

논문 2014-51-2-1

# 에너지 효율적인 송수신 운용 방안

## ( Energy Efficient Transmit and Receive Strategies )

오 창 윤\*

( Changyoon Oh<sup>©</sup> )

### 요 약

본 논문에서는 M2M 단말들끼리의 송수신 과정에서 에너지 최적화 송수신 운용 방안을 제시한다. 최근의 통신응용 분야는 점점 더 많은 양의 배터리를 소모하는 방향으로 진화하고 있으며, 따라서 제한된 용량의 배터리를 사용하는 디바이스에 있어서 효과적인 배터리 사용 방안은 점점 더 중요해지고 있다. 본 논문에서는 아직까지 많은 통신 응용분야에서 사용되어지고 있는 채널코딩 기술중 하나인 터보코드를 적용하여 송수신 단말들끼리 데이터 전송과 수신하는 과정에서 소모되는 에너지를 최적화한다. 먼저 송신시 소모되는 전송에너지와 수신시 소모되는 프로세싱 에너지를 모델링하고, 이를 바탕으로 에너지 효율적인 송수신 운용 방안을 제시한다.

### Abstract

We propose energy efficient transmit and receive strategies for nomadic M2M devices. Recently, communication applications consume more and more battery. Hence, the efficient battery management is becoming increasingly important. Turbo code as a channel coding is being widely used in many communication areas. Accordingly, the efficient energy management in using turbo code is an important issue. In this paper, we optimize joint transmit and receive energy for M2M devices pair. We first model the transmit energy and receive energy. Then, we develop the energy efficient transmit and receive strategies.

**Keywords :** M2M(Machine to Machine), Transmit Energy, Processing Energy

## I. 서 론

단말기 배터리의 제한된 용량으로 인해, 모바일 디바이스 운용에서 효율적인 에너지 운용은 점점 더 그 중요성이 커지고 있다. 최근의 모바일 디바이스는 스마트폰 앱, Social Network Service(SNS) 게임밍, 고화질 디스플레이 등 많은 양의 전력을 소모하는 방향으로 진화하고 있다. 특히, 사물통신(Machine to Machine)에 적용되는 단말기의 경우는 한번 충전되어 단말기에 장착되면 오랜 시간동안 재충전없이 사용해야 한다. 배터

리 용량의 성장속도는 다른 기술의 성장속도와는 다르게 느리게 성장하고 있다. 일례로, 지난 반세기 동안의 배터리 성장속도를 살펴보면 년 2%대의 성장속도를 보여주고 있다<sup>[1]</sup>. 따라서, 그 중요성이 더 커질 것으로 전망한다. 최근들어, 환경문제를 고려한 Green Communication 이 주요 이슈로 대두되고, 이에 관한 저전력소모 통신방법들에 대한 연구가 진행중이다<sup>[2~3]</sup>. 본 논문에서는 두 개의 M2M(Machine to Machine) 단말간에 데이터를 송수신하는 과정에서 소모되는 에너지를 최적화한다. 최근 모바일 디바이스 응용분야를 살펴보면 자원 활용의 효율성을 위하여 디바이스간 직접통신을 하는 D2D(Device to Device) 기술의 수요가 많아지고 있다. 이러한 기술 수요를 고려하여 3GPP, IEEE 802와 같은 표준단체에서도 MTC(Machine Type Communication), M2M(Machine to Machine) 이라는 이름으로 기기간 직접 통신표준 기술 규격을 진행중이

\* 정회원, 인하공업전문대학 정보통신과  
(Inha Technical College, Department of Information & Communications)

© Corresponding Author (Email: changyoonoh@inhac.ac.kr)

※ 이 논문은 2013학년도 인하공업전문대학 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음

접수일자: 2013년10월7일, 수정완료일: 2014년1월29일

다<sup>[4~5]</sup>.

채널코딩의 사용은 동일한 데이터를 전송함에 있어서 더 적은 양의 전송에너지를 소모하며, 이미 많은 통신 응용분야에서 주요기술로 적용되고 있다<sup>[6~11]</sup>.

본 논문에서는 M2M 단말 Pair 가 데이터를 전송하고 수신하는 과정에서 소모되는 에너지를 성능지표 (Performance Metric) 으로 사용한다. 구체적으로, 송신 단말이 터보코드를 적용하여 데이터를 전송하는 과정에서 소모하는 전송에너지와 수신단에서 반복적 디코딩 프로세싱 과정을 통해서 데이터를 수신하는 과정에서 소모되는 에너지의 합을 최소화하고자 한다. 두 개의 송수신 단말이 터보코드를 적용한 환경에서 송신과정에서 소모되는 에너지와 수신시 반복적 디코딩과정에서 소모되는 에너지를 연동하여 최적화하는 방안은 아직 발표된 바 없다. 구체적으로, 본 논문에서는 실험결과를 기반으로 송신에너지와 수신단 반복적 디코딩과정에서 소모되는 에너지를 모델링한다. 이를 기반으로 최적화 문제에 대한 해법을 제시한다. 주목할만한 점은 송신에너지와 수신단 디코딩 프로세싱에너지를 연동하여 최적화하는 문제는 결국 최적의 디코딩 반복횟수를 구하는 문제로 귀결된다는 점이다.

본 논문에서는 먼저 BER 실험결과 데이터와 디코딩 프로세싱 에너지 실험결과를 바탕으로 송신에너지와 수신단 반복적 디코딩 프로세싱 에너지를 모델링한다. 모델링한 결과를 기반으로 에너지 효율적인 터보코드 송수신 운용방안을 제안하기로 한다.

## II. 시스템 모델 및 문제의 정형화

### II.A. 시스템 모델

본 논문에서는 특정지역에 설치되어 데이터를 수집하고, 수집한 데이터를 상대방 M2M 단말에게 전송하는 시나리오를 고려한다. 이 경우, 한번 M2M 단말기가 특정지역에 설치되면 위치 변동없이 계속 운용된다. 그림 1은 두 개의 M2M 단말들이 데이터를 송신하고 수신하는 과정을 나타내고 있다. 특히, 데이터를 송신하는 하나의 M2M 단말과 데이터를 수신하는 다른 하나의 M2M 단말을 M2M ‘송수신 단말 Pair’로 정의한다.

그림 1에서 나타내고 있는 송수신단말 Pair 는 터보코드를 적용하여 데이터를 전송하고 있으며, 본 논문에서는 터보코드를 적용하여 데이터를 송신하고 수신하는 과정에서 소모되는 에너지를 최적화하고자 한다. 구체적으로, 본 논문에서 적용하는 터보코드는 송신단에서

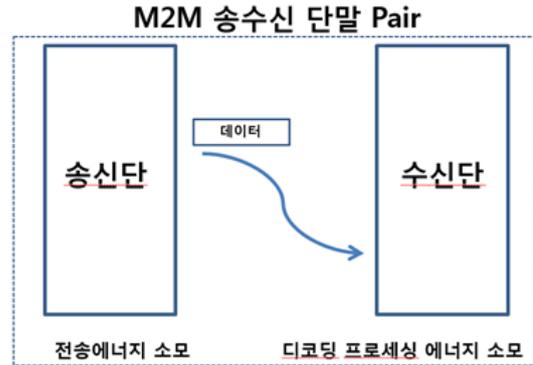


그림 1. 시스템 모델

Fig. 1. System Model.

병렬 연접 (Parallel Concatenated) 한 Convolutional Code를 적용하며, 수신단에서는 소프트 출력값을 반복적 디코딩(Soft Output iterative Decoding)하는 구조를 고려한다<sup>[7]</sup>. 송신단 구조는  $G_1 = [11111]$ ,  $G_2 = [10001]$ 를 사용한 Code Rate 1/2, K=5이며,  $256 \times 256$  array interleaver를 적용한다. 수신단에서는 Modified Bahl Algorithm을 적용하기로 한다.

### II.B 문제의 정형화

본 논문에서는 데이터 전송에 소모되는 에너지, 즉 송신단에너지와 수신단에너지의 합을 최적화한다. 특히, 에너지 최적화를 위해서는 송수신단 사이의 채널환경에 따라 송신전력값과 디코딩 반복횟수의 변경에 따른 수신단 디코딩 프로세싱에너지가 지속적으로 변경된다. 본 논문에서는 송신전력값과 수신단 디코딩 프로세싱 에너지 최적화를 주요 관심사로 다룬다. 따라서, 본 논문에서는 터보코드를 운용함에 있어서 가변적인 운용이 가능한 송신단 전송에너지와 수신단 디코딩 프로세싱 에너지값만을 최적화 한다. 요구하는 BER을 만족시키면서 터보코드를 사용하는 송수신단말 페어(Pair)가 소모하는 비트당 송신에너지와 비트당 디코딩 프로세싱 에너지의 합을 최소화하고자 한다. 앞서 기술한 송수신 에너지 최적화 문제를 수식화 하면 다음과 같다.

$$\min (E_T + E_D) \quad (1)$$

$$s.t. \quad BER = T\_BER \quad (2)$$

식 (1)에서  $E_T$  와  $E_D$ 는 각각 송신단 전송에너지와 수신단 디코딩 프로세싱 에너지를 나타낸다. 본 논문에서는 송수신단에 터보코드를 적용한 시스템을 고려하기 때문에 최적화 환경은 다소 제한적일 수 있다. 또한,

아래에 설명하는 에너지 모델링이 실험적인 데이터에 의존하고 있으며, 특정한 터보코드를 사용하는 시스템에 대한 결과를 제시하고 있음을 밝혀둔다. 식 (2)에서  $T\_BER$  은 시스템이 목표로 하는 BER을 나타낸다. M2M 송수신 단말 Pair 는 데이터를 송수신하는 과정에서  $T\_BER$  만큼의 BER을 만족시키면서 동시에 송신에너지와 수신에너지의 합을 최소화 한다.

### III. 전송에너지와 수신단 프로세싱에너지 모델링

최적화 문제인 (1)을 풀기 위해서 먼저 송신에너지인  $E_T$ 와 수신단 디코딩 프로세싱 에너지인  $E_D$ 에 대한 수학적 정의가 필요하다. 본 논문에서는 실험을 통해 얻은 BER 데이터와 반복적 디코딩 프로세싱 에너지 데이터를 기반으로 송신에너지  $E_T$ 와 수신단 디코딩 프로세싱 에너지  $E_D$ 를 모델링한다.

#### III.A. 비트당 전송에너지 모델링

본 논문에서는 송신단과 수신단 사이의 채널이득값으로  $G = \frac{r}{d^{-n}}$ 을 사용한다. 여기서,  $d$ 는 송신단말과 수신단말 사이의 거리를 나타내고,  $n$ 는 pathloss exponent를 나타낸다.  $r$ 은 분산값으로  $8\text{ dB}$ 를 가지는 로그노말 페이딩(log normal fading) 계수이다. 통계적 관점에서 볼 때, 송신단과 수신단 사이의 거리가 증가하게 되면, 채널이득값은 지수적으로 감소하며, 결과적으로 송신단말에서 소모되는 비트당 전송에너지는 지수적으로 증가하게 된다.

그림 2는 다양한 디코딩 반복횟수  $i$ 에 대하여 BER

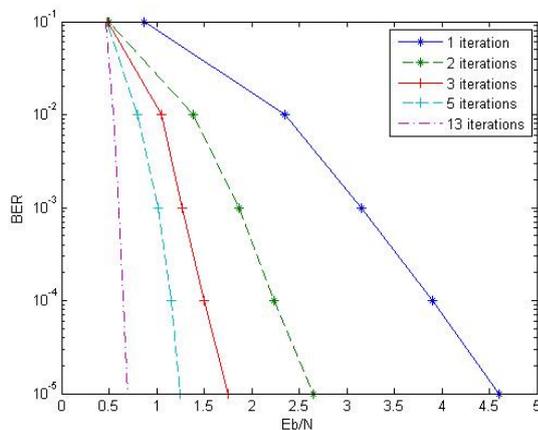


그림 2. 비트당 필요한 에너지와 비트에러율  
Fig. 2. Eb/N versus BER(Bit Error Rate).

과 비트당 필요한 에너지 관계를 실험결과를 통해 나타낸 그래프이다. 대부분의 통신응용에서 요구하는 BER 값은  $BER=10^{-3}$  보다 작은 값들이다. 또한, 그림 2에서의 실험결과에서 보는 것처럼 디코딩 반복횟수가 적어도 3회 이상에서 실질적인 BER 감소효과를 얻게 된다. 따라서, 모델링을 위한 기본 요구사항에서는 앞서 언급한  $BER=10^{-3}$  보다 작은 환경과 디코딩 반복횟수가 3회 이상에서 높은 정확도를 보장하면서, 디코딩 프로세싱에너지 모델링 수식이 복잡하지 않도록 하는 것을 모델링 요구사항으로 설정하였다. 이러한 모델링 요구사항을 반영한 결과 주어진 BER에 대하여 디코딩 반복횟수  $i$ 에 대한 1차 함수가 되도록 모델링하였다.

$$E_R = \frac{c}{ai-b} + 0.53 \quad (3)$$

$$c = 0.69 - BER \quad (4)$$

$$a = 3 \quad (5)$$

$$b = 4.1 \quad (6)$$

특히, 식 (3)에서 각각의 계수들  $a, b, c$ 는 앞서 언급한 모델링 요구사항인  $BER=10^{-3}$  보다 작은 환경과 디코딩 반복횟수가 3회 이상에서 모델링에러가 최소화되도록 하는 것을 고려하여 선정하였다. 식 (4)에서 BER은 요구하는 Bit Error Rate 값을 나타내며 정수값을 갖는다. 일례로,  $BER=10^{-5}$ 에서 BER 값은 -5이다. 실험결과에서도 알 수 있듯이 디코딩 반복횟수인  $i$ 가 증가할수록 요구하는 BER 값을 만족시키기 위한 비트당 에너지 값인  $E_R$ 은 감소한다. 본 논문에서 모델링한 수식 (3)의 정확도를 살펴보기 위해서 다양한 BER

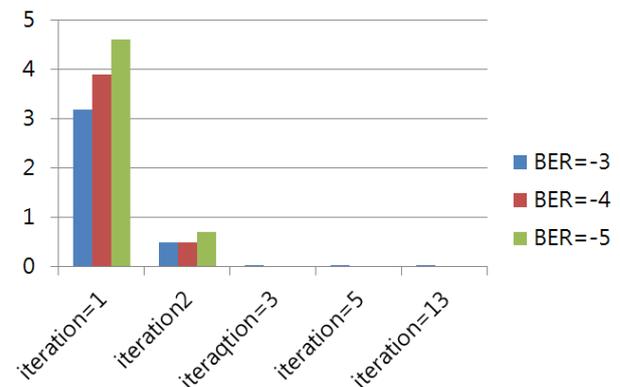


그림 3. 에너지 모델링 에러  
Fig. 3. Energy Modeling Error.

에서의 실제 요구되는 에너지값과 수식모델링을 통해서 얻어지는 에너지값의 차이를 알아보았다.

그림 3에서 가로축은 디코딩 반복횟수를 나타내며, 각각의 디코딩반복 횟수에 대해 BER=-3,-4,-5의 경우에 대하여 세로축은 모델링한 비트당 전송에너지와 그림 2의 실제 비트당 전송에너지와의 차이를 나타낸다. 즉, 세로축 값은  $\frac{|\text{실험치} - \text{모델링값}|}{\text{모델링값}} \times 100\%$ 를 나타낸다. 그림 3에서 보여지는 바와 같이 수식 모델링 오차는 디코딩 반복횟수(iteration)  $i$ 가 3회 이상부터는 본 논문에서 얻은 수식 모델링의 정확도가 증가함을 보여준다. 송신단에서의 비트당 전송에너지 값인  $E_T$ 를 구하기 위해서는 앞에서 모델링한  $E_R$  값에 송신단과 수신단간의 채널 이득값의 역수를 곱해주어야 하며, 다음과 같다.

$$E_T = \frac{1}{G} E_R = \frac{1}{G} \left( \frac{c}{(ai-b)} + 0.53 \right) \quad (7)$$

여기서  $G$ 는 채널이득값이다. 통계적으로 송신단말과 수신단말간의 거리가 멀어지면 채널 이득값인  $G$ 는 작아지게 되고, 목표로 하는 BER 값을 만족시키기 위해서는 더욱 큰 송신에너지가 필요하게 된다.

### III.B. 비트당 수신단 디코딩 프로세싱에너지 모델링

그림 2에서 보여지는 것처럼 디코딩 반복횟수의 증가는 BER 값의 감소를 가져온다. 즉, 송신단말이 비트당 송신에너지값을 높이지 않더라도 수신단에서 디코딩 반복횟수를 증가시키면 BER 값을 낮출 수 있다. 하지만, 디코딩 반복횟수를 계속 증가시킨다고 BER 값이

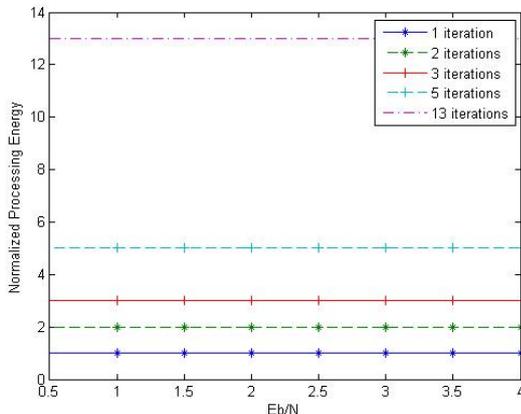


그림 4. 디코딩 횟수와 디코딩 처리에 소모되는 비트당 에너지

Fig. 4. Number of iterative decoding versus Decoding.

는 작아지게 되고, 목표로 하는 BER 값을 만족시키기 위해서는 더욱 큰 송신에너지가 필요하게 된다.

그림 2에서 보여지는 것처럼 디코딩 반복횟수의 증가는 BER 값의 감소를 가져온다. 즉, 송신단말이 비트당 송신 에너지값을 높이지 않더라도 수신단에서 디코딩 반복횟수를 증가시키면 BER 값을 낮출 수 있다. 하지만, 디코딩 반복횟수를 계속 증가시킨다고 BER 값이 계속적으로 감소하는 것이 아니라, 어느 임계치에 이르면 더 이상 BER 감소가 발생하지 않는다는 점은 이미 잘 알려진 사실이다.

수신단 디코딩 프로세싱 과정에서는 프로세싱 에너지가 소모된다. 그림 4는 반복적 디코딩 프로세싱 횟수에 대한 디코딩 프로세싱 과정에서 소모되는 비트당 에너지를 보여준다. 소모되는 비트당 에너지를 반복적 디코딩 횟수가 1회인 경우 (iteration=1)로 정규화하여 표시하였다. 특히, 본 논문에서는 그림4에서 얻은 수신단 디코딩 처리과정에서 소모되는 Processing Energy를 도출하기 위해서 WATTCH<sup>[11]</sup> tool을 적용하였다. WATTCH tool은 주로 아키텍처 레벨에서 프로세싱 에너지에 관한 데이터를 구하는 데 많이 적용되었고, 결과에 대한 신뢰도는 이미 이 분야에서 널리 알려진 바 있다<sup>[11]</sup>. 디코딩 프로세싱 에너지를 산출하는 과정을 간략히 요약하면 다음과 같다. 터보코드 실험을 위한 C언어 기반의 소스코드를 WATTCH tool에 임베디드시키고, C 코드를 실행한다. 구체적으로, 수신단 반복적 디코딩에서는 Modified Bahl Algorithm<sup>[6-7]</sup>을 적용하고, WATTCH tool를 이용하여 C언어 소스코드의 연산과정을 기반으로 계산량을 추적하고, 디코딩 프로세싱 에너지를 산출한다. 그림 4의 가로축은 송신단에서 적용된 비트당 에너지를 나타내며, 세로축은 소정의 횟수만큼 반복적 디코딩시 소모되는 비트당 에너지를 나타낸다. 그림 4의 결과에 의하면 디코딩 처리에 의해 소모되는 비트당 에너지는 송신단에서 적용한 비트당 에너지와는 관계가 없으며, 디코딩 반복횟수가 증가함에 따라 비트당 디코딩 에너지가 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 송신단과 수신단 사이의 채널이득값이 작을 경우에는 채널이득값을 보상하기 위해 높은 값의 송신단 전송에너지가 필요하다. 송수신단 채널이득값이 작을 경우에는 요구하는 BER 값을 만족시키기 위해 송신단 전송에너지를 높여주기 보다는 수신단 디코딩 반복횟수를 증가시키는 방법으로 비트당 전송시 소모되는 에너지를 줄일 수 있다. 식 (8)은 디코딩 반복횟수와 디코딩 처리과정에서 소모되는 에너지와의 관계를 수식으로 모델링

한 것이다.

$$E_D = A \times i \quad (8)$$

여기서 A는 한 번의 디코딩 과정에서 소모되는 비트당 디코딩 프로세싱 에너지(processing energy)이며, 비트당 디코딩 프로세싱 에너지는 디코딩 반복횟수에 정비례해서 증가한다. 이는 직관적으로도 알 수 있는 결과이며, 앞에서 언급했듯이 본 논문에서 디코딩 프로세싱에너지에 대한 데이터를 얻는 데 사용한 WATTCH tool에서는 연산량에 비례해서 소모되는 프로세싱에너지를 계산해준다.

#### IV. 최적화 해법

식 (7) 과 식 (8)에서 모델링한 비트당 송신에너지  $E_T$  와 비트당 디코딩 프로세싱 에너지  $E_D$ 를 최적화 문제 (1)에 대입하여 최적화문제를 다시 기술해 보면 다음과 같다.

$$\min \frac{1}{G} \left( \frac{c}{(ai-b)} + 0.53 \right) + Ai \quad (9)$$

$$s.t. \quad BER = T\_BER \quad (10)$$

식 (9)에서 알 수 있듯이, 본 논문에서 고려하는 최적화문제는 결국 송수신 에너지를 최적화하기 위한 최적의 디코딩 반복 횟수  $i$ 를 구하는 문제로 바뀌게 된다. 다시 말해, 목표로 하는 BER 값을 만족시키면서 송신단에서 소모되는 비트당 송신에너지와 수신단에서 소모되는 비트당 디코딩에너지의 합인  $E_T + E_D$ 을 최소화하는 최적의 디코딩 반복횟수값  $i^*$ 을 구하는 것이다.

식 (9)는  $i$ 에 대한 함수이므로 앞서 언급한 최적의 값을 구하기 위해서 식 (9)를 디코딩 반복횟수  $i$ 에 대해서 미분하여 얻을 수 있다.

$$\frac{d(E_T + E_D)}{di} = \frac{-1}{G} \frac{ac}{(ai-b)^2} + A \quad (11)$$

식 (11)에서 Boundary 값을 만족하는  $i$  값을 구하면 다음과 같다.

$$i^* = \frac{b + \sqrt{\frac{ac}{GA}}}{a} \quad (12)$$

식 (12) 에서 최적값인  $i^*$ 은 일반적으로 정수값이 아

니다. 본 논문에서 구하고자 하는 디코딩 반복횟수값인  $i$ 은 정수값이 되어야만 하므로, 최적의 에너지값을 도출하는 디코딩 반복횟수를 구하려면 식 (10)에서 얻은  $i^*$ 에 인접한 정수값인  $\lceil i^* \rceil$  또는  $\lfloor i^* \rfloor$  이 최적의 디코딩 반복횟수가 된다. 식 (10)에서  $a, b, c, A$ 의 값들은 상수이기 때문에 최적의 디코딩 반복횟수  $i^*$ 는 송신단과 수신단 사이의 채널이득값인  $G$ 에 따라 달라지게 된다.

#### V. 실험 예제

본 논문의 실험 예제를 위해서 송신단과 수신단 사이의 채널 이득은  $G = \frac{r}{d^4}$ 로 가정하였다.  $r$ 은 분산값으로  $8dB$ 를 가지는 로그노말 페이딩(log normal fading) 계수이다. 앞서 언급하였듯이, 본 논문에서는 송신단말과 수신단말이 특정한 지역에 고정되어 있어 이동성이 없으므로, 앞서 언급한 채널이득모델링은 타당한 모델링이라고 판단한다. 수신단에서 한 번의 디코딩 과정에서 소모되는 비트당 에너지값  $A$ 는 WATTCH tool 의 실험과정에 의거하여 본 논문 실험 예제에서는  $A=0.00001$ 로 설정하였다. 그림 5에서는 송신단과 수신단 사이의 거리의 변화에 따른 최적의 디코딩 반복횟수를 구한 그래프이다. 송수신단 사이의 거리  $d$ 가 커질수록 수신단 디코딩 반복횟수의 최적값은 커진다. 이는 송수신단 사이의 거리가 증가할수록 채널이득은 거리의 증가에 지수적으로 감소하기 때문에 더 큰 송신단 전송에너지 ( $E_T$ )가 필요해진다. 이 경

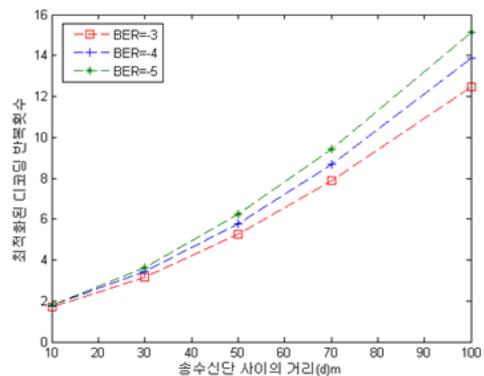


그림 5. 송수신단 거리에 따른 최적화된 디코딩 반복횟수

Fig. 5. Optimum number of decoding iteration for a range of distance between transmitter and receiver.

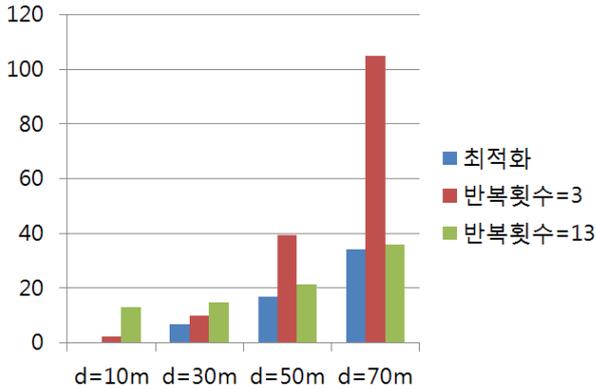


그림 6 디코딩 반복횟수에 따른 소모 에너지 (BER=10<sup>-4</sup>) 고려하는 기존 통신시스템인 LTE의 부프레임 길이

Fig. 6. Energy consumptions for different number of decoding iteration (BER=10<sup>-4</sup>)

우, 요구하는 BER 값을 만족시켜주기 위해서 송신단 전송에너지 ( $E_T$ ) 값을 증가시켜주기 보다는 수신단에서 디코딩 반복횟수를 증가시켜주는 편이 전체적인 에너지를 최적화하는 방안이 된다.

그림 6에서는 본 논문에서 제안하는 최적화 방안(디코딩 반복횟수 최적화)의 성능 분석이다. 일반적으로 요구하는 BER을 만족시키기 위해 어느 방법을 사용하더라도 송수신간 거리(d)가 커질수록 비트를 전송하는데 필요한 에너지는 커진다. 그림 6의 실험 결과를 살펴보면 송수신간 거리가 작을 때는 본 논문에서 제안하는 디코딩 반복횟수 최적화 방안을 적용하여 얻은 결과는 디코딩 반복횟수 3을 적용한 결과에 근접함을 알 수 있고, 송수신간 거리가 클 때는 디코딩 반복횟수 최적화 방안의 결과는 반복횟수 13을 적용한 결과에 근접함을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 M2M 송수신단말 Pair에서 데이터 전송시 소모되는 전송에너지와 수신단 반복적 디코딩 과정에서 소모되는 에너지의 합을 최적화하였다. 최적화 문제를 해결하기 위해서 먼저 송신단 전송에너지와 수신단 반복적 디코딩 프로세싱에너지를 실험결과를 기반으로 모델링하였다. 최적화 문제는 결국 에너지 소모를 최소화하도록 하는 반복적 디코딩 횟수를 구하는 문제로 귀결된다. M2M 송수신 단말 Pair 사이의 거리가 멀어질수록 수신단에서 더 많은 디코딩과정을 처리하여 궁극적으로 에너지를 최적화할 수 있다. 직관적으로 송

신단말과 수신단말사이의 거리가 멀어 채널이득값이 작아지게 되면 목표로 하는 BER을 만족시키기 위해 더욱 큰 송신에너지값이 필요하게 된다. 송신에너지값을 높여주는 대신 수신단에서 디코딩 반복횟수를 늘려주는 운용방식으로 목표로 하는 BER 값을 얻을 수 있다.

이와 같은 운용방식은 배터리 용량에 한계를 가지는 디바이스간 직접통신 환경에서 에너지 효율적인 송수신 방안은 배터리 사용시간을 연장해주는 방안이 될 것으로 예상된다.

본 논문에서는 M2M 단말의 위치가 고정되어있는 환경에서 에너지 최적화 문제를 고려하였다. M2M 단말은 응용분야에 따라 이동성을 가지는 경우도 많다. 따라서, 향후 연구에서는 단말의 이동성을 고려하여 송신 에너지와 이에 따른 수신단에너지를 모델링하고, 이를 기반으로 에너지 최적화방안을 연구할 예정이다. 채널 환경이 급격하게 변하는 환경에서는 재전송 기법을 통해서 에너지 효율을 높일 수 있을 것으로 예상된다. 따라서, 에너지 최적화 문제를 위해서 송신단에서 재전송 (Retransmission)하는 구성을 연구할 계획이다.

## REFERENCES

- [1] U.S. Department of Energy laboratory, "A Review of Battery Life-Cycle Analysis: State of Knowledge and Critical Needs," October 2010.
- [2] Fehske, A., Fettweis, G. ; Malmodin, J. ; Biczok, G. "The global footprint of mobile communications: The ecological and economic perspective", IEEE Communications Magazine, Vol 49, No. 8, pp. 30-37, June 2011.
- [3] Y. Chen, S. Zhang, and S. Xu, "Characterizing energy efficiency and deployment efficiency relations for green architecture design," in Proc. IEEE Int. Conf. Communications (ICC), Cape Town, South Africa, May 2010.
- [4] 3GPP, TR 23.888, System improvements for Machine-Type Communications (MTC).
- [5] IEEE P802.16p/D1: Draft Amendment to IEEE Standard Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Enhancements to Support Machine-to-Machine Applications 2011.
- [6] Daniel J. Costello at al., "Channel Coding: The Road to Channel Capacity," Vol. 95, No. 6, June 2007, Proceedings of the IEEE.
- [7] Berrou, C., Glavieux, A., and Thitimajshima, P., "Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo Codes," IEEE Proceedings

- of the Int. Conf. on Communications, Geneva, Switzerland, May 1993 (ICC '93), pp. 1064-1070.
- [8] S. Benedetto and G. Montorsi, B, Unveiling turbo codes: Some results on parallel concatenated coding schemes, IEEE Trans. Inform. Theory, no. 3, pp. 409 - 428, Mar. 1996.
- [9] L. C. Perez, J. Seghers, and D. J. Costello, Jr., BA distance spectrum interpretation of turbo codes, IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 42,no. 11, pp. 1698 - 1709, Nov. 1996.
- [10] J. Hagenauer and P. Hoeher, BA Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications, in Proc. GLOBECOM'89, vol. 3,pp. 1680 - 1686.
- [11] J. Lodge, R. Young, P. Hoeher, and J. Hagenauer, BSeparable MAP Ffilters\_ for the decoding of product and concatenated codes, in Proc. Int. Conf. Communications (ICC'93), Geneva, Switzerland, May 23 - 26, 1993, pp. 1740 - 1745.

— 저 자 소 개 —



오 창 운(정회원)

1999년 연세대학교 전기공학과  
학사 졸업

2001년 Pennsylvania State  
University, Electrical  
Engineering 석사 졸업

2005년 Pennsylvania State  
University Electrical  
Engineering 박사 졸업

2005년~2011년 삼성전자 DMC연구소  
책임연구원

2011년~현재 인하공업전문대학 정보통신과 교수  
<주관심분야 : Air Interface PHY/MAC 표준화,  
Resource Management, Frame Structure,  
Interference Alignment>