

채널 제어 및 전력 제어

趙柄珍, 姜炳權, 鄭鍾泰
韓國電子通信研究所 無線制御研究室

I. 머릿말

최근 CDMA(Code Division Multiple Access) 방식이 미국 TIA(Telecommunications Industry Association)에서 표준안(잠정 표준 권고안 : IS-95)으로 채택됨에 따라 차량 전화 뿐만 아니라 개인 휴대 통신에의 적용 가능성도 한층 커졌다. 현재 미국 Qualcomm 사의 CDMA 방식에서 채널 제어와 전력 제어는 매우 중요한 기술이며, 특히 전력 제어는 CDMA 방식의 성립 여부가 달려 있었던 핵심 기술이다. 한편, 채널 제어는 매우 광범위하고 복잡한 말로서 시스템 망관리, 호처리, Handoff 등 CDMA 방식의 거의 모든 내용이 포함될 수 있으나, 본 고에서는 기지국과 이동국간에 정보 신호를 주고받기 위한 가장 기본적인 내용을 위주로 이를 간략하게 설명하였다.

II. 채널 제어

이동 통신에서의 채널은 무선 채널이며, 이의 결과로서 이동 통신에서는 기지국과 이동국과의 통신이 기본이 된다. 이들 기지국과 이동국간의 통신 즉, 음성 혹은 정보 신호는 몇 단계를 거쳐 전송되는데, 현재 CDMA 시스템에서는 이의 처리를 위하여 Pilot 채널, Sync 채널, Access 채널, Paging 채널, Traffic 채널 등을 두고 있으며, 기지국에서 이동국으로의 방향을 Forward 채널, 이동국에서 기지국으로의 방향을 Reverse 채널이라고 정의하여 사용한다.

다. 이절에서는 이들 채널의 구조 및 기능에 대하여 고찰해 본다.

1. Pilot 채널

Pilot 채널은 기지국에 의하여 Forward CDMA 채널상에서 항상 전송된다. Pilot 채널은 변조되지 않은 스펙트럼 확산(Spread Spectrum) 신호이며, 한 기지국의 영역내에서 동작하고 있는 이동국들이 초기 시스템 동기를 이루고, 기지국 신호의 위상을 추적하는데 사용된다. 이동국들은 Pilot 신호를 지속적으로 추적하며, 전송된 Pilot 신호의 레벨에 따라 cell 영역의 크기가 달라진다.

Pilot 신호는 각 기지국마다 발생되어 전송되는데 각 기지국들은 동일한 코드를 사용하지만 서로를 구별하기 위하여 서로 다른 코드 위상 offset을 사용함으로써 이동국은 모든 코드 위상을 단 한번 탐색함으로써 시스템 동기를 찾을 수 있다. 가장 강한 신호의 코드 위상이 가장 가까이 있는 기지국의 코드 위상임을 의미한다. Pilot 채널은 0부터 511까지의 offset index로 나타내며, 이 offset index는 offset이 0인 zero-offset pilot PN 시퀀스로부터의 offset된 값을 의미한다. zero-offset pilot PN 시퀀스는 기지국 전송 시간의 매 2 초(even second)에 맞추어 시작된다. 임의의 Pilot PN 시퀀스와 zero-offset Pilot 시퀀스와의 offset은 칩수로 나타낼 수도 있으며, 이때는 index값에 64를 곱하면 된다. 예를들어 Pilot PN 시퀀스의 offset index가 15이면, Pilot PN 시퀀스의 offset은 $15 * 64 = 960$ PN 칩으로도 표현된다.

Pilot 채널을 비롯한 모든 Forward 채널은 전송되기에 앞서 Walsh 함수라는 것을 곱하는데,

Forward CDMA 채널 상에서 모든 채널 간에 직교성(orthogonality)을 제공하여 채널을 구분할 수 있도록 한다. 하나의 Walsh 함수는 1.2288 Mcps의 고정된 rate로서 64개 PN 칩으로 구성된다. 또한, Walsh 함수는 모두 64개의 종류가 있으며, Walsh 함수 n 을 사용한 채널은 채널 번호 n 을 부여 받고, n 은 0부터 63까지의 값을 갖는다. Walsh 함수의 주기는 $52.083 \dots \mu s (=64/1.2288 \text{ Mcps})$ 이고, Pilot 채널은 Walsh 함수 번호 0을 할당받으며, 번호 0인 Walsh 함수의 전송 정보내용은 0으로 구성되어 있다. 그림 1은 Pilot 채널의 전송 시스템 블록도이다. 결과 신호 A는 그림 2에서와 같이 I, Q 채널로 나누어 변조된후 시스템 처리 특성에 따라 원하는 대역으로 천이되어 전송된다.

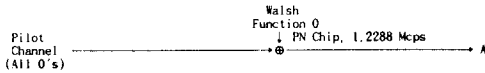


그림 1. Pilot 채널 전송 시스템 블록도

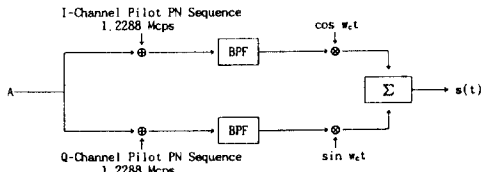


그림 2. I, Q 채널 변조 시스템

2. Sync 채널

Sync 채널에서는 전송될 정보 신호에 대하여 채널 코딩과 인터리빙이 수행되고, 이를 대역 확산시킨후 변조된 신호가 전송된다. 이 채널을 이용하여 한 기지국내에서 움직이는 이동국들은 초기 시간 동기를 얻을 수 있다. 이 채널은 Pilot 채널과 동일한 PN 시퀀스와 위상 offset을 사용하며, 데이터율은 1200 bps이고, 한 Sync 채널 프레임(frame)은 $26.666 \dots \text{ms}$ 의 시간폭을 갖는다. 이동국이 Pilot 채널을 수신함으로써 pilot PN 시퀀스의 동기를 이루었다면 Sync 채널에 대한 동기는 즉시 이루어진다. 이것은 Sync 채널이 Pilot 채널과 동일한 pilot PN 시퀀스로 확산되고, Sync 채널에서의 프레임과 인터리버 타이밍이 pilot PN 시퀀스와 시간적으로 일치하기 때문이다. 세계의 Sync 채널 프레임이 모여 80 ms

의 폭을 갖는 하나의 Sync 채널 수퍼프레임을 구성하며, Sync 채널에서 전송되는 메시지는 Sync 채널 수퍼프레임의 시작에 맞추어 전송된다. zero-offset pilot PN 시퀀스를 사용하는 경우 Sync 채널 수퍼프레임은 기지국 기준 시간의 even second 시간에 맞추어 전송되며, offset이 있는 pilot PN 시퀀스를 사용하는 경우에는 even second 시간에 offset 시간만큼을 더하여 Sync 채널 수퍼프레임을 전송한다.

Sync 채널의 신호에는 기지국 자체에 대한 정보와 기지국 pilot 송신 전력, 기지국 pilot PN 위상 offset, Paging 채널의 데이터 전송율 등에 관한 정보가 포함되어 있다. 이동국은 이러한 정보를 가지고 시스템 시간을 설정할 수도 있고, 호를 전송하기 위한 신호 전력을 결정할 수 있다. 그림 3은 Sync 채널 전송 시스템의 블록도이다. Sync 채널 데이터는 convolution 코딩된 후, 코드 심볼의 반복과 인터리빙이 이루어진다. 그림에서 A는 Pilot 채널에서와 같은 의미이다. convolution 코딩의 부호율이 1/2이므로 코드 심볼 레이트는 2.4 kbps가 되고, 이들 심볼을 2번씩 반복함으로써 레이트는 4.8 kbps가 된다. Sync 채널은 전송되기에 앞서 Walsh 함수 32번에 의하여 대역 확산된다.

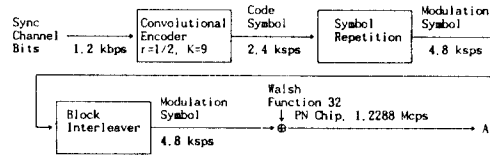


그림 3. Sync 채널 전송 시스템 블록도

3. Paging 채널

일단 이동국이 Sync 채널 메시지로부터 시간 동기 정보를 얻으면, 이동국은 자신의 타이밍을 조절하여 시스템 시간에 맞춘다. Paging 채널은 Sync 채널과 마찬가지로 코딩과 인터리빙이 이루어지고 변조된 대역 확산 신호가 전송된다. Paging 채널은 하나의 CDMA 주파수 대역(1.23 MHz)에 7개까지 존재할 수 있으며, 4800과 9600 bps의 데이터율이 지원되고, 1200과 2400 bps의 데이터율은 지원되지 않는다. Paging 채널의 프레임은 20 ms이며, I, Q 채널의 pilot PN 시퀀스 offset은 그 기지국의 Pilot 채널의 offset과 같다.

기지국이 Paging 채널을 통하여 이동국에 전송하

는 메시지에 4가지 형태가 있는데 overhead, paging, order, channel assignment message 등이 그것이다.

우선 overhead 메시지는 System Parameter Message, Access Parameter Message, Neighbor List Message, CDMA Channel List Message 등 4개의 메시지로 구성되어, 시스템 구성에 대한 정보들을 전달한다. 이 중에서 System Parameter Message는 Paging 채널의 형태, registration parameter, aid pilot acquisition parameter 등을 포함한다. 또한, Access Parameter Message는 Access 채널의 형태에 관한 정보와 control parameter를 포함한다. Neighbor List Message는 pilot PN의 시간 offset과 기본적인 이웃 기지국의 형태에 관한 정보를 포함하고 있어 handoff가 빨리 이루어지도록 도와 준다. CDMA Channel List Message는 CDMA 주파수 대역과 그에 따른 Paging 채널에 관한 정보를 포함하여 이동국이 어디서 자신의 Paging 채널을 찾을 것인지 용게 결정할 수 있도록 한다.

두번째 형태인 paging 메시지는 하나 혹은 그 이상의 이동국으로 전송되는 paging 정보를 포함한다. page는 일반적으로 기지국이 이동국과의 통신을 요구하는 호를 수신하였을 때 전송되며, 보통 여러 기지국에서 전송된다. 세번째 형태인 order 메시지는 많은 메시지들의 집합체이며, 특정한 이동국을 제어하는데 사용된다. registration의 인지에서부터 의도하지 않은 이동국이 전송하는 것을 방지하는 것까지의 모든 과정을 처리하기 위한 메시지가 포함된다. 네번째 형태인 channel assignment 메시지는 기지국이 이동국에 Traffic 채널을 할당할 수 있도록 하며, Paging 채널의 할당을 바꾸거나 혹은 이동국이 analog FM 시스템을 사용하도록 명령한다.

그림 4는 Paging 채널 전송 시스템 블럭도이다.

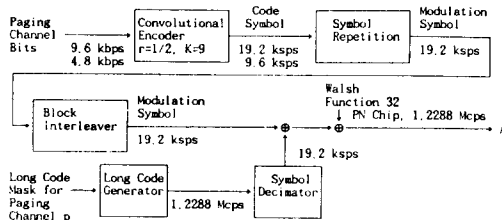


그림 4. Paging 채널 전송 시스템 블럭도

4. Access 채널

1.23 MHz의 Reverse 채널 대역은 n개의 Access 채널과 m개의 Reverse Traffic 채널로 구성된다. 이 중에서 Access 채널은 이동국이 통신을 하고 있지 않을 때 즉, Traffic 채널을 사용하지 않을 때 이동국으로부터 기지국으로의 통신을 제공한다. 모든 Access 채널 전송은 4800 bps의 데이터 전송율을 사용하며, Access 채널 메시지는 호 발생, page에 대한 응답, orders, registration 등의 내용을 포함한다. Reverse 채널인 Access 채널은 Forward 채널인 Paging 채널과 쌍을 이루고 있으며, 각 Access 채널은 서로 다른 긴 PN 코드에 의하여 구별된다. 따라서 기지국은 어떤 특별한 Access 채널을 수신하였을 때 그와 관련된 Paging 채널로 메시지를 전송한다. 마찬가지로 이동국은 기지국으로부터 전송된 Paging 채널 메시지에 대하여 그와 관련된 Access 채널을 통하여 메시지를 전송한다.

Paging 채널은 7개 까지 존재할 수 있으므로 하나의 Paging 채널을 여러 이동국이 사용할 수 있는데, 이들 이동국들이 통신을 하기 위하여 하나의 Access 채널에 동시에 접속을 시도할 수 있다.

이때는 이동국이 이용 가능한 Access 채널의 세트와 이용 가능한 PN 시간 offset의 세트로부터 무작위로 각 하나씩을 선택함으로써 둘 혹은 그 이상의 이동국이 동일한 Access 채널과 동일한 PN 시간 offset을 사용하지 않는 한 기지국은 이들의 동시 전송을 수신할 수 있다. 기지국은 여러 이동국들이 동시에 너무 많은 전송을 하지 않도록 Paging 채널에서 전송되는 Access Parameters Message를 통하여 Access 채널을 제어한다. Access 채널의 사용은 긴급한 상황의 차량이나 유지 보수 차량에 우선권이 주어질 수 있다. Access 채널의 전송 시스템을 그림 5에 나타내었다. 결과 신호 B는 그림 2에서와 같이 처리되나 Q 채널에서 BPF를 통과하기 전에 offset QPSK 변조를 위하여 1/2 칩만큼 지연된다는 점이 다르다.

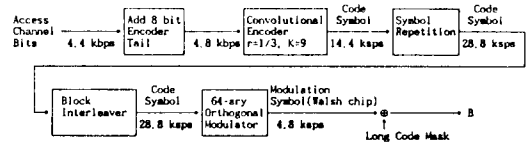


그림 5. Access 채널 전송 시스템 블럭도

5. Traffic 채널

음성 혹은 데이터 정보 신호가 전송되는 Forward Traffic 채널과 Reverse Traffic 채널은 20ms 프레임으로 구성되는 유사한 제어 구조를 사용한다. 프레임은 9600, 4800, 2400, 1200 bps 중의 하나로 전송되며, 데이터율은 매 프레임마다 다를 수 있다. 데이터율은 매순간 다르지만 변조된 심볼 전송률은 19.2 kspss로 일정하게 전송된다.

수신기는 프레임의 데이터율을 검출하고, 이에 따른 적절한 데이터율로 처리할 수 있다. 이로 인하여 채널에서의 데이터 전송률을 화자의 말하는 속도에 맞추어 매순간 변화시키는 것이 가능하다. 화자가 말을 하지 않을 때는 전송률을 낮추고, 말을 할 때에는 순간적으로 전송률을 높인다. 이 기술은 다른 CDMA 신호에 대한 간섭을 감소시켜 시스템 성능을 향상시킨다.

낮은 데이터율로 전송되는 심볼은 낮은 에너지로 전송된다. 즉, 낮은 데이터율로 전송되는 데이터는 심볼이 여러번 반복되어 전송되기 때문에 심볼의 에너지를 그만큼 낮추어 보내는 것이다. 데이터율에 따른 심볼당 에너지는 표 1과 같다. 여기서 Eb는 정보 비트당 에너지이다. 하나의 프레임 내에 있는 비트들이 인터리빙되므로 인터리버 블럭내의 모든 심볼은 동일한 에너지를 갖는다. 그림 6과 7은 Traffic 채널의 Forward Link와 Reverse Link의 전송 시스템 블럭도이다.

표 1. 데이터율에 따른 전송 심볼 에너지

데이터율 (bps)	변조 심볼당 에너지
9600	$E_s = E_b/2$
4800	$E_s = E_b/4$
2400	$E_s = E_b/8$
1200	$E_s = E_b/16$

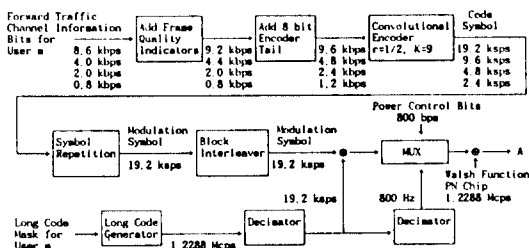


그림 6. Traffic 채널 Forward Link 전송 시스템 블럭도

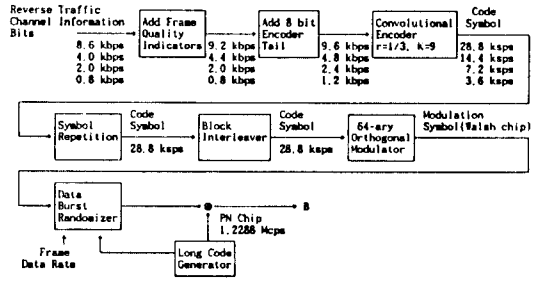


그림 7. Traffic 채널 Reverse Link 전송 시스템 블럭도

6. 호처리 과정의 예

이상과 같은 채널들이 실제 호처리 과정중에서 어떻게 사용되는지 아래 그림 2-8에서 한 예를 들어 설명하였다.

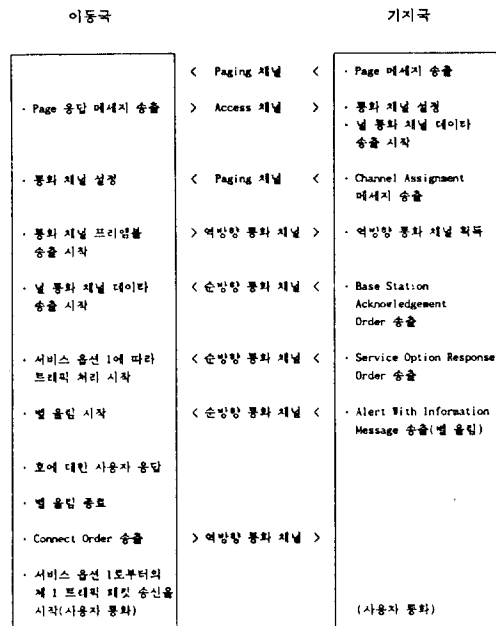


그림 8. 이동국 착호의 간단한 호처리 예

III. 전력 제어

CDMA 이동 통신 방식은 동일한 주파수 대역을 여러 명의 사용자가 동시에 사용하는 특징을 갖고 있

다. 따라서, 한 순간에 동일한 대역에 존재하는 이동국들의 전송 신호를 전력 제어하여 서로의 간섭을 최소화해야만 최대의 시스템 용량을 얻을 수 있다. 전력 제어에는 순방향 전력제어와 역방향 전력제어가 있다. 순방향 전력제어는 인접 셀로의 간섭을 줄이기 위하여 기지국에서 각 채널의 상태를 파악하여 각 채널 송신 전력을 제어하는 방법이며, 역방향 전력제어는 셀내의 모든 이동국들에 대하여 서로간의 근원 간섭 문제(Near-Far Interference Problem)를 해결하기 위해 이동국의 송신 전력을 제어하는 방법이다.

1. 순방향 전력제어

순방향 CDMA 채널 전력은 파일럿 채널(Pilot Channel), 동기 채널(Sync Channel), 페이징 채널(Paging Channel)과 트래픽 채널들 전력 합이다. 특정 이동국이 다경로 전파(Multipath Propagation) 현상, 잡음 또는 간섭이 심한 셀 경계 지역에 위치할 때에 일정 수준 이상의 품질을 유지하기 위해서는 기지국에서 해당 채널의 전력을 증가시켜야 한다. 이 경우 기지국에서는 전체 전력 값이 한정되어 있으므로 전체 트래픽 채널의 전력을 재조정할 필요가 있다. 순방향 전력제어는 3~4dB 정도의 작은 범위에서 이루어진다.

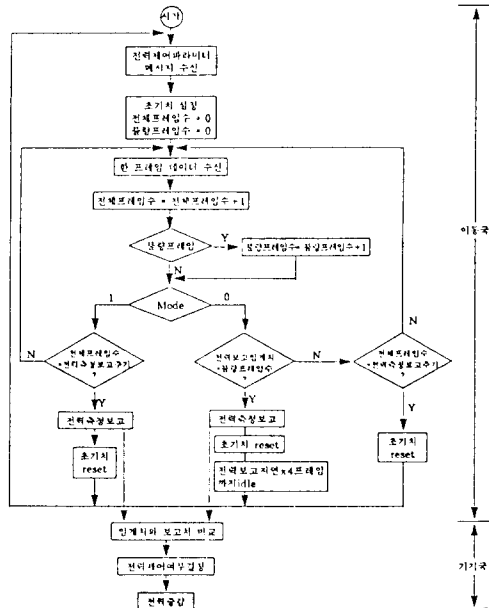


그림 9. 순방향 전력제어 과정

순방향 전력제어는 두 단계로 이루어진다. 첫 단계는 개방루프 전력제어로서 기지국이 이동국의 액세스 시도 검출시 수신 전력으로부터 순방향 링크의 경로 손실을 예측하여 초기 순방향 링크 전력 값을 할당하는 방법이다. 두번째 단계는 폐쇄루프 전력제어로서 이동국이 보고한 순방향 링크의 품질에 따라 기지국이 각 트래픽 채널의 전력을 제어하는 방법이다. 이동국은 순방향 링크에서 발생한 프레임 에러를 관찰하여 주기적으로 기지국에게 보고하거나 프레임 에러의 총수가 임계값을 초과하는 경우 기지국에게 보고한다. 기지국은 이동국이 보고한 프레임 에러의 수에 따라 각 채널에 할당된 순방향 링크의 전력을 증감한다. 순방향 전력제어 과정은 그림 9와 같다.

2. 역방향 전력제어

기지국에 도달하는 모든 이동국 신호가 만족할 만한 링크 품질을 제공할 수 있는 최소한의 SNR (Signal to Noise Ratio)이 될 때 CDMA 시스템에서 최대 용량을 얻을 수 있다. 기지국에 가까이 위치하는 이동국의 신호는 멀리 위치하는 이동국 신호보다 경로 손실이 적으므로 그림 10과 같이 전력제어를 수행하지 않으면 다른 이동국 신호에 강한 간섭을 일으키게 된다. 따라서, 기지국 가까이에 위치하는 이동국은 멀리 있는 이동국보다 적은 전력을 사용하여야만 그림 10에서와 같이 기지국에서 수신세기가 동일하게 된다.

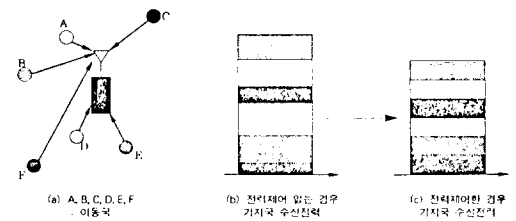


그림 10. 이상적인 전력제어 시스템

역방향 링크에서 이동국 신호들의 변동 범위는 80dB 이상이다.

기지국이 일정한 세기로 송신할 때 이동국의 위치에 따라 경로 손실이 다르므로 수신세기가 다르게 된다. 이동국에서 기지국 신호의 수신 세기에 따라 이동국의 송신세기를 결정하는 방법이 역방향 링크 전력제어의 개방루프 제어이다. 이동국의 위치가 기지

국에 가까우면 이동국에서 기지국 수신세기가 크게 되는데, 이 경우 이동국은 적은 송신 전력을 사용하게 된다. 이동국이 기지국에서 멀리 위치하는 경우에는 기지국 신호 세기가 적게 되는데, 이 경우 이동국은 큰 세기로 송신하게 된다. 개방루프 전력제어에 의한 이동국 평균 송신 전력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{평균송신전력(dBm)} &= -73 - \text{평균 수신 전력(dBm)} \\ &\quad + \text{NOM_PWR(dB)} \\ &\quad + \text{INIT_PWR(dB)} \quad (1) \end{aligned}$$

여기서 NOM_PWR과 INIT_PWR은 기지국에서 페이징 채널을 통하여 전송하는 정보로서 셀의 반경 및 환경에 따라 정해지는 상수값이다.

이동통신에서 순방향 링크와 역방향 링크는 서로 다른 주파수대를 사용하므로 독립적인 레일리 페이딩을 겪게 되어 이동국에서 이동국 송신 신호가 기지국에서 어떻게 수신되었는지 예측할 수 없다. 따라서, 기지국에서 이동국 신호의 수신 세기에 따라 이동국의 송신 세기의 증감을 명령하는 방법이 폐루프 전력제어이다. 폐루프 전력제어에서 기지국은 수신세기를 1.25msec동안 수신한 Eb/No를 평균한 값이 기준값 이상이면 이동국에게 전력 감소를, 기준값 이하이면 전력 증가를 명령한다. 즉, 기지국은 이동국에게 1초에 800번 전력 증감을 명령하게 된다.

이동국의 속도에 따라 기지국의 수신 Eb/No가 일정한 값을 유지하여도 역방향 링크 FER(Frame Error Rate)은 변화게 된다. 역방향 링크 전력제어의 목표는 모든 이동국의 품질을 최소한으로 유지하는 것이므로 수신 FER에 따라 기준 Eb/No를 변화시켜야 할 필요가 있다. 이를 외부루프 전력제어라 한다. 그림 11은 기지국의 전력제어 절차를 나타낸다.

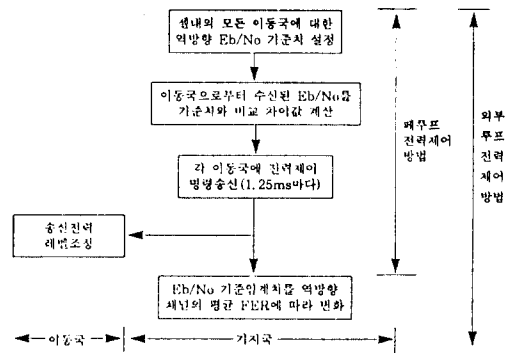


그림 11. 기지국 전력제어 과정

IV. 맺음말

본 고에서는 CDMA 방식의 채널 제어와 전력 제어에 관하여 간략하게 기술하였다. 채널 제어에서는 이동국이 시스템 동기를 얻고, 각 기지국을 구분하는 Pilot 채널, 이동국이 시간 동기를 이룰 수 있는 Sync 채널, 기지국이 이동국에게 호를 요구할 때 사용하는 Paging 채널, 이동국이 기지국에 호를 요구할 때 사용하는 Access 채널, 정보 신호가 전송되는 Traffic 채널 등에 대하여 그 기능과 구조에 대하여 간략하게 설명하였고, 전력 제어에서는 순방향과 역방향 전력 제어로 나누어 알고리즘과 기능에 대하여 설명하였다.

위에서 설명한 내용은 CDMA 시스템의 운영에 필요한 전체 내용중에서 일부 내용을 단편적인 측면에서 기술한 것이다. 채널 제어와 전력 제어는 호 처리, Handoff, 시스템 및 망관리 등과 밀접하고 복합적으로 연결되어 있으므로 CDMA 방식의 시스템 특성을 알기 위해서는 이들 전체 내용을 이해하는 것이 필요하다. 따라서 본 고에서는 CDMA 시스템을 이해하기 위한 채널 제어와 전력 제어의 기본적 개념을 제시하고자 하였다. 🌐

筆者紹介



趙柄珍

1953年 12月 12日生

1979年 2月 연세대 공과대학 전자공학과 졸업(학사)

1981年 2月 연세대 공과대학 대학원 전자공학과(석사)

1992年 8月 충남대 공과대학 대학원 전자공학과(박사)

1979年 1月 ~ 현재 한국전자통신 연구소 이동통신 기술 연구단 무선제어 연구실(장)

1989年 12月 ~ 1990年 12月 일본 KYOTO대학 YOSHIDA 연구실 초빙외국인 학자

주관심 분야 : 디지털 이동통신 시스템, 무선데이터통신시스템, PCS, Radio monitoring



姜炳權

1963年 11月 18日生

1986年 2月 연세대학교 공과대학 전기공학과(공학사)

1988年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사)

1993年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과(공학박사)

1993年 3月 ~ 현재 한국전자통신연구소 이동통신기술연구단 무선제어연구실 선임 연구원

주요관심분야 : 스펙트럼 확산 통신, 디지털 이동통신

鄭鍾泰

1963年 7月 1日生

1986年 2月 연세대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사)

1988年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)

1988년 2월 ~ 현재 한국전자통신연구소 무선제어연구실 선임연구원

주관심 분야 : 디지털 이동통신 시스템