

# 컨텐츠 스트리밍 데이터의 전송효율 증대를 위한 압축센싱기반 전송채널 대역폭 절감기술 연구

정의석<sup>1,2</sup>, 이용태<sup>1</sup>, 한상국<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국전자통신연구원 모바일미디어융합연구실, <sup>2</sup>연세대학교 전기전자공학부

## Improvement of Bandwidth Efficiency for High Transmission Capacity of Contents Streaming Data using Compressive Sensing Technique

Eui-Suk Jung<sup>1,2</sup>, Yong-Tae Lee<sup>1</sup>, Sang-Kook Han<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Electronics and Telecommunications Research Institute

<sup>2</sup>Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei Univeristy

**요약** 본 논문에서는, 압축센싱 기법을 이용하여, 방송 네트워크 시스템의 멀티미디어 신호 전송 대역폭 효율성을 극대화할 수 있는 기법을 제안하였다. 멀티미디어 이미지의 sparsity를 높이기 위해서 2차원 이산 웨이블릿 변환 기법을 적용하는 샘플링 기법과, orthogonal matching pursuit기반 L1 최소화기법을 이용하여 복원하는 기법을 본 논문에서 제안하였다. 다양한 멀티미디어 신호가 압축센싱 기술에 의해 압축되어지기 때문에, 다양한 멀티미디어 데이터가 전송 시 점유하는 대역폭을 감소시킬 수 있다. 10Gs/s로 샘플링 되어진, 20% 압축률을 갖는 256×256 흑백스케일 이미지가 20km 광전송되어진 후에, Sparse한 방송신호를 복원하는, L1 최소화 기법을 이용하여 복원되었다(비트 에러율:  $10^{-12}$ )

**Abstract** A new broadcasting signal transmission, which can save its channel bandwidth using compressive sensing(CS), is proposed in this paper. A new compression technique, which uses two dimensional discrete wavelet transform technique, is proposed to get high sparsity of multimedia image. A L1 minimization technique based on orthogonal matching pursuit is also introduced in order to reconstruct the compressed multimedia image. The CS enables us to save the channel bandwidth of wired and wireless broadcasting signal because various transmitted data are compressed using it. A 256×256 gray-scale image with compression ratio of 20 %, which is sampled by 10 Gs/s, was transmitted to an optical receiver through 20-km optical transmission and then was reconstructed successfully using L1 minimization (bit error rate of  $10^{-12}$  at the received optical power of -12.2 dB).

**Key Words** : broadcasting network, compressive sensing, L1 minimization, optical multimedia transmission

### 1. 서론

최근에, 다양한 멀티미디어 서비스 운용을 위한 매체별 셋톱박스들의 대기 및 사용전력이 급증함에 따라 국가전력 수급에 많은 영향을 주고 있어, 저전력 셋톱박스를 기반으로 하는 고효율 방송 네트워크 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다[1]. 방송 네트워크 시스템의 저전

력화를 위한 기술적 요구사항으로서 셋톱박스에서 처리해야 하는 데이터량을 감소시키는 방안을 생각할 수 있다. 이를 위해서는 방송신호가 점유하는 시간당 채널 대역폭을 감소시킬 수 있는 기술이 요구되어진다. 이것을 구현하기 위한 다양한 기법들이 제안되어졌다. 대역폭 효율성을 향상시키기 위한 데이터 변조기법으로서 제안되어진, 직교 주파수 분할 다중기법은 광케이블을 이용

\*Corresponding Author : Sang-Kook Han(Yonsei Univ.)

Tel: +82-2-2123-4016 email: [skhan@yonsei.ac.kr](mailto:skhan@yonsei.ac.kr)

Received January 14, 2015

Revised (1st March 2, 2015, 2nd March 11, 2015)

Accepted March 12, 2015

Published March 31, 2015

하는 유선망 이용 시 발생하는 다양한 전기적 및 광학적 잡음들에 의해 요구되는 신호대잡음비가 증가할 수 있다 [2-3].

본 논문에서는 방송신호 전송 시 점유하는 채널 대역폭 감소를 위한 새로운 기법을 제안하였다. 영상처리 기법인 압축센싱 기법을 이용하여, 방송신호를 압축하여 전송하는 이론적 방법을 설명하고, 이를 실험적으로 구현하였다.

## 2. 압축센싱기법을 이용한 멀티미디어 이미지 압축 및 복원기술

### 2.1 멀티미디어 신호 압축기술

압축센싱 기술은 멀티미디어 신호처리 분야에서 활발히 연구가 되어왔다.[4-5]. 일반적으로, 임의의 신호가 Nyquist rate(신호의 최대 주파수 2배)로 샘플링 되어질 때, 시스템이 감내할 수 있는 전송에러값 이하로 복원이 가능해진다. 그러나 압축센싱 기술을 이용하면, Nyquist rate 미만으로 샘플링이 되어진 신호가 낮은 sparsity를 갖는다면, 시스템이 감내할 수 있는 전송 에러값 이하로 복원이 가능해짐을 다양한 논문에서 보고가 되어 왔다. 여기에서 sparsity는 임의의 신호에서 0이 아닌 성분이 차지하는 비율을 말한다. 일반적인 이미지나 동영상과 같은 다양한 멀티미디어 신호는 매우 낮은 sparsity를 갖기 때문에, 압축센싱 기법에 의해 높은 압축률과 복원률을 나타낼 수 있다. 압축센싱기술을 방송 네트워크 시스템에 적용을 하게 되면, 압축 후, 전송 신호의 크기를 감소시킬 뿐만아니라, 전송 시 발생하는 다양한 전기적 및 광학적 잡음의 영향을 완화시킬 수 있다. 멀티미디어 이미지의 패킷 손실이 전송 시 발생하는 경우에, 손실된 패킷에 저장되어있는 이미지 일부가 복원이 불가능해지면서 네트워크 에러가 증가하게 된다. 반면에, 압축센싱 기법에 의해 압축된 이미지가 전송되어지는 경우에, 패킷 손실이 전체적으로 발생하기 때문에, 네트워크 에러가 다른 압축기술에 비해, 상대적으로 감소하게 된다. 따라서 랜덤으로 영상샘플을 측정하는 과정을 거치는 압축센싱 기술은 잡음이 있는 전송채널에서 강인한 특성을 갖게 된다[6].

압축센싱 기법에 의해 샘플링된 신호는 식 (1)에 의해 표현되어진다.

$$Y = \Phi(\Psi X) \quad (1)$$

여기에서,  $Y$ 는 압축된 샘플 벡터( $M \times 1$ ),  $\Phi$ 는 랜덤 측정 행렬( $M \times N$ ,  $N \gg M$ ),  $X$ 는 원본 샘플 벡터( $N \times 1$ ),  $\Psi$ 는 입력신호를 sparse하게 변환해주는 임의 변형 행렬이다. 일반적으로, 멀티미디어 이미지의 경우에, 임의 변형 행렬을 생성하는 방법으로서, 이산 코사인 변환 및 이산 웨이블렛 변환기법이 사용되어진다.

### 2.2 멀티미디어 신호 복원기술

L1 최소화기법은 압축센싱 기법에 의해 압축된 신호를 원래의 신호로 복원하기 위해 사용되어진다. 그것은 orthogonal matching pursuit과 같은 선형적 프로그래밍 기법이나 greedy 알고리즘을 사용하여 구현할 수 있다 [7]. 한편, 아래의 2가지 수학적 조건은 완벽한 복원을 보장하기 위해 만족해야한다. 첫 번째로서, 랜덤 측정 행렬은 비간섭성 측정을 위해서 restricted isometry property(RIP) 조건을 만족해야한다. 두 번째 조건은 식 (2)에 따라서 결정되는 측정 회수( $M$ )을 조절해서 압축률은 결정되어진다[8].

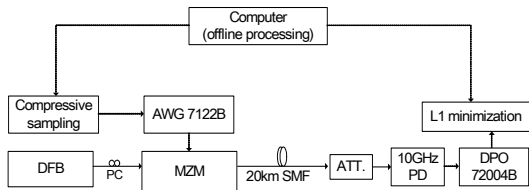
$$M \geq K \log(N/K) \quad (2)$$

여기에서,  $K$ 는 원래의 샘플 벡터( $N \times 1$ )에서 0이 아닌 벡터성분의 개수를 말한다. 우리가 고려해야할 다른 중요한 사항은 이산 코사인 변환이나 이산 웨이블렛 변환 등에 의해 변환된 신호의 계수값들의 truncation 임계값의 최적화를 수행해야한다. 시스템이 감내할 수 있는 전송에러값 이하로 복원을 위한 충분한 sparsity를 얻기 위해서, 0에 가까운 계수값을 갖는 신호성분들은 압축 및 복원 최적화를 위해서, 0으로 인식할 필요가 있다. 그러나 너무 많은 신호성분을 0으로 처리해버리면, 멀티미디어 이미지 품질이 열화하게 된다. 따라서 멀티미디어 이미지의 고품질 특성을 유지하면서 truncation 임계값을 최적화하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 멀티미디어 이미지 sparsity를 높이기 위해서 이차원 웨이블렛 변환기법을 이용하는 샘플링 기법을 제안하고 이를 이용하여 멀티미디어 이미지를 압축하였고, 복원을 위해서, orthogonal matching pursuit기반 L1 최소화 기법을 이용하였다. 제안된 방법을 검증하기 위해서 간단한 광링크를 구성하여 이를 실험적으로 검증하였다.

### 3. 실험적 셋업

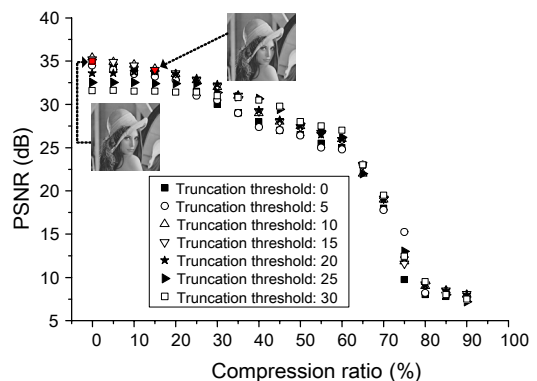
Fig. 1은 제안된 기법을 실험적으로 검증하기 위해 구현되어진 멀티미디어 신호를 전송하는 간단한 광전송 링크를 보여주고 있다. 오프라인 과정으로써, 매트랩을 사용하여 다음과 같은 디지털 신호처리가 순서적으로 진행된다. 256×256 흑백스케일 이미지가 바이너리 신호로 변환되어진다. 랜덤 측정 행렬은 RIP 조건을 만족하는 가우시안 분포를 갖는 행렬에서 만들어진다. 2차원 이산 웨이블릿 변환은 흑백스케일 이미지 신호를 높은 sparsity를 갖는 형태의 행렬로 변환하기위해 사용되었다. 변환된 이미지 데이터는 랜덤 측정 행렬과 곱해지면서 크기가 감소되게 된다. 압축된(크기가 감소된) 이미지 신호는 임의의 파형 발생기(tektronix 7122B)에의해 10Gs/s로 샘플링 되어졌다. 연속파형(continuous wave)을 생성하는 광원으로서, 분포캐환 레이저 다이오드가 사용되었다. 광원의 파장은 1550.19nm 였고, 그것의 linewidth는 출력 광전력이 3dBm일 때, 10MHz 였다. 연속파형 광원은 마흐젠더 광변조기(인가전압: 2.2 V,  $V_{\pi}$ : 4.5 V)로 입력되어졌다. 100% 변조지수를 갖으면서 임의의 파형 발생기에서 발생된 압축된 이미지 신호에 의해 변조되어졌다. 마흐젠더 광변조기의 삽입손실은 4 dB 였다. 편광 조절기는 마흐젠더 광변조기의 출력 광전력을 최대화하기 위해 사용되었다. 마흐젠더 광변조기에서 출력된 압축된 신호의 소광비는 25dB 였다. 압축된 이미지 신호에 의해 변조된 광신호는 포토 다이오드(주파수 응답: 10GHz)에서 광전변환 되었다. 20km 단일모드 광파이버의 전송손실은 5 dB였다. 광전변환된, 압축된 바이너리 신호는 샘플링률이 50Gs/s인, 실시간 오실로스코프(tektronix 72004B)에 의해 저장되어진 후에, 오프라인 과정에서 L1 최소화 과정을 거치면서 복원되어졌다. 제안된 기법의 성능을 검증하기 위해서, 복원된 바이너리 이미지 신호의 비트에러 오율 및 eye 패턴이 측정되어졌다.



[Fig. 1] Experimental setup for the verification of the proposed technique. AWG: arbitrary waveform generator, DFB: distributed feedback laser, MZM: Mach-Zehnder modulator, PD: photo-diode, DPO: digital phosphor oscilloscope.

### 4. 실험결과 및 분석

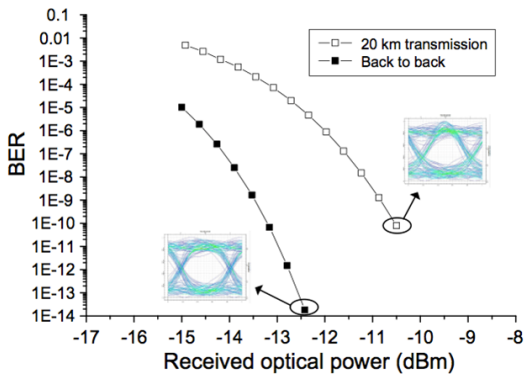
Fig. 2는 20km 광전송 후에 측정된, 압축률에 따른 256×256 흑백스케일 이미지 신호의 PSNR(peak signal to noise ratio)의 변화를 보여주고 있다. 압축률은 원래 샘플 벡터( $N \times 1$ ) 크기 대비 압축된 샘플 벡터( $M \times 1$ ) 크기의 비로 정의한다. 따라서 압축률은  $M$ 에 의해 결정된다.  $M$ 이  $N$ 에 가까워지면, 압축률은 감소하고, PSNR은 증가할 것을 쉽게 예상할 수 있다. Fig. 2의 2개의 삽입그림은 256×256 흑백스케일 이미지를 보여주고 있다. 위의 그림은 원본 이미지이고, 아래의 그림은 압축 후 복원된 이미지(압축률: 20%, truncation 임계값: 15%)를 보여주고 있다. Truncation 임계값은 2차원 웨이블릿 변환에 의해 변환된 이미지 신호 성분들 중에, 크기가 0에 가까운 값들을 갖는 성분들의 비율을 의미한다. Fig. 2에서 알 수 있듯이, 압축률이 35%에서 70%까지 변화하는 구간에서 30%의 truncation 임계값을 갖는 신호가 가장 높은 PSNR을 갖는 것을 보여주고 있다. 그러나 압축률이 0%에서 35% 구간에서는, truncation 과정을 거치면서 발생되어진 truncation 손실로 인해, PSNR값이 최대 35 dB 이하로 제한되어짐을 알 수 있다. 압축률이 70%보다 증가할 때, 완벽한 복원 조건중 하나인 식(2)를 만족할 수 없기 때문에, 신호는 완벽하게 복원이 되지 않게 된다. 그 결과, PSNR은 압축률이 70%이상이 되면 급격하게 감소함을 알 수 있다.



[Fig. 2] Measured PSNR curves against compression ratio

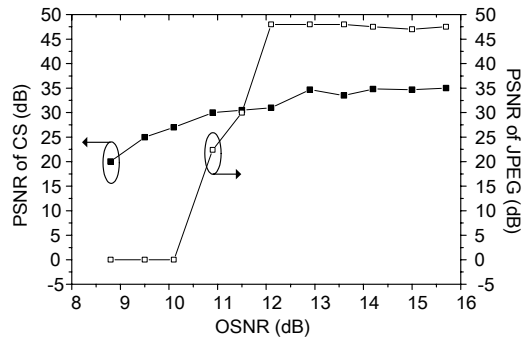
Fig. 3은 20km 광전송 후, 수신되는 광전력이 변화함에 따라, 복원된 256×256 흑백스케일 이미지 신호 (truncation 임계값: 15%, 압축률: 20%)의 측정된 비트에

러 오류율의 변화를 보여주고 있다. 측정된 최소 비트 에러 오류율은  $10^{-12}$ 이었다. 이것은 압축된 이미지 신호가 광전송 후에 성공적으로 복원이 가능함을 보여주고 있다. 따라서 10Gb/s 멀티미디어 방송 네트워크 시스템의 실제 전송률은 12Gb/s까지 증가할 수 있음을 말해준다. 0.5dB 이하의 광전력 penalty가 관찰되었다. 이것은 광전송과정에서 잡음이 거의 발생하지 않았음을 말해준다. 따라서 방송 네트워크 시스템에서 방송채널 대역폭 점유율이 제한된 압축기법에 의해 감소될 수 있음을 예상할 수 있다.



[Fig. 3] Measured BER values of reconstructed 256x256 image against received optical power

Fig. 4는 광신호대 잡음비(OSNR: optical signal to noise ratio) 변화에 따른, JPEG(joint photographic experts group) 방식에 의해 압축된 경우와 압축센싱 기법에 의해 압축된 이미지의 PSNR 변화를 보여주고 있다. 압축센싱의 경우에, 광신호대 잡음비가 11dB이상의 경우에, PSNR은 점차적으로 증가하면서 30dB이상 유지가 됨을 보여주고 있다. 이것은 압축센싱 기법이 낮은 광신호대 잡음비에서 잡음영향이 심한 광채널에 강인한 특성을 보여주고 있다. 그러나 JPEG 기법으로 압축된 신호의 PSNR은 광신호대 잡음비가 11dB 이하에서는 0에 가까워짐을 알 수 있다. 이것은 JPEG로 압축된 신호가 압축센싱 기법보다 높은 PSNR을 보여주지만, 잡음에 취약함을 알 수 있다. 이것은 JPEG로 인코딩된(압축된) 이미지의 모든 데이터들이 헤더 정보가 잡음으로 인해 유실되면서 JPEG로 압축된 이미지의 많은 블록들의 디코딩이 불가능해진다는 것을 보여주고 있다. 이것은 JPEG로 인코딩된 모든 데이터들이 양자화레벨과 엔트로피 코딩 테이블과 같은 각기 다른 종류의 헤더정보들을 가지고 있기 때문이다.



[Fig. 4] Difference of PSNR between JPEG compression and CS technique

### 5. 결론

본 논문에서는 압축센싱기법을 사용하여 방송 네트워크 시스템에서 멀티미디어 신호 점유 대역폭을 감소시키는 기법을 제안하였다. 압축센싱 기법은 특정 도메인으로 멀티미디어 신호의 sparsity를 증가시켜서 멀티미디어 전송데이터 용량을 실제로 증가시키게 된다. 압축률이 20%에서, 10Gb/s로 샘플링된 256x256 흑백스케일 이미지가 12Gb/s로 증가함을 실험적으로 검증하였다. 이것은 압축센싱 기법이 방송 네트워크 시스템에서 폭발적으로 증가하는 데이터 트래픽을 해결해주는 경제적인 방안으로 판단되어진다.

### References

- [1] Konstantin Pussep, Sebastian Kaune, Osama Abboud, Christian Huff, Ralf Steinmetz, "On energy-awareness for peer-assisted streaming with set-top boxes," 2010 International Conference on Network and Service Management (CNSM), pp. 163-170, 2010.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CNSM.2010.5691312>
- [2] J. Armstrong, "OFDM for optical communications," J Lightwave Technol vol. 27, no. 3, pp. 189-204, 2009.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JLT.2008.2010061>
- [3] W. Shieh, "OFDM for flexible high-speed optical networks," J. Lightwave Technol vol. 29, no.10, pp. 1560-1577, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JLT.2011.2132115>
- [4] D.L. Donoho, "Compressed sensing," IEEE Trans Inf Theory vo. 52, no. 4, pp. 1289-1306, 2006.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TIT.2006.871582>

[5] R.G. Baraniuk, "Compressive sensing [lecture notes]," IEEE Signal Process Mag vol. 24, no. 4, pp. 118-121, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MSP.2007.4286571>

[6] S. Pudlewski, A. Prasanna, and T. Melodia, "Compressed-sensing enabled video streaming for wireless multimedia sensor networks," IEEE Trans Mobile Comput vol. 11, no. 6, pp. 1060-1072, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TMC.2011.175>

[7] M.F. Duarte and Y.C. Eldar, "Structured compressed sensing: From theory to applications," IEEE Trans Signal Process, vol. 59, no. 9, pp. 4053 - 4085, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TSP.2011.2161982>

[8] E.J. Candes and M.B. Wakin, "An introduction to compressive sampling," IEEE Signal Process Mag, vol. 25, no. 2, pp. 21-30, 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MSP.2007.914731>

**한 상 국(Sang-Kook Han)**

[정회원]



- 1986년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
- 1988년 2월 : University of Florida (공학석사)
- 1994년 2월 : University of Florida (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

광소자, 광통신, 광액세스 네트워크

**정 의 석(Eui-Suk Jung)**

[정회원]



- 1992년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학 (공학사)
- 1994년 2월 : 한국항공대학교 전자공학 (공학석사)
- 2005년 8월 : 연세대학교 전기전자공학과 (박사수료)
- 1994년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 모바일미디어융합연구실

<관심분야>

디지털 통신 신호처리, 유무선 방송 액세스 네트워크

**이 용 태(Yong-Tae Lee)**

[정회원]



- 1993년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학 (공학사)
- 1995년 2월 : 한국항공대학교 전자공학 (공학석사)
- 2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
- 1995년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 모바일미디어융합연구실 실장

<관심분야>

디지털 방송 신호처리, RF 신호처리, 디지털 통신시스템