IEEE-1394 등시성 채널을 확장한 효율적인 실시간 VBR 데이터 전송 기법*

강성일, 이흥규
{sikang, hklee}@casaturn.kaist.ac.kr
한국과학기술원 전산학과

An Efficient Transmission Scheme for Real-Time VBR Data with Extended IEEE-1394 Isochronous Channel

Sung-Il Kang, Heung-Kyu Lee
Department of Computer Science, KAIST

요 약

IEEE-1394 직렬 버스는 예약 대역폭을 보장해주는 등시성 전송모드를 제공하고 있지만 실시간 가변 비트율(VBR)의 데이터를 전송할 경우 많은 대역폭이 낭비되는 문제점을 가지고 있다. 본 논문은 이러한 문제를 개선하기 위하여 예약된 등시성 전송에는 영향을 주지 않으면서 남아있는 가용 등시성 대역폭을 이용하여 실시간 VBR 데이터를 효과적으로 전송하는 기법에 대한 것이다. 제안된 전송기법의 유용성을 확인하기 위하여 자체 개발한 1394 버스 시뮬레이터상에서 다수의 MPEG 비디오 데이터를 가지고 실험을 하였다. 실험결과, 제안 기법을 사용할 경우 전송 지연을 발생시키지 않고 등시성 대역폭을 평균 비트율 수준까지 낮추어 할당할 수 있음을 확인하였다.

1. 서 론

디지털 가전기기들을 연결하기 위한 홈 네트워킹 기술로 주목받고 있는 IEEE-1394 직렬 버스(Serial Bus) (이하, 1394 버스 혹은 1394)[1,2]는 일반 LAN용으로 쓰이는 Ethernet과는 달리 대역폭 예약이 가능한 등시성 전송모드(isochronous transport)를 지원하고 있다. 등시성 전송모드는 버스에 연결된 다른 노드에 관계없이 예약된 대역폭을 항상 사용할 수 있는 장점이 있지만, 고정 비트율(CBR) 형태의 전송을 가정하고 있기 때문에 MPEG/H.26x 영상과 같은 가변 비트율(VBR) 데이터[3]를 효율적으로 처리할 수 없는 문제점을 가지고 있다.

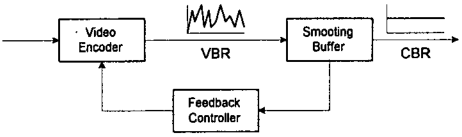


그림1. VBR-CBR 적응모델

1394의 등시성 전송모드와 같은 CBR 채널상의 VBR 데이터 전송에 대한 기존 연구들은 그림1에서와 같이 입력 데이터의 압축코더와 채널버퍼를 결합시켜 전송 상태에서 따라 입력 데이터의 비트율을 조정하거나 채널버퍼에서 비트율 변화를 완화시키는 기법들에 대한 것이었다[4]. 그러나, 이러한 기법들은 대부분 VOD(Video-On-Demand) 시스템과 같은 저장영상(stored video)을 위한 것으로, TV방송, 영상전화 등과 같이 일정 품질의 "실영상(live video)" 즉시 전송되어야 하는 가전환경에는 적합하지 않다. 그리고, 1394의 등시성 전송모드는 전송 중에 대역폭을 변경할 수 없기 때문에 전송 중에 비트율을 조정하는 기법들도 사용하기 힘들다.

*본 연구는 첨단정보기술 연구센터를 통하여 과학재단의 지원을 받았음

본 논문은 1394 버스에서 실시간 전송이 요구되는 VBR 데이터를 지연없이 즉시 전송할 수 있도록 표준 1394 통신 프로토콜을 확장한 전송기법에 대한 것이다. 확장기법은 표준 1394 전송 프로토콜과 호환성을 유지하면서 VBR 데이터가 요구하는 과도한 등시성 대역폭의 크기를 크게 줄일 수 있도록 해주며, VBR 데이터의 비트율을 조정하기 위한 별도의 기법을 필요로 하지 않는다. 제안된 확장기법의 유용성을 확인하기 위하여 다양한 종류(영화, 만화, 스포츠, 뉴스 등)의 MPEG-1 영상 데이터에 대하여 자체 개발한 1394 버스 시뮬레이터로 실험을 하였다.

먼저 2장에서 1394의 등시성 전송모드의 특징과 실시간 VBR 데이터 전송시의 문제점을 살펴보고 3장에서 이를 개선하기 위한 확장기법을 설명한다. 4장에서 확장기법의 유용성을 보이기 위한 실험결과를 분석하고 결론을 맺는다.

2. 등시성 전송모드와 VBR 데이터 전송

2.1. 1394의 등시성 전송모드

1394 버스는 예약 대역폭을 보장하는 등시성과 전달을 보장하는 비동기, 두 가지 형태의 전송모드를 제공하고 있다. 멀티미디어 데이터는 전송지연에 민감하기 때문에 대개 대역폭을 예약할 수 있는 등시성 전송모드로 전송된다.

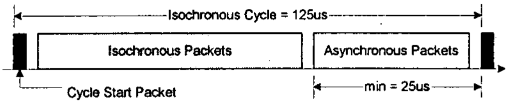


그림1. 등시성 사이클

등시성 패킷은 그림1에서와 같이 125μs(초당 8000번) 등시성 사이클에서 비동기 패킷보다 우선하여 전송되는데

비동기 패킷이 전혀 전송되지 못하는 것을 막기 위하여 전체 사이클의 80%만 등시성 전송에서 사용하도록 규정하고 있다. 즉, 비동기 전송에서 최소한 20%는 사용할 수 있으며. 등시성 전송이 없을 경우 사이클 전부를 비동기 전송에서 사용할 수 있다. 등시성 전송을 위해서는 사전에 하나의 채널와 필요한 만큼의 대역폭을 대역폭을 할당받아야(예약해야) 한다.

예약 대역폭은 대역폭 할당 단위(BWU)라는 것으로 처리되는데 이것은 S1600(1.6Gbps) 버스에서 4바이트의 1쿼드렛(quadlet)을 보내는 데 걸리는 시간이다. 이것으로, 버스의 총대역폭을 계산하면 약 6144 단위가 되는데, 여기서 20%의 비동기 대역폭 2199 단위를 뺀 나머지 4915 단위가 등시성 대역폭이 된다. 실제 등시성 전송에 필요한 BWU는 패킷의 크기 뿐만 아니라 패킷 전송에 필요한 버스 및 프로토콜 오버헤드를 포함한 것이 되어야 하는데[1], 구체적인 계산 방법은 아래 수식과 같다[5].

BWU = max_hop * C + (payload_size +K) * DR,

여기서, C = 32, K =3, DR = 1600/bus_speed이다.

2.2. VBR 데이터의 등시성 전송

실시간 VBR 데이터를 지연없이 등시성 채널로 전송하기 위해서는 최고 비트율을 기준으로 대역폭을 예약해야 한다. 그러나, 이렇게 할 경우 표1의 MPEG-1 데이터에서 보는 바와 같이 최고 비트율이 평균 비트율의 거의 10배 가까이 되기 때문에 할당된 대역폭의 활용도가 크게 떨어지고 동시에 사용될 수 있는 채널의 수도 그에 비례하여 줄어들게 된다. 할당된 대역폭의 활용도를 높이기 위해서는 요구 대역폭을 평균 비트율 수준으로 낮추어야 하는데 이렇게 하면 반대로 전송지연이 늘어나게 되므로, 전송지연을 발생시키지 않으면서 요구 대역폭을 줄일 수 있는 새로운 방법이 필요하다.

표1. MPEG-1 데이터의 비트율

MPEG-I 영상 (384x288x8)*20	약어	평균 비트율 (Mbps)	최고 비트율 (Mbps)
자동차 경주	Race	0.61	4.05
월드컵	Socc	0.54	3.74
미식축구	Sbowl	0.47	2.82
양들의 침묵	Lambs	0.15	2.68
스타워즈	Star	0.19	2.50
007 제임스본드	Bond	0.49	4.89
심슨가족	Simp	0.37	4.81
미스터 빈	Bean	0.35	4.58
TV 토크쇼	Talk	0.29	2.14
TV 뉴스	News	0.31	3.80
전체합	산술	3.77	36.00
	멀티*	3.77	18.11

* MPEG-1 스트림들을 멀티플렉싱했을 경우이다

3. VBR 데이터 전송기법

3.1. 가용 대역폭의 활용

그림2는 1394 버스의 125μs 사이클 내에서 일어날 수 있는 대역폭 사용을 구분해 놓은 것이다. 여기에서 1394 프로토콜과 호환성을 유지하면서 추가로 등시성 전송에서 이용할 수 있는 부분은 예약된 등시성 전송에서 실제 사용하는 부분과 20%의 최소 비동기 대역폭을 제외한 부분이다. 즉, 할당되지 않은 여유 대역폭과 할당은 받았지만 실제 사용되지 않는 잔여 대역폭을 합친 80%내의 가용 등시성 대역폭이다. 이 대역폭을 이용하여 예약된 대역폭 이상으로 발생된 VBR 데이터를 전송하는 것이다. 다시 말해, 가용 대역폭을 예약하지 않고 훔치는 것이다.

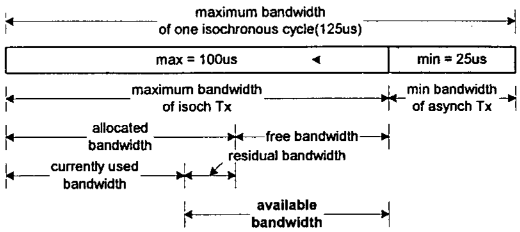


그림2. 대역폭의 구분

가용 등시성 대역폭을 이용하기 위해서는 예약된 등시성 전송들이 언제 끝났는지를 알 수 있어야 하고 20%의 최소 비동기 대역폭까지 얼마나 많은 대역폭이 남아 있는지 알 수 있어야 한다. 1394 버스는 등시성과 비동기 전송 단계를 버스 휴식 시간인 갭(gap)을 통하여 구분하기 때문에[1,2] 등시성과 비동기 전송 사이에 존재하는 가용 대역폭을 식별하기 위하여 최대 0.05μs의 등시성 갭(isoch gap)보다는 크고 비동기 전송에서 사용되는 최소 0.44μs 서브액션 갭(subaction gap)보다는 작은 갭이 필요하다. 이 갭을 **"스틸 갭(steal gap)"**이라 하고 표준규격에서 쓰이지 않고 있는 0.1μs로 설정한다.

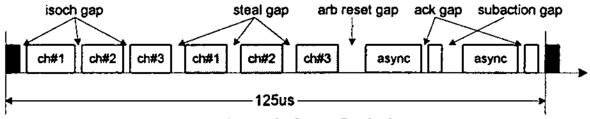


그림3. 대역폭 훔치기

그림3에서와 같이 스틸 기능을 갖춘 확장 노드는 예약한 등시성 대역폭 만큼 전송한 후에 잔여갭이 나타나면 예약 대역폭으로 전송되지 못하고 남아있는 패킷의 BWU와 가용 대역폭을 비교한 후에 전송 여부를 결정하고 그에 따라 버스 중재에 참여하고 허가된 노드는 패킷을 전송한다. 전송 가능 여부를 확인을 위한 가용 대역폭의 크기는 각 노드내에 유지되고 있는 자체 클럭을 이용한다. 이 클럭은 등시성 전송이 가능한 노드는 모두 가지고 있고, 루트 노드에서 전송되는 시작 패킷에 의해 매 사이클마다 조정되기 때문에 대역폭 계산에 사용될 수 있다[1].

스틸갭을 이용한 확장된 전송기법에서 등시성 대역폭이 전부 할당된다면 이론적으로 가용 대역폭을 전혀 이용할 수 없게 되는 상황이 발생할 수 있지만 이러한 경우에도 실질적으로 가용 등시성 대역폭은 존재할 수 있는데 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 대부분의 멀티미디어 데이터는 비트율의 변화가 심하기 때문에 표1의 전체 합에서 보는 바와 같이 다수의 VBR 채널이 함께 사용될 경우 상당한 양의 가용 대역폭이 발생할 수 있다[4]. 둘째, 요구 대역폭보다 남아 있는 대역폭이 작아 할당되지 못한 대역폭 파편(fragment)이 있을 수 있다. 세째, 1394는 등시성 전송에 관련된 수행시간(run-time) 최적화, 예를 들어, 등시성 패킷 접합(isochronous packet concatenation)[1], 전송중 중재(fly-by arbitration)[2] 등이 가능하기 때문에 전송 전에 할당된 대역폭이 실제의 패킷 전송에서는 더 작게 사용될 수 있다. 이러한 최적화에 의한 구체적인 성능 향상의 정도에 대해서는 [6]을 참조하기 바란다.

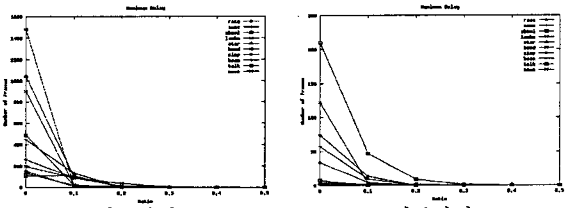
3.2. 성능 평가

제안된 전송기법의 유용성을 확인하기 위하여 자체 개발한 사건 기반 1394 버스 시뮬레이터로 표1의 30분짜리 초당 20 프레임의 MPEG 영상 데이터에 대해 실험을 하였다. 표2는 최대홉인 6인 S100(100Mbps) 버스에서 표1의 평균 비트율을 기준으로 대역폭을 예약했을 때, 기존 등시성 전송방법과 확장기법의 최대 프레임 지연시간과 등시성 대역폭의 활용도를 비교한 것이다. 이 실험에서 10개의 MPEG 데이터에 대하여 오버헤드를 포함하여 등시성 대역폭은 96%까지 할당되었다. 최대 프레임 지연시간은 각 프레임 시간에서 전송이 완료되지 못한 최대 프레임 수로 나타내었고, 등시성 대역폭의 활용도는 해당 시간동안 전송될 수 있는 패킷의 수에 대한 실제 전송된 패킷의 수로 계산되었다.

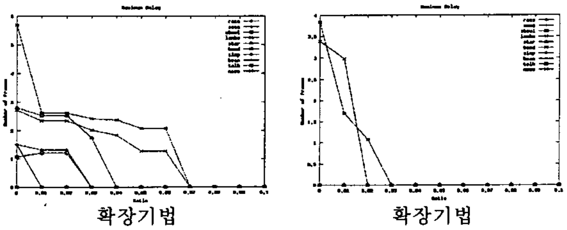
표2. 평균비트율에서 최대 지연 및 활용도

약어	기존방법		확장기법	
	최대지연	활용도(%)	최대지연	활용도(%)
Race	259	79.79	0	18.33
Socc	131	70.65	0	17.78
Sbowl	491	93.07	1	21.65
Lambs	898	57.61	0	16.97
Star	1042	72.73	2	23.12
Bond	1482	89.99	5	22.93
Simp	151	74.54	1	17.92
Bean	447	68.06	1	18.19
Talk	107	56.72	0	19.39
News	195	60.21	2	20.45

표2에서 기존방법은 MPEG 데이터의 비트율의 크기에 따라 상당한 프레임 지연이 발생하고 있지만 확장기법은 프레임 지연이 상당히 적게 나타나고 있으며 가용 대역폭을 이용하기 때문에 예약 대역폭도 더 작게 사용되고 있다. 그러나, 아무리 작은 것이라도 지연은 있다는 것은 전송 품질을 보장하는 것이 아니므로 이러한 지연을 흡수하기 위해 필요한 대역폭이 어느 정도인지 알아볼 필요가 있다. 이것을 위하여 최고 비트율(PR)과 평균 비트율(MR) 사이, 즉, 대역폭 예약에 쓰이는 요구 비트율을 **MR+(PR−MR)*Ratio**로 두고 Ratio를 변경하면서 실험하였다.



기존방법 기존방법



확장기법 확장기법

(a) 초당 20 프레임 (b)초당 30 프레임

그림4. 대역폭 할당에 따른 최대 지연

그림4는 표1의 MPEG 데이터에 대해 초당 20 프레임과 초당 30 프레임으로 설정한 두가지 프레임율에 대해 기존 방법과 확장기법을 비교한 것이다. 기존 방법은 Ratio가 0.4에 이르러서야 전송 지연이 없어진 반면 확장기법에서는 Ratio가 0.07과 0.03에서 각각 프레임 지연이 해소되었다. 즉, 평균 비트율에 근접한 대역폭을 가지고서도 1프레임 이상의 타이밍 오류없이 MPEG 스트림들을 동시에 전송할 수 있음을 보여주고 있다.

그리고, 확장기법이 초당 20 프레임보다 초당 30 프레임에서 전송지연이 더 작게 나타나는 것이 프레임율이 높을수록 더 많은 대역폭이 할당되고 그에 따라 발생되는 가용 대역폭의 크기도 증가하기 때문이다.

4. 결 론

본 논문에서 IEEE-1394 버스의 표준 전송 프로토콜과 호환성을 유지하면서 쓰이지 않고 있는 가용 등시성 대역폭을 활용하여 1프레임 이상의 지연없이 실시간 VBR 데이터를 효율적으로 전송할 수 있는 새로운 기법을 제안하였으며 MPEG 데이터를 사용한 시뮬레이션으로 그 유용성을 입증하였다. 제안기법은 가용 대역폭의 발생 정도에 따라 전송 지연이 발생할 수 있지만 실제 환경에서 100% 등시성 대역폭이 예약되고 그것이 모두 사용되는 경우가 드물고, 최악의 경우를 고려하여 약간의 여유를 두고 대역폭을 예약한다면 이러한 지연을 충분히 해소할 수 있을 것이다.

제안기법은 VBR 데이터 처리를 위한 비트율 제어나 완화와 같은 별도의 메커니즘을 필요로 하지 않기 때문에 버스 대역폭이 부족하거나 전체 버스의 활용도를 높이고자 할 때에도 손쉽게 사용될 수 있다.

참고 문헌

[1] IEEE 1394 -1995, Std. for High Performance Serial Bus, 1995.
[2] IEEE P1394a, Draft Std. For a High Performance Serial Bus(Supplement), Mar., 1998.
[3] W. Grosky, R. Jain, R. Methrotra, The Handbook Multimedia Information Management, Prentice-Hall PTR, 1997.
[4] Soung C. Liew, *et. al*, "A Control-Theoretical Approach to Adapting VBR Compressed Video for Transport Over a CBR Communication Channel," IEEE Trans. On Networking, Vol.6 No.1, Feb., 1998..
[5] Digital Interface for Consumer Electronic Audio/Video Equipment, Draft Version 2.1, Oct. 1995.
[6] B.Pearson, "Protocol Enhancements in P1394a and Why They are Important for 1394 Devices in a PC Environment," R1.0, White paper, Intel, Jan., 1998.
[7] W. Feng, Buffering Techniques for delivery of Compressed Video in Video-On-Demand Systems, Kluwer Academic Publishers, 1997.