

論文96-33A-4-7

지연에 민감한 멀티미디어 응용을 위한 재생 동기화 메카니즘

(Playout Synchronization Mechanism for Delay-Sensitive Multimedia Applications)

柳相臣*, 李成根**, 金惠鎭*

(Sang Shin Yoo, Sung Keun Lee, and Duck Jin Kim)

요 약

본 논문은 종단간에 지연을 거의 일정하게 유지시킴으로써 지연에 민감한 응용에 최적의 재생 동기화를 제공하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 네트워크 지연과 버퍼링 지연을 통합적으로 관리하고, 망과 버퍼에서의 지터 및 순간적인 지연을 제거하기 위해서 저역 통과 필터를 사용한다. 또한 버퍼링 레벨을 기준 값으로 유지하기 위해 사용되는 교정 함수로 기존의 선형적 연속 함수와는 달리 망에서의 트래픽 특성에 따라 정상적인 구간에서의 step 크기와 기타 구간에서의 step 크기를 달리하는 비선형 계단 함수를 사용함으로써 실제 구현에 용이하고, 폭주 상황과 같은 비정상적인 경우에도 신속하게 이를 복구할 수 있도록 한다. 제안된 메카니즘은 범용 시뮬레이션 언어인 SLAM II를 이용하여 적합성을 확인하였다.

Abstract

This paper aims to support delay-sensitive multimedia applications by suggesting a mechanism in which maintains almost constant end-to-end delay thus providing the optimum playout synchronization. For this task the sum of network delay and buffering delay is entirely managed and to eliminate little delay fluctuations and instantaneous delays at a buffer and a network, a Low Pass Filter is used. Furthermore the correction function, which is used for maintaining the buffering level to a reference value, is a non-linear step function, unlike the existing linear and continuous function. It has a different step sizes adapting to a traffic characteristics of a network. It is easy to implement and rapidly restores even in the case of abnormal state such as network congestion. The proposed mechanism has been confirmed of its efficiency through SLAM-II Network.

1. 서 론

주문형 뉴스 서비스(NOD), 원격 교육, 영상 회의, 주문형 비디오(VOD)같은 분산 멀티미디어 응용들은 실시간에 오디오, 비디오같은 연속미디어 정보를 전달할 수 있는 네트워크 기능을 요구한다. 그런데 이와 같은 연속미디어 데이터 전송을 위해 LAN이나 MAN같은

비동기적인 패킷망을 사용한다면, 생성된 미디어 단위들의 원래 시간 정보는 망과 시스템에서의 지터 등에 의해 상실된다. 따라서 원래의 시간 관계를 복구해 줌으로써 수신측에서의 연속적이고 동기적인 재생(playout)을 보장하는 메카니즘이 필수적으로 요구된다. 즉, 미디어내 동기화가 네트워크를 통한 분산 멀티미디어 응용을 위한 핵심적인 관심 사항의 하나가 된다. 물론 멀티미디어 응용은 기본적으로 음성, 영상, 문자, 오디오, 그래픽 등 다수의 미디어를 이용하게 되고 이들간의 시간적인 관계가 존재하게 된다. 따라서 송신측에서의 미디어간의 시간관계가 수신측에서도 그대로 유지되어야만 사용자 입장에서 요구되는 질 좋은 서비스가 가능하게 된다. 그런데 망에서 발생하는 지연 지

* 正會員, 高麗大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng., Korea Univ.)

** 正會員, 三星電子(株) 通信開發室

(Samsung Electronics, Information Systems Dept.)

接受日字: 1996年2月15日, 수정완료일: 1996年3月25日

터 및 큐잉 지연으로 인해 미디어간의 시간 관계가 왜곡되게 된다. 이와 같이 왜곡된 미디어간 시간 관계 불일치를 원래의 시간 관계로 복구시켜 주는 것을 미디어간(intermedia) 동기화라고 하며, 입술 동기(lip-sync)가 대표적인 예이다¹¹⁾¹²⁾.

본 논문에서 미디어간 동기화보다는 수신 버퍼 제어에 기반한 미디어내(재생) 동기화 메카니즘을 제시한다. 제안되는 메카니즘은 수신측에서 프레임의 제거/중복을 통해 망에서 발생하는 지터, 큐잉 지연, 라우팅 지연 등 다양한 환경 변화에 대해 동적으로 적응할 수 있도록 한다. 특히 망에서의 지연 지터가 작은 변동을 일으키는 경우와 순간적인 잡음이 발생하는 경우를 제거하기 위해서 망과 버퍼에서의 지연에 대해 저역 통과 필터를 사용하고, 평균 네트워크 지연과 버퍼링 지연을 통합하여 관리한다. 이를통해 종단간에 지연을 거의 일정하게 유지시킴으로써 지연에 민감한 응용에 최적의 동기화를 제공하는 것을 목적으로 한다. 또한 버퍼링 레벨을 기준값으로 유지하기 위해 사용되는 교정 함수로 기존의 선형적 연속 함수와는 달리, 망에서의 트래픽 특성에 따라 정상적인 구간에서의 계단 함수의 step 크기와 기타 구간에서의 step 크기를 달리하는 비선형 계단 함수를 사용함으로써 실제 구현에 용이하고, 폭주 상황과 같은 비정상적인 경우에도 신속하게 이를 복구할 수 있도록 한다. 실제 제안된 알고리즘은 수송 계층의 서비스를 이용하는 동기 계층의 기능으로 구현되나, 본 논문에서는 메카니즘만을 다룬다.

본 논문의 구성은 제 2절에서 멀티미디어 동기화의 필요성과 기존의 동기화 방안들을 분류하며, 제 3절에서는 본 연구에서 제안되는 기법의 기본 원리가 설명되고, 미디어내 동기화를 위한 메카니즘의 주요 구성요소에 대해 상세히 설명한다. 제 4절에서는 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 척도를 제공하고, 실제 상황과 동일한 환경에서의 시뮬레이션을 위해 시뮬레이션 언어로 널리 알려진 SLAM-II로 이를 모델링하여 성능을 평가한다. 마지막으로 5절에서 결론을 맺는다.

II. 멀티미디어 동기화 개요

1. 멀티미디어 동기화의 필요성

멀티미디어 동기화란 망에서 발생하는 지터, 스큐(skew) 등에 의해 왜곡된 미디어내 및 미디어간의 시

간관계를 원래의 상태로 복구하는 것을 말한다. 비동기적인 패킷망을 통해 전송되는 멀티미디어 데이터의 시간관계를 파괴하는 원인들을 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있다¹³⁾¹⁴⁾. 첫째는 멀티미디어 정보를 전달할 때 다양한 원인에 의하여 발생하는 지연이다. 송신측에서 일정한 시간관계를 가지고 있는 미디어 정보들은 다양한 원인에 의해 발생하는 지연으로 인하여 시간관계를 잃어버리게 된다. 따라서 지연에 의해 상실된 시간관계를 수신측에서 원래의 시간관계로 복구하기 위한 동기화 기법이 필요하게 된다. 지연은 송신측에서 패킷을 발생시키고 망에 전달할 때 발생하는 패킷화 지연, 망에서 패킷을 전송할 때 발생하는 망 전송 지연, 통계적인 트래픽 처리 특성에 따른 망내에서의 랜덤 큐잉 지연, 망에서 라우팅하는 데 걸리는 지연 등이 있다. 이들 지연들은 일정하게 발생하지 않기 때문에 지터 및 스큐를 유발한다. 지터는 스트림내에서 발생하는 지연의 차이로서 미디어내에서 시간관계를 잃어버리게 한다. 스큐는 미디어간에 발생하는 지연의 차이로 미디어간의 시간관계를 잃어버리게 한다. 그림 1은 스큐의 예를 보여준다.

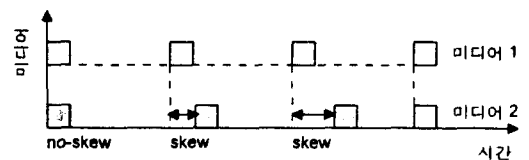


그림 1. 패킷통신망에서의 스큐

Fig. 1. Skew in the packet network.

두 번째로 송신측과 수신측간의 클럭(clock) 속도 불일치이다. 예를 들어 수신측의 클럭 속도가 송신측의 클럭 속도보다 느린 경우, 수신측의 데이터 처리 시간 간격이 송신측의 데이터 생성간격보다 크게 되어 원래의 시간관계를 상실하게 된다. 반대로 송신측이 느린 경우에도 마찬가지이다. 이에 따라 클럭 속도의 차에 의해 발생하는 시간관계의 상실은 동기화 기법을 이용하여 송신측에서와 같은 시간관계로 복구하여야만 한다.

세 번째 원인은 사용자 입력이다. 멀티미디어 응용은 경우에 따라 사용자의 요구에 따라 미디어 스트림에 변화를 주어야 한다. 이 때의 사용자의 요구를 사용자 입력이라고 한다. 사용자 입력의 예로는 멀티미디어 정보를 표현할 때, 건너뛴(skipping), 역표현(reverse

presentation), 일시 멈춤/재시작(freezing and restarting), 처리 속도의 변화(scaling) 등이 있다. 이러한 멀티미디어 정보의 표현을 제어하기 위한 사용자의 입력에 의해 발생하는 시간 관계의 상실도 동기화 기법에 의하여 원래의 시간관계로 복구되어야 한다.

2. 동기화 기법의 관련 연구 및 분류

멀티미디어 동기화를 분류하기 위한 기준은 그림 2와 같이 크게 3가지로 대별해 볼 수 있다. 첫 번째는 시스템이 공통의 클락(global timer)을 갖고 있는가 하는 것이다. 클락 동기화가 이루어지는 경우에 미디어 유니트의 재생시간은 모든 유니트와 함께 전달되는 절대적인 혹은 상대적인 타임 스탬프로부터 계산될 수 있다 클락 동기화가 수행되지 않는다면 재생 동기화는 버퍼 제어 알고리즘에 기반해서 달성될 수 있다. 두 번째 기준은 동기화 조치의 위치와 관련된다. 이는 연속 미디어 정보의 송신자 혹은 수신자에서 수행될 수 있다. 송신자 제어는 항상 피드백 정보를 필요로 한다. 세 번째 기준은 비동기를 바로잡기 위해 사용되는 방법에 있다. 이는 미디어 유니트의 발생속도 혹은 재생속도를 빨리하거나 늦추는 방법과 끼워넣기(stuffing)의 방법이 있다. 끼워넣기는 미디어 유니트의 삭제 혹은 추가를 의미하는 비트 혹은 바이트 동기화로 잘 알려져 있다^[5].

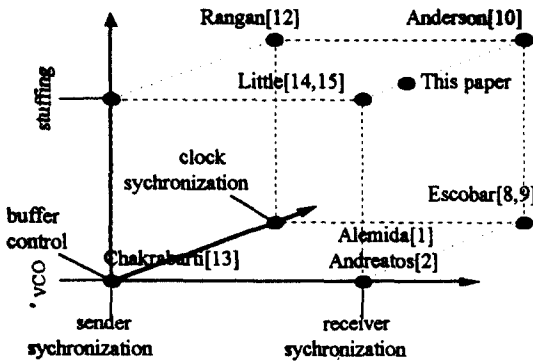


그림 2. 미디어내 동기화 분류와 기존 연구
Fig. 2. Classification for intramedia synchronization and existing solutions.

동기화 문제를 해결하기 위해 그동안 여러 가지 동기화 메카니즘이 제안되었다. [6]에서 Nicolaou는 각각의 개별 스트림내에 동기점을 삽입하여, 관련 스트림사이의 동기를 구현하는 방식을 제안했다. [7]에서

Steinmetz는 Logic Data Unit(LDU)의 개념을 도입했다. 이는 연속미디어 데이터 스트림을 일련의 LDU로 본다. 동기화 제어는 LDU에 관해 수행된다. [8,9]에서 Escobar 등은 클락 동기화 기법을 제안하였다. 보내지는 미디어 유니트들은 수신자가 재생시간을 결정할 수 있도록 하는 타임 스탬프를 포함한다. [10]에서 Anderson 등은 다수의 미디어 스트림을 위한 공통 LTS(Logical Time System)의 개념을 사용하는 방법을 제안되었다. 교정은 건너뛴(skipping)이나 멈춤(pausing)에 의해 이루어진다. [11]에서 Little은 데이터 패킷을 전송하기 전에 전송 스케줄을 계산하는 것을 제안하였다. 멀티미디어 트래픽은 표현을 위해 수신단에 제시간에 도착하도록 전송 스케줄에 따라 전달되어진다. [12]에서 Rangan 등에 의해 송신자 제어와 결합하여 사용되는 또다른 종류의 클락 동기화가 제안되었다. 이들은 현재 디스플레이되는 미디어 유니트들의 번호를 송신측으로 피드백하는 성능이 다소 떨어지는 수신 시스템을 가정한다. 따라서 필요에 따라 각 미디어 스트림에 대해 교정이 이루어질 수 있다. 동기화를 다시 얻기위해서 미디어 유니트가 제거되거나 중복된다. 여기서의 기본적인 가정은 지연 지터가 제한되고 미리 알려져야 한다는 것이다. [13]에서 Chakrabarti 등은 수신자 클락이 미디어 유니트의 주기적이고 동기화된 재생을 주도하는 방법을 제안하였다. 수신측에서 사용된 버퍼 공간의 크기에 따라 송신자 프레임 속도가 제어된다. 다른 피드백 방식과 마찬가지로 망 지연의 증가는 반응을 늦게 하고 지연 예측이 되지 않는 경우에는 안정성을 보장할 수 없다. [14,15]에서 Little 등은 수신자 중심의 동기화 기법을 제안하였다. 이는 주로 미디어간 동기화를 해결하기 위한 방법과 함께 몇 가지 측면에서 미디어내 동기화에 관련해 기술한다. 수신 큐의 레벨이 상위 혹은 하위 문턱값에 다다랐을 때, 프레임들이 버려지거나 중복된다, 재생 프로세스는 완전히 동기적이라고 말할 수 있기때문에 끼워넣기가 클락 조정대신에 사용된다. 송신자 혹은 수신자 클락 속도가 더 높다고 할 때, 큐 레벨은 항상 한쪽 문턱 값에 머물러고 할 것이다. 이는 변동에 대한 면역성(immunity)이나 긴 지연을 의미한다. 또한 문턱 값들을 서로 밀착되게 선택하는 것은 너무 잦은 교정을 유발시키게 된다. 프레임의 중복 혹은 제거를 제어하는 교정함수는 임의적이고 일정을 기반(constant rate-based)의 함수만이 연구되었다.

III. 제안된 동기화 메카니즘

1. 멀티미디어 데이터 스트림 모델링

그림 3은 본 연구에서 사용되는 멀티미디어 데이터 모델을 보여준다. 각 미디어 스트림은 일정한 길이의 동기 구간(Synchronization Interval)으로 나누어진다. 그리고 각 동기 구간은 다시 논리적인 동기 단위(LSU: Logical Synchronization Unit)로 나누어진다. 한 개의 동기 구간에 포함되는 LSU들을 MLSU(macro LSU)라 부르기로 한다. 동기 제어는 바로 MLSU 단위로 LSU의 중복/제거에 의해 이루어진다. 여기서 LSU란 영상에서의 한 프레임에 해당한다고 볼 수 있고, MLSU란 MPEG 부호화에서 12 혹은 15 프레임으로 구성되는 GOP(Group Of Picture)에 해당한다고 볼 수 있다. 본 연구에서 각 미디어 스트림은 동기 구간의 크기(ψ), 동기 구간내에 있는 LSU의 수(n), 종단간 지연 기준(d_e^{\max}) 등으로 표현될 수 있다. 미디어내 동기화를 위해서는 수신측에서 일단 데이터의 처리가 시작된 후에는 연속적인 데이터 처리가 보장되어야만 한다. 따라서 멀티미디어 데이터 스트림이 전송될 때, 수신측에서의 재생시간(t_0)은 데이터의 송신 시작시간(t_0)보다 d_e^{\max} 보다 늦어서는 안 된다. 이는 다음 식(1)에 의해서 표현된다.

$$P'_i - S'_i = t_0 - t_0 \leq d_e^{\max} \quad (1)$$

여기서 S'_i and P'_i 는 MLSU의 i 번째 출발시간과 재생시간을 의미한다.

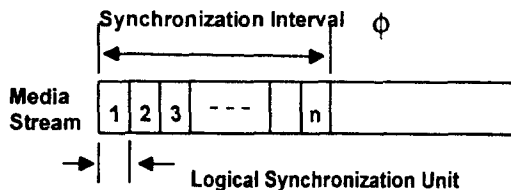


그림 3. 연속미디어 스트림의 시간 표현 모델
Fig. 3. Time-representation model of a media stream.

2. 제안된 미디어내 동기화 메카니즘

본 논문에서 제안되는 동기화 메카니즘은 지연이나 대역폭이 보장되지 않고, 전송이 best-effort에 기반하는 망에서 동작된다고 가정한다. 지터는 네트워크를 전송 혹은 비실시간 운영체제 등에 의해 야기된다. 본 연

구에서는 송신자와 독립적으로 동작하는 수신자 제어를 선택한다. 연속미디어를 위한, 특히 하드웨어 지원을 받는 영상복원(decompression)을 위한 대부분의 재생시스템은 동기적인 방식으로 재생을 수행한다. 즉, 초기화 후에 프레임을 버퍼로부터 일정한 속도로 처리한다. 버퍼의 주요 목적은 프레임 발생과 수신자로의 전달사이에 발생된 지터를 보상(compensation)하는 것이다. 프레임들의 재생시간은 클락 동기화의 복잡함에 의해 쉽게 알려질 수 없기 때문에 제안한 동기화 기법은 수신 프레임 버퍼의 레벨을 조정하는 것에 기반한다.

기존의 방법들^[21]과는 달리 버퍼레벨 조절시에 본 연구는 바이트의 수가 아닌 버퍼내의 프레임의 수를 계수한다. 이는 프레임은 동기적으로 발생되나, 프레임의 크기는 가변적이기 때문에 합리적이라고 볼 수 있다. 즉, 일정한 네트워크 지연을 가정할 때, 버퍼내의 프레임의 양은 일정하게 유지되고, 송수신자간의 동기화가 가능해진다. 여기서 압축된 프레임뿐만 아니라 현재 디스플레이중인 프레임까지 수신시스템에 있는 모든 프레임을 고려할 때, 이는 복원 지터까지도 보상할 수 있게 된다.

그런데 제안하는 메카니즘을 지연에 민감한 대화형 서비스에 적용할 수 있도록 주요 목표 중의 하나는 버퍼링에 의해 야기되는 지연, 즉 버퍼 레벨을 가능하면 작게 유지하는 것이다. 그렇지만 망에서의 지연 지터를 보상하기 위해서는 어느 정도의 버퍼링을 필요로 한다. 따라서 두 가지의 상충되는 요구를 고려한 방안이 필요하다.

단지 버퍼 레벨만으로 미디어내 동기화를 달성하는 것은 망이 지연을 보장하는 경우에는 어느정도 동기화 제공이 가능하다고 볼 수 있으나, 인터넷과 같은 스파이크(spike)성 지연을 포함하여 망의 환경이 다변하는 패킷망에서는 현실적이지 않다. 따라서 종단간 지연에 민감한 응용의 경우에는 종단간 지연을 보장할 수 있는 방안이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 송신자와 수신자간의 종단간 망 지연을 모니터링하고 이를 이용해서 버퍼링 지연의 기준값을 계산하는 방안을 통해 지연에 민감한 응용에 대해 만족스런 서비스 품질을 제공하고자 한다. 망에서의 지연은 단지 송신측의 클락을 기준으로 하여 계산하도록 한다. 그림 4는 본 논문에서 제안하는 동기화 메카니즘의 전체적인 구조를 보여준다.

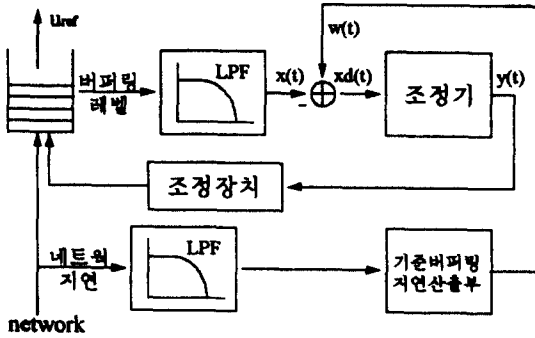


그림 4. 제안한 동기화 메카니즘의 전체적인 구조
Fig. 4. The overall configuration of proposed synchronization mechanism.

그림 4에서의 동기화를 위한 각 구성요소들에 대해 상세히 설명하면 다음과 같다. 먼저 프레임 버퍼는 망으로부터의 입력 프레임들로 채워진다. 지연때문에 프레임들의 도착 간격은 시간적으로 계속 변화된다. 그러나 평균은 일정하고 이는 수신자의 클락에 의해 이루어진다. 버퍼는 일정한 속도로 비어지게 되는데 이는 수신자의 재생 클락에 의해 이루어진다. 프레임 버퍼의 레벨은 저역통과 필터에 의해 여과된 후 다음 처리가 이루어진다. 버퍼 레벨은 압축된 프레임과 현재 복원중인 프레임 그리고 디스플레이를 기다리는 이미 복원된 프레임까지를 모두 포함한다. 이는 가변적인 복호화시간에 기인한 또다른 지연이 야기되는 것을 피하고자 함이다.

저역통과 필터는 필수적이다. 이것은 순간적인 잡음성 변화가 아닌 변화가 적은(low frequent) 버퍼레벨 변화만을 통과시키기 때문에 측정된 버퍼 레벨의 평균을 구할 수 있다. 따라서 순간적인 지연지연에 의해 유발되는 아주 빈번한 변화가 제거될 수 있다. LPF는 다양한 방법에 의해 구현될 수 있다. 예를들면, Massalin에 의해 제안된 LPF의 출력은 다음과 같이 정의될 수 있다^[16].

$$\begin{aligned} \text{lowpass}[i] &= \text{input}[i], \quad i = 0 \\ \text{lowpass}[i+1] &= (1.0-R) * \text{lowpass}[i] + R * \text{input}[i], \quad \text{where } i \geq 0 \end{aligned}$$

여기서 LPF의 출력은 실제 최근 입력 값들의 가중치 합이고 R은 aging factor이다.

비교기는 기준 값 $w(t)$ 로부터 필터링된 버퍼레벨 $x(t)$ 를 뺀다. 기준 값 $w(t)$ 는 기준 버퍼링 지연 산출부의 출력 값이다. 계산된 차이인 $xd(t) = w(t) - x(t)$ 는

해당 출력값 $y(t)$ 를 계산하는 조정기의 입력이 된다.

조정기의 출력은 버퍼레벨을 기준치로 조정하기 위해서 교정되어야만 하는 차이값을 출력한다. 실제적인 교정 조치는 프레임을 버리거나 삽입함에 의해 조정 장치에 의해 수행되어진다. 기존의 연구들은 버퍼링 레벨을 교정하기 위한 방법으로 선형적이고 연속적인 교정함수를 사용함으로써, 타이머 최소값이 실제로는 수 ms 정도로 제한적인 실제 시스템에서의 구현이 어렵고 작은 단위로 조정할 수 있다고 해도 이의 교정이 너무 빈번해서 프로세서에 부하를 줄 수 있을 뿐만 아니라 미디어간 동기화에 이를 적용할 때에 부하가 매우 크다고 하겠다. 그리고 교정함수가 선형이어서 망이 정상적인 상황과 위급(critical)한 상황에 대한 복구 방법이 동일하여 폭주 상황과 같은 비정상적인 경우에 대한 대처 능력이 부족하다. 따라서 본 연구에서는 그림 5와 같이 전체 버퍼링 영역을 3 부분으로 나누어 정상적인 영역과 상·하위 영역으로 구별하고 망에서의 트래픽 특성에 따라 정상적인 구간에서의 step 크기와 기타 구간에서의 step 크기를 달리하는 비선형 계단함수를 사용함으로써 실제 구현에 용이하고, 폭주 상황과 같은 비정상적인 경우에도 신속하게 이를 복구할 수 있도록 한다. 또한 그림에서 보는 바와 같이 각 영역을 중첩해서 설정함으로써 경계면에서의 빈번한 교정을 예방한다.

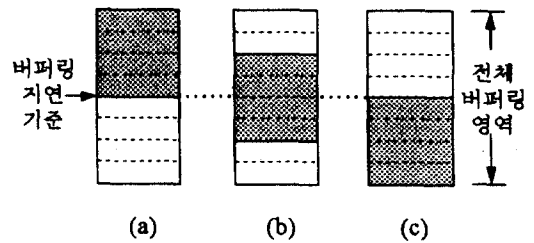


그림 5. 수신 프레임 버퍼링 영역의 분할
(a)상위영역 (b)정상적인 영역 (c)하위 영역

Fig. 5. Segmentation of buffering space.
(a)Upper area (b)Normal area (c)Lower area

조정기에서 조정되어야 하는 버퍼링 지연을 Δ_{adj} 로 표현할 때, Δ_{adj} 을 결정하는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있다. 본 연구에서는 그림 3에서 보는 바와 같이 LPF를 사용한다. 이는 지연에 대한 순간적인 잡음을 제거하고 평균 지연을 얻어낼 수 있다는 장점을 갖는

다. 따라서 잦은 조정을 피할 수 있게 된다. 즉, 버퍼링 기준은 최근 N 개의 MLSU에 대한 네트워크 지연을 모니터링함으로써 결정된다. 버퍼링 조건의 조정은 LSU를 버리거나 중복하는 방법을 통해 이루어진다.

결국 조정가능 지연시간은 프레임의 중복/제거를 통한 해당 동기화 구간의 크기를 조정함으로써 최대한 흡수된다. 동기구간 크기 조정은 가능한 응용에 의해 주어지는 조정 허용한계($0 < \gamma_{adj}^B < 1$)내에서 이루어진다. 단, 교정을 위한 교정함수는 그림 6과 같은 비선형 계단함수를 이용한다. 정상적인 영역에서는 요구되는 조정 값만큼만 조정하되, 상하위 영역(critical region)에서는 요구되는 조정의 ω ($0.5 \leq \omega \leq 2$)만큼을 추가적으로 적용하여 망의 비정상적 상황에도 신속하게 적용할 수 있도록 하는 것이다.

현재의 s 번째 동기화 구간의 LSU의 개수를 n 이라 하고 LSU의 기준 처리율이 μ_{ref} 라 할 때, s 번째 동기구간의 조정으로 흡수할 수 있는 최대 조정가능 지연시간의 크기는 식(2)과 같다.

$$n \times \frac{1}{\mu_{ref}} \times \gamma_{adj}^B = \Delta_{adj}^{max}, \quad (0 < \gamma_{adj}^B < 1) \quad (2)$$

만일 조정가능 지연시간 Δ_{adj} 의 값이 Δ_{adj}^{max} 보다 큰 경우, s 번째 동기화 구간의 크기는 식(3)와 같이 동일하게 조정된다. 이것은 응용이 허용하는 범위내에서 최대한의 처리율 조정을 통해 조정가능 지연시간을 흡수함을 의미한다.

$$\psi_p^s = \psi_{ref} \pm \Delta_{adj}^{max} \quad (3)$$

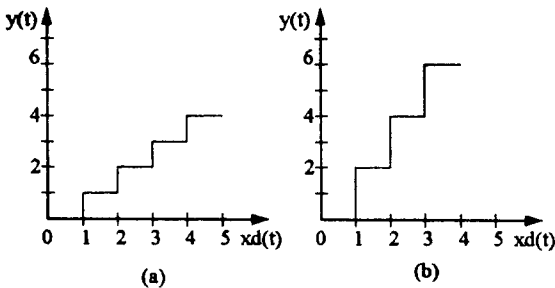


그림 6. 조정기에서 사용되는 교정 함수
(a) 정상 영역에서의 교정함수 ($\omega=1$)
(b) 상·하위 영역에서의 교정함수 ($\omega=2$)

Fig. 6. Correction function in the regulator.
(a) Correction function in normal area ($\omega=1$) (b) Correction function in upper & lower area ($\omega=2$)

그렇지 않은 경우 ($\Delta_{adj} < \Delta_{adj}^{max}$)에는 다음과 같이 단계적으로 조정가능 지연시간이 흡수될 수 있도록 동기구간 크기를 조정한다. 동기 구간의 크기 조정시 상하위 문턱값을 벗어나는 경우만을 조정하는 기존의 방식과는 달리 각 버퍼링 영역을 세분화하여 조정하는 방법을 사용한다. 이를 통해 서비스 품질의 점진적인 감퇴(graceful degradation)가 이루어지도록 하므로써 미디어 표현의 평활성(smoothness)을 향상시킬 수 있다. 즉, Δ_{adj}^{max} 를 그림 7과 같이 W 단계로 나누고 식 (4)를 통해 요구되는 조정 크기를 알아내어, 해당되는 양(Δ_{adj})만큼 조정이 이루어지도록 한다.

$$\left\lceil \frac{\Delta_{adj}}{\left(\frac{\Delta_{adj}^{max}}{W}\right)} \right\rceil = k, \quad \Delta_{adj} = \frac{k}{W} \cdot \Delta_{adj}^{max} \quad (4)$$

여기서, $\lceil \cdot \rceil$ 는 해당 값보다 작은 최대 정수를 의미한다.

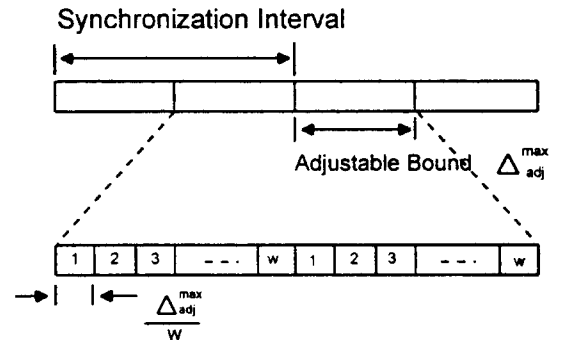


그림 7. 버퍼링 지연 시간의 단계적인 조정
Fig. 7. Step-wise adjustment of buffering delay.

조정가능한 최소, 최대 동기구간의 크기를 각각 ψ_{min} , ψ_{max} 라고 할 때 (3), (4)식에 의해 구해지는 최대값인 ψ_c^{exp} 를 구할 수 있다. 그런데 현재의 동기구간의 크기는 식 (5)의 제한 조건을 만족하여야만 한다.

$$\psi_{min} = \psi_{ref}(1 - \gamma_{adj}^B), \quad \psi_{max} = \psi_{ref}(1 + \gamma_{adj}^B) \quad (5)$$

$$\psi_{min} \leq \psi_c \leq \psi_{max}$$

여기서, ψ_{ref} 는 기준이 되는 동기구간의 크기이다.

따라서 다음에 처리될 MLSU의 크기 ψ_c 는 최종적으로 식 (6), (7)에 따라 결정된다. 즉, $\psi_c^{exp} > \psi_{ref}$ 인 경우에는

$$\psi_c = MIN(\psi_{max}, \psi_c^{exp}) \quad (6)$$

그리고 $\psi_c^{exp} < \psi_{ref}$ 인 경우에는

$$\psi_c = \text{MAX}(\psi_{\min}, \psi^{\text{exp}}) \quad (7)$$

위에서 설명한 바와 같이 critical 영역에서는 조정해야 할 영역을 ωk 단계만큼 조정해야 한다. 그러나 이 경우에도 식(6), (7)은 만족되어야만 한다. 조정 장치는 데이터 스트림으로부터, 혹은 스트림으로 프레임을 추가하거나 제거함에 의해서 동작한다. 프레임은 일단 수신되면 단지 한 번만 버려질 수 있다. 대칭적인 행동을 이루도록 하기 위해서, 그리고 시각적인 혹은 청각적인 이상을 야기하지 않도록 중복(doubling)은 각 프레임에 대해 단 한 번만 수행된다. 따라서 1 개이상의 프레임에 대한 교정작용은 즉시 일어나지 않고 단계적으로 이루어져야만 한다.

기준버퍼링 지연 산출부는 망에서의 지연에 따라 버퍼링 지연의 기준 값을 제공하는 부분이다. 종단간 지연은 크게 2 가지 지연 요소로 구분된다. 즉 네트워크 지연과 버퍼링 지연으로 나누어 볼 수 있다.

$$d_c(t) = d_T(t) + d_B(t) \quad (8)$$

여기서, $d_c(t)$ 는 종단간 기준 지연을, $d_T(t)$ 는 네트워크에서의 전송지연, $d_B(t)$ 는 버퍼링 지연을 의미한다.

따라서 네트워크 지연이 늘어나는 경우에는 기준 버퍼링 지연을 줄이고, 네트워크 지연이 줄어드는 경우에는 기준 버퍼링 지연을 늘려줌으로써 전체 종단간 지연을 일정하게 유지시켜 주는 것이 필요하다. 네트워크의 지연을 예측하기 위한 다양한 연구들이 있었다. 본 연구에서는 간단하게 구현할 수 있는 LPF를 이용하여 네트워크 지연을 예측한다. 버퍼링 지연의 기준 값으로 종단간 기준 지연($d_c(t)$)에서 평균 네트워크 지연($d_T(t)$)을 뺀 값이 사용된다.

멀티미디어 데이터 스트림에 대한 초기 버퍼링 지연 시간은 첫 번째 MLSU가 수신측에 도착한 시점으로부터 처리 시작 시점까지의 간격을 표현하는 방법으로 구할 수 있다. 따라서 초기 버퍼링 지연이 식(1)을 만족시키기 위해서 의도적으로 이루어져야 한다. 일단 초기 버퍼링 지연(d_B^{init})이 설정되면, 다음 MLSU내의 각 프레임들의 재생시간은 자동적으로 결정된다. 본 연구에서는 초기 버퍼링 지연 및 버퍼링 영역의 크기 등이 처음에 멀티미디어 호 설정시에 협상에 의해 적절하게 주어진다고 가정한다.

조정 장치(regulating unit)를 위한 클락 적응과 끼

워 넣기라는 두 가지 주요 선택이 있을 수 있다. 인간은 오디오 정보가 재생될 때, 사람마다 약간의 차이가 있기는 하지만 속도의 변화에 아주 민감하다. 1 % 내외의 변동이 감지될 수도 있다. 그렇다고 조정 범위를 너무 작게 선택하는 것은 제어 알고리즘이 버퍼 레벨의 변화에 너무 늦게 반응하도록 만든다. 이는 버퍼안에 단지 몇 개의 프레임만이 있기 때문이다. 반면에 프레임 끼워넣기는 사람이 거의 인지할 수 없는 에러만을 유발시킨다. 오디오 프레임의 삽입과 제거는 한번에 여러 프레임을 할 때와 자주 할 때, soft cracking으로만 인지될 뿐이다. 이때 pitch에는 전혀 변화가 없다. 비디오 프레임 끼워넣기는 사용자에게 의해 인식되지 않는다. 이와 같은 이유때문에 본 논문에서 제안한 동기화 메카니즘은 프레임 끼워넣기를 사용한다. 전송 에러의 경우에 몇몇 종류의 방법은 아직도 상실된 혹은 깨진 프레임을 대체하는 것이 필수적이라는 것을 주목할 때, 프레임 끼워넣기 메카니즘을 위한 추가적인 구현은 오히려 수비라고 할 수 있다.

IV. 제안된 동기화 메카니즘의 성능 평가

수신측에서 재구성된 멀티미디어 데이터의 표현 서비스 품질은 먼저, 표현이 평활(smoothness)하게 나타나야 한다. 그리고 일정한 재생 시간간격을 유지하여 연속성을 보장해야 한다. 두 번째는 종단간 지연이 작고 일정하게 유지되어야만 한다^[17]. 따라서 본 논문에서는 이를위한 척도를 성능의 기준으로 제시한다. 먼저 제시된 종단간 기준지연하에서 평활성을 표현한다고 할 수 있는 각각의 LSU에 대한 종단간 지연 변동의 RMSE(Root Mean Square Error) D_v 를 고려한다. 이 값을 통해서 연속적인 미디어 스트림을 포함하는 응용의 종단간 지연 관련 서비스 품질을 측정할 수 있다. 이 척도의 정의는 다음과 같다.

$$D_v = \sqrt{\frac{\sum (D_{ref} - D_c)^2}{n}} \quad (9)$$

여기서 D_{ref} 는 종단간 기준 지연을 의미하고, D_c 는 현재 처리중인 LSU의 종단간 지연을 의미한다.

다음에 초당 LSU의 제거/중복 비율이다. 버퍼링 레벨의 조정이 수신되는 LSU의 제거 혹은 중복에 의해 이루어지기 때문에 이에 대한 평가가 이루어져야 한다. 버려지는 프레임의 비율과 중복되는 프레임의 비율은

다음과 같다.

$$P_d = \frac{n_d}{n_i}, \quad P_e = \frac{n_e}{n_i} \quad (10)$$

여기서 n_i 은 응용의 서비스기간중 발생한 LSU의 총 수를 의미하고, n_d 는 중복이 발생한 LSU의 총 수를 가리킨다. 그리고 n_e 는 버려진 LSU의 총 수를 가리킨다.

본 논문에서, 제안된 알고리즘의 평가를 위해서 널리 알려진 시뮬레이션 언어인 SLAM-II(Simulation Language for Alternative Modelling)^[18]를 이용해서 메카니즘을 모델링한 SLAM-II Network을 얻어냈고 이를 이용해서 위에서 정의된 성능 척도에 대한 결과를 추출하였다. 단, 망에 대한 특성은 그림 8에서 보는 바와 같이 정규분포를 가정하고, 망의 네트워크 지연의 평균치 $\mu_1 = 50$ msec, $\mu_2 = 90$ msec가 주기적으로 변화된다고 가정하였다. 종단간 지연은 영상 회의 등에서의 전형적인 값중의 하나인 160 msec를 기준으로 한다.

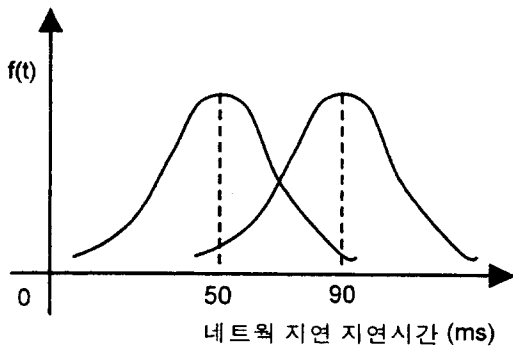


그림 8. 망에서의 네트워크 지연 분포
Fig. 8. Network delay distribution in the packet network.

성능 평가를 위해 일반적으로 멀티미디어 응용에서 적용가능한 파라미터를 다음과 같이 가정했다^{[19][20]}.

- 1) LSU의 발생율 : 33 ms (30 frames per sec.)
- 2) 망지연은 정규분포를 갖고, 평균 $\mu_1=50$ msec, $\mu_2=90$ msec 값을 갖으며 5분 주기로 변함
- 3) 초기 버퍼링 지연 - 100 ms
- 4) 동기 구간의 크기 - 12 frames
- 5) 조정가능 동기구간의 단계수 - S = 4 단계

6) γ_{adj}^B : 동기구간 최대 조정율 - 0.6

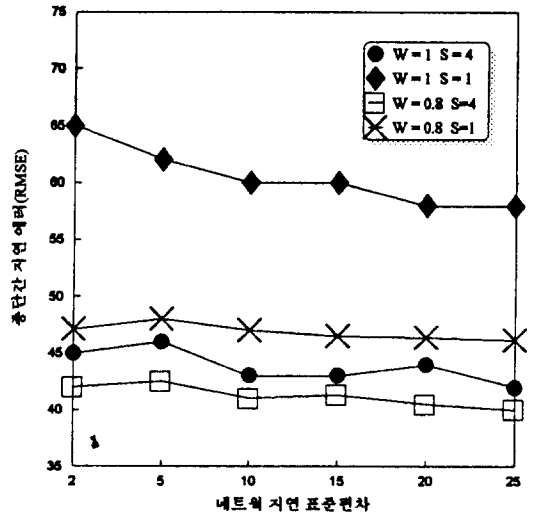


그림 9. 수신단에서의 종단간 지연 변동
Fig. 9. End-to-end delay fluctuation at the receiver(D_e).

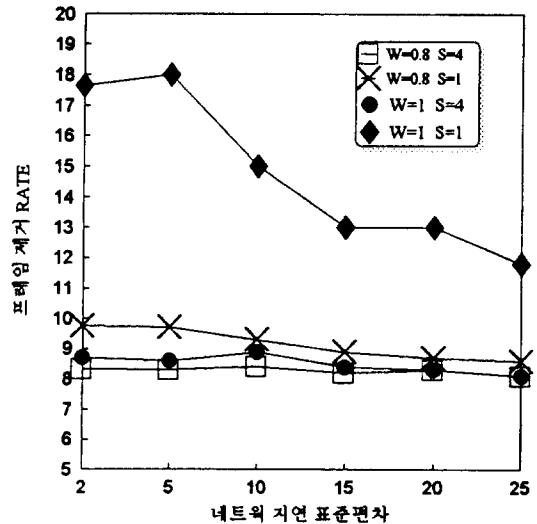


그림 10. 수신단에서의 프레임 제거율
Fig. 10. Discard ratio at the receiver(P_d).

그림 9, 10, 11은 비디오와 같은 연속미디어를 위한 미디어내 동기화의 결과를 보여준다. 그림 9는 망의 다양한 분산에 따른 종단간 지연을 보여주고, 그림 10, 11은 프레임의 제거/중복율을 보여준다. 그림에서 W는 가중치를 S는 조정단계수를 나타낸다. 성능 평가 결과

를 통해 망의 트래픽이 구형파와 같이 시간에 따라 주기적으로 변화되는 경우에는 상.하위 영역에서 가중치 ω 가 1보다 적은 경우에 더 좋은 특성을 나타내었다. 가중치 ω 란 지연을 예측하는 특성을 갖고 있음으로 망의 지연이 선형적으로 증가하거나, 선형적으로 감소하기를 주기적으로 반복하는 망에서는 ω 가 1보다 큰 값을 갖는 것이 훨씬 좋은 특성을 갖게 될 것으로 예측할 수 있다. 성능평가를 통해 제안된 메카니즘이 망의 급격한 지연 변화에도 불구하고 안정적으로 종단간 지연을 보장함으로 사용자에게 충분한 서비스 품질을 보장할 수 있다는 것을 보여준다. 두가지 경우 모두 단계적인 조정을 통해 더 나은 성능을 얻을 수 있음을 보여준다.

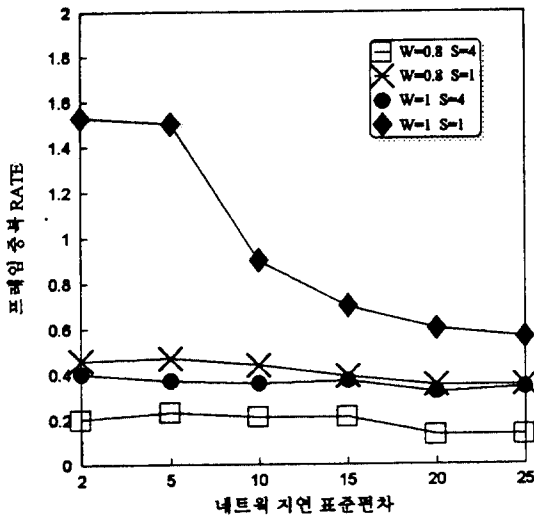


그림 11. 수신단에서의 프레임 제거/중복율
Fig. 11. Duplication ratio at the receiver (P_d).

V. 결론

본 연구에서는 망에서 발생하는 지터, 스큐에 의한 멀티미디어 스트림의 시간 관계 왜곡을 복구하기 위한 재생 동기화 메카니즘을 제시한다. 특히 망에서의 지연 및 버퍼링 지연이 작은 변동을 일으키는 경우와 순간적인 잡음이 발생하는 경우를 고려하여 저역 통과 필터를 사용하고, 평균 네트워크 지연과 버퍼링 지연을 통합하여 관리함으로써 종단간에 지연을 거의 일정하게 유지시켜 지연에 민감한 응용에 최적의 서비스 품질을 제공할 수 있도록 한다. 종단간 지연을 거의 일정

하게 유지하기 위해 네트워크 지연에 기반하여 버퍼링 지연을 제어하는데, 버퍼링 레벨을 유지하기 위해 사용되는 교정 함수로 기존의 선형적 연속 함수와는 달리 망에서의 트래픽 특성에 따라 정상적인 구간에서의 step 크기와 기타 구간에서의 step 크기를 달리하는 비선형 계단 함수를 사용함으로써 실제 구현에 용이하고, 폭주 상황과 같은 비정상적인 경우에도 신속하게 이를 복구할 수 있도록 한다. 또한 제안된 메카니즘은 송신자에 독립적이고, 수신자의 프레임 버퍼의 레벨을 조정하는 것에 기반한다. 교정은 프레임 버퍼를 버리거나 삽입함에 의해서 프레임 버퍼 레벨에 관해 이루어진다. 또한 제안된 동기화 방식의 성능을 평가하기 위한 척도를 제공하고, 실제 상황과 동일한 환경에서의 시뮬레이션을 위해 시뮬레이션 언어로 널리 알려진 SLAM-II를 이를 모델링하였다. 다양한 트래픽 환경에서의 평가가 필요하나, 반복적으로 망에서의 종단간 지연이 변화되는 경우를 평가한 결과, 제안되는 메카니즘을 적용함으로써 훨씬 지연에 민감한 응용에 대해 안정적으로 동기화를 제공할 수 있음을 확인하였다.

※ 본 연구는 정보통신연구관리단의 대학기초연구지원 과제의 결과임.

참고 문헌

- [1] N.Almeida, J.Cabral, and A.Alves, "End-to-End Synchronization in Packet Switched Networks", *Proc. of the 2nd Int. Workshop on Network and OPERating System Support for Digital Audio and Video*, 1991. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Verlag, Vol.614, pp.84-93, 1992.
- [2] A.S. Andreatos, "Protonotarios: Receiver synchronization of a packet video communication system", *Computer Communications*, Vol.17, No.6, pp.387-395, June 1994,
- [3] D.Shepherd and M.Salmony, "Extending OSI to Support Synchronization Required by Multi-media Applications", *Computer Comm.* Vol.13, No.7, Sept 1990
- [4] J.F.Gibbon, "Real-Time Scheduling for Multimedia Services Using Network Delay Estimation," Boston Univ., USA, Technical

- Report, May 1994.
- [5] D.Kohler and H.Muller, "Multimedia Play-out Synchronization Using Buffer Level Control", *2nd International Workshop on Advanced Teleservices and High-Speed Communication Architectures*, Heidelberg, Germany, pp. 167-180, Sep 1994.
- [6] C.Nicolaou, "An Architecture for Real-Time Multimedia Communication Systems", *IEEE Journal on Select Areas in Communication*, vol.8, no.3, pp. 391-400, April 1990.
- [7] R.Steinmetz, "Synchronization properties in multimedia systems", *IEEE Journal on Select Areas in Communication*, vol 8, no.3, pp. 401-412, April 1990.
- [8] J.Escobar, D.Deutsch, and C.Partridge, "A Multi-Service Flow Synchronization Protocol", *BBN System and Technologies Division*, pp.1-16, 1991.
- [9] J.Escobar, D.Deutsch, and C.Partridge, "Flow Synchronization Protocol", *Proc. of the IEEE Globecom*, Vol.3, pp.1381-1387, 1992.
- [10] D.P.Anderson, G.Homsy, "A Continuous Media I/O Server and Its Synchronization Mechanism", *IEEE Computer Magazine*, Vol.24, No.10, pp.51-57, 1991.
- [11] T.D.C. Little, "Protocols for Bandwidth-Constrained Multimedia Traffic", *Multimedia '92*, pp.150-159, April 1992.
- [12] P.V.Rangan, S.Ramanathan, et al., "Techniques for Multimedia Synchronization in Network File Systems", *Computer Communications*, Vol.16, No.3, March 1993.
- [13] S. Chakrabarti, R. Wang, "Adaptive Control for Packet Video", *Proc. of Int. Conference on Multimedia Computing*, pp.56-62, May 1994.
- [14] T.D.C. Little, F.Kao, "An Intermedia Skew Control System for Multimedia Data Presentation", *Proc. of the 3rd Int. Workshop on Network and Operation System Support for Digital Audio and Video*, 1992. Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, Vol.712, pp.130-141, 1993.
- [15] T.D.C. Little, "A framework for synchronous delivery of time-dependent multimedia data." *Multimedia Systems*, Vol.1, No.2, pp.87-94, 1993.
- [16] H. Massalin and C. Pu, "Fine-grain Adaptive Scheduling Using Feedback". *Computing System*, 3(1):139-173, Winter 1990.
- [17] S.Cen and C.Pu, "A Distributed Real-Time MPEG Video Audio Player" *5th International Workshop on Network and Operating System Support of Digital Audio and Video*, New Hampshire, USA, April 1995.
- [18] Pritsker. A., *Introduction to Simulation and SLAM II*, System Publishing Corporation, 1986.
- [19] K.Rothermel and H.Heobig, "An Adaptive Stream Synchronization Protocol", Technical Report, Stuttgart Univ., Germany, Dec 1994.
- [20] 김덕진, 유상진, "점진적 품질저하를 제공하는 적응형 멀티미디어 동기화", *고려대학교 정보통신기술논문지*, Vol.5, pp.29-35, Dec. 1995
- [21] J. Y. Hui and J. Zhang, "Client-Server Synchronization and Buffering for Variable Rate Multimedia Retrievals", *IEEE Journal on Select Areas in Communication*, vol 14, no.1, pp.226-237, Jan. 1995.

— 저 자 소 개 —



柳 相 臣(正會員)

1963년 4월 7일생. 1986년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업. 1988년 2월 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1988년 2월 ~ 1994년 2월 삼성전자

정보통신연구소 연구원. 1994년 3월 ~ 현재. 고려대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심 분야는 분산 멀티미디어 시스템, 광대역 ISDN.



李 成 根(正會員)

1962년 8월 28일생. 1985년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업. 1987년 2월 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1987년 2월 ~ 1992년 9월. 삼성전자 정보통신

연구소 연구원. 1995년 8월 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1996년 3월 현재 삼성전자 통신연구소 선임 연구원. 주관심 분야는 광대역 ISDN, 컴퓨터 네트워크, 분산 멀티미디어 시스템.

金 惠 鎮(正會員) 第 30卷 A編 第 12號 參照
현재 고려대학교 전자공학과
교수