

모바일 시스템을 위한 인터랙티브 이미지 전송

임낙권⁰ 김대영 이해영

홍익대학교 컴퓨터공학과

{nklim, dykim99}@gmail.com, leeh@hongik.ac.kr

An Interactive Image Transmission For Mobile Devices

Nakwon Lim⁰ Daeyoung Kim Haeyoung Lee

Dept. of Computer Engineering, Hongik University

요 약

본 논문에서는 원격 사용자에게 이미지 전송 시 임의의 접근성(Interactive Selection)을 제공하여 사용자가 선호하는 영역을 우선적으로 전송할 수 있도록 하는 점진적 이미지 전송(Progressive Image Transmission) 기법을 제안한다. 쿼드트리를 이용하여 간략화 된 이미지를 먼저 인덱스(Index image)로 제공하고 사용자가 선택한 영역만을 전송함으로써 사용자와 실시간 상호작용이 가능하고, 동시에 네트워크 대역폭과 메모리 요구량을 최소화하는 이점을 가진다. 본 연구는 영상처리 분야에서 사용되는 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) 왜곡정도를 기준으로 쿼드트리를 분할하는 체계적인 방법과 새로운 쿼드트리 압축 기법을 제안하였다. 그 결과, 공간분할을 사용한 기존 알고리즘보다 왜곡대비 압축률을 향상시켰다. 또한, 쿼드트리의 각 노드 접근에 적응 순회(Adaptive Traversal) 방식을 도입하여 기존 고정 순회 방식보다 전송 이미지의 품질 향상에 기여하였으며, 너비 우선 탐색(Breadth First Traversal)과 깊이 우선 탐색(Depth First Traversal)을 결합한 알고리즘으로 이미지의 임의부분 선택권을 제공할 수 있는 기반을 마련하였다. 본 알고리즘은 간단한 연산으로 구성되어 계산 복잡도를 낮추어 자원 사용을 최소화하고 높은 전송 효율을 지녔기 때문에 모바일 기기에서 실시간으로 활용이 가능하다.

Abstract

This paper presents an interactive progressive image transmission method, which enables a remote user to interactively select and transmit preferred regions from an index image. Our enhanced quadtree decomposition using PSNR-based rules and new implicit quadtree coding provide better rate-distortion performance than previous quadtree coders as well as leading bit plane methods. An adaptive traversal of child nodes is introduced for better visual display of restored images. Depth-first traversal combined with breadth-first traversal of the quadtree to accomplish interactive transmission as presented, results in a method that provides competitive performance at a low level of computational complexity. Moreover, our decoding requires only simple arithmetic which is enabling our method to be used for real-time mobile applications.

키워드: 점진적 이미지 전송, 이미지 압축, 쿼드트리 압축, ROI 코딩

Keywords: Progressive image transmission, Image compression, Quadtree decomposition, ROI coding

1. 서론

최근 스마트폰의 보급 증가로 인해 이미지 기반 서비스 산업이 각광 받고 있다. 또한 서비스 공급자가 제작한 콘텐츠의 일괄적 제공 보다는 서비스 사용자 위주의 콘텐츠나 인터페이스를 제공하고 있는 추세이다. 이에, 본 논문에서는 모바일 환경에 맞게 전송 대역폭과 메모리 요구량을 최소화하고 실시간 상호작용을 통한 이미지 임의부분 선택 및 전송을 위한 새로운 이미지 압축 알고리즘을 소개하고자 한다.

점진적 이미지 전송 (progressive image transmission)은 모든 데이터의 전송이 완료되지 않은 중간 과정에서도 현재까지 전송된 데이터를 활용하여 이미지를 점차 자세하게 표현해 낼 수 있는 기법이다. 이 기법은 원격 사용자에게 이미지 서비스를 제공하는 데 있어 대략적인 형태를 빠르게 파악할 수 있기 때문에 이미지 판별에 대한 시간 절약 효과를 가져올 수 있다. 그 뿐만 아니라 사용자가 전송 중간 단계에서 전송 유지 여부를 바로 결정할 수 있기 때문에 결과적으로 메모리와 네트워크 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 데 기여할 수 있다.

점진적 이미지 전송 기법에서 가장 중요하게 고려되는 특성은 '원본 이미지 손실을 최소화 하면서 복원될 이미지를 위한 최소한의 데이터양은 얼마인가'이다. 기존의 연구들은 이미지 분석과 다양한 압축 알고리즘을 적용하여 비트 효율을 높여 이러한 특성을 만족하기 위한 노력을 하고 있다. 이러한 노력과 더불어 최근 연구에서는 낮은 계산 복잡도[5,9,21]와 제한된 자원을 가진 시스템에서의 활용 능력[19,20] 등을 함께 고려하여 실시간 소프트웨어나 모바일 응용프로그램을 위한 기법이 소개되고 있다.

본 논문에서는 전송 시점에 낮은 계산 복잡도를 가지고 사용자가 원하는 영역을 먼저 전송하여 상호작용을 유도할 수 있는 새로운 형태의 점진적 이미지 전송 기법과 이를 위한 PSNR기반 새로운 쿼드트리 분할 및 부호화 기법을 제안하고자 한다. 사용자와의 상호작용을 고려한 압축 전송 방식은 이미 MPEG 동영상[6]과 3차원 메쉬 압축[2] 분야에서 소개된 바 있다. 하지만 기존 점진적 이미지 전송분야에서는 부호화 시점에 제공자가 선택한 이미지영역을 우선적으로 전송하는 방식 [10,18]을 사용하기 때문에 전송 시점에서 사용자와의 상호작용을 고려할 수 없다는 결함을 지니고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존의 점진적 이미지 전송 기법에 대해 살펴보고 3,4,5절에서는 본 논문에서 제시한 새로운 방식의 상호 작용이 가능한 점진적 이미지 전송 기법을 기술한다. 6절에서는 기존

의 방법과 실험한 결과를 보이고 7절에서 결론 및 향후 연구과제에 대해 언급한다.

2. 관련 연구

점진적 이미지 전송에 관한 연구는 주로 공간 기반 기법, 변환 기반 기법, 피라미드 기법으로 분류 될 수 있다[22].

공간 기반 기법에서는 주로 쿼드트리를 이용한 다양한 방법들이 소개되었다[4,13,15]. 쿼드트리를 구성하기 위하여 이미지의 특정영역의 분할여부를 결정하는 동질성 판단(homogeneity test)에 대하여 연구들도 진행되었다[16]. 이 동질성 판단에서 결정되는 임계값은 쿼드트리 구조와 노드의 수에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 결론적으로 쿼드 트리를 이용한 압축 기법은 동질성 판단 기준과 그 값을 어떻게 결정하는가에 따라 압축 효율과 복원 이미지 품질이 결정된다.

비트 평면 기법 또한 공간 기반 기법 중 하나로 계산이 단순하고 구현하기 용이하다. QSBM[8]에서는 중복되지 않는 8x8 픽셀 영역을 쿼드트리를 이용하여 분할한 후 각 영역에서 비트 평면 기법을 이용한다. 그 후에 AMBTC-BO[9]에서는 16x16 픽셀로 확장하고 각 영역의 중간 값(Mean value) 부호화를 개선하였다.

변환 기반 기법은 변환 함수의 종류에 따라 크게 discrete cosine transform(DCT)[11] 기반과 discrete wavelet transform(DWT)[18] 기반 기법으로 나눌 수 있다. DWT 기반 기법중 JPEG 2000 이미지 압축 표준 [18]은 기존의 기법보다 압축효율이 가장 좋아 낮은 비트량을 가지고 높은 이미지 품질을 제공하지만 높은 계산 복잡도의 단점을 가지고 있다.

피라미드 기법은 주변의 2x2 크기의 이웃 노드들을 연속적으로 평균화 하여 bottom-up 방식을 사용하여 계층적으로 부호화 하는 방식이다. 대부분의 피라미드 기법은 무손실 압축에 주로 사용되며 낮은 비트량을 제공하기 위하여 다양한 시도를 하였다[7]. 무손실 점진적 압축 기법들 가운데 가장 우수한 성능을 보이는 것은 reduced-difference pyramid(RDP)[24] 기법이며, 이를 변형한 라플라시안 피라미드도 소개되었다[1].

대부분의 기존 점진적 이미지 전송 기법은 미리 정해진 순서에 따라 고정된 지역을 전송하고 부호화 한다. 몇몇 이미지 전송기법이 부호화 시점에 이미지의 특성을 고려하여 중요한 영역을 선택하여 먼저 전송하는 방법을 사용하였다[10]. JPEG 2000 이미지 압축 표준 [18]도 region of interest(ROI) 부호화 기법에 대하여 정의하였다. JPEG2000 ROI 부호화는 제공자가 이미지의 임의의 영역을 선택하여 우선적으로 부호화 하여 전

송한다[14]. ROI 부호화에 관한 많은 연구들이 진행되었으며, 주로 의학 분야에서 응용되고 있다 [2,23]. 그러나 이 방식 또한 부호화 시점에 영역을 설정하기 때문에 상호작용이 가능한 복호화를 제공할 수 없으며 계산 복잡도 또한 높다.

본 논문에서는 그림 1과 같이 사용자가 이미지의 원하는 부분을 즉각 제공할 수 있는 형태의 상호작용이 가능한 새로운 방식의 점진적 이미지 전송 기법을 소개한다. PSNR 기반의 체계적인 쿼드트리 분할과 새로운 부호화 기법을 접목하여 표 2와 표 3에서 볼 수 있듯이 기존 쿼드트리 방식[4]과 비트 평면 방식인 AMBTC-BO[9]보다 왜곡 대비 높은 압축 효율을 제공한다.

3. 쿼드트리 분할 기법

본 논문에서는 타 알고리즘과 비교 분석을 하기 위하여 같은 방식으로 분할 및 부호화한 일반적인 점진적 이미지 전송과 사용자 편의성을 고려한 인터랙티브 이미지 전송 방식을 소개하고자 한다. 먼저, 일반적인 점진적 이미지 전송에서는 기존 방법과 마찬가지로 전송된 비트량에 따라 이미지 품질이 개선된다. 인터랙티브 이미지 전송은 간략화된 이미지가 우선적으로 사용자에게 전송된다. 이를 기반으로 그림 1과 같이 작은 이미지들의 영역들을 사용자로 하여 선택할 수 있게 함으로써 원하는 영역을 우선적으로 전송할 수 있다.

쿼드트리는 가변적인 크기의 노드를 가지고 특정 이미지의 영역을 분할할 수 있는 계층적인 자료구조이다. 쿼드트리에서 각 노드는 4개의 자식 노드를 가지는 중간 노드이거나 혹은 자식을 하나도 갖지 않는 단말노드로 구성된다. 이 노드들은 겹치지 않는 자신만의 영역을 정의하고 있으며 그 영역을 대표하는 그레이스케일 혹은 RGB 컬러 값을 가진다. 쿼드트리 분할과정은 전체 이미지에 적용되고 일반적인 점진적 이미지 전송 기법이나 인터랙티브 이미지 전송 모두에 공통적으로 적용된다.

그림 2는 Lena 흑백 이미지에 대하여 쿼드트리 분할을 수행한 결과를 보여준다. 최상위 노드는 전체의 영역을 나타내며 첫 번째 레벨은 이 최상위 노드를 동등한 크기의 4개의 영역으로 분할한다. 이후 분할 규칙에 따라 각 자식 노드들의 분할여부를 결정한다.

이 과정은 자식 노드가 오직 하나의 픽셀을 나타내거나 분할 규칙에 따라 현재까지 진행된 최하위 노드에서 더 이상 분할할 노드가 생기지 않을 경우까지 계속된다.

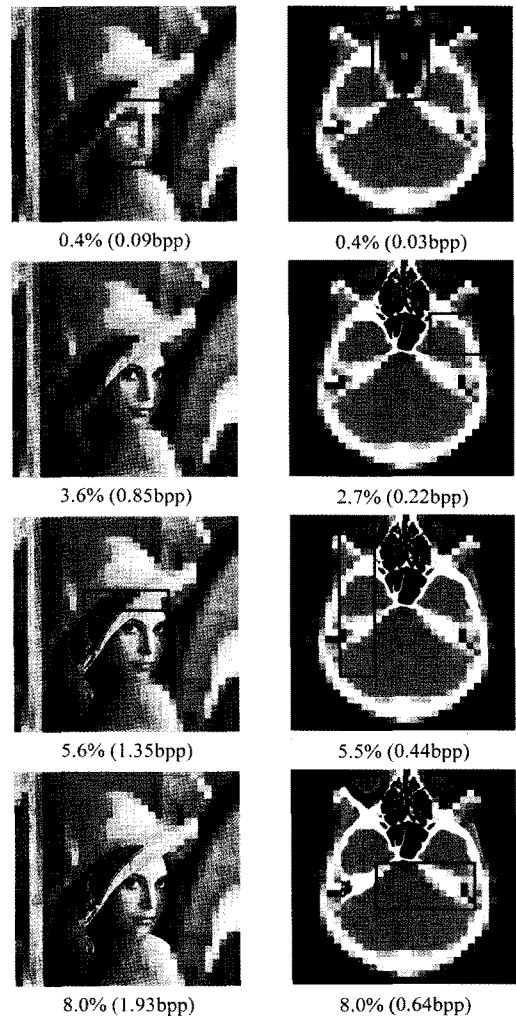


그림 1. 인터랙티브 이미지 전송 예



그림 2. Lena 흑백 이미지 쿼드트리 분할 예

3.1 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) 기반 분할 규칙

쿼드트리의 노드 분할여부는 해당 영역에 대한 동질성 테스트로 결정되며 이와 관련된 많은 연구들이 발표되었다[16]. 각 노드 영역의 동질성 정도를 결정하는 임계값은 쿼드트리의 구조를 변경하고 이는 결과적으로 부호화 되는 노드 수에 영향을 미치므로 압축 효율에 큰 요인으로 작용한다. 임계값 결정을 평균제곱오차(mean square error, MSE)를 기반으로 하는 방법에 대한 연구가 진행되었다[4,8,13]. $N = 2n$ 일때, $N \times N$ 크기를 가지는 두 이미지의 평균제곱오차(MSE)는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$MSE = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (O(i,j) - D(i,j))^2 \quad (1)$$

위 식에서 $O(i, j)$ 와 $D(i, j)$ 는 각각 원본 이미지와 복원된 이미지의 픽셀 값을 나타낸다. 쿼드트리 각 레벨마다 임계값을 다르게 설정하는 것은 더 좋은 압축 효율을 낼 수 있다. 하지만 임계값과 복원된 이미지 사이의 관계가 직관적이지 않기 때문에 기존연구에서는 임계값 설정이 주로 시행착오를 거친 실험을 통해 결정되었다. 복원된 이미지의 품질을 판단하는 데 사용되는 측정 방식은 PSNR(peak signal-to-noise)이다. 그레이스케일 이미지에 대한 PSNR은 식 (2)로 정의되며 컬러 이미지에 대한 PSNR은 식 (3)으로 정의할 수 있다.

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (2)$$

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \frac{255^2 \times 3}{MSE(R) + MSE(G) + MSE(B)} \quad (3)$$

압축 데이터로부터 복원된 이미지의 PSNR 값이 30dB 이상일 경우 좋은 이미지로 간주되며, PSNR 값이 클수록 좋은 품질의 이미지를 의미한다.

좀 더 직관적이고 체계적인 임계값 설정을 위하여 본 논문에서는 PSNR 기반 규칙을 제안한다. 쿼드트리 단말 노드들이 복원된 이미지를 구성하기 때문에 가능한 이러한 단말 노드들이 되도록 높은 PSNR을 갖도록 쿼드트리 분할이 진행되어야 한다. $2n \times 2n$ 크기를 갖는

그레이스케일 이미지의 경우 모든 노드에 대하여 해당 영역의 평균값을 갖는 쿼드트리를 구성한다. 이후 각 레벨에 필요한 단말 노드의 수는 사용자가 선택할 수 있다. 이렇게 특정 레벨 k 에 속한 노드 l 의 PSNR은 식 (2)의 방식에 따라 해당 노드 영역의 중간 값과 그에 대응되는 원본 이미지 영역간의 MSE_{kl} 을 식 (4)와 같이 계산한다.

$$MSE_{kl} = \frac{1}{M \times M} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (O(i,j) - Mean_{kl})^2 \quad (4)$$

위 식(4)에서 각 레벨에 따라 $M = 2(n-k)$, $k = 1, 2, \dots, n$ 이 된다. 식(4)를 이용하여 쿼드트리의 모든 노드의 PSNR값을 계산할 수 있다. 특정 레벨에 속한 노드를 PSNR 크기에 따라 정렬한 후 주어진 단말 노드의 수에 따라 PSNR 임계값은 자동 산출된다. 즉, 임계값보다 더 높은 PSNR을 가진 노드들은 원본 이미지와의 차이가 작다고 판단될 수 있기 때문에 더 이상 분할되지 않고 단말 노드로 남게 된다. 이런 방식으로 가장 최상위 레벨부터 각각의 레벨에서 단말 노드와 중간 노드는 통계적으로 유도되는 임계값에 의해 결정되고 이를 기반으로 최종적인 쿼드트리를 생성할 수 있다. 중간 단계 단말노드의 이미지 복원은 그림 2에서 보이는 것처럼 해당 노드의 픽셀들의 평균값으로 구성된다. 컬러 이미지의 경우에는 식 (3)에서 사용된 PSNR을 기반으로 같은 분할 규칙을 적용하여 쿼드트리를 구성한다.

4. 쿼드트리 부호화

대부분의 기존 연구에서는 보통 중간 노드는 1로 단말 노드는 0으로 쿼드트리 구조를 부호화 하였다 [4,13]. 본 논문에서는 부호화 되는 코드수를 최소화하기 위하여 쿼드트리 구조를 명시적으로 부호화 하지 않고 피라미드 방식을 개선한 새로운 부호화 기법을 제안하고자 한다.

4.1 Alternately Reduced-Difference 쿼드트리 (ARDQ)

좋은 압축 효율을 얻기 위해서는 쿼드트리 노드로부터 생성되는 코드를 줄이면서 동시에 코드시퀀스의 엔트로피를 낮춰야 한다. 각 노드의 평균값을 갖는 쿼드트리를 시작으로 difference 쿼드트리는 그림 3(a)와 같이 연속되는 레벨의 평균값의 차이를 계산하여 생성된다.

그러므로 이러한 4개의 자식 노드간의 차이 합은 0에 가깝다. Alternately reduced-difference 쿼드트리(ARDQ)는 홀수 레벨은 4개의 자식 노드 중 3개의 값만 부호화 하고(그림 3(b) 참조) 짝수 레벨은 4개의 자식 노드를 전부 부호화 하여 생성되는 코드를 줄인다. 이러한 과정에서 발생할 수 있는 평균 계산 오차의 최소화를 위하여 부호화시 복호화 시뮬레이션을 수행한다. 즉, 인코더는 생략되는 노드가 발생시키는 오차를 고려하여 부호화를 수행한다. 예를 들어 그림 3(b)에서 k+2 레벨의 가장 오른쪽 노드들은 복호화 시뮬레이션을 수행하지 않는다면 8, 1, -10, -1로 부호화 되어야 하지만 복호화 단계에서 생략된 노드의 값이 180으로 정해지므로 해당 부호화 코드는 7, 0, -11, -2가 되어야 한다. 그에 따라서 k+2 레벨의 노드들은 오차 없이 정상적인 평균값을 복원해 낼 수 있다.

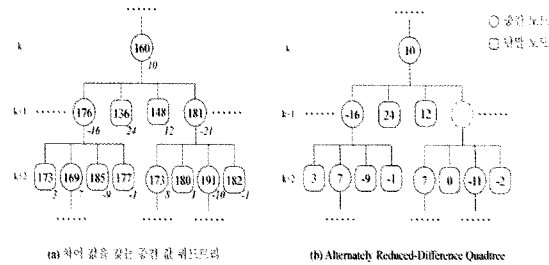


그림 3. 쿼드트리 부호화 과정

차이 값에 대한 코드는 일반적으로 평균값을 부호화하는 것 보다 더 낮은 엔트로피를 갖는다[7]. 본 논문에서 제안한 ARDQ 방법에 대한 Lena 그레이스케일 이미지와 Lena RGB 컬러 이미지에 대한 코드 분포도가 그림 4에 제시되어 있다. 추가적으로 본 논문에서 제안한 방법은 쿼드트리 구조를 이러한 차이 값과의 관계를 통하여 명시적으로 부호화 한다. 명시적으로 쿼드트리를 부호화 할 때 중간 노드들을 1로 부호화 하는 것을 생략하고 단말 노드들에 대해서만 차이 값과 함께 추가 코드 (L)을 이용하여 중간 레벨에 속한 단말 노드만을 부호화 한다. 즉, 이미지 크기가 $2n \times 2n$ 일 경우 $k <$

n 인 단말 노드만 부호화 한다. 예를 들어, 그림 4(b)의 경우 상위 노드부터 하위 노드 순서대로 레벨에 따라 아래와 같이 부호화 한다.

$$\dots 10 \dots -16, 24, 12 \dots 3, 7, -9, -1, L, L, 7, 0, -11, -2 \dots \quad (5)$$

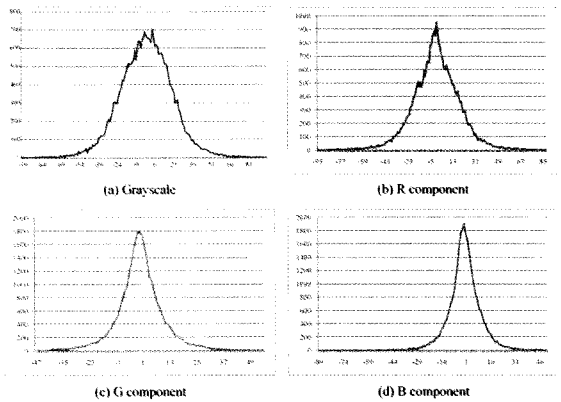


그림 4. Lena 이미지에 대한 코드 분포도

디코더가 위와 같은 연속된 코드를 받게 되면 평균값을 갖는 쿼드트리는 기본적인 산술연산만을 사용하여 상위 레벨부터 복원된다. 그림 3(c)의 레벨 k의 평균값 160을 갖는 중간노드가 생성된 이후 레벨 k+1의 노드가 복원될 때 -16, 24, 12의 코드가 전송된다. 4개의 자식노드의 차이 값이 0이 된다는 가정 하에 생략된 4번째 노드의 값은 -20으로 예측되고 복원된 평균값은 $160 - (-20)$ 의 결과에 따라 180으로 결정된다. 레벨 k+1에서 176의 값을 갖는 중간 노드에 대하여 3, 7, -9, -1의 4개의 자식노드들에 대한 코드가 전송되면 각각 173, 176, 185, 177의 중간 값으로 복원된다. 그 후 두 개의 L, L 코드를 받은 디코더는 레벨 k+1에서 중간 값이 136과 148인 노드를 단말 노드로 설정하고 이 두 노드에 대하여 더 이상 자식 노드를 생성하지 않는다. k+1 레벨에서 중간 값이 180인 4번째 노드에서 7, 0, -11, -2의 코드들이 전달된다. k+1에서 중간 값이 원본의 181과 다른 180으로 복원 되었지만 인코더가 복호화 시뮬레이션을 적용하여 8, 1, -10, -1이 아닌 7, 0, -11, -2를 전송함으로써 그로 인해 발생할 수 있는 오차를 보정한다. 결과적으로 본 논문의 알고리즘은 매우 간단한 산술연산을 사용하여 계산 비용을 줄이고 낮은 엔트로피를 갖는 코드를 생성한다.

3.2 쿼드트리 적응 순회(Adaptive Traversal)

기존의 쿼드트리는 고정적인 순서(Z-ordering)로 순회를 하면서 4개의 자식노드를 복원한다[15]. 하지만 본 논문에서는 같은 수의 노드를 가지고 복원되는 과정에 있는 중간 이미지의 품질을 향상시키기 위하여 새로운 방식의 적응 순회(adaptive-ordering) 기법을 제안한다. 기본적인 원리는 원본 이미지와 차이가 큰 노드가 변화가 가장 심하다는 실험 결과를 적용하여 부모 노드와 차이가 큰 자식노드를 먼저 전송하여 복원하는 방식이다. 각 순회방식 적용 예는 그림 5에 나타나있다. Z-ordering일 경우 노드의 방문순서는 I, II, III, IV로 고정된 순서가 되지만 본 논문에서 제안한 적응 순회방식을 사용하면 4개의 자식 노드 간의 차이 값의 크기에 따라 방문 순서가 결정된다. 그림 5의 경우 -24, 16, 8, 0의 순서에 따라 II, IV, III, I로 결정된다. 이러한 적응 순회를 적용하면 그림 6과 같이 동일한 수의 쿼드트리 노드를 복원하는 과정에서 Z-ordering에 비하여 상대적으로 높은 PSNR 값을 얻을 수 있으므로 더 좋은 이미지 품질을 얻을 수 있다. 이러한 적응 순회 방식을 그림 3(b)의 ARDQ에 적용하면 (5)의 코드에서 k+1 레벨의 24, -20, -16, 12은 아래와 같이 재배치된다.

$$\dots 10, \dots -16, 24, 12, \dots L, 7, 0, -11, -2, 3, 7, -9, -1, L, \dots \quad (6)$$

I (0)	II (-24)	Z-ordering : I, II, III, IV
III (8)	IV (16)	
		Adaptive ordering : II, IV, III, I

그림 5. 4개 자식 노드 방문 순서 비교



그림 6. Z-ordering과 적응 순회 방식으로 복원된 이미지 비교

3.3 너비우선순회(BFS) 및 깊이우선순회(DFS)

일반적인 점진적 이미지전송에 적용된 ARDQ는 최상위 노드부터 레벨별로 너비 우선 순회를 통하여 각 노드를 방문한다. 그러므로 이미지는 각 레벨별로 고정된 전송 원칙에 따라 점점 자세하게 복원된다. 인터랙티브 이미지전송은 원격 사용자가 이미지의 특정 영역을 선택할 수 있도록 먼저 간략화 된 이미지를 제공하여야 한다. 그 후 그림 1과 같이 사용자는 간략화 된 이미지로부터 자신이 원하는 특정 영역을 즉각적으로 선택 복원할 수 있도록 해야 한다. 이를 위해 쿼드트리의 특정 레벨까지 너비 우선 순회 방식을 통하여 압축 및 전송된 간략화 된 이미지를 제공하고 사용자가 선택한 영역에 대해서는 깊이 우선 순회 방식을 통하여 해당 영역을 복원할 수 있다. 일반적인 점진적 이미지 전송은 부호화를 위하여 하나의 코드 배열이 생성된다. 인터랙티브 전송의 경우 이러한 배열들이 ARDQ의 중간 단계 가지로부터 분리 되어야 하기 때문에 많은 짧은 코드 배열들이 생성된다. 그러므로 이미지 전체를 인터랙티브 전송할 경우 같은 이미지에 대하여 일반적인 이미지 전송보다 압축효율은 낮다(표 2, 5 참조).

5. 컬러 이미지

지금까지 다뤄왔던 점진적 이미지전송 기법은 대부분 그레이스케일 이미지를 대상으로 연구되어왔다. 하지만 본 방법은 그레이스케일 이미지 뿐 만 아니라 컬러 이미지의 각 RGB 컴포넌트에 대하여 동일하게 적용할 수 있다. 최근 RGB 컴포넌트 관계를 고려하는 것이 컬러 이미지 압축에서 더 좋은 압축 효율을 도출한다는 연구 결과가 발표된 바 있다[5]. 본 논문에서도 이러한 RGB 컴포넌트간의 상호관계를 활용하는 기법을 제시하고자 한다. 먼저 2장에서 제안한 쿼드트리 분할을 사용하여 컬러 이미지에 대한 ARDQ를 생성한다. 그레이스케일과 동일한 방법으로 오로지 R 컴포넌트에만 단말 노드 여부의 코드인 L코드를 차이 값과 함께 부호화 한다. G와 B 컴포넌트에 대해서는 단말 노드 여부가 이미 R 컴포넌트에서 제공됐기 때문에 차이 값에 대한 코드만 포함한다. 각 (i,j) 픽셀의 G_{ij} 는 R_{ij} 과의 변화 관계를, B_{ij} 는 R_{ij} 과 G_{ij} 와의 변화 관계를 식 (7)과 (8)로 나타낼 수 있다.

$$G'_{ij} = R_{ij} - G_{ij} \quad (7)$$

$$B'_{ij} = \frac{(R_{ij} + G_{ij})}{2} - B_{ij} \quad (8)$$

이러한 관계를 고려하여 G와 B 컴포넌트에 대한 엔트로피를 낮출 수 있다. R_{ij} , G_{ij} , B_{ij} 는 ARDQ에서 만들어진 RGB 컴포넌트에 대한 각각의 차이 값을 나타내며 이를 토대로 G와 B 컴포넌트에 대하여 새로운 값인 G'_{ij} 와 B'_{ij} 가 유도된다. 그 결과 그림 4의 (c)와 (d)에서 보듯이 이러한 규칙을 적용한 G와 B 컴포넌트에 대하여 R 컴포넌트에 비하여 더 낮은 엔트로피가 생성된다.

6. 실험 결과 및 분석

본 연구는 2.0 GHz CPU와 4GB RAM의 성능을 갖는 데스크탑 PC 환경에서 512x512 크기의 그레이스케일과 컬러 이미지에 대하여 실험하였다. ARDQ로부터 생성된 코드 배열의 낮은 엔트로피를 효율적으로 활용하기 위하여 산술 부호화 기법을 사용하였으며, 여기에 추가로 4개의 자식노드들의 관계를 컨텍스트로 사용하여 압축률을 더 향상시킬 수 있었다. 코드의 수에 따라 각 코드의 범위를 10개의 분리된 영역으로 그룹화 하여 적절히 분배하고 이를 산술 부호화 컨텍스트로 활용하였다. 또한 쿼드트리의 첫 번째 자식은 트리의 레벨을 컨텍스트로 추가하여 압축 효율을 높일 수 있었다. 이미지 부호화와 복원에 대한 처리시간은 초 단위로 측정하였다(표 1).

표 1. ARDQ를 이용한 알고리즘의 처리시간

이미지	PSNR	노드 수	부호화 시간(초)	복호화 시간(초)	
그레이스케일	Girl	33.99	44,589	0.093	0.062
	Gold	32.94	53,673	0.152	0.063
	Lena	33.04	36,593	0.078	0.047
	Pepper	33.23	37,445	0.078	0.047
컬러	Lena	31.93	34,701	0.094	0.062
	Pepper	30.15	37,561	0.093	0.062
평균	32.55	39,094	0.098	0.057	

표 1에서 알 수 있듯이, 본 논문에서 제안한 기법은 32.55dB를 갖는 이미지에 대한 쿼드트리를 부호화 하는데 평균적으로 0.098초에 빠르게 수행할 수 있다. 이러한 이미지를 복원하는데 0.057초가 걸리지만 여기에는 중간 이미지를 5회 출력하는 시간이 포함되어 있기 때문에 사실상 0.057초보다 빠른 시간에 수행될 수 있다. 빠른 연산이 가능한 이유는 간단한 사칙연산만을 이용하여 복호화 과정을 수행하기 때문이고 부호화 시간

이 더 길리는 이유는 복호화 시뮬레이션을 수행하기 때문으로 해석될 수 있다. 이러한 낮은 계산 복잡도를 가지면서 본 논문의 알고리즘은 표 2와 3에서 확인 할 수 있듯이 비슷한 이미지 품질에 대하여 더 좋은 압축 성능을 보이고 있다. 그림 7은 본 논문의 기법을 사용하여 일반적인 점진적 이미지 전송을 수행하였을 때 최종적인 이미지들을 나타내며 각각 PSNR과 bpp(bit per pixel)를 표시하였다. 결론적으로 본 논문에서 제안한 방법은 기존의 쿼드트리 압축 기법[4, 13]뿐만 아니라 성능이 뛰어난 비트평면 기법[9], 현재 가장 많이 사용하는 점진적 JPEG(progressive JPEG)[11]보다 뛰어난 압축률을 도출한다.

표 2. 압축 성능 비교

이미지	ARDQ		AMBTC-BO [9]		PJPEG		
	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp	
그레이스케일	Girl	33.99	1.01	33.96	1.46	33.88	1.43
	Gold	32.94	1.16	32.93	1.51	33.18	1.55
	Lena	33.04	0.86	33.04	1.32	32.76	1.38
	Pepper	33.23	0.92	33.23	1.27	33.43	1.49
평균		0.98		1.39		1.46	

표 3. ARDQ와 다른 알고리즘간의 점진적 이미지 전송 결과 비교

Lena (Grayscale)					
QT [13]	PSNR(dB)	28.91	30.36	32.55	37.19
	Bitrate(bpp)	0.50	0.67	1.10	2.00
ARDQ	PSNR(dB)	28.92	30.37	32.56	37.20
	Bitrate(bpp)	0.34	0.48	0.78	1.67
Airplane (Grayscale)					
QSC [4]	PSNR(dB)	22.52	24.94	29.60	37.66
	Bitrate(bpp)	0.26	0.46	0.85	1.75
ARDQ	PSNR(dB)	23.83	26.79	30.77	37.69
	Bitrate(bpp)	0.09	0.31	0.68	1.27

표 4는 그레이스케일 이미지에 대하여 일반적인 점진적 이미지 전송의 5레벨부터 9레벨까지의 노드수와 PSNR의 변화량을 측정한 결과이다. 무손실 점진적 이미지 전송에 대하여 본 논문에서 제안한 ARDQ와 RDP[24]를 비교할 수 있다. RDP 기법은 모든 노드의 4개의 자식 노드 중에 단지 3개의 값만 부호화 하지만

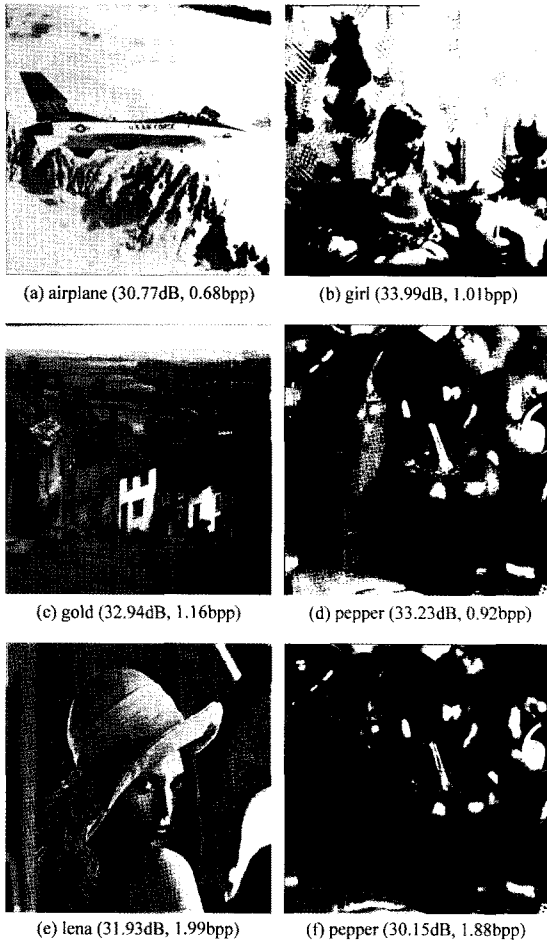


그림 7. ARDQ로 부호화한 일반적인 PIT의 이미지 결과

ARDQ는 격레벨로 3개의 값을 부호화 한다. 그러므로 ARDQ는 RDP보다 더 많은 코드 수를 생성하지만 ARDQ가 코드간의 범위가 더 좁기 때문에 낮은 엔트로피를 제공한다. Lena 그레이스케일 이미지에 대하여 RDP 기법은 4.88bpp의 효율을 보이는 반면 ARDQ의 경우 4.84bpp로 근소한 차이로 압축 효율을 높일 수 있었다. 인터랙티브 이미지 전송에 대해서는 일반적인 점진적 전송과 같은 ARDQ를 생성하기 때문에 같은 코드를 생성한다. 인터랙티브 전송 기법을 적용한 압축률은 표 5에 나타나 있고 실험 이미지 예는 그림 1에 제시되어 있다. 인터랙티브 전송은 선택된 이미지 영역에 대한 많은 짧은 코드 배열들이 생성되기 때문에 전체 이미지 전송을 위해서는 같은 ARDQ를 사용하는 일반적인 점진적 전송보다 더 많은 비트량이 필요하다.

표 4. 그레이스케일 이미지에 대한 일반적 점진적 전송 결과

레벨	Lena		Pepper	
	PSNR(dB)	Bitrate(bpp)	PSNR(dB)	Bitrate(bpp)
5	20.96	0.03	19.67	0.03
6	23.65	0.09	22.65	0.10
7	26.82	0.28	25.87	0.30
8	30.51	0.54	29.30	0.57
9	33.04	0.86	33.23	0.92

표 5. 인터랙티브 이미지 전송 결과

이미지		인터랙티브 이미지 전송	
		PSNR(dB)	Bitrate(bpp)
그레이스케일	Girl	33.99	1.49
	Gold	32.94	1.63
	Lena	33.04	1.23
	Pepper	33.23	1.27
컬러	Lena	31.93	2.65
	Pepper	30.15	2.42

7. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 일반적인 점진적 이미지 전송의 압축 효율을 향상시킬 수 있는 기법인 ARDQ와 그를 통해 사용자의 실시간 상호작용이 가능한 인터랙티브 이미지 전송 기법에 대하여 소개하였다. 전체 이미지에 대하여 직관적이고 체계적인 PSNR기반 규칙을 사용하여 쿼드 트리를 분할하며, 중간 값을 가지는 쿼드트리로부터 유도되는 alternately reduced-difference quadtree (ARDQ)를 생성하는 과정을 제시하였다. 새로운 ARDQ 부호화 기법을 토대로 기존 공간 기반 압축 알고리즘에 비하여 뛰어난 성능을 가지는 압축 방법을 제안하였다. 평균적으로 본 논문에서 제안한 알고리즘은 512x512 크기의 그레이스케일 이미지를 전송하는 데 0.98bpp의 비트 데이터만을 요구하며 PNSR 값이 33.3dB인 품질의 이미지를 부호화하는 데 약 1초, 복원하는 데 0.055 초의 시간이 소요된다. 향후 본 논문에서 제안한 기법들을 실제 제한된 자원을 가진 모바일 애플리케이션으로 구현하여 제공할 계획이며, 압축률을 더욱 향상시키기 위한 방법에 대한 연구도 진행할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부) 재원으로 한국과학재단 중견연구자 지원 사업 지원을 받아 수행된 연구(2008-0061467)입니다. 서울대학교 신영길 교수님의 computer graphics and image processing Lab 에서 제공한 의료 이미지와 대만 providence university computer science & information management 학과 Yu-Chen Hu 교수님이 제공한 이미지 세트를 받아 실험하였습니다.

참고 문헌

- [1] B. Aiazzi, L. Alparone, and S. Baronti, "A reduced laplacian pyramid for lossless and progressive image communication," *IEEE Trans. Communications*, vol. 44, no. 1, pp. 18-22, Jan. 1996.
- [2] P. Akhtar, M. Bhatti, T. Ali, and M. Muqeet, "Significance of region of interest applied on MRI image in teleradiology-telemedicine," *In The 1st International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 2007. ICBBE, pp. 1331-1334, 2007.
- [3] S. Choe, J. Kim, H. Lee, and S. Lee, "Random accessible mesh compression using mesh chartification," *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, vol. 15, no. 1, pp. 160-173, 2009.
- [4] K.-L. Chung, and S.-Y. Tseng, "New progressive image transmission based on quadtree and shading approach with resolution control," *Pattern Recognition Letters*, vol. 22, no. 14, pp. 1545-1555, 2001.
- [5] B. C. Dhara, and B. Chanda, "Color image compression based on block truncation coding using pattern fitting principle," *Pattern Recognition*, vol. 40, no. 9, pp. 2408-2417, 2007.
- [6] C. Fogg, D. J. Legall, J. L. Mitchell, and W. B. Pennebaker, *MPEG Video Compression Standard(Digital Multimedia Standards Series)*, Springer.
- [7] M. Goldberg, and L. Wang, "Comparative performance of pyramid data structures for progressive image transmission," *IEEE Trans. Communications*, vol. 39, no. 4, pp. 540-548, Apr. 1991.
- [8] Y.-C. Hu, and J.-H. jiang, "Low-complexity progressive image transmission scheme based on quadtree segmentation," *Real-Time Imaging*, vol. 11, no. 1, pp. 59-70, 2005.
- [9] Y.-C. Hu, and S.-H. Wu, "Image progressive transmission by quadtree and block truncation coding," *The Imaging Science Journal*, vol. 56, no. 3, pp. 153-162, Jun. 2008.
- [10] J. H. Jiang, C. C. Chang, and T. S. Chen, "Selective progressive image transmission using diagonal sampling technique," *In Proceedings of International Symposium on Digital Media Information Base, Nara, Japan*, pp. 59-67, 1997.
- [11] W. B. Pennebaker, and J. L. Mitchell, *JPEG : Still Image Data Compression Standard (Digital Multimedia Standards)*, Springer. 1993.
- [12] H. Samet, "The quadtree and related hierarchical data structures," *ACM Computing Surveys*, vol. 16, no. 2, pp. 187-260, 1984.
- [13] E. Shusterman, and M. Feder, "Image compression via improved quadtree decomposition algorithms," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 3, no. 2, pp. 207-215, Mar. 1994.
- [14] A. Signoroni, F. Lazzaroni and R. Leonardi , "Exploitation and extension of the region-of-interest coding functionalities in JPEG2000," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 49, no. 4, pp. 818-823, 2003.
- [15] P. Strobach, "Tree-structured scene adaptive coder," *IEEE Trans. Communications*, vol. 38, no. 4, pp. 477-486, Apr. 1990.
- [16] G. Sullivan, and R. Baker, "Efficient quadtree coding of images and video," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 3, no. 3, pp. 327-331, May 1994.
- [17] P. G. Tahoces, J. R. Varela, M. J. Lado, and M. Souto, "Image compression: Maxshift ROI encoding options in JPEG 2000," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 109, no. 2, pp. 139-145, 2008.
- [18] D. Taubman, and M. W. Marcellin, *JPEG 2000 : Image Compression Fundamentals, Standards and Practice*, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [19] C. Taylor, and S. Dey, "Adaptive image compression for wireless multimedia communication," *In Communications, IEEE International Conference on ICC 2001*, vol. 6, pp. 1925-1929, 2001.
- [20] N. Thomos, N. Boulgouris, and M. Strintzis, "Optimized transmission of JPEG 2000 streams over wireless channels," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 15, no. 1, pp. 54-67, Jan. 2006.
- [21] P. Tsang, "Near-computation-free image encoding scheme based on adaptive decimation," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 2, no. 4, pp. 175-184, Aug.

2008.

- [22] K. H. Tzou, "Progressive image transmission: a review and comparison of techniques," *Opt. Eng.*, vol. 26, no. 7, pp. 581-589, 1987.
- [23] Z. Wang, and A. C. Bovik, "Bitplane-by-bitplane shift (bbbshift) - a suggestion for JPEG 2000 region of interest coding," *IEEE Signal Processing Letters*, no. 9, vol. 5, pp. 139-145, 2002.
- [24] L. Wang, and M. Goldberg, "Reduced-difference pyramid: A data structure for progressive image transmission," *Opt. Eng.*, vol. 28, pp. 708-716, Jul. 1989.

<저자소개>



임낙권

- 2009년 홍익대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2011년 홍익대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2011년~현재 NCsoft 연구개발실 연구원
- 관심분야: 3차원 게임 엔진, 3차원 모바일 게임, 이미지 처리



김대영

- 1998년 홍익대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2001년 홍익대학교 전자계산학과 석사
- 2010년 홍익대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2010년~현재 홍익대학교 컴퓨터공학과 박사후과정
- 관심분야: 3차원 모바일 게임, 3차원 메쉬 처리, 이미지 처리



이혜영

- 1986년 연세대학교 수학과 학사
- 1992년 San Jose State University 전산학과 석사
- 2003년 University of Southern California 전산학과 박사
- 1993년~2003년 KT 연구 개발 본부 연구원
- 2003년~현재 홍익대학교 컴퓨터공학과 부교수
- 관심분야: 3차원 메쉬 처리, 모바일 3차원 애플리케이션, 이미지 처리