

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제19권 제1호, 2014년 1월 (JBE Vol. 19, No. 1, January 2014)

http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2014.19.1.24

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

LTE에서 클라우드 컴퓨팅을 이용한 모바일 에너지 효율 연구

조복연^{a)}, 서덕영^{a)†}

Mobile Energy Efficiency Study using Cloud Computing in LTE

Bokyun Jo^{a)} and Doug Young Suh^{a)†}

요 약

이 연구는 모바일 기기를 이용한 실시간 동영상 개인 방송 서비스에서 동영상 압축 계산의 부담을 클라우드 컴퓨팅에 오프로딩하는 효과에 대한 연구이다. 모바일 기기에 비해 클라우드는 컴퓨팅 자원과 전력 자원이 매우 풍부하다. 모바일 기기에서의 계산을 줄임으로써 전력사용을 줄일 수 있으나, 압축효율이 떨어져서 전송해야할 데이터양은 늘어난다. 본 연구에서는 전력 절약과 전송 데이터 양 증가의 트레이드오프 분석을 통하여 LTE 통신환경에 따라 오프로딩되는 계산량을 제어하여 최적의 운용조건을 찾을 수 있음을 보인다.

Abstract

This study investigates computing offloading effect of cloud in real-time video personal broadcast service, whose server is mobile device. Mobile device does not have enough computing resource for encoding video. The computing burden is offloaded to cloud, which has abundant resources in terms of computing, power, and storage compared to mobile device. By reducing computing burden, computation energy can be saved while transmission data amount increases because of decreasing compression efficiency. This study shows that the optimal operation point can be found adaptively to time-varying LTE communication condition result of tradeoff analysis between offloaded computation burden and increase in amount of transmitted data.

Keyword : Cloud computing, UCC service, JM(Joint Model), Offloading

a) 경희대학교(Kyunghee University Electronics and Radio Engineering)

† Corresponding Author : 서덕영 (Doug Young Suh)

E-mail: suh@khu.ac.kr

Tel: +82-31-201-2963

※ This research was supported by the MSIP (Ministry of Science, ICT & Future Planning), Korea, under the C-ITRC (Convergence Information Technology Research Center) support program (NIPA-2013- H0301-13-1006) supervised by the NIPA (National IT Industry Promotion Agency).

This research was also funded by the MSIP (Ministry of Science, ICT & Future Planning), Korea in the ICT R&D Program 2013.

Manuscript received November 22, 2013 Revised January 16, 2014

Accepted January 23, 2014

1. 서론

기존 TV는 방송국에서 생산된 고품질 콘텐츠를 일방적으로 대중에게 전달하고, 대중에게는 채널 선택권만 주는 서비스에 머물러 왔다. 하지만 휴대용 기기와 네트워크의 발달에 따라 전문가 집단에 의해 기지국에서 복수의 사용자에게 제공되는 방송 서비스뿐 아니라, 일반인들이 직접 방송을 운영하는 UCC(User Created Contents) 방송 서비스가 대두되고 있다. UCC 방송 서비스는 TV 방송 서비스에

비해 제약을 가지고 있는데, 이는 일반인들이 방송국에 비해 원활한 서비스를 위한 장비가 갖추어져 있지 않다는 점이다. 일반인들이 UCC에 사용하는 장비들은 휴대용 기기가 대부분으로 이는 방송 서비스에 필요한 영상 압축을 만족스럽게 수행하지 못한다. 이의 원활한 서비스를 위한 서비스 방식에 대한 연구가 중요해졌다. 본 논문에서는 이런 서비스 방식 중에 요즘 대두되고 있는 클라우드 컴퓨팅을 이용한 방법에 대해 소개한다. 클라우드 컴퓨팅이란 인터넷 상의 서버를 통하여 데이터 저장, 네트워크 콘텐츠 사용 등 IT관련 서비스를 모두 사용할 수 있는 컴퓨팅 환경이다.

Zhu et. al. [1]은 클라우드 컴퓨팅을 이용한 멀티미디어 서비스를 소개하였다. 클라우드 컴퓨팅을 이용한 멀티미디어 서비스를 위한 오프로딩으로 인해 발생하는 득실을 해결하기 위해 Jayant Baliga^[2]은 연산, 저장, 전송의 과정 중 에너지 사용량을 연구하였다. Eemil Lagerspetz와 Sasu Tarkoma는 [3]에서 오프로딩을 하였을 때 모바일에서의 에너지 이득을 계산하였다. 이는 모바일 기기가 가지고 있는 배터리 문제를 오프로딩을 통해 보완할 수 있음을 보여준다. 위 문헌들을 바탕으로 먼저 실시간 UCC 방송 service에서 각 세부 모듈마다 쓰이는 에너지 소비량을 계산하여 어떤 모듈을 오프로딩 할 것인가를 알아본다. 또한 각 모듈을 오프로딩 하였을 때 늘어난 전송량과 이에 따른 추가 에너지 소비량을 계산한다. 본 논문의 2장에서는 연구를 진행하게 된 배경 설명과 오프로딩을 조절하는데 쓰이는 인코딩 설정 값들에 대해 소개하고 에너지 소비량을 계산하기 위한 수식을 정리한다. 3장에서는 에너지 효율을 높이기 위한 방법에 대해 소개하고 세부적인 시나리오를 설명한다. 4장, 5장에서는 각각 이 방식이 기존의 방식들보다 얼마나 에너지 이득을 얻을 수 있는지 실험하고, 그 결과를 정리한다.

II. 배경

1. 인코딩의 Offloading

컨텐츠를 생성하는 단말기는 휴대용 기기로 가용 전력과 연산 속도가 제한적이므로, 인코딩 환경이 나쁘다는 것을

전제로 한다. 클라우드는 네트워크상에 존재하고, 휴대용 단말기에 비해 연산과 가용 전력에 제한이 없으며, 독립적인 연산과정들은 병렬적으로 수행하여 시간을 단축할 수 있다. 이런 이점을 이용하기 위해 UCC 방송 서비스 업로더는 클라우드로부터 메모리와 CPU를 대여하고 연산을 클라우드로 넘겨준다. 먼저 오프로딩 할 연산에는 어떠한 것이 있고, 그에 따른 에너지 소비량을 알아본다. 모바일 서비스에서 전송에 사용되는 에너지는 전송환경에 따라 변하므로 이를 고려해야 한다.

표 1은 H.264/AVC의 JM으로 MOBILE 영상 300장을 GOP size 16, Intra period 16으로 압축하였을 때, Intel parallel studio 프로그램을 이용하여 모듈 별로 연산 시간을 측정한 결과로 압축 모듈마다 연산량을 알 수 있다. 표 1을 보면 알 수 있듯이 인코딩 과정 중 가장 많은 연산을 차지하는 부분은 ME(Motion Estimation) 모듈이다.

표 1. 모듈별 인코딩 연산 시간
 Table 1. Encoding computation time of modules

모듈	time/frame(ms/frame)	percentage(%)
ME	3529.115	75
DCT	406.083	8.63
Etc	770.288	16.37
Total	4705.486	100

ME과정은 영상 전송 단위인 GOP(Group of Picture)의 프레임 구성에 따라 그 연산 정도를 조절할 수 있다. 이런 인코딩 설정 값들을 이용하여 자원이 제한적인 휴대용 단말기에선 연산을 적게 수행하여 압축한 후 클라우드로 재차 압축하는 오프로딩이 가능하다.

2. 통신에서의 에너지 소비

멀티미디어 서비스의 한 특징은 사용할 수 있는 에너지가 제한적이기 때문에 통신 에너지가 무시하지 못할 정도로 크다는 것이다^[6]. 모바일 기기는 신호 세기에 따라 MCS level이 결정되고, 각 MCS level마다 modulation 방식과 block size가 정해져 있다. 때문에 단위 데이터양에 대한 모바일 단말 통신 에너지는 통신 상태에 따라 달라진다.

표 2. LTE망에서의 MCS 피드백
Table 2. MCS Feedback Table in LTE

CQI Index	Modulation Order	Code Rate 1024	Rate [10] (bits/symbol)	SINR threshold Γ w/ 10% BLER (dB)
0	out of range			
1	QPSK	78	0.1523	-9.478
2	QPSK	120	0.2344	-6.658
3	QPSK	193	0.3770	-4.098
4	QPSK	308	0.6010	-1.798
5	QPSK	449	0.8770	0.399
6	QPSK	602	1.1758	2.424
7	16QAM	378	1.4766	4.489
8	16QAM	490	1.9141	6.367
9	16QAM	616	2.4063	8.456
10	64QAM	466	2.7305	10.266
11	64QAM	567	3.3223	12.218
12	64QAM	666	3.9023	14.122
13	64QAM	772	4.5234	15.849
14	64QAM	873	5.1152	17.786
15	64QAM	948	5.5547	19.809

표 2는 LTE 망의 신호 세기에 따른 MCS level별 spec이다 [7]. 표 2에서 BLER은 Block error Rate를 의미하고 SINR은 Signal to Interference-plus-Noise Ratio의 약자로서 SINR 값이 증가할수록 통신 상태가 더 좋음을 의미한다.

III. 제안하는 U3C(User Created Contents over Cloud) 서비스

본 장에서는 클라우드를 이용하는 UCC 서비스에서 에너지를 효율적으로 사용하는 방식을 제안한다. 이는 그림 1과 같이 압축률이 낮은 방식(Rough Encoding)으로 인코딩된 데이터를 클라우드에서 재차 인코딩(Full Encoding)하여 서비스를 제공하는 방식이다. 낮은 압축률로 데이터를 전송하여 에너지 절감 효과를 얻기 위해 단순히 Rough Encoding을 하는 것이 아니라 LTE 통신 환경을 고려하여 가장 최적의 Encoding Type을 적용하여 에너지 이득을 얻는 방식을 제안한다. 본 논문의 주요 쟁점은 휴대용 단말기에서 촬영한 영상을 압축하여 클라우드로 전송할 때 통신 환경에 따른 전송 전력과 Encoding Type에 따른 전력 소비의 관계를 비교 분석하여 최적의 Encoding Type으로 Rough Encoding을 하여 전송함으로써 최대의 전력 이득을 얻는 것이다.

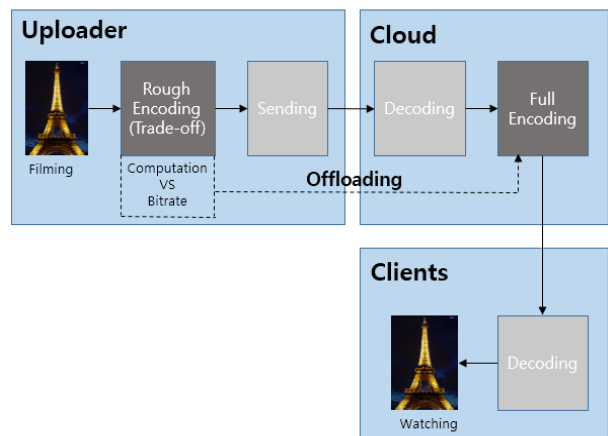


그림 1. U3C 시나리오
Fig. 1. Scenario of U3C

비디오 서비스의 경우 한 GOP는 보통 500ms에 해당하므로 U3C 서비스의 SINR 값도 500ms마다 적용한다. UCC 콘텐츠 업로더가 사용한 에너지 E_u 는 (1)과 같이 표현된다 [2][3]. 업로더는 GOP단위로 encoding 방식을 현재 시각의 전송 환경에 따라 달리한다. P_p 는 컴퓨팅 파워로 단말기에서 연산에 쓰이는 CPU 전력[W]을, P_s 는 한 bit당 전송 전력[W/bit]을, D 는 현재 GOP의 데이터 크기[bit]를, B 는 대역폭[bits/sec]을 나타낸다. E_u 는 현재 영상을 인코딩 타입 k 로 처리하는데 쓰이는 에너지이다.

$$E_u[k, SINR] = \frac{P_p \times C[k]}{X} + \frac{P_s[SINR] \times D[k]}{B[SINR]} \quad (1)$$

$\frac{C[k]}{X}$ 는 (2)과 같이 현재 GOP를 인코딩 타입 k 로 인코딩 하는데 필요한 시간 $T_p[k]$, $\frac{D[k]}{B[SINR]}$ 는 인코딩 타입 k 로 인코딩된 데이터를 전송하는데 필요한 시간 $T_s[k, SINR]$ 로 표현할 수 있다.

$$E_u[k, SINR] = P_p T_p[k] + P_s[SINR] T_s[k, SINR] \quad (2)$$

E_u 가 최소일 때 UCC서비스 업로더 단말기는 가장 이득을 보게 되며, 이때 사용자의 단말기를 가장 효율적으로 사용한다고 할 수 있다. 현재 SINR 값에 대해 E_u 를 최소화 하는 인코딩 타입을 k^* 이라 하면 (3)과 같이 표현된다.

$$k^* = \underset{k}{\operatorname{argmin}}(E_u[k, SINR]) \quad (3)$$

E_u^* 는 현재 SINR 값에 대해 가장 적합한 인코딩 타입 k^* 로 인코딩 하는데 사용된 에너지이다. 이는 (4)과 같이 표현된다.

$$E_u^* = E_u[k^*, SINR] \quad (4)$$

IV. U3C 실험

1. U3C 서비스 전력

우리는 인코딩 시간과 비트율의 반비례 관계에 큰 영향을 미치는 Motion Estimation을 IDR period를 조정하는 방식으로 그 비율을 결정하였다. IDR period가 증가할수록 인코딩 연산량이 커지므로 전력이 증가한다^[5].

전송 에너지의 측정을 위해 표 3과 같이 임의로 시뮬레이션을 정하였다. 영상마다 인코딩 시간과 비트율의 변화율이 다르기 때문에 2가지 영상을 인코딩 한 결과의 평균 값

을 사용하였다. 해상도는 HD 720p 영상으로 결정하였다.

표 3. 시뮬레이션 설정
Table 3. Setting of simulation

항목	수치
영상	Stockholm, Pedestrian
해상도	1280x720
시스템 대역폭	20MHz
전송 전력	24dBm
IDR period	1,2,3,4,5,10,15(7-type)
MCS 레벨	4~15

영상의 IDR period 값이 증가할수록 ME 연산량이 늘어나므로 인코딩 복잡도가 증가한다. 인코딩 복잡도와 인코딩 전력은 비례하므로 IDR period 값의 증가에 따라 인코딩 전력도 증가한다. 720p Pedestrian 영상의 결과는 표 4와 같다^[5].

표 4. 인코딩 전력^[5]
Table 4. Encoding power^[5]

IDR period	Avg. encoding complexity (cycles)	Avg. power consumption (W)	Avg. PSNR (dB)
1	1.94	0.06	32.96
2	2.28	0.09	34.06
3	2.67	0.14	35.24
4	3.00	0.20	36.03
5	3.28	0.25	36.61
10	4.00	0.45	37.87
15	4.38	0.59	38.86

CPU 전력 P_p 를 측정하기 위해 Standby Power Meter HPM-100A 장비를 활용하였고 전송 에너지 측정 시뮬레이션은 LTE 망을 기준으로 삼았다. SINR 값이 $-3dB$ 보다 작을수록 spectral efficiency가 0 bit/s/Hz 에 수렴하므로 전송이 이루어질 수 없다고 할 수 있다^[4]. 때문에 SINR 값이 $-3dB$ 보다 큰 MCS level 4부터 시뮬레이션 결과를 도출하였다. 전송 전력이 $24dBm$ 일 경우 전송에 필요한 전력은 대략 $2W$ 이다^[4, 그림 3].

그림 2는 LTE망 MCS level별 스펙의 코드율과 심볼당 비트율을 이용하여 레퍼런스 프로그램 JM으로 인코딩 한 영상의 평균 비트율을 전송하는데 필요한 전력을 계산한

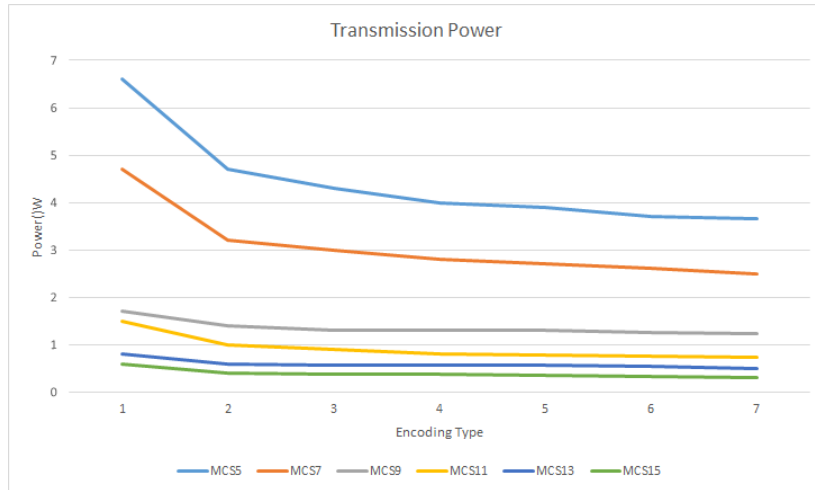


그림 2. 전송 전력
Fig. 2. Transmission power

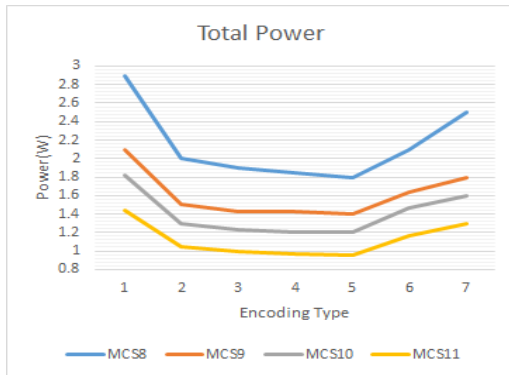


그림 3. U3C 서비스의 전체 전력
Fig. 3. Total power of U3C service

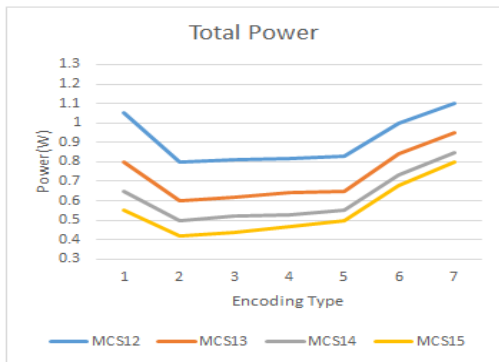


그림 4. U3C 서비스의 전체 전력
Fig. 4. Total power of U3C service

결과이다. x축의 Encoding Type은 표 3에서의 같은 영상을 가지고 IDR period에 따라 결정되는 7가지의 영상 종류를 의미한다. 즉, Encoding Type1부터 Encoding Type7은 순차적으로 표 3의 각각의 IDR period 1부터 15까지를 의미한다. 따라서 Encoding Type의 값이 증가하면 IDR period가 길어지게 되며 결국 표 4와 같이 복잡도는 증가하고 그에 따라 에너지 소비도 증가하게 된다.

그림 3과 4는 각 MCS level별 인코딩전력과 전송전력을 합한 전체 전력이다. 각 MCS level마다 전력이 최소인 타입이 서비스하기에 가장 적절한 최적의 인코딩 타입임을 나타낸다.

표 5는 MCS level별로 U3C 서비스하기에 가장 적절한 인코딩 타입을 나타낸다. MCS level이 높을수록, 즉 신호세기가 강할수록 오프로딩을 통해 에너지 이득을 얻을 수 있다.

표 5. MCS level별 인코딩 타입
Table 5. Encoding type of MCS level

MCS level	인코딩 타입 (IDR period)
4	7 (15)
5~8	5 (5)
9~11	4 (4)
12	3 (3)
13~15	2 (2)

2. U3C vs. rough encoding vs. full encoding

U3C 서비스를 하였을 때 얻는 에너지 이득을 계산하기 위해 임의의 채널 망 상태를 사용한다. Error Trace 파일은 단일의 UE(User Equipment)가 하나의 부분으로 구성된 MBSFN 영역 안에서 랜덤하게 움직이는 시뮬레이션 환경에서 발생된다. Trace 파일은 12000개의 샘플로 이루어졌으며 x, y 위치값과 SINR, BLER 값을 나타낸다. 그림 5는 하나의 셀 안에서의 이동 경로를, 그림 6은 시뮬레이션된 SINR 값 중 임의의 30초 분량이다^[8].

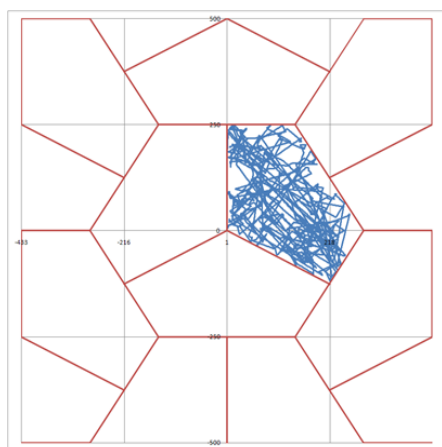


그림 5. 이동 경로
 Fig. 5. Move route

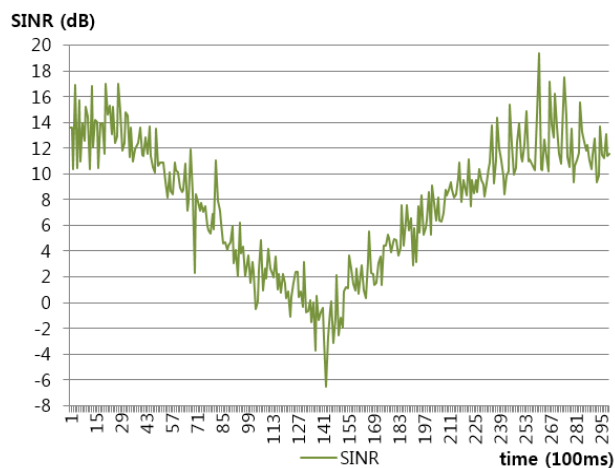


그림 6. SINR데이터
 Fig. 6. SINR data

위의 SINR 값들을 100ms마다 적용하여 U3C, only Encoding Type1(rough encoding), only Encoding Type7 (full encoding) 각각의 경우에 대하여 모바일 기기의 에너지 사용량을 계산한다. 표 6은 각 상황에서 30초 동안의 에너지 사용량이다. U3C의 경우 가장 적은 에너지를 사용하였으며, only Encoding Type1의 경우 에너지의 사용량이 가장 크게 나타났다.

표 6. U3C, rough encoding, full encoding 에서의 에너지 사용량
 Table 6. Energy consumption of U3C, rough encoding, full encoding

Service	Energy consumption (J)	Percentage (%) Standard : full encoding
U3C	74.7	91
Only encoding type 1 (rough encoding)	123.5	150
Only encoding type 7 (full encoding)	82.1	100

V. 결론

본 논문에서 우리는 모바일 기기에서의 실시간 UCC 방송 서비스에 적합한 방식을 제안했다. 이 방식은 모바일 기기에서의 제한적인 에너지를 오프로딩을 이용해 효율적으로 활용하는 것이 가능하다. 우리는 모바일 기기의 특성상 수시로 변하는 통신 환경에 맞춰 인코딩 연산 복잡도를 조절하여 최적의 인코딩 타입을 찾아냈다. 결과적으로 표 6과 같이 기존의 인코딩 방식으로 볼 수 있는 full encoding 방식과 비교해 9%의 에너지 절감 효과를 보였다. 하지만 영상마다 비트율, 인코딩 시간 등 결과가 조금씩 다르므로 아직 모든 영상에서의 효과를 충분히 보는 것은 쉽지 않다. 모든 영상에서의 만족스러운 결과를 얻기 위해서는 영상 정보를 예측하는 방법이 추가되어야 한다. 영상 정보를 예측하는 방법을 추가시킨다면 보다 효율적인 에너지사용이 가능할 것이다.

참고 문헌 (References)

- [1] W. Zhu, C. Luo, J. Wang, S. Li, "Multimedia Cloud Computing," Signal Processing Magazine, IEEE, May 2011.

[2] J. Baliga, R.W.A. Ayre, K. Hinton, R.S. Tucker, "Green Cloud Computing: Balancing Energy in Processing, Storage, and Transport," Proceedings of the IEEE, Jan. 2011.

[3] E. Lagerspetz, S. Tarkoma, "Mobile Search and the Cloud: The Benefits of Offloading," Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2011 IEEE International Conference on Mar. 2011.

[4] M. Lauridsen, A. R. Jensen, P. Mogensen, "Reducing LTE Uplink Transmission Energy by Allocating Resources," in Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011 IEEE, pp. 1-5, Sept. 2011.

[5] Y. H. Lee, J. S. Kim, C. M. Kyung, "Energy-Aware Video Encoding for Image Quality Improvement in Battery-Operated Surveillance Camera," in Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, IEEE Transactions on, pp. 310-318, Feb. 2012.

[6] G. Kalic, I. Bojic, M. Kusek, "Energy consumption in android phones when using wireless communication technologies," in MIPRO, 2012 Proceedings of the 35th International Convention. pp.754-759, May. 2012.

[7] Fan Jiancun, Yin Qinye, G. Y. Li, Peng Bingguang, Zhu Xiaolong, "MCS Selection for Throughput Improvement in Downlink LTE Systems," in Computer Communications and Networks (ICCCN), 2011 Proceedings of 20th International Conference, pp1-5, Aug. 2011.

[8] 3GPP TR 26.904., Improved Video Coding Support(Release 10), Dec.2010.

저 자 소 개



조 복 연

- 경희대학교 전자정보대학 학사졸업
- 경희대학교 전자정보대학 MediaLab II 석사과정
- 주관심분야 : Video Coding(HEVC), Mobile Multimedia Service



서 덕 영

- 미국 조지아텍 전기 및 컴퓨터공학과 박사
- 경희대학교 전자정보대학 교수
- 주관심분야 : Networked Media, Mobile Multimedia, MPEG/3GPP Standardization