무선 센서 네트워크에서 압축 센싱 기술의 활용과 상관 신호를 이용하는 복구 시스템의 성능 분석

최재건, 박상준, 이흥노*
광주과학기술원 정보기전공학부

{jgchoi, sjpark1, heungno}@gist.ac.kr

Compressive Sensing and its Applications in Wireless Sensor Network & Recovery Performance Analysis of Correlated Signals

Jae-Gun Choi, Heung-No Lee*
School of information and Mechatronics
Gwangju Institute of Science and Technology

요 약

본 논문은 기존의 Shannon-Nyquist sampling 이론에 근거한 Wireless Sensor Network(WSN) 시스템과 비교하여 Compressive Sensing(CS) 기술을 WSN 에 적용 하였을 시 얻을 수 있는 장점들(복잡한 신호처리 과정의 생략, 분산 압축의 가능성)에 대해 논의하였다. WSN 에서 관측된 신호들에 존재하는 상관성 정보를 이용해 전송된 신호를 복구 했을 경우 얻을 수 있는 장점을 시뮬레이션을 통해 보였다. 분석 결과, 신호들간의 상관 정보를 이용해 복구 했을 때의 성능이 이용하지 않는 경우와 성능보다 월등 한 것을 알아냈다.

Ⅰ. 서론

기존의 통신 시스템에서는 Shannon-Nyquist sampling 이론에 근거한 Analog-to-Digital Converter(ADC) 를 이용하여 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환을 한다. ADC 를 이용하여 샘플링 된 디지털 신호들은 상당한 중복성(Redundancy)을 가지는데, 이러한 중복성은 전송 용량을 줄이기 위해 압축을 필요로 한다. 이 과정에서 모든 샘플링 된 신호들은 데이터 압축을 위해 하나의 협력 공간에 저장 되어야 한다. 이러한 과정은 통신을 하는데 있어서 지연을 유발하는 원인이 된다.

Donoho 는 관측 신호가 희소 하다는 가정하에, 복잡한 신호처리 과정을 간단한 행렬 연산을 통해 압축 신호를 얻는 Compressive Sensing(CS)이론을 제안 하였다[1]. 이 CS 이론은 다음 그림(**Figure 1.**)과 같이 중간신호처리 과정을 생략하여 압축 데이터를 얻어 전송하고, 전송된 적은 수의 압축 데이터로부터 원래의 신호를 복구할 수 있다는 것을 증명한다. 이러한 CS 의 데이터의 압축과 간단한 신호처리 과정은 제한된 전력을 이용하여 신호처리를 하는 센서(Sensor)로 구성된 Wireless Sensor Network(WSN) 에 적용하기 적합하다.

본 논문에서는, CS 기법을 WSN 에 적용을 했을 시에, 얻을 수 있는 긍정적인 효과들과 압축과정에서 센서간의 통신을 하지 않는 분산압축(Distributed compression)의 가능성을 논의 하였다. 마지막으로 센서간 관측 신호들에 존재하는 상관성(Correlation)을 이용하여 전송된 신호를 복구할 때와 이용하지 않고 복구 할 때의 성능을 실험을 통해 비교하였다.

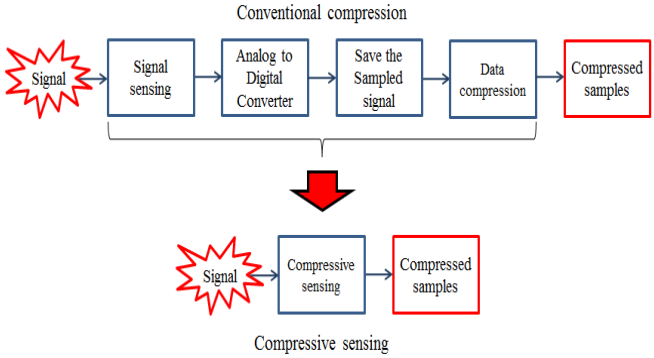

Figure 1. Conventional compression and Compressive sensing

Ⅱ. 본론

A. 무선 센서 네트워크 & 센서간 상관 신호

전형적인 WSN 은 관측을 위한 다수의 무선 센서들과 한 개 이상의 Fusion Center(FC)로 구성된다. 다수의 센서는 관측하고자 하는 지역에 분산되어 배치되고, 특정한 환경의 변화들을 관측하여 무선 채널을 통해 그 정보를 FC 로 전송한다. 이러한 센서가 분산된 지역에 발생한 이벤트는 하나 또는 그 이상의 관련된 센서를 통해 동시에 관측된다. 따라서 센서들이 취득한 신호들은 서로 상관성을 가지게 된다 [2][3]. FC 는 이러한 상관성을 가지는 신호들을 다수의 센서들로부터 전송 받게 되고, 이러한 전송된 신호를 기존 신호로 복원하여 관측 지역에 발생한 전반적인 정보를 통합하여 제공한다.

B. 시스템 구조

기존의 센서 시스템은, 각 센서에서 관측 된 신호들 사이에 존재하는 상관성(Inter-sensor correlation)을 이용한 압축을 수행하기 위해 센서간 통신을 필요로 한다(**Figure 2.**). 센서간 통신을 통해 샘플을 모으기 위한 과정은 FC 로 데이터 전송을 하는데 있어 지연을 유발하고, 센서의 한정된 자원인 전력을 소비한다.

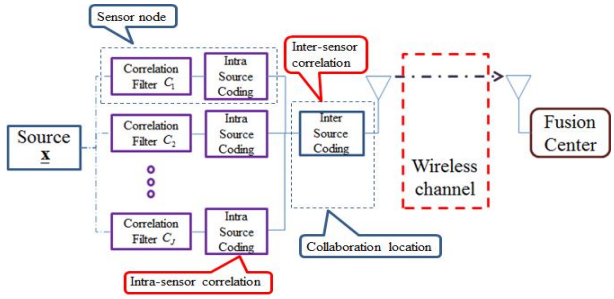

Figure 2. Conventional sensor network scheme

이와 달리 CS 기법을 적용하는 경우에는, 압축신호 y_j 는 다음의 식(1)을 통해 손쉽게 얻어진다. 센서에서 생성된 압축 신호는 FC 로 전송된다(**Figure 3.**).

$$y_j = A_j x_j,\ \left(j \in \{1,2,...,J\},\ \text{sensor index}\right) \qquad (1)$$

FC 는 센서에서 전송된 모든 압축신호를 수신한 후, 복구 알고리즘을 통해 모든 관측 신호를 알아낸다. 이 과정에서 WSN 에서 발생하는 신호들의 상관성 정보는 오직 FC 에서 수신된 신호를 복원을 하는데 이용이 되기 때문에 이는 기존의 WSN 과 같이 센서간의 통신을 요구하지 않는다. 오직 센서와 FC 와의 통신이 직접 이루어지므로 분산 압축(Distributed compression)의 가능성을 제공한다.

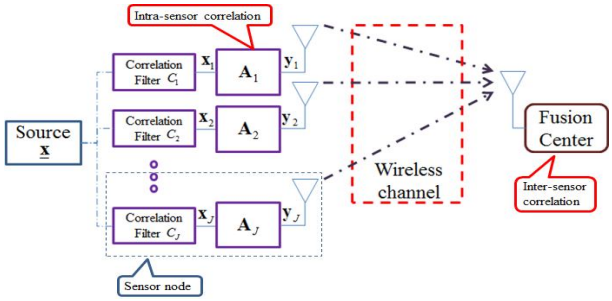

Figure 3. CS sensor network scheme

C. 실험

본 논문에서는 각 센서에서 관측된 신호들 사이에 상관성이 존재한다고 가정하고, 각각의 센서에서 관측된 희소 신호를 아래와 같이 생성하였다.

$$I(x) = \{k \mid x_k \neq 0,\ k = \{1,2,...,N\}\},\ |I(x)| = K \qquad (2)$$

그리고 모든 센서에서 관측된 신호는, 영이 아닌 값을 가지는 위치(Support set)가 같다. 이렇게 생성된 센서간에 상관성이 큰 신호를 압축하여 전송을 하였다. 이 전송된 신호 y_j 에 대해, Simultaneous Orthogonal Matching Pursuit (S-OMP) 알고리즘을 이용한 협력 복구(Joint decoding)를 하였고, M 과 K 의 변화에 따라 복구 확률을 확인하는 실험을 하였다. 그리고 동일한 신호에 대해서 협력 복구를 하지 않는 경우와 비교하기 위해 OMP 알고리즘을 이용해 각각의 전송된 신호를 독립적으로 복구하여(Separate decoding), 그 차이를 실험을 통해 보였다[4].

D. 실험 결과

다음의 그림(**Figure 4.**)은 각각의 센서에 CS 이론을 적용해 전송한 압축신호를 위에서 언급한 알고리즘을 통해 복구한 결과이다. 신호간의 상관성 정보를 이용하여 복구하였을 경우(실선)의 성능이 상관성 정보를 이용하지 않는 경우(점선)보다 우수한 것을 알 수 있다. 즉, 복구 과정에서 상관성 정보를 이용하면 적은 압축 샘플의 개수로도 동일한 성능을 보여준다. 또한 영이 아닌 신호의 개수가 증가함에 따라 그 성능의 차이는 더욱 명확해 짐을 볼 수 있다.

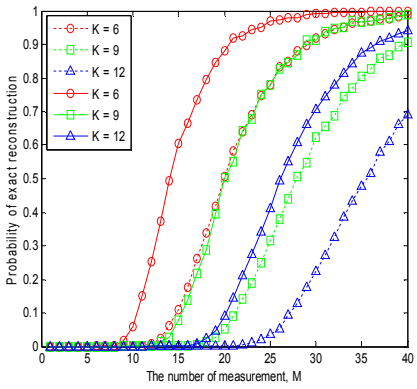

Figure 4. Joint (Solid line), Separate (Dotted line) decoding

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 WSN 에 CS 를 적용하였을 경우에 얻을 수 있는 장점들에 대해 논의하였다. WSN 구조의 특성상, 동일 이벤트를 관측함으로써 발생하는 신호의 상관성을 이용해 협력 복구를 했을 경우에 그렇지 않은 경우에 비해 동일한 복구 성능을 얻기 위해 더 적은 압축 샘플을 필요로 한다는 것을 시뮬레이션을 통해서 확인하였다. 이러한 점에서, 보다 효율적으로 상관성 정보를 이용하는 알고리즘의 개발은 이러한 WSN 시스템의 성능 향상에 기여하므로 향후 이에 대한 알고리즘 개발에 대해 연구 할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행 된 연구임. (중견연구자-도약연구사업, No.2012-0005656)

참 고 문 헌

[1] D. L. Donoho, " Compressed sensing," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 52, no. 4, pp. 1289-1306, Apr. 2006

[2] A. Y. Yang, M. Gastpar, R. Bajcsy, and S. S. Sastry, "Distributed sensor perception via sparse representation," to appear in Proc. IEEE.

[3] M. F. Duarte, S. Sarvotham, D. Baron, M. B. Wakin, and R. G. Baraniuk, " Distributed compressed sensing of jointly sparse signals," Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers, pp. 1537-1541, 2005.

[4] J. A. Tropp and A. C. Gilbert, " Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit," IEEE Trans. Inform. Theor., vol. 53, no. 12, pp. 4655-4666, Dec. 2007.