

# NURBS 보간 함수를 사용한 손상된 영상 영역의 오류 은폐 기법

정희원 박종욱\*, 이상욱\*\*

## The Error Concealment Technique for Corrupted Image Block Data Based on NURBS Interpolation Function

Jongwook Park\*, Sang Uk Lee\*\* *Regular Members*

### 요 약

영상 정보 통신에 있어서 채널 전송 중 손상된 영역을 복구하기 위한 기법의 개발은 매우 중요하다. 기존의 제안된 기법들[1-9]은 복원 성능에 한계가 있거나 계산량이 과다한 단점이 있다. 본 논문에서는 손상된 구획의 밝기 값을 2차원 NURBS(non-uniform rational B-spline)[10] 보간 함수를 응용하여 복원한다. 즉, 손상된 구획의 주변 구획을 가장 잘 근사할 수 있는 곡면을 생성하는 제어 격자 점(control grid points)들을 계산함으로써, 손상된 구획 내의 영상 정보를 복구한다. 컴퓨터 모의 실험 결과 제안된 기법은 기존의 기법들보다 윤곽선 등 손상된 구획의 내용을 좀 더 충실히 복원함을 알 수 있다.

### ABSTRACT

The recovery technique for the corrupted image block is of essential to the error concealment of image data under transmission loss. The conventional algorithms[1-9] can not recover the lost block sufficiently or require heavy computational loads. In our approach, the pixel values of lost block are interpolated employing the two-dimensional non-uniform rational B-spline(NURBS) function, by obtaining the control grid points which generate the best approximated surface of the neighboring image data. Computer simulation results show that the contents of the corrupted image block data, including the edge components, can be recovered more faithfully, compared to the conventional algorithms.

### I. 서 론

최근 대부분의 표준 영상 정보 압축 알고리즘, 즉 H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2 등은 이산 여현 변환, 움직임 보상 및 엔트로피 부호화등을 기반으로 하고 있다. 이렇게 영상 정보가 부호화된 비트열은 비트 오류에 매우 취약하여 한 비트 손실에 의해서도 상당한 영역에 오류가 발생하게 된다. 그런데 앞으로 상용화될 것으로 예측되는 IMT-2000[11]의 무선 채널이나

ATM(asynchronous transfer mode) 통신망의 경우 비트 오류나 셀 손실이 필연적으로 발생할 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 전송 채널로 영상을 전송하기 위해서는 전송 오류에 의한 화질 저하를 막을 수 있는 기법의 개발이 절실하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 현재 계층 부호화, 순방향 오류 정정, 오류 은폐(error concealment) 기법등이 제안되었는데 그중 오류 은폐 기법은 주변의 손상되지 않은 정보를 사용하여 손상된 영역의 정보를 복원하는 것으로, 완벽한

\* 삼성전자 중앙연구소 멀티미디어 연구소, 정희원, \*\* 서울대학교 전기공학부, 정희원

논문번호 : 98207-0506, 접수일자 : 1998년 5월 6일

※ 본 연구는 1997년도 한국 학술진흥재단의 대학부설연구소 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.

복원 결과를 얻을 수는 없으나 추가적인 정보량 증가가 필요 없고 표준 영상 정보 압축 알고리즘을 변경할 필요가 없는 장점이 있어 널리 연구되고 있다.

오류 은폐에서는 손상된 구획의 밝기 정보를 시간적 또는 공간적으로 인접한 구획으로부터 추정하게 되는데 사용되는 정보에 따라 시간 예측 오류 은폐(temporal predictive error concealment)와 공간 예측 오류 은폐(spatial predictive error concealment)로 나뉜다[12]. 이중에 시간 예측 오류 은폐 기법은 움직임이 작은 영역에서 손상된 구획을 충실히 복원할 수 있으나, 움직임이 큰 영역이나 프레임내 부호화된(intra-coded) 프레임 등에는 적용할 수 없다. 공간 예측 오류 은폐 기법은 완벽한 복원은 불가능하지만 시간 예측 오류 은폐 기법을 적용할 수 없는 경우에도 적용이 가능하다.

현재까지 제안된 공간 예측 오류 은폐 기법 중에서 선형 보간을 사용한 기법들[1-3]은 계산이 간단하지만 복원 성능이 미흡하다. DCT 계수를 복원하는 기법들[4-7]은 손상된 구획과 그 주변 구획의 경계에서의 연속성을 이용하여 손상된 구획의 DCT 계수를 추정하는 기법이다. 이러한 기법들은 손상된 구획의 저주파 성분은 충실히 복원하나 고주파 성분의 복원에는 한계를 보인다. 그 이유는 인접 구획의 정보 중에서 단지 경계에 위치한 화소값들만을 사용했기 때문으로 판단된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Sun 등은 인접한 구획의 정보를 충분히 사용하면서 손상된 구획의 윤곽선 방향이 복원되도록 하는 POCS(projection over convex sets) 기반 알고리즘을 제안하였다[8]. 또한 Lee 등은 퍼지 로직 개념을 도입하여 계층적으로 다양하게 공간적 보간을 수행하는 알고리즘을 제시하였다[9]. 이러한 기법에 의해서 손상된 구획의 고주파 성분과 윤곽선을 좀 더 효과적으로 복원할 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 이러한 기법들은 계산량이 많고 계산 과정이 복잡한 대다가 특히 Sun의 알고리즘의 경우 대략적인 윤곽선의 경향은 복원되나 정확한 윤곽선의 위치는 복원하지 못한다. 따라서 만약 복원된 구획의 윤곽선과 주변 구획의 윤곽선이 서로 잘 일치하지 않는 경우 오히려 시각적으로 화질 저하를 초래할 수도 있다.

본 논문에서는 2차원 NURBS(non-uniform rational B-spline) 보간 함수를 응용하여 손상된 구획의 정보를 복구하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 주변 구획의 정보를 가장 잘 근사하는 곡면을 생성하는 NURBS 제어점(control points)을 최적화 기법에 의하여 구한다. 따라서 이렇게 생성된 곡면은 주변 구획의 좀 더 넓은 영역의 정보를 사용하여 복원을 수행함으

로써 손상된 구획 내부의 정보를 충실히 복원할 수 있다. 또한 제안하는 기법은 기존의 POCS나 퍼지 로직 기반 기법보다는 적은 계산량으로 구현될 것으로 판단된다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 NURBS 보간 함수에 대한 정의와 계산법에 대하여 간략히 설명한다. 다음 3장에서는 제안하는 공간 보간 오류 은폐 기법을 제시하는데, 특히 최적의 제어점을 구하기 위한 목적 함수와 최적화 알고리즘의 사용에 대하여 설명한다. 4장에서는 모의 실험을 통하여 기존의 알고리즘과 성능 비교를 수행하며, 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. NURBS 보간 함수

손상된 구획의 내용을 좀더 충실히 복원하기 위해서는 주변의 영상 정보를 보다 폭 넓게 활용하여야 한다. 그런데 손상된 구획 주변의 사용 가능한 화소 점들의 위치를 고려해 보면 일반적인 격자 구조에는 해당하지 않음을 알 수 있다[8]. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 사용될 보간 기법이 불규칙하게 배열되어 있는 데이터들에 대해서도 적용될 수 있어야 한다. 또한 보간 기법의 성능이 우수하면서도 계산 결과가 안정적이고 잡음에 강인한 특성을 보여야 한다. NURBS는 기존의 B-spline 함수를 확장한 것으로 간주할 수 있으며 주어진 데이터 점들을 구간 별로 다항식 근사하여 연결하는 보간 기법으로 컴퓨터 그래픽 등의 분야에서 널리 사용되는 함수이다. 따라서 B-spline이 가지는 계산상의 간단함과 안정된 보간 결과, 기울기의 연속성 보장 등의 장점을 가지고 있다. 그리하여 본 논문에서는 2차원 NURBS 보간 함수를 도입하여 손상된 구획의 복원 문제에 적용하였다.

본 연구에서 사용한 NURBS 함수의 정의에 대하여 간략히 설명하면 다음과 같다. 먼저  $p$  차의 B-spline 곡선의 정의는 다음과 같다[10].

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

여기서  $\{P_i\}$ 는 곡선을 생성하기 위한 제어점들(control points)이고,  $\{N_{i,p}(u)\}$ 는 다음과 같이 주어지는 비주기(non-periodic) 결절 벡터(knot vector)  $U$ 에 의해 결정되는  $p$  차원 NURBS 기저 함수이다.

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

여기서  $a$ 와  $b$ 의 갯수는  $p+1$  개이고 보통  $a$ 는 0으로  $b$ 는 1로 고정된다. 만약 제어점의 갯수가  $n+1$ 이고 결절 벡터 내의 원소의 갯수가  $m+1$ 이면  $p, n$ , 그리고  $m$  사이의 관계는 다음과 같은 관계식에 의해 주어진다.

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

일반적으로 매개변수  $u$ 의 값이 주어질 때 해당하는 NURBS 함수의 값은 다음과 같은 순서로 계산된다.

1.  $u$  값이 위치한 결절 구간(knot span)을 찾는다.
2. 0이 아닌 기저 함수들의 값을 계산한다.
3. 계산된 기저 함수들의 값과 제어점들의 값들을 곱하고 모두 더한다.

여기서 결절 구간이란  $u_i \leq u \leq u_{i+1}$ 를 만족하는 결절 벡터 중의 한 구간  $[u_i, u_{i+1})$ 을 나타낸다.

이때, 주어진 결절 벡터에 의한  $p$  차원 NURBS 기저 함수  $N_{i,p}(u)$ 는 다음과 같이 재귀적으로 정의된다.

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1, & u_i \leq u \leq u_{i+1} \text{ 경우,} \\ 0, & \text{기타,} \end{cases}$$

$$N_{i,p}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+p} - u_i} N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1} - u}{u_{i+p+1} - u_{i+1}} N_{i+1,p-1}(u). \quad (4)$$

식 (4)를 살펴보면 NURBS 기저 함수는 그 함수값이 0이 아닌 구간, 즉 그 기저 함수에 대응하는 제어점이 영향을 미치는 구간이 정해져 있음을 알 수 있다. 예를 들어 어떤 한 기저 함수  $N_{i,p}(u)$ 는 구간  $[u_i, u_{i+p+1})$  밖에서는 0이 됨을 위의 식 (4)로부터 추론할 수 있고, 따라서  $N_{i,p}(u)$ 와 대응하는 제어점  $P_i$ 는 구간  $[u_i, u_{i+p+1})$  내에서만 곡선  $C(u)$ 에 영향을 준다. 이를 관점을 바꾸어서 살펴보면 어떤 결절 구간  $[u_i, u_{i+1})$ 에 영향을 미치는 기저 함수들은  $N_{i-p,p}(u), \dots, N_{i,p}(u)$ 의  $p+1$  개가 된다. 이는 이 구간에 영향을 미치는 제어점들이  $P_{i-p}, \dots, P_i$ 의  $p+1$  개임을 나타낸다.

이러한 1차원 NURBS 곡선에 대한 정의를 확장하여 2차원 NURBS 곡면  $S(u, v)$ 을 다음과 같이 정의한다.

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) P_{i,j}, \quad (5)$$

여기서 NURBS 기저 함수  $N_{i,p}(u)$ 와  $N_{j,q}(v)$ 는 각각 결절 벡터  $U$ 와  $V$ 에 의하여 정의되며 정의되는 방법은 1차원의 경우와 같다. 또한  $r, n, p$  값들과  $s, m, q$  값들의 관계 역시 1차원의 경우와 마찬가지로 다음과 같이 주어진다.

$$r = n + p + 1, \quad s = m + q + 1. \quad (6)$$

### III. NURBS 기반 공간적 보간에 의한 오류 은폐 기법

영상 복원 문제에 대하여 2차원 NURBS 보간 함수를 적용하기 위해서는 앞 장의 NURBS 함수 정의에서 알 수 있는 바와 같이 제어점의 값을 구하는 것이 가장 중요한 문제이다. 즉, 구해진 제어점을 사용하여 얻은 곡면이 손상된 구획의 원래의 정보로 이루어진 곡면과 최대한 일치하여야 한다. 그러나 손상된 구획의 원래 정보는 복호기에서는 알 수 없으므로 손상된 구획의 주변 정보를 최대한 근사할 수 있는 제어점을 구하게 되면 손상된 구획 내의 영상 정보가 급격하게 변화하지 않는다는 가정 하에 영상을 복원할 수 있다. 또한 제어점을 계산하기 위하여 사용되는 주변 영역의 범위나 형태를 적절하게 변화시킴으로써 복원 성능을 향상을 도모할 수 있는 장점이 있다.

문제를 명확히 기술하기 위하여 기호와 수식들을 정의한다. 먼저 손상된 구획의 화소 집합을  $E$ 라고 하고 이 구획의 크기가  $N \times N$ 이라 하자. 다음 손상된 구획으로부터  $R$  거리 내에 있는 주변 구획의 화소들의 집합을  $F$ 라고 하자. 이때 손상된 구획과 주변 구획의 화소들을 포함한 데이터 점들의 집합을  $Q = \{Q_k, I\}$ 라고 놓으면  $Q = E \cup F$ 의 관계가 성립한다. 따라서  $Q$ 의 크기는  $(m+1) \times (m+1)$ 이 되고, 여기서  $m = N + 2R - 1$ 이다. 다음 2차원 NURBS 보간 함수에서 곡면을 생성하기 위한 제어점들의 집합을  $P = \{P_{i,j}\}$ 라고 놓고 이때 이 집합의 크기를  $(n+1) \times (n+1)$ 이라 하자. 그림 1에 정의된 집합과 각 집합의 크기를 그림으로 나타내었다. 만약  $p$ 차원 NURBS 기저

함수가 사용된다면 결절의 갯수  $r+1$ 은 2 장에서 언급된 NURBS 함수 정의에서 다음과 같다.

$$r = n + \beta + 1, \tag{7}$$

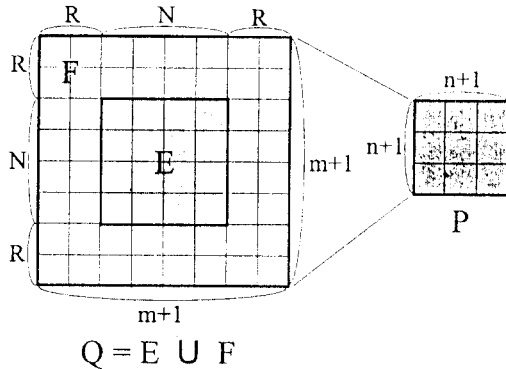


그림 1. 2차원 NURBS 보간을 위해 정의된 데이터 점들과 제어점들

이상을 종합하면  $(m+1) \times (m+1)$  크기의 데이터 점 집합  $\{Q_{k,l}\}$ 이 주어졌고  $(\beta, \beta)$  차원의 NURBS 보간 함수  $N_{i,\beta}, N_{j,\beta}$ 와  $(n+1) \times (n+1)$  크기의 제어점 집합  $P_{i,j}$ 를 사용하여 다음과 같이  $Q$ 를 보간한다.

$$Q_{k,l} = S(\bar{u}_k, \bar{v}_l) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n N_{i,\beta}(\bar{u}_k) N_{j,\beta}(\bar{v}_l) P_{i,j}. \tag{8}$$

따라서 주어진 데이터  $Q$ 를 최대한 근사할 수 있는 제어점들  $P$ 와 NURBS 기저 함수를 생성할 수 있는 결절 벡터  $U = \{u_0, \dots, u_r\}$ ,  $V = \{v_0, \dots, v_r\}$ 와 각각의 데이터 점  $Q_{k,l}$ 을 계산할 수 있는 매개 변수 값들의 집합인  $u = \{\bar{u}_0, \dots, \bar{u}_m\}$ ,  $v = \{\bar{v}_0, \dots, \bar{v}_m\}$ 들을 구해야 한다.

먼저 매개 변수의 값들을 구하는 방법에 대해서는 몇 가지 방법들이 알려져 있다[10]. 매개 변수 값들의 선택은 생성될 곡면의 모양과 안정도에 영향을 주는데, 원래의 데이터의 위치 분포를 최대한 반영하도록 선택하는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 현재까지 가장 안정적인 결과를 얻을 수 있는 것으로 알려진 centripetal 기법을 사용하였다[10].  $u$ 를 계산하기 위해서는 먼저 각각의 열  $l$ 에 대해 다음과 같은 식을 사용하여  $\bar{u}'_0, \dots, \bar{u}'_m$ 를 계산한다.

$$d = \sum_{k=1}^m \sqrt{|Q_{k,l} - Q_{k-1,l}|} \tag{9}$$

$$\bar{u}'_0 = 0, \bar{u}'_m = 1,$$

$$\bar{u}'_k = \bar{u}'_{k-1} + \frac{\sqrt{|Q_{k,l} - Q_{k-1,l}|}}{d}, k=1, \dots, m-1. \tag{10}$$

그런데 손상된 구획 내의 화소에 대해서는 정보가 없으므로 위의 방법을 사용할 수가 없다. 따라서 손상된 구획의 양 끝에서 인접한 주변 구획의 밝기 값의 차이  $g$ 를 균등하게 배분하여 손상된 구획 내부의 밝기 값으로 놓고 이로부터 식 (10)의 과정을 수행한다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$g = \sqrt{|Q_{R-1,l} - Q_{R+N,l}|} \tag{11}$$

$$d' = \sum_{k=1}^{R-1} \sqrt{|Q_{k,l} - Q_{k-1,l}|} + g + \sum_{k=R+N+1}^m \sqrt{|Q_{k,l} - Q_{k-1,l}|} \tag{12}$$

$$\bar{u}'_0 = 0, \bar{u}'_m = 1,$$

$$\bar{u}'_k = \bar{u}'_{k-1} + \frac{\sqrt{|Q_{k,l} - Q_{k-1,l}|}}{d'},$$

$$1 \leq k \leq R-1, R+N \leq k \leq m,$$

$$\bar{u}'_k = \bar{u}'_{k-1} + \frac{g/(N+1)}{d'}, R \leq k \leq R+N-1. \tag{13}$$

다음 각 열에서의 결과들  $\bar{u}'_k$ 을 평균하여 다음과 같이 매개 변수 값들  $\bar{u}_k$ 를 구한다.

$$\bar{u}_k = \frac{1}{m+1} \sum_{l=0}^m \bar{u}'_k, k=0, \dots, m. \tag{14}$$

다음 결절 벡터의 값들은 앞에서 구한 매개 변수의 값들을 사용하여 다음과 같이 구한다.

$$u_0 = \dots = u_\beta = 0, u_{r-\beta} = \dots = u_r = 1, \tag{15}$$

$$u_{j+\beta} = \frac{1}{\beta} \sum_{i=j}^{j+\beta-1} \bar{u}_i, j=1, \dots, m-\beta.$$

이러한 과정을 행 방향에 대해서 동일하게 수행하여 매개 변수 값들의 집합인  $v = \{\bar{v}_0, \dots, \bar{v}_m\}$ 과 결절 벡터  $V = \{v_0, \dots, v_r\}$ 를 구할 수 있다. 이렇게 결절 벡터  $U, V$ 가 결정되면 이로부터 식 (4)을 사용하여 NURBS 기저 함수들을 생성할 수 있다.

이제 제어점들을 계산하는 기법에 대하여 설명한다. 앞에서 언급한 바와 같이 주변 구획의 영상 정보  $F$ 를 가장 잘 근사할 수 있는 곡면을 생성하는 제어점들의 집합  $\{P\}$ 를 계산하는 것이 문제이다. 따라서 먼저  $F$ 와 그에 해당하는  $P$ 로부터 생성된 화소값의 차이의 제곱의 합으로 목적 함수를 정의한다. 그러면 이 목적 함수를 최소화하는  $P$ 를 구하면 그때 생성된 곡면이 원하는 손상된 영역의 복원 결과를 포함하는 곡면이 된다. 정의된 목적 함수를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\Psi(P) = \sum_{(k,l) \in X} (F_{k,l} - Q_{k,l})^2, \quad (16)$$

여기서  $X = \{(k, l) | k, l = 0, \dots, N+2R-1\} - \{(k, l) | k, l = R, \dots, N+R-1\}$ 는  $F$ 에 해당하는 영역을 표시하는 순서쌍들의 집합이다.

다음, 본 논문에서는 주어진 목적 함수  $\Psi$ 를 최소화 하는 제어점  $P_{opt}$ 를 계산하기 위하여 여러 가지 최적화 알고리즘들을 적용하여 보았다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과, Watanabe가 영상 부호화를 위해 NURBS를 적용하면서 사용한 최소 자승 기법(least square method)[13]은 영상 복원 문제에 대해서는 매우 불안정한 좋지 않은 결과를 보였고, Powell의 기법[14]은 수렴 속도가 너무 늦었으며, simulated annealing이나 유전 알고리즘(genetic algorithm)들은 본 문제에 적용하기에는 너무 복잡하여 제외하였다. 그래서 본 논문에서는 Fletcher-Reeves의 알고리즘[14]을 최적화 알고리즘으로 선택하였는데, 그 이유는 수렴 속도가 빠르면서도 계산 과정이 간단한 특성이 있기 때문이다. 한편 최적화 과정의 초기값으로는  $P$ 의 값을 모두  $F$  영역의 화소값의 평균으로 정한다.

마지막으로 제어점의 크기  $n$ 과 데이터 점의 크기  $m$ 의 관계에 대하여 살펴보자. 만약  $n$ 이  $m$ 과 같다면 두 집합의 모든 점들은 서로 1:1 대응 관계가 성립한다. 따라서 어떤 제어점들은 손상된 구획의 화소들만 대응하게 되고 그 값의 변화가 주변 구획의 화소값에 전혀 영향을 주지 않을 수도 있다. 왜냐하면 앞장에서도 살펴본 바와 같이 제어점  $P_{i,j}$ 는 단지  $[u_i, u_{i+p+1}] \times [v_j, v_{j+p+1}]$ 의 영역에만 영향을 주기 때문에  $n$ 이 너무 크거나  $p$ 가 너무 작으면 그 영역 내에 주변 화소가 전혀 포함되지 않을 수도 있기 때문이다. 따라서 이러한 경우 최적화 과정에서 값이 전혀 변하지 않거나 해가 발산하게 된다. 이러한 점을 피

하기 위하여  $n$ 이 충분히 작거나  $p$ 를 충분히 크게 잡아야 한다. 그런데  $n$ 이 너무 작게 되면 표현할 수 있는 곡면이 제한되어 복원 성능이 저하되며,  $p$ 가 너무 크면 계산 과정이 그만큼 복잡하게 된다. 또한  $m$  즉  $R$  값의 크기도 중요한데, 만약  $R$  값이 너무 크면 주변의 불필요한 영역의 정보까지 포함할 수 있으므로 복원 성능이 저하될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 먼저 Lena 영상에 대하여  $n, p$ , 그리고  $R$  값들을 모두 변화시켜 가면서 복원 성능을 측정하여 가장 좋은 결과를 얻는 값들을 결정하였다. 실험 결과 구획의 크기, 즉  $N = 16$ 일 경우  $n = 9, p = 5$ , 그리고  $R = 4$ 에서 가장 좋은 성능을 보였으며 다른 실험 대상 정지 영상인 Pepper 및 Zelda에 대해서도 같은 결과를 얻었다. 또한 이들 값의 근방에서는 성능의 차이가 거의 없는 것으로 관찰되었다. 따라서 다른 영상의 경우에도 일반적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### IV. 모의 실험 결과

제안하는 공간적 보간 알고리즘을 정지 영상의 구획 오류 은폐에 적용하는 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 실험 영상은  $512 \times 512$  크기의 Lena, Pepper, Zelda 영상으로 구획의 크기는 MPEG-2 등 동영상 부호화 기법의 매크로블록 크기와 같이  $16 \times 16$ 을 선택하였다. 제안하는 알고리즘의 성능은 DCT 계수 복원 알고리즘들[4,5] 및 Sun의 알고리즘의 성능과 비교되었다. 공정한 비교를 위하여 실험 방법은 다른 공간적 보간 알고리즘들과 동일한 방법[1,4,5,9]을 사용하였다. 즉 임의로 선택된 위치의 구획들의 밝기를 모두 128로 치환하여 다양한 오류 패턴을 만들고 선택된 구획들에 대하여 복원을 함으로써 복원 능력을 평가하는 것이다. 이때 손상되는 정도는 구획 손실율(block loss rate: BLR)로 표시하며, 전체 구획의 숫자에서 오류를 발생시킨 구획의 숫자의 비율로 정의된다. 본 모의 실험에서 구획 손실율은 1%에서 30%까지 1% 단위로 조절되었고 각각의 구획 손실율에 대하여 100회의 반복 실험을 행하여 다양한 오류 패턴에 대한 결과를 평균하였다. 영상의 화질 평가는 널리 사용되는 PSNR(peak signal to noise ratio)로 측정하였는데 이때 손상되어 복원된 구획의 결과만 포함하였다.

그림 2에 제안하는 알고리즘을 포함한 여러 알고리즘의 구획 손실율에 대한 PSNR 값을 그래프로 나타내었다. 이 그래프에서 제안하는 알고리즘의 성능이 Wang의 알고리즘 보다는 0.5~1.0 dB 정도 향상되

었고, Park의 알고리즘 보다는 1.0~2.0 dB 정도 향상됨을 알 수 있다. 만약 구획 손실율이 충분히 낮아서 발생한 구획들이 대부분 고립되어 있다면 제안한 알고리즘의 성능이 다른 알고리즘들보다 훨씬 우수함을 알 수 있다.

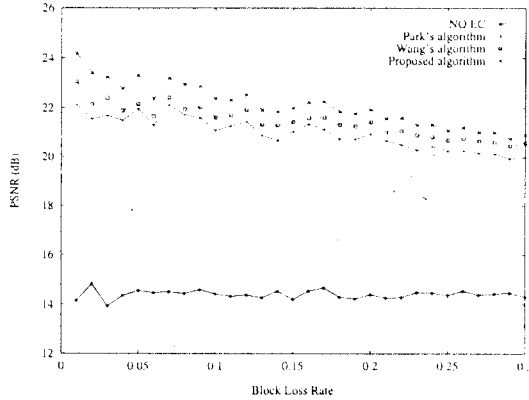


그림 2. 여러 공간 보간 오류 은폐 기법들의 구획 손실율에 대한 PSNR 성능 측정 결과, Lena 영상.

주관적인 화질 평가를 위해서 Sun의 논문[8]에서 사용된 오류 패턴과 같은 오류 패턴에 대하여 여러 알고리즘을 적용한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)에서 각각의 손상된 구획들이 서로 고립되어 있음을 알 수 있다. 이러한 손상된 영상에 대하여 그림 3(b)와 그림 3(c)는 각각 Wang과 Park의 기법을 적용한 결과이며 모자나 오른쪽 모발, 뒷 배경등에서 뚜렷한 윤곽선을 포함하는 구획의 경우 효과적으로 복원하지 못함을 알 수 있다. 그러나 제안하는 알고리즘에 의한 결과인 그림 3(d)를 보면 그러한 뚜렷한 윤곽선이 정확한 위치에 효과적으로 복원됨을 확인할 수 있다. 이를 좀 더 자세하게 살펴보기 위하여 그림 4에 그림 3의 한 부분을 확대한 영상을 제시하였다. 이 영상들을 관찰하면 제안하는 기법에 의해서 손상된 구획의 윤곽선이 다른 기법과 비교하여 보다 정확하게 복원되었음을 관찰할 수 있다. 표 1에는 Lena, Pepper 및 Zelda 영상들에 대하여 그림 3에 사용한 것과 동일한 위치에 구획 오류를 발생시키고 이를 복원한 영상들의 PSNR 값들을 표시하였다. 이 표에서 제시한 결과를 살펴보면 제안하는 기법에 의하여 기존의 기법보다 약 0.4~1.5 dB 정도 향상된 화질을 얻을 수 있음을 관찰할 수 있다. 한편 그림 5에는 연속된 구획에 오류가 발생하였을 때의 실험 결과를 제시

하였다. 기존의 기법들에 의해 복원된 결과들은 모두 연속된 구획 오류에 의한 영향으로 손상된 영역의 세부적인 정보가 복원되지 못하는 데 비해서 제안된 기법에 의한 결과는 거의 본래의 정보를 복원하여 충실하게 오류 은폐가 수행되었음을 알 수 있다.

마지막으로 알고리즘의 수행 속도면에서 기존의 알고리즘과 비교하면 다음과 같다. 먼저 Wang과 Park의 알고리즘에 대해서는 요구되는 계산량이 정량적으로 밝혀져 있으나[4], Sun과 제안하는 알고리즘의 경우에는 반복 계산을 요구하므로 계산량이 일정하지 않아 정확한 비교는 곤란하다. 따라서 실제 프로그램의 수행 시간을 측정하여 비교를 하면, HP workstation 712 모델을 사용하여 그림 3에 나타난 Lena 영상에 대해 오류 은폐를 수행하는 경우 Park의 알고리즘이 약 30초, Wang의 알고리즘이 약 1분 30초 정도 소요되는데 비해서 Sun의 알고리즘은 38분, 제안하는 알고리즘은 27분 정도가 소요되는 것으로 측정되었다. 따라서 제안하는 알고리즘의 계산량 감축을 위해서는 사용하는 주변 영역의 넓이와 NURBS 기저 함수의 차수 등을 손상된 구획의 특성에 맞도록 조정하는 등의 알고리즘 개선이 필요하다고 판단된다.

표 1. 여러 알고리즘에 의하여 복원된 영상들의 PSNR 값들.

PSNR(dB)	Corrupted	Park's	Wang's	Sun's	Proposed
Lena	14.53	22.30	24.41	23.93	24.96
Pepper	18.05	23.34	24.06	22.19	24.48
Zelda	16.02	26.16	26.40	26.35	27.36



(a) 손상된 Lena 영상(BLR = 7.9%)



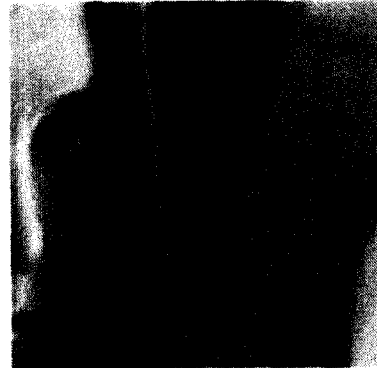
(b) Park의 알고리즘 적용 결과



(a) 손상된 Lena 영상(부분)



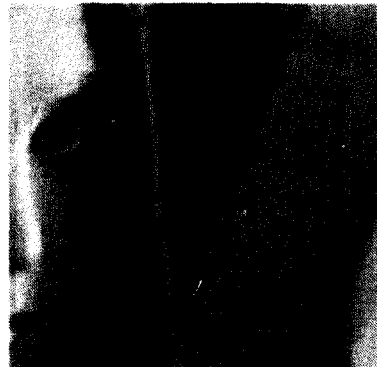
(c) Wang의 알고리즘 적용 결과



(b) Park의 알고리즘 적용 결과



(d) 제안하는 알고리즘 적용 결과



(c) Wang의 알고리즘 적용 결과

그림 3. 고립된 구획 오류에 대하여 여러 알고리즘을 적용한 결과 영상들, Lena 영상.



(d) 제안하는 알고리즘 적용 결과



(c) Wang의 알고리즘 적용 결과

그림 4. 여러 기법에 의하여 복원된 Lena 영상의 부분 확대 영상.



(a) 손상된 Lena 영상(BLR = 23.7%)



(d) 제안하는 알고리즘 적용 결과

그림 5. 연속된 구획 오류에 대하여 여러 알고리즘을 적용한 결과 영상들, Lena 영상.



(b) Park의 알고리즘 적용 결과

## V. 결 론

본 논문에서는 진송중 손상된 영상 정보를 2차원 NURBS 보간 함수를 사용하여 구획별로 복원하는 기법을 제안하였다. 제안된 기법에서 손상된 구획의 주변 영역 화소들을 최대한 근사할 수 있는 곡면을 생성하는 NURBS 제어점들을 Fletcher-Reeves 최적화 기법을 사용하여 계산하였다. 따라서 이때 생성된 곡면에서 손상된 구획에 해당되는 부분으로 손상된 구획을 대체하게 되면 주변 영역의 밝기 변화와 잘 융합되는 복원 결과를 얻을 수가 있었다. 특히 화질에 큰 영향을 주는 손상된 구획 내의 윤곽선을 제안된 기법에 의



해서 기존의 알고리즘보다 더욱 효과적으로 복원할 수 있음을 보였다. 즉, 제안된 기법은 손상된 구획 내의 급격한 밝기 변화까지 주변 구획과 잘 융합되도록 보간함으로써 윤곽선의 방향과 정도등을 더욱 세밀하게 복원하는 것이 가능하다고 판단된다. 컴퓨터 모의 실험에 의해서 제안하는 기법의 성능을 기존의 알고리즘과 비교하였으며, 주관적 및 객관적 성능 평가에 있어서 모두 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. S. S. Hemami and T. H. Y. Meng, "Spatial and temporal video reconstruction for non-layered transmission," in *Proc. VISICOM '93, Fifth International Workshop on Packet Video*, (Berlin, Germany), Mar. 1993.
2. M. Ghanbari and v. Seferidis, "Cell-loss concealment in ATM video codecs," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 3, pp. 238-247, June 1993.
3. P. Salama, N. B. Shroff, E. J. Coyle, and E. J. Delp, "Error concealment techniques for encoded video streams," in *Proc. of ICIP '95*, (Washington, D.C., USA), pp. 19-12, Oct. 1995.
4. J. W. Park, J. W. Kim and S. U. Lee, "DCT coefficient recovery-based error concealment technique and its application to the MPEG-2 bit stream error," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. CSVT-7, pp. 845-854, Dec. 1997.
5. Y. Wang and Q. Zhu, "Signal loss recovery in DCT-based image and video codecs," in *Proc. of SPIE Visual Communications and Image Processing '91*, (Boston, MA, USA), pp. 667-678, Nov. 1991.
6. Q. Zhu, Y. Wang and L. Shaw, "Coding and cell-loss recovery in DCT-based packet video," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. CSVT-3, pp. 248-258, June 1993.
7. W. Zhu and Y. Wang, "The use of second order derivative based smoothness measure for error concealment in transform based codecs," in *Proc. of SPIE Visual Commun. and Image Proc. '95*, (Taipei, Taiwan), pp. 1205-1214, May 1995.
8. H. Sun and W. Kwok, "Concealment of damaged block transform coded images using projections onto convex sets," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, pp. 470-477, Apr. 1995.
9. X. Lee, Y.-Q. Zhang and A. Leon-Garcia, "Information loss recovery for block-based image coding techniques - A fuzzy logic approach," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, pp. 259-273, Mar. 1995.
10. L. Peigl and W. Tiller, *The NURBS Book*. Berlin, Springer, 1995.
11. International Telecommunication Union, Radio Communication Study Groups, "Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for FPLMTS," technical report, ITU-R, Apr 1996.
12. Motion Picture Expert Group(JTC1/SC29/WG11) and Experts Group on ATM Video Coding (ITU-T SG15), "Generic coding of moving pictures and associated audio MPEG-2," Draft International Standard 13818, ISO/IEC, Nov. 1994.
13. T. Watanabe, "Image coding making use of B-Spline surfaces," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. CSVT-7, pp. 409-413, Apr. 1994.
14. W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling and B. P. Flannery, *Numerical recipes in C: the art of scientific computing, 2nd Ed.* Cambridge: Cambridge University Press, 1992.



朴 鍾 旭(Jongwook Park) 정회원  
 1991년: 서울대학교 제어계측공학과 공학사  
 1993년: 서울대학교 제어계측공학과 공학 석사  
 1998년: 서울대학교 제어계측공학과 공학 박사  
 1998년~현재: 삼성전자 중앙 연구소 멀티미디어 연구소  
 <연구분야> 영상 정보 통신 및 신호 처리

李 商 郁(Sang Uk Lee) 정회원  
 제 33권 B편 제 6호 참조  
 현재: 서울대학교 전기공학부 교수