

OFDM 시스템 레벨 성능분석 방법

이희수 | 정현규

한국전자통신연구원

본고에서는 시스템레벨 성능분석 시에 필요한 링크 시스템 인터페이스에 대하여 다룬다. 링크 시스템 인터페이스는 무엇이고 왜 필요한지에 대하여 언급한다. 또한 OFDM 시스템에 적용 가능한 링크 시스템 인터페이스들을 actual link curve와 effective SINR 방법으로 크게 분류하고 이들의 장단점을 살펴본다. 또한 각 방법들에 대하여 성능을 좌우하는 요소는 어떠한 것이 있는지에 대하여 언급한다.

1. 서론

멀티미디어 시대를 맞이하여 대용량의 데이터를 고속으로 전송해야 하는 필요성이 최근 들어 급격히 증대되고 있다. 특히 인터넷을 통한 음성, 비디오, 데이터 통신이 최근 크게 증가하고, 셀룰러 통신 시스템이 급속히 보급됨에 따라 이동 중에 사용할 수 있는 무선 광대역 멀티미디어 통신에 대한 필요성이 증가하고 있다. 무선 채널에서 데이터를 고속으로 전송하는 경우 무선 채널의 다중 경로 간섭의 영향으로 인하여 높은 에러율을 갖게 되어 무선 채널에 적합한 무선 접속 방식이 요구된다.

OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 전송방식은 전체 전송대역을 다수의 협대역 직교 부채널로 분할하여 각 부채널로 데이터를 동시에 전송하는 방식으로 변조와 복조를 IFFT와 FFT를 사용하여 고속으로 구현할 수 있으며,

보호구간을 연속된 두 OFDM 심볼 사이에 삽입하여 심볼간 간섭 및 채널 간 간섭을 제거할 수 있기 때문에 등화기의 구조가 매우 간단해지는 장점이 있어 최근 IEEE 802.11/16/20, 3GPP LTE, 3GPP UMB 등의 고속의 전송 시스템의 표준으로 채택되고 있다.

최근 많은 이동통신 시스템이 OFDM 기술을 사용하게 됨에 따라 OFDM 시스템의 성능 분석 필요성도 따라서 증대되고 있다. 본고에서는 OFDM 시스템의 성능분석 방법론을 제시한다.

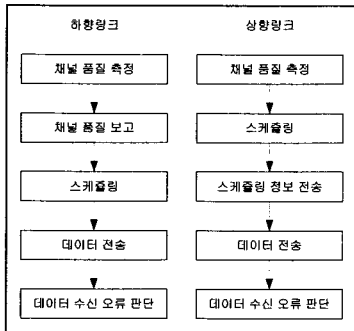
시스템의 성능분석에는 링크레벨의 성능분석과 시스템레벨의 성능분석이 있다. 링크레벨의 성능분석은 주로 하나의 송신기와 하나의 수신기 사이의 점대점 연결(Point-to-Point Connection)을 모델링 하게 된다. 링크레벨 성능 분석은 주로 최대 전송률의 분석이나 다양한 전송률 별 요구 신호 대 잡음 비(Required Signal to Noise Ratio)를 구하는데 사용된다. 또한 링크레벨 성능 분석 결과는 시스템레벨 성능분석에 중요한 입력 변수로 사용된다.

그러나 실제 시스템 환경은 링크레벨 성능분석 환경과는 달리, 다수의 사용자가 존재하며, 다수의 셀(기지국)이 존재한다. 이러한 실제 환경에서의 성능 분석을 시스템레벨 성능 분석이라 부르며, 시스템레벨 성능 분석을 통해서만 진정한 시스템의 성능을 측정할 수 있다.

시스템레벨 성능분석에는 링크레벨 성능 분석 결과를 사용하게 되는데, 어떤 링크레벨 성능 결과를 어떠한 방법으로 이용하는 지가 매우 중요하다. 이러한 방법을 링크 시스템 인터페이스(Link-to-System Interface)라고 한다. 본고에서는 OFDM 시스템의 링크 시스템 인터페이스를 다룬다.

OFDM 시스템의 링크 시스템 인터페이스는 크게 actual link curve 방법과 effective SINR 방법으로 분류할 수 있다.

2장에서는 링크 시스템 인터페이스의 필요성을 다루며, 3장과 4장에서는 actual link curve와 effective SINR 방법을 자세히 다룬다.



(그림 1) 시스템 시뮬레이션 데이터 송수신 절차

II. 링크 시스템 인터페이스

일반적인 패킷 이동통신 시스템은 데이터 송수신을 위하여 그림1과 같은 과정을 포함하게 된다. 먼저 데이터를 송신할 채널의 품질을 각 사용자에 대하여 측정한다. FDD 시스템의 하향링크는 단말이 기지국의 pilot을 통해 데이터 채널의 품질을 측정하고 이를 기지국에 송신한다. 기지국은 이 보고된 정보를 기반으로 송신 스케줄링을 한다. 송신 스케줄링은 어떤 사용자에게 어떤 전송 포맷(변조 방법, 부호율, 안테나 송신 기법 등)으로 송신할지에 대한 결정을 포함한다. 그런 후 송신 스케줄링에 따라 전송된 데이터 패킷이 오류가 없이 수신되었는지를 판단하여야 한다. 반면 상향링크는 기지국이 채널의 품질을 측정한 후 스케줄링을 한 후 단말에게 전송 포맷을 알려준다. 단말은 기지국으로부터 지시 받은 전송 포맷으로 데이터를 송신하게 되며 기지국은 이렇게 수신한 데이터를 오류 없이 수신하였는지 여부를 판단한다. 그러나 패킷 수신 오류 여부를 판단하려면 시스템 시뮬레이터 내에 채널 추정, 신호 검출 및 복호 등의 모든 수신기의 기능이 포함되어야 한다. 그러나 시스템 시뮬레이션을

수행하면서 이러한 블록을 동시에 수행한다는 것은 너무 많은 시간을 필요로 하기 때문에 현실적으로 불가능하다. 이러한 블록이 포함된 성능은 일반적으로 링크레벨 시뮬레이션을 통해 얻어진다. 따라서 시스템레벨 시뮬레이션 시 링크레벨의 성능 분석 결과를 적절한 인터페이스를 통하여 활용함으로써, 채널 추정, 신호 검출, 복호 등의 성능을 포함한 시스템의 성능을 얻을 수 있다. 일반적인 link-to-system interface 형태는 시스템레벨 시뮬레이션 전에 링크레벨 성능분석을 먼저 수행하여 그 결과를 어떤 형태로 저장하여 DB를 갖추고 이를 시스템레벨 시뮬레이션 시에 활용하는 것이다.

이러한 인터페이스는 단 한가지의 방법만이 존재하는 것이 아니라 무수히 많은 방법이 존재 할 수 있다. 일반적으로 성능 분석을 수행할 시스템이 어떠한 기술을 사용하고 있는냐에 따라서 링크 시스템 인터페이스가 달라진다. 본고에서는 OFDM 기술을 사용하는 시스템의 링크 시스템 인터페이스를 주로 다룬다.

좋은 링크 시스템 인터페이스를 판단하는 기준은 두 가지가 있다. 첫째는 정확도이다. 전송한 패킷에 대한 수신 오류 여부가 정확히 모델링 되어야 한다. 두 번째는 링크 성능 분석 결과 DB를 구축하기 위하여 얼마나 많은 링크레벨 시뮬레이션을 수행해야 하는가 이다. 링크 시스템 인터페이스 방법론에 따라 링크레벨 시뮬레이션 요구량이 다르다. 일반적으로 많은 링크레벨 시뮬레이션을 요구하는 방법론이 정확성 측면에서 성능이 우월한 경향이 있다.

III. Actual Link Curve

Actual Link Curve 방법은 원칙적으로 모든 가능한 순시적인 채널 상태 및 시나리오에 대한 패킷 수신 오류율(Packet Error Rate; PER)을 링크레벨 시뮬레이션을 통해 구한 후 이를 DB로 만들어 활용하는 것이다.

OFDM 시스템에서 순시적인 채널 상태 s 는 채널벡터 $H=(H_1, H_2, \dots, H_M)$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 H_k 는 k번째 부반송파의 채널 전력값이다. 순시적인 채널 상태 s 에 대한 패킷 수신 오류율이 $p(s=H)$ 이라고 하자. 시스템레벨 시뮬레

이선에서 어떤 패킷이 전송될 때의 순시적인 채널이 s 라면 이때 전송한 패킷은 $p(s)$ 의 확률로 에러가 발생한다고 가정한다. 따라서 0에서 1사이의 난수를 발생시키고 이 수가 $p(s)$ 보다 작다면 전송한 패킷은 수신 오류가 발생했다고 시스템 레벨 시뮬레이션에서 가정한다. 따라서 모든 채널 상태 s 에 대한 패킷 수신 오류율을 가지고 있다면 시스템레벨 시뮬레이션에서 패킷 수신 오류여부를 위와 같이 결정할 수 있다.

일반적으로 채널 상태 s 에 대한 패킷 수신 오류율은 링크레벨 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있다. 그러나 가능한 채널 상태의 수는 무한히 많으므로 현실적으로 모든 채널의 상태에 대한 패킷 수신 오류율을 링크레벨 시뮬레이션을 통해 얻는다는 것은 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다음과 같은 성능 결정 함수 D 또는 성능 결정 변수 v 를 도입한다. 성능 결정 함수 D 와 성능 결정 변수 v 로 식(1)과 같이 매핑시켜준다. 여기서 성능 결정 변수 v 는 스칼라(scalar)일 수도 있으며 벡터일 수도 있다.

$$v = D(s) \tag{1}$$

성능 결정 함수와 성능 결정 변수를 이용한 시스템레벨 시뮬레이션은 다음과 같이 이루어진다. 먼저 링크레벨 시뮬레이션을 통해 $p_D(v)$ 를 구한다. 여기서 $p_D(v)$ 는 성능 결정 변수가 v 일 때의 패킷 수신 오류율이다. 시스템레벨 시뮬레이션 시에 어떤 패킷을 전송할 때의 채널의 상태가 s 라면 성능 결정 함수 D 를 이용해 이때의 성능 결정 변수를 값 v 를 구하고 이에 해당하는 패킷 수신 오류율 $p_D(v)$ 를 찾는다. 그런 후 0에서 1사이의 난수를 발생시키고 이 수가 $p_D(v)$ 보다 작다면 전송한 패킷은 수신 오류가 발생했다고 결정한다.

일반적으로 많이 사용되는 성능 결정 함수 D 는 평균 SNR이다. OFDM 시스템에서 순시적인 채널의 상태를 $H = (H_1, H_2, \dots, H_N)$ 라 할 때, 평균 SNR은 다음과 같이 정의한다.

$$D(H) = \text{mean}(H) = \frac{\sum_k H_k}{N \times \sigma^2} \tag{2}$$

여기서 σ^2 는 잡음 분산(noise variance)이며, N 은 총 부반송파의 수이다.

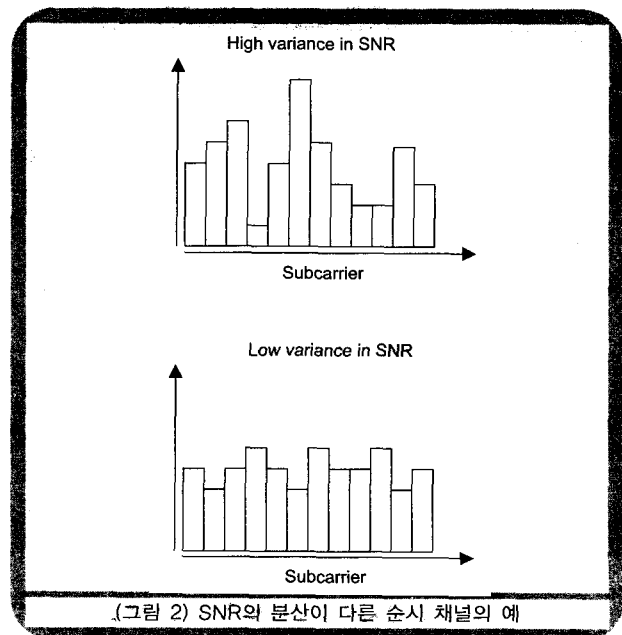
위와 같이 평균 신호 대 잡음 비를 성능 결정 변수로 하는 경우, 링크레벨 시뮬레이션을 통해 평균 신호대 잡음비에 따른 PER(패킷 수신 오류율) 곡선을 얻으면 시스템레벨 성

능 분석을 할 수 있다. 이는 모든 채널 상태 s 에 대한 PER(패킷 수신 오류율)을 요구하는 방법에 비해 훨씬 적은 링크레벨 시뮬레이션을 요구한다.

그럼 이와 같이 성능 결정 함수와 변수를 평균 신호 대 잡음 비로 사용하는 경우 PER 예측의 정확도는 어떤지 살펴보자. 원칙적으로 $p_D(v)$ 는 그 정의로부터 다음의 관계식이 성립한다.

$$p_D(v) = \sum_{s \in E(v)} p(s) \cdot f(s) / \sum_{t \in E(v)} f(t) \tag{3}$$

여기서 $f(s)$ 는 채널 상태 s 의 발생할 확률이고, $E(v)$ 는 성능 결정 변수 값이 v 가 되는 채널 상태들의 집합이다. $E(v)$ 내의 모든 s 들이 동일한 $p(s)$ 를 갖는다면, 모든 채널 상태 s 에 대한 PER을 가지고 시스템레벨 시뮬레이션을 하는 것과 평균 신호대 잡음비에 따른 PER(패킷 수신 오류율) 곡선을 가지고 시스템레벨 시뮬레이션을 하는 것은 동일한 PER 예측 정확도를 갖는다. 그러나 일반적으로 동일한 평균 SNR을 갖는 순시적인 채널들이 동일한 PER 성능을 보이는 것은 아니다. (그림 2)는 이러한 한 예를 도시하고 있다. (그림 2)의 두 순시적인 채널은 동일한 평균 SNR을 가진다. 그러나 위의 순시적인 채널 s_1 은 부반송파간의 SNR의 편차가 심하며, 아래의 순시적인 채널 s_2 는 부반송파의 SNR 편차가 상대적으로 매우 작다. 이러한 경우 일반적으로 부반송파의 SNR 편차가



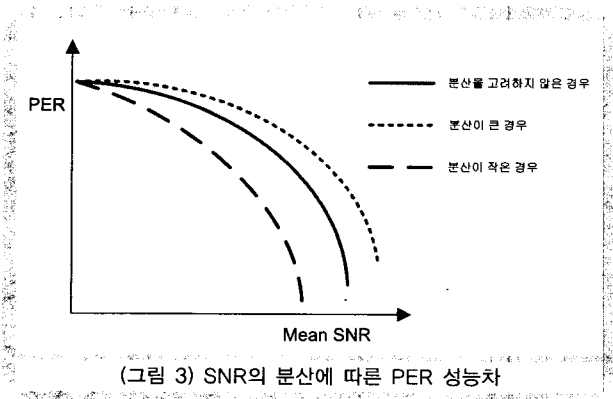
(그림 2) SNR의 분산이 다른 순시 채널의 예

큰 경우 PER 성능이 좋지 않은 것으로 알려져 있다. 즉 $p(s_1) > p(s_2)$ 이다. 평균 신호 대 잡음 비를 성능 결정 변수로 하여 링크레벨 시뮬레이션을 통해 평균 신호 대 잡음 비에 따른 PER(패킷 수신 오류율) 곡선을 얻어 이를 시스템 시뮬레이션에 이용하는 경우 위의 예와 같은 PER의 차이가 반영되지 않고 두 채널은 동일한 PER을 갖도록 모델링이 된다. 즉 시스템레벨 성능분석에 PER 예측 오차에 따른 오류가 발생하게 된다.

여기서 다음과 같은 성능 결정 함수 및 변수 생각해 보자.

$$D(H) = (\text{mean}(H), \text{var}(H))' \quad \text{식(4)}$$

식(4)에서 성능 결정 변수는 채널 전력의 평균과 분산으로 이루어진 벡터이다. 이러한 성능 결정 함수와 성능 결정 변수 벡터를 사용하게 되면 링크레벨 시뮬레이션을 통해 모든 평균과 분산 쌍(m, v)에 대하여 PER를 구해야 한다. 즉 $p_D(m, v)$ curve를 구해야 한다. 이는 평균만을 성능 결정 변수로 사용하는 이전의 예보다 보다 많은 링크레벨 시뮬레이션을 요구한다. 그러나 이전의 예와 같이 SNR의 편차에 의하여 발생하는 PER 예측 오차는 줄일 수 있다. (그림 3)은 성능 결정 변수로 평균 SNR만을 고려한 경우와 평균과 분산을 모두 고려한 경우에 링크레벨 시뮬레이션에서 얻는 성능 곡선을 함께 그린 그래프이다. (그림 3)의 가운데 곡선은 평균만을 고려했을 때의 링크레벨 성능 곡선이고, 위의 곡선이고, 위의 가는 점선과 아래의 굵은 점선 두개가 평균과 분산을 성능 결정 변수 벡터로 사용한 경우의 링크레벨 성능 곡선이다. (그림 3)의 예는 분산을 두 개의 값으로 양자화한 경우의 그래프이다. 만약 분산의 정도를 N개의 값으로 양자화한다면 N개의 곡선이 생기게 된다.



전술한 바와 같이 성능결정 변수 벡터의 차원을 크게 하여 더 많은 요소를 고려할수록 좀 더 정확한 PER 예측 값을 시스템 시뮬레이션에서 이용할 수 있게 된다. 그렇지만 성능 결정 변수 벡터의 차원이 커질수록 많은 링크레벨 성능 분석을 요구한다. 어떤 새로운 변수를 성능 결정 변수에 추가할지에 대한 결정은 그 변수가 성능에 얼마나 크게 영향을 미치는가와 링크레벨 시뮬레이션에 얼마나 추가적인 노력을 기울여야 하는가에 달려있다. (그림 3)의 예에서 분산이 큰 경우의 PER 곡선과 분산이 작은 경우의 PER 곡선이 분산을 고려하지 않은 곡선과의 차이가 그리 크지 않다면 분산이 성능에 미치는 영향은 미미하다는 것이다. 만약 이렇다면 분산을 성능 결정 변수 벡터에 포함시키는 것은 바람직하지 않다. 왜냐하면 상당한 양의 추가적인 링크레벨 성능 분석의 대가가 그리 크지 않기 때문이다.

결론적으로 Actual Link Curve 방법은 성능 결정 변수를 어떻게 결정하느냐가 시스템레벨 성능분석에 아주 커다란 영향을 미친다. 또한 시스템레벨 시뮬레이션을 위한 준비단계인 링크레벨 성능 분석 결과를 얻는데 걸리는 시간에도 커다란 영향을 미친다. 일반적으로 OFDM 시스템에서 성능 결정 변수로써 고려되는 것에는 평균 SNR, SNR의 분산, 변조(modulation) 및 부호율(code rate) 레벨, 단말의 이동 속도 등이 있다.

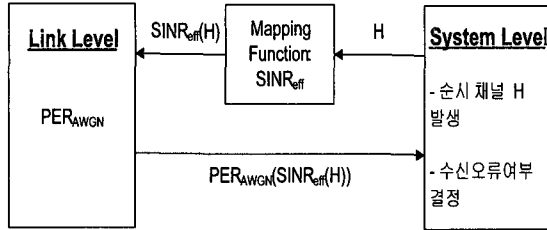
IV. Effective SINR 방법

Effective SINR 방법은 순시적인 채널 H 가 주어졌을 때 이를 적절한 매핑 함수 $SINR_{eff}(\cdot)$ 를 사용하여 스칼라로 매핑한다. 이렇게 매핑된 스칼라 값을 effective SINR이라 부른다. Effective SINR 방법에서 순시적인 채널 H 가 주어졌을 때 PER은 effective SINR에서 AWGN 채널에서의 PER로 구한다. 즉 다음과 같이 PER을 구한다. [1][2]

$$p(s = H) = PER_{AWGN}(SINR_{eff}(H)) \quad \text{식(5)}$$

여기서 $PER_{AWGN}(x)$ 은 AWGN 채널에서 SNR이 x 일 때의 PER이다.

위의 과정을 그림으로 도식화한 것이 (그림 4)이다. 먼저



(그림 4) Effective SINR 절차

시스템레벨 시뮬레이션에서 패킷이 전송될 때의 순시적인 채널 H 를 발생시키다. 이 순시적인 채널 H 를 effective SINR 매핑 함수에 통과시켜 $SINR_{eff}(H)$ 을 구한다. 그런 후 링크레벨 시뮬레이션에서 구한 $PER_{AWGN}(x)$ 커브를 이용하여 패킷 수신 오류 확률 $PER_{AWGN}(SINR_{eff}(H))$ 를 구한다. 시스템 시뮬레이터는 난수를 발생시켜 $PER_{AWGN}(SINR_{eff}(H))$ 값과 비교하여 수신한 패킷의 오류 여부를 결정한다.

Effective SINR 방법은 기본적으로 링크레벨 시뮬레이션의 결과로 AWGN의 PER 곡선만을 요구하므로 actual link curve 방법에 비하여 링크레벨 시뮬레이션 요구량을 상당히 줄일 수 있다.

Effective SINR 방법은 위의 매핑 함수를 어떻게 구성하는냐에 따라 성능이 좌우된다. 매핑 함수에 따라 여러 가지 Effective SINR 방식이 존재한다. 일반적으로 매핑 함수는 다음과 같은 형태를 지니고 있다.

$$SINR_{eff} = I^{-1} \left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I(SINR_k) \right) \quad \text{식(6)}$$

여기서 $SINR_k$ 는 부반송파 k 의 SINR을 나타내고, $I(\cdot)$ 를 information measure라 부른다. $I^{-1}(\cdot)$ 은 $I(\cdot)$ 의 역함수이다. 지금부터는 information measure에 따라 대표적인 Effective SINR 방법의 예를 살펴본다.

이 방법은 3GPP2 표준화 기구에서 사용되는 방법 중의 하나로써 OFDM 시스템을 위하여 제시된 방법은 아니다. 그러나 이 방법을 OFDM 시스템에 그대로 적용하는 것에 아무 문제가 없기 때문에 본 고에서 소개하기로 한다.

여기서 사용하는 매핑 함수는 다음과 같다.

$$SINR_{eff} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N SINR_k \quad \text{식(7)}$$

여기서 information measure는 $I(x) = x$ 이다. 위 식에서 알 수 있듯이 effective SINR은 단순히 평균 SINR이 된다는 것을 알 수 있다. 앞의 actual link curve 섹션에서 언급되었듯이 위 방법은 주파수 선택적 페이딩 환경에서 부반송파간의 채널의 크기의 편차에 의한 성능 열화가 반영이 안 된다는 단점이 있다. [3][4]

2. Convex Method

이 방법 또한 3GPP2 표준화 기구에서 사용되었던 방법으로 OFDM 시스템에 적용할 수 있다. 이 방법은 앞에서 언급한 Quasi-static method의 단점을 극복하기 위해 제시된 방법 중의 하나이다.

이 방법에서 사용하는 매핑 함수는 다음과 같다.

$$SINR_{eff} = \frac{2^C - 1}{Q}, \text{ where } C = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \log(1 + Q \cdot SINR_k) \quad \text{식(8)}$$

여기서 information measure는 $I(x) = \log(1 + Q \cdot x)$ 와 같다. Q 는 correction factor로써 Shannon의 채널 용량과 실제 적용시의 차이를 반영하기 위한 것이다. [3]

3. Exponential Effective SINR Method

Exponential Effective SINR 방법은 3GPP 표준화 기구에서 사용된 방법으로써, 비교적 정확한 성능을 보인다. 이 방법은 QPSK 및 BPSK의 경우 에러 확률의 Union-Chernoff bound를 이용하여 기본적인 exponential effective SINR 매핑 함수를 제시한다. [1][2], [5].

BPSK와 QPSK의 경우 기본적인 exponential effective SINR 매핑은 각각 다음과 같다.

- BPSK:

$$SINR_{eff} = -\ln \left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e^{-SINR_k} \right) \quad \text{식(9)}$$

- QPSK:

$$SINR_{eff} = -\ln\left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e^{-\frac{SINR_k}{2}}\right) \quad \text{식(10)}$$

위의 매핑 함수는 BPSK와 QPSK에 대하여 근사식으로 유도된 것이다. 위의 수식에서 알 수 있듯이 BPSK와 QPSK에서의 매핑 함수의 차이점이 한군데밖에 없다. 따라서 고차 변조에 확장하기 위하여 exponential effective SINR 방법은 information measure를 다음과 같이 일반화 하여 사용한다.

$$I(x) = e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{식(11)}$$

여기서 β 는 최적화해야 하는 파라미터이다. 즉 정확한 PER 예측을 위하여 다수의 시뮬레이션을 통하여 최적의 값을 찾아내야 한다. 아래의 <표 1>은 QPSK와 16QAM에 대하여 다양한 부호율에 따른 최적의 β 의 일례를 보인다. 이 최적의 β 는 시스템마다 다르며 성능분석의 대상이 되는 시스템마다 달리 최적화되어야 한다.

<표 1> 다양한 전송률에 따른 최적의 예

Modulation	Code rate	β
QPSK	1/3	1.49
	1/2	1.57
	2/3	1.69
	3/4	1.69
	4/5	1.65
16QAM	1/3	3.36
	1/2	4.56
	2/3	6.42
	3/4	7.33
	4/5	7.68

4. Mutual Information Based Effective SINR method

exponential effective SINR 방법은 비교적 정확한 방법이지만 하나의 패킷을 구성하는 모든 심볼은 같은 변조 방식이어야 한다는 조건이 있다. 만약 IR(Incremental Redundancy) type의 H-ARQ같은 경우 재전송시에 보내지는 추가적인 패리티가 처음 전송시에 사용한 변조방법을 따르지 않을 수도 있다. 이런 경우 앞의 exponential effective mapping 방식을 적용할 수가 없다.

이러한 한계를 극복하는 방법이 mutual information based effective SINR 방법이다. 이 방법에서 매핑 함수 및 information measure는 식(12)~(14)와 같다. [5]

$$SINR_{eff} = I_{m_{ref}}^{-1} \left(\frac{1}{P_u} \sum_{p=1}^{P_u} I_{m_p}(SINR_p) \right) \quad \text{식(12)}$$

$$I_{m_p}(x) = m_p - E_Y \left[\frac{1}{2^{m_p}} \sum_{i=1}^{m_p} \sum_{b=0}^1 \sum_{x \in X'_i} \log \left(\frac{\sum_{\hat{x} \in X} \exp\left(-|Y - \sqrt{x/\beta}(\hat{x} - z)|^2\right)}{\sum_{\hat{x} \in X'_i} \exp\left(-|Y - \sqrt{x/\beta}(\hat{x} - z)|^2\right)} \right) \right] \quad \text{식(13)}$$

$$m_{ref} = \frac{1}{P_u} \sum_{p=1}^{P_u} m_p \quad \text{식(14)}$$

여기서 m_p 는 부반송파 p에서 심볼당 비트 수이며 m_{ref} 는 평균 값이다. X 는 2^{m_p} 개의 데이터 심볼들의 집합이고, X'_i 는 비트 i가 b와 같은 심볼들의 집합이다. 앞에서와 마찬가지로 β 는 최적화해야 할 파라미터이다.

5. Penalty factor

일부 Effective SNR 방식은 QPSK 변조의 mother code rate만의 AWGN PER 곡선을 DB로 만들어 이를 시스템레벨 시뮬레이션에서 이용한다. QPSK가 아닌 다른 변조방식을 사용하거나 다른 부호율을 사용하여 전송한 패킷은 일정한 penalty를 주어 QPSK와 mother code rate에 해당하는 AWGN PER 곡선을 이용한다.

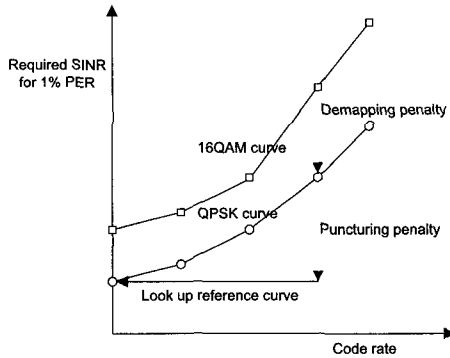
예를 들어 어떤 패킷을 16QAM의 변조와 3/4의 부호율을 사용하여 전송하였다고 하자. 이 때의 effective SINR을 x 라 하고 AWGN 채널에서 QPSK의 mother code rate에서의 PER 곡선을 $PER_{AWGN}^{QPSK, mothercode rate}(x)$ 라 하자. 그러면 전송한 패킷에 대한 PER은 다음의 식으로 구한다.

$$PER = PER_{AWGN}^{QPSK, mothercode rate} \left(x - \Delta_{16QAM} - \Delta_{3/4} \right) \quad \text{식(15)}$$

여기서 Δ_{16QAM} 은 16QAM에 대한 penalty이고, $\Delta_{3/4}$ 는 부호율 3/4에 대한 penalty이다. (그림 5)는 각 변조방식과 부호율에 대한 penalty의 예를 도시한 것이다. 변조 방식에 따른 penalty를 demapping penalty라 부르며, 부호율에 따른 penalty를 puncturing penalty라고 부른다.

demapping 또는 puncturing penalty 이외에도 채널 추정 오

류에 의한 성능 열화를 반영하는 방법에 대한 연구도 있다.[6]



(그림 5) Demapping and puncturing penalty 예

V. 결 론

본고에서는 OFDM 시스템 성능분석을 위한 링크 시스템 인터페이스 방법들에 대하여 살펴보았다. OFDM 시스템을 위한 링크 시스템 인터페이스는 actual link curve와 effective SINR 방법으로 분류할 수 있다. Actual link curve 방법에서 PER 모델링의 정확도와 링크 레벨 시뮬레이션 요구량은 성능 결정 변수를 어떻게 정하느냐에 따라 결정된다. Effective SINR 방법은 effective SINR 매핑 함수에 따라 여러 가지 종류가 있다. Effective SINR 방법은 기본적으로 링크레벨 시뮬레이션의 결과로 AWGN의 PER 곡선만을 요구하므로 actual link curve 방법에 비하여 링크레벨 시뮬레이션 요구량을 상당히 줄일 수 있다. 그러나 effective SINR 방법은 잘 설계된 effective SINR 매핑 함수를 사용해야 하며, 채널 추정 오류 등과 같은 effective SINR에 반영이 되지 않는 다른 요소들을 잘 고려해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP TSG-RAN-1 Meeting #34, "Consideration on the system performance evaluation of HSDPA using OFDM modulation," (R1-030999)," October 6-10, 2003.
- [2] 3GPP TSG-RAN-1 , "OFDM exponential effective SIR mapping validation, EESM simulation results for system-level performance evaluations, and text proposal for section A.4.5 of TR25.892," (R1-040089)," January 27-30, 2004.
- [3] 3GPP2/TSG-C.R1002, " 1xEV-DV evaluation methodology (V13)"
- [4] R. Ratasuk, A. Ghosh, and B. Classon, "Quasi-static method for predicting link-level performance," VTC 2002 Spring
- [5] E. Tuomaala, and Haiming Wang, "Effective SINR approach of link to system mapping in OFDM/multi-carrier mobile network," Mobile Technology, Applications and Systems, 2005 2nd International Conference on 15-17 Nov. 2005
- [6] A. Das, and A. Sampath, "Link error prediction for wireless system simulations," WCNC2004, 21-25 March 2004 Page(s):507 - 512



이 희 수

1993년 한국과학기술원 학사
 1995년 한국과학기술원 석사
 2001년 한국과학기술원 박사
 2001년 - 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야: IMT-Advanced system, MIMO, 적응전송, 다중홀 릴레이 기술



정 현 규

1985년 서울대학교 학사
 1988년 한국과학기술원 석사
 2000년 Polytechnic Univ, 박사
 2000년 Lucent Technologies 연구원
 2001년 - 현재 한국전자통신연구원 차세대무선전송연구팀장
 관심분야: IMT-Advanced system, MIMO, 공간 채널모델링, 전파전파