

패킷 기반 통신 시스템에서 MPEG-2 비디오 전송시의 오류 은닉 기법

이학만*, 김상길**, 최영식**, 이상홍**, 최연성*, 박한엽*, 신현숙*, 김선우*, 김동욱***
* 군산대학교, ** 한국통신 멀티미디어연구소, ***전주대학교

Error Concealment for MPEG-2 Video Transmission in the Packet-based Communication Systems

Hak-man Lee*, Sang-gil Kim**, Young-Sik Choi**, Sang-Hong Lee**,
Yeon-sung Choi*, Han-yeop Park*, Hyun-sook Seen*, Sun-woo Kim*, Dong-wook Kim***
* Kunsan National Univ. ** Korea Telecom Multimedia Tech. Lab. ***Jeonju Univ.

E-mail : kthakman@kornet.net

요 약

본 논문에서는 인터넷이나 Ethernet에서 MPEG-2 비디오를 전송할 때 발생하는 오류를 보상하기 위한 새로운 방법을 제안한다. 오류는 발생 크기에 따라 비트 오류, 패킷 손실, 버스트 손실 등으로 나눌 수 있다. 그리고 상태에 따라 시간적인 것과 공간적인 것으로 구분된다. 본 연구에서는 특히 송수신 통신망 속도의 불일치 환경, 즉, 고속 송신 대 저속 수신, 저속 송신 대 고속 수신에 비디오파킷 손실, 패킷 삽입, 패킷 삭제에 관한 방법을 제시한다. 이와 같은 경우는 인코더와 디코더가 서로 다른 성능을 가지는 경우에도 발생한다. 즉, 첫째, 인코더는 실시간 압축, 디코더는 저속 재생, 둘째, 인코더는 저속 압축, 디코더는 실시간 재생인 상황에서도 적용된다. 인터넷과 같은 전세계적인 규모의 영상회의, 영상전화 시스템에서는 망과 송수신 시스템이 매우 다양하므로 이런 경우는 실제로 매우 빈번히 발생하며, 이에 대한 해결은 원활한 영상통신을 위해서 필수적이다.

1. 서 론

멀티미디어 기술의 발달이 빠르게 발전하여 영상 통신 분야의 이용이 급증하였다. MPEG-2가 제공하는 다양한 어플리케이션에 대한 유연성과 뛰어난 압축 효율 때문에 MPEG-2는 DTV, DVD, MDB 등 매우 광범위한 분야에 응용되고 있다.

MPEG-1에서는 비트열의 전송 중 오류가 생겼을 경우, 오류 은닉 기법이 제공되지 않았다. 그러나 MPEG-2에서는 비트열의 전송 오류가 발생했을 경우를 위해 오류 은닉(Error Concealment) 기술을 제공한다. MPEG 부호화 알고리즘은 시간적인 중복을 얻기 위해 블록에 기반한 움직임 보상과 공간적인 중복을 얻기 위한 압축영역변환에 의존한다. 움직임 보상 기법들은 예측과 보간 기법을 이용한다.

인터넷의 급속한 발전은 영상통신과 더불어 보편화되고 있다. 인터넷은 너무 거대하고, 접속된 스테이션들이 다양하여 영상통신기술을 적용함에 있어 매우 세심한 주의가 요구된다. 그 중에서 가장 현저하게 드러난 문제가 망에서의 속도차이

다. 송수신측에서의 속도차이를 보상하기 위해서는 망 감시와 협상 등의 교환망 차원의 대책이 필요하다.

그리고 인코더와 디코더를 가진 클라이언트에서도 이 속도차에 의한 영상 손실을 보상하는 방법이 강구되어야 한다. 속도차에 의한 영상 손실은 인코더와 디코더의 처리 능력이 불균형할 때도 발생한다. 본 논문에서는 특히 이런 경우에 발생하는 오류를 은닉, 보상하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 MPEG-2 비디오 전송시 비트 오류의 영향과 대책에 대해 기술하였고, III장에서는 오류 은닉에 의한 화질 보상에 대해 설명하였고, IV장에서는 실험 및 고찰을 통해 본 논문에서 제시한 방법의 성능을 분석하였으며, 기존의 오류 은닉 알고리즘보다 좋은 성능을 가짐을 보이고, V장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시하였다.

II. MPEG-2 비디오 전송시 비트 오류의 영향

MPEG-2는 전송시 비트 오류를 은닉하기 위해 움직임 벡터들을 추가로 전송시킨다. 이러한 움직임 벡터들은 현재 프레임에서 오류들의 영향을 받는 곳에서 과거 프레임의 움직임 보상을 이용한다.

예측되어진 MB들은 이미 움직임 벡터들을 소유하고 있기 때문에, 추가적인 움직임 벡터의 전송은 중복성(redundance)을 가진다.

그러나, Intra-MB는 움직임 벡터들을 가지지 않기 때문에, 만약 영향을 받는 지역이 Intra-MB들에 의해서 둘러 쌓여 있다면, 그때의 움직임-보상된 은닉을 수행하기는 매우 어렵다. 따라서, 한 비트의 오류라 할지라도 디코딩에서 동기를 잃어 전체 블록 단위로 퍼져 나가게 되어 화면이 블록이나 MB단위로 깨지게 된다. 이러한 문제들을 줄이기 위해서 MPEG-2에서는 기본적으로 오류 은닉을 위해 Intra-MB들을 전송한다.

MPEG-2는 움직임 보상을 블록영역에 제한하는 반면, 블록 벡터들이 예측되는 방법으로 부호기 설계에 맡긴다. 그러므로 부호기를 어떻게 설계하느냐에 따라 MPEG-2 시스템의 성능이 결정된다. 본 장에서는 MPEG 권고안에 규정된 오류 은닉기법을 고찰한다.

1. MPEG-2 멀티플렉서

오류 가능성이 있는 환경에서 MPEG-2[1]는 Transport Stream을 사용한다. Transport Stream에서 비디오와 오디오 소스 인코더로부터 나오는 가변길이 비트 스트림은 고정길이 스트림으로 변환된다.

Transport Stream은 VLC-data와 188byte의 고정된 길이의 패킷으로 나뉘어진다. 동기화 정보 같은 다른 필요한 정보는 4개의 헤더 bytes 트랜스포트-오류-지시자를 포함한다. 이 플래그는 오류 은닉에 대한 중요한 정보이다.

2. 비디오 비트스트림에서 잔여 오류들의 영향

비디오 스트림의 전송 중에 패킷들은 잘못되거나 경로를 잃게 될지도 모른다. 또한, 패킷 안에 잘못된 데이터가 사용되거나, Transport Header가 장애를 받을 수 있다. 더욱이 헤더 코드에서 발생한 오류들은 픽처, GOP, 또는 시퀀스 손실의 결과를 초래한다. 그러나 헤더 코드가 차지하는 비율은 시퀀스의 0.14%로 매우 적기 때문에, 헤더 코드 안에서 오류가 발생할 확률은 매우 낮다.

데이터안에서의 오류들은 덜 영향을 받는다. 이러한 오류들은 슬라이스의 일부 또는 전체 슬라이스를 잃어 버렸기 때문에 나타난다. 오류가 검출되면 은닉할 수 있다. 감지되지 않은 오류들은 잘못된 색깔 또는 DCT-계수에서의 오류들이나 부정확하게 예견된 움직임 벡터에서의 오류들 또는 잘못된 위치를 가진 MB 주소에서의 오류들로써 픽처 도메인에서 나타나게 될 것이다. VLC 때문에 동기화는 손실될지 모르며, 에러들이 전파된다. 매개변수들이 약간 다르

게 코딩되기 때문에, 그러한 코드군의 오류들은 공간의 도메인에서도 전파될 것이다. 참조 픽처에서의 오류들은 시간영역에서 전파되나, B-픽처들은 그렇지 않다.

에러가 발생하기 시작했을 때 전파에 의해 유발되는 더 많은 손상을 피하기 위해서 디코딩 처리를 멈추는 것이 좋다. 손실된 데이터의 양은 주로 에러의 위치에 의존한다. 만약 슬라이스가 시작할 때 에러들이 존재한다면, 그 슬라이스의 남아있는 MB들은 같은 슬라이스의 에러 없는 데이터를 포함하는 다음 패킷까지 손실될 것이다. 그러나 에러들이 슬라이스의 끝에 있는 경우에는, 패킷의 길이가 결정된다.

III. 오류 은닉에 의한 화질 보상

1. 송수신단의 성능 차에 의한 화질 열화

영상전송시스템에서 발생할 수 있는 오류는 양장에서 지정한 비트 단위 이외에, 수신단에서의 버퍼 오버플로우에 의한 패킷 단위의 손실이 있다. 패킷단위 버스트 오류는 화질을 크게 저하시키며, 심지어는 재생이 한 동안 불가능해진다.

이외에도 화질에 영향을 미치는 요소로 송수신단의 성능차가 있다. 이는 인터넷 등의 복잡한 망에서 매우 현저하지만 그 동안 간과되어 왔다.

전체 영상통신시스템은 송신단(인코더) → (교환)망 → 수신단(디코더)로 간략히 요약할 수 있다. 이 때 고정비트율로 전송하기를 원한다면 망의 가변적 특성에 의해 송신단에서 발생된 많은 비트스트림은 손실될 수밖에 없다. 또, 망의 체중(congestion)과 트래픽을 고려하여 그에 맞추어 가변비트율로 전송하기를 원한다면 수신측에서는 실시간 재생이 불가능할 수도 있다.

그리고 망이 안정적이고 고속전송이 가능하다고 가정 할 때, 송신측의 인코더가 초당 수 프레임밖에는 생산하지 못한다면 디코더는 그에 동기될 수밖에 없다. 그러나 이 상황에서 수신측이 녹화를 한다면 나중에 재생할 때 중간에 누락된 프레임으로 인해 정상적인 재생이 불가능할 것이다.

또 이와는 반대로 인코더는 초당 30프레임을 생산했는데 디코더가 수 프레임 밖에는 재생하지 못한다고 가정하면, 잔여 프레임은 수신측 버퍼에서 폐기(discard)되어야 하며, 이럴 때 예측신호의 상실로 정상적인 재생이 매우 힘들다.

이와 같은 망의 불균일성과 인코더-디코더의 성능차는 화질에 큰 영향을 미치며 이에 대한 대비가 마련되어야 한다. 특히, 근래에 각광받고 있는 H.323 같은 LAN 및 인터넷용 비보장성 멀티미디어회의 프로토콜을 사용할 때에는 이런 상황이 반드시 발생한다. H.323은 이질 망간의 게이트웨이, 서로 다른 표준간의 통신(예를 들어, H.261 대 H.263, G.711대 G.723 등) 등을 모두 수용하므로 성능차에 의한 화질 열화와 오류 발생 가능성은 항상 존재한다.

본 연구에서는 이런 상황을 고려한 오류 은닉 기법을 제안한다. 오류 은닉기법에는 시간적 오류 은닉과 공간적 오류 은닉 기법의 2가지가 가능하다.

2. 움직임 보상 시간적 오류 은닉 기법

오류 은닉의 가장 간단한 방법은 과거의 픽처를 복사하는 것이다. 과거의 픽처는 참조 픽처(I 또는 P 픽처)가 될 것이다. 처음에는, 모든 과거의 참조 픽처를 복사해야 될지도 모르나, 이것은 예측에 의해서 잇따라오는 픽처에 시각적인 영향을 미치는 원인이 될 것이다. 잘못된 참조 MB들을 사용하는 움직임 벡터들의 품질은 감소된다. 또한 B-픽처는 참조 픽처에서 전체 콘텐츠를 복사함으로써 품질이 감소된다. 그러므로, 참조 픽처에서 에러를 다루기 위한 가장 간단한 해결 방법은 모든 GOP에 대한 시퀀스를 일단 멈추는 것이다. 그럼에도 불구하고, B-픽처에서의 에러는 시간적으로 전파되지 않는다. 그러므로, 이전 픽처의 모든 콘텐츠를 가지는 B-픽처를 은닉하는 것이 가능하다. 여기서, 시퀀스는 단지 한 픽처에 대한 멈추는 것이 된다. 둘째로, 패킷의 에러가 있는 지역만 복사하거나 모두 올바르게 수신된 데이터를 사용할 수 있다. 이것은 단지 손실된 MB들만 교체되기 때문에, 더 나은 품질을 보장한다.

이런 문제를 피하기 위해 현재 픽처에서 이웃하는 MB들로 향하는 움직임 벡터를 사용한다. 움직임 벡터에 의해 MB를 보간시킬 수 있다. 가장 적절한 MB들은 각각의 필드에 대한 경계 화소의 MMSE에 따라서 선택하는 것이다[2][3].

3. I 픽처에 대한 시간적 오류 은닉

2절의 방법은 단지 P/B-픽처를 위해서만 사용할 수 있다. 그러나, I-픽처가 더 높은 데이터율을 가지기 때문에, I-픽처가 더 많은 에러를 포함할 것이다. ITU-R 601 포맷을 가지는 픽처의 움직임 벡터는 $v(x,y,r,s,t), r,s,t = 0,1$ 로 표현할 수 있다. 여기에서 (x,y) 는 MB의 공간적인 위치이고, r 은 필드/프레임 벡터(s)의 인덱스이고, s 는 예측 방향(앞/뒤)에 대한 인덱스이며, t 는 움직임 벡터의 공간 성분에 대한 인덱스이다. 단지 P-픽처의 움직임 벡터만 사용하였기 때문에, 움직임 벡터들은 $s:v(x,y,r,t), r,t = 0,1$ 로부터 독립적이다. 그러므로, 각각의 MB 위치에 대해서 두 개의 공간적인 성분을 가진 두 개의 움직임 벡터가 존재할 수 있다. 움직임 벡터들의 평균 필드 예측은 다음과 같이 산출된다.

$$v_m(x,y,t) = (v(x,y,0,t) + v(x,y,1,t))/2 \quad \text{for } t = 0,1 \quad (1)$$

이 식에서, 움직임 벡터 $v_m(x,y,t)$ 은 단지 MB의 위치와 인덱스 t 에 의해서만 결정된다. 움직임

벡터의 새로운 위치 (x_p, y_p) 는 다음과 같다.

$$x_p = (((16 \cdot x) + 8) - v_m(x,y,0)) \bmod(16), \quad (2)$$

$$y_p = (((16 \cdot y) + 8) - v_m(x,y,1)) \bmod(16). \quad (3)$$

움직임 벡터(s) $v(x,y,r,t)$ 는 위치 (x_p, y_p) 로 이동한다.

$$v(x_p, y_p, r, t) = v(x,y,r,t) \quad \text{for } t=0,1, r=0,1 \quad (4)$$

이것은 모든 MB들의 위치에 대해 수행되어진다. 상응하는 예측 기법 또한 움직임 벡터를 가지고 수행할 수 있을 것이다. 하나 이상의 움직임 벡터가 MB에 상응한다면, 각각 필드에 대해 산출된 경계 화소에 대한 MMSE를 적용한 MB를 가져오는 움직임 벡터들이 오류 은닉에 사용된다 [2][3][4].

4. 공간적 오류 은닉 기법

공간적 오류 은닉 기법은 움직임 정보가 존재하지 않는 I-픽처에 대해 적용되며, 픽처에서 공간적 중복성(redundancy)을 이용한다.

이 기법은 4개의 이웃하는 MB들의 근접한 화소들을 가진 완전한 $2N \times 2N$ MB의 각각의 화소를 삽입한다[5][6]. $2N \times 2N$ 크기를 가지는 현재 MB의 각각에 대한 화소는 둘러싸여 있는 MB들의 4개 화소의 가중된 삽입에 의해 은닉되어질 수 있다. 이 과정은 다음과 같다.

$$m_{x,y}(i,k) = \frac{1}{2(2N+1)} ((2N-i+1) \cdot m_{x-1,y}(2N,k) + i \cdot m_{x+1,y}(1,k) + (2N-k+1) \cdot m_{x,y-1}(i,2N) + k \cdot m_{x,y+1}(i,1)) \quad \text{for } i,k = 1 \dots 2N \quad (5)$$

이 식에 따라, 화소 값은 반대 거리에서 가중되어 이웃하는 MB들의 4개 화소 값들의 삽입에 의해 얻어질 수 있다. 이런 은닉 기법은 둘러싸여 있는 MB들이 존재할 때 더욱 잘 이루어진다.

만약 MB에 에지가 존재한다면, 완전한 MB는 희미해지고, 꽃과 같은 세밀한 공간은 정확하게 복사될 수 없다.

그러나, MPEG-2에서 슬라이스들의 시작포인트는 동기화 포인트이다. 그러므로, MB들의 수평 줄 에러인 경우에는 은닉되어져야 한다. 오른쪽과 왼쪽의 MB들은 그러한 것들이 존재하지 않기 때문에 은닉에 사용되지 않는다. 만약 MB들이 존재하지 않는다면, 상응하는 반대의 거리는 삽입 동안에 0으로 세팅된다. $m_{x,y-1}$ 과 $m_{x,y+1}$ 두 개의 MB들만이 사용 가능하다.

따라서 식 (5)는 다음으로 수정된다.

$$m_{x,y}(i,k) = \frac{1}{2N+1} ((2N-k+1) \cdot m_{x,y-1}(i,2N) + k \cdot m_{x,y+1}(i,1)) \quad \text{for } i,k = 1 \dots 2N \quad (6)$$

이러한 공간적 삽입은 긴 슬라이스 길이를 가지는 MPEG-2의 부호화된 픽처들에 대해서 사용되어진다. 맨 위와 끝의 MB는 수직 방향 삽입을 위해서만 사용되어진다.

수직 방향에서 에지는 정확하게 삽입되지만, 수평 방향에서의 에지는 회미해지게 된다. 그러므로 수평에 대해서도 위와 같은 방법을 고려해야 한다.

5. 시공간적 오류 은닉 기법

시간적이며 공간적인 오류 은닉 기법들은 혼합하여 적용할 수도 있다. 영상 활동의 측정을 시간과 공간 사이에서의 교체 결정에 대한 기준으로 할 수 있다. 움직임은 현재($m_{x,y-1/x,y+1}$)와 과거의 픽처 ($m_{x,y-1/x,y+1}$)의 가장 가까이에서 이웃하고 있는 MB들(top or bottom)사이의 MSE(Mean Square Error)에 의해서 산출되어 진다.

$$MSE = E \{ (m_{x,y-1/x,y+1} - m_{x,y-1/x,y+1})^2 \}$$

공간적인 상세함은 현재 픽처의 가장 가까이에서 이웃하는 MB(top or bottom)의 가변성으로써 산출되어 진다.

$$VAR = E \{ m_{x,y-1/x,y+1}^2 \} - E\{m_{x,y-1/x,y+1}\}^2$$

과거의 픽처의 공간적인 상세함은 다음과 같이 산출되어졌다.[7]

$$VAR' = E\{ m_{x,y-1/x,y+1}^2 \} - E\{ m_{x,y-1/x,y+1} \}^2$$

만약 VAR'가 임계치 이상이면 복사가 허용된다.

시간적이고 공간적인 기법의 혼합은 각각의 기법들보다는 좋지 않다. 그러나, 주관적인 결과는 시간적이고 공간적이 기법을 독립적으로 쓰는 것 보다는 낫다는 것이다.

IV. 실험 및 고찰

먼저 MPEG-2 비디오를 얻기 위해 인코더와 디코더를 S/W로 구현하였다. 구현 환경은 Pentium III PC에서 Visual C++을 사용하였으며, 실시간 전송을 위해 TCP/IP와 UDP 프로토콜에서 스트리밍 기법을 적용했다.

그림 1은 원영상이다. 영상의 크기는 CIF이며 왼쪽에서 오른쪽으로 서서히 카메라 패닝이 있다. 이 영상에서 3개의 매크로블록을 손실시킨 I 픽처가 그림 2이다. 그림 3은 오류 은닉이 적용되지 않고 다음 I 프레임이 만날 때까지 오류가 전파됨을 보여준다.



그림 1. 원영상

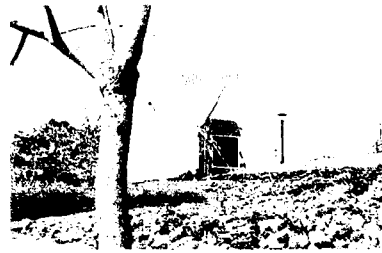


그림 2. 3개의 블록을 손실시킨 I픽처

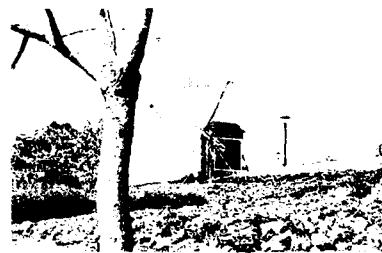


그림 3. 오류 은닉이 적용되지 않은 픽처

여기에 시간적 오류은닉기법을 적용하여 손실이 보상된 영상이 그림 4이다.



그림 4. 시간적 오류 은닉이 적용된 픽처

한 GOP동안 시간적 오류은닉 기법을 적용했을 때와 그렇지 못할 때의 PSNR의 변화는 그림 5와 같다.

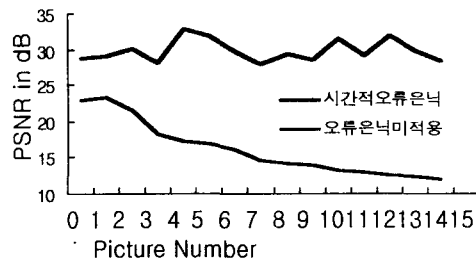


그림 5. 시간적 오류은닉의 PSNR의 변화

또 공간적 오류은닉기법을 적용하여 손실이 보상된 영상이 그림 6이다. 한 GOP동안 공간적 오류은닉 기법을 적용했을 때와 그렇지 못할 때의 PSNR의 변화는 그림 7와 같다. 그림 5와 7을 비교해 볼 때 그림 7이 좀더 좋은 결과가 나온 것을 알 수 있다.



그림 6. 공간적 오류은닉이 적용된 픽처

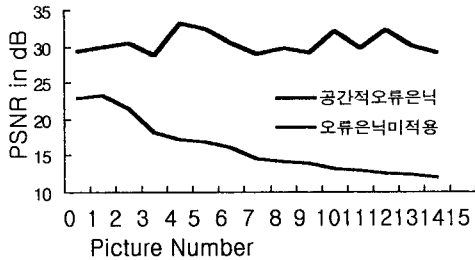


그림 7. 공간적 오류은닉의 PSNR의 변화

V. 결론

MPEG, H.263 등은 시공간적으로 매우 고압축이므로 패킷 손실은 다음 프레임으로 오류를 전파하는 특성이 있다. 본 논문에서 제안된 시간적, 공간적 은닉 기법을 적용하면 시각적으로 안정된 비디오를 수신할 수 있다.

특히, 송수신기가 성능차를 보일 때, 발생하는 영상 손실에 시간적 오류 은닉 기법을 적용하면 적절히 보강할 수 있다.

다만 이런 은닉이 오버헤드를 가중시켜 전체적인 인코딩, 디코딩 연산속도를 저하시킬 수가 있으므로 최대한 연산속도를 고속화하는 알고리즘으로 수정되어야 할 것이다.

참고 문헌

[1]Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information-Systems, MPEG-2 Standard ISO/IEC 13818-1, November 1994.
 [2]J.Feng, K.-T. Lo,H.Mehrpour, and A.E.

Karbowiak. Loss recovery techniques for transmission of MPEG video over ATM networks, In Proceedings IEEE International Conference on Communications ICC'96, Dallas, USA, vol. III, June 1996, pp.1406-1410.

[3]W.-M. Lam, A.R Reibman, and B.Liu. Recovery of lost erroneously received motion vectors. In Proceedings IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing ICASSP'93, Minnesota, USA, vol. V, April 1993, pp.417-420.

[4]A.Narula and J.S.Lim Error concealment for an all-digital high-definition television system. In Proceedings SPIE'93, vol.2094, 1993, pp. 304-315.

[5]S.Aign and K.Fazel. Temporal & Spatial error concealment techniques for hierarchical MPEG-2 video codec. In Proceedings IEEE International Conference on Communications ICC'95 Seattle, USA, vol, III, June 1995, pp.1778-1783

[6]M.Ghanbari and V.Seferidis. Cell-loss concealment in ATM video codecs. In IEEE Transactions on Circuits and Systems for Bideo Technology, vol. 3,no.3, June 1993, pp.238-247.

[7]S.Aign. Adaptive temporal & spatial error concealment measures in MPEG-2 video decoder with enhanced error detection. In Biglieri, E. and Luise, M.(Eds.). Proceedings 7th Thyrrhenian Workshop on Digital Communications, Signal Processing in Telecommunications, Springer-Verlag, Viareggio, Italy, September 1995, pp.112-123.

[8]Aggelos Katsaggelos and Nick Galatsanos. Signal Recovery Techniques for Image and Video Compression and Transmission. 1998. pp. 235-265.