

DSP를 이용한 CDMA 모뎀 설계 및 구현에 관한 연구

박진홍, 강병권

순천향 대학교 정보기술공학부

A Study on the Design and Implementation of CDMA Modem using DSP

Jin-Hong Park · Byeong-Gwon Kang

Dept. of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University

**Abstract** - 본 논문에서는 고속데이터 전송을 위한 CDMA 모뎀을 구현하였다. 데이터를 1Mbps의 트래픽 5 채널에 직교부호를 곱하여 채널을 구분한 후 하나의 채널로 처리하였다. IQ로 입력된 신호는 복소 곱셈기에서 칩 레이트 8Mcps로 OCQPSK(또는 HPSK) 변조하였다. 복조기는 IQ의 신호를 역확산한 후 직교부호를 다시 곱하여 각 채널의 데이터를 분리한다. 변복조기의 구현은 클럭 속도 167MHz의 부동 소수점형 프로세서인 TI사의 TMS320C6701 DSP(Digital Signal Processor)를 사용하였고, long code 및 IQ 채널 PN 코드는 IMT-2000 동기방식과 비동기방식의 규격에 정의된 2가지의 PN코드 발생기를 모두 구현하였다.

값을 서로 곱한 후 그 곱한 항들을 합한 스칼라 양으로 정의된다. 직교 부호는 왈쉬부호라고도 하는데 모든 종류의 CDMA 시스템에서 사용되는 왈쉬부호는 1923년 J. L. Walsh에 의해 직교 함수로 소개 되었다. 여기서 직교의 의미는 코드간에 서로 상관관계가 매우 적어 서로 간섭을 주지 않는다는 의미로, 동시에 전송되는 여러개의 디지털 신호에 대하여 각각 다른 직교 부호를 곱해 주면 각 디지털 신호간에 직교성이 발생하여 수신기에서 구분을 쉽게 해주는 원리를 갖는다. 왈쉬부호는 각 물리채널을 구분짓는 식별자의 기능을 하기도 하고, 인접한 데이터 심볼간의 ISI(InterSymbol Interference)를 최소화하기 위한 용도로도 사용된다. 이러한 왈쉬부호는 Hadamard 행렬을 사용하여 생성하는데, 저차의 행렬을 이용하여 고차의 행렬을 생성하기 위해 회귀법이 사용된다.비동기 방식의 IMT-2000의 순방향 링크에서는 OVSF(Orthogonal Variable Spreading Factor) 방법으로 생성된 부호로 물리채널을 구분한다. OVSF 부호는 확산 인자(spreading factor)를 변경하여도, 다른 가지의 확산 부호와는 직교성을 유지한다.

1. 서 론

최근 컴퓨터 통신 및 이동 통신 등을 통하여 개인간 또는 단체간에 데이터의 교환이 급증하면서 처리해야 할 데이터의 양이 기하 급수적으로 증가하고 있다. 향후 전자 상거래 및 무선 인터넷 등이 활성화되면 처리해야 할 데이터는 더욱 늘어날 것이다. 현재 초고속 데이터 전송망은 대부분 광케이블과 같은 유선망이 담당하고 있으며, 케이블 공사가 어려운 지점에 소수의 데이터 사용자가 존재하는 경우에는 막대한 공사비에 비하여 사용자수가 적음으로 인하여 사업자의 수익성이 떨어짐으로써 케이블을 설치 할 수 있는 지역에 제한이 있다. 케이블 설치 공사가 어렵거나 소수의 사용자가 존재하는 지역에 유선 대신 무선으로 전송을 한다면 막대한 공사비를 절감하는 동시에 소수의 사용자에게도 만족할 만한 서비스를 제공할 수 있다. 그러나 초고속 신호의 무선전송은 그만큼 주파수 대역을 필요로 하며 이와 같은 넓은 대역을 서비스 대역으로 사용하는 것은 주파수 사용 허가 및 하드웨어 구현의 어려움 등 현실적으로 해결해야 할 사항이 매우 많다. 이에 따라 본 논문에서는 직교부호로 채널을 분리하여 여러 채널의 데이터를 하나의 채널로 더하여 전송하는 방법으로 고속의 데이터를 처리한 OCQPSK(HPSK) 변복조기를 DSP를 이용하여 구현하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 직교확산과 확산변조방식에 대하여 알아보고, 3장에서는 변복조기의 구조에 대하여 설명한다. 4장에서는 실험결과를 확인하고 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 직교확산과 확산변조 방식

2.1 직교 부호

다중 접속 방식에 사용되는 부호의 집합은 다음과 같은 두 가지의 추가적인 특성이 필요하다. 각 부호 사이의 상호상관이 0이 되는 성질 외에도, 직교 부호 집합내의 각 부호는 1과 -1의 수가 같아야 한다. 두 번째 특성은 이 특정한 부호가 랜덤한 특징을 가져야 한다는 것이다. 그 부호의 차수는 부호의 길이이며, 내적은 그 항의

2.2 복소 확산 변조

DS방식에서는 위상변조에 의해 확산변조가 행해지기 때문에 변조방식에 따라 전력증폭기의 선형성에 크게 영향을 받는다. 이러한 경우, BPSK나 QPSK방식처럼 zero crossing이 발생하는 변조방식을 이용할 경우 측대역 스펙트럼 특성의 제어가 용이하지 않다. 즉, 확산된 신호를 저역 또는 대역 여파하여 스펙트럼의 특성을 원하는 수준으로 제한하여도 전력증폭기를 통과하면, 스펙트럼의 regrowth 현상이 발생하기 때문이다. 따라서 이러한 현상을 피하기 위해서는 선형성이 좋은 증폭기를 사용하거나, 대역 또는 저역 여파를 규정된 것보다 훨씬 심하게 하여 전력증폭기를 통과한 출력이 규정된 스펙트럼을 만족하게 하는 방법을 사용해야 하지만 선형증폭기는 전력효율이 나쁘기 때문에 이동단말기에 적용이 어렵다. 또한 심한 여파를 하는 경우도 신호의 왜곡이나 여파를 위해서 많은 계산이 필요하므로 바람직하지 않다. 그래서 심볼간의 zero crossing 현상을 최소화 함으로써 ISI, 위사오차 등을 최소화하기 위하여 I채널 및 Q채널에 I채널용 PN 코드와 Q채널용 PN 코드가 중복하여 확산 변조하는 Complex Spreading(CQPSK) 구조를 사용한다. 이러한 데이터 변조 및 확산의 구조는 양방향 링크 모두 유사한 사항이기는 하나, 역방향 링크에서의 Complex의 의미는 순방향에서와는 달리 I, Q 경로 레벨 균형을 위해서 사용된다. 또한 단말기의 배터리 소모를 최소화하도록 채택된 전력증폭기의 비선형성에 의한 위상오차를 최소화하기 위해 IS-95에서는 QPSK 대신 OQPSK(Offset QPSK)를 사용하며, IMT-2000에서는 OCQPSK(Orthogonal CQPSK) 또는 HPSK(Hybrid PSK) 방식을 사용한다. OCQPSK(HPSK)방식은 기존의 QPSK 방식으로 PN 부호를 이용하여 확산 변조를 하였

을 경우, PN 부호가  $\pm 1 \pm j$  로 표현되며  $180^\circ$  의 위상변화를 가지므로 데이터로 인한 zero crossing 외에 확산 부호로 인한 zero crossing이 발생하는데 OCQPSK (HPSK) 방식에서는 직교부호  $(1,1), (1,-1)$  을 사용하므로  $1 \pm j$  가 되어 확산 변조로 인한 주파수 위상변화를  $90^\circ$  이내로 줄여 zero crossing의 발생을 억제한다. 그림 1과 2는 QPSK, CQPSK, OCQPSK, HPSK 확산 변조 방식을 보여준다.

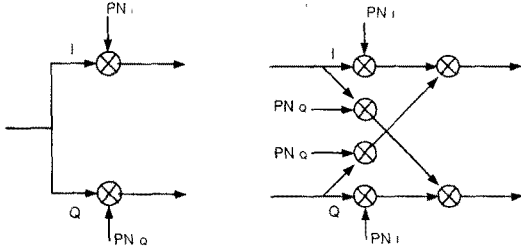


그림 1 QPSK 확산 변조와 CQPSK 확산 변조 방식

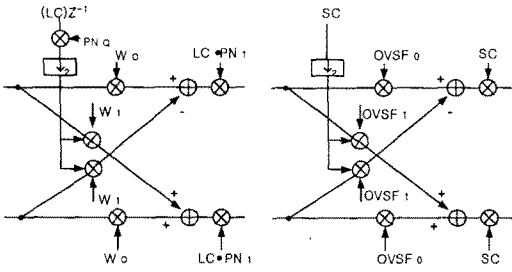


그림 2 OCQPSK 확산 변조와 HPSK 확산 변조 방식

직교 부호에 의해 이미 확산된 데이터 신호  $(I_d + jQ_d)$  와 확산 신호  $(I_c + jQ_c)$  와 곱해진 최종 출력 신호  $(I + jQ)$  는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I + jQ &= (I_d + jQ_d) \cdot (I_c + jQ_c) \\ &= (I_d \cdot I_c - Q_d \cdot Q_c) + j(I_d \cdot Q_c + Q_d \cdot I_c) \\ &= A_d \cdot A_c \cdot e^{j(\theta_d + \theta_c)} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $A_d$  와  $e^{j\theta_d}$  는 확산된 데이터 신호  $I_d + jQ_d$  의 크기와 위상이고,  $A_c$  와  $e^{j\theta_c}$  는 확산 신호  $I_c + jQ_c$  의 크기와 위상이다. 그러므로 출력신호  $I + jQ$  의 크기는 두 신호크기의 곱이고, 위상은 두 신호 위상의 합이 된다. 그림 3은 복소 확산시 위상과 크기의 변화가 식(1)과 같음을 보여준다.

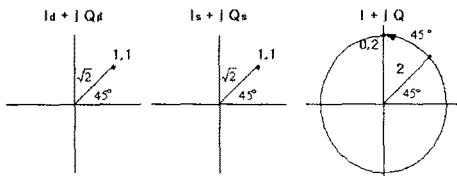


그림 3 복소 확산시의 위상천이도

확산된 데이터 신호에 2차의 직교부호  $(1,1), (1,-1)$  을 곱하면 그림 4와 같이 신호의 위상은  $45^\circ$  씩 이동하여 I축 혹은 Q축에 위치하게 된다.

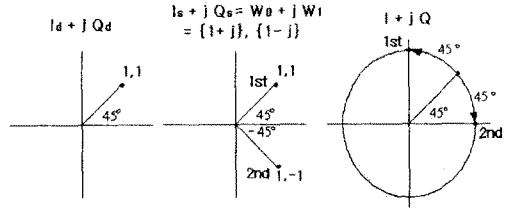


그림 4 직교부호에 의한  $45^\circ$  위상천이

직교부호에 의하여  $45^\circ$  위상천이 된 신호에 PN부호를 곱하면 I 축상의 첫 번째 신호는 I 축상에서만 천이를 하고, Q 축상의 두 번째 신호는 Q 축상에서만 천이를 한다. 때문에 두 신호의 위상 변화는  $90^\circ$  내에서만 일어나게 되어 zero crossing을 줄일 수 있다.

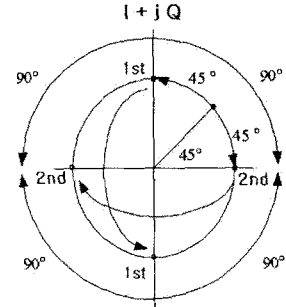


그림 5 PN부호에 의한  $90^\circ$  위상천이

### 3. 변복조기 구조

#### 3.1 변조기 구조

구현된 변조기는 고속 데이터의 전송을 위하여 다수개의 트래픽 채널을 동시에 전송하는 구조를 사용하였다. 각 트래픽 채널은 직교 부호를 사용하여 채널을 구분하였다. 채널화에 사용된 직교부호는 하다마드 행렬에 의하여 발생시킨 왈쉬부호나 OVFSF 방법으로 발생시킨 부호 중 어떤 것을 사용하여도 무방하다. 각 채널의 데이터 레이트는 1Mbps이고 8차의 직교부호에 의하여 확산된다. 그림 6은 이러한 방법으로 5채널의 트래픽을 전송하는 I, Q 채널 데이터의 구조이다.

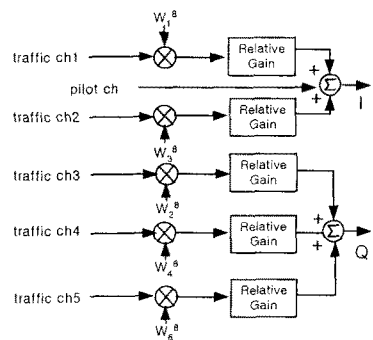


그림 6 I, Q 채널 데이터 구조

I, Q 채널 데이터는 그림 7의 3GPP2 cdma2000 시스템의 역방향 링크에 정의되어 있는 OCQPSK 방식과 그림 8의 3GPP W-CDMA 시스템의 역방향 링크에 정의되어 있는 HPSK 방식중 하나를 선택하여 확산 변조된다. 두 방식은 복소 확산 방식에서 같다고 말할 수 있다. 두 방식의 차이는 PN 부호 발생기의 구조이다.

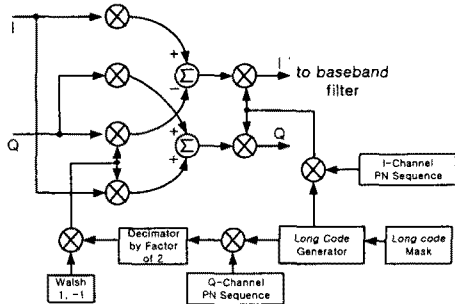


그림 7 동기식 변조기 구조

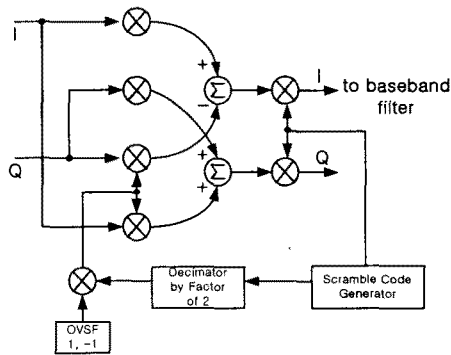


그림 8 비동기식 변조기 구조

동기식 확산 부호 발생기에 비해 비동기식의 확산 부호 발생기는 짧은 주기를 갖지만 구조가 복잡한 Gold 부호를 사용한다. 구현된 변복조기는 이 두 방식의 PN 부호 발생기를 모두 가지고 있으며 프로그램에 의하여 한 방식의 발생기가 선택된다.

### 3.2 복조기 구조

구현된 복조기의 구조는 그림 9와 같다. 수신된 신호는 복조기에서 변조기에서 곱해졌던 PN부호를 복소 형태로 다시 곱하여 I, Q 채널로 나눈다. 이후 각 채널마다 곱하였던 직교부호를 다시 곱하여 역확산시켜 전송했던 5채널의 데이터를 복조한다.

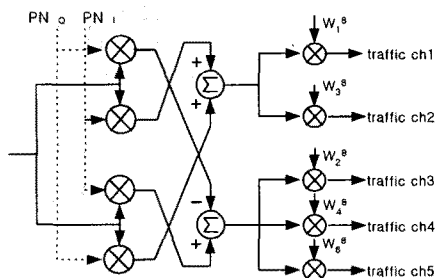


그림 9 복조기 구조

## 4. 실험 결과

### 4.1 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 트래픽 5채널을 동시에 처리하여 전송하는 OCQPSK(HPSK) 방식의 변복조기를 DSP를 이용하여 구현하였고, 이의 성능을 C언어를 이용한 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 그림 10은 가우시안 채널과 페이딩 채널 환경하에서 단일 트래픽채널 전송과 다중 트래픽 채널 전송시의 비트오율을 보여준다. 여기서 다중 트래픽 채널은 5채널을 전송하였다. 결과를 보면 단일 채널 전송에 비해 5채널을 동시에 처리하여 전송하면 성능이 매우 열화되는 것을 알 수 있다. 이는 직교부호에 의해 각 채널간에 발생한 직교성이 잡음에 의하여 깨어졌기 때문에 채널간의 데이터가 상호 간섭으로 작용하기 때문이다. 성능 향상을 위해선 에러를 수정할 수 있는 채널 부호기를 적용하거나 처리이득을 높여 주어야 할 것이며, 무엇보다도 송신전력이 보장되어야 할 것이다.

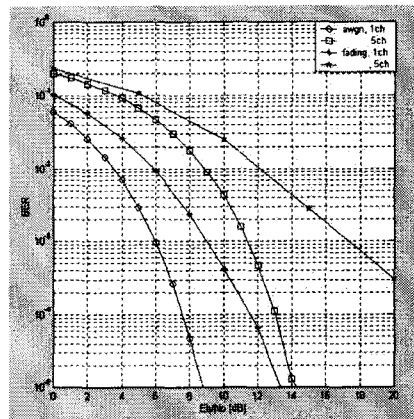


그림 10 단일채널 전송과 다중채널 전송시의 비트오율

그림 11은 I, Q신호의 크기가 다를 때의 CQPSK 방식과 OCQPSK(HPSK) 방식에 의한 출력신호의 위상천이도 데이터 신호에 PN부호를 복소형태로 곱하였을 때 발생하는 zero crossing이 OCQPSK(HPSK) 방식을 사용하였을 때는 현저하게 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 데이터 신호에 2차의 직교부호 (1,1), (1,-1)를 미리 곱하여 신호의 위상 변화를 90° 내에서만 일어나게 하였기 때문이다.

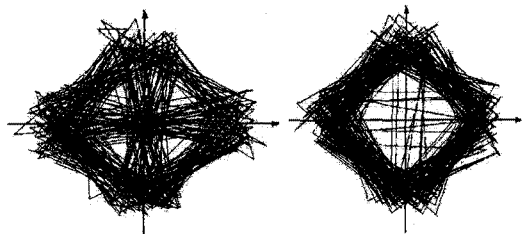


그림 11 CQPSK 방식과 OCQPSK(HPSK) 확산 변조 방식 출력신호의 위상천이도

### 4.2 하드웨어 구현

구현된 변복조기는 데이터 레이트 1Mbps, 칩 레이트 8Mcps의 전송 속도를 가진다. 데이터는 프레임 단위로 처리되며 한 프레임 처리시간은 20ms로, 데이터율이 1Mbps 일 때 처리 비트수는 20,000bits이다. 본 논문은

서는 트래픽 1채널을 전송한 것이 아니라 5채널을 왈쉬 부호를 이용하여 채널을 구분한 후 동시에 처리하였기 때문에 프레임당 처리비트수는 100,000 bits, 즉 5Mbps의 데이터 처리 속도를 가진다. PN 부호는 8Mcps로 데이터는 8배 확산된다. 구현된 변복조기는 flash 메모리에 프로그램을 다운로드한 후 부트로더에 의해 Stand-Alone 모드로 부팅하여 동작하는 Embedded 시스템이다. 트래픽 5채널의 입력 데이터는 DSP내부에서 임의로 발생하여 처리 하였다. 또한 변조된 신호는 병렬 포트에 출력되지만 전송단을 구현하지 않았기 때문에 복조기는 이를 곧바로 입력받아 처리한다. 복조된 신호는 입력 데이터와 비교했을 때 5채널 모두 오류가 없었다. 그림 12는 변조기의 출력을 Spectrum Analyzer를 통해 본 것으로 대역폭 10MHz의 신호를 확인할 수 있다.

- [9] TMS320C62x/67x Programmer's Guide
- [10] Eric Biscondi, David Bell, "TMS320C6000 Boot ROM Creation," April 1999,

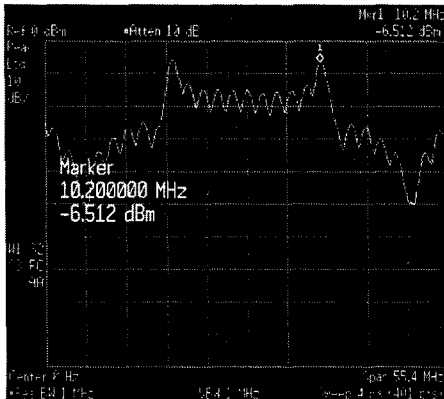


그림 12 변조기 출력 Spectrum

## 5. 결 론

본 논문에서는 직교부호로 채널을 분리하여 여러 채널의 데이터를 하나의 채널로 더하여 전송하는 방법으로 고속의 데이터를 처리한 OCQPSK(HPSK) 변복조기를 DSP를 이용하여 구현하였다. 트래픽 5채널을 동시에 처리할 수 있는 고속의 변복조기는 데이터 레이트 1Mbps × 5채널, 칩 레이트 8Mcps의 전송 속도를 가진다. 시뮬레이션 결과로 본 시스템은 송신전력이 보장되는 고속데이터의 중계에 사용 가능할 것으로 생각된다. 또한, 재프로그래밍 가능한 DSP로 구현되었기 때문에 프로그램을 다시 다운로드하여 파라미터의 변환이나 새로운 블록의 추가가 용이하며, 다른 방식의 변복조기로 변환이 가능하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Faruque, S., Cellular Mobile Systems Engineering, Norwood, MA: Artech House, 1996.
- [2] TR45. Physical Standards for cdma2000 Spread Spectrum Systems.
- [3] 3G TS 25.211(V3.2.0) : "Physical channels and mapping of transport channel(FDD)," March 2000.
- [4] Rupert Baines, "The DSP Bottleneck," IEEE Communications Magazine, May, 1995.
- [5] Jhong Sam Lee, Leonard E. Miller "CDMA Systems Engineering" Artech House Publishers, 1998.
- [6] 이상근, 방효창, "IMT-2000/CDMA기술," 세화, 2001.
- [7] 박형운, 전지용, 김용선, 김성진, 이용석, 이강민, "SDR 구조의 3GPP W-CDMA 시스템 구현," 전자공학회지, 제2권 4호, 4월, 2000.
- [8] Michel C. Jeruchim, Simulation of Communication System, Plenum, 1992.