

의료용 in-body WBAN 시스템을 위한 Group Manchester code 변조 방식

준회원 최 일 목*, 정회원 원 경 훈*, 종신회원 최 형 진*

Group Manchester Code Scheme for Medical In-body WBAN Systems

Il Muk Choi*^o Associate Member, Kyung Hoon Won* Regular Member,
Hyung-Jin Choi* Lifelong Member

요 약

본 논문에서는 의료용 in-body WBAN (Wireless Body Area Network) 시스템을 위한 GM (Group Manchester code) 변조 방식을 제안한다. 현재 IEEE에서는 WBAN 시스템을 802.15. TG (Task Group) 6로 지정하고 이에 관한 표준화를 진행하고 있다. 높은 전력 효율이 요구되는 WBAN 시스템을 위해 최근 표준화 그룹에서는 PPM (Pulse Position Modulation) 신호 간의 grouping을 통하여 전송률 이득을 얻을 수 있는 GPPM (Group Pulse Position Modulation) 변조 방식이 제안된 바 있으나, 기존 GPPM 방식은 복조 과정의 SNR 손실 및 gray coding의 부재로 인한 BER 성능 열화가 나타나는 단점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 PPM 보다 잡음 성능이 우수한 Manchester code를 기반으로, GM 방식의 BER 성능 최대화를 위한 복조 방식 및 turbo coded GM을 위한 LLR (Log Likelihood Ratio) 판정 방식을 제안하였으며, 다양한 성능 분석을 통해 제안된 방식의 우수성을 입증하였다.

Key Words : WBAN, Grouping, PPM, Manchester code, GPPM, GM

ABSTRACT

In this paper, we propose group Manchester code (GM) modulation scheme for medical in-body wireless body area network (WBAN) systems. In IEEE, the WBAN system is assigned as 802.15. Task Group 6 (TG 6), and the related standardization is being progressed. Recently, in this Group, group pulse position modulation (GPPM), which can obtain data rate increase by grouping pulse position modulation (PPM) symbols, is proposed as a new modulation scheme for low-power operation of WBAN system. However, the conventional method suffers from BER performance degradation due to the absence of gray coding and its demodulation characteristics. Therefore, in this paper, we propose a modified GM scheme which groups Manchester code instead of PPM. In the proposed GM scheme, a low-complexity maximum likelihood (ML) demodulation method is employed in order to maximize the BER performances. Also, log likelihood ratio (LLR) decision method is proposed to employ the Turbo code as forward error correction (FEC). Finally, we verified that the proposed method has a good performance and is an appropriate scheme for in-body WBAN system through extensive performance evaluation.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-(C1090-1111-0005))

* 성균관대학교 정보통신공학부 통신시스템 연구실({reason, karess, hjchoi}@ece.skku.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-05-231, 접수일자 : 2011년 05월 30일, 최종논문접수일자 : 2011년 10월 10일

I. 서 론

최근 IT-BT 융합 기술의 일환으로 인체를 중심으로 약 3미터 이내에 존재하는 인체 내부의 장치 또는 외부에 부착되는 장치들간의 상호 통신을 제공하는 근거리 무선통신 기술인 WBAN (Wireless Body Area Network) 시스템이 각광받고 있다. WBAN 시스템은 심전도 및 근전도 등의 생체 신호를 측정함으로써 만성 환자 또는 노약자들의 건강상태를 모니터링하는 의료용 모니터링 시스템, 그리고 인체 외부 3미터 이내의 가전기기들 간의 네트워크를 형성하는 홈 네트워크 시스템 등 여러 근거리 네트워크 시스템에 적용이 가능하다^[1].

이러한 관심을 반영하여 IEEE에서는 WBAN 시스템을 802.15.TG (Task Group) 6로 지정하고 이에 대한 표준화를 진행하고 있다. WBAN 시스템은 응용 서비스에 따라 의료용 WBAN (Medical WBAN) 시스템과 비의료용 WBAN (Non-Medical WBAN) 시스템으로 구분된다. 의료용 WBAN 시스템은 인체 내부에 이식된 장치와의 무선 네트워크를 연결하는 in-body 시스템과 외부에 부착된 장치와의 무선 네트워크를 연결하는 on-body 시스템으로 구분한다^[2-4]. 이러한 WBAN 시스템의 PHY 연구는 UWB(Ultra Wide Band), NB(Narrow Band), 그리고 HBC (Human Body Communication)으로 나뉘어 수행되고 있다.

IEEE 802.15.TG6 에서는 WBAN 시스템의 표준화를 진행하며 몇 가지 기술적 요구사항을 정하고 있다^[5]. 최소 인체 주변 3m 이내의 장치 간의 네트워크는 지원 되어야 하며, 다양한 정보 전송률 (120kbps ~ 10Mbps)에 따른 전송률 확장이 가능해야 한다. 또한

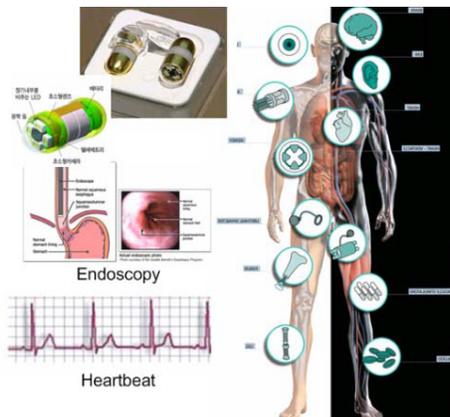


그림 1. 의료용 WBAN 시스템의 응용 분야^[3]

WBAN 시스템은 인체 내부 또는 인체 외부의 소형 장치가 이식 또는 부착되기 때문에 장비의 전력 관리를 위한 저전력 송·수신이 필수적이다. 이와 같은 요구사항 중, in-body WBAN 시스템에서 가장 중요한 것은 체내에 이식되는 장비의 전력 교체가 어려움에 따른 장치의 소형화 및 저전력 전송이며, 따라서 FSK (Frequency Shift Keying), PPM(Pulse Position Modulation), OOK(On-Off Keying), GMSK (Gaussian-filtered Minimum Shift Keying) 방식 등의 전력 효율적인 변조 방식의 사용이 논의되었다^[6].

최근 WBAN-UWB 시스템을 위한 변조 방식으로 복수의 PPM 심볼을 grouping 하여 전송률의 향상 또는 coding gain 획득을 목표로 한 GPPM (Group Pulse Position Modulation) 방식이 제안되었다. GPPM은 PPM을 기반으로 하기 때문에 PPM의 전력 효율적인 특징이 존재하며, 프레임 구조의 변형 없이 FEC (Forward Error Correction)가 적용된 심볼의 송신이 가능한 장점이 있다. GPPM의 변·복조는 수신기의 복잡도를 고려하여 약간의 SNR 손실을 감수하는 대신, 복조 과정의 복잡도를 낮추기 위한 심볼 맵핑 및 복조 방식을 적용 하였다^[7,8].

본 논문은 생체 신호 및 영상 정보의 송·수신을 목적으로 하는 의료용 in-body WBAN 시스템 환경을 고려한다. 위와 같은 환경에서는 수신 신호의 정확한 복조뿐만 아니라 송신기의 소형화 및 저전력 송신을 위해 구현상의 제약 조건이 적은 수신단의 복잡도를 증가시키더라도 복조 과정에서의 전력 성능을 최대화 하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 의료용 in-body WBAN 시스템에 적합한 Group Manchester code (GM) 변조 방식 및 BER 성능 향상을 위한 기법을 제안한다.

GM 방식은 PPM에 비하여 잡음 성능이 우수한 Manchester code를 기반으로 grouping을 수행함으로써 GPPM에 비하여 잡음 성능 향상으로 인한 SNR 이득을 얻을 수 있다. 또한 복조 복잡도 감소를 위한 변·복조를 수행하는 GPPM과 달리 다소 높은 복잡도를 갖더라도 부분 상반 방식 및 gray coding을 적용함으로써 BER 성능 향상을 도모하였다. 또한 grouping을 통하여 얻은 전송률 이득을 FEC 방식 중 하나인 turbo code의 code rate로의 효율적인 전환을 위한 LLR (Log Likelihood Ratio) 판정 방식을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 고려하는 의료용 in-body WBAN 시스템에 대하여 서술하고, III장에서는 GPPM 변조 방식을 분석한다. IV장에서는 GPPM에 비하여 향상된 BER 성능을

갖는 GM 변조 방식을 제안한다. V장에서는 제안된 방식과 기존의 방식간의 성능 비교를 통해 제안된 방식의 우수성을 입증한 뒤, 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

2.1 채널 모델

현재 IEEE 802.15 Task Group 6를 중심으로 표준화가 진행 중인 WBAN은 그림 2와 같이 인체 내, 외부에서의 통신을 위한 채널 모델을 고려한다. WBAN에서 고려되고 있는 각각의 채널 모델은 ISM (Industrial Scientific Medical) 대역을 이용한 RF 통신을 기반으로 하며, 장치간의 거리와 인체 조직의 주파수 특성을 PL (Path Loss)로 모델링하여 설계되었다. CM (Channel Model) 1은 인체 내부 장치 사이의 링크를 나타내고, CM 2는 인체 내부와 인체 표면 장치 사이에서의 링크를 나타낸다. 또한 CM 3은 인체 표면에 위치한 장치 사이에서의 링크를 나타내며, CM 4는 인체 표면에서 인체 외부 장치 사이의 링크를 나타낸다^[9].

본 논문에서 고려하는 시스템은 캡슐 내시경과 같이 인체 내부에 이식된 기기가 측정 또는 촬영한 생체 신호 및 영상 정보를 송신하며, 인체 내부의 송신기가 송신한 정보를 인체 외부에서 수신하여 복조 및 정보를 처리하는 구조를 가정한다. 즉, CM2 및 CM4와 같은 채널 구조를 고려한다. 이와 같은 구조를 고려할 경우, 수신기의 복잡도의 제한이 송신기에 비하여 상대적으로 자유로워지며, 송·수신기간의 비대칭 구조 설계가 가능하다.

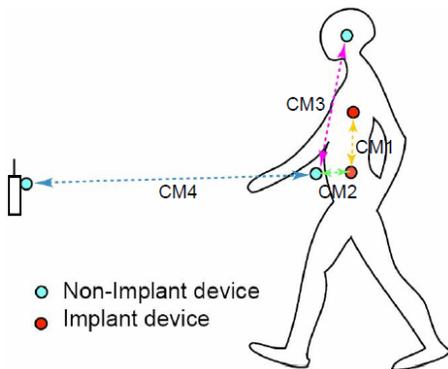


그림 2. 고려하는 시스템의 채널 모델^[9]

2.2 시스템 요구사항

본 시스템은 인체 내부에 이식된 기기가 측정 또는 촬영한 생체 신호 및 영상 정보를 송·수신하며, 정밀한 진단을 위하여 수신된 생체 정보의 정확한 복조가 요구된다. 표준화 그룹에서 WBAN 시스템을 위하여 제시한 시스템 요구사항은 다음과 같다. 현재 상용화되어 이용되는 캡슐내시경과 같은 송신기의 전송률은 2~3 Mbps이며, 30 프레임 당 1920×1080 pixel의 영상 정보 전송이 가능하다. 현재 표준화 그룹에서는 보다 더 정밀한 진단 및 고해상도의 영상 정보 송·수신을 위하여 인체 주변 3m에서 비트에러율 (BER: Bit Error Rate) 10^{-6} 이하의 10~20 Mbps급 in-body 네트워크 개발을 목표로 하고 있다^[10,11].

하지만 인체 내부에 존재하는 송신기의 크기가 제한됨에 따라 배터리 관리를 위한 전송 전력 제한이 존재하며, 현재 1 mW 정도의 최대 송신 전력 제한을 두고 있다. 이에 따라 in-body WBAN 시스템을 위하여 SNR의 손실을 최소화하는 변조 방식이 요구되며, SNR 손실이 존재하는 복조 구조 보다는 다소 복잡도가 높더라도 최대 복조 성능을 얻기 위한 수신기 설계가 필요하다. 또한, 송신기는 인체 내부에서 동작하기 때문에 효율적인 배터리 관리를 위해 최대한 간단한 동작을 수행해야 하지만, 수신기는 인체 외부에 존재함에 따라 상대적으로 높은 복잡도를 가질 수 있는 비대칭 구조를 갖는다. 따라서 본 논문에서는 위와 같은 의료용 in-body WBAN 시스템을 위한 GM 방식의 여러 기법들을 제안한다.

III. Group Pulse Position Modulation

GPPM는 PPM을 grouping 함으로써 전송률의 향상 또는 coding gain을 얻을 수 있는 변조 방식으로 그림 3과 같이 grouping 된 심볼 범위 내에서 여러 전이 심볼 조합을 만드는 기법을 의미한다^[7,8]. 그림 3은

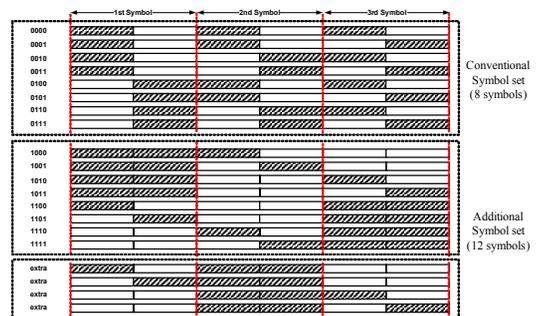


그림 3. 3 심볼 GPPM 변조 방식^[7]

3 심볼 구간을 grouping한 GPPM 방식으로써, 기존의 8개의 PPM의 심볼 조합 이외에 grouping으로 인한 12개의 추가적인 심볼 조합이 가능하다. 추가로 생성된 12개의 심볼 조합 중, 8개의 심볼 조합을 이용하여 1 bit의 정보를 추가적으로 전송할 수 있으며, 이러한 전송률 이득을 이용하여 프레임 구조의 변형 없이 FEC의 적용이 가능한 장점이 있다.

Grouping duration N_{sym} 에 따른 생성 가능한 심볼 수 N_{Gsym} 는 식 (1)과 같이 조합 연산을 통하여 얻을 수 있으며, 또한 grouping duration에 따른 엔트로피는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{Gsym} = 2N_{sym} C_{N_{sym}} = N_{used} + N_{extra} = 2^m + N_{extra} \quad (1)$$

$$H(S_{N_{sym}}) = - \sum_i^{N_{Gsym}} P_{N_{sym,i}} \times \log_2(P_{N_{sym,i}}) \quad (2)$$

$$= N_{Gsym} \times \frac{1}{N_{Gsym}} \log_2(N_{Gsym})$$

여기서, N_{used} 는 grouping을 통하여 사용 가능한 심볼 수를 나타내며, N_{extra} 는 grouping을 통하여 얻은 심볼 중 사용하지 않는 심볼 수를 나타낸다. $P_{N_{sym,i}}$ 은 i 번째 GM 심볼이 발생할 확률을 의미한다. Grouping duration에 따른 엔트로피 및 전송률 이득은 표 1과 같으며, PPM과 GPPM 방식의 엔트로피 비교를 통하여 GPPM이 기존의 PPM에 비하여 추가적인 에너지 소비 없이 엔트로피를 증가시킬 수 있고, 이러한 bit 엔트로피 증가는 전송률의 이득으로 나타남을 확인할 수 있다.

그림 4 (a)는 GPPM의 변조 과정을 나타내며, 각 bit 정보에 따라 맵핑 규칙과 위치를 결정한다. 그림 4 (b)는 GPPM의 복조 과정을 나타내며, 변조 규칙에 따라 심볼 구간 별 에너지 비교를 통한 복조를 수행한다. 하지만 GPPM은 gray code를 고려하지 않은 심볼 맵핑 방식을 적용함으로써 복조 과정의 복잡도는 감소시킬 수 있으나, 복조 과정에서 발생하는 오차 및 gray coding의 부재로 인한 BER 성능의 열화가 나타

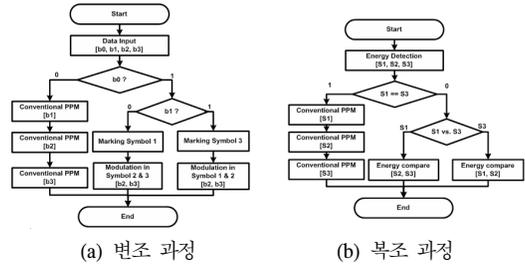


그림 4. GPPM 변·복조 방식^[7]

나는 단점이 존재한다. 또한 GPPM을 통하여 변조하였을 경우, 전송률 이득의 획득 및 저전력 전송이 가능하지만 grouping이 수행된 PPM 심볼들의 잡음 특성 열화로 인한 BER 성능 열화가 나타난다.

IV. Group Manchester code

본 논문에서 고려하는 in-body WBAN 시스템의 변조 방식으로 기존에 제안된 GPPM을 적용할 경우, PPM의 잡음 특성 열화와 복조 과정에서 발생하는 오차로 인한 BER 성능의 열화가 나타난다. 따라서 본 논문에서는 이러한 성능 열화를 개선하기 위하여 PPM과 유사하지만 잡음 성능이 보다 우수한 Manchester code를 grouping하는 GM 방식을 제안하며, SNR 손실을 최소화하기 위하여 GM 방식을 위한 부분 상관 방식 및 LLR 판정 방식을 제안한다.

4.1 GM을 위한 Gray coding

기존의 GPPM 방식은 gray code를 적용하지 않고 복조 과정의 복잡도 감소를 위한 심볼 맵핑 방식을 적용하였으며, 간단한 복조 과정에 의한 복조 정확도의 열화가 나타났다. 하지만 본 논문에서 고려하는 송·수신단의 비대칭 구조를 갖는 in-body WBAN 시스템을 설계할 할 경우, 다소 복잡도가 높더라도 최대 복조 성능을 얻기 위한 시스템 설계가 요구된다. 따라서 본 논문에서는 SNR 손실을 최소화하기 위하여 gray code를 적용한 GM 방식을 제안한다.

Manchester code를 grouping 함으로써 얻는 엔트

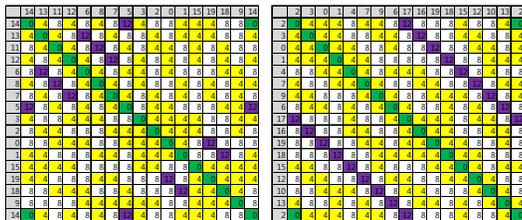
표 1. Grouping 구간에 따른 GPPM의 entropy 증가 및 전송률 이득

N_{sym}	Entropy		N_{Gsym}	N_{used}	Data rate gain
	PPM	GPPM			
2	2.0000	2.5849	6	4	1
3	3.0000	4.3219	20	16	4/3
4	4.0000	6.1292	70	64	3/2
5	5.0000	7.9772	252	128	7/5

로피 증가와 전송률 이득은 GPPM과 동일하지만, Manchester code의 평균 전력 P_{avg} 및 심볼 간 최소 거리는 PPM에 비하여 2배이다. 따라서 동일 전력 전송 및 동일한 복조 방식을 고려할 때 심볼 오류 확률은 식 (3)에 의해 3dB 정도 우수 하게 나타난다^[12].

$$P_e = Q\left(\frac{d_{\min}}{\sqrt{2N_0}}\right) \quad (3)$$

기존의 GPPM 방식은 gray code를 적용 하지 않았지만, GM 방식은 bit 오차의 최소화를 위하여 gray code를 적용한다. Grouping을 통하여 생성 가능한 모든 심볼 조합의 hamming distance를 결정 한 후, hamming distance에 따른 gray code를 재배치한다. Hamming distance가 가까울수록 bit 차이가 적은 위치에 배치하며, Hamming distance가 멀수록 bit 차이가 큰 위치에 배치한다. 그림 5는 gray code의 적용 유·무에 따른 심볼 간 hamming distance를 나타낸다. 가로와 세로축의 index는 GM 심볼 index를 나타내며 gray code에 따라 정렬 되어있다. 기존의 GPPM 방식과 같이 심볼 맵핑을 수행하였을 경우, 그림 5 (a)에서 보듯 gray code가 적용 되지 않아 인접 심볼 간의 hamming distance가 규칙적으로 정렬되지 않는 모습을 보인다. 하지만 그림 5 (b)와 같이 gray code를 적용 하였을 경우, 인접 심볼 간의 hamming distance가 정렬되어 있는 모습을 보이며, gray code를 적용함으로써 심볼 간 bit 차이에 따라 hamming distance가 증가하도록 심볼을 배치됨을 확인 할 수 있다.



(a) 기존의 GPPM 맵핑 (b) Gray code를 적용한 맵핑
 그림 5. Gray code 적용 유·무에 따른 심볼 맵핑

4.2 부분 상관 방식 (PC decision: Partial Correlated decision)

기존의 GPPM 방식의 복조 방식은 SNR 손실을 감수하는 대신 복잡도를 낮추어 설계함으로써 복조 과정에서 추가적인 성능 열화가 발생하였다. 이와 같은 성능 열화를 감소시키기 위하여 GM 방식의 복조 방

식은 식 (4)와 같이 수신 신호 $y[n]$ 와 참조 심볼 $r_k[n]$ 간의 최대 우도 방식을 통한 복조 과정을 제안한다. 그림 6과 같은 최대 우도 방식을 적용할 경우, 매 심볼마다 상관 연산을 수행해야 하기 때문에 상관기 수의 증가에 따른 복조 과정의 복잡도는 증가되는 단점이 존재하지만, 기존의 GPPM의 복조 과정의 SNR 손실로 인하여 나타나는 BER 성능 열화를 개선하여 복조 성능의 최대화가 가능하다.

$$\hat{y} = \arg \max_k \sum_{n=0}^{N_{Gsam}} y[n] r_k[n] \quad (4)$$

여기서 N_{Gsam} 은 grouping 연산을 통한 GM 심볼의 샘플 수를 나타낸다. k 는 참조 심볼 인덱스이다. 최대 우도 방식을 적용하여 복조를 수행할 경우, 모든 심볼 조합에 대하여 각각 상관 연산을 수행하기 때문에 다수의 상관기 사용에 따른 곱셈 연산 복잡도가 높은 단점이 존재한다. 따라서 최대 우도 방식을 적용으로 인하여 높아지는 복조 복잡도를 감소시키기 위하여 부분 상관 연산을 통하여 복잡도를 감소시킬 수 있는 개선된 부분 상관 방식을 제안한다.

그림 7은 제안하는 부분 상관 방식의 블록도를 나타낸다. 부분 상관 방식은 먼저 식 (5)와 같이 각 $T/2$ 구간의 상관 연산 결과를 얻고, 구간별 상관 연산 결과를 Look-up table에 따라 조합함으로써 사용되는 모든 심볼 조합 중 최대 상관 값을 갖는 심볼을 찾는다.

$$P_i = \sum_{n=0}^{N_{Gsam}/2N_{sym}} A \cdot y \left[n + i \cdot \frac{T}{2} \right] \quad (5)$$

여기서 A 는 송신 신호의 송신 레벨을 나타낸다. GM 방식은 구간별 심볼 레벨의 절대값이 동일하기 때문에, 동일한 참조 레벨로 각 구간별 상관 연산을 수행한 후, 부호 조절을 통해 구간별 상관 값 및 심볼

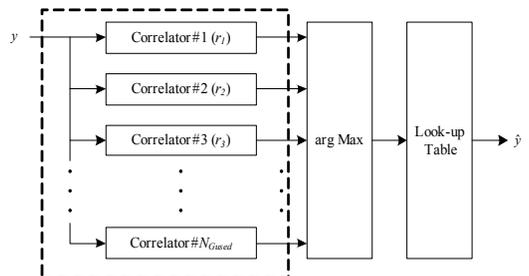


그림 6. 최대 우도 방식 블록도

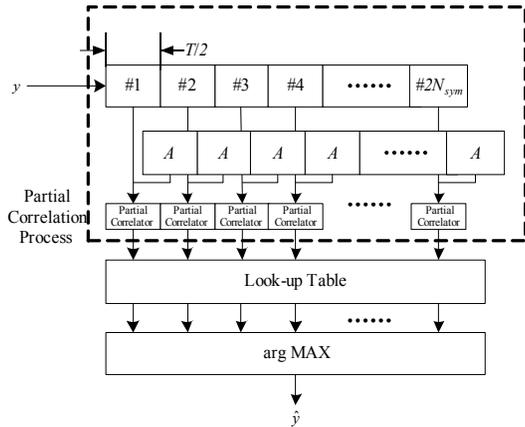


그림 7. 부분 상관 광정 방식의 블록도

의 상관 값을 결정 할 수 있다. 따라서 GM 방식의 복조 방식으로 부분 상관 방식과 같이, 각 심볼 조합에 따른 상관 연산을 수행하지 않고, 부분적으로 상관 연산을 수행한 후, 그 결과를 조합하여 상관 결과를 얻는 방식의 적용이 가능하다. GM 방식의 복조 방식으로 부분 상관 방식을 적용함으로써 사용하는 상관기의 개수와 곱셈 연산의 수가 감소하며, 이에 따라 복조 과정의 복잡도 감소가 가능하다.

4.3 Turbo Coded GM 방식을 위한 Log Likelihood Ratio 판정 방식

GM 방식은 GPPM 방식과 동일하게 grouping을 수행하여 추가적인 심볼 조합 구성이 가능하며, 추가적인 심볼 조합을 통하여 전송률 이득을 얻을 수 있다. 따라서 grouping 연산을 통하여 얻은 추가적인 전송률 이득을 FEC의 coding gain으로 전환하여 BER 성능의 개선이 가능하다. 적용 가능한 FEC 방식 중, turbo code는 길쭉 부호를 병렬 연결하는 방식으로, 두 개 이상의 구성 부호화에 같은 시퀀스의 서로 다른 배열을 적용하는 것이다. Turbo code는 연판정 반복 복호 방식을 적용하며, 이 방식은 MAP (maximum A Posteriori) 알고리즘을 통하여 비트 단위의 정보를 발생시킬 수는 없었던 Viterbi 알고리즘의 단점을 보완하여 연판정을 수행하게 된다. 일반적인 turbo code의 연판정을 위한 LLR은 다음과 같이 나타낼 수 있다^[13].

$$LLR(b_k) \approx \log \frac{\max_{\alpha \in S_k^{(1)}} P[Y_k | X_k = \alpha]}{\max_{\alpha \in S_k^{(0)}} P[Y_k | X_k = \alpha]} \quad (6)$$

$$\approx \left\{ \min_{\alpha \in S_k^{(0)}} |Y_k - H_k X_k|^2 - \min_{\alpha \in S_k^{(1)}} |Y_k - H_k X_k|^2 \right\}$$

여기서 Y_k 는 수신 신호를 나타내며, X_k 는 송신 신호이고, H_k 는 채널 왜곡 성분이다. $S_k^{(0)}$ 와 $S_k^{(1)}$ 는 b_k 가 0 또는 1인 심볼 그룹을 나타낸다. 하지만, GM 방식은 bit와 심볼 간의 규칙성이 존재 하지 않기 때문에, 식 (6)과 같이 boundary를 구성하여 LLR을 판정하기에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 식 (6)을 응용하여 식 (7)과 같이 b_k 의 LLR을 판정하기 위하여 b_k 위치의 bit가 1인 심볼 그룹을 α 라 하고, 0인 심볼 그룹을 β 라고 할 때, 각 bit 그룹내의 최대 상관 값의 차를 이용한 LLR 판정 방식을 제안한다.

$$LLR(b_k) = \max_{\alpha \in S_k^{(1)}} E_\alpha - \max_{\beta \in S_k^{(0)}} E_\beta \quad (7)$$

여기서 E_α 와 E_β 는 각 bit 그룹의 최대 상관 값을 의미 한다.

V. 모의 실험 결과

본 장에서는 기존 및 본 논문에서 제안된 변조 방식들 간의 성능 비교 결과를 기술하였으며, 성능 평가를 위하여 컴퓨터 모의 실험을 통한 uncoded 및 coded BER 성능 평가를 수행한다. 제안된 변조 방식과 기존의 변조 방식의 성능 비교를 위해 적용된 파라미터는 표 2와 같다.

표 3은 복조 방식에 따른 복잡도를 나타낸다. 표에 나타났듯 부분 상관 판정 방식을 적용할 경우, $2N_{sym}$ 개의 상관기를 사용함으로써 N_{Gused} 개의 상관기를 사용하는 최대 우도 방식에 비해 상관기의 수를 감소시킬 수 있음을 확인 할 수 있으며, 상관기의 수가 줄어들어 따른 곱셈 연산 수 역시 감소됨을 나타낸다. 그림 8은 복조 방식 및 변조 방식에 따른 uncoded BER 성능을 나타낸다. 동일한 GPPM 방식을 적용하였을

표 2. 주요 시스템 파라미터

Parameter	Value
Bandwidth	6 MHz
Symbol duration	166.7 ns
Channel model	AWGN channel
Oversample (Samples)	8
Sample duration	20.8 ns
FEC	Turbo code
Coded block length	3000
Iteration	8
Interleaver	ON

표 3. 복조 방식에 따른 복잡도 비교

Parameters	ML decision	PC decision
N_{Gsam}	$N_{sym} \times Oversample$	$N_{sym} \times Oversample$
# of correlator	NGused	2Nsym
# of multiplier	NGused \times NGsam	NGsam

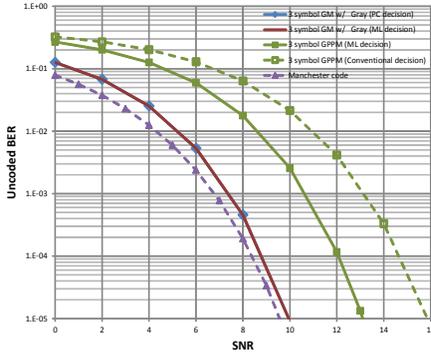


그림 8. 복조 방식 및 변조 방식에 따른 un-coded BER 성능

경우, 기존의 복잡도가 낮은 복조 방식에 비하여 최대 우도 방식을 이용한 복조 방식이 약 3 dB의 성능 이득을 얻을 수 있음을 확인 할 수 있다. 또한, 최대 우도 방식을 통하여 복조를 수행했을 경우, 잡음 성능이 우수한 3 심볼 GM (3GM) 변조 방식이 3 심볼 GPPM (3GPPM) 방식에 비하여 약 3 dB의 이득이 나타난다. GM 방식을 복조 할 경우, 부분 상관 방식은 최대 우도 방식과 같은 잡음 감쇄 효과를 얻을 수 있기 때문에 최대 우도 방식과 동일한 BER 성능을 나타냄을 확인 할 수 있으며, 부분 상관 방식이 복조 과정의 SNR의 손실 없이 복조 복잡도를 감소 시킬 수 있음을 입증한다.

그림 9는 3GM 과 4GM 방식의 gray code 적용 유·무에 따른 un-coded BER 성능을 나타낸다. 3GM 과 4GM 두 방식 모두 gray code를 적용 함으로써 BER = 10⁻⁵ 기준, 모두 0.2 dB의 성능 이득이 존재하며, 낮은 SNR 환경에서 성능 이득이 더 큼을 확인 할 수 있다. 또한 Manchester code에 비하여 BER = 10⁻⁵ 기준, 3GM의 경우 0.4 dB, 4GM의 경우 0.8 dB의 un-coded BER 성능 열화가 나타나며, 이를 통하여 grouping duration과 SNR 간의 trade off 관계가 존재함을 확인 할 수 있다.

그림 10은 제안된 LLR 판정 방식을 이용하여 turbo coded GM 방식의 coded BER을 얻은 결과이다. 동일한 전송률을 가정할 때, 그림에서 보듯 3GM의 경우 code rate 3/4의 FEC가 적용가능하며, 그 결

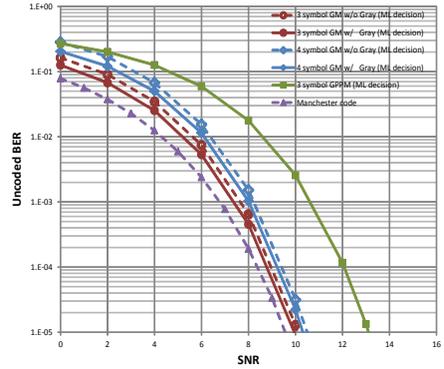


그림 9. 3GM 방식과 4GM 방식의 gray code 적용 유·무에 따른 un-coded BER 성능

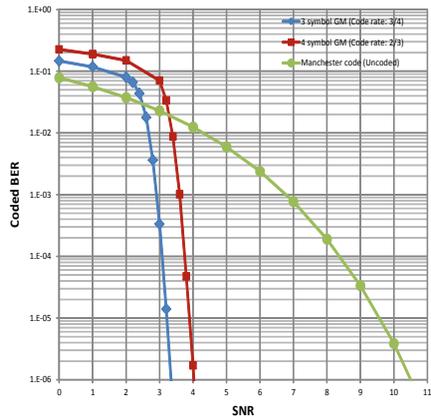


그림 10. Turbo coded GM 방식의 coded BER 성능

과 동일한 전송률을 갖는 Manchester code에 비하여 SNR = 10⁻⁶ 기준, 약 7.2 dB의 성능 이득이 존재함을 확인 할 수 있다. 또한 4GM의 경우 2/3의 FEC가 적용가능하며, Manchester code에 비하여 SNR = 10⁻⁶ 기준, 약 6.3 dB의 성능 이득이 나타났다.

VI. 결 론

본 논문에서는 의료용 in-body WBAN 시스템을 위한 GM 변조 방식을 제안하였다. 본 논문에서 고려하는 시스템은 인체 내부에 송신된 생체 신호 및 영상 정보의 정확한 복조가 요구되며, SNR 손실이 존재하는 복조 구조 보다는 다소 복잡도가 높더라도 최대 복조 성능을 얻기 위한 수신기 설계가 필요하다. 이에 따라 복조 과정의 낮은 복잡도로 인하여 SNR의 손실이 발생하는 기존의 GPPM 방식을 의료용 in-body WBAN 시스템의 변조 방식으로 적용하기에 적합하

지 않다. 따라서 본 논문에서는 PPM에 비하여 전력 효율이 높은 Manchester code를 grouping 함으로써 GPPM에 비하여 우수한 SNR 성능을 가지고, gray code를 적용 함으로써 추가적인 BER 성능의 이득을 얻을 수 있는 GM 방식을 제안하였다. 또한, GM 방식을 위하여 최대 우도 방식과 동일한 복조 성능을 갖지만 최대 우도 방식에 비해 복잡도가 낮은 부분 상관 방식을 제안하였다. 효율적인 FEC 적용을 위하여 turbo coded GM 방식의 LLR 판정 방식을 제안함으로써 최적의 coded BER 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다. 수식 및 모의 실험을 통한 성능 비교 분석을 바탕으로 제안된 GM 변조 방식이 in-body WBAN 시스템을 이용한 의료기기간의 통신을 효과적으로 수행할 수 있음을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] 남홍순, 이형수, 김재영, "WBAN 응용서비스 동향", *전자통신동향분석* 제24권 제5호, 2009.10.
- [2] 최영우, 김유진, 이형수, 김재영, "IT-BT 융합분야에서의 WBAN 개발 동향", *주간 기술동향* 1361호, 2008. 08.
- [3] 이형수, "Medical BAN 기술 동향", *한국전자파학회지 전자파기술* 제19권 제5호, 2008. 09.
- [4] IEEE P802.15-08-0407-03-0006, 802.15.6 Call for Application-Response Summary, Jul. 2008.
- [5] IEEE P802.15, TG6 Technical Requirements Document, IEEE, Piscatway, N.J., Sep. 2008.
- [6] IEEE P802.15-10-0010-01-0006, NICT narrow-band PHY proposal, Jan. 2010.
- [7] IEEE P802.15-09-0137-02-0006, Group PPM method to 802.15 TG6, Mar. 2009.
- [8] J. H. Hwang, J. M. Kim, "WBAN system using GPPM algorithm for IEEE 802.15 TG6," *in Proc. Bodynets2010*, Sept. 2010.
- [9] IEEE P802.15-08-0783-01-0006, In-body Channel modeling for WBAN with various frequency bands, Nov. 2008.
- [10] IEEE P802.15-09-0179-00-0006, PSSK Proposal for High-data-rate In-body WBAN PHY (ETRI), Mar. 2009.
- [11] J. Y. Oh, J. H. Kim, H. S. Lee, J. Y. Kim, "PSSK Modulation Scheme for High data rate Implantable Medical Devices," *IEEE Trans. On ITB*, Vol.14, No.3, May. 2010.

- [12] C Stallings, William. *Data and Computer Communications*, 7th ed. Prentice Hall, 2004, pp.137-138.
- [13] C. Berrou and A. Glavieux, "Near Optimum Error Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.44, No.10, Oct. 1996, pp.1261-1271.

최 일 목 (Il Muk Choi)

준회원



2010년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업
 2010년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 석사과정
 <관심분야> 무선 및 이동 통신 모뎀 동기 기술, OFDM, LTE

원 경 훈 (Kyung Hoon Won)

정회원



2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업
 2010년 2월 성균관대학교 전기컴퓨터공학과 석사
 2010년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사과정
 <관심분야> 무선 및 이동 통신 모뎀 동기 기술, OFDM, LTE

최 형 진 (Hyung-Jin Choi)

종신회원



1974년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업
 1976년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 석사
 1976년 3월~1979년 7월 (주) 금성사 중앙연구소 연구원
 1979년 9월~1982년 12월 미국 Univ. of Southern California 전기공학과 (공학박사)
 1982년 10월~1989년 2월 미국 Lincom Corp. 연구원
 1989년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수
 <관심분야> 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술