

LTE 단말 모뎀에서의 적응형 전력 관리

*유승렬, †전민제, †이재범, †김명진, †정의영

*LG전자, †연세대학교 전기전자공학부

e-mail : *ryan.yoo@lge.com, †{minje.jun, jblee, kmjjang86, eychung}@dtl.yonsei.ac.kr

Adaptive Power Management in LTE Terminal Baseband Modem

*Seung Ryeol Yoo, †Minje Jun, †Jae-Beom Lee, †Myoung-Jin Kim, and

†Eui-Young Chung

*LG Electronics,

†School of Electrical and Electronic Engineering

Yonsei University

Abstract

The high-speed communication environment and high-performance mobile devices have leveraged each other. Especially, the bandwidth-demanding services such as video call and multimedia streaming have urged adoption of very high-speed communication such as LTE and LTE-A in the mobile devices. The increased complexity of the baseband computation of such high-speed communications necessarily worsens the battery life time of the mobile devices. Even though LTE supports DRX framework to reduce power consumption, DRX not only depends on base-station but also needs sufficient idle time to operate efficiently. In this paper, we propose a novel adaptive power management of LTE modem which reduces the active (i.e. non-DRX period) power consumption.

I. 서론

이동 통신 기술의 발달은 그동안 보지 못했던 높은 품질의 다양한 서비스의 출현을 이끌고 있으며, 특히

기존의 이동 통신 환경에서는 높은 만족을 주지 못했던 화상 통화, 스트리밍 서비스 등은 LTE 기술을 통해 그 품질과 다양성에서 높은 만족을 주고 있으며, 이제는 보편적인 서비스로 자리 잡아가고 있다.

그러나 이러한 높은 데이터 전송률은 모바일 장치가 처리해야 할 데이터와 메모리 사용량을 급격히 증가시켜, 결과적으로 모바일 장치가 더 적은 시간을 유휴 상태(idle state)에 있도록 만든다. 이는 모바일 장치가 전력 절감을 수행할 기회를 현저히 줄이게 되어 전력 소모 측면에서 큰 부담이 될 것이다. 따라서 유휴 상태를 이용하는 전력 절감뿐만 아니라 이동 통신 환경과 그 특성을 고려하여 활성 상태(active state)에서도 전력을 절감할 수 있는 전력 관리 기법에 대한 고민이 필요하다.

II. 본론

2.1 Motivation

LTE는 단말기의 전력 소모의 부담을 줄이기 위해 3GPP Spec.에서 Discontinuous Reception(DRX) 등 power saving을 위한 메커니즘을 지원하고 있으며, RF 블록 및 모뎀 하드웨어 등은 전력 절감의 상당 부분을 DRX에 의존하고 있다.

그러나 이는 유휴 시간을 활용하는 방법으로 서비스와 기지국 운용 정책에 전적으로 의존하는 방식이며, 또한 이동 통신 회사마다의 DRX의 운용 방식이 다를

수 있어서 그 효과가 상당히 가변적이다. 특히, 연속적인 데이터 수신으로 인해 유휴 시간이 적을 경우에는 그 효과가 충분하지 못하다.

예를 들어, 고품질의 화상 통신 및 스트리밍 서비스와 같이 연속적으로 많은 데이터를 전송하는 트래픽 특성을 가지는 서비스의 경우 기지국(eNodeB)에 전적으로 의존하는 소극적인 방법만으로는 충분한 배터리 시간을 확보하지 못할 것이다. 따라서 단말기 관점에서 주도적이고 적극적인 전력 관리 방법이 필요하며, 이러한 요구는 데이터 전송 속도가 증가함에 따라 점점 더 커질 것이다.

2.2 Proposed Method

본 논문에서는 LTE의 전송 특성을 고려하여 데이터를 수신하는 활성 상태에서 모뎀 하드웨어에 대한 적응형 전력 관리 방법을 제안한다.

LTE의 Downlink는 1ms의 서브프레임(Sub frame, TTI) 단위로 수행되며, 기지국은 이 1ms 단위로 스케줄링을 수행한다. 따라서 만약 단말기가 매 1ms 마다 계속 스케줄링 된다면, PHY 계층 하드웨어는 1ms 내에 해당 서브프레임의 데이터를 받드시 처리해야 한다. 따라서 worst case를 가정하면 PHY 계층 하드웨어는 1ms의 hard real-time constraint를 가지고 있다고 볼 수 있다.

PHY 계층 하드웨어가 1ms 내에 처리해야 하는 데이터량과 복잡도는 서비스의 종류, 채널의 상태, 그리고 기지국의 스케줄링 정책에 따라 상당히 가변적이며, 그에 따라 각 하드웨어 블록의 동작 여부와 그 수행 시간도 각기 다르다. 따라서 1ms 에서 데이터를 처리하고 남은 시간도 가변적이게 되는데, 이때 남은 시간이 충분하다면 이 시간 동안 전력 절감을 위한 방법을 적용할 수 있다.

본 논문에서는 이 1ms TTI 내에서의 전력 절감 방법을 제안한다. 이 방법은 Physical Downlink Control Channel(PDCCH)을 decoding 하여 얻어지는 Downlink Control Information(DCI)의 분석을 통해 해당 서브프레임에서 처리해야 할 데이터와 그에 따른 하드웨어 블록의 동작 시간을 예측하여 전력 관리를 수행한다.

2.2.1 LTE Time Domain Resource

그림 1은 LTE의 서브프레임의 구조를 보여준다. 서브프레임은 0.5ms의 길이를 가지는 2개의 slot으로 구성되고 각 slot은 7개의 OFDM symbol로 구성된다. 또한, 그림 1과 같이 14개의 symbol은 각각 control channel과 data channel로 구분된다. 대역폭에 따라 다

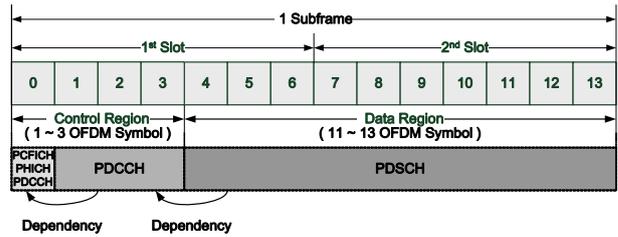


그림 1. Time-domain downlink resource

르지만 보통 3개의 symbol은 control channel에 그리고 나머지 symbol이 data channel에 점유된다. Control channel에는 Control Format Indicator (CFI), HARQ Indicator (HI), Downlink Control Information (DCI)이 포함된다. 따라서 LTE 단말은 control channel의 decoding 결과를 가지고 data channel processing을 거쳐 데이터를 얻게 된다.

만약 매 서브프레임에서 처리해야 하는 데이터의 양이 적을 경우, 1ms 내의 상당한 시간을 leakage power를 소모하며 보내게 된다. 본 논문에서는 이 부분에 집중하여 데이터량에 따른 하드웨어의 수행 시간을 예측하고, 이 예측을 바탕으로 TTI 내의 남은 시간에 블록 별로 전력을 차단(power-gating)하는 방법을 제안한다.

2.2.2 Downlink Processor의 구조

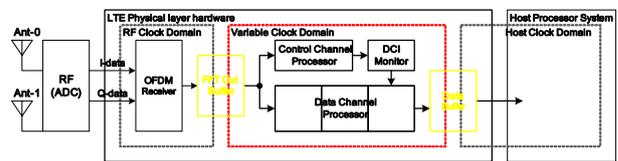


그림 2. Architecture for the Proposed Method

그림 2와 같이 Downlink Processor는 Control Channel Processor (이하 CCH-Proc)와 Data Channel Processor (이하 DCH-Proc), 그리고 DCI의 분석 및 전력 관리를 수행하는 DCI Monitor로 구성되어 있다. CCH-Proc은 각 서브프레임의 control channel 을 decoding 하며, DCI를 DCI Monitor에 전달하는 역할을 수행한다. DCI Monitor는 CCH-Proc로부터 decoding 된 DCI로부터 해당 서브프레임 내에 처리해야 할 데이터의 크기와 그에 대한 각 하드웨어 블록의 동작 시간을 예측하여, 적절한 전력 정책을 결정하고 DCH-Proc에 적용하는 역할을 담당한다. 이를 통해 전력 소모를 최적화할 수 있다. DCH-Proc은 CCH-Proc에 의해 얻어진 DCI를 기반으로 데이터를 추출하는 역할을 수행한다. DCH-Proc는 상당히 많은 데이터 처리 및 메모리 사용으로 인해 대부분의 전력을 소모하

는 부분이다 (그림 5 참조). Data Buffer는 DCH-Proc에 의해 처리된 데이터가 저장되며, Host Processor System에 의해 사용된다.

각 블록은 동작을 마치게 되면 다음 동작을 수행하기 전까지는 clock이 차단되도록 설계하였다.

2.2.3 Power Domain 구성

그림 2와 같이 DCH-Proc의 각 하드웨어 블록은 독립적으로 전력 차단을 적용할 수 있도록 power domain을 구성하였다. 또한, Turn On/Off의 오버헤드가 최소가 되도록 구성되어, Power On 시, 약 수 us 이내에 안정화 된다. PHY 계층 하드웨어는 control/data channel의 성공적인 decoding을 위해 설정해야 하는 파라미터가 상대적으로 많지만, 매 서브프레임에서 갱신되는 파라미터가 많아서 On/Off의 오버헤드가 크지 않다면, 적극적으로 전력 차단을 활용할 수 있다.

2.2.4 DCI Monitor

그림 3은 DCI Monitor의 구조를 보여준다. DCI Monitor는 Lookup Table 기반으로 구성된다. Lookup Table은 Transport Block 크기, MCS 등에 따른 각 하드웨어 블록의 동작 시간을 항목으로 가지며, Register로 구성되어 설정이 가능하게 구성되었다. 또한, 추가적으로 Power Turn On/Off 시의 Library의 안정화 시간에 대한 설정 값을 가진다.

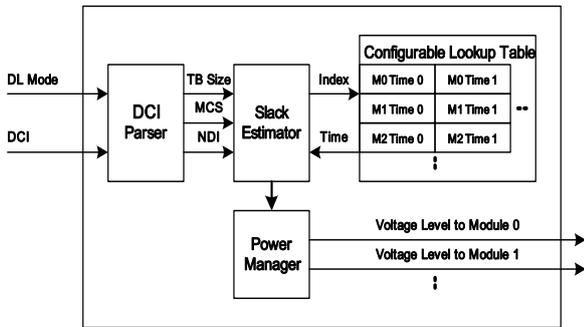


그림 3. DCI Monitor 구조

DCI Parser는 CCH-Proc에 의해 Decoding된 DCI를 전달 받아 Downlink Mode에 따라 DCI의 Parsing을 수행한다. 이 결과는 Slack Time Estimator에 전달되고 Slack Time Estimator는 Lookup Table을 검색하여 해당 서브프레임에서 사용될 DCH-Proc의 해당 하드웨어 블록 체인의 전체 동작 시간을 계산하여, 해당 서브프레임에서 DCH-Proc의 동작 이후 남은 시간을 계산한다.

이 Slack Time Estimation의 결과를 통해 Power Off를 통해 얻게 될 이득을 계산하게 되며, 이를

Power On/Off 수행의 오버헤드와 비교하고 적절한 전력 정책을 결정하여 Power Manager로 전달한다.

Power Manager는 결정된 전력 정책을 각 하드웨어 블록에 적용하여 Power On/Off를 실행하고, 안정화 시간 이후 DCH-Proc이 동작을 시작하도록 알려준다. 이 같은 과정을 통해 DCH-Proc은 해당 서브프레임에서 꼭 필요한 하드웨어만을 꼭 필요한 시간 동안 동작시켜, 꼭 필요한 만큼의 전력만을 소모하게 된다.

그림 4는 DCI Monitor가 각 블록의 Voltage Level을 제어하는 예시를 보여준다. 각 신호가 HIGH인 구간이 각 블록이 동작하게 되는 구간이다.

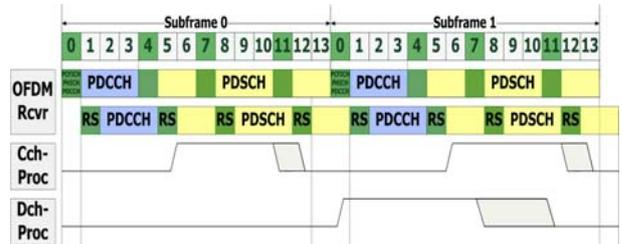


그림 4. DCI Monitor Timing Diagram

III. 실험

3.1 실험 환경

실험을 위해 Downlink Processing에 필요한 OFDM Receiver, CCH-Proc, DCH-Proc 등의 Downlink PHY 계층 하드웨어를 Register Transfer 수준으로 구현하여 시뮬레이션을 수행하였다. 수행 결과에 대한 전력 소모 값은 Power Theater 툴을 이용하여 측정하였다. 통신 환경은 20MHz 대역폭과 best channel condition을 가정하였다. 제안하는 전력 관리 기법은 유휴 상태가 아닌 데이터 통신이 활발히 이루어지는 상황에서 전력 절감 기법이기 때문에 통신 traffic에 대해서는 worst case traffic (매 sub-frame마다 스케줄링) 조건을 가정하였다. 또한 가능한 다양한 Transport Block 크기 및 Modulation and Coding Scheme(MCS)을 가지도록 구성하였다.

Technology library는 상용 40nm 공정을 사용하였으며, typical operation voltage level은 1V이다.

3.2 실험 결과

차트 2는 제안한 방법을 적용하지 않은 상태에서 14 서브프레임을 처리하면서, Downlink Processor의 각 하드웨어 블록이 소모하는 전력을 보여준다. 대부분의 전력은 DCH-Proc에 의해 소모된다는 것을 알 수 있으며, 이 같은 결과는 본 논문의 전체에 부합한다.

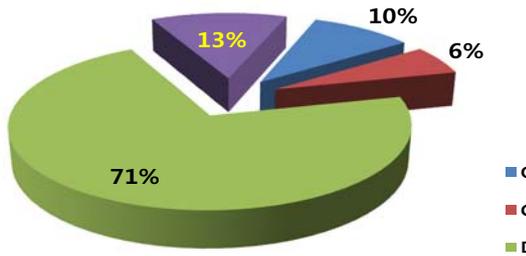


그림 5. LTE Downlink Processor의 power fraction

다음의 표 1은 실험에 사용한 각 Sub frame의 Scheduling 정보와 이에 대한 DCI Monitor의 Slack 계산 결과 및 계산 결과를 기반으로 결정한 Adaptive Power Management Policy를 나타내었다.

표 1. DCI 및 DCI Monitor의 계산 결과
MCS 및 NDI (New Data Indicator) 는 DCI의 output 이다.

Case	Codeword1		Codeword2		DCI Monitor	
	I _{mcs}	NDI	I _{mcs}	NDI	Slack (ms)	Decision
1	14	1	28	1	54	ON
2	28	0	13	0	58.8	ON
3	16	1	25	1	76.2	OFF
4	0	1	0	1	176.0	OFF
5	3	1	13	1	317.4	OFF
6	8	0	22	1	514.6	OFF
7	28	0	-	-	571.8	OFF
8	20	1	-	-	706.0	OFF
9	12	0	17	0	744.2	OFF
10	14	1	-	-	769.6	OFF
11	26	0	9	0	794.5	OFF
12	18	1	-	-	813.5	OFF
13	16	1	-	-	833.7	OFF
14	4	1	-	-	842.8	OFF

표 1과 같이 다양한 시나리오에 대해 0.54%~84.28%의 Slack Time을 보이며, DCI Monitor는 매 서브프레임마다 전력 정책을 결정하여 DCH-Proc의 각 블록에 적용한다.

그림 6은 동일한 조건하에서 DCI Monitor에 의한 제안된 전력 관리 기법의 전력 절감 정도를 보여준다.

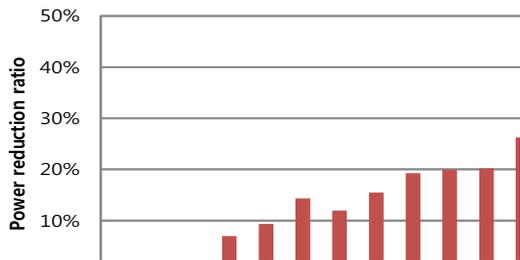


그림 6. 전력 절감 효과

IV. 결론

본 논문에서 제안한 방법을 통해 데이터 전송이 활발히 일어나는 ACTIVE 구간에서 DCI Monitor를 통해 control channel의 정보를 사용한 적응형 전력 관리 방법을 제안하였다. 또한, 실험에서 제안된 방법을 통해 LTE 단말에서 높은 전력 절감 효과를 얻을 수 있음을 보였다. 높은 데이터 전송률을 지원하는 LTE 등의 Mobile Network Service와 이를 기반으로 점점 다양해지는 서비스, 그리고 결과적으로 높아지는 데이터 처리량을 위한 Mobile Device의 고성능화는 충분한 배터리 사용 시간을 점점 어렵게 만들 것이다. 따라서 이와 같은 적극적인 전력 관리에 대한 시도가 필요하며, 이러한 결과들은 앞으로 LTE-Advance 등 더 높은 데이터 전송률을 가지는 환경 하에서도 충분히 추가적인 전력 소모를 줄일 수 있을 것이다.

V. 향후 계획

본 논문에서의 시도를 좀 더 확장하여, DCI Monitor의 Power management Policy를 Host Processor System에 적용하는 연구와 DCI Monitor의 기능을 확장하여 LTE Modem의 더 많은 부분을 하드웨어에 의해 자동화 하는 연구를 진행하여, Low Power LTE Terminal을 강화하는 연구를 진행할 것이다.

Acknowledgement: 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0026454).

참고문헌

- [1] 3GPP, 3rd generation partnership project; Technical specification group radio access network; Physical Channels and Modulation (Release 8), 3GPP TS 36.211
- [2] 3GPP, 3rd generation partnership project; Technical specification group radio access network; Multiplexing and Channel Coding (Release 8), 3GPP TS 36.212.
- [3] 3GPP, 3rd generation partnership project; Technical specification group radio access network; Physical Layer Procedures (Release 8), 3GPP TS 36.213.