

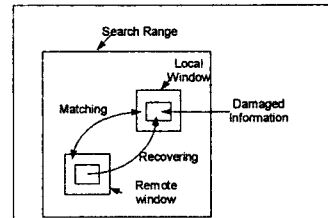
Spatio-Temporal Correlation을 이용한 동영상 오류 은닉 알고리즘

이우찬 서동철 김용철
육군사관학교 전자정보학과

Error Concealment Algorithm using Spatio-Temporal Correlation

Lee, Woo Chan Seo, Dong Cheul Kim, Yong Chul
Department of Electrical Engineering, Korea Military Academy

Abstract - This paper proposes a spatio-temporal correlation algorithm that takes advantage of the spatial and temporal correlations in video streams for error concealment. The spatio-temporal correlation algorithm sets the neighborhood area of the damaged part as a reference window, then finds the area that best matches the reference window in the previous frame. The best-matched area in the previous frame replaces the damaged part in the current frame. The results of ten variations of the proposed algorithm are compared with conventional error concealment methods. These methods include the ones applicable to P-frames as well as I-frames. The comparison results show that the proposed algorithm is very efficient for I-frame error concealment with a large motion between frames.



<그림 1> Long range correlation 알고리즘 적용의 5단계

1. 서 론

현대 사회에서는 무선 통신의 이용도가 급속히 증대되고 있다. 또한 동영상 전송과 같은 고급 서비스 역시 보편화 되고 있다. 그런데 동영상 전송에는 많은 데이터 전송이 요구되므로 통신의 대역폭을 상당 부분 점유하여 대역폭 부족을 초래한다. 이를 해결하기 위해서 보다 높은 압축율을 얻는 것이 필요한데, 이를 위해서 MPEG-4, H.263 및 H.264와 같은 압축 표준이 개발되고, 이 표준을 개선하거나 효과적으로 구현하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다.

통신 채널에서 발생하는 잡음 (noise) 으로 인해 압축된 동영상 데이터에 오류 (error) 가 발생하게 된다. 이러한 오류로 인한 화질의 열화를 최소화하기 위한 다양한 기법들이 연구 되고 있다. 그 가운데에서 널리 사용되는 방법이 오류 은닉 (error concealment) 이다. 오류 은닉이란 현재 영상에서 오류가 발생한 부분을 주변 영상 혹은 이전 영상으로부터 역추정해서 대체하는 기법을 말한다. 역추정을 얼마나 적절히 하느냐의 여부에 따라서 화질 개선의 효과가 결정되므로, 다양한 역추정 기법들이 제안되었다.

본 논문에서는 영상의 시간적, 공간적인 상관관계를 이용하여 오류 은닉을 하는 spatio-temporal correlation 알고리즘을 제안한다. Spatio-temporal correlation 알고리즘은 오류가 발생한 부분과 유사한 부분이 이전 영상의 비슷한 위치에 존재하는 것을 이용하며, MPEG 동영상 압축 기술에서 이용되는 motion estimation을 바탕으로 한다. 오류가 발생한 부분의 주변을 reference window로 설정한 다음 이 reference window와 가장 유사한 부분을 이전 영상에서 찾아낸 후, 이를 바탕으로 이전 영상에서 가장 적합한 위치에 상응하는 부분을 가져와 현재 영상의 오류를 복구한다.

제안된 방법의 성능을 분석하기 위하여 기존의 오류 은닉을 위해서 널리 사용되는 방법들과 비교하였는데, 우선 spatio-temporal correlation 알고리즘을 응용한 10개의 알고리즘을 적용하여 오류가 발생한 부분을 복구한 결과를 도출하였다. 또한 motion vector정보의 이용 여부에 따라 각각 적용되는 기존의 여러 오류 은닉 방법과 비교 분석하여 그 특성을 기술하였다.

2. 본 론

2.1 Spatial Correlation 알고리즘의 소개

자연계에는 공간적으로 중복되는 정보가 많다. 이러한 중복되는 정보를 이용하여 오류를 은닉하는 기법이 spatial correlation 알고리즘이다. Long range correlation 알고리즘은 spatial correlation 알고리즘의 일종으로서 하나의 화면에서 인접한 영역의 정보뿐만 아니라 멀리 떨어진 영역의 정보 역시 이용한다 [4].

[4]에서는 long range correlation 알고리즘을 적용하여 공간적으로 오류를 은닉하기 위한 5단계를 제안한다. 이 5단계는 Fetching, Searching, Matching, Competing, Recovering으로써 그림 1은 이 5단계를 한 화면에 모두 묘사한 것이다. 이 5단계는 long range correlation 알고리즘 뿐만 아니라 일반적인 spatial correlation을 이용하는 알고리즘에도 적용될 수 있다.

첫 번째 Fetching의 단계는 손상된 정보 주변을 local window로 설정하는 것이며, Searching은 search range에서 local window와 같은 모양의 remote window를 설정하는 단계이다. 세 번째 Matching 단계는 search range로 설정된 범위 안에서 local window와 remote window의 유사도를 판별하는 것이다. 이 유사도는 MSE (mean square error) 로 판별되어진다. 네 번째 Competing의 단계는 가장 작은 MSE 값을 갖는 remote window를 찾는 과정이다. 마지막 Recovering의 단계는 네 번째 단계로 도출된 remote window로 둘러싸인 부분을 이용하여 원래 손상된 정보를 복구하는 단계이다.

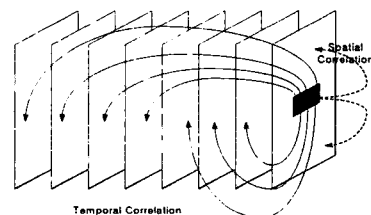
이 long range correlation 알고리즘은 시간영역으로 확장되어 향후 제안할 spatio-temporal correlation 알고리즘으로 확장되며, 원 논문에서 제안된 mean square error 대신 VLSI로 구현이 용이한 SAD (Sum of Absolute Difference)를 사용하는 것으로 변용된다.

2.2 Spatial Correlation의 시간영역으로의 확장

앞서 소개한 long range correlation 알고리즘은 공간적인 중복성을 고려하여 고안되었다. MPEG stream 동영상의 경우 각각의 frame이 짧은 시간 간격으로 나뉘어져 있기 때문에 연속된 영상 사이에 차이가 크지 않아 각 frame 사이에 시간적인 연관성이 크다. 따라서 현재 영상의 공간적인 연관성을 이용하여 오류를 복구할 부분을 찾는 것 못지않게 시간적인 연관성을 이용하여 이전 영상에서 오류를 복구할 부분을 찾는 것도 좋은 결과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 공간적인 연관성을 이용하여 오류를 은닉하는 long range correlation 알고리즘을 확장하여 시간적인 연관성과 공간적인 연관성을 동시에 이용하여 오류를 은닉하는 spatio-temporal correlation 알고리즘을 제안한다. 즉 오류가 발생한 현재 영상의 화면에서 공간적으로 검색하여 오류 은닉에 필요한 부분을 찾는 것이 아닌, 시간적으로 앞선 이전 영상의 화면을 공간적으로 검색함으로써 시간적인 연관성과 공간적인 연관성을 동시에 추구한다.

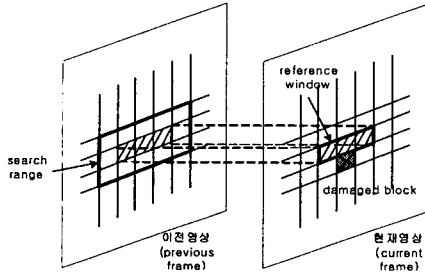
그림 2는 가장 오른쪽 화면에 발생한 오류를 복구하기 위해, 공간적으로는 현재 영상에서 복구할 부분을 가져올 수 있고, 시간적으로는 이전 영상들에서 복구할 부분을 가져올 수 있음을 보여준다. 공간적으로 복구할 부분을 구하는 것이 long range correlation 알고리즘이라면, 이를 시간영역으로 확장한 것이 본 논문에서 제안하는 spatio-temporal correlation 알고리즘이다.



<그림 2> Long range correlation 알고리즘의 확장

그림 3은 제한된 spatio-temporal correlation 알고리즘을 보여준다. 그림에서 오른쪽 frame이 현재 decoding 되고 있는 현재 영상 (current frame) 이고, 왼쪽 frame이 이전 영상 (previous frame) 이다. 현재 영상에서 'X' 표시가 된 macroblock이 오류가 발생한 block이다. 이 그림에서는 오류가 발생한 macroblock 상위 3개의 macroblock을 reference window로 설정하였다.

이 reference window와 가장 correlation이 많은 block을 이전 영상에서 탐색한다. 이 때 search range의 크기에 따라서 연산량이 결정된다. 본 논문에서는 지나친 연산량의 증가를 막기 위해서 reference window 위치에서 상하좌우로 하나의 macroblock 크기만큼 확장하여 search range를 설정한다. 그림 3에서는 현재 영상 (current frame) 에서 오류가 발생한 macroblock (damaged block) 위 3개의 macroblock을 reference window로 설정하고, 이 reference window의 좌표와 같은 이전 영상 (previous frame) 의 영역을 중심으로 15개의 macroblock을 search range로 설정하였다.



〈그림 3〉 Reference window와 search range의 설정

제한된 spatio-temporal correlation 알고리즘에서는 현재 영상의 손상된 부분의 주변을 reference window로 설정하고, 그것과 같은 모양의 remote window는 이전 영상에서 검색하여 가장 적합한 이전 영상의 data를 가져와 현재 영상의 오류를 복구한다.

Search range 에서 SAD가 가장 작은 부분을 찾은 후 그 좌표를 도출하게 되는데, search range 안의 좌표와 reference window의 좌표 차이는 reference window의 움직임 방향, 즉 motion vector가 된다. 현재 영상에서 오류가 발생한 부분의 좌표를 (x_{error}, y_{error}) 라 하고, reference window의 좌표를 (x_{ref}, y_{ref}) 라 한다. 또한 SAD가 가장 작은 부분의 좌표를 (x_{min}, y_{min}) 라 한다. 이때 motion vector (x_{mv}, y_{mv}) 의 x방향 성분과 y방향 성분은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} X_{mv} &= X_{min} - X_{ref} \\ Y_{mv} &= Y_{min} - Y_{ref} \end{aligned} \quad (1)$$

이 motion vector는 reference window의 운동 방향이지만 이것은 결국 오류가 발생한 macroblock (damaged block)의 운동 방향이라 생각할 수 있다. 이것은 reference window와 오류가 발생한 macroblock이 공간적으로 연관되어 있으며, 또한 운동 방향도 같다는 추정으로부터 출발한다. 결론적으로 reference window의 motion vector는 오류가 발생한 macroblock의 motion vector와 거의 일치한다고 간주할 수 있다.

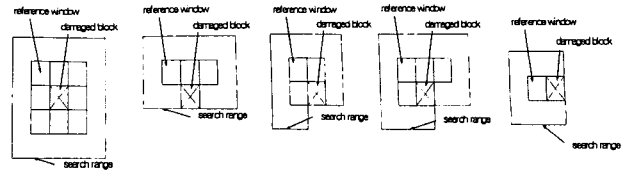
Motion vector를 통하여 현재 영상에서 오류가 발생한 macroblock의 운동 방향을 알 수 있다는 것은 운동 방향을 역추적하여 이전 영상에서 오류가 발생하지 않은 부분을 가져와 현재 오류가 발생한 macroblock을 복구할 수 있다는 것을 의미한다. data copy position (x_{copy}, y_{copy}) 은 data를 전송하는 위치가 되며 식 (2)와 같이 x방향 성분과 y방향 성분으로 표현된다. 즉 data copy position은 이전 영상에서 오류가 발생하지 않은 한 macroblock의 시작점이 되며, 그 macroblock의 data로 현재 오류가 발생한 macroblock을 대체한다.

$$\begin{aligned} X_{copy} &= X_{error} + X_{mv} \\ Y_{copy} &= Y_{error} + Y_{mv} \end{aligned} \quad (2)$$

2.3 비교 평가를 위한 오류 은닉 알고리즘

제 2 절에서 제안한 spatio-temporal correlation을 이용한 오류 은닉 알고리즘을 구현하기 위해서 reference window를 결정해야 한다. 다양한 reference window를 사용하여 성능 평가를 함으로써 가장 효과적인 reference window를 결정한다. 편의상 이 방법들을 1st group에 속하는 알고리즘으로 분류한다.

다음의 그림 4는 1st group의 모든 알고리즘의 소개와 각 알고리즘 별 reference window를 나타낸다. 그림의 왼쪽 순서대로 donut, upper-3MB, upper-and-left-3MB, upper-and-left-4MB, left-1MB 로 명명하였다. 이 알고리즘에서 search range는 reference window에 상하좌우로 1개 macroblock의 길이만큼 확장한 영역으로 설정된다. 실험은 reference window의 형태에 따른 5개의 알고리즘과, 계산량 감소를 위해 각각 영상을 1/2로 downsampling한 알고리즘을 추가하여 총 10가지 종류로 수행하였다.



〈그림 4〉 1st group 의 알고리즘

위의 알고리즘을 비교 평가하기 위해서 두 가지 종류의 오류 은닉 알고리즘을 추가로 구현하였다. 우선 motion vector를 이용한 알고리즘이다. 이 방법은 MPEG video stream의 P-frame과 같이 각 macroblock이 motion vector 정보를 가지고 있을 때 쓰이는 방법이다. 오류가 발생한 macroblock에 인접한 macroblock의 motion vector들로부터 motion vector 값을 도출해낸 후, 이 motion vector를 이용하여 이전 영상에서 오류를 복구할 부분을 찾아 현재 영상의 오류를 복구하는 것이다. 이 방법은 2nd group으로 분류한다.

2nd group의 첫 알고리즘은 top-and-left-MV(Motion Vector) 알고리즘이다 [3]. 이 알고리즘은 현재 영상에서 오류가 발생한 macroblock의 왼쪽과 위쪽 각 1개의 macroblock에 대한 motion vector의 평균값을 도출한 후, 이 값을 오류가 발생한 macroblock의 motion vector로 추정한다. 오류가 발생한 macroblock은 이 motion vector가 가리키는 이전 영상의 위치에서 data를 전송 받아 오류를 은닉하게 된다.

2nd group의 두 번째 알고리즘은 upper-3MV 알고리즘이다. 이것은 오류가 발생한 macroblock의 위쪽 3개의 macroblock의 motion vector를 평균값을 도출한 후, 이 값을 오류가 발생한 macroblock의 motion vector로 추정한다. 앞의 알고리즘과 마찬가지로 오류가 발생한 macroblock은 이 motion vector가 가리키는 이전 영상의 위치에서 data를 전송 받아 오류를 은닉하게 된다.

MPEG video stream의 I-frame과 같이 모션 벡터 정보가 존재하지 않을 때는 2nd group과 같은 방법을 사용할 수 없다. Motion vector가 없으므로 이전 영상의 위치에서 그대로 영상을 옮겨오거나, 또는 현재 영상의 주변 위치의 화소 값을 조작하여 이용하게 된다. 이 방법은 3rd group으로 분류한다.

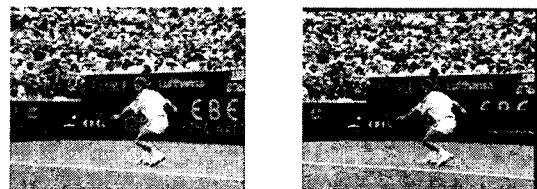
3rd group의 첫 번째 알고리즘은 spatial direct 알고리즘이다 [3]. 이 알고리즘은 오류가 발생한 현재 영상의 macroblock 위치에 해당하는 이전 영상의 위치에서 macroblock을 그대로 가져와 오류를 은닉하는 방법이다.

3rd group의 두 번째 알고리즘은 spatial weighted average 알고리즘이다 [8]. 현재 영상에서 오류가 발생한 macroblock 주변 4개의 macroblock의 경계 화소 값을 사용하여 가중치를 둔 평균을 계산한 후 이 값을 사용하여 오류를 은닉한다. 각 경계 화소의 가중치는 복구되는 화소와 주변 4개의 경계 화소와의 거리에 반비례하는 수치로 한다. 오류가 발생한 macroblock의 각 화소 값을 $mb(i,k)$ 라 하고 상하좌우에 해당하는 경계 화소 값을 각각 $mb_r(2N,k)$, $mb_b(1,k)$, $mb_l(i,2N)$, $mb_r(i,1)$ 이라 한다. 또한 복구되는 화소와 경계 화소와의 거리를 d_r , d_b , d_l , d_r 이라 하면 복구되는 화소의 값은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$mb(i,k) = \frac{1}{d_l + d_r + d_b + d_t} (d_r mb_r(i,2N) + d_b mb_b(i,1) + d_l mb_l(2N,k) + d_t mb_t(1,k)) \quad i,k=1..2N, N=8 \quad (3)$$

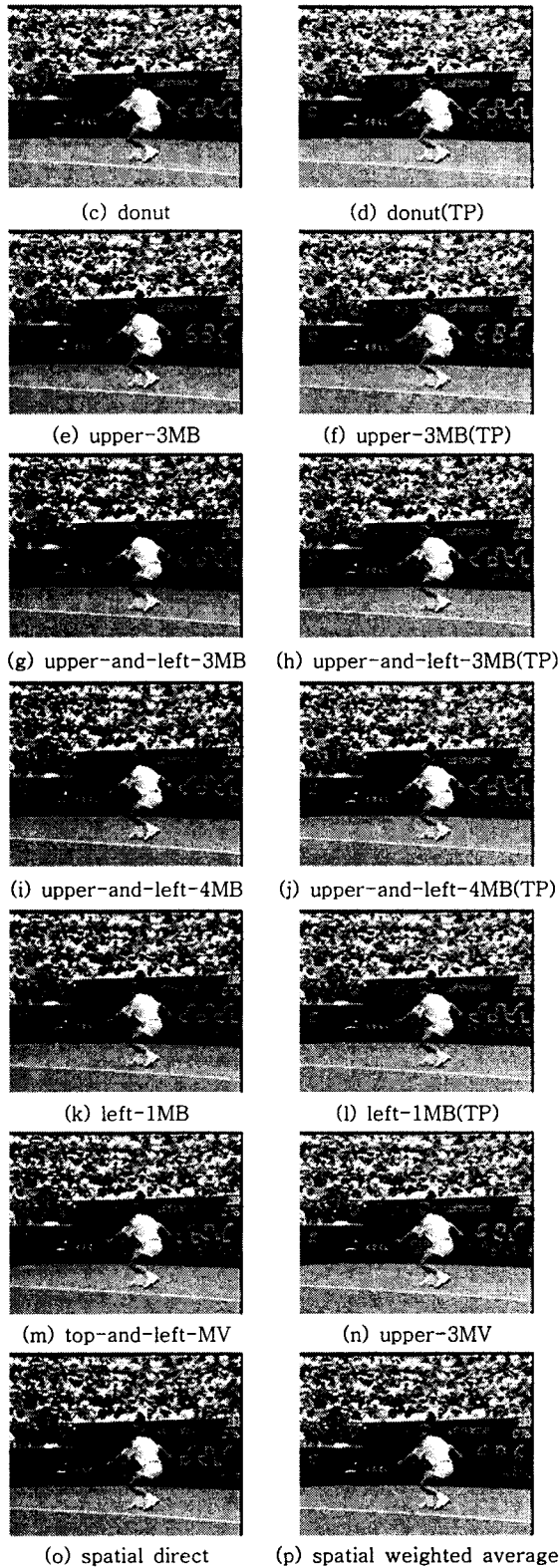
2.4 알고리즘의 비교 및 적용 결과

상기 기술한 알고리즘을 대표적인 테스트 동영상인 stefan 동영상에 적용하였다. 3개의 연속된 error를 original 영상에 발생시킨 후, 1st group의 10개 알고리즘(reference window의 형태에 따른 5개와 영상을 1/2로 downsampling하여 알고리즘을 적용한 5개)을 이용하여 오류를 은닉한 영상의 PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) 을 측정하였다. 1st group의 경우 reference window의 형태에 따른 5개와 영상을 1/2로 downsampling하여 알고리즘을 적용한 5개의 방법이 있다. 또한 2nd group의 top-and-left-MV 알고리즘과 upper-3MB 알고리즘, 3rd group의 spatial direct 알고리즘과 spatial weighted average 알고리즘의 적용결과와 비교하였다. 그림 5에서의 알고리즘 순서는 앞 절에서 기술한 알고리즘 순서를 따르며, 그림 5의 caption에서 1st group 알고리즘의 이름 뒤 괄호 속에 TP라고 표시한 것은 1/2 downsampling한 알고리즘을 나타낸다.



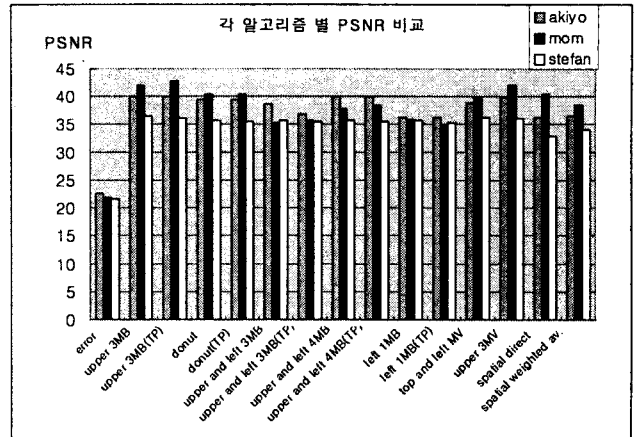
(a) original

(b) error



〈그림 5〉 Stefan 영상 연속 3 error 발생 후 오류 은닉 결과

실제 하나의 macroblock에서 오류가 발생하면 연속적으로 다음 macroblock에도 오류가 발생할 가능성이 크므로 연속적인 오류에 대한 은닉 성능은 중요한 요소가 된다. 그림 6의 그래프는 각 알고리즘을 3개의 연속적인 오류가 발생한 akiyo, mother & daughter (mom), stefan 샘플 동영상에 적용시켜 오류 은닉 후 PSNR (decibel 단위로 표현) 을 계산한 결과이다.



〈그림 6〉 Akiyo, Mom, Stefan 영상 연속 3 error 발생 후 은닉 결과

3. 결 론

본 논문에서는 손상된 동영상 정보의 오류를 은닉하기 위한 알고리즘으로 오류 은닉 시스템에 이용되는 spatio-temporal correlation 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안된 spatio-temporal correlation 알고리즘을 비롯하여 여러 오류 은닉 알고리즘을 비교 평가하였다.

MPEG-4를 기반으로 하는 오류 은닉 시스템에서 motion vector 정보를 이용할 수 있는 P-frame의 오류를 복구 시, spatio-temporal correlation을 이용한 알고리즘(1st group)과 motion vector 정보를 이용하는 알고리즘(2nd group)의 성능이 모두 좋으며, 특히 spatio-temporal correlation 알고리즘 군의 upper-3MB 알고리즘을 적용하였을 때 좋은 성능을 보였다. 단, motion vector 정보를 이용하는 2nd group의 알고리즘은 현재 프레임에서 motion vector 정보가 모두 소실된 경우나 원래 motion vector 정보가 존재하지 않는 I-frame의 오류 은닉에는 사용할 수 없다.

Motion vector 정보를 이용할 수 없는 I-frame의 오류를 복구할 때, 지금까지 일반적으로 사용하던 이전 화면의 같은 위치에서 그대로 영상을 가져오는 방법(spatial direct 알고리즘)이나 현재 영상의 주변 화소 값을 이용하는 방법(spatial weighted average 알고리즘)에 비하여 spatio-temporal correlation 알고리즘을 이용하여 오류를 은닉하는 방법의 성능이 우수함을 볼 수 있다. 또한 spatio-temporal correlation 알고리즘은 움직임이 많은 동영상의 오류 은닉 시, 경계가 크게 일그러지지 않아 보다 명확한 판독을 가능하게 한다. 특히 spatio-temporal correlation 알고리즘 중 upper-3MB(TP) 알고리즘은 성능과 계산량 면에서 유리하다.

[참 고 문 헌]

- [1] V. Bhaskaran, K. Konstantinides, Image and Video Compression Standards, Kluwer Academic Publisher, Boston, MA, 1999.
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Coding of moving pictures and audio, Mar. 2000.
- [3] S. Cen, P. Cosman, "Comparison of error concealment strategies for MPEG video," Proc. Wireless Communications and Networking Conference, Vol. 1, Sept. 1999.
- [4] D. Zhang, Z. Wang, "Image information restoration based on long-range correlation," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 12, No. 5, May 2002.
- [5] ARM, Advanced Microcontroller Bus Architecture (AMBA) Specification, 1997.
- [6] Y. Wang, Q.-F. Zhu, "Error control and concealment for video communication: A review," Proc. IEEE, Vol. 86, No. 5, May 1998.
- [7] Q.-F. Zhu, Y. Wang, L. Shaw, "Coding and cell loss recovery for DCT-based packet video," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 3, June 1993.
- [8] S. Aign, K. Fazel, "Temporal & spatial error concealment techniques for hierarchical MPEG-2 video codec," Proc. Globecom, 1995.
- [9] Jae-Beom Lee, Ju-Hyun Park, Hyuk-Jae Lee, Woo-Chan Lee, "Error Concealment Based on Semantic Prioritization with Hardware-Based Face Tracking," ETRI Journal, Vol. 26, No. 6, December 2004.
- [10] 이우찬, Spatio-Temporal Correlation을 이용한 오류 은닉, 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사 학위논문, 2005. 2.