

셀 패킹이 MPEG 비디오의 화질에 미치는 영향*

김 장 형** · 최 연 성*** · 송 왕 철**

Analysis of Relationship between MPEG Video Quality and Cell Packing Method

Jang-Hyung Kim**, Yeon-Sung Choi*** and Wang-Cheol Song**

ABSTRACT

In ATM-based B-ISDN, the traffic characteristics for the video signal are quite different from those of the data and/or voice. Serious problems of the quality of picture is brought due to a little cell loss. The output bits stream of MPEG encoder consists of macroblocks of different lengths. In this paper, we analyze packing methods of these macroblocks into ATM cell. Two kinds of packing approach, which are loosely and closely packing, to pack the video signal to ATM cell are considered. Loosely packing increases traffic in the networks. But it is shown that while due to cell loss for high speed video service loosely packed cell is robust in quality than closely one. We prove these theoretical approach and simulation results for real MPEG video.

Key words : ATM, Macroblock, Loosely Packing, Closely Packing

이 서 론

ATM망은 간단한 전송양식, 정보원의 유연한 전송율, 그리고 시변 전송율 등의 장점에도 불구하고, 셀손실을 피할 수 없다. 이러한 셀손실은 전송 품질에 심대한 영향을 미친다⁽¹⁾. B-ISDN 시스템에서는 고품질의 높은 신뢰도가 요구되므로 셀손실률은 가능한 한 낮아야 하므로 이를 위한 방안이 연구되어야 한다.

일반적으로 셀손실을 보상할 수 있는 좋은 대책은 재전송이다. 그러나 이것은 시간 제한이 있는 음성과 비디오 신호에 대해서는 실용적이지 못하다. 지금까지 크게 두 가지 방식으로 이 문제를 해결하려 하였는데, 그 하나는 트래픽 제어 또는 망 관리에 의해 셀손실을 최소화하는 것이며, 다른 하나는 셀 결손이 화질에 미치는 영향을 가능한 한 적게 부호화하는 것이다⁽²⁾. 부호화에는 비디오신호의 송출측에서 압축시 손실에 강인하게 압축하는 층별 부호화(layered coding)로 대표되는 소스 부호화(source coding)와 전송선로에서의 오류를 보상하기 위한 FEC (Forward Error Correction)로 대표되는 채널 부호화가 있

* 이 연구는 1995년 제주대학교 발전기금 학술연구비로 이루어졌습니다.

** 제주대학교 정보공학과
Dept. of Information Eng., Cheju Nat'l Univ.

*** 군산대학교 정보통신공학과
Dept. of Telecommunication Eng., Kunsan Nat'l Univ.

다. 즉, 셀손실 자체를 억제하는 방법과 손실되더라도 나머지의 온전한 셀로서 화질을 개선하는 방법을 고려할 수 있다.

본 논문에서는 그러나 이상의 보상기법과는 달리 압축된 정보의 비트스트림이 셀로 조립될 때, 한 압축단위가 셀의 여분이 부족하여 다음으로 이월될 경우, 오버플로우만큼만 이월시킬 것인지, 아니면 압축단위 전부를 이월시킬 것인지에 관하여 논한다. 왜냐하면 이들 중 어느 방법을 택하느냐에 따라 동일한 셀손실율이라도 화질에 미치는 영향이 다르기 때문이다.

본 연구에서는 디지털 비디오의 특별한 압축 방식을 이용한다. 이 방식의 특징은 다음과 같다.

- (1) 변환부호화와 예측부호화를 기반으로 한다.
- (2) 프레임내의 변환부호화로는 DCT(Discrete Cosine Transformation)를 사용하며, DCT는 블록을 기본단위로 삼는다.
- (3) 프레임간의 예측부호화로는 움직임벡터에 의한 움직임추정(motion estimation)을 사용하며, 매크로블록을 그 기본 단위로 삼는다.
- (4) 블록은 반드시 매크로블록의 부분집합이 된다.

이런 특징을 갖는 압축방식은 H.261, MPEG-1, MPEG-2가 대표적이며⁽³⁾, 본 논문에서는 MPEG-1을 실험데이터를 수용할 수 있게 수정하여 이용하였으나, 제안된 방식은 이상의 특징을 가지는 부호화방식이면 다 적용된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 ATM망에서 비디오전송법, 이 때 야기되는 제반 문제, 전송을 위한 비디오 압축술에 관하여 기존의 연구를 중심으로 고찰한다. 제3장에서는 같은 손실율하에서 셀조립방식에 따라 화질이 달라질 수 있음을 보이며, 제4장에서는 완전 움직임 비디오(full-motion video)를 실험 대상으로 제안된 방법의 유효성을 검증하였으며, 제6장에서 결론을 맺는다.

II ATM망에서의 MPEG 비디오 전송

2.1 셀 비디오의 전송 특성

ATM망을 통한 비디오전송 과정이 Fig. 1에 블록 다이어그램으로 나와 있다. 여기서 셀의 길이는 B-ISDN에서 채택한 53옥텟으로 가정한다. 이 그림에서 보는 바와 같이 아날로그 비디오신호는 디지털 신호로 바뀐 다음, 부호화를 통해서 압축된 비디오신호로 출력되는데, 부호화 방법에 따라서 조금씩 다르지만, 대부분의 경우에 압축되어 출력된 비디오신호는 시간에 따라 변하는 대역폭을 가진 가변 비트율의 흐름을 나타낸다.

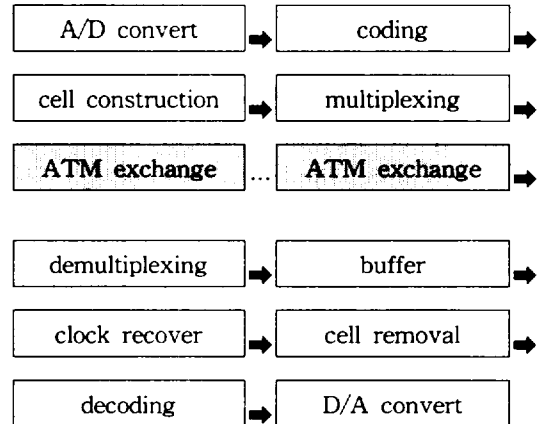


Fig. 1 Video transmission in ATM network

압축된 비디오신호는 셀 조립기(cell assembler)에서 헤더가 더해져서 셀이 되는데, 이때 지연이 발생한다. 이것은 압축된 영상신호의 대역폭이 변하는 정도에 따라 다르지만, 압축된 영상신호의 평균 대역폭이 1Mbps~100Mbps이면 시간 지연은 평균적으로 5ms~400ms 정도가 된다.

셀 조립이 끝난 다음, 이 비디오 셀들은 셀 다중화(통계적 다중화) 및 ATM교환망을 통해서 수신 단말기에 도착하게 된다. 이 때 망내의 트래픽 상태에 따라서 셀 지터와 손실이 생기는데, 이 지터와 손실은 수신 단말기에서 보상이

되어야 한다.

망내에서의 셀 손실의 원인은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 하나는 통신량의 증가 상태에 따라 각 ATM교환기 및 다중화기의 한정된 버퍼 메모리 때문에 생기는 것이고, 또 다른 원인은 전송 시스템에서 생기는 비트 오류가 패킷 헤더의 번지 부분에 발생하면 예정된 수신 단말기에 도착하지 못하게 되어 생기는 것이다. 셀들이 도착하면 수신 단말기에서는 먼저 도착한 셀 중 잘못 도착한(misdelivered cell) 셀을 가려내고, 잃어버린 셀을 보상한 다음에 버퍼 메모리에 저장하게 된다. 이 수신 단말기의 버퍼는 셀 지터를 없애는 역할을 하게 되는데, 즉 셀마다 다른 변동 지연(variation delay)을 보상함으로써 지연을 일정하게 한다.

그런 다음 버퍼 메모리로부터 부호기의 클럭에 따라서 셀이 읽혀지는데, 이 때 송신쪽의 부호화 클럭과 수신쪽의 복호화 클럭이 다르게 되면 셀의 추가 손실이 발생하게 된다. 따라서, 수신 단말기에는 셀의 추가 손실을 막기 위한 클럭 동기 회로가 필요하다.

광대역 셀 통신은 시간 지연, 셀 지터 그리고 셀 손실이라는 세 가지의 문제점을 해결하여야 한다. 이 중 "순수한 시간 지연"은 대역폭 조정 버퍼가 필요치 않으므로 현재 회선 교환망에서의 지연보다 크지 않을 것으로 예상된다. 따라서, 셀 지터 보상 및 이를 위한 수신 단말측의 클럭 동기 재생, 손실된 셀의 복원 및 보상이 셀 비디오 통신의 주된 문제점으로 남게 된다.

2.2 MPEG 부호화의 계층과 모드

2.2.1 부호화계층

MPEG 비디오는 블록, 매크로블록, 슬라이스, 화상의 4계층으로 구성된다⁽³⁾.

한 블록은 최소의 코딩단위이다. 이것은 8×8화소로 구성되며, 휘도(luminance ; Y), (red chrominance ; Cr), (blue chrominance ; Cb)의 3가지 유형중 하나이다. 블록은 프레임내 DCT코드화 프레임의 기본단위이다.

매크로블록(macroblock)은 기본적인 코딩단위

이다. 이것은 한 프레임내에서 16×16화소로 이루어지며, 색채요소는 휘도요소에 비해 수직과 수평방향으로 해상도가 1/2이므로, 1 매크로블록은 4Y, 1Cr, 1Cb블록으로 구성된다.

슬라이스는 한 프레임내의 한 수평 스트림으로 MPEG 코딩구조에서 기본 처리단위가 된다. 블록과 매크로블록에 대한 코딩동작은 1 슬라이스에서의 모든 화소가 사용될 수 있을 때에만 수행된다. 슬라이스는 그 근방들(neighbors)과 독립되어 코딩되므로 하나의 자율단위이다.

MPEG 용어에서 화상(picture)은 디스플레이의 기본 단위이며 비디오열에서 단일 프레임에 해당된다. 한 프레임의 공간적 차원은 가변이며, 응용분야에 따라 결정된다.

2.2.2 부호화모드

MPEG 부호화방식에서는 프레임과 매크로블록을 어떻게 선택하느냐에 따라 몇 가지 모드가 있다⁽³⁾. 인코딩 프레임으로는 프레임내(intraframe : I), 예측(predictive:P), 보간(interpolative : B)의 3가지 모드가 사용되며, 랜덤 액세스가 가능한 I picture를 기준으로 I, P, B를 묶어 하나의 GOP(Group Of Picture)를 구성한다.

화면내의 모든 매크로블록이 Intra Mode로만 구성되기 때문에 시간적 중복성은 여전히 존재한다. 채널 전환시의 원화복구나 오류의 전파를 막기 위하여 일정 간격으로 I(Intra) Picture를 두어야한다. I Picture는 전체화질에 절대적인 영향을 미치므로 P, B Picture에 비해 고화질을 유지할수 있도록 부호화하여야 한다.

현재 프레임에 대해서 이전 프레임의 I Picture 혹은 P(Predictive) Picture를 기준으로하여 순방향 움직임 보상 예측기법을 적용하여 시간적 중복성을 제거한다. GOP의 구조적 특징 때문에 P Picture는 이어지는 P Picture보다는 다소 떨어지지만 B Picture보다는 나은 화질을 유지하여야 한다.

현재 프레임에 대해서 이전 프레임의 I/P Picture 그리고 다음 프레임의 I/P Picture로부터 각각 움직임 보상된 순방향 예측화면, 역방

향. 예측화면, 순방향 및 역방향을 보간한 화면을 사용하여 세가지 예측신호를 얻어낸 후 이들 예측신호 중 최적의 것을 영상간의 예측신호로 사용하여 시간적 중복성을 제거한다. GOP의 구조상 B(Bidirectional) Picture는 다른 Picture에 영향을 주지 않으므로 I, P Picture에 비해 가장 적은 비트를 할당하여 부호화 한다. 평균적으로 I, P, B Picture 각각으로 부터의 비트 발생량은 15 : 5 : 1 정도의 비율이 된다.

전체프레임(프레임내+프레임간) 대 프레임내의 비는 파라미터 N에 의해 결정($N=I/(I+B+P)$) 된다. GOP구조 단위로 Picture를 부호화하면 한개의 GOP마다 I Picture, $N/M-1$ 개의 P Picture, $N-1-P$ 개의 B Picture로 구성된다. 여기서 파라미터 M은 I Picture와 P Picture사이의 B Picture의 갯수+1를 말하는 변수이고, N은 한 GOP구조를 의미하는 것이다. 여기서 N, M등의 변수가 클수록 부호화/복호화 지연이 길어지며 랜덤 액세스 시간 또한 길어지는 단점이 있다. 이 파라미터에 따라 부호기는 순수한 프레임내 부호기($N=1$)가 되든지, 아니면 Fig. 1($N=16$)와 같은 프레임내/간 혼성 부호기가 된다.

프레임내 모드에서 코드화된 프레임은 프레임내 코드화방식으로 코드화된 매크로블록만을 포함한다. 예측과 보간(프레임간) 코드화 프레임은 움직임 보상내지 프레임내방식으로 코드화될 수 있다. 어떤 코딩모드를 채택하느냐가 코딩 효율에 영향을 준다. 전형적인 코딩모드의 순차열이 Fig. 2에 있다.

각 코딩모드에 대하여 고정 양자화기 행렬(fixed quantizer matrix)을 사용하면, 단일 파라미터인 양자화기 등급(quantizer scale) q에 의해 모든 양자화 레벨을 조정할 수 있다. CBR코딩에서 이 파라미터는 발생하는 비트수가 목표로 설정된 비트율의 범위내에 들도록 비트율을

동적으로 가변시키는데 사용된다. 러나 q의 변화는 수신측에서 재구성된 프레임의 화질을 가변시킨다. VBR비디오에서는 전 프레임에서 일정한 화질을 유지하기 위하여 q는 변화되지 않는다.

III 셀 패킹과 손실과의 관계

이 절에서는 MPEG 비디오를 어떻게 ATM의 셀에 패킹(cell packing)할 것인가에 관하여 고찰한다. MPEG 비디오는 매크로블록단위로 부호화되고 복호화되므로, 패킹의 기본 단위는 매크로블록이 된다. 비디오의 특성(움직임, 칼라, 조명 등)에 따라 압축률이 달라지므로, 매크로블록의 크기 또한 달라진다. 매크로블록은 그 위치에 따라서도 크기가 달라진다. 가령 배경에 비하여 움직이는 물체에 해당하는 부분은 매크로블록이 크다. 한 GOP내에서도 $I>P>B$ picture의 순으로 평균 매크로블록의 크기는 다르다.

본 논문에서는 매크로블록을 셀에 패킹할 때 발생할 수 있는 2가지 경우를 놓고 비디오신호의 경우에는 어느 방식이 우수한지를 판정하고자 한다. 단, 이 분석 결과는 서론에서 전제한 압축방식을 따르는 비디오에 한한 것이지 여타의 미디어에도 공히 통용되는 결과는 아닐 것이다.

3.1 패킹의 기본 구조

매크로블록은 가변 길이이며, 따라서 각 매크로블록의 효율적인 패킹법이 고려되지 않으면 안된다. 송신측에서의 데이터구조는 매크로블록의 비트길이 l_m 가 셀길이 l_c 보다 짧을 경우와 길 경우로 나누어 고려할 수 있다^(4,5). 그리고 l_m 가 변이나 l_c 은 고정이므로 정확히 부합되기 어려우며, 패킹후에 대개 셀의 마지막에 자투리가

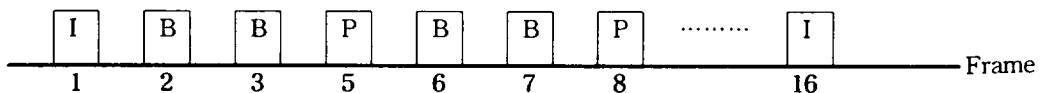


Fig. 2 Coding sequence in frame level

남는다. 이 자투리를 채우려면 하나의 매크로블록은 반드시 2개의 셀 이상으로 나뉜다. 우선 비디오셀의 송수신과정을 논의하기 위하여 자투리를 채우지 않는 경우를 가정한다.

전송 데이터구조가 Fig. 3에 있다. 매크로블록의 길이가 한 셀의 길이보다 짧을 때, Fig. 3(a)에서처럼 한 셀은 다수의 블록을 포함할 수 있다. 셀의 첫번째 블록은 셀손실로 인한 영향을 국지화하기 위하여 절대주소(AA : Absolute Address)를 지니며, 그 셀의 다른 블록들은 효율적인 주소부여를 위하여 상대주소(RA : Relative Address)를 갖는다. 한 셀의 유효정보는 '마지막 정보(end-of-information : EOI) 코드'로 그 끝을 나타낸다. 이 코드는 블록의 비트길이가 얼마 남지 않았을 때, 셀 조합에 따른 지연(packaging delay)을 감소시키기 위하여 사용된다.

셀의 헤더에 40비트가, 페이로드에 383비트가 할당된다(오류정정용 부호 미부착)고 가정하자. 16×16 크기의 매크로블록의 각 화소당 12비트가 밝기와 칼라를 위해 쓰이고, 압축율이 100 : 1이라면, 그 매크로블록의 크기는 245.76비트가 된다. 따라서 이어지는 매크로블록이 나머지 137.24비트보다 짧다면 연이어 채워지며, 그렇지 못하다면 여백비트(fill bits)들로 채워진다.

앞의 예의 경우에 매크로블록의 크기가 페이

로드보다 더 길려면, 압축율은 64 : 1 이하가 되어야 한다. MPEG의 경우 대부분 이 이상이지만 I Picture에서는 이하도 충분히 가능하다.

이처럼 매크로블록의 길이가 셀의 길이보다 길 때, 매크로블록은 Fig. 3(b)에서 보듯이 다수의 셀로 나뉜다. AA는 첫 셀내의 블록 헤더에 부착되며, 동시에 연결 플래그(continuation flag)가 타 셀내의 그 영역에 부착된다.

이런 데이터구조에서는 셀조합 효율(packaging efficiency)과 오류 복구간의 트레이드오프가 고려되지 않으면 안된다. 즉, 오류 복구를 고려한다면 가급적 한 셀은 적은 수의 매크로블록을 포함해야 한다. 매크로블록의 크기 또한 이 점을 고려하여 결정되어야 한다.

3.2 MPEG 비디오신호의 셀 패킹

효과적인 비디오 압축을 위해서는 주요한 비디오 정보가 담겨있는 매크로블록만을 코드화하여 이것들에 상대적으로 주소를 부여한다. 이럴 때 어떻게 매크로블록을 셀로 패킹할지가 과제이다. B-ISDN에서 비디오 압축과 셀손실로 인한 화질 열화, 또 그 보상법 등에 관해서는 연구가 많았으나, 셀 패킹과 화질의 관계를 고찰한 연구는 거의 없었다. 본 연구에서는 비디오 신호의 셀 패킹과정을 상세히 분석하므로써, 과

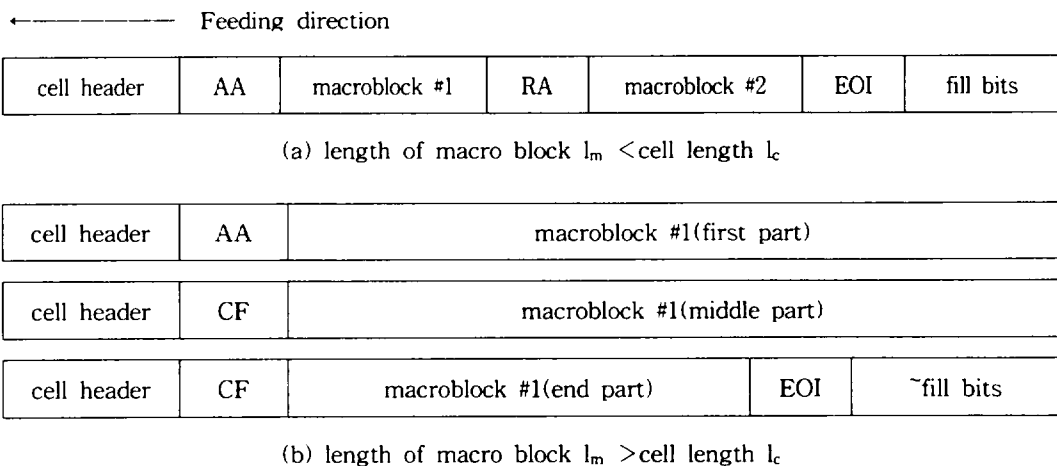


Fig. 3 Structure of packing video data

연 어떤 방식이 더 효율적인지를 검토하고자 한다.

셀의 48바이트의 페이로드에서 매크로블록의 2가지 가능한 조립법을 Fig. 4에서 보여주고 있다. Fig. 4(a)는 밀착패킹(close packing)으로 코더로부터 입수되는 정보를 셀이 가득 찰 때까지 계속해서 셀화하며, 따라서 한 셀의 마지막 매크로블록이 이어지는 셀에 나뉠 수 있다. Fig. 4(b)는 여유패킹(loose packing)으로 각각의 셀은 정수개의 매크로블록을 담고 있다⁽⁵⁾.

두 방식에서 셀내의 첫번째 완전한(이전으로부터 이월되지 않은) 매크로블록에는 AA를 부여하며, 그리고 다음에 계속되는 매크로블록은 통상 RA를 부여한다. 첫번째 매크로블록에서 AA의 사용은 셀이 안전하게 도착한 뒤에 셀손실의 확대를 방지한다.

AA와 별도로 셀번호와 영상프레임번호도 필요하다. 오버헤드 정보가 남아있는 페이로드 용량에 영향을 미치므로, 두 기법을 비교하기 위해서는 어떤 오버헤드가 더 소요되는지가 분명해야 하나, 아직까지 VBR에서의 오버헤드에 대한 구체적인 표준이 제시된 바 없다. AAL 유형 1의 CBR은 48바이트의 페이로드 중에 셀 순번을 위해 1바이트(순번비트와 보호비트)를 할당한다. 여기서도 순번에 8비트를 할애한다. 그리

고 프레임번호에 보호용 오버헤드를 포함하는 5비트를 가정하였다. MPEG 코덱에서는 352×288화소의 프레임안에 396매크로블록의 절대번호화를 위해서 9비트($2^9=512>396$)가 요구된다.

또, 밀착패킹은 Fig. 4에 표시된 바와 같이 VLC환경하에서 AA의 위치를 찾아내기 위한 구분패턴(unique patten)이 추가된다.

여유패킹을 위한 총 오버헤드는 2.75바이트이며 밀착패킹은 11비트의 구분패턴이 있으므로 총 오버헤드가 4.125바이트이다. 매크로블록의 페이로드부분이 여유패킹시는 45.25 바이트가, 그리고 밀착패킹을 위해서는 43.875바이트가 사용된다.

3.3 매크로블록의 크기와 개수 분포

포아송분포는 짧은 시간구간에 두번 이상 성공할 확률이 작으며, 일정시간에서 발생하는 성공의 횟수는 다른 임의의 구간에 일어나는 성공의 횟수와는 독립이다. Ghanbari 등이 TV방송으로 부터 얻어진 서로 다른 각 5개의 비디오열로 실험을 한 결과, 매크로블록의 크기분포는 아래의 옅섯 포아송분포로 근사화될 수 있음이 밝혀졌다⁽⁵⁾.

$$p(b) = \frac{\lambda^{(b-1)}}{(b-1)!} e^{-\lambda} \quad (3-1)$$

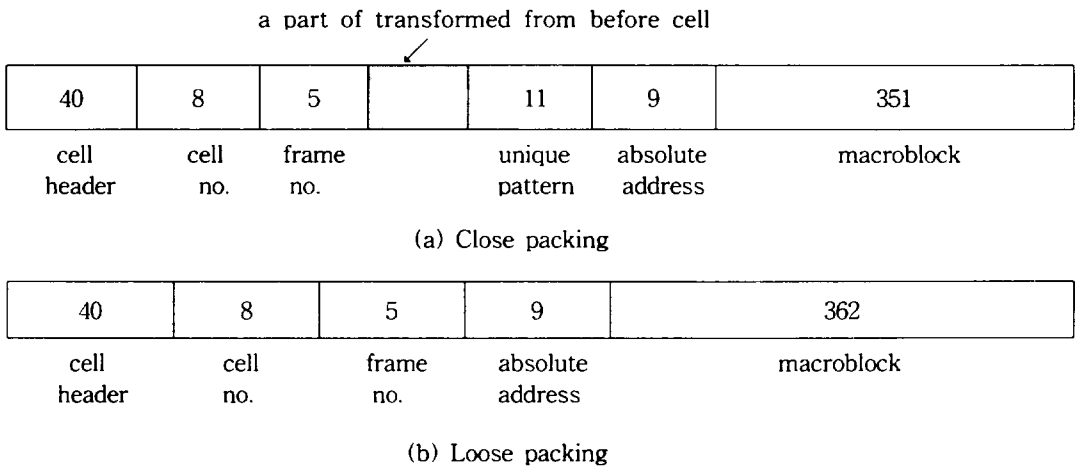


Fig. 4 Packing ATM cell into payload

여기서 b 는 매크로블록의 크기이며, 이 분포의 평균은 $\lambda' = \lambda + 1$ 이다. 본 논문에서도 이 분포를 채용하는데, 그 이유는 측정치와 매우 근접하며, 분석이 단순하기 때문이다. 사실, 비디오열의 가변특성 때문에 더 이상의 정확한 표현은 얻기 힘들다.

움직임정도에 따라 매크로블록의 평균크기는 달라지며, 대개 10~12바이트 정도의 평균을 가지는 것으로 알려져 있다. 그러나 대상 비디오열의 특성에 따라 다르며, 그리고 어떤 크기의 양자화 단계가 사용되어야 하는지에 대해 아직 납득할 만한 견해가 없으므로 이 값에 너무 집착할 필요는 없다.

Fig. 3(b)에서 보여준 1셀 이상이 요구되는 소수의 매크로블록은 이 논문에서 무시한다. 왜냐하면 그것들은 밀착패킹으로 취급될 수 있으며, 이어지는 셀은 구분패턴을 사용한다.

여유패킹일 경우, 한 셀당 매크로블록 갯수는 m , 그것이 차지하고 있는 바이트수가 b 라고 하자. 결합확률분포는 다음과 같다.

$$p(m, b) = \begin{cases} \frac{m\lambda^{(b-m)}}{(b-m)!} \exp(-m\lambda) & b \geq m \\ 0 & \text{기타} \end{cases} \quad (3-2)$$

여유패킹에서 한 셀당 조립될 수 있는 최대 바이트수를 b 라하면

$$p(b) = \sum_{m=1}^{C_i} p(m, b) [1 - \sum_{k=1}^{C_i-b} p(1, k)] \quad (3-3)$$

이다. 여기서 C_i 은 여유패킹시 페이로드의 길이이다.

이러한 상태에서는 셀이 가득찰 경우(셀만원)는 $\frac{b}{C_i}$ 이므로 총 셀에 매크로블록이 가득찰 확률을

$$F_m = \frac{1}{C_i} \sum b p(b) \quad (3-4)$$

로 나타낼 수 있다.

여유패킹과 밀착패킹시의 시스템 용량 관계는

$$R_c = \frac{C_i F_m}{C_c} \quad (3-5)$$

이다.

3.4 패킹방식과 셀손실의 관계

셀폐기의 주요인은 두가지인데, 첫째는 헤더에서의 랜덤 비트 에러이며, 둘째는 다중화기나 상호연결 노드에서의 버퍼 오버플로우 때문이다. 헤더는 HEC가 비트에러를 방지하나 버퍼 오버플로우에 대해서는 보호패턴(Protection bit pattern)이 없다. 더우기 랜덤 비트에러로 인한 셀손실 또한 랜덤하므로 그로 인한 화질 열화는 소폭인 반면, 버퍼 오버플로우로 인한 셀손실은 연속적이어서 화질 열화가 상당하다^(6,7).

밀착패킹했을 경우 셀손실은 셀 안에 담겨져 있는 완전한 매크로블록뿐만 아니라, 다음으로 이전된 매크로블록의 일부에도 영향을 준다. 설사 매크로블록의 일부만이 손실되었다치더라도 디코더에서는 하나의 매크로블록이 완전히 손실된 것과 그 효과가 동일하다. 그러므로 두 방식을 비교하기 위해서는 매크로블록의 손실을 고려하지 않으면 안된다.

패킹방식에 따른 매크로블록의 손실 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 아래의 몇가지 파라미터를 정의하여 그 관계를 살펴본다.

- (1) 1셀당 이월되거나 이월받지 않은 완전한 셀의 개수 N_m
- (2) 여유패킹시 1셀당 매크로블록의 개수 N_i
- (3) 밀착패킹시 1셀당 매크로블록의 개수 N_c
- (4) 여유패킹시 1셀의 손실로 영향받은 매크로블록의 개수 L_i
- (5) 밀착패킹시 1셀의 손실로 영향받은 매크로블록의 개수 L_c

Fig. 5의 경우 이상의 파라미터의 값은 $N_m=4$, $N_i=4$, $N_c=5$, $L_i=4$, $L_c=6$ 이다. 이때의 파라미터치는 모두 평균치이며, N_c 는 Fig. 5(b)에서 알 수 있듯이 평균 N_m+1 이다.

밀착패킹시 셀의 시작부분과 매크로블록의 시작부분이 일치되거나 셀의 끝부분과 매크로블록

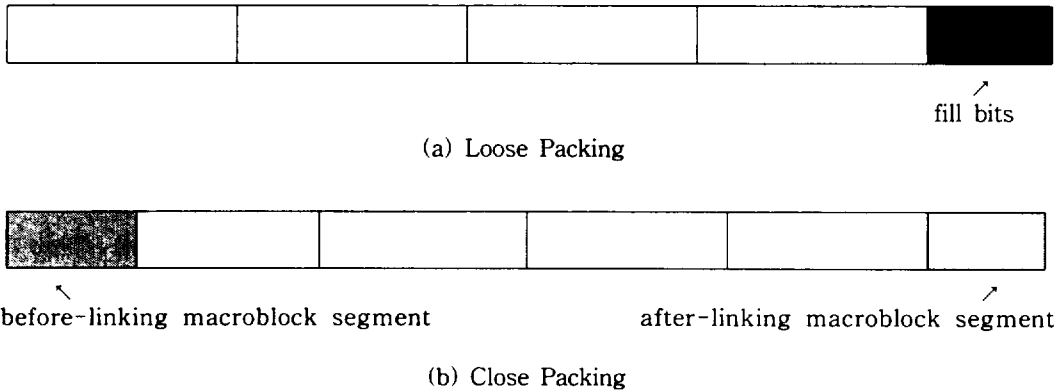


Fig. 5 Macroblock numbers related to packing type

의 마지막 끝부분이 일치되는 경우가 발생하지만 확률적으로 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 본 논문에서는 다루지 않는다.

N_m 을 기준으로 위에서 정의한 파라미터들을 구해보면, 셀손실과 영향받는 매크로블록 개수와의 관계를 뚜렷이 알 수 있다. 여유패킹을 하면 밀착패킹에 비하여 셀의 수가 증대되므로 그만큼 트래픽이 많아진다. 트래픽의 증대는 체중의 원인이 되므로 손실을 가중시킨다. 즉, 트래픽 관리의 관점에서는 밀착패킹이 우수하다.

반면에 밀착패킹은 1셀이 손실되면 그 셀의 N_m+2 의 매크로블록이 손실된다. 매크로블록의 손실은 압축된 비디오의 화질에 큰 영향을 미치며, MPEG 같은 예측기법을 이용한 프레임간 압축방식에서는 손실로 인한 훼손은 다음 프레임에 확대되어 전파된다. 그러므로 화질 열화의 관점에서는 여유패킹이 우수하다. Table 3-1은 N_m 을 기준으로 여러 파라미터를 계산하여 비교하고 있다. 대개 N_m 은 그 범위가 $5 < N_m < 17$ 정도라고 실험적으로 알려져 있다.

Table 1에서 알 수 있듯이 N_c/N_i , 즉 여유패킹에 비하여 밀착패킹을 할 때에 더 수용할 수 있는 매크로블록의 비율에 비하여, L_c/L_i , 즉 여유패킹에 비하여 밀착패킹시 손실되는 매크로블록의 비율이 더 크다. 밀착패킹은 여유패킹에 비하여 그다지 많지 않은 매크로블록을 수용하지만, 셀손실이 발생하면 훨씬 많은 영향을 받

Table 1 Relationship of lost macroblock and packing methods

N_m	N_i	N_c	L_i	L_c	N_c/N_i	L_c/L_i
1	1	2	1	3	2.00	3.00
2	2	3	2	4	1.50	2.00
3	3	4	3	5	1.33	1.67
4	4	5	4	6	1.25	1.50
5	5	6	5	7	1.20	1.40
6	6	7	6	8	1.17	1.33
7	7	8	7	9	1.14	1.29
8	8	9	8	10	1.12	1.25
9	9	10	9	11	1.11	1.22
10	10	11	10	12	1.10	1.20
11	11	12	11	13	1.09	1.18
12	12	13	12	14	1.08	1.17
13	13	14	13	15	1.08	1.15
14	14	15	14	16	1.07	1.14
15	15	16	15	17	1.07	1.13
16	16	17	16	18	1.06	1.13
17	17	18	17	19	1.06	1.12
18	18	19	18	20	1.06	1.11
19	19	20	19	21	1.05	1.11
20	20	21	20	22	1.05	1.10

는다는 것을 알 수 있다.

셀당 손실된 매크로블록을 추정해보면 밀착패킹이 여유패킹보다 크다고 할 수 있으며 이는 움직임이 심한 경우일수록 더욱 분명해진다.

물론 엄밀히는 채택한 움직임보상법에 따라 다르겠지만 셀손실은 비디오 화질에 심각한 영향을 미치므로 밀착패킹을 셀손실에 강인하다고 볼 수 없다.

IV 실험 및 고찰

실험을 위해서는 전용 하드웨어 시스템을 구축해야 하나⁽⁸⁾, 비디오신호를 실시간 캡취하여 저장할 프레임 메모리가 준비되지 않아, 실제로는 ITU-R 601양식의 디지털 비디오를 디스크에 저장하여 사용하였다. 사용한 MPEG 비디오의 테스트소스는 YCbCr의 3요소로 구성된다. 코딩 알고리즘에서 이 3요소는 3개의 독립된 소스로 취급된다. 움직임추정은 Y요소에 대해서만 수행되어 그 결과를 Cb, Cr요소로 넘겨준다.

비디오소스는 프레임당 720×480화소, 초당 30프레임의 ITU-R 601포맷으로 된 완전 움직임 칼라 비디오열이다.

본 논문에서는 테스트 시퀀스로 'flower garden (A)', 'mobile(B)', 'football(C)'의 800프레임을 시뮬레이션 데이터로 사용하였다. 'flower garden'은 카메라 트래킹이 있는 비디오로 꽃이 핀 정원의 모습이다. 'mobile'은 움직이는 장난감 기차를 따라 카메라가 천천히 패닝한다. 'football'은 미식축구경기 장면으로 움직임이 비교적 크고 빠르게 배경은 고주파 성분이 많다.

여기서 MPEG은 기존의 MPEG-1 S/W패키지를 응용하였으며, 조립과 해제는 ATM망의 계층별 기능을 무시하였고, FEC 등의 채널코딩 단계를 전혀 사용하지 않았다. 본 논문에서는 특히, 셀 패킹/해제, 손실과 복구를 중심으로 실험하였다. 셀을 폐기하는 위치는 선두의 셀부터 차례대로 균일난수의 수치를 하나씩 할당하여 할당된 수치가 큰 셀부터 필요한 갯수만큼 폐기하는 방법에 의해 결정했다. 이 방법으로는 원하는 손실율에 따라 랜덤하게 폐기된다. 따라서 재생영상중에서 폐기개소는 프레임마다 다른 위치에서 관측된다.

밀착패킹의 경우 셀 손실은 셀 안에 담겨져

있는 완전한 매크로블록뿐만 아니라, 다음으로 이전된 매크로블록의 일부에도 영향을 준다. 설사 매크로블록의 일부만이 손실되었다 치더라도 디코더에서는 하나의 매크로블록이 완전히 손실된 것과 그 효과가 동일하다. 그러므로 두 방식을 비교하기 위해서는 매크로블록의 손실을 고려하지 않으면 안된다.

Fig. 6은 식 (3-4)에 의한 매크로블록의 평균 크기와 셀만원(cell fill) 확률과의 관계를 보여 준다. 매크로블록의 크기가 작을수록, 즉, 압축율이 좋을수록(장면의 변화가 적다) 만원이 될 확율은 높아진다. 매크로블록의 크기가 9바이트 이하일 때는 만원이 될 확율이 90% 이상이다. 이는 바꾸어 말하면, 평균 매크로블록의 크기가 9바이트 이하일 경우는 48옥텟의 10%인 4.8옥텟 정도의 여백을 남기고 채워짐을 뜻한다.

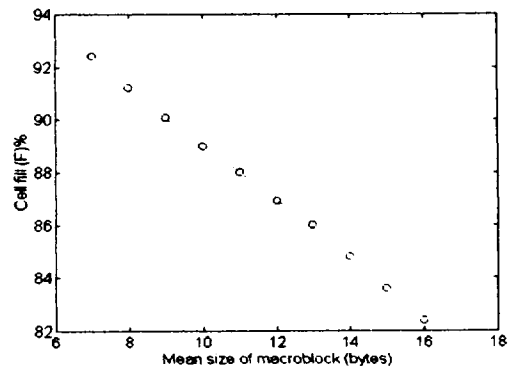


Fig. 6 Variation of cell fill with mean size of macroblock

Table 2은 3가지의 평균 매크로블록 크기(6.9, 11.1, 16.1)에 따른 여유팩킹된 셀과 밀착 팩킹된 셀간의 전달용량을 비교하여 보여 준다. 이 결과에 의하면 여유팩킹된 셀에 들어가는 비디오 신호는 밀착 팩킹된 것보다 전달용량이 적어서 여분의 셀이 더 필요함을 알 수 있다. 그리고 매크로블록의 크기가 클수록 여백 또한 크게 되어 전달용량은 더욱 줄게 된다.

Table 3는 확률분포에 따른 이론적 산출에 의하여 매크로블록의 크기와 폐기된 셀당 들어

Table 2 Capacity of Loosely Packed Cells relative to Closely Packed Cells

Mean Macroblock Size(bytes)	cell fill F_m	Carrying Capacity (Relative to close packing) R_c	Capacity Reduction %
6.9	0.925	0.954	4.6
11.1	0.878	0.906	9.4
16.1	0.823	0.849	15.1

Table 3 Theoretical Analysis of Macroblocks Lost Per Cell Discard

Sequence	Coded Bit Rate (kbits/s)	Mean No. of bytes in a Macroblock	Mean No. of Lost Macroblocks per Cell		Close/Loose Packing Ratio
			Close Packing	Loose Packing	
A	545	6.9	8.04	6.08	1.32
B	644	8.14	7.11	5.06	1.41
C	1275	16.1	4.59	2.31	1.99

Table 4 Experimental Results Of Macroblocks Lost Per Cell Discard

Sequence	Coded Bit Rate (kbits/s)	Macroblocks Requiring More Than One Cell %	Mean No. of Lost Macroblocks per Cell with 0.1% Cell Loss		Close/Loose Packing Ratio
			Close Packing	Loose Packing	
A	545	0.75	8.62	6.7	1.29
B	644	0.92	7.64	5.50	1.39
C	1275	7.32	4.96	2.63	1.89

있는 평균 매크로블록의 개수와의 관계를 보여 준다. 전송률은 초당 30프레임의 전송을 가정하여 부호기에서 생성되는 프레임당 총비트수×30으로 계산한 것이다. 여기서 알 수 있듯이 밀착패킹은 여유패킹에 비하여 셀손실당 적게는 132% 정도, 많게는 199% 정도의 매크로블록이 유실됨을 알 수 있다. Table 2과 비교해 볼 때, 밀착패킹은 여유패킹에 비하여 겨우 5~15% 정도의 전달용량이 확장되나, 하나의 셀이 손실되었을 때에 무려 132%~199%정도의 매크로블록이 유실되므로 트래픽 증가에 비하여 화질에 미

치는 영향은 매우 심각함을 알 수 있다. 포아송 분포가 아니라 Table 1의 균등분포를 이용했을 때와도 거의 유사한 결과를 보여준다. 대략 매크로블록의 손실은 밀착패킹이 여유패킹보다 2개 정도 많다는 것을 알 수 있다.

Table 4은 시뮬레이션한 결과 얻어진 폐기된 셀당 포함된 매크로블록의 개수를 보여준다. 확률분포에 의한 Table 3의 결과와 매우 유사함을 알 수 있다. 단, 비디오 C의 경우가 A와 B에 비하여 이론치와 실제치가 차이가 심함을 볼 수 있는데, 이는 이론적 분석을 간단히 하기

위하여 한 셀 이상을 차지하는 매크로블록은 무시했기 때문이다.

즉, 'football'처럼 움직임이 빠른 비디오에서는 압축률이 낮아져 매크로블록의 크기가 커지며, 경우에 따라서는 1셀을 능가할 수 있다. Table 4에서 알 수 있듯이 거의 1.275Mb/s의 전송률로 코딩된 C와 같은 비디오는 한 셀 이상을 차지하는 매크로블록의 비율이 상당히 높다.

이상의 실험 결과에 따라, 셀당 손실된 매크로블록을 추정해보면, 밀착패킹이 여유패킹보다 크다고 할 수 있으며, 이는 움직임이 심한 경우 일수록 더욱 분명해진다. 물론 엄밀히는 채택한 움직임보상법에 따라 다소 달라진다.

트래픽의 증가는 셀폐기의 직접적인 원인이 되므로 가급적 밀착패킹으로 페이로드를 최대한 활용하는 편이 좋다. 그러나 지금까지 고찰한 바에 의하면 MPEG 같은 프레임간 부호화를 이용하는 비디오는 여유패킹이 우수함을 알 수 있다.

V 결 론

디지털 비디오는 광대역 서비스의 중심적 미디어임으로 ATM망에서 이를 어떻게 손실없이, 또는 손실의 영향을 최소화하여 전송할 것인가는 매우 중요한 문제이다. 본 논문에서는 먼저 셀 비디오의 전송특성과 전송시 발생하는 셀손실 문제에 관하여 기존의 연구를 중심으로 살펴 보았다.

그리고 디지털 비디오를 MPEG으로 압축하여 그 출력 스트림을 ATM 셀로 패킹하여, 손실시키고 그에 따라 화질이 어떤 영향을 입는지 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션을 위하여 ITU-R 601양식의 비디오 신호를 MPEG으로 압축하였으며, 이 신호를 셀화하여 실험에 사용하였다.

두 가지 방식을 비교하여 살펴보았는데, 여유패킹은 패킹법이 간단하여 이에 따르는 지연은 적으나 여백(잔여부분)을 낭비하게 되므로 오버헤드가 크다. 반면에 밀착패딩은 페이로드의 낭비를 최소화할 수 있으나, 패킹시 구분패턴을

사용해야 하며, 시간이 다소 길어진다.

본 논문에서 여유 패킹시의 오버헤드와 밀착 패킹시의 셀손실에 따른 화질 열화를 비교한 결과 프레임간 부호화 비디오에서는 밀착패킹으로 인한 셀 트래픽의 감축효과는 그다지 크지 않으나, 많은 매크로블록의 연쇄적 유실로 화질은 매우 나빠짐을 알았다. 즉, 고압축의 비디오 서비스에는 여유패킹이 알맞다. 그리고 여유패킹시의 여백을 활용할 수 있는 방안도 검토해 볼 만하다.

아직 ATM망을 시뮬레이션할 수 있을 만큼 기능을 갖추지 못해 트래픽과 버퍼관리, 폴리싱 기능없이 랜덤하게, 아니면 작위로 손실을 유발하였다. 따라서 밀착패킹시 증대된 트래픽이 어느 정도의 셀손실을 가져올지 파악하지 못하고, 단순히 수치적으로만 비교한 단점이 있다. 추후에 계속 보완, 연구하겠다.

참 고 문 헌

1. W. Verbiest, L. Pinno, and B. Voeten, "The Impact of the ATM Concept on Video Coding," IEEE J. SAC., 6-9, pp. 1623-1632, 1988
2. 이병기, 강민호, 이종희, 광대역 정보통신, 교학사, 1994
3. 정제창, 최신 MPEG, 교보문고, 1995
4. M. Wada "Slective Recovery of Video Packet Loss using Error Concealment," IEEE J. SAC., Vol. 7-5. pp. 807-813, 1989
5. M. Ghanbari and C. J. Hughes, "Packing Coded Video Signals into ATM Cells," IEEE/ACM Trans. Networking, 1-5, pp. 505-509, 1993
6. M. Anagnostou, M. Theologou, K. Vlakos, D. Tournis, and E. Protonotarios, "Quality of Service Requirements in ATM-based B-ISDNs," Computer Communications, 14-4, pp. 197-204, 1991
7. S. Iai and N. Kitawaki, "Video Quality

Degradation by Cell Loss in ATM Networks," NTT Review, 4-4, pp. 52-57, 1992

8. P. Pancha, M. E. Zarki, "MPEG Coding for variable bit rate video transmission," IEEE. Comm. 'Mag, pp. 54-66, 1994