

패킷망에서 전송율 제어와 패킷 폐기에 의한 연속 미디어 전송 방안 (Transmission of Continuous Media by Send-rate Control and Packet Drop over a Packet Network)

배 시 규 *
(Shi-kyu Bae)

초 록

통신망을 통하여 시간 연속(continuous) 미디어를 전송하면 통신망의 부하 변동에 따라 운송 지연(transit delay)이 일정하지 않으므로 수신측에 도착하는 패킷간에 원래의 시간 관계가 유지되지 않는 비동기 현상이 나타난다. 현재 제안된 여러 동기화 방안들은 운송 지연 특성을 보장하는 자원 보장형 통신망과 운송 지연 특성이 보장되지 않아 변화의 폭이 큰 자원 비보장형 통신망 환경을 고려한 2가지 형태가 존재한다. 자원 보장형 통신망은 최소 및 최대 운송 지연 시간을 예약이나 협상을 통해 전송 기간동안 계속 유지하는 반면, 자원 비보장형 통신망에서는 가능한 최대의 대역폭을 사용하는 최대 노력 (best-effort) 서비스를 사용한다.

이 논문은 패킷망이나 인터넷과 같은 자원 비보장형 통신망 환경에서 통신망의 부하 변화에 동적으로 적응하여 동기화된 전달(playout)을 제공하는 미디어내 동기화 방안(Inter-media Synchronization)에 관한 것이다.

본 논문에서 제안하는 방안은 데이터 전송 경로의 운송 지연 통계치를 사용하여 다음 전송할 패킷의 운송 지연을 추정하여 송신 시간을 조절함으로써, 통신망의 부하로 인한 운송 지연의 변화가 크더라도 수신 패킷의 도착 시간을 일정한 범위 내로 유지한다. 또한, 통신망의 부하가 지속적으로 증가하여 연속되는 패킷의 운송 지연이 점차 늘어나면 전송률을 높이는 것만으로 문제를 해결할 수 없을 뿐만 아니라 오히려 혼잡을 발생시킬 가능성이 있다. 따라서, 통신망의 대역폭에 맞추어 일부 전송 패킷을 폐기함으로써 실제적인 전송률을 조정하였다. 이 방안은 수신측의 버퍼가 충분하지 않거나, 버퍼 지연 시간이 제한적인 대화형 응용에서 연속 미디어를 전송하는데 적합하다.

* 동양 대학교 컴퓨터 공학부(Dongyang Univ. , Computer Eng. Dept.)

ABSTRACT

When continuous media are transmitted over the communication networks, asynchrony which can not maintain temporal relationships among packets may occur due to a random transit delay.

There exist two types of synchronization schemes ; for guaranteed or non-guaranteed resource networks. The former which applies a resource reservation technique maintains delay characteristics, however, the latter supply a best-effort service.

In this paper, I propose a intra-media synchronization scheme to transmit continuous media on general networks not guaranteeing a bounded delay time. The scheme controls transmission times of the packets by estimating next delay time with the delay distribution. So, the arriving packets may be maintained within a limited delay boundary, and playout will be performed after buffering to smoothen small delay variations.

The continually increasing delay due to network overload causes buffer underflow at the receiver. To solve it, the transmitter is required to speed up instantaneously. Too much increase of transmission-rate may cause network congestion. At that time, the transmitter drops the current packet when informed excessive delay from the receiver.

1. 서 론

컴퓨터와 통신망에서 시간 연속 데이터를 효과적으로 처리하고 전송하기 위한 노력이 여러 분야에서 계속적으로 이루어지고 있다. 통신망의 비동기 특성으로 인하여 시간 연속 데이터를 전송하기 위해서는 전송 미디어의 서비스 품질을 설정하고 처리하는 기술이 필요하다.

통신망을 통해서 시간 연속 미디어를 효과적으로 전송하기 위해서는 2가지 형태의 접근이 필요하다. 한가지 방법은 통신망에서 대역폭, 운송 지연 시간 등의 자원을 보장해 주고 통신망 사용자(응용 소프트웨어 혹은 상위 계층 프로토콜)로부터의 사전 예약 협상을 통하여 전송이 완료될 때까지 책임지고 예약한 자원의 사용을 보장해 주는 것이다. 또 다른 방법은 통신망에서 자원을 보장해 줄 수가 없어 통신망 사용자가 통신망 부하의 변화에 따라 이에 적응하는 방식이다.

통신망에서 자원을 보장하기 위한 통신 구조 및 프로토콜의 개발에 관한 많은 연구와 함께 자원 보장형의 통신망을 고려한 동기화 방안에 관한 연구로는 [1],[2]이 있다. 하지만, 현재 Ethernet LAN과 최대 노력 방식의 패킷망이 가장 많이 사용되고 있으며, 새로운 자원 보장형의 통신망이 실용화되어 대체되기까지는 상당한 시간이 소요될 것으로 예상되므로, 인터넷 상에서 동작하는 다양한 응용 서비스를 제공하기 위하여 자원이 보장되지 않는 통신망 환경을 고려하는 것이 실용적이다.

실시간 및 시간 동기화가 요구되는 미디어들은 미리 시간 관계가 정해져서 저장되어 있거나, 입력 장치로부터 라이브(live)로 입력된다. 이를 각각 저장 데이터와 라이브 데이터라고 한다. 동기화는 일반적으로 여러 개의 사건 혹은 객체 간에 상호 관계를 나타내는 것을 말하며, 협의로는 공간 관계를 나타내는 공간 동기화와 구분하여, 시간 관계를 유지하는 시간적 동기화라고 한다. 동기화에는 시간 연속 미디어(continuous media)의 연속성을 유지하기 위한 미디어내 동기화(Intra-media Synchronization)와 멀티미디어 스트림간에 시간 관계를 유지하기 위한 미디어간 동기화(Inter-media Synchronization)가 있다.

본 논문에서는 통신망을 통해서 도착하는 데이터에 발생하는 비동기 현상을 분석하고, 이를 해결하기 위한 동기화 방안을 제안한다. 2장에서 비동기 현상을 분석하고, 이를 해결하기 위한 새로운 동기화 방안을 나타낸다. 마지막으로 3장에서 결론과 향후 연구 과제를 정리하였다.

2. 제안 동기화 방안

동기화를 나타내기 위한 시간 변수로는 최대 지연 시간, 최소 지연 시간, 평균 지연 시간 등의 지연 시간과 순간 지연 시간 변이인 지연 시간 지터(delay jitter, 혹은 간단히 지터), 그리고 지연 시간 지터의 평균치로 표시하는 스큐(skew)가 있다. 지연 시간은 실시간에 대한 절대 지연 시간으로 나타내거나, 어떤 기준 시간에 대한 상대 지연 시간으로 나타낼 수 있다. 지터는 텍스트와 같은 시간 불연속(discrete) 데이터에서는 문제가 없으나, 오디오, 비디오와 같은 시간 연속 데이터를 전송할 때는 중요한 서비스 품질 변수이다.

통신망의 부하가 안정되어 있으면 지터가 일시적으로 변화하더라도 평균 운송 지연 시간이 일정하게 유지된다. 통신망의 부하가 점차 증가하거나 감소하면 평균 운송 지연 시간이 점차 증가 혹은 감소하게 되며, 증가 혹은 감소 후 지속적으로 일정한 부하가 유지된다면 평균 운송 지연 시간이 일정해 진다.

각 패킷은 통신망을 통과하는 과정에서 가변적인 운송 지연을 겪게 되므로 등시성 데이터인 경우에도 수신측에 도착하는 패킷의 간격은 불규칙적으로 변하게 된다. 미소한 지터는 수신측에서 버퍼링을 통하여 상위 계층으로의 전달 시작 시간을 늦추어 줌으로써 흡수된다. 수신측에서 도착하는 모든 패킷에 대하여 최대 지터(최대 운송 지연 - 최소 운송 지연)동안 저장할 수 있는 크기의 충분한 버퍼가 있다면 인위적인 버퍼 지연을 추가하여 불연속 문제를 해결할 수 있다. 하지만 운송 지연 시간 변화의 폭을 일정 범위 내로 유지하는 자원보장형 통신망에서는 이 버퍼 지연 시간 혹은 버퍼 크기를 결정할 수 있으나, 자원 비보장형 통신망에서는 이 버퍼 시간이나 버퍼 크기를 미리 정할 수가 없다.

또한 버퍼 지연 시간을 충분히 크게 하여 불연속 문제를 해결하더라도 종단간 전체 운송 지연 시간이 커지므로, 양방향 대화형 서비스 또는 대기 시간의 제한이 엄격한 실시간 응용에는 적용할 수 없다. 단방향 분배형 응용에서도 전달 시작 시간이 서비스 품질과 관련되므로 수신 버퍼 지연 시간과 불연속성을 함께 고려하여야 한다. 수신 버퍼 지연 시간은 미디어의 종류나 응용에서 허용하는 최대 지연이나 손실률의 범위와 사용 가능한 버퍼 크기 중 최소 값으로 결정이 된다.

데이터 전송 중 통신망의 운송 지연 분포가 변화할 때 변화의 폭이 크지 않을 경우에는 버퍼 크기 조절 및 패킷 중복/폐기 등의 버퍼 제어로 상위 계층으로의 전달을 조절할 수 있으나, 그 변화의 폭이 커지면 수신측의 처리만으로 불연속 문제를 해결할 수 없다. 따라서 송신측에서 전송률을 조절하거나 미디어 서비스 조절 등의 방안이 요구된다.

본 동기화 방안은 다음과 같은 특징을 가진다.

첫째, 대역폭이나 운송 지연 시간이 보장되지 않고, 가능한 최대의 서비스를 제공하는 기존의 통신망에서 수행할 수 있다. 즉 자원 예약이나 수락 제어가 제공되지 않은 통신망에서 부하상태를 고려하여 동적으로 패킷의 전송을 조절한다.

둘째, 통신망의 운송 지연 시간 분포의 변화가 클 경우에도 전송 시간을 제어하여 수신측 패킷의 도착 시간 분포를 일정범위로 유지하여 버퍼 크기를 최소화한다.

셋째, 통신망이 혼잡 상태에 이르러 늦게 도착하거나 손실되는 패킷이 늘어나면 버퍼 내에 데이터가 고갈(underflow)되거나 넘치게(overflow) 되어 상위계층으로의 연속적인 전달이 어렵다. 이 문제를 해결하기 위하여 송신측이 일부 데이터의 전송을 포기하고 전송률을 낮추어 서비스 품질이 다소 저하되더라도 연속성을 유지하는데 중점을 둔다.

2.1 운송 지연 추정

전송 시간 제어에 필요한 제어 시간을 결정하기 위해서 수신측에서 패킷의 도착 시각과 송신 시각으로부터 종단간 운송 지연 시간을 계산한다. 이를 위하여 송신 패킷의 헤드 부분에는 송신 시각이 기록된 후 송신이 이루어진다.

송신측과 수신측에서 시각을 표시하는 방법에는 수신간에 클럭 동기화 프로토콜을 사용하여 동일한 시각을 유지하는 공통 클럭(global clock) 환경과 그렇지 않은 일반적인 환경이 있다. 공통 클럭 환경에서 송수신간의 운송 지연 시간은 수신측 도착 시각에서 송신측 송신 시각을 뺀 값이다. 비공통 클럭 환경에서는 송신측과 수신측 호스트의 시각이 서로 일치하지 않으므로 도착 시각에서 송신 시각을 뺀 값이 운송 지연 시간을 나타내지 않으며, 실제 운송 지연 시간은 알 수가 없다. 도착 시각이 송신 시각보다 더 작은 값을 가질 수도 있으므로 송신 시각과 도착 시각 차의 절대값을 취하며, 이 값은 운송 지연 시간의 변화를 감지하는 기준 시간으로 사용한다. 여기서 두

호스트 간에 클럭 불일치로 인하여 발생하는 스큐는 없는 것으로 가정한다. 실제로 스큐의 영향은 클럭의 차가 오랜 기간에 누적되어 나타나므로 세션의 유지 기간이 상대적으로 짧은 경우에는 무시할 수 있다.

다음의 운송 지연 시간 추정에서 공통 클럭 환경을 가정하고 설명하겠으나, 송신측에서 보내어진 패킷이 수신측에 도착할 때까지의 운송 지연 시간을 사용하지 않고, 그 변화값을 사용하므로 비공통클럭 환경에서도 적용이 가능하다.

순시 운송 지연 시간은 일시적으로 평균 운송 지연 시간을 벗어나는 큰 변화를 겪을 경우에 오류가 커서 운송 지연 시간 추정치로 부적합하므로 여러 패킷의 운송 지연 시간을 평균 또는 완화(smoothed)시켜 통신망 부하의 변화에 의한 운송 지연 시간으로 반영한다. 운송 지연 시간 추정 방법으로는 기하학적 추정(Geometric Estimation) 방법과 윈도우 추정(Window Estimation) 방법으로 크게 구별된다. 두 방법은 사용 변수의 값이나 통신망의 운송 지연 특성 혹은 응용에 따라 추정 성능이 달라지나 대체로 큰 차이를 보이지 않는다. 본 논문에서는 기하학적 추정 방법을 사용하기로 한다. 기하학적 추정 방법은 새로운 측정치와 이전의 측정치들의 평균값과 편차를 근거로 향후의 운송 지연 시간 분포를 추정하는 방법으로 식 (1), (2)와 같이 구한다.

$$\delta' = \delta - (\delta - \delta')/\beta \quad (1)$$

$$\sigma_{\delta'} = \sigma_{\delta} + (|\delta - \delta'| - \sigma_{\delta}')/\beta \quad (2)$$

δ' : 통신망 운송 지연 시간 추정치

δ : 통신망 운송 지연 시간 측정치

$\sigma_{\delta'}$: 통신망 운송 지연 시간 변이 추정치

β : 상수

β 는 1 이상의 값을 가지며, 평균 운송 지연 시간이 변화에 적응하는 빠르기를 조절하는 상수로 계산을 간단히 하기 위해 2의 배수 값으로 한다. 가장 적절한 β 값의 결정이나 β 값을 동적으로 변화시키는 연구 결과들[3],[4]이 나와 있으며 여기서는 간단히 상수로 취급한다. 운송 지연 시간의 초기 값은 첫 패킷으로부터 측정된 값으로 하고, 운송 지연 시간 변이의 초기 값은 0으로 한다.

2.2 수신측 동작

송신측으로부터 패킷이 송신되면 수신측에서 위의 방법으로 통신망 운송 지연 시간 추정치를 계산하여 다음과 같은 조치를 취한다. 송신측은 수신측으로부터 받은 통신망 운송 지연 시간 변이를 사용하여 다음 패킷의 송신 시각을 조절한다. 이 때 정상적인 송신 예정 시각에 변화를 주는

값을 제어 시간이라고 하며, 식 (3)처럼 결정한다.

$$t_d = \alpha * |\sigma_{\delta}'| \quad (3)$$

α 는 상수이며, n패킷과 (n-1)패킷간 운송 지연 시간 차 혹은 지터 ($\delta_n - \delta_{n-1}$)와 지터 변이 추정치 σ_{δ}' 의 값은 통신망의 부하 상태를 반영하는 운송 지연 시간의 변화량이며 이 값의 크기에 따라 몇 가지 조치를 취하게 된다.

$$\textcircled{1} \quad |\delta_n - \delta_{n-1}| < \delta_b/2$$

δ_b 는 수신 버퍼에 의해서 첫째 패킷을 수신한 후 전달을 시작하기까지의 지연 시간이다. 수신 버퍼에 의해서 지터가 흡수되어 정상적인 전달이 가능하다.

$$\textcircled{2} \quad \delta_b/2 < \sigma_{\delta}' < T_n$$

T_n 은 패킷의 시간 간격을 나타낸다. 지터 변이 추정치가 수신 버퍼 지연 시간보다 커지면 버퍼 범람이나 버퍼 고갈이 발생한다. 수신 버퍼의 고갈이나 범람을 해결하기 위하여 송신측의 전송률 제어가 필요하다.

$$\textcircled{3} \quad \sigma_{\delta}' \geq T_n$$

지터 변이 추정치가 패킷 간격보다 더 커지면 버퍼 범람이나 버퍼 고갈이 지속적으로 유지되어 수신측 단독으로는 문제를 해결할 수 없다. 본 동기화 방안에서는 송신측이 보내는 패킷의 평균 전송률이 미디어의 최대 서비스 품질을 표현하는데 필요한 전송률을 초과하지 않도록 한다. 따라서 수신 버퍼의 범람이 계속되는 경우는 고려하지 않는다.

수신 버퍼 고갈이 계속되면 더 이상 최대 품질의 전달이 불가능하다. 따라서 서비스 품질보다 실시간 전달을 우선하여 서비스 품질을 낮추어 전송하는 것이 필요하다. 실시간 전달과 서비스 품질 중 어디에 중점을 두느냐 하는 것은 응용에 따라 사용자가 결정하도록 하는 것이 가능하다. 서비스 품질에 중점을 둔다면 만족할만한 서비스 품질이 제공되지 않을 경우 연결을 종료하고 서비스를 중단한다. 그렇지 않고 실시간 전달에 중점을 두고 서비스 품질의 저하를 허용하기 위해서는 최소 허용 서비스 품질 변수를 지정하고 최대 서비스 품질로부터 단계적으로 품질을 저하시키는 서비스 단계를 정의한다.

위의 첫째 경우에 수신측이 자체적으로 버퍼링만으로 처리가 가능하므로 송신측으로 별도의 응답을 보낼 필요가 없다. 둘째 및 셋째 경우에는 운송 지연 추정치를 송신측에 보내어 송신측에서 전송률을 제어하도록 한다

2.3 전송 제어

송신측은 수신측으로부터 통신망 운송 지연 시간 변화 정보를 받아 제어 시간을 결정하여 전송 제어에 사용한다. 전송 제어는 패킷의 전송 시각을 통신망 부하의 변화에 따라 일시적으로 앞당기거나 늦추어 주는 것이다. 목표 전달 시간은 미디어 자체 특성이나 응용에 따라 절대 시간 혹은 상대 시간으로 표현할 수 있으며 응용 계층에서 서로 변환이 가능하므로, 여기서는 패킷간 간격으로 표현된 것으로 고려한다. 등시성 데이터는 이 시간 간격이 일정하며, 시간 간격이 가변적인 데이터도 가능하다.

패킷 1,2,...n 의 목표 전송 시각을 각각 T_1, T_2, \dots, T_n , 패킷간 시간 간격을 $\Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n$ 이라고 할 때, 패킷의 목표 전송 시각을 시간 간격으로 표시하면 식(4)가 된다.

$$T_n = T_{n-1} + \Delta_n (n=2,3,\dots) \quad (4)$$

만일 패킷간 간격이 일정한 등시성 데이터라면 위 식은 다음과 같이 나타난다.

$$T_n = T_1 + (n-1) * \Delta (n=2,3,\dots) \quad (5)$$

통신망 운송 지연 시간을 반영하여 조정된 전송 시각은 다음과 같이 된다.

$$t_n = t_{n-1} + \Delta_n - t_c \quad (t_1 = T_1, n=2,3,\dots) \quad (6)$$

통신망의 부하 상태에 따라 다음과 같이 나누어 설명한다.

① 안정 상태

일시적으로 지터가 발생하더라도 운송 지연 변이 추정치에 거의 영향을 끼치지 않으므로 제어 시간에 거의 반영되지 않아($t_c \approx 0$) 목표 전송 시각에 따라 정상적인 전송이 이루어진다.

② 전송 시각 앞당김

통신망의 부하가 증가하여 수신측에 도착하는 패킷의 운송 지연 시간이 길어지면 운송 지연 변이 추정치가 증가하게 되고 따라서 제어 시간이 증가한다. 제어 시간이 증가한다는 것은 수신측에 늦게 도착하는 패킷들로 인하여 버퍼 고갈이 발생하지 않도록 전송 시각을 조금 앞당기는 것을 의미한다. 이는 일부 패킷의 전송 시각을 예정 시각보다 앞당기는 것으로 통신망의 부하가 증가 혹은 감소하여 안정 상태가 되면 운송 지연 변이가 줄어들므로 다시 전송 시각도 정상 상태로 돌아간다. 따라서 일시적으로 전송률이 증가하게 되지만 평균 전송률이 크게 증가하는 것은 아니며 전송되는 패킷의 수가 증가하면 평균 전송률에 접근하게 된다.

③ 통신망 부하의 변화가 심한 경우

통신망 부하의 변화가 심해지면 운송 지연 변이가 지속적으로 커지게 되고 버퍼 범람이나 버퍼 고갈이 발생한다. 운송 지연 시간의 지속적인 증가는 통신망의 과부하로 인하여 많은 패킷

이 늦게 도착하거나 손실되는 상태이다. 따라서 수신측에서 송신측으로 전송률을 낮추어 줄 것을 요청하여야 한다.

본 논문에서는 운송 지연 시간의 과도한 증가로 만족할 만한 전달이 곤란할 경우 송신측에서 서비스 품질을 단계별로 낮추어 전송한다. 이렇게 서비스 품질을 변경하는 것을 미디어 서비스 품질 조정(Media Scaling)이라고 하며, 품질을 낮추는 것을 서비스 품질 저하(scale-down), 다시 낮추어진 품질을 높여 원래의 품질로 복귀하는 것을 서비스 품질 상승(scale-up)이라고 한다[7]. 미디어의 서비스 품질을 낮추는 데는 여러 방법이 있으나, 본 논문에서는 전송률을 조절하되 실시간 품질에 지장이 있는 경우에는 데이터의 일부를 삭제한다. 예를 들면, 비디오 데이터의 서비스 품질을 낮추기 위하여 프레임 전송률을 줄이면 동영상의 재생 속도가 느려져 느린 동작으로 나타난다. 그러므로, 프레임의 일부를 삭제하여 재생 프레임의 수를 줄이면 재생률이 줄어들어 깜박임이 보이거나 화면의 움직임이 자연스럽지 않더라도 실시간 재생이 가능하다 [8].

수신측은 서비스품질 조절을 위한 별도의 변수나 메시지는 필요 없이 운송 지연 변이 추정치 정보만을 송신측으로 보낸다. 만일 통신망 혼잡이 발생하여 운송 지연 변이 추정치가 지속적으로 증가하여 패킷 간격보다 더 커진다면 위 식(5)의 제어 시간 산출에서 $t_n \leq t_{n-1}$ 가 된다. 이는 n 패킷의 전송 시각이 $(n-1)$ 패킷보다 더 빨라야한다는 의미로 이미 $n-1$ 패킷을 전송한 이후이므로 불가능하다. 이 때, 송신측은 통신망 혼잡상태로 간주하고 n 패킷의 전송을 포기하고 삭제함으로써 서비스품질 저하를 실시한다. 즉 n 패킷은 빈 상태로 헤드 정보만이 전송되며, 다음의 $n+1$ 패킷은 송신 간격이 $(\Delta_n + \Delta_{n+1})$ 로 늦추어진 결과가 된다.

3. 결론

이 논문에서는 비결정적인 운송 지연 특성을 갖는 일반적인 통신망에서 비동기 문제를 해결하기 위한 동기화 방안을 제안하였다. 본 동기화 방안은 운송 지연 시간 분포를 추정하여 패킷의 전송 시간을 조절함으로써 수신측에 도착 시간을 일정한 범위 내로 유지하고, 버퍼링으로 미소한 지터 현상을 흡수한 후 전달하도록 하였다. 또한 통신망 운송 지연의 증가가 패킷의 간격보다 큰 경우에는 전송을 하더라도 제시간에 수신측에 도착하기 어려우므로 현재 패킷의 전송을 포기하고 다음 패킷을 앞당겨 전송함으로써 서비스 품질 저하를 수행한다. 시뮬레이션[9]을 통하여 운송 지연 시간 추정의 정확도에 영향을 미치는 요소를 살펴보고, 운송 지연 시간 추정치를 사용하여 패킷의 전송 시간을 조절한 결과, 통신망의 운송 지연 시간 분포가 변화하더라도 수신 패킷의 도착 시간이 일정한 범위 내로 한정됨을 알 수 있었다. 시뮬레이션 결과와 성능 평가는 별도의 논문으로 발표할 예정이다.

향후 연구 과제로는 통신망의 상태를 최대한 반영하면서 운송 지연 시간 추정에 필요한 측정 횟수를 최소로 하여 측정에 따른 오버헤드를 줄이고, 수신 버퍼 크기를 줄이는 방법과, 서비스 품질을 정확하게 감시하고 단계적인 서비스 품질 조절에 관한 연구가 필요하다.

참고 문헌

1. T. Little, A. Ghafoor, "Multimedia Synchronization Protocols for Broadband Integrated Services", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.9, No.9, Dec. 1991.
2. S. Ramanathan, P. Rangan, "Adaptive Feedback Techniques for Synchronized Multimedia Retrieval over Integrated Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol 1, No.2, pp. 246-259, APRIL, 1993.
3. P. Karn, "Improving Round-Trip Time Estimate in Reliable Transport Protocols", ACM SIGCOMM,
4. D. Comer, "Internetworking with TCP/IP vol. 1", Prentice-Hall,1991.
5. K. Rothermel, "An Adaptive Stream Synchronization Protocol", 5th Int. Workshop on Network and OS support for Digital Audio & Video, APR. 1995.
6. J. Gibbon, T. Little, "Real-time Data Delivery for Multimedia Networks", 18th Annual Conference on Local Computer Networks, Minneapolis, MN, Sep. 1993.
7. L. Delgrossi et al, "Media Scaling for Audiovisual Communication with the Heidelberg Transport System", ACM Multimedia'93, 1993.
8. F. Fluckiger, "Understanding Networked Multimedia : applications and technology", 1996, Prentice-hall.
9. M. MacDougall, "Simulating Computer Systems Techniques and Tools", the MIT Press, 1985.