

특집논문-01-6-3-03

## 다단계 탐색 기반 Matching Pursuit을 이용한 미세 계층적 부호화 기법

최 응 일\*, 전 병 우\*

## Fine Granular Scalable Coding using Matching Pursuit with Multi-Step Search

Woong-il Choi\* and Byeungwoo Jeon\*

## 요 약

인터넷을 통한 실시간 영상 통신 응용에서는 서버와 클라이언트간의 채널 비트율이 예측하기 어렵고 그 변동이 심하기 때문에 계층적 부호화와 같은 기능이 요구된다. 특히, 다양한 비트율에서의 서비스가 가능한 미세 계층적 부호화 기법(Fine Granular Scalable Coding)에 대한 연구가 활발히 진행 중이며 최근 MPEG-4 표준에서 이 기술이 채택되었다. 본 논문은 이러한 미세 계층적 부호기를 구현하기 위해 저비트율에서 효율적인 Matching Pursuit 부호기를 이용한 방법을 제안한다. 특히, Matching Pursuit의 가장 큰 단점인 높은 복잡도를 개선하기 위한 새로운 계층적 부호화 기법을 제안한다. 제안한 알고리즘을 사용하게 되면 연산량과 화질에서의 trade-off를 이용하여 복호기의 연산량에 맞추어 서비스할 수 있다. 실험 결과, 제안한 알고리즘은 기존의 FGS 기법에 비하여 비슷한 화질을 보이면서 1/5까지 연산량을 줄일 수 있었다.

## Abstract

Real-time video communication applications over Internet should be able to support such functionality as scalability because of the unpredictable and varying channel bandwidth between server and client. To accommodate the wide variety of channel bitrates, a new scalable coding tool, namely the Fine Granular Scalability (FGS) coding tool has been recently adopted in the MPEG-4 video standard. This paper presents a new FGS algorithm with matching pursuit that can reduce the computational complexity of ordinary matching pursuit-based algorithm. The proposed coding algorithm can make trade-off between picture quality and computational complexity. Our simulation result shows that the proposed algorithm can reduce the computational complexity up to 1/5 compared to the conventional FGS method while retaining a similar picture quality.

## I. 서론

최근까지의 영상 통신은 기본적으로 회선교환(Circuit Switching) 기반 점대점 연결로써, 통화가 시작되기 전, 사용자 간에 전송 속도에 대한 사전 협의를 마친 후 서비스가 개시되는 구조였다. 그러나 현재는 점차로 인터넷 망과 같은 패킷 교환(Packet switching)에 근간을 둔 통신이 보편화되어 가고 있는 추세이다. 인터넷이나 인트라넷

과 같은 IP기반 망은 그 특성상 서로 이질적인 사용자들에게 서비스 품질(Quality of Service)이 보장되지 않는 채널을 통하여 다양한 멀티미디어 서비스를 제공한다. 따라서, 서비스 공급측에서 보면, 동일 비디오 콘텐츠라도 IP망의 사용자 접속능력에 따라 수십 kbps에서 수Mbps에 이르는 광범위한 급(grade)으로 서비스해 줄 수 있어야 한다. 또한 비록 단일 사용자라 하더라도 망의 상태에 따라 어떤 속도로 서비스 접속을 원할 지 미리 알 수 없는 경우도 있다<sup>1)</sup>.

이와 같은 다양한 사용자 및 서비스 조건에서 통일(unified)된 서비스를 제공하기 위해 지금까지 사용한 가

\* 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부  
School of ECE, Sunkyunkwan Univ.

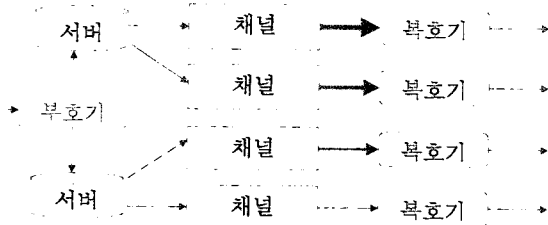


그림 1. 현재의 복수개의 비트 스트림 기반 멀티미디어 서비스 개념도  
Fig. 1. Conceptual Multimedia Service Framework with Multiple Bitstreams

장 신뢰도 높은 방법은 그림 1처럼 예상되는 다양한 전송 속도에 맞추어 부호화한 비디오 스트림을 서버측에서 다양하게 준비해 놓은 후 사용자에게 맞는 비트 스트림을 선택적으로 제공하는 것이었다. 정해진 수만큼의 서로 다른 급의 부호화된 비트 스트림을 이용하는 이러한 형식의 예로는 인터넷 방송을 들 수 있다<sup>[2]</sup>.

그러나 이러한 방법은 서버측의 복잡도 증가라는 명백한 단점을 무시하더라도, IP상의 영상미디어 서비스 도중망 폭주(Network Congestion)에 의해 패킷 전송속도가 저하되었을 때 더욱 낮은 전송률로 압축된 비트 스트림으로 자동 절제하지 않으면, 서비스가 중단되는 치명적인 문제를 갖고 있다. 이러한 채널의 변화도가 높은 IP상에서의 영상 부호화를 위해 미세 계층적 부호화(Fine Granular Scalable Coding)에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 미세 계층적 부호화 기법은 비트율을 수비트 단위로 세분하여 부호화함으로써 가용 전송 비트율이 크게 변동되더라도, 재부호화없이 사용자가 어떤 비트율에서도 복호가능한 서비스를 제공할 수 있다. 이러한 미세 계층적 부호화 기법은 특히 MPEG-4에서의 핵심 기술 가운데 하나로 지정되었고, 최근에 MPEG-4 version 4의 Fine Granular Scalability(FGS)로 그 표준화가 완료되었다<sup>[3][4]</sup>.

본 논문은 기존의 DCT 기반<sup>[3][4]</sup>이나 Wavelet 기반<sup>[5]</sup>이 아닌 Matching Pursuit이라는 새로운 알고리즘을 이용한 미세 계층적 부호기를 제안하고자 한다. Matching Pursuit은 특히 저비트율에서 DCT 기반의 부호기에서 발생하는 블록화 현상<sup>[6][7]</sup>이 나타나지 않으며, DCT보다도 뛰어난 화질을 보인다<sup>[8][9][10]</sup>. 또한 무선통신 환경에서 특히 문제가 되는 오류 강인성에 대해서도 DCT기반의 기존 부호기에 비해 더욱 뛰어난 성능을 나타낸다<sup>[11]</sup>. 그러나 Matching Pursuit은 기존 DCT에 비하여 많은 연산량을 가지고 있다는 단점이 있다<sup>[12][13]</sup>. 그러므로 본 논문에서는 Matching Pursuit의 연산속도를 개선하는 효과까지 지닌 미세 계층적 부호기에 대하여 제안한다.

## II. Matching Pursuit 기법

H.261, H.263, MPEG-1/2/4등 기존의 비디오 부호화 기법은 전형적인 MC-DCT의 혼합(Hybrid) 구조로 되어 있다. 즉, 움직임 벡터를 이용하여 참조영상으로부터 움직임 보상된 잉여영상을 일정 크기의 블록으로 나누어 DCT를 취한 다음 그 값을 양자화하여 전송하는 것이다. 이러한 블록기반의 DCT는 특히 저비트율에서 블록화 현상이 발생하여 주관적 화질을 열화시키는 요인이 된다. 이러한 블록화 현상을 해결하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔으며<sup>[6][7]</sup>, 비디오 부호화 이전이나 이후 또는 그 부호화과정 중에서 블록화 제거필터링을 수행함으로써 문제를 해결하도록 하였다. Matching Pursuit 기법은 특히 저비트율에서 이러한 기존의 MC-DCT 혼합 구조에서 DCT를 대체할 수 있는 새로운 알고리즘이다.

Matching Pursuit의 주요한 특징으로는 64개의 기본신호(Basis)만을 갖는 DCT와는 달리 다양한 크기의 Overcomplete 기본신호를 사용한다는 점과 이 기본신호들이 반드시 8x8의 블록구조에 의해 정해지는 고정된 위치에 오지 않아도 된다는 점이다. 이러한 장점을 갖는 Matching Pursuit을 이용한 비디오 부호기의 구조는 그림 2와 같으며<sup>[14]</sup>, Matching Pursuit은 Overcomplete 기본신호들 가운데 움직임 보상된 잉여영상을 제공평균오차 측면에서 최적으로 표현할 수 있는 기본신호를 찾는 과정이다. 이러한 Matching Pursuit의 구체적 과정은 다음과 같다<sup>[14]</sup>.

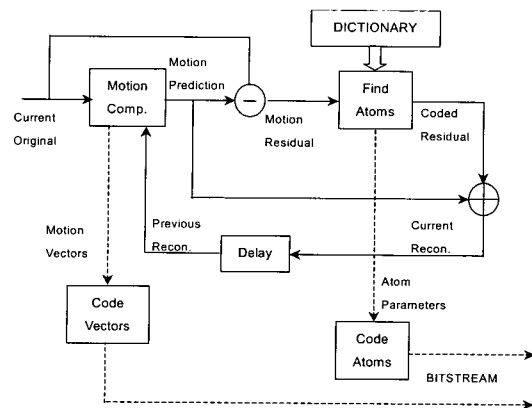


그림 2. Matching Pursuit을 이용한 비디오 부호기<sup>[14]</sup>  
Fig. 2. Matching Pursuit Video Encoder

먼저 분해하고자 하는 잉여영상을  $f(t)$ , 그리고 주어진 잉여영상을 분해하기 위하여 구성된 기본신호들의 집합을

사전이라고 하고  $D$ 라고 표시한다. 이 때  $D$ 를 구성하는 Overcomplete한 기본신호들을  $g_{\alpha,\beta,xy}$ 라고 하자. 여기서  $\alpha, \beta$ 는사전  $D$ 에서의 해당 기본 신호의 인덱스를 의미하며  $x, y$ 는 주어진 영상내에 선택된 기본신호가 위치할 공간의 좌표를 나타낸다. 정의에 따라서 주어진 잉여영상은 다음의식(1)과 같은 형태로 분해될 수 있다. 여기서  $a_n$ 은 선택된  $n$ 째 기본신호  $g_{\alpha,\beta,xy}^n$ 에 곱해지는 확장상수이며, 적절한 확장상수와 기본신호를 구하는 과정을 반복함으로써 신호분해가 이루어지게 된다.

$$f = \sum_{n=0}^{\infty} a_n g_{\alpha,\beta,xy}^n \quad (1)$$

이때 찾은 기본신호를 'Atom'이라고 하며, 그 기본신호의 인덱스( $\alpha, \beta$ ), 공간위치( $x, y$ ), 그 기본신호에 대한 확장상수값( $a_n$ )들을 통칭하여 'Atom 정보'라 한다. 이러한 Atom들은 잉여영상에서 에너지가 높은 순서대로 반복적으로 찾게 되는데, 현재까지 찾아진 Atom으로 주어진 영상을 표현한 후 얻어지는 제곱평균오차가 어느 일정 기준 이하에 이르면 그 과정이 중단된다. 여기서 적절한 기본신호와 이에 해당하는 확장상수들은 주어진 입력신호와와의 차이 에너지가 가장 작아지도록 찾아진다. 에너지의 감소가 가장 많을 경우는 확장상수  $a_n$ 이 주어진 잉여영상과 각각의 기본신호들과의 내적의 절대값이 가장 큰 경우이다. 따라서  $a_n$ 은 다음의 식(2)와 같이 표현되어 질 수 있다.

$$a_n = \left\langle f, g_{\alpha,\beta,xy}^n \right\rangle \quad (2)$$

첫번째 분해과정을 수행하기 위하여 주어진 잉여영상과 각각의 기본신호를 모두 내적연산하여 각각 그 내적값의 절대값크기를 비교한 후 그 중 가장 큰 내적의 절대값을 가지는 기본신호가 첫번째 분해과정에서의 채택된 기본신호가 되고, 그 내적 값이 첫번째 확장상수가 되는 것이다. 다음의 식(3)는 첫번째 분해과정을 거친 후의 표현식이다.

$$f = a_0 g_{\alpha,\beta,xy}^0 + R_1 \quad (3)$$

여기서  $R_1$ 은 주어진 입력신호에서  $a_0$ 와  $g_{\alpha,\beta,xy}^0$ 에 의해

서 분해되고 남은 나머지 신호이다. 다음 단계에서는  $R_1$ 이 다시 입력신호가 되어 분해의 과정이 반복된다. 이와 같은 방법으로  $m$ 개의 구성신호를 찾아내어 주어진 입력신호를 분해 했을 때 전체적인신호의 분해는 다음의 식(4)로 표현된다.

$$f = \sum_{n=0}^{m-1} a_n g_{\alpha,\beta,xy}^n + R_m \quad (4)$$

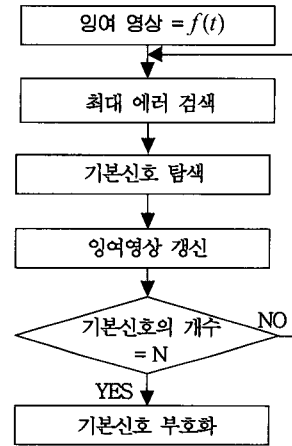


그림 3. Matching Pursuit 순서도<sup>13)</sup>  
Fig. 3. Flowchart of Matching Pursuit

그림 3은 이러한 과정들을 순서도로 나타낸 것이다<sup>13)</sup>. 그림 3의 과정에서 하나의 기본신호, Atom을 찾기 위해서는 해당 단계의 잉여영상의 모든 위치에 모든 Overcomplete한 기본신호들과 내적연산을 반복하여야 한다. 따라서 이는 많은 연산량을 필요로 하게 되어 사실상 비현실적이다. 만일  $N_1 \times N_2$  크기의 영상인 경우,  $N_1 \times N_2$  크기의 휘도영상과 두 개의  $(N_1/2) \times (N_2/2)$  크기의 색차신호에 대하여 총  $|D|$ 개의 기본신호가 존재할 때, 이를 위해 필요한 총 내적연산은  $3/2 (N_1 N_2) |D|$ 가 된다. 한 예로, QCIF 크기의 영상에 400개의 기본신호를 사용한다고 할 경우 하나의 Atom을 찾는 데 필요한 연산 수는  $1.5 \times 176 \times 144 \times 400 = 15.2 \times 10^6$  정도이므로 실제 구현상 계산량 과도의 문제를 갖게 된다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위해 움직임 보상된 잉여영상을 일정 크기의 블록으로 나누는 다음, 그 블록들 가운데 에너지가 높은 순서대로 탐색 및 부호화하는 방식을 사용한다<sup>14)</sup>. 즉, 잉여영상에서  $S \times S$  크기의 슬라이딩 윈도우를 이용하여 에너지가 가장

많은 곳을 찾은 다음, 찾아진 블록의 중심점을 기준으로 하여 탐색영역의 크기( $S^2$ )를  $N \times N$ 으로 확장하여 만든 블록의 각각의 픽셀 중심에 2차원 기본신호를 대응시켜서 내적연산을 수행하게 되는 것이다. 기존 방법<sup>[14]</sup>에서는  $S=12$ ,  $N=16$ 으로 설정하였다. 이때 내적연산의 절대치가 가장 큰 기본신호가 선택되고, 그 신호의 인덱스( $\alpha, \beta$ )와 영상에서의 좌표 점( $x, y$ ) 그리고 입력영상과 선택된 신호의 내적 값(Modulus  $a_n$ ) 등 5가지 요소, 즉 Atom 정보를 전송 또는 저장한다. 그 후 선택된 구성신호와 확장상수를 곱해서 얻어지는 결과 영상을 잉여영상에서 제거하여 다음 단계에서 적용될 새로운 잉여영상을 만드는 과정을 수행하게 된다.

한편, 에너지 순서대로 찾아진 Atom들은 다시 그 위치 순으로 나열되어 Atom간의 위치의 차이값을 Huffman 가변장 부호화하여 위치정보를 보내게 된다. 또한 Atom의 인덱스 정보와 내적값(Modulus)도 역시 Huffman 가변장 테이블을 이용하여 부호화하여 전송한다. 최근 Atom의 부호화 효율을 높이며 오류에 좀더 강인한 부호화 기법인 매크로블록 기반의 위치정보 부호화가 제안되기도 하였다<sup>[15]</sup>.

이러한 Matching Pursuit의 부호화 기법에 대하여 좀더 성능을 개선하기 위한 기존의 제안된 기법들로는 높은 연산량을 개선하는 기법<sup>[12][13][17]</sup>, 기본신호를 영상에 대하여 적응적으로 선택함으로써 화질을 개선하는 기법<sup>[18][19][20]</sup> 등이 있다. 본 논문은 이러한 Matching Pursuit 부호화 기법을 미세 계층적 부호화에 적용하기 위한 방법을 제안하도록 한다.

### III. Matching Pursuit을 이용한 제안 미세 계층적 부호화 기법

Matching Pursuit을 이용한 미세 계층적 부호기가 그림 4에 나타나 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이, 기본계층(Base Layer)은 그림 2의 기존 구조를 그대로 유지하고 상위계층(Enhancement Layer) 또한 기본계층의 움직임 보상된 잉여영상을 그대로 사용할 뿐만 아니라 Atom을 찾는 과정까지 모두 동일하며 단지 Atom을 부호화하는 과정에서만 차이가 나기 때문에 제안한 방법에 있어 계층적 부호기를 설계하는데 부가적으로 필요한 요소가 거의 없다. 기본계층에서는 앞 절에서 설명한 것과 같이 Atom이 위치 순으로 재배열되어 부호화되지만, 상위계층의

Atom 부호기는 에너지 순서대로 부호화하게 된다. 상위계층에서는 에너지 순서대로 부호화된 Atom들을 보내주게 되므로 하나의 Atom 단위로 상위계층들이 형성되는 것이다. 예를 들어 하나의 Atom이 대략 25~30비트 정도 차지한다고 볼 때, 수십비트 간격으로 부호화가 가능하게 되는 것이다.

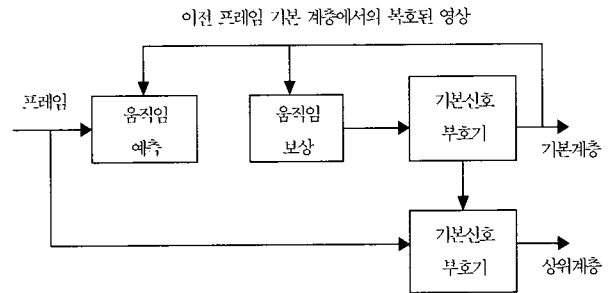


그림 4. Matching Pursuit을 이용한 미세 계층적 부호기  
Fig. 4. Fine Granular Scalable Video Encoder using Matching Pursuit

Matching Pursuit 부호기에서 Atom들은 이미 잉여영상에서 에너지가 높은 순서대로 찾아지게 되므로 상위계층에서 별도의 Atom을 찾는 기법이 필요없다. 그러나 이를 에너지의 순서대로 부호화하게 될 경우, 위치정보에 대한 Atom들간의 상관도가 거의 없어지므로 사실상 기존의 엔트로피 부호기법을 사용하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 몇 개의 Atom을 그룹으로 묶어 부호화하는 NumberSplit과 같은 기법<sup>[15]</sup>이 제안되었으나 그 부호화 효율 개선 효과가 사실상 미미하다. 또한 에러에 취약하며 복잡도가 더욱 증가하는 단점이 있기 때문에 본 논문에서는 위치정보를 부호화하는데 저비트율에서 민감한 에러에 대해 강인한 고정장 부호기법(Fixed-Length Coding)을 사용하였다<sup>[11]</sup>. 그러나 여전히 이러한 미세 계층적 부호기에서도 Matching Pursuit의 높은 계산량으로 인한 문제가 남아있다. 한 예로 잉여영상에서 최대 에너지 영역을 찾는 슬라이딩 윈도우의 크기를  $12 \times 12$ 라고 하고 여기서 확장된 윈도우의 크기가  $16 \times 16$ 이라고 하고 400개의 기본신호를 사용한다고 가정하면, 하나의 Atom을 부호화하는데 걸리는 시간은  $(16 \times 16) \times 400 \times (3/2) = 153,600$  만큼의 내적연산이 필요하게 된다. 또한 이러한 내적연산은 Atom의 개수만큼 증가하게 되므로 복잡도가 제한된 시스템에서는 일정수 이상의 Atom을 부호화하기 어렵게 된다. 그러므로 미세 계층적 부호기에서 선형적으로 증가하는 복잡도를 개선하기 위한 알고리즘이 필요하다.

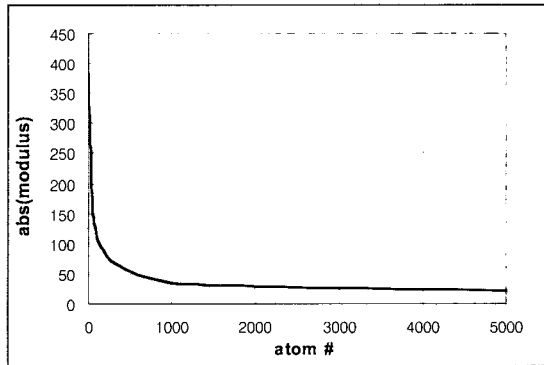


그림 5. Atom에서 내적값 절대치의 분포<sup>16)</sup>  
Fig. 5. Distribution of Absolute Modulus of Atoms

그림 5는 Atom의 매개변수 가운데 내적연산값인 계수 (Modulus)의 절대값의 분포를 에너지 순으로 도시한 것이다<sup>16)</sup>. 그림 5에서 보는 것처럼 Atom의 개수가 증가할수록 그 절대값 크기는 기하급수적으로 작아지고 있음을 볼 수 있다. 즉, Atom을 에너지 순으로 부호화할 경우 다음에 부호화하게 될 Atom의 계수는 그 크기가 현저히 작게 된다는 것이다. 그러므로 본 논문에서는 Atom의 계수 (Modulus)가 작아질수록 그 중요도가 떨어지는 사실을 이용하여 Atom이 존재할 수 있는 위치의 범위를 제한하도록 하는 단단계 탐색(Multi-Step Search, MSS) 알고리즘을 제안한다. 이는 Atom의 계수가 작아질수록 중요도가 감소하므로, 제한된 탐색범위로 인해 야기되는 에러의 파급효과도 작을 것이라는 사실에 근거한다. 그림 6은 이러한 MSS 기법을 도시한 것이다. 즉, 슬라이딩 윈도우를 이용하여 잉여영상에서의 최대 에너지 영역을 찾은 다음, 슬라이딩 윈도우 내에서 Atom을 찾을 때, 이전 Atom의 계수값에 따라 탐색영역을 달리하는 방법이다. 이전 Atom 계수의 절대값이 특정 값 이하로 떨어지게 되는 경우, 단계(Step)을 높여 그림 6과 같이 탐색영역을 제한한다. 즉, 그림 6에서 보는 바와 같이 확장된 윈도우가 8x8 이라고 가정하면 처음에는 8x8 전영역에서의 탐색을 함으로써 정확한 위치의 Atom을 부호화하게 되지만, Atom의 계수값의 크기가 어느 일정값보다 작아지게 되면 2-Step 탐색을 시작하게 된다. 이때 그림에 표시된 바와 같이 수직, 수평 방향 모두 2의 배수에 해당하는 위치에 대해서만 내적연산을 취하여 Atom을 구하게 된다. 또한 2-Step에서 Atom 계수값의 크기가 특정값보다도 더 작아지게 되면 다시 4-Step 탐색으로 들어가고 4의 배수에 해당하는 위치에 대해서만 Atom을 구한다. 또한 부호기에서는 Step이 달라지게 되면 일정 Flag비트를 전송하여 복호기

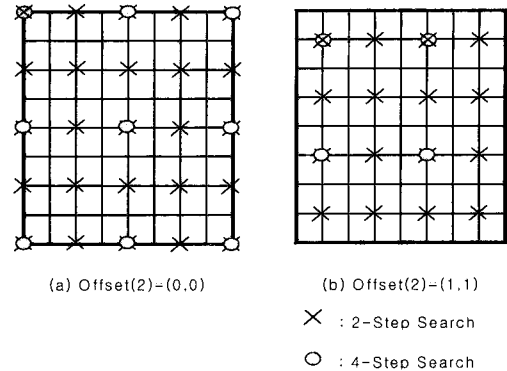


그림 6. 단단계 탐색 기법  
Fig. 6. Multi-Step Search Algorithm (MSS)

로 하여금 Step이 변화하였음을 알려주게 된다. 그러나 그림 6과 같이 Step을 설정할 경우 Atom의 위치가 2<sup>n</sup>으로 표시될 수 있는 위치로만 그 범위가 한정되기 때문에 이전 Step에서의 탐색영역과 겹치게 되는 문제가 발생한다. 그림 6(a)에서 보는 것처럼, 2-Step 이후에는 홀수번째 위치한 Atom들을 더 이상 탐색할 수 없게 되므로 높은 에너지를 갖는 Atom들을 찾을 수가 없게 된다. 이를 해결하기 위해 M-Step 탐색영역을 결정할 때, 탐색 위치는 다음의 식을 만족하는 (x,y) 위치로만 제한하도록 한다. 즉, 탐색을 수행할 영상 내에서의 Atom 위치를 x,y 라고 할 때, (x,y)는 다음의 관계를 만족하도록 한다.

$$\text{offset}(M)=(x \text{ modulo } M, y \text{ modulo } M)$$

이때 각 Step에서 사용할 Offset 정보, offset(M)은 사용자에 의해 결정된다. 예를 들어 2-Step 탐색을 한다고 가정하면, Atom 위치정보 (x,y)는 offset(2)=(0,0)으로 설정할 경우 그림 6(a)와 같은 격자위치에 대해 할당되고, offset(2)=(1,1)로 설정하게 되면 x축 방향으로 1, y축 방향으로 1 이동한 위치를 원점으로 그림 6(b)와 같은 격자 위치로 할당된다. 여기서 offset(2)는 {(0,0),(0,1),(1,0),(1,1)}의 4가지 가능성을 갖게 된다. 동일한 Step의 탐색위치에서도 Offset의 값을 변경해 줌으로써 Atom의 영역을 좀 더 다양화할 수 있게 된다.

이러한 MSS 알고리즘의 장점은 Step의 수가 높아질수록 그만큼 Atom의 공간위치가 제한되기 때문에 Atom을 찾기 위한 계산량이 현저하게 줄어들게 되는 것이다. 만일 N-Step 탐색을 하게 된다면, 계산량은 1/N<sup>2</sup>로 감소하게 되며, 또한 Atom 위치가 제한되기 때문에 위치정보량도 그만큼 감소하게 되므로 Atom을 부호화하는데 소요되는

총 비트량이 감소하게 된다. 그러나 기존의 모든 영역에서의 탐색과 달리 Atom의 위치를  $1/2^n$  만큼 제한하기 때문에 PSNR의 감소가 있을 수 있다.

### IV. 실험

본 제안 방법에 대한 모의 실험에서는 그림 7의 2차원 Gabor 사전의 기본함수들을 이용하였다<sup>[14]</sup>. 그림 7에서 보는 바와 같이 2차원 Gabor 사전은 분리가능하며 가로 또는 세로축 방향으로 갈수록 고주파 성분을 많이 갖는 기본신호로 구성되어 있다. 가로, 세로방향으로 20가지 종류의 1차원 기본신호가 존재하므로 2차원 Gabor 사전은 총 400개의 기본신호를 가지고 있다. 하위 계층과 상위계층 모두 동일한 Gabor 사전의 400개 기본함수를 사용하였다. 그리고 Matching Pursuit 기법이 DCT보다 효율적인 비트율 영역이 64kbps 미만이므로 64kbps이하의 저비트율에서 비교적 움직임이 적은 CONTAINER 영상과 움직임이 빠른 FOREMAN 영상에 대하여 실험하였다. 또한 슬라이딩 윈도우와 확장 블록의 크기는 기존 기법과 동일하게 각각 12x12 크기와 16x16 크기를 사용하였다. 이번 모의 실험에서 적용된 각 Atom별 Step이 표 1에 나타나 있다. 즉, 최초 50개까지의 Atom에 대해서는 Step M=1로 하여 탐색범위 내 모든 위치에 Atom이 위치할 수 있지만, 그 에너지가 작을 것이라고 예상되는 상위 Atom들, 예를 들어 201번째~225번째 사이의 Atom들은 탐색영역 내 매 네번째 위치 (M=4)에만 Atom이 올 수 있도록 하였다. 표 1에서 보인 것처럼 기본계층을 Atom 50개와 100개에 대하여 Step과 Offset값을 각각 설정하여 실험하였고, Matching Pursuit 부호기로는 macroblock 기반의 Atom 부호기<sup>[15]</sup>를 사용하였다.

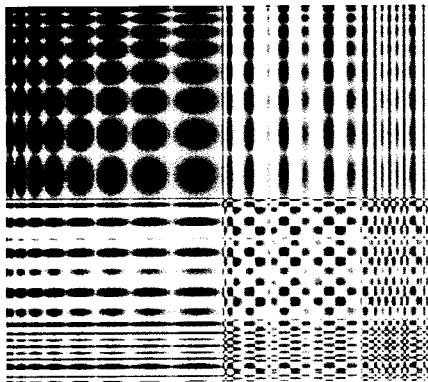


그림 7. 2차원 Gabor 사전  
Fig. 7. 2-D Gabor Dictionary

표 1. 기본계층 Atom으로 50와 100개를 사용한 경우 Step과 Offset값  
Table 1. The Step and Offset at 50 and 100 Atom in base layer

Atom의 범위		~50	51~100	101~150	151~175	176~200	201~225	226~250	251~275	275~300
기본계층 Atom 수 =50	Step M1	1	2	2	4	4	4	4	8	8
	Offset(M)(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,1)	(0,0)	(1,1)	(2,3)	(4,4)	(0,0)	(1,1)
기본계층 Atom 수 =100	Step M1	1	1	2	2	2	4	4	4	4
	Offset(M)(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,1)	(1,1)	(0,0)	(1,1)	(2,3)	(4,4)

표 1의 Step과 Offset은 몇몇 영상들에 대하여 실험적으로 얻어진 Atom의 임계값에 의해 정해진 것이다. 물론 이러한 Step 및 Offset을 이론적으로 최적화하고, 영상에 따라 적응적으로 이러한 파라미터들을 판단할 수 있다면 더욱 성능이 개선될 것이다. 그러나 각 영상에 최적화된 Step과 Offset을 실험적으로 구하여 표 1의 일반적 실험 조건과 그 성능을 비교해본 결과, 각 영상에 따라 PSNR이나 연산량 측면에서 미미한 차이를 보였기 때문에 적응적으로 영상에 최적화된 Step, Offset을 구하지는 않았다. 표 1의 Step과 Offset은 연산량과 화질간의 trade-off가 존재하기 때문에 응용에 따라 표 1의 임계치를 약간씩 변형하여 사용할 수 있을 것이다.

다음 그림 8에 QCIF 크기의 CONTAINER 영상과 FOREMAN 영상에 대하여 10Hz로 부호화한 경우의 Rate-Distortion 그래프를 나타내었다. 그래프에서 보는 바와 같이 계층적 부호화를 하지 않는 기존의 부호기에 비해 미세 계층적 부호화 경우 1.5dB미만의 화질열화가 발생하였다. 이는 계층적 부호화를 위하여, 영상 내 존재하

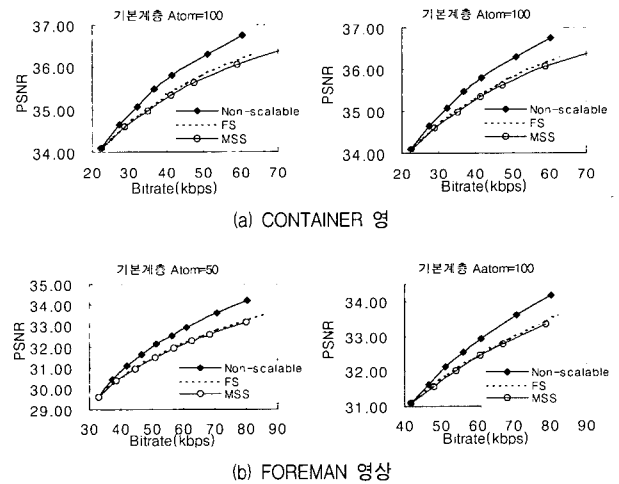


그림 8. MSS(Multi-Step Search) 기법과 FS(Full-Search) 기법의 성능 비교  
Fig. 8. Performance Comparison between MSS and FS

는 Redundancy를 충분히 제거하지 못하는 데서 생기는 계층부호화의 공통문제이다. 그래프에서 점선으로 표시된 FS(Full-Search) 곡선은 다단계 탐색을 하지 않는 기존의 방법<sup>[11]</sup>을 나타내며 그 아래의 곡선이 제안된 MSS 기법을 사용한 경우이다. 기본계층에서 50개와 100개의 Atom을 사용한 경우에 대하여 모두 MSS 기법이 FS에 비하여 64Kbps 미만에서는 0.2dB 미만의 미미한 화질열화를 가져왔다. 여기서 기본계층에 Atom을 더 많이 사용할수록 FS의 성능에 근접하는 것을 볼 수 있다. 물론 일정 비트율 이상으로 비트율이 높아지게 되면 MSS 기법은 FS 기법과의 성능차이가 조금씩 커지게 되는데 그 이유는 MSS에서의 Step이 계속해서 증가할 경우 Atom이 올 수 있는 위치는 그만큼 줄어들게 되기 때문에 어느 일정 Step 이상에서는 Atom의 에너지가 Saturation되기 때문이다. 빠른 움직임을 갖는 FOREMAN 영상의 경우 상대적으로 움직임이 적은 CONTAINER 영상에 비해 MSS 기법의 성능이 더 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

표 2. Full Search(FS) 기법과 제안된 Multi-Step Search(MSS) 기법의 비트율, PSNR 비교

Table 2. The Comparison of Bitrate and PSNR between FS and MSS

(a) #Atom(기본계층)=50

	Atom#	50	75	100	125	150	175	200	250
FS	PSNR	29.61	30.43	31.08	31.62	32.12	32.53	32.94	33.61
	bitrate (kbps)	33.0	39.3	45.8	52.5	59.1	66.1	72.9	86.6
MSS	PSNR	29.61	30.37	30.93	31.48	31.92	32.27	32.59	33.15
	bitrate (kbps)	33.0	38.8	44.8	51.0	57.1	62.5	68.3	80.1

(b) Atom(상위계층)=100

	Atom#	50	75	100	125	150	175	200	250
FS	PSNR	29.61	30.43	31.08	31.62	32.12	32.53	32.94	33.61
	bitrate (kbps)	33.0	37.4	41.8	48.2	54.8	61.8	68.6	82.3
MSS	PSNR	29.61	30.43	31.08	31.56	32.00	32.44	32.77	33.33
	bitrate (kbps)	33.0	37.4	41.8	48.0	54.2	60.6	66.9	78.7

표 2는 FOREMAN 영상에 대하여 기본계층에서 Atom을 각각 50개와 100개를 사용한 경우, FS 기법과 MSS 기법의 비트율과 PSNR을 나타낸 것이다. 기본계층에서 Atom 50개를 사용한 경우, 기본계층의 비트율은 33kbps, PSNR은 29.6dB가 되고, Atom 100개의 경우에는 기본계층의 비트율이 42kbps, PSNR이 31.1dB가 된다. 64kbps 미만의 저전송 비트율 내에서의 응용을 생각할 때, 기본계층이 가질 수 있는 최소한의 비트율을 감안하여 기본계층

의 Atom 개수를 정한 것이다. 그림 8과 표 2에서 보는 바와 같이, 이러한 최소한의 화질을 갖는 기본계층의 비트율에서 상위계층을 통해 추가적으로 전송되는 Atom들에 한하여 Atom의 개수만큼 화질개선이 일어나게 된다. 예를 들어 표 2에서 기본계층에서 Atom을 50개 사용한 경우, 기본계층 비트율인 33kbps 이하의 채널에서는 복호되지 않으며, 전송채널이 45kbps 정도되는 복호기에서는 상위계층에서 Atom을 추가로 50개까지 복호가능하므로 기본계층에 비해 1.3dB 가량의 개선된 화질로 서비스를 받을 수 있게 되는 것이다. 표 2에서 64kbps 미만에서의 FS 기법과 MSS 기법의 성능차이를 비교해 보면 MSS 기법이 FS에 비하여 최대 0.3dB 가량 화질이 열화되고, 최대 4kbps 가량의 비트가 감소되는 것을 볼 수 있다. 여기서 다단계에 걸쳐 어떤 정해진 위치에서 탐색을 하는 경우는 모든 영역에 대하여 탐색을 하는 경우에 비하여 화질면에서 큰 성능 차가 존재하지 않는 것을 발견할 수 있다. 그 이유는 그림 5의 Atom의 내적치(Modulus) 절대값의 분포에서 알 수 있듯이, 상위계층에서의 Atom들의 내적치가 하위 계층에 비해 상대적으로 매우 작으며 특정 영역에 분포하기 보다 uniform 분포를 나타내므로 탐색영역을 좁혀도 화질열화가 크게 발생하지 않기 때문이다. 실험에서 Offset을 사용하는 경우와 그렇지 않는 경우에 대해 약 0.2dB미만의 미미한 화질 차이를 보인 것도 이러한 이유 때문이다.

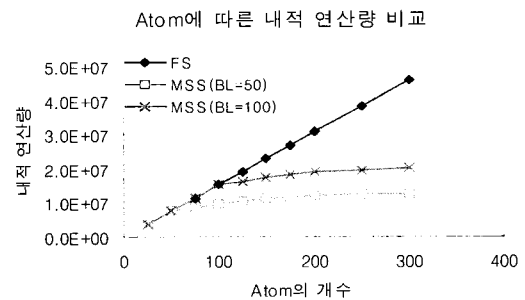


그림 9. MSS와 FS에 있어서 Atom에 따른 내적연산량 비교  
Fig. 9. Complexity Comparison between MSS and FS

그림 9는 Atom의 개수에 대한 내적연산량을 비교해 놓은 것이다. 여기서 확장 윈도우를 16x16로 가정하였을 때, FS 기법과 MSS 기법의 내적연산량을 비교해 놓은 것이다. 그림 9에서 보는 바와 같이 Step의 수가 높아질수록 FS 기법의 경우 선형적으로 연산량이 증가하지만, MSS 기법의 경우 Step이 증가함에 따라 부가되는 연산이 그만

큼 줄어들기 때문에 어느 정도 saturate되는 것을 볼 수 있다. 기본계층으로 Atom을 50개 사용한 경우, FS 기법에 비해 최대 1/5까지 연산량이 감소하며, Atom을 100개 사용한 경우에는 대략 절반이상 연산량이 감소하게 된다. 일반적으로 부호기의 복잡도에는 한계가 있기 때문에 FS 기법을 사용할 경우에는 상위계층에서 부호화할 수 있는 Atom의 수가 제한될 수밖에 없다. 그러나 MSS기법은 화질의 열화를 최소화하는 가운데 Step을 조절함으로써 부호기의 제한된 복잡도 내에서 미세 계층적 부호화가 가능하게 된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 저비트율에서 Matching Pursuit을 이용한 미세 계층적 부호화 기법을 위해 다단계 탐색 (Multi-Step Search) 기법을 제안하였다. 특히 저비트율에서 효율적인 Matching Pursuit의 장점을 모두 갖으며 간단한 알고리즘만으로 미세 스케일러블 부호화가 가능하도록 설계하였다. MSS 기법은 Matching Pursuit의 높은 복잡도를 개선하면서도 화질열화를 최소화하는 기법이다. 기존에 제안되었던 FS기법에 비하여 제안된 MSS 기법은 최대 1/5까지 연산량이감소하면서 0.2dB 미만의 화질열화를 가져올 뿐이다. 본 논문에서 제안된 MSS 기법은 Matching Pursuit의 높은 연산량을 근본적으로 해결하기 위하여 진행되어온 고속 Matching Pursuit 방법<sup>[12][13][14][17]</sup>과 병행하여 사용할 수 있는 장점이 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Lallet, C. Dolbear, J. Hughes, and P. Hobson, "Review of Scalable Video Strategies for Distributed Video Applications," *Distributed Imaging, IEE European Workshop*, pp.2/1-2/7, Feb. 1999.
- [2] A. Lippman, "Video Coding for Multiple Target Audiences," *Proc. Video Communications and Image Processing (VCIP'99)*, vol.2, pp.780-781, Jan. 1999.
- [3] W. Li, "Fine Granularity Scalability in MPEG-4 for Streaming Video," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems(ISCAS'00)*, vol.1, pp.299-302, May. 2000.
- [4] Y. Chen, H. Radha, and R. A. Cohen, "Results of Experiment on Fine Granular Scalability with Wavelet Encoding of Residuals," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG98/M3988*, Oct. 1998.
- [5] B. Schusler, "Fine Granular Scalability With Wavelets Coding," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG98/M4021*, Oct. 1998.
- [6] B. Jeon and J. Jeong, "Blocking Artifacts Reduction in Image Compression with Block Boundary Discontinuity Criterion," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol.8, no.3, pp.345-357, Jun. 1998.
- [7] 김성득, 이재윤, 나중범, "블록 기반으로 압축된 동영상 을 위한 블록화 현상 제거 기법", *대한전자공학회 논문지*, 제35권 S편 2호, pp.89-96, 1998년 2월.
- [8] S. Mallat and Z. Zhang, "Matching Pursuits with time-frequency dictionaries," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol.41, no.12, pp.3397-3415, Dec. 1993.
- [9] F. Bergeaud and S. Mallat, "Matching Pursuit of images," *Proc. IEEE-SP International Symposium on Time-Frequency and Time-Scale Analysis*, pp.330-333, Oct. 1994.
- [10] R. Neff and A. Zakhor, "Matching Pursuit video coding at very low bit rates," *Proc. IEEE Data Compression Conference, Snowbird, UT*, pp.411-420, Mar. 1995.
- [11] D. Redmill, "Robust and Scalable Video Compression matching Pursuits and Absolute Value Coding," *Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'01)*, vol.1, pp.1021-1024, Oct. 2001.
- [12] S. Oh and B. Jeon, "Fast Matching Pursuit Method with Distance Comparison," *Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2000)*, vol.1, Sept. 2000.
- [13] 오석병, 전병우, "거리비교를 이용한 고속 Matching Pursuit", *대한전자공학회 논문지*, 제38권 SP편 제2호, pp.13-21, 2001년 3월.
- [14] R. Neff and A. Zakhor, "Very Low Bit Rate Video Coding Based on Matching Pursuit," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol.7, no.1, pp.158-171, Feb. 1997.
- [15] O. K. Al-Shaykh, E. Miloslavsky, T. Nomura, R. Neff, and A. Zakhor, "Video Compression Using Matching Pursuits," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol.9, no.1, pp.123-143, Feb. 1999.
- [16] R. Neff and A. Zakhor, "Modulus Quantization for Matching-Pursuit Video," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol.10, no.6, pp.



895-912, Sept. 2000.

[17] D. W. Redmill, D. R. Bull, and P. Czerepinski, "Video Coding Using a Fast Non-Separable Matching Pursuits Algorithm," *Proc. International Conference on Image Processing (ICIP'98)*, vol.1, pp.769-773, Oct. 1998.

[18] C. Peng, W. Hwang, and C. Huang, "Very-low-bit rate coding using matching pursuit and codebook adaptation," *Proc. International Conference on Image Processing (ICIP'00)*, vol.1, pp.988-991, Sept. 2000.

[19] C. Peng, W. Hwang, and C. Huang, "Matching pursuits low bit rate video coding with codebooks adaptation," *Proc. International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing(ICASSP'00)*, vol.1, pp.408-411, Jun. 2000.

[20] P. Schmid-Saugeon and A. Zakhor, "Learning dictionaries for matching pursuits based video coders," *Proc. International Conference on Image Processing (ICIP'01)*, vol.3, pp.562-565, Oct. 2001.

저 자 소 개



최 응 일

2000년 2월: 성균관대학교 전기전자 컴퓨터 공학부 졸업(공학사)  
 2001년 1월~현재 : 성균관대학교 전기전자 컴퓨터 공학부 석사과정.  
 주관심분야 : 영상압축, 멀티미디어 응용



전 병 우

1985년 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1987년 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1992년 : Purdue Univ, School of Elec. 졸업(공학박사)  
 1993년~1997년 8월 : 삼성전자 멀티미디어 연구소 수석 연구원  
 1997년~현재 : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 조교수  
 주관심분야 : 멀티미디어, 영상압축, 영상인식