

# 무선 센서 네트워크에서 효율적인 이미지 전송을 위한 웨이블릿 압축 기법

권영완\*, 박종명\*, 이좌형\*, 정인범\*  
\*강원대학교 컴퓨터정보통신공학과  
e-mail: ywkwon@snslab.kangwon.ac.kr

## Wavelet Compression Technique for Efficient Image Transmission in Wireless Sensor Networks

YoungWan Kwon\*, ChongMyung Park\*, JoaHyoung Lee\*, InBum Jung\*  
\*Dept of Computer, Information and Telecommunication Engineering,  
Kangwon National University

### 요 약

저가형 이미지 센서와 무선 센서 네트워크의 하드웨어 성능 향상으로 인해 WMSN(Wireless Multimedia Sensor Networks) 기술이 주목받고 있다. WMSN은 기존의 무선 센서 네트워크 기술에 멀티미디어 정보를 센싱하고 처리하는 기반기술을 포함한다. 멀티미디어 콘텐츠는 많은 데이터양을 가지므로 이를 처리하기 위해서는 많은 계산량과 데이터 전송량이 필요로 하게 된다. 저사양의 센서 노드에서 이를 수용하기 위해서는 에너지 소모를 고려한 압축 기법 및 효율적인 전송에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 이미지를 효율적으로 압축하고 전송하기 위하여 웨이블릿의 Resolution Scalability 특성을 이용한 4가지 움직임 보상/예측 기법을 제안하고, 압축 성능과 발생 패킷 수, 에너지 소모량을 비교하였다.

### 1. 서론

무선 센서 네트워크는 다양한 환경에서 감시·정보수집 역할을 수행하는 시스템이다. 최근에는 저가형 카메라와 마이크론, 그리고 무선 센서 네트워크 하드웨어의 성능 향상으로 WMSN(Wireless Multimedia Sensor Networks) 기술 분야가 주목받고 있다. 기존의 무선 센서 네트워크는 간단한 환경 정보를 센싱하여 이를 처리하고 전송했다. 최근에는 무선 센서 네트워크를 통해 비디오나 오디오, 이미지 등과 같은 멀티미디어 콘텐츠의 센싱 및 전송, 처리하는 기반 기술 및 응용 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

멀티미디어 정보는 기존의 센싱 정보와는 달리 많은 데이터양을 가지는데, 이를 처리하기 위해서는 많은 계산량과 데이터 전송량이 요구된다. 하지만 센서 노드는 센서 노드간 무선 통신 대역폭이 낮으며 한정된 배터리, 적은 저장 공간, 낮은 처리율의 MCU 등 한정된 자원을 가진다. 이로 인해 무선 센서 네트워크에서 멀티미디어 콘텐츠를 수용하기 어렵다. 최근 이러한 문제를 해결하기 위해

에너지 소모를 고려한 압축 기법과 효율적인 전송에 대한 연구가 진행되고 있다[2].

본 논문에서는 웨이블릿의 Resolution Scalability 특성을 이용하여 무선 센서 네트워크에서 이미지를 효율적으로 압축하고 전송하는 YWCE(Yieldable Wavelet Coding Exploration)를 제안한다. 웨이블릿의 특징을 활용하기 위하여 프레임의 구조를 정의하고, 4가지 움직임 예측 및 보상 모드를 사용한다. YWCE는 4가지 움직임 예측 및 보상모드를 통하여 이미지 압축에 필요한 연산 부하량을 줄이고, 네트워크 트래픽에 따라 웨이블릿의 Resolution Scalability를 이용하여 흐름제어가 가능하다는 장점을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 센서 네트워크에서 이미지를 압축하여 전송하기 위한 연구에 대해 알아본다. 그리고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 YWCE 기법을 기술하고, 구현 내용에 대해 알아본다. 4장에서는 YWCE의 압축 성능을 비교하고, 무선 센서 네트워크에서 전송되는 패킷 수, 에너지 소모량을 측정한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺도록 한다.

- 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력 양성사업으로 수행된 연구 결과임.

## 2. 관련연구

무선 센서 네트워크에서 효율적인 이미지 전송을 위하여 다양한 압축 기법들이 연구되고 있다. 저사양의 센서 노드에서 효율적인 압축을 수행하기 위한 대표적인 방법으로 변화가 있는 블록을 찾아내어 압축하는 방법과 분산 처리를 통하여 압축 하는 방법이 있다.

무선 센서 네트워크에서 이미지의 데이터양을 줄이기 위해 사용할 수 있는 압축 기법으로 Low-Complexity Video Compression, Energy Efficient Distributed JPEG2000 Image Compression 등이 있다[3, 4].

### 2.1 Low-Complexity Video Compression (LCVC)

현재 비디오 인코딩 기술은 모션 예측과 보상 기법을 활용하여 설계되기 때문에 많은 계산 능력이 요구되어, 무선 센서 네트워크에서 사용되기에는 적합하지 않다. 따라서 LCVC는 JPEG 데이터 압축 기법에 기반을 두어 계산의 복잡도를 줄였다. 이 알고리즘은 무선 비디오 감시 시스템을 위해 설계 되었다.

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

### 2.2 Energy Efficient Distributed JPEG2000 Image Compression

Energy Efficient Distributed JPEG2000 Image Compression은 클러스터를 구성하여 분산압축을 수행한다. 클러스터 내에서 웨이블릿 변환 이후 얻어지는 작은 영역들에 대해 아래와 같이 데이터를 교환하기위한 2가지 방법을 제안하였다. 이미지의 압축에는 JPEG2000을 사용한다[5].

#### Distributed Compression 1

- 1차원 웨이블릿 변환을 하고, 웨이블릿 결과를 클러스터 멤버 노드로 전송.
- 1차원 웨이블릿 결과를 받은 노드는 2차원 웨이블릿 변환을 하고, 다음 클러스터 헤드로 데이터를 전송.
- 2차원 웨이블릿 결과를 받은 클러스터 헤드는 JPEG2000을 통해 이미지 압축.

#### Distributed Compression 2

- 2차원 웨이블릿 변환을 하고, 다음 클러스터 헤드로 전송.
- 클러스터 헤드는 클러스터 멤버에게 각 영역을 배분하고, 클러스터 멤버는 2차원 웨이블릿 변환.
- 웨이블릿 레벨만큼 위 단계를 반복.
- JPEG2000을 통해 이미지를 압축.

## 2.3 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 신호의 성질을 주파수와 시간의 양 측면에서 분석하여 부호화나 압축 등의 조작을 쉽게 할 수 이 있는 형태로 변환하는 기법의 하나이다[6]. 이는 높은 압축률을 얻고 확장 가능한 전송을 지원하기 위하여 사용된다. 그림 1(a)는 2차원 데이터에 대해 웨이블릿이 어떻게 동작하는지 보여준다. 입력 데이터는 1단계에서 저주파에서 고주파 순으로 <LL>, <LH>, <HL>, <HH> 성분으로 나뉘지며, 2단계에서는 <LL> 성분이 네 개의 성분으로 나누어지는 과정을 거친다.

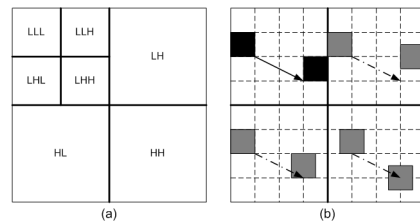
DCT의 결과는 주파수의 분포만을 나타내는데 반해, 웨이블릿 변환은 위치정보 또한 나타낸다. 즉 한 단계의 웨이블릿 변환 마다 이미지를 1/4 축소할 결과를 포함하는데, 이를 이용하여 Resolution Scalability를 구현한다.

## 3. 웨이블릿 기반의 이미지 압축 기법

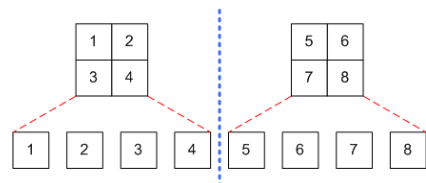
### Yieldable Wavelet Coding Exploration(YWCE)

본 논문에서는 그림 1(b)와 같이 웨이블릿 변환의 Resolution Scalability를 이용하여 움직임 예측 및 움직임 보상의 계산량을 줄이고자 YWCE를 제안한다. 이는 저사양의 센서 모드에서 효율적인 이미지 압축 및 이미지 전송을 하기에 유용한 방법이다. Resolution Scalability를 이용하기 위하여 이미지의 입력 순서를 재정의 할 필요가 있는데 본 논문에서는 그림 2와 같이 정의한다.

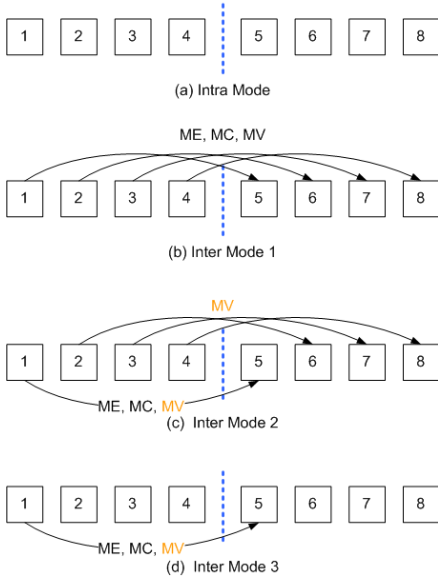
웨이블릿 변환 이후 움직임 예측 및 움직임 보상의 방법으로 본 논문에서는 그림 3과 같이 네 가지 움직임 예측/보상 모드를 제안한다. 첫 번째 압축모드는 각각의 웨이블릿 영역들이 각각 압축되어 전송되는 방식이다. 두 번째 압축모드는 각각의 웨이블릿 영역들이 각각 서로 움직임 예측 및 보상을 하는 방식이다. 세 번째 압축모드는 웨이블릿의 <LL> 영역만 움직임 예측 및 보상을 하고, 나머지 영역들은 <LL> 영역에서 계산된 움직임 벡터를



(그림 1) 웨이블릿을 통한 움직임 예측



(그림 2) 웨이블릿 프레임 구조



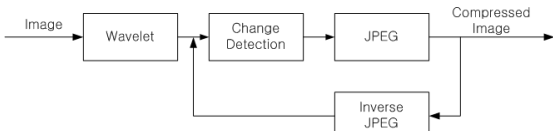
(그림 3) 웨이블릿을 통한 압축모드 선택

사용하는 방식이다. 마지막으로 네 번째 압축모드는 웨이블릿의 <LL> 영역만 움직임 예측 및 보상을 하고 나머지 영역들에 대해서는 움직임 예측 및 보상을 하지 않는 방식이다.

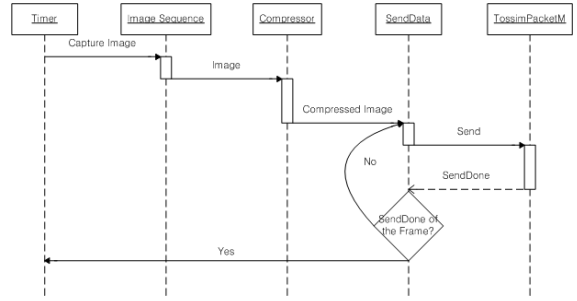
움직임 벡터를 찾는 것은 계산량이 많으므로 저사양의 센서 노드에서 이를 활용하기엔 무리가 있다. 위에서 제안한 방식으로 움직임 벡터를 찾는 영역을 줄여 복잡도를 줄였지만, 움직임 예측/보상 모드의 복잡도를 더욱 낮추기 위하여 LCVC의 Change Detection 기법을 사용한다. 이 기법은 이전 블록과 현재 블록의 차이점을 비교하여 변화가 있는 블록만을 압축/복원하는 기법이다. Change Detection 기법은 현재 블록과 이전 블록간의 차이점을 비교하기 위하여 2가지 모드를 정의하였다. 가장 간단한 모드는 격자 형태의 픽셀들만 비교하여 블록의 변화를 감지한다. 두 번째 모드는 픽셀마다 가중치를 두어 단계적으로 블록의 변화를 감지하는 모드이다.

### 3.1 웨이블릿 기반의 이미지 압축 기법 구현

제안하는 시스템은 그림 4와 같이 웨이블릿, Change Detection, JPEG 컴포넌트들로 구성된다. 이미지가 입력되면 웨이블릿을 통해 각 영역을 분리해 내고, 해당영역에



(그림 4) 웨이블릿을 이용한 이미지 압축



(그림 5) 시스템 동작과정 시퀀스

대하여 변화가 있는 블록을 찾아내기 위해 Change Detection 기법을 사용한다. 변화가 있는 블록은 JPEG 압축 기법을 통해 압축되어 전송되며, JPEG 역부호화를 통해 생성된 이미지는 Change Detection을 위해 버퍼에 저장되는 구조를 가진다.

### 3.2 시스템 동작과정

Timer는 일정 시간 간격으로 이벤트를 일으키는 컴포넌트이다. Timer에서 이미지 촬영을 위한 타이머 이벤트가 발생하면 Image Sequence 컴포넌트에서 다음 이미지를 Compressor 컴포넌트로 전송한다. Compressor 컴포넌트는 3장에서 제시된 압축모드와 LCVC의 Change Detection 모드를 결정하고, 웨이블릿을 이용한 이미지 압축을 수행한다. 압축된 이미지는 SendData컴포넌트로 전송되어 TinyOS에서 사용되는 패킷형태인 TOS\_Msg 형태로 작성되어 TinyOS에서 제공하는 시뮬레이터에서 사용하는 TossimPacketM 컴포넌트를 통해 전송된다. 압축된 이미지 데이터의 크기는 TOS\_Msg의 크기보다 크므로 여러 패킷으로 나누어서 전송되고, 이미지의 전송이 끝나면 다음 이미지 촬영을 위해 Timer 컴포넌트를 설정한다. 그림 5는 위 과정에 대한 시퀀스 다이어그램이다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션을 진행하기 위해 TinyOS에서 제공하는 TOSSIM과 Tinyviz를 사용하였으며, 100×100 크기의 필드에 100개의 노드를 일정한 간격으로 배치하여 실험하였다. 각 노드는 그림 6과 같은 176X144 픽셀의 동일한 동영상 300프레임을 인코딩하여 싱크노드로 전송한다. 움직임 예측/보상 모드는 Inter Mode 3, Change Detection 모드는 격자 형태 모드를 사용하였다.



(그림 6) 원본 동영상

4.2 실험 결과

우선 각 프레임별 실험 결과를 살펴보면 프레임별 압축률은 그림 7에서 보는바와 같이 YWCE가 비교대상인 LCVC보다 평균 약 2배 더 높은 압축률을 보이며, PSNR은 그림 8에서와 같이 LCVC 32.3dB 보다, YWCE가 26.5dB로 평균 약 5.8dB 낮게 측정되었다. 이는 움직임 예측/보상 모드로 Inter Mode 3를 사용하였기 때문에 나타나는 현상인데, <LL>영역만 참조하여 이미지를 압축/복원하기 때문에 다른 영역에 대한 에러가 누적되어 평균적으로 PSNR이 낮게 나온다. PSNR 수치가 높을수록 노이즈에 대한 저항력이 크다. 하지만 30dB 이상에서는 육안으로 화질의 판단이 어렵다[7]. YWCE는 육안으로 판단 가능한 화질열화가 거의 없으며, 데이터의 압축률이 높은 결과를 얻었다. 고화질의 영상을 얻기 위하여 I-프레임의 전송 빈도를 높게 하거나, 움직임 예측/보상 모드를 Intra Mode 혹은 Inter Mode 1, 2번을 사용할 수 있으나 데이터를 처리하는데 많은 계산량을 필요로 하며 데이터 전송량도 증가한다.

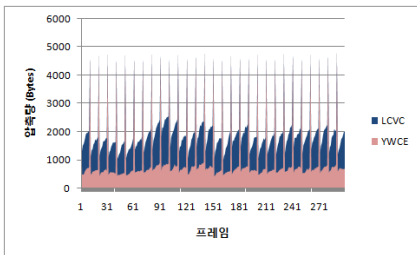
무선 센서 네트워크상에서 각 압축 기법을 사용하여 데이터를 전송한 경우를 살펴보면 그림 9에서 LCVC가 YWCE 비하여 2.17배의 패킷을 더 많이 전송하였으며, 총 에너지 소모량도 2.07배 더 많이 사용하였음을 그림 10에서 알 수 있다. 에너지 소모량을 약 2배 줄임으로써 기존의 압축 기법보다 무선 센서 네트워크의 수명이 2배 더 길어질 수 있으리라 예측 된다.

5. 결론 및 향후 계획

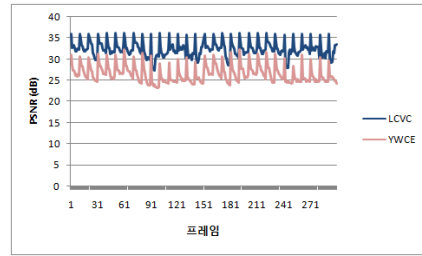
본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 효율적으로 이미지를 전송하기 위한 기법인 YWCE를 제안하고 실험했다. 웨이블릿의 Resolution Scalability를 활용하기 위하여 4가지의 움직임 예측 및 보상 모드를 제안하였으며, 이를 지원하기 위하여 YWCE를 구현하였다.

실험을 통해서 YWCE의 압축 성능과 무선 센서 네트워크에서 패킷 전송량 및 에너지 소모량을 측정하였다. LCVC와 비교하여 약 2배의 패킷 전송량을 줄임으로써 에너지 소모량도 2배 절약한 결과를 얻었다.

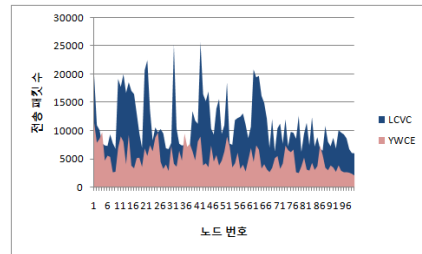
향후에는 웨이블릿 이후 각 영역에 대해 클러스터 기반 분산 처리를 통하여 움직임 예측 및 보상하는 기법을 설계 및 구현하려고 한다. 또한 웨이블릿의 Resolution Scalability 특성을 이용하여 무선 센서 네트워크에서 이미지 전송을 위한 혼잡제어 기법과 분산 압축 기법에 대하여 연구할 계획이다.



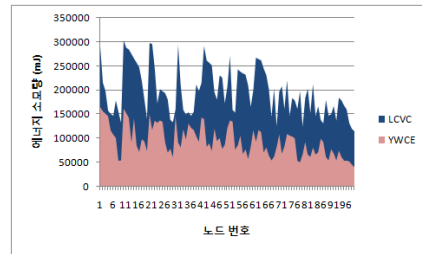
(그림 7) 프레임별 압축률



(그림 8) 프레임별 PSNR



(그림 9) 패킷 전송량



(그림 10) 에너지 소모량

참고문헌

- [1] L. F. Akyildiz, T. Melodia, K. R. Chowdhury, "A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks," Computer Networks (Elsevier), Vol. 51, no. 4, pp. 921-960, March 2007.
- [2] Y. Gu, Y. Tian, E. Ekcik, "Real-time multimedia processing in video sensor networks, Signal Processing: Image Communication (Elsevier), Vol. 22, no. 3, pp. 237-251, March 2007.
- [3] 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.
- [4] H. Wu, and A. A. Abouzeid, "Energy Efficient Distributed JPEG2000 Image Compression," In Proceedings of 2004 IEEE 4th Workshop on Applications and Services in Wireless Networks, August 2004.
- [5] M. W. Marcellin, M. J. Gormish, A. Bilgin, M. P. Boliek, "An Overview of JPEG-2000," In Proceedings of 2000 IEEE Data Compression Conference, March 2000.
- [6] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image Coding Using Wavelet Transform," In Proceedings of 1992 IEEE Transactions on Image Processing, April 1992.
- [7] Y. HASHIMOTO, S. SAMPEI, N. MORINAGA, "Channel Monitor-based Unequal Error Protection with Dynamic OFDM Subcarrier Assignment for Video Transmission," In Proceedings of 2002 IEEE Vehicular Technology Conference, Fall 2002.