

터보코딩 및 고차변조를 적용하는 3GPP GERAN 진화 시스템: 비트 신뢰도 기반의 심볼 매핑

준회원 오형주*, 정회원 최병조**, 종신회원 황승훈*, 정회원 최종수***

3GPP GERAN Evolution System Employing High Order Modulation and Turbo Coding: Symbol Mapping Based on Priority

Hyeong-Joo Oh* Associate Member, Byoungjo Choi** Regular Member, Seung-Hoon Hwang* Lifelong Member, Jongsoo Choi*** Regular Member

요약

본 논문에서는 터보코딩 및 고차변조를 적용하는 3GPP GERAN 진화 시스템 물리계층에 비트 신뢰도 기반의 심볼 매핑 방법(Symbol Mapping based on Priority: SMP)을 최초로 적용하여 그 성능을 살펴보고자 한다. SMP는 터보코딩에서 정보비트(systematic bits)의 중요성을 이용하여 정보비트를 신뢰도 높은 비트에 매핑시키는 기술로서 본 기술을 GERAN 진화 시스템에 적용시켰을 때, 링크 레벨 시뮬레이션을 통해 16QAM(DAS-8)과 32QAM(DAS-11)의 변조/코딩 방식에 대해서 성능이득이 있음을 확인할 수 있다.

Key Words : GERAN evolution system, HOMTC (High Order Modulation and Turbo coding), SMP(Symbol Mapping based on Priority)

ABSTRACT

In this paper, we investigate the performance of SMP-assisted 3GPP GERAN evolution system employing high order modulation and turbo coding. When applying the SMP which maps systematic bits into highly reliable bit positions, it is confirmed that there is the performance gain for the modulation and coding schemes of 16QAM(DAS-8) as well as 32QAM(DAS-11) by link level simulation.

I. 서론

GSM (Global System for Mobile communication) 및 GSM 진화 시스템인 EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)는 전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 셀룰라 이동통신 시스템이다.

GSM/EDGE 서비스 가입자 추이를 살펴보면 2007년 6월 기준 25억 명에 달한다. 이는 전세계 이동통신 가입자의 80% 이상을 차지하고 있다^[1]. 그림 1은 GSM의 진화방향을 알려준다. 진화하는 과정의 첫 번째는 Rel'(Release) 97 표준에 채택된 GPRS(General Packet Radio System) 기술이다.

* 동국대학교 공과대학 전자공학과 (shwang@dongguk.edu)

** 인천대학교 멀티미디어시스템공학과

*** 삼성전자 통신연구소

논문번호 : KICS2007-11-526, 접수일자 : 2007년 11월 26일, 최종논문접수일자: 2008년 5월 22일

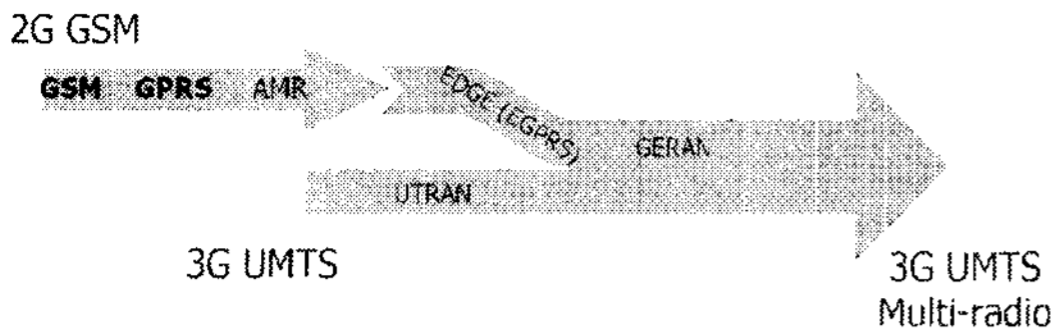


그림 1. GSM 진화 경로

GPRS는 GSM 네트워크 기반에서 소개된 패킷 기반의 효과적인 전송 서비스이다. 그 후 Rel'98에서 AMR(Adaptive Multi Rate)이 채택되었다. Rel'99에는 EDGE(Enhanced Data rate for Global Evolution)가 소개되었다. EDGE에서는 GSM의 기본 변조방식인 GMSK 뿐만 아니라 8PSK 변조방식을 추가하였다. EDGE가 포함된 Rel'99의 기본적인 골격은 3G UMTS 서비스에서도 GSM/EDGE 서비스가 가능하도록 지원해야 한다. 이러한 공동의 서비스가 가능하도록 Rel'5가 표준화되었다. 즉 Rel'5에 GSM/EDGE 기술이 UTRAN(UMTS Terrestrial Radio Access Network)에 잘 접목될 수 있도록 GERAN(GSM EDGE Radio Access Network)이 개발되었다²⁾.

GERAN의 진화된 표준 Rel'7에 표준화하고 있는 주요 기술 중에는 터보코딩 및 고차변조가 있다. 이를 적용함에 있어 8PSK, 16QAM 및 32QAM의 각각의 변조 방식의 경우 정상도의 비트 심볼간 매핑에 따라 그룹별로 다른 비트 신뢰도(bit reliability) 패턴을 가지게 된다. 본 논문에서는 터보코딩과 고차변조를 적용하는 GERAN 진화 시스템의 물리계층에 비트 신뢰도 기반의 심볼매핑(SMP: Symbol Mapping on based Priority)을 최초로 적용하여 그 성능을 분석해보고자 한다. 병렬 인터리버와 SMP 기술은 TS25.212의 HS-DSCH에서 16QAM에 대해 표준화된 기술로서³⁾, 본 논문에서는 GERAN 진화시스템에서 해당 기술의 적용가능성을 성능에 기반하여 최초로 검토하고 표준화 가능성을 분석해본다. 본 논문의 II장에서는 SMP에 대한 소개를 하고 III장에서 GERAN 진화 시스템에 적용된 SMP를 설명하고, IV장에서 시뮬레이션 환경 및 수치 결과를 분석해본 후 V장에서 결론을 맺는다.

II. SMP(Symbol Mapping on based Priority)

GERAN 진화 시스템에 적용되는 16QAM,

표 1. 비트 위치에 따른 신뢰도 ⁴⁾

변조방식	비트 신뢰도 패턴
8PSK	[H H L]
16QAM	[H H L L]
32QAM	[H L M H L]

H: 신뢰도가 높은 비트
M: 신뢰도가 중간인 비트
L: 신뢰도가 낮은 비트

8PSK, 32QAM의 경우 정상도의 비트 심볼간 매핑에 따라 그룹별로 다른 비트 신뢰도 (bit reliability) 패턴을 가지고 있다.⁴⁾ 표 1은 비트위치에 따른 신뢰도를 변조방식별로 보여주고 있다.

예를 들어 그림 2는 16QAM에서 변조된 비트의 심볼매핑을 나타낸다⁵⁾. 여기서 첫 번째 비트는 I축을 기준으로 0이하인 부분은 비트 '1'이고 0이상인 부분은 비트 '0'이다. 두 번째 비트는 Q축을 기준으로 0이하인 부분은 비트 '1'이고 0이상 부분은 비트 '0'이다. 세 번째 비트는 I축을 기준으로 $-2d$ 이하 또는 $2d$ 이상인 비트 '1'이고 $-2d$ 와 $2d$ 사이 부분은 비트 '0'이다. 네 번째 비트는 Q축을 기준으로 $-2d$ 이하 또는 $2d$ 이상인 비트 '1'이고 $-2d$ 와 $2d$ 사이 부분은 비트 '0'이다. 여기서 첫 번째와 두 번째 비트가 신뢰도가 높은 비트들이며 세 번째와 네 번째 비트가 신뢰도가 낮은 비트들이다.

이러한 비트 위치에 따라 다른 신뢰도 특성을 바탕으로 터보코딩을 사용하는 하향링크의 경우 정보 비트(systematic bit)를 신뢰도가 높은 비트 위치에 매핑하여 전송하고, 패리티 비트(parity bit)는 신뢰도가 낮은 비트 위치에 매핑하여 전송함으로써 성능을 향상시키는 SMP 기술이 GERAN 진화 시스템의 표준으로 검토되고 있다. 이와 같은 16QAM에 대한 비트 위치에 따른 다른 신뢰도 특성을 각

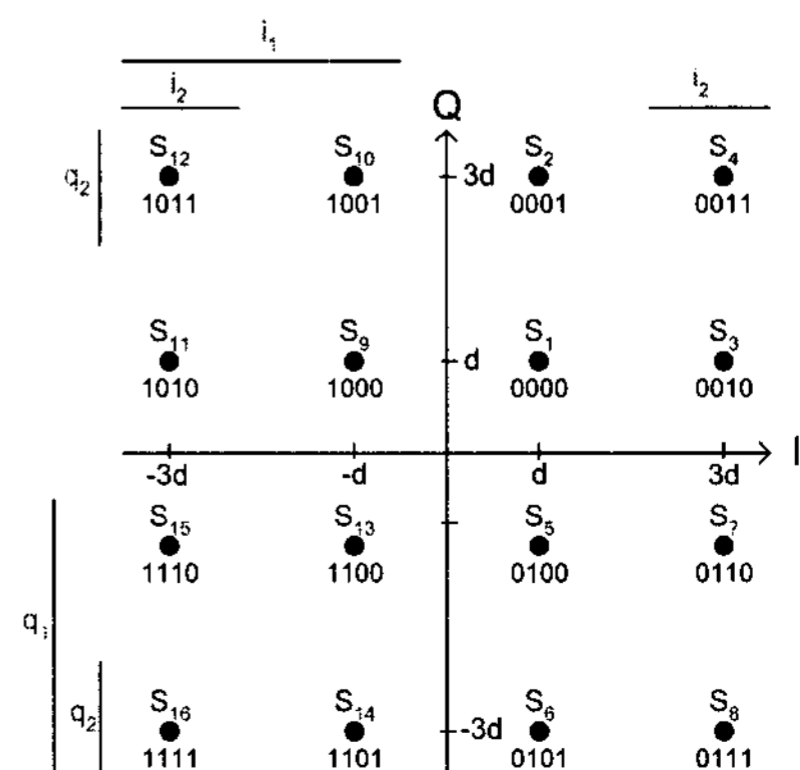


그림 2. 16QAM에서 변조된 비트의 심볼매핑

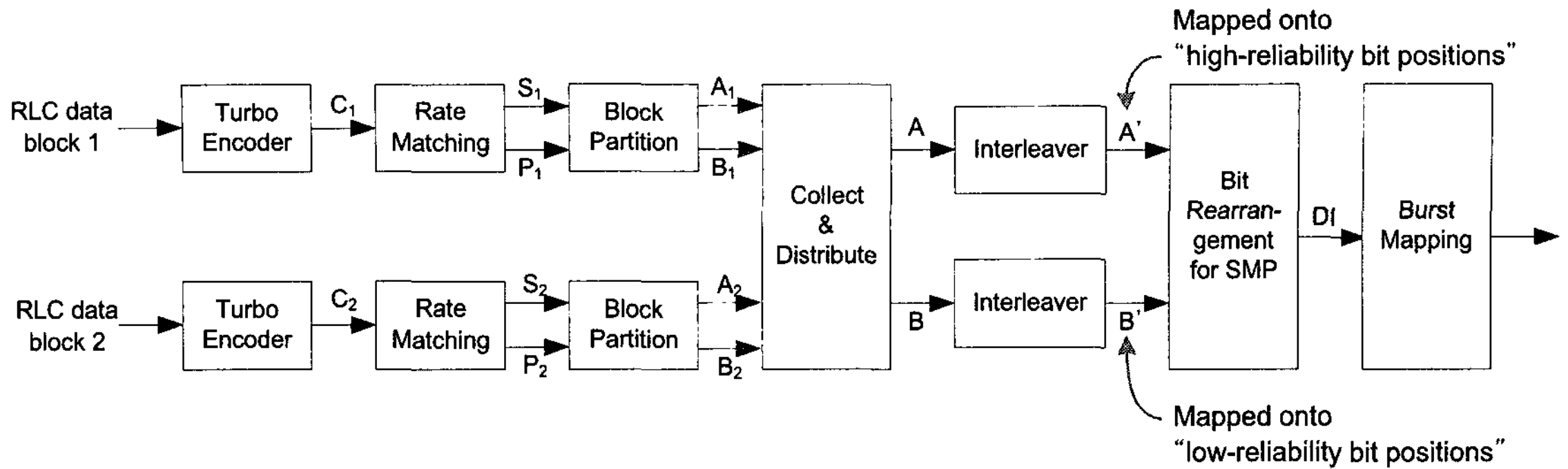


그림 3. GERAN 진화시스템 물리계층에서 SMP를 채용하는 비트 매핑 구조

비트별 BER로 살펴보면 아래와 같다^[6]. 첫번째(i_1)와 두 번째 비트(q_1)의 BER은 [6, Eq.(14)]

$$P_b(16, i_1) = P_b(16, q_1) = \frac{1}{4} \left(\operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{2\gamma}{5}} \right) + 3 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{2\gamma}{5}} \right) \right) \quad (1)$$

여기서 $\gamma = E_b/N_0$ 로 비트당 SNR이다. $\operatorname{erfc}(\cdot)$ 는 complementary error function이다[6, Eq(5)].

세 번째(i_2)와 네 번째 비트(q_2)의 BER은

$$P_b(16, i_2) = P_b(16, q_2) = \frac{1}{4} \left(\operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{2\gamma}{5}} \right) + 3 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{2\gamma}{5}} \right) + 5 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{2\gamma}{5}} \right) \right) \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서 보듯이 첫번째와 두번째 비트의 BER은 세 번째와 네 번째 비트의 경우보다 작음을 확인할 수 있다.

나머지 8PSK와 32QAM의 경우도 마찬가지로 BER로 표현할 수 있다. 8PSK에 대한 각 비트별 BER를 알아보면, 첫번째 비트(a_1)와 두번째 비트(a_2)의 BER은 동일하다. 세번째 비트(a_3)에 대한 BER은 $P_b(8, a_3) \cong 2P_b(8, a_1)$ 이다 [7, Eq.(7)]. 즉, 세 번째 비트에 대한 BER이 첫번째와 두번째 비트에 비해 크다. 32QAM에 대한 각 비트별 BER은 아래와 같다^[8]. 첫번째 비트(i_1)와 네번째 비트(q_1)의 BER은

$$P_b(32, i_1) = \frac{1}{8} (p_1(32, i_1) + p_2(32, i_1)) \quad (3)$$

이다. 여기서 $p_1(32, i_1)$ 은 [8, Eq.(8)]에 정의되어 있고 $p_2(32, i_1)$ 은 [8, Eq.(9)]에 정의되어 있다. 두 번째 비트(i_2)의 BER 수식은

$$P_b(32, i_2) = \frac{1}{8} [2p_1(32, i_2)p_2(32, i_2) + [4 - (p_2(32, i_2))^2]] \quad (4)$$

이다. 여기서 $2p_1(32, i_2)p_2(32, i_2)$ 은 [8, Eq.(14)]에 정의되었고 $[4 - (p_2(32, i_2))^2]$ 은 [8, Eq.(15)]에 정의되었다. 세번째 비트(i_3)의 BER 수식은

$$P_b(32, i_3) = \frac{1}{8} (p_1(32, i_3) + p_2(32, i_3)) \quad (5)$$

이다. 여기서 $p_1(32, i_3)$ 은 [8, Eq.(28)]에 정의되었고 $p_2(32, i_3)$ 은 [8, Eq.(29)]에 정의되어 있다. 다섯번째 비트(q_2)의 BER 수식은

$$P_b(32, q_2) = \frac{1}{8} (p_1(32, q_2) + p_2(32, q_2)) \quad (6)$$

이다. 여기서 $p_1(32, q_2)$ 은 [8, Eq.(17)]에 정의되었고 $p_2(32, q_2)$ 는 [8, Eq.(18)]에 정의되어 있다. 위의 32QAM의 비트위치별 BER 수식에 대한 그래프는 [8, Fig(6)]에 나타나 있는데 이를 참조하면 32QAM의 비트 위치에 따른 신뢰도가 표 1과 같다는 것을 확인할 수 있다.

III. GERAN 진화 시스템에 적용된 SMP

GERAN 진화 시스템에서는 상향링크의 코딩기율로 부호율 1/3의 컨볼루션 코딩을 사용하지만, 하향링크에서는 오류정정을 위해 UMTS FDD 표준에 사용된 모부호율 1/3인 터보코딩 구조를 그대로 도입한다. 또한 고차변조 방식은 각각 4비트 및 5비트를 전송할 수 있는 16QAM 및 32QAM을 채용한다. 그림 3는 터보코딩 및 고차변조 적용하는 GERAN 진화 시스템 물리계층에서 SMP 사용에 따른 비트 매핑 구조이다^[4]. RLC data block 1에서 터보 인코딩을 한 C1은 Rate Matching을 거쳐 정보비트 S1와 패리티 비트 P1으로 구분되어 나오고, SMP를 적용하기 위해서 Block Partition을 통해 변조방식 별로 8PSK는 2:1, 16QAM은 1:1, 32QAM은 3:2의 비트 신뢰도 패턴 비율로 A1과 B1을 분

류한다. 이때 A1에는 정보비트가 최대한 많이 실려 있게 B1에는 패리티 비트가 많이 실리게 분류한다. 마찬가지로 과정을 통하여 RLC data block 2는 A2와 B2로 분류되어진다. Collect & Distribute를 통해 RLC data block1과 RLC data block2의 결과인 A1, A2를 결합하여 A로 분류하고 B1, B2를 결합하여 B로 분류한다. 이후에 A와 B는 각각의 인터리버를 거치는 병렬 인터리버 구조를 사용하게 된다. 인터리버를 거친 데이터 A', B'는 SMP를 적용하기 위해 재배치된다^[9]. 예를 들어 16QAM를 사용하면, A'는 비트 신뢰도가 높은 첫 번째와 두 번째 비트에 매핑되도록 하고 B'는 비트 신뢰도가 낮은 세 번째와 네 번째 비트에 매핑되도록 비트를 재배치한다. 그 후에 심볼 매핑을 한다. 이와 같은 SMP 적용과정을 수식적으로 살펴보자. 인터리빙을 거친 데이터 블록 A' 및 B'에 포함된 데이터를 $A' = \{a(0), a(1), a(2), \dots, a(M-1)\}$ 와 $B' = \{b(0), b(1), b(2), \dots, b(N-1)\}$ 와 같이 표현할 수 있다. A' 및 B'에 포함된 데이터의 개수는 동일하므로 $M=N$ 이다. 데이터 A' 및 B'의 비트 재배치는 다음과 같은 행렬형태로 수행된다.

$$\begin{bmatrix} a(0) & a(1) & a(2) & \dots & a(M/2-1) \\ a(M/2) & a(M/2+1) & a(M/2+2) & \dots & a(M-1) \\ b(0) & b(1) & b(2) & \dots & b(M/2-1) \\ b(M/2) & b(M/2+1) & b(M/2+2) & \dots & b(M-1) \end{bmatrix} \quad (7)$$

위 수식에서 4개의 비트로 구성된 각 열은 한 심볼을 나타내며 비트 신뢰도 패턴은 [H H L L]를 라 심볼 매핑이 수행됨을 확인할 수 있다. 비트 재배치를 수행한 데이터 블록 DI는 식 (7)의 행렬을 열순으로 읽어 다음과 같은 벡터형태를 갖는다.

$$\begin{aligned} DI &= [a(0), a(M/2), b(0), b(M/2), a(1), \\ &\dots, a(M/2-1), a(M-1), b(M/2-1), b(M-1)] \\ &= [di(0), di(1), di(2), \dots, di(2M-1)] \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 첫번째 비트부터 시작하여 네비트씩 한개의 16QAM 심볼을 구성한다. 즉, 첫번째 16QAM 심볼 ($di(0)$)은 $\{a(0), a(M/2), b(0), b(M/2)\}$ 이다. 그리고 데이터 블록 DI는 버스트 매핑 과정에서 네 개의 버스트에 분산되어 전송된다. 기존의 구조인 SMP를 고려하지 않는 경우에는 터보 인코딩 후에 정보비트(S)과 패리티 피트(P)등을 구분하지 않기 때문에 결과적으로 단일 인터리버를 사용하게 된다는 것이 큰 차이점이다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 고찰

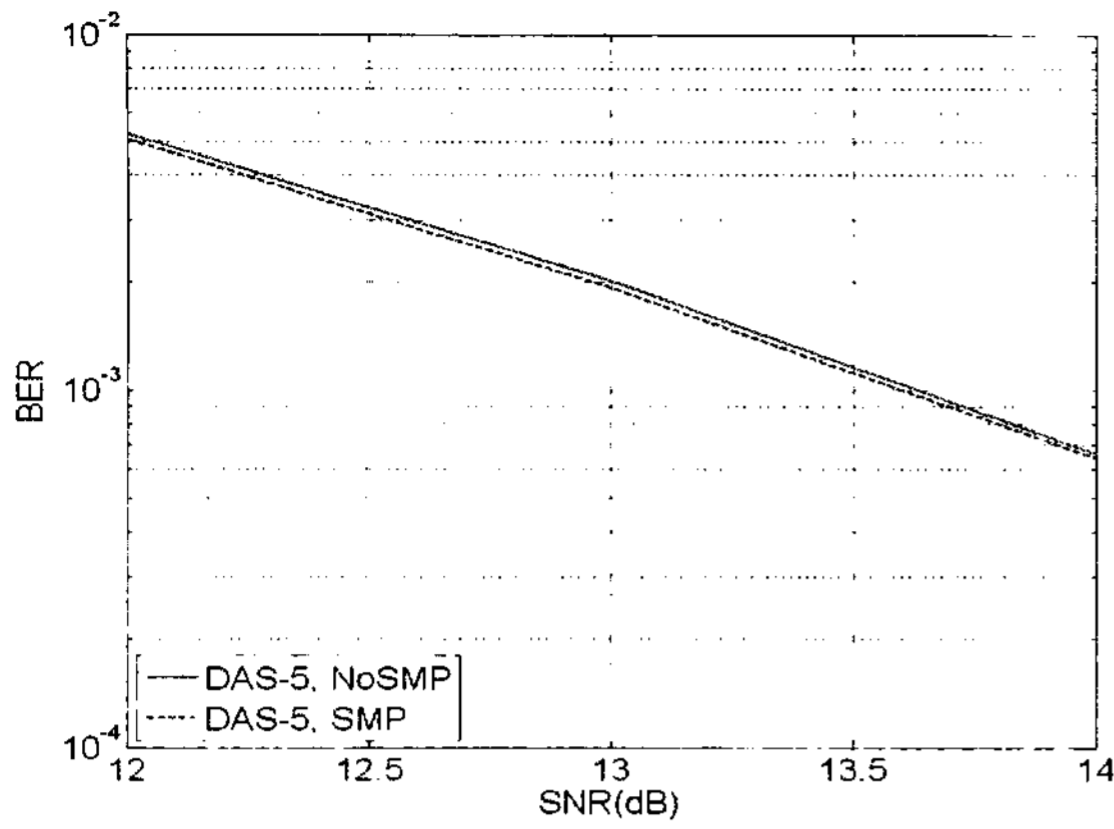
GERAN 진화 시스템의 물리계층에서 채널코딩 및 변조방식의 주요한 특징은 패킷 전송에 대한 성능 향상에만 적용되므로 표준에서는 기존 EGPRS 진화란 의미로 EGPRS2로 명명되었다^[10]. 본 논문에서는 높은 전송율의 데이터를 주로 요구하는 하향링크에 대해 연구의 범위를 한정하여 REDHOT (REduced symbol Duration, Higher-Order modulation and Turbo coding in downlink) A(또는 EGPRS2-A)에서 그 성능을 살펴보고자 한다. 따라서, EGPRS2-A 하향링크에 대한 MCS 및 전송율은 표 2와 같으며 본 논문에서는 8PSK, 16QAM 및 32QAM 변조 중에서 대표적인 DAS-5, DAS-8, DAS-11을 선택한다. 표 3은 시뮬레이션 파라미터 설정에 대해 나타낸다. 여기서 SMP를 위한 비트의 재배열 방법은 [9]를 참조하였고, Rate Matching 방법은 [3]에서 HARQ를 적용하지 않는 경우를 참조하였다. 인터리버는 랜덤 인터리버를 사용하였다.

표 2. EGPRS2-A 하향링크에 대한 MCS 및 전송률^[11]

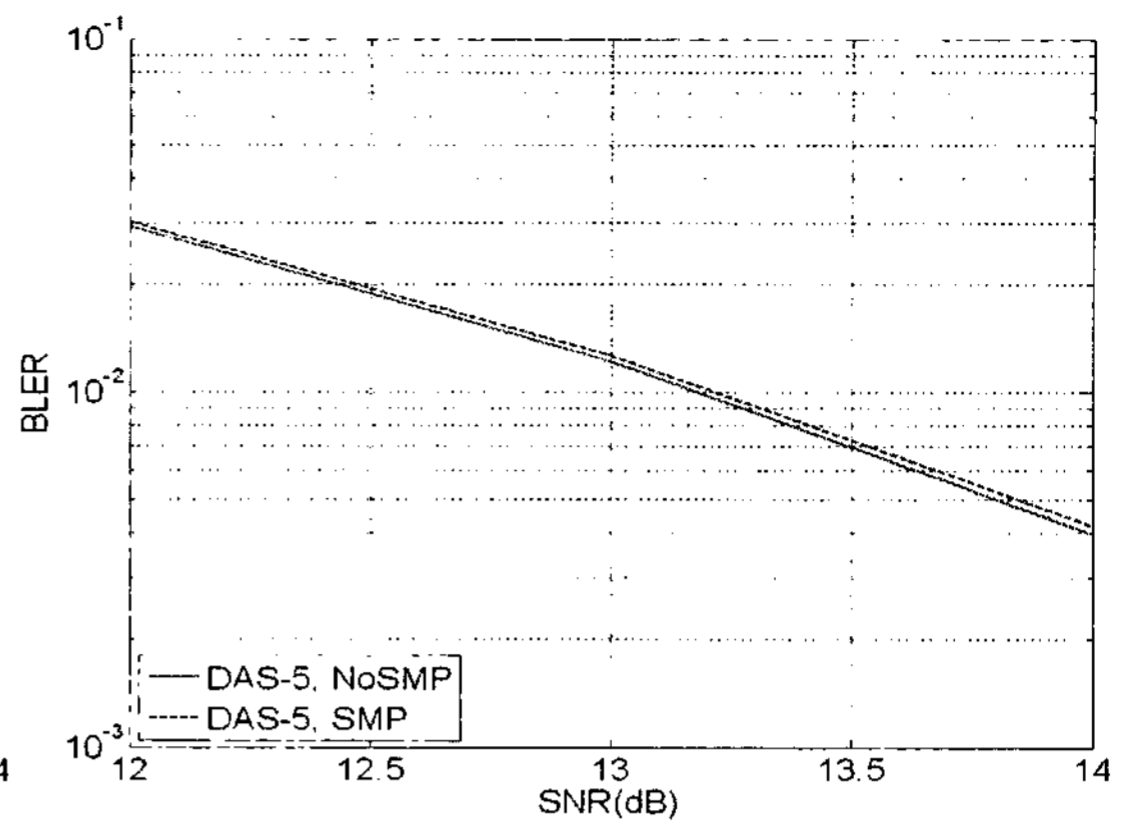
Scheme	Code rate	Modulation	RLC blocks per Radio Block	Raw Data within one Radio Block	Data rate per PDCH kb/s
DAS-12	0.96	32QAM	3	1968	98.4
DAS-11	0.80		3	1632	81.6
DAS-10	0.64		2	1312	65.6
DAS-9	0.68	16QAM	2	1088	54.4
DAS-8	0.56		2	896	44.8
DAS-7	0.54	8-PSK	1	656	32.8
DAS-6	0.45		1	544	27.2
DAS-5	0.37		1	448	22.4

표 3. 시뮬레이션 파라미터

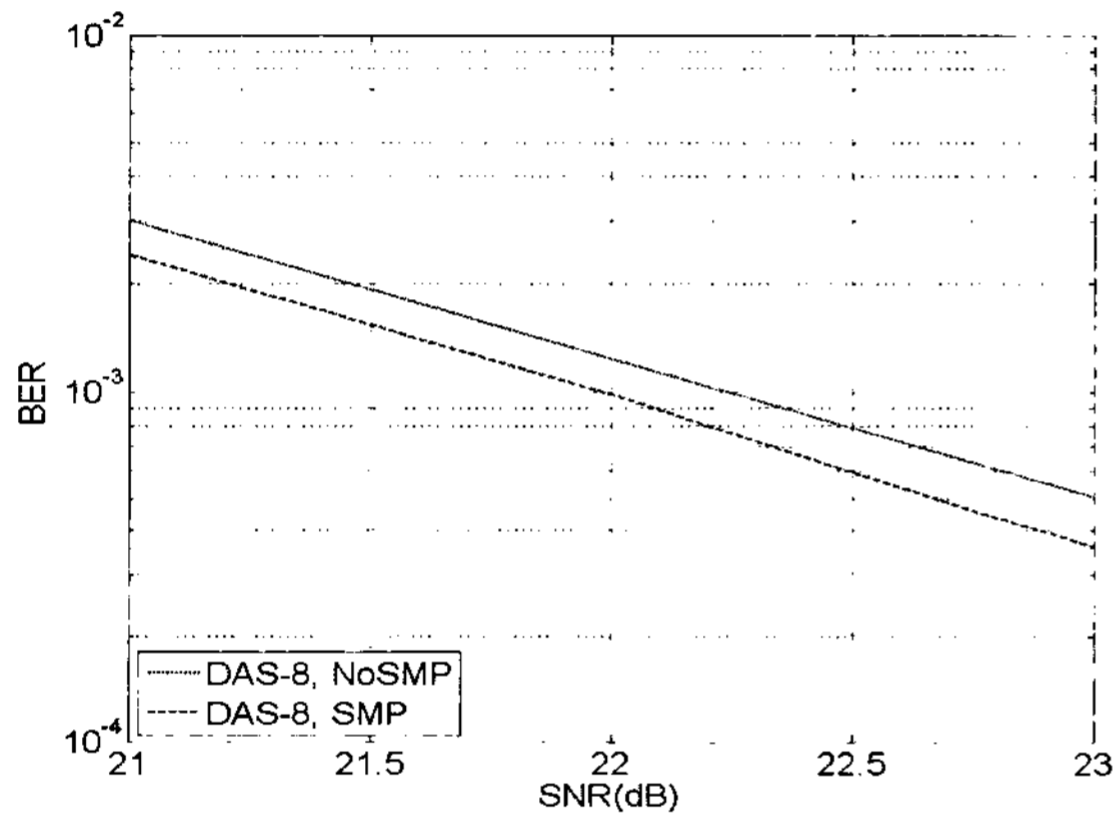
Parameter	Assumption
Channel profile	Typical Urban (TU) Noise limited scenario
Terminal speed	3 km/h
Frequency band	900MHz
Frequency hopping	Ideal
Equalizer	RSSE (4x2 SOVA) with ideal channel estimation
Tx pulse shape	LGMSK
Rx filter	RRC
Simulation length	50,000 radio blocks per simulation point
Bit rearrangement for SMP	Block-by-Block approach [9]
Rate Matching	TS 25.212 [3]
Interleaver	Random Interleaver



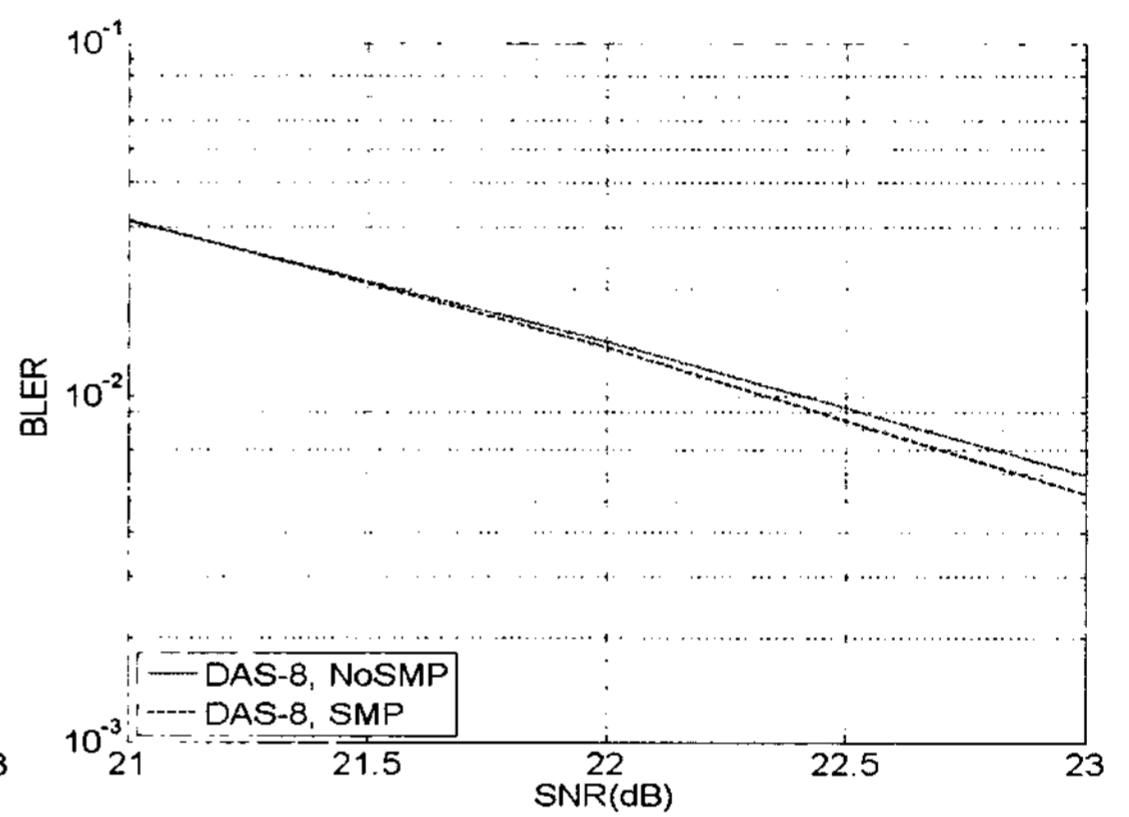
(a) BER vs. SNR (DAS-5)



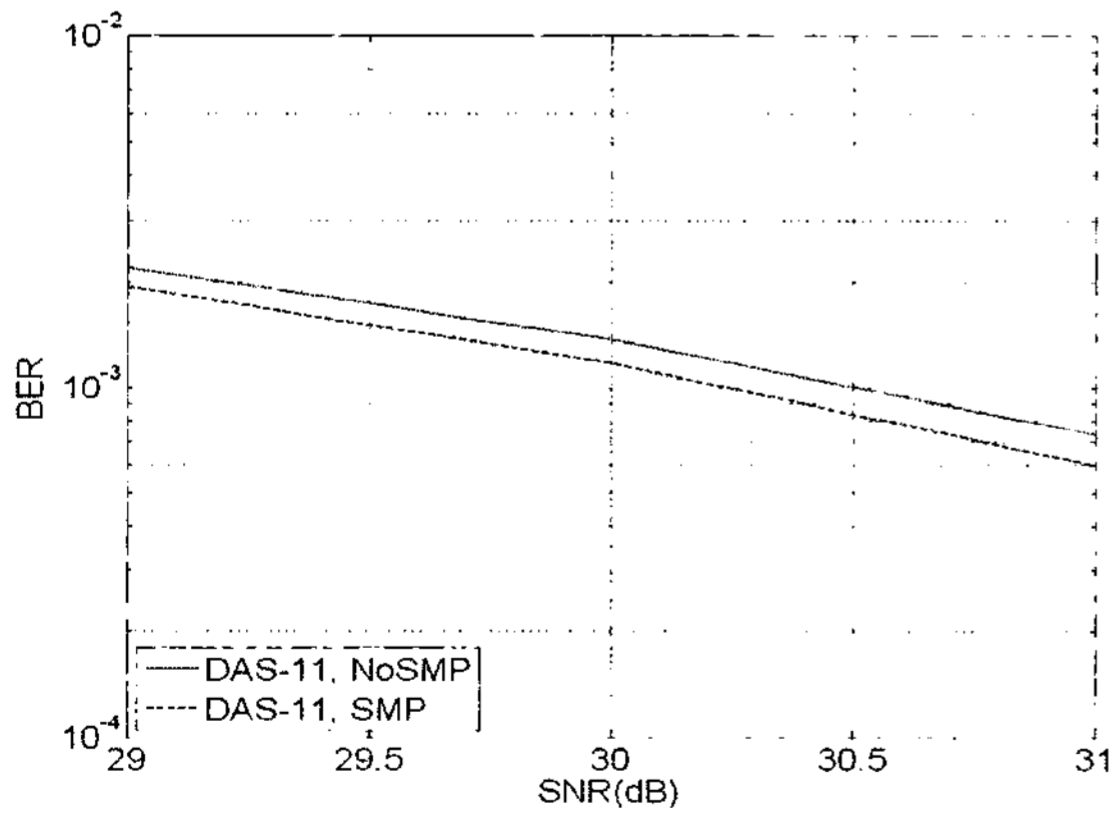
(b) BLER vs. SNR (DAS-5)



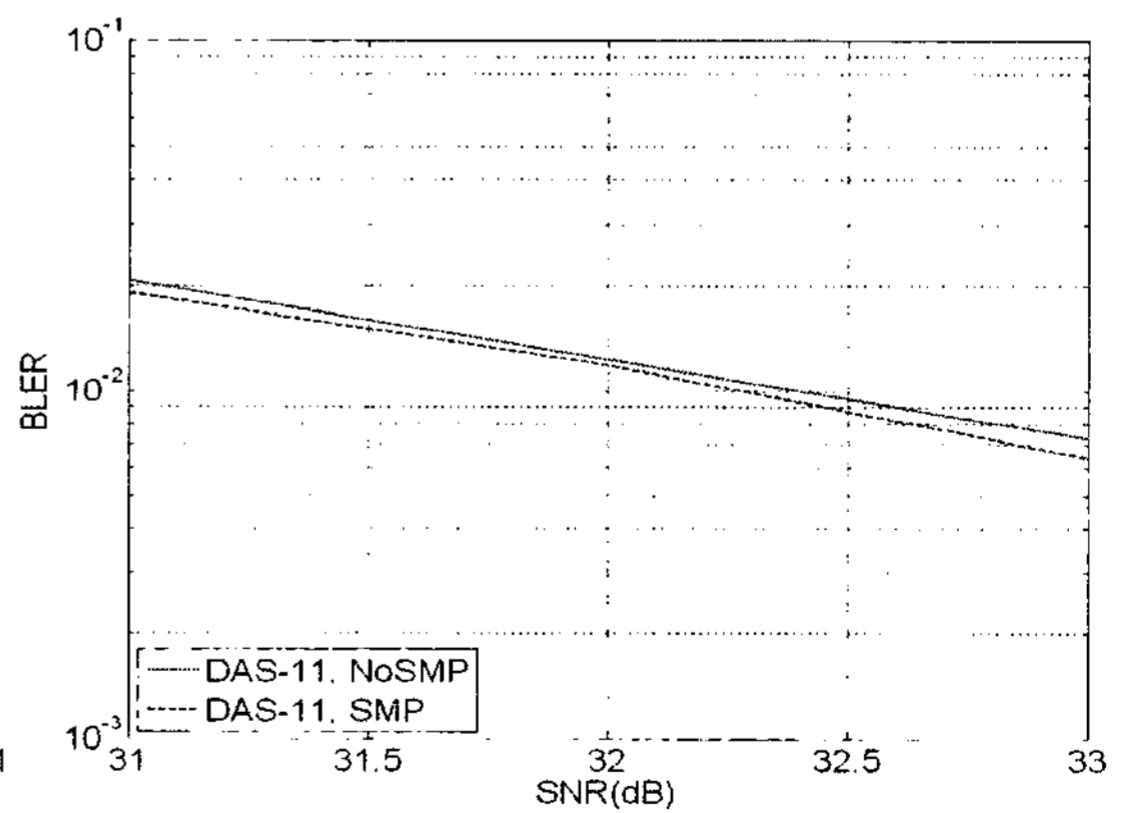
(c) BER vs. SNR (DAS-8)



(d) BLER vs. SNR (DAS-8)



(e) BER vs. SNR (DAS-11)



(f) BLER vs. SNR (DAS-11)

그림 4. SMP 적용/비적용에 따른 성능의 비교

그림 4는 SMP를 적용하였을 때와 SMP를 적용하지 않는 기존 방식에 대한 실험 결과를 보이고 있다. 여기서 SMP 적용시에는 병렬 인터리버가 사용되고 SMP 비적용시에는 단일 인터리버가 사용

된다. 그림 4(a),(b)는 DAS-5에 대한 BER과 BLER의 결과이다. 본 결과에서 SMP 적용으로 인한 성능 이득을 거의 볼 수 없다. 그 이유는 SMP를 사용하는 경우라도 높은 신뢰도 비트에 할당될 정보

비트수가 작아 그 이득을 충분히 보여주기 어렵기 때문이다.

그림 4(c),(d)는 DAS-8에 대한 BER과 BLER 결과이다. BER 결과를 먼저 살펴보면 SMP가 적용된 경우는 SMP가 적용되지 않는 경우보다 BER=10⁻³에서 0.26dB의 성능이득을 보이는데, 이러한 결과를 그림 4(a)와 비교해보면 DAS-8에서 16QAM 변조를 사용하는 경우 SMP를 적용하게 되면 충분한 수의 정보비트가 높은 신뢰도를 차지하는 비트들에 의도적으로 할당되어 SMP를 적용하지 않은 경우보다 할당율이 40% 정도 차이가 나기 때문에 BER 성능에 차이가 나타나게 된다. 하지만 BLER 경우는 성능이득을 거의 볼 수 없었다.

그림 4(e),(f)는 DAS-11에 대한 BER과 BLER 결과이다. BER 결과를 먼저 살펴보면 그림 4(c)와 유사하게 SMP를 적용한 경우 BER=10⁻³에서 0.26dB의 성능이득을 보인다. 하지만 이와 같은 결과는 그림 4(d)의 경우와는 다르게 설명될 수 있다. DAS-11에서 32QAM 변조를 사용하는 경우 많은 수의 정보비트가 발생하여 SMP가 적용되는 경우와 그렇지 못한 경우에 공통적으로 이들 비트가 높은 신뢰도 비트에 할당될 가능성이 높다. 그렇다면 SMP 적용 유무에 따른 성능 차가 줄어들어야 하는데 그렇지 않은 이유는 본 결과가 얻어진 DAS-11에서 인터리버의 크기가 급격히 커지게 되어 이에 따른 성능 이득을 얻게 되기 때문이다. 이 때 SMP가 적용되는 경우 인터리버 크기에 따른 성능 이득을 보다 크게 얻게 되어 그림과 같이 SMP 적용유무에 따라 성능 차를 보이게 되는 것이다. 이러한 결과를 통하여 SMP를 적용할 경우 성능에 영향을 미치는 요소로는 얼마나 많은 정보비트를 높은 신뢰도 비트에 실을 수 있는지 이외에도 인터리버의 크기와 같은 복합적인 영향 인자가 존재함을 확인할 수 있었다. 또한 BLER의 경우 성능이득을 거의 볼 수 없어, SMP의 적용이 16QAM과 32QAM의 BER 성능을 향상시키는 효과는 있지만 BLER에는 큰 영향을 주지 못함을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 터보코딩 및 고차변조를 적용하는 GERAN 진화 시스템 물리계층에서 비트 신뢰도 기반의 심볼 매핑 방법의 성능을 살펴보았다. 정보비트가 중요한 터보코딩의 특성을 이용하여 정보비트를 높은 신뢰도 비트에 매핑시키는 SMP 기술을

GERAN 진화 시스템에 적용시켰을 때, 16QAM와 32QAM 변조방식을 적용하는 DAS-8과 DAS-11에 대해서는 BER 성능의 이득이 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 GERAN 진화 시스템을 설계하는데 SMP는 고려되어야 할 중요한 요소기술임을 알 수 있었으며 현재 표준화 진행과정에서 표준기술로 반영될 가능성을 확인할 수 있었다^{[11],[12]}. 하지만 BLER 성능 개선을 위해서 향후 데이터 블록 크기 또는 코드율과 같은 시스템 파라미터의 최적화, 채널 인터리버 크기 및 방식 등 SMP 효과와 관련된 연구들을 지속적으로 수행할 예정이다.

Acknowledgement

본 연구를 위한 삼성전자의 재정적인 도움에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 최종수, 황승훈, 최병조, 신연, 이현우, "3GPP GERAN 진화 시스템 - 패킷 전송을 위한 물리계층 진화", 한국통신학회지, 정보와 통신, 12, 2007
- [2] T. Halonen, J. Romero, and J. Melero, GSM, GPRS and EDGE Performance, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Ltd., 2003
- [3] TS 25.212, Multiplexing and channel coding (FDD).
- [4] AHG1-070020, "Symbol Mapping for RED HOT," Sophia Antipolis, France, June 2007, Source: Samsung.
- [5] 3GPP TR 45.912 GERAN: Feasibility study for evolved GERAN," V7.2.0, <http://www.3gpp.org>, March 2007
- [6] K. Cho and D. Yoon, "On the general BER expression of one and two dimensional amplitude modulations", IEEE Trans. Commun., Vol.50, No.7, pp.1074-1080, Jul. 2002.
- [7] J. Lu, K. B. Letaief, J. C. I Chuang and M. L. Liou, "M-PSK and M-QAM BER computation using signal-space concepts", IEEE Trans. Commun., Vol.47, pp.181-184, Feb. 1999.
- [8] P. K. Vitthaladevuni, M-S. Alouini and John C. Kieffer, "Exact BER Computation for Cross QAM Constellations", IEEE Trans. Commun., Vol.4, No.6, pp.3039-3050, Nov. 2005.

- [9] GP-071248, Performance of RM-based Symbol Mapping for RED HOT A, Samsung, TSG-GERAN WG1 #35 Meeting, Dublin, Ireland, August 28 - 30, 2007
- [10] 3GPP TS 43.064, "GERAN: GPRS - Overall description of the GPRS radio interface, Stage 2," V7.6.0, http://www.3gpp.org, September 2007
- [11] AHG-070052, Performance Comparison of Channel Interleavers for DAS-8, Samsung, TSG-GERAN WG1 Ad Hoc#2 Meeting, Sophia Antipolis, France, October 11-12, 2007
- [12] GP-071697, Performance Evaluation of Parallel Interleaver for RED HOT, Samsung, 3GPP TSG GERAN#36, Vancouver, Canada, November 12-16, 2007

오 형 주 (Hyeong-Joo Oh) 준회원



2007년 동국대학교 전자공학과
박사
2007년~현재 동국대학교 전자공
학과 석사과정
<관심분야> 무선 및 이동통신 시
스템

최 병 조 (Byoungjo Choi) 정회원



1992년~2005년 LG전자 책임연
구원
2001년 영국 사우스햄턴대학교
박사
2001년~2002년 영국 사우스햄
턴대학교 Research Fellow
2005년~현재 인천대학교 교수

<관심분야> 무선통신시스템, 임베디드시스템.

황 승 훈 (Seung-Hoon Hwang) 종신회원



1999년 연세대학교 박사
1999년~2005년 LG전자 책임연
구원
2003년~2005년 영국 사우스햄턴
대학교 Visiting Research
Fellow

2005년~현재 동국대학교 교수
<관심분야> 무선 및 이동통신 시
스템 및 요소기술, cognitive radio, 밀리미터파통신

최 종 수 (Jongsoo Choi) 정회원



1994년~1999년 포항 산업과학연
구원 (RIST) 선임연구원
2000년 Univ. of Waterloo 방문
연구원
2003년 McMaster Univ. 석사
2005년 Univ. of Ottawa 박사
2005년~현재 삼성전자 책임연구원

2007년~현재 3GPP GERAN 부의장

<관심분야> 무선통신 시스템, 적응신호처리, Computational Intelligence