

# 코드분할다중접속을 이용한 다중센서 데이터 전송에 관한 연구

## A Study on the data transmission of multiple sensor using code division multiple access

조항덕†·문세상\*·박우일\*·김우식\*\*

HyangDuck Cho, SeSang Mun, Wooil Park and Wooshik Kim

Key Words : Multiple sensor data transmission.

### ABSTRACT

In general, a measuring instrument of sound noise use only one wired channel by one sensor. Therefore the measuring instrument use wired cables as the number of channels are provided by instrument. In a point of observed target it needs data from multiple sensors and In case of measured point is a large numbers the environment of constitution would be complicated because that is in need of channel and cable. So we need the method that can improve the existing transmission channel and cable environment even the measured point is increased. If we use the Code Division Multiple Access(CDMA) we transmit a large numbers of sensor data by using a common transmission channel. We present the method that transmits data of multiple sensor to wireless by using CDMA. This method can simplify the measurement environment dramatically when collecting data by using multiple sensor. We expect this study to contribute the part of multiple access technology and relation technologies on the measuring environment.

### 기 호 설 명

$$erfc(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt = 1 - erf(x)$$

$$erf(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

### 1. 서 론

국내의 기계설비 상태감시 및 진단기술은 정보통신 기술과 융합되면서 새로운 측정 및 진단기술의 적용이 시도되고 있다. 일반적인 상태감시 및 진단환경에서 측정 대상과 측정 시스템은 데이터 취득 장비로부터 채널 또는 포트를 이용하여 측정 대상의 센서 취부까지 유선으로 구성되는 연결을

갖는다. 그리고 하나의 센서는 하나의 채널을 사용하기 때문에 측정 대상이 다수의 센서 취부를 갖는 경우에는 데이터 취득 장비와 측정 대상의 각 센서가 구성하는 유선망에 의하여 측정환경이 복잡해진다. 이때 예상되는 제약사항으로는 유선 길이에 의한 측정환경제약, 측정 대상의 유동성 제약, 관측자의 유동성 제약 등을 들을 수 있다.

정보통신기술 특히 이동통신 기술은 데이터 전송에 있어서 채널 다중화기술을 제공하는데, 이것을 데이터 취득 장비에 적용하는 경우 유선망에 의한 측정환경의 복잡성을 극적으로 개선할 수 있다. 우리는 다수의 센서로부터 데이터 전송을 할 수 있는 대역확산 기반의 CDMA 전송기술을 소개하고자 한다. CDMA의 변조기술, 코드분할 기술을 이용한 다중 센서의 데이터 전송을 무선 환경에서 고려하고, CDMA의 BER과 센서 증가에 따른 특성을 시뮬레이션을 통하여 알아본다. 이 결과는 다중 센서의 유, 무선 데이터 전송에서 채널과 케이블 다중화 기술과 관련된 분야의 연구에 기여할 것으로 기대된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서 코드분할 다중 접속기술의 소개, 제 3장에서 확산 코드의 생성, 제 4장 시뮬레이션 및 평가 그리고 마지막으로 5장에서 결론을 짓는다.

† (주)오토시스

E-mail : hdcho@autosys.co.kr

Tel : (02)2026-8088, Fax : (02)2026-8084

\* (주)오토시스

\*\* 세종대학교

## 2. 코드분할 다중접속(CDMA) 기술

CDMA 프로토콜은 코딩에 의한 다중화로 구성된 최초의 프로토콜이다. CDMA는 송, 수신 단이 각각 고유한 코드 시퀀스를 이용하여 데이터 신호를 전송한다. 수신 단은 미리 알고 있는 전송단의 코드 시퀀스를 이용하여 수신 신호를 디코드하고, 그 다음에 원래 데이터를 복원한다. 코드 시퀀스에 의해 선택되어지는 대역이 정보 신호에 의한 대역보다 훨씬 넓기 때문에 신호의 대역이 확산되는 엔코드 처리는 스펙트럼 확산(spread spectrum) 변조로 부른다. 그리고 엔코드된 신호를 대역확산 신호라고 부른다. 기술적으로 스펙트럼 확산 변조기술은 두 개의 특징을 갖는다. 하나는 전송 대역이 정보대역보다 상대적으로 매우 넓다는 것이고, 또 다른 하나는 스펙트럼 확산 변조기술은 전송주파 대역이 결정되어 있어야 한다는 것이다.

### 2.1 스펙트럼 확산 통신 시스템

대역확산 신호는 협대역 신호와 차별되는 몇몇 특성을 가진다. 통신 시스템 관점에서 대역확산 신호의 차별되는 중요한 특성은 그림 1의 확산, 역확산 원리를 통하여 볼 수 있다.

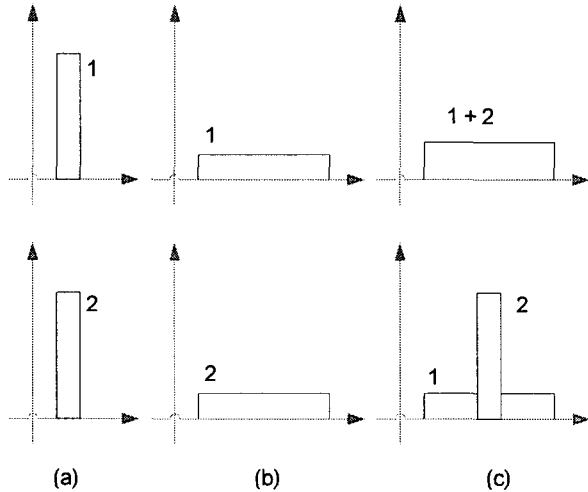


그림 1 확산 역확산 원리

그림 1은 다중 접속 성능, 간섭의 회피성, 프라이버시, 안티재밍, 그리고 낮은 도청확률의 특성에 기반을 두는 확산과 역확산의 원리를 보이고 있다.

**다중 접속 성능:** 만약 다수의 사용자가 같은 시간에 대역확산 신호를 이용하여 데이터를 전송한다면, 수신기는 각 사용자의 고유한 코드 시퀀스를 이용하여 각 사용자가 전송한 데이터를 복원할 수 있다. 이때 코드 시퀀스들은 서로 낮은 상관관계를 갖는다. 한 사용자가 자신의 코드 시퀀

스를 이용하여 데이터를 전송하면, 수신기는 그 코드 시퀀스를 이용하여 수신된 신호에서 상관된 신호를 찾는다. 이때 다른 사용자의 수신 신호는 상관이 낮기 때문에 오직 동일한 코드로 확산된 신호만이 역확산 된다. 그림 1의 (b)는 두 사용자가 자신의 고유한 코드를 이용하여 자신의 협대역 데이터 신호를 확산시킨 것을 보인다. (a)가 각 사용자의 협대역 데이터 신호이다. (c)에서 위에 그림은 두 사용자의 확산된 신호가 같이 전송되고 있는 것을 나타낸다. (c)의 아래 그림은 수신기에서 사용자 2의 코드 시퀀스를 이용하여 역확산시킨 것을 나타내고 있다.

**간섭의 회피성:** 사용자의 협대역 데이터 신호가 코드 시퀀스에 확산되어 외부 협대역 잡음신호가 첨가되고 수신기에 도착하는 것이 그림 2 (a)에 나타나 있다. 이때 수신기는 사용자의 코드 시퀀스를 이용하여 수신된 신호를 역확산 하는데 이때 첨가된 외부 협대역 잡음신호는 확산되어 백그라운드 잡음으로 처리된다.

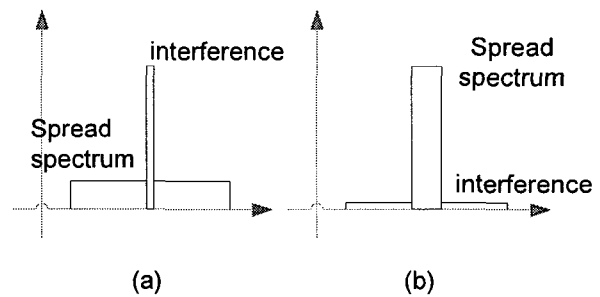


그림 2 간섭의 회피성

그림 2의 (a)에서 협대역 잡음 신호가 첨가되어 있다. (b)는 역확산 이후에 협대역 잡음 신호가 확산되어 백그라운드 노이즈 레벨까지 신호의 파워레벨이 감소되어져 있다.

**프라이버시:** 전송된 신호는 사용자의 코드 시퀀스를 알고 있는 수신기에 의해서만 역확산되고 데이터 복원이 이루어질 수 있다.

**안티재밍:** 이것은 간섭의 회피성과 관련있다. 이 특성은 군사용 통신에서 적의 통신 방해, 특히 협대역 재밍 신호에 의한 방해조건에서 스펙트럼 확산통신의 장점이 된다.

**낮은 도청확률:** 코드 시퀀스에 의하여 확산된 신호는 전력밀도가 아주 낮다. 따라서 신호를 감지하기가 매우 어렵다.

### 2.2 DS-CDMA 프로토콜

CDMA 프로토콜은 크게 두 개의 종류로 구분할 수 있다. 하나는 평균 시스템이고, 다른 하나는 회피 시스템이다. 평균 시스템은 긴 주기의 시간간격에서 평균에 의하여 간섭을 감소시킨다. 회피 시스템은 긴 시구간에서 회피에 의하여 간섭을 감소시킨다. CDMA 프로토콜은 변조기술에 의하여 크

계 4가지의 종류로 세분화될 수 있다: (1) 직접변조(direct sequence, DS), (2) 주파수 도약(frequency hopping, FH), (3) 시간 도약(time hopping, TH), 그리고 (4)혼합 방법이 있다. DS, 또는 DS를 포함한 혼합방법 같은 경우는 평균 시스템으로 분류된다. 그리고 기타의 방법은 회피 시스템으로 구분된다. 그림 3 에 CDMA 의 분류가 보이고 있다.

	DS	TH	FH	혼합
평균 시스템	v			v
회피 시스템		v	v	v

표 1 CDMA 프로토콜의 분류

코드 변조관점에서 다양한 변조기술이 사용될 수 있다. 여기에 사용되는 변조기술로는 PSK, BPSK, QPSK, 그리고 MSK 등이 있다.

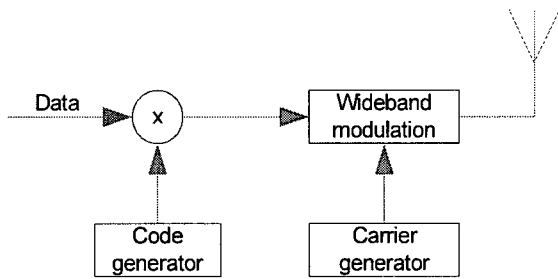


그림 3 DS-SS 전송기의 블록도

그림 3 에 DS-SS 전송기 블록도가 보이고 있다. 입력 단에는 2진 데이터가 사용된다. 데이터는 코드 발생기에서 제공되는 코드 시퀀스를 이용하여 코드 신호로 변환된다. 그리고 코드 신호는 RF 캐리어에 의하여 변조되고, 무선으로 변조된 정보신호가 전송된다. 수신기 에서는 역 과정으로 데이터가 복원된다.

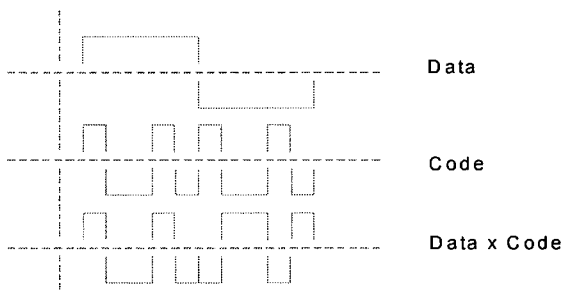


그림 4 데이터 의 코드신호 변환과정

데이터가 코드 시퀀스로 변환되는 방법이 그림 4 에 보이고 있다. 데이터의 한 비트는 코드 발생기에서 발생한 코드 칩 열과 곱해진다. 이때 코드의 한 비트를 칩 이라고 부른다. 칩은 [+1, -1]을 비트의 집합으로 갖는다. 일반적으로 2 진수의 1 이 +1, 0 이 -1 에 할당된다. 그림 4 에 사용된 코드

는 5 칩으로 구성되는 코드이다. 데이터의 한 비트에 일련의 코드 칩이 곱해진 것을 볼 수 있다. 이렇게 변환된 코드 신호는 RF 의 입력 단으로 전송된다. 우리는 RF의 변조기술로 QPSK를 사용할 것이다.

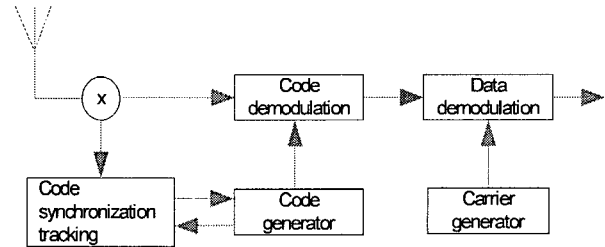


그림 5 DS-SS 수신기의 블록도

### 2.3 확산 코드의 생성

확산코드는 CDMA 시스템에서 다중화를 위한 가장 중요한 요소다. 코드의 성능이 다중화와 간섭의 결과에 큰 영향을 주기 때문이다. 코드는 다음 세 가지의 요구조건을 만족 시켜야 한다. 첫째, 각 코드 시퀀스 생성기가 발생시키는 코드는 유한 길이의 주기성을 가져야 한다. 둘째, 각 코드 생성기가 발생하는 코드는 타임 쉬프트 코드로 구분될 수 있어야 한다. 그리고 셋째, 각 코드 생성기가 발생하는 코드는 다른 코드와 쉽게 구분될 수 있어야 한다. 세 번째 요구 사항은 다중화를 위한 조건이다. 송신기에서 출발한 전송 신호는 수신기 까지 도달하는데 직접 도달하는 직접경로 신호와, 어떤 곳에 반사되어 도달 하는 다중경로 신호로 구분할 수 있다. 이때 수신기는 시간, 크기, 그리고 위상 차이를 갖는 동일한 신호를 수신하게 된다. 수신기는 직접경로 신호를 제외한 다중경로 신호는 간섭신호로 처리할 수 있는데 이것을 다중경로 간섭이라고 한다. 첫 번째와 두 번째 요구사항은 다중경로 간섭을 처리하기위한 조건이다.

요구조건 1의 첫 번째, 두 번째를 평가하기 위하여 자기 상관함수를 이용한다. 자기 상관함수는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$r_{xx}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) X(t + \tau) dt \quad (1)$$

요구조건 3의 세 번째를 평가하기 위하여 상호 상관함수를 이용한다. 상호 상관함수는 식 (2)와 같이 정의된다. 이 함수는 시퀀스 X(t)와 Y(t)로 구분되는 두 코드에 대하여 상관값으로 정의된다.

$$r_{xy}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) Y(t + \tau) dt \quad (2)$$

코드 시퀀스는 자기 상관함수와 상호 상관함수에 의하여 평가된다. 많은 종류의 코드 시퀀스가 알려져 있다. 우리는 M 시퀀스 코드에 대하여 알아보고 사용할 것이다.

(1) M-Sequence

M 시퀀스는 선형 귀환 쉬프트 레지스터(linear feedback shift register, LSR)에 의하여 생성된다.

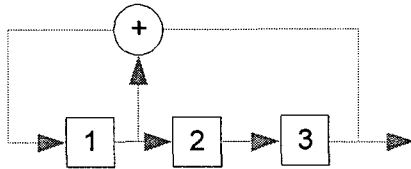


그림 6 3 상태 M 시퀀스의 LSR

LSR 은 몇 개의 셀로 구성된다. 각 셀은 비트 데이터의 한 비트를 기억할 수 있고, LSR 은 클럭 동기에 따라 구동된다. 그림 6 에 3 상태 M 시퀀스의 LSR 이 보이고 있다. M 시퀀스는 최대 가능한 주기 ( $N_c = 2^n - 1$ ) 를 갖는다. 이때 n 은 상태 수이고, M 시퀀스는 다항식으로 n 차 항이 된다. 따라서 M 시퀀스의 자기 상관함수는 다음과 같이 주어진다.

$$r_{xx}(t) = \begin{cases} 1 & : t = 0 \text{ mod } N_c \\ -\frac{1}{N_c} & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

M 시퀀스 함수를 구현하는 경우 레지스터의 수, 레지스터의 초기 값 그리고 탭 위치 등이 주어져야 한다. 예를 들어 레지스터 수가 3이고, 레지스터의 초기값이 [1, 1, 1] 이고 그리고 탭의 위치가 첫 번째와 세 번째라고 하자 이것은 생성 다항식  $h(x) = x^3 + x + 1$  로 나타낼 수 있다. 그리고 이것을 LSR 로 나타낸 것이 그림 5 이다. 주어진 LSR 에 의하여 m1, m2 와 같은 코드가 생성될 수 있다.

$$m1 = 1110100 \quad (4)$$

$$m2 = 1110010 \quad (5)$$

m1 과 m2 를 살펴보면 각 코드는 7 칩으로 구성되어 있다. m2 는 탭의 위치가 [2, 3] 인 경우에 생성코드다. 코드 m1, m2 에서 0 을 -1로 대치한 후 m1 의 자기상관함수를 구해보면 다음과 같다.

$$\text{자기 상관함수}(m1) = [7, -1, -1, -1, -1, -1, -1] \quad (6)$$

자기 상관함수의 결과를 보면 첫 번째를 제외한 나머지 부분은 상관 값이 작다. 즉 이 코드의 자기상관 특성이 매우 좋은 것을 볼 수 있다. 그리고 m1 과 m2를 상호 상관시켜 그 결과를 보면 다음과 같다.

$$\text{상호 상관함수}(m2) = [3, -1, 3, -1, -1, -5, 3] \quad (7)$$

위에 상호 상관함수 결과로부터 결과를 구성하는 값의 집합

이 [-1, -5, 3] 인 것을 찾을 수 있다.  $t(n)$ 이 식 (4)과 같고,  $t(n)=5$  인 경우에 상호 상관함수의 결과는 [-1,  $-t(n)$ ,  $t(n)-2$ ] 로 구성되는 3 값들로 이루어진다.

$$t(n) = \begin{cases} 1 + 2^{\frac{(n+1)}{2}} & n: \text{odd} \\ 1 + 2^{\frac{(n+2)}{2}} & n: \text{even} \end{cases} \quad (8)$$

위 결과들을 보면 코드 m1과 m2는 동시에 사용될 수 있는 좋은 성질의 특성을 갖는다. M 시퀀스는 좋은 자기상관함수의 특성을 갖는다. 그러나 M 시퀀스로 생성시킬 수 있는 코드의 조합수가 많지 않은 특징이 있다.

3. 다중센서 데이터전송 시뮬레이션 및 평가

그림 7 에 전송환경의 구성이 보이고 있다. 송신측에는 다수의 센서가 취부 되어 있고, 수신측에는 데이터 취득 장치가 있다. 데이터 전송은 DS-CDMA 방식이 사용되고 있다. 우리는 이 환경에서 센서의 수를 늘려가며 데이터를 전송하고, 이때 이용된 송수신 데이터로부터 Bit Error Rate(BER) 을 평가할 것이다. 그리고 다수의 센서를 이용하여 각 개수에 따른 BER 을 알아볼 것이다.

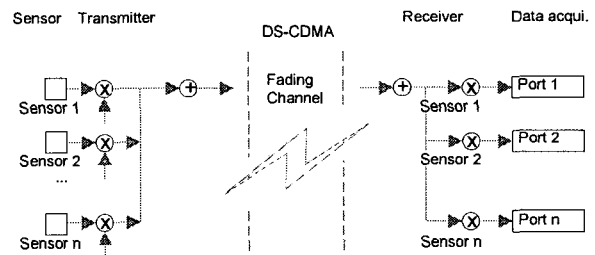


그림 7 DS-CDMA를 이용한 다중 센서 데이터 전송

그림 7 에 적용된 통신조건은 다음과 같다. 코드분할은 DS-CDMA 를 이용하였고, 변조기술은 동기식 QPSK를 이용하였다. 센서는 1개부터 60개 까지 적용하였으며 이때 확산 코드는 M 시퀀스를 사용하였다. M 시퀀스는 63 주기를 갖는 6차 코드이며 사용한 탭 수는 [1, 2, 5, 6] 과 [2, 3, 5, 6] 이다. 그리고 각 코드의 초기값은 [1, 1, 1, 1, 1, 1] 이다. 전송 채널은 첨가성 백색 가우시안 (AWGG) 환경이다. 따라서 BER 은 동시에 사용되는 센서의 수와 백색 가우시안 환경에서 BER 의 관계를 나타낼 것이다.

3.1 AWGN에서 센서의 수 증가에 따른 BER

AWGN 환경에서 동기식 DS-CDMA 와 QPSK 에 의한 데이터 전송 시뮬레이션의 결과가 그림 8 에 보이고 있다. 이때 사용된 M 시퀀스의 상호상관 값은 0 가 아니다. 따라서

이때 존재하는 상관 값의 간섭이 인접 채널에 영향을 주게 되고, 이것은 동시에 전송하는 데이터 전송품질과 동시에 적용할 수 있는 센서의 수에 제약이 된다. 전송에 사용된 데이터는 256K Symbol per second 로 생성되었고, QPSK 이기 때문에 전송 비트율은 512K bit per sec 가 된다. 센서의 수는 1, 2, 4, 8부터 60 개 까지 적용 되었고, 매 센서 개수마다 1000 샘플씩 1000 번 반복 전송하였다. 이때 무선 전송 채널에서 QPSK 의 AWGN에서 BER 성능은 그림 9과 같았다.

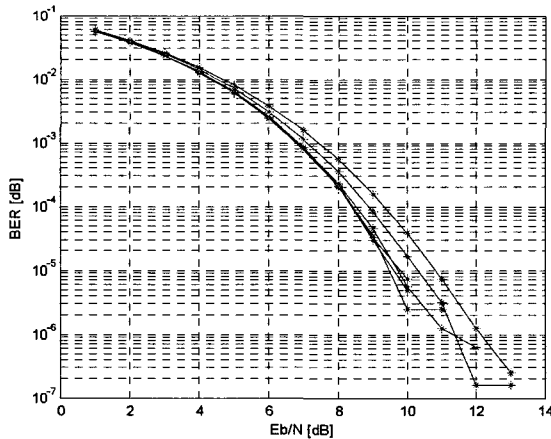


그림 8 센서 증가에 따른 BER 특성

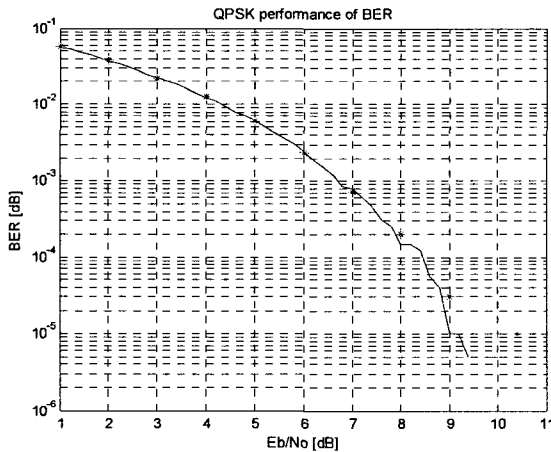


그림 9 AWGN 채널에서 QPSK 의 BER 특성

송신기에서 센서의 데이터가 M 시퀀스에 의하여 칩 데이터로 변환된 이후에 QPSK에서 변조된다. 이때 QPSK는 입력된 칩 데이터를 변조시키는 과정에서 나이퀴스트 필터에 의한 첨가성 백색 가우시안 잡음을 적용하였다. 그림 9에서 실선은 식(9)에 의한 이론적 산출값을 나타내고, \* 표시는 시뮬레이션에 의하여 찾아진 결과를 보이고 있다. 두 값이 일치하는 것을 찾을 수 있다.

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (9)$$

$E_b$  : Energy per bit,  $N_0$  : Noise power density

그림 8 은 그림 9로 주어진 AWGN 환경에서 다중 센서로부터 데이터를 전송하는 경우 BER을 보이고 있다. 우측부터 센서의 수가 1, 2, 4, 8, 32 그리고 60 개인 경우이다. 센서의 수가 증가할수록 BER 이 증가하는 것을 알 수 있다. 이때 실선은 이론적인 잡음환경에서 BER을 나타내고, \* 는 시뮬레이션에 의하여 구해진 값 이다. 두 결과가 일치하는 것을 볼 수 있다.

### 5. 결론

DS-CDMA 를 이용하는 경우 다중 센서에 의한 데이터 전송에서 BER 특성을 살펴보았다. 이때 무선전송 환경은 AWGN 에 의한 일반적인 환경이 고려되었다. 그리고 센서의 데이터를 추가적인 코딩 없이 전송하면서 DS-CDMA와 M 시퀀스 그리고 무선채널에 의한 순수한 BER 의 특성을 살펴보았다. CDMA 는 다양한 CDMA 프로토콜이 존재하고, 확산 코드에 의하여 BER의 특성이 결정 지워진다. 따라서 현재 고려되지 않았던 다양한 조건에서 BER 특성에 대한 고려가 필요하다. 그리고 다중 센서를 적용하는 환경에서 무선 전송채널의 모델이 필요하다.

CDMA 기술은 확산 코드에 의한 광대역 전송을 하기 때문에 협대역 잡음에 의한 영향은 역산 과정에서도 제거된다. 그리고 확산 코드에 의하여 동시에 전송할 수 있는 센서의 수가 증가하기 때문에 주어진 전송대역에서 코드의 추가만으로 센서의 수를 증가시킬 수 있다. 이러한 특징은 다중 센서에 의한 소음진동 데이터의 계측 환경을 무선으로 대체하고 기존의 계측환경을 개선하는데 기여할 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- (1) Proakis J. G., Digital Communication, 3rd ed., New York: McGraw-Hill, 1995.
- (2) Sampei, S., Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.
- (3) Simon, M. K., et al., "Spread-Spectrum Communications," Vol. I, II, III, Comp. Sci., 1985.
- (4) Scholtz, R. A., "The Spread-Spectrum Concept," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-25, Aug. 1977, pp. 748-755.
- (5) Golomb, S. W., "Shift Register Sequences," San Francisco, CA: Holden-Day, 1967.