

셀룰라 CDMA 시스템

한 영 열

(한양대학교 전자통신공학과 교수)

■ 차 례 ■

I. 서론

II. CDMA 시스템

III. 시스템고찰 및 결론

I. 序 論

본 논고는 1992년 4월 제정된 EIA/TIA의 잠정 표준안인 Wideband Sprerad Spectrum Digital Cellular Dual-Mode Mobile Station-Base Station Compatibility Standard의 개요 설명과 기술적인 점을 검토, 고려한다.

Qualcomm사에 의하여 제정된 Dual-Mode 잠정 표준안은 디지털 셀룰라 이동통신에 부호분할다원접속(CDMA)방식에 대한 기지국과 이동국의 기술적인 세부사항을 명시하고 있다. 유럽이 TDMA방식을 채택하고 있고, 미국 역시 변조방식에 $\pi/4$ QPSK를 사용한 TDMA 시스템을 채택한 차에 CDMA 방식의 디지털 셀룰라 표준안이 발표되었음은 그 자체 중요성을 갖고있다. 모든 표준안이 그렇듯이 이동국과 기지국이 표준에 따라 셀룰라 통신 서비스가 이루어지도록 제작되어야 한다. 즉 전체적인 사양과 무선 시스템의 페리미터, 호 처리 방식, 양방향 무선 시스템간의 인터페이스 페리미터가 규정되어 있다. 그러나 송수신기의 회로 자체를 규정하지 않으므로 제작자는 더 성능이 우수한 회로 사용이라든가 각 제작자의 고유한 방식으로 송수신기를 설계할 수 있다. CDMA 기술의 가장 중요한 부분의 하나인 동기화 복조기술에 있어 동기화를 어떤 방식을 사용하러던지, 복조에 있어 페이딩의 영향을 감소시키기 위하여 어떤 방식을 사용하라고 규정되어 있지 않아, 우리가 동기화에 있어 상관기

(correlator)를 사용할것이라는 점과 페이딩의 영향을 감소시키기 위하여 Qualcomm사이에 기론되고 있는 RAKE 수신기를 사용하는것이 좋을것으로 생각되나 RAKE 수신기를 사용치 않고 더 성능을 향상 시킬수 있는 방법이 있으면 그것을 사용하여야 할 것이다. 본 논고에서는 CDMA 시스템 개요를 알아보고 동기, 변복조 기술등에 대해 고찰하여 보고자 한다.

II. CDMA 시스템

II-1. 이동국 송신기

아래 그림은 잠정 표준에 나와 있는 CDMA에 시스템의 역채널(reverse link) 변조과정을 보여주고 있다. 이것은 이동국의 변조기 블록도라 볼수 있으며, 특이한 것은 블록인터리버(block interleaver)를 통과해 나온 데이터를 6개 비트 단위로 64비트의 왈쉬 함수(Walsh function)로 변환하여 데이터를 전송하고 있다. 직교 변조기 전에 6비트 전송시간에 64비트인 하나의 왈쉬부호를 전송하여야 한다. 9.6Kbps의 정보비트는 1/3 길쌈부호기를 거쳐 전송속도가 3배가 된 다음 블럭인터리버를 통과하고 직교변조된 다음 긴 주기 부호(long code)와 이원가산된다. 즉 하나의 왈쉬 칩에 4개의 PN칩이 들어간다. 다음 OQPSK 변조방식을 사용하여 I 채널과 Q채널의 주기 2^{15} 인 확산부호에 의하여 대역이 확산된다. 대역확산은 이미 긴주기

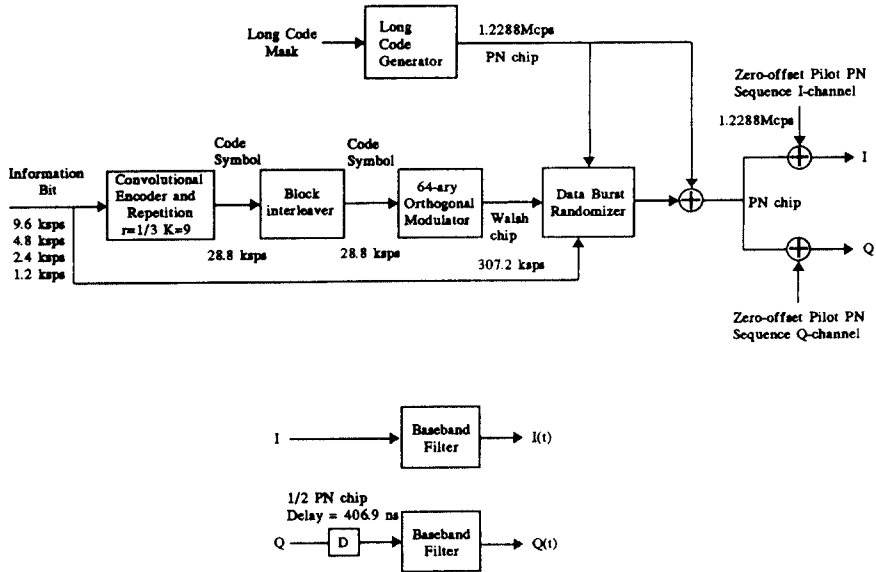


그림 2.1. 역채널(reverse link) 변조과정

부호에 의하여 대역이 확산되었다 볼 수 있으나 긴주기 부호 마스크(long code mask)에 의하여 이동국의 고유번호가 주어지므로 수신측에서는 이것으로 채널 구별을 할수가 있다. I 채널과 Q채널의 확산부호는 항상 우수초(even second)에 zero-offset 확산 부호로 시작되므로 수신측에서 확산부호동기에 이용할 수 있다. 길쌈부호와 블록인터리버(정보비트정송율이 9.6Kbps이하일때), 데이터 버스트 랜덤화(data burst randomizer) 과정은 표준안에 상세히 나와 있어 설명을 생략한다. 다음은 Walsh함수를 발생시키는 논리식이다.

$$\begin{aligned}
 WAL(n, t) &= \sum_{i=1}^p (n_i \oplus n_{i+1}) t_{p-i+1} \\
 &= (n_1 \oplus n_2) t_p \oplus (n_2 \oplus n_3) t_{p-1} \oplus \dots \oplus (n_{p-1} \oplus n_p) t_2 \oplus (n_p \oplus n_{p+1}) t_1 \\
 &= (n_1 \oplus n_2) t_p \oplus (n_2 \oplus n_3) t_{p-1} \oplus \dots \oplus (n_{p-1} \oplus n_p) t_2 \oplus (n_p \oplus 0) t_1 \\
 &= (n_1 \oplus n_2) t_p \oplus (n_2 \oplus n_3) t_{p-1} \oplus \dots \oplus (n_{p-1} \oplus n_p) t_2 \oplus n_p t_1
 \end{aligned}$$

윗식에서 \oplus 은 modulo-2 summation, 곱은 logical AND를 의미한다. 여기서 n 과 t 는 0에서 2^p-1 사이의 정수이고, n_i, t_j ($1 \leq i, j \leq p$)는 n 과 t 를 이진수로 표현했을 때의 각 비트의 값으로서 n_1 및 t_1 는 최하위

비트(LSB), n_p 및 t_p 는 최상위 비트(MSB)이다.

위의 식을 논리회로로 구현한 것이 Walsh함수 발생기이다. 64칩 Walsh함수 발생기($p=6$)의 회로를 다음 그림에 보였다.

64칩 Walsh부호 발생논리식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 WAL(n, t) &= \sum_{i=1}^6 (n_i \oplus n_{i+1}) t_{p-i+1} \\
 &= (n_1 \oplus n_2) t_6 \oplus (n_2 \oplus n_3) t_5 \oplus (n_3 \oplus n_4) t_4 \oplus (n_4 \oplus n_5) t_3 \\
 &\quad \oplus (n_5 \oplus n_6) t_2 \oplus (n_6 \oplus n_7) t_1 \\
 &= (n_1 \oplus n_2) t_6 \oplus (n_2 \oplus n_3) t_5 \oplus (n_3 \oplus n_4) t_4 \oplus (n_4 \oplus n_5) t_3 \\
 &\quad \oplus (n_5 \oplus n_6) t_2 \oplus (n_6 \oplus 0) t_1 \\
 &= (n_1 \oplus n_2) t_6 \oplus (n_2 \oplus n_3) t_5 \oplus (n_3 \oplus n_4) t_4 \oplus (n_4 \oplus n_5) t_3 \\
 &\quad \oplus (n_5 \oplus n_6) t_2 \oplus n_6 t_1
 \end{aligned}$$

그림 2.2의 회로에서 왼쪽의 6비트의 병렬입력은 Walsh번호(Walsh number) n 을 결정하며, Walsh심벌(Walsh symbol) 한 주기동안 유지되어야 한다. 이 한 주기 동안 카운터는 0에서 63까지 하나씩 증가하며, 수식에서의 t 에 해당하고 회로 상단의 6비트 병렬 입력이 된다. 이때 회로는 n 에 의해 정해진 하나의 Walsh함수를 발생하게 되며, 한번의 카운트 시간은 Walsh

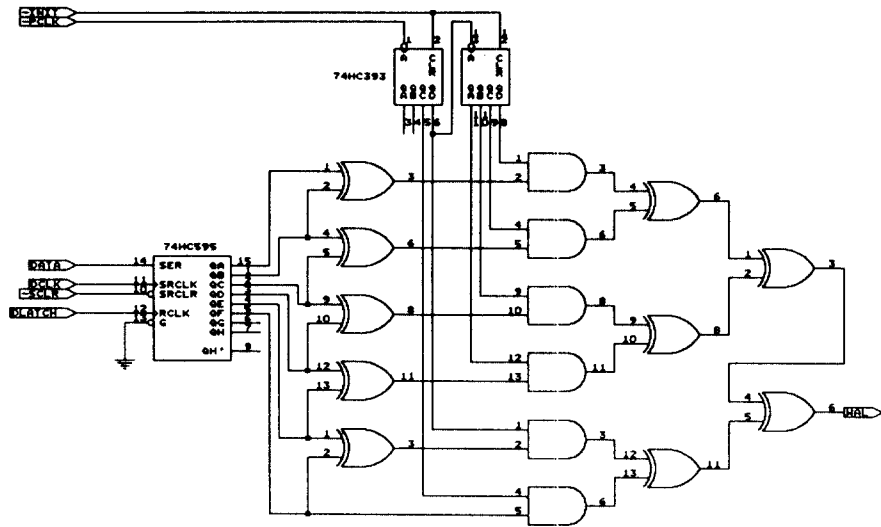
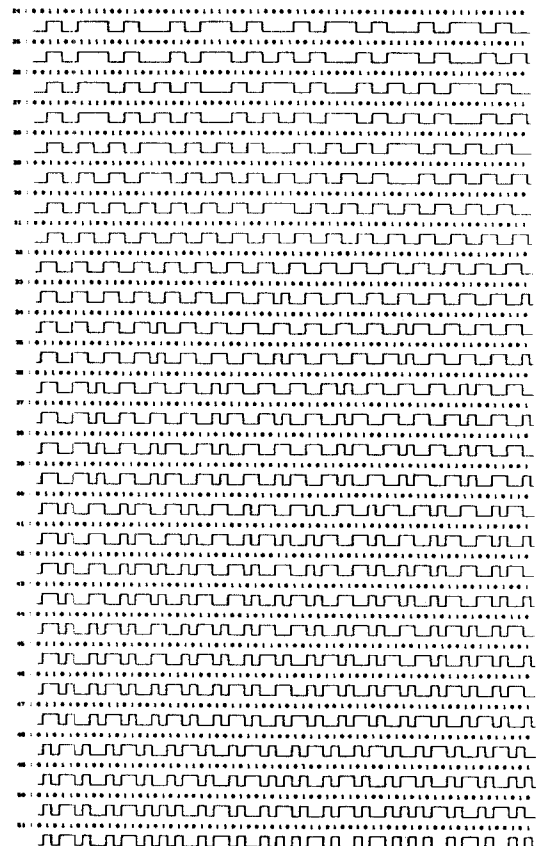
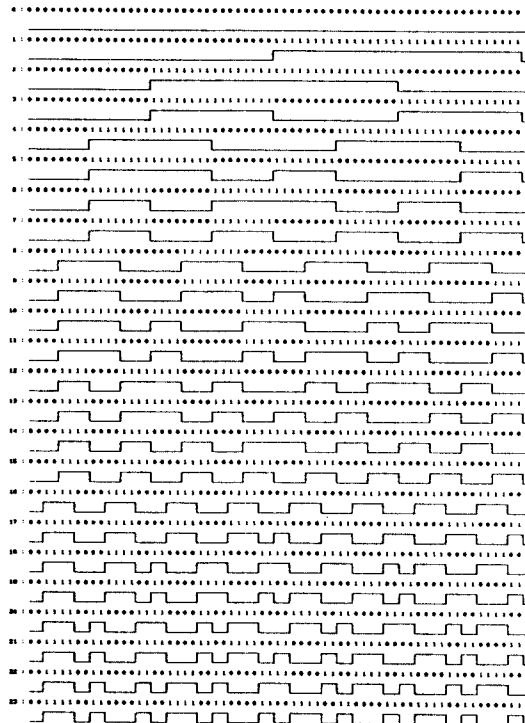


그림 2.2. 64비트 왈쉬부호 생성회로

십별 한 주기를 64등분한 것과 같다. 다음은 왈쉬함 수 발생기의 출력이다.



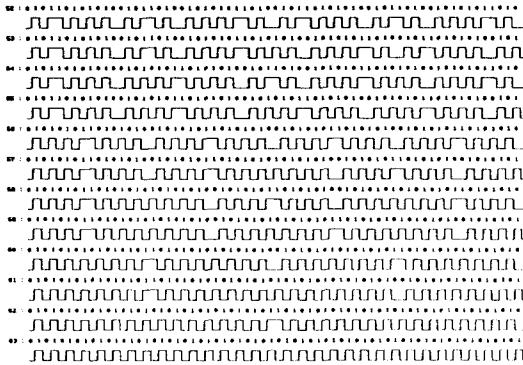


그림 2.3. 64비트 왈쉬부호 발생기의 출력

I 채널과 Q 채널의 확산부호는 주기 $2^{15}-1$ 의 PN 계열에 '0'을 하나 더 첨가하여 주기 2^{15} 인 확산부호를 사용하고 있다. PN계열의 런특성(run property)에 의하여 주기 $2^{15}-1$ 의 PN계열에는 '0'이 14번 연속으로 나타나는 경우가 한번 있는데 이에 하나의 '0'을 더 첨가하여 '0'이 15번 나오게 만들어 주기 2^{15} 의 확산부호로 사용한다. 주기 2^{15} 의 확산부호와 주기 $2^{15}-1$ 의 PN 계열의 자기 상관함수특성은 다르며 엄밀히 말해 2^{15} 의 확산부호는 PN 계열이 아니다. 그러나 2^{15} 확산부호는 칩 전송율이 1.2288Mcps 일때 매 2^{15} 초마다 75번 반복하므로 이동국에서 매 우수초마다 모든 이동국이 zero-offset의 I 채널과 Q 채널의 확산부호를 전송하므로 기지국에서의 확산부호 동기에도움을 주고 있다. 또 한가지는 기지국의 구별을 64 칩 단위로 I채널과 Q채널의 time-offset을 갖게 하므로, 최고 $2^{15}/64$ 개의 셀에 배당할 수 있다. 마지막으로 주기 2^{15} 의 확산부호의 자기 상관함수값은 지연이 영일때 2^{15} 이고, 지연이 1칩 ~ 14칩까지일 때는 그 값이 영이므로 $14/1.2288 \mu\text{sec}$ 범위에서는 채널의 임펄스 응답을 정확하게 측정할 수 있다. 일반적으로 셀룰라 차량 이동 통신에서 페이딩 채널의 Delay spread (T_m)이 $10\mu\text{sec}$ 이므로 페이딩 채널의 임펄스 응답을 알아 보상회로나 레이크 수신기를 사용하여 페이딩 영향을 감소시킬수 있을 것이다.

주기 2^{15} 의 확산 부호의 zero-offset 시점을 '0'이 15번 연속 나온다음 '1'이 나오는 시점으로 정하여 PN 부호 발생기의 초기 상태를 쉽게 조정할 수 있는 장점이 있으나 임의로 정한 것이고 수학적인 배경은 없다. 긴주기부호 발생기 자체에서 나오는 출력은 주기 $2^{15}-1$ 의 PN 계열이나 긴주기부호 마스크에 의하

여 부호계열이 바뀌므로 이것도 PN 계열이 아니다. 많은 경우 확산 부호로 PN 계열을 사용하는데 이때 zero-offset을 정하는 방법은 [11]에 제한한 바 있으므로 참고하기 바란다.

II-2. 기지국 송신기

기지국 변조기의 블록도는 다음과 같다.

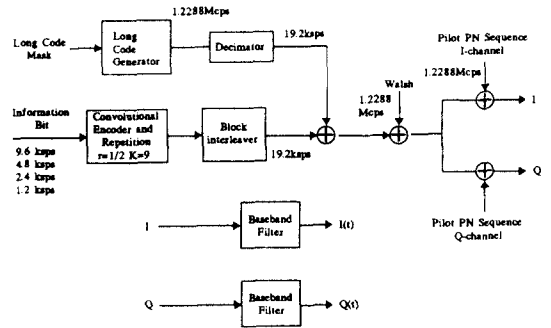


그림 2.4. 기지국 변조기의 블록도

그림 2.4는 트래픽 채널의 변조블록도로서 9.6kbps 정보비트는 1/2길쌈부호화된 다음 인터리브과정을 거쳐 긴주기 부호 마스크를 이용한 주기 $2^{15}-1$ 의 PN 부호의 매 64칩의 첫칩과 스트래블(scramble)된다. 다음으로 채널을 구별하여주는 왈쉬부호와 이원가산된 다음 각 셀마다 정해진 율셋을 갖는 I채널, Q채널의 확산부호와 이원가산된다. 정방향 CDMA 채널은 pilot, sync., paging, traffic 채널로 구분되며 그 변조 과정은 그림 2.4와 유사하다. pilot 채널은 I채널과 Q채널의 주기 2^{15} 인 확산 부호만 다른 채널보다 더 높은 전력으로 전송하여 확산 부호동기와 반송파 위상을 맞추는데 사용토록 하고 있다. 동기 채널은 긴주기 부호 동기에 필요한 초기 상태, 시스템 시간, pilot 확산 계열의 time-offset 정보등을 전송하며 긴주기 부호를 이용하여 트래픽 채널에서와 마찬가지로 데이터를 스크램블하고 있다. 동일한 기지국에 전송된 채널구분은 왈쉬 부호를 각 채널에 배당하여 구별하고 있으며 셀의 구별은 먼저 설명한 바 같이 I와 Q채널의 확산부호의 time-offset으로 구별한다. 왈쉬부호는 하나의 데이터비트에 64칩이 반복 삽입되어 채널 구별을 가능케 하고 있다.

II-3. 이동국 수신기

잠정표준안에는 이동국에서의 복조과정은 정방향 링크(forward link)에서 기지국이 수행하는 변조과정에 상응하는 동작을 해야 한다고 규정하고 있다. 일반적으로 복조과정은 변조과정보다 더 복잡한데, 먼저 확산부호 동기 과정이 필요하며, 페이딩의 영향을 감소시킬 수 있는 대책도 요구된다. DS/CDMA시스템에서 동기과정은 주로 상관기를 사용하는 것으로 되어 있다[9]. 그리고 다경로 페이딩의 특성을 이용해서 경로다이버시티(path-diversity)를 수행하는 RAKE 수신기가 거론되고 있으므로 상관기를 사용한 동기 방식이 권장되고 있다. 초기동기에서 직렬 탐색(serial search)방식에 의한 동기방법을 사용할 경우, 확산부호의 위상을 반 칩씩 지연시켜 가면서 전 부호주기에 걸쳐 모두 상관시키면 전송율이 1.2288Mcps일 때 초기동기 시간이 대략 15분 소요된다. 그러나 동기시간은 1초 내외에 이루어져야하므로 보조장치가 필요하다. 동기를 빨리 이루기 위한 방법으로 반칩씩 지연된 상관기를 병렬로 설치할 수 있으나 이것은 주기가 작은 확산부호에 가능하며 주기가 2¹⁵인 경우엔 사용이 불가능하다. Sequential estimation에 의한 방법도 주기 2¹⁵인 경우 PN계열 발생기의 쉬프트 레지스터 수 15 칩을 정확히 검출하면 동기가 가능하지만, 15칩중 하나라도 오류가 발생할 경우엔 동기가 이루어지지 않으므로 이 방법은 거의 사용하지 않고 있다. 동기를 빨리 이룰수 있는 방법중 하나로서 n x 64 칩의 길이를 가진 디지털 정합여파기를 사용하는 방법을 들수 있다. 이러한 디지털 정합여파기를 다수 병렬로 사용하여 초기동기시간을 단축시킬 수 있을 것이다. 주기가 긴 확산부호에 n x 64칩길이 만큼 부분상관을 시켜 디지털 정합여파기의 계수와 동일한 계열이 들어올때 출력값이 상승하므로 임계치를 넘으면 동기된 것으로 간주하고 전체 확산부호에 상관시켜 확인을 거치도록 한다. 초기동기가 이루어지면 DLL(Delay Lock Loop)을 사용하여 칩동기를 정확히 맞춘다. RAKE수신기가 여러개의 상관기로 구성됨을 감안하면 탐색회로(tracking loop)에 tau-dither 회로보다는 탐색과정에서 RAKE수신기를 사용할 수 있는 DLL의 사용이 권장된다고 할 수 있다. 다음 그림은 주파수선택적 페이딩채널하에서의 RAKE수신기의 구조이다. 수신된 신호 r(t)는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{L} C_n(t) u(t - \frac{n}{W})$$

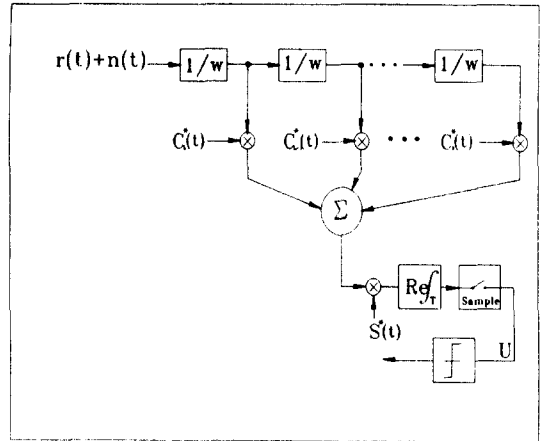


그림 25. 주파수 선택적 페이딩채널하에서의 레이크 수신기

여기서 C_n(t)는 시변성 페이딩 채널의 임펄스응답에서 n/W만큼 지연되었을 때의 페이딩 채널의 계수이며 u(t)는 송신신호로서 주로 확산부호 계열이고, n(t)는 배경잡음이다. 수신된 신호는 1/W만큼씩 지연이된 다음 확산부호 u(t)와 곱하여지고 추정된 페이딩채널의 임펄스응답값 C_n(t)와 곱하여진 후 합성된다. 모든 L개의 신호가 더해진다는 것은 L차 다이버시티를 의미하는 것이며 확산부호 u(t)는 동기가 이루어졌다고 가정하였다. C_n(t)를 추정한다는 것은 회로의 복잡성을 고려하여 설계할 문제이다. C_n(t)의 추정방법으로, u(t)를 전송하였을 경우 수신신호는 h(t)*u(t)가 된다. 여기서, '*'는 콘볼루션기호이며 h(t)는 페이딩채널의 임펄스응답이다. 수신측에서는 u(t)와 다시 상관시키므로 u(t)가 PN부호일 경우 주기가 크면 δ(t)로 근사화 할 수 있으므로 δ(t)*h(t)가

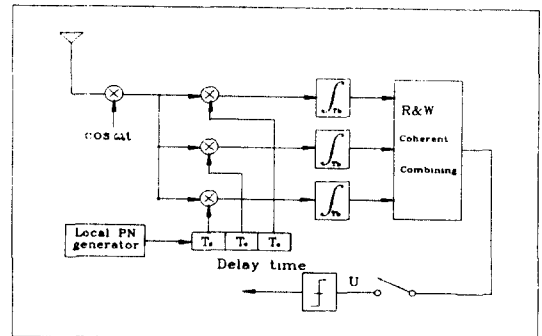


그림 26. 3개의 상관기를 사용한 레이크 수신기

되어 $h(t)$ 를 측정할 수 있다.

다음은 PN부호를 한 칩씩 지연시켜 3개의 상관기를 사용한 레이크 수신기의 블록도이다.

Qualcomm사에서 제안한 RAKE수신기는 위 그림에서는 보이지 않았지만 search engine이라 부르는 다중경로를 탐색하는 상관기 1개와 3개의 강한 경로의 신호를 복조하여 경로 다이버시티 역할을 하는 핑거(finger)라고 부르는 3개의 상관기를 사용하고 있다. Grob[3]는 자신의 실험용 제작에서 7개의 상관기를 사용하고 있는데, 2개는 반칩씩 부호위상에 차이를 둔 early-late tracking용이고 5개는 부호위상이 1칩씩 지연된 복조용의 상관기이다. 상관기의 갯수는 많을수록 좋을 것으로 사료되나, 주기 2^{15} 의 확산부호를 칩전송률 1.2288Mcps로 전송할 때 1칩 길이가 $0.813\mu s$ 이므로 $0.813\mu s$ 을 분해 가능한 구간으로 잡는다면 지연프로파일의 시간길이가 $8\mu s$ 로 생각할 때 10개의 상관기가 필요하다. 그러나 실제로는 채널의 임펄스응답을 측정함으로써 상관기의 숫자를 감소시켜 사용할 수 있을 것이다. CDMA 수신기에서 레이크 수신기는 수신신호와 확산부호의 위상이 1칩씩 지연된 여러 상관기의 출력을 합성하여 데이터를 복조하는 장치이다. 상관기에서 나온 출력을 합성할 수 있는 몇가지 방법을 설명하고자 한다.

- (1) 모든 상관기의 출력을 합성한다.
- (2) 여러 상관기의 출력중 어느 임계값 이상의 것만을 합성한다.
- (3) 하나의 상관기 출력만을 사용한다.
- (4) 페이딩채널의 임펄스응답을 측정하여 이중 세가지 큰 몇개의 경로만을 합성한다.

(4)번 방법은 페이딩채널의 임펄스응답을 측정하여야하는 복잡성과 페이딩채널의 임펄스응답을 측정할 결과를 갖고 있다하더라도 상관기의 확산부호의 시작점을 항상 변경하여야하는 복잡성이 따른다. 또한, 레이크수신기를 사용하므로 기지국 다이버시티(cell-site diversity)가 가능하다. 현 아나로그 FDMA시스템에서와 같이 주파수채널교체에 따른 핸드오프가 이루어지는 것이 아니라 이동국이 인접셀 근처에 오면 현재 셀과 인접셀로부터 신호를 동시(이때, 다이버시티가 이루어진다)에 수신하다가 완전히 인접셀로 진입하였다고 판명될 때 과거셀로부터 수신이 중단되는 소프트 핸드오프의 역할도 수행한다. CDMA에서의 핸드오프는 I,Q채널의 확산부호의 time-offset만을 맞추면 된다. 하나의 확산부호를 가지고 셀마다 부호에 time-offset을 담당하는 방법은 현재 아나로그

통신에서 주파수채널 배당과 동일한 방법으로 하면 되나, 단지 셀이 몇개 모여 하나의 클러스터에 전주파수 채널을 배당하는 방법과는 달리 더 많은 셀에 배당할 수 있으며, 멀리 떨어진 셀에는 다시 확산부호의 동일한 time-offset을 재배당시킬수 있는 장점이 있다. 현재는 64칩 단위로 떨어져 512셀에 배당시키도록 되어 있으나 칩간격은 조종될 수 있을 것이다.

II-4. 기지국 수신기

하나의 셀 내에는 일반적으로 하나의 기지국이 존재하고 다수의 이동국이 있다. 그러므로 기지국에서는 파이롯 채널을 통하여 셀내의 모든 이동국이 확산부호의 동기를 맞출 수 있으나 반대로 여러 이동국에서 기지국으로 전송되는 신호에는 기지국에서 전송되는 파이롯 채널과 같은 것이 없으므로 반송파의 위상을 맞출 수가 없다. 모든 이동국은 우수초(even second)에 부호위상이 zero-offset인 I채널과 Q채널의 확산부호를 전송하므로 기지국은 이 사전정보를 이용하여 확산부호의 동기에도움을 얻을 수 있을 것이다. 반송파의 위상을 정확히 알 수 없을 때는 비동기복조를 사용하여 복조를 할 수 있다. 더구나 직교함수인 왈쉬부호(walsh code)를 데이터 대신 사용하고 있으므로 데이터복조에 도움을 주고 있다. 그림은 왈쉬함수를 이용한 다중화 회로이다.

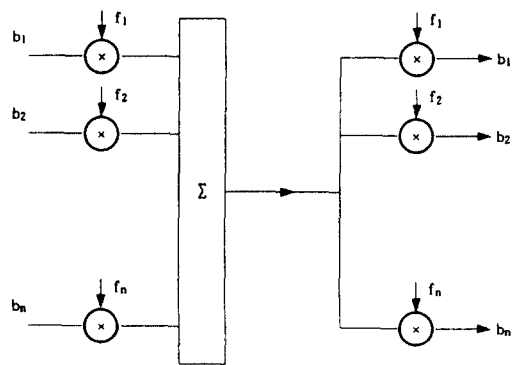


그림 2.7. 왈쉬함수를 이용한 다중화 회로

b_1, b_2, \dots, b_n 은 ± 1 데이터이고 f_1, f_2, \dots, f_n 은 64칩의 왈쉬부호이다. 데이터 한 비트는 64칩의 왈쉬부호와 곱하여진 다음 모두 더해져 전송되고, 수신측에서는 동기가 이루어진 f_1, f_2, \dots, f_n 을 곱하여 다음의 신호를 얻는다.

$$\frac{1}{T} \int_0^T b_1 f_1^2(t) dt + \frac{1}{T} \int_0^T b_2 f_2(t) f_1(t) dt + \dots + \frac{1}{T} \int_0^T b_n f_n(t) f_1(t) dt$$

그런데, 위식에서 f_1, f_2, \dots, f_n 는 직교함수이므로 첫항만 빼고는 모두 값이 영이다. 또한, Walsh함수의 직교성 때문에

$$\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt = 1$$

이므로, 결과적으로 b_1 을 복조할 수 있게 된다. 이 개념은 수학적으로는 간단명료하나 실제에는 각 신호의 전력이 다를수도 있고 모든 이동국이 동일한 장소에서 전송하는 것이 아니고 각기 다른 장소에서 전송하므로 간단히 해석되지는 않는다. 셀룰라 CDMA 시스템에서는 하나의 Walsh부호가 여섯비트의 데이터를 표시하므로 64개의 Walsh부호를 가지고 복조하여 가장 출력이 큰 Walsh부호를 다시 여섯비트의 데이터로 변환하여야 하는데, 이 변환은 여섯비트의 데이터를 64칩의 Walsh부호로 변환하는 과정의 역 과정이므로 쉽게 변환시킬 수 있다. 다음은 기지국 수신기에서 권장되고 있는 비동기 복조장치중 한 예이다.

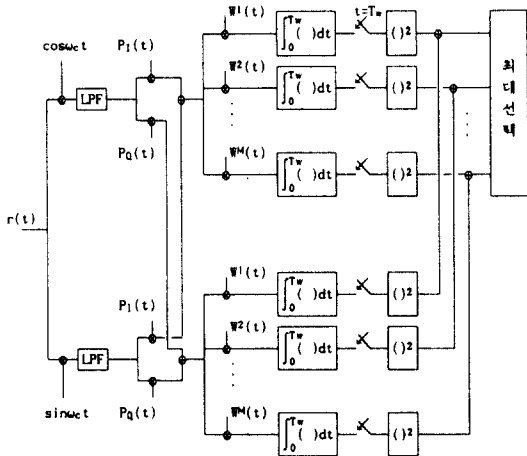


그림 2.8. 비동기 방식의 DS/SSMA 수신기

이 수신기는 랜덤한 위상을 갖는 페이딩환경하에서의 FSK 최적 수신기의 유도 과정에서 도출된다[11]. 수신신호 $r(t)$ 는 $\cos w_c t$ 와 $\sin w_c t$ 로 곱하여진 다음 저

역여과기를 통하여 기저대역신호로 복조된다. 그 후 각기 I채널, Q채널의 확산부호로 역확산된 다음 그림과 같이 더하여지고 64칩의 64개의 Walsh부호와 상관된 다음 각 브랜치를 자승하여 모두 합한것 중 가장 큰 출력값을 가지는 Walsh 부호를 다시 6비트의 데이터로 변환한다.

III. 시스템 고찰 및 결론

CDMA 셀룰라 이동통신 시스템은 현재 다른 시스템보다 용량이 큰것으로 알려져 있으며 신호대 잡음비가 허용하는 한도내에서 용량이 탄력적이다. 또한 모든 셀이 동일한 주파수를 사용하므로 주파수 배당이 필요없으며 소프트 핸드오프를 사용함으로써 채널용량에의한 통화중단이 없어 연속통화의 신뢰성이 더 많은 것으로 알려져 있다. 그러나 이동국이 항상 전력제어를하여 기지국에서 동일한 전력을 수신하도록하는 전력제어가 필요하다. CDMA시스템의 구조는 변조부분보다는 복조부분이 더 복잡하며 우선 복조부분에서 확산부호의 동기화 및 페이딩의 영향을 감소시키는 장치가 필요하다. 본 논고에서는 이동통신에 사용될 CDMA시스템의 개요를 설명하고 동기, 변조 기술을 고찰하여 보았다.

참 고 문 헌

1. U. Fawer, "A Coherent Spread-Spectrum RAKE-Receiver with Maximum-Likelihood Frequency Estimation," Proc. of ICC '92, pp.471-475, Chicago, June 1992
2. H. Kaufmann and R. Kung, "Digital Spread-Spectrum Multipath-Diversity Receiver Indoor Communications," Proc. of VTC '92, pp.1038-1041, Denver, May 1992
3. U. Grob et al., "Microcellular Direct-Sequence Spread-Spectrum Radio System using N-path RAKE Receiver," IEEE J. Selected Areas Communication, vol. SAC-8, pp.772-780, June 1990
4. C. G. Gunther, "A RAKE Receiver which Adapts to Fast Fading," Proc. of PIMRC '92, pp.456-459, Boston, Oct.1992
5. K. I. Kim, "On the Error Probability of a DS/SSMA System with a Noncoherent M-ary Orthogonal Modulation," Proc. of VTC '92, pp.482-485, 1992

6. D. L. Schilling, R.L. Pickholts and L. B. Milstein, "Spread Spectrum Goes Commercial," IEEE Spectrum vol-27, pp.40-45, Aug 1990
7. Application Note, Asic and Costom Products, STANFORD TELECOM, May 1990
8. The CDMA Network Engineering Handbook, vol.1, Qualcomm, Nov. 1992
9. Cellular System Dual-Mode Mobile Station-Base Station Compability Standard, IS-54, EIA, Dec.1989
10. Proposed ELA/TLA Interim Standard ; Wideband Spread Spectrum Digital Cellular System Dual-Mode Mobile Station-Base Station Compability Standard, April 1992
11. 진정식, 한영열, "이전함수를 이용한 직접확산 통신방식에서의 초기동기," 한국통신학회 하계 중학술 발표회, pp.730 ~ 734, 1992년 7월.



한 영 열

-
- 1960년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
 - 1976년 5월 : 미주리주립대학(공학석사)
 - 1979년 5월 : 미주리주립대학(공학박사)
 - 1980년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 전자통신공학과 교수
 - 1991년 ~ 현재 : 본학회 부회장