
3차원 디지털 시네마의 스테레오 영상 압축을 위한 MRBR기반의 JPEG2000 코덱

서영호* · 신완수** · 최현준** · 유지상*** · 김동욱**

MRBR-based JPEG2000 Codec for Stereoscopic Image Compression of 3-Dimensional Digital Cinema

Wan-Soo Sin* · Young-Ho Seo** · Hyun-Jun Choi* · Dong-Wook Kim*

이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-331-D00335).

요 약

본 논문에서는 3차원 디지털 시네마 영상의 압축을 위하여 다해상도 기반 렌더링(MultiResolution-based Rendering, MRBR) 기법을 이용한 JPEG2000 압축코덱 구조에 대하여 제안하였다. 스테레오 영상에 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform, DWT)과 다해상도의 웨이블릿 영역에서 스테레오 정합(stereo matching)기법을 적용하여 변이정보를 추출하고 기준영상과 같이 전송한다. 또한 추출된 다른 시점의 영상은 비폐색영역으로 인한 화질 열화가 발생하므로 이를 보상하기 위하여 비폐색영역이 포함된 원 주파수정보와 대상 시점에서 주파수정보의 차이를 같이 전송한다. 변이정보는 변이공간에서의 동적계획법(dynamic programming)을 이용하여 추출하였다. DWT의 특성상 상위 부대역은 하위 부대역과 높은 상관성을 갖는다. 따라서 coarse-to-fine 방법을 이용하여 상위 부대역에서 얻어진 변이정보를 하위 부대역에 적용하여 탐색영역을 제한함으로써 일반적인 동적계획법에 비하여 연산량을 단축시켰으며 정확도를 향상시켰다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a new JPEG2000 codec using multiresolution-based rendering (MRBR) technique for video compression of 3-dimensional digital cinema. We introduced discrete wavelet transform (DWT) for stereoscopic image and stereo matching technique in the wavelet domain. The disparity was extracted using stereo matching and transmitted with the reference (left) image. Since the generated right image was degraded by the occlusion region, the residual image which is generated from difference between the original right image and the generated one was transmitted at the same time. The disparity data was extracted using the dynamic programming method in the disparity domain. There is high correlation between the higher and lower subbands. Therefore we decreased the calculation amount and enhanced accuracy by restricting the search window and applying the disparity information generated from higher subband.

키워드

depth-image, stereoscopic, JPEG2000, multiresolution-based rendering, 3D digital cinema

* 광운대학교 교양학부

접수일자 2008. 06. 09

** 광운대학교 전자재료공학과 Digital Design & Test Lab.

*** 광운대학교 전자공학과

I. 서 론

홀로그래피는 영상압축 기술의 발달로 디지털 영상 분야에서는 최근 실감 영상에 대한 연구가 진행되고 있다. 실감영상은 3차원의 공간감이 사실적으로 느껴지는 영상이다. 이러한 실감영상을 위한 기술로 스테레오 입체영상과 다시점 비디오, 홀로그래픽 등의 비디오 기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 이들 중 다시점 비디오는 2개 이상의 카메라로부터 획득된 영상들에 대하여 시간적, 공간적 중복성을 제거하는 기법이 연구되고 있으나 근본적으로 처리해야 할 데이터양과 고가의 영상획득 장비 등의 문제점을 가지고 있다[1].

이러한 기술요소로 최근에는 깊이 영상 기반 렌더링 (Depth Image-Based Rendering, DIBR) 기법[2]이 각광을 받고 있다. DIBR은 기준 시점에 대한 텍스처(texture)와 그 시점에서의 깊이정보를 기반으로 임의의 시점에서의 영상을 재구성하는 기법이다. 여기서 사용되는 깊이정보는 기준시점에서의 화면의 화소가 가지는 깊이정보이며, 이를 획득하기 위해서는 깊이 카메라(Z-CamTM)를 이용하거나 스테레오 정합 기법을 이용하여 간접적으로 깊이정보를 추출한다. 스테레오 정합 기법은 오래전부터 연구되어진 기술요소로 두 개 이상의 영상으로부터 각 화소의 대응점을 선별하여 변이(disparity) 정보나 깊이(depth) 정보를 획득하는 방법이다. 이는 크게 영역 기반, 특징기반 탐색방법으로 구분되며 일반적으로 깊이정보의 정확도(accuracy)는 이를 획득하기 위한 연산량과 직접적으로 관련된다[3].

본 논문에서는 이러한 DIBR 기법을 이용하여 스테레오 영상을 기반으로 영상의 공간영역이 아닌 다해상도의 주파수 영역에서 깊이정보를 추출하여 다른 시점 영상의 주파수 영역을 재구성하는 MRBR 기법과 이를 JPEG2000 압축코덱[4]을 이용하여 좌/우 시점의 스테레오 영상을 압축하는 구조에 대하여 제안한다.

두 개 영상의 주파수영역에서 깊이정보는 영역기반의 탐색방법 중, 동적계획법[5,6,7]을 이용하여 추출한다. 동적계획법은 스캔라인 상에서 각 화소의 대응점과 비페색영역을 구분하는데 적합하지만 이러한 비페색영역은 텍스처정보가 없기 때문에 가상시점에서 생성된 영상의 화질열화 요인이 된다. 이러한 비페색영역을 보상하기 위하여 주변화소를 이용하여 비페색영역을 보간(interpolation)하거나 깊이정보 자체를 필터링하여 비

페색영역을 제거하는 방법이 연구되고 있으나 이는 기본적으로 시각적인 거부감이나 기학적적인 왜곡을 가져온다[8]. 또한 실감영상을 위한 스테레오 입체영상의 경우, 재구성된 영상의 화질은 매우 높은 수준이어야 하며, 제안한 MRBR 기법은 주파수 영역에서의 계수정보를 재구성하기 때문에 매우 높은 수준의 정확도가 요구된다. 따라서 본 논문에서는 MRBR을 통하여 생성되는 다른 시점 영상의 주파수영역과 깊이정보 추출에 사용된 원 영상의 주파수영역의 차이정보(residual)를 구하여 전송함으로써 비페색영역을 완벽하게 보상하는 기법을 사용한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 입체 디지털 시네마에 대해서 설명하고 3장에서 제안한 코덱의 부호화 및 복호화 구조를 설명한다. 4장에서는 제안한 MRBR 기법에 대해서 변이추출 과정, 렌더링 기법, 비페색영역 보상에 관하여 설명하고 5장에서 기존 영상압축 대비 제안한 구조의 비교실험결과를 보인다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 3차원 입체 디지털 시네마

최근 몇 년간 영상산업 전체는 침체국면을 면하지 못하고 있다. 이는 고화질 영상의 대중화나 HDTV, 홈시어터의 보급과 불법복제된 콘텐츠가 요인이다. 이러한 현상에 대한 해결책으로써 3D 입체 시네마가 주목되고 있다. 3D 입체 시네마의 규격에 대해서는 헐리우드의 영화 제작사를 중심으로한 업계 표준으로서 DCI(Digital Cinema Initiatives) 규격을 책정한 바 있으며 부호화방식은 연구중에 있다. 3D 디지털 시네마로 제작된 몇 개의 콘텐츠는 상당한 흥행성적을 거두었고 앞으로 앞으로 개봉될 많은 콘텐츠가 3D 입체 시네마로 제작 발표된 바 있다. 또한 이를 이용하여 실시간 경기 중계 등의 서비스로 확대될 것으로 기대되고 있다.

이러한 3D 입체 디지털 시네마는 기본적으로 좌/우 영상으로 구성되는 스테레오(stereoscopic) 영상이다. 이를 위한 압축방식은 기존의 디지털 시네마와 크게 다르지 않을것으로 예상되며 이는 기본적으로 Motion JPEG 2000을 기반으로 부호화, 전송, 복호화된다. MJPEG2000은 MPEG 계열의 부호화방식 다르게 각각의 프레임 독립적으로 인트라 부호화하는 방식으로 개별 프레임

은 일반적인 JPEG2000 구조와 크게 다르지 않다. 좌/우의 개별영상을 동일한 압축코덱을 적용하여 전송하는 경우 대역폭은 단일 영상의 전송시에 비하여 2배가 요구된다. 이를 위하여 본 연구에서는 좌/우 영상의 상관관계를 이용하여 압축효율을 향상하였다.

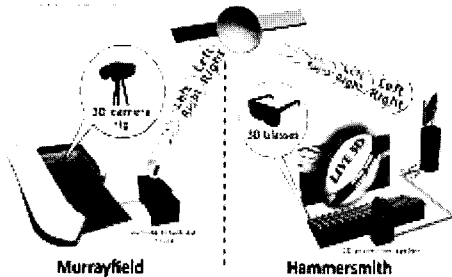


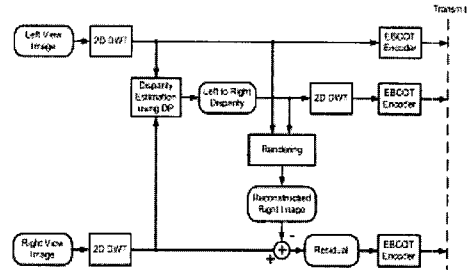
그림 1. 3D 디지털 시네마를 이용한 실시간 방송
Fig 1. Real-time broadcasting using 3D digital cinema

III. 제안한 코덱의 구조

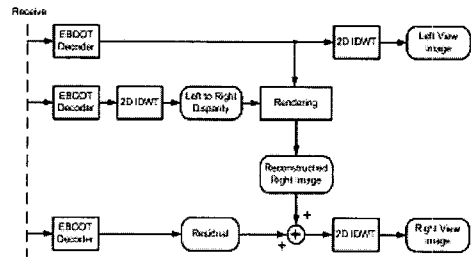
그림 2(a)는 제안한 코덱의 부호화기 구조이다. 입력은 좌/우 영상으로 구성된 스테레오 영상이며 이는 DWT로 주파수 영역으로 변환된다. JPEG2000은 크게 세 부분으로 나눌 수 있는데 DWT를 수행하여 저주파 성분과 고주파 성분을 분리하여 부대역을 만드는 웨이블릿 변환, 양자화, 그리고 EBCOT(Embedded Block Coding with Optimal Truncation) 과정으로 나눌 수 있다. 본 논문에서 DWT는 컨볼루션(convolution) 방식에 비하여 우수한 성능을 보이는 리프팅(lifting) 방식을 이용한다[9]. DWT는 영상을 각 주파수 부대역으로 분할하기 때문에 각 부대역마다 별도로 변이를 추정한다. 또한 생성된 변이정보 자체도 공간영역에서의 데이터이기 때문에 이를 DWT하여 같은 방법을 적용한다. 그리고 폐색영역을 보상하기 위하여 좌영상의 주파수 변환된 영상을 재구성하고 이를 좌영상의 DWT한 영상의 차영상을 구한다.

그림 2(b)는 복호화기의 구조이다. 먼저 입력되는 압축된 정보를 역 EBCOT한다. 부호화기에서는 입력되는 영상에 대하여 변이정보를 추출하였지만 복호화기에서는 변이정보를 다시 추출할 필요가 없기 때문에 부호화기에 비하여 복호화기는 많은 연산량이 요구되지 않는다. 전송된 좌영상과 변이정보로 다시 MRBR을 통하여

좌영상을 재구성한다. 그리고 전송된 차영상으로 폐색영역을 보상하면 원 영상으로 복원이 가능하다.



(a)



(b)

그림 2. 제안한 코덱의 구조

(a) 부호화기 (b) 복호화기

Fig. 2. A proposed architecture

(a) Encoder (b) Decoder

IV. MRBR(MultiResolution-based Rendering)

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 MRBR에 대하여 설명한다. 앞 장에서 설명한 바와 같이 평행식 카메라 모델을 기반으로 좌/우 두 개의 영상으로 구성된 스테레오 영상을 사용하였으며, 이를 DWT 주파수변환하여 계층적으로(hierarchical) 변이를 추정하는 방식을 사용하였다. 먼저 DWT후 다해상도 부대역 구조에서 변이를 추정하는 방법을 설명하고 이를 이용하여 영상을 재구성하는 방법을 설명하도록 한다.

4.1. 다해상도 부대역에서 변이정보의 추출

앞 장에서 설명한 바와 같이 변이정보의 추출은 공간영역의 원영상이 아닌 DWT를 통하여 얻어진 주파수영역에 대하여 수행한다. DWT로 변환된 영상의 화소 즉, 계수들은 계수 자체로서는 좌,우 영상에서 상관성이 매

우 적다. 하지만 대상 계수를 중심으로 블록 대 블록으로 정합할 경우 계수 대 계수의 대응에 비하여 정확도를 높일 수 있다. 여기서 대응관계를 평가하는 비용함수로는 SAD(Sum of Absolute Difference)를 사용한다. 일반적인 영상의 경우 대응점 선별에 필요한 비용함수는 NC(Normalized Correlation)계열의 비용함수를 사용하는 경우 정확도를 높일 수 있다[10][11]. 하지만 주파수 영역에서는 공간영역의 특성이 그대로 나타나지 않기 때문에 NC계열의 비용함수는 비효율적이며, 연산량은 SAD계열의 비용함수에 비하여 크다. 이렇게 구해진 변이공간영상(Disparity Space Image, DSI)를 그림 3(a)에 나타내었다.

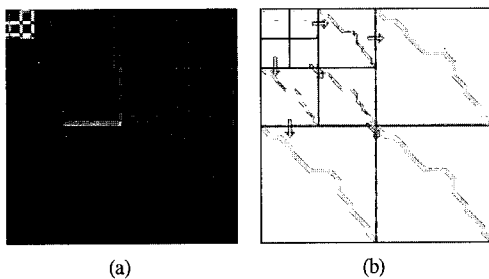


그림 3. (a) DWT 주파수 영역에서의 변이공간영상 (b) DWT 주파수 영역에서 동적계획법을 이용한 변이경로 탐색과 경로제한영역

Fig. 3. (a) An Disparity space image at DWT frequency domain (b) Disparity calculation using dynamic programming at DWT frequency domain

DWT의 특성상 상위 부대역은 하위 부대역에서의 공간상의 윤곽이 압축된 정보이다. 하지만 하위 부대역은 상위 부대역의 정보인 대략적인 윤곽은 담고 있지만 상위 부대역에 없는 미세한 특징을 가지고 있기 때문에 계층적으로 탐색하는 방법이 적합하다. 즉, 상위 부대역에서 구해진 경로를 하위 부대역에서 적용이 가능하지만 완벽한 경로는 아니므로 상위 부대역에서 얻어진 경로를 공간상에서 좌/우로 확장하여 세밀하게 탐색할 수 있다. 이러한 변이경로 탐색제한 구역을 그림 3(b)에서 나타냈다. 특히 변이정보 연산과 같이 많은 연산량을 필요로 하는 경우 이러한 각 부대역간의 상관관계를 이용하여 하위 부대역에서의 경로탐색영역을 상위 부대역의 경로정보로 제한하게 되면 연산량을 크게 감소할 수 있다. 또한 잘못된 대응점 탐색으로 인하여 변이경로가 전

파(propagation)되는 현상을 줄일 수 있다.

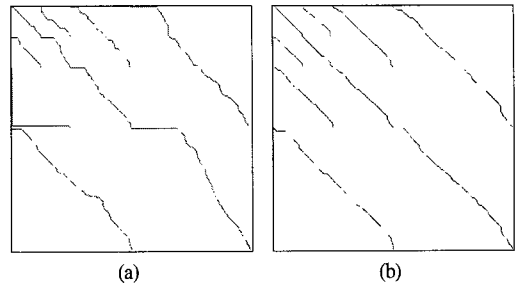


그림 4. (a) 경로탐색이 잘못된 정합의 예 (b) 경로탐색제한조건으로 탐색된 예

Fig. 4. (a) An example of mismatched route trace (b) An example of correct route with restrictive path

먼저 가장 상위인 DC대역 및 최상위 LH, HL, HH 부대역에서 변이경로를 탐색한다. 일반적인 영상의 경우, 제한된 경로는 없지만 연산량의 감소를 위하여 변이가 가지는 최대범위를 지정할 수 있다. 하지만 DC대역의 경우도 일반적인 영상의 매우 낮은 해상도로 볼 수 있으므로 마찬가지로 최대 변이를 지정할 수 있다. 하위 3개의 부대역은 각각 HL, LH, HH 부대역으로 영상의 수직, 수평, 대각선 성분을 나타낸다. 이 경우 각각의 방향성을 가진 주파수 특성이나 영상 전체로 확장하면 변이는 크게 다르지 않다. 따라서 따위 3개의 부대역에 DC대역에서의 경로를 적용하여 세밀하게 탐색하고, 다시 얻어진 3개의 경로를 수직, 수평, 대각선상으로 다시 확장하여 경로를 탐색한다. 그 결과를 그림 4에 나타내었다.

4.2. 대상시점에서의 영상 렌더링

대상시점의 영상을 렌더링하기 위한 외부 변수와 식을 식(1), (2) 및 그림 5에서 나타내었다. 여기서 외부변수는 t_o , t'_x 이며 disparity는 기준시점(좌영상)의 화소와 참조시점(우영상)의 화소 좌표의 차이값을 나타낸다.

$$x_l - x_r = \text{Disparity} \quad (1)$$

$$x_r = x_l - \text{Disparity} \times \frac{t'_x}{t_x} \quad (2)$$

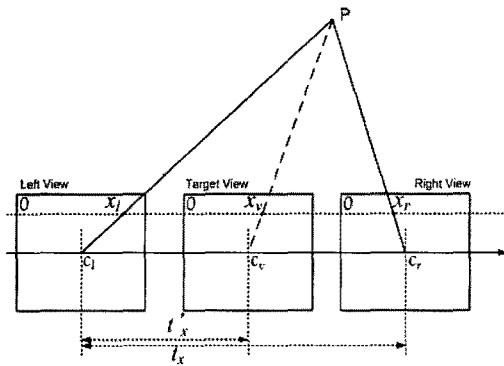


그림 5. 변이정보와 기준영상을 기반의 가상시점의 생성

Fig. 5. Virtual Image generation using DIBR

그림 4에서 대상시점은 좌/우 영상내의 임의의 가상 시점이다. 이 이점의 위치는 C_v 이며 이는 t_y/t_x 로 결정된다. 본 논문에서는 생성하고자 하는 대상 시점은 C_r 로 한다. 따라서 t_y/t_x 는 '1'이며 최종 연산은 좌영상의 좌표에서 변이만큼 평행이동하여 계수를 위치하도록 한다.

4.3. 폐색영역의 보상

본 논문에서는 앞서 설명한 바와 같이 폐색영역을 차영상으로 보상한다. 차영상 전송에 필요한 대역폭을 설명하기 위하여 일반적인 스테레오 영상에서의 차영상에 대한 예제를 그림 6에 나타내었다.

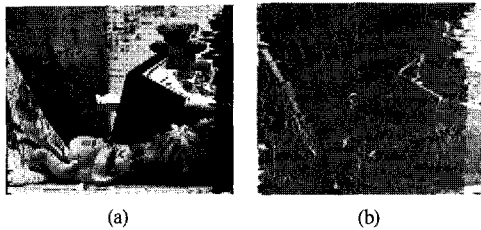


그림 6. (a) 생성된 가상시점에서의 영상의 예
(b)비폐색영역의 보상을 위한 원 영상과의 차영상의 예
Fig. 6. (a) Example reconstructed virtual image
(b) Example residual image for disocclusion area compensation

그림 6(a)는 렌더링을 통하여 좌시점에서 재구성된 영상이며, (b)는 (a)와 원 영상의 차영상이다. 그림 6(b)에서 알 수 있듯이, 차영상의 성분은 주로 재구성된 영상이

가지는 비폐색영역에 대한 텍스처 정보로 이루어진다. 만약 변이정보가 매우 정확하여 기준영상 내의 모든 화소에 대한 변이정보를 가지고 있고 에러 성분이 없다면 차영상의 성분은 비폐색영역의 텍스처 정보만으로 이루어질 것이다. 따라서 전송에 필요한 대역폭은 그다지 크지 않다.

V. 실험결과

본 실험에 사용된 영상은 512×512 크기의 스테레오 영상이며, 주파수 변환기법은 (9,7) lifting 필터를 이용한 2차원 DWT이며, 모든 pixel은 부동점으로 연산하였다. 동적계획법에서 경로는 폐색비용(occlusion cost)이라는 외부변수에 의하여 탐색되는데 이는 각각의 부대역에 대하여 서로 다른 폐색비용을 갖도록 실험적으로 구하였다. DWT 주파수영역에서 정합경로는 상위 부대역에서 하위 부대역으로 계층적으로 탐색하는데 이 영역은 상위 영역의 4배씩 증가하도록 하였으며 3-level로 변환하였다. 본 논문에서 제안한 구조와 일반적인 스테레오 영상 전송시 데이터양을 비교한 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 다양한 방법으로 스테레오 영상 전송시의 데이터양

Table 1. Amount of image data using various stereoscopic system

Case 1 (JPEG)	Left		Right	Total
	158KB		157KB	315KB
Case 2 (J2K)	Left		Right	Total
	112KB		111KB	223KB
Case 3 (J2K)	Left		Residual (L-R)	Total
	112KB		104KB	216KB
Proposed (J2K)	Left	Disparity	Residual (R-rec.R)	Total
	112KB	57KB	28KB	197KB

표 1의 case 1, case 2, case 3은 각기 다른 전송방식을 나타낸다. 여기서 JPEG 대 JPEG2000의 비교는 R-D curve상에서 가장 근접한 PSNR를 갖도록 압축률을 실험적으로 조절한 결과이다. 표 1에서 나타내었듯이 본 논문에서 제안한 코덱이 다른 방법들에 비하여 가장 우수

함을 알 수 있다. 재구성된 좌영상을 정확도는 변이정보의 정확도에 따라 비례하기 때문에 더 좋은 기법으로 변이정보를 추출할시에 더 높은 압축효율을 기대할 수 있다. 시각적인 확인을 위하여 본 논문에서 제안한 코덱이 전송하는 3개의 영상 즉, 좌영상, 깊이정보, 비폐색영역을 보상하기 위한 차영상의 예제를 그림 7에 나타내었다.

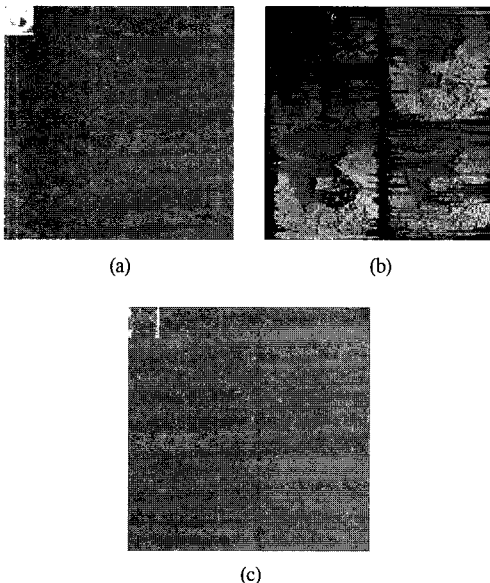


그림 7. (a) 좌영상 (b) 변이정보 (c) 차영상
Fig 7. (a) Left image (b) Disparity (c) Residual image

VI. 결론

본 논문에서는 DWT로 변환된 주파수영역에서 계층적 기법을 이용하여 변이정보를 추출하고 다른 시점의 영상을 재구성하여 압축하는 MRBR 기반의 JPEG2000 압축코덱을 구현하였다. 또한 변이정보 추출에 사용된 참조영상과의 차영상을 전송함으로써 필연적으로 발생하는 비폐색영역을 제거하였다. 이는 MRBR 구조로 높은 정확도의 변이정보를 추출하여 영상을 재구성하기 때문에 폐색영역 제거를 위하여 차영상을 전송하더라도 차영상의 데이터양은 매우 적기 때문에 가능하다. 또한 앞서 설명한 바와 같이 MRBR 과정은 많은 연산량을 필요로 하지 않기 때문에 수신단에서의 수용능력은 크

게 문제가 되지 않는다.

참고문헌

- [1] 이상범, 김성열, 호요성, "깊이 영상으로부터 다시점 영상 생성 방법," 대한전자공학회, 전자공학회지 제 33권 제8호, pp.950-959, September, 2006
- [2] P. Kauff, N. Atzpadin, C. Fehn, M. Müller, O. Schreer, A. Smolic, R. Tanger, "Depth map creation and image-based rendering for advanced 3DTV services providing interoperability and scalability," Signal Processing: Image Communication, Volume 22, Issue 2, pp. 217-234, 2007
- [3] Scharstein, D., Szeliski, R., Zabih, R., "A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms," Stereo and Multi-Baseline Vision, 2001. (SMBV 2001). Proceedings. IEEE Workshop , pp. 131-140, December, 2001
- [4] JPEG2000 Final Committee Draft (FCD). JPEG2000 Committee Drafts.[Online]. Available: <http://www.jpeg.org/CDs15444.htm>.
- [5] Y. Ohta and T.Kanade, "Stereo by intra- and inter-scanline search using dynamic programming," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on Volume PAMI7, 1985
- [6] Chun-Jen Tsai, Katsaggelos, A.K., "Dense disparity estimation with a divide-and-conquer disparity space image technique," Multimedia, IEEE Transactions on Volume 1, issue 1, pp. 18-29, 1999
- [7] Birchfield, S., Tomasi, C., "Depth discontinuities by pixel-to-pixel stereo," IEEE Computer Vision, 1998. Sixth International Conference on 4-7, pp.1073-1080, 1998
- [8] Liang Zhang, Tam, W.J., "Stereoscopic image generation based on depth images for 3D TV," Broadcasting, IEEE Transactions on Volume 51, Issue 2, pp. 191-199, June, 2005
- [9] Young-Ho Seo, Dong-Wook Kim, "VLSI Architecture of Line-based Lifting Wavelet Transform for Motion JPEG2000," IEEE Journal of Solid-State Circuits on Volume 42, Number 2, pp. 431-440, 2007

- [10] Binaghi, E., Gallo, I., Marino, G., Raspanti, M., "Neural adaptive stereo matching," Pattern Recognition Letters volume 25, pp. 1743-1758, 2004
- [11] Brown, M.Z., Burschka, D., Hager, G.D., "Advances in computational stereo," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on Volume 25, Issue 8, pp. 993-1008, August, 2003

저자소개



서영호(Young-Ho Seo)

1999년 2월 : 광운대학교 전자재료 공학과 졸업(공학사)
2001년 2월 : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학석사)

2000년 3월~2001년 12월 : 인티스닷컴(주) 연구원
2004년 8월 : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학박사)
2003년 6월~2004년 6월 : 한국전기연구원 연구원
2004년 12월~2005년 8월 : 유한대학 연구교수
2005년 9월~2008년 2월 : 한성대학교 교수
2008년 3월~현재 : 광운대학교 교수
※관심분야: 실감 멀티미디어, SoC 설계



신완수(Wan-Woo Shin)

2005년 2월 : 광운대학교 전자재료 공학과 졸업(공학사).
2007년 3월~현재 : 광운대학교 일반대학원 석사과정

※관심분야: 영상압축, 워터마킹, 암호학, FPGA/ASIC 설계, Design Methodology



최현준(Hyun-Jun Choi)

2003년 2월 : 광운대학교 전자재료 공학과 졸업(공학사)
2005년 2월 : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학석사)

2005년 3월~현재 : 광운대학교 일반대학원 박사과정
※관심분야: 영상압축, 워터마킹, 암호학, FPGA/ASIC 설계, Design Methodology



유 지 상(Ji-Sang Yoo)

1985년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1987년 2월 : 서울대학교 대학원 졸업(공학석사)

1993년 5월 : Purdue 대학교 전기공학과 졸업(Ph.D.)
1993년 9월~1994년 8월 : 현대전자산업(주) 산전연구소 선임연구원
1994년 9월~1997년 8월 : 한림대학교 전자공학과 조교수

1997년 9월~현재 : 광운대학교 전자공학과 교수
※관심분야 : 웨이블릿 기반 영상처리, 영상압축, 영상인식, 비선형 신호처리



김동욱(Dong-Wook Kim)

1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1985년 2월 : 한양대학교 대학원 졸업(공학석사)

1991년 9월 : Georgia공과대학 전기공학과 졸업(공학박사)
1992년 3월~현재 : 광운대학교 전자재료공학과 정교수. 광운대학교 신기술 연구소 연구원
※관심분야: 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP 설계, Wireless Communication