

와이메쉬 테스트베드를 통한 미래 지향적 메쉬 네트워크 설계

이준희, 이경한, 이진성, 이안석, Sachin L. S., 정송
KAIST 전자전산학부

junhee@netsys.kaist.ac.kr, song@ee.kaist.ac.kr

요약문

기하급수적으로 늘어나는 디지털 데이터를 유비쿼터스 환경에서 사용하고자 하는 요구가 증가하고 있다. 이를 충족 시킬 수 있는 새로운 기술적 접근 중 하나가 무선 메쉬 네트워크이다. 메쉬 네트워크는 현재 무선 서비스의 주종을 이루고 있는 셀기반망과 필연적인 경쟁을 통해 시장에서 지속적인 이익을 창출할 수 있는 미래 광역 통신망을 향해 수렴하며 진화해 갈 것이다. 우리는 이러한 메쉬 네트워크의 기술적 요구에 부응하고자 메쉬 네트워크 테스트베드를 KAIST에 구축하였고 이를 바탕으로 다양한 실험과 연구를 수행하고 있으며, 미래 인터넷에 적합한 미래 지향적 메쉬 네트워크를 설계할 것이다.

1. 서론

최근 10여년간 광역 무선 통신 서비스는 셀기반의 음성통신 서비스와 이를 개선한 저속의 데이터 통신 서비스가 주류를 이루었다. 올해 IDC가 조사한 바에 따르면 인류는 161 엑사바이트 (Exabyte 10^{18} byte)의 디지털 데이터를 생산하였으며 2010년에는 988 엑사바이트로 그 양이 확대될 것이라고 한다[1]. 지난해 붐을 일으키며 폭발적으로 성장한 UCC(User Created Contents)를 떠올리면 그리 놀랄만한 일은 아니다. 해마다 증가하는 엄청난 양의 디지털 데이터와 더불어, 이를 야외 및 이동 환경에서도 자유롭게 이용하고자 하는 욕구가 유비쿼터스 환경 구축과 맞물려 증가하고 있어 CDMA 1x EVDO, EVDV 등의 초기 광역 데이터 통신도 HSDPA, WiBro 등으로 빠르게 재편되고 있는 상황이다. 한편 이러한 흐름에 부응하고자 등장한 새로운 방향으로의 기술적 접근이 있으며, 그것이 메쉬 네트워크이다. 메쉬 네트워크는 기존의 무선랜 기반의 HotSpot 서비스와 기반망(Infrastructure)이 전혀 없는 애드혹 네트워크의 중간 형태로써 HotSpot 서비스의 최대 단점이었던 짧은 무선 반경과 그에 따른 빈번한 유선 네트워크 설치(Cabling)의 어려움을 메쉬 라우터라는 무선 중계 노드를 두어 해결한 새로운 광역 데이터 서비스 네트워크이다. 현존하는 메쉬 네트워크 솔루션들은 일종의 Pre-Product 형태로 광역 데이터 서비스임을 선언하기엔 내재된 프로토콜들의 성숙도가 미흡하지만 궁극적인 측면에선 기술적 성숙과 설치비용, 제품가격의 저렴함을 발판으로 셀기반의 광역 데이터 통신 서비스들과 경쟁할 수 있을 것으로 기대된다.

차세대 광역 데이터 통신 서비스를 위한 네트워크의 진화방향과 이를 대표하는 두 진영의 장단점과 차이점을 살펴보자. WiBro를 비롯한 WiMax는 802.16j MMR (Mobile Multihop Relay)의 표준화를 진행하는 등 음영지역 해소, 셀 용량 증가의 목표를 두고 멀티홉으로 진화하고 있고, 메쉬 네트워크는 간섭이 적은 주파수 대역의 선택, TDMA와 CSMA의 장단점

을 혼합한 MAC 구조의 개발, 메쉬 특성에 맞는 라우팅 프로토콜 개발 등의 방향으로 진화하고 있다. 미래의 광역 데이터 통신망의 키워드가 "지속적인 업그레이드가 가능한 물리계층", "저렴한 설치/업그레이드/확장 비용", "지능적인 자가복구를 통한 적은 관리/보수 비용" 등, 사용자들의 늘어나는 무선 데이터에 대응할 수 있으면서도 확장/관리 비용의 최소화를 통한 지속적인 이익 창출이 가능한 형태라는 것에 동의한다면, 현재 셀기반의 통신망과 메쉬 네트워크는 미래의 광역 통신 망을 향해 수렴 중이라고 말할 수 있다. 이는 궁극적으로 두 기술이 Converge하는 과정에서 취사 선택된 기술들이 그 동질성으로 인해 자연스럽게 융합 될 것임을 의미한다. 그러면 이제 셀 기반 통신망과 메쉬 네트워크의 현 시점에서의 장단점을 살펴보자. 이를 통해 미래의 통신망을 예측할 수 있을 것이다. 먼저 셀 기반 통신망이 메쉬 네트워크 대비 장점은, 중앙 집중적인 정보 관리를 통한 스케줄링(MAC) 효율의 우위, 독점적인 주파수 사용을 통한 채널 품질 보장, AAA로 대변되는 보안, 인증, 과금 체계, 넓은 무선 반경으로 인한 이동성 지원의 용이성 등이 있다. 반면, 단점은 높은 기지국 설치 비용 및 보수/관리 비용, 셀 경계에서의 낮은 통신 속도, 설치 비용의 최소화를 위한 복잡한 셀 설계 과정 등이 있다. 메쉬 네트워크의 셀 기반 통신망 대비 장점은 저렴한 초기 설치/확장 비용, 더 넓은 대역폭을 통한 고속 통신 지원, 다중경로(Multipath)로부터 생기는 고장포용(Fault Tolerance), 작은 무선 반경으로 인해 얻을 수 있는 높은 무선 공간 효율(Spatial Efficiency), 복잡한 셀 설계 과정의 불필요 등을 언급할 수 있고 반면, 단점은 현 시점에서 신뢰성 높은 야외 장비의 부재, 무선 멀티홉으로 인한 전송률(Throughput) 감소, 분산화된 MAC 기법으로 인한 MAC 효율 저하, 잦은 핸드오프로 인한 고난도 이동성 지원의 어려움 등이 있다. 두 기술은 모두 최신 통신 기술을 꾸준히 흡수 하고 있기 때문에 OFDM, MIMO 등으로 인해 증가되는 주파수 효율(Spectral Efficiency) 측면에서는 우열을 가리기 힘들다. 따라서 위에 나열된 장단점을 메쉬 네트워크가 진화할 측면에서 바라보면, 개개의 메쉬 라우터들을 간단한 구조로 유지하면서 설치/확장/업그레이드 비용의 최소화 및 공간효율의 극대화 와 더불어 네트워크 효율을 최대화하는 것으로 정리될 수 있다.

지금까지 살펴본 것과 같이 메쉬 네트워크는 미래의 광역 데이터 통신망이 요구하는 일부 필수 요소들을 이미 가지고 있으며 이는 현재 메쉬 네트워크가 주목 받는 이유이기도 하다. 우리는 메쉬 네트워크의 진화 방향이 위와 같을 것으로 보고 KAIST에 메쉬 네트워크를 설계/구축 하였으며, 하드웨어/소프트웨어에 걸친 메쉬 네트워크 각 부분을 다음의 여러 장을 통해 설계과정부터 구축된 최종 형태까지 다룰 것이다. 본 논문은 메쉬 네트워크를 이미 연구하거나 새롭게 구축하는 연구 그룹에게 KAIST의 테스트베드 구현 경험을 토대로 충분한 가이드라인이 될 수 있을 것이라 기대하며 다음의 순서로 구성하였다. 2장에서는 1장에서 언급한 목표를 달성하기 위한 상위 레벨 설계를 다루고, 3장에서 이를 달성하기 위한 하드웨어 선정 과정을 다루며, 4장에서는 노드의 실제 설치 과정과 방법을 논의한다. 5장에서는 메쉬 네트워크를 위해 개발되어야 할 프로토콜에 대해 자세하게 알아보고, 마지막 장에서는 결론을 맺는다.

2. 상위 레벨 설계

본 장에서는 차세대 액세스 망으로서의 메쉬 네트워크가 궁극적으로 추구해야 할 형태에 대해 논의한다. 본 논의는 메쉬 네트워크의 전체 구조(Architecture), 노드 개개의 구조, 계층별 프로토콜 구조 측면에서 진행되며 이를 통해 앞으로 여러 장에 걸쳐 실질적인 KAIST 메쉬 네트워크 구조의 결정 과정을 소개한다.

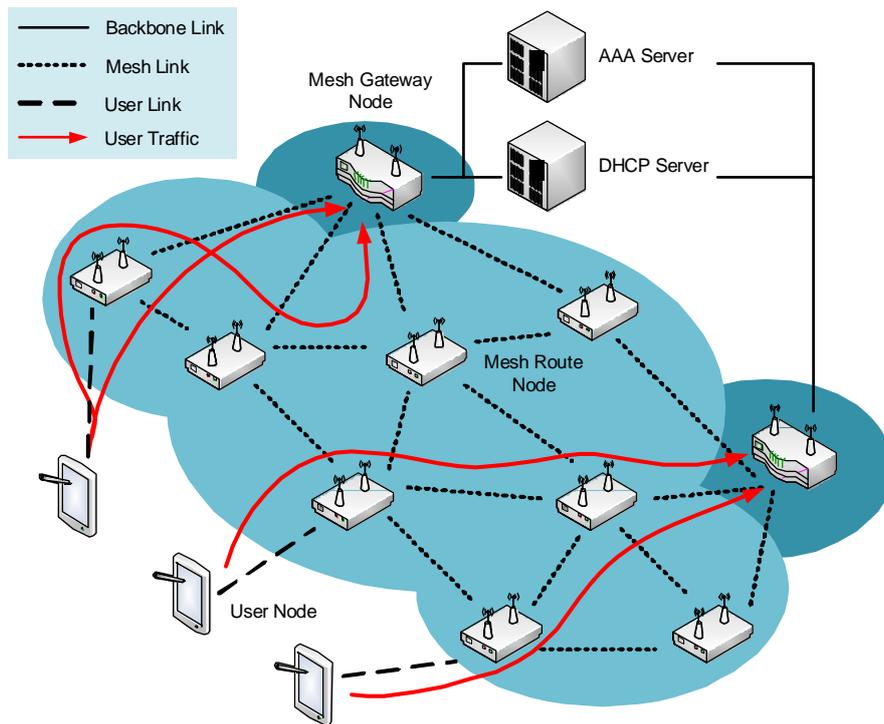


그림 1 메쉬 네트워크의 전체구조 및 노드 구성

먼저 메쉬 네트워크의 전체 구조 및 노드 구성을 보자. [그림 1]과 같이, 유선 네트워크와 연결되어 메쉬 네트워크의 트래픽을 유선 백본망과 주고 받는 메쉬 게이트웨이(Mesh Gateway Node)가 있고, 메쉬 게이트웨이와 무선 메쉬 링크(Mesh Link)로 연결되어 넓은 영역에 퍼져있는 사용자(User Node)들에게 서비스를 제공하는 메쉬 라우터(Mesh Route Node)가 있다[2][3]. 여기서 메쉬 네트워크는 사용자와 메쉬 라우터를 연결하는 사용자 링크(User Link)와 메쉬 라우터간 또는 메쉬 라우터와 메쉬 게이트웨이를 연결하는 메쉬 링크(Mesh Link)가 어떤 종류의 통신 기술을 사용하는가에 따라 이종 메쉬망(예: 메쉬 링크(802.16), 사용자 링크(802.11)) 또는 동종 메쉬망으로 구분할 수 있다. 본 논문에서 다룬 KAIST 메쉬 네트워크는 단순한 하드웨어 구성과 저렴한 구축 비용을 추구하는 동종 메쉬망을 지향하고 있기 때문에는 동종 메쉬망을 기준으로 논의를 진행한다. 동종 메쉬망은 보편적으로 고속 무선 전송이 가능한 가장 저렴한 칩셋인 802.11a/g를 기반으로 하며 802.11n이 보편화되는 시기에 맞추어 자연스럽게 802.11n 기반으로 이동할 것으로 보인다. 802.11a/g는 이론적으로 최대 54Mbps/20MHz를 지원하지만 다양한 패킷 오버헤드와 MAC 효율성의 한계 등으로 인해 응용 계층에서 실질적으로 얻을 수 있는 최대 전송률은 그 절반에 해당하는 것으로 알려져 있다. 이를 통해 WiBro 이상의 데이터 통신 품질을 제공하기 위해서는 다수의 인터페이스를 채택하여 802.11에서 이용가능한 100MHz~300MHz의 대역폭을 모두 사용하여 전송률을 비약적으로 증가시키고, 필연적으로 병목현상(Bottleneck)이 발생할 것으로 지목되는 메쉬 게이트웨이의 수를 늘려 부하(Load)를 분산시키는 구조가 필요하다.

다수의 메쉬 게이트웨이는 무선 링크간의 동시 전송을 제약하는 충돌 맵(Collision Map) 상에서 최대의 동시전송이 발생할 수 있는 위치에 물리적으로 분배하여 설치해야 한다. 또한

메쉬 라우터들이 가지는 다수의 채널들은 사용자 링크와 메쉬 링크가 동일 채널(주파수)을 경쟁적으로 사용하거나 다른 채널을 독립적으로 사용하도록 디자인 할 수 있으며, 채널 배분에 대해서는 본격적인 연구가 필요하나, 기본적인 방법으로는 사용자 링크에 1개의 채널을 고정적으로 할당하여 기존의 액세스포인트(AP)에 접속하는 무선랜과 동일한 체감성능을 제공하고 나머지 채널을 메쉬 링크에 할당하는 것이 있다. 메쉬 라우터 및 메쉬 게이트웨이 구조는 다음의 요구 조건을 갖는다. 먼저 메쉬 게이트웨이는 유선 백본망과 연결하기 위해 유선 네트워크 인터페이스가 필요하고 이를 통해 여타의 메쉬 게이트웨이들과 신뢰성있는 연결 및 협조가 가능해야 한다. 메쉬 라우터는 게이트웨이와 달리 높은 유선망 구축 비용(Cabling Cost)을 절약하기 위해 유선 인터페이스 없이, 오직 다수의 무선 인터페이스를 통해 다른 메쉬 노드와 연결되어야 한다. (다수의 무선 인터페이스는 한 개의 MAC 컨트롤러에 다수의 RF 모듈을 장착하여 효율적으로 구현될 수 있으나 저렴한 무선랜 칩셋(한개의 MAC 컨트롤러와 한개의 RF 모듈이 결합)을 다수 장착하는 것이 현재로서는 유리하다.) 또한, 메쉬 네트워크는 현재 지속적으로 연구되고 있는 분야로서 최적의 프로토콜들이 확정되지 않았기 때문에 MAC, 라우팅, 트랜스포트 계층에 걸친 다양한 프로토콜들을 지속적으로 수용할 수 있는 유연한 소프트웨어 구조가 필수적이며 새로운 물리계층으로의 손쉬운 교체, 인터페이스 추가의 용이성 등이 가능한, 하드웨어 확장성도 갖춰야 한다. 따라서 메쉬 네트워크 개발에 있어 여전히 초기 단계인 현 시점에서 가장 적합한 메쉬 라우터 및 게이트웨이의 구조는 리눅스를 탑재한 다수의 PCI 또는 USB 인터페이스를 지니는 범용 PC가 적합하다. 그러나 메쉬 네트워크의 프로토콜들이 성숙기를 지난 후에는 크기의 소형화, 실외환경 최적화, 하드웨어 및 소프트웨어 측면에서의 저전력화, 프로토콜들의 경량화가 동반되어야 하며 이 경우에 요구되는 궁극적인 플랫폼은 범용 PC와 완전히 다른 구조를 갖게 된다. 하드웨어 선정 및 미래지향적인 구조에 대해서는 다음 장에서 자세히 언급하도록 하겠다.

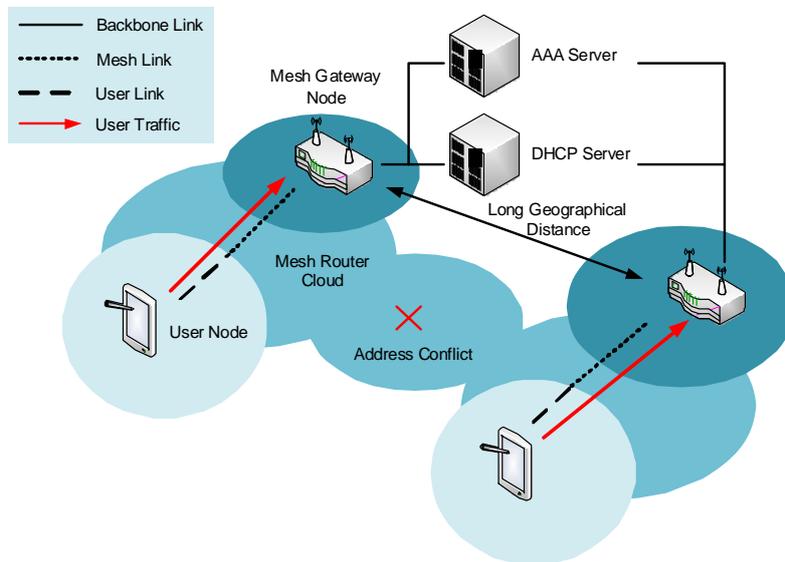


그림 2 메쉬 네트워크의 주소체계

마지막으로 메쉬 네트워크에서 가장 중요한 요소라고 볼 수 있는 계층별 소프트웨어 구조를 하위 계층부터 차례로 살펴보자. 먼저 MAC 프로토콜의 경우, 802.11 기반의 CSMA/CA를 사용하여 기본적인 메쉬 네트워크를 구축할 수 있으나, TDMA 대비 높은 부하 상황에서

MAC 효율성이 크게 떨어지고, 네트워크 토폴로지에 무관하게 스케줄링 하는 등 메쉬 네트워크 상황에 적합하게 개선될 여지가 많이 남아있다. 이에 대해 TDMA와 CSMA의 장점을 혼합하여 최적화한 새로운 구조의 프로토콜들이 제안되고 있다[4][5]. 다음으로 IP 구조를 살펴보자. 만약 IPv4를 사용한다는 가정하에 메쉬 게이트웨이부터 사용자 노드까지 IP가 계층적(Hierarchical)으로 동적인 분배가 이뤄진다면 [그림 2]와 같이 지리적으로 멀리 떨어진 서로 다른 메쉬 게이트웨이로부터 파생된 메쉬 라우터들의 IP가 적절히 혼합되지 못하는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 대규모 메쉬 네트워크 구축을 위해서는 지리적으로 분산된 기존의 IP 체계와 독립적인 사설 IP 체계(Private IP)를 NAT(Network Address Translation)을 이용하여 구축하거나, IP 라우팅시 사이더(CIDR)를 사용하지 않고 풀매칭(Full Matching)을 사용하는 평면적 IP 체계(Flat IP)를 고려해 볼 필요도 있다. 사용자 노드의 이동성 지원을 위한 핸드오프 프로토콜은 Mobile IP를 기반으로 무선랜 환경을 위해 개발된 것들이 다양하게 존재하나, 메쉬 네트워크의 특성인 자유로운 메쉬 라우터 배치, 라우터간 신뢰성있는 연결, 독특한 IP 체계 등을 고려하려면 메쉬 네트워크에 최적화된 프로토콜은 여전히 미지수이다. 메쉬 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜의 경우, 이미 셀수 없이 많은 프로토콜들이 애드혹 네트워크를 위해 개발되었고[6][7][8][28], 메쉬 네트워크는 애드혹 네트워크에서 이동성이 축소된 서브셋으로 접근할 수 있기 때문에 큰 수정 없이 동작하는 라우팅 프로토콜들을 여타 계층에 비해 쉽게 선택할 수 있다. 그러나 메쉬 네트워크 고유의 특성인 다수의 게이트웨이를 통한 부하 분산의 중요성을 감안하면 기존 프로토콜을 개선할 여지는 여전히 존재하며 이를 달성하기 위한 노력이 필요할 것이다. 또한 메쉬 네트워크에서 데이터를 효율적으로 전송하기 위한 전송제어 프로토콜의 경우, TCP는 무선 애드혹 환경에서 부적절한 동작을 한다는 것이 널리 알려져 있으며[9][10], 이를 효율적으로 해결할 수 있는 알고리즘이 현재까지 등장하지 않았기에, 메쉬 네트워크에 적합한 TCP로의 개선 또는 RTP, RTCP 기반의 UDP 전송 기법에서의 전송률 조절 알고리즘을 새롭게 개발하는 방향으로 전송제어 프로토콜의 개발이 이뤄져야 한다. 여기서 논의한 프로토콜들 이외에도 메쉬 네트워크의 경쟁력을 위한 다양한 프로토콜들이 존재하지만 이는 본 논문의 범위를 벗어나며 다른 논문에서 심도있게 다뤄질 수 있을 것이다. 지금까지 언급한 프로토콜들로 메쉬 네트워크를 간략하게 요약해보면 확장성 높은 IP 체계 위에 다수의 메쉬 게이트웨이를 효율적으로 활용할 수 있는 부하 분산 라우팅이 이뤄지고 각각의 데이터 플로우들은 네트워크 상황에 맞춰 유효 적절하게 전송률이 조정되며 토폴로지의 이해를 바탕으로 상호 간의 스케줄링시에 메쉬 네트워크의 무선 공간 효율성(Spatial Efficiency) 우위가 극대화 되고 멀티홉, 분산 구조 등에 의한 단점이 최소화 될 것이다.

3. 하드웨어 선정

최근 몇 년 동안 메쉬 네트워크에 관련된 연구가 활발하게 진행되는 동안, 여러 대학교 또는 기업체에서 메쉬 네트워크 테스트베드를 구축이 있어 왔다. 이에 발맞춰 KAIST에서도 교육과 연구를 위한 목적으로 무선 메쉬 테스트베드(WiMesh (Wireless Mesh) Testbed)를 기획하고 설치하게 됐다. WiMesh 테스트베드는 KAIST 반도체설계센터와 학부 기숙사 일대에 총 56대의 무선 메쉬 노드로 구성된 테스트베드이다. 기존의 여러 대학교 또는 기업체의 테스트베드와 KAIST에 설치된 테스트베드의 가장 큰 차이점은 오픈 리서치(Open Research)를 목적으로 기획하고 구현되었다고 할 수 있다. 오픈 리서치라 함은 연구의 주제를 한정하지 않고 물리적 계층에서 애플리케이션 계층에 이르기까지 메쉬 네트워크 전반

에 걸쳐 실험을 진행할 수 있고, 그 결과를 이용하여 완전히 새로운 메쉬 네트워크 구조를 제안할 수 있는 것을 의미한다.

이 장에서는 여러 메쉬 네트워크 테스트베드의 구축사례와 KAIST의 무선 메쉬 테스트베드의 구축을 위한 하드웨어 선정에 대해 이야기하고자 한다. 하드웨어 선택은 그 중요성이 낮아 보일 수 있지만 현실적으로 부딪히는 문제들의 대부분은 이것으로부터 발생하므로 면밀한 검토가 필요하다.

3.1 관련 연구

여러 테스트베드 중 선두주자이며 가장 많이 알려진 것은 MIT의 Roofnet[29]이라 할 수 있다. MIT의 Roofnet은 802.11b mini-PCI 무선 인터페이스를 가진 미니 PC를 메쉬 노드로 이용하였고, 8dBi의 전방향 외장 안테나를 건물 옥상에 설치하여 노드간 연결성을 확보하였다. Roofnet 테스트베드는 하나의 인터페이스, 하나의 채널을 사용하는 반면, WiMesh 테스트베드는 여러 개의 인터페이스를 통해 멀티인터페이스/멀티채널 문제를 고려할 수 있다.

UCSB의 MeshNet[30]은 임베디드 CPU보드에 상용화된 무선 라우터 펌웨어를 변경하는 방법을 통하여 메쉬 네트워크 테스트베드를 구축하였다. MeshNet에서 사용한 무선 라우터는 LinkSys WRT54G 제품으로 임베디드 CPU와 작은 메모리를 가지고 있고, 운영체제로는 임베디드 리눅스를 사용한다. 이러한 방식의 테스트베드는 저가로 메쉬 네트워크를 구축할 수 있다는 장점이 있지만, 장치 드라이버나 라우팅 프로토콜 등 소프트웨어를 변경할 때마다 펌웨어를 다시 써야 하는 번거로움이 발생하므로, 개발 용이성과 확장성이 떨어진다.

Microsoft Research[31]의 MCL(Mesh Connectivity Layer)은 일반 PC에 설치하여 메쉬 네트워크를 구성할 수 있도록 하는 소프트웨어이다. 마이크로소프트 메쉬 네트워크는 자동 구성 프로토콜, 라우팅 프로토콜, 그리고 링크의 특성을 측정하는 기능을 가지고 있고 윈도우 OS가 설치되어 있다면 하드웨어에 관계없이 메쉬 네트워크를 구성할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 리눅스 또는 FreeBSD를 기반으로 진행된 소스코드가 공개된 무선 인터페이스용 디바이스 드라이버를 사용할 수 없다는 단점이 있다. 뿐만 아니라, 대부분의 윈도우용 디바이스 드라이버의 경우 소스코드가 공개되지 않기 때문에 메쉬 네트워크의 MAC 계층을 수정할 수 없다.

3.2 메쉬 노드 하드웨어

WiMesh 테스트베드는 1.4GHz의 동작 주파수를 가진 고성능의 범용 CPU, 512MByte의 램, 그리고 60GByte의 하드디스크를 장착한 미니 PC를 사용하였다[32]. 미니 PC에 있는 2개의 USB 2.0 포트는 USB 타입의 802.11b/g 무선 인터페이스를 장착하여 사용할 수 있고, Ethernet 포트에는 관리를 목적으로 하는 유선 채널을 연결할 수 있다. 메쉬 노드의 운영체제는 리눅스 커널 2.6 버전을 사용하였다.

메쉬 노드를 구현하기 위해 UCSB의 MeshNet[30]과 같은 형태로 무선 라우터를 이용하는 간단한 방법이 있으나 고성능 미니 PC와 리눅스 운영체제를 선택하게 된 배경은 메쉬 노드의 충분한 처리능력을 확보할 수 있고, 이를 이용하여 무선 트래픽의 분석과 메쉬 네트워크의 관리를 가능하게 할 뿐 아니라 연구 및 교육을 목적으로 디바이스 드라이버 또는 프로토콜 스택 등 여러 프로그램의 수정 및 적용이 용이하기 때문이다. 이러한 연유로 고성능 미니 PC를 선택하게 되었다.

WiMesh 테스트베드에 사용된 무선 인터페이스는 Ralink사의 RT2570 칩셋을 사용한

LinkSys WUSB54G 제품[33]과 공개 프로젝트로 진행된 리눅스용 RT2570 드라이버를 사용하였다[34]. 앞서 소개된 대부분의 현존하는 메쉬 네트워크 테스트베드에서 PCI, 또는 mini-PCI 타입의 무선 인터페이스를 사용하는 반면, 우리의 테스트베드는 USB 타입의 무선 인터페이스를 사용하였다. USB 타입의 인터페이스를 선택한 가장 큰 이유는 멀티 인터페이스를 이용한 멀티 채널 메쉬 네트워크를 구축하기 위해서이다. PCI, 또는 mini-PCI 타입의 인터페이스는 최대로 장착할 수 있는 인터페이스의 수가 슬롯 수에 의해 한정되기 때문에, 대부분의 테스트베드에서는 하나 혹은 두 개의 인터페이스만을 장착하여 사용하고 있다. 하지만, WiMesh 테스트베드와 같이 USB 타입의 인터페이스를 사용하는 경우에는 USB 허브를 사용하여 장착할 수 있는 인터페이스의 수를 임의로 증가시킬 수 있는 장점이 있다.

PCI 타입의 인터페이스와 달리, 대부분의 USB 타입의 인터페이스 카드에는 기본적으로 내장형 안테나가 장착되어 있고, 외장형 안테나를 장착하는 포트가 따로 제공되지 않는다. 따라서 우리의 테스트베드에서는 기본적으로 USB 타입의 무선 인터페이스 카드에 장착된 2dBi의 내장 안테나를 사용하였다. 하지만 노드간 거리가 멀어 내장 안테나로 연결성을 확보할 수 없는 경우에는 USB 타입의 인터페이스 카드를 개조하여 외장 안테나를 연결할 수 있는 포트를 장착하고, 외장 안테나를 연결하여 사용하고 있다.

4. 토폴로지 설계 및 구축

이 장에서는 테스트베드를 설치하기 위한 기획 단계에서부터 설치하면서 발생되었던 문제들, 고려해야 할 사항, 이미 발표된 내용[11] 등을 상세히 기술함으로써 이를 통해 테스트베드를 구현하고자 하는 많은 분들에게 도움을 주고자 한다. 본 장에서는 IEEE 802.11 기반의 메쉬 네트워크 테스트베드로 범위를 한정한다.

4.1 계획

처음 테스트베드를 기획하는 단계에서 가장 먼저 고려해야 할 사항은 아이러니하게도 예산이다. 테스트베드의 설치는 이론적인 문제를 다루거나 시뮬레이션으로 결과를 얻는 것이 아니라 실제 설치를 하고 동작을 해야 하는 현실적인 문제이기 때문에 가장 먼저 다가오는 것은 주어진 예산이다. 예산 범위 내에서 목표를 달성해야 하기 때문에 기본적으로 메쉬 노드의 개수, 설치를 위한 공사의 범위, 제작 또는 개발되어야 할 기구 및 기기 등이 먼저 결정해야 한다. 그렇다면 예산 범위 내에서 가장 먼저 결정하는 사항은 당연히 메쉬 노드의 개수가 될 것이다.

메쉬 노드의 개수가 결정이 되면, 위치선정과 설치형태가 결정이 되어야 한다. 위치선정에 있어 가장 고려해야 할 사항은 무선간섭(Wireless Interference)이다. 대부분의 캠퍼스에서 802.11 무선랜이 충분히 많이 설치되어 있다. 특히 KAIST의 경우 KT의 IPv6무선 테스트베드가 각 건물마다 30~60여대, 캠퍼스 전 지역에 걸쳐 총 400여대가 이미 설치되어 이들과의 간섭을 피하기 위해서 무선 청정지역이 필요했다. 기존에 설치되어 있는 무선랜과의 간섭이 심하면 테스트베드를 통해 얻고자 하는 결과에 심각한 왜곡이 발생할 수 있기 때문이다. 물론 이러한 간섭까지 고려한 테스트베드를 기획한다면 이 문제는 중요하지 않을 수도 있다.

무선간섭 다음으로 고려해야 할 사항은 전원과 유선네트워크의 연결성이다. 간섭을 피하기 위해 건물로부터 멀어지게 되면 전원과 유선네트워크로부터도 멀어진다. 전원과 유선네트워크는 테스트베드의 필수 사항이다. 전원은 기기의 동작을 위해 반드시 필요하고 유선네트워

크의 연결은 테스트베드에서 실험하거나 관측된 사실을 수집하고 관리하기 위해 반드시 필요하다. 인밴드(In-Band)를 이용하여 관리 및 측정 데이터를 전송할 경우, 무선 특성상 연결성 확보에 어려움이 많고 실험자체에 간섭으로 큰 영향을 줄 수 있기 때문에 메쉬 노드에 유선네트워크의 연결은 필수적이다. 따라서, 위치선정과 설치형태 선정에서 유선네트워크의 비중은 매우 크다고 할 수 있다. 전원의 경우 일반적으로 설치하고자 하는 위치에서 멀지 않은 곳에서 찾을 수 있으나 유선네트워크의 경우는 그렇지 않기 때문에 공사비용이 과다하게 책정될 수 있다.

이외에 고려할 사항은 메쉬 노드의 접근성, 안전성 및 안정성을 들 수 있다. 이들을 모두 적절하게 고려한 WiMesh 테스트베드의 위치는 비교적 학교의 외곽지역이면서 무선네트워크 사용가능성이 높은 학부 기숙사지역과 네트워크시스템 연구실이 위치한 반도체설계센터로 정하게 되었다.

4.2 토폴로지 설계

메쉬 네트워크의 구조는 앞서 설명한 것처럼 메쉬 게이트웨이, 메쉬 라우터, 그리고 이 라우터에 무선 접속하는 사용자로 구성하는 것이 일반적이다[2][3]. 노드간의 연결성을 확보하기 위해서는 가장자리에 있는 노드를 제외하고는 이웃 노드가 6개 내외가 될 수 있도록 구성하는 것이 전체 토폴로지 유지를 위해 유리하다[12]. 각 노드의 위치 선정을 위해 사전 조사를 하여 임의의 위치간 연결성 및 전송속도를 측정하고 이 값을 토대로 토폴로지를 설계하는 것이 좋다. 다음은 메쉬 노드 설치를 위한 기본 전략을 요약하였다.

- i. 설치 지역 어디에서도 테스트베드에 접속이 되도록 한다.
- ii. 중심 게이트웨이로 특정이상의 전송률(예: 1Mbps이상)이 되는 연결경로가 최소한 하나 이상은 존재하도록 한다.
- iii. 임의의 두 메쉬 노드 간 연결경로가 2개 이상 존재하도록 한다.
- iv. 모든 메쉬 노드는 게이트웨이로써 설정 가능하며, 임의의 노드그룹에서 외부 노드로 연결되는 경로의 전송률이 특정 전송률(예: 2Mbps 이상)이상이 되지 않으면, 그 지역을 섬(Island)으로 정의하고 게이트웨이를 따로 설정하는 것이 유리하다.

메쉬 네트워크의 구조와 설치 위치를 결정한 다음에는 주소체계에 대해 고려해야 한다. 메쉬 네트워크 내의 주소 사용을 위한 방안은 크게 메쉬 네트워크의 라우터, 사용자 모두가 같은 넷 마스크를 가지는 단일계층주소체계(Flat Address)와 메쉬 노드를 기준으로 백본망, 메쉬 노드에 접속한 사용자망으로 구분하는 계층주소체계(Hierarchical Address) 두 가지 방법이 있다. 이 두 가지 방식은 이동성 지원, 네트워크 테이블 관리, 주소 자원 효율성 그리고 구현의 어려움 등에 따라 장단점이 있다. 예를 들어 단일계층주소방식을 사용할 경우는 메쉬 네트워크 전체를 단일 네트워크로 보기 때문에 이동성 지원 및 주소자원의 효율성 측면에서 유리하다. 그러나 라우팅을 위한 테이블 관리가 잦아지고 이를 위한 메세지 전송이 과도하게 발생하며, 전체 주소자원을 공유하기 때문에 구현에도 어려움이 있게 된다. 그러므로 테스트베드 설계 목적에 맞게 주소체계를 선택하는 것이 중요하다.

주소체계를 고려하면서 ‘NAT (Network Address Translation)는 필수적인가?’라는 질문을 하게 되었다. 공교롭게도 이 질문에 대한 현실적인 답은 ‘Yes’이다. 각 메쉬 노드 및 사용자에게 할당하는 주소는 상용 IP를 사용하여도 무방하다. 그러나 게이트웨이를 분기점으로 인터넷을 연결하는 유선인터페이스의 주소와 메쉬 백본망을 연결하는 무선인터페이스 주소가 NAT없이 연결되도록 할당할 수 있는 상용 IP가 얼마나 남아 있을까? 또한 인터넷의 라우팅

프로토콜과 메쉬 네트워크의 라우팅 프로토콜이 다르다면 이 두 영역을 구분하는 것은 당연히 필요하다. 그 경계는 게이트웨이가 될 것이며, 여기서 NAT를 수행하는 것이 적절할 것이다. 사용자의 주소할당을 위한 DHCP는 단일계층주소체계, 계층주소체계에 따라 DHCP 서버의 위치가 달라질 수 있으나 기본적으로 메쉬 라우터는 DHCP 서버 또는 DHCP 중계기 역할을 수행해야 한다.

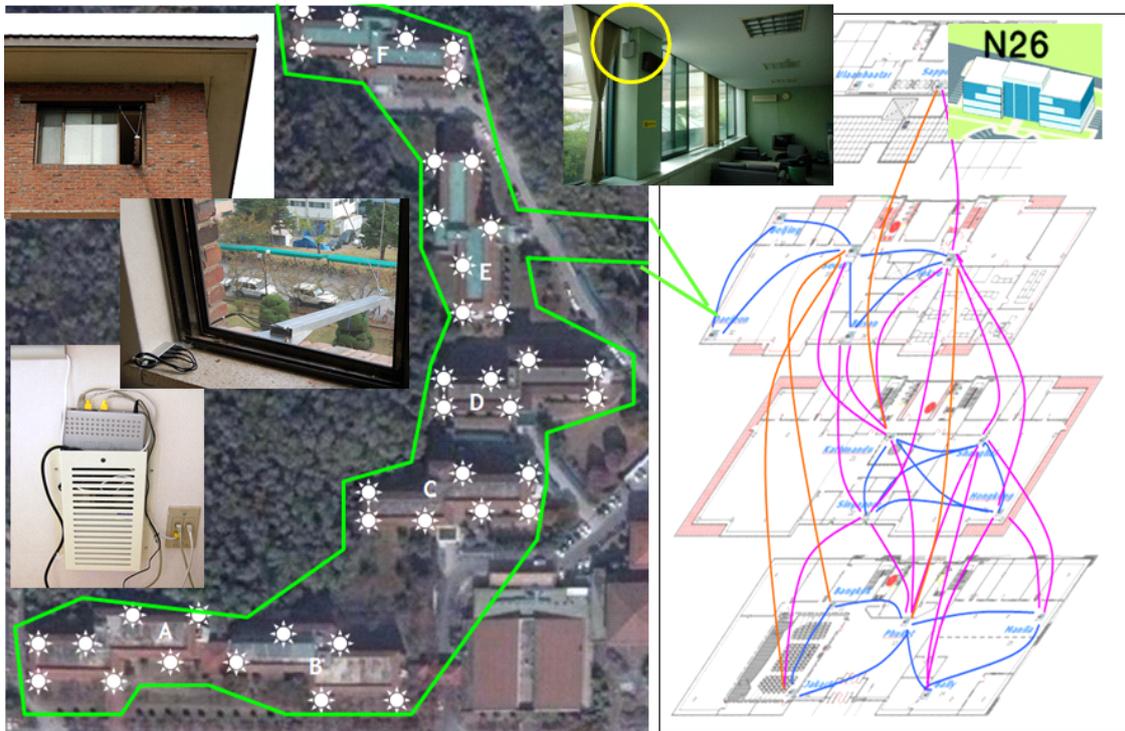


그림 3 학부기숙사 지역에 설치된 WiMesh 테스트베드[좌]와 반도체설계센터에 설치된 메쉬노드의 위치와 연결지도[우]

이 외에 간과해서는 안 될 고려사항은 다음과 같이 간략히 정리할 수 있다.

ARP Proxy의 설정

ARP Proxy의 설정이 반드시 필요한 이유를 이해하기 위해서는 L2/L3 스위칭에 대한 이해가 우선적으로 필요하다. L2 스위칭이라 함은 IP 주소와 넷마스크로 정의되는 네트워크가 같은 노드간의 스위칭이며, L3 스위칭은 그렇지 않은 경우에 대한 것이다[13]. 그러나 네트워크 스위치의 경우 L2/L3 스위칭을 구분하나, 일반적으로 테스트베드에 사용되는 메쉬 노드는 리눅스 또는 그와 유사한 OS에 탑재된 라우팅 알고리즘을 사용하므로 L2 스위칭의 개념을 가지고 있지 않다. 즉 메쉬 라우터는 L2 스위칭을 하지 않지만 L2 패킷을 생성한다. 그러므로 메쉬 라우터를 통하여 데이터가 전송되기 위해서는 L2 패킷을 L3패킷으로 바꾸어 줄 필요가 있다. 이러한 역할을 하는 것이 ARP Proxy이다. ARP Proxy는 자신의 ARP 테이블에 있는 ARP Request에 대해 그 대상이 마치 자신인양 응답하는 역할을 한다. 그렇게 받은 패킷은 그 때부터 L3 스위칭을 하게 된다.

관리용 유선네트워크의 설정

앞서 설명한 것과 같이 메쉬 노드는 측정 및 관리를 위한 유선네트워크의 연결은 필수적이다. 관리자가 A라는 주소를 가진 컴퓨터에서 인터넷을 통하여 메쉬 노드를 관리하고자 할

때 유선네트워크를 통하여 접속을 하게 된다. 그리고 동시에 임의의 메쉬 네트워크 사용자가 메쉬 노드를 통하여 A라는 컴퓨터에 접속을 원한다고 할 때 이 데이터는 유선을 통하지 않고 게이트웨이를 통하여 전송이 되어야 한다. 즉 같은 목적지를 가진 두 패킷은 목적에 따라 다른 경로를 가게 되는데, 이를 구분할 수 있는 방법은 없다. 그래서 특정 주소를 가진 컴퓨터로만 메쉬 노드를 관리 할 수 있도록 정하고 이를 메쉬 노드의 라우팅 테이블에 설정을 해 주는 것이 좋은 방안이 될 수 있다.

기타 고려 사항

테스트베드 설치 후 주기적으로 메쉬 노드가 정상적인 동작을 하고 있는지 점검을 하는 프로그램이 필요하고 필요에 따라 각 메쉬 노드에 소프트웨어를 업그레이드 할 때 이를 자동으로 할 수 있는 관리 프로그램 등도 필요하다.

성공적인 테스트베드 설치를 위해서는 생각의 정리나 회의를 통하여 결정되는 일보다는 경험을 통하여 얻는 것들이 중요하다. 그러므로 성공적인 테스트베드 설치를 원한다면, 단계적으로 작은 테스트베드를 설치하고 여기서 발생하는 문제점을 파악하고 해결 방법을 찾는 다음 점진적으로 확장을 진행하는 것이 무엇보다 중요하다.

5. 프로토콜 개발

	애드혹 네트워크	센서 네트워크	메쉬 네트워크
노드 성능	높음	매우 낮음	매우 높음
트래픽 패턴	노드 대 노드	노드 대 게이트웨이	노드 대 게이트웨이 노드 대 노드
이동성	매우 높음	낮음	고정 또는 매우 낮음
전송률	수 Mbps	수백 kbps	수십 Mbps
에너지 효율성	높음	매우 높음	낮음
네트워크 구조	평면 또는 계층적	평면 또는 계층적	계층적(3계층)

표 1 애드혹, 센서 네트워크 그리고 메쉬네트워크의 비교

메쉬 네트워크는 기존의 애드혹 또는 센서 네트워크와 멀티홉 무선 네트워크라는 측면에서 공통점이 있는 한편, [표 1]에서 볼 수 있듯이 많은 차이점이 있다. 기존의 무선 네트워크에서는 한정된 자원을 이용하여 네트워크 용량을 증대시키기 위한 연구가 주로 진행됐다면, 메쉬 네트워크는 단순히 한정된 자원을 이용하여 용량을 증대시키는 방법으로는 다수의 사용자를 서비스하기에 부족하기 때문에, 이를 극복하기 위한 노력으로 이용 가능한 자원을 늘림으로써 용량을 증대시키는 자원의 다양성(Resource Diversity)을 고려하는 방식에 초점을 맞춰왔다. 따라서 메쉬 네트워크에 적합한 MAC과 라우팅 프로토콜은 이러한 자원의 다양성을 이용한 연구가 주류를 이룬다. 이와 더불어 사용자에게 무선으로 인터넷 서비스를 제공하기 위한 네트워크이므로, QoS 제공 및 이동성 지원을 위한 핸드오프 기법이 함께 연구되어야 한다. 마지막으로, 대규모의 메쉬 네트워크를 유지 보수하기 위해서는 모니터링 및 관리 툴을 개발해야 하는 것 역시 필수요건이다.

5.1 왜 새로운 MAC이 필요한가?

3계층 구조의 메쉬 네트워크에서 모든 메쉬 라우터는 각각 사용자에게 AP로써의 역할과

사용자에게 서비스할 트래픽을 전송하기 위한 메쉬 백본망의 라우터 역할을 함께 수행해야 한다. 이는 한 라우터 내에서 사용자들의 접속을 위한 자원(채널)과 함께, 다른 라우터와의 연결을 위한 자원(채널)이 경쟁적으로 사용되어야 함을 의미한다. 전자는 intra-MR(Mesh Router) 간섭, 후자는 inter-MR 간섭을 야기하고, 이 두 간섭은 메쉬 네트워크 성능에 중대한 영향을 미치는 요인이 된다. 그리고 기존의 애드혹 네트워크를 위한 MAC과 달리, 메쉬 네트워크를 위한 고유의 MAC을 설계해야 하는 강력한 동기를 제공한다.

무선 자원을 할당하는 방법으로 현재 잘 알려진 MAC 프로토콜은 크게 CSMA 방식과 TDMA 방식으로 나눌 수 있다. 이 중 CSMA 방식은 802.11 기반의 WLAN을 멀티홉으로 확장하여 메쉬 네트워크를 구성하는 연구에서 많이 사용되고 있다. 여기서, 단일채널을 사용하는 선형 토폴로지의 경우, 무선 홉 수가 늘어날수록 네트워크 전송속도가 떨어지는 문제가 있다[18]. 특히, 이 방식에서 간섭을 줄이고 네트워크 용량을 증대시키기 위한 방법으로 다중채널의 사용을 제안하고 있다[16]. 이와 달리 TDMA 방식은 CSMA에서 빈번히 발생하는 충돌을 줄이거나 없앴으로써 간섭을 줄여 한정된 자원을 보다 효율적으로 사용하고자 멀티홉 환경에서 제안하고 있다[17].

하지만 위와 같은 노력에도 불구하고, 여전히 해결해야 할 문제는 남아있다. 멀티홉 무선 환경에서 intra-MR 및 inter-MR 간섭을 정확히 정의하는 것은 매우 어렵다. 이 간섭을 모델링하여 간섭이 없는 스케줄링(Interference-free Scheduling)을 위한 방법으로 많이 사용되는 것이 충돌그래프(Collision Graph)의 도입이다[27]. 어떤 네트워크를 연결그래프(Connectivity Graph)로 정의할 때, 네트워크의 링크는 충돌그래프의 노드가 되고, 정의된 간섭에 따라 서로 간섭하는 링크들은 충돌그래프의 링크로 정의한다. 그러면 충돌그래프에서 Independent Set은 동시에 동작할 수 있는 네트워크 링크를 의미하고, 이것의 Maximal Set은 동시에 동작할 수 있는 링크의 수가 Maximal이라는 것을 의미한다. 매 타임 슬롯마다 MIS(Maximal Independent Set)로 스케줄링 할 수 있다면, 이는 엄청난 성능 향상을 가져오게 된다. 여기에 다중채널을 함께 이용하는 스케줄링 기법이 개발되면, 간섭이 없으면서 네트워크 용량을 증대시키는 가장 바람직한 프로토콜이 될 것이다.

5.2 왜 새로운 라우팅이 필요한가?

멀티홉 무선 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 애드혹이나 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜과 함께 많은 연구가 진행되었다. 특히, 애드혹 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 이동성이 큰 노드 간의 연결성에 초점을 맞춰 출발지-목적지 간의 홉 수에 기반한 경로를 선택하는 방법이 대부분이었다. 그러나 메쉬 네트워크는 정적이거나 최소한의 움직임만을 가진 메쉬 라우터를 가정하기 때문에, 홉 수 기반의 경로 선택은 성능 저하에 큰 영향을 주는 것이 확인됐다[22]. 이러한 문제를 해결하고자 전송률을 향상시키기 위해 링크상태(Link Quality)를 고려하는 방법이 제안되었으며, 대표적인 것이 ETX와 ETT 등이 있다[23][24]. 링크상태 기반의 경로설정방법은 메쉬 네트워크의 특성상 다수의 사용자를 받아들이면서 발생할 수 있는 혼잡이나 경쟁 문제에 대처하지 못한다. 또한 무선 링크가 멀티홉이기 때문에, 링크상태의 변화에 따라 라우팅 경로가 계속 변동되는 라우팅 경로의 불안정성(Routing Instability) 문제가 발생할 수 있다[21]. 그러므로 라우팅 경로 선택의 메트릭(Metric)을 개선함으로써 이를 해결하려는 노력이 시도되고 있지만[25], 근본적인 해결방법이 되지 못한다.

메쉬 네트워크를 위한 라우팅은 다수의 사용자로부터 생성되는 다중플로우(Multiple Flow)

를 처리할 수 있어야 한다. 이것은 메쉬 라우터 간에 부하(Load) 분포를 고르게 함으로써 메쉬 네트워크가 지원할 수 있는 총 네트워크 용량을 증대시키면서, 앞서 언급한 혼잡문제를 해결할 수 있는 부하분산(Load Balancing) 기법과의 연동을 통해 해결할 수 있을 것이다. 여기에 추가로, 다수의 메쉬 게이트웨이를 활용한 토폴로지 인지(Topology-Aware) 라우팅은 부하 분산을 위한 또다른 방법을 제공한다. 이를 위해 우선, 메쉬 네트워크의 부하를 메쉬 게이트웨이와 메쉬 라우터 측면에서 나눠 명확히 정의하고, 이를 활용한 부하분산 및 라우팅 기법이 제안되어야 한다.

자원의 다양성 측면에서도 마찬가지이다. 메쉬 라우터의 무선 인터페이스의 개수에 따라 다중채널을 활용하는 방식에 차이가 있게 된다. 단일 인터페이스의 경우에는, 채널 스위칭을 신속하고 효율적으로 할 수 있는 방법이 함께 제안되어야 하며[26], 다중 채널을 가진 경우에는, 네트워크 연결성이 끊어지지 않도록 이웃 노드와 항상 같은 채널을 유지하면서 간섭의 영향을 가장 적게 받는 채널 할당 방법이 함께 제안되어야 한다[16].

5.3 왜 새로운 핸드오프가 필요한가?

메쉬 네트워크에서 이동성을 가진 사용자에게 서비스를 제공하는 것은 광역 데이터 서비스로써 성공하기 위한 필수요건이다. 본 절의 핸드오프는 IEEE 802.11 기반의 메쉬 네트워크에 대해 한정한다. 셀룰러 망에 비해 상대적으로 매우 작은 커버리지와 멀티홉 무선이라는 특징은 메쉬 네트워크에서의 핸드오프가 쉽지 않다는 것을 의미한다. 특히 VoIP와 같은 실시간 애플리케이션을 서비스하기 위해서는 지연(Delay)과 패킷 손실(Loss)에 대한 요구조건이 엄격하기 때문에 빠른 핸드오프(Fast Handoff)가 더욱 부각된다. 예를 들면, VoIP에서 많이 사용되는 G.729 음성인코더의 중음질 이상을 보장하려면 160ms 이하의 지연과 2% 이내의 패킷 손실을 유지해야 한다[15].

앞서 언급했듯이, 메쉬 네트워크를 위한 빠른 핸드오프를 달성하기 위해서는 지연과 손실을 최소화 하고, 이를 줄이기 위한 노력은 다음의 두 가지 측면에서 접근할 수 있다. 첫째는 핸드오프 전후의 데이터 전송에 따른 지연 및 손실을 줄이는 것이다. 셀룰러 망에서의 핸드오프는 유선 채널로 연결된 AP 간에 정보를 주고 받음으로써, 지연 및 손실을 최소화 하면서 데이터 전송이 진행된다. 하지만 메쉬 네트워크의 경우는 다르다. 광역 데이터 서비스를 지향하므로 셀룰러 망에 비해 더 많은 양의 데이터를 무선 채널로만 연결된 메쉬 라우터 간의 빠른 핸드오프를 통해 사용자들이 성능 저하를 체감하지 않도록 해야 한다. 둘째는 IEEE 802.11 자체에서 야기되는 핸드오프 대기시간(Latency)을 줄이는 것이다. 802.11에서 핸드오프 대기시간은 Probe Delay, Authentication Delay, Reassociation Delay로 구성되고, 이 중 이용 가능한 AP를 찾기 위해 채널을 스캔하는데 걸리는 Probe Delay가 대부분을 차지함을 알 수 있다[19]. [20]에서는 AP로부터 주기적으로 발생하는 비콘 메시지를 AP의 범위 안에 있는 단말기들이 데이터 전송 중간중간에 동기화해서 취하는 동기 탐색(Sync-scan)을 통해 Probe Delay를 줄인다. 그러나 이 방법은 실제 구현에서 단말기를 수정해야 하는 단점을 가진다. 단말기를 수정하지 않고 핸드오프에 참여하는 메쉬 라우터 간의 알고리즘을 통해 Probe Delay를 줄이는 방법을 개발해야 할 것이다. 또한 패킷 손실을 줄이기 위해 다중채널을 통한 채널 다양성과 패킷 애그리게이션(Packet Aggregation)을 활용해야 할 것이다[15]. 마지막으로 VoIP와 같은 실시간 트래픽과 FTP, HTTP와 같은 비실시간 트래픽을 구분하는 QoS 클래스를 정의하고 클래스에 따라 우선순위를 부여한 후, 핸드오프 동안에 우선순위에 따라 패킷 전송을 처리해야 한다. 앞에서 설명한 두 접근 방법들

통해 메쉬 네트워크 사용자에게 끊김없는 통신(Seamless Communication)을 보장할 수 있을 것이다.

5.4 왜 GUI기반의 네트워크관리가 필요한가?

많은 수의 메쉬 라우터로 구성되는 메쉬 네트워크를 관리하기 위해서는 효율적인 관리 툴이 필요하다. 기존의 NMS(Network Management System)는 이종 시스템으로의 호환성 문제, 프로그래밍의 어려움, 소프트웨어 업데이트 기능 및 시각화 기능 부재 등의 많은 문제를 가지고 있었다[14]. 이는 테스트베드를 구축하여 메쉬 네트워크 연구를 진행하는 입장에서는 반드시 짚고 넘어가야 할 문제이다. 메쉬 네트워크 관리 툴은 메쉬 라우터의 데이터를 효율적으로 저장하는 데이터베이스, 새롭게 제안되는 프로토콜을 간편하게 업데이트할 수 있는 소프트웨어 분산 플랫폼, 메쉬 라우터 관리 및 설정, 성능 측정 및 시각화를 위한 웹기반의 모니터링 등의 모듈로 구성되어야 한다. 이상적인 NMS 구조는 각각의 메쉬 라우터에서 최소한의 작업을 담당하고, 대부분의 프로세싱 작업을 관리서버에서 전담하는 형태로 만들어, 메쉬 라우터의 오버헤드를 줄이는 것이다.

본 연구실에서는 WiMesh 테스트베드를 위한 NMS를 WiVi(WiMesh Visualization)라 명명하고, [그림 4]의 구조를 갖는 웹기반의 소프트웨어 아키텍처를 구현했다[14]. Wireless Node Object Component는 각 메쉬 라우터에서 Python을 이용, 수집하고자 하는 정보를 스크립트를 통해 생성하고 그 결과를 관리서버로 전송한다. Management Server Component에서는 MySQL 데이터베이스에 전송받은 정보를 저장, 이를 조작해서 PHP 기반의 웹 서버에서 모니터링 및 관리할 수 있게 한다. 이는 테스트베드에서 실험한 결과를 신속, 편리하게 분석할 수 있을 뿐 아니라, 웹 브라우저를 통해 메쉬 라우터의 여러 파라미터(채널 할당, 파워 제어, 인터페이스 설정 등) 조작을 수월하게 할 수 있는 큰 장점이 있다. KAIST의 광범위한 지역에 설치된 WiMesh 테스트베드와 효율적인 관리 툴인 WiVi를 이용하여, 데이터링크 계층에서 응용프로그램 계층까지 계층 간 최적화가 가능한 메쉬 네트워크 연구를 진행하고 이를 현실적으로 검증할 수 있다.

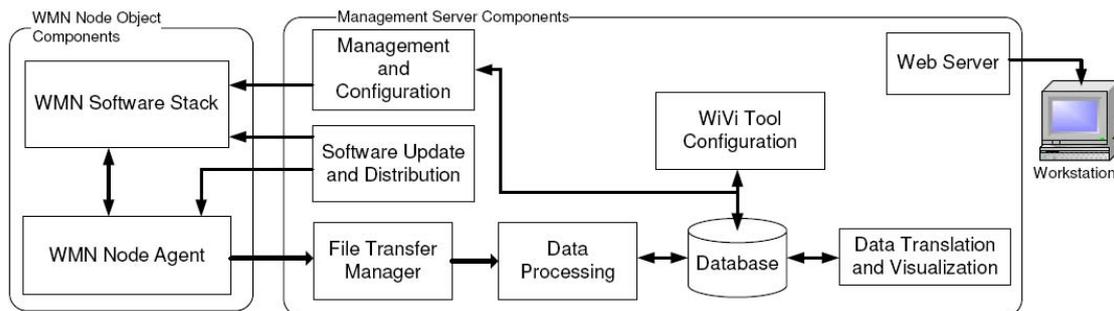


그림 4 WiVi 구조

6. 결론

우리가 통상적으로 통신과 네트워크(데이터 통신)라는 용어를 구분하고 있는가? 통신이라 함은 ‘소식을 전함’으로 근대문명 사회에 이르러 전기를 이용하여 신호를 보낼 수 있게 되면서 처음에는 전신을 통하여 소식을 전하게 되었고 벨의 전화기 발명 후에는 음성을 전달함으로써 소식을 전하는 것이 통신이라 할 수 있다. 그러나 현대사회는 데이터, 특히 패킷 네트워크가 발명되면서 통신이라는 용어보다는 정보를 전달하는 데이터 통신 즉 네트워크

라는 용어가 익숙하게 되었다. 미래는 통신보다는 네트워크라는 용어가 화두가 될 것이며, 그 데이터의 증가는 서론에서 말한 것처럼 기하급수적이고[1] 유비쿼터스 환경의 요구에 맞게 언제 어디서나 사용할 수 있도록 하는 것이 중요하게 되었다.

우리는 메쉬 네트워크가 증가하는 데이터 통신을 최소의 비용으로 지속적인 이익 창출을 할 수 있는 형태라 주장하였고, 현재 주류인 셀기반 통신망과 융합하여 미래 지향적 광역 통신망으로 수렴할 것이라 예측하였다. 이에 필요한 메쉬 네트워크의 기술적 진화 방향은 메쉬 라우터들이 설치/확장/업그레이드 비용을 최소화할 수 있도록 지속적으로 간단한 구조를 유지하여 무선공간효율을 높이고 동시에 네트워크 효율을 극대화하는 방향일 것이며 또한, 셀기반 통신망의 특징인 QoS의 지원, 체계적인 AAA 구조를 흡수하는 방향일 것으로 기대한다. 이를 실현하기 위해 우리는 KAIST에 WiMesh 테스트베드를 구축하였고, 이를 통해 메쉬 네트워크의 다양한 가능성을 실험하고 연구함으로써 완전히 새로운 형태의 미래 지향적 메쉬 네트워크인 WiSEMesh (**Wireless Scalable and Efficient Mesh**) 네트워크를 창출할 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] IDC, "The expanding digital universe: A forecast of worldwide information growth through 2010," March, 2007.
- [2] R. Bruno, M. Conti, and E. Gregori, "Mesh networks: commodity Ad hoc networks," IEEE Communications Magazine, pp. 123-131, March 2005.
- [3] I.F. Akyildiz, X. Wang and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," Computer Networks and ISDN Systems, v.47 n.4 pp.445-487, March 2005.
- [4] I. Rhee, A. Warrier, M. Aia and J. Min, "ZMAC: a hybrid MAC for wireless sensor networks", ACM Sensys 2005.
- [5] Y. Yi, G. de Veciana and S. Shakkottai, "On optimal MAC scheduling with physical interference," IEEE INFOCOM 2007
- [6] D.B. Johnson, D.A. Maltz and Y.C. Hu, "The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (DSR)," IETF Internet-Draft: work in progress, July 2004.
- [7] C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing," IETF RFC 3561, July 2003.
- [8] R. Ogier, F. Templin and M. Lewis, "Topology dissemination based on reverse-path forwarding (TBRPF)," IETF RFC 3684, February 2004.
- [9] O.B. Akan and I.F. Akyildiz, "ATL: an adaptive transport layer suite for next-generation wireless internet," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v.22 pp.802-817, June 2004.
- [10] K. Sundaresan, V. Anantharaman, H.-Y. Hsieh and R. Sivakumar, "ATP: a reliable transport protocol for adhoc networks," ACM MobiHoc 2003.
- [11] H. Lundgren, K. Ramachandran, E. Belding-Royer, K. Almeroth, M. Benny, A. Hewatt, A. Touma and A. Jardosh, "Experiences from building and using the UCSB MeshNet testbed," IEEE Wireless Network 2006.
- [12] L. Kleinrock and J. Silvester, "Optimum transmission radii for packet radio networks or why six is a magic number," IEEE National Telecommunications

Conference, December 1978.

- [13] Rich Seifert, "The switch book," Wiley Computer Publishing, 2000.
- [14] S.L. Shrestha, J. Lee, A. Lee, K. Lee J.H. Lee and S. Chong, "An open wireless mesh testbed architecture with data collection and software distribution platform," submitted to IEEE Tridentcom 2007.
- [15] D. Niculescu, S. Ganguly, K. Kim and R. Izmailov, "Performance of VoIP in a 802.11 wireless mesh network," IEEE INFOCOM 2006.
- [16] A. Raniwala and T. Chiueh, "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network," IEEE INFOCOM 2005.
- [17] I. Rhee, A. Warriar, J. Min and L. Xu, "Distributed randomized TDMA scheduling for wireless mesh networks," ACM MobiHoc 2006.
- [18] J. Li, C. Blake, D. De Coute, H.I. Lee and R. Morris, "Capacity of ad hoc wireless networks," ACM MobiCom 2001.
- [19] A. Mishra, M. Shin and W. Arbaugh, "An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process," ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev., v.33 n.2 pp.93-102, April 2003.
- [20] I. Ramani and S. Savage, "Sync-scan: a fast hand-off procedure for 802.11 link layer roaming," IEEE INFOCOM 2004.
- [21] K. Ramachandran, I. Sheriff, E. Belding and K. Almeroth, "Routing stability in static wireless mesh networks," PAM 2007.
- [22] R. Draves, J. Padhye and B. Zill, "Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks," ACM SIGCOMM 2004.
- [23] D. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket and R. Morris, "A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing," ACM MobiCom 2003.
- [24] R. Draves, J. Padhye and B. Zill, "Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks," ACM MobiCom 2004.
- [25] Y. Yang, J. Wang and R. Kravets, "Designing routing metrics for mesh networks," IEEE WiMesh 2005.
- [26] J. So and N.H. Vaidya, "Load-balancing routing in multichannel hybrid wireless networks with single network interface," IEEE Trans. on Vehicular Technology, v.55 no.3 pp.806-812, May 2006.
- [27] K. Jain, J. Padhye, V. Padmanabhan and L. Qiu, "Impact of interference on multi-hop wireless network performance," ACM MobiCom 2003.
- [28] J. Broch, D.A. Maltz, D.B. Johnson, Y. Hu and J. Jetcheva, "A performance comparison of multi-hop wireless Ad-hoc network routing protocols," ACM MobiCom 1998.
- [29] MIT Roofnet, <http://pdos.csail.mit.edu/roofnet/doku.php>
- [30] UCSB Meshnet, <http://moment.cs.ucsb.edu/meshnet>
- [31] Microsoft Networking Research Group, <http://research.microsoft.com/mesh>
- [32] <http://www.sungju.com>
- [33] <http://www.linksys.com>

[34] <http://rt2x00.serialmonkey.com>

저자 소개



이 준 희

e-mail : junhee@netsys.kaist.ac.kr

1998년 경북대학교 전자공학과 (공학사)

2000년 KAIST 전기 및 전자 공학과 (공학석사)

2000년 ~ 2004년 (주) 파이온에서 네트워크 프로세서 설계

2004년 ~ 현재 KAIST 전자전산학부 박사과정 재학 중

관심분야: 무선 메쉬 네트워크, 무선 MAC 프로토콜 디자인, 네트워크 Architecture 설계, 컴퓨터 및 주변기기 통신, 반도체 설계, 시스템 프로그래밍



이 경 한

e-mail : khan@netsys.kaist.ac.kr

2002년 KAIST 전자전산학부 전기 및 전자공학 전공 (공학사)

2004년 KAIST 전자전산학부 전기 및 전자공학 전공 (공학석사)

2004년 ~ 현재 KAIST 전자전산학부 박사과정 재학 중

관심분야: 무선 메쉬 네트워크, 이동성 모델링, 이동 애드혹 네트워크



이진성

e-mail : ljs@netsys.kaist.ac.kr

2003년 KAIST 전자전산학부 전기 및 전자공학 전공 (공학사)

2003년~현재 KAIST 전자전산학부 석박사 통합과정 재학 중

관심분야: 무선 메쉬 네트워크, 애드혹 및 센서 네트워크, VoIP 및 무선 메쉬 네트워크
QoS



이안석

e-mail : anseok@netsys.kaist.ac.kr

2006년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 전자공학 전공 (공학사)

2006년~현재 KAIST 전자전산학부 석사과정 재학 중

관심분야: 무선 메쉬 네트워크, 멀티 홉 애드혹 네트워크



사친 L. S.

e-mail : sachinls@netsys.kaist.ac.kr

2000년 Kathmandu University 전기전자공학 전공 (공학사)

2000년~2002년 월드 디스트리뷰션 네팔에서 소프트웨어 개발자로 근무

2004년 KAIST 전자전산학부 전기 및 전자공학 전공 (공학석사)

2004년 ~ 현재 KAIST 전자전산학부 박사과정 재학 중

관심분야: 무선 메쉬 네트워크, 네트워크 관리 및 자가 보정, 무선 네트워크 성능 측정



정 송

e-mail : song@ee.kaist.ac.kr

1988년 서울대학교 제어공학과 (공학사)

1990년 서울대학교 제어공학과 (공학석사)

1995년 University of Texas at Austin 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)

1994년~1996년 AT&T 벨 연구소

2000년~현재 KAIST 전자전산학부 교수