무선 센서 네트워크에서 압축을 이용한 네트워크 트래픽 감소 기법 구현

권영완°, 김동국, 이좌형, 김윤, 정인범
강원대학교 컴퓨터정보통신공전공
{ywkwon°, dkkim, jhlee, yooni, ibjung}@snslab.kangwon.ac.kr

Implementation of the Network Traffic Reduction Method using Compression in Wireless Sensor Networks

Young-Wan Kwon°, Dong-Kook Kim, Joa-Hyoung Lee, Yoon Kim, In-Bum Jung
Dept. of Computer, Information and Telecommunication Engineering,
Kangwon National University

요 약

무선 센서 네트워크는 소형의 무선 센서노드들로 구성된 네트워크이다. 무선으로 구성된 센서 네트워크는 사물과 환경의 변화를 감지하여 싱크로 전송하게 된다. 무선 센서 네트워크에서 센서노드는 무선으로 데이터를 전송할 때 가장 많은 에너지를 소모한다. 한정된 에너지 자원을 효율적으로 사용하기 위해서는 데이터 전송에 이용하는 라디오모듈의 사용을 최소화하여 네트워크 전체의 데이터 전송량을 감소시켜야 한다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 에너지 소모를 줄이기 위해 DPCM, 웨이블릿, 양자화, 가변 길이 부호화를 사용하여 전송되는 데이터의 양을 줄여 라디오모듈을 통한 데이터 전송 횟수를 줄였고, 결과적으로 센서 네트워크의 트래픽을 감소시켜 에너지 소모를 줄였다.

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 사물과 환경의 변화를 실시간 감지 또는 추적하기 위하여 소형의 센서노드를 무선 네트워크로 연결하여 구성한 네트워크이다. 이는 유비쿼터스 컴퓨팅을 실현하는데 핵심적인 기능이다. 유비쿼터스 컴퓨팅에서 이동성이 중요시됨에 따라 무선기기들과 무선 통신방식이 중요시되고 있다. 따라서 무선 센서 네트워크에서의 효율적인 통신방식에 관한 연구가 진행 중이다.

무선 센서 네트워크는 많은 수의 센서노드가 광범위한 지역에 배포되며, 주변의 환경정보를 수집하고, 무선 통신을 통해 싱크로 전달한다. 싱크노드는 센서노드들로부터 수신된 데이터를 수집·저장한다. 무선 센서 네트워크에서 사용하는 센서노드는 센서노드간 통신 방식과 소형화에 따른 낮은 처리율의 MCU, 한정된 배터리, 적은 저장능력 등 한정된 자원을 가진다. 이와 같은 무선 센서네트워크가 다양한 응용 분야에 실제 적용되기 위해서는 에너지 소모를 최소화 하여 네트워크의 생명주기를 늘려야 한다. 그러기 위해서는 가장 큰 에너지를 소모하는 라디오모듈의 사용을 최소화해야 한다.

Network traffic Reduction Method using Compression (NRMC) 시스템은 센서노드들이 센싱한 데이터를 일정시간 수집 후 압축하여 전송한다. 압축은 DPCM, 웨이블릿, 양자화, 가변 길이 부호화의 순서로 진행된다. 센싱 데이터를 압축함으로써 패킷을 차지하는 데이터양을 줄이고, 이를 통해 데이터 전송 횟수를 줄여 센서 노드의 에너지 소모를 줄인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 센서 네트워크에서 데이터의 크기를 줄이기 위한 데이터 압축 기법을 설명한다. 그리고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 NRMC 기법을 기술하고, 4장에서는 구현 내용에 대해 알아본다. 5장에서는 NRMC의 각 레벨에 따른 압축 효율을 비교하고, 6장에서는 결론을 맺고 향후연구 과제에 대해 알아본다.

2. 관련연구

무선 센서 네트워크에서 에너지 소모를 줄이기 위해 데이터 병합, 압축 등의 기법들이 연구되고 있다. 데이터 병합 기법은 무선 센서 네트워크 내에서 중복되는 데이터를 제거하여 데이터 전송량을 줄임으로써 에너지 소모를 줄인다. 데이터 압축 기법은 데이터 압축을 위해 사용되는 에너지 소모량 보다 데이터 전송을 위해 사용되는 에너지 소모량이 더 크다는 점에 초점을 맞추어 연구되고 있다[1].

무선 센서 네트워크에서 데이터양을 줄이기 위해 사용할 수 있는 압축 기법으로 Coding by Ordering, Pipelined In-Network Compression, Distributed Compression 등이 있다.

2.1 Coding by Ordering

Coding by Ordering[2]은 동일지역에서 감지된 센싱 데이터는 중복되는 경우가 많은 점에 착안하여 고안되었다. 이 기법은 센서노드들의 데이터 병합을 통해 전체적인 데이터의 크기를 줄여나가는 방식이다. 다음과 같은 과정을 거치면서 네트워크의 트래픽을 감소시킨다.

- 관심 지역의 센서노드들을 데이터 병합 노드와 단말 노드로 구분
- 관심 지역의 단말노드는 센싱한 데이터를 데이터 병합 노드로 전송
- 데이터 병합 노드는 자식 노드들로부터 받은 데이터를 병합하여 부모 노드로 전송

2.2 Pipelined In-Network Compression (PINCO)

PINCO[3]는 데이터 전송에 사용되는 에너지 소모를 최소화하기 위해 데이터 전송 지연시간을 길게 하여 데이터를 교환한다. 센서노드가 감지한 데이터는 데이터 병합을 위해 센서노드의 버퍼에 잠시 저장된다. 센서노드의 버퍼에 데이터가 저장되어 있는 동안 데이터는 하나의 패킷 안에 적재되고, 패킷 내의 데이터 중복을 최소화하여 데이터 전송 횟수를 최소화한다.

2.3 Low-Complexity Video Compression

현재 비디오 인코딩 기술은 모션 예측과 보상 기법을 활용하여 설계되기 때문에 많은 계산 능력이 요구되어, 무선 센서 네트워크에서 사용되기에는 적합하지 않다. 따라서 Low-Complexity Video Compression [4]은 JPEG 데이터 압축 기법에 기반을 두어 계산의 복잡도를 줄였다. 이 알고리즘은 무선 비디오 감시 시스템을 위해

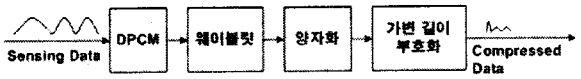

그림 1. NRMC의 압축.

설계 되었다.

이 방식은 계산의 복잡도를 줄이기 위해 각 비디오 프레임을 8 × 8 pixels의 작은 블록으로 분할하여 분할된 블록들은 블록 위치의 중요도에 따라 단계적으로 선택되고, 선택된 블록들은 JPEG 압축 알고리즘으로 압축하여 전송한다.

3. NRMC (Network traffic Reduction Method using Compression)

무선 센서 네트워크는 많은 수의 센서노드가 광범위한 지역에 배포되어 많은 양의 데이터를 수집한다. NRMC는 많은 양의 데이터를 압축을 통하여 데이터 전송량을 줄여 에너지 소모를 줄인다.

NRMC는 그림 1과 같이 센서노드가 수집한 데이터를 DPCM, 웨이블릿, 양자화, 가변 길이 부호화의 순서로 압축을 수행한다. 압축된 데이터는 싱크로 전송하고, 싱크에서는 수신한 데이터를 복호화하여 저장된다. 무선 센서 네트워크에서 수집하는 환경 데이터는 급격한 변화를 일으키는 경우가 적으므로, 압축들을 통해 NRMC로부터 높은 압축률을 얻을 수 있다. 각 압축 기법의 적용은 다음과 같다.

3.1 DPCM (Differential Pulse Coded Modulation)

DPCM[5]은 영상 신호나 음성 신호의 데이터 압축 방법의 하나이다. 이미 전송된 신호로부터 앞으로 전송될 신호치를 예측하고, 예측치와 실제치의 차를 부호화

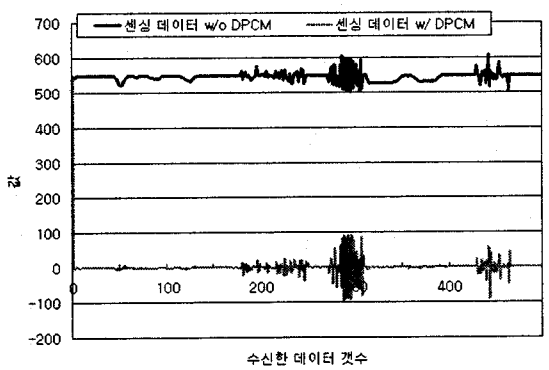

그림 2. DPCM의 적용과 미적용 결과.

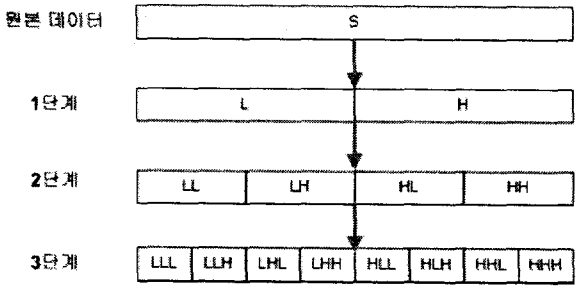

그림 3. 3단계의 웨이블릿 동작 과정.

하여 전송하는 방식으로 동작한다.

NRMC에서는 알고리즘의 복잡도를 줄이기 위해 이전 센싱값과 현재 센싱값의 차를 부호화 하였다. 그림 2는 센서노드에서 센싱한 데이터를 DPCM한 결과이다. 센서 네트워크로부터 수집되는 환경 데이터는 갑자기 큰 변화를 일으키는 경우가 적으며, 대부분 유사한 값을 가지므로 DPCM을 사용하여 큰 압축 효율을 얻을 수 있다.

3.2 웨이블릿

웨이블릿[6] 변환은 신호의 성질을 주파수와 시간의 양 측면에서 분석하여 부호화나 압축 등의 조작을 쉽게 할 수 있는 형태로 변환하는 기법의 하나이다. 이는 높은 압축률을 얻고 확장 가능한 전송을 지원하기 위하여 사용된다. 그림 3은 1차원 데이터에 대해 웨이블릿이 어떻게 동작하는지 보여준다. 입력 데이터는 1단계에서 고주파와 저주파의 두 가지 성분으로 나눠지며, 각 단계가 진행될수록 $2^L(L$=레벨)개의 성분으로 나눠지게 된다.

웨이블릿은 양자화를 위한 전처리 과정으로 고주파와 저주파의 영역으로 분할하기 위해 NRMC에 적용한다.

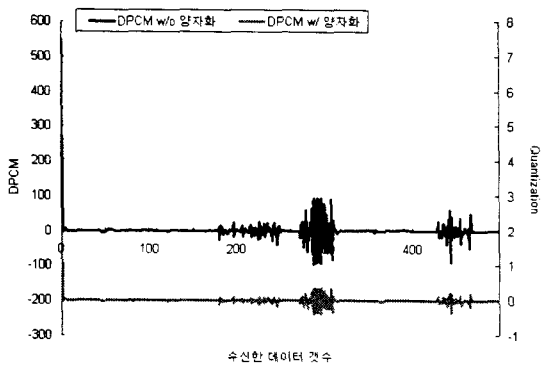

그림 4. 양자화의 적용과 미적용 결과.

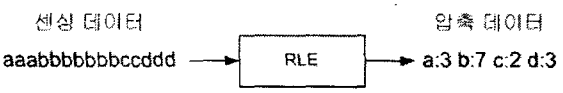

그림 5. 가변 길이 부호화 동작 과정.

3.3 양자화

양자화[7]는 손실 압축의 하나로, 웨이블릿 변환으로 얻어진 계수를 어떤 값으로 나누어 작은 값의 계수로 표현함으로써 부호화량을 줄이는 처리를 말한다.

웨이블릿을 통해 변환된 데이터는 양자화 과정을 통해 고주파 부분의 데이터에 손실을 얻는다. 하지만 손실을 통해 큰 압축효율을 기대 할 수 있고, 정확한 데이터가 꼭 필요한 경우가 아니라면 유사한 값을 얻을 수 있다. 이로 인해 트래픽이 많은 네트워크에서는 그림 4와 같이 많은 이득을 얻을 수 있다. 그림 4는 DPCM된 데이터를 양자화한 결과로 대부분의 데이터는 0에 수렴된 값을 가지게 된다.

3.4 가변 길이 부호화(Run Length Encoding, RLE)

가변 길이 부호화는 그림 5와 같이 동일 데이터가 연속되는 경우에 큰 압축효과를 낸다. 가변 길이 부호화는 데이터의 값과 연속되어 있는 길이만으로 정보를 표현하여 정보량을 줄인다.

센싱 데이터는 유사한 값이 연속되는 경우가 많아 가변 길이 부호화를 사용하기에 적합하다. DPCM, 웨이블릿, 양자화의 압축 과정을 거친 압축 데이터는 0이 연속되는 경우가 대부분이므로 가변 길이 부호화의 성능이 더욱 극대화 된다.

4. 구현

4.1 NRMC 구조

NRMC는 컴포넌트를 기반으로 동작하는 TinyOS[8]를 통해 구현하였다. NRMC는 주기적인 동작을 위한 Timer, 가속도를 감지하기 위한 AccelADC, 압축을 위한 DPCM, Wavelet, Quantizer, RLE 컴포넌트들로 구성된다.

4.2 NRMC 동작과정

센서노드에서 동작하는 NRMC는 그림 6과 같이 StdControl.start()로부터 타이머가 시작된다. 타이머는 일정 시간 간격으로 Timer.fired() 이벤트를 발생시키며, 이벤트가 발생되면 데이터가 센싱되고, 압축과정을 거쳐 전송이 이루어진다.

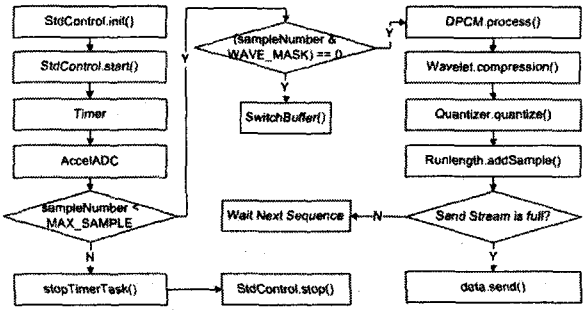

그림 6. NRMC 동작 순서도.

Timer.fired() 이벤트는 주기적으로 발생되며, 타이머 이벤트가 발생할 때마다 AccelADC.getData()가 호출된다. AccelADC.dataReady() 이벤트가 발생하면 getSample()이 호출되어 샘플링 된 데이터가 MAX_SAMPLE 만큼 샘플링 되었는지 확인한다. 데이터가 MAX_SAMPLE 만큼 샘플링 되었으면 타이머를 정지 시키고 모든 작업을 종료한다. 데이터가 MAX_SAMPLE 만큼 샘플링 되지 않았다면, 압축이 가능한 데이터 크기인지 확인한다.

데이터가 압축이 가능한 크기이면, SwitchBuffer()를 통해 센싱값을 저장하기 위한 버퍼를 교환하고, DPCM.process()를 시작함으로써 데이터 압축을 시작하게 된다. DPCM.process()를 통해 DPCM된 데이터는 wavelet.compression()을 통해 웨이블릿 변환을 거쳐 Quantizer.quantize()와 Runlength.addSample()를 통해 양자화와 가변 길이 부호화를 마친다.

일련의 압축과정이 끝나면 패킷의 페이로드 크기만큼의 데이터를 모아서 전송한다.

5. 실험 결과 및 분석

5.1 실험개요

통신 모트로 MICAz을 사용하였으며, MTS310CA 센서 보드의 가속도 센서를 이용하였다. MICAz와 MTS310CA의 사양은 표 1과 같다.

표 1. 센서노드의 사양.

MICAz	MCU	ATMega 128L 8Mhz
	라디오	Chipcon CC2420 IEEE 802.15.4 지원 최대 전송률: 250Kbps
MTS310CA	부착 센서	가속도, 빛, 온도, 자기장, 스피커, 마이크

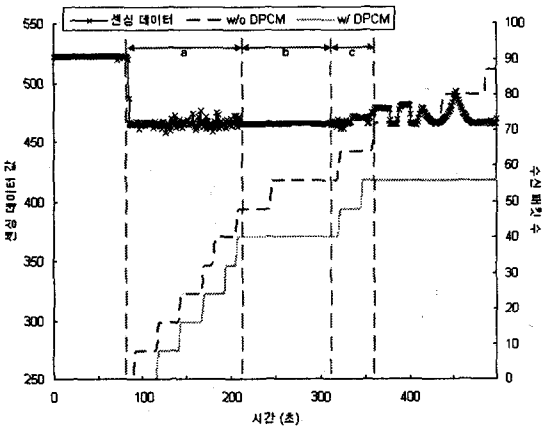

그림 7. DPCM 비교.

표 2. DPCM 비교.

	전송 패킷 수	압축률(%)
w/o DPCM	87	86.08
w/ DPCM	56	91.04

모든 센서노드는 동일한 환경에서 실험하였으며, 센서노드에 진동은 임의로 발생시키고, 모든 센서노드는 동일한 진동을 받을 수 있는 고정 위치에 부착하여 실험했다. 각 센서노드의 샘플링 주기는 100ms이다.

각 압축 기법의 조합에 따른 효율에 대한 결과를 얻기 위해 DPCM과 양자화를 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때 압축효율에 대한 실험을 했다. 웨이블릿은 양자화를 사용할 때만 적용했고, 가변 길이 부호화는 모든 실험에 적용했다.

실험은 두 가지로 나누어 실시하였는데, 첫 번째 실험은 DPCM을 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때 압축효율을 측정했다. 두 번째 실험에서는 양자화 값을 4, 8bits로 변경하며 압축효율을 측정했다. 양자화 값이 8bits일 때는 DPCM을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 압축 효율을 측정하였고, 양자화 값이 4bits일 때는 DPCM을 사용하지 않았다.

5.2 측정결과

그림 7은 첫 번째 실험의 전송된 데이터 패킷의 수를 나타낸다. 센싱 데이터의 변화가 큰 a, c 구간에서는 전송되는 패킷의 양이 동일하게 증가하지만, 센싱 데이터의 값이 일정한 b 구간에서는 전송되는 패킷의 수가 DPCM을 사용하지 않을 때보다 상대적으로 적다.

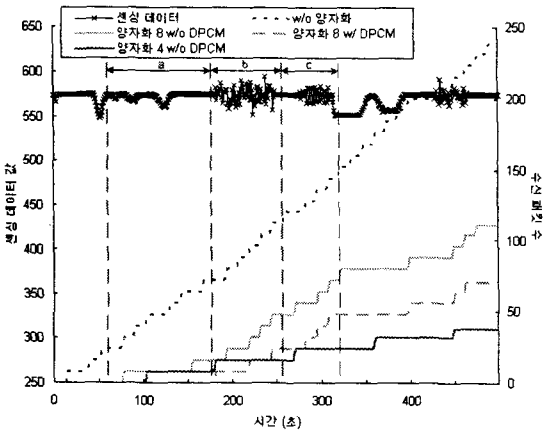

그림 8. 양자화 비교.

표 3. 양자화 비교.

	전송 패킷 수	압축률(%)	획득에너지 (mJ)
w/o 양자화	238	61.92	521.36
양자화 8 w/o DPCM	111	82.24	692.45
양자화 8 w/ DPCM	71	88.64	746.34
양자화 4	38	93.92	790.80

DPCM을 사용하였을 때 압축 효율은 표 2에서 보여주는 바와 같이 약 91.04%정도이다. 압축률은 압축을 하지 않은 경우의 수신 패킷 갯수와 압축을 사용했을 경우의 수신 데이터 패킷 갯수의 비율로 나타내었다.

표 3과 그림 8은 두 번째 실험의 결과를 보여준다. 그림 8의 구간 b, c는 센싱 데이터의 변화가 많은 경우이고, a 구간은 센싱 데이터의 변화가 거의 없는 구간이다. a 구간의 데이터 전송의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이를 통해 감지 데이터의 변화에 따른 압축의 흐름을 확인 할 수 있다.

압축률은 표 3에서와 같이 양자화 값이 4bits일 때 약 93.92%로 가장 좋게 나왔고, 양자화 값이 8bits이고 DPCM을 사용하지 않고 압축하였을 때는 약 82.24%로 가장 낮은 압축률을 보여줬다. 이 결과로 양자화 값이 낮을수록 압축 효율이 좋으며, 같은 레벨이라도 DPCM을 한 경우 더 좋은 효율을 내는 것을 확인 할 수 있다.

$$E_{acq} = (N_{rb} \times E_{tx}) - E_{comp} \quad (1)$$

$$N_{rb} = N_{rp} \times S_{packet} \quad (2)$$

각 압축 방법에 대한 획득 에너지 E_{acq}는 식 (1)을 이용하여 구했다. 식 (1)의 N_{rb}는 압축을 통해 감소된 비트 수 이고, E_{tx}는 무선으로 데이터를 전송하기 위해 사용되는 비트당 소모 에너지로 MICAz에서는 약 4317.89 nJ/bit가 소모된다[10]. E_{comp}는 MCU에서 압축으로 인한 전체 소모 에너지로 데이터를 전송하기 위해 사용하는 에너지 보다 상대적으로 작기 때문에 획득에너지를 계산할 때 무시하였다. 식 (2)는 압축을 통해 감소된 비트 수를 구하는 식으로, N_{rp}는 압축을 통해 감소된 패킷 수이다. MICAz에서 압축을 통해 감소된 전체 비트에 대한 획득에너지를 구하기 위해, MICAz의 패킷 크기인 S_{packet} 비트를 N_{rp}에 곱하여 N_{rb}를 구한다.

MICAz에서 압축 기법을 사용하지 않았을 때는 데이터를 전송하기 위해 약 846.03 mJ의 에너지를 소모하지만, NRMC를 통해 최대로 압축한 경우 표 3에서와 같이 약 51.17 mJ의 에너지를 소모하였다. 이 결과로부터 NRMC를 사용하면 동일 데이터를 전송하기 위해 최대 약 790.80 mJ의 에너지를 획득 할 수 있다.

6. 결론 및 향후 계획

무선 센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅을 실현하는데 핵심적인 기술이다. 유비쿼터스 컴퓨팅에서 이동성이 중요시됨에 따라 광범위한 지역에 많은 수의 센서노드가 배포되어 환경을 감지하고, 사물을 추적·감시한다. 따라서 무선 센서 네트워크는 많은 양의 데이터를 수집하여 싱크노드로 전송을 하게 되는데, 이로 인한 에너지 소모는 무선 센서 네트워크의 생명주기에 많은 영향을 미친다. 본 논문은 센서노드에서 데이터 전송에 사용되는 에너지 소모가 가장 큰 점을 보완하기 위한 연구를 진행하였다.

본 논문은 DPCM, 웨이블릿, 양자화, 가변 길이 부호화를 이용하여 네트워크 트래픽을 감소시키기 위한 기법을 연구하였다. 압축을 통해 데이터의 크기를 줄임으로써 데이터를 전송하기 위한 에너지 소모를 최소화하였다.

본 논문에서 제안한 NRMC는 기존 시스템 대비 최대 약 93.93%의 에너지를 절약 하였다. 압축을 통해 네트워크 트래픽을 최소화함으로써 센서노드당 에너지 소모량을 줄였고, 네트워크의 생명주기도 늘어났다.

향후에는 NRMC를 이용하여 네트워크 트래픽에 따른 압축단계를 조절하는 네트워크 플로우 컨트롤 프로토콜을 연구하고자 한다.

참고문헌

[1] Naoto Kimura, and Shahram Latifi, "A Survey on Data Compression in Wireless Sensor Networks," In Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing, April 2005.

[2] D. Petrovic, R. C. Shah, K. Ramchandran, and J. Rabaey, "Data Funneling: Routing with Aggregation and Compression for Wireless Sensor Networks," In Proceedings of First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications, May 2003.

[3] T. Arici, B. Gedik, Y. Altunbasak, and L. Liu, "PINCO: a Pipelined In-Network Compression Scheme for Data Collection in Wireless Sensor Networks," In Proceedings of 12th International Conference on Computer Communications and networks, October 2003.

[4] E. Magli, M. Mancin, and L Merello, "Low-Complexity Video Compression for Wireless Sensor Networks," In Proceedings of 2003 International Conference on Multimedia and Expo, July 2003.

[5] Mansour A. Aldajani, and Ali H. Sayed, "Adaptive Differential Pulse-Soded Modulation with Exponential Tracking," In Proceedings of International Conference on Image and Signal Processing and Analysis, September 2003.

[6] wavelet.org, http://www.wavelet.org/

[7] P. F. Panter and W. Dite, "Quantization distortion in pulse-count modulation with nonuniform spacing of levels," Proc. I.R.E., vol. 39, pp.44-48, 1951

[8] TinyOS, http://www.tinyos.net

[9] Crossbow Technology, http://www.xbow.com

[10] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, K. Pister, "System architecture directions for network sendors," ASPLOS 2000, Cambridge, November 2000.