

VCR 기능을 갖춘 VOD 서비스를 위한 MBA 알고리즘

김백현 , 김동수 , 김익수
인천대학교 정보통신공학과
e-mail:g981723@lion.inchon.ac.kr

MBA Algorithm for VOD Service with VCR Functions

Backhyun Kim, Iksoo Kim, Yoseop Woo
Department of Information and Telecommunication Engineering
University of Incheon

요약

VOD(Video-On-Demand) 시스템에서 제한 없는 VCR 서비스는 클라이언트들의 개별 서비스 요청에 대하여 유일한 비디오 스트림을 할당함으로써 제공될 수 있다. 이 방식은 서버 부하의 증가와 부족한 네트워크 자원의 고갈 등과 같은 중대한 문제점을 갖고 있으나 클라이언트의 셋톱박스에 버퍼를 구현함으로써 매우 제한된 VCR 기능을 제공하게 된다. 본 논문에서는 대화형 VOD 시스템에서 제한 없는 VCR 기능을 제공할 수 있는 새로운 MBA(Multicast Buffering Algorithm) 알고리즘을 제안한다. MBA 알고리즘 하에서 VCR 서비스는 버퍼가 동적으로 확장되어 비디오 데이터를 저장하기 때문에 사용자에게 제한 없이 제공되어진다. 또한 MBA 알고리즘은 버퍼의 사용 효율을 증대시키는 방법을 제공하며 모든 클라이언트들의 서비스 요청을 지연 없이 즉시 처리하므로 사용자들에게 진정한 대화형 VOD 서비스를 제공하게 된다. 본 논문에서는 MBA 알고리즘을 이용하여 지연 없는 VCR 기능을 갖춘 VOD 서비스를 구현하였으며 시뮬레이션 결과는 MBA 알고리즘이 다른 버퍼링 방식과 비교하여 매우 우수한 성능을 갖고 있음을 보여주고 있다.

1. 서론

통신 기술과 컴퓨터 기술의 발전은 데이터의 고속 전송 및 다자간 통신기술의 사용을 가능하게 하였으며 멀티미디어 데이터가 네트워크를 통하여 손쉽게 전송될 수 있도록 하였다. 특히 주문형(On-Demand) 멀티미디어 시스템은 디지털 도서관 정보 시스템, 원격 교육 및 오락 분야 등과 같은 여러 응용 분야에서 중요한 기술분야로 대두되고 있다.[1,2]

주문형 시스템 중 VOD(Video-On-Demand)는 사용자가 특정 비디오를 원하는 시간에 시청할 수 있도록 하는 방식으로서 비디오의 실시간 서비스 및 서버와 클라이언트 양단간에 전송되는 비디오 스트림의 품질을 보장하여야 한다는 특성을 갖고 있다.[3] 네트워크가 충분한 대역폭을 갖고 있다면 모든 서비스 요청은 제한 없이 실시간 적으로 제공될 수 있지만 대부분의 경우 충분한 대역폭을 갖고 있지 않기 때문에 서비스 요청은 제한될 수밖에 없다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 사용자들의 서비스 요청에 대한 서버의 응답 지연 및 멀티캐스트 전송방식 등의 기술이 제안되었다.[4,5,6] 멀티캐스트 전송방식은 동일한 콘텐츠를 요청한 사용자들의 서비스 요청을 미리 설정된 시간 단위로 그룹화 하여 서비스하는 방식으로, 그룹화는 수 초 내지 수 분단위로 이루어지는 것이 일반적이며 사용자들이 서비스를 제공받기 위해서 일정 시간 대기하여야 한다는 문제점을 갖고 있다. 또한 제한된 네트워크 대역폭으로 인하여 개개의 서비스 요청 및 정지, 고속 재생, 고속 역재생 등과 같은 VCR 기능들은 제한된다. 이 문제점은 클라이언트에 버퍼를 구현함으로써 부분적으로 개선될 수 있다.[7,8] VCR 서비스는 클라이언트의 버퍼에 저장되어 있는 비디오 스트림을 사용하여 제공되므로 새로운 채널 할당 없이 실시간 서비스가 제공될 수 있다는 장점을 갖고 있다. 그러나 VCR 서비스가 버퍼의 용량을 초과하여 지

속되는 경우 VOD 서버로부터 채널 할당을 필요로 하기 때문에 VCR 서비스가 중지될 수 있다.

본 논문에서는 새로운 MBA(Multicast Buffering Algorithm) 알고리즘을 사용하여 제한 없는 VCR 기능을 제공하는 대화형 VOD 시스템을 제안한다. MBA 알고리즘은 네트워크를 통하여 전송되고 있는 다른 멀티캐스트 그룹의 비디오 스트림을 버퍼에 저장하여 사용하여 제한 없는 VCR 기능을 사용자들에게 제공하는 방식이다. MBA 환경 하에서 클라이언트는 서비스되는 비디오 스트림을 재생함과 동시에 VCR 서비스를 위하여 비디오 스트림을 버퍼에 저장하게 된다. 이 방식은 멀티캐스트 전송방식의 사용 효율을 개선한 방식으로서 VCR 서비스 요청이 지연이나 단절 없이 수행되기 때문에 QoS의 저하 없는 대화형 VOD 시스템을 구현할 수 있다.

2. 대화형 VOD 시스템

네트워크의 효율적 사용과 VCR 서비스 기능을 갖춘 대화형 VOD 시스템을 구현하기 위하여 멀티캐스트 전송방식과 클라이언트 버퍼 시스템을 사용한다. 멀티캐스트 전송방식에서 요청된 비디오 스트림을 효율적으로 전송하기 위하여 FCFS(First-Come First-Served), MQL (Maximum Queue Length first), MFQ(Maximum Factored Queue length first) 등과 같은 다양한 기술들이 제안되었다.[4] 위에서 제안된 기술들은 다음에 전송되는 비디오 스트림이 서비스 요청 순서로(FCFS), 가장 많이 요청된 서비스 순서로(MQL) 그리고 가장 많이 요청되면서 가장 오래 대기중인 서비스 순서로(MFQ) 제공된다. 이들 중 요청에 대한 대기시간과 비디오의 인기도를 감안하여 서비스를 결정하는 MFQ 방식이 가장 좋은 성능을 나타내고 있다. 채널 사용효율을 증대시키기 위하여 재생률 변화(Rate Adaptation)와 광고 삽입(Content Insertion)등을 통하여 인접한 멀티캐스트 그룹들을 하나의 그룹으로 만드는 방식이 제안되었다.[9]

멀티캐스트 전송방식에서 VCR 서비스는 멀티캐스트 그룹을 변경함으로써 제공된다.[8] 이 방식은 VCR 서비스가 미리 설정된 멀티캐스트그룹 시간단위로만 제공되기 때문에 제어가 쉽고 서비스가 단절될 확률이 낮다는 장점을 갖고 있으나 사용자가 원하는 재생지점을 찾기가 어렵고 불필요한 부분을 재생하여야 한다는 단점을 갖고 있다.

버퍼 사용방식은 멀티캐스트 전송방식 하에서

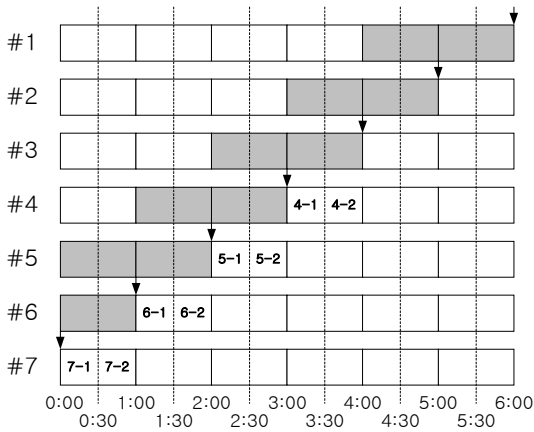
VCR 서비스가 불연속적으로 제공되는 문제점을 해결할 수 있다.[7,8,10] 버퍼는 일정량의 비디오 스트림을 저장하고 있으므로 사용자에게 의한 VCR 서비스 요청을 독자적으로 처리하여 서버의 부하 및 네트워크 채널 사용을 억제하게 된다. VCR 서비스 제공 시 버퍼에 저장된 비디오 스트림을 I, P, B 프레임별로 재정렬하여 다양한 재생배속을 지원하는 방식이 제안되었다.[7] VCR 서비스 수행 시 멀티캐스트 그룹이동이 필요한 경우 네트워크 상에 전송되고 있는 멀티캐스트 그룹 중 원하는 이동 지점에 가장 근접한 그룹으로 변경하는 SAM(Split and Merge Protocol) 방식이 제안되었다.[10]

위에서 열거한 버퍼 사용방식은 VCR 서비스가 버퍼 용량 내에서는 연속적으로 제공되지만 용량을 초과하는 경우에는 새로운 채널 할당이 필요하거나 인접하지 않은 멀티캐스트 그룹으로 이동하기 때문에 불연속적인 서비스가 제공되는 단점을 갖고 있다. 이는 멀티캐스트 그룹간의 이동을 억제함으로써 해결할 수 있으나 대용량의 버퍼를 클라이언트에 구현하여야하므로 클라이언트 시스템의 구성비용을 증가시키는 결과를 초래하게 된다.

인기 있는 비디오의 경우 많은 사용자들에 의하여 요청될 것이다. 이는 동일한 비디오가 네트워크 상에 시차를 두고 연속적으로 전송되는 것을 의미한다. 그러므로 VCR 서비스가 멀티캐스트 그룹 단위를 초과하여 지속되는 경우 동일한 비디오에 대한 앞 또는 뒷부분의 필요한 데이터가 다른 멀티캐스트 그룹으로 서비스되고 있을 것이므로 멀티캐스트 그룹을 이동하여 필요한 데이터를 수신하여 사용할 수 있다면 새로운 논리 채널의 할당이 필요 없게 되며 대용량의 버퍼 또한 필요 없게 된다. MBA(Multicast Buffering Algorithm) 알고리즘은 이를 구현한 것으로서 클라이언트의 버퍼용량을 동적으로 확장하여 시스템 성능을 향상시켰으며 다음절에서는 이에 대한 자세한 논의를 하겠다.

3. MBA(Multicast Buffering Algorithm)

본 절에서는 새로운 버퍼링 기법인 MBA 알고리즘을 제안하고자 한다. MBA 알고리즘 하에서 대부분의 네트워크 대역폭은 지정된 재생률로 비디오 스트림을 전송하기 위한 논리 채널들에 할당된다. 나머지 대역폭은 VCR 서비스 및 서비스 인증을 포함하는 서비스 요청과 응답 등을 위한 제어신호를 전송하는데 사용된다.



<그림 1> 멀티캐스트 그룹들의 비디오 스트림

그림 1은 멀티캐스트 그룹간격 N이 1분인 경우 각 멀티캐스트 그룹에서 전송되고있는 비디오 스트림을 보여주고 있다. 아래로 향하는 화살표는 각 멀티캐스트 그룹의 재생지점을 보여주고 있다. 어두운 부분은 클라이언트 버퍼에 저장되어 있는 비디오 스트림을 나타내고 있으며 2분(2N) 용량의 비디오 콘텐츠를 저장할 수 있다. 표시되어 있는 숫자는 향후 수신될 각 멀티캐스트 그룹의 비디오 스트림이며 멀티캐스트 그룹 ID는 서비스 제공시간 순서로 #1, #2, #3등의 값을 갖는다 .[4,7,8,10]

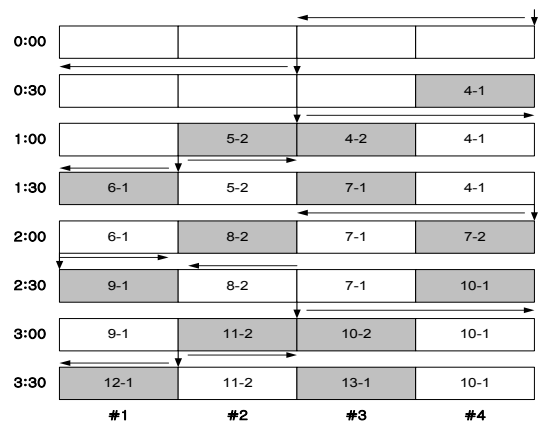
VCR 서비스가 사용자에게 의하여 요청되면 클라이언트는 동일한 비디오 콘텐츠가 서비스되고 있는 인접된 멀티캐스트 그룹의 ID를 VOD 서버로 요청한 후 버퍼에 저장된 비디오 스트림을 사용하여 서비스를 시작한다. 서버는 요청된 비디오 콘텐츠의 서비스 여부를 조사하여 인접한 멀티캐스트 그룹의 ID를 클라이언트로 전송한다. 클라이언트는 수신된 멀티캐스트 ID를 이용하여 VCR 서비스에 필요한 비디오 스트림을 버퍼에 저장하여 사용한다. 클라이언트는 버퍼의 용량이 허락하는 한 데이터를 저장함으로써 VCR 서비스들을 능동적으로 수행한다. 그러므로 VCR 서비스 제공 시 발생하는 새로운 채널의 할당문제를 다른 멀티캐스트 그룹의 데이터를 수신함으로써 해결할 수 있게 된다.

3-1. 일시정지 (Pause)

VCR 기능 중 일시정지기능은 버퍼를 사용하여 용이하게 구현되며 선입선출(First-In, First-Out) 방식으로 동작한다. 사용자가 비디오 스트림의 재생을 일시정지 시킨 경우 재생은 정지하게 되지만 비디오 스트림은 클라이언트가 지속적으로 수신한다. 일시

정지되는 시간이 버퍼의 용량을 초과하는 경우 멀티캐스트그룹 변경이 필요하다. 따라서 일시정지 기능이 버퍼의 임계값(Threshold Value : N 분)을 초과하면 클라이언트는 다른 멀티캐스트 그룹의 비디오 스트림을 수신하기 위하여 VOD 서버로 인접한 멀티캐스트 그룹의 ID를 요청한다. 서버는 요청을 받아 동일한 비디오 스트림이 전송되고 있는 다음 멀티캐스트 그룹 ID를 클라이언트에 전송한다. 멀티캐스트 그룹 변환이 수행되면 클라이언트는 새로운 채널로 변경되므로 사용자는 버퍼에 저장된 비디오 스트림을 이용하여 재생을 수행할 수 있게 된다.

3-2. 고속 역재생 (Fast Rewind)



<그림 2> 고속 역재생 시 버퍼에 저장되는 비디오 스트림

그림 2는 멀티캐스트 그룹 간격 N이 1분인 MBA 버퍼 구조를 보여주고 있다. 버퍼는 30초 분량의 비디오 스트림을 저장할 수 있는 4개의 저장공간으로 구성되어 있다. 2배속 고속 역재생은 저장된 비디오 스트림을 1분만에 재생한다. 그러므로 고속 역재생이 1분 이상 수행되기 위해서는 버퍼에 다른 멀티캐스트 그룹으로부터 30초 동안 1분 분량의 비디오 스트림을 저장하여야 한다. 아래로 향하는 화살표는 매 30초마다의 고속 역재생 지점을 나타내고 있으며 좌우방향의 화살표는 고속 역재생 방향을 보여주고 있다. 어두운 부분은 각 시간에 따라 멀티캐스트 그룹 #1에 저장되는 다른 멀티캐스트 그룹의 비디오 스트림들이다. 고속 역재생이 1분을 초과하여 수행되어도 다음 1분 30초 분량의 비디오 스트림이 버퍼에 저장되어 있으므로 VOD 서버로부터 새로운 채널의 할당은 필요 없게 되어 제한 없는 고속 역재생이 가능하다. 고속 역재생 종료 후 정상적인 재생을

위하여 버퍼는 멀티캐스트 그룹 시간단위의 2배와 연속적인 비디오 스트림의 재생 수행을 위한 여분의 저장 공간 등으로 구성된다.

$$n \leq \text{고속 역재생 시간}/20 \text{ 초} < n+1$$

$$\text{할당되는 멀티캐스트 그룹} = M+n \quad (2)$$

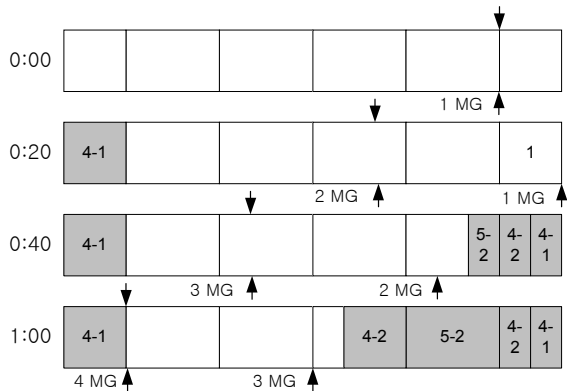
버퍼	고속 역재생 시간	저장되는 비디오 스트림
1	$n < \text{FRT} \leq n+1$	Multicast 3n+3 의 처음 N/2
2	$n-1/2 < \text{FRT} \leq n+1/2$	Multicast 3n+2 의 나중 N/2
3	$2n-3/2 < \text{FRT} \leq 2n-1$	Multicast 6n-2 의 나중 N/2
	$2n-1 < \text{FRT} \leq 2n+1/2$	Multicast 6n+1 의 처음 N/2
4	$2n-2 < \text{FRT} \leq 2n-1/2$	Multicast 6n-2 의 처음 N/2
	$2n-1/2 < \text{FRT} \leq 2n$	Multicast 6n+1 의 나중 N/2

<표 1> 고속 역재생 시 저장되는 비디오 스트림

표 1 은 고속 역재생이 수행된 시간에 따라 버퍼에 저장되는 비디오 스트림을 보여주고 있다. FRT(Fast Rewind Time)은 고속 역재생 수행시간이며, 'n'은 고속 역재생이 수행된 범위를 나타내는 정수 값이다. 정상적인 비디오 재생을 위하여 버퍼 B_{MBA} 는 다음과 같은 크기를 갖는다.

$$B_{MBA} = (NR(R+2))/(R+1) \quad (1)$$

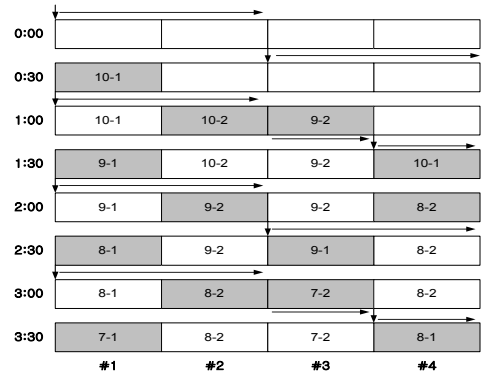
식 1에서 N은 멀티캐스트 그룹 간격이며, R은 고속 역재생 배속이다.



<그림 3> 2배속 고속 역재생을 수행하는 MBA

그림 3은 2배속 고속 역재생 및 멀티캐스트 그룹 단위가 1분인 경우 고속 역재생을 제공하는 MBA 버퍼를 보여주고 있다. 아래로 향하는 화살표는 고속 역재생 지점을 나타내며, 위로 향하는 화살표는 각 멀티캐스트 그룹의 재생지점을 나타내고 있다. 고속 역재생을 중지하고 정상적인 재생을 수행하는 경우 할당되는 멀티캐스트 그룹은 다음과 같다.

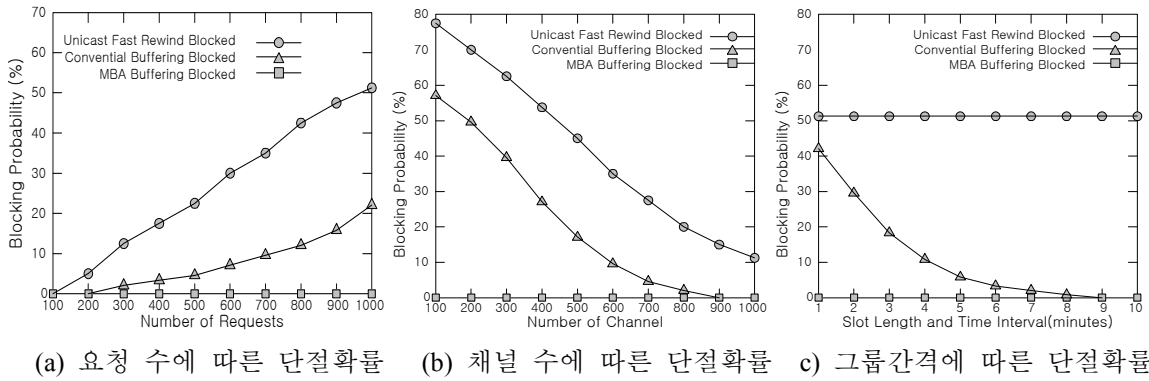
3-3. 고속 재생 (Fast Forward)



<그림 4> 고속 재생 시 버퍼에 저장되는 비디오 스트림

그림 4는 멀티캐스트 그룹 #10에서 고속 재생을 수행하는 버퍼링 알고리즘을 보여주고 있다. 어두운 부분은 각 시간대 별로 새로이 저장되는 비디오 스트림이며 오른쪽으로 향하고 있는 화살표는 고속 재생 방향을 나타내고 있다. 고속 재생을 수행하고 정상적인 재생을 사용자가 요청하면 요청시점에 해당되는 멀티캐스트 그룹으로 할당된다. 이는 고속 역재생과 달리 정상적인 재생에 필요한 비디오 스트림이 이미 버퍼에 저장되어있기 때문이다.

고속 재생의 경우는 앞에서 설명한 일시 정지나 고속 역재생의 경우와는 다른 방식으로 접근하여야 한다. 위의 두 경우는 재생되어진 비디오 스트림을 클라이언트 버퍼에 저장하여 VCR 서비스를 제공하지만 고속 재생의 경우 아직 재생되지 않은 비디오 스트림을 버퍼에 저장하여 서비스를 제공하기 때문이다. 또한 버퍼에 비디오 스트림 저장 시 고속 역재생은 입력되는 비디오 스트림과 고속 역재생 방향이 반대로 수행되지만 고속 재생의 경우는 동일한 방향으로 수행되므로 버퍼링 알고리즘의 변화가 필요하다. 고속 재생을 지원하기 위해서 먼저 수행되어야 하는 것은 고속 재생 비율에 따라 필요한 만큼의 비디오 스트림을 버퍼에 미리 저장하는 것으로서, 멀티캐스트 그룹간격이 1분이고 2배속 고속 재생을 수행하는 경우 2분 분량의 앞선 비디오 스트림을 미리 저장하는 것이다. 그러므로 초기에 비디오 시청을 위한 서비스 요청은 요청시점보다 2분 앞서 서비스되고 있는 멀티캐스트 그룹으로 할당함으로써



<그림 5> 단절 확률 (Blocking probability)

이러한 문제를 해결할 수 있다. 이와 같은 방법을 수행하게 되면 클라이언트 버퍼는 2분 분량의 앞선 비디오 스트림을 저장하며 고속 역재생의 경우와 동일하게 클라이언트는 버퍼에 저장되어 있는 비디오 스트림을 이용하여 서비스를 수행할 수 있게 된다.

MBA의 성능을 평가하기 위하여 동일한 비디오 스트림이 네트워크 상에 연속적으로 존재하는 시뮬레이션 모델을 만들었으며 이를 유니캐스트 전송방식과 2N 크기의 버퍼를[8] 사용하는 VOD 시스템에 대하여 비교하였다. 시뮬레이션은 멀티캐스트 그룹 간격 N이 3분이며 500개의 논리 채널로 구성된 VOD 시스템에서 1000개의 VCR 서비스 요청에 대하여 수행되었다. 그림 5-a는 멀티캐스트 그룹 간격 N이 3분이며 채널의 수가 500개인 VOD 시스템에서 사용자들의 VCR 서비스 요청 수에 대한 단절 확률 분포를 보여주고 있다. 결과는 서비스 요청이 증가할수록 유니캐스트 전송방식 및 2N 크기의 버퍼를 사용하는 경우 단절 확률이 MBA 보다 높게 증가함을 알 수 있다. MBA는 클라이언트가 채널의 할당 없이 멀티캐스트 그룹을 변경하여 필요한 데이터를 버퍼에 저장하기 때문에 시간에 제한 없이 연속적인 VCR 기능을 제공하므로 단절확률이 거의 0의 값을 갖게 된다. 그림 5-b는 VOD 시스템에 구성된 채널 수에 따른 단절 확률을 보여주고 있다. 멀티캐스트 전송방식에서 논리 채널의 수가 증가하게 되면 멀티캐스트 그룹 변경 및 VCR 서비스를 위하여 할당되는 채널의 수가 증가하게 되므로 유니캐스트와 2N 크기의 버퍼를 사용하는 모든 경우에서 서비스 단절 확률이 감소하는 결과를 낳게 된다. 그림 5-c는 멀티캐스트 그룹 간격 N에 따른 단절확률을 보여주고 있다. 멀티캐스트 그룹 시간 단위 N의 증가는 저장되는 비디오 스트림의 양이 많아지므로 클라이언트에 의하여 제공되어지는 VCR 서비스의 시간이 길어지게 된다. 따라서 VCR 서비스가 버퍼의 용량을 초과하여 지속적으로 요청되는 경우가 적게 발생되므로 단절확률이 감소되는 결과를 낳게 된다.

버퍼	고속 재생 시간	저장되는 비디오 스트림
1	$n < FFT \leq n+1$	Multicast M-n 의 처음 N/2
2	$n-1/2 < FFT \leq n+1/2$	Multicast M-n 의 나중 N/2
3	$2n < FFT \leq 2n+1/2$	Multicast M-2n+1 의 처음 N/2
	$2n+1/2 < FFT \leq 2n+2$	Multicast M-2n-1 의 나중 N/2
4	$2n-1 < FFT \leq 2n-1/2$	Multicast M-2n+2 의 처음 N/2
	$2n-1/2 < FFT \leq 2n+1$	Multicast M-2n 의 나중 N/2

<표 2> 고속 재생 시 저장되는 비디오 스트림

표 2는 고속 재생 시 저장되는 비디오 스트림을 보여주고 있다. FFT(Fast Forward Time)는 고속 재생이 수행된 시간을 나타내며, n은 고속 재생 수행시간을 분단위로 환산한 정수 값이며 이 값에 따라 버퍼에 저장되는 다른 멀티캐스트 그룹의 비디오 스트림을 보여주고 있다.

따라서 일시 정지, 고속 역재생 및 고속 재생 등의 VCR 서비스를 지원하기 위한 MBA 버퍼의 크기 B_{MBA} 는 다음과 같다.

$$B_{MBA} = (N(S^2 + 4S + 2))/(S+1) \quad (3)$$

식 3에서 N은 멀티캐스트 그룹 간격이며, S는 고속 역재생 및 고속 재생에 사용되는 배속이다.

4. 성능 평가

위의 결과들로부터 VOD 서버로부터 전송되는 비디오 스트림이 네트워크 상에 연속적으로 존재하는 경우 MBA 알고리즘을 사용함으로써 네트워크 대역폭과는 무관하게 또한 VCR 서비스 요청 수에 무관하게 VCR 서비스 단절 확률이 거의 0의 값을 갖게 되므로 유니캐스트 전송방식 및 2N 크기의 버퍼를 사용하는 기존 방식과 비교하여 매우 우수한 성능을 갖고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

클라이언트에 버퍼를 사용하는 것은 서버 및 네트워크 대역폭을 보다 효율적으로 사용하기 위한 중요한 기술이다. 제한 없는 VCR 기능을 제공하는 대화형 VOD 시스템을 구현하기 위하여 MBA(Multicast Buffering Algorithm) 알고리즘을 제안하였으며 다음과 같은 이점을 갖고 있다.

- 기존의 버퍼 방식과는 다르게 제한 없는 VCR 기능을 제공할 수 있다.
- 새로운 채널의 할당이 필요 없다.
- MBA는 클라이언트에서 수행되므로 서버 부하의 감소 및 네트워크 대역폭을 보다 효율적으로 사용할 수 있게 한다.

시뮬레이션을 통하여 대화형 VOD 시스템이 구현 가능함을 알 수 있었다. MBA는 기존 방식과 비교하여 제한 없는 VCR 서비스 및 향상된 시스템 성능을 제공할 수 있음을 확인하였다. 현재 연속적인 비디오 스트림이 존재하지 않는 경우에도 제한 없는 VCR 기능이 제공될 수 있도록 앞으로 연구가 진행되어야 할 것이며, 향후 연구가 진행되어야 할 분야는 채널 관리, 프록시 제어기 및 개선된 멀티캐스트 전송 방식 등이다.

참고문헌

[1] B. Amin-Salehi, G.D. Flinchbaugh, and L.R. Pate, "Implications of New Network Services on BISDN Capabilities," In *Proc. IEEE INFOCOM*, San Francisco, CA, 1990. pp 1038-1045

[2] T. Little and D. Venkatesh, "Prospects for Interactive Video-On-Demand," *IEEE Multimedia*, Fall 1994. pp 14-23

[3] K. Almeroth and M. Ammar, "An Alternative Paradigm for Scalable On-Demand Applications:

Evaluating and Deploying the Interactive Multimedia Jukebox", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering Special Issue on Web Technologies*, April 1999.

[4] Kien A.Hua, Ying Cai, and Simon Sheu, "Patching : A Multicast Technique for True Video-On-Demand Services," *ACM Multimedia'98*, Bristol, UK, 1998. pp 191-200

[5] K. Almeroth and M. Ammar, "Providing a scalable, interactive Video-On-Demand service using multicast communication," In *ICCCN'94*, San Francisco, CA, September 1994

[6] S. Sheu, Kien. A. Hua, and W. Tavanapong, "Chaining:A Generalized Batching Technique for Video-On-Demand," In *Proc. of the Int'l Conf. On Multimedia Computing and System*, Ottawa, Ontario, Canada, June 1997, pp 110-117

[7] H.J. Chen, A. Krishnamurthy, D. Venkatesh, and T.D.C. Little, "A Scalable Video-on-Demand Service for the Provision of VCR-like Functions," *Proc. 2nd IEEE Intl. Conf. on Multimedia Computing and Systems*, Washington D.C., May 1995. pp 65-72

[8] K.C.Almeroth and M.H.Ammar,"The Use of Multicast Delivery to Provide a Scalable and Interactive Video-On-Demand Service," *IEEE J. Selected Areas in Comm.*, Vol.14, No 6, Aug. 1996, pp.1110-1122

[9] P. Basu, A. Narayanan, R. Krishnan, and T.D.C. Little, "An Implementation of Dynamic Service Aggregation for Interactive Video Delivery ," *Proc. SPIE Multimedia Computing and Networking*, San Jose, CA, January 1998.

[10] Wanjiun Liao and Victor.O.K. Li, "The Split and Merge Protocol for Interactive Video-On-demand," *IEEE Multimedia*, 1997, pp 51-62