

이더넷 기반 DAVIC 주거망에서의 실시간 성능향상 기법

(A Real-Time Performance Enhancement Scheme for Ethernet-based DAVIC Residential Network)

이정훈[†] 김성백^{**} 김태웅^{***}

(Junghoon Lee) (Sungbaik Kim) (Taewoong Kim)

요약 본 논문은 이더넷에 기반한 DAVIC 주거망에서의 실시간 성능향상 기법을 제시하고 성능을 평가한다. 주거망은 접근망으로부터 수신된 멀티미디어 트래픽을 가입자 태내의 서비스 소비 장치에 전송하는 기능을 가지며 이 트래픽은 종료시한 이내에 전송이 완료되어야 하는 실시간 특성, 즉 시간제약 조건을 갖는다. 케이블의 길이가 짧고 대부분의 트래픽이 게이트웨이 장치인 STU를 통과한다는 특징을 갖기 때문에 큐의 분리 및 패킷의 조기 기각 등의 기능을 부여하고 네트워크의 부하를 적절하게 유지함으로써 종료시한 만족도와 같은 실시간 성능을 향상시킬 수 있다. 이를 위해 STU의 하드웨어 인터페이스와 더불어 스케줄러, 디바이스 드라이버, 연결 관리자 등의 기능을 기능적으로 설계한다. SMPL을 이용한 모의 실험 결과는 제안된 네트워크가 저비용 주거망으로 사용될 수 있음을 보이며 주거망에서 현재 점유중인 실시간 트래픽에 대해 비실시간 트래픽이 차지할 수 있는 대역폭을 측정한다.

Abstract This paper proposes and evaluates a scheme which enhances real-time performance on the Ethernet-based residential network where cable length is very short and most of traffic passes through a specific device. The scheme aims at enhancing deadline meet ratio of the real-time traffic, for example, video stream by means of applying the functionalities such as queue discrimination and early packet discard as well as maintaining network load properly. The design includes the description on hardware interfaces along with the software modules such as scheduler, device driver and connection manager. The simulation results via SMPL suggest that the proposed network can be used as a cost-effective residential network. We also measure the permissible bandwidth for non-real-time traffic without degrading the performance of real-time traffic.

1. 서론

DAVIC(Digital Audio-Visual Council)은 현재 급격히 출현하고 있는 대화형 VOD(Video on Demand), 디지털 CATV(Cable TV), 인터넷 등 다양한 디지털 음성 및 영상 응용들의 도입을 촉진하기 위하여 결성된 위원회로서 다양한 제작자에 의해 개발된 서비스들간의

상호운영성(interoperability)을 최대화함을 목적으로 개방 인터페이스와 프로토콜에 대한 명세를 정의하고 합의의 도출하는 작업을 수행한다[1]. DAVIC 명세에 따르면 디지털 서비스를 가입자들에게 제공하기 위한 구조는 서비스 제공자(service provider), 소비자(service consumer) 및 이들을 연결하는 전송시스템(delivery system) 등으로 구성되며 이중 전송 시스템은 그림 1에서 보는 바와 같이 코아망(core network), 접근망(access network) 및 주거망(residential network) 등으로 구성된다.

코아망은 서비스 제공자와 접근망간의 교환형 연결을 지원하는 공용 통신 네트워크로서 DAVIC에서는 이를 ATM(Asynchronous Transfer Mode)으로 규정하고

[†] 정 회 원 : 제주대학교 전산통계학과 교수
jhlee@venus1.cheju.ac.kr

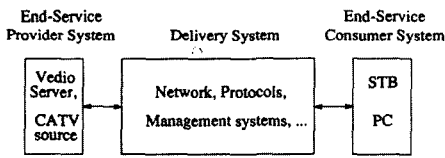
^{**} 중 심 회 원 : 제주대학교 컴퓨터교육학과 교수
sbkim@educom.cheju.ac.kr

^{***} 비 회 원 : 서울대학교 컴퓨터공학부
twkim@cselab.snu.ac.kr

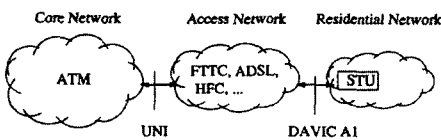
논문접수 : 1999년 5월 31일

심사완료 : 2000년 2월 21일

있다. 접근망은 코아망으로부터 수신된 디지털 서비스를 각 가정까지 분배함을 목적으로 하며 전송, 다중화, 집중 및 방송 기능을 갖는데 접근망은 일반적으로 FTTC(Fiber To The Curb) 구조에 기반하고 있으며 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop), HFC(Hybrid Fiber-Coax) 등과 같은 기술을 이용하여 구축된다[2]. 접근망이 코아망의 ATM 교환기와 접속하기 위하여 ATM 포럼이나 ITU-T에서 정의한 ATM UNI(User-Network Interface) 명세에 부합하여야 하며 [3] 주거망과 접속하기 위해서는 DAVIC에서 정의한 A1 인터페이스 표준을 따라야 한다[1]. 전송 시스템을 구성하는 마지막 요소인 주거망은 각 가정이나 사무실에 위치하여 접근망과의 접속에 의해 트래픽을 각 가입자 맥내의 서비스 소비 장치들에게 분배하는 기능을 갖는데 이 네트워크는 기능적으로 단순한 연결선에서 복잡한 지역 교환 기능까지 가질 수 있으며 구조적으로는 버스 혹은 성형 구조를 가질 수 있다[4]. 따라서 주거망은 현재의 지역망(local area network)에서 발전하거나 이를 그대로 도입할 것으로 예상되며 주거망을 통해 게이트웨이 장치인 STU(Setop Unit)와 셋탑박스(Setop Box)나 PC와 같은 서비스 소비장치들이 연결된다[5].



(a) 서비스 시스템의 구성



(b) 전송시스템의 구성

그림 1 DAVIC 전송망의 구조

대표적인 서비스 소비장치인 셋탑박스는 주문형 비디오나 디지털 CATV 등과 같은 고화질의 비디오 서비스를 제공하는 기능을 담당하고 이 서비스는 가입자 맥내로 유입되는 대역폭의 많은 부분을 사용한다. PC는 인터넷 접근, 전자우편, 파일 전송 등과 같은 비실시간 서비스를 제공함을 일차적인 목적으로 갖지만 점차 PC의 기능이 확장되고 더욱이 MPEG(Moving Picture

Expert Group) 카드를 장착한 멀티미디어 PC들이 출현함에 따라 영상을 소비할 수 있는 기능을 갖게 되었다[6]. 결국 가입자 가정의 서비스 소비장치들이 늘어나고 요구하는 서비스의 종류가 확장됨에 따라 이들을 저렴한 비용으로 연결하여 디지털 서비스를 전달할 수 있는 주거망의 필요성이 대두되고 있다.

본 논문은 비용이 저렴하고 전세계적으로 널리 사용되고 있는 이더네트를 기반으로 주거망에서의 실시간 성능향상 기법을 제안하고 성능을 평가한다. 영상이나 음성과 같은 실시간 트래픽은 종료시한 이내에 전송이 완료되어야 하며 그렇지 못한 경우는 손실로 간주되어 화질이나 음질을 떨어뜨리는 원인이 된다. 이더네트는 최근까지 안정된 네트워크 기술로서 다양한 응용에 다양한 목적으로 사용되어 왔으나 그 매체 접근 제어 프로토콜인 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect)가 공유된 매체 상에서의 메시지 충돌에 기반하고 있기 때문에 예측가능성(predictability)을 지원하지 못하므로 시간제약 조건을 갖는 실시간 트래픽을 전달하는데는 적합하지 못하다[7]. 그러나 주거망은 가정 혹은 사무실 내에서 서비스 소비장치들을 연결하므로 네트워크의 길이가 짧고 네트워크를 통해 연결된 노드의 수가 작을 뿐 아니라 대부분의 트래픽이 하나의 게이트웨이 장치를 통해 교환된다는 특성을 갖기 때문에 메시지 충돌의 가능성이 감소된다. 즉, 이더네트에서의 메시지 충돌은 충돌창(collision window) 내에서 두 개 이상의 노드가 전송을 시작할 때 발생하는데 이 충돌창은 네트워크상의 최대 전파지연시간(propagation delay)에 의해 결정되므로 네트워크의 길이가 짧은 주거망은 충돌창의 크기가 작아져 충돌의 가능성이 감소한다[8]. 또한 네트워크에 의해 연결된 노드의 수가 작으므로 충돌창 내에서 두 개 이상의 노드가 전송을 시작할 가능성이 줄어들어 메시지 충돌의 가능성이 감소한다. 더욱이 주거망의 대부분의 트래픽이 STU를 통해 교환되므로 이 장치에 큐의 분리에 의한 우선순위 스케줄링(priority scheduling)이나 종료시한이 초과한 패킷의 조기 기각 등의 기능을 부여한다면 주거망 전체적으로 종료시한 만족도와 같은 실시간 성능을 향상시킬 수 있다. 또 이더네트와 같은 최선 노력 네트워크에서 실시간 성능은 부하에 크게 영향을 받으므로 네트워크의 부하를 일정 수준 이하로 유지하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 새로운 실시간 혹은 비실시간 연결이 설정될 때 예상 대역폭을 근거로 연결설정 여부를 결정하여야 하며 네트워크 운영중에 지속적으로 실시간 성능을 측정하여 성능이 저하될 경우 비실시간 트

래픽의 네트워크 유입율을 조정하여야 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 주거망에서의 트래픽 분석, 이더넷을 이용한 실시간 트래픽의 전송 및 DAVIC에서 명세한 STU의 일반적인 구조 등 관련 연구에 대해 기술하며 3장에서는 이더넷에 기반한 주거망 구조를 제안한다. 4장에서는 제안된 주거망의 성능을 평가하며 5장에서는 결론을 도출한다.

2. 관련연구

2.1 STU

주거망에서 STU는 가장 핵심적인 역할을 담당하는 장치로서 태내의 장치들로 하여금 접근망을 통해 코아망에 접근할 수 있도록 게이트웨이 기능을 수행하는데 DAVIC은 STU의 접근망에 대한 ATM 인터페이스, 셋탑박스에 대한 아날로그 인터페이스, 그리고 주거망에 대한 인터페이스에 대해 명세하고 있다[9]. 접근망측에 대해서 STU는 ATM 프로토콜의 종단점으로서 ADSL, HFC 등과 같은 다양한 접근망과 접속할 수 있어야 하며 이 인터페이스는 최대 51.84 Mbps의 대역폭을 지원할 수 있다. STU의 아날로그 인터페이스는 접근망을 통해 수신된 비디오 스트림을 셋탑박스에 전달하여 고화질의 영상 서비스를 제공하도록 하며 STU에 유입되는 트래픽 중 대부분이 아날로그 인터페이스를 통과한다. 주거망 인터페이스는 주거망에 연결되어 있는 PC 등의 서비스 소비자장치들로 하여금 이더넷에 접근하거나 제한된 영상 서비스를 제공받도록 하는데 PC 사용자들에게 보다 나은 영상 서비스를 제공하기 위해서는 주거망 인터페이스의 기능이 개선되어야 한다. 또 STU는 영상 스트림과 같은 실시간 트래픽을 중계하므로 실시간 운영체제를 탑재하는 경우가 일반적이며 이를 기반으로 통신 처리에 있어서 응용이 요구하는 범위 내에서 인터럽트를 처리할 뿐 아니라 관련 프로세스를 실시간 스케줄링할 수 있다.

2.2 이더넷을 통한 실시간 통신

한 노드에서 전송될 메시지들은 각 응용에 의해 요청된 순서대로 네트워크 어댑터의 큐에 저장되고 큐의 선두에 위치한 메시지는 CSMA/CD 방식에 의해 전송된다. CSMA/CD 방식은 다른 노드가 전송한 메시지와 충돌할 가능성을 내재하며 충돌이 발생하면 binary backoff 과정에 의해 임의의 시간을 기다린 후 다시 전송을 시도한다. 더욱이 충돌 후 재시도하는 노드는 다음 시도에도 다른 노드의 메시지와 충돌할 가능성이 높으므로 메시지의 전송에 소요되는 시간은 가변적이 되어 일정한 주기내 전송을 지원하기 어렵다[10]. 또 FIFO

(First In First Out) 큐 내에서 메시지들이 순서대로 처리되므로 한 메시지의 전송이 완료된 이후에야 다음 메시지가 전송될 수 있기 때문에 특정 메시지가 전송과정에서 충돌과 그 해결과정으로 인한 지연시간을 갖는다면 큐에서 대기중인 메시지들 또한 지연시간을 겪게 되어 전송시간이 연장되고 결국 이들 또한 종료시한을 초과할 가능성이 증가한다. 일반적으로 패킷 네트워크에서 실시간 채널을 사용하여 서비스의 질을 보장하고 비실시간 채널이 간섭을 받지 않도록 트래픽 조정 기법을 사용할 수 있으나 실시간 채널을 지원하기 위해서는 각 패킷의 전송시간이 바운드되고 예측가능하여야 하는데 이더넷은 이러한 조건을 만족시킬 수 없으므로 이더넷에 기반한 주거망에는 실시간 채널을 적용할 수 없다[11]. 즉, 일부 패킷은 STU에서 주거망으로 전송되기 전 버퍼에서 이미 종료시한을 초과할 가능성이 있기 때문에 패킷을 조기 기각하는 것이 바람직하다. 패킷의 기각 결정은 패킷 전송 시작 직전에 수행되어야 하며 기존의 패킷의 조기 기각과 관련된 연구들은 현재 관측된 전송 시간과 종료시한과의 비교 결과나 스트림의 우선순위에 따라 기각 여부를 결정한다[12,13].

이더넷을 통해 실시간 트래픽을 전송하는 연구의 한 예로서 Ismail Dalic은 이더넷 상에서 실시간 트래픽과 버스티한 특성을 갖는 데이터 트래픽이 혼합되었을 때의 특성에 대해 분석하였으며 전형적인 음성 및 영상 응용의 특성을 대상으로 주어진 실시간 스트림의 전송 비율, 스트림의 지연시간 및 손실 제약조건 등 다양한 실시간 트래픽 환경에 있어서 허용가능한 데이터 스트림의 개수를 측정하였다[14]. S. Deng은 이더넷을 이용한 주거망을 설계하였는데 이 구조는 중앙 허브에 각 노드들이 연결된 성형의 위상에 기반하고 있으며 허브는 게이트웨이 장치에 포함되거나 게이트웨이 장치와 연결된 포트를 갖는 독립적인 장치이다[15]. 허브를 통해 유입된 모든 트래픽이 100 Mbps 이더넷을 통하여 셋탑박스 등의 소비자장치에 전달되도록 하며 PC가 소비하는 영상 보다는 셋탑박스가 소비하는 영상 서비스에 대해 데이터 트래픽이 주는 영향을 측정하였다. 그러나 이 설계에서는 DAVIC 명세가 고려되지 않았으며 주거망에서의 실시간 성능을 개선하기 위한 부가적인 기능들이 고려되지 않았다. 또한 주거망에서 실시간 성능 향상을 위한 네트워크 프로토콜로서 가상시간(virtual-time) CSMA나 충돌제거(collision-free) CSMA 등을 고려할 수 있으나 이 프로토콜들을 채택하기 위해서는 네트워크에 연결된 모든 노드들의 매체 접근 제어 기능이 모두 변경되어야 한다[16,17]. 그러나 각 가정에

위치한 주거망에 연결된 모든 장치들의 MAC을 변경한다는 것은 현실적으로 적용하기 어려우며 STU의 기능 추가만으로도 실시간 성능의 향상을 기할 수 있다.

부가적으로 주거망의 부하 조절에 관련된 연구로서 현재 인터넷에서 고려중인 Controlled Load Service는 IP 네트워크에서 송신자와 수신자 양단간에 연결을 설정하는 과정에서 흐름 명세 방식과 아울러 연결에 개입된 중간 노드들의 부하를 조절하는데 필요한 자원할당, 폴리싱(policing) 및 필터링 기능을 명세하고 있다[18]. 그러나 DAVIC 서비스 시나리오에서는 코아망과 접근망은 ATM으로 구축되므로 주거망에 대해서만 부하 조절 기능이 필요하며 이 기능은 주거망의 게이트웨이 장치인 STU에 의해 도입될 수 있다.

2.3 트래픽 모델

주거망에는 데이터 트래픽과 실시간 트래픽이 혼재하고 있으며 데이터 트래픽은 주로 인터넷에 대한 접근과 파일의 전송 등의 서비스를 위해 사용되는 반면 실시간 트래픽은 영상 및 음성 등의 서비스를 제공하기 위해 사용된다. DAVIC 명세에 따르면 실시간 트래픽은 MPEG에 기반하여 압축되어 MPEG 트랜스포트 프로토콜에 의해 전송되는데 MPEG 영상 스트림은 주거망 내에서는 STU와 PC간에 234 바이트의 크기를 갖는 UDP(User Datagram Protocol) 패킷의 형태로 교환된다. 실시간 트래픽의 패킷은 접근망으로부터 주기적으로 도착하며 다음 패킷이 도착하기 전에 전송이 완료되어야 한다는 시간제약 조건을 갖게 되어 도착 주기가 패킷 전송에 있어서의 종료시한이 된다.

데이터 트래픽은 실시간 트래픽과는 달리 도착시간이 불규칙적이고 그 크기 또한 사전에 정확하게 알 수 없는데 기존의 연구에 의하면 데이터 트래픽은 문서의 크기와 도착 분포로 모델링될 수 있으며 이들은 각각 파레토(Pareto) 분포와 웨이블(Weibull) 분포를 따른다[15]. 파레토 분포는 k 를 임의 변수 x 의 최소값이라하고 α 를 분포의 형태 상수라 할 때 식 (1)과 같이 표현되며 이 식에서 α 는 일반적으로 1.03의 값을 갖는다.

$$F(x) = \text{Prob}(t \leq x) = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^\alpha \quad (1)$$

또 도착시간에 관련된 Weibull 분포의 확률밀도 함수는 식(2)와 같이 표현되는데 이 식에서 k 와 θ 는 각각 0.5와 1.5의 값을 갖는다.

$$F(x) = \text{Prob}(t \leq x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\theta}\right)^k} \quad (2)$$

주거망에서의 데이터 흐름은 STU에서 PC로의 하향

흐름과 그 역방향인 상향 흐름으로 분류될 수 있으며 데이터 트래픽은 대칭적으로 흐르기 때문에 상향과 하향 흐름의 양에 차이가 없고 일반적으로 대역폭의 사용량은 10 Kbps 이내이다. 이와는 대조적으로 실시간 트래픽은 그 대부분이 하향으로 전송되는데 이는 원격 영상 서버로부터 전송되는 영상 트래픽은 보통 3 M에서 6 M bps의 대역폭을 사용하는 반면, 멈춤, 재개, 되감기 등의 사용자의 명령에 의해 전송되는 상향 트래픽은 상대적으로 극히 적은 대역폭만을 요구하기 때문이다. 따라서 주거망에는 하향의 실시간 스트림이 대역폭의 대부분을 사용한다.

3. 인터넷 기반 주거망

인터넷에 기반한 주거망은 매체접근제어 프로토콜로서 CSMA/CD를 채택하고 있으므로 경성 실시간 보장을 제공할 수 없기 때문에 최선(best effort) 방식으로 영상이나 음성과 같은 실시간 스트림의 실시간 성능을 최대화함을 목적으로 설계되어야 한다. 주거망용 인터넷의 실시간 성능을 개선하기 위하여 STU에 큐의 분리와 종료시한이 초과한 패킷의 조기 기각 기능을 부여할 수 있는데 큐의 분리 기능은 STU의 큐를 실시간 메시지 큐와 비실시간 메시지 큐로 분리함으로써 실시간 트래픽에 높은 우선순위를 부여하고 데이터 트래픽이 실시간 트래픽에 주는 간섭을 최소화한다. 또 패킷의 조기 기각 기능은 종료시한을 만족시킬 가능성이 없는 패킷이 네트워크의 대역폭을 소모하는 시간을 줄이고 대기 중인 패킷의 지연시간을 최소화하여 주거망 전체적으로 실시간 메시지들의 종료시한 만족도를 개선한다.

3.1 기본 요소

제안된 주거망의 구조는 그림 2에서 보이는 바와 같이 STU가 접근망과 주거망 사이의 게이트웨이 장치의 역할을 수행하며 STU는 접근망과 ATM 셀을 교환하고 이를 중단하기 위한 AAL 인터페이스를 갖고 있다. 접근망으로부터 수신된 셀들은 이들이 포함한 VP와 VC를 기반으로 원래의 MPEG 트랜스포트 패킷이나 TCP 혹은 UDP 패킷으로 복원되어져 주거망 내의 해당 장치로 전송된다. 반면 패킷이 상향으로 전송되어질 경우 STU는 패킷을 ATM 셀로 분할하여 접근망으로 전송하는데 이때 사용하는 ATM 셀에 부여하는 VP와 VC에 대한 정보는 가입자 네트워크의 설치 단계에서 결정되며 소프트웨어 모듈에 의해 유지된다.

접근망으로부터 수신된 트래픽은 크게 두 방향으로 분배되는데 첫번째는 STU의 아날로그 인터페이스를 통

하여 셋탑박스나 전화기로 전달되어 고품질의 영상 서비스나 기존의 전화 서비스를 제공하는 한편 두 번째는 이더넷 인터페이스를 통하여 PC 측으로 전달되어 PC가 요구하는 영상이나 데이터 서비스를 제공하도록 한다. STU는 이더넷 인터페이스를 이용하여 주거망 이더넷과 연결되는데 이 인터페이스를 통해 재조립된 패킷을 PC에 중계할 수 있으며 PC에서 수행중인 다른 응용들과 메시지를 교환할 수 있다. 접근망을 통해 수신될 수 있는 트래픽(최대 51.84 Mbps) 중 이더넷이 수용할 수 있는 10 Mbps 이내의 트래픽만이 주거망으로 유입되도록 실시간 및 데이터 연결의 개수를 제한하여야 한다.

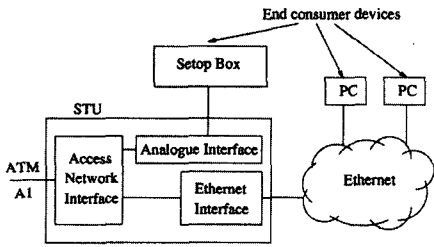


그림 2 주거망의 구조

3.2 디바이스 드라이버

STU의 소프트웨어 구조는 그림 3에서 보는 바와 같이 스케줄러, 연결 관리자 및 드라이버 모듈 등으로 구성되며 실시간 및 비실시간 큐, VP/VC 사상 테이블 등의 자료구조를 포함하고 있다. STU는 접근망측에 대해서는 ATM으로 연결되고 주거망측에 대해서는 이더넷으로 연결되므로 이들 각각에 해당하는 AAL과 LANCE 디바이스 및 드라이버를 포함하고 있는데 LANCE 드라이버는 디바이스와 공유된 송신용인 T-buffer와 수신용인 R-buffer를 통해 디바이스와 상호작용하며 AAL 드라이버는 외부의 SAR(Segment And Reassembly) 메모리를 통해 셀을 송수신한다. 접근망으로부터 데이터가 유입되면 우선 SAR 메모리에서 패킷이 재조립되고 AAL 디바이스는 패킷의 도착을 드라이버 모듈에 알리게 되며 드라이버 모듈은 이 패킷을 아날로그 인터페이스를 통해 셋탑박스로 보내거나 이더넷으로 보내기 위해 VP/VC에 해당하는 T-buffer 엔트리로 패킷을 복사한 후 스케줄러를 수행시킨다. 반면 주거망에서 발생하는 메시지는 STU의 R-buffer에 수신된 후 AAL SAR 메모리로 복사되어 ATM 셀의 형태로 접근망으로 전송된다. 이와 같이 SAR 메모리에서 송신

및 수신 버퍼로 패킷을 복사하는 과정에 있어서 일반적인 호스트 어댑터들은 DMA 방식을 이용하여 속도를 향상시키고 있다.

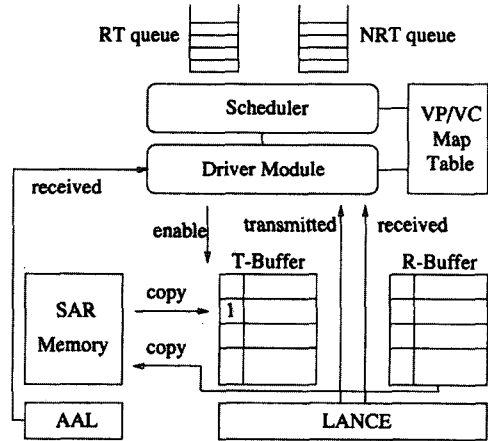


그림 3 STU의 소프트웨어 모듈

STU로 하여금 우선순위에 따라 이더넷에 패킷을 전송하도록 하기 위해서는 T-buffer와 VP/VC 사상 테이블이 핵심적인 역할을 수행하며 이 자료구조는 연결 관리자에 의해 관리되어 각 연결이 설정될 때 필요한 정보가 채워진다. STU의 연결 관리자가 PC로부터 실시간 연결 설정 요구를 받으면 STU는 사전에 정의된 프로토콜에 의하여 서비스 제공자와의 연결을 설정하는데 DAVIC에서 제시하는 프로토콜에는 ATM 시그널링과 DSM-CC 등이 있으며 STU는 이러한 프로토콜을 모두 탑재하거나 혹은 프록시 프로토콜 함수를 이용한다[19]. 서비스 소비장치의 요청으로 STU와 서비스 제공자와의 실시간 연결이 설정되면 STU는 VP/VC 사상 테이블에 새로운 연결의 엔트리를 추가하고 이 연결을 위하여 T-buffer 엔트리를 하나 할당한다. 하나의 연결 내에서 각 패킷은 다음 패킷이 도착하기 전에 전송 완료되어야 한다는 제약조건을 가지므로 각 연결에는 아직 하나의 T-buffer 엔트리가 할당된다. 새로운 패킷이 도착했을 때 이전 패킷이 아직 버퍼에 남아 있으면 새로운 패킷이 이를 덮어쓰게 된다. 또 연결 관리자가 비실시간 연결의 설정 요구를 받으면 현재 설정된 연결들의 종료시한 만족도에 영향을 주지 않고 전송할 수 있는 전송율을 계산하여 연결 요청자에게 알리고 이 비율에 따라 전송하도록 하는데 이 전송율은 다음 절에서 보일 측정 데이터 값에 의해 결정된다. 결국 연결 설정

의 결과 VP/VC 사상 테이블에는 ATM 시그널링에 의해 할당된 VP/VC와 서비스 클래스, 즉 실시간 연결인 지 데이터 연결인지를 명세하는 인자가 삽입되며 실시간 연결인 경우 T-buffer 엔트리에 대한 포인터, 종료시한 등의 정보가 부가된다. 또 VP/VC 사상 테이블에는 아날로그 인터페이스를 통해 셋탑박스로 연결된 트래픽에 대한 정보도 포함된다.

LANCE 디바이스에 있어서 T-buffer의 엔트리 개수는 유한 자원이므로 엔트리들을 실시간 연결용과 데이터 연결용으로 분리하여야 하는데 실시간 연결을 위한 T-buffer 엔트리는 연결 설정 요청시마다 하나씩 할당되며 엔트리가 모두 사용되고 있는 경우 새로운 실시간 연결 요청은 기각된다. 반면 데이터 트래픽은 데이터 트래픽용 엔트리중 아무 곳을 사용하여도 무방하며 엔트리의 개수 한계에 의해 패킷 손실이 발생할 수도 있는데 이는 TCP/IP와 같은 상위의 전송 프로토콜에 의해 처리되어야 한다.

3.3 스케줄러

스케줄러는 AAL 디바이스로부터 수신된 패킷이 송신 버퍼로 복사되거나 LANCE 디바이스가 한 패킷의 전송을 완료한 직후 수행되어 다음에 이더네트를 통해 전송될 패킷을 결정한다. 스케줄러 모듈은 ATM 셀에서 추출된 VP/VC를 기반으로 수신된 패킷의 클래스를 결정하며 이에 따라 패킷 설명자를 실시간 혹은 비실시간 큐에 삽입하고 이더네트를 통한 패킷 전송을 스케줄하는데 실시간 큐의 각 엔트리들은 EDF(Earliest Deadline First) 방식을 구현하기 위해 패킷의 종료시한에 따라 정렬되어 있으며 비실시간 큐의 엔트리들은 선입선출 방식에 따라 도착한 순서대로 정렬되어 있다[20]. 비실시간 큐에서 대기중인 패킷은 실시간 큐가 비어 있을 때에만 전송될 수 있으며 실시간 큐 내에서는 주기가 작을수록 먼저 전송된다. 하나의 MPEG 비디오 패킷은 그 크기가 234 바이트로 이더네트의 최대 패킷 길이보다 작기 때문에 이더네트의 전송시 추가적인 패킷 분할은 없다.

LANCE 디바이스에 특정 패킷의 전송을 명령하는 방법은 송신 버퍼에 포함된 플래그 비트를 셋팅함으로써 수행되는데 일반적으로는 LANCE 송신 버퍼에 동시에 여러 엔트리의 플래그 비트를 셋팅할 수 있지만 실시간 통신을 위하여 본 논문에서 제안된 스케줄러는 오직 하나의 엔트리에 대해서만 플래그 비트를 셋팅한다. 이러한 설계는 패킷의 전송시간을 연장하기는 하지만 모든 패킷이 일정한 시간만큼의 지연시간을 갖기 때문에 지터, 즉 메시지 전송에 있어서의 가변시간을 줄일

수 있으며 패킷의 전송전에 실시간 성능을 향상시키기 위한 기능을 부여할 수 있다. 즉 스케줄러는 패킷의 전송을 명령하기 전에 이 패킷이 이미 종료시한을 초과하였는지 검사하여 초과한 경우는 이 패킷을 기각함으로써 무의미한 패킷의 전송이 대역폭을 낭비하는 시간을 최소화하고 큐에서 대기중인 패킷들이 불필요한 지연시간을 갖지 않도록 한다. 물론 스케줄러가 한 패킷을 LANCE 디바이스로 하여금 전송하도록 한 경우에도 추후의 캐리어 감지 시간 및 메시지 충돌과 그에 따른 복구 시간 때문에 패킷의 종료시한을 초과하는 경우도 발생하며 이 경우는 대역폭의 낭비가 불가피하게 발생한다.

3.4 연결 및 트래픽 관리자

STU는 레벨 1 게이트웨이와 같은 검색 서비스를 기반으로 PC의 사용자에게 이용가능한 서비스의 목록을 제공하고 사용자가 선택한 서비스와의 세션을 설정한다 [19]. PC가 서비스 제공자 네트워크에 위치한 인터넷 서버 혹은 영상 서버 등 서비스 제공자와 연결을 설정할 경우 이 연결의 요청은 그림 4에서 보는 바와 같이 우선 STU의 연결 관리자에게 전송되어 시그널링 모듈을 통해 서비스 제공자와 사전에 정의된 프로토콜을 따라 연결 설정 과정이 수행되는데 STU와 PC간에는 TCP/IP와 같은 일반적인 데이터 전송 프로토콜이 도입될 수 있다. 이 과정에서 STU는 주거망에 대한 실시간 인자와 성능을 관리하여야 하므로 STU는 현재 설정된 연결들이 사용하고 있는 대역폭과 할당가능한 대역폭에 대한 정보를 유지하여야 하며 이 정보와 새로운 세션이 요구하는 대역폭 요구량을 기반으로 새로운 연결을 수락 혹은 기각한다. 또 연결 관리자는 데이터 연결, 즉 비실시간 연결이 설정될 때는 현재의 실시간 메시지들의 종료시한 만족도를 허용 범위내로 유지할 수 있는 비율을 계산하여 STU와 PC의 조정 모듈(mitigator)에

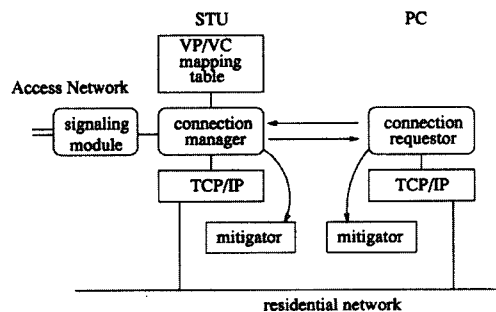


그림 4 연결 관리자

알리는데 조정 모듈은 이 정보를 기반으로 주거망에 데이터 트래픽이 유입되는 비율을 조정한다. 그러나 연결 설정시에 명세된 전송율보다 많은 메시지가 유입될 가능성이 있으므로 부가적인 트래픽 관리자의 기능이 필요한데 이 모듈은 STU에 탑재되어 네트워크 운영중에 현재의 실시간 트래픽의 지연시간을 측정하고 종료시간 만족도를 관측함으로써 각 노드들이 비실시간 메시지를 전송하는 비율을 조정한다.

4. 성능 평가

본 절에서는 SMPL을 이용한 모의실험에 의해 이더넷 기반 주거망 환경 상에서 제시된 기법의 실시간 성능을 평가한다[21]. 실험에서 이더넷의 대역폭은 10 Mbps로 설정되었으며 이더넷의 길이는 주거망의 규모에 맞추어 50 m로 설정하였고 노드의 수는 5 개로 제한하였다. 연결 설정 과정에서 필요한 메시지들 또한 데이터 트래픽의 일부로서 실시간 메시지나 비실시간 메시지의 전송에 영향을 줄 수 있으나 이 트래픽은 발생 빈도가 낮고 네트워크의 대역폭 요구량이 적으므로 이들의 영향을 무시한다. 또한 앞에서 언급하였던 바와 같이 PC는 실시간 서비스의 소비와 비실시간 서비스의 생성 및 소비의 역할을 수행하는 것이 일반적이므로 PC는 실시간 트래픽을 생성시키지 않는다고 가정한다. 첫 번째 실험은 제한된 주거망이 기존 이더넷보다 비실시간 메시지의 간섭이 감소됨을 보이기 위하여 실시간 메시지 스트림의 전송율을 5 Mbps로 고정하고 비실시간 메시지의 부하를 늘려 가면서 제한된 주거망과 일반 이더넷에서 실시간 메시지들의 종료시간 만족도를 측정하였으며 그 결과는 그림 5에 나타나 있다. 본 실험에서 주거망에 하나 이상의 실시간 연결이 존재할 수 있으나 이들은 모두 STU 장치를 통해 이더넷 부분에 유입되므로 서로 충돌하지 않으며[15], PC가 생성하는 데이터 트래픽의 비실시간 메시지는 2.3에서 기술한 바와 같이 파레토 분포와 웨이블 분포를 따르도록 한다. 그림 5에서 보이는 바와 같이 비실시간 데이터 트래픽이 증가할수록 제시된 기법의 종료시간 만족도가 일반 이더넷보다 우수할 뿐 아니라 일반 이더넷에서는 비실시간 메시지의 증가에 따라 실시간 메시지의 종료시간 만족도가 민감하게 영향을 받는다. 이는 제한된 주거망의 큐의 분리과 패킷의 조기 기각 기능에 기인한다. 즉, 큐의 분리에 의해 실시간 메시지에 대한 비실시간 메시지의 간섭이 감소하며 충돌 발생으로 메시지 전송 시간이 늘어난 경우 이미 종료시간이 초과한 메시지를 조기에 기각하기 때문이다.

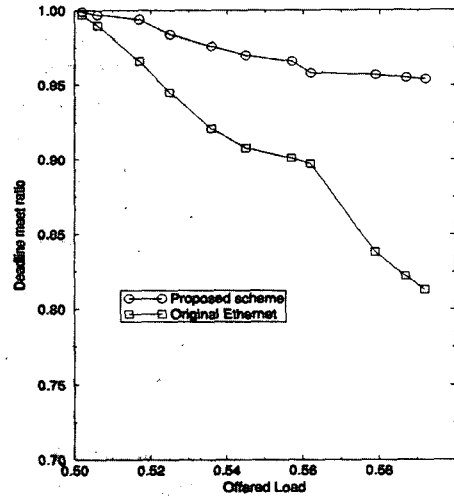


그림 5 부하 대 종료시간 만족도

두 번째 실험은 주어진 실시간 트래픽에 대해 허용 가능한 비실시간 트래픽의 대역폭을 결정하기 위해 각 실시간 트래픽의 종료시간 만족도를 99.9 % 이상으로 유지하면서 전송할 수 있는 비실시간 트래픽의 대역폭을 측정하였으며 그 결과는 그림 6에 나타나 있다. 이 실험에서 노드의 수는 5 개이지만 주거망 내의 비실시간 스트림의 개수는 제한이 없다. 단 STU의 LANCE 디바이스에서 데이터 트래픽 전송에 사용되는 T-Buffer의 엔트리 개수가 감소하므로 패킷의 손실가능성이 높아지게 된다. 이러한 데이터를 기반으로 연결관리자는 비실시간 연결의 설정시 연결의 설정 여부와 데이터 소스들의 전송 속도를 결정할 수 있다. MPEG 영상을 전달함에 있어서 각 프레임의 연관 관계상 패킷의 손실이 영상을 재생하는데 큰 영향을 주게 되는데 손실 은폐(loss concealment)와 같은 기술을 사용한다면 영상 재생자는 0.1 %에서 1 %까지의 스트림 손실을 감내할 수 있다[22]. 손실 은폐 기술은 비디오 디코딩시 손실된 부분을 예측된 값으로 대체하여 비디오의 질을 일정 수준 이상으로 유지한다. 본 논문에서 실험 인자로 설정한 99.9 %의 종료시간 만족도는 MPEG에서 요구하는 손실율로서 만약 PC에서 표현된 영상 서비스가 이보다 낮은 화질로 서비스를 제공한다면 허용가능한 비실시간 데이터 트래픽의 전송율은 높아질 수 있다. 더욱이 종료시간이 초과하여 전송된 영상 메시지도 수신자의 기능에 따라 그 영향이 완화될 수 있으므로 허용 손실율은 더욱 감소할 수 있다. 실험 결과에 의하면 데이터 트래픽은 1 Kbps 이상의 전송율을 보이고 있는데 현재의

인터넷 상에서 파일 전송이 보이는 전송율과 큰 차이를 보이지는 않는다. 이러한 측정 결과는 연결 관리자가 새로운 연결 설정 요구를 받았을 때 설정 여부를 결정하는 자료로서 이용될 수 있으며 주거망 운영 중에 측정될 수 있다.

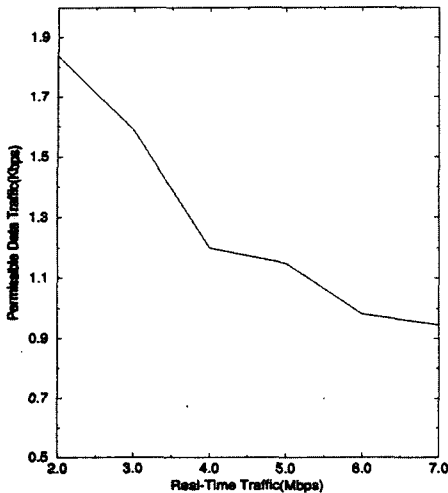


그림 6 전송할 수 있는 데이터 트래픽의 양

5. 결론

본 논문에서는 이더네트에 기반한 DAVIC 주거망에서의 실시간 성능향상 기법을 제시하고 이에 따른 종료시한 만족도의 향상을 평가하였다. 일반적으로 주거망은 길이가 짧고 그 구성 요소중 STU가 트래픽의 대부분을 생성하거나 중계하는 특징을 갖기 때문에 이더네트의 비실시간성을 극복할 수 있으며 제안된 기법은 STU로 하여금 이더네트에 대한 송신 큐를 실시간 및 비실시간 큐로 분할하여 우선순위에 따라 스케줄하고 종료시한 이내에 전송될 가능성이 없는 패킷을 기각함으로써 실시간 트래픽의 실시간 성능을 향상시킨다. 실험 결과는 제안된 주거망이 비록 경성 실시간 보장 기능을 갖고 있지는 못하지만 향후 출현할 광대역 멀티미디어 서비스 네트워크의 단말들을 가입자 맥내에서 저비용 효율적으로 연결할 수 있는 네트워크이며 점차 확장되는 단말들의 멀티미디어 기능을 활용할 수 있음을 보여준다. 그러나 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽이 혼재된 경우 평균적으로는 실시간 트래픽의 종료시한을 주어진 범위 내에서 만족시킬 수 있지만 버스티한 데이터 트래픽이 일시적으로 많은 패킷을 보낼 수도 있으며 이 경

우는 추가적으로 실시간 성능 관리 기능을 두어 데이터 트래픽의 주거망 유입율을 조정하여야 한다. 또한 STU 버퍼 분리에 따른 비실시간 트래픽용 버퍼 감소의 영향과 이에 따른 상위 계층의 처리량 감소를 측정하고 복구방안에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Digital Audio-Visual Council, *DAVIC 1.0 Specifications Part 1: Description of DAVIC Functionalities*, December 1995.
- [2] C. Driel, P. Grinsvan, V. Pronk, W. Snijders, "The (r)evolution of access networks for the information superhighway," *IEEE Communication Magazine*, pp.104-112, June 1997.
- [3] ATM Forum, *User-Network Interface Specification*, version 3.0, September 1993.
- [4] Digital Audio-Visual Council, *DAVIC 1.1 Specifications Baseline Document 13:A0 Interface and STU Dataport Specifications*, September 1996.
- [5] C. Eldering, "Customer premises equipment for residential broadband networks," *IEEE Communication Magazine*, pp.114-121, June 1997.
- [6] P. Andleigh, K. Thakrar, *Multimedia Systems Design*, Prentice Hall, 1996.
- [7] J. Lee, H. Shin, "A variable bandwidth allocation scheme for Ethernet-based real-time communication," *Proc. Real-Time Systems and Applications*, pp.28-32, December 1994.
- [8] M. Schwartz, *Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis*, Addison Wesley Publishing Company, 1987.
- [9] V. Loen E. Miller, "Subscriber terminal units for video dial tone systems," *IEEE Network*, pp.48-57, September 1995.
- [10] S. Deng, "Capture effects of residential Ethernet LAN," *Proc. GLOBECOM'95*, pp.1678-1682, 1995.
- [11] A. Mehra, A. Indiresan, G. Shin, "Structuring communication software for quality-of-service guarantees," *Proc. Real-Time Systems Symposium*, pp.144-154, 1996.
- [12] C. Aras, J. Kurose, D. Reeves, H. Schulzrinne, "Real-time communication in packet-switched networks," *Proceedings of IEEE*, pp.122-139, 1994.
- [13] M. Naghshinhe, M. Wellebeek-LeMair, "End-to-end QoS provisioning in multimedia wireless/mobile networks using an adaptive framework," *IEEE Communication Magazine*, pp.72-81, November 1997.
- [14] I. Dalgic, W. Chien, F. Tobagi, "Evaluation of 10Base-T and 100Base-T Ethernets carrying video, audio and data traffic," *Proc. INFOCOM'94*, pp.1094-1102, 1994.

- [15] S. Deng, A. Bugos, P. Hill, "Design and evaluation of Ethernet-based residential network," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.14, No.6, pp.1138-1150, August 1996.
- [16] W. Zhao, K. Ramamritham, "Virtual time CSMA protocols for hard real-time communication," *IEEE Trans. Software Engineering*, pp.938-952, 1987.
- [17] J. Lee, H. Shin, C. Park, "A Collision-free CSMA protocol," *Journal of Information and Electrical Engineering*, Vol. 1, No. 4, pp.36-45, December 1996.
- [18] J. Wroclawski, *Specification of the Controlled-Load Network Element Service*, RFC2211, September 1997.
- [19] J. Morales, A. Patka, P. Choa, J. Kui, "Video dialtone sessions," *IEEE Network*, pp.42-47, September 1995.
- [20] K. Ramamritham, J. Stankovic, "Dynamic task scheduling in hard real-time distributed systems," *IEEE Software*, pp.65-75, July 1984.
- [21] M. MacDougall, *Simulating Computer Systems: Techniques and Tools*, MIT Press, 1987.
- [22] D. Raychaudhuri, H. Sun, R. Girons, "ATM transport and cell-loss concealment techniques for MPEG video," *Proc. International Conference on Acoustics, Speech, Signal Processing*, pp.117-120, 1993.



김태웅

1989년 3월 ~ 1993년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과(학사). 1993년 3월 ~ 1995년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과(석사). 1995년 3월 ~ 현재 서울대학교 컴퓨터공학과 박사 과정. 관심분야는 실시간 시스템, 실시간 통신, 시스템 공학.



이정훈

1984년 3월 ~ 1988년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과(학사). 1988년 3월 ~ 1990년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과(석사). 1990년 3월 ~ 1992년 2월 대우통신 전송연구실. 1992년 3월 ~ 1996년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과(박사). 1996년 3월 ~ 1997년 2월 대우통신 광통신연구실(선임). 1997년 3월 ~ 현재 제주대학교 전산통계학과(조교수). 관심분야는 실시간 통신, 분산 시스템, 멀티미디어 통신



김성백

1985년 3월 ~ 1989년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과(학사). 1989년 3월 ~ 1991년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과(석사). 1991년 3월 ~ 1995년 8월 서울대학교 컴퓨터공학과(박사). 1996년 6월 ~ 현재 제주대학교 컴퓨터교육학과(조교수). 관심분야는 컴퓨터 구조, 네트워크, 컴퓨터 교육.