

터보코딩 및 고차변조를 적용하는 3GPP GERAN 진화 시스템: 채널 추정을 위한 TSC

준회원 이종환*, 황은선**, 정회원 최병조**,
 종신회원 황승훈*, 정회원 최종수***

3GPP GERAN Evolution System Employing High Order Modulation and Turbo Coding: TSC for Channel Estimation

Jong-Hwan Lee*, Eun-Sun Hwang** *Associate Members*, Byoungjo Choi** *Regular Member*,
 Seung-Hoon Hwang* *Lifelong Member*, Jongsoo Choi*** *Regular Member*

요약

본 논문에서는 GERAN 진화 시스템의 물리계층 표준을 바탕으로 고심볼률을 지원하는 경우 제안된 트레이닝 시퀀스(Training Sequence Codes, TSC)의 채널 추정 성능을 BER 및 BLER을 통해 고찰하였다. 제안된 TSC를 시스템에 적용하여 도심 채널 환경에서 모의실험을 수행하고 그 결과를 타사에서 제안한 TSC와 비교하여 성능 차이가 거의 없음을 확인하였다. 또한 동일 채널 간섭이 발생하는 상황에서 연대최소사승기법 (Joint Least Square: JLS)을 적용한 채널 추정을 적용하였을 때도 비슷한 결과를 얻었다.

Key Words : 3GPP, GERAN Evolution, HDM(High order modulation), Turbo coding, TSC, Channel estimation

ABSTRACT

In this paper, the channel estimation performance of proposed TSC (TSC-S) is investigated in terms of the BER and BLER performances when HSR is considered for GERAN evolution system. The performance is evaluated by the link level simulation and is compared with the other TSC proposal (TSC-E). Numerical results show that the performance employing the TSC-S is almost same to that using the TSC-E. In the case of cochannel interferences, the similar tendency is shown, when joint least square is adopted for channel estimation.

I. 서론

전 세계 무선 통신 시장은 제 2세대 (2G) 이동 통신 기술인 GSM (Global System for Mobile communication) 방식을 기본으로 한 디지털 셀룰러 네트워크의 놀랄만한 성장을 경험하였다. GSM 서비스는 1992년 유럽의 7개국에서 13개의 상업용 GSM 네트워크 서비스를 시작한 이래, 2000년에 147개국에서

392개 상업용 네트워크로 확대되었다. 현재 213개국에서 총 718개의 네트워크를 통해 GSM/EDGE (Enhanced Data-rate for GSM Evolution) 서비스를 제공하고 있다. 또한 GSM은 전 세계 이동통신 가입자의 80% 이상을 차지하고 있다. 이러한 큰 시장을 바탕으로 사업자들은 효율적인 방법으로 제 3세대 (3G) 이동 통신 기술로 빠르게 전환하고 있으며 2G인 GSM 방식의 발전 방향은 3G의 UMTS

* 동국대학교 공과대학 전자공학과 (shwang@dongguk.edu)

** 인천대학교 멀티미디어시스템공학과

*** 삼성전자 통신연구소

논문번호 : KICS22007-12-535, 접수일자 : 2007년 12월 30일, 최종논문접수일자: 2008년 5월 19일

(Universal Mobile Telecommunication Services)이다^{[1],[2]}. GSM 시스템의 표준화는 1980년대 유럽에서 시작되었으며, 2000년 봄까지 ETSI (European Telecommunications Standards Institute) 내의 SMG (Special Mobile Group)에서 담당하였다. 동년 여름에 GSM 표준화 작업은 3GPP로 이관되어 3GPP TSG (Technical Specification Group) GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network)에서 진행하고 있다.

그림 1은 GSM의 진화방향을 보여주고 있다. GSM 네트워크에서 Release 97 (Rel'97) 표준에 효과적인 전송방식인 패킷 전송 서비스를 반영한 GPRS (General Packet Radio System)로 발전하였고, Rel'98에서는 AMR (Adaptive Multi-Rate) 기술이 포함되었다. Rel'99에서는 GSM의 기본 변조방식인 GMSK에 8PSK 변조방식을 추가하여 더욱 데이터 전송률을 높여준 EDGE (Enhanced Data Rate for Global Evolution)로 진화하였다. Rel'99의 기본적인 골격은 UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)과 호환 가능한 GERAN으로 진화하여 GSM/EDGE 서비스가 가능하게 되었다.

본 논문에서는 GERAN 시스템의 패킷 데이터 전송 용량을 향상시키기 위하여 표준화가 진행되고 있는 Rel'7 기반의 시스템을 다루고 있다. 이때 GERAN 진화 시스템의 물리계층에서 패킷 데이터 전송률을 증가하기 위하여 REDHOT (REduced Symbol Duration, Higher-Order modulation and Turbo coding in downlink) 기법을 이용한다. REDHOT은 하향링크에서 기존의 킨블루셔널 코딩에 비해 우수한 오류정정 능력을 가진 터보코딩을 사용하며, UMTS FDD 표준에 사용된 모부호율 1/3인 터보코딩 구조를 그대로 도입한다^[3]. 터보 코딩과 더불어 GERAN 진화 시스템 물리계층의 주요특징은 고차변조 방식 (Higher Order Modulation, HOM)과 고심볼율 (Higher Symbol Rate, HSR)이다. HOM의 경우, 기존의 8PSK와 더불어 16QAM과 32QAM을 변조방식에 추가하였다. 따라서 8PSK에 비하여 데이

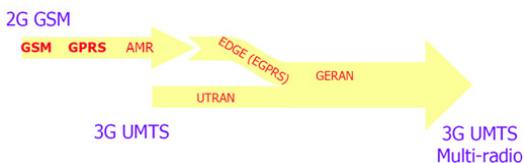


그림 1. GSM의 진화방향

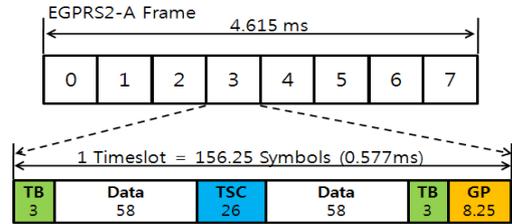


그림 2. 기존의 NSR의 버스트 구조

터 전송율이 증가한다. HSR은 GSM/EDGE의 표준 심볼률 (Normal Symbol Rate, NSR)인 271 ksymbol/s 와 비교하여 1.2 배 향상된 325 ksymbol/s 를 지원한다. 그림 2의 NSR은 표준 버스트와 동일한 타임슬롯구간 동안 156.25 심볼 길이를 가지며 그림 3의 HSR은 187.5 심볼 길이를 가진다^[4]. GERAN 진화 시스템에서 사용하는 MCS (Modulation and Coding Sets)는 NSR에서 8PSK, 16QAM, 32QAM 변조 방식을 지원하는 EGPRS2-A와 HSR에서 QPSK, 16QAM, 32QAM 변조방식을 지원하는 EGPRS2-B로 구분할 수 있다^[5].

TSC(Training Sequence code)로 26 심볼을 사용하는 기존 NSR와는 달리 HSR에서 사용하는 TSC 길이는 31 심볼이다. 상대적으로 적은 심볼을 TSC에 할당하면 데이터 전송 효율을 높일 수 있는 반면 채널 추정의 정확성이 떨어지게 된다. 그런데, 채널 추정의 영향이 시스템의 성능에 큰 영향을 주기 때문에 HSR에서는 TSC로 31 심볼을 사용하여 채널 추정을 한다. 본 논문에서는 HSR의 버스트 구조에 적합한 31심볼 길이의 TSC를 제안하고 그 성능을 링크레벨 시뮬레이션을 통해 확인한다. 또한 타사에서 제안한 TSC 성능과 비교 평가하고자 한다. 채널 추정 방식으로 LS (Least Squares)를 사용하며, 그 성능을 완벽한 채널 추정이 수행되었을 경우와 비교하기로 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II 장에서는 고심볼율을 적용했을 때 제안된 TSC를 소개하고, III 장에서는 제안된 TSC를 이용한 채널 추정하는 방법으로 LS 채널 추정 방법을 서술한다. IV 장에서는 시뮬레이션 환경 및 수치 결과를 분석한 뒤 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. TSC

GERAN 진화 시스템의 물리계층에서 하향링크 패킷 전송률을 증가시키기 위한 기법으로 NSR을

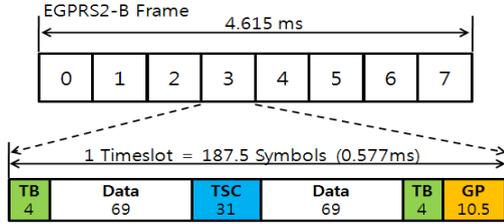


그림 3. 새로운 HSR의 버스트 구조

적용한 REDHOT A (EGPRS2-A)와 HSR을 적용한 REDHOT B (EGPRS2-B)가 있다. EGPRS2-A의 버스트 구조는 기존의 GSM/EDGE의 버스트 구조와 같다. 따라서 TSC는 [6]에 정의된 Legacy TSC를 사용하며 버스트 구조는 기존의 그림 2와 같다. 한편 HSR이 적용된 EGPRS2-B는 새로운 버스트 구조이며 그림 3과 같다. 이때 TSC는 송신부와 수신부 모두가 알고 있는 약속된 신호이다. 따라서 TSC를 이용하여 송신 필터, 다중 경로의 페이딩 채널 및 수신 필터로 이루어지는 복합적인 채널을 추정할 수 있다^[7]. 본 장에서는 제안된 TSC 설계방식에 대해 기술한다.

2.1 기존 TSC 설계방식

기존 TSC [6]는 26 심볼 길이로 구성되며 그림 4와 같은 심볼 배치 구조를 가지며 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= (x_1, x_2, \dots, x_{26}) \\ &= (a_{12}, \dots, a_{16}, a_1, \dots, a_5, a_6, \dots, a_{11}, \\ &\quad a_{12}, \dots, a_{16}, a_1, \dots, a_5) \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서와 같이 TSC는 중심 시퀀스의 마지막 5개 심볼 (또는 비트) A를 복사하여 가장 중요한 위치 (Most Significant Position)에 보호 시퀀스 (Guard Sequence)로서 배치하고, 중심 시퀀스 (Reference Sequence)의 처음 5개 심볼 B를 복사하여 가장 중요하지 않은 위치 (Least Significant Position)에 보호 시퀀스로 배치하는 방식의 주기적

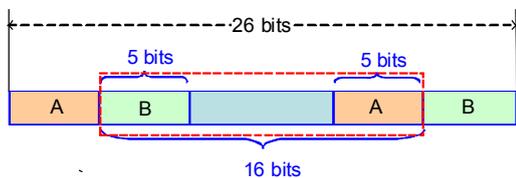


그림 4. 기존 TSC 구조

인 형태로 구성된다. TSC는 다음 자기상관 계수를 만족한다.

$$\begin{aligned} R_x(k) &= \sum_{n=1}^{16} x_{n+5}x_{n+5+k} = 0, \\ &\text{for } k=-5, \dots, 5, k \neq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)의 자기상관 계수는 관심 구간의 Non-Zero Shifts k 에 대하여 최적의 자기상관 특성을 갖는다. 그러나 상호상관 특성이 고려되지 않았다.

2.2 제안된 TSC 설계방식

정확한 채널 계수 추정을 위해서 TSC는 좋은 자기상관 특성뿐만 아니라 좋은 상호상관 특성을 갖는 것이 바람직하다. 따라서 31 심볼길이의 새로운 TSC를 설계할 때 상호상관 특성을 고려하고자 하였다. 다수 개의 시퀀스 사이에서 상호상관 특성을 평가하기 위해서 신호대 잡음비 열화 (Signal-to-Noise Ratio (SNR) Degradation) d_{SNR} (dB)가 사용될 수 있다. SNR 열화는 TDMA 시스템에서 원하는 TSC 시퀀스를 평가하는데 사용되었다.^[8] 또한, SNR 열화는 신호 검출에 대한 적절한 판단기준이 될 수 있다.^[9]

셀룰러 통신시스템에서 각 셀에 대하여 한 개의 간섭이 존재한다고 가정하면, TSC들 간의 상호상관 특성은 결합 채널 추정에 대하여 최적화 되어야 한다. 캐리어 신호 및 간섭 신호의 $L(L=5)$ 개의 탭을 갖는 채널 임펄스 응답을 $\mathbf{h}_l = (h_{l,1}, h_{l,2}, \dots, h_{l,L+1})$, $l=1,2$ 이라 정의하면, 두 동일 채널 (co-channel) 신호에 대한 채널 임펄스 응답은 $\tilde{\mathbf{h}} = [\mathbf{h}_1 \ \mathbf{h}_2]$ 로 정의할 수 있다. 서로 다른 두 개의 트레이닝 시퀀스 $\mathbf{x}_l = (x_{l,1}, \dots, x_{l,N})$, $l=1,2$ 를 고려하고, 트레이닝 시퀀스 행렬을 다음과 같이 $\tilde{\mathbf{X}} = [\mathbf{X}_1 \ \mathbf{X}_2]$ 정의한다. 행렬 \mathbf{X}_l , $l=1,2$ 는 트레이닝 시퀀스 \mathbf{x}_l 에서 간섭지연의 영향 받는 시퀀스 행렬이다. 따라서 CCI를 고려한 수신 신호는 $\mathbf{y} = \tilde{\mathbf{X}}\tilde{\mathbf{h}} + \mathbf{n}$ 가 되고, 결과적으로 최소제곱 채널 추정치는 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{\mathbf{h}} = (\tilde{\mathbf{X}}^t \tilde{\mathbf{X}})^{-1} \tilde{\mathbf{X}}^t \mathbf{y} \quad (3)$$

식 (3)에서 \mathbf{X}^t 는 \mathbf{X} 의 Conjugate Transpose이다. 상관행렬을 $\Phi = \tilde{\mathbf{X}}^t \tilde{\mathbf{X}}$ 로 정의하면, d_{SNR} 는 다음 수식으로 정의할 수 있다.^[8]

$$d_{SNR} = 10 \cdot \log_{10}(1 + \text{tr}(\Phi^{-1})) \quad (4)$$

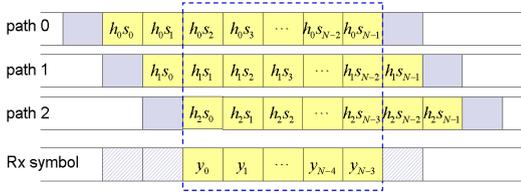


그림 7. 페이딩의 영향을 받은 TSC 심볼들의 수신 신호

그림 7은 3개의 경로를 갖는 페이딩 채널을 가정 하였을 때, TSC 심볼들이 수신되는 과정을 나타낸 것이다. TSC는 N개의 심볼 s_0, s_1, \dots, s_{N-1} 으로 이루어져 있으며 각 경로마다 h_0, h_1, h_2 의 페이딩을 겪고 수신기에 도착한다.

채널 추정은 다중 경로를 통하여 수신된 신호 가운데 미리 알고 있는 TSC 심볼들만의 조합으로 이루어진 부분만을 이용하여 수행된다. 일반적으로 페이딩 영향을 고려한 3개의 다중 경로에 따라 수신된 신호에 대해 채널 추정을 위해 사용하는 수신 TSC 심볼의 갯수는 $N-3+1$ 이다. 수신 TSC 심볼로 이루어진 벡터 \mathbf{Y} 는 다음과 같다.

$$\mathbf{Y} = [y_0 \ y_1 \ \dots \ y_{N-3}]^T \quad (8)$$

식 (8)로 정의된 수신 벡터 \mathbf{Y} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{S}\mathbf{H} + \mathbf{N} \quad (9)$$

여기서 $(N-2) \times 3$ 행렬 \mathbf{S} 는 TSC 심볼들에 의해 정의된다. 3×1 벡터 \mathbf{H} 는 페이딩 값이고, $(N-2) \times 1$ 벡터 \mathbf{N} 은 AWGN에 해당된다. 따라서 다음과 같이 식 (10)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_{N-3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_2 & S_1 & S_0 \\ S_3 & S_2 & S_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{N-1} & S_{N-2} & S_{N-3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1 \\ \vdots \\ n_{N-3} \end{bmatrix} \quad (10)$$

추정하고자 하는 페이딩 벡터 $\hat{\mathbf{H}}$ 는 식 (11)과 같이 LS를 적용하여 구한다.

$$\hat{\mathbf{H}} = (\mathbf{S}^H \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^H \mathbf{Y} \quad (11)$$

한편 하향링크 상황에서 인접 셀의 신호가 동일 채널에 동시에 존재하는 경우 서로에게 간섭을 미치게 된다. 그림 8과 같이 사용자의 신호를 User

Signal이라 하고 간섭을 미치는 다른 사용자의 신호를 CCI (Co-Channel Interference) Signal이라고 한다. 사용자에게 CCI 간섭을 미치는 경우 식 (9)를 변형하면 다음과 같다.

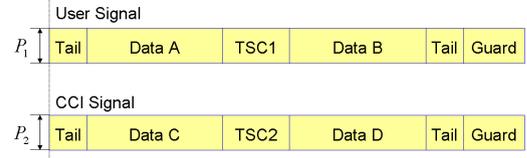


그림 8. CCI의 모델

$$\ddot{\mathbf{Y}} = \mathbf{S}_1 \mathbf{H}_1 + \mathbf{S}_2 \mathbf{H}_2 + \mathbf{N} \quad (12)$$

식 (12)에서 \mathbf{S}_1 과 \mathbf{H}_1 은 사용자의 TSC 심볼과 페이딩 값에 의해 나타내어지는 값이며, \mathbf{S}_2 와 \mathbf{H}_2 는 CCI의 TSC 심볼과 해당 페이딩 값에 의해 나타내어지는 값이다. 식 (13)과 같이 $\ddot{\mathbf{S}}$ 와 $\ddot{\mathbf{H}}$ 를 정의한다.

$$\ddot{\mathbf{S}} = [\mathbf{S}_1 \ \mathbf{S}_2], \quad \ddot{\mathbf{H}} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \\ \mathbf{H}_2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

식 (13)을 이용하여 식 (12)를 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \ddot{\mathbf{Y}} &= \mathbf{S}_1 \mathbf{H}_1 + \mathbf{S}_2 \mathbf{H}_2 + \mathbf{N} \\ &= [\mathbf{S}_1 \ \mathbf{S}_2] \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \\ \mathbf{H}_2 \end{bmatrix} + \mathbf{N} \\ &= \ddot{\mathbf{S}} \ddot{\mathbf{H}} + \mathbf{N} \end{aligned} \quad (14)$$

새로 정의한 $\ddot{\mathbf{S}}$ 와 $\ddot{\mathbf{H}}$ 를 사용한 식 (14)는 식 (9)와 동일한 형식이다. 따라서 식 (11)의 LS 채널 추정 방식을 적용할 수 있다. 이 경우 CCI의 TSC에 대한 정보를 이용하여 사용자로부터 페이딩 \mathbf{H}_1 뿐만 아니라 CCI로부터의 페이딩 \mathbf{H}_2 까지도 함께 추정하므로 연대최소사승기법 (Joint Least Square, JLS) 기법이라 불리 운다.

IV. 시뮬레이션 환경 및 수치 결과

본 절에서는 높은 전송률의 데이터를 요구하는 하향링크만을 고려한다. 고심률 (HSR)을 적용하는 EGPRS2-B에서 TSC-S와 TSC-E를 사용하여 채널 추정하고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 비교하고자 한다. EGPRS2-B 하향링크에 대한 MCS 레벨은 표 3에 정리하였고 본 논문에서는 변조 방식이 16QAM인 DBS-7을 기준으로 한다.

표 3. EGPRS2-B 하향링크에 대한 MCS 및 전송률^[1]

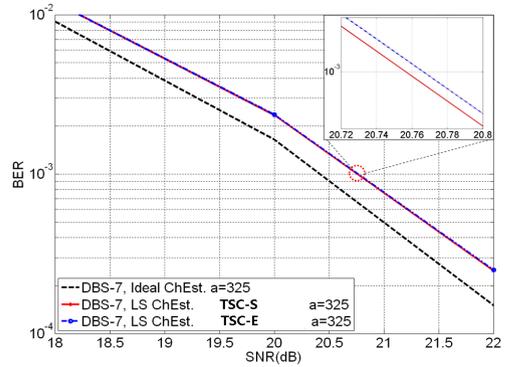
Scheme	Code rate	Modulation	RLC blocks per Radio Block	Raw Data within one Radio Block	Data rate per PDCH kb/s
DBS-12	0.98	32QAM	4	2368	118.4
DBS-11	0.91		4	2176	108.8
DBS-10	0.72		3	1776	88.8
DBS-9	0.71	16QAM	3	1344	67.2
DBS-8	0.60		2	1184	59.2
DBS-7	0.47		2	896	44.8
DBS-6	0.63	QPSK	1	592	29.6
DBS-5	0.49		1	448	22.4

표 4. 시뮬레이션 파라미터

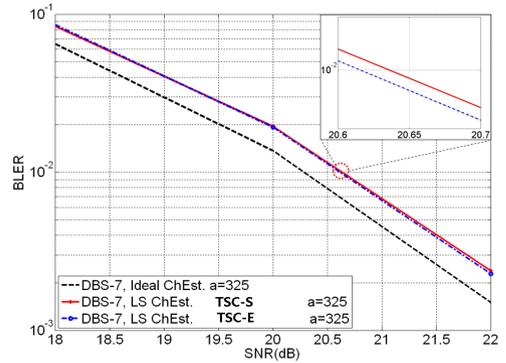
Parameter	Assumption
Channel profile	Typical Urban (TU) Noise limited scenario
Terminal speed	3 km/h
Frequency band	900MHz
Frequency hopping	Ideal
Equalizer	RSSE (4x2 SOVA)
Tx pulse shape	LGMSK
Rx filter	RRC
Simulation length	50,000 radio blocks per simulation point
TSC	TSC-S and TSC-E [10],[11]
Rate Matching	TS 25.212 [13]
Interleaver	Ericsson Interleaver (a=325) [14]

표 4는 본 논문에서 사용한 링크레벨 시뮬레이터의 시스템 파라미터이다. 이 때 적용된 TSC-S와 TSC-E는 표 1과 표 2에 각각 나타내었다. 채널 부호화를 통하여 얻어진 비트열을 물리적 채널에서 수용 가능한 비트열 크기로 바꾸어 주기위한 Rate Matching 방법은 참고문헌 [13]에서 HARQ를 적용하지 않은 경우를 적용 하였다. 한편 인터리버는 참고문헌 [14]에 제안된 Single Bit Interleaver를 사용하였으며, 인터리버 파라미터 a의 값으로는 325를 적용하였다.

그림 9는 TSC-S와 TSC-E를 사용하고 LS 채널 추정 기법을 적용한 경우와 이상적인 채널 추정 (Ideal Channel Estimation)을 가정하였을 때의 BER 및 BLER 성능을 함께 나타낸 것이다. 그림 9(a),(b)는 변조 및 코딩 집합으로 DBS-7을 적용하였을 때 얻은 BER 및 BLER 성능을 나타낸 것이다. 그림 9에 제시된 시뮬레이션 결과로부터 TSC-S와 TSC-E를 적용한 진화형 GERAN 시스템들의 채널 추정 성



(a) BER vs. SNR



(b) BLER vs. SNR

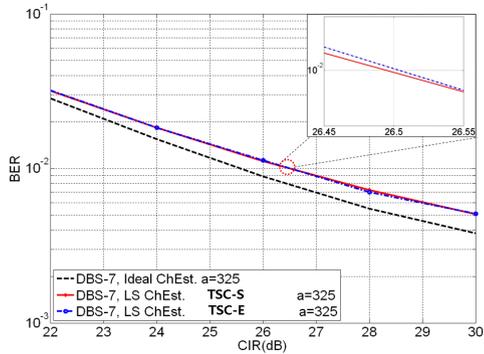
그림 9. 동일 채널 간섭이 없는 경우 TSC 성능

능 차이는 거의 없다는 것을 관찰할 수 있다. 또한 채널 추정한 결과를 완벽한 채널 추정의 경우와 비교하여 볼 때 BER=10⁻³과 BLER=10⁻²에서 각각 0.35dB 만큼 성능 차이가 난다.

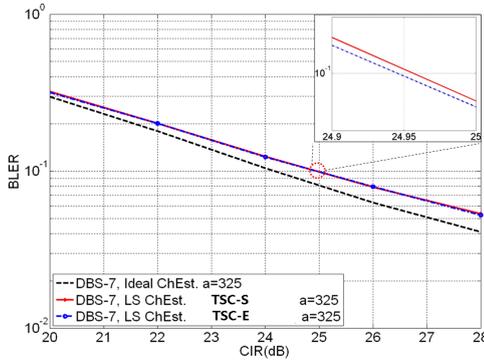
표 5는 동일 채널 간섭에 (Co-channel Interference, CCI) 대한 파라미터이다. 이때 사용자 신호에 TSC 번호를 지정한 후 (그림 8의 User Signal), CCI의 TSC 번호에는 사용자의 TSC 번호와 다른 번호의 코드를 지정해 주어야 한다. (그림 8의 CCI Signal) 사용자 신호의 SNR을 고정하고 CCI의

표 5. CCI 존재할 경우 파라미터

Parameter	Assumption
User SNR	20dB
TSC code number for User Signal	#0
Number of CCI	1
TSC code number for Co-channel Interference	#2
CIR (Carrier-to-Interference Ratio)	[Variable] in dB



(a) BER vs. CIR



(b) BLER vs. CIR

그림 10. 동일 채널 간섭이 있는 경우 TSC 성능

CIR (Carrier-to-Interference Ratio) 값에 따라 시뮬레이션의 결과를 볼 수 있다. 그림 10은 CCI를 1개 존재한다고 설정 후, 사용자의 신호를 20dB로 고정하고 CIR의 수치에 따른 시뮬레이션 결과이다. 이때 표 1 또는 표 2에서 사용자 (User Signal)의 TSC에는 TSC #0으로 할당하고 CCI (CCI Signal)의 TSC 번호는 TSC #2로 할당 하였다.

그림 10(a),(b)는 CCI가 존재하는 환경에서 TSC-S와 TSC-E를 이용하여 채널 추정하고, CIR에 따른 BER, BLER 성능 결과 그래프이다. 결과를 분석하면 TSC-S와 TSC-E를 적용 했을 때 성능의 차이가 거의 없다. 채널 추정이 이상적일 때의 결과와 비교하면 BER=10⁻²에서 1dB만큼 차이가 나고, BLER=10⁻¹에서 0.7dB만큼의 성능 차이를 보인다.

V. 결론

본 논문에서는 GERAN 진화 시스템에서 고심볼률을 적용한 EGPRS2-B 하향링크의 채널 추정을 위해 TSC-S를 제안하고 그 성능을 평가하여 타사

의 TSC-E와 비교하였다. 진화형 GERAN에서 고려 중인 변조 및 채널코딩 집합 가운데 대표적인 DBS-7을 적용하였을 때 TSC-S와 TSC-E의 채널 추정 성능은 거의 차이가 없다는 결과를 얻었다. 한편, 동일 채널 간섭(CCI)이 존재하는 경우에도 연대 최소자승기법(Joint Least Square)을 적용한 경우 두 TSC 사이의 성능이 거의 일치한다는 것을 확인하였다.

Acknowledgement

본 연구를 위한 삼성전자의 재정적인 도움에 감사드립니다.

참고 문헌

- [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.,
- [3] TS 25.212, “RAN: Multiplexing and channel coding (FDD),” V7.6.0, <http://www.3gpp.org>, September 2007
- [4] TS 45.001, “GERAN: Physical layer on the radio path - General description,” V7.5.0, <http://www.3gpp.org>, September 2007
- [5] TS 43.064, “GERAN: GPRS - Overall description of the GPRS radio interference, Stage 2.” V7.6.0, <http://www.3gpp.org>, September 2007
- [6] TS 45.002, “GERAN: Multiplexing and multiple access on the radio path” V7.5.0, <http://www.3gpp.org>, August 2007
- [7] Jan C. Olivier, Sang-Yick Leong, Chengshan Xiao, and Karl D. Mann, “Efficient Equalization and Symbol Detection for 8-PSK EDGE Cellular System”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.52, No.3, MAY 2003.
- [8] M. Pukkila and P. Ranta, “Channel estimator for multiple co-channel demodulation in TDMA mobile systems,” Proc. of the 2nd European Personal Mobile Communications

Conference, pp.327-333, 1997.

[9] B. Steiner and P. Jung, "Optimum and sub-optimum channel estimation for the uplink of CDMA mobile radio systems with joint detection," *European Transactions on Telecommunications*, Vol.5, pp.39-50, Jan.-Feb., 1994

[10] GP-070620, "New Training Sequence for RED HOT and HUGE", 3GPP TSG GERAN1 #34, Shenzhen, China, May 15-17, 2007, Source Samsung.

[11] GP-070707, "Training Sequence for High Symbol Rate", 3GPP TSG GERAN #34, Shenzhen, China, May 14th - 18th, 2007, Source : Ericsson

[12] Pierre Courrieu, "Fast Computation of Moore-Penrose Inverse Matrices", *Neural Information Processing - Letters and Reviews*, Vol.8. No.2, August 2005.

[13] TS 25.212, Multiplexing and channel coding (FDD).

[14] AHG1-070003, "Interleaver proposal for RED HOT and HUGE", source Ericsson, GERAN Ad Hoc on RED HOT and HUGE.

이 종 환 (Jong-Hwan Lee) 준회원



2007년 동국대학교 전자공학과 학사
 2007년~현재 동국대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> 무선 및 이동통신 시스템

황 은 선 (Eun-Sun Hwang) 준회원



2007년 인천대학교 멀티미디어공학과 학사
 2007년~현재 인천대학교 멀티미디어시스템공학과 석사과정
 <관심분야> 무선 통신 시스템, 임베디드 시스템

최 병 조 (Byoungjo Choi) 정회원



1992년~2005년 LG전자 책임연구원
 2001년 영국 사우스햄턴대학교 박사
 2001년~2002년 영국 사우스햄턴대학교 Research Fellow
 2005년~현재 인천대학교 교수
 <관심분야> 무선통신시스템, 임베디드시스템

황 승 훈 (Seung-Hoon Hwang) 종신회원



1999년 연세대학교 박사
 1999년~2005년 LG전자 책임연구원
 2003년~2005년 영국 사우스햄턴대학교 Visiting Research Fellow
 2005년~현재 동국대학교 교수
 <관심분야> 무선 및 이동통신 시스템 및 요소기술, cognitive radio, 밀리미터파통신

최 종 수 (Jongsoo Choi) 정회원



1994년~1999년 포항 산업과학연구원 (RIST) 선임연구원
 2000년 Univ. of Waterloo 방문연구원
 2003년 McMaster Univ. 석사
 2005년 Univ. of Ottawa 박사
 2005년~현재 삼성전자 책임연구원

2007년~현재 3GPP GERAN 부의장
 <관심분야> 무선통신 시스템, 적응신호처리, Computational Intelligence