Ptolemy를 이용한 역방향 CDMA PCS 시스템 성능 및 광대역 채널 파라미터 분석

정연호(*), 김장식(*), 한중호(**)
(*) 경북대학교 공과대학 전자전기 공학부
(**) 영진전문대학 정보통신 공학과
yhchung@ee.kyungpook.ac.kr

The analysis of wideband channel parameters and performance in the reverse link of a CDMA PCS system using Ptolemy

Y.H.Chung(*), J.S.Kim(*), J.H.Han(**)
(*) School of Electronic and Electrical Engineering, The Kyungpook National University, Daegu, Korea
(**) Dept. of Information and Telecommunication, Yeungjin College, Daegu, Korea

요약

CDMA PCS 시스템은 Rake 수신기를 이용한 경로 다이버시티를 채택하여 우수한 시스템 향상을 얻을 수 있어 주로 TDMA 시스템에서 적용하고 있는 등화기를 사용할 필요가 없다. 그러나 CDMA PCS 시스템의 역방향 링크에서는 순방향과는 달리 채널의 크기 및 위상 추정에 필요한 파이롯 채널이 없어 성능의 저하를 가져오게 된다. 따라서 역방향 링크에서 채널환경에 따라 Rake 수신기의 성능에 미치는 영향을 분석하는 것은 중요하다. 본 논문에서는 시스템 성능 및 광대역 채널 파라미터 분석을 위해 광범위한 라이브러리와 시스템 구성의 유연성을 가지고 있는 Ptolemy [1] 플랫폼에서 CDMA PCS 시스템의 역방향 링크 규격에 따라 각 블록을 사용자 정의로 구현하였다. Ptolemy 시뮬레이터를 이용하여 CDMA PCS 시스템의 역방향 링크 비트오율 성능을 채널의 특성과 연관지어 분석하였다. 그리고 가상할 수 있는 각 채널 모델을 이용하여 CDMA PCS 시스템의 성능과 광대역 채널 파라미터 (예: 지연확산) 와의 상관 관계를 파악하였다. 본 연구에서 CDMA PCS 시스템에서는 일반적으로 알려져 있는 지연확산보다 평균지연 파라미터가 더 높은 상관 관계가 있음을 발견하였다.

1. 서론

현대사회의 급변과 함께 정보의 원활한 교환이 더욱 절실해져 시간, 장소, 휴대의 제약없이 다양한 종류의 정보를 제공받을 수 있는 마이크로 셀을 기본구조로 하는 PCS 시스템이 등장하게 되었다. 그러나 PCS 시스템을 비롯한 이동통신 시스템은 채널환경의 변화에 따라 차이가 크다. 따라

서 다양한 예상 서비스 지역의 채널환경에 대해 신뢰성있는 성능분석이 절실히 요구된다. 이러한 성능분석을 통한 채널 파라미터와의 연관성에 대해서도 관심을 가져야 한다.

본 논문은 PCS 시스템의 전파환경을 서비스 지역 (도심, 부도심, 농촌지대등) 에 따라 실제환경과 가장 근접한 채널 모델을 설정하고 설정된 모델을 이론적으로 근접 가능한 이산채널 모델을 이용하여 구현하였다. 이 모델을 이용하여 이동국의 속도변화에 따른 채널특성의 변화에 대해 조사 및 분석하고 수신기의 보상성능에 대해서도 연구한다.

2 절에서는 CDMA PCS 시스템에 대해 설명하고 3 절에서는 결과 및 성능 분석을 제시한다. 이 결과를 토대로 4 절에서 결론을 맺는다.

2. CDMA PCS 시스템

CDMA PCS 시스템은 순방향 및 역방향 전송링크로 나눌 수 있다. PCS 성능분석을 위해 트래픽 채널 역방향 전송링크 (9.6kbps 구조) 를 선택하여 구현하였다. Ptolemy 시뮬레이터의 각 star 는 아래와 같은 기능을 가진다.

2.1 송신기

원시음성 스타는 프레임 품질 표시자 및 부호기 꼬리를 포함하고 길쌈 부호기 star 는 콘볼루션 부호기로서 부호율 1/3 과 제한길이 9 를 갖는 강력한 부호기이다.

인터리버 star 는 콘볼루션 부호과정의 종료후 심볼 반복과정을 거치는 데, 9.6kbps 데이타률은 100% 의 듀티사이클 (연속적) 이므로 심볼반복을 하지 않는다. 이 star 에 포함된 인터리빙 기술은 이동무선 채널에서 발생하는 비트에러 종류, 즉 연집에러 (burst error)와 랜덤에러 중 연집에러의 영향을 줄이는데 주로 사용된다. PCS 시스템에서는 다른 무선통신 시스템과 달리 32 x 18 배열을 사용한 블럭 인터리빙 방법을 이용한다.

그 다음으로 채널간의 분리를 위해 직교변조가 요구되는데 이를 포함한 star 가 직교변조이다. 직교변조를 위해 고정칩율인 1.2288Mcps 의 왈쉬코드를 이용한다. 왈쉬함수는 주기적인 파형을 갖고 있으며 0 혹은 1 의 값을 취한다. 또한 이산적이고 일정한 간격으로 떨어진 시간에 값이 바뀌며 왈쉬함수 주기 ($64T_c$) 동안 직교성을 가지고 있다. 인터리버 배열에서 각 행의 부호화된 6 개심볼을 아래식에 적용하면 64 개의 가능한 변조 심볼지수 중 한 개가 선택되며 이 변조 심볼지수를 이용하여 상호직교 왈쉬함수 파형을 구한다.

I, Q 채널 분산 star 는 전송전에 역방향 트래픽 채널과 액세스 채널을 긴 코드에 의하여 직접 시크원스 확산하는 기능을 한다. 긴 코드는 주기 $2^{42}-1$ 를 갖는다.

긴 코드의 각 PN 칩은 42 비트 마스크와 시크원스 발생기의 42 비트 상태벡터의 모듈-2 내적에 의해 발생한다. 이는 사용자 데이타의 스크램블링 과정으로서 데이타 보호 및 비밀성을 보장하게 된다. 42 비트 마스크는 이동국이 전송하는 채널의 형태에 의존하여 변화한다.

송신기의 마지막인 QPSK 변조 star 는 왈쉬코드에 의하여 직교 확산된 각 트래픽 및 엑세스 채널을 quadrature 확산하는 기능을 가진다. 확산 시크원스는 오프셋 영인 I-channel 및 Q-channel PN 시크원스이다. 이 시크원스의 주기는 2^{15} 이다.

파이럿 PN 시크원스는 매 26.666 ...ms (= 2^{15} / 12288 secs) 마다 반복하며 결국 매 2 초마다 75 번 반복하게 된다. 그리고 Q 파이럿 PN 시크원스는 PN 칩시간의 반만큼 (즉 406.901 ns) 지연을 갖는다. 기저대역 여파 후 I 및 Q 데이터는 각각 sin $\omega_c t$ 와 cos $\omega_c t$ 와 곱해져서 위상 매핑된다. QPSK 시스템이 BPSK 시스템보다 동일한 평균 다중접

속 분산과 잡음분산에 대해 심볼간 간섭전력이 반으로 줄어들기 때문에 CDMA PCS 시스템에서는 순방향 및 역방향 링크에서 같은 기저대역 데이터를 이용하여 I 및 Q PN 시크원스를 변조한다.

2.2 채널 모델링

다양한 전파시나리오에서 이동무선 시스템의 성능을 살펴보기 위해서는 변경이 용이한 소프트웨어 시뮬레이션이 효과적이다. 그러나 물리적인 채널의 현상 (페이딩, 시간지연 및 도플러 확산 등) 을 나타내기 위한 적절한 모델이 요구된다. 본 논문에서는 빠른 페이딩을 위해 레일리 분포를 이용하였고, 이는 Jakes 모델을 사용하여 구현하였다.

광대역 전송 채널모델은 실제 측정데이타를 토대로 탭 지연선 구조에 근거하여 제시한 Demery 모델 [2] 을 이용하였다. 이 모델은 다중경로 채널의 저대역 통과 임펄스 응답을 유도하는데 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$h(t;\tau) = \sum_{i=1} A_i(t)\,\delta\{\tau - \tau_i(t)\}\exp\{j\phi_i(t)\} \quad (식\ 1)$$

여기서 A_i와 ϕ_i는 번째 경로파의 크기 및 위상이다. 그리고 τ_i는 전파시간 지연이며 $\delta\{.\}$는 Dirac 델타함수이다.

위식에서 이동국의 이동으로 인해 채널 임펄스 응답의 변수들은 모두 랜덤 시변이며, 크기계수 A_i는 협역 (레일리 분포) 및 광역 (로그-정규 분포) 신호변화에 따라 바뀌게 된다. Demery 모델에서 위상은 0와 2π사이에서 균등하게 분포되어 있다고 가정하고 있으며 시간 지연은 수정된 Poisson 분포와는 달리 고정되어 있다고 가정하였다. 따라서 위식에서 시간에 대한 변수를 제외할 수 있다. 그리고 협역 변화는 평균이 0인 가우시안 과정이라는 사실에 근거하여 각 탭에 적절한 웨이팅을 주어 표현하였다.

2.3 역방향 링크 수신기

역방향 링크에서는 동기복조의 기준이 되고 있는 파일럿 신호가 제공되지 않기 때문에 이 단점을 극복하기 위하여 CDMA 기술과 직교변조 기법을 혼합하여 사용하고 있다. 이 방식은 CDMA 신호의 비동기 검파에 효과적이다.

Rake 수신기는 각 지연시간에 대한 수신신호에서 I, Q 채널을 따로 수신한 뒤에 I, Q 채널의 PN 부호를 곱하여 각 채널이 서로에게 미치는 영향을 분리해 낸다. 그 다음 I 채널을 I 채널의 PN 부호로 역확산시킨 값을 $Z_{II}(m)$ (m 은 M-ary 직교신호 중 m 번째 신호) 이라 하고 I, Q 채널의 결과를 결합하고 제곱을 한 결과는 S_m (m 번째 직교신호에 대한 판정변수) 가 된다. 다시말해

$$S_m = [Z_{II}(m) + Z_{QQ}(m)]^2 + [Z_{IQ}(m) - Z_{QI}(m)]^2 \quad (식\ 2)$$

이렇게 함으로써 채널에 의한 위상 왜곡의 영향을 제거할 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

역방향 링크의 성능을 시뮬레이션하기 위한 페이딩 채널은 2.2 절에서 설명한 방법으로 구현하였다. 여기서 레이리 페이딩과 채널의 지연 및 감쇄를 고려하였으며 로그-정규 페이딩은 채널 모델링에 포함시키지 않았다. 이는 시스템 성능이 로그-정규 페이딩보다는 레이리 페이딩에 의해 크게 영향을 받고 있기 때문이다. 그리고 PC 시스템의 데이터 처리 용량 및 시간 제한으로 사용자 수는 한 명으로 간주하였으며 변조 방식으로 QPSK 방법을 구현하였다.

안테나로 수신된 신호는 동상 성분과 직교 성분으로 나뉜 다음 비동기 복조기를 통과하게 된다. 이때 브랜치 (혹은 finger) 라고 불리는 복조기는 채널의 탭 수 만큼 만들어 주어야 한다. 그러나 일반적으로 수신기의 복잡성으로 인해 일정한 수로 제한한다. 브렌치의 수는 3 개로 제한하여 구현하였으며 각 브랜치의 탭 간격을 채널의 지연에 따라 정해져야 한다. 시뮬레이션에서는 PN 칩 지연 추정이 정확하게 이루어졌다고 가정하여 수행하였다. Rake 수신기에서 맨 처음 동상 성분 및 직교 성분의 역확산 코드를 이용하여 역상관 과정을 거치게 된다.

역상관과정을 거친 데이터는 64-ary 복조과정을 거치게 된다. 이는 64 개의 왈쉬코드를 이용하여 2 절에서 설명한 판정변수 값을 얻는다. 판정 변수값이 최대가 되는 심볼이 변조 신호가 된다. 브랜치에서 복조된 신호는 송신단의 역순을 거친뒤 원래 전송 데이터와 비교되어 비트오율을 계산하게 된다.

Ptolemy 시뮬레이터에서 적용한 채널환경은 규격안 [3] 에 있는 3 개의 채널 (Indoor Office, Outdoor Pedestrian Urban High-rise, Outdoor Pedestrian Residential Area) 이다.

그림 1 는 Indoor-Office 환경에서 역방향 링크의 비트 오율 곡선이다. 이 환경에서는 채널의 지연이 칩주기 (약 814ns) 보다 작아서 시간 선택적 채널 (혹은 협대역 채널) 이 되어 수신기에서 사용하는 경로 다이버시티의 이득이 존재하지 않는다. 따라서 채널 A, B 의 성능이 유사하다. 그러나 채널 C 의 경우 RAKE 수신기의 시간간격을 벗어나서 도달하는 경로로 인해 성능의 저하를 보여주고 있다.

그림 2 은 Outdoor Pedestrian Urban High-rise 환경에서 역방향 링크의 비트 오율 곡선이다. 여기에서도 최대 도플러 주파수는 9Hz 이다. Indoor 환경과 달리 이 환경에서는 채널 환경 A 는 주파수 비선택적 채널으로서 경로이득이 거의 없지만 채널 B 와 채널 C 는 주파수 선택적 채널이어서 RAKE 수신기를 사용함으로써 경로이득을 얻을 수 있다. RAKE 시간간격을 벗어난 신호가 도달하는 채널 C 의 경우는 RAKE 의 브랜치 수를 증가하여 성능을 향상시킬 수 있다.

그림 3 에서는 Outdoor Pedestrian Residential Area 에서의 성능을 나타낸다. 채널 A 는 협대역 채널로서 신호의 크기 변화만 존재하기 때문에 아주 낮은 비트 오율을 보여주고 있다. 그러나 채널 B 의 경우 큰 전력을 가진 경로파가 1100ns 의 시간 지연을 가지고 도달하는 채널환경이다. 이것은 큰 연집에러를 유발시킬 가능성이 있다. 따라서 큰 비트 오율을 보여주고 있는 것이다.

전술한 CDMA PCS 역방향 성능분석외에 개발한 Ptolemy 시뮬레이터를 이용하여 광대역 채널 파라미터 [4] 와 성능과의 관계를 조사하였다. 40 개의 다양한 채널환경을 임의로 생성하여 시뮬레이터에서 그 성능을 얻은 결과, 일반적으로 지연확산 파라미터가 비트오율 성능과 밀접한 관계가 있다고 알려져 있으나 그림 4 및 그림 5 에서 보여주듯이 평균지연이 지연확산보다 더 밀접한 관계가 있음을 나타내주고 있다.

4. 결론

CDMA PCS 역방향 시스템을 Ptolemy 를 이용하여 구현하였으며 그 비트오율 성능을 관심있는 채널 환경하에서 조사하였다. 비트오율은 RAKE 수신기의 경로 다이버시티 효과로 인해 등화기를 사용하지 않고도 TDMA 시스템보다 높은 전력효율을 얻을 수 있었다. 그리고 CDMA PCS 시스템에서는 평균지연 파라미터의 성능과의 밀접성을 발견하였다.

참고문헌

[1] Ptolemy, The University of California at Berkeley, 1996

[2] Demery, D.A., "Wideband characterisation of UHF mobile radio channels in urban areas", Ph.D. Thesis, Department of Electrical Eng. and Electronics, University of Liverpool, 1989.

[3] JTC Ad hoc Group, Technical Report on RF channel Characterization and System Deployment Modelling, JTC(AIR), 1994.

[4] Parsons, J.D., The Mobile Propagation Channel, Pentech Press, 1992

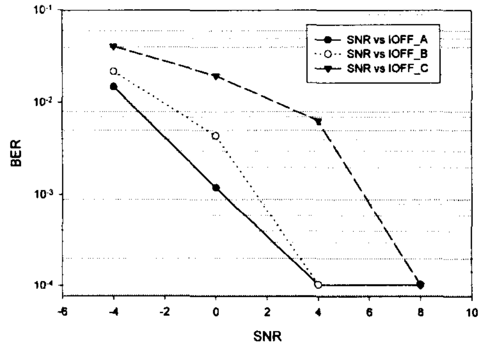

그림 1. Indoor Office 의 비트오율

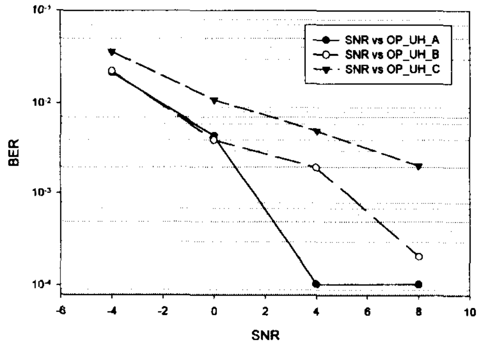

그림 2. Outdoor-Pedestrian-Urban High-rise 의 비트오율

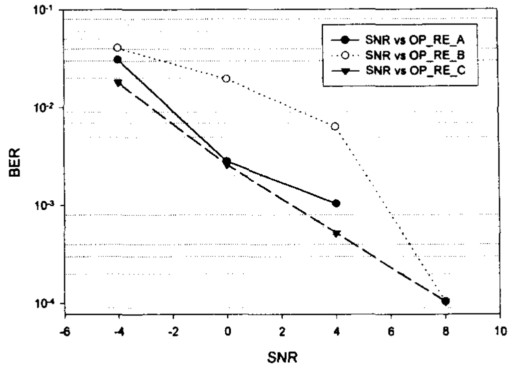

그림 3. Outdoor Pedestrian Residential Area 의 비트 오율

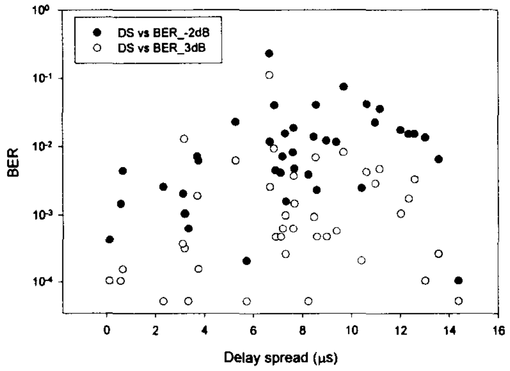

그림 4. 지연확산과 비트오율의 관계

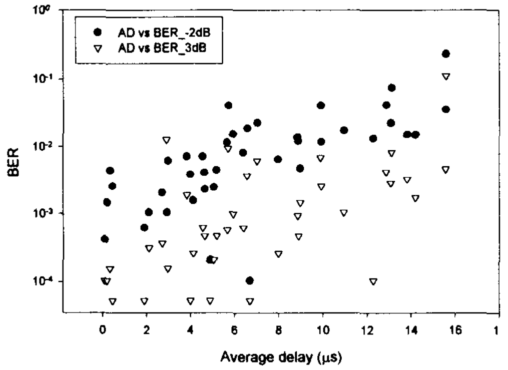

그림 5. 평균지연과 비트오율의 관계