스마트 클래스룸에 대한 통신 시스템의 모델링과 성능 분석

강정숙* · 이정훈** · 김철민*** · 김성백***

목 차

1. 서 론
2. UBICOMP와 스마트 클래스룸
3. 스마트 클래스룸의 시나리오 및 트래픽 분석
4. 무선 LAN의 적용
5. 성능 평가
6. 결 론

1. 서 론

UBICOMP (Ubiquitous Computing)는 컴퓨터 혹은 계산 장치들이 서로 연결되어 특정 기능을 수행하는 환경으로서, 사람들로 하여금 키보드, 마우스 등 특수한 인터페이스를 동작시키지 않고도 자연스럽게 이 계산 환경에 접근할 수 있도록 한다[5]. 사용자들의 동작이 센서들에 의해 자동으로 인식되어 이에 대한 반응이 지능적으로 구동기(actuator)를 통해 일어나기 때문에 사용자는 심지어 이 장치의 존재조차 모를 수도 있다. 이러한 UBICOMP의 적용분야는 mobile computing, wearable computing, intelligent environment (IE) 등 다양한데, 이중에서 IE는 다양한 센서, 구동기, 컴퓨팅 장치들이 서로 하부의 네트워크로 연결되어 분산시스템을 이룬다[14]. 이 시스템의 전형적인 동작은 센서를 통해 사람의 동작 혹은 현재 대상 시스템의 상태를 수집하고 이 내용이 네트워크 혹은 통신 하부구조를 통해 컴퓨팅 노드에 전달이 되면 컴퓨팅 노드는 이를 분석하여 적절한 구동

* 제주여자상업고등학교 교사
** 제주대학교 전산통계학과 부교수
*** 제주대학교 컴퓨터교육과 부교수

기에 명령을 내린다.

이러한 IE를 교육환경에 적용하여 효율적이고 다양한 학습활동을 가능하게 한 것이 스마트 클래스룸(smart classroom)이며 현재 이에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다[7]. 스마트 클래스룸에서는 수업 활동 중에 빈번하게 교수자와 학생간에 다양한 상호작용이 일어나며 칠판, 빔프로젝트 등 여러가지 교육 매체들이 함께 활용될 수 있다. 이는 교수자나 학생의 활동이 영상, 음성 혹은 주기적인 데이터 형태로 수집되어 음성이나 제스처에 대한 인식이나 상황 분석 등이 컴퓨팅 노드에서 수행되어야 함을 의미한다. 또한 분석된 결과에 의해 칠판에 현재 강의중인 부분의 내용이 강조된다든지 하는 일련의 제어 동작이 수행되어야 한다. 이외에도 학습활동에 따라 다양한 스마트 클래스룸 시나리오가 제공될 수 있으며 교육매체의 발달은 교구 방법을 더욱 다양화시킬 것이다[2].

이처럼 다양한 학습활동을 보이는 스마트 클래스룸과 같은 UBICOMP 기술을 실현하기 위해서는 여러 장비들이 서로 유기적으로 원활하게 협력하는 것이 제일 중요하다고 볼 수 있다. 이를 위해서는 무엇보다 전송 기술, 특히 무선 통신의 발달이 선행되어야 한다. 더욱이 현재 혹은 향후 용량이 큰 멀티미디어 데이터의 전송이 필수적인 요소로 부각되고 있어서 네트워크의 역할은 더욱 중요해지고 있다. UBICOMP의 하부 네트워크로는 다양한 형태의 장치들을 연결하기 위하여 확장성과 연결성이 뛰어난 무선 기술이 우선적으로 고려되고 있으며 대표적인 것으로는 블루투스(Bluetooth)[15], Ad hoc 네트워크[8], 무선 LAN[6] 등이 있다.

스마트 클래스룸에서는 영상, 음성, 데이터와 같은 실시간(real-time) 트래픽과 비실시간(non-real- time) 트래픽이 혼재되어 네트워크를 통해 전송된다. 따라서 스마트 클래스룸의 하부 네트워크와 이에 따르는 프로토콜은 실시간 트래픽에 대해서는 주기내 전송보장을 해야하고 비실시간 트래픽에 대해서는 효율적인 전송시간을 제공할 수 있어야 한다. 이를 기반으로 영상과 같은 스트림에 대해서는 좋은 화질을, 제어 메시지 혹은 사건보고와 같은 비실시간 메시지들에 대해서는 신속한 전달을 가능하게 한다.

무선 LAN은 이상에서 언급한 요구사항을 충족시킬 수 있는 네트워크로서 시간축이 분할되어 실시간 영상 음성과 비실시간 데이터가 효율적으로 다중화되어 전달될 수 있다. 이와 아울러 무선 통신의 발달로 인해 대역폭이 계속 확장되고 있으며 IEEE 802.11에서 무선 LAN의 표준을 정하고 있다. 무선 LAN을 스마트 클래스룸에 적용하기 위해서는 트래픽에 대한 분석이 선행되어야 하며 이를 기반으로 반복 주기, 용량 벡터의 크기 등 인자들이 결정되어야 한다[10].

본 논문은 무선 LAN을 이용하여 스마트 클래스룸의 통신 시스템을 설계하고 평가함을 목적으로 하며 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 스마트 클래스룸의 전형적인 구조를 소개한다. 3장에서는 스마트 클래스룸에서의 학습 시나리오 분석과 다양한 학습 활동을 통해 네트워크의 트래픽 특성을 파악한다. 4장에서는 IEEE 802.11 무선 LAN의 기능을 간략히 소개한 후 3장에서 분석된 결과를 이용하여 트래픽을 무선 LAN에 할당한다. 5장에서는 SMPL을 이용한 모의실험을 통해 다양한 인자에 따른 반응시간을 측정하여 현재의

학습활동 시나리오에 대해 무선 LAN이 스마트 클래스룸의 통신구조로서 적합함을 보인다. 마지막으로 6장에서는 본 논문을 요약하고 결론을 도출한다.

2. UBICOMP와 스마트 클래스룸

2.1 UBICOMP 기술

UBICOMP는 1991년에 Xerox PARC의 Mark Weiser에 의해서 처음 제안된 개념으로서, 실세계의 각종 물품들과 환경 전반에 걸쳐 컴퓨터들이 편재하면서 이들이 사용자에게는 컴퓨터로서의 겉모습을 드러내지 않도록 환경 내에 효과적으로 통합하는 기술이다[5]. 즉, 사용자들이 컴퓨터라는 거부감을 느끼지 않고 실제로는 수많은 컴퓨터들을 편리하게 이용할 수 있도록 한다.

UBICOMP의 예를 들면 휴대폰 크기의 컴퓨터 단말기, 펜 크기의 통신기기, 그림처럼 벽에 걸어 놓을 수 있는 VOD(Video On Demand) 시스템, 날씨 및 온도 정보를 받아서 24시간 그림으로 나타내어 주는 기기, 움직이는 회사원의 위치를 모니터에 나타내어주는 장치, 공책처럼 들고 다니면서 공통된 서류를 작성하고 교환할 수 있게 해주는 장치 등 우리의 아이디어가 미칠 수 있는 것이라면 거의 모든 것이 해당된다고 할 수 있다. 특히 이들 기기는 컴퓨팅 파워를 지니고 있기 때문에 기존의 컴퓨터로서의 능력은 물론이고 상호 정보의 교환이 가능할 뿐 아니라 사람의 의도를 파악하여 적절한 작동을 자율적으로 수행할 수도 있다.

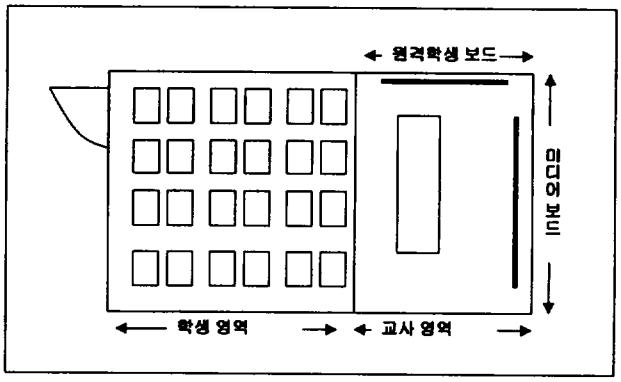
결국, UBICOMP 환경에서는 다양한 장치들이 구역내에서 자유롭게 이동하고 경우에 따라 대용량 실시간 및 비실시간 트래픽을 발생시킬 수도 있다. 또 사용자들이 네트워크의 존재조차 모르게 되는데 이러한 UBICOMP를 지원하기 위해서는 다음과 같이 분야별로 기능적 조건이 충족되어야 한다[1].

- o 이동 장치들을 위한 무선 매체 접근 지원이 필요하며 이를 위해서는 공정성과 실시간 요구조건을 충족시켜야 한다.
- o 실시간 멀티미디어 데이터를 주고받기 위하여 광대역폭을 지원해야만 한다.
- o 프로토콜 측면에서 볼 때 멀티미디어 응용 분야를 지원해주기 위해서는 실시간 프로토콜이 있어야 하며, 또한 인터넷의 패킷 교환 방식을 지원해 주어야 한다.

2.2 스마트 클래스룸

IT(Information Technology) 기술의 발달에 따라 이를 교육에 적용하여 교육의 질을 높이려는 연구가 다양한 분야에서 진행되고 있다. 여러 가지 IT기술 중에서 최근에 관심

을 끌고 있는 것이 UBICOMP 기술을 컴퓨터교실에 적용시킨 스마트 클래스룸이라고 볼 수 있다. 스마트 클래스룸에서는 교사나 학생들이 컴퓨터에 특정한 입출력장치들을 사용하지 않고 이들의 행동이 지능적으로 분석되어 반응하게 된다. 예를 들면 현재 교사가 설명하는 내용이 분석되어 이에 대한 관련 자료가 화면에 자동으로 표현된다. 스마트 클래스룸을 구성하기 위해서는 역시 각종 센서들과 구동기들이 네트워크를 통해 연결되어 있어야 하며 교사의 음성이나 영상을 분석하여 이에 따르는 제어를 수행하기 위하여 컴퓨터가 설치되어 있다.



<그림 1> 스마트 클래스룸의 구성도

<그림 1>은 스마트 클래스룸의 전형적인 구조를 보여주고 있는데 우선적으로 학생영역과 교사영역으로 구분이 된다. 교사영역은 교사가 교수 활동을 하는 공간이며 이 영역에 위치한 미디어 보드는 칠판용으로 교사를 위해 사용되어지고 원격학생 보드는 원격학습자들을 위해 이들의 영상을 교사에게 보여주는 기능을 수행한다. 교사 영역에는 비디오 카메라, 마이크로폰, 센서 등이 설치되어야 한다. 교실학습 학생 영역은 교실내의 학습자들을 위한 공간이며 경우에 따라 다양한 교육 매체들이 위치할 수 있다.

이러한 구조를 바탕으로 수업을 하는 과정에서 교사의 움직임과 음성은 각각 카메라와 마이크에 의해 수집되어 디지털 데이터로 변환된 후 네트워크를 통해 컴퓨터 시스템으로 전송되어 분석된다. 분석되는 과정에서 영상 혹은 음성에 대한 인식 기능이 필요하며 컴퓨터 시스템은 이러한 프로그램을 탑재하고 있어야 한다[4]. 역시 학생 영역에 위치한 카메라도 학생들의 움직임을 컴퓨터 시스템에 전송하여 분석되도록 한다. 컴퓨터는 음성이나 영상에 대한 인식 및 분석 기능을 갖고 있어야 하며 이 분석에 대한 제어 로직이 프로그램되어 있다. 컴퓨터가 분석한 결과에 의해 해당 구동기들을 동작시켜야 하는데 이 구동 명령들도 네트워크를 통하여 컴퓨터에서 구동기들로 전달이 된다.

이러한 구조를 바탕으로 교사에 대한 인증이나 수업에 있어서의 상호작용이 이루어진다. 먼저 교사에 대한 인증은 교사가 교실로 입실하게 되면 비디오 카메라에 의해 교사영역으로 들어오려는 교사의 얼굴을 확인하기 위한 메시지와 함께 교사의 음성을 인식하기

위한 메시지를 발생시킨다. 그러면 교사의 얼굴과 음성 데이터를 이를 컴퓨터에 설치된 에이전트에게로 보내게 되고 이 에이전트는 그 데이터를 분석하여 사용자 인증을 한다. 이 과정에서 교사는 마우스나 키보드와 같은 컴퓨터용 입력장치를 사용하지 않는다.

또한, 수업 진행 과정동안 교사의 교수-학습 활동이 지능적으로 감지되어 처리되는데 교수영역에 위치한 비디오 카메라를 통해 교사의 학습활동이 스트림 형태로 컴퓨터에 전달되고 이를 분석함으로써 교수자의 위치와 교실에서의 교수 학습 활동이 지속적으로 원활하게 추적된다. 교사의 음성 처리는 교수자가 사용하는 무선마이크로폰을 통해 얻은 음성 신호를 디지털 신호로 변환한 후 컴퓨터 상의 음성 인식 에이전트를 이용하여 분석처리한다. 분석 결과 현재 교사가 어떤 주제에 대해 설명하고 있다면 미디어 보드의 내용이 자동적으로 그 내용으로 변경된다. 또 어떤 학생을 지목했다면 그 학생에 대한 정보나 영상이 화면에 나타날 수 있으며 그 질문의 결과가 데이터베이스에 저장되어 성적에 반영될 수도 있다. 따라서 교수자인 교사는 실제의 마우스를 조작하는 것이 아니라 단지 손짓과 제스처만을 사용하게 된다.

결국 스마트 클래스룸을 구성하는데 있어서는 무선 네트워크, 센서 기술, 구동기 기술, 영상이나 음성 인식 기술 등이 모두 결합되어야 한다. 네트워크 측면에서 고찰하면 영상이나 음성과 같은 실시간 트래픽과 제어 메시지와 같은 비동기적인 메시지들이 효율적으로 전달되어야 한다.

3. 스마트 클래스룸의 시나리오 및 트래픽 분석

스마트 클래스룸의 네트워크를 설계하고 수행인자를 설정하기 위해서는 우선적으로 스마트 클래스룸의 트래픽 특성과 이에 따른 요구사항을 파악하여야 한다. 스마트 클래스룸에는 여러 장치들이 메시지들을 발생시킬 수 있으며 주기적으로 계속 전송되는 실시간 스트림의 형태를 갖거나 주기를 갖지 않는 비실시간 데이터의 형태를 갖는다. 현재 수업을 바탕으로 트래픽을 예상하여 본다면 교사의 음성, 교사의 동작 영상, 학생 동작 영상, 원격학생 보드의 영상 등의 실시간 스트림이 포함되는데 이는 주기적으로 발생하는 메시지들이 주기 내에 전달되어야 한다는 제약조건을 가지며 네트워크는 이러한 데이터에 대해 사전에 대역폭을 할당하여야 한다. 반면 교사의 행동에 의한 미디어 보드에서 발생하는 이벤트, 컴퓨터의 분석 결과 구동기에 내리는 명령 등은 주기가 없이 비동기적으로 발생하며 가능한 한 신속하게 상대방에 전달되어야 한다는 요구사항을 갖는다.

스마트 클래스룸에서 예상할 수 있는 트래픽의 종류와 특징, 메시지 타입은 <표 1>과 같다. 교사 음성은 음성의 발성 구간과 묵음 기간이 있으므로 반주기적으로 분류되며 각 영상은 주기적으로 메시지를 발생시킨다. 데이터로 분류된 트래픽은 비동기적으로 발생한다. 실시간 스트림의 경우 네트워크의 대역폭이 사전에 할당되어야 하는데 현재 카메라들

이 발생시키는 영상, 즉 주기와 전송량 등의 특성은 사전에 알려져 있어서 네트워크 인자를 조정하는데 사용될 수 있다. 반면 비주기적인 데이터들의 트래픽 특징은 수업 과목의 특성, 교사의 수업 행태, 학생들의 참여 활동 등 다양한 요소에 의해 결정된다. 예를 들어, 교사가 슬라이드를 이용하여 수업을 진행하는 경우 컴퓨터는 그 내용을 교사의 손짓이나 제스처에 따라 전송하여야 한다면 각 슬라이드의 데이터 양, 혹은 슬라이드 변경 시간 등이 트래픽에 상당한 영향을 미친다. 이러한 데이터를 파악하기 위해서는 슬라이드를 이용한 수업에 대해 통계적인 데이터를 수집함으로써 트래픽의 특성을 추출할 수 있다.

<표 1> 스마트 클래스룸의 학습환경

트래픽	특징	매핑	메시지
교사음성	반주기적	CP	음성
화이트보드	비주기적	CP	데이터
제어메시지	비주기적	CP	데이터
학생영상	주기적	CFP	영상
교사영상	주기적	CFP	영상
원격지학생보드	주기적	CFP	영상

<표 2>는 전자계산일반교과를 중심으로 교사가 수업을 진행하면서 교사의 음성과 화이트보드의 이용이 주기적이지 않음을 보여주기 위하여 50분 수업을 기준으로 프리젠테이션 자료를 활용하여 각 슬라이드별로 소요되는 시간을 측정해 본 결과이다. 표에서 보는 바와 같이 1학년 전자계산일반 교과 단원중의 하나인 '컴퓨터의 개요' 부분에서 17장의 슬라이드를 사용하여 수업한 결과 전체 약 40분(2400초) 정도의 시간이 소용됨을 보이고 있다. 또한, 수업 중에 교사의 화이트보드 활용 횟수는 슬라이드2, 슬라이드3, 슬라이드8에서 각각 사용되어 모두 3번 정도 이용하였다. <표 2>는 실제 일선 학교 수업 현장에서 전형적인 수업 활동의 예라고 볼 수 있다.

보다 정확한 수업 활동의 형태를 알아보기 위해 유사한 몇 개의 전산학 관련 교과에 대해 수업을 하면서 수업 활동을 측정하였다. 비주기적 데이터의 전송량을 표본으로 추정하여 본 결과 과목에 따라 다소 차이가 발생하였지만 전체적으로 평균 183.0, 표준편차 70.2를 갖는 것으로 나타났다.

물론 매체 사용방식이 향후 크게 변화되어 보다 많은 트래픽을 발생시킬 것으로 예상되지만 네트워크 전송 속도도 계속 발전하므로 이에 대해 대처할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 표본 수업 조사에서 수집된 내용이 스마트 클래스룸의 통신 구조로서 무선 LAN이 도입될 수 있는지에 대한 판단 근거와 성능 평가에 있어서의 자료로 이용하였다. 물론 다른 과목들에 대한 수업행태에 대한 사례 연구가 진행되어 분석된다면 이에 대한 도입도 충분히 가능하다.

<표 2> 전자계산일반 프리젠테이션 수업의 활용

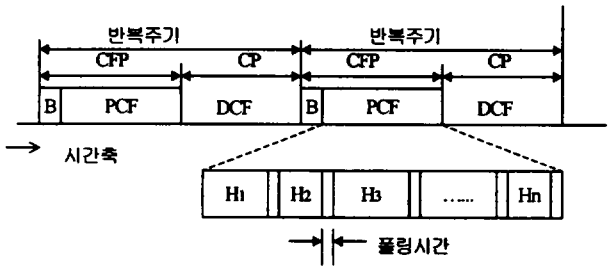
슬라이드	초
슬라이드 1 (컴퓨터의 개념)	200
슬라이드 2 (컴퓨터의 기능)	200
슬라이드 3 (컴퓨터의 특성)	180
슬라이드 4 (계산기의 역사)	120
슬라이드 5 (컴퓨터의 등장)	150
슬라이드 6 (컴퓨터의 발전)	120
슬라이드 7 (사용목적에 따른 분류)	150
슬라이드 8 (자료표현에 따른 분류)	150
슬라이드 9 (처리능력에 따른 분류	110
슬라이드 10 (대형 컴퓨터)	120
슬라이드 11 (중형 컴퓨터)	120
슬라이드 12 (미니 컴퓨터)	100
슬라이드 13 (마이크로 컴퓨터)	150
슬라이드 14 (개인용 컴퓨터)	120
슬라이드 15 (컴퓨터의 시스템)	120
슬라이드 16 (하드웨어 시스템)	120
슬라이드 17 (소프트웨어 시스템)	170
평 균	141.2
표준편차	31.0

4. 무선 LAN의 적용

4.1 무선 LAN의 개관

3장에서 분석된 결과, 스마트 클래스룸 내에서는 실시간 및 비실시간 트래픽이 혼재하게 되며 이들의 전송은 효율적으로 스케줄링되어야 하는데 무선 LAN은 이러한 요구사항을 만족시킬 수 있다. IEEE 802.11로 규정된 무선 LAN 표준안에 따르면 이의 시간축은 (그림 2)에서 보는 바와 같이 반복주기(repetition cycle)가 무한히 진행하며 각 반복주기는 CFP (Collision Free Period)와 CP (Collision Period)로 구성된다. CFP는 충돌이 없는

구간으로서 메시지의 전송시간이 예측 가능하며 PCF (Point Coordination Function)에 기반하고 있다. 이 구간에서 네트워크를 통해 전송하려는 노드는 조정자로부터의 폴을 받을 때까지 대기하여야 하며 폴을 받으면 배타적으로 전송을 할 수 있다. 반면 DCF (Distributed Coordination Function)에 기반하고 있는 CP (Collision Period)는 전송을 원하는 각 노드들이 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 방식에 의해 네트워크에 접근한다. 따라서 이 방식에서는 충돌의 가능성이 있다. 그로 인해 충돌 가능성을 고려해야 하기 때문에 메시지의 전송시간이 예측가능하지 않다.



<그림 2> 무선 LAN의 시간축

4.2 무선 LAN과 실시간 트래픽

스마트 클래스룸의 트래픽 중 실시간 트래픽은 센서에서 주기적으로 수집된 데이터와 영상 및 음성 스트림이 혼합되어 있다. 먼저 멀티미디어 트래픽을 무선 LAN에서 전송하기 위한 대표적인 연구로는 사전 대역폭 보장 방식과 적응적으로 대역폭 할당을 변경하는 방법이 있다. 대역폭 할당 기법의 예로서 AP가 아닌 한 노드에서 주기적으로 전송되는 CFP 개시 프레임에 현재 실시간 연결의 모든 특성을 방송하여 모든 노드가 대역폭 할당 정보를 공유하고 이 스케줄에 의해 동작하는 기법이 제안되었다[16]. CFP에서 각 연결에 할당되는 구간은 PBR (Peak Bit Rate), MBR (Mean Bit Rate) 등과 같은 멀티미디어 트래픽 특성이 반영되어 있으나 이 연구는 CFP의 길이가 고정된 것으로 설정하였다. 반면 적응적으로 대역폭 할당을 변경하는 방법으로서 L. Abeni 등은 가상 종료시한에 근거한 대역폭 할당 후 연결의 요구사항 변화에 대해 피드백 스케줄링을 도입하여 각 실시간 연결의 요구사항을 반영하는 기법을 제안하였다[11].

스마트 클래스룸에 설치된 센서들로부터 데이터를 수집하는 과정은 무선 센서 네트워크의 특징과 부합하는데 Lui Sha 등은 각 노드들이 한 셀 내에 있는 모든 센서 혹은 전송원의 트래픽 특성을 숙지하고 있는 상태에서 예약에 의해 전송순서를 결정하는 일종의 EDF 방식을 제안하였다[13]. 그러나 각 노드가 모든 스케줄을 숙지하고 있어야 하므로 전체적인 일치 문제가 발생하며 숨은 노드 문제를 해결하기에 어려운 특징을 갖고 있다.

4.3 스마트 클래스룸 트래픽 매핑

무선 LAN을 스마트 클래스룸에 도입하기 위해서는 <표 1>에서 분석된 트래픽들이 시간축에 할당되어야 하는데 <표 1>은 영상 스트림에 대해서는 CFP에, 반주기적 혹은 데이터 스트림에 대해서는 CP에 전송하도록 한다. CFP를 통한 전송은 충돌이 없어서 네트워크에 오류가 없는 한 주기 내에 목적지에 전달될 수 있으며 CP를 이용한 통신은 충돌이 있기는 하지만 CSMA/CA 방식에 의해 비동기적인 데이터들이 효율적으로 전송될 수 있기 때문이다.

<그림 2>에서 보는 바와 같이 이러한 무선 LAN 네트워크 인자들의 값은 네트워크 운영 이전에 결정되거나 혹은 어떤 실시간 연결의 설정시 조정되어야 한다. 더욱이 CFP 구간은 메시지 스트림의 실시간 전송 특성, 즉 주기나 전송시간 등을 사전에 파악하여 각 노드가 네트워크에 접근할 수 있는 시간을 결정하여야 한다. 각 노드가 폴을 받았을 때 네트워크를 사용할 수 있는 시간을 용량 벡터(capacity vector)라고 하며 {Hi}로 표현된다. 결국 스마트 클래스룸에 있어서 실시간 스트림과 비실시간 트래픽의 특성에 대해 반복주기 F와 용량벡터 {Hi}를 우선적으로 결정하여야 하는데 이를 대역폭 할당(bandwidth allocation)이라고 한다. 실시간 메시지 스트림에 대한 대역폭 할당 기법에 대해 많은 연구가 있었으나 본 논문에서는 지역적 기법을 따른다[10]. 이 기법은 가장 단순하게 위 인자들의 값을 결정할 수 있으며 보장비율(guarantee ratio)도 비교적 좋다. 결국 F와 {Hi}는 식 (1)과 같이 결정된다.

$$F = \frac{P_{min}}{\left\lceil \frac{-3+\sqrt{9+\frac{8P_{min}}{2}}}{2} \right\rceil}$$

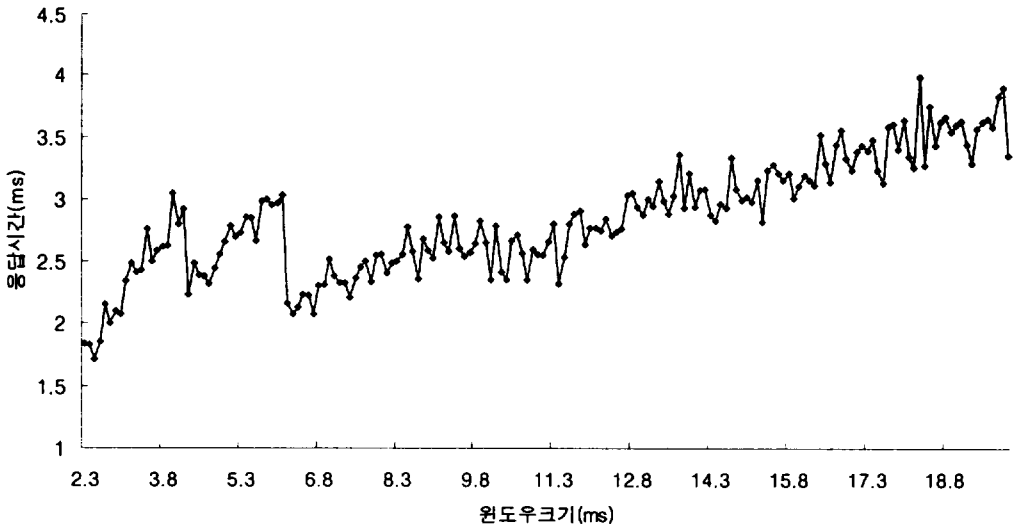
$$H_i = \frac{C_i \cdot P_i}{U} \cdot (F-\gamma), \text{단} \quad U = \sum \frac{C_i}{P_i} \qquad (1)$$

위 식에서 P_{min}은 스트림 집합에서 주기의 최소값이며 γ는 한 반복주기에서 낭비시간의 합이다.

5. 성능평가

이상에서 결정된 인자들을 기반으로 SMPL을 이용한 모의실험에 의해 스마트 클래스룸의 네트워크 성능을 측정하였다[12]. SMPL은 네트워크 모의실험에 사용되는 도구로서 이벤트의 등록과 처리에 의해 전체적인 동작을 추적할 수 있으며 시간 함수에 의해 지연시간을 측정할 수 있다.

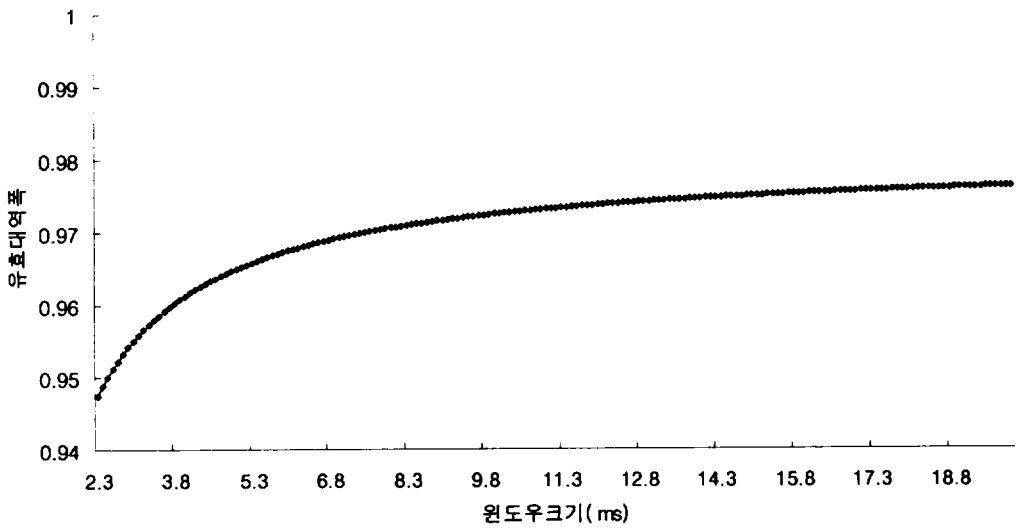
본 실험은 다음과 같은 가정에 기반하고 있다. 무선 LAN은 2Mbps 특성을 가지며 네트워크 오류는 발생하지 않는다. 물론 무선 LAN이 오류에 취약하기는 하지만 실시간 트래픽은 시간 특성상 오류제어를 수행하지 않으며 신뢰성을 요구하는 트래픽은 상위 레벨의 프로토콜에서 필요에 따라 처리하는 것으로 가정한다. 실험에 있어서 실시간 트래픽의 점유율, 윈도우 크기, 비실시간 트래픽의 부하 등이 주요 고려 대상이 되었으며 이들간의 관계를 그림으로 나타내었다. 실험에서 폴링 오버헤드와 충돌 오버헤드는 네트워크 위상에 따라 다른 값을 갖는데 본 실험에서는 비교적 작은 범위를 연결하는 네트워크를 기준으로 각각 50 비트 타임, 60 비트 타임으로 설정하였다. 또 비실시간 메시지의 크기는 MPEG 트랜스포트가 전달되는 크기인 234 바이트를 평균적으로 갖도록 하였다.



<그림 3> 윈도우 크기에 따른 응답시간

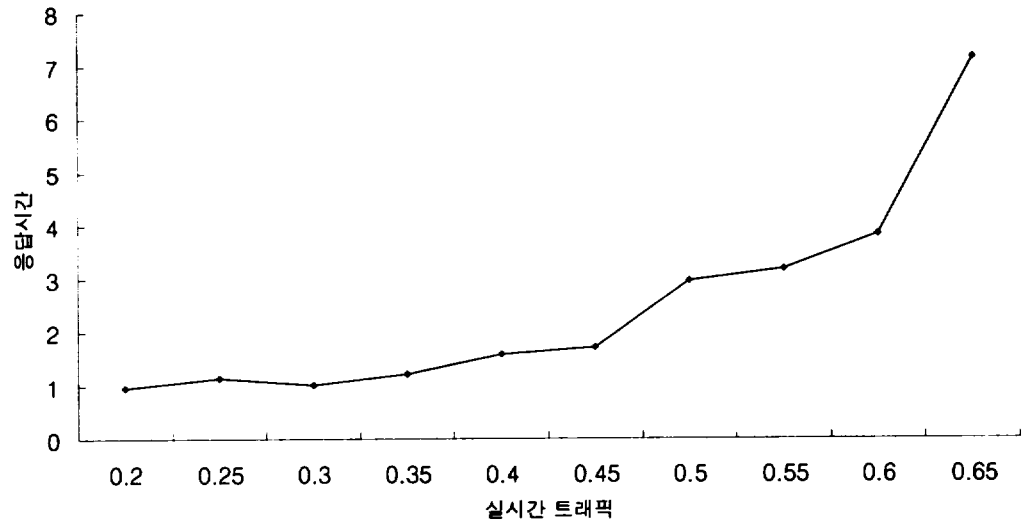
<그림 3>은 윈도우 크기, 즉 반복주기에 따라 비동기적인 사건이 보고되는 시간을 보여준다. 이 실험에서 실시간 트래픽은 전체의 0.5를 차지하고 전체적으로 3 개의 스트림이 있다. 네트워크 대역폭을 2Mbps로 가정할 때 영상이 전송되는 실시간 트래픽 즉, 교사와 학생의 영상, 원격지학생보드 의 각 실시간 메시지 당 384Kbps, 현재 일반적으로 사용된 비디오 생성주기를 기반으로 전체 약 1.152Mbps로 정하였다.

폴링 오버헤드는 한 반복주기당 3 개의 폴을 필요로 한다. 비동기 트래픽은 부하 0.2를 가지며 포아송 분포를 따라 도착한다. 비동기적인 사건은 각 모니터에서 감지되어 중앙의 제어국에 보고된다. 그림에서 보는 바와 같이 윈도우 크기를 작게 할수록 응답시간이 줄어든다. 윈도우 크기 4.0~6.6 사이에서 크게 편차를 보이는 것은 윈도우 크기가 작아질 때 유효 대역폭이 감소하여 대기시간이 증가하였기 때문으로 파악된다.



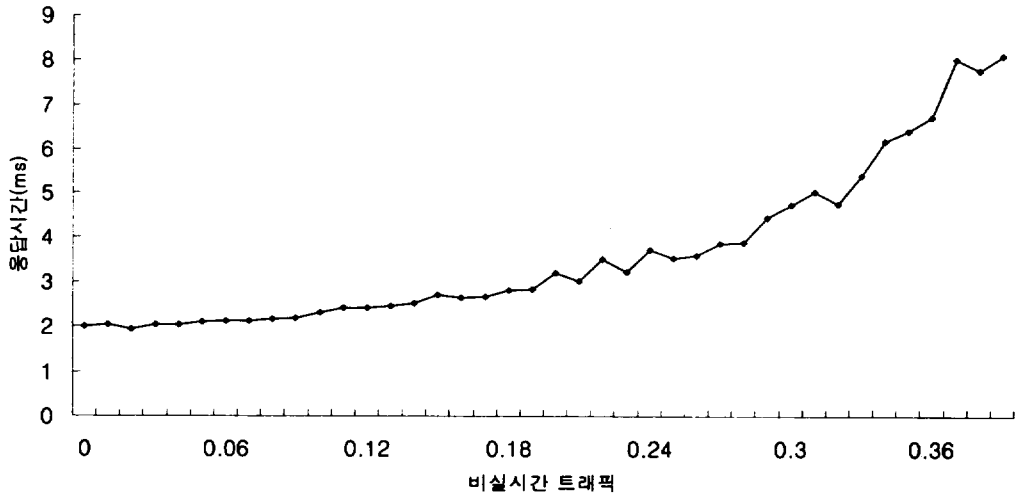
<그림 4> 윈도우 크기에 따른 유효 대역폭

<그림 4>는 윈도우 크기에 따른 네트워크 사용율을 계산한 결과이다. 윈도우 크기가 증가할수록 폴링 오버헤드가 줄어든다. 물론 폴링에 필요한 절대 시간은 불변이지만 반복 주기의 회수가 적어지므로 전체 네트워크 시간에 대비한 폴링 오버헤드의 비율이 줄어 사용율은 증가한다. 사용율과 응답시간은 서로 상충(trade-off) 관계에 있으며 인자들의 특성에 따라 적절한 윈도우 크기를 발견한다면 이들 인자의 최적화를 이루는 값을 찾을 수 있다.



<그림 5> 실시간 트래픽에 따른 응답시간

<그림 5>는 스마트 클래스 룸에 실시간 트래픽의 양이 증가할수록 응답시간이 대폭 증가함을 보여주고 있다. 위 실험의 전제 조건으로 스트림의 개수는 3 개로 설정하였으며 비실시간 트래픽의 부하는 0.1로 설정하였다. 실시간 트래픽의 양이 시스템의 0.5 이상이 되면 급격하게 응답시간이 증가함을 알 수 있다. 결국 Controlled Load Service 클래스와 같이 전체 네트워크 내에 실시간 혹은 비실시간 트래픽의 양의 임계치 이하로 유지하여 응답시간을 사용자가 감내할 수 있는 범위내로 제어하는 방안이 필요하다[9].



<그림 6> 비실시간 트래픽에 따르는 응답시간

<그림 6>은 실시간 트래픽의 부하가 전체 네트워크 대역폭의 0.5를 차지할 때 비실시간 트래픽의 부하를 증가시켜가며 그 응답시간을 측정한 결과이다. 비실시간 트래픽이 증가하더라도 사전 대역폭 보장에 의해 실시간 트래픽의 종료시한 만족도에는 전혀 영향이 없으며 비실시간 트래픽의 전송시간만이 증가한다. 이는 CP에 충돌이 발생할 가능성이 증가함은 CP에 대한 대기시간이 대폭 증가하기 때문이다.

6. 결 론

현재의 첨단통신기술은 점차적으로 무선 LAN 환경으로 변화되어 가고 있음을 알 수 있다. 따라서 미래의 교육 환경도 유선 LAN에서 무선 LAN으로 바뀌어 가야 한다. 이에 본 연구에서는 무선 LAN 형태로서 UBICOMP 기술을 적용한 스마트 클래스 룸을 제시하였다. 또한 이러한 스마트 클래스 룸의 통신 시스템의 트래픽 특성을 알아보고 이를 모의 실험하여 정량적으로 분석하였다.

교실 학습 환경의 주체가 되는 교사영상, 학생영상, 원격지 학생보드 등의 3가지 트래픽은 실시간 메시지로 분류하였으며, 교사음성과 화이트보드에 해당하는 트래픽은 비실시간 메시지로 분류하였다. 분류된 트래픽을 모의 실험에 인자로 하여 IEEE 802.11 무선 LAN의 반복주기인 CFP 구간과 CP구간에 각각 적용하였다. 윈도우의 크기, 실시간·비실시간 트래픽 등이 모의실험에 주요 고려 대상이 되었다.

모의실험의 결과에 의하면 무선 LAN의 반복주기인 윈도우 크기와 비동기 데이터의 응답시간과 네트워크 유효대역폭은 서로 상충관계에 있음을 파악하였다. 또한 실시간 트래픽을 증가시키면서 실시간 메시지의 응답시간을 측정한 결과 실시간 트래픽이 전체 대역폭 2Mbps의 0.5를 넘어서면 급격하게 응답시간이 길어짐을 알 수 있었다. 비실시간 트래픽을 증가시킨 경우에는 실시간 메시지의 응답시간에는 영향을 미치지 않고 경쟁 구간에서의 충돌이 발생하며 대기시간이 증가됨에 따라 응답시간이 길어짐을 알 수 있었다. 또 트래픽이 증가하는 경우 비동기 사건에 대한 응답시간이 급격히 연장되므로 부하를 제어하는 방식의 도입이 필요하다.

결국 IEEE 802.11 무선 LAN은 대역폭 할당 기법에 의해 실시간 메시지 전송시간을 보장받을 수 있고 비실시간 메시지도 적절한 윈도우의 크기를 찾는다면 최적의 응답시간을 보장받을 수 있음을 파악하였다. 이와 같은 실험의 결과로써 IEEE 802.11 무선 LAN 표준은 스마트 클래스룸의 통신 시스템으로 사용 가능하다는 것을 보여 주고 있다.

참 고 문 헌

[1] 김규태, 나현식(2000), ubiquitous computing 환경을 위한 네트워크 구조, 호남대학교 정보통신연구소 논문집 제6권.

[2] 김재연(1998), 교육정보화를 위한 매체 활용과 교실의 변화, 전북교육제3권.

[3] 양룡(2001), 미래 교육의 요구사항과 교육지원정보시스템의 기능 분석, 한국컴퓨터산업교육논문집, 제2권.

[4] 윤재석, 이승헌, 서영정, 류제하, 우운택(2001), 스마트 환경에서의 사용자 인식 및 위치 추적을 위한 정보 통합 시스템, 광주과학기술원.

[5] Alan J. Demers(1994), Research issues in ubiquitous computing, ACM.

[6] B. Crow, I. Widjaja, J. Kim, P. Sakai(1997), IEEE 802.11 wireless local area networks, pp.116-126, IEEE Communication Magazine,

[7] Changhao Jiang, Yuanchun Shi, Gungyou Xu, Weikai Xie(2001), Classroom in the ERA ubiquitous computing smartclassroom, IEEE ICWLHN.

[8] Charles Perkins(2001), Ad Hoc Networking, Addison Wesley.

[9] J. Wroclawski(1997), *Specification of the Controlled-Load Element Service*, RFC 2211,

September.

[10] Junghoon Lee, Minchan Kim(2001), An efficient bandwidth allocation scheme for control messages on real-time control systems built upon the dual wireless LANs, pp.156-159, IEEE International Symposium on Industrial Engineering.

[11] L. Abenu, et. al.(2002), Analysis of a reservation based feedback scheduler, pp.71-90, RTSS.

[12] M. H. MacDougall(1987), *Simulating Computer Systems: Techniques and Tools*, MIT Press.

[13] M. Caccam. et. al.(2002), An implicit prioritized access protocol for wireless sensor network, pp.39-48, RTSS.

[14] Mark Weiser(1993), Some computer science issues in ubiquitous computing, CACM.

[15] Nathan. Muller(2001), Bluetooth Demystified, McGraw-Hill Telecom.

[16] S. Shue, T. Sheu(2001), A bandwidth allocation/sharing/extension protocol for multimedia over IEEE 802.11 Ad Hoc wireless LANs, pp.2065-2080, IEEE JSAC.