

벡터양자화를 이용한 영상압축에 관한 연구

정희원 정 일 화*, 김 백 기**, 이 대 영***

A Study on Image Compression Using Vector Quantization

Il-Hwa Jung*, Baek-Ki Kim**, Dai-Young Lee** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 영상 벡터양자화에서의 계산량과 압축률 개선을 위한 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 코드북 부분 검색, 코드벡터 요소의 부분 사용, 검색 중단조건 등을 이용하여 코드북 구성, 인코딩 과정에서의 계산량을 줄일 수 있었다. 또한, 선택된 코드북 인덱스 무손실 압축에서의 압축률을 높이기 위해 코드북 재배열과 가변길이 코딩(Variable Length Coding)을 사용하였다.

ABSTRACT

In this paper, new image vector quantization method for improvement computation cost and compression ratio is proposed. A proposed method could saved the computation cost of codebook generation and encoding using partial codebook search, partial codevector elements, and interruption criterion. And, to improve compression ratio of codebook index lossless coding, codebook rearrangement and variable length coding scheme are used.

I. 서 론

문자, 그래픽, 오디오, 영상 등의 결합으로 구성되는 멀티미디어 데이터 중에서 영상신호는 그 의미 전달 효과가 매우 크기 때문에 멀티미디어 데이터의 핵심이라고 할 수 있지만, 데이터량이 매우 방대하여 저장, 전송을 위해 대용량의 저장매체와 넓은 대역폭의 전송채널이 요구되므로 영상데이터 압축은 멀티미디어 서비스에서의 핵심과제 중 하나라고 할 수 있으므로 매우 다양한 연구들이 있었으며, JPEG(Joint Photographic Experts Group), MPEG(Moving Pictures Experts Group) 등에 의해 제정된 표준안이 상용화되어 있는 상황이다.

이와 같은 영상 압축 방법은 크게 예측부호화(Predictive coding) 방식과 변환부호화(Transform coding) 방식으로 대별되는데, 예측부호화 방식은 영상 화소들이 갖는 상관관계를 이용하는 방법으로서, 압축률이 낮을 때는 복원영상의 왜곡이 적고 시

스템의 구성이 간단하다는 장점을 갖지만 압축률을 높이면 왜곡이 크게 증가하는 단점을 갖고, 변환부호화 방식은 영상 화소간에 높은 상관도를 갖는 공간영역에서 주파수영역으로의 변환을 통해 상관도를 낮추고 에너지를 집중시킨 후에 높은 에너지 분포를 갖는 변환계수만을 부호화하는 방식으로서, 비교적 높은 압축률에서 좋은 성능을 나타내지만 시스템의 구성이 복잡해지게 된다.^[2]

반면에 이와는 다른 압축방식인 벡터 양자화(Vector Quantization)가 1980년 Y. Linde, A. Buzo, R.M.Gray 등에 의해 LBG 알고리즘이 제안된 이후로 많이 연구되어져 왔는데, 압축효율에 비해 시스템의 구조가 간단하다는 특히, 수신기의 구조가 매우 간단하다는 장점을 지니지만, 코드북(codebook)의 크기를 줄여 압축률을 높이면 복원영상의 화질, 특히 윤곽(edge) 부분의 화질이 저하되고, 화질 저하를 막기 위하여 코드북의 크기를 크게 하면 코드북 구성 시간, 부호화(encoding) 시간,

* 신성대학 컴퓨터계열(jungih@shinsung.ac.kr)

** 원주대학 전자통신과(bkkim@sky.wonju.ac.kr)

*** 경희대학교 전자정보학부(dylec@nms.kyunghee.ac.kr)

논문번호: T00025-0801, 접수일자: 2000년 8월 1일

코드북 저장을 위한 기억장소의 증가 등의 문제점 또한 지니고 있는 방법이라 할 수 있다.^{[1][2]}

벡터양자화는 코드북 구성(codebook generation), 인코딩(encoding), 디코딩(decoding)의 세 가지 단계로 구성되어지며, 기존의 다른 영상압축 방식과 마찬가지로 계산량, 압축률, 복원영상의 화질 등에 의해 성능이 평가되어지므로 본 논문에서는 복원영상의 화질저하가 커지지 않는 범위 내에서 코드북 구성과 인코딩 과정에서의 계산량을 줄이는 방법과 이 때 저하된 화질을 보완하기 위한 방법, 인코딩 과정에 의해 선택되어 전송되어지는 코드북 인덱스의 무손실 압축을 통해 압축률을 높일 수 있는 새로운 방법에 대해 제안하고자 한다.

II. 기존의 알고리즘

1. 코드북 구성과 인코딩을 위한 알고리즘

1.1 LBG(Lie-Buzo-Gray){1}

- 트레이닝 데이터로 사용될 영상을 n×n의 부분록(subblock)으로 나누고 이를 n² 차원의 트레이닝 벡터로 만든다.
- 초기 클러스터링(clustering) 중심을 정하여 트레이닝 데이터를 최소오차를 갖는 초기 클러스터로 분류한다.
- 클러스터의 중심을 갱신하여 수렴조건을 만족 할 때까지 반복한다.
- 압축 전송하려고 하는 입력영상을 코드벡터와 같은 n²차원의 벡터로 구성한다.
- 이미 구성되어져 있는 N개의 코드벡터와의 오차를 계산하여 그 값이 최소가 되는 코드벡터의 인덱스를 전송한다.

1.2 Partial Distortion Search(PDS){3}

- 입력벡터와 가장 오차가 작은 코드벡터를 선택하는 과정을 변형하여 계산량을 줄이는 방법이다.
- 입력벡터 X_i와 최소오차를 갖는 코드벡터를 찾는 과정에서 다음과 같이 가정한다.

Y_{min} : 현재까지 최소 오차를 갖는 코드벡터

d_{min} : X_i 와 Y_{min} 사이의 오차

- 새로운 코드벡터 Y_j와 X_i의 오차 d(X_i, Y_j)를 일괄적으로 계산하지 않고, 16개의 벡터요소에 대해 차례로 오차를 계산하여 누적시켜 진행하다가 그 값이 d_{min}을 넘어서면 계산을 중단하고 다음 코드벡터로 이동하는 형식을 취하여 계산량을 줄이게 된다.

1.3 Mean-distance-ordered Partial Search(MPS)⁽⁴⁾

- Euclidean distance의 계산 여부를 식(1)을 이용하여 결정하는 방식이다.

$$d_M(X, Y) = \left(\sum_{i=1}^m X_i - \sum_{i=1}^m Y_i \right)^2$$

$$d_M(X, Y) \leq m \times d(X, Y) \quad (1)$$

- 코드북을 평균값 순으로 정렬한 후 실행하며, 검색단계에서 현재까지 결정된 가장 유사한 코드벡터가 Y_{min} 이라고 가정하면, 코드벡터 Y_i 가 식(1)을 만족할 경우에만 d(X, Y_i)를 계산하는 방식을 취한다.

1.4 Kick-out condition by Wu and Lin⁽⁸⁾

- Euclidean distance를 식(2)에서와 같이 전개하여 사용한다.

$$\begin{aligned} d(X, Y) &= \sum_{i=1}^m (X_i - Y_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^m X_i^2 + \sum_{i=1}^m Y_i^2 - 2 \sum_{i=1}^m X_i Y_i \end{aligned} \quad (2)$$

- 식(2)에서 $\sum_{i=1}^m X_i^2$ 는 공통 포함된 항이고 $\sum_{i=1}^m Y_i^2$ 는 미리 계산할 수 있는 값이므로 계산량을 줄일 수 있다.

2 코드북 인덱스의 무손실 압축을 위한 알고리즘

2.1 DPCM/Huffman coding⁽⁶⁾

인접영역에서의 코드북 인덱스는 상관도가 높다는 전제에 의해 예측기를 이용하여 X에 대한 예측치 Y를 계산한 후 X와 Y의 오차를 표1의 허프만 테이블을 이용하여 무손실 압축을 행하게 된다.

표 1. JPEG 무손실 모드에서의 허프만테이블

오차값의 범위	코드	부가비트	총비트
0	00	0	0
-1 ~ 1	010	1	2
-3 ~ 3	011	2	4
-7 ~ 7	100	3	5
-15 ~ 15	101	4	6
-31 ~ 31	110	5	7
-63 ~ 63	1110	6	8
-127 ~ 127	11110	7	10
-255 ~ 255	111110	8	12

2.2 Search-Order Coding (SOC)⁽⁵⁾

- 인접영역의 코드북 인덱스간의 상관관계가 높은 것을 이용한다.
- 그림1과 같은 검색 경로에서 같은 인덱스가 발견 되면 그 위치를 전송하고, 발견하지 못하면 원래의 인덱스를 전송하는 방식을 사용한다.
- 검색순서를 표현하기 위해 m비트를 사용하면 2^m개의 인덱스 확인 가능하고, 일치하는 인덱스를 검색하였는지를 표현하기 위해 1비트 추가되므로 전송되는 데이터량은 다음과 같게 된다.
- 데이터량 = (1+m) × s + (1+log₂N) × (L-s)
 - s : 인덱스가 일치하는 영역의 수
 - N : 코드벡터의 수 L : 전체 영역의 수
 - m : 검색경로 표현을 위한 비트 수

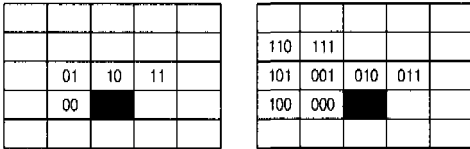


그림 1. SOC에서의 검색 경로

2.3 SOC with Correction Code⁽⁷⁾

- SOC 방법에서와 같은 검색경로와 방법을 사용하지만 인덱스가 일치하는 위치만을 표시하지 않고, 정해진 범위 내에서 오차가 발생하는 부분에 대해서도 표현을 하는 방법이다.
- 데이터량 = (2+m) × s + (2+m+n) × c + (2+log₂N) × (L-s-c)
 - s : 일치 영역의 수 N : 코드벡터의 수
 - c : 범위내의 영역 수 L : 전체 영역의 수
 - m : 검색위치 비트 수 n : 오차 비트 수

III. 제안 알고리즘

1. 코드북 구성과 인코딩을 위한 알고리즘

1.1 검색영역의 축소

- 최소오차를 갖는 코드벡터를 검색할 때, 최소오차를 갖는 코드벡터가 자리한 위치에 근접한 영역에서 검색을 시작하면 계산량을 상당히 줄일 수 있다는 것에 착안
- 에너지 크기로 재배열한 코드북에 대해 Full search를 통해 최소오차를 갖는 코드벡터 인덱스를 구하고, 단지 에너지 크기가 가장 근접한 인덱

스를 구해 이들간의 오차를 확인하여 표2에 서와 같이 그 오차가 코드북 전체 크기에 비해 상당히 작다는 결과를 확인하였으므로 이를 이 용하면 검색영역을 상당 부분 줄일 수 있게 된다.

표 2. 인덱스 오차 분포

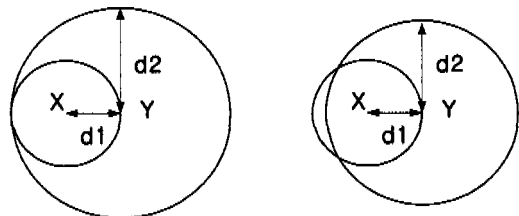
인덱스 오차	누적비율
0	16.24 %
-4 ~ 4	74.97 %
-8 ~ 8	90.54 %
-16 ~ 16	97.54 %
-32 ~ 32	99.60 %
-64 ~ 64	99.98 %
-255 ~ 255	100.00 %

1.2 코드벡터 요소의 부분 사용

- 16차원의 코드벡터를 사용하여 검색 동작을 진행할 때, 입력벡터와 코드벡터의 화소에 대해 각각 오차가 계산되어 이를 합한 후 최소오차와 비교하게 되는데, 이러한 일련의 동작에서 만약 입력 벡터가 오차가 많이 나는 코드벡터와 만나게 되면 16개 화소의 오차를 모두 더하기도 전에 이미 최소오차를 넘어서게 되므로, 나머지 계산은 불필요하게 된다.
- 본 논문에서는 16차원의 코드벡터를 4영역으로 분리하여 적용하였다.

1.3 검색중지 조건의 도입

- 입력벡터에 따라 검색영역을 가변적으로 적용할 수 있는 검색 중지 조건을 제안하였다.
- 그림 2에서 X를 인코딩 하려는 입력벡터, Y를 코드벡터, d1을 X와 Y 사이의 오차, d2를 코드벡터 Y와 다른 코드벡터 사이의 오차 최소값이라 가정하면, (a)에서와 같이 2 × d1 ≤ d2 의 조건을 만족하면 이는 Y가 X의 최소오차 코드벡터라는 것을 의미하므로 검색을 중단해도 무방하다고 할



(a) 2 × d1 ≤ d2

(b) 2 × d1 > d2

그림 2. 검색 조건

수 있으므로 이러한 중지 조건을 활용하면 모든 입력벡터가 같은 크기의 영역을 검색하는 것을 피할 수 있으므로 결과적으로 계산량을 줄일 수 있게 된다.

1.4 저하된 화질의 보완

- 검색영역 축소 방법을 사용하면 복원영상에서 미세하나마 화질저하가 따르게 되므로, 코드북 구성을 위한 트레이닝 데이터와 인코딩하기 위한 입력벡터를 윤곽선(edge)이 포함된 영역과 포함되지 않은 영역으로 구분하여 화질을 보완할 수 있는 방법을 사용하였다.
- 벡터를 구성하는 영상의 영역에 대해 식(3)에 의해 구해지는 임계값 th 를 이용하여 분류한다.

$$th = AVG_{High} - AVG_{Low} \quad (3)$$

AVG_{High} : 평균보다 큰 값을 갖는 화소 평균
 AVG_{Low} : 평균보다 작은 값을 갖는 화소 평균

- 식(6)에 의해 분류된 영상과 Sobel 연산자를 사용한 윤곽선 추출영상과의 비교를 통해 임계값을 결정하여 본 논문에서는 $th=30$ 을 사용하였다.

표 3. 동일 분류 비율(%)

	th=10	th=20	th=30	th=40
sobel(th=120)	62.9	81.3	86.2	85.4
sobel(th=150)	58.7	77.9	85.4	83.9

2. 인덱스의 무손실 압축을 위한 알고리즘

- 같은 인덱스를 갖는 검색위치를 표현하는 비트를 줄이기 위해 한 방향에 대해서만 검색한다.(본 논문에서는 표 1(b) 화소위치에서의 위치 b 만을 사용한다.)
- 검색위치의 인덱스가 기준위치의 인덱스보다 큰 경우와 작은 경우를 따로 표현하여 Correction code를 사용하면 기준위치와 일치하는 경우, 기준위치 보다 큰 경우, 기준위치 보다 작은 경우, 오차 한계를 벗어나는 경우의 4가지로 표현되므로 이를 표현하는데 각 2비트씩이 필요하게 되므로, 오차범위 내의 경우를 합하여 전체를 3가지로 표현한 후 출현빈도에 따라 1, 00, 01을 각각 할당하는 방식으로 가변길이부호화(variable length coding)을 이용하여 표현하였다.

표 4. 인덱스 오차 분포

코드북 크기	correction bit	인덱스 오차(%)		
		일치	범위 内	범위 外
128	3	35	33	32
	4	35	48	17
	5	35	58	7
256	3	30	25	45
	4	30	40	30
	5	30	53	17
512	3	22	17	61
	4	22	32	46
	5	22	48	31

IV. 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 알고리즘에 대한 검증을 위한 모의실험은 $256 \times 256(8bpp)$ 크기의 10가지 영상에 대해 IBM-PC(Pentium-500MHz)에서 C 언어를 사용하여 수행하였다.

1. 코드북 구성

코드북 구성시의 계산량 비교가 표 5에 제시되었는데, 이 때의 수치는 LBG(Full search) 알고리즘의 계산량을 기준으로 하였을 때의 상대적 계산량을 나타낸 수치이다.

결과를 보면, 본 논문에서 제안한 방식이 LBG 알고리즘에 비해서는 77~84%의 계산량 감소가 가능했고, 기존의 알고리즘 중에서 가장 좋은 결과를 보인 MPS 알고리즘에 비해서도 24~39%의 감소가 있었음을 알 수 있다.

표 5. 계산량 비교

코드북 128개		코드북 256개	
알고리즘	Total(%)	알고리즘	Total(%)
LBG	100	LBG	100
PDS	43	PDS	35
MPS	31	MPS	25
제안(w=20)	23	제안(w=28)	19
제안(w=16)	22	제안(w=24)	18
제안(w=12)	19	제안(w=20)	16

2. 인코딩(Encoding)

인코딩에서의 계산량 비교가 표 6에 제시되었는데, 본 논문에서 제안한 방식이 LBG 알고리즘에 비해서는 83.1~90.9%의 계산량 감소가 가능했고, 기존의 알고리즘 중에서 가장 좋은 결과를 보인

MPS 알고리즘에 비해서도 41~47%의 감소가 있었음을 알 수 있고 코드북 구성시에 비해 인코딩시의 계산량이 상대적으로 더욱 감소하였음을 보여주는 데, 이는 코드북 구성은 코드북 갱신이 여러 차례 이루어지며, 이 때마다 코드북 재배열이 필요하게 되기 때문에 인코딩의 경우에 비해 상대적으로 계산량 감소가 적었다고 생각된다.

또한 실험결과에서 복원영상의 PSNR 값이 거의 대등하거나 조금 증가된 것을 볼 수 있는데, 이는 검색영역의 축소에 따라 예상된 화질저하가 영역분류 방법의 도입으로 인해 보완되었음을 보여 준다.

표 6. 인코딩 결과 비교

코드북 128개			코드북 256개		
알고리즘	계산량	화질	알고리즘	계산량	화질
LBG	100.0	100.0	LBG	100.0	100.0
PDS	30.9	100.0	PDS	30.1	100.0
MPS	19.8	99.9	MPS	17.1	100.0
Kick-out	26.7	100.0	Kick-out	26.7	100.0
제안(20)	16.9	100.3	제안(28)	11.7	100.5
제안(16)	14.3	100.0	제안(24)	10.4	100.3
제안(12)	11.6	99.8	제안(20)	9.1	100.1

3. 코드북 인덱스의 무손실 압축

전송되는 인덱스의 무손실 압축을 위한 제안알고리즘의 결과는 표 7과 그림3에 보여졌는데, 제안 알고리즘의 경우 정정부호(correction code)를 3비트(C=3)에서 5비트(C=5)까지 사용하여 다른 방식과 비교하였으며, 그림3에서의 방법1~방법3은 각각 DPCM/Huffman, SOC, SOC with CC를 의미하며 방법4~방법6은 3비트에서 5비트까지의 정정부호를 사용한 제안방법을 의미한다.

표 7. 화소당 비트율 비교

알고리즘	bpp		
	코드북128	코드북256	코드북512
DPCM/Huffman	0.345	0.406	0.485
SOC	0.332	0.391	0.471
SOC with CC	0.352	0.397	0.469
제안(C=3)	0.323	0.381	0.473
제안(C=4)	0.317	0.368	0.457
제안(C=5)	0.334	0.364	0.447

표 7에서 제안된 알고리즘의 결과는 기존의 알고리즘 중에서 가장 좋은 결과를 보이고 있는 SOC 알고리즘에 비해 4%~7% 정도의 성능 향상을 보

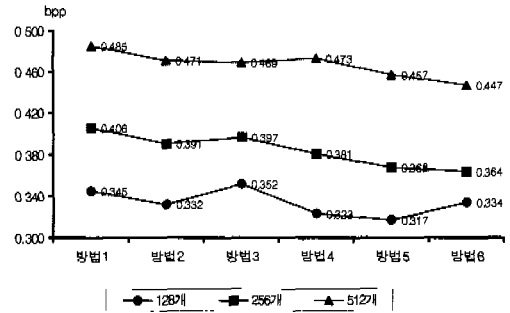


그림 3. 화소당 비트율 비교

이고 있음을 알 수 있는데, 이는 검색영역을 제한하여 검색위치를 표현하기 위한 데이터량을 줄이고, 가변길이 코드를 적용한 결과라고 생각되며, 정정부호의 크기와 코드북 크기와 상관계 또한 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 영상 벡터양자화에서의 코드북 구성과 인코딩시의 계산량을 줄이기 위해 코드북 부분 검색, 코드벡터 요소의 부분 사용, 검색 중단조건 등을 이용하고 전송되는 데이터량을 줄이기 위해 코드북 재배열과 가변길이 코딩(Variable Length Coding)을 사용하는 새로운 방식을 제안하였다.

결과에서 확인할 수 있듯이 계산량은 기존의 방법 중 가장 좋은 결과를 보인 MPS 알고리즘에 비해 코드북 구성에서는 24~39%, 인코딩에서는 41~47%의 감소를 보였으며, 데이터량의 경우 SOC 방법에 비해 4~7%의 감소가 있었음을 확인할 수 있었으며, 영역 분류 방법의 사용으로 코드북 검색 영역의 축소에 의한 화질 저하도 방지할 수 있었다. 따라서, 화질저하 없이 계산량을 줄이고 압축률을 높일 수 있도록 하기 위한 본래의 목적은 어느 정도 달성되었다고 생각된다.

하지만, 계산량 감소를 위한 코드벡터 요소의 부분 사용에서 최적의 조건을 찾기 위한 준비가 미흡했다는 부분이 아쉽게 생각되며, 영상 영역의 특성에 따라 코드북의 종류와 크기를 달리하는 CVQ의 개념을 본격적으로 도입하여 보완한다면, 계산량 감소와 압축률 개선에 더욱 효과가 있으리라 예상되므로 이에 대한 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

[1] Y. Linde, A. Buzo, R. M. Gray, "An Algorithm for Vector Quantizer Design", *IEEE Trans. on Communications*, VOL. COM-28, No 1, pp84-95, 1980.

[2] Robert M. Gray, "Vector Quantization", *IEEE ASSP Magazine*, pp.4-29, 1984.

[3] C. Bei, R. M. Gray, "An Improvement of the Minimum Distortion Encoding Algorithm for Vector Quantization" *IEEE Trans. on Commun.*, VOL. 33, pp1132-1133, 1985.

[4] S. W. Ra, J. K. Kim, "A Fast Mean-Distance-Ordered Partial Codebook Search Algorithm for Image Vector Quantization", *IEEE Trans. on Circuits and Syatems-II : Analog and Digital Signal Processing*, VOL. 40, No.9, pp576-579, 1993.

[5] C. H. Hsieh, J. C. Tsai, "Lossless Compression of VQ index with Search-Order Coding" *IEEE Trans. on Image Processing*, VOL 5, No. 11, pp1579-1582, 1996.

[6] 김백기 "지문영상의 무손실 압축 및 분류 알고리즘에 관한 연구", 박사학위논문, 경희대학교, 1997

[7] E. C. Liu, T. C. Wang, "An Improvement on Lossless Compression of VQ Indexes" *Proceedings of the Globecom '98 - Volume 3*, pp1699-1704, 1998.

[8] Kuang-Shyr Wu, Ja-Chen Lin, "Fast VQ Encoding by an Efficient Kick-Out Condition", *IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology*, VOL. 10, No. 1, pp59-62, 2000.

정 일 화(Il-Hwa Jung)

정희원



1991년 2월: 경희대학교
전자공학과 (공학사)
1993년 8월: 경희대학교
전자공학과 (공학석사)
1993년 9월~현재: 경희대학교
전자공학과 박사과정
1997년 3월~현재: 신성대학
컴퓨터계열 전임강사

<주관심 분야> 영상압축, 영상통신 등

김 백 기(Baek-Ki Kim)

정희원

1985년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)
1987년 8월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학박사)
1990년 9월~현재: 원주대학 전자통신과 부교수
<주관심 분야> 영상처리, 영상압축, 영상통신 등

이 대 영(Dai-Young Lee)

정희원

한국통신학회 논문지 제24권 12호 참조