

대역확산통신시스템에서 기저대역변조 방식에 따른 성능 비교

Performance Comparison of Baseband Modulation Methods in DS-CDMA Communication System

이 성 민* 김 환 우**

요 약

직접확산 통신시스템의 성능을 최대한 활용하기 위해서는 통신 대역을 적절히 활용하여 사용자의 수를 많게 하여 주파수 자원을 효율적으로 사용하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 DS-CDMA시스템의 기저대역 변조방식을 MPSK, QAM, MFSK, 및 PR부호기로 사용할 때, 각각의 변조방식별로 사용자수를 증가시키면서 비트오율을 예측하여 시스템의 성능을 상호 비교하였다. BPSK방식은 전반적으로 우수한 성능을 가지며, FSK 방식은 단말이 저전력으로 운용될 경우 상대적으로 우수한 성능을 갖는다. PR 방식은 단말이 고전력으로 운용될 경우 상대적으로 우수하며, 사용자 수가 폭주할 경우에 우수한 성능을 갖는다. QAM방식은 성능이 나빠 대역확산 통신시스템에 적합하지 않은 것으로 나타났다.

ABSTRACT

It is important to use frequency resource effectively to support much more users, to maximize the DS-CDMA system performance. In this paper, we use MPSK, QAM, MFSK and PR coder as a baseband modulation method for DS-CDMA system. Increasing user's number, we compare the performance of each system using different baseband modulation method, by expecting BER performance. BPSK has generally good performance, in case of low power operation of terminal 8FSK has excellent performance relatively, PR has excellent performance when high power operation of terminal and also good for situation of excessive user's number. QAM is not suitable for DS-CDMA system.

I. 서 론

직접확산 통신방식은 초기에는 군사용으로만 사용

되었으나, 현재에는 상용 이동전화망, GPS시스템 등에서 아주 많이 활용의 범위를 넓혀가고 있다. 현재 직접대역확산통신 방식으로 지상망에서는 IS-95 표준을 기본으로 하는 Qualcomm사 방식의 이동전화망이 주축을 이루고 있다. 현재 사용중인 직접대역확산통신

* 국방과학연구소 ** 충남대학교

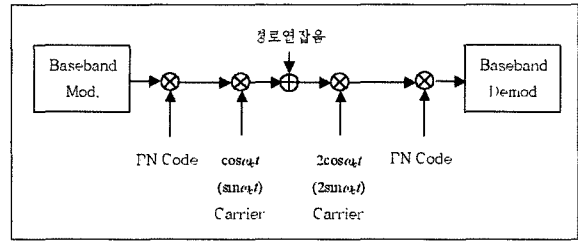
방식에서는 기저대역의 변조방식을 BPSK방식을 사용한다. 확산이득은 확산대역을 기저대역으로 나누어 구해지는데, 망에서 허용 가능한 동시 사용자 수는 통상 확산이득의 10% 정도이다^[1]. 만약 기저대역의 변조방식을 주파수 효율이 높은 변조 방식을 사용한다면 확산이득이 커지게 될 것이고, 사용자 수를 늘려 시스템 성능을 향상 시킬 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 그러나 변조방식이 달라지면 요구 통신품질을 만족하기 위한 신호대 잡음비(E_b/N_0)가 달라져 기대한 만큼의 성능향상을 얻을 수 없을 수도 있다.

DS-CDMA방식의 기저대역 변조방식으로, BPSK와 MFSK가 유력한 방식으로 이미 제시된 바 있다^[2,3,4]. 본 논문에서는 이미 제시되었던 변조방식을 포함하여 기저대역의 변조방식으로 많이 사용될 수 있는 PSK(Phase Shift Keying)계열, QAM(Quadrature Amplitude Modulation)계열, FSK(Frequency Shift Keying)계열의 변조방식과, PR(Partial Response) 부호기의 사용한 방식에 대해 각각 확산시킬 때, 시스템의 사용자 수의 증가와 단말의 사용 전력에 따라 BER(Bit Error Rate)의 열화정도를 예측함으로써 시스템 성능을 비교 분석하였다.

II. DS-CDMA 시스템

DS-CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access) 시스템은 기저대역 변조 방식으로 통상 PSK계열로, BPSK, QPSK가 사용되고, 다음 그림 1과 같이 구성된다.

이동통신에서 이동단말의 송신부와 기지국의 수신부의 구성을 고려할 수 있다. 또한 수동중계기를 사용하는 위성통신시스템에서도 이와 같은 구성을 생각할



[그림 1] DS-CDMA 시스템 구성

수 있다. 본 논문에서는 시스템 내의 모든 송수신기가 그림 1과 동일한 구조를 갖는다고 가정하였다. DS-CDMA 시스템의 처리이득($P.G$, Processing Gain)은 다음 식 1로 표현할 수 있다^[25].

$$P.G = \frac{R_p}{R_b} \tag{1}$$

여기서 R_p 는 PN 확산코드율을, R_b 는 비트율을 나타낸다.

서로 다른 PN(Pseudo-Noise) 시퀀스를 사용하여 통신할 때에는 상호 간섭이 존재하며, 상호 간섭량은 Cross-correlation 값에 의해 예측된다. 시퀀스가 동기화 된 시스템에서 임의의 시퀀스 i 와 시퀀스 k 의 정규화 Cross-correlation 값을 ρ_{ik} 라 할 때, ρ_{ik} 의 제곱의 기대값이 1 십벌내의 Chip의 길이(L)의 역수가 되는 랜덤 시퀀스를 생각할 수 있다^[2].

$$E[\rho_{ik}^2] = \frac{1}{L} = \frac{1}{P.G} \tag{2}$$

레지스터 8단을 사용하는 Kasami 시퀀스의 1 주기를 1 십벌에 적용할 경우, 최대 Cross-correlation 값을 갖는 시퀀스간의 정규화 Cross-correlation의 제곱의 기대값은

$$E[\rho_{ik}^2] = \left(\frac{17}{256}\right)^2 \approx \frac{1}{226.7} \approx \frac{1}{256}$$

이 되어 식 2와 유사한 특성을 가지는 시퀀스의 예가 된다. 다른 사용자의 간섭 에너지는 송신한 에너지의 ρ_{ik}^2 배(1/L배) 만큼으로 억압되어 간섭으로 작용할 것으로 기대된다.

신호대 잡음비(E_b/N_o)는 BER의 성능을 예측하는데, 중요한 요소이다. 잡음 성분(N_o)은 무선 경로에서 삽입되는 열잡음(N_{th})과 시스템내의 다른 사용자에게 의한 상호간섭잡음으로 생각할 수 있다. 각 사용자의 신호에너지는 원하는 사용자의 신호에너지와 동일하다고 가정하자. 사용자 수가 증가하면 당연히 상호간섭잡음이 증가하고, 이 간섭신호는 역확산 회로를 통해 1/P.G(처리이득) 만큼 간섭잡음이 줄어든다^[1]. m 을 시퀀스 순번이라 할 때, m 번째 시퀀스에 대한 수신부의 역확산 신호($y_k(m)$)는 원하는 사용자신호($y_{k1}(m)$), 사용자 간섭신호($y_{k2}(m)$), 열잡음($y_{k3}(m)$)의 합으로 표현할 수 있다^[1].

$$y_k(m) = y_{k1}(m) + y_{k2}(m) + y_{k3}(m)$$

1 bit구간 적분한 Y_k 를 decision variable이라 하면,

$$Y_k(m) = \sum_{m=1}^L (y_{k1}(m) + y_{k2}(m) + y_{k3}(m))$$

이 되는데, 오류확률은

$$P_b = Q\sqrt{\frac{[E(Y_k)]^2}{Var(Y_k)}}, \quad Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$$

이다. $[E(Y_k)]^2$ 는 E_b 이며, Y_k 의 분산은 3신호의 분산의 합이다. K 를 시스템내 사용자 수라하고, 모든 사용자의 에너지가 E_b 로 동일하다고 가정하며, 간섭신호와 원하는 신호의 위상차가 $0 \sim 2\pi$ 에 균등 분포할 경우를 고려할 때, 각각의 분산은,

$$Var(y_{k1}(m)) = 0, \quad Var(y_{k2}(m)) = \frac{1}{2} E_b \sum_{i=1, i \neq k}^K \rho_{ik}^2$$

$$Var(y_{k3}(m)) = N_{th}/2$$

여기서 N_{th} 는 one-side 열잡음 전력스펙트럼 밀도이며, $N_{th}/2$ 는 two-side의 전력스펙트럼 밀도이다. 확산통신을 고려한 BPSK의 오류확률은^[2],

$$P_e = Q \sqrt{\frac{E_b}{\frac{N_o}{2} + \frac{1}{2} \frac{E_b(K-1)}{P.G}}} \quad (3-1)$$

$$or \quad P_e = \frac{1}{2} erfc \sqrt{\frac{E_b}{N_o + \frac{E_b(K-1)}{P.G}}} \quad (3-2)$$

이다. 여기서 Q 함수와 $erfc$ 함수의 관계는,

$$P_e = Q(y) = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{y}{\sqrt{2}}\right)$$

이다.

한번에 N 비트를 동시에 송신하는 다른 변조방식을 사용하여 다른 사용자가 심벌에너지 E_s 를 송신하는 경우를 생각해 보자($2^N=M$). 그 때 심벌 에너지는 NE_b 가 된다.

주파수축에서 생각해 보면, 심벌의 주기가 N 배가 되어 심벌의 대역폭($2f_b$)은 $2f_b/N$ 이 된다. 수신단에서는 심벌결정에 영향을 주는 $2f_b/N$ 의 기저대역폭에 대한 잡음만이 고려 대상일 뿐이다. BPSK의 경우 비트에너지(E_b)에 대해 “확산대역(W_{ss})에 대한 BPSK 대역폭($2f_b$)” 비율인 $E_b/P.G$ 가 간섭잡음이 된다. 마찬가지로 심벌에너지(E_s)에 대해서는 “확산대역에 대한 심벌의 대역폭($2f_s$)” 비율인 $E_s/NP.G$ 가 간섭잡음이 된다.

또한 cross-correlation의 측면에서 생각하면, 심벌의 길이가 bit길이의 N 배가 되므로 심벌의 N 배의 지속시간 내에는 식 2의 시퀀스의 수가 LN 개가 된다. 원하는 신호(E_s)의 유지시간과 간섭 신호(E_s)의 유지시간은 동일하다. 따라서 정규화 cross-correlation의 제곱 값도 $1/NL$ 로 작아지며, 심벌의 에너지에 대해 정규화 cross-correlation의 값을 곱한 에너지가 간섭 에너지로 작용한다. 즉, 심벌화 하여 기저대역폭을 좁힌 효과는 간섭 심벌에 대해 처리이득이 향상되는 것으로 나타나는 것으로 볼 수 있다.

또한 QAM의 경우, 사용자별로 서로 다른 심벌을 사용함에 따른 심벌의 에너지의 차이는 사용자마다 다른 크기의 간섭잡음 에너지를 유발할 수 있을 것이다. 그러나 사용자수가 충분히 크다면, 상호간섭잡음 에너지의 합은 결국 심벌 에너지의 평균(E_s) · ($K-1$)로 접근할 것이다.

MFSK의 경우, 기저대역의 주파수가 변화하게 되고, 그 결과 확산대역에서 주파수 편이가 발생할 수 있어, 초기에 계획한 확산 대역을 벗어날 수도 있으므로, PN시퀀스 발생율을 낮추어 기저대역의 주파수가 변하더라도 확산대역 내에서 확산신호가 발생하도록 조정할 필요가 있을 것이다. PN시퀀스 발생율을 낮추는 것은 bit 혹은 심벌내 시퀀스의 개수를 낮추는 것

이 되므로 처리이득의 저하가 불가피하다. 이때의 시퀀스발생의 저하율 β 라 하자. 이상의 조건을 정리하여 심벌에너지 대 잡음의 분산 비를 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{E_s}{N_o/2} = \frac{E_s}{\frac{N_{th}}{2} + \frac{1}{2\beta} \frac{E_s(K-1)}{N \cdot P.G}} \quad (4)$$

여기서 잡음의 분산은

$$\frac{N_o}{2} = \frac{N_{th}}{2} + \frac{1}{2\beta} \frac{E_s(K-1)}{N \cdot P.G}$$

으로 대응된다. 기저대역 변조방식간의 평등한 성능 비교를 위해 기저대역 변조방식으로 BPSK를 기준으로 할 때, 확산이득을 30dB로 확산대역폭을 고정하였고, E_b/N_{th} 는 10dB와 17dB 그리고 24dB로 고정하였다. 또한 확산방식은 이진 확산(Binary Spreading)만을 고려하며, 완벽한 전력제어에 의해 모든 송신기의 평균전력은 동일하다고 가정하고, 원하는 신호의 Carrier 위상은 통신 초기에 동기패턴 등을 사용하여 동기를 확보하고 유지하는 것으로 가정하며, 시퀀스 동기식 DS-SS 시스템을 가정하였다. 채널은 열잡음과 사용자 상호 간섭잡음 만을 고려한다.

III. PSK계열의 변조방법

먼저 PSK계열의 변조방식을 기저대역의 변조방식으로 사용할 때를 먼저 고려해 보자. BPSK 변조 및 QPSK 변조 방식의 BER 특성은 다음의 식과 같이 표현된다^[6].

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_o}}$$

열잡음 및 사용자간 상호 간섭을 고려한 대역확산 시의 BER 성능은 다음 식과 같다. QPSK 변조를 확산 통신에 적용한 경우도 BER 성능은 BPSK와 동일하다^[2,7,8].

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_{th} + \frac{1}{P.G} E_b (K-1)}} \quad (5)$$

또한 M-ary PSK의 경우(M>4) 기호 착오 확률은,

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\sin^2 \frac{\pi}{M} \frac{NE_b}{N_o}} \quad (6)$$

이며^[6], 확산통신에 적용한 기호 착오 확률은 다음 식 7과 같다.

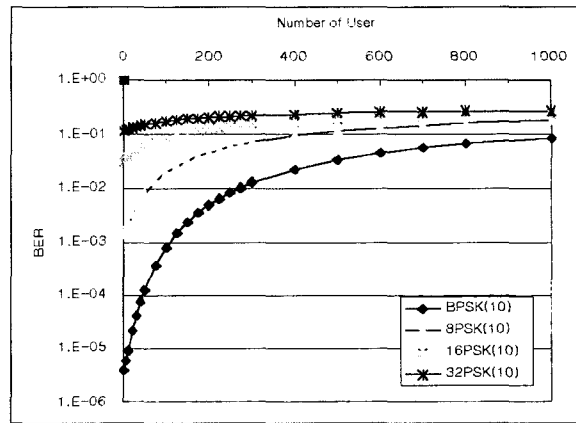
$$P_e = \operatorname{erfc} \sqrt{\sin^2 \frac{\pi}{M} \frac{NE_b}{N_{th} + \frac{E_b(K-1)}{P.G}}} \quad (7)$$

MPSK는 그레이 부호화가 가능하여, bit오율(P_{eb}) 이 다음의 범위에 있으며^[6], 중간값으로 bit오율을 근사화하였다.

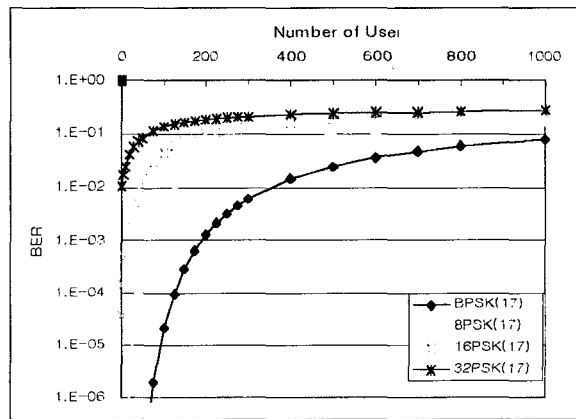
$$\frac{1}{N} P_e \leq P_{eb} \leq \frac{M/2}{M-1} P_e$$

$$P_{eb} \approx \frac{P_e}{2} \left(\frac{1}{N} + \frac{M/2}{M-1} \right) \quad (8)$$

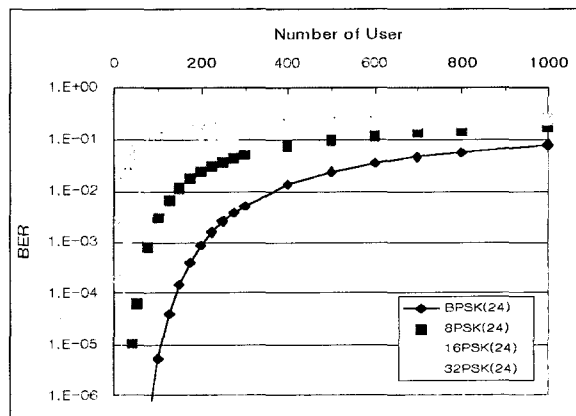
식 5, 7, 8를 사용하여 PSK 변조방식을 확산시스템



가. $E_b/N_{th} = 10\text{dB}$



나. $E_b/N_{th} = 17\text{dB}$



다. $E_b/N_{th} = 24\text{dB}$

[그림 2] PSK 변조 방식의 BER 성능

에 적용하여, 사용자를 증가하면서 BER 성능을 비교하면 다음 그림 2와 같다. 그 결과 BPSK 성능이 가장 우수하다.

IV. QAM계열의 변조방법

QAM계열의 변조 방식을 ASK계열의 4분 위상 확장 변조방식으로 볼 수 있어, ASK계열에 대해 성능을 분석하고, QAM으로의 확장은 BPSK에서 QPSK로 확장할 때와 마찬가지로 동일한 성능을 갖으므로, 분석을 생략한다.

4ASK의 기호 착오 확률은,

$$P_e = \frac{3}{4} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{1}{5} \frac{2E_b}{N_o}} \quad (9)$$

이며^[9,10,11], 이를 이용하여 대역확산시스템에 적용하면

$$P_e = \frac{3}{4} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{1}{5} \frac{2E_b}{N_{th} + \frac{E_b(K-1)}{P.G}}} \quad (10)$$

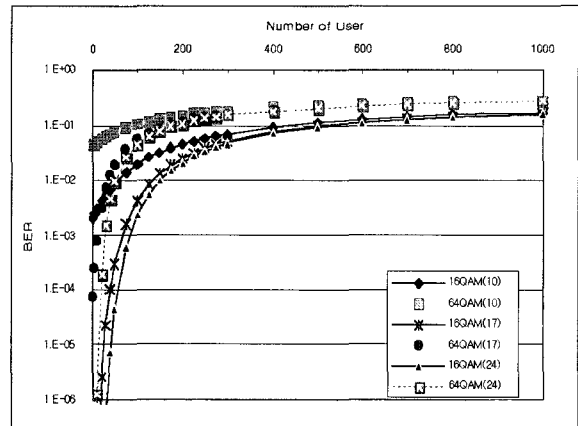
이다

8ASK의 기호 착오 확률은

$$P_e = \frac{7}{8} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{1}{21} \frac{3E_b}{N_o}} \quad (11)$$

이며^[10], 확산통신에 적용하면,

$$P_e = \frac{7}{8} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{1}{21} \frac{3E_b}{N_{th} + \frac{E_b(K-1)}{P.G}}} \quad (12)$$



[그림 3] QAM 변조방식의 BER 성능

이 된다.

ASK변조 방식 역시 그레이 부호화가 가능하며, bit 오류율은 식 8의 범위내에 있어 중간값으로 근사할 수 있다. 4ASK를 4분 위상으로 확장한 16QAM의 BER 성능은 4ASK와 동일하며, 64QAM의 BER 성능은 8ASK와 동일하다.

이 두 QAM(ASK) 변조방식을 확산시스템에 적용하였을 때, BER 성능을 다음의 그림 3과 같이 비교하여 나타낼 수 있다. 그 결과 16QAM (4ASK)의 성능이 우수하였다.

V. MFSK계열의 변조방법

MFSK계열은 기저대역의 주파수 효율이 낮아 일반적으로는 직접확산대역에 적용하기는 어려울 것으로 판단할 수도 있으나, M 이 적절히 커질 경우 PSK계열보다 전력면에서 약간의 이득을 가져 고려할 가치가 충분하다^[2].

직교 협대역 동기식 MFSK의 동기식 복조의 경우 BER특성은,

$$P_e = \frac{M-1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{NE_b}{2N_o}} \quad (13)$$

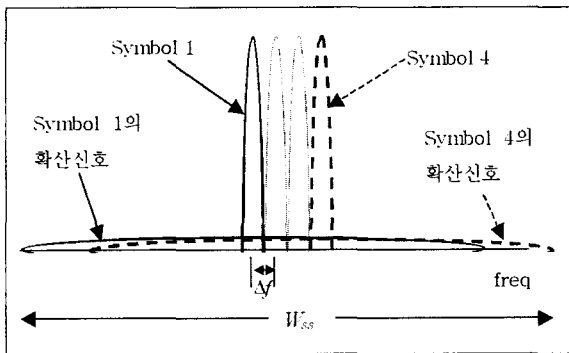
로 표현된다^[6]. MFSK 기저대역의 신호는 심벌에 따른 주파수 성분을 가지고 있어, 기존의 chip율로 확산할 경우, 확산 대역폭이 다소 증가한다.

이를 보상하기 위해서는 기저대역이 사용할 대역폭을 미리 산정한 후, 전체 대역폭이 다른 변조방식의 확산 시스템과 유사한 대역폭이 되도록 식 14 및 그림 4의 4FSK 경우와 같이 조정하는 것이 필요하다^[2].

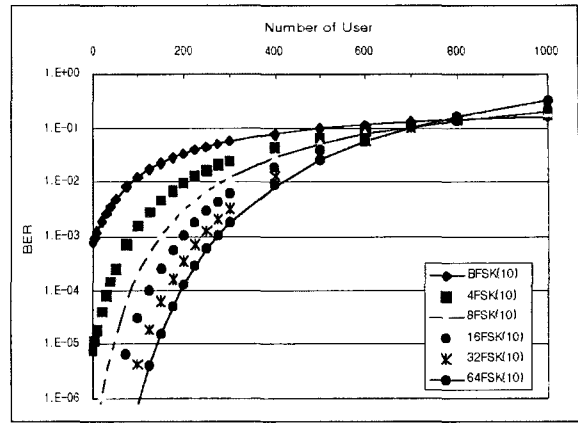
$$W_{ss} = (M-1)\Delta f + 2R_p \quad (14)$$

여기서 Δf 는 기저대역 심벌 주파수 간격을 의미하며, R_p 는 조정된 확산시퀀스의 chip율이다.

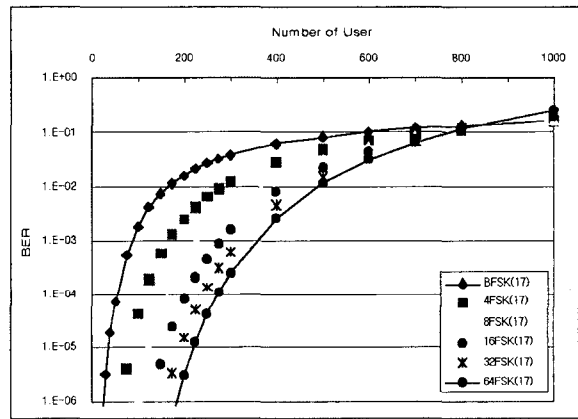
식 14를 이용하여 chip율을 조정하고, 처리이득을 반영하는 것이 당연하다. 예를 들어 M 이 64일 경우, 1 심벌의 대역폭은 $1/6$ 이 되고, 64개의 주파수를 사용하면 $M\Delta f = 64/6$ 이 되어, $P.G$ 의 감소값은 $W_{ss}(1000)$ 에 비해 작은 값(약 1.1%)이 된다. 정규화한 $P.G$ 감소율 β 는,



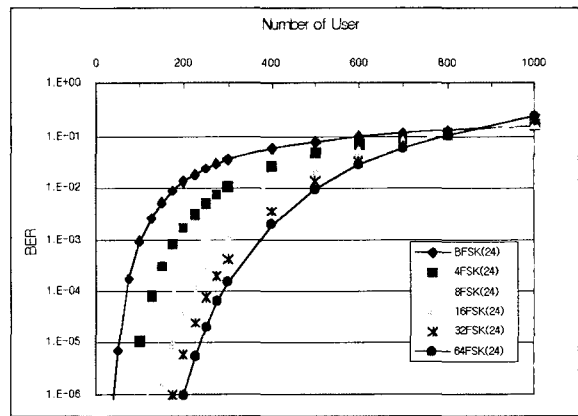
[그림 4] 협대역FSK 신호의 확산 스펙트럼



가. $E_b/N_{th} = 10\text{dB}$



나. $E_b/N_{th} = 17\text{dB}$



다 $E_b/N_{th} = 24\text{dB}$

[그림 5] MFSK 변조 방식의 BER 성능

$$\beta = \frac{2R_p}{W_{ss}} = \frac{W_{ss} - (M-1)\Delta f}{W_{ss}}$$

이 된다.

FSK 기저대역 신호를 식 2에 가까운 특성을 갖는 PN 시퀀스로 확산하였을 때(주기가 매우 긴 m-시퀀스의 일부 시퀀스를 사용함), 확산 신호의 스펙트럼은 에너지의 크기와 위상을 정확히 규정할 수 없으며, 확산대역 내에 거의 백색화되는 것으로 추정할 수 있다. 따라서 간섭 에너지는 송신 에너지의 $1/\beta \cdot P.G$ 로 설정하여도 좋을 것이다. MFSK 방식을 확산통신에 적용할 때, 기호 착오확률은,

$$P_e = \frac{M-1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{1}{2} \frac{NE_b}{N_{th} + \frac{E_b(K-1)}{\beta \cdot P.G}}} \quad (15)$$

이며, MFSK 방식은 그레이 부호화가 곤란하여, bit 오류율은 식 8의 상한 값인,

$$P_{eb} = \frac{M/2}{M-1} P_e$$

을 적용하여 예측할 수 있다.

MFSK의 변조방식에 대한 BER성능을 그림 5에 표현하였다. M이 클 경우(M=64), 성능이 가장 우수하다. 그러나 종합비교에서는 복잡도가 적절한 8FSK를 사용할 것이다.

VI. PR 부호기

PR부호기는 변조방식은 아니나 주파수 효율이 높은 부호화 방식이므로, 충분히 확산대역에 적용하는

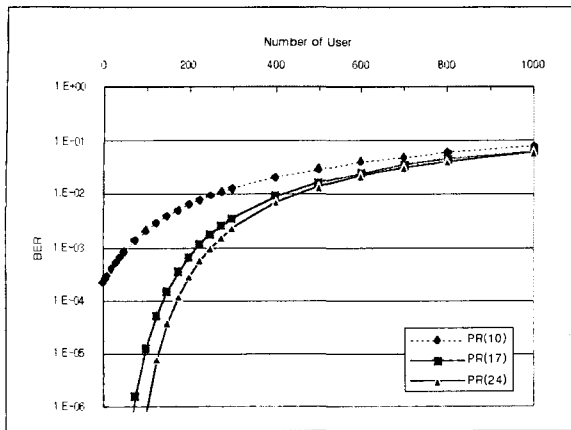
것을 고려할 만 하다^[12]. PR변복조기의 특징은 기저대역 종단에 shaping filter를 사용하는 것으로, 기저대역폭이 PR의 경우는 BPSK의 1/2, QPR의 경우 역시 QPSK의 1/2이 된다. PR 및 QPR의 BER성능은 다음 식과 같이 표현된다^[6].

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\pi^2 E_b}{16 N_o}} \quad (17)$$

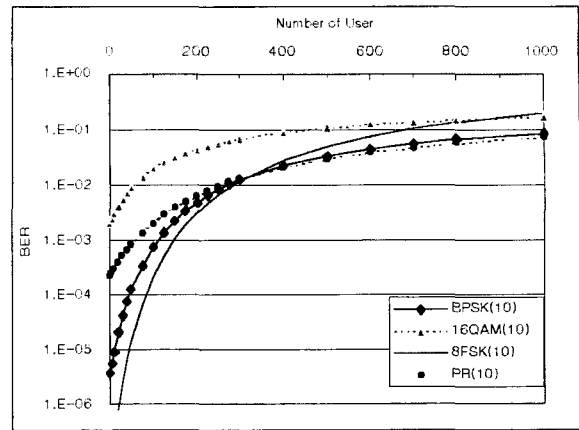
PR부호기의 기저대역폭(f_b)이 BPSK($2f_b$)에 비해, 1/2배가 되므로, 확산대역폭($2R_p$)에 확산시에 P.G가 BPSK의 2배가 된다. 매 bit 지속시간동안 간섭 신호는 원하는 신호와 동일한 에너지(E_b)를 확산대역 주파수 전체에 골고루 분포시킨다(MFSK의 협대역 신호가 확산후 백색화 되는 예에서 PR의 협대역 신호도 확산후 백색화되는 것은 충분히 추정할 수 있다). 간섭 신호는 열잡음에 합쳐져, 잡음으로 수신기에 입력될 것이며, 수신단의 대역제한 filter를 통해, 확산대역 잡음중 원하는 기저대역신호의 대역폭(f_b)내의 신호만 간섭에너지를 받아들이게 된다. 즉 $PG=2R_p/f_b$ 이므로 2배의 처리이득을 갖는다. 잡음 성분은, 수신기 구조상 확산대역중 $-f_b/2 \sim f_b/2$ 의 주파수 구간에 대해 shaping filter 특성의 제공에 대한 평균값(잡음의 분산)으로부터 표본화될 잡음이 원하는 신호 표본의 1/2보다 초과할 확률로 구하며, 다음 식과 같이 확산대역에 적용한 오류확률을 표현할 수 있다.

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\pi^2 E_b}{16 N_{th} + \frac{E_b(K-1)}{2PG}}} \quad (18)$$

대역확산 시스템을 적용한 QPR의 경우는 PR과 성능이 동일하다. 이것은 앞서 BPSK와 QPSK를 확산



[그림 6] PR(QPR)부호기의 BER 성능



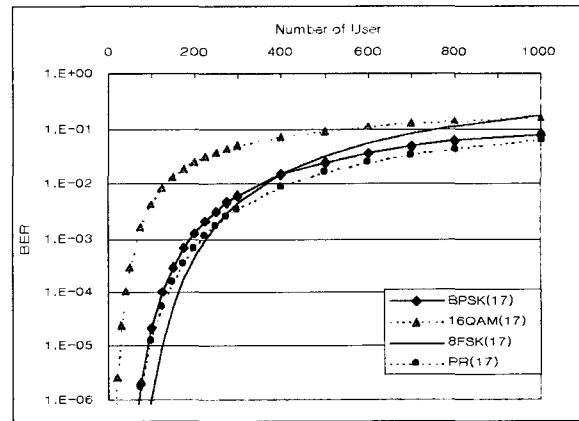
[그림 7] $E_b/N_{th} = 10$ dB일 때 방식별 성능비교

통신에 적용했을 때와 마찬가지로 분석될 수 있다. PR변조방식의 성능을 대역확산 시스템에 적용했을 때의 BER 성능을 다음 그림 6에 보였다.

VII. 변조방식별 성능 비교 분석

앞에서 PSK, QAM, FSK, PR의 각 방식에 대해 BER 성능을 비교하였다. 각 변조방식별로 요구 BER 성능이 10^{-3} 과 10^{-5} 에서 많은 사용자를 수용하면서, 구현의 복잡도가 적절한 M 을 선택하여 비교 정리하면 다음 그림 7, 8, 9와 같다.

먼저 그림 7에서 E_b/N_{th} 10dB인 경우를 보자. 요구 BER이 10^{-5} 일 경우를 비교하면, 8FSK가 45명정도, BPSK가 10명정도를 수용할 수 있어, 8FSK가 가장 우수한 능력을 보인다. 또한, 요구 BER이 10^{-3} 일 경우를 비교하면, 8FSK가 150명, BPSK가 110명, PR이 75명을 수용하여 8FSK가 BPSK보다 약간 우수한 능력을 갖는다. 그러나 BER 10^{-2} 이상에서는 8FSK는 성능이 급격히 저하하고, BPSK와 PR은 성능이 완만히 저하하여 전반적으로 BPSK와 PR이 우



[그림 8] $E_b/N_{th} = 17$ dB일 때 방식별 성능비교

수한 성능을 갖는다. 16QAM변조방식과 은 다른 두 변조방식보다 나쁜 성능을 가져 비교의 대상이 되지 않았다.

그림 8에서 E_b/N_{th} 17dB일 경우를 살펴본다. 요구 BER 10^{-5} 일 경우, 8FSK가 125명, BPSK와 PR이 100명, 16QAM이 25명을 수용할 수 있어, 8FSK, PR, BPSK이 우수한 성능을 보이고 있고, 16QAM은 성능이 떨어진다. 요구 BER이 10^{-3} 일 때에는 8FSK와 PR이 225명을, BPSK가 185명을 16QAM이 70명을 수용할 수 있어, 8FSK, BPSK, PR이 비슷한 우수

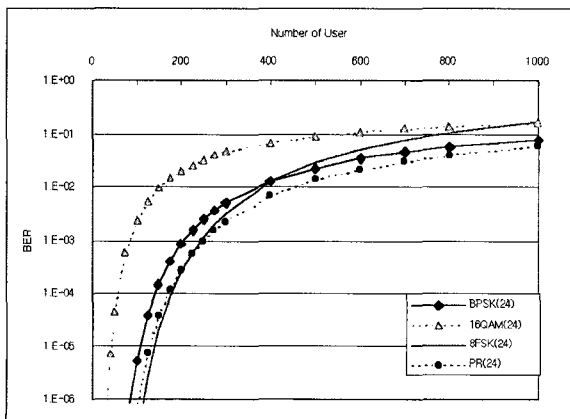
한 성능을 가진다.

16QAM은 BER 성능이 다른 세 방식보다 떨어져 비교의 대상이 되지 않으며, 사용자 수가 약간만 증가해도 BER성능은 급격히 저하한다.

또한 BER 10^{-2} 이하일 때에는 BPSK와 PR은 서서히 성능이 저하되는데 비해, 8FSK는 급격히 성능저하가 일어나는 것을 관측할 수 있다.

그림 9에서 E_b/N_{th} 24dB인 경우 일 때를 비교한다. 요구 BER이 10^{-5} 인 경우, 8FSK는 140명을 PR은 125명을, BPSK는 110명을, 16QAM은 40명을 수용할 수 있어, 8FSK, PR, BPSK가 우수한 성능을 갖는 것을 알 수 있다. 요구 BER이 10^{-3} 인 경우, 8FSK와 PR이 250명을, BPSK가 200명을, 16QAM은 85명을 수용하여, PR, 8FSK, BPSK가 우수한 성능을 갖는다. BER이 10^{-2} 이상에서는 PR과 BPSK는 성능이 완만히 저하되며, 8FSK는 급격히 저하된다.

이를 정리하면, 처리이득이 30dB인 경우, 기저대역의 변조방식으로 BPSK나 8FSK, 또는 PR을 사용하는 것이 적합하며, 시스템 사용자 용량면에서 대체로 유사한 성능을 보인다는 것을 알 수 있다. 특별히 E_b/N_{th} 10dB이고, 요구 BER이 10^{-5} 일 때에는 8FSK



[그림 9] $E_b/N_{th} = 24$ dB일 때 방식별 성능비교

방식이 매우 유리하다는 것에 관심을 가질 필요가 있다. 즉 단말이 저전력으로 운용되는 것이 불가피하여, 시스템 사용자 용량은 줄어들더라도 낮은 BER을 유지하여야 할 경우, 8FSK 시스템이 유리하다는 것을 알 수 있다. 확산통신 시스템을 구성함에 있어, 복잡도를 보면 8FSK 복조기를 구성하는 것이 BPSK복조기를 구성하는 것보다 복잡하다. 단순하게 보면, 시스템 용량을 증가시키기 위해서는 큰 값의 M을 선택하여 FSK로 구성하는 것이 유리할 수도 있으나, 복잡한 구성이 되는 것을 감수해야 한다. 또한 8FSK는 사용자 수가 400 이상으로 증가하면 급격한 BER 성능저하가 발생한다. 따라서 8FSK의 경우, 시스템 사용자 수를 민감하게 제어하는 수단이 필요하다.

반면 단말의 송신 전력을 충분히 크게 할 수 있는 경우, 사용자 수가 작을 때에는 8FSK가 BPSK보다 약간 유리하나, 사용자 수가 많고, 낮은 BER을 유지하여야 할 경우에는 BPSK와 PR이 다소 유리하다. 또한 BPSK와 PR은 사용자 수가 더욱 증가하더라도 BER 성능저하가 8FSK에 비해 둔감하다. BPSK도 BER성능을 유지하기 위해서는 역시 사용자수를 제어하는 수단이 필요하나, 8FSK 정도로 민감하지는 않다.

PR 방식은 낮은 전력에서는 BER성능이 좋지 않다. 그러나 전력이 커지면 BPSK, 8FSK와 유사한 성능을 갖게 되는데, 사용자 수가 300명 이상으로 폭주하더라도 BPSK처럼 BER성능 저하가 가장 둔감하며, BER성능도 BPSK 보다 약간 좋은 것으로 나타났다.

QAM방식은 직접대역확산통신에는 적합하지 않은 것으로 분석되었다. 비록 기저대역폭을 작게하여 처리이득을 크게 하였으나, 요구BER을 만족하기 위한 요구 E_b/N_o 가 다른 방식에 비해 매우 크기 때문에 송신 전력이 매우 커야만 하며, 사용자 수가 75명 이상

이 되면 BER성능이 급격히 저하한다.

본 논문에서는 동기식 복조방식 만을 고려하였으나, 반송파 위상 정보를 송신하기 위한 부분은 전혀 고려하고 있지 않다. 실제 시스템에서는 반송파 위상을 전송하기 위한 부분이 포함되어야 한다. 각 방식별로 반송파 처리에 대해 간략히 검토하면, BPSK방식은 반송파 동기를 위해 송신부에서 파일럿 신호를 처리해야 하는 부담을 안고 있는 반면에, 8FSK방식은 성능저하를 감수한다면 수신부를 비동기 복조 방식으로 구성할 수도 있어, 송신부에서 파일럿 신호를 송신하거나 또는 하지 않아도 좋으며, PR 방식은 반송파의 위상이 역전되었는지를 정확히 알 필요가 없으므로 송신부에서 파일럿 신호를 처리해야 하는 부담이 적다는 이점을 갖는다. 송신부에서 파일럿 신호를 데이터와 동시에 송신하면 사용자 상호 간섭신호는 그만큼 증가할 것이다.

또한 FSK 방식이나 PR 방식에서 비동기 복조방식을 선택할 경우의 성능저하를 고려한다면, 실제 가용한 사용자 수는 다소 적어질 것이다. 유사하게 BPSK나 QAM 방식에서 파일럿 신호를 사용하거나, DPSK 방식 혹은 DQAM(Differential QAM) 방식으로 전환할 경우에서도 역시 사용자 감소가 있을 것이다^[3].

VIII. 성능분석 종합 / 토의

이상의 본 논문에서의 분석을 토대로 변조방식별 성능분석 결과를 표 1로 종합하였다. 처리이득에 대한 사용자의 비율이 10% 이하로 사용자가 적은 경우 8FSK가 가장 우수하며, 처리이득에 대한 사용자 비율이 10~30%로 사용자가 많을 경우, 8FSK와 PR 방식이 우수하다. 처리이득에 대한 사용자 비율이

10%인 경우와 25%인 경우에 대해 $E_b/N_{th} = 17\text{dB}$ 일 때의 BER 값을 ()내에 표현하였다. 또한 E_b/N_{th} 비율이 10dB로 단말의 전력이 저전력인 경우와 24dB로 고전력인 경우를 보면 8FSK와 PR 방식이 우수하다. 각각의 경우에 대해 처리이득에 대한 사용자 비율이 15%인 경우 BER성능을 ()내에 나타내었다. 사용자 수가 폭주하면 단말은 자신의 최대 전력으로 송신하는 것이 일반적이라 할 수 있는데, 처리이득과 사용자 수 비율이 30%이상이 되면 단말의 전력에 관계없이 PR 방식이 가장 우수하다. 처리이득에 대한 사용자의 비율이 50%이고 $E_b/N_{th} = 24\text{dB}$ 인 경우의 BER성능을 ()내에 나타내었다.

[표 1] 변조방식별 성능분석 종합

구 분	BPSK	8FSK	PR	16QAM
사용자 적을때 BER성능	보통 (2.0E-5)	가장 우수 (1.0E-6)	우수 (1.3E-5)	나쁨 (4.2E-3)
사용자 많을때 BER성능	보통 (3.1E-3)	우수 (1.7E-3)	우수 (1.7E-3)	나쁨 (3.7E-2)
저전력 운용성능	우수 (2.3E-3)	가장 우수 (1.0E-3)	보통 (3.9E-3)	나쁨 (3.2E-2)
고전력 운용성능	보통 (1.5E-4)	가장 우수 (1.9E-5)	우수 (3.7E-5)	나쁨 (9.7E-3)
사용자 폭주에 따른 성능	우수 (2.3E-2)	보통 (2.9E-2)	가장 우수 (1.4E-2)	나쁨 (9.0E-2)
파일럿 신호처리 부담	크다	작다	작다	크다

IX. 결 론

본 논문을 통해, 여러 변조방식을 직접대역확산통신에 적용하고 사용자 수에 따른 BER성능을 예측해 보았다. BPSK방식은 전반적으로 우수한 성능을 갖는 것으로 나타났다. 8FSK방식은 단말이 저전력으로 운용되고, 사용자 수가 적을 때 아주 적합한 방식임을 알 수 있었다. PR방식은 단말이 충분한 전력으로 운용될 경우와, 사용자 수가 많아져도 좋은 BER성능이 필요한 경우에 아주 적합한 방식임을 알 수 있었다.

사용자 수를 더욱 증가시키면 BPSK와 PR 방식은 BER성능이 완만히 저하하는데 비해, 8FSK는 성능이 급격히 저하하는 것을 알 수 있고, 따라서 8FSK를 사용할 경우에는 사용자 수를 민감하게 통제하는 수단이 필요하다.

QAM방식은 BER성능이 다른 세 시스템에 비해 떨어지는 것으로 분석되었다.

DS-CDMA의 기저대역 변조방식으로 선택할 최상의 방식으로 절대적인 것은 없으며, 이는 운용 조건과 목표 성능에 따라 달라진다는 것을 알 수 있었다. 따라서 이러한 통신 제한요소 및 운용 요소를 잘 고려하여 기저대역의 변조방식을 선택하는 것이 제한된 통신자원을 잘 활용하는 방법이 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] Savo Glisic & Branka Vucetic, "Spread Spectrum CDMA Systems for Wireless Communications", Artech House, Inc. Boston London, 1997. pp.215~224.
 [2] Tri T. Ha, "Digital Satellite Communications"

Second Edition, McGraw-Hill, 1990. pp.550~563.
 [3] Alex W. Lam & Sawasd Tantaratana, "Theory and Applications of Spread-Spectrum Systems(self study course)", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1995, pp.207~215.
 [4] M. Shimon, J. Omura, R. Scholtz, B. Levitt, "Spread Spectrum System Communications", Volume I, II, III., Computer Science Press, 1985.
 [5] A. Nejat Ince, "Digital Satellite Communications Systems and Technologies Military and Civil Applications", Kluwer Scademic Publishers, 1992. pp.72.
 [6] H. Taub and D. Schilling, "Principles of Communication System" Second Edition, McGraw-Hill, 1986.
 [7] M. B. Pursley, Performance Evaluation of Phase-Coded Spread Spectrum Multiple Access Communications. I: System Analysis, IEEE Trans. Commun., Vol. COM-25, No.8, Aug. 1977, pp.795~799.
 [8] Andrew J. Viterbi, "CDMA Principles of Spread Spectrum Communication", Addison-Wessley Publishing Company, 1995.
 [9] Schwartz, "Information Transmission, Modulation and Noise" Fourth Edition., McGraw-Hill, 1990. pp.613~620.
 [10] 이성민, "대역확산 통신시스템에서 기저대역 변조방식에 따른 성능비교", 충남대학교, 2002. 2 pp.34~38.

[11] M. H. Meyers & V. K. Prabhu, "Future Trends in Microwave Digital Radio; a View from North America", IEEE Commun. Mag.,

Vol.25, No.2, Feb. 1987. pp.46~49.

[12] 이성민, "부분응답 부호기를 사용하는 확산통신 시스템(특허출원중)", 국방과학연구소, 2001. 2.