

VBR 비디오의 주기적 브로드캐스팅을 위한 수정 Skyscraper 브로드캐스팅 기법

이재동[†]

요약

Near VoD (Video on Demand) 시스템을 위하여 많은 주기적 브로드캐스팅 방식(Periodic Broadcasting Scheme)들이 제시되었다. 이들 중 non-uniform 세그멘테이션 기법들이 uniform 세그멘테이션 기법보다 초기 지연시간이 짧고 버퍼의 양을 적게 사용하므로 널리 사용된다. 그러나, 이들 방법들은 CBR 방식으로 인코딩된 비디오의 전송을 위하여 제시되었다. CBR 비디오들은 VBR로 인코딩된 비디오 보다 용량이 크다. 따라서 VBR 비디오를 사용하므로써 성능의 향상을 꾀할 수 있다. VBR 비디오를 브로드캐스팅하는 기존의 연구가 있으나 이들은 화질의 손실을 가져온다.

본 논문에서는 기존의 CBR 비디오를 브로드캐스팅하기 위한 대표적인 non-uniform 세그멘테이션 기법인 Skyscraper 브로드캐스팅 방식을 수정하여 VBR 비디오를 브로드캐스팅할 수 있도록 하였다. VBR 비디오는 선반입(prefetch)를 이용하면 CBR 방식으로 전송할 수 있다. 이를 이용한 수정 Skyscraper 브로드캐스팅 방식을 제안하고 성능평가를 하였다. 성능평가 결과, 제시한 방식이 짧은 초기지연시간과 적은 버퍼를 필요로 함을 보였다.

Modified Skyscraper Broadcasting Schemes for Periodic Broadcasting with VBR Video

Jae-Dong Lee[†]

ABSTRACT

Many periodic broadcasting schemes for near VoD systems are proposed. Recently non-uniform segmentation schemes have been used to develop periodic broadcasting techniques for near VoD. These techniques give significant reductions in start-up latency as compared with more conventional uniform segmentation. However, all of these schemes assume that the videos are CBR-encoded. Since a CBR-encoded video has a larger average rate than an VBR encoding, there is potential to obtain further performance improvements by using VBR videos. Unfortunately, however, the studies concerning broadcasting with VBR video are rare and the existing techniques have the problem of virtual loss.

In this paper, we modify Skyscraper Broadcasting Scheme for broadcasting with VBR videos which is a representative non-uniform segmentation scheme for CBR videos. A VBR video can be transmitted at constant bit rate (CBR) by using prefetching. With this idea we propose Modified Skyscraper Broadcasting Schemes for VBR videos and make performance evaluation by simulation. We show that our schemes have a better performance than Skyscraper Broadcasting Scheme for CBR videos.

Key words: CBR, VBR, Skyscraper Broadcasting

접수일 : 2002년 4월 17일, 완료일 : 2002년 6월 20일
이 논문은 2000년도 경남대학교 연구년 연구비 지원에 의한
것임.

[†] 정희원, 경남대학교 공과대학 정보통신공학부 교수

1. 서 론

True VoD (Video on Demand) 시스템[1,2]은 사용자가 원하는 시간에 비디오를 선택하면 즉시 원하는 비디오를 제공하는 시스템이다. 이 시스템에서는 사용자들이 비디오 서버에 저장되어 있는 많은 비디오 파일들 중에서 원하는 비디오를 요구하면 요구된 비디오들은 각각의 사용자들에게 네트워크를 통해 전송된다. 이때, 각 비디오 스트림은 그 사용자에게만 전송되므로 서버와 네트워크의 대역폭은 각 사용자들에게 나누어진다. 사용자의 수가 증가하면 서버와 네트워크의 대역폭이 빨리 고갈된다. 따라서 True VoD 시스템은 비효율적이고 많은 비용이 든다.

효율적인 VoD 시스템을 위하여 서버가 대역폭을 나누어 각 비디오 객체에 할당하고, 각 비디오 파일들을 사용자들에게 브로드캐스트한다. 브로드캐스팅은 많은 사용자가 하나의 비디오 스트림을 공유하도록 하여 네트워크의 대역폭과 서버의 용량을 효율적으로 사용하게 한다[3,4]. 이런 시스템을 Near VoD라고 한다. 이때, 사용자가 선택한 비디오의 상영을 위해 몇 초 또는 몇 분의 지연이 생긴다. 이런 초기지연(start-up latency)는 서버가 같은 비디오에 대한 여러 사용자들의 요구를 모아 하나의 비디오 스트림으로 제공하기 때문에 발생한다[5]. 어떤 Near VoD 시스템에서는 서버가 각 비디오들을 정해진 시간 간격으로 주기적으로 브로드캐스트하고 사용자는 그 비디오를 보기 위해 브로드캐스팅이 시작될 때까지 기다려야 한다. 이런 방식을 주기적 브로드캐스팅 방식(Periodic Broadcasting Schemes)이라 한다. 이 방식의 초기지연시간은 사용자의 수와는 무관하기 때문에 많은 사용자들을 수용할 수 있다. 초기지연시간은 사용하는 주기적 브로드캐스팅 방식과 동시에 브로드캐스트 되는 비디오의 수에 의존한다. 비디오의 수가 작으면 각 비디오의 복사본들을 많이 브로드캐스트할 수 있다. 따라서 초기지연시간도 짧아진다. 보통 VoD 시스템에서 많이 요구하는 비디오들의 수는 10~20 개 정도이다.

가장 간단한 주기적 브로드캐스팅 방식은 각 비디오의 여러 복사본을 정해진 시간 간격(예를 들어, 20분마다)으로 브로드캐스트하는 것이다[5]. 이를 uniform 세그멘테이션 방식이라 한다. 이 기법에서의 최대 초기지연시간은 비디오의 상영시간을 복사본의 수로

나눈 값이다. 이 지연시간은 상당히 큰 값이 된다. 예를 들어, 각 비디오의 상영시간이 2시간이고, 초당 필요한 비트수가 2Mbit인 10개의 비디오를 100Mbps 채널로 브로드캐스트 한다고 하자, 이때, 각 비디오에 할당되는 채널의 크기는 10Mbps이므로 한 비디오당 5개의 복사본을 브로드캐스트할 수 있다. 따라서 최대 초기지연시간은 24분이 된다. 초기지연시간을 줄이기 위하여 비디오의 앞쪽 부분을 뒤쪽부분보다 더 자주 브로드캐스트하는 기법을 제시하였다[1,2,6,7]. 이를 non-uniform 세그멘테이션 기법이라 한다. 이 기법으로 Pyramid[2], Permutation-Based Pyramid[1], Skyscraper[6], Dynamic Skyscraper[7] 브로드캐스팅 방식 등이 있다.

기존의 Near VoD 시스템에서의 주기적 브로드캐스팅 기법들은 CBR 비디오에 적용하기 위한 것이다. 요즘은 MPEG 등의 압축 기술이 발전하여 CBR 비디오 보다 용량이 2배 이상 작은 VBR 비디오가 널리 사용되고 있다. VBR 비디오는 비디오 상영시 초당 필요한 비트 수의 변화가 심하여 기존 주기적 브로드캐스팅 기법에 적용할 수 없다. VBR 비디오의 주기적 브로드캐스팅 기법에 대한 연구가 있으나 이 방식은 화질의 손실을 가져온다[8].

본 논문에서는 CBR 비디오에 적용한 대표적인 주기적 브로드캐스팅 기법인 Skyscraper 브로드캐스팅(Skyscraper Broadcasting:SB) 기법을 VBR 비디오에 적용하는 방법을 제시하였다. VBR 비디오는 약간의 선반입(prefetch)을 사용하므로써 CBR 방식으로 전송할 수 있다[9]. 이를 이용하여 VBR 비디오를 브로드캐스팅하기 위한 SB 방식을 수정하였다. 한 영화에 대하여 VBR 비디오와 CBR 비디오의 초당 상영을 위한 비트수의 비를 1:1.8로 하여 초기지연시간과 필요한 버퍼량을 비교분석하였다. 분석 결과, VBR 비디오를 수정 SB 방식을 사용하였을 때의 성능이 CBR 비디오를 기존 SB 방식을 사용하였을 때보다 좋음을 보였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장과 3장에서는 관련 연구인 Skyscraper 브로드캐스팅 기법과 VBR 비디오의 CBR 전송방법에 대하여 기술하고, 4장에서는 VBR 비디오의 전송을 위한 수정 Skyscraper 브로드캐스팅 기법을 소개하고, 5장에서 그 성능평가 결과를 보여준다. 6장에서는 결론과 향후 연구과제를 제시한다.

2. Skyscraper 브로드캐스팅 방식

SB (Skyscraper 브로드캐스팅) 방식[6]은 CBR 비디오를 Non-uniform하게 주기적으로 브로드캐스팅하는 대표적인 방법이다.

2.1 채널 설계

VoD 서버의 대역폭을 B bits/sec 라고 하고, M 개의 CBR 비디오를 채널에 할당한다고 할 때, 각 비디오를 위해 할당되는 대역폭은 $\frac{B}{M}$ bits/sec 이다. 각 비디오의 상영률(playback rate:1초에 상영을 위해 필요한 데이터의 양)을 b bits/sec 이라 가정하자. SB 방식은 각 비디오를 크기가 다른 K 개의 세그먼트로 나누어 각 세그먼트에 b bits/sec의 대역폭을 할당하여 브로드캐스팅한다. 각 세그먼트의 크기는 뒷부분으로 갈수록 커진다. 이 때, K 는 $\frac{B}{M*b}$ 이다.

2.2 비디오의 세그먼트화

비디오 파일을 K 개의 세그먼트로 나누기 위해 다음 함수를 이용한 브로드캐스트 시리즈(broadcast series)를 구한다.

$$f(n) = \begin{cases} 1 & n = 1 \\ 2 & n = 2, 3 \\ 2f(n-1)+1 & n \bmod 4 = 0, \\ f(n-1) & n \bmod 4 = 1, \\ 2f(n-1)+2 & n \bmod 4 = 2, \\ f(n-1) & n \bmod 4 = 3 \end{cases}$$

이것을 구체화 시키면 다음과 같은 시리즈를 구할 수 있다.

$$[1, 2, 2, 5, 5, 12, 12, 25, 25, 52, 52, \dots]$$

이 브로드캐스트 시리즈에 따라 각 비디오 데이터를 세그먼트화하여 브로드캐스트한다. 이때, 시리즈의 첫 번째 세그먼트의 크기를 D_1 이라는 하나의 단위로 정한다. 두 번째 세그먼트의 크기는 $2 \cdot D_1$ 이라고 하고, 세 번째 세그먼트의 크기 또한 $2 \cdot D_1$ 이 된다. 네 번째와 다섯 번째의 세그먼트는 $5 \cdot D_1$ 이 되며, 이러한 방법으로 전체 데이터의 세그먼트들을 구할 수 있다. 이렇게 일정하게 크기가 커지는 데이터의 세그먼트에 제한이 없다면 데이터의 끝에 가서는 엄청난 버퍼의 크기와 상당히 긴 시작 지연을 초래할 것이다. 그래서 SB 방식에서는 세그먼트의 크기가

너무 커지는 것을 막기 위해서, 최대 세그먼트의 크기를 W 로 제한한다. W 는 첫 번째 세그먼트의 크기보다 W 배 크다.

브로드캐스트될 비디오의 수에 의해서 K 가 결정된다. 각 비디오의 상영시간을 D 초라고 두면 D_1 은 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$D_1 = \frac{D}{\sum_{i=1}^K \min(f(i), W)} \text{ sec}$$

이때, 초기지연시간(start-up latency)은 D_1 이 된다.

2.3 세그먼트의 송수신

서버는 $K \cdot M$ 개의 논리적 채널(logical channel)들을 사용하여 송신한다. $K \cdot M$ 개의 데이터 세그먼트들은 각 채널에 할당되어 반복적으로 브로드캐스트된다. 클라이언트에서 데이터의 수신은 전송 그룹(Transmission group)을 통하여 이루어진다. 첫 번째 세그먼트의 형식에서 1이 첫 번째 전송그룹이 되고, 두 번째와 세 번째 전송그룹은 (2, 2)이 되며, 네 번째와 다섯 번째의 전송그룹은 (5, 5)가, 이런 방법으로 전송 그룹을 정했다.

하나의 전송 그룹이 (A, A, ..., A)이고, A가 홀수이면 홀수그룹(odd group), 짝수이면 짝수그룹(even group) 이라고 한다. 이 데이터의 수신과 재생을 위하여 클라이언트에서는 세 개의 서비스 루틴을 사용한다. 세 개의 서비스 루틴은 홀수로더(Odd Loader), 짝수로더(Even Loader), 비디오재생기이며, 홀수로더와 짝수로더가 데이터를 다운로드 하여 버퍼에 채우고, 비디오재생기가 이를 재생한다.

2.4 분석

비디오의 세그먼트들은 전송그룹의 형태로 클라이언트에서 수신되어지는데, SB에서는 다음과 같이 세 가지 그룹전송으로 나눌 수 있다.

타입 I : (1) \Rightarrow (2, 2) : 이 전송은 비디오 재생을 시작할 때의 형태이다.

타입 II : (A, A) \Rightarrow (2A+1, 2A+1) : A가 짝수일 때의 전송 형태로서, 예로 (2, 2) \Rightarrow (5, 5), (12, 12) \Rightarrow (25, 25)가 있다.

타입 III : (A, A) \Rightarrow (2A+2, 2A+2) : A가 홀수일

때의 전송 형태로서, 예로 (5, 5) ⇒ (12, 12), (25, 25) ⇒ (52, 52)가 있다.

2.4.1 타입I

타입I은 2가지 경우로 나눌 수 있다. 비디오 재생 시작 시간 T 가 홀수(그림1)일 때와 짝수(그림2)인 경우이다. 먼저 T 가 홀수이면 최초 세그먼트1의 데이터가 재생이 되고, 재생이 끝나면 세그먼트2의 데이터가 연이어서 재생이 된다. 세그먼트2의 재생이 끝나면 연이어서 세그먼트3의 재생이 이루어진다. 이 같은 경우에 클라이언트 측에서는 데이터가 들어오는 순서대로 비디오를 재생시킬 수 있다. 그러므로 이 경우에는 데이터를 따로 저장시켜야 할 이유가 없으므로 버퍼가 필요가 없게 된다.

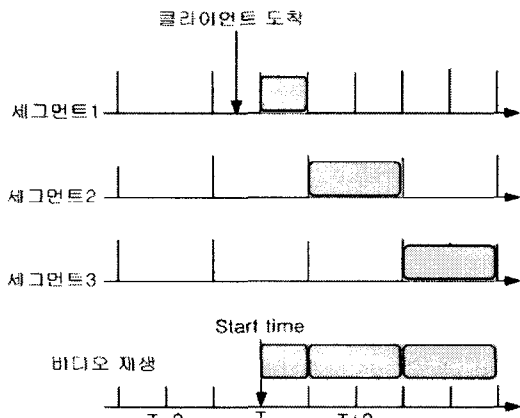


그림 1. T가 홀수

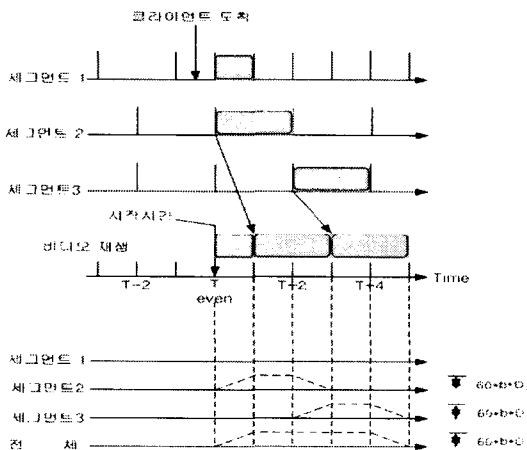


그림 2. T가 짝수

T 가 짝수(그림2)인 경우, T 시간에 세그먼트1의 그룹이 재생을 시작함과 동시에 세그먼트2의 그룹은 버퍼링된다.

$T+2$ 시간에 세그먼트2의 그룹 뒷부분이 버퍼링될 때에 같은 그룹의 앞부분이 재생된다. $T+3$ 시간에 세그먼트3 그룹의 앞 부분이 버퍼링될 동안에 같은 방법으로 세그먼트2의 그룹 뒷부분이 재생된다. 이 방법은 매 시간마다 데이터를 D_1 초만큼 버퍼링하므로 버퍼의 요구량은 $b \cdot D_1$ bit가 된다.

2.4.2 타입II

타입II의 경우는 (A, A) ⇒ (2A+1, 2A+1)인 경우로 (2, 2) ⇒ (5, 5)인 경우나 (12, 12) ⇒ (25, 25) 같은 경우이다. 이 경우에 여섯 가지의 다른 경우를 다음의 그림과 같이 나타낼 수 있다. 여섯 가지 다른 경우의 그림 중에서 여섯 번째의 경우는 버퍼가 필요 없는 경우이다. 나머지 ①~⑤의 경우, 비디오 재생기는 짝수로되거나 버퍼로부터 우선적으로 데이터를 요구한다.

첫 번째 경우는 그림 3처럼 A의 재생이 끝나면 B를 곧바로 재생하는데, A와 B의 재생 동안 C 부분은 버퍼링되었다가 B의 재생이 끝남과 동시에 재생이 된다. 이 경우에는 C 크기만큼의 버퍼가 필요하다.

두 번째 경우는 그림 4처럼 A 부분의 버퍼링이

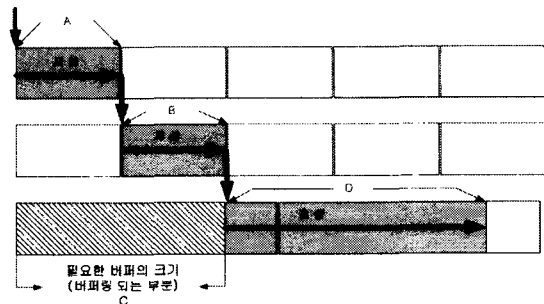


그림 3. 타입II 첫 번째 경우

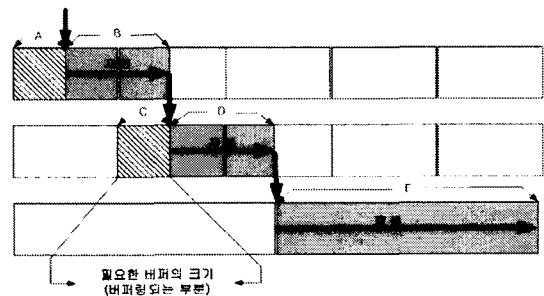


그림 4. 타입II 두 번째 경우

끝남과 동시에 B 크기만큼 재생이 시작되고, B가 1/2만큼 재생되고, 나머지 부분이 재생될 때에 C 부분이 동시에 버퍼링된다. B가 완전히 재생이 끝나면 D 크기만큼이 곧바로 재생이 된다. 이어서 E가 재생된다. 여기서 필요한 버퍼의 크기는 C 크기만큼 필요하다.

세 번째 경우는 그림 5처럼 A 부분이 재생되고, A 부분의 재생에 이어 B 부분이 재생된다. B 부분의 1/2만큼 재생하고 남은 1/2의 재생이 시작될 때에 C 부분을 동시에 버퍼링하기 시작한다. B의 재생이 끝나면 D 부분이 연이어서 재생된다.

네 번째 경우는 그림 6처럼 A 부분이 버퍼링되었다가 B 만큼 재생시킨다. B를 1/2만큼 재생시키고 나머지 부분을 재생시킬 때, C가 동시에 버퍼링되고, B의 재생이 끝남과 동시에 D를 재생시키면서 E를 버퍼링시킨다.

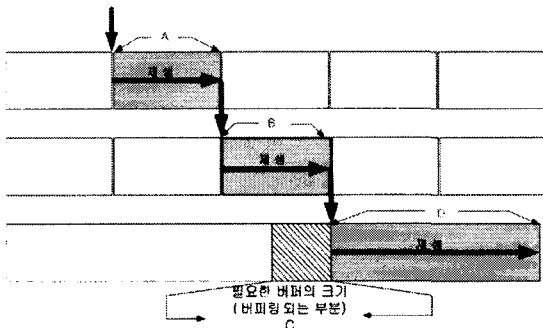


그림 5. 타입III 세 번째 경우

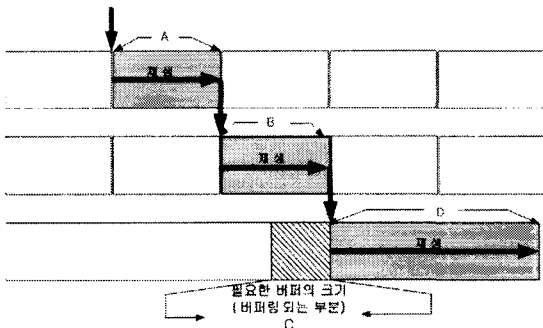


그림 6. 타입III 네 번째 경우

다섯 번째 경우는 A가 1/2만큼 재생되고 나머지 1/2 부분이 재생될 동안과 연이어서 B가 재생될 동안 C 부분은 버퍼링되었다가 B의 재생이 끝남과 동시에 D로 재생된다.

여섯 번째 경우는 그림 8처럼 A를 재생시키고 이어서 B를 재생시키므로 버퍼가 필요 없는 경우이다.

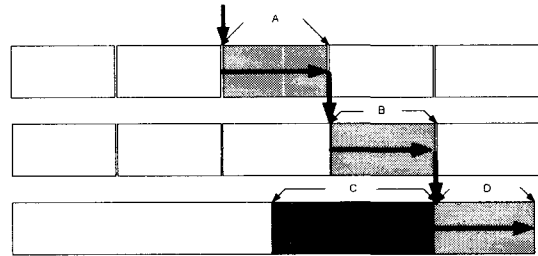


그림 7. 타입III 다섯 번째 경우

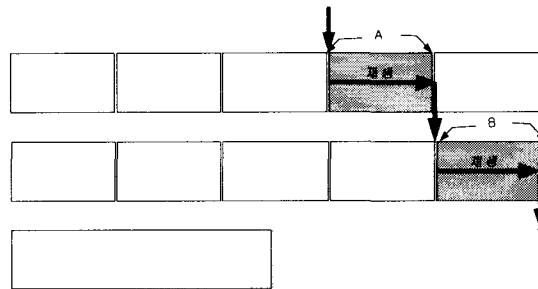


그림 8. 타입III 여섯 번째 경우

2.4.3 타입III

타입III의 경우는 $(A, A) \Rightarrow (2A+2, 2A+2)$ 인 경우로, $(5, 5) \Rightarrow (12, 12)$ 와 $(25, 25) \Rightarrow (52, 52)$ 가 해당되며, (A, A) 의 A가 홀수이므로 그룹 (A, A) 의 브로드캐스팅은 홀수 시간이나 짝수 시간 어느 쪽에서든지 시작할 수 있다. 타입III도 두 가지 경우(그림 9, 그림 10)로 나눌 수 있다.

첫 번째 경우는 그림 9처럼 A와 B가 이어서 재생이 될 동안에, 마지막 세그먼트의 C 부분이 버퍼링되었다가, B의 재생이 끝나면 이어서 D 부분만큼 재생이 된다.

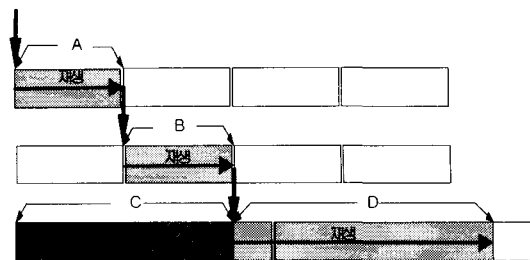


그림 9. 타입III 첫 번째 경우

두 번째 경우는 그림 10처럼 A를 버퍼링한 후에 B를 재생시키며, B 부분이 1/2 만큼 재생하고, 나머지 1/2를 재생할 동안에 C를 버퍼링한다. B의 재생이 끝나면 D를 이어서 재생시키고, D의 재생이 끝남과 동시에 E를 재생시킨다.

Type-I에서부터 Type-III까지의 그룹 전송 방법을 이용하여, SB 방식은 데이터를 끊어짐 없이 재생 시킴을 알 수 있다. SB 방식의 그룹 전송 방법을 살펴 보았는데, 이 그룹 전송을 살펴보면 버퍼가 하나만 있으면 됨을 알 수 있다. 두 개의 세그먼트에서 두 데이터가 동시에 버퍼링 되어야 하는 경우는 없다. 이러한 방법으로 마지막 그룹 전송까지 하면 SB 방식의 버퍼량은 최악의 경우에 마지막 세그먼트 W(최대 세그먼트의 크기를 W로 제한하였다)에서 1을 뺀 만큼의 양이 필요하다. 즉 $b * D_1 * (W-1)$ 이 된다.

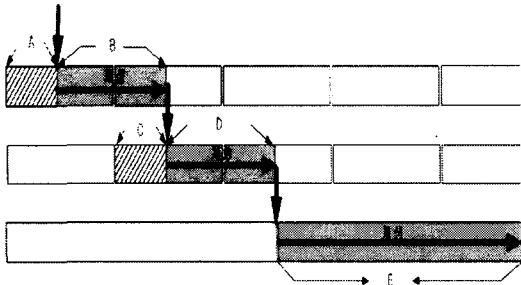


그림 10. 타입III 두 번째 경우

3. VBR 비디오의 CBR 전송[5]

그림 11처럼 매 초마다(또는 매 프레임마다) 재생을 위해 필요한 데이터의 양이 다른 VBR 비디오를 t 초 동안의 선반입을 사용하여 고정된 비율 $r(t)$ 로 전송할 수 있다[5].

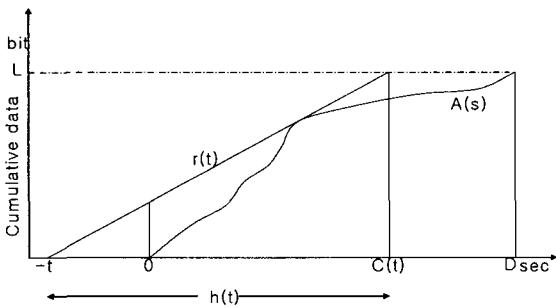


그림 11. VBR 비디오의 CBR 전송

VBR 비디오의 상영시간이 D 초이고, i 번째 초 동안에 재생에 필요한 데이터의 양을 l_i 라 두면, 전체 비디오 데이터의 양 $L = \sum_{i=1}^D l_i$ 이다. $s(s>0)$ 초 동안 연속적인 상영을 위해 필요한 누적 데이터양(cumulative data) $A(s) = \sum_{i=1}^s l_i$ 이다. t 초의 선반입을 사용하여 고정된 비율 $r(t)$ 로 전송할 때 채널 점유 시간 $h(t) = \frac{L}{r(t)}$ 로 구할 수 있고, 전송이 완료되는 시간 $C(t) = \frac{L}{r(t)} - t$ 로 구할 수 있다. 선반입 시간을 t 로 했을 때, 임의의 s 시간에서의 클라이언트 버퍼의 양 $B_s(t)$ 는 아래와 같다.

$$B_s(t) = \begin{cases} r(t)(s+t) & -t \leq s \leq 0 \\ r(t)(s+t) - A(s) & 0 \leq s \leq C(t) \\ L - A(s) & C(t) \leq s \leq D \end{cases}$$

또한, CBR 방식의 최소의 전송률 $r(t)$ 는 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$r(t) = \max_{0 \leq s \leq D} \frac{A(s)}{t+s}$$

여기서, CBR 방식의 전송률이란 매 초마다 같은 양의 데이터를 전송한다고 가정했을 때의 전송률을 나타낸다. 전송률 $r(t)$ 가 주어졌을 때 클라이언트가 필요로 하는 최소의 버퍼량은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$B(t) = \max_{-t \leq s \leq D} B_s(t)$$

위의 식들을 이용하여 주어진 비디오에 대하여 클라이언트가 필요로 하는 버퍼의 양을 최소로 하는 CBR 방식의 전송률 r , 선반입 시간 t , 그리고 클라이언트가 필요로 하는 버퍼량 B_{max} 을 구할 수 있다. 이는 클라이언트에서 비디오의 상영시작 t 초 전에 r bit/sec의 전송률로 전송하면 전체 비디오를 최소의 버퍼(B_{max})를 사용하여 끊어짐이 없이 상영할 수 있음을 나타낸다.

4. 수정 Skyscraper 브로드캐스팅 기법

본 장에서는 3장에서 설명한 방법을 사용하여 VBR 비디오를 CBR 전송하기 위한 선반입양과 전송율을 구한다. 이 선반입양과 전송율을 사용하여 SB

방식으로 브로드캐스팅하기 위한 방법을 제시한다.

4.1 VBR 비디오의 CBR 전송

주어진 VBR 비디오의 특성은 표1과 같다. 이 비디오를 최소의 클라이언트 버퍼(B_{min})를 사용하여 CBR 전송할 때의 선반입양 $t(sec)$ 와 CBR 전송률 r 은 3장의 방법을 사용하여 그림 12의 알고리즘으로 구할 수 있다.

4.2 수정 Skyscraper 브로드캐스팅 기법

VOD 서버의 대역폭을 B bits/sec 라고 하고, M 개의 VBR 비디오를 채널에 할당한다고 할 때, 각 비디오를 위해 할당되는 대역폭은 $\frac{B}{M}$ bits/sec 이다. 4.1절에서 구한 선반입 시간 t 와 전송률 r 을 기존 SB 방식과 유사한 방법으로 브로드캐스팅할 수 있다. 즉, t 초 동안의 선반입을 한 후, 나머지 비디오 데이터

표 1. VBR 비디오의 특징

D	비디오의 길이(sec)
l_i	i 초에 필요한 비트수($i=1, 2, \dots, D$)
L	전체 비디오의 양 $L = \sum_{i=1}^D l_i$
$A(s)$	s 초동안 연속적인 상영을 위해 필요한 누적 데이터 양, $A(s) = \sum_{i=1}^s l_i$

```

for i=1, 2, ..., D do
     $r(i) = \max_{0 \leq s \leq D} \frac{A(s)}{i+s}$ 
for i=1, 2, ..., D do
    begin
         $C(i) = \frac{L}{r(i)} - i$ 
        for s=0, 1, ..., D do
             $B_s(i) = \begin{cases} r(i)(s+i) - A(s) & 0 \leq s \leq C(i) \\ L - A(s) & C(i) < s \leq D \end{cases}$ 
        end
        for i=1, 2, ..., D do
             $B(i) = \max_{0 \leq s \leq D} B_s(i)$ 
         $B_{min} = \min_{0 \leq i \leq D} B(i)$ 
         $B_{min} = B(i)$  일 때  $t=i, r=r(i)$ 
    
```

그림 12. VBR 비디오의 CBR 전송

들을 상영률 r 인 CBR 비디오로 간주하여 브로드캐스팅하면 비디오의 끊어짐이 없이 상영될 수 있다.

4.2.1 기본방식

수정 Skyscraper 브로드캐스팅 기법(수정 SB기법)의 기본 방식은 그림 13처럼 나타낼 수 있다. SB 기법과는 다르게 선반입을 위하여 하나의 채널이 할당되고 나머지 데이터들을 SB기법처럼 K 개의 세그먼트로 나누어진다. 따라서 전체 세그먼트의 개수는 $K+1$ 개 이고 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$K+1 = \frac{B}{M*r}$$

D_1 는 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$D_1 = \frac{D-t}{\sum_{i=1}^K \min(f(i), W)} \text{ sec}$$

브로드캐스팅 방식은 다음과 같다. 요구가 일어난다면 그 시점에서부터 t 초 동안 선반입한다. 선반입을 위해서는 데이터의 순서가 상관없기 때문에 요구 시점에서 바로 데이터를 다운 받을 수 있다. t 초 동안의 선반입 후 D_1 의 시작점까지 기다렸다가 D_1 의 시작점에서 기존 SB 방식과 같은 방식으로 데이터를 다운 받으며 비디오를 상영할 수 있다.

이때의 초기지연 시간은 t 초 동안의 선반입 시간과 선반입 후 D_1 의 시작 시점까지 기다리는 시간이 최대 D_1 이므로 $t+D_1$ 이다. 필요한 버퍼량은 VBR 비디오의 CBR 전송을 위해 필요한 최대 버퍼량 B_{min} 과 기존 SB방식을 위해 필요한 $r * D_1 * (W-1)$ 이다. 따라서 $B_{min} + r * D_1 * (W-1)$ 이다.

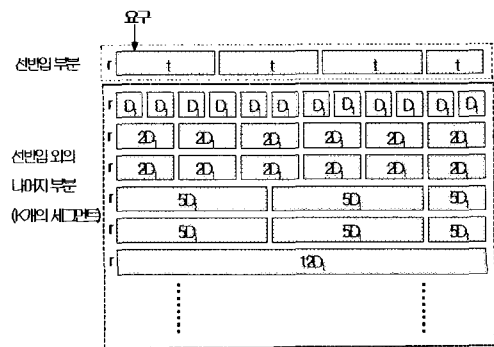


그림 13. 수정SB의 기본방식

4.2.2 수정 SB 방식1

일반적으로 t 가 큰 값으므로, 초기지연시간은 길어진다. 초기지연시간을 줄이기 위해 선반입 시간 t 를 줄이는 방법을 제안한다. VBR 비디오 데이터의 양은 CBR 비디오 데이터의 약 $\frac{1}{2}$ 이므로, VBR 비디오의 CBR 전송률 r 과 CBR 비디오의 상영율 b 는 약 1:2 정도이다(시뮬레이션 결과에 따르면 $r \approx 374\text{Kbit/sec}$, $b \approx 673\text{ Kbit/sec}$).

따라서, VBR 비디오 전송을 위한 수정SB 방식을 사용할 때의 K (세그먼트의 수)가 CBR 비디오 전송을 위한 SB방식의 K 보다 거의 2배가 된다. 이점을 이용하여 초기지연시간을 줄이기 위해 선반입을 위한 부분에 더 큰 대역폭을 할당하므로써 선반입을 위한 시간을 줄여 초기지연시간을 줄일 수 있다.

선반입에 할당하는 대역폭을 $P\text{ bit/sec}$ 이라 할 때, 세그먼트 개수 K 는 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$K = \frac{(\frac{B}{M} - P)}{r}$$

선반입을 위한 시간 T 는 아래와 같다.

$$T = \frac{r \cdot t}{P}$$

이 때 초기지연시간은 $T + D_1$ 이며, T 와 D_1 는 P 에 따라 달라진다.

모든 P 에 대해 열거법(enumeration method)으로 $(T + D_1)$ 을 최소로 하는 P 를 설정하였다. 그 결과 $T \approx D_1$ ($T \leq D_1$)인 경우 $T + D_1$ 이 최소가 되었다.

수정 SB 방식1은 그림 14처럼 T 초 동안의 선반입 후 SB 방식으로 브로드캐스팅 한다.

이 때, 초기지연시간은 $T + D_1$ 이고 필요한 버퍼량은 $B_{min} + r * D_1 * (W - 1)$ 이다.

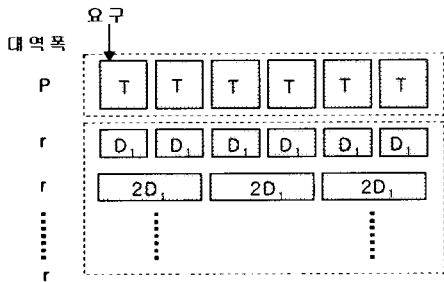


그림 14. 수정 SB 방식1

4.2.3 수정 SB 방식2

초기지연시간을 D_1 으로 줄이기 위해 수정 SB 방식2을 제안한다. 이 방식에서는 선반입 부분과 첫번째 세그먼트를 동시에 다운받으므로써 초기지연 시간을 줄일 수 있다. 먼저 $T = D_1$ 으로 가정하자. 4.2.2에서 제시한 방법처럼 $T \approx D_1$ ($T \leq D_1$)인 T 를 선정하였다. 이때 선반입을 위한 채널의 대역폭의 약간의 낭비를 감수하므로써 $T = D_1$ 으로 만들 수 있다.

그림 15에서 R 시간에 요구가 발생했다고 가정하자. 앞에서 언급했듯이 선반입 부분은 데이터의 순서에 관계없으므로 R 시점에서 선반입을 시작한다. T_1 시점까지 선반입된 후, T_1 시점에서는 남은 부분의 선반입 작업과 동시에 D_1 을 다운받는다. $R + T$ 시점에 오면 선반입이 완료되고, D_1 데이터 중 앞의 T' ($T' = R + T - T_1$)시간만큼의 데이터가 버퍼링되었다. 이 때, 즉, $R + T$ 시점에서 재생이 시작된다. 선반입을 위한 부분이 전송되었고 D_1 의 T' 시간만큼 전송되었으므로 비디오의 재생이 가능하다. 이 때부터의 재생 및 전송은 기존 SB 방식과 같다. 다만, 차이점은 재생의 시작 시점이 D_1 세그먼트의 시작 시점이 아닌 T' 만큼 뒤로 밀린 시점에서 재생이 시작된다는 점이다. 따라서, 모든 세그먼트들의 재생이 T' 만큼 뒤로 이동된 상태에서 재생이 시작된다. 따라서, T' 시간 만큼의 더 많은 버퍼링이 필요하다.

이 기법의 초기지연시간은 $T (= D_1)$ 이다. 반면, 필요한 버퍼의 양은 수정 SB 방식 보다 T' 시간 동안의 버퍼링을 위한 부분이 필요하다. 따라서, T' 의 최대 시간이 D_1 이므로 전체 필요한 버퍼의 양은 다음과 같다.

$$B_{min} + r * D_1 * (W - 1) + r * D_1$$

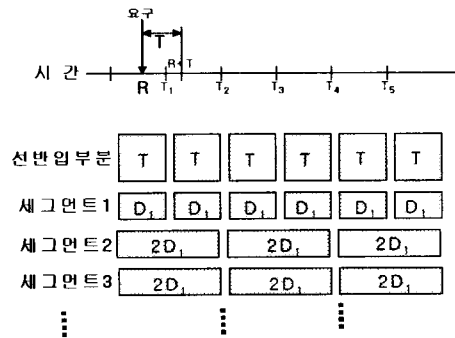


그림 15. 수정 SB 방식2

또한, 기존 SB방식과 수정 SB방식1에서는 클라이언트에서 동시에 데이터를 다운받기 위해 2개의 모듈이 있으면 충분하지만, 수정 SB방식2에서는 선반입되는 부분, 첫번째 세그먼트, 그리고 두번째 세그먼트를 동시에 다운받을 수 있도록 3개의 모듈이 필요하다.

5. 성능평가

5.1 VBR 비디오

성능 평가를 위하여 MPEG로 압축된 스타워즈 VBR 비디오[10]를 사용하였다. 이 비디오 상영시간은 7255초이고, 전체 비디오의 양은 약 2.7Gbit 이다. 기존 SB방식의 성능 평가를 위하여 CBR 비디오가 필요하다. 같은 비디오를 VBR과 CBR로 인코딩 할 때, 파일 크기의 비는 약 1: 2이다[11]. 이에 따라 본 논문에서는 VBR과 CBR 비디오 파일의 크기의 비를 1: 1.8로 두고 CBR 비디오의 데이터를 구하였다(표 2). 모든 성능평가는 [6]의 성능분석에 사용된 데이터를 고려하여, 한 비디오에 할당되는 대역폭을 4, 8, 12, 16 Mbit/sec로 정하였다. 이 VBR 비디오의 CBR 전송을 위해 필요한 정보는 표 3와 같다.

한 비디오에 할당되는 대역폭을 12Mbit/sec로 가정하여 수정 SB 방식으로 브로드캐스팅할 때의 파라메타는 표4와 같다.

표 2. CBR 비디오

비디오의 양	약 4.8 Gbit
비디오의 상영률	673,868 bit/sec
상영시간	7255 초

표 3. VBR 비디오의 CBR 전송을 위한 정보

선반입 시간(t)	37 초
CBR 전송률	374195 bit/sec
필요한 버퍼양	178103997 bit
총 전송시간	7221 초

표 4. 수정 SB방식을 위한 파라메타

선반입 시간(T)	6.7 초
선반입을 위한 대역폭	2097759 bit/sec
세그먼트갯수(K)	28
W	52

5.2 초기지연시간 비교

그림 16에서 수정 SB1은 초기지연 시간이 $T + D_1$ 인 경우이고, 수정 SB2는 4장에서 언급한 것처럼, 선반입 시간과 D_1 시간을 같도록 하여 초기지연시간을 D_1 으로 한 경우이다.

대역폭이 4Mbit 일 때에 SB는 268초의 초기시작지연을 가지는 반면, 수정 SB2의 경우 51초의 초기시작지연을 가져 수정 SB2가 SB 초기시작지연의 $\frac{1}{5}$ 배 정도로 낮음을 알 수 있다. 대역폭이 8Mbit일 때에는 SB 방식이 29.61초, 수정 SB1 방식이 22.6초, 수정 SB2 방식이 11.85초로 우리가 연구한 수정 SB2 방식의 초기지연시간이 아주 낮음을 알 수 있다. 대역폭을 12Mbit, 16Mbit인 경우도 수정 SB2 방식이 좋음을 알 수 있다(표 5).

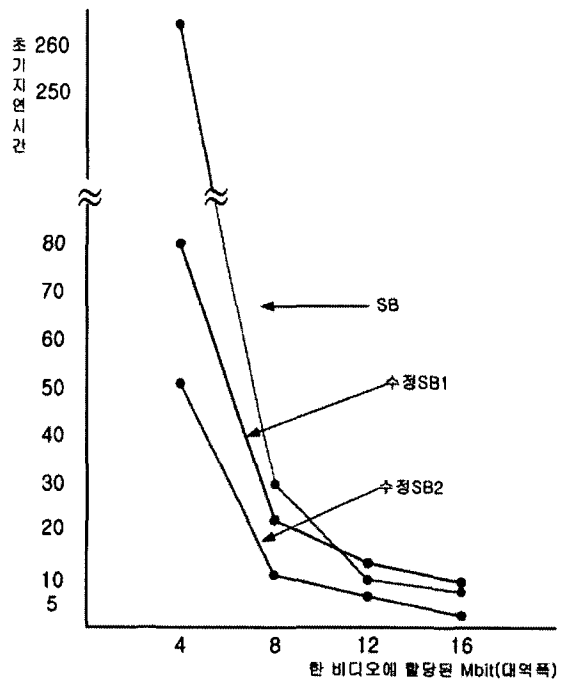


그림 16. 초기지연시간 비교

표 5. 초기지연 비교

(Mbit)방식	대역폭			
	4	8	12	16
SB	268.72	29.61	11.91	7.87
수정SB1	81.8	22.6	13.2	8.9
수정SB2	51.21	11.85	6.7	4.83

5.3 버퍼량 비교

그림 17에서 한 비디오에 할당된 대역폭이 4Mbit 일 때에 SB 방식은 9Gbit의 버퍼량이 필요한 반면에 수정 SB 방식1은 1Gbit로, SB 방식이 필요한 버퍼량의 $\frac{1}{9}$ 만 있으면 된다.

대역폭이 8Mbit일 경우에도 SB 방식은 1Gbit의 버퍼량이 필요한 반면에 수정 SB 방식1은 0.4Gbit가 필요하다. 대역폭이 12Mbit일 경우에는 SB 방식이 412Mbit이고, 수정 SB 방식1이 300Mbit의 버퍼량이 필요하며, 대역폭이 16Mbit일 경우는 SB 방식이 274 Mbit가 필요하였으며, 수정 SB 방식1은 260Mbit가 필요하였다. 수정 SB 방식2는 수정 SB 방식1보다 $r \cdot D_1$ bit만큼의 버퍼가 더 필요하다(표 6).

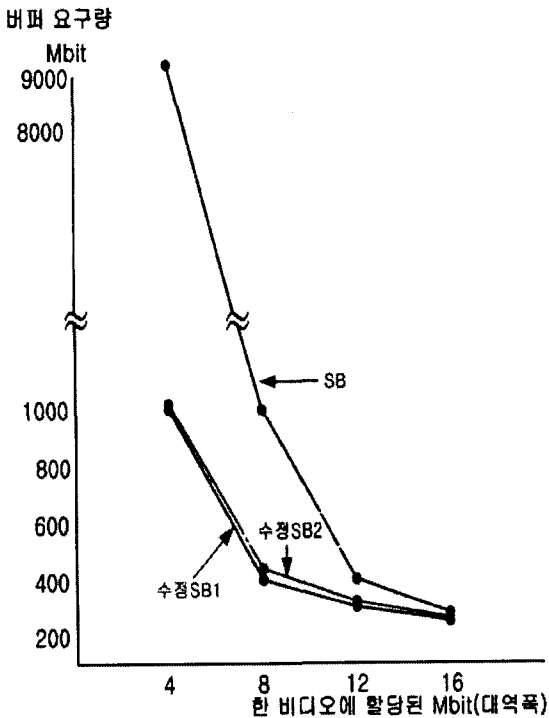


그림 17. 버퍼 요구량 비교

표 6. 버퍼량 비교

대역폭 (Mbit)방식	4	8	12	16
SB	9.2 Gbit	1 Gbit	412 Mbit	274 Mbit
수정SB1	1 Gbit	0.4Gbit	300 Mbit	260 Mbit
수정SB2	1.19 Gbit	0.44Gbit	325 Mbit	262 Mbit

6. 결 론

Near VoD 시스템에서 널리 사용되는 주기적 브로드캐스팅 방식 중, Non-uniform 세그멘테이션방식들은 CBR 비디오에 적용하기 위한 것이다. 요즘의 비디오들은 MPEG 등의 기술을 이용하여 압축된 VBR 비디오를 많이 사용한다. 그래서 VBR 전송 방식의 연구가 필요하다. 기존의 VBR 전송 방식들은 Loss가 심하여 화질의 끊어짐 등의 문제가 많아 이를 이용하기에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 Non-uniform 세그멘테이션방식 중 대표적인 Skyscraper 브로드캐스팅 기법을 수정하여 VBR 비디오를 브로드캐스팅 할 수 있는 방법인 수정 Skyscraper 브로드캐스팅 기법을 제안했다. 성능 평가 결과, 본 논문에서 제안한 수정 SB 방법들이 CBR비디오를 위한 SB 방법보다 짧은 초기지연 시간과 적은 버퍼를 필요로 함을 보였다.

향후 연구과제로는 첫째, CBR 비디오의 브로드캐스팅을 위한 다른 기법들을 VBR 비디오의 전송에 적용하는 연구, 둘째, 제안한 수정 Skyscraper 브로드캐스팅 방식을 실제 VoD 서버에 적용하는 연구, 셋째, 제안한 기법을 인터넷 상에서 활용하는 방안에 대한 연구 등이 있다.

참 고 문 헌

[1] C. C. Aggarwal, J. L. Wolf, and P. S. Yu, "A Permutation-Based Pyramid Broadcasting Scheme for Video-on-Demand Systems." In Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Multimedia Systems, Hiroshima, Japan, June 1996.

[2] S. Viswanathan and T. Imielinski, "Metropolitan area Video on Demand Service using Pyramid Broadcasting" Multimedia Systems, 4(4), 197-208, August 1996.

[3] K. Almeroth, and M. H. Ammar, "The use of Multicast delivery to provide a Scalable and Intercative Video-on-Demand Service," IEEE journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no.6, pp. 1100-1122, 1996.

[4] W. D. Sincoski, "System Architecture for a Large Scale Video on Demand Service,"

Computer Networks and ISDN systems, vol. 22, 1991.

[5] D. Sitaram, P. Shahabuddin, and A. Dan, "Scheduling Policies for an on-demand video server with batching," in Proc. of the ACM SIGCOMM, Cannes, France, September 1997.

[6] K. A. Hua, and S. Sheu, "Skyscraper Broadcasting: A new Broadcasting Scheme for Metropolitan Video-on-Demand Systems," In Proc. of the ACM SIGCOMM, Cannes, France, September 1997.

[7] Derek L. Eager, and Mary K. Vernon, "Dynamic Skyscraper Broadcasts for Video-on-Demand", in Proc. on MIS'98, Istanbul, Turkey, sept, 1988

[8] D. Saporilla, K. Ross, and M. Reisslein "Periodic Broadcasting with VBR-Encoded Video" In Proc. of IEEE Infocom'99, pp.464-471.

[9] S. Sen, J. Dey, J. Kurose, J. Stankovic, and D. Towsley "Streaming CBR transmission of

VBR stored video", SPIE Symposium on Voice Video and Data Communications, Dallas, TX, Nov. 1997.

[10] <ftp://ftp.telcordia.com/pub/vbr.video.trace/>

[11] W. S. Tan, N. Duong, and J. Princern, "A Comparison study of Variable Bit Rate versus Fixed Bit Rate Video Transmission", In Australian Broadband Switching and Services Symposium, 1991, pp.134-141



이 재 동

1983년 서울대학교 계산통계학과 (이학사)
 1985년 서울대학교 전산과학전공 (이학석사)
 1995년 서울대학교 전산과학전공 (이학박사)
 1986년 현재 경남대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : 실시간 시스템, 멀티미디어 시스템