

통신에서의 무선 데이터 방송을 위한 샘플링 기법

이선의*, 박구만**, 김진영*

Sampling Techniques for Wireless Data Broadcast in Communication

Sun Yui Lee*, Gooman Park** and Jin Young Kim*

요 약

본 논문에서는 3D 방송의 기본적인 원리를 설명하고 실감영상 CS 기술을 적용하여 데이터 용량을 줄이는 방식을 제안한다. 샘플링 이론과 CS 기술의 차이점을 설명하고 개념과 동작원리를 설명한다. 압축 센싱의 복원 알고리즘인 SS-CoSaMP(Single-Space Compressive Sampling Matched Pursuit) 와 AMP(Approximate Message Passing)를 소개하고 이를 이용하여 이미지 데이터를 압축 복원하여 비교한다. 계산시간을 비교하여 낮은 복잡도를 갖는 알고리즘을 판단한다.

Key Words : CS(Compressed Sensing), SS-CoSaMP(Single-Space Compressive Sampling Matched Pursuit), AMP(Approximate Message Passing), RIP(Restricted Isometry Property).

ABSTRACT

This paper describes the basic principles of 3D broadcast system and proposes new 3D broadcast technology that reduces the amount of data by applying CS(Compressed Sensing). Differences between Sampling theory and the CS technology concept was described. CS algorithm SS-CoSaMP(Single-Space Compressive Sampling Matched Pursuit) and AMP(Approximate Message Passing) was described. Image data compressed and restored by these algorithm was compared. Calculation time of the algorithm having a low complexity is determined.

I. 서 론

고용량 데이터를 전송하기 위하여 다양한 압축 기술이 연구되어 지고 있다. 그 중에서 압축 센싱 기술은 영상을 획득할 때부터 적은 데이터를 가지고 압축과 복원을 할 수 있기 때문에 데이터 트래픽이 점점 많아지는 현재 통신 환경에서 사용하기 적합하다.

압축 센싱을 사용하기 위해서는 RIP(Restricted Isometry Property)조건을 만족해야 하는데 이를 토대로 다양한 알고리즘이 개발되었다. 본 논문에서는 이 조건을 만족하는 이미지 샘플을 가지고 방송 통신에 적합한 복잡성이 낮은 알고리즘을 판단한다.

최근 3D 방송 기술을 소개하고 CS 기술의 기초적인 개념을 설명하고 신호 복원 알고리즘의 종류인 SS-CoSaMP 과 AMP를 통하여 이미지 파일을 압축 복원하여 복잡도와 계산 시간을 비교한다.

II. 3D 방송 기술

3D 영상 전송 방식은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째로 좌/우 영상을 하나의 스트림으로 구성하는 방식(Frame compatible single stream)인 Side-by-Side와 Top-Bottom이다. Side-by-Side 방식은 좌측 카메라에서 촬영한 영상과 우측 카메라가 촬영한 영상을 동일하게 하나의 프레임에 고정시켜 구성하는 방식이다. 이 방식의 장점은 좌측과 우측의 영상을 가로 해상도를 절반으로 줄여 하나의 영상으로 구성하는 기존 DTV 방송과 호환이 가능하다. 일본의 BS11의 3D 채널, 영국의 위성채널 BSKYB, 우리나라 위성방송 SkyLife의 Sky3D, CJ 헬로비전의 3D 시범서비스, 에서 사용하는 방식이다. 단점으로는 가로해상도 감소로 인한 화질 열화가 동반된다는 점이고 기존 DTV 사용자에게는 두 영상이 동시에 보이는 DTV와의 영호환성 문제가 발생한다. Tom-Bottom 방식은 영상을 위아래로 한 프레임에 고정시켜 제작하는 방

* This work was supported by the ICT R&D program of MSIP/IITP, Republic of Korea. [B0101-15-0042, Volumetric 3D Image and 3D Audio Realization Technology

광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실 *(sunyuil22@naver.com), *(jinyoung@kw.ac.kr), 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 **(gmpark@seoultech.ac.kr)

접수일자 : 2015년 7월 15일, 수정완료일자 : 2015년 8월 21일, 최종 게재 확정일자 : 2015년 9월 10일

식으로 장단점은 Side-by-Side와 같다[3].

두 번째로 두 개의 영상을 두 개의 스트림으로 구성(Full resolution Dual stream)하는 Dual stream과 Tile format 방식이 있다. 좌안/우안용 영상을 하나의 스트림으로 구성하는 경우 수평 또는 수직 해상도의 감소로 인한 화질 열화가 송출 소스에서 발생하는 문제점이 있다. 이를 보완하기 위해서 좌안용 영상과 우안용 영상을 별도로 두 개의 스트림으로 구성하면 해상도의 손실을 막을 수 있다. 또한 기존의 DTV에서는 두 영상 중 하나만 선택하여 표시함으로써 3DTV 방송과 호환성을 유지할 수 있다. 그러나 두 개의 스트림을 전송해야 하므로 전송 대역폭이 두 배로 늘어나야 하는 단점이 있다.

현재 우리나라에서 준비 중인 3DTV 실험방송에서는 기존 DTV와 역호환성을 보장하기 위해 3D 콘텐츠의 구성을 두 개의 스트림으로 구성하는 dual stream 방식을 추진하고 있다. 지상파 3DTV방송은 기존의 디지털 방송의 6MHz, 19.39Mbps 대역폭에서 좌안용 영상은 MPEG-2, 12~16Mbps로 인코딩하고, 우안용 영상은 H.264, 6~2Mbps로 인코딩하는 dual stream 전송 방식을 취한다. 기존 DTV 시청자는 MPEG-2로 인코딩된 좌안용 영상만으로 DTV를 시청하게 되고, 3DTV 수신기를 보유한 사용자는 두 개의 스트림을 디코딩하여 3D 입체영상을 시청하게 된다. 또한 위성과 케이블 방송에서는 좌안/우안 영상 모두를 각각 H.264로 인코딩하여 dual stream으로 전송하게 된다[4].

III. CS 기초 이론

압축 센싱 (Compressed Sensing)은 Sparse signal을 선형관찰 신호로부터 복구하는 기술이다. 기존의 신호처리 기법은 모든 데이터를 Shannon의 이론을 토대로 신호의 최대 주파수보다 두배 이상 샘플링을 하면 신호를 완벽하게 복원할 수 있다는 것에 기초한다. 따라서 많은 샘플이 필요하기 때문에 많은 데이터 저장 공간을 필요로 하게 된다. 하지만 CS 이론은 원신호가 Sparse 특성을 가지고 있다면 기존 샘플링보다 낮게 하여도 신호를 복원할 수 있기 때문에 압축 신호 처리에 매우 효율적이다. 이 CS 기술은 기본적으로 두 가지 기술로 나눌 수 있다.

첫째로 선형측정방법 기술은 수학적으로 나타냈을 때, 길이가 N을 갖는 Sparse 신호 x 벡터에서 M×N 행렬 B를 관찰하는 과정으로 해석할 수 있다.

$$y = B \times x, \tag{1}$$

식 (1)을 보면 B 행렬에 x를 곱한 식을 역으로 계산하는 과정에서 y를 얻을 수 있는데, 신호 복원방식은 이 벡터 y로부터 원신호인 x벡터를 찾는 과정으로 찾을 수 있다. 만약 B

행렬이 M은 N보다 작은 값을 갖지 않으면 압축은 일어나지 않는다. 대부분 M은 N보다 큰 행렬을 사용하기 때문에 원신호의 길이보다 관찰신호의 길이는 줄어들게 되어 압축이 가능하게 되는 것이다. 중요한 점은 B행렬은 이미 정해져 있기 때문에 비교적 단순하게 압축이 수행된다. 또한 신호의 벡터 열에서 0이 아닌 값을 갖는 원소의 수를 Sparsity라고 한다.

두 번째로 신호 복원 방식은 y로부터 원 신호 x벡터를 완벽하게 얻기 위해서는 행렬 B가 RIP(Restricted Isometry Property) 조건을 만족해야 한다.

$$(1 - \delta_k) \|x\|_2^2 \leq \|Bx\|_2^2 \leq (1 + \delta_k) \|x\|_2^2, \tag{2}$$

식 (2)는 RIP 조건으로 δ_k 는 Restricted Isometry 상수이고 k는 실수 차수이다. RIP 조건은 행렬 B가 모든 Sparse Signal x를 모두 균일하게 측정해야한다는 것이다. 측정벡터 x에서 0이 아닌 신호의 위치는 항상 다르므로 동일한 Sparsity를 갖는 모든 x 벡터를 비슷하게 B벡터가 투사할 수 있어야 신호 복원이 될 수 있다는 것이다.

하지만 L0-norm을 최소화하는 해를 구하는 관찰벡터 y와 신호측정에 사용되는 B행렬을 알 때 식 (1)을 만족하는 모든 x벡터 중에 Sparsity가 가장 낮은 것을 찾는 방식은 복잡도가 매우 높아서 사용하기 어려운 단점이 있다.

따라서 새로 제안된 방식은 L1-norm 최소화를 이용하여 선형문제로 접근하는 것이다. 다음 조건을 만족하는 M이 존재하면 원본신호 x벡터를 복원할 수 있다[5].

$$M \geq cK \log\left(\frac{N}{K}\right), \tag{3}$$

식 (3)에서 c는 상수이고 K는 Sparsity를 의미한다. 현재까지 다양한 신호 복원 기술이 제안되었는데 본 논문에서는 SS-CoSaMP(Single-Space Compressive Sampling Matched Pursuit)와 AMP(Approximate Message Passing) 두 가지 신호 복원 알고리즘을 설명하고 이 방식을 통하여 이미지를 압축 센싱 과정을 거쳐 복원하고 이미지의 선명도와 계산시간을 비교한다.

IV. AMP 알고리즘

AMP 알고리즘은 기존의 방식들이 이용한 x 벡터의 추정치 값만을 제공하는 것과 달리 x 벡터에 대한 Posterior Density Function을 제공한다. 그래서 추정된 x 벡터의 각 원소에 대한 신뢰도 또는 에러가 같이 보여진다. 이 에러는 압축센싱에서의 성능 보장을 위해 추가적으로 필요한 측정벡터 길이를 계산하는데 도움이 된다. AMP 알고리즘 방식은 기존의 선형 프로그래밍 문제를 확률적으로 접근한다. 관

찰벡터 y 와 측정행렬이 주어졌을 때, x 를 추정하는 문제를 푸는데 미리 주어진 Sparsity 에 대한 a priori 값을 고려하여 최종적으로 최대 사후 확률 MAP(Maximum a Posteriori) 방식으로 x 벡터를 추정한다. 이때 사용되는 prior 확률밀도 함수는 Laplace 밀도 함수이다.

측정행렬을 설계하고 각 원소의 값을 0, -1, 1로 제한함으로써 비교적 적은 수의 x 벡터의 원소가 더해지거나 빠지는 형태로 측정되는 간단한 측정 과정이 사용된다. 수신 단에서 신호 복원 시 측정행렬을 sparse bipartite graph로 모델링하여 간단한 Belief-Propagation 또는 Message Passing 방식으로 복호하는 방식이 제안되었다[6].

AMP는 Bayesian 압축센싱에서 신호 복원 시 Message-Passing을 이용하는데 이를 iterative 알고리즘에 적용하면서 복잡도를 줄인 것이다.

Message-Passing 알고리즘을 통하여 AMP를 유도할 수 있다. 단계별로 유도한 후 최종적으로 얻게 되는 AMP 알고리즘 식은 다음과 같다.

$$x^{t+1} = \eta(A^T z^t + x^t; \theta_t), \quad (4)$$

식 (7)의 t 는 인덱스, A 는 $M \times N$ 행렬이고 θ_t 는 $\alpha \sqrt{\gamma^t}$ 이다. α 는 soft threshold function으로 대체하면서 생기는 오차를 조정하는 값이고 γ^t 는 변수 노드와 측정 노드 사이에서 각 iteration 마다 갱신되는 값이다.

$$z^t = y - Ax^t + \frac{z^{t-1}}{\delta} \langle \eta'(A^T z^{t-1} + x^{t-1}; \theta_t) \rangle, \quad (5)$$

식 (8)에서 δ 는 M/N 이다. 위 식에서 $\langle \eta'\{x; \theta\} \rangle$ 는 임의의 임계값 θ 보다 크거나 $-\theta$ 보다 작은 x 요소의 비율을 나타낸다.

$$\gamma^{t+1} = \frac{\gamma^t}{\delta} \langle \eta'(A^T z^t + x^{t+1}; \theta_t) \rangle, \quad (6)$$

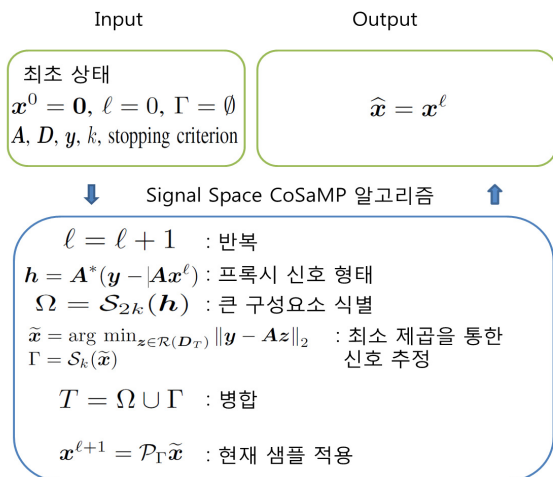


그림 1. Single-Space CoSaMP 알고리즘.

AMP 알고리즘의 장점은 Gaussian 센싱 행렬 $A_{ji} \sim N(0, 1/M)$ 을 사용하여도 신호 복원을 위한 복잡도를 $O(NM \log N)$ 으로 낮춘 것이다[7].

V. SS-CoSaMP 알고리즘

SS-CoSaMP 알고리즘은 기존의 알고리즘의 RIP 조건을 상대적으로 완화시켜 복잡도를 줄인 알고리즘이다[9]. 먼저 $A \in C^{M \times N}$ and $D \in C^{n \times d}$ 주어졌다고 가정하고 $y = Ax + e = AD\alpha + e$ 의 값을 관찰한다. 여기서 index set $A = \{1, 2, \dots, d\}$ 일 때, 매트릭스 D_A 는 $n \times |A|$ 의 서브 매트릭스 D 는 A 의 columns과 일치하고 $R(D_A)$ 를 D_A 의 column span으로 놓는다. 또 $P_A : C^n \rightarrow C^n$ 은 $R(D_A)$ 의 직교 projection 연산자이고 $P_{A^\perp} : C^n \rightarrow C^n$ 은 $R(D_A)^\perp$ 의 직교 complement 연산자이다.

CoSaMP 알고리즘의 중요한 과정은 sparse signals의 후보인 Signal space에 벡터 프로젝션을 하는 것이다. Singal Space CoSaMP 알고리즘은 그림 1에 자세히 설명한다. 자세하게, 주어진 벡터 $z \in C^n$ 과 sparsity level k 일 때 다음과 같이 정의된다.

$$A_k(z) := \arg \min_{A: |A|=k} \|z - P_A z\|_2 \quad (7)$$

$A_k(z)$ 를 완벽하게 얻을 수 있다면 이것으로 k 에 대한 가장 좋은 k -sparse 근사를 할 수 있다.

압축센싱에서 신호 복원 시 SS-CoSaMP을 이용하는데 이는 RIP 조건을 기존의 알고리즘 보다 완화시켜 복잡도를 줄인 방식이다.

VI. 이미지 복원 실험

SS-CoSaMP와 AMP 알고리즘을 이용하여 이미지 데이터를 압축하고 복원하는 실험을 하였다. 다음 그림 3을 이용하여 데이터를 행렬로 나타내고 각각 SS-CoSaMP 알고리즘과 AMP 알고리즘을 통하여 압축 후에 다시 이미지로 복원했을 때의 그림을 비교해 본다.

그림 2는 실험에 사용한 128*128 픽셀의 카메라맨 흑백 사진이다. 그림 3,4는 각각 AMP 알고리즘과 SS-CoSaMP 알고리즘을 이용하여 이미지를 압축하여 다시 복원한 그림이다. 두 알고리즘을 이용하여 복원한 그림이 원본 이미지와 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다. 이미지 복원률은 두 알고리즘이 큰 차이를 보이지 않는다.



그림 2. 원본 이미지.



그림 3. AMP를 통한 복원 후 이미지.



그림 4. SS CoSaMP를 통한 복원 후 이미지.

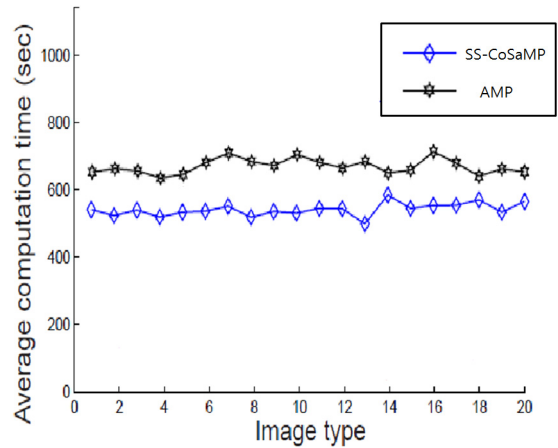


그림 5. 이미지 샘플에 따른 계산시간 비교.

그림 5에서 20가지 타입의 128*128 픽셀의 이미지를 통하여 계산 시간을 비교한 그래프이다. 실험에 사용한 컴퓨터는 동일했고 모두 흑백 사진을 사용하였다. SS-CoSaMP 알고리즘이 AMP 보다 계산 시간이 낮을 것을 알 수 있어 3D 방송에 더 적합하다는 것을 알 수 있다.

VII. 결론

무선 데이터 전송을 위하여 기존의 샘플링 기법과 다른 압축 센싱 기법을 통하여 이미지를 압축 복원해 보았다. 실험 결과로써 알고리즘에 따라 원본 이미지와 거의 동일하게 복원이 된 것을 확인하였다. 3D 방송에 응용하기 위해서는 용량도 중요하지만 시스템이 들어가기 위해서 낮은 복잡도를 가지는 것이 중요하기 때문에 두 알고리즘의 계산 시간을 다양한 이미지를 통하여 비교하였다. 동일하게 iteration 방법을 사용하지만 후에 나온 SS-CoSaMP 알고리즘이 AMP 알고리즘보다 계산시간이 적어 3D 방송에 더 적합한 것을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] D. L. Donoho, "Compressed sensing," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 52, no. 4, pp. 1289-1306, Apr. 2006.
- [2] D. L. Donoho and J. Tanner, "Precise undersampling theorems," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 98, no. 6, pp. 913-924, June 2010.
- [3] 윤국진, 김찬, 이봉호, 유용식, 정원식, "지상파 및 케이블 3DTV 방송서비스 표준화 현황," *전자통신동향분석논문지*, 제 26권 3호, pp. 105-110, June 2011.
- [4] 이승욱, "3D 그래픽스 압축 기술 및 표준화 동향," *한국정보통신기술협회논문지*, 제 144권, pp. 45-49, Nov. 2012.
- [5] Zhu Han, Husheng Li and Wotao Yin, *Compressive sensing for wireless networks*, Cambridge, 2013.
- [6] D. Needell and J. A. Tropp, "CoSaMP: Iterative signal

recovery from incomplete and inaccurate samples," *Appl. Comput. Harmon. Anal.*, vol. 26, no. 3, pp. 301 - 321, 2009.

[7] J. Ma, G. Plonka and M. Y. Hussaini, "Compressive video sampling with approximate message passing decoding," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 9, Sept. 2012.

저자

이 선 의(Sun Yui Lee)



- 2013년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
- 2013년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신, 양자통신

박 구 만(Gooman Park)

정회원



- 1984년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 공학사
- 1986년 2월 : 연세대학교대학원 전자공학과 석사
- 1991년 2월 : 연세대학교대학원 전자공학과 박사

- 1991년 3월 ~ 1996년 9월 : 삼성전자 신호처리연구소 선임연구원
- 1999년 8월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 교수
- 2006년 1월 ~ 2007년 8월 : Georgia Institute of Technology Dept.of ECE, 방문교수

<관심분야> : 멀티미디어 통신, 디지털방송, 영상신호처리.

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신.