

# DS/CDMA 무선 광전송시스템 모델에서의 비선형 효과 해석

周昌福, 吳徑錫

경남대학교 전기전자공학부

wireless@kyungnam.ac.kr

## Analysis on the Nonlinear Effect in the DS/CDMA Wireless-Optical Transmission System Model

Joo, Chang-Bok and Oh, Kyung-Seak

Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Kyungnam Univ.

wireless@kyungnam.ac.kr

**<Abstract>** The intermodulation distortion(IMD) due to laser diode nonlinearity of an asynchronous direct sequence code division multiple access(DS/CDMA) system in wireless-optical transmission system model is analyzed. A third order polynomial is used to represent laser diode nonlinearity. In DS/CDMA system, only one harmonic of the third-order intermodulation term falls on the signal frequency band and influences the system performance characteristics.

To cancel multi-user interference and nonlinear distortion in a DS/CDMA wireless-optical transmission system model, the simple transversal filter structure with N-taps of (N-1) tap delay of 1 chip time delay line is used.

It is necessary to select an optimal modulation index that provides a maximum signal-to-noise ratio and the results are useful for CDMA system design

### I. 서론

최근 대역확산 부호분할 다중접속방식인 CDMA를 사용한 마이크로셀룰러 이동무선시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 차세대 디지털 이동통신방식으로써 다중경로 페이딩에 대한 면역성과 효과적인 주파수 재사용성 및 가입자 용량의 대폭적인 증대가 기대될 수 있는 CDMA 방식이 주목되고 있다.[1,2]

마이크로셀룰러 시스템에서는 기존 시스템에 대해 많은 기지국이 필요하다. 이러한 마이크로셀룰러 시스템에서, CDMA 무선통신과 광대역성, 전손실 및 광역성이 우수한 광파이버 네트워크를 융합한 무선 광융합 전송시스템에 대한 연구가 행해지고 있다.[3,4,6]

DS/CDMA 무선 광전송 시스템은 이동국과 기지국 사이를 DS/CDMA 무선신호로 이용하고 기지국과 제어국 사이를 광파이버 전송방식으로 접속하는 시스템

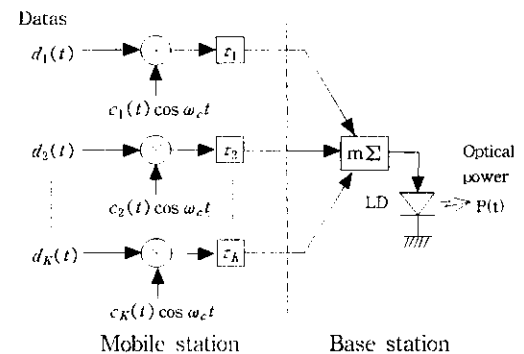
이다.

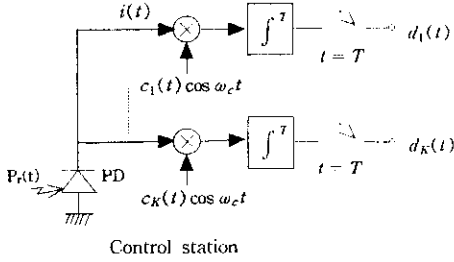
DS/CDMA에서는 자국에 할당된 확산 계열과 타국의 확산 계열과의 사이에 상관이 존재하는 경우 자국 신호는 타국으로부터 간섭 즉, 타국간 간섭을 받게 된다. 또한 타국간 간섭과 다발이 무선신호의 광신호 변환시 레이저다이오드(LD)의 비선형성에 의한 왜곡을 받게 되어 자국신호의 검출이 곤란해지기 때문에 이것이 가입자 용량을 제한하는 요인의 하나로 된다.

무선 광전송 시스템에서는 전, 광변환소자로 사용되는 LD의 비선형성에 의해 많은 상호 변조항이 특정의 신호대역으로 변환된다는 것이 Bennett에 의해 규명되었으며 LD에서의 비선형성 관계를 3차 다항식으로 나타내었다.[5]

본 연구에서는 [5]에서의 비선형항수에 기초해 DS/CDMA 무선 광전송시스템모델에서 타국간 간섭을 해석하고 간단한 트랜스버설필터 구성에 의한 간섭경감 효과를 컴퓨터시뮬레이션 방법으로 알아보았다.

### II. 비동기 무선 광전송 DS/CDMA 시스템모델





(b) Receiver

Fig. 1. Model of CDMA in wireless-optical transmission

그림 1은 비동기 DS/CDMA 무선 광전송 시스템 모델을 보인 것이다. 송신측의 각국은 비동기로 랜덤 접속이 가능하며 기지국(BS)에서 비동기 CDMA 신호들은 동일 전력으로 수신되고 광파이버를 통해 제어국(CS)으로 보내진다.

다중 사용자 수를  $K$ 라 하면 기지국에서의 수신신호  $X(t)$ 는 다음과 같이 나타내진다.

$$X(t) = \sum_{k=1}^K d_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) \cos(\omega_c t + \phi_k) \quad (1)$$

여기서

$$\begin{aligned} d_k(t) &= \sum_{l=-\infty}^{\infty} d_k(l) p_T(t - lT), \\ d_k(l) &\in \{-1, +1\} \\ c_k(t) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_k(n) p_{T_c}(t - nT_c), \\ c_k(n) &\in \{-1, +1\} \end{aligned} \quad (2)$$

이며  $p_T(t)$ 와  $p_{T_c}(t)$ 는 각각 데이터와 확산부호의 칩 파형을 나타낸다. 또  $d_k(l)$ 은  $k$ 번째 사용자의  $l$ 번째 정보비트이고  $c_k(n)$ 은  $k$ 번째 사용자 확산계열의  $n$ 번째 칩 성분이며  $T$ 와  $T_c$ ,  $\tau_k$ 는 각각 비트슬롯과 확산부호의 칩 슬롯 및 지연시간을 나타낸다. 또한  $T = NT_c$ ,  $N$ 는 확산부호 길이이며  $\omega_c$ 는 공통의 캐리어 각주파수이고 사용자  $k$ 번째의 캐리어 위상  $\phi_k$ 는  $0 \leq \phi_k \leq 2\pi$ , 지연시간  $\tau_k$ 는  $0 \leq \tau_k \leq T$ 이다.

BS와 CS의 링크 사이에서 대역확산 신호들은 LD의 광변조신호로 된다. 이때 LD의 비선형성에 의해 상호변조를 일으키게 되고 이 결과 시스템 동작 특성에 영향을 미치게 된다.

이러한 비선형의 영향에 대해서 출력 광신호를 다음 식과 같이 3차 다항식으로 나타내진다.[5]

$$P(t) = A_1 + P_i [X(t) + A_2 X^2(t) + A_3 X^3(t)] \quad (4)$$

여기서  $A_1$ ,  $P_i$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ 는 LD에 의해 결정되는 상수들이다. 식 (4)에서 선형의 LD라면 광출력은 변조신호에 비례하게 되므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(t) = P_i [1 + m_0 X(t)] \quad (5)$$

여기서  $P_i$ 는 평균 출력광전력이고  $m_0$ 는 변조지수를 나타낸다. 수신기에서는 광신호의 세기가 포토다이오드(PD)에 의해 광전류로 변환되고 그림 1에서처럼 복조된다. 즉,

$$\begin{aligned} Z_i &= \int_{\tau_i}^{T+\tau_i} [\eta P_r(t) + n_{op}(t)] \cdot \\ & c_i(t - \tau_i) \cos(\omega_c t + \phi_i) dt \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $P_r(t)$ 는 평균 수신광전력이며  $\eta$ 는 PD의 광전감응지수,  $n_{op}(t)$ 는 광소자의 잡음이다. 식 (6)에서  $\phi_i = \tau_i = 0$ 이라 가정하면,

$$\begin{aligned} Z_i &= D_i + (\eta P_i m_0^3 A_3) \int_0^T S(t) c_i(t) \cos \omega_c t dt + \\ & N_{op}(t) \\ &= D_i + I_3(t) + N_{op}(t) \end{aligned} \quad (7)$$

와 같이 쓸수 있다.

여기서  $D_i$ 은 자국검출신호로써  $D_i = \frac{\eta P_i m_0}{2} d_i(0) T$ 이고  $I_3(t)$ 는 간섭신호전력이며, 광소자에 의해 발생되는 잡음전력  $N_{op}$ 은  $N_{op} = \langle I_{LD}^2 \rangle + \langle I_{shot}^2 \rangle + \langle I_{th}^2 \rangle$ 로 나타내지며 이들은 각각 다음과 같이 주어진다.[9]

$$\langle I_{LD}^2 \rangle = RIN(\eta P_r)^2 \quad (8a)$$

$$\langle I_{shot}^2 \rangle = 2ehP_r \quad (8b)$$

$$\langle I_{th}^2 \rangle = \frac{4kT_i NF}{R_{PD}} \quad (8c)$$

이들 식에서  $RIN$ 은 LD에서의 relative noise intensity로써 광통신용 LD에서는 보통  $-150\text{dB/Hz}$  이하로 된다. 또한 수신기에서의 산란 잡음과 열잡음에서  $k$ 는 Boltzmann의 상수,  $T_i$ 는 절대 온도,  $NF$ 는 잡음지수이며  $R_{PD}$ 는 부하임피던스이다.

### III. DS/CDMA의 비선형 효과

실제적인 LD에서는  $A_2$ 와  $A_3$ 가 0이 아니다. 이 결과 2차 상호변조에 의한 결과에서는 DC 성분과 제 2고조파 신호성분이 만들어지는데 비하여 3차 상호변조에서는 제 3고조파 신호 성분과 신호주파수성분에 해당하는 1개의 고조파신호가 신호 주파수대역에 떨어지게 되어 시스템 성능에 영향을 주게 된다.

$K$ 개의 사용자 신호에 대하여 3차 상호변조왜곡의 항은 식 (4)에서  $X^3(t)$ 에 의해 발생되며 다음과 같은 관계식으로 만들어진다. 즉,

$$\begin{aligned} X^3(t) &= \left[ \sum_{k=1}^K x_k \right]^3 = \sum_{k=1}^K x_k^3 + 3x_1^2 \sum_{k=2}^K x_k + \\ & 3x_1 \sum_{k=2}^K x_k^2 + 3 \sum_{j=2}^K \sum_{k=2}^K x_j^2 x_k + \\ & 3x_1 \sum_{j=2}^K \sum_{k=2}^K x_j x_k + 3 \sum_{j=2}^K \sum_{j=2}^K \sum_{k=2}^K x_j x_j x_k \end{aligned} \quad (9)$$

(9)식에서 제 3고조파항을 제거하면 신호주파수대역에 떨어지는 3차 상호변조항을 각각 다음과 같이 쓸수 있다.

$$S(t) = \frac{1}{4} \sum_{m=0}^K s_m(t) \quad (10)$$

$$s_1(t) = 3 \sum_{k=1}^K d_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) \cos(\omega_c t + \phi_k) \quad (11a)$$

$$s_2(t) = 3 \sum_{k=2}^K d_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) \cdot [2 \cos(\omega_c t + \phi_k) + \cos(\omega_c t - \phi_k)] \quad (11b)$$

$$s_3(t) = 3 \sum_{k=2}^K d_1(t) c_k(t) [2 \cos \omega_c t + \cos(\omega_c t + 2\phi_k)] \quad (11c)$$

$$s_4(t) = 3 \sum_{j=2}^K \sum_{k=j}^K d_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) \cdot [2 \cos(\omega_c t + \phi_k) + \cos(\omega_c t + 2\phi_j - \phi_k)] \quad (11d)$$

$$s_5(t) = 3 \sum_{j=2}^K \sum_{k=j}^K d_1(t) d_j(t - \tau_j) d_k(t - \tau_k) \cdot c_1(t) c_j(t - \tau_j) c_k(t - \tau_k) \cdot [2 \cos \omega_c t + \cos(\omega_c t + 2\phi_k)] \quad (11e)$$

$$s_6(t) = \sum_{i=2}^K \sum_{j=i}^K \sum_{k=i,j}^K d_i(t - \tau_i) d_j(t - \tau_j) d_k(t - \tau_k) \cdot c_i(t - \tau_i) c_j(t - \tau_j) c_k(t - \tau_k) [\cos(\omega_c t + \phi_i + \phi_j + \phi_k) + \cos(\omega_c t + \phi_i - \phi_j + \phi_k) + \cos(\omega_c t - \phi_i + \phi_j + \phi_k)] \quad (11f)$$

수신기에서는 이들 상호변조항도 신호항과 마찬가지로 복조되어 지므로 이것을  $I_3(t)$ 라 나타내면

$$I_3(t) = (\eta P_r m_0^3 A_3) \int_0^T S(t) c_1(t) \cos \omega_c t dt \quad (12)$$

여기서 위상저연에 관한 랜덤변수  $\phi_i, \phi_j, \phi_k$  와 시간저연에 관한 랜덤변수  $\tau_i, \tau_j, \tau_k$  는 각각 간격  $[0, 2\pi]$  와  $[0, T]$ 에서 균일 분포로 가정한다. 그러므로 3차 상호변조왜곡(IMD)의 제곱평균은 다음과 같이 구해진다.

$$\langle I_3^2 \rangle = (\eta P_r \frac{m_0^3 A_3}{4})^2 (\sum_{m=0}^6 \hat{I}_m) \quad (13)$$

여기서

$$\hat{I}_m = E \left[ \int_0^T s_m(t_1) c_1(t_1) \cos \omega_c t_1 dt_1 \cdot \int_0^T s_m(t_2) c_1(t_2) \cos \omega_c t_2 dt_2 \right] \quad (14)$$

그러므로 검출단에서의 SNR은 다음과 같이 나타내진다.

$$SNR = \frac{1}{4} (m_0 \eta P_r)^2 / \left[ \frac{N_{0e} B}{N} + \langle I_3^2 \rangle \right] \quad (15)$$

여기서 B는 대역폭으로 30N[kHz]로 가정한다.

#### IV. 간섭제거 및 성능분석

그림 2는 이동기 DS/CDMA 시스템에서 자국신호에 대한 타국간 간섭 성분관계를 나타낸 것이다. 여기서 한 예로써 자국의 정보비트  $d_1(0)$ 를 복조하는 것을 생각한다

그림 2에서와 같이 이동기 시스템에서 수신샘플신호는 자국신호에 동기한 1비트 구간내 있어서 1 타국당 2개의 정보비트  $d_k(-1), d_k(0)$ 가 존재하는 것으로 된다.[7,8]

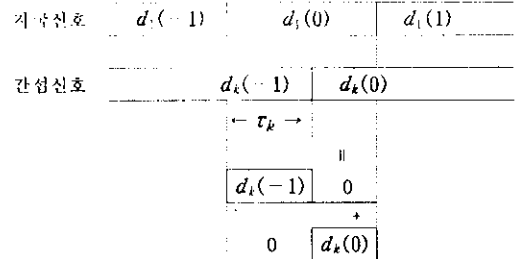


Fig. 2. Interfering bit vectors  $d_k(-1)$  and  $d_k(0)$  which overlap with  $d_1(0)$

그림 2에서  $d_k(-1), d_k(0)$ 를 확산하는 계열은  $c_k$ 이므로 자국신호에 동기한 1비트 구간만을 생각하면 2개의 계열 벡터  $c_k(-1), c_k(0)$ 로 분할시킬 수 있다. 즉, 1개의 자국신호 벡터에 대해서 1 타국당 2개의 간섭신호벡터가 존재하는 것으로 된다.

여기서는 그림 1에서의 정합검출에 대해 칩슬롯  $T_c$ 로 탭 적분한 후  $N-1$ 개의 탭저연을 갖는 트랜스버설 필터에 의한 상호간섭과 비선형간섭성분의 제거 성능에 대해 조사해 보았다.

각국의 확산계열의 동기는 완전하다고 가정하였으며 탭 간격을 1칩으로 하여 다음과 같은 수신 샘플벡터  $r(i)$

$$r = [r(0), r(1), r(2), \dots, r(N-1)]^T \quad (16)$$

을 생성토록 한다. 이 때 트랜스버설 필터의 탭가중벡터는

$$a = [a_0, a_1, a_2, \dots, a_{(N-1)}]^T \quad (17)$$

와 같이 정의된다.

트랜스버설 필터는 1비트 주기의 수신신호를 입력으로 해서 모든 간섭벡터에 대해서 직교한 탭가중을 적용적으로 형성하는 것으로써 간섭을 제거하고 자국신호성분만을 검출한다. 지금 트랜스버설필터 수신에서 탭가중이 IMD에 의해 간섭을 주는 모든 사용자의 확산계열에 대해서 직교하도록 결정되어졌다고 하면 검출신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉,

$$\begin{aligned} \hat{d}_1(0) &= a^T r = a d_1(0) + a \sum_{k=2}^K (d_k(-1) a^T c_k(-1) + d_k(0) a^T c_k(0)) + n(0) \\ &= a d_1(0) + n(0) \end{aligned} \quad (18)$$

와 같이 되도록 탭가중계수  $a$ 를 결정토록 한다. 식 (18)에서  $\alpha$ 는 처리이득이며, 두 번째항은 타국간 간섭과 비선형에 의한 간섭량으로 직교한 탭가중벡터에 의해 제거된다.

그림 3은 기저국에서 수신되는 모든 사용자의 수신 신호레벨을 동일하게 하고 수신 광전력을  $-40\text{dBm}$ 으로 하였을 때의 변조지수에 따른 수신출력 SNR을 구한 것이며 그림 4는 상호간섭과 비선형에 의한 간섭의 영향에 대한 데이터검출오율을 구한 것이다.

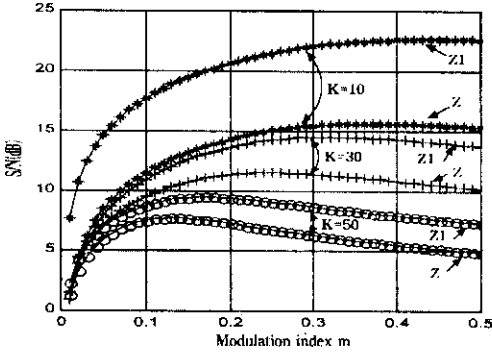


Fig 3. SNR versus modulation index with user numbers K

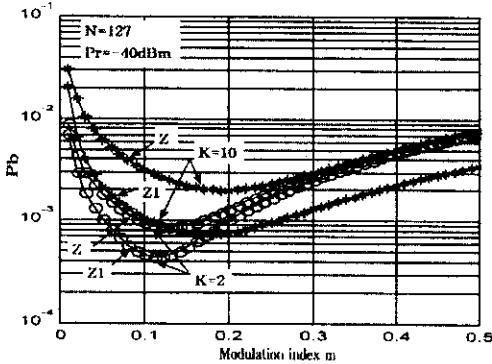


Fig. 4. BER versus modulation index with user numbers K

그림 3과 그림 4에서와 같이 사용자 수가 많아질수록 SNR과 BER특성은 나빠지고 있다. 같은 사용자 수에서 1칩 지연시간의  $(N-1)$ 개 탭지연에 의한 트랜스버설필터에 의한 간섭경감의 효과가 크게 나타남을 확인할 수 있다.

### V. 결론

본 연구에서는 LD에서의 임, 출력관계를 나타내는 비선형함수에 기초해 DS/CDMA 무선 광전송시스템 모델에서의 비선형효과에 의한 타국간 간섭을 해석하고

1칩 지연시간의  $(N-1)$ 개 탭지연에 의한 간단한 구조의 트랜스버설필터구성을 한 예로들어 타국간 간섭경감특성을 알아보았다.

컴퓨터시뮬레이션 결과 단일단의 간단한 구조의 트랜스버설 필터에 의해 BER성능특성이 크게 개선되었으며 최대의 SNR을 주는 최적의 변조지수가 있음을 보였다.

앞으로 비선형효과에 대한 보다 상세한 수식적 표현을 할 필요가 있으며 본 연구의 결과가 향후 CDMA 무선광전송시스템설계를 하는데 있어 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

### 參考文獻

- [1]. William C.Y. Lee. "Overview of cellular CDMA." IEEE Trans. Vehicular Technology VT-40. No.2. pp 291-302. (May. 1991)
- [2]. Gilhonsen K.S. etc. "On the capacity of a cellular CDMA system." IEEE Trans. Vehicular Technology VT-40. No.2. pp 303-312 (May. 1991)
- [3]. T.S. Chu & M.J. Gans "Fiber optic microcellular radio." IEEE. Trans. Veh. Technology Vol 40. pp 599-606. 1991.
- [4]. M.Shibutani, T. Kanai etc "Feasibility studies on an optical fiber feeder system for microcellular mobile communication systems." Proc. Int. Conf. commun. pp 1176-1181. 1991
- [5]. I. C. Daly. "Fiber optic intermodulation distortion ." IEEE. Trans. commun. Vol-30. No.8. pp 1954-1958 Aug. 1982
- [6]. W.I. Way "Subcarrier multiplexed lightwave system design considerations for subcarrier loop applications." J. Lightwave Tech. LT-7. No.11 pp 1806-1818. Nov. 1989.
- [7]. M.K.Varanasi, B. Aazhang "Multistage detection in asynchronous CDMA communications." IEEE Trans. commun. Vol.38. No.4. pp509-519. 1990.
- [8]. S.Yoshida. etc "DS/CDMA adaptive interference canceller or differential detection for fast fading channel." IEICE Vol. J77. B-II No. 11. pp 618-627. 1994
- [9]. G. P. Agrawal "Fiber-optic communication systems." 2nd edition, John wiley & sons, 1997.