

건설-IT융합 기술을 위한 터널 환경에서 무선 메쉬 네트워크를 이용한 실험적 성능 검증*

양창모** · 이승범*** · 최수환*** · 엄두섭****

Empirical Evaluation of Wireless Mesh Networks for Construction IT in Tunnel Environments*

Changmo Yang** · Seung Beom Lee*** · Soo Hwan Choi*** · Doo-Seop Eom****

■ Abstract ■

This paper draws performance results through comparing WMNs' methods when the WMNs are used in tunnel construction sites. There are many advantages of WMNs : lower cost, easy to network maintenance, robustness and reliability within RF-ranges. As a result, using the WMNs would be suitable to employ as a network infrastructure for the construction sites. This paper evaluates the performance of WMNs which we have installed in a tunnel construction.

Through the performance results, we conclude the performance of data throughputs gets lower when we perform the network in tunnel environments. We make attempts WMNs' two major methods which are SISC(Single Interface with Single Channel) and MIMC(Multi Interface with Multi Channel) to figure out which method will be better for the construction sites. Through the experiments, the WMN based on the MIMC method was comparatively suitable in network performance aspect for the tunnel sites.

Keyword : WMN(Wireless Mesh Network), Construction IT, Tunnel Environment, Evaluation

논문투고일 : 2011년 04월 04일 논문수정완료일 : 2011년 05월 26일 논문게재확정일 : 2011년 06월 11일

* 이 논문은 국토해양부 연구과제 “첨단센서 기반의 대형 건설 현장실시간 시공관리기술 개발”의 지원에 의한 결과의 일부임(과제번호 : 09CCCTI-B052843-01).

** 고려대학교 전기전자전파공학과 석사과정

*** 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정

**** 고려대학교 전기전자전파공학과 교수

1. 서론

IT를 중심으로 다른 산업과의 융합은 산업간 시너지를 창출할 뿐만 아니라 생산성 및 효율성을 바탕으로 국가 경쟁력 강화에 기여할 것으로 전망되고 있다. 이에 선진 각국에서는 IT 융합기술의 글로벌 주도를 위해 연구 개발에 투자와 역량을 집중하고 있다. 국내에서도 IT 건축, IT 조선, IT 국방, IT 건설, IT 의료 융합기술을 핵심 융합 분야로 지정하여 활발히 연구 되고 있다[2].

최근 IT산업에서 새롭게 주목을 받는 성장 동력 원으로 건설-IT 융합기술이 있다. IT 융합기술을 건설 분야에 적용하는 것을 건설-IT 융합기술이라 한다[3]. 건설 현장에 IT 기술을 접목하는 것은 관리자의 시공관리, 일정관리에 도움이 되는 건설 인부 위치 인식 서비스, 건설 자재 재고 모니터링 서비스, 콘크리트 구조물 양생 관리 서비스 등을 제공하여 작업 효율을 향상 시키는 시너지 효과를 얻을 수 있다. 이러한 효과를 얻기 위해 센서정보, 음성통신, 영상정보 등의 데이터를 필요로 하고, 이를 전송하기 위한 전송망을 구현하기 위한 구현 기술(WLAN, WMN)이 필요하다[1].

WMN(Wireless Mesh Network)기술[5]의 노드는 무선 AP(Access Point)역할 뿐만 아니라 노드 간의 통신을 통해 유선이 미치지 못하는 지역의 노드의 데이터를 전달하는 포워딩 기능을 수행할 수 있다. 따라서 WMN은 중간에 제어하는 노드 없이 각 노드끼리 서로 통신하는 자율적인 구조의 네트워크인 애드혹(ad-hoc) 네트워크라고 할 수 있다. WMN은 네트워크상의 각 노드가 독립적인 라우터로서 기능을 할 수 있으며 각 노드들은 일반적으로 서로 그물처럼 연결되어 있어 한 노드의 연결이 끊어지더라도 다른 우회 노드와의 연결을 통하여 통신을 할 수 있다. WMN은 유동적으로 망의 구성 및 설정을 수행하고 네트워크망을 유지하기 때문에 저렴한 설치비용, 간편한 네트워크 유지 보수, 안정적인 서비스 범위와 같은 많은 장점을 가지고 있다[5]. 이러한 이유로 WMN(Wireless

Mesh Network)기술은 건설 현장에 IT를 접목하기 위한 통신 인프라로서 가장 효과적이다.

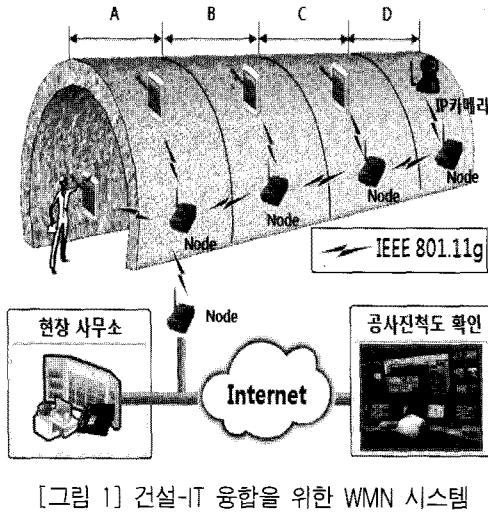
교량, 터널 등과 같이 다양한 종류의 건설 현장이 존재하며 건설 현장마다 설치 환경, 통신 범위, 주사용 용도 또한 제각기 다르기 때문에 일반적인 WMN을 적용하기에는 무리가 따른다. 건설 현장에 적용하기 위해서는 건설 현장의 특성을 고려하여 WMN을 설치하고 설치된 WMN에 대한 성능 측정 및 평가가 필요하다.

본 논문에서는 한국건설교통기술평가원 건설-IT 융합과제에 적용된 터널 현장에서 WMN의 설치 및 운영에 관하여 기술한다. 그리고 실제 터널 현장에서 측정된 데이터를 바탕으로 터널 환경에서의 WMN의 문제점을 파악하고 개선 방안을 강구한다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성 된다. 제 2장은 건설 현장의 WMN의 연구 배경을 설명하고, 제 3장은 실제 WMN을 구축하기 위한 테스트베드 환경을 설명하며, 제 4장은 성능 측정 및 평가를 통해 설치 시 고려해야할 사항에 대하여 기술한다. 제 5장에서 향후 WMN의 연구 방향에 대해 논의하고, 제 6장에서 결론을 맺는다.

2. 연구 배경

최근 IT기술의 발달로 온도, 습도, 진동뿐만 아니라 위치 추적 등의 다양한 종류의 센서들이 경량화, 소형화 그리고 저 전력화 되어 개발되고 있다. 이와 같은 첨단 센서를 활용한다면 터널 및 교량과 같은 건설 현장에서 건설자재, 인력 및 장비 등을 실시간으로 관리하는 것이 가능하다. 또, 공사 시공 중 구조물의 실시간 동적 형상정보를 활용하여 건설공사의 실시간 통합 관리 시스템의 구현이 가능하다. 이러한 시스템을 운용하기 위해서는 건설 현장의 실시간 동적 정보를 원활하게 제공할 수 있는 네트워크가 필요하다. 그림1은 본 논문에서 제안된 건설 현장에 적용 가능한 무선 네트워크 시스템의 전체적인 구성도이다. [그림

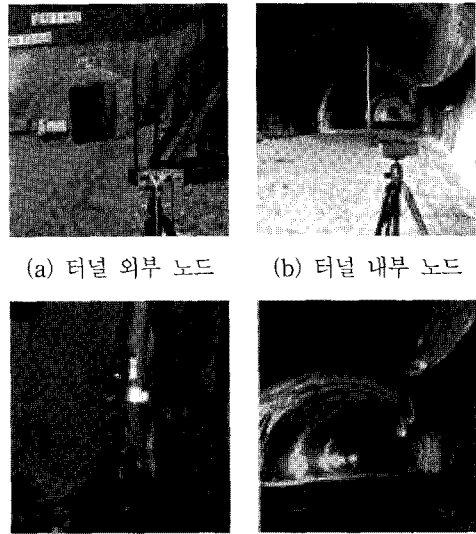


[그림 1] 건설-IT 융합을 위한 WMN 시스템

1]과 같은 시스템 구성을 통해 얻어진 정보를 토대로 현장사무소의 관리자 뿐만 아니라 건설시공 발주처에서도 직접 공사 진행 진척도를 확인함으로써 공사에 필요한 대금 지급 및 관리를 할 수 있다. WMN이 구축 된다면 시공 단계에서의 건설 관리 뿐만 아니라 건설공사 완료 후에도 지속적인 안전관리 시스템에 이용될 수 있다.

더욱이 터널 건설 현장의 경우 터널이라는 전파적 제약 때문에 휴대폰과 같은 무선 통신 기기의 사용이 불가능하다. 현재 터널 현장에서는 현장 관리자와 인부간의 의사소통을 위해 터널에 일정 구간마다 전화선을 설치하여 운영하고 있다. 이러한 방법은 설치비용과 운용에 있어 비효율적이며 빠른 업무 전달 및 비상시 위험 정보 등과 같은 신속한 업무 처리가 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하는 방법으로 터널 현장에 무선 네트워크를 구축하여 인터넷 전화, 영상 통화와 같은 IT서비스를 제공한다면 보다 신속한 업무처리가 가능하다.

건설 현장에 무선 네트워크 인프라를 구축하는 것은 어려운 문제가 아니다. 현재 많은 업체들이 건설 현장에 네트워크 인프라를 구축하고 운영하고 있다. 하지만 기존에 설치된 네트워크 인프라의 경우 일반적인 AP를 이용하여 무선 네트워크를 만들기 때문에 AP까지의 유선 백본망을 필요



(a) 터널 외부 노드

(b) 터널 내부 노드

(c) IP카메라 설치

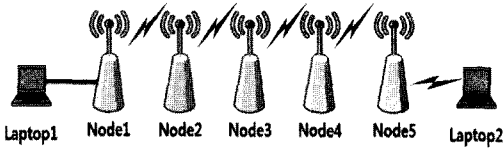
(d) IP카메라 영상

[그림 2] 터널 현장 WMN 구축

로 한다. 건설 현장의 구조가 수시로 바뀌고 장비와 자재의 이동이 많은 특성 때문에 유선망을 설치하고 유지하는 것은 그리 효과적인 방법이 아니다. 또한 터널 현장과 같은 건설 현장의 경우 유선 통신 인프라가 설치되지 않은 산악지역에서의 공사가 대부분이어서 유선 네트워크를 설치하기 위한 비용이 많이 든다. 이러한 이유로 터널 건설 현장에 WMN을 설치하여 통신 네트워크 인프라를 구축하는 것이 가장 효과적이라고 할 수 있다.

3. 테스트 베드 시나리오

터널 현장에 WMN을 구축하여 성능 측정 및 테스트를 하기 위해 현재 터널 공사가 진행 중인 충북 충주의 삼탄 1터널에 테스트 베드를 구축 하였다. 삼탄 1터널은 현재 동단 방향으로 공사가 약 1km까지 진행되어 있었으며, 터널 폭은 약 15m가량 되었다. 터널 건설 현장과 관리 사무소의 거리는 1~2km 정도였으며 터널 내에는 아무런 통신 시스템도 설치되지 않았다. 본 논문에서 제안된



[그림 3] WMN 성능평가를 위한 테스트 구성도

시스템에서는 [그림 2](a)와 [그림 2](b)와 같이 터널 현장의 외부와 터널 내부에 각각 WMN 노드를 설치, 무선 메시 네트워크를 구축함으로써 [그림 2](c)와 [그림 2](d)와 같이 외부에서 터널 안의 영상을 확인 할 수 있었다. 또한 터널 안의 인부와 터널 밖의 관리자간에 음성, 영상 통화가 가능하도록 하였다.

3.1 실험장비의 종류와 테스트 환경

3.1.1 하드웨어의 구성

무선 메시 네트워크를 구성하는 WMN 노드는 Ubiquiti사의 RouterStation Pro 장비를 사용하였다. RouterStation Pro는 680MHz의 CPU와 128MB의 메모리로 구성되어 있다. 무선 통신을 위한 NIC(Network Interface Card)는 IEEE 802.11b/g를 지원하는 Atheros AR5213 chipset을 사용하는 mini-PCI type의 무선랜카드를 사용하였다. 안테나는 9dBi 이득을 가지는 2.4GHz용 무지향성 안테나를 사용하였다. 네트워크간 성능을 측정하기 위해 두대의 노트북을 사용하였다. 터널 내부 현장의 영상을 보기 위해 VGA/QVGA의 해상도와 MJPEG 압축방식을 지원하고 팬/틸트가 가능한 IP카메라를 사용하였다. VoIP 서비스를 테스트하기 위해 CPU 1GHz의 스마트폰을 사용하였다.

3.1.2 소프트웨어의 구성

Ubiquiti사의 RouterStation Pro를 구동시키기 위해 OpenWRT OS를 사용하였다[10]. 처리율(throughput) 및 응답시간(response time) 등의 WMN의 성능 측정을 위해 테스트 환경은 <표 1>과 같이 설정하였다.

<표 1> 터널 현장 테스트 환경

노드 거리	300m
전송 파워	16dBm
안테나	9dBi
	무지향성
채널 환경	단일채널/다중채널, 2.4GHz
대역폭	20MHz
토폴로지	Linear
노드 수	5개
전송률	54Mbps
트래픽	TCP/UDP, 100kbyte
실험 시간	2분

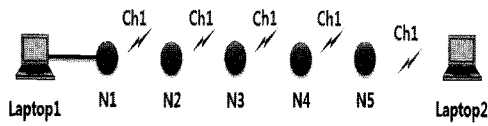
4. 성능 평가

터널 현장에서 WMN에 대한 성능 평가 시험을 하기 위해서 [그림 3]과 같이 노트북 2대와 WMN 노드 5개를 구성하였다. 노트북 1은 유선으로 직접 노드 1에 연결되며 노트북 2는 4홉이 지난 후의 노드 5에 무선으로 연결되어 성능을 측정하였다. 또한, 멀티 홉일 때의 성능 저하를 확인하기 위한 테스트는 노트북 2를 노드 1~5까지 순차적으로 무선으로 접속한 후 홉 당 처리율과 응답시간을 측정하였다.

WMN노드에 하나의 NIC(Network Interface Card)를 장착하여 동일한 채널을 사용하는SISC(Single Interface Single Channel) 환경에서의 성능을 분석하였고, 채널 간섭으로 인한 성능 저하를 테스트 하기 위해 2개의 NIC을 사용하여 다중 채널을 사용한 MIMC(Multi Interface Multi Channel)환경에서의 단일 홉과 다중 홉의 평균 처리율과 응답시간을 측정하였다[6]. 또한 터널 환경의 특성을 파악하기 위해 거리별 성능 측정도 병행하였다.

4.1 단일 채널 단일 인터페이스 실험

유선 WMN 노드에 하나의 동일한 채널을 할당한 [그림 4]와 같은 구성으로 테스트 및 성능 평가



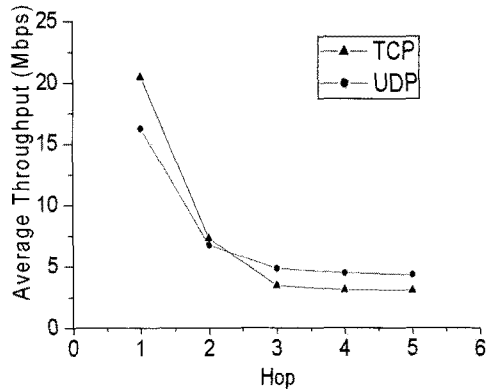
[그림 4] SISC 환경 실험 구성도

를 하였다. 테스트 시 환경 설정은 <표 1>과 같이 구성하였다.

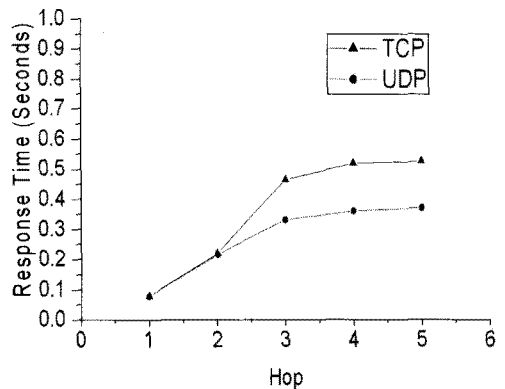
4.1.1 다중 홉에 따른 처리율 저하

단일 인터페이스 단일 채널 환경에서 TCP와 UDP의 처리율과 응답시간을 홉별로 측정된 결과를 [그림 5]와 [그림 6]에 나타내었다. 단일 홉 환경에서의 처리율은 최고 20Mbps가 측정 되었다. 사용 가능한 대역폭이 20Mbps보다 많음에도 불구하고 최대값이 20Mbps가 되는 것을 볼 수 있다. IEEE 802.11g의 최대 전송률은 54Mbps이지만 MAC헤더, ACK, 패킷 에러와 같은 이유로 실질적인 유효한 처리율(goodput)은 절반 밖에 되지 않기 때문이다. 추가로 거리가 멀어지면 급격히 데이터 전송률이 떨어지는 대역폭 문제는 다중 홉 네트워크에서 같은 경로의 인접한 노드의 간섭 때문으로 볼 수 있다[8]. 이러한 WMN의 특성상 원활한 통신 서비스를 제공하기 위해 노드간 간격, 거리가 제한된다. 터널의 길이가 길어지게 될 경우 설치해야하는 노드의 수의 증가로 WMN의 홉 수가 증가 하게 되므로 네트워크의 성능은 급격히 저하되어 터널에서의 원활한 데이터 전송이 불가능해지는 문제점을 가지게 된다.

TCP와 UDP의 성능 비교를 통해 단일 홉 환경에서의 처리율의 성능은 TCP가 좋은 것을 확인할 수 있지만 홉 수가 증가함에 따라 에러 발생확률이 증가하기 때문에 TCP보다 UDP가 더 높은 처리율을 보인다. [그림 6]에서 홉이 증가함에 따라 응답 시간이 증가하는 경향을 보이고 있으며 이러한 경우 원활한 정보 전송에 문제가 있다. 특히 VoIP와 Video 데이터와 같은 시간 지연에 민감한 스트리밍 서비스가 불가능해진다.



[그림 5] SISC 다중 홉 처리율(Throughput)

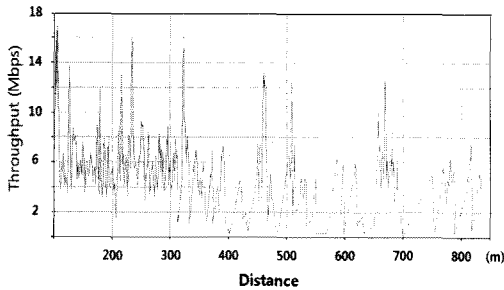


[그림 6] SISC 다중 홉 응답시간(Response Time)

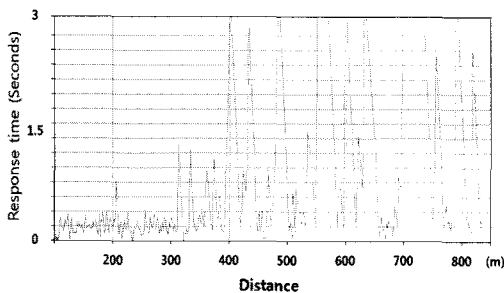
4.1.2 다중 경로 페이딩

다중 경로 페이딩은 여러 물체에 의한 반사로 인하여 서로 다른 경로를 따라 수신된 전파들이 서로 상호작용을 일으켜 특정 장소에서 진폭, 위상, 입사각 등이 불규칙하게 요동치는 현상으로, 무선망의 안정성을 떨어뜨리며 무선망이 자주 끊기는 현상의 원인이 된다. 특히, 심한 페이딩(Deep Fading)은 통신 단절을 일으키기도 한다. 그러나 터널 내부의 환경은 전파를 일정한 방향으로만 진행시키는 일종의 도파관과 같은 역할을 하기 때문에 다중 경로 페이딩의 영향에 대해서는 실험을 통하여 좀 더 살펴볼 필요가 있다.

터널 환경에서 무선망 성능 테스트를 하기위해 무선 통신 거리별 처리율과 응답 시간을 측정하였다.



[그림 7] 무선 통신 거리별 처리율



[그림 8] 무선 통신 거리별 응답 시간

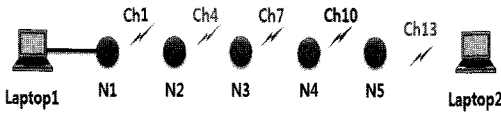
노트북을 이용하여 무선으로 WMN 노드에 연결한 후 통신 거리를 증가 시키면서 처리율 및 응답 시간을 측정하였다. 무선 통신 거리별 처리율 측정 결과를 [그림 7]에 나타내었다. 가로축은 통신 거리를 나타내며 세로축은 통신 거리별 처리율을 나타내었다. 300m 이내에서는 유효한 처리율이 측정되었지만 300m 이상의 통신 거리에서는 심하게 처리율이 변동하는 것을 볼 수 있다. 계속해서 통신 거리를 증가시켜 측정한 결과 거의 동일한 수준의 처리율이 심하게 변동하면서 800m 이상까지 측정되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, [그림 8]과 같이 300m 이상 시점에서부터 응답 시간이 급격히 증가하여 원활한 통신이 불가능한 상태가 지속되는 것이 관찰되었다. 전파는 전달 거리가 증가할수록 그 신호 세기가 감소하기 때문에 신호 대 잡음비가 낮아지면 IEEE802.11은 모뎀레이션을 방식을 변경하여 대역폭을 낮추게 된다. 따라서 거리에 따라서 처리율이 감소하게 된다. 또한 낮은 신호 대 잡음비로 인해 패킷 에러가 발생할 가능성

이 높아지기 때문에 재전송이 발생하게 되며 응답 시간이 길어지게 된다. 실험 결과 전파의 도달 거리는 개활지에서와 같거나 더 먼 것으로 보인다. 이는 앞서 언급한 대로 터널의 내부 구조상 전파의 도파관 역할로 개활지 환경보다 전파의 경로 손실이 작아지기 때문으로 보인다. 다중 경로를 통해 수신된 신호들은 다중 경로 파들 간의 전파 지연이 발생하게 되며, 이러한 전파 지연이 심각한 경우 심볼 간 간섭이 발생하여 전파 전송을 방해하는 원인이 된다. 터널내부에서 다중 경로 파들로 인한 전파 지연이 전파 전송에 심각한 방해를 일으키지 않는 것으로 볼 수 있다. 이러한 이유로 WMN 테스트 베드 구축시 노드간 설치 간격은 300m로 설치 운용 하였다.

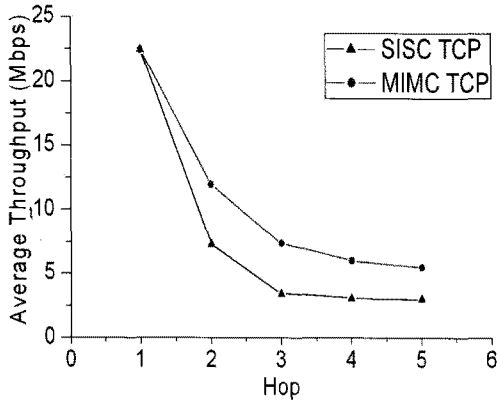
하지만 테스트 결과, 노드로부터 300m~1km 범위까지 전파가 도달하기 때문에 이웃 노드의 통신에 간섭을 일어난다.

4.2 다중 채널 다중 인터페이스 실험

제 4.1.1절에서 언급한 다중 홉간 전파 간섭으로 인해 WMN의 성능이 급격히 나빠지는 문제점을 관찰할 수 있었다. 본 절에서는 이와 같은 문제점을 알아보기 위해 WMN 노드에 두 개의 NIC을 장착하여 다중 인터페이스, 다중 채널(MIMC)의 환경에서 성능 테스트를 하였다. 테스트 환경은 <표 1>과 같이 구성하였다. 채널 할당은 IEEE 802.11이 2.4~2.485GHz 주파수 범위에서 동작하며, 85 MHz대역에서 13개의 일부 겹치는 채널을 정의하고 있다. 두 채널은 네 개 이상의 채널에 의해 분리되어 있어야만 겹치지 않기 때문에 채널 1, 6, 11은 유일하게 겹치지 않는 3개의 채널이지만 채널 할당을 1, 6, 11, 1, 6과 같이 할당했을 경우 터널 통신 거리에 따라 1번과 6번 채널을 재사용하게 되는 경우 채널 간섭이 발생할 가능성이 있다. 본 실험에서는 WMN의 테스트를 하기 위해서 1, 4, 7, 10, 13채널을 할당 하여 사용하였다. 실험 환경은 [그림 9]와 같이 구성하였다.



[그림 9] MIMC 환경 실험 구성도



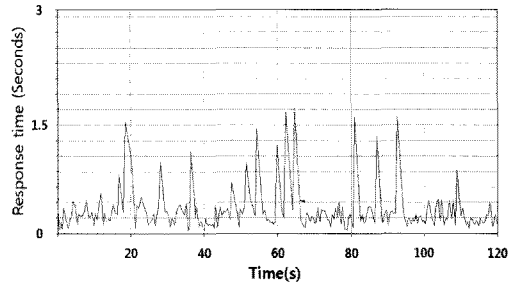
[그림 10] SISC와 MIMC 환경의 처리율

4.2.1 처리율(throughput) 향상

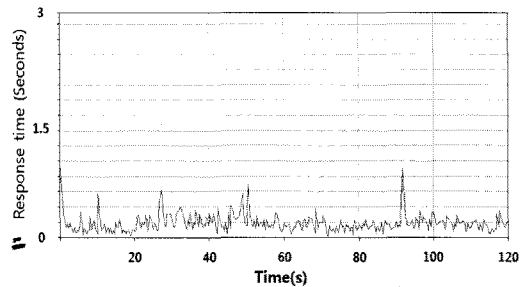
다중 채널환경에서의 홉 당 throughput을 측정 한 결과 [그림 10]과 같이 측정되었다. 앞서 측정 한 SISC 환경에서의 처리율과 비교하기 위해 같은 그래프에 포함하였으며 SISC의 환경일 때 보다 MIMC 환경에서의 처리율이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 터널 환경에서의 SISC는 채널 간섭으로 성능이 저하되지만, 반면 MIMC 환경에서는 인접노드들 간에 동일한 채널을 사용하지 않고 다중 채널을 사용하기 때문에 채널 간섭에 따른 성능 저하가 일어나지 않는다. [그림 10]과 같이 MIMC는 2홉~5홉에서 약 2~3Mbps 정도의 처리율이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

4.2.2 응답 시간(response time) 향상

터널에 WMN을 구축하고 채널 간섭에 따른 성능 저하를 확인하기 위해 SISC 환경과 MIMC 환경에서의 성능을 실험했다. 실험 환경은 앞서 언급한 [그림 9]의 구성도와 동일한 방법으로 구성했으며, 간섭으로 인한 성능저하를 알아보기 위해 5



[그림 11] SISC환경에서의 Response Time



[그림 12] MIMC 환경에서의 Response Time

홉 간의 응답 시간의 그래프를 [그림 11]과 [그림 12]에 나타내었다. SISC 환경에서의 응답 시간은 이웃 노드간의 전파 간섭으로 전송에러가 자주 발생하게 되어 응답 시간이 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면 MIMC 환경에서의 응답 시간은 동일한 채널을 사용하지 않고 다중 채널을 사용하기 때문에 채널 간섭의 영향이 없어 SISC 환경에 비해 응답 시간이 안정적이며 낮은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

5. 향후 연구 방향

최근 다양한 분야에서 WMN을 이용한 네트워크 구축이 필요하다. 우리나라에서처럼 통신 인프라가 잘 갖춰진 곳에서는 WMN의 필요성이 적지만 개발도상국과 같이 통신 인프라가 부족한 곳에서는 적은 구축비용과 설치 및 유지의 간편함으로 인해 WMN을 선호한다[7]. 하지만 우리나라에서도 통신 인프라가 부족한 산악지역의 건설 현장

과 같은 장소에서 무선 통신 네트워크가 필요할 경우 WMN은 효과적인 선택이 될 수 있다. 하지만 현재 WMN의 성능은 홉의 수가 증가할수록 현격한 성능 저하를 가져오고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 현재 멀티채널 무선 네트워크와 같이 높은 전송 대역폭과 안정적이고 낮은 지연 시간을 제공할 수 있는 무선 네트워크에 대한 연구가 진행되고 있으며, 터널 환경은 물론 교량과 같은 개방형 공간에서의 무선 메쉬 네트워크를 사용한 다양한 IT 서비스(위치인식, RFID, VoIP)를 적용하려는 연구가 지속되고 있다[4]. 또한, 추가적인 새로운 IT 서비스 어플리케이션이 연구되고 있으며 어플리케이션에 따른 효과적인 정보전송을 위한 무선통신 환경을 제공하기 위한 채널할당과 라우팅 방법에 대한 알고리즘 연구가 진행되어야 할 것이다.

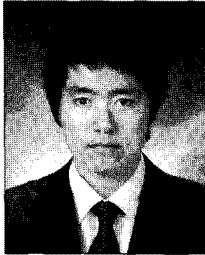
6. 결 론

그동안 건설 현장에서는 사람의 대략적인 측정과 감으로 건설 공사 일정 및 관리가 이루어져 왔다. 하지만 건설 현장에 IT를 융합함으로써 효과적인 건설 장비, 자재, 인력 관리가 가능하다. 이러한 시스템의 구축에 있어 선행 되어야 할 통신 네트워크 구축에 WMN이 가장 효과적이라고 할 수 있다. WMN을 건설 현장에 직접 적용 설치하고 실험을 함으로써 제안된 시스템을 이용하여 현장에서 필요로 하는 효과적인 네트워크 구축이 가능한지 평가할 수 있었다. 나아가 더 효과적인 WMN을 구축하기 위한 기초 자료가 될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 본 논문에서는 터널 현장에 WMN을 구축할 경우 기존의 단일 인터페이스, 단일채널(SISC)에 비해 다중 인터페이스, 다중채널(MIMC) 환경이 더 높은 성능의 네트워크 인프라를 제공할 수 있다는 것을 실험과 분석을 통해 확인할 수 있었다. 향후 WMN을 더 광범위한 환경에 적용하기 위해서는 성능향상을 위한 지속적인 연구가 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 김동관, 백동현, 진희재, "IT 융합 서비스 및 활용기술의 기술속성에 관한 연구 : 산업간 융합을 중심으로", 「한국IT서비스학회지」, 제9권, 제2호(2010), pp.1-19.
- [2] 박종현, 백종현, "국내외 IT 융합기술 R&D 동향 및 추진전략", 「정보통신연구진흥원, 주간기술동향」, 제1390권(2009), pp.14-27.
- [3] 전황수, 박기식, "건설과 IT 융합", 「전자공학회지」, 제35권, 제5호(2008), pp.40-52.
- [4] 최재현, 박재원, 신용우, 이남용, "무선랜 AP를 기반으로 한 실시간 위치추적 시스템에 관한 연구", 「한국IT서비스학회지」, 제9권, 제3호(2010), pp.141-161.
- [5] Akyildiz, L. F., X. Wang, and W. Wang, "Wireless Mesh Network : survey", *Computer Networks Journal*, Vol.47(2005), pp.445-487.
- [6] Draves, R., J. Padhye, and B. Zill, "Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh Networks", *ACM MobiCom*, (2004), pp.114-128.
- [7] Johnson, D., K. Matthee, D. Sokoya, L. Mboneni, A. Makan, and H. Kotze, "Building a Rural Wireless Mesh Network", *Wireless Africa Team of the Meraka Institute*, (2007), pp.1-44.
- [8] Jain, K., J. Padhye, V. Padmanabhan, and L. Qiu, "Impact of interference on multi-hop wireless network performance", *Proc. ACM MobiCom*, (2003), pp.66-80.
- [9] Kyasanur, P., J. So, C. Cheredi, and N. H. Vaiday, "Multi-Channel Mesh Networks : Challenges and Protocols", *IEEE Wireless Comm*, Vol.13, No.2(2006), pp.30-36.
- [10] OpenWrt, Available : <http://openwrt.org/>.

◆ 저 자 소 개 ◆



양 창 모 (cmyang@korea.ac.kr)

한경대학교 정보제어공학과에서 학사학위를 취득하고, 고려대학교 전자전자전파공학과에서 석사 과정에 있다. 현재 센서 네트워크, Wireless Mesh Network 등을 연구 중이다. 관심분야는 임베디드 시스템, 유비쿼터스 센서 네트워크(USN), Wireless Mesh Network 등이다.



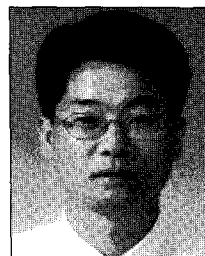
이 승 범 (rikioh@korea.ac.kr)

고려대학교 전기공학과에서 학사, 고려대학교 전자컴퓨터공학과에서 석사 학위를 취득하고, 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정에 있다. 현재 Wireless TCP, Wireless Mesh Network 등을 연구 중이다. 관심분야는 Mobile IP, Wireless TCP, Wireless Mesh Network 등이다.



최 수 환 (soohwan.choi@gmail.com)

고려대학교 전기전자전파공학부에서 학사, 고려대학교 전자컴퓨터공학과에서 석사 학위를 취득하고, 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정에 있다. 관심분야는 디지털신호처리, 임베디드 시스템, 센서네트워크 등이다.



엄 두 섭 (eomds@korea.ac.kr)

고려대학교 전자공학과에서 학사, 고려대학교 전자공학과에서 석사, 일본 오사카대학 정보통신공학과에서 박사학위를 취득하고, 현재 고려대학교 전기전자전파공학과 정교수로 재직 중이다. 관심분야는 통신네트워크 설계 및 성능분석, 무선 ATM, 센서네트워크 등이다.