 배로 발생한다고 가정한다. 따라서 하향 전송 트래픽은 αU_{ij} 으로 표현된다.

홉 $i+1$ 에 위치한 메쉬 라우터의 상향 트래픽은 홉 i 의 메쉬 라우터들을 통해 중계(Relay)되며, 이때 모든 트래픽은 최단 경로 라우팅을 통해 게이트웨이로 전송되며 각 메쉬 라우터에서 이상적인 부하분산을 통해 전송된다고 가정하면 i 홉에 위치한 메쉬 라우터들이 수신하는 트래픽의 처리량 T_{Rx}^i 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{Rx}^i = \sum_{i=i+1}^{H_{max}} \sum_{j=1}^{R_i} U_{ij}, \quad \forall i \geq 0 \quad (1)$$

이렇게 수신된 상향 트래픽은 홉 i 에서 발생한 트래픽과 함께 홉 $i-1$ 로 다시 상향 전송 한다. 따라서 홉 i 에 위치한 메쉬 라우터들이 송신해야하는 상향 트래픽의 처리량 T_{Tx}^i 는 수식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{Tx}^i = T_{Rx}^i + \sum_{j=1}^{R_i} U_{ij} = \sum_i \sum_{j=1}^{R_i} U_{ij}, \quad \forall i > 0 \quad (2)$$

홉 i 에 위치한 메쉬 라우터에서 처리해야 하는 트래픽의 전체 크기는 홉 $i+1$ 로부터 수신되는 트래픽 처리량 T_{Rx}^i 와 홉 $i-1$ 로 상향 전송을 해야 하는 송신 트래픽 처리량 T_{Tx}^i 의 합과 홉 $i+1$ 과 홉 $i-1$ 의 합의 α 배인 하향 전송 트래픽 처리량을 더하여 구할 수 있다. 따라서 각 메쉬 라우터의 안테나를 통해 처리하는 트래픽 양 즉, 무선 채널 사용량 T_A^i 은 수식 (3)과 같이 계산된다.

$$T_A^i = (\alpha + 1) \frac{T_{Tx}^i + T_{Rx}^i}{R_i}, \quad \forall 0 < i \leq H_{max} \quad (3)$$

메쉬 라우터에서는 IEEE 802.11a 표준^[11]에 명시되어 있는 바와 같이 스펙트럼이 서로 중첩되지 않아 주파수 간섭이 없는 최대 8개의 채널을 동시에 사용할 수 있다. 따라서 무지향성 안테나를 사용하여 각 안테나 당 중복되지 않는 하나의 채널을 할당 할 경우 각 메쉬 라우터에 설치 가능한 최대 안테나 수(A_{max})는 8개이다. 한편, 게이트웨이는 지향성 안테나를 사용하여 방향성이 존재할 경우 A_{max} 의 N 배 안테나 설치가 가능하다. 이는 N 의 배수를 표현하기 위한 파라미터 β 와 방향성 안테나의 사용여부를 나타내는 파라미터 μ 를 사용하여 표현할 수 있다. μ 는 0 또는 1의 이진 값의 값을 가지며 0일 경우 무지향성 안테나의 사용을 의미하고 1일 경우 지향성 안테나의 사용을 의미한다. 따라서 게이트웨이에 설치할 수 있는 최대 안테나 수는 βA_{max} 로 표현할 수 있으며 β 는 수식 (4)와 같다.

$$\beta = 1 + N \cdot \mu, \quad \mu \in \{0, 1\}, \{N \leq 8\} \quad (4)$$

이밖에 ij 에 위치한 메쉬 라우터에 설치할 안테나 수는 A_{ij} 라 하고 정수로 표현된다. 이때, 각 안테나에는 하나의 무선 채널을 할당하며, 무선 채널당 최대용량은 W_{max} 로 표현한다. 안테나를 제외한 메쉬 라우터의 비용을 나타내는 파라미터로 C_R 을 사용한다. 무지향성 안테나 설치에 따른 비용은 C_O , 지향성 안테나의 설치에 따른 비용 C_D 로 각각 나타낸다.

다. MIP 수식화

식 (5)는 메쉬 클러스터를 구성하는 게이트웨이와 메

쉬 라우터들의 총 구축비용의 최소화를 표현한 목적 함수(Objective Function)이다. 이는 게이트웨이에 설치된 안테나의 종류를 결정하는 μ 값에 따라 게이트웨이 (A_{01})에 설치되는 안테나 및 무선 인터페이스의 비용이 C_O 또는 C_D 로 결정되어 무선 메쉬 클러스터의 전체 구축비용을 계산하게 된다. (6)~(13)사이의 수식들은 최적해의 범위를 결정하기 위한 제약 조건(Constraint)들을 의미한다. 식 (6)은 각 메쉬 라우터에 설치되는 안테나 개수의 제한을 나타내고 있다. 즉, 무선 링크에서 병목현상이 발생하지 않게 하기 위해서 각 메쉬 라우터에 최소 T_A^i 이상을 처리할 수 있는 안테나 수를 표현한다.

식 (7)은 게이트웨이에 설치되는 안테나의 수를 제한한다. 게이트웨이의 경우 상향 전송 트래픽이 유선을 통해 전송되기 때문에 $T_{Tx}^i = 0$ 이라 할 수 있다. 또한 방향성 안테나를 설치할 경우 β 배 만큼의 더 많은 안테나의 설치가 가능하다. 식 (8)은 게이트웨이의 안테나 수가 무방향성 안테나를 사용할 경우 정수로 증가하고, 지향성 안테나를 사용할 경우 N 의 배수의 형태로 증가함을 표현하고 있다. 식 (9),(10)은 본 논문에서 제안하는 N 각형 형태의 메쉬 클러스터를 구성하는 메쉬 라우터들의 배치를 표현하고 있다.

식 (9)는 각 홉을 구성하는 메쉬 라우터의 수가 N 의 배수의 형태로 게이트웨이로부터 매 홉마다 증가함을 표현하고 있으며, 식 (10)은 게이트웨이는 중앙에 하나만 존재한다는 의미이다.

식 (11)은 게이트웨이의 최대 용량을 표현하고 있다. 최대 용량은 설치 가능한 최대 안테나 수와 방향성 안테나의 사용여부에 따라 그 범위가 결정된다. 이렇게 범위를 제한하는 이유는 W_G 의 크기가 최대의 안테나 수를 적용한 무선 채널 용량의 합보다 클 경우 주어진 게이트웨이의 용량을 다 사용하지 못하기 때문이다.

식 (12)는 게이트웨이에서 발생할 수 있는 병목현상을 방지하기 위해 게이트웨이의 용량 이상으로 메쉬 클러스터를 구성하지 못하도록 H 의 범위를 제한하는 수식이며, 식 (13)을 통해 H 의 최대값인 H_{max} 를 최적화에 사용하도록 제한하고 있다.

Objective function

$$\min \left(\sum_{i=0}^{H_{max}} C_R R_i + \sum_{i=\mu j=1}^{H_{max}} \sum_{R_i} C_O A_{ij} + \mu C_D A_{01} \right) \quad (5)$$

Subject to

$$\frac{T_A^i}{W_{max}} \leq A_{ij} \leq A_{max}, \forall 1 \leq i \leq H_{max}, \forall j \geq 1 \quad (6)$$

$$(\alpha + 1) \frac{T_{Rx}^i}{W_{max}} \leq A_{ij} \leq \beta A_{max}, i = 0, j = 1 \quad (7)$$

$$A_{01} = \beta k, k = 1, 2, 3, \dots, A_{max} \quad (8)$$

$$R_i = N \cdot i, \forall i > 0, \{N \leq 8\} \quad (9)$$

$$R_i = 1, i = 0 \quad (10)$$

$$W_G \leq \beta A_{max} W_{max} \quad (11)$$

$$W_G \geq (\alpha + 1) \sum_{i=0}^H \sum_{j=1}^{R_i} U_{ij}, \forall i \geq 0, \forall j > 0 \quad (12)$$

$$H_{max} = \max(H) \quad (13)$$

III. 모의실험

앞서 II장에서 수식화한 MIP모델의 최적해를 구하기 위해 최적화 프로그램인 CPLEX를 사용하여 모델링 하였으며, 모델링에 사용된 세부 입력 파라미터는 표 2와 같다. 그림 2, 3에 사용된 파라미터들은 표 2의 Case 1을 사용하였으며, 그림 4는 Case 2를 사용하였다. 그림 5, 6은 Case 3을 사용하였고 그림 7, 8은 Case 4를 사용하였다. 또한 안테나와 무선 인터페이스 및 메쉬 라우터의 비용은 현재 판매되고 있는 옥외용 제품들을 참고하였다^[11~12].

그림 2는 게이트웨이의 용량(W_G)을 1Gbps로 고정

표 2. 모의실험 파라미터
Table 2. Simulation Parameters.

파라미터	값			
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
W_G (Mbps)	1000	10~1500	1000	1500
U_{ij} (Mbps)	4~27	10	12~19	4~10
N	6			5
C_D	\$ 229			
α	1			
μ	1			
C_O	\$ 219			
C_R	\$ 2,000			

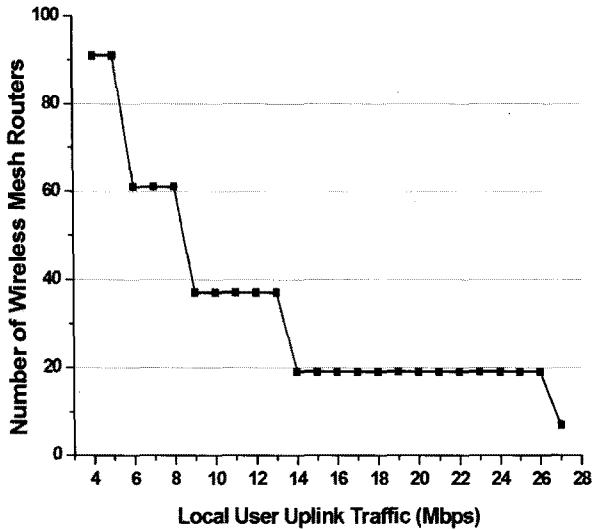


그림 2. 사용자의 상향 트래픽 크기에 따른 무선 메쉬 라우터의 수
 Fig. 2. Number of Wireless Mesh Routers vs. Local User Uplink Traffic.

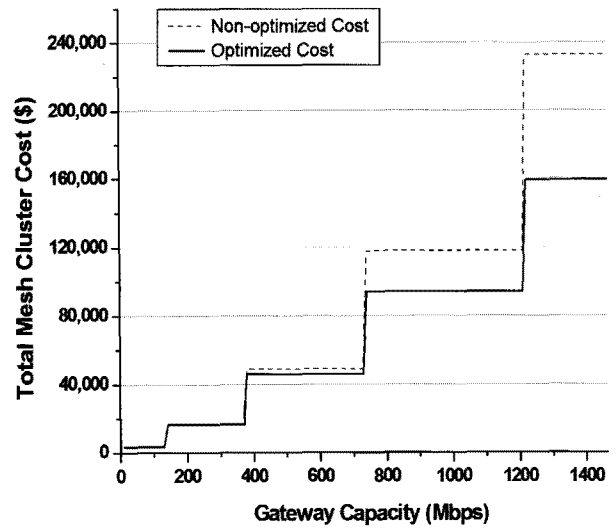


그림 4. 게이트웨이 용량에 따른 메쉬 클러스터 구축비용
 Fig. 4. Mesh Cluster Cost vs. Gateway Capacity.

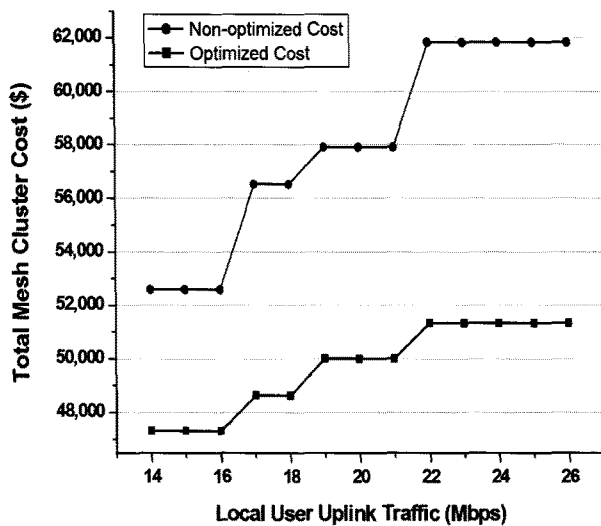


그림 3. 사용자 상향 트래픽 크기에 따른 클러스터 구축비용
 Fig. 3. Mesh Cluster Cost vs. Local User Uplink Traffic.

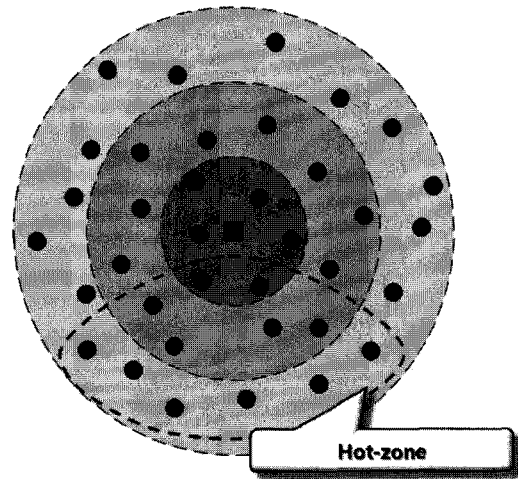


그림 5. Hot-zone 모델
 Fig. 5. Hot-zone Model.

한 경우로 메쉬 라우터에서 발생하는 사용자의 상향 트래픽의 변화에 따른 메쉬 라우터의 수의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 사용자의 상향 트래픽에 따라 전체 메쉬 라우터의 수가 감소하는 추세를 보인다.

이는 게이트웨이의 용량을 초과함에 따라 게이트웨이와 첫 번째 홉에 위치한 메쉬 라우터 간 병목현상을 없애기 위해 메쉬 클러스터의 구성 홉 수를 줄이기 때문이다.

또한 그림 3에서 볼 수 있듯이 최적화 된 메쉬 클러스터가 전체적으로 더 낮은 구축비용을 보인다는 것을 확인 할 수 있다. 이는 최적화되지 않은 메쉬 클러스터의 경우 첫 번째 홉 이후에 위치한 메쉬 라우터에 필요한 무선 채널 용량 이상의 불필요한 안테나가 설치되어 구축비용의 낭비가 발생하기 때문이다.

이와 다르게 최적화된 메쉬 클러스터는 각 홉에 위치한 메쉬 라우터의 무선 채널 사용량을 만족하는 최소의 안테나를 차등적으로 배치하였기 때문에 구축비용이 최소화된다.

그림 4는 사용자의 상향 트래픽의 크기가 10Mbps일 때 게이트웨이의 용량에 따른 메쉬 클러스터의 구축비

용의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 게이트웨이의 용량이 증가함에 따라 구축비용도 계단 형태로 함께 증가한다.

이는 게이트웨이의 용량이 커지면서 메쉬 클러스터의 규모가 커지고, 이에 따라 무선 메쉬 라우터의 수 및 이에 설치된 안테나의 수도 증가하기 때문이다. 또한 게이트웨이의 용량이 증가할수록 구축비용의 증가폭이 커지는 것을 확인할 수 있다. 최적화된 메쉬 클러스터의 경우 이 증가폭의 변화가 최적화되지 않은 메쉬 클러스터보다 작다. 따라서 제안한 최적화 모델은 메쉬 클러스터의 규모가 클수록 더욱 큰 구축비용의 감소효과를 보인다고 할 수 있다.

는 클러스터 내 Hot-zone이 존재하는 네트워크 구조이다. Hot-zone은 일반 메쉬 라우터에서 발생하는 트래픽에 비해 1.2~2배 정도 많은 트래픽을 발생하는 메쉬 라우터들이 배치된 모델이다.

그림 6은 그림 5의 전체 지역 중 Hot-zone이 차지하는 영역이 16.7%, 33.3%, 50%를 차지할 때 Hot-zone의 라우터들에서 발생하는 상향 트래픽 양을 조절한 결과이다. 그림 6의 (a)~(c)는 일반 메쉬 라우터의 상향 트래픽이 10Mbps이고 게이트웨이 용량이 1Gbps일 때, Hot-zone

이 차지하는 비율에 따른 결과이다. 그림 6의 (d)는 각각의 경우에서 최적화를 통해 얻은 비용 이득을 나타낸 그래프이다.

그림 6의 (a)~(c)에서 볼 수 있듯이 Hot-zone이 존재하는 시스템 모델에서도 최적화를 통해 비용 이득을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 6의 (d)를 통해 클러스터내의 Hot-zone의 비율이 커질수록 비용 이득이 커짐을 확인할 수 있다. 결과적으로 일반 메쉬 라

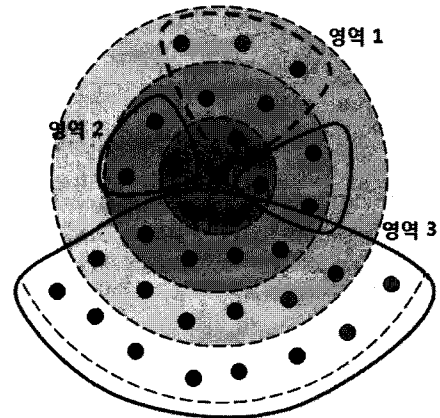


그림 7. 불규칙 분포 메쉬 클러스터 모델
Fig. 7. Irregular Mesh Cluster Model.

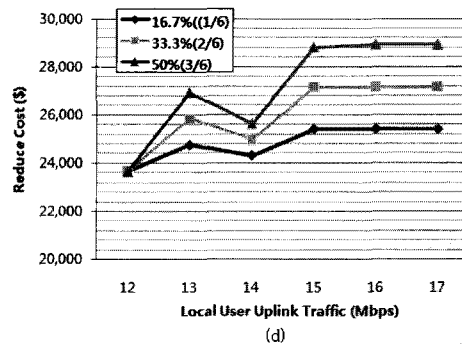
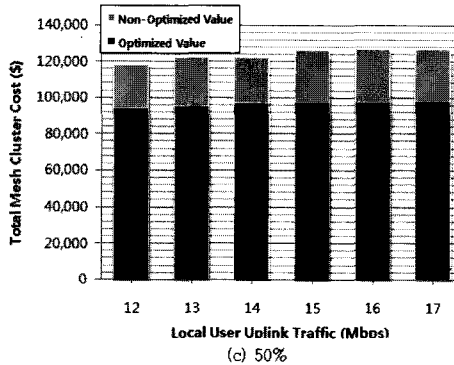
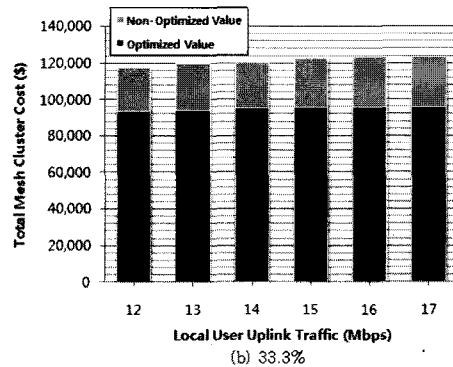
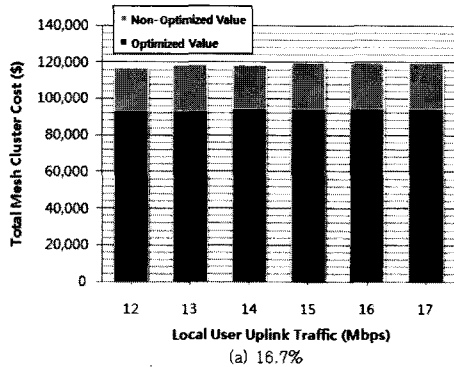


그림 6. Hot-zone의 범위 변화에 따른 메쉬 클러스터 비용
Fig. 6. Mesh Cluster Cost with Hot-zone Region.

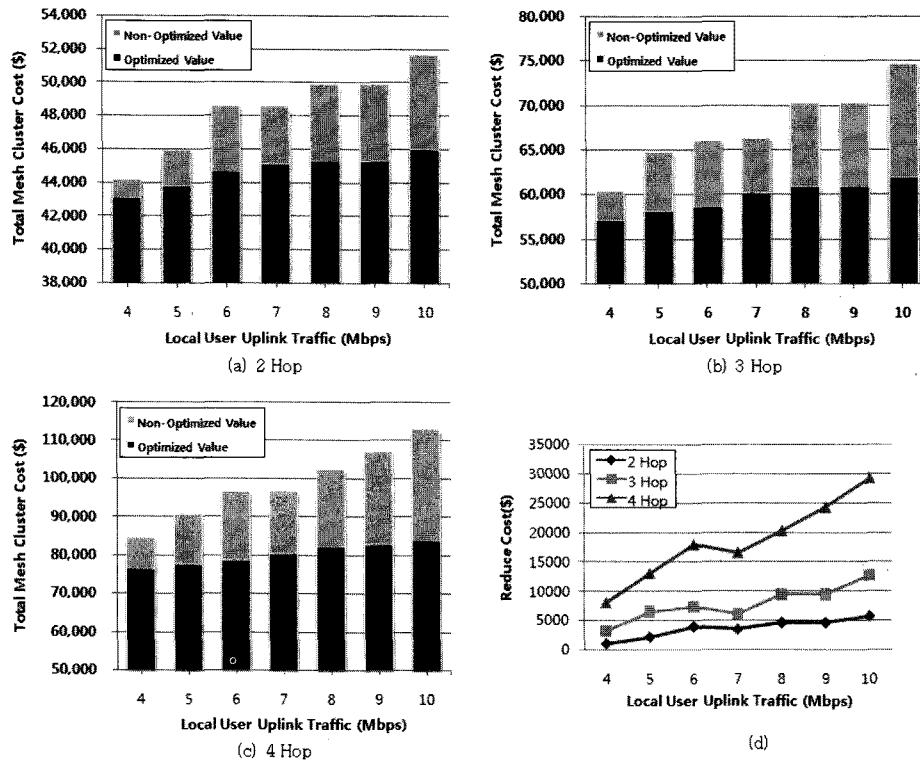


그림 8. 불규칙 메쉬 클러스터 변화에 따른 메쉬 클러스터 비용
 Fig. 8. Mesh Cluster Cost with Irregular Mesh Cluster.

우터가 배치된 지역에 비해 Hot-zone의 경우 하위 홉의 메쉬 라우터의 트래픽 양이 일반 메쉬 라우터의 많은 양보다 많기 때문에 다음으로 전송되어지면서 누적되어지는 트래픽의 양이 증가하고 따라서 1홉 메쉬 라우터에서 필요로 하는 안테나의 수가 증가하게 된다. 따라서 Hot-zone에 해당하는 메쉬 라우터의 수가 증가할수록 최적화 정도가 증가하게 된다.

그림 7은 클러스터가 기존 단순 방사형이 아닌 불규칙 분포 메쉬 클러스터 모델이다. 이때 각 영역은 각 홉마다 서로 다른 안테나 수의 배치가 필요하다. 따라서 시뮬레이션은 영역 1, 2는 고정하고 영역 3의 홉 수를 조절하여 일그러진 정도를 변화시켰다.

그림 8은 게이트웨이 용량을 1,500Mbps일 때, 그림 7의 모델에서 영역 3의 홉 수를 변화시켜가며 최적화를 진행한 결과이다. 그림 8의 (a)~(c)는 영역 3의 홉 수를 각각 2~4 홉으로 조절하여 클러스터의 구조를 변화시킨 결과이며 그림 8의 (d)는 (a)~(c)를 최적화하여 얻은 비용 이득이다. 그림 8의 (d)를 통해 홉 수가 증가할수록 즉, 클러스터의 규모가 커질수록 비용 이득이 증가한다는 것을 확인 할 수 있다. 이때 영역 1, 2의 메쉬 라우터의 수는 변화가 없지만 영역 3의 크기 변화로 인하여 네트워

크의 크기와 모양에 따라 최적화 정도가 달라짐을 확인할 수 있다.

영역 1, 2의 경우에는 홉 수가 일정하므로 최적화 되는 양이 일정하지만 영역 3의 경우에는 하위 노드의 수에 따라 상위 홉의 메쉬 라우터에 전송되는 트래픽의 양이 변화하므로 이에 따라 최적화가 달라진다. 즉, 영역 3의 변화는 전체 최적화에 가장 큰 영향을 미치고, 영역의 크기가 커질수록 최적화를 구해 비용 감소 효과가 커짐을 확인할 수 있다. 또한 Case 3, 4를 통해 다양한 형태의 클러스터 구조에서도 제안한 MIP 모델이 적용 가능함을 알 수 있다. 따라서 다양한 형태의 네트워크 구조일 경우에도 MIP 모델을 적용하여 클러스터 최적화를 통해 전체 네트워크 최적화가 가능하다.

IV. 결 론

무선 메쉬 네트워크는 사용자 트래픽이 게이트웨이로 집중되어 병목현상 문제가 발생하는 구조적인 특성을 가지고 있다. 또한 멀티 라디오 환경에서는 불필요한 안테나의 설치로 구축비용이 증가하는 문제가 발생하기 때문에 효율적인 네트워크 구축을 위해서는 최적

화가 필수적이다.

이에 본 논문에서는 기존 최적화 방법과 달리 네트워크 설계 단계에서부터 메쉬 클러스터를 먼저 최적화 한 후 이를 배치하여 무선 메쉬 네트워크를 구축하여 구축 비용을 최소화하는 방안을 제안하였다. 그리고 이때 발생하는 문제점을 해결하기 위해 최적화된 메쉬 클러스터의 규모를 결정하고, 각 메쉬 라우터의 무선 채널 사용량에 따른 안테나 수의 차등배치를 통해 메쉬 클러스터의 구축비용을 최적화 할 수 있는 MIP 모델을 도출하였다. 또한, 제안한 MIP 모델의 성능 평가를 위해 최적화 툴인 CPLEX를 사용하여 최적해를 구해본 결과 제안한 MIP 모델을 통해 많은 구축비용이 절약되는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Ashish Raniwala and Tzi-cker Chiueh, "Architecture and Algorithms for IEEE 802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Network," in Proc. of IEEE INFOCOM, Mar. 2005.
- [2] R. Karrer, A. Sabharwal and E. Knightly, "Enabling Large-scale Wireless Broadband: The Case for TAPs," in Proc. of HotNets, Nov. 2003.
- [3] S. Faccin, C. Wijting, J. Kenck and A. Damle, "Mesh WLAN Networks: Concept and System Design," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 13, no. 2, pp. 10-17, Apr. 2006.
- [4] I. F. Akyildiz and X. Wang "A Survey on Wireless Mesh Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 43, no. 9, pp. S23-S30, Sep. 2005.
- [5] R. Prasad and H. Wu, "Minimum-Cost Gateway Deployment in Cellular Wi-Fi Networks," in Proc. of IEEE CCNC, pp. 706-710, Jan. 2006.
- [6] R. Prasad and H. Wu, "Gateway Deployment optimization in Cellular Wi-Fi Mesh Networks," *IEEE Journal of Networks*, Vol. 3, no. 3, pp. 31-39, Jul. 2006.
- [7] B. Aoun, R. Boutaba, Y. Iraqi and G. Kenward, "Gateway Placement Optimization in Wireless Mesh Networks With QoS Constraints," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 24, no. 11, pp. 2127-2136, Nov. 2006.
- [8] Bing He, Bin Xie, and Dharma P. Agrawal, "Optimizing the Internet Gateway Deployment in a Wireless Mesh Networks," in Proc. of IEEE MASS, Oct. 2007.

- [9] F. Li, Y. Wang and X. Li, "Gateway Placement for Throughput Optimization in Wireless Mesh Networks," in Proc. of IEEE ICC, pp. 4955-4960, Jun. 2007.
- [10] IEEE Std. 802.11a-1999, "Supplement to IEEE 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: high-speed physical layer in the 5 GHz band," 1999.
- [11] <http://www.networkworld.com>
- [12] <http://www.wifi-parts.com>

저 자 소 개



이 지 수 (정회원)
2009년 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)
2009년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정

<주관심분야 : Wireless Mesh Network, Optimization>



유 명 식 (평생회원)
1989년 고려대학교 전자전산공학과 (공학사)
1991년 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년 SUNY at Buffalo Dept. of EE (공학박사)

2000년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수

<주관심분야 : Wireless mesh network, Wireless sensor network, Ad-hoc routing protocol, Optical network>