

CDMA 기술 개요

李 在 弘

서울대학교 電子工學科 副教授

I. 이끄는 말

최근 이동통신의 수요와 공급이 급속히 증가되고 있고, 상용 이동통신의 전송방식이 아날로그에서 디지털로 변화되고 있다. 이에 따라 부호분할 다원접속(CDMA¹⁾) 기술방식에 관한 국내외의 관심도 매우 높아졌다.

현재 미국에서 디지털 이동통신 방식의 하나로 CDMA 이동통신 표준안이 검토 중에 있고, 차세대 개인휴대통신(PCS²⁾) 및 무선 데이터통신망에도 CDMA의 사용이 제안 또는 검토되고 있다. CDMA는 부호분할 다원접속으로 확산대역(spread-spectrum) 시스템 기술에 기초를 둔 다원접속 방식으로 확산대역 다원접속(SSMA³⁾)이라고도 한다.

역사적으로 살펴보면 확산대역의 원리는 오래전에 1차대전, 2차대전을 거치면서 싹텄다. 주파수대역 확산을 통하여 신호방해를 극복할 수 있다고 하는 생각에서 시작된 확산대역 시스템 기술은 1950년대 이래 본격적으로 연구되어 군사통신, 위성통신 등에 주로 사용되었다.

최근 반도체 기술의 발달로 집적회로가 고집적화, 고속화되고, 마이크로프로세서 기술이 발달함에 따라 확산대역 시스템이 군사통신, 위성통신을 넘어 상용 이동통신에까지 사용되게 되었다.

이 글에서는 확산대역 시스템 및 그 CDMA에의 응용과 발전 추세를 살펴본다.

- 1) code division multiple access
- 2) personal communication service
- 3) spread-spectrum multiple access

II. 확산대역 시스템의 구성

확산대역 시스템은 확산시퀀스에 의하여 전송신호의 주파수대역폭이 전송하고자 하는 데이터신호의 주파수대역폭보다 훨씬 넓게 되는 시스템이다. 확산대역(spread spectrum: SS) 시스템은 보통의 디지털 통신시스템에 대역확산 및 대역확원 기능을 추가함으로써 구성된다. 확산대역 시스템의 블록도를 그림 1에 보인다. 확산대역 시스템의 송신기는 디지털 변조기와 전력증폭기 사이에 대역확산기(spread)를 추가함으로써 구성된다. 또한 확산대역 시스템의 수신기는 RF 초단증폭기와 디지털 복조기 사이에 대역확원기(despread)를 추가함으로써 구성된다. 대역축소기는 대역확산기가 수행한 역할을 반대로 수행하는데 양자간에는 정확한 동기가 필요하다.

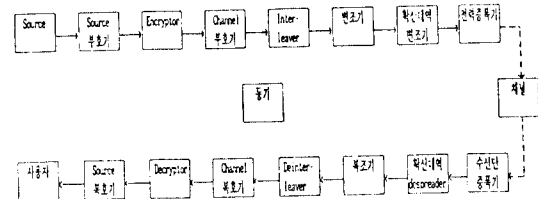


그림 1. 확산대역 시스템의 블록도

확산대역 시스템은 주파수대역폭을 확산시키는 방법에 따라 기본적인 세가지 방식, 즉 직접시퀀스(DS: direct-sequence) 확산대역, 주파수도약(FH: frequency-hopped) 확산대역 및 시간도약(TH: time-hopped) 확산대역으로 나누어 진다. 기본적인 세가지 확산대역 방식을 두 가지 이상 결합시켜 복합

확산대역(hybrid spread spectrum) 시스템을 구성할 수 있다.

확산대역 시스템은 신호방해(jamming)와 다중경로 전파전파에 강인하고 다원접속에도 이용된다. 또한 높은 정밀도의 거리 측정에 이용된다.

확산대역 시스템의 처리이득은 다음 식으로 주어진다.

$$G_p = \frac{W_{ss}}{W_d}$$

여기서 W_d 는 전송하고자 하는 데이터 신호의 주파수대역폭이고 W_{ss} 는 대역확산된 전송신호의 주파수대역폭이다.

III. 직접시퀀스 확산대역

데이터 시퀀스로 변조된 반송파를 광대역 확산신호(spreading signal)로 직접 변조하여, 즉 곱하여 주파수 대역을 확산 시키는 것을 직접시퀀스 확산대역이라 한다. 이 +1과 -1로 구성된 확산신호는 확산 시퀀스, 확산 코드(spreading code), 또는 코드 시퀀스라고 한다. 주파수 대역 확산된 신호를 전송하면, 전송신호는 잡음, 간섭, 신호방해 등에 의하여 변형되어 수신기에 도달한다. 수신기에서는 송신기에서 사용한 것과 동일한 확산신호를 수신신호에 곱하여 수신신호의 확산된 대역을 대역환원(despread)한다. 이 대역환원된 수신신호를 복조하면 원하는 데이터 시퀀스가 얻어진다. +1 또는 -1을 곱하는 것은 위상을 반전시키는 것과 같으므로 변조에 위상변조인 BPSK⁴⁾, QPSK⁵⁾, 또는 MSK⁶⁾ 등이 주로 사용된다.

BPSK 변조와 결합된 직접시퀀스 확산대역 시스템의 예를 다음에 보인다.

1. BPSK 직접시퀀스 확산대역 시스템

BPSK 변조된 신호에 확산 시퀀스를 곱함으로써, 즉 +1 또는 -1의 직접시퀀스 확산대역을 달성할 수 있다. 그림 2에 BPSK 직접시퀀스 확산대역 송신기

의 블록도를 보인다.

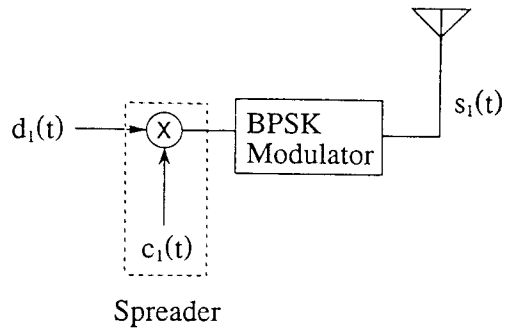


그림 2. BPSK 직접시퀀스 확산대역 송신기

그림 2에서 $d_1(t)$ 과 $c_1(t)$ 는 각각 +1 또는 -1의 값을 가지는 데이터 신호이고 $c_1(t)$ 는 확산 시퀀스이다. 확산기(spreader)와 BPSK 변조기는 그 순서가 바뀌어도 결과는 동일한데 그림 2의 방법이 보다 간단하다.

송신기의 출력을 P , 반송파 주파수를 f_c 라 할 때, 전송신호는 다음과 같이 주어진다.

$$s_1(t) = \sqrt{2P} c(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_d(t))$$

여기서 $\theta_d(t)$ 는 데이터에 의해 0 또는 π 로 결정되는 위상각이다.

그림 3에 BPSK 직접시퀀스 확산대역 수신기의 블록도를 보인다.

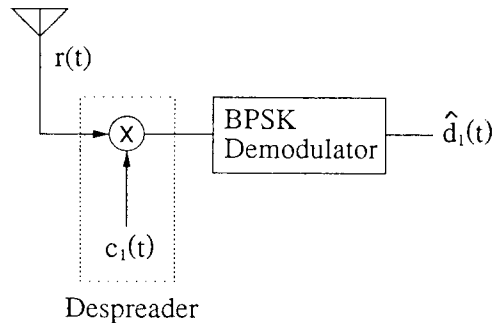


그림 3. BPSK 직접시퀀스 확산대역 수신기

수신된 신호에 송신기에서 사용된 것과 동일한 확산 시퀀스를 곱함으로써 대역을 환원한다. 대역환원된 수신신호는 변조된 반송파 성분과 잡음, 간섭 및

4) binary phase-shift keying

5) quadrature phase-shift keying

6) minimum-shift keying

신호방해 등에 의한 성분으로 구성된다. 채널의 손실 계수가 a_1 일때 대역환원 믹서의 출력중 신호성분은 다음과 같이 주어진다.

$$a_1 s_i(t - T_d) \cdot c_i(t - \hat{T}_d) = a_1 \sqrt{2P} c_i(t - T_d) c_i(t - \hat{T}_d) \cos[2\pi f_c t + \theta_d(t - T_d) + \phi]$$

여기서 T_d 는 전송 지연시간이고, \hat{T}_d 는 수신기가 추정 한 전송 지연시간 값이다. 만약 정확하게 동기가 이루어 지면, 즉 $T_d = \hat{T}_d$ 이면 $c(t - T_d) c(t - \hat{T}_d) = 1$ 이 되어 믹서의 출력 중 신호성분은 BPSK 변조신호의 형태로 변환되어 대역환원이 달성된다.

그림 4에 이들 신호들 간의 관계를 보였다. T는 데이터 1비트의 지속시간, T_c 는 코드의 1 칩(chip)의 지속시간이다. (c)는 데이터에 의해 변조된 반송파, (d)는 $s_i(t)$ 에 확산 시퀀스 $c_i(t)$ 를 곱한 것이다. (f)는 수신기가 송신기와 동기가 되지 않으면 원래의 데이터 신호가 얻어 질 수 없다는 것을 보여준다. 즉, 대역환원 시퀀스가 확산 시퀀스와 정확히 동기되면 $c_i(t)s_i(t) = d_i(t)$ 의 관계가 성립 되어서, 데이터로 변조된 반송파가 회복된다.

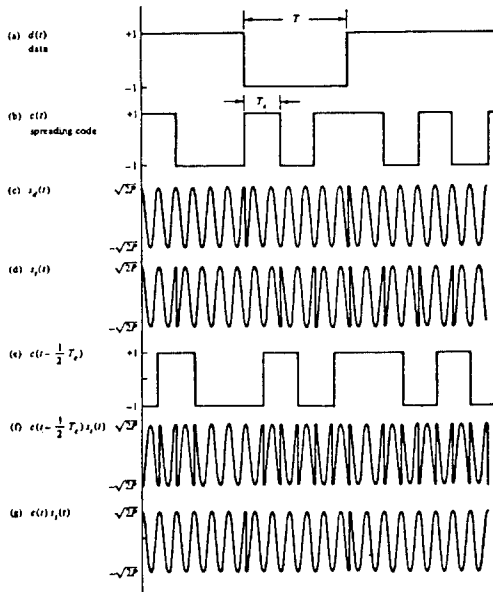


그림 4. 직접 시퀀스 방식의 대역확산과 대역환원

데이터를 BPSK 변조한 신호의 전력 스펙트럼 밀도는 다음식으로 주어지며 그림 5와 같이 표시된다.

$$S_{d,BPSK}(f) = \frac{1}{2} PT \{ \sin^2[(f - f_0)T] + \sin^2[(f + f_0)T] \}$$

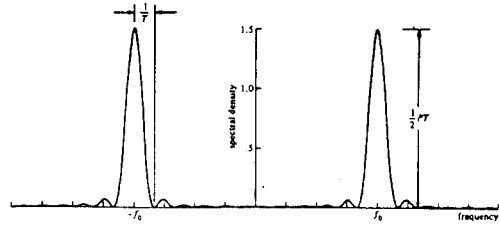


그림 5. 데이터로 변조된 반송파의 전력스펙트럼 밀도

직접 시퀀스로 대역확산된 신호의 전력스펙트럼 밀도는 다음 식으로 주어지며 그림 6과 같이 표시된다.

$$S_i(f) = \int_{-\infty}^{\infty} S_d(f') S_c(f - f') df'$$

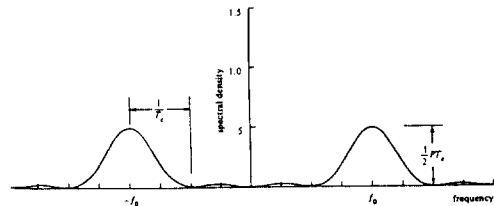


그림 6. 데이터와 확산시퀀스에 의하여 변조된 반송파의 전력스펙트럼

직접시퀀스 부호분할 다원접속 시스템에서는 다수의 사용자가 동시에 동일한 주파수 대역폭을 사용하여 통신한다. 이 경우 수신신호는 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$r(t) = \sum_{i=1}^n a_i s_i(t) + n_w(t)$$

여기서 a_i 는 i 번 사용자의 감쇄계수이고 $n_w(t)$ 는 채널의 잡음이다.

2. 확산 시퀀스

확산대역 시스템 또는 이를 이용한 부호분할 다원접속 시스템에서는 각 사용자는 고유한 확산시퀀스를 가진다. K 사용자를 위한 확산시퀀스 $c_1(t)$, $c_2(t)$, ..., $c_K(t)$ 는 각각 좋은 자기상관 특성을 가져야 하고 상호간의 상호상관(cross-correlation)값이 작아야 한다.

불규칙 시퀀스(random sequence)가 이러한 성질을 만족한다. 그런데, 수신신호를 대역환원시키기 위하여서는 송신기에 사용된 것과 동일한 시퀀스가 필

요하므로, 재생불가능한 불규칙 시퀀스는 대역의 확산에 이용할 수 없다. 그리하여 실제에서는 다음의 성질을 만족하는 의사불규칙(pseudo-random)시퀀스를 발생시켜 확산시퀀스로 사용한다. 의사불규칙 시퀀스는 PNⁿ시퀀스라고도 하며 이 PN시퀀스에 의해 구성된 대역확산 시스템을 직접시퀀스 확산대역 시스템이라 한다. PN시퀀스는 다음 성질을 가진다.

- (1) 반복주기가 길다.
- (2) 시퀀스의 한 주기 속의 0과 1의 갯수가 비슷하다.
- (3) 0 또는 1이 연속된 것을 'run'이라 하는데 한 주기 속의 run의 약 절반이 길이가 1이고, 약 1/4이 길이가 2이고, 약 1/8이 길이가 3 ...이다.
- (4) 시퀀스의 자기상관함수는 편이가 주기의 배수일 때를 제외하고는 매우 작다.
- (5) 시퀀스의 짧은 조각으로부터 전체 시퀀스를 복원하기가 어렵다.

선형귀환 쉬프트 레지스터(LFSR)를 사용하면 2진 시퀀스를 얻을 수 있다. 쉬프트 레지스터가 r단 일때 발생하는 시퀀스의 최장주기(maximal length)는 2^r-1인데 그림 7에 그 예를 보인다.

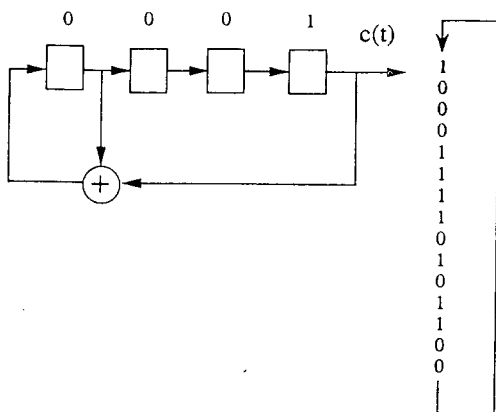


그림 7. 4단 최장주기 LFSR과 상태순환

최장주기 LFSR 시퀀스(또는 M-시퀀스)는 다음과 같은 의사불규칙한 성질을 가진다. 길이가 L인 최장주기 LFSR 시퀀스의 0과 1을 각각 +1과 -1로 대체

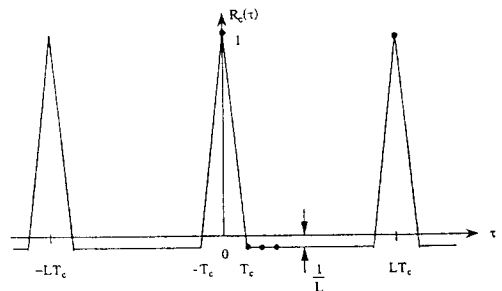
7) pseudo-noise sequence

한 시퀀스를 C_n'이라 하면, 즉 C_n'=1-2C_n이라 하면 시퀀스 C_n'의 자기상관함수 R_c'(τ)는 다음과 같다.

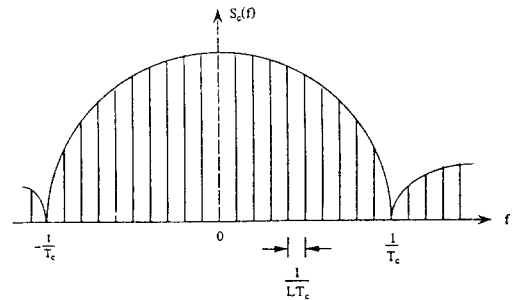
$$R_c(\tau) = 1/L \cdot \sum_{k=1}^L C_k' \cdot C_{k+\tau}'$$

$$= \begin{cases} 1, & \tau = 0, L, 2L, \dots \\ -1/L & \text{otherwise.} \end{cases}$$

C_n'시퀀스에 대응하는 구형파 코드 시퀀스 파형 p(t)의 자기상관함수 (autocorrelation function)와 전력스펙트럼 밀도를 그림 8에 보였다. 그림에서 T_b는 한 비트의 지속시간, T_c는 한 칩의 지속시간이다.



(a)



(b)

그림 8. 최장주기 LFSR 시퀀스 파형의 자기상관함수 및 전력스펙트럼밀도

- (a) 자기상관함수
- (b) 전력스펙트럼 밀도

직접시퀀스 확산대역 시스템의 처리이득은 다음식으로 주어진다.

$$G_{p,DS} = \frac{T_b}{T_c}$$

Ⅳ. 주파수도약 확산대역 및 복합 확산대역

데이터 시퀀스로 변조된 반송파의 주파수를 주파수 합성기에 의하여 의사불규칙적으로 바꿈으로써 주파수 대역을 확산시키는 것을 주파수도약(frequency-hopped) 확산대역이라 한다. 이것을 주파수도약(frequency hopping)이라 하고 그 장치를 주파수도약기(frequency hopper)라 한다. 수신기에서는 주파수환원기(frequency dehopper)가 송신기와 정반대의 방법으로 반송파주파수를 바꿈(frequency dehopping)으로써 주파수대역을 환원시킨다. 변조에는 주파수변조인 BFSK⁸⁾ 또는 M-ary FSK(MFSK) 등이 주로 사용된다. 주파수도약 확산대역 시스템의 예를 다음에 보인다.

1. MFSK 주파수도약 확산대역 시스템

MFSK 변조된 신호의 주파수를 도약 패턴에 따라 바꿈으로써 대역을 확산시킬 수 있다. 그림 9에 BFSK 주파수도약 확산대역 시스템의 송신기를 보인다.

그림 9에서 $d_1(t)$ 는 데이터시퀀스, $c_1(t)$ 는 도약시퀀스(hopping sequence)이다. 도약시퀀스는 PN시퀀스 등을 이용하여 만들 수 있다.

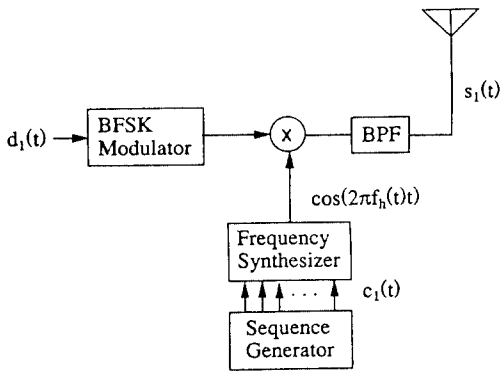
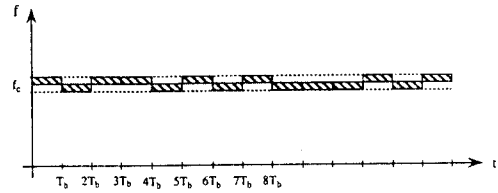
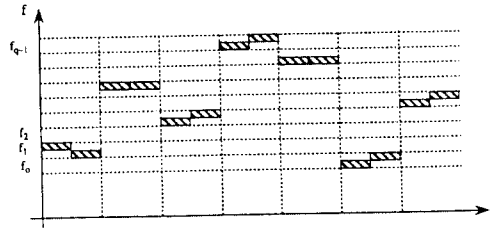


그림 9. BFSK 주파수도약 확산대역 송신기

그림 10에서 주파수도약 이전의 BFSK 변조된 신호와 주파수도약 후의 BFSK신호를 보인다.



(a)



(b)

그림 10. BFSK 변조신호의 주파수도약 확산대역 (a) 주파수 도약전 (b) 주파수 도약후

주파수도약 확산대역 시스템의 처리이득은 다음식으로 주어진다.

$$G_{p.FH} = q$$

여기서 q는 도약 가능한 주파수 슬롯의 갯수이다.

그림 11에서 BFSK 주파수도약 확산대역 시스템의 수신기를 보인다.

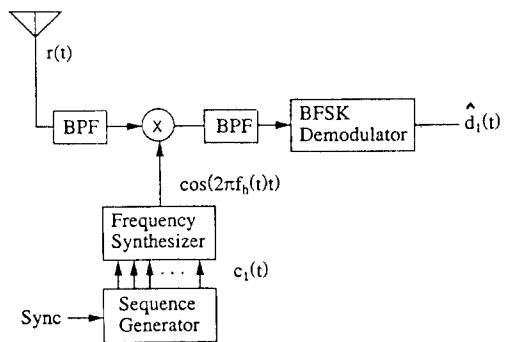


그림 11. BFSK 주파수도약 확산대역 시스템의 수신기

주파수도약 부호분할 다원접속 시스템에서는 서로 다른 도약패턴을 가진 다수의 사용자가 동일한 주파수대역폭을 사용하여 통신한다. 이 경우 수신신호는 다음과 같이 주어진다.

8) binary frequency shift-keying

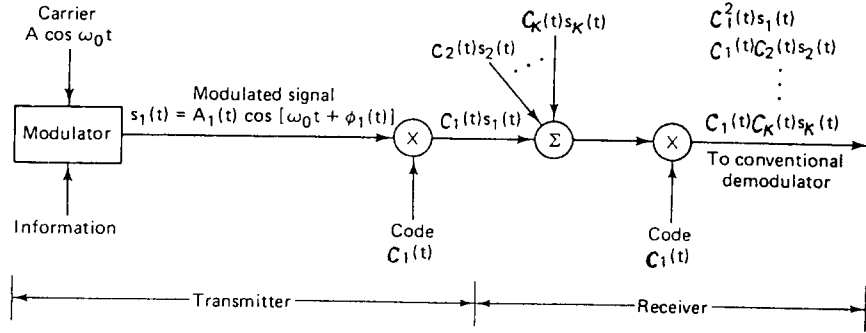


그림 12. 직접시퀀스 부호분할 다원접속시스템

$$r(t) = \sum_{i=1}^n a_i s_i(t) + n_w(t)$$

여기서 a_i 는 i 번째 사용자의 감쇄계수이고 $n_w(t)$ 는 채널의 잡음이다.

주파수도약 확산대역 시스템의 주파수도약의 속도에 따라 저속 주파수도약 확산대역과 고속 주파수도약 확산대역으로 나누어진다. 저속 주파수도약에서는 여러 데이터 비트 마다 한번씩 주파수 도약을 하고 고속 주파수도약에서는 한 데이터 비트의 지속시간동안 여러번 주파수 도약을 한다. 그림 10의 경우는 저속 주파수도약이다.

2. 복합 확산대역 시스템

복합(hybrid) 확산대역 시스템은 직접시퀀스 확산대역, 주파수 확산대역, 시간확산대역 중 둘 또는 세 가지를 결합하여 만든 확산대역 시스템이다. 복합 확산대역 방식에는 직접시퀀스/주파수도약(DS/FH), 시간도약/직접시퀀스(TH/DS), 시간도약/주파수도약(TH/FH) 확산대역 등이 있다. 복합 확산대역 방식은 한가지 확산대역 방식을 사용하는 경우에 비하여 대역확산을 통한 높은 처리이득을 얻는 것이 용이하고, 각 방식의 단점을 보완할 수 있는 장점이 있다. 복합 확산대역 시스템은 구현이 복잡한 단점이 있으나 최근 고집적반도체와 마이크로프로세스 기술의 발달로 이용이 늘고 있다.

V. 부호분할 다원접속(CDMA)

다원접속(multiple access)은 전송에 있어 주어진

시간 구간과 주어진 주파수대역을 여러 사용자가 공동으로 사용하는 것을 말한다. 즉 여러 개의 송신기가 신호를 전송하는데 있어서 시간구간과 주파수대역을 미리 약속된 방법에 따라 나누어 사용한다. 각각의 수신기는 여러 송신기의 송신신호가 더해진 수신 신호로부터 미리 약속된 방법에 따라 원하는 송신기의 신호를 선별해낸 후 복조한다. 다원접속 기술은 크게 주파수분할 다원접속(FDMA⁹⁾, 시분할 다원접속(TDMA¹⁰⁾, 부호분할 다원접속(CDMA¹¹⁾으로 나누어진다.

부호분할 다원접속 방식에서는 넓은 주파수대역을 동시에 여러 사용자가 공동으로 사용한다. 즉 각각의 사용자가 확산대역방식을 사용하여 넓은 대역으로 변조한 신호를 동시에 전송하고 각각의 수신기는 약속된 각각의 부호(code 또는 시퀀스)를 사용하여 원하는 사용자의 전송신호를 찾아낸다. 부호분할 다원접속을 사용하는 시스템은 전송 데이터가 쉽게 노출되지 않아 다른 다원접속을 사용하는 경우보다 높은 보안성을 가진다. 부호분할 다원접속은 주파수대역을 확산시키는 방식에 따라 직접시퀀스 부호분할 다원접속(DS CDMA), 주파수도약 부호분할 다원접속(FH CDMA) 등으로 나누어진다.

1. 직접시퀀스 부호분할 다원접속(DS CDMA)

그림 12에 부가성 잡음을 무시한 전형적인 DS CDMA 시스템 동작 개요를 보인다.

DS CDMA 시스템에서 사용자 1, 2, ..., K 의 데

- 9) frequency-division multiple access
- 10) time-division multiple access
- 11) code-division multiple access

이타로 변조된 신호를 $s_{a,1}(t), s_{a,2}(t), \dots, s_{a,K}(t)$ 라고 하고, 대역확산된 전송신호를 $s_1(t), s_2(t), \dots, s_K(t)$ 라고 하자. 각 신호를 대역확산하는데 사용된 확산 시퀀스를 $c_1(t), c_2(t), \dots, c_K(t)$ 라고 하고 이들 사이의 상호상관값이 0이라 하자. 즉,

$$\frac{1}{N} \int_0^T c_i(t)c_j(t)dt = \begin{cases} 1, & i=j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$

그러면 모든 수신기의 수신신호 중 신호성분은 다음의 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{i=1}^N a_i s_i(t) \\ &= \sum_{i=1}^N a_i c_i(t) s_{a,i}(t) \end{aligned}$$

여기서 a_i 는 i 번째 사용자의 채널에서의 감쇄계수이다. 수신기 1에서 수신된 신호에 확산시퀀스 $c_1(t)$ 를 곱하면 결과는 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} r(t)c_1(t) &= \sum_{i=1}^N a_i(t)a_1(t)s_i(t) \\ &= \sum_{i=1}^K a_1(t)a_i c_i(t)s_{a,i}(t) \\ &= a_1 s_{a,1}(t) + a_2 c_1(t)c_2(t)s_{a,2}(t) + \dots + a_K c_1(t)c_K(t)s_{a,K}(t) \end{aligned}$$

이 식에서 두번째 항 이후는 원치 않는 신호 성분으로 $\frac{1}{N} \int_0^T c_1(t)c_j(t)dt = 0, j = 2, \dots, K$, 이므로 모두 0이다.

만약 $c_1(t)$ 와 $c_j(t), j=2, \dots, K$,의 상호상관값이 0이 아닌 작은 값이라면, 1번 수신기에게 두번째 항 이후는 간섭으로 작용된다(multi-user interference). 만약 1번 송신자가 멀리 떨어져 있어서 채널 감쇄계수가 매우 작고, i 번째 송신자가 가까이 있어서 채널 감쇄계수가 크다면 i 번째 항이 첫번째 항보다 크게 된다. 따라서 원하지 않는 i 번째 사용자의 신호가 검출되게 된다. 이것을 원근문제(near-far problem)라고 한다. 원근문제는 가까이 있는 송신자는 작은 전력으로 송신하게 하고 멀리 떨어진 송신자는 큰 전력으로 송신하게 함으로써 극복될 수 있는데 이것을 출력제어(power control)라고 한다. 부호분할 다원접속의 채널용량은 다른 다원접속 방식보다 작은 것으로 알려져 있었다. 현재 디지털 셀룰라를 위하여 제안된 부호분할 다원접속 방식은 켈콤(Qualcomm)사가 제안하여 표준안 IS-95로 채택된 방식이 있다. 이 방식에서는 상향채널과 하향채널에 모두 처리 이득이 128인 직접시퀀스 확산대역을 사용한다.

켈콤사의 CDMA 방식은 단순한 CDMA 시스템이 아니고 원근문제 해결을 위한 출력제어, 다수 사용자 간섭을 줄이기 위하여 음성활동검출(voice activity detection)에 의한 전송률 조절, 수신전력 증가를 위한 RAKE 수신기, 페이딩 극복을 위한 에러정정부호와 인터리빙, 하향채널의 동기를 위한 GPS¹²⁾ 신호의 사용 등을 결합시킨 복합적 시스템이다. 기존의 기술들을 적절히 결합시켜 높은 채널용량을 얻은 것은 높이 평가할 만하다. 이 방식의 주파수당 채널용량은 현행 아날로그방식의 10 ~ 20 배로 주장되고 있는데 그 정확한 값은 1994년에 드러날 것이다.

인터디지탈(Interdigital)사가 제안한 B-CDMA¹³⁾에서는 처리 이득이 750인 직접시퀀스 확산대역을 사용한다. 처리이득이 큼으로 해서 주파수 선택성 페이딩에 의해 신호 스펙트럼의 일부가 소실되는 것에 대해 강인하다는 특성을 가진다. B-CDMA는 디지털 셀룰라 보다는 개인휴대통신을 겨냥하고 있다. 그 외 Teknekron 등 몇몇 회사에서도 이동통신용 CDMA 시스템을 제안하고 있다.

2. 주파수도약 부호분할 다원접속 (FH CDMA)

직접시퀀스 부호분할 다원접속 시스템에서 각각의 송신기-수신기 쌍이 고유한 PN 시퀀스를 사용하듯이, 주파수도약 부호분할 다원접속 시스템에서는 각각의 송신기-수신기 쌍이 고유한 도약패턴(hopping pattern)을 사용한다. 이들 도약 패턴은 서로 직교적(orthogonal)인 것이 바람직한데, 비동기 주파수도약 부호분할 다원접속에서는 불가피하게 둘 이상의 사용자 신호가 동시에 같은 주파수슬롯에서 부딪치는 일이 생긴다. 이것은 충돌 문제(hit problem)라고 하고 충돌이 생긴 주파수슬롯에는 연집에러(burst error)가 발생하여 데이터는 잃어버리게 된다. 충돌 문제는 인터리빙과 강력한 에러정정부호를 결합하거나 ARQ (automatic repeat request)를 사용함으로써 극복될 수 있다.

주파수도약 부호분할 다원접속은 1960년대 말 육해공의 작은 이동체를 위한 다원접속 전술통신인 TATS¹⁴⁾에 사용된 이래 군용통신 등에 사용되어 왔다. 현재 동기 주파수도약 확산대역이 유럽의 디지털

12) Golbal Positioning System

13) Broadband CDMA

14) Tactical Transmission System

셀룰라 표준인 GSM¹⁵⁾ 방식에 사용되고 있는데, 이것은 다원접속을 위한 것이라기 보다는 페이딩 채널 상에서 주파수 다이버시티 효과를 얻기 위한 것이다.

VI. 맺는 말

이 글에서는 부호분할 다원접속(CDMA)의 근본인 확산대역 시스템의 원리와 그 부호분할 다원접속의 응용을 살펴 보았다.

현재 미국에서는 디지털 셀룰라를 위한 TDMA 방식과 CDMA방식이 경합하고 있는데 그 채널용량과 성능이 1994년에는 드러날 것이나, 기술적인 측면에서 CDMA방식이 보다 우수하다고 판단된다. 현재 CDMA방식은 개인휴대통신, 위성이동통신, 무선 데이터통신 등에 응용이 시도되고 있다. 1992년 유엔 산하 국제전기통신연합(ITU¹⁶⁾)이 미래공중지상이동통신(FPLMTS¹⁷⁾)으로 알려진 위성과 지상매체를 통한 전세계적 육·해·공 개인휴대통신망의 표준을 만들기로 선언하였다. 미래공중지상이동통신을 위한 다원접속에는 CDMA가 유망하다고 판단된다. 각국에서는 기존의 특허를 피하면서 보다 우수한 성능을 달성할 수 있는 방식 개발을 위한 연구개발이 시작되었다.

결론으로 국내에서 기왕에 시작한 부호분할 다원접속 기술을 발전시켜 다양한 차세대 이동통신 시스템을 위한 기술의 기반을 구축할 것을 기대한다.

15) Global System for Mobile Communications
(원래 Groupe Speciale Mobile)

16) International Telecommunications Union

17) future public land mobile telecommunications
system

參考文獻

- [1] W. C. Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications Systems*, McGraw-Hill, 1989.
- [2] W. C. Y. Lee, *Mobile Communications Engineering*, McGraw-Hill, 1982.
- [3] W. C. Y. Lee, "Overview of Cellular CDMA," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol. VT-40, pp. 291-302, May 1991.
- [4] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, Jr., and C. E. Wheatly III, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol. VT-40, pp. 303-312, May 1991.
- [5] J. H. Lee, "Capacity increase of a CDMA cellular system by using directional antennas on mobile stations," in *Proc. of VTC '92*, pp. 993-996, Denver, Colorado, May 1993.
- [6] TIA, *TR 45*, TIA, 1993.
- [7] R. E. Ziemer and R. L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum Systems*, Macmillan, 1985.
- [8] R. L. Pickholtz, D. L. Schilling, and L. B. Milstein, "Theory of spread-spectrum communications - A tutorial," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, pp. 855-884, May 1982.
- [9] C. E. Cook, F. W. Ellersick, L. B. Milstein, and D. L. Schilling, ed., *Spread-Spectrum Communications*, IEEE Press, 1983. 🌐

筆者紹介



李在弘

1953年 12月 7日生

1976年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1978年 2月 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1986年 8月 University of Michigan 전기공학 및 컴퓨터과학과
졸업(공학박사)

1978年	~ 1981年	해군사관학교 교관
1987年	~ 1991年	서울대학교 전자공학과 조교수
1991年	~ 1992年	미국 AT&T Bell 연구소 객원교수, 연구원
1993年 7月	~ 1993年 8月	일본 NTT 무선시스템 연구소 객원 교수
1991年	~ 현재	서울대학교 전자공학과 부교수

주관심 분야 : 디지털통신, 부호이론, 확산대역과 이동통신 및 위성통신에의 응용