

# 레이리 페이딩 채널에서 병렬 크로스 인터리버를 적용한 QPSK의 성능분석

\*방성은, 김영철, 양운근

인천대학교 전자공학과

인천시 남구 도화동 177번지

E-mail : g971121@lion.inchon.ac.kr

## Performance Evaluation for QPSK with Parallel Cross Interleaver in the Rayleigh Fading Channel

S. E. Bang, Y. C. Kim, W. G. Yang

Dept. of Electronics Engineering, University of Incheon

E-mail : g971121@lion.inchon.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 이동통신환경에서 데이터 전송시 발생되는 열화를 줄이기 위한 다이버시티(diversity)기법 중 일반적인 블록 인터리버의 성능을 분석하고 보다 나은 성능을 얻기 위하여 새로운 병렬식 크로스 인터리버(parallel cross interleaver)를 제안한다. Upband IS-95에서 사용되고 있는 블록 인터리버는 384(16×24)의 크기인 반면에 병렬식 크로스 인터리버를 적용하는 경우 216(6×6×2+12×12)크기에서도 약 1.8dB정도 향상되었다.

### I. 서 론

이동통신환경에서 송신신호는 가산성 백색 가우스 잡음(Additive White Gaussian Noise) 뿐만 아니라 다중경로전파로 인한 레일리 페이딩(rayleigh fading)에도 영향을 받는다. 이러한 이동통신환경은 송신신호에 연집에러(burst error)를 발생시키게되며 성능을 저하시키는 중요한 요인이 된다. 그러므로 이동통신환경에서 다중경로전파에 의한 신호간 시간지연으로 발생하는 연집에러를 줄이기 위해서 다이버시티 기법이 반드시 필요하다. 그리고 다이버시티 기법에 의해 랜덤(random)하게 변환된 에러를 정정하기 위해서 복호기도 매우 중요하다. 특히 정보를 부호화하는데 사용되는 부호가 높은 에러정정능력을 가지며 구현하려는 시스템 성능 파라미터를 만족시킨다면 그 시스템의 성능 향상을 예측할 수 있을 것이다. 그러나 다이버시티로부터 변환되고도 연집에러가 발생한다면 수신단에서 복호기는 복호오류를 일으키므로 성능저하의 원인이 된다. 그러므로 다이버시티의 성능이 오을을 결정하는 중요한 요인이다.

현재 이동통신 표준안으로 사용되는 Upband IS-95의 순방향 호출채널 및 통화채널에서는 384크기를 갖는 인터리버를 사용하고 있다. 그러나 차세대 이동 통신 시

스템에서는 보다 더 다양한 고품질의 멀티미디어 서비스를 제공하는 시스템 개발이 요구되고 있다 [1-3].

이러한 이유에서 본 논문에서는 기존의 블록 인터리버보다 더 정확한 에러정정과 작은 메모리를 사용하는 병렬식 크로스 인터리버를 제안한다. 또한 연산의 간편성을 위하여 부호율 1/2의 부호기를 적용하였고, Upband IS-95의 순방향에서 사용되고 있는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변/복조방식에 적용하여 성능의 향상을 도모한다.

II장의 1절에서는 Upband IS-95의 순방향에서 사용되는 블록 인터리버를 고찰하고, 2절에서는 제안하는 병렬식 크로스 인터리버의 시스템의 구성 및 입력 및 출력 과정을 설명하고, 3절에서는 전체 시스템의 구성과 전송 신호의 비트오류확률에 대해 설명한다. III장에서는 QPSK에서의 비트오류확률곡선을 보인 후 병렬 크로스 인터리버를 적용한 QPSK의 성능을 평가하고 IV장에서 결론을 맺는다.

### II. 인터리버와 채널구조

#### 1. Upband IS-95의 블록 인터리버

국내 PCS(Personal Communications System)의 표준안인 Upband IS-95의 순방향(forward link) 호출채널, 통화채널의 모든 데이터들은 심볼반복기(symbol repetition)를 거친 후 블록 인터리버에 입력된다.

블록 인터리버의 입력(쓰기) 심볼 계열은 그림 1의 (a)와 같다. 표를 쓰는 방법은 왼쪽 줄부터 오른쪽 줄까지 한줄씩 위에서 아래로 써가는 순서이다. 즉 첫번째 입력 심볼은 왼쪽 맨 위이고 두번째 입력 심볼은 첫번째 입력 심볼 바로 아래이며 25번째 입력 심볼은 첫번째 입력 심볼 바로 다음 오른쪽 줄이다. 출력되는 심

블 계열은 그림 1의 (b)와 같다 [3].

1	25	49	73	97	121	145	169	193	217	241	265	289	313	337	361
2	26	50	74	98	122	146	170	194	218	242	266	290	314	338	362
3	27	51	75	99	123	147	171	195	219	243	267	291	315	339	363
4	28	52	76	100	124	148	172	196	220	244	268	292	316	340	364
5	29	53	77	101	125	149	173	197	221	245	269	293	317	341	365
6	30	54	78	102	126	150	174	198	222	246	270	294	318	342	366
7	31	55	79	103	127	151	175	199	223	247	271	295	319	343	367
8	32	56	80	104	128	152	176	200	224	248	272	296	320	344	368
9	33	57	81	105	129	153	177	201	225	249	273	297	321	345	369
10	34	58	82	106	130	154	178	202	226	250	274	298	322	346	370
11	35	59	83	107	131	155	179	203	227	251	275	299	323	347	371
12	36	60	84	108	132	156	180	204	228	252	276	300	324	348	372
13	37	61	85	109	133	157	181	205	229	253	277	301	325	349	373
14	38	62	86	110	134	158	182	206	230	254	278	302	326	350	374
15	39	63	87	111	135	159	183	207	231	255	279	303	327	351	375
16	40	64	88	112	136	160	184	208	232	256	280	304	328	352	376
17	41	65	89	113	137	161	185	209	233	257	281	305	329	353	377
18	42	66	90	114	138	162	186	210	234	258	282	306	330	354	378
19	43	67	91	115	139	163	187	211	235	259	283	307	331	355	379
20	44	68	92	116	140	164	188	212	236	260	284	308	332	356	380
21	45	69	93	117	141	165	189	213	237	261	285	309	333	357	381
22	46	70	94	118	142	166	190	214	238	262	286	310	334	358	382
23	47	71	95	119	143	167	191	215	239	263	287	311	335	359	383
24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360	384

(a)

1	9	5	13	3	11	7	15	2	10	6	14	4	12	8	16
65	73	69	77	67	75	71	79	66	74	70	78	68	76	72	80
129	137	133	141	131	139	135	143	130	138	134	142	132	140	136	144
193	201	197	205	195	203	199	207	194	202	198	206	196	204	200	208
257	265	261	269	259	267	263	271	258	266	262	270	260	268	264	272
321	329	325	333	323	331	327	335	322	330	326	334	324	332	328	336
33	41	37	45	35	43	39	47	34	42	38	46	36	44	40	48
97	105	101	109	99	107	103	111	98	106	102	110	100	108	104	112
161	169	165	173	163	171	167	175	162	170	166	174	164	172	168	176
225	233	229	237	227	235	231	239	226	234	230	238	228	236	232	240
289	297	293	301	291	299	295	303	290	298	294	302	292	300	296	304
353	361	357	365	355	363	359	367	354	362	358	366	356	364	360	368
17	25	21	29	19	27	23	31	18	26	22	30	20	28	24	32
81	89	85	93	83	91	87	95	82	90	86	94	84	92	88	96
145	153	149	157	147	155	151	159	146	154	150	158	148	156	152	160
209	217	213	221	211	219	215	223	210	218	214	222	212	220	216	224
273	281	277	285	275	283	279	287	274	282	278	286	276	284	280	288
337	345	341	349	339	347	343	351	338	346	342	350	340	348	344	352
49	57	53	61	51	59	55	63	50	58	54	62	52	60	56	64
113	121	117	125	115	123	119	127	114	122	118	126	116	124	120	128
177	185	181	189	179	187	183	191	178	186	182	190	180	188	184	192
241	249	245	253	243	251	247	255	242	250	246	254	244	252	248	256
305	313	309	317	307	315	311	319	306	314	310	318	308	316	312	320
369	377	373	381	371	379	375	383	370	378	374	382	372	380	376	384

(b)

그림 1. Upband IS-95의 호출채널과 통화채널의 블록 인터리버 (a) 쓰기 (b) 읽기

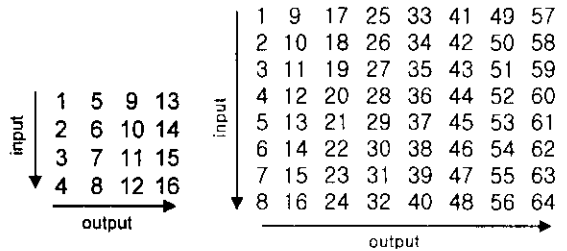
## 2. 제안하는 병렬식 크로스 인터리버

병렬식 크로스 인터리버는 작은 메모리 크기를 가지면서 384크기의 블록 인터리버보다 성능의 향상을 피하도록 한 인터리버이다. 본 논문에서 제안하는 병렬식 크로스 인터리버는 그림 2와 같다. 송신단에서는 먼저 직렬로 입력되는 데이터가 직/병렬 변환기에서 짝수(even)와 홀수(odd)로 나뉘어지고, 작은 크기(4×4, 4×8, 6×6)를 갖는 블록 인터리버 2개에 각각 짝수와 홀수로 나뉘어진 데이터가 입력된다. 작은 크기의 블록 인터리버 각각에서 출력된 데이터는 부호율 1/2인 (8, 4, 4) 확장 부호(extended code)로 부호화 된 후 병/직렬기를 통과하여 짝수, 홀수, 짝수, 홀수의 순서로 정렬되어 작은 크기의 블록 인터리버보다 정확히 4배 큰 블록 인터리버(8

×8, 8×16, 12×12)에 입력된다.

수신단은 위의 송신단의 과정을 역으로 행하게 되며 사용하는 부호가 1비트 에러정정 가능한 부호이므로 경판정을 이용한 복호법을 채택하여 성능을 향상시켰다.

그림 2의 병렬식 크로스 인터리버에서 부호율 1/2인 (8, 4, 4) 확장부호를 선택한 이유는 계산이 용이하고 선택한 블록 인터리버에 적용하기 알맞기 때문이다. 송신단의 작은 크기를 갖는 블록 인터리버에 대한 입/출력 과정은 그림 3과 같다



(a) (b)

그림 3. 각 채널 인터리버의 예 (a) 4×4 (b) 8×8

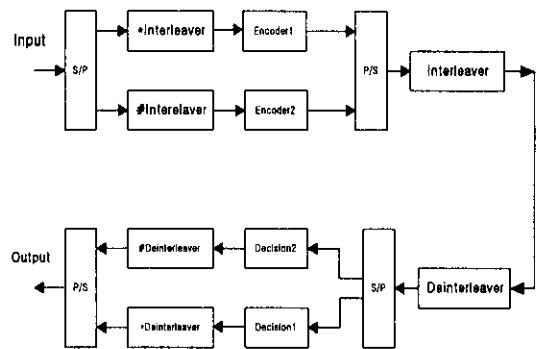


그림 2. 병렬식 크로스 인터리버

그림 3은 16(4×4)크기와 64(8×8)크기를 갖는 블록 인터리버의 데이터 입/출력 과정이며 직/병렬기 및 병/직렬기에 의해 데이터가 각각 짝수와 홀수로 나뉘어지고 다시 혼합되는 과정을 거치기 때문에 연접에러가 랜덤에러로 바뀌는 경우 192(4×8×2+8×16)크기를 갖는 블록 인터리버에 비하여 연접에러가 보다 많이 랜덤에러화 된다.

## 3. QPSK 변/복조기

QPSK 변조방식은 4가지의 위상 상태를 이용하여 2-bit의 정보를 전송하는 방식이다. QPSK는 그레이 부호화(Gray Encoding) 방식과 차동 부호화(Differential Encoding) 방식을 적용하는 2가지 방법이 있다. 그레이

부호화 방식은 2-bit 정보에 따라 위상을 할당하는 방식이고 차동 부호화 방식은 1구간 전의 PSK 신호를 기준으로 사용하여 검파하는 방식이다.

그림 4는 병렬 크로스 인터리버를 QPSK 변/복조 방식에 적용한 시스템 구성도이며 그레이 부호화 방식을 이용하였다.

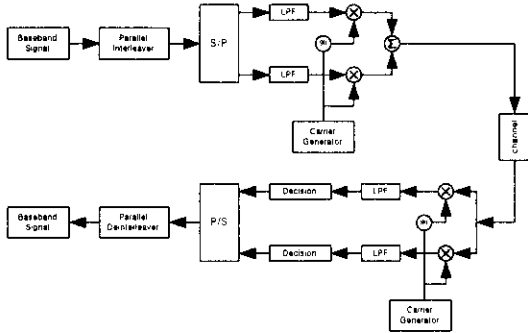


그림 4. 변/복조기 구성도

병렬 크로스 인터리버를 거치면서 부호화된 신호는 다시 직/병렬기를 통과하여 변조기에 입력되고, 이를 통과한 전송신호는 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 S_{QPSK} &= A[d_I(t) \cos 2\pi f_c t - d_Q(t) \sin 2\pi f_c t] \\
 &= A[\cos \phi_i \cos 2\pi f_c t - \sin \phi_i \sin 2\pi f_c t] \\
 &= A \cos (2\pi f_c t + \phi_i)
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서  $d_I(t)$ 와  $d_Q(t)$ 는 2원 부호를 나타내는 입력 데이터 열  $\{d_k\} = \{d_0, d_1, \dots\}$ 에서 짝수 비트와 홀수 비트이고,  $A$ ,  $f_c$ 는 반송파의 진폭 및 주파수이다. 만일  $\phi_i$ 를  $\pm 45^\circ$ ,  $\pm 135^\circ$ 라고 하면 다음과 같은 4가지의 파형이 발생한다.

$$S_{QPSK} = \frac{A}{\sqrt{2}} [a_i \cos 2\pi f_c t - b_i \sin 2\pi f_c t] \tag{2}$$

여기서  $a_i$ 와  $b_i$ 는  $\{-1, 1\}$ 인 선로부호이다 [4].

입력 신호에 전력 스펙트럼밀도가  $\frac{1}{2}N_0$ 인 잡음  $n(t)$ 가 섞인 경우 이상적인 복조기에 입력되는 신호는 다음과 같다.

$$S_i = \frac{A}{\sqrt{2}} [a_i \cos 2\pi f_c t - b_i \sin 2\pi f_c t] + n(t) \tag{3}$$

QPSK 수신기도 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 수신기를 병렬로 합성한 것으로 생각할 수 있다. I채널과 Q채널의 비트오류확률이 독립적이라고 가정하면 I채널과 Q채널은 대칭이므로  $P_I(e) = P_Q(e)$ 이다. 수신기의 판정(decision)부분에 상관기(correlator)를 적용하

면 I채널의 출력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 y_I &= \frac{1}{T} \int_0^T s_i(t) \cos 2\pi f_c t dt \\
 &= \frac{A}{\sqrt{2}} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_i(t) \cos^2 2\pi f_c t dt \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{T} \int_0^T b_i(t) \sin 2\pi f_c t \cos 2\pi f_c t dt \right] \\
 &\quad + \frac{1}{T} \int_0^T n(t) \cos 2\pi f_c t dt \\
 &= a_i \frac{A}{2\sqrt{2}} + N_1 \\
 &= \pm \frac{A}{2\sqrt{2}} + N_1
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 2배의 주파수 성분은 필터에 의해서 제거된다고 가정하였으며  $\sin 2\pi f_c t$ 와  $\cos 2\pi f_c t$ 는 직교성을 가지므로 제 2항은 0이 되고  $N_1$ 은 식(5)과 같다.

$$N_1 = \frac{1}{T} \int_0^T n(t) \cos 2\pi f_c t dt \tag{5}$$

같은 방법으로 Q채널의 출력을 구하면 다음과 같다.

$$y_Q = \pm \frac{A}{2\sqrt{2}} + N_2 \tag{6}$$

여기서,  $N_2$ 는 다음과 같다.

$$N_2 = \frac{1}{T} \int_0^T n(t) \sin 2\pi f_c t dt \tag{7}$$

송신신호에 대한 I채널과 Q채널의 각각의 비트오류확률은 BPSK의 경우와 동일하므로 수신단에서의 복조기를 통과한 신호에 대한 비트오류확률  $P(e)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$P(e) = \text{erfc} \sqrt{\frac{E_s}{2N_0}} \left[ 1 - \frac{1}{4} \text{erfc} \sqrt{\frac{E_s}{2N_0}} \right] \tag{8}$$

복조기를 통과한 신호는 병렬식 크로스 디인터리버를 통과한 후에 연결여러가 랜덤여러로 바뀌어지며 메모리의 크기가 클수록 랜덤화되는 정도가 더 커진다 [5-10].

### III. 전산모의실험 및 성능평가

전산모의실험으로 사용되는 입력 데이터로는 PN (Pseudo Noise)부호를 사용하였다. 사용한 PN부호는 쉬프트 레지스터(shift register) 32개의 조합으로 이루어진 2진수로서 데이터를 생성하면  $(2^{32}-1)$ 번 마다 주기를 갖는 특성이 있다. 또한 입력 데이터의 개수는  $10^8$ 개 정도로 하였으며 신뢰도를 위해 비트오율  $10^{-6}$ 이하의 결과는 표현하지 않았다. 그리고 레일리 페이딩 채

널환경 하에서 비트오율을 측정하였다.

그림 5는 384(16×24)크기의 블록 인터리버를 이용한 QPSK의 비트오류확률곡선이다. 비트오율  $10^{-3}$ 에서 블록 인터리버를 이용한 QPSK의 성능이 약 8~9dB정도 향상됨을 알 수 있고, 점차 그 향상 정도가 커짐을 알 수 있다. 그림 5의 블록 인터리버에 대한 성능분석도 부호율 1/2인 (8, 4, 4)부호를 사용하였다.

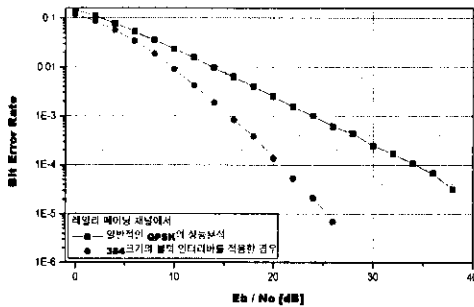


그림 5. 384(16×24) 크기의 블록 인터리버를 이용한 QPSK의 비트오류확률곡선

그림 6은 384(16×24)크기의 블록 인터리버 및 96, 192, 216크기의 병렬식 크로스 인터리버를 이용한 QPSK의 비트오류확률곡선이다. 병렬식 크로스 인터리버를 QPSK에 적용한 경우 216크기에서 384크기의 블록 인터리버를 이용한 경우보다 성능이 향상됨을 알 수 있다. 비트오율  $10^{-3}$ 에서 약 1.8dB정도의 성능향상을 볼 수 있다.

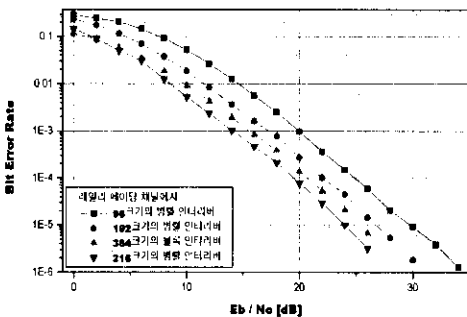


그림 6. 블록 인터리버와 병렬식 크로스 인터리버 각각을 이용한 QPSK 비트오류확률곡선

#### IV. 결론

Upband IS-95의 순방향 채널의 데이터가 384크기 블록 인터리버를 통과하는 경우 얻어지는 성능에 비해 216크기 병렬식 크로스 인터리버에서의 성능이 약

1.8dB정도 우수함을 알 수 있었고, 192크기 및 96크기의 병렬식 크로스 인터리버의 경우는 약 1.6dB와 4.3dB정도 성능이 떨어짐을 알 수 있었다.

병렬식 크로스 인터리버에서 사용하는 블록 인터리버 모두에 대각 인터리버의 특성을 이용하는 경우와 부호율이 크면서 에러정정능력이 높고 구현하는 시스템 성능 파라미터에 적합한 부호를 사용하는 경우 지금의 성능보다 훨씬 뛰어난 성능을 기대할 수 있다.

앞으로 병렬식 인터리버를 이용한 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)에서의 성능분석과 대각 인터리빙의 특성을 집중시킬 것이다. 또한 순회부호 및 컨벌루션부호의 적용과 PSAM(Pilot Symbol Assisted Modulation) 혹은 다른 보상기법을 적용하여 보다 우수한 성능을 얻을 수 있는 시스템을 설계할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] A. C. M. Lee and P. J. McLane, "Convolutionally interleaved PSK and DPSK trellis codes for shadowed fast fading mobile satellite communication channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 39, pp. 37-47, February 1990.
- [2] J. S. Lee, *Theory of Phase Modulation and Orthogonal Sequences for CDMA Cellular System Applications*, J. S. Lee Associates, Inc., 1993
- [3] *Draft American National Standard for Telecommunications Personal Station Base Station Compatibility Requirements for 1.8~2.0 GHz Code Division Multiple Access (CDMA) Personal Communications Systems*, ANSI, Inc., 1994
- [4] 서울대학교 공학연구소, *ISDN의 U-Interface Block Coding 방식에 관한 연구*, 삼성전자(주) 정보통신연구소, 1990
- [5] S. H. Jamali and T. L. Ngoc, *Coded Modulation Techniques for Fading Channels*, Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [6] B. Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice hall, 1988.
- [7] 陳年綱, *아날로그와 디지털통신*, 淸文閣, 1995.
- [8] R. Padovani and J. K. Wolf, "Coded Phase/Frequency Modulation," *IEEE Trans. commun.*, vol. COM-34, no. 5, pp. 446~453, October 1986.
- [9] C. H. Yi and J. H. Lee, "Interleaving and Decoding Scheme for a Product Code for a Mobile Data Communication," *CITW.*, 1996.
- [10] L. Kaya and B. Honary, "Phase/Frequency Modulation Employing array codes," *Electron. Lett.*, vol. 29, no. 21, pp. 1883~1884, October 1993.