

동작 주파수 설정을 이용한 에너지 효율적인 이미지 전송

이성주, 김희곤, 정용화
고려대학교 컴퓨터정보학과
e-mail:peacfeel@korea.ac.kr

Energy-Efficient Image Transmission using Frequency Scaling

Sungju Lee, Heegon Kim, Yongwha Chung
Dept of Computer Information Science, Korea University

요 약

자원 제약적인 임베디드 시스템 기반의 비디오 압축/전송 시스템에서 고수준의 영상품질과 에너지 효율성을 동시에 만족시키는 것은 쉽지 않은 문제이다. 본 논문에서는 동작 주파수 설정을 이용하여 주어진 네트워크 환경과 영상품질을 만족하면서 에너지 소비가 최소화되는 솔루션을 제안한다. 즉, 주어진 네트워크 환경에서 압축/영상품질의 상관관계를 분석하고 에너지가 최소화되도록 동작 주파수를 결정한다. JPEG을 이용한 실험 결과, 동작 주파수 설정을 이용한 방법은 기존의 방법 보다 사용자가 요구하는 영상품질을 만족하면서 약 60% 정도 에너지를 절감할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

최근 무선 센서 네트워크를 통해 비디오나 오디오, 이미지 등과 같은 멀티미디어 콘텐츠의 압축 및 전송하는 기반 기술과 응용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1-3]. 그러나 대부분의 멀티미디어 정보는 용량이 크며 이를 압축/전송하는 처리 비용이 비싸다. 따라서, 임베디드 기반 시스템의 자원제한적인 환경(계산능력, 저장공간, 배터리 수명)에서 사용자가 원하는 영상품질을 제공하면서 에너지 효율성을 동시에 만족시키는 것은 쉽지 않은 문제이다. 즉, 고수준의 영상품질을 위해서는 계산시간이 증가하고 압축률이 감소하기 때문에 압축과 전송하는 시간이 증가하여 높은 에너지 효율성을 제공하기 어렵다.

에너지 효율성을 증가시키는 방법으로는 영상 압축률을 조절 [1,2] 하거나 알고리즘을 수정 [3] 하여 에너지 효율성을 증가시키는 방법이 있다. 즉, 압축/전송/영상품질의 상관관계를 고려하여 최적의 영상 압축률을 결정함으로써 사용자의 영상품질 요구사항을 만족하면서 에너지 소비를 최소화 할 수 있다. 다른 방법으로는 DVFS(Dynamic Voltage Frequency Scaling)와 같이 공급 전압이나 동작 주파수를 동적으로 조작하여 전력사용량을 낮추는 방법이 있다 [4]. 그러나, 에너지 효율성만을 위한 동작 주파수 설정은 상대적으로 낮은 영상품질의 이미지를 전송하기 때문에 영상품질 측면에서도 효율적이지 못하다. 따라서 압축/전송/영상품질의 상관관계를 분석하여 사용자의 영상품질을 만족하면서 에너지 효율성이 최대가 되도록 최적의 동작 주파수를 설정하는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 주어진 네트워크 환경에서 동작주파수 설정을 통한 에너지 효율적인 이미지 데이터의 압축/전송 방법을 제안한다. 제안방법을 위해 JPEG(Joint Photographic Coding Experts Group)의 QT(Quantization Table)을 이용하여 압축률을 조절하고, 이에 따른 압축 에너지와 전송 에너지는 실제 노트북을 이용하여 측정한다.

먼저, QT에 의한 압축과 전송 에너지의 상관관계를 분석하고, 사용자의 영상품질 요구사항을 만족하는 QT를 결정한다. 마지막으로 에너지 소비가 최소화 되도록 동작 주파수를 결정한다. 실험 결과 본 논문에서 제안한 방법은 기존 방법에 비해 최대 60%까지 에너지 소비량을 절감함을 확인하였다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 2장에서는 JPEG과 전송 에너지의 특징에 대해 기술하고, 3장에서는 에너지 효율성을 증가시키기 위해 QT와 동작 주파수를 결정하는 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 제안방법을 실험적으로 검증하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 배경

2.1 JPEG과 전송 에너지의 특성

멀티미디어 데이터의 영상은 용량이 크기 때문에 네트워크의 부하를 감소하기 위한 방법으로 JPEG과 같은 영상 압축 알고리즘을 이용하여 압축을 한 후, 압축된 데이터를 유선이나 무선을 통하여 전송하게 된다. 그러나 JPEG과 같은 손실 압축에서는 압축률이 클수록 영상품질이 저하된다 [1,3]. 그림 1은 1595MHz PC 환경에서

100MB의 영상 데이터를 11Mbps 네트워크로 전송 할 때의 압축률(QT를 이용한 압축률 조절)에 따른 영상품질(PSNR)과 전송에 필요한 에너지를 보여주고 있다 [1]. 즉, 고품질의 영상을 전송하기 위해서는 네트워크단의 전송 에너지 소비가 크게 증가한다. 따라서 영상품질과 전송 에너지의 관계에서 최적의 압축 파라미터를 찾는 연구가 진행되어왔다 [1,2].

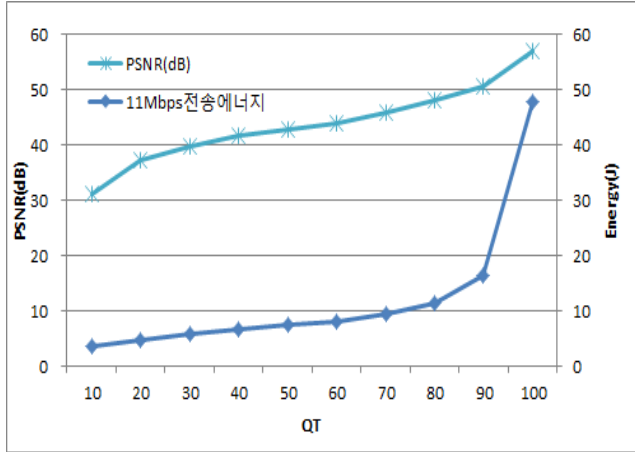


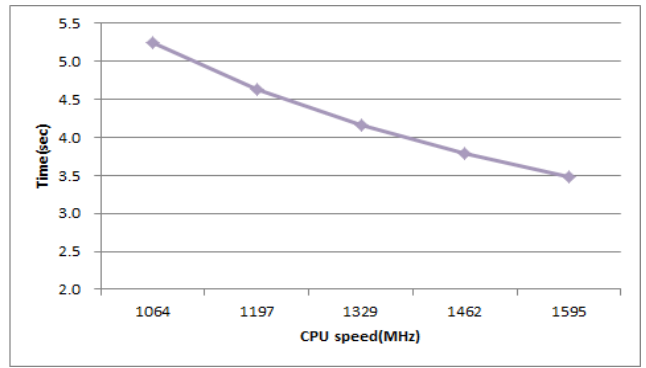
그림 1. 영상품질과 전송에너지의 상관관계의 예 [1]

2.2 동작 주파수에 따른 에너지

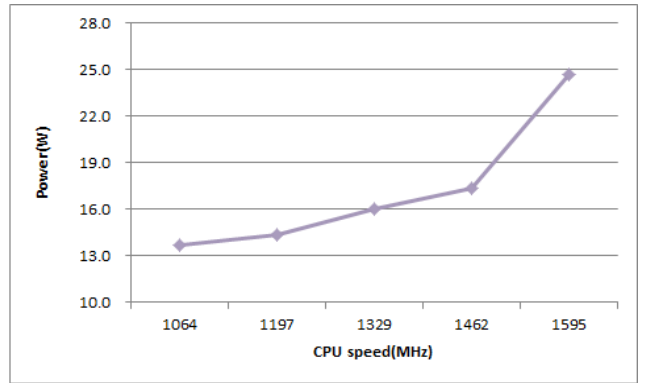
에너지 효율성을 증가시키는 대표적인 방법으로는 동작 주파수를 낮추는 방법이 있다. 에너지는 수행시간과 소비전력의 곱으로 나타낼 수 있으며, 일반적으로 CPU의 소비전력은 동작주파수의 세제곱에 비례한다 [4]. 따라서 동작 주파수를 낮추면 소비전력이 감소되어 에너지 소비가 감소할 것으로 기대할 수 있다. 그러나 동작 주파수를 낮게 설정하면 수행시간도 감소하기 때문에 반드시 낮은 동작 주파수에서 에너지 소비가 효율적인 것은 아니다.

그림 2는 실제 노트북(노트북은 Intel core i7 720QM)에서 100MB의 영상을 압축할때의 동작 주파수에 따른 수행시간, 소비전력, 소비 에너지를 보여준다. 이때, 소비전력은 WT210 [5] 디지털 파워 미터기를 이용하여 측정된 결과이다. 동작 주파수가 증가함에 따라 소비전력은 증가하는 반면 수행시간은 짧아지기 때문에 가장 낮은 주파수에서 에너지가 가장 효율적인 것은 아니다. 따라서 수행시간과 소비전력의 관계를 고려하여 에너지 소비가 최소화 되는 주파수 설정이 필요하다. 또한, 단순히 에너지 소비가 최소화가 되는 것이 아니라, 사용자가 요구하는 영상 품질을 만족하도록 QT와 동작 주파수 설정 방법이 필요하다.

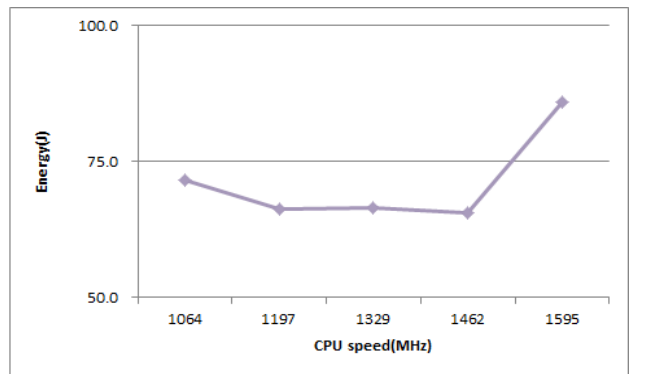
본 논문에서는 QT와 동작 주파수에 따른 압축에너지와 전송 에너지 소비의 관계를 분석하여 사용자의 영상 품질을 만족하면서 에너지 소비가 최소가 되는 최적의 QT 파라미터와 동작 주파수 설정 방법을 제안한다.



(a) 수행시간



(b) 소비전력



(c) 소비에너지

그림 2. 동작 주파수에 따른 수행시간, 소비전력, 소비에너지

3. 제안 방법

3.1 QT와 동작주파수에 따른 에너지 소비 분석

본 논문에서는 주어진 네트워크 환경에서 QT와 동작 주파수 설정을 통한 에너지 효율적인 이미지 데이터의 압축/전송 방법을 제안한다. 따라서 QT와 동작 주파수에 따른 전송 및 압축 에너지 소비 분석이 필요하다.

먼저 QT와 동작 주파수에 따른 총 에너지를 구하는 방법은 다음과 같다. 단말에서 영상을 전송할 때의 총에너지 소비는 압축 에너지와 전송 에너지로 구성되고, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{총에너지} E = \text{압축} E + \text{전송} E \quad (1)$$

압축 에너지와 전송 에너지는 모두 QT와 동작 주파수

(F)에 영향을 받기 때문에 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\text{총에너지}E(QT, F) = \text{압축}E(QT, F) + \text{전송}E(QT, F) \quad (2)$$

이때, 전송 에너지는 식 (3)과 같이 전송 에너지를 계산할 수 있다.

$$\text{전송}E(QT, F) \approx \text{데이터크기}(QT) / \text{전송속도} \times \text{소비전력} \quad (3)$$

그림 3은 QT에 따른 압축E와 전송E(11Mbps 무선랜)의 관계를 보여주고 있다. QT의 증가에 따라 압축 에너지는 전체적으로 서서히 증가하지만, 전송에너지의 경우 QT가 90 이상일 때 가파르게 에너지 소비가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 동작주파수의 설정은 1.462MHz에서 QT에 관계없이 압축 에너지 소비가 최소가 되고, 1064MHz에서 전송 에너지 소비가 최소임을 확인할 수 있다.

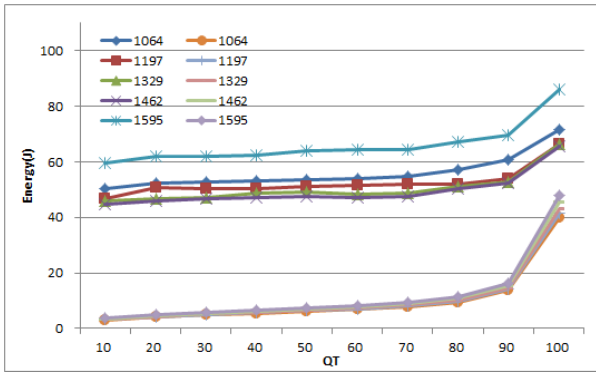


그림 3. QT에 따른 압축과 전송에너지의 상관관계

그림 4는 QT에 따른 총에너지 소비 변화량을 보여준다. 총에너지 소비는 대부분 1462MHz에서 최소가 됨을 확인할 수 있다. 그러나 QT≈90의 경우에는 동작 주파수가 1329MHz일 때 에너지가 최소이며, QT≈100에서는 1197MHz일 때 에너지가 최소가 된다.

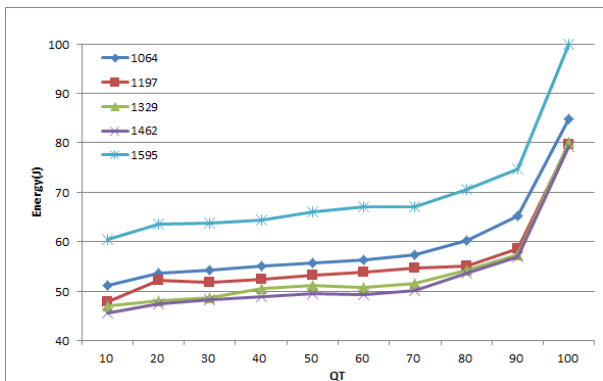


그림 4. QT와 동작 주파수에 따른 총에너지 변화량

사용자 영상품질을 만족하면서 에너지가 최소화 되도록 QT와 동작 주파수의 설정 식은 (4)와 같이 표현될 수 있으며, 이때 QT의 범위는 사용자의 영상 품질을 만족하는 범위가 되고, QT₀는 사용자의 PSNR을 만족하는 최소의 QT값이다.

$$\min \text{총에너지}E(QT, F), \text{ where } QT \geq QT_0 \quad (4)$$

3.2 에너지 효율적인 이미지 전송 방법

본 논문에서는 3.1절의 분석결과를 이용하여 QT와 동작 주파수 설정을 통한 에너지 효율적인 이미지 데이터의 압축/전송 방법을 제안한다. 영상을 전송하기 전 미리 사용자 영상품질(PSNR)을 만족하는 QT를 결정하고, 에너지가 최소화 되도록 동작 주파수를 결정함으로써 사용자의 영상품질을 만족하면서 총에너지 소비를 최소화한다.

주어진 최소화 문제를 풀기 위해서는 영상품질과 QT, 그리고 동작 주파수에 따른 수행시간과 소비전력의 정확한 예측이 필요하다. 그러나 영상에 따라 영상품질이 달라지기 때문에 정확한 QT의 범위를 구하는 것은 어렵다 [1]. 본 논문에서는 QT에 따른 영상품질의 변화가 유사하다는 특징만을 이용하여 대략적인 변화를 예측한 결과를 이용한다.

동작 주파수에 따른 수행시간과 소비전력의 관계가 기계마다 다르다는 문제가 있다. 그러나 이 문제는 한차례의 실험으로 기계 특성을 파악하여 동작 주파수에 따른 수행시간과 소비전력을 예측할 수 있다. 따라서 QT와 동작 주파수(F)에 따른 영상품질/수행시간/소비전력을 실험적으로 한차례 분석(오프라인)하고, (온라인)단말에서는 그림 5와 같이 분석결과를 이용하여 에너지가 최소화 되도록 QT와 동작주파수를 설정한다. 영상을 전송하기 전에 사용자의 영상품질 요구사항을 입력받고, 오프라인에서 분석한 내용을 기반으로 최적의 QT를 설정한다. 또한 에너지 소비가 최소화 되도록 최적의 동작 주파수를 설정하고 주어진 QT를 이용하여 이미지를 압축/전송한다.

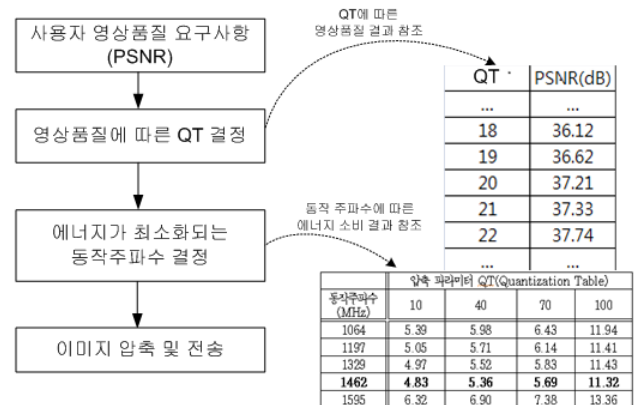


그림 5. QT와 동작 주파수 설정을 이용한 에너지 효율적인 이미지 전송 방법

사용자의 영상품질 요구사항을 만족하면서 에너지 소비를 최소화하기 위해 식 (2)와 (3)을 이용하여 오프라인에서 에너지 소비를 측정한다. 온라인에서는 식 (4)를 이용하여 사용자의 영상품질을 만족하는 QT의 범위를 먼저 구하고 압축 에너지가 최소화 되는 F를 구한다.

예를 들어, 사용자의 영상품질 요구사항에 따라 QT의 범위를 구하는데, PSNR이 35dB 이상의 영상품질에 대한 요구사항은 QT가 20 이상에서 항상 만족한다. 이때의 에너지 소비가 최소가 되는 동작 주파수는 1462MHz이고 에너지 소비는 5.09J로, QT의 값이 100일 때와 비교하면 55% 정도의 에너지를 절감할 수 있다. 또한, 동일한 QT에서도 동작 주파수가 1595MHz인 경우와 비교하면 25% 정도의 에너지를 절감 할 수 있다.

4. 실험 및 성능 평가

본 논문에서는 에너지 효율성을 분석하기 위해 WT210 [5] 디지털 파워 미터기를 이용하였고, 노트북은 Intel core i7 720QM 1064MHz~1595MHz 4-코어 프로세서로 동작하며, RAM의 용량은 4.0 GB이었다.

실험에 이용한 영상은 크기가 640×480인 VGA급 영상 (약 900KB)을 이용하였다. 네트워크 환경은 11Mbps인 무선 네트워크 환경(802.11g)와 100Mbps 유선 네트워크 환경을 이용하였다. 이때 각각의 소비전력은 6W(11Mbps)와 16W(100Mbps)였다.

먼저 주어진 네트워크 환경에 따른 총에너지 소비량을 측정하였다. 표 1과 표 2는 11Mbps와 100Mbps의 무선 및 유선 네트워크 환경에서, QT와 동작주파수에 따른 총 에너지 소비를 보여준다.

표 1. 11Mbps 무선 네트워크 환경에서 QT와 동작주파수에 따른 에너지 소비량 (단위 : J)

동작주파수 (MHz)	압축 파라미터 QT(Quantization Table)			
	10	40	70	100
1064	5.34	5.88	6.28	11.14
1197	5.01	5.62	6.02	10.78
1329	4.93	5.46	5.74	10.95
1462	4.82	5.33	5.65	11.09
1595	6.32	6.90	7.38	13.37

표 2. 100Mbps 유선 네트워크 환경에서 QT와 동작주파수에 따른 에너지 소비량 (단위 : J)

동작주파수 (MHz)	압축 파라미터 QT(Quantization Table)			
	10	40	70	100
1064	5.13	5.51	5.75	8.48
1197	4.78	5.24	5.24	7.97
1329	4.70	5.05	5.05	8.05
1462	4.57	4.89	4.89	7.93
1595	6.06	6.44	6.44	9.99

QT와 동작 주파수의 동적 설정에 의한 제안 방법과 정적 설정 방법의 에너지 소비량은 표 3에서 확인할 수 있다. 특히, 단순방법은 QT를 50으로 고정하였고 이때의 PSNR은 43dB 정도의 영상 품질을 갖는다. 또한 CPU의

동작 주파수는 최대치인 1595MHz로 설정하였다. 반면 제안 방법은 사용자로부터 PSNR 요구사항을 입력받아 QT와 동작 주파수를 조절함으로써 단순방법과 유사한 영상 품질 범위에서 최대 60%정도까지 에너지 절감을 확인하였다.

표 3. 단순방법과 제안방법의 에너지 소비량 비교

(단위 : J)

	주파수 설정			고정 주파수
	PSNR=30dB QT = 9,	PSNR=40dB QT = 39,	PSNR=50dB QT = 87,	PSNR=43dB QT = 50 (F = 1365MHz)
11Mbps	4.72 (F = 1462MHz)	5.39 (F = 1462MHz)	6.72 (F = 1329MHz)	13.37
100Mbps	4.49 (F = 1462MHz)	4.56 (F = 1462MHz)	5.87 (F = 1462MHz)	9.99

5. 결론

본 논문에서는 동작 주파수 설정을 이용하여 주어진 네트워크 환경에서 사용자가 요구하는 영상 품질을 만족하면서 에너지 소비가 최소화되는 솔루션을 제안하였다. 즉, 영상을 전송하기 전 미리 사용자가 요구하는 영상 품질을 만족하는 QT를 결정하고, 에너지가 최소화되도록 동작 주파수를 결정함으로써 사용자의 영상 품질을 만족하면서 총 에너지 소비를 최소화하였다. 실제 노트북과 계측기를 이용하여 측정한 결과, 제안 방법은 단순방법과 유사한 영상 품질 범위에서 최대 60%의 에너지 절감을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0086148)

참 고 문 헌

- [1] C. Taylor, S. Dey, and D. Panigrahi, "Energy/Latency/Image Quality Tradeoffs in Enabling Mobile Multimedia Communication," Proc. of Software Radio: Technologies and Services, pp. 55-66, 2001.
- [2] Z. He, W. Cheng, and X. Chen, "Energy minimization of portable video communication devices based on power-rate-distortion optimization," IEEE Tr. on Circuits and Systems for Video Tech., vol. 18, No.5, pp. 596-608, 2008.
- [3] D. Lee, H. Kim, M. Rahimi, D. Estrin, and D. Villasenor, "Energyefficient image compression for resource-constrained platforms," IEEE Trans. Image Process., vol. 18, no. 9, pp. 2100-2113, 2009.
- [4] X. Huang, K. Li, and R. Li, "A Energy Efficient Scheduling Base on Dynamic Voltage and Frequency Scaling for Multi-core Embedded Real-Time System," LNCS, Vol 5574, pp. 137-145, 2009.
- [5] N. Hirofumi, N. Naoya, and T. Katsuya, "WT210/WT230 Digital Power Meters," Yokogawa Technical Report 35, Yokogawa Electric Corporation, 2003.