

영상의 공간적 보간을 응용한 손상된 영상 구획의 복원 기법

박 종욱^{○†}, 이 상욱[†]

[†]서울대학교 전기공학부

THE RECOVERY TECHNIQUE OF ERRONEOUS BLOCKS BASED ON THE SPATIAL INTERPOLATION

Jong Wook Park^{○†}, and Sang Uk Lee[†]

[†]Signal Processing Lab., School of Electrical Eng., Seoul Nat'l Univ.

e-mail: pjw@Claudia.snu.ac.kr

요약문

본 논문에서는 공간적 보간을 응용하여 손상된 영상 구획의 데이터를 복원하는 기법을 제시한다. 이러한 기법은 손상된 영상을 부가 정보 없이 복원하는 오류 은폐의 핵심으로 Park[3], Wang[4], Sun[9], Lee[7], Hemami[8] 등에 의해서 여러가지 기법들이 제안되었다. 그러나 이러한 기법들은 단순히 주변 구획과의 경계면에서의 연속성만을 고려하여 복원하므로 구획 내부의 데이터를 복원하는데 한계가 있으며 계산량도 많은 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 기존의 기법들의 단점을 극복하기 위하여 Non-Uniform Rational B-Spline(NURBS)을 응용한 복원 기법을 제안한다. 제시된 기법은 주변 구획의 오류 유무와 윤곽선의 방향에 따라 주변 구획의 화소 정보에 할당되는 가중치를 적절히 변경하여 NURBS를 적용한다. 따라서 주변 구획의 오류의 영향에 강인한 특성을 가지며 원래 구획의 윤곽선의 방향을 더욱 견실하게 복원함으로써 주관적, 객관적 관점에서 기존의 기법보다 우수한 영상 구획 복원 성능을 얻을 수 있다. 정지 영상에 대한 컴퓨터 모의 실험 결과 제안하는 알고리즘은 기존의 기법보다 30% 구획 손실율에서 0.5 dB 이상 성능 향상을 얻을 수 있음을 관찰하였다.

1 서론

시각 정보의 전송 또는 저장을 위해서는 막대한 양의 정보량을 갖는 영상 정보의 압축이 필수적이다. 따라서 영상 정보의 효율적인 압축을 위해서 많은 기법들이 제안되었고, 현재 JPEG, H.261, MPEG-1, MPEG-2 등 여러가지 국제 표준안이 제정되어 급속히 보급되고 있다. 이러한 표준안들은 영상 정보에 내재된 상관성을 감소시킴으로써 정보량을 감축한다. 그러나 실제의 전송 채널이나 저장 매체에는 필연적으로 비트 오류가 발생하게 되므로 영상 정보가 매우 압축된 만큼 비트 오류가 발생할 경우 그 영향도 상당한 부분의 영상에 심각한 손상을 일으킬 수 있다. 따라서 오류에 강인한 전송 체계를 구축하기 위해서 현재 순방향 오류 정정(forward error correction) 기법과 오류 은폐(error concealment 또는 error resilience) 기법들을 중심으로 활발히 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 삼성 전자의 지원으로 수행된 것임.

순방향 오류 정정 기법은 부가 비트를 추가하여 발생한 오류를 정정하는 기법인데 정정 능력에 한계가 있으므로 이에 대처하기 위하여 오류 은폐 기법이 필요하다. 오류 은폐 기법은 영상 정보 자체에 내재된 상관성 또는 중복성을 사용하여 손상된 부분의 정보를 최대한 추정함으로써 발생한 오류를 시각적으로 잘 감지되지 않도록 하는 방법으로, 사용하는 영상 정보의 상관성에 따라 시간 예측 오류 은폐(temporal predictive error concealment)와 공간 예측 오류 은폐(spatial predictive error concealment)로 나뉜다[2]. 시간 예측 오류 은폐 기법은 전 frame의 영상에서 적절한 부분을 사용하여 오류가 발생한 구획을 대체하는 방법으로, 오류가 발생한 부분의 움직임이 작은 경우 매우 효율적이다. 한편 공간 예측 오류 은폐 기법은 공간적으로 인접한 구획의 정보를 이용하여 손상된 구획의 DCT 계수나 밝기 값을 추정하는 일종의 보간(interpolation) 기법으로, 어느 정도 열화(blurring)된 결과를 얻게 된다. 그러나 다른 기법으로 복구되지 않은 구획들에 대하여 최종적인 은폐 기법으로 사용될 수 있다.

본 논문에서는 먼저 제 2장에서 기존에 제안된 공간 예측 오류 은폐 기법들에 대하여 간략히 살펴보고, 이 기법들의 장 단점을 분석한다. 다음 매우 광범위한 응용을 가지는 보간법인 NURBS에 대해서 제 3장에서 간략히 언급하고, 제 4장에서 NURBS를 응용하여 손상된 구획의 정보를 복원하는 기법에 대하여 설명한다. 다음 제 5장에서 컴퓨터 모의 실험에 의해서 얻은 구획 복원 결과를 제시한다.

2 기존의 공간 예측 오류 은폐 기법들

현재까지 제안된 공간 예측 오류 은폐 기법들에 대해서 간략히 살펴보면 다음과 같다. 먼저 밝기 값을 복원하는 방법으로 주변 구획 밝기 값의 평균치로 치환하는 기법 [3], bilinear 보간법[10], 가로-세로 방향의 인접 구획 경계의 값들을 가중 평균하는 방법[11]이 있다. 이 기법들은 간단하나 성능이 좋지 않다.

다음 특수한 필터를 사용하는 방법은 hierarchical compass interpolation / extrapolation (HCIE) 필터와 퍼지 로직을 사용하여 손상된 구획의 특성까지 고려한 것으로 X. Lee 에 의해서 제안되었다[7]. 이 알고리즘은 추정된 edge의 방향에 따라 구획 내부의 밝기 값을 내삽하고 퍼지 로직을 이용하여 DCT 계수를 복원한다. 이 기법은 윤곽선 복원 성능이 좋으나 너무 복

잡하다.

다음 POCS 이론에 따라 먼저 주변 구획들의 edge 경향을 추정하여 복원된 영상이 그 방향의 edge 성분을 갖도록 하는 제한 조건과 주변 구획의 밝기 값과 잘 연결되도록 하는 제한 조건, DCT 계수값의 제한 조건 등을 사용하여 POCS 이론에 따라 반복 계산을 수행함으로써 손상된 구획의 밝기 값을 복원하는 기법이 있다[9]. 이 기법은 위 기법과 비슷한 장단점을 가진다.

다음 Hemami의 방법은 주변의 4 구획의 밝기 값들을 가중 평균해서 손상된 구획의 밝기 값을 추정하는 것인데 가중치 값들은 주변 구획과의 차이를 나타내는 목적 함수를 최소화하도록 계산된다[8]. 이 기법은 성능이 낮고, 계산상 불안정한 경우가 발생한다.

다음 주변 구획의 정보로부터 손상된 구획의 DCT 계수를 추정하는 알고리즘에 대하여 알아본다. 먼저 JPEG 에서 제시된 구획 효과를 줄이기 위한 AC 계수 추정 기법을 공간 예측 오차 오프 기법에 적용한 기법이 있다. 한편 Wang은 주변 구획과의 경계 부분에서의 차이를 목적 함수로 정의하고, 목적 함수를 최소화하는 DCT 계수를 구하도록 최적화 기법을 적용하였다 [4]. 이 알고리즘은 이전의 알고리즘과 달리 오차 오프에 합당한 적절한 목적 함수를 사용하였기 때문에 향상된 결과를 얻을 수 있으나 구획 내부의 밝기 값까지 연속 조건을 부여하였기 때문에 윤곽선들을 잘 살려내지 못하고 계산량이 커지는 단점이 있다. 한편, Zhu 는 최근에 앞 절에서 언급한 Wang 의 DCT 계수 복원 알고리즘을 확장하여 공간 예측과 시간 예측의 결과를 적절한 가중치에 의하여 결합한 알고리즘을 제시하였다[5]. 이 기법은 두가지 예측 결과를 동시에 사용하는 장점이 있으나 움직임 벡터가 손상된 경우에는 적용할 수 없다. 또한 Zhu는 2차의 유연성을 도입한 목적 함수를 정의하여 손상된 구획의 2차원적인 특성, 즉 윤곽선을 복원하는 시도를 하고 있다[6]. 그러나 주변 구획의 경계 화소 값들만 사용해서는 윤곽선 복원이 힘들다고 판단된다.

이상으로 기본의 알고리즘들에 대하여 간략히 분석하고 정리하였다. 이렇게 현재까지 제시된 오차 오프 알고리즘들은 나름대로 장점과 단점을 가지는데, 계산량이 많거나 손상된 구획 내에 강한 edge가 있는 경우 이를 잘 복원하지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기존의 알고리즘의 단점을 극복하여 계산 구조가 간단하면서도 edge까지 잘 복원할 수 있는 공간 예측 오차 오프 기법에 대하여 연구하였다.

3 NURBS

NURBS는 주어진 데이터 점들을 연결하는 연결하는 보간 기법으로 기존의 B-spline을 확장한 것으로 데이터 점들의 위치 선정이 자유로우면서 B-spline 이 가지는 계산상의 간단함과 안정된 보간 결과, 기울기의 연속성 보장 등의 장점을 가지고 있다. 먼저 p차의 B-spline 곡선의 정의는 다음과 같다.

$$C(u) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(u)P_i \quad a \leq u \leq b \quad (1)$$

여기서 $\{P_i\}$ 는 데이터 점 또는 control point들이고, $\{N_{i,p}(u)\}$ 는 p차의 B-spline 기저 함수이며, 이 기저 함수들은 다음과 같은 형태의 nonuniform(nonperiodic) knot 벡터에 의해서 정의된다.

$$U = \{a, \dots, a, u_{p+1}, \dots, u_{m-p-1}, b, \dots, b\} \quad (2)$$

여기서 a와 b의 개수는 p+1 개이고 보통 a는 0으로 b는 1로 고정된다. 이때 차수가 p이고, control point의 개수가 n+1일

때(즉 n은 control point의 개수 - 1) knot 벡터 내의 knot의 수를 m+1(즉 m은 knot 개수 - 1)이라 하면 p, n, m 사이의 관계는 다음과 같이 주어진다.

$$m = n + p + 1 \quad (3)$$

u에 의한 함수로 정의된 B-spline 함수 상의 위치, 즉 함수의 값은 u가 주어질 때 다음과 같은 순서로 정의된다.

1. u 값이 위치한 knot span 을 찾는다.
2. 0 이 아닌 기저 함수들의 값을 계산한다.
3. 계산된 기저 함수들의 값과 control point의 값들을 곱하고 모두 더한다.

여기서 knot span이란 $u_i \leq u < u_{i+1}$ 를 만족하는 knot 벡터 중의 한 구간 $[u_i, u_{i+1})$ 을 나타낸다. B-spline 기저 함수들은 각 함수들이 0 이 아닌 구간, 즉 영향을 미치는 구간이 정해져 있다. 따라서 어떤 기저 $N_{i,p}(u)$ 는 구간 $[u_i, u_{i+p+1})$ 밖에서는 0이 된다. 이를 관점을 바꾸어서 살펴보면 어떤 knot span $[u_i, u_{i+1})$ 에 영향을 미치는 기저 함수들은 $N_{i-p,p}(u), \dots, N_{i,p}(u)$ 의 p+1 개로 정해져 있다. 이는 이 구간에 영향을 미치는 control point가 해당되는 기저 함수에 따라 P_{i-p}, \dots, P_i 의 p+1개 임을 나타낸다. 따라서 전 구간을 분할하여 piecewise 근사를 수행함을 알 수 있다.

한편 knot 벡터가 U로 주어져 있을때 p 차원의 i 번째 B-spline 기저 함수 $N_{i,p}(u)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1, & \text{if } u_i \leq u < u_{i+1} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$N_{i,p}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+p} - u_i} N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1} - u}{u_{i+p+1} - u_{i+1}} N_{i+1,p-1}(u) \quad (5)$$

다음 이러한 1차원 정의를 확장하여 다음과 같이 2차원 곡면을 정의한다.

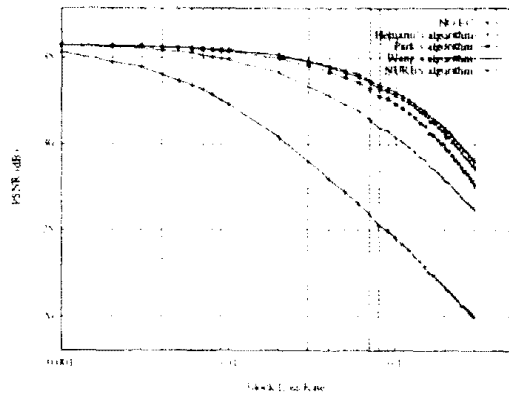
$$C(u) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) P_{i,j} \quad (6)$$

이때 각각의 차원에 대한 knot vector와 (r,n,p), (s,m,q)의 관계는 1 차원의 경우와 같다. 그리고 곡면 위의 한 점, 즉 (u,v) 값에 해당되는 곡면의 값을 얻기 위해서는 앞에서 설명한 1차원 일때와 마찬가지로 먼저 각각의 차원에 대해 knot span을 구하고 그 구간들에서 0이 아닌 각각의 기저 함수의 값을 구한후 선형 결합에 의하여 곡면의 값을 얻는다.

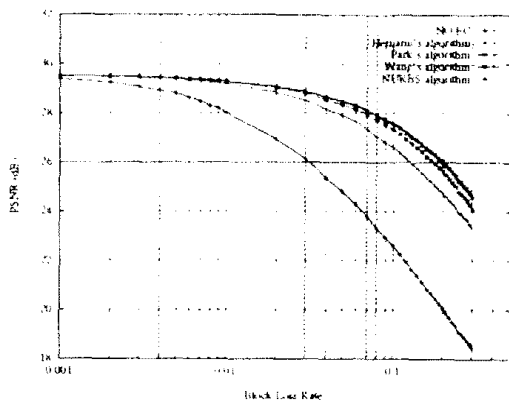
이렇게 정의된 NURBS 함수의 특성과 자세한 분석은 [12]를 참조한다.

4 NURBS를 사용한 손상된 구획의 내삽 기법

본 절에서는 NURBS를 사용하여 손상된 구획의 밝기 값을 내삽(interpolation)함으로써 오차 오프를 수행하는 기법에 대하여 설명한다. NURBS를 사용함으로써 기존의 bilinear 등의 선형 보간 기법에 의한 보간보다 주변 구획의 밝기 정보를 더욱 많이 사용하는 것이 가능해진다. 따라서 복원된 영역에 주변 구획



(a) Lena image



(b) Bridge image



(a) Wang's algorithm



(b) Proposed algorithm

그림 1: Performance of several SP-EC algorithms.

그림 2: Reconstructed images(BLR = 10 %).

- [3] J. W. Park and D. S. Kim and S. U. Lee, "On the error concealment technique for DCT based image coding", *ICASSP-94*, III-293 III-296, Adelaide, Australia, 1994.
- [4] Y. Wang and Q. Zhu, "Signal Loss Recovery in DCT based image and Video Codecs," *Proc. SPIE Int. Conf. Visual Commun. and Image Proc.*, Vol. 1605, pp. 667-678, Boston, Nov. 1991.
- [5] Q. Zhu, Y. Wang, and L. Shaw, "Coding can cell-loss recovery in DCT-based packet video," *IEEE J. Video Technology*, vol. 3, No. 3, pp. 248-258, June, 1993.
- [6] W. Zhu and Y. Wang, "The use of second order derivative based smoothness measure for error concealment in transform based codecs", *Proc. SPIE Int. Conf. Visual Commun. and Image Proc.*, Vol. 2501, pp. 1205-1214, Taipei, Taiwan, May. 1995.
- [7] X. Lee, Y.-Q. Zhang, and A. Leon-Garcia, "Information loss recovery for block-based image coding techniques - A fuzzy logic approach," *IEEE trans. on Image Proc.*, Vol. 4, num. 3, pp. 259-273, Mar. 1995.
- [8] S. S. Hemami, and T. H. Y. Meng, "Spatial and temporal video reconstruction for non-layered transmission," *Proc. Visicom 1993, Fifth International Workshop on Packet Video*, Berlin, March, 1993.
- [9] H. Sun and W. Kwok, "Concealment of damaged block transform coded images using projections onto convex sets", *IEEE trans. on Image Proc.*, Vol. 4, num. 4, pp. 470-477, Apr. 1995.
- [10] M. Ghanbari, and V. Seferidis, "Cell-loss concealment in ATM video codes," *IEEE J. Video Technology*, vol. 3, No. 3, pp. 248-258, June, 1993.
- [11] P. Salama and N. B. Shroff and E. J. Coyle and E. J. Delp, "Error concealment technique for encoded video streams", *ICIP'95*, pp. 9-12, Washington D.C., U.S.A., 1995.
- [12] L. Peigl and W. Filler, *The NURBS Book*, Berlin, Springer, 1995.