

공연용 임베디드 시스템을 위한 무선 메쉬 네트워크 테스트

김태정*, 조현상**, 김진술***, 한민수****

요약

쇼콘트롤 시스템을 활용한 실경 공연을 위하여 무선으로 50여개의 임베디드 시스템을 동기화 하는 작업은 여러 가지 어려움을 가지고 있는데 무대 장치와 연기자 등에 의한 전파 회절과 디바이스 상호간의 간섭 등이 문제가 된다. IEEE 802.11s 무선 메쉬 네트워크는 트랜스미터간의 멀티 홉 통신을 하여 메쉬 형태로 망을 운영하기 때문에 중간에 한 개의 AP가 문제가 생기더라도 스스로 망을 복구하여 신뢰도를 높일 수 있다. 이러한 메쉬 네트워크를 통해 공연에서 사용할 수 있는 유연하면서도 신뢰성 있는 무선망이 가능한지 테스트 해보고 실제로 망을 사용하는데 필요한 가이드라인을 제시한다.

Mesh Network Test for Performer Embedded System

Tae-Jung Kim*, Hyun-Sang Cho**, Jin-Sul Kim***, Min-Soo Hahn****

ABSTRACT

The use of wireless system in the show based on natural scenery for the synchronization of 50 performer embedded devices has many difficulties. The diffractions from stage settings and other actors, and the interference with other wireless devices make the jamming problems. IEEE 802.11s system can make mesh topology, and recover from one AP trouble automatically. So we adapt the mesh network to the wireless performer device, test the wireless network and produce the guideline for wireless embedded device for the show.

Key Words : Mesh Network, IEEE 802.11s, Show control, Wireless digital Costume, Wireless network

* KAIST 디지털미디어연구소(☐veca123@kaist.ac.kr)

· 제1저자(First Author) : 김태정 · 교신저자(Correspondent Author) : 한민수

· 접수일(2010년 8월 30일), 수정일(1차 : 2010년 9월 30일), 게재확정일(2010년 10월 4일)

1. 서 론

최근 공연들은 여러 가지 최신 기술들이 접목되어 관객들에게 새로운 경험을 제공하고 있다. 그 중에서 LED 발광 등 다양한 기능을 가지고 있는 디지털 의상을 공연에 사용하는 것은 창작의 표현 범위를 확대 시키고 관객에게 새로운 영상을 제공하는 등 새로운 쇼의 트렌드로 자리매김하고 있다. 본 연구에서는 한국 콘텐츠진흥원의 '자연풍경 및 지역전통문화 기반 디지털 공연 제작 기술 개발' 과제의 일환으로 쇼콘트롤 시스템과 50개 정도의 임베디드 디바이스[1](디지털 의상 혹은 유사한 디바이스)를 공연에 연동하여 활용할 수 있도록 하는 무선 시스템의 가이드라인을 만들기 위한 테스트를 진행하였다.

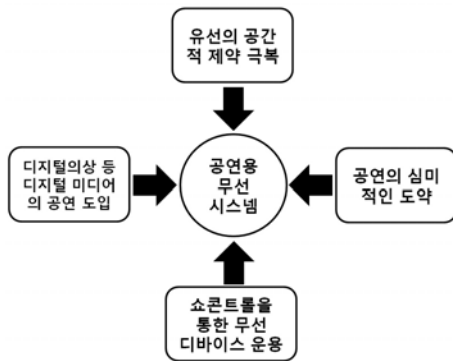


그림 1. 실경 공연용 무선 시스템의 정의
Fig. 1 Performer definition of wireless systems

실제 공연에서 적용되는 가이드라인을 만들기 위해 본 연구에서는 함께 과제를 진행 중인 한국예술종합학교와 함께 그 요구사항을 정리했다. 주된 내용은 우선 실경공연인 만큼 배우가 실외의 공간에서 자유롭게 움직일 수 있어야 하고, 배나 자동차 등에서 사용이 가능해야 하며, 이동 가능해야 한다는 것. 두 번째는 배우들이 공연하는 무대 반경이 최소 60m 이상은 되어야 하며 확장가능하고 유연성과 신뢰성이 있어야 한다는 것. 세 번째는 50개 정도의 많은 수의 무선 임베디드 디바이스(디지털 공연 의상)이 무대 장치, 특수효과, 동료

장비 등에 크게 간섭 받지 않고 공연할 수 있어야 한다는 것 등이다. 다음의 (표 1)은 요구사항들을 정리한 것이다.

표. 1 실경 공연용 무선 시스템의 요구사항
Table. 1. Performer requirements of wireless systems

항 목	내 용
무선 거리	의상 단말 : 공연장 60-120m 쇼콘트롤 슬레이브(차량 등) : 공연장부터 500m
무선 단말의 수	의상 단말 50개 내외
데이터 량 및 방향	트리거 위주, 64byte 이하, 업다운 가능
이동 속도	의상 단말 : Max 10km/h 쇼콘트롤 슬레이브 : Max 45km/h
비용	무선 모듈, 콘트롤러 포함 제작비 조절, GPS 제외
안정성	안정적인 응답률과 200ms 이내 응답시간, 타 전파망에 대한 간섭 최소화
유연성	무선의 확장 가능성 및 무대 장치, 특수효과 등에 대한 전파 유연성 확보
보안	무선망의 신뢰성 확보
기타	개발 편의성, 해외 수출 가능성, 국내 전파법 준수 등

이과 같은 요구사항들을 만족하기 위해 Zigbee, 802.11b, g, n, s, 3G, Wibro 등 다양한 무선망들이 검토되었고 최종적으로 선택한 무선 솔루션은 802.11s 무선 메쉬 네트워크 솔루션이다. 선정 이유는 우선 호핑을 통해 거리를 늘림으로서 거리에 대한 요구사항과 유연성에 대한 요구사항을 동시에 해결할 수 있으며 자체적으로 망을 관리할 수 있고 메쉬 형태로 AP를 설치하여 우회 경로를 확보함으로써 망에 대한 신뢰성을 향상시킬 수 있기 때문이다.

또한 AP와 단말 간의 통신에 54Mbps의 데이터 처리량을 갖는 802.11g를 사용하기 때문에 데이터 처리량이 충분하고 간섭 등에도 효과적으로 대처할 수 있으며 보안 등 여러 응용이 검증되어 있기 때문에 개발에도 편리하기 때문이다.

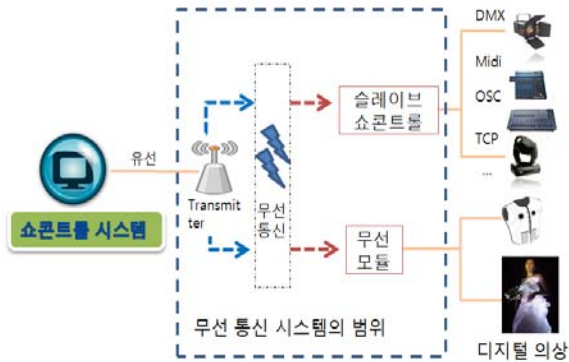


그림 2 쇼 콘트롤에서 무선 시스템의 정의
Fig. 2 Show the definition of wireless systems in the control

II. 관련 연구

올림픽 개막식 등의 현대의 쇼들은 조명, 영상, 음향, 무대 변환, 기계작동, 특수효과 등 많은 기술적 요소들을 가지고 있으며 이러한 요소들을 통합(Integrate)하고 동조(Synchronize)하고 제어(Control)하고 명령(Command)하는 시스템을 쇼콘트롤 시스템이라고 한다. 이러한 쇼콘트롤 시스템은 Ethernet, MIDI, DMX512, RS232 등 다양한 프로토콜을 지원하여 네트워크로 공연용 기기들과 연동되고 Step-base Task 혹은 타임 라인 방식으로 준비된 커맨드들을 처리한다.[1]

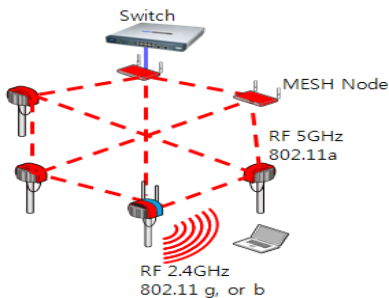


그림 3. 802.11s 메시 네트워크의 구성
Fig. 3 802.11s mesh network configuration

메쉬네트워크(IEEE 802.11s) 표준은 기존의 802.11(WIFI 무선랜) 표준을 확장하여 무선 트랜스미터 간 멀티 홉 통신을 통하여 중, 소규모 Mesh 네트워크를 구성하는 것을 목표로 한다.[2]

IEEE 802.11s 표준그룹에서는 무선 MP(Mesh Point) 들 간의 효율적인 멀티 홉 패킷 전달을 위해 HWMP(Hybrid Wireless Mesh Protocol)라고 불리는 L2 경로 설정(Layer-2 Path Selection)기법을 정의하고 있는데 하나의 Link가 끊어 저도 다른 우회 경로 제공으로 망은 항상 살아 있게 되고 Traffic을 여러 경로로 분산시켜 네트워크의 Load를 줄여 준다.

III. 테스트 시스템 구성

실경공연용 무선 시스템은 많은 수의 임베디드 디바이스들이 다이내믹한 이동과 회절, 다양한 간섭과 혼들림 등에도 안정적인 성능을 보여야 한다.

또 이 무선 시스템이 현장에서 사용하는 것을 전제로 한 시스템이기 때문에 본 연구에서는 시뮬레이션 등의 검증 방법이 아닌 전수 현장 테스트의 방법으로 사용성 검증을 테스트하였다.

실제의 임베디드 시스템을 준비할 수 없었기 때문에 준비할 수 있는 대체품으로 노트북 75대 준비하였으며 5톤 트럭으로 노드들의 이동을 구현하였다. 메시 네트워크는 회사의 규모, 국내의 점유율 등을 고려하여 2개사를 선정하였으며 각각 다른 날 전파간섭이 적은 장소를 선택하여 테스트하였다.

안테나의 경우는 공연용은 6db 옴니 안테나를, 장거리 송신용은 20db 지향성 안테나를 사용하였으며 출력은 200mW를 기준으로 테스트 하였다.



그림 4. 무선 시스템 테스트 장면
Fig. 4 Wireless Systems Test scene

인터넷 통신에 있어 TCP(Transport Control Protocol) 프로토콜은 수신확인과 ARQ(Automated Repeat Request)와 같은 재전송을 수행하므로 응답률과 전송시간 등을 측정하려는 본 테스트의 목적에 부적절하다.[3] 따라서 테스트에는 수신확인과 재전송을 사용하지 않는 데이터그램 방식인 UDP 프로토콜을 사용하였으며 서버에서 NIC(Network Interface Card)를 장착한 노트북 방향으로 발송 시간이 담긴 정해진 크기(64byte)의 패킷을 반복적으로 전송하고 전송 받은 단말에서 받은 시간을 체크해 재전송하면 다시 서버에서도 도착시간을 체크하는 서버와 클라이언트 프로그램을 만들어 테스트에 사용하였다. IP는 고정 사설망을 사용하였고 SSID를 미리 지정하여 연결되도록 하였다.

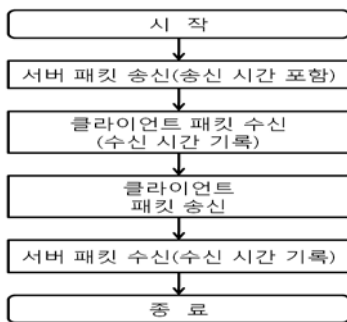


그림 5. 테스트 Flow Chart
Fig. 5 Test Flow Chart

무선 시스템 테스트는 75대의 노트북에 클라이언트 프로그램을 깔고 서버와의 통신하며 테스트 데이터를 저장하였다. 테스트에서는 Transmitter 당 AP를 2개 연결하여 SSID를 2개 사용하였는데 이것은 장비의 테스트가 목적이 아니고 많은 수의 단말에 대한 적응과 확장성을 테스트하기 위한 것이었기 때문이다. 이 테스트를 통한 검증 사항은 다음과 같다.

- ① Mesh WIFI 호핑 단일망 환경 하에서 50개 이상 단말에 64byte 데이터의 실시간 전송이 가능한가?
- ② 데이터의 응답률과 응답 시간은 만족스러운가?
- ③ 다중 SSID 채널의 사용은 원활한가?
- ④ 이동 속도에 따른 데이터 끊김(디지털 의상 :10km/h, 차량: 45km/h) 없는가?

테스트용 프로그램의 패킷은 모두 64byte로 한정하였는데 공연의 주요 신호가 트리거 신호로 신호의 길이가 짧기 때문이다. 주요 패킷의 구성은 다음과 같다. 서버는 응답패킷을 받은 후 받은 시간을 추가로 기록한다. 실험을 위한 앵글은 철제로 되어 있고 노트북 75대가 모두 모여 있어 공연 무대나 공연자간의 전파 간섭 상황을 모의 하였다.

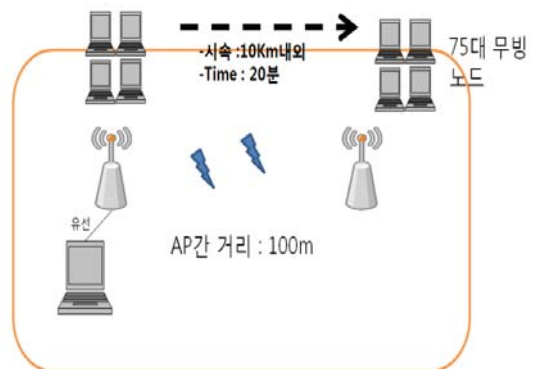


그림 6. 무선 시스템 테스트 시나리오
Fig. 6 Wireless System test scenarios

또 트럭의 이동과 노트북 안테나의 기울임을 통해 실제 공연에서 나타날 수 있는 군무 등을 통한 심한 간섭이 있는 전파 상황이 실험에 반영될 수 있도록 하였다.

표. 2 테스트 패킷 구조
Table. 2. Test packet structure

송신 패킷
Iteration_ID_SendTime_Dummy 5+1+2+1+9+1+ 45 = 64byte
응답 패킷
Iteration_ID_SendTime_ReceiveTime_Dummy 5+1+2+1+9+1+ 9+1+ 35 = 64byte

IV. 테스트 방법 및 결과

우선 예비 테스트를 통해 25m² 실내 사무공간에서 노트북의 무선 상태와 클라이언트 프로그램을 세팅하였다.

그리고 테스트 현장에서 2개의 AP를 100m 간격으로 세워 놓고 ① 움직이지 않고 단말을 순차적으로 연결(15대 씩) ② 트럭을 시속 10km/h로 이동하면서 무선 상태를 체크하였다. 이 때 트럭이 움직이는 거리는 150m 정도가 되어 AP의 호핑이 이루어 질 수 있도록 하였고 그 동안에 노드의 신호 변화를 관찰하였다.

테스트에서 SSID는 2개로 나뉘어 사용되었는데 각각 40개와 35개의 단말이 연결되었다. ③ 마지막으로 AP가 설치된 트럭을 45km/h로 이동하면서(쇼콘트를 슬레이브) AP 간의 밴드위스를 측정했다. 실험 중 서버와 클라이언트간의 시간 동기화[4]를 하지 않았기 때문에 왕복 시간을 기준으로 실험 결과를 분석했다.

(그림 7)은 정지한 상태에서 노드의 평균 반응 속도와 응답률을 표시한 것으로 반응 속도가 45개 이후로 떨어진 것은 SSID가 추가되었기 때문이다. 응답률은

SSID는 3개까지 추가 되므로 정지상태라면 대략 100여 개의 노드까지 커버가 가능하리라고 예상된다. 응답률은 99.6%였다.

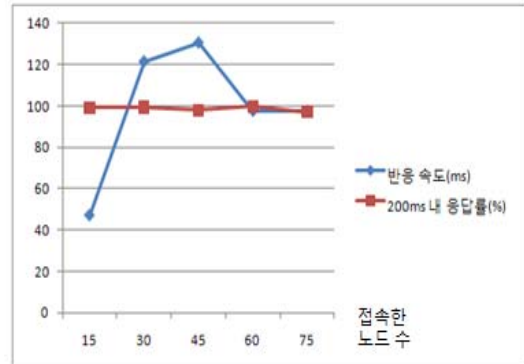


그림 7. 정지시 반응속도 및 응답률
Fig. 7 Stopping the reaction speed and responsiveness

(그림 8)은 10km 이동시의 응답개수와 반응 시간을 보인 것으로 평균 반응 속도는 모두 200ms 이내로 들어왔지만 앵글의 하단부에 있는 노드들이 상대적으로 응답하지 못한 경우가 많았으며 평균 응답률은 93.9%였지만 최 하단 노드들을 제외하고는 95.8%로 양호한 성능을 보여 주었다. 여기에 Hidden SSID를 적용한 경우에도 반응 속도나 응답률에 큰 차이가 있지는 않았다.

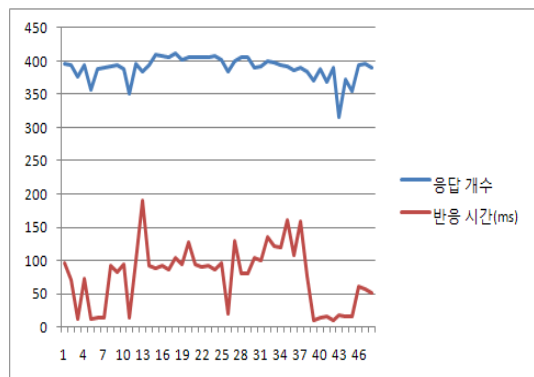


그림 8. 이동시의 응답 개수 및 응답률
Fig. 8 Response rates and response rates when moving

(그림 9)는 트럭을 45km/h의 속도로 이동하면서 응답시간과 응답률, 밴드위스를 측정한 내용으로 모두 양호한 결과를 나타냈다.

이상의 실험은 앞에 제시된 검증사항에 만족할 수 있는 결과였고 패킷 분석에서 유실된 패킷은 98% 이상이 AP -> 노드 구간에서 발생하였으며 200ms 이상의 시간 딜레이도 대부분이 이 구간에서 문제가 나타나고 있음을 알 수 있었다.

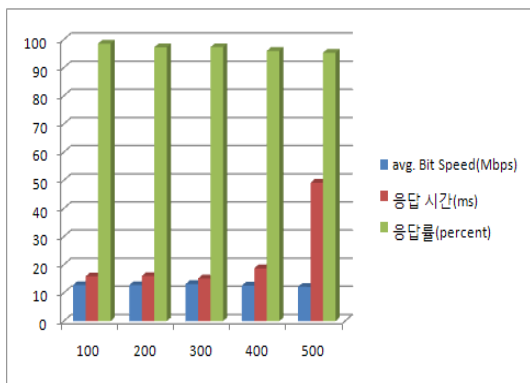


그림 9. 45km/h 이동시의 밴드위스 및 응답률
Fig. 9 45km/h the bandwidth and response rates of move

V. 공연용 무선 시스템 가이드라인

테스트를 통해 작성한 실경 공연용 무선 임베디드 시스템의 가이드라인은 다음과 같다.

1. 실경 공연의 무선 네트워크 시스템은 IEEE 802.11s 로 구성하고 망의 AP는 802.11g를 기준으로 사용한다.
2. 망의 구성은 사설 무선망에서 고정 IP를 사용하며 사용할 SSID를 미리 저장하여 사용한다.
3. SSID 1개당 40개 이내의 디바이스를 연결하고 그 이상의 수는 SSID의 수를 늘린다.(최대 3개까지 가능)
4. 망의 안정성을 높이고 보안을 유지하기 위해 최소 Hidden SSID 이상의 보안책을 사용한다.

5. 같은 큐 신호는 2번씩 중복 전송하여 패킷의 유실을 최대한 방지한다.

6. 옴니 안테나의 dB는 5dB 이상 6dB 이하로 하며 지향성 안테나의 경우 20dB 이하고 한다.

7. 무선 임베디드 의상 장비는 무대에 나가기 전에 무대의 상수 혹은 하수에서 장비를 체크하고 망에 접속한 상태에서 무대에 나간다.

VI. 결론 및 추후 과제

이 테스트를 통해 무선 메시 네트워크를 통해 간섭이 심하고ダイナミック한 움직임이 있는 공연자를 위한 임베디드 시스템이 가능함을 보였다. 또한 무선 메시 시스템이 흡을 통해 무선 영역을 유연하게 확장함으로써 문제에 민감한 공연 무선 시스템에 적합함을 보였다. 또 원거리의 차량 혹은 선박에서 같은 무선 시스템을 사용하여 통신하고 장비를 제어할 수 있음을 보였다.

본 연구의 추후 과제로는 쇼콘트롤의 특성을 이용하여 어플리케이션 레벨에서 노드의 응답률을 더욱 높이고 응답시간도 눈으로 구별할 수 있는 레벨(50ms) 이하로 동조하도록 하여 더 나은 성능을 보일 수 있는 방법들에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] John Huntington, "Control Systems for Live Entertainment", Focal Press, 3rd Edition, 2007.
- [2] A. Raniwala and T. Chiueh, "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-channel Wireless Mesh Network" in Proc. of IEEE InfoCom, 2005.
- [3] Bay Networks, "IEEE 802.11 standard for wireless lans", WP560-3189WC-A, 1998
- [4] Emmanuelle Anceaume and Isabelle Puaut, "Performance Evaluation of Clock Synchronization Algorithms", 1998.



김태정(Taejung Kim)

1999년 : 광운대학교 전기공학과 (공학사)

2006년 ~ 2007년: RFID 아이텔유 대표

2009년 ~ 현재: KAIST 정보통신공학과 디지털미디어 전공 석사과정

※ 관심분야: Wireless Internet, IPTV, Mobile Device, RFID/USN, Home Network Service



조현상 (Hyunsang Cho)

1997년 : 경원대 전자공학과 (공학사)

2007년 : 한국과학기술원 (한국정보통신대학교) 디지털미디어 (공학석사)

2010년 : 한국과학기술원 (공학박사)

2004년~2005년: (주) 표준정보기술, 시스템사업부 팀장

2010년 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 서해안 산업단지 전력저감 센터 ESMS 개발팀장

※ 관심분야: Smart grid, Context-aware service, Home network service, QoLT & health-care service.



김진술(Jinsul Kim)

2001년 : Computer Science (BSCS), University of Utah, USA

2005년 : KAIST 정보통신공학과 디지털미디어 전공 (구, ICU) (공학석사)

2008년 : KAIST 정보통신공학과 디지털미디어 전공 (구, ICU) (공학박사)

E-mail : jsworld@kornu.ac.kr

2005년 ~ 2008년: ETRI 한국전자통신연구원 연구원

2009년 ~ 현재: 한국나사렛대학교 멀티미디어학과 교수

※ 관심분야: 방송.통신 융합미디어 처리, 디지털미디어 처리, 유비쿼터스 컴퓨팅, 휴먼-컴퓨터 인터랙션 등

한민수(Minsoo Hahn)



1979년 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1981년 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1989년 : Electrical and Electronics engineering, University of Florida, USA (공학박사)

1982년~1985년: 한국표준과학연구원

1990년~1997년: 한국전자통신연구원

1998년~현재 : KAIST 전자과 교수

※ 관심분야 : VoIP, 음성 신호 처리, 음성 합성, 디지털 미디어 등