

WCDMA환경의 수신기 필터에 의한 SNR이득 분석과 최적구조 도출

Analysis of SNR gain of the Receiver Filter in WCDMA

전현진*, 장태규**

Hyeon-Jin Jeon, Tae-Gyu Chang

Abstract - 본 논문에서는 WCDMA 환경에서의 수신기 Filter에 의한 SNR개선에 대해 연구하였다. WCDMA 환경에서 여러 사용자의 다중경로 신호들이 더해져서 수신되는데 원하는 사용자에게 동기를 맞춰 chip rate의 정수배로 sampling하고 수신기 필터를 통과시킴으로써 배율 정도에 따른 이득을 얻게 된다. 하지만 송신 신호의 pulse shape에 따라 이득이 달라진다. pulse shape에 따라 필터에 대한 원하는 사용자 신호와 AWGN의 이득이 서로 달라지고 SNR이득이 포화되는 시점도 다르기 때문이다. 따라서 pulse shape에 따라 최적의 SNR이득을 얻기 위한 최적의 sampling 배율을 구할 수 있다. 본 논문에서는 signal shape에 따른 SNR 이득에 대해 해석식 도출 및 simulation을 통해 최적 수신기 구조를 도출하였다.

Key. Words : filter, WCDMA, SNR

1. 서론

무선통신환경에서 수신기에는 여러 사용자의 다중경로 신호들이 더해져서 수신된다. WCDMA에서 수신기는 target user의 chip에 동기를 맞춰 chip rate의 정수배로 sampling을 하고 decimation을 통해 chip rate를 Nyquist rate에 맞추고 despreading과 같은 processing을 통해 target user의 신호를 검출한다. 하지만 정수배로 sampling된 수신 chip을 decimation을 하지 않고 수신기 filter를 통과시키면 filter에 동기가 맞는 target 사용자 chip의 이득이 동기가 맞지 않는 간섭사용자 chip의 이득과 AWGN의 이득보다 높게 된다. 즉, 수신기 filter를 통해 sampling 배율에 따른 SNR이득을 얻을 수 있고 sampling 배율이 높아질수록 SNR이 포화된다.

하지만 chip의 pulse shape에 따라 chip이 차지하는 대역에 차이가 존재하므로 수신기 필터에 대한 신호의 이득과 AWGN의 이득이 달라진다. 결국, chip의 pulse shape에 따른 수신기 필터에 의한 SNR 특성이 달라지게 된다. 따라서 본 논문에서는 Rectangular pulse shape과 roll-off factor에 따른 Raised-cosine pulse shape에 따른 SNR 이득에 대해 해석식 도출 및 simulation을 통해 검증하였다.

2. Signal pulse shape에 따른 SNR 특성

본 장에는 chip의 형태가 rectangular pulse shape의 경우와 Raised cosine pulse shape에 따른 SNR 특성에 대해 해

석적으로 도출하였다.

2.1 Rectangular pulse shaping에 따른 SNR 특성

target 사용자의 신호는 필터에 대해 동기가 맞으므로 필터를 통과한 target chip의 power는 sampling 배율의 제곱만큼 증가하게 된다. 즉, target 신호에 대한 필터 통과 후의 power와 필터 이득은 각각 식 (1), (2)와 같이 정의된다. P_t 는 사용자의 수신 power이고, R 는 sampling 배율이다.

$$P_{tar.o} = P_t R^2 \quad (1)$$

$$G_{tar} = R^2 \quad (2)$$

간섭사용자 신호는 필터에 대해 동기가 맞지 않으므로 target 신호에 비해 필터 이득이 떨어지게 된다. 간섭사용자가 송신하는 chip조합과 delay 정도에 따라 필터 이득이 달라진다. 모든 조합의 동일한 확률로 발생한다고 할 수 있으므로 이를 바탕으로 간섭사용자 신호에 대한 평균적인 필터 이득을 구할 수 있다.

필터를 통과하기 전의 간섭 사용자에 대한 수신신호 power는 식 (3)과 같이 도출할 수 있다.

$$P_{int.i} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M A_i^2 \quad (3)$$

A_i 는 여러 쌍의 신호 크기를 나타내고, M 은 신호쌍의 개수를 나타낸다. 간섭사용자 신호에 대한 필터 이득은 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$G_{CAR.int} = \frac{2R^2+1}{3} \quad (4)$$

즉, 간섭사용자 신호의 필터이득은 chip 쌍의 개수와 크기와는 상관없고 sampling 배율만의 함수로 정의된다.

chip의 pulse shape이 rectangular이라는 말은 chip이 광대역 신호라는 말이 된다. 따라서 노이즈도 모든 주파수에서

저자 소개

* 전현진 : 中央大學 電子電氣工學部 博士課程

** 장태규 : 中央大學 電子電氣工學部 教授

flat한 Power Spectral Density를 가지고 있다는 말이 된다. 따라서 AWGN에 대한 필터 출력 power는 식 (5)과 같이 도출할 수 있다.

$$P_{n,o} = \sigma_n^2 R \quad (5)$$

N명의 사용자가 송신한 신호 $\tilde{s}_n(t)$ 가 각각 $\theta_{n,m}(t)$ 의 delay와 $\alpha_{n,m}(t)$ 의 attenuation factor를 가지는 M_n 개의 multipath를 통해 수신기로 수신될 때의 RF 수신 신호 $r_{RF}(t)$ 는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$r_{RF}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M_n-1} \text{Re} \left\{ \alpha_{n,m}(t) \tilde{s}_n(t) \exp(j2\pi f_c t) \exp(-j\theta_{n,m}(t)) \right\} \quad (6)$$

$\theta_{n,m}(t)$ 는 $[0, 2\pi]$ 구간에서 uniform distribution을 이루므로 $\theta_{n,m}(t)$ 를 θ 로 쓸 수 있고, 송신신호 $s_n(t)$ 는 N명의 사용자 모두 같은 평균 파워 P_i 이고, 한 사용자에 해당하는 다중경로 신호의 attenuation factor의 제곱의 합을 1이라고 하고 처음 들어오는 신호가 다른 다중경로 신호에 비해 훨씬 큰 power를 가진다고 가정할 때, 필터를 통과하기 전의 SNR과 통과후의 SNR을 구해보면 각각 식 (7), (8)과 같다.

$$\text{SNR}_i = \frac{P_i}{\frac{P_i(N-1)}{2} + \sigma_n^2} = \frac{2P_i}{P_i(N-1) + 2\sigma_n^2} \quad (7)$$

$$\text{SNR}_o = \frac{R^2 P_i}{\frac{2R^2+1}{3} \frac{P_i(N-1)}{2} + R\sigma_n^2} \quad (8)$$

2.2 Raised-cosine Pulse Shaping에 따른 SNR 특성

WCDMA 환경에서는 신호를 전송할 때 symbol에 Raised cosine filter를 적용하기 위해 송수신 양단에 Root Raised cosine(RRC) filter를 통과시킨다. 따라서 AWGN는 수신단의 RRC filter의 영향으로 대역이 제한된다. RRC filter의 Power spectral density(PSD)는 식 (9)와 같다.

$$|H_{RRC}(e^{jw})|^2 = \begin{cases} R^2 & \text{at } 0 \leq |w| \leq \frac{(1-\alpha)\pi}{R} \\ \frac{R^2}{2} \left(1 + \cos \left[\frac{\pi}{\alpha} \left(\frac{|w|}{2\pi} R - \frac{1-\alpha}{2} \right) \right] \right) & \text{at } \frac{(1-\alpha)\pi}{R} \leq |w| < \frac{(1+\alpha)\pi}{R} \\ 0 & \text{at } |w| > \frac{(1+\alpha)\pi}{R} \end{cases} \quad (9)$$

따라서 필터를 통과한 AWGN의 power를 구하면 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$E[n^2] = \frac{P_n}{2\pi} \left[\int_{-\frac{(1-\alpha)\pi}{R}}^{\frac{(1-\alpha)\pi}{R}} R^2 \frac{1 - \cos(Rw)}{1 - \cos w} dw + \int_{\frac{(1-\alpha)\pi}{R}}^{\frac{(1+\alpha)\pi}{R}} \left\{ R^2 \left(1 + \cos \left[\frac{\pi}{\alpha} \left(\frac{|w|}{2\pi} R - \frac{1-\alpha}{2} \right) \right] \right) \times \frac{1 - \cos(Rw)}{1 - \cos w} \right\} dw \right]$$

$$= \frac{R^2 P_n}{2\pi} \left[\cos((\alpha+2)\pi) + \cos(\alpha\pi) + 2\cos((1+\alpha)\pi) \frac{(1+\alpha)\pi}{R} + 2R \int_{-(1-\alpha)\pi}^{(1+\alpha)\pi} \frac{\sin w}{w} dw \right]$$

$$+ 2\cos\left(\frac{1-\alpha}{2\alpha}\pi\right) \left[-\frac{R}{2\alpha} \int_{\frac{1-\alpha}{2\alpha}\pi}^{\frac{1+\alpha}{2\alpha}\pi} \frac{\sin w}{w} dw + \frac{(1+2\alpha)R}{4\alpha} \int_{\frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{2\alpha}\pi}^{\frac{(1+2\alpha)(1-\alpha)}{2\alpha}\pi} \frac{\sin w}{w} dw + \frac{(1-2\alpha)R}{4\alpha} \int_{\frac{(1-2\alpha)(1+\alpha)}{2\alpha}\pi}^{\frac{(1-2\alpha)(1-\alpha)}{2\alpha}\pi} \frac{\sin w}{w} dw \right]$$

$$+ 2\sin\left(\frac{1-\alpha}{2\alpha}\pi\right) \left[\frac{R}{2\alpha} \int_{\frac{1-\alpha}{2\alpha}\pi}^{\frac{1+\alpha}{2\alpha}\pi} \frac{\cos w}{w} dw - \frac{(1+2\alpha)R}{4\alpha} \int_{\frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{2\alpha}\pi}^{\frac{(1+2\alpha)(1-\alpha)}{2\alpha}\pi} \frac{\cos w}{w} dw + \frac{(1-2\alpha)R}{4\alpha} \int_{\frac{(1-2\alpha)(1+\alpha)}{2\alpha}\pi}^{\frac{(1-2\alpha)(1-\alpha)}{2\alpha}\pi} \frac{\cos w}{w} dw \right] \quad (10)$$

AWGN이 필터에 의한 이득이 R^2 에 비례하는 2차 곡선식을 얻을 수 있다.

신호 power는 Raised cosine filter가 신호끼리의 연속성을 갖게 하므로 간섭신호 이득 대비 target 신호 이득은 아주 낮을 것으로 생각할 수 있다. 신호 power에 대한 필터 이득은 Monte Carlo 방법을 이용해 도출하였다.

3. Simulation

simulation은 WCDMA 환경에서 JTC channel Model 중에 Outdoor Vehicular Urban High-Rise, Channel A에 대해 simulation을 수행했다. 최대 Doppler frequency는 $\pm 115\text{Hz}$ 로 설정하였다.

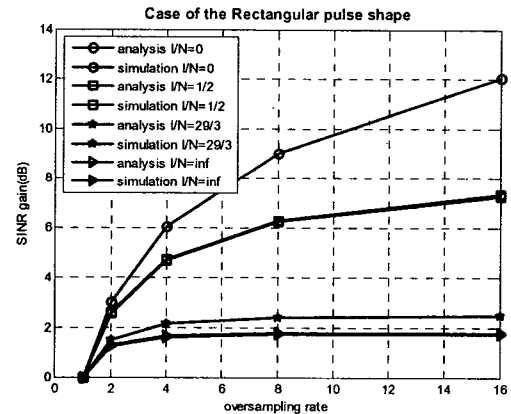


그림 1. Rectangular pulse shape의 경우

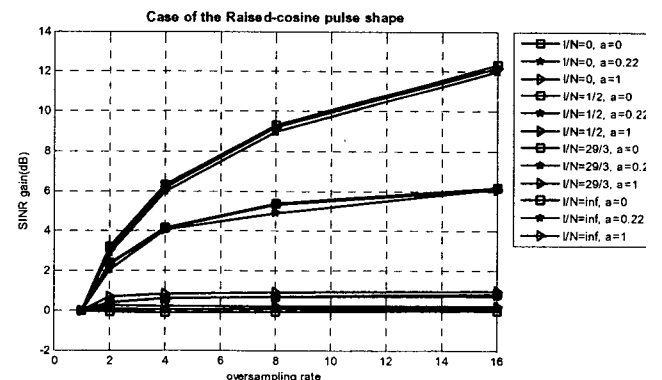


그림 2. Raised-cosine pulse shape의 경우

4. 결 론

신호 shape에 따른 간섭신호와 AWGN의 비율에 따라 필터 이득이 다르다는 것을 확인할 수 있다. Rectangular pulse shape의 경우 I/N비율이 커질수록 최대 1.8dB정도의 포화되는 이득을 얻을 수 있고 I/N비율이 작아질수록 최대로 얻을 수 있는 필터 이득이 커지고 포화되는 sampling 배율이 커진다. I/N비율이 0이 되면 $10\log(R_{opt})$ dB의 이득을 얻게 된다.

Raised-cosine pulse shape의 경우 Roll-off factor(α)에 따라 SNR 이득곡선이 크게 변하지 않는다. 간섭사용자가 없을 때의 SNR 이득곡선이 Rectangular pulse shape의 경우와 거의 유사하게 나오지만 I/N비율이 커질수록 Rectangular pulse shape의 경우보다 SNR 이득이 줄어드는 속도가 더 빠르고 AWGN이 없는 상황에서는 SNR 이득이 없다는 것을 알 수 있다. 이것은 Raised-cosine pulse shape이 신호의 연속성을 갖게 하므로 필터에 의한 이득이 거의 없게 되기 때문이다.

참 고 문 헌

- [1] Simon Haykin, "Communication Systems 4th edition", John Wiley&Sons, Inc., 2001.
- [2] Andrew Richardson, "WCDMA Design Handbook", Cambridge University press, 2005.
- [3] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications second edition", Prentice Hall, 2002.
- [4] JTC Deployment/Testing Ad Hoc Group, "Technical Report on RF Channel Characterization and System Deployment Modeling", Joint Technical Committee (Air) Standards Contribution, JTC (AIR)/94.09.23-065RS.