

論文2000-37TC-3-2

## 이동통신을 위한 FSK 동기 및 변복조기술에 관한 연구 II부. FSK 모뎀 설계 및 성능평가

### (A Study on the FSK Synchronization and MODEM Techniques for Mobile Communication)

#### Part II : Performance Analysis and Design of The FSK MODEM

金基潤\*, 崔炯辰\*, 趙炳學\*\*

(Ki Yun Kim, Hyung Jin Choi, and Byung hak Cho)

#### 요 약

본 논문에서는 Quadrature Detector를 이용하여 4FSK 신호 변복조 시스템에 대한 전반적인 분석 및 시뮬레이터를 구현하였다. 구현 기준은 무선 호출시스템 표준인 FLEX 규격을 따랐으며 이에 따라 Pre-modulation 필터 및 데이터 프레임의 구성하였다. 심볼동기 알고리즘은 128bit 구간동안의 프리앰블 패턴을 이용하여 심볼동기를 획득할 수 있는 효율적인 개루프 방식을 제안하였으며, 다양한 UW 검출 방식 중 최적 UW 검출방식인 비주기자기상관 우수코드에 의한 32bit의 최적 UW 패턴을 제안하였다. 아울러 Quadrature Detector의 BER 특성을 AWGN 환경에서 뿐만 아니라 페이딩환경에서 BCH Coding과 Interleaving을 적용해 부호이득을 분석하였다.

#### Abstract

In this paper we implement computer simulation system of 4FSK signal MODEM using Quadrature detector and analyze overall transceiver system. We follow the FLEX wireless paging system standards and construct premodulation filter and data frame. We propose an efficient open loop symbol timing recovery algorithm which takes advantage of 128 bit length preamble pattern and also propose a 32 bit UW pattern which is based on the optimal UW detection method, and excellent aperiodic autocorrelation characteristic. The BER simulation in the fading channel as well as AWGN is performed with BCH coding and Interleaving to the Quadrature detector system and it is shown that a high coding gain occurs in the fading channel rather than AWGN channel.

#### I. 서 론

\* 正會員, 成均館大學校 電氣電子컴퓨터 工學部  
(School of Electrical and Computer Engineering,  
Sung Kyun Kwan University)

\*\* 正會員, 電子部品研究院  
(Multimedia Research Center, Korea Electronics  
Technology Institute)

接受日字:1999年9月27日, 수정완료일:2000年2月10日

최근 다양한 종류의 이동통신 서비스가 본격화되고 그 수요가 급증함에 따라 시스템 사용 환경, 저전력, 소형화, 저가격 등을 고려하여 최적 변복조 시스템을 설계하려는 관심이 가일층 더해 가고 있다.

현재 FSK 변조방식이 무선호출시스템에 사용되고 있는 이유는 지금까지 비교적 저속의 데이터 전송으로 대역효율은 그다지 문제시되지 않았기 때문이다. 아울

러 FSK 변조기법은 단말기의 성능 및 저전력, 소형화, 저가격 등에도 만족할 만한 변조기법이다. 간단한 수신기 구현이 가능하며 채널이 심한 비선형 왜곡을 야기하는 경우라도 등진폭특성으로 인해 Hard Limiter를 이용하면 신호 복원이 가능하기 때문에 현재까지 가장 우수한 수신율을 가지는 이동통신방식으로 손꼽히고 있다. 또한 비동기방식을 이용하면 정확한 반송파의 복원이 힘들더라도 사용될 수 있는 장점을 가진다<sup>[1]</sup>.

이와 같은 특징을 지니는 FSK 신호에 대해 본 논문에서는 제 I 부에서 분석한 Quadrature Detector를 이용하여 전반적인 변복조기 설계를 수행하였다. 변복조 설계의 사양은 무선호출시스템에서 제시하고 있는 규격인 FLEX 기준<sup>[2]</sup>에 따랐으며 이를 기반으로 시스템 설계 기술 및 동기기술에 대한 다양한 알고리즘을 검토하고 시뮬레이션을 통해 최적 방식을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 변조시스템에 대해 분석하였으며 III장에서는 복조시스템의 각 세부 요소기술에 대해 절 단위로 구분하여 분석하였다. 3.1절에서는 기본 복조구조에 대해 다루었으며 3.2절에서는 무선호출시스템의 프리앰블 패턴에 적합한 저전력 고효율 심볼동기 알고리즘을 제안하였고, 3.3절에서는 UW(Unique Word)의 검출 방법에 대해 다양한 방식으로 고찰하고 시뮬레이션을 통해 최적 방법을 제안하였다. 3.4절에서는 BCH 코딩 및 Interleaving을 하여 페이딩 환경 및 AWGN 환경에 대한 Quadrature Detector의 BER 성능을 평가하였다. 그리고 IV장에서 결론을 맺었다.

## II. 변조시스템 분석

### 1. 변조 구조

본 논문에서 분석하는 4FSK 신호의 스펙트럼 분포는 그림 1과 같이 IF 중심주파수를 320KHz로 하여 4 심볼의 각 신호 위치가 주파수 편이  $1.6\text{KHz} \times k$  ( $k = \pm$

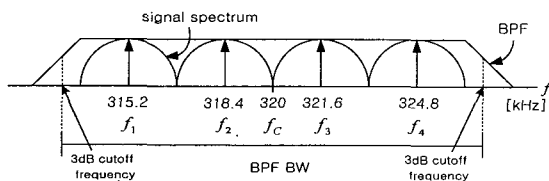


그림 1. 4FSK 신호 스펙트럼 및 BPF  
Fig. 1. Spectrum of the 4FSK signals and BPF.

1,  $\pm 3$ )의 간격을 가지며 위치한다. 즉 신호간의 주파수 간격(Tone Spacing)은 3.2KHz가 되며 신호의 전송속도는 3200sps이다.

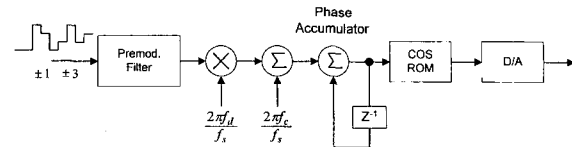


그림 2. FSK 변조 블록도  
Fig. 2. Block diagram of FSK modulation system.

FSK 변조는 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 신호의 크기에 따라 단순히 주파수 변화를 주어 FSK 신호를 변조하는 것이 아니라 그림 2와 같이 샘플되는 입력데이터의 값에 따라 Phase Accumulator에서 위상을 계속 누적해 가야 한다<sup>[3]</sup>. 이렇게 함으로서 입력되는 데이터가 Pre-modulation 필터(여기서는 Bessel 10차 LPF필터)를 통과했을 경우의 높은 주파수 성분이 제거된 신호를 이용하여 채널간섭을 줄이고 안정된 파형의 FSK 신호를 발생시킬 수 있게 된다.

그 외의 방법으로 4FSK 경우 4개의 주파수를 발생시킨 후 간단하게 이를 스위칭하여 변조할 수도 있지만 스위칭 순간의 위상 불연속으로 인해 연속적인 신호보다 많은 대역을 차지하게 되므로 잘 사용되지 않는다.

### 2. Bessel 10차 LPF의 설계

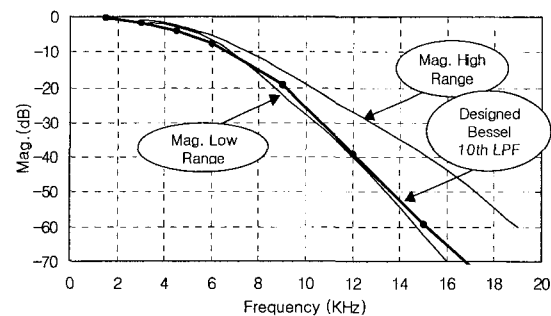


그림 3. Bessel 10차 LPF의 Amplitude Response 특성  
Fig. 3. Amplitude response of the 10th order Bessel LPF.

일반적으로 필터를 설계할 때 고려되는 사항들은 필터 종류, 필터차수 샘플링 주파수, 통과대역과 정지대역의 차단주파수 및 감쇠인자 등이 있으며 이는 요구되



는 3.2.2절에서 Quadrature Detector를 통과하여 얻어진 신호로 다시 분석하였으며 UW 패턴은 3.3 절에서 검토하여 최적 UW를 제안한 코드패턴이다.

2) 심볼동기를 위한 신호패턴

심볼동기 알고리즘은 그림 7과 같이 LPF된 신호가 간단한 디지털 신호처리를 위해 2bit 양자화되어 출력되게 만든다. 먼저 0을 임계값(Threshold Level)으로 하는 비교기 #1 (Comparator #1)을 거쳐 MSB 단자의 이진 연속 디지털(Binary Continuous Digital)신호로 출력한다. 다음은 비교기 #2 (Comparator #2)에 의해 신호의 Peak값과 제 I 부에서 제안했던 임계값 결정방법을 통하여 LSB 단자의 이진 연속 디지털신호로 출력한다. 이상적인 경우, High, Low의 심볼 동기 패턴이 10·0 0·10·00... 의 값이 입력되므로 MSB에는 1,0,1,0... 이 입력되며 LSB는 0,0,0,0...이 입력되므로 MSB만 심볼 동기용 출력으로 쓰일 수 있을 것 같으나 그림 7과 같이 실제의 경우는 High에서 Low로 또는 Low에서 High로 심볼 천이동안에 LSB도 1의 값을 가지게 되어 심볼동기에 이용될 수 있다.

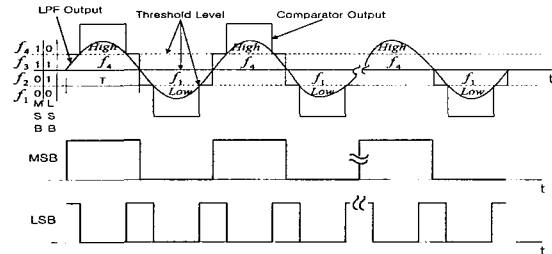


그림 7. 심볼 동기를 위한 신호 패턴  
Fig. 7. Signal patterns for symbol timing synchronization.

3) 심볼동기 알고리즘

가. ZC Open Loop 심볼동기방식

MSB의 출력이 심볼 동기용 프리앰블 동안 1,0,1,0...의 반복이므로 ZC(Zero Crossing) 수를 세어 나가며 그 사이의 클럭수로 나누어 ZC의 평균 시점을 찾아 심볼 결정 최적지점(Epoch)을 결정한다.

이 알고리즘의 특성은 심볼동기용 프리앰블 중에서만 이루어질 수 있다. 만약 잡음이 없는 환경이라면 ZC 지점이 일정간격(심볼주기)으로 이루어질 것이므로 심볼 사이의 ZC 두 지점(Rising Point, Falling Point)의 중간값으로 심볼 검출 시점을 결정하면 되나 현실적으

로 잡음 환경하에서 ZC지점이 일정하지 않으므로 여러 심볼구간동안 조사하여 그 평균값을 이용하여 심볼 동기 시점을 결정한다.

식 (1)과 같이 이전 ZC지점( $\tau_{k-1}$ )과 현재 ZC지점( $\tau_k$ )의 차이의 평균 ZC 정보를 가지고  $T_{ave}/2$  지점에서 최적 샘플링지점을 추출한다.

$$T_{ave} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\tau_k - \tau_{k-1}) \quad (1)$$

일단 심볼동기 패턴후에 심볼동기가 성공한다면 완전한 동기가 이루어졌다고 생각할 수도 있겠지만 메시지 구간동안에 페이딩 등으로 인해 최적샘플지점이 바뀔 경우나 심볼동기 프리앰블 구간동안 정확한 심볼동기가 이루어지지 않았을 경우 복조성능 열화가 발생하는 단점이 있다.

나. ZC closed Loop 심볼동기방식

폐루프 방식에 의한 심볼동기 방법은 일단 심볼동기용 프리앰블로 빠른 동기를 획득하고 연이어 뒤따르는 메시지 데이터 구간에서도 심볼동기를 계속 유지하는 것이다.

단말기 내에서 MSB 및 LSB 신호를 이용하여 비교적 간단히 설계될 수 있는 형태는 역시 ZC검출방법에 의한 심볼타이밍 에러 검출기이다. 이것의 동작은 그림 8 및 식 (2)와 같이 심볼 타이밍 에러는 예상되는 ZC 시점( $\tau_{k-1} + T$ )에서 실제 발생되는 ZC시점( $\tau_k$ )의 차이 값이 되며 이 에러 정보를 루프필터를 통과시켜 VCO를 조정하게 된다.

$$e_k = (\tau_k - \tau_{k-1} - T) \quad (2)$$

MSB의 출력은 LPF의 출력으로부터 얻어지므로 입력되는 신호 패턴에 따라 다양한 ZC지점을 가지게 되

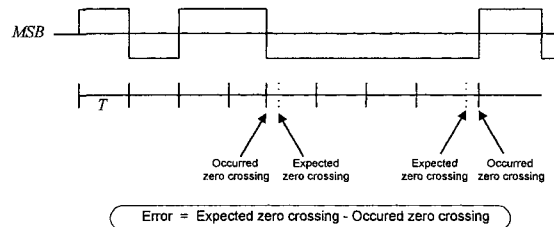


그림 8. ZC 폐루프 타이밍 검출기의 에러산출  
Fig. 8. Timing error estimation from the ZC closed loop algorithm.

어 있다. 특히 고차 멀티레벨(Multi-level)신호일수록 더욱 심해지는데 4-level의 메시지 데이터의 경우 이에 따라 패턴 지터로 인한 추적 성능의 열화가 문제가 된다.

다. 샘플링-누적을 이용한 심볼 동기 방식

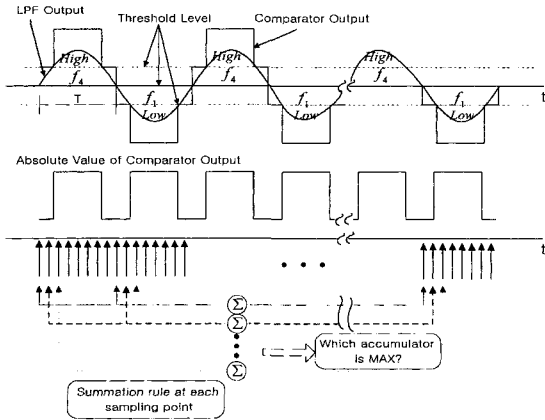


그림 9. 샘플링-누적에 의한 심볼 동기 방식  
Fig. 9. Symbol timing synchronization by the sample and accumulation method.

샘플링-누적을 이용한 심볼 동기 방법은 그림 9와 같이 비교기를 거친 값을 절대값을 취해 심볼당 8샘플씩 균일간격으로 샘플링하여 8개의 Accumulator에 각각 누적해 나간다. 그 후 심볼동기용 프리앰블(64심볼)이 끝나면 누적한 값의 최대치를 판단하여 그 지점을 심볼 결정시점으로 정하게 된다. 4-level 신호정도에서는 비교적 정확한 최적 샘플지점을 결정할 수 있게 된다. 절대값을 취한 파형은 LSB의 파형을 반전시킨 것과 같은 파형이므로 LSB를 이용하여 샘플링-누적 방식을 적용하여 설계한다.

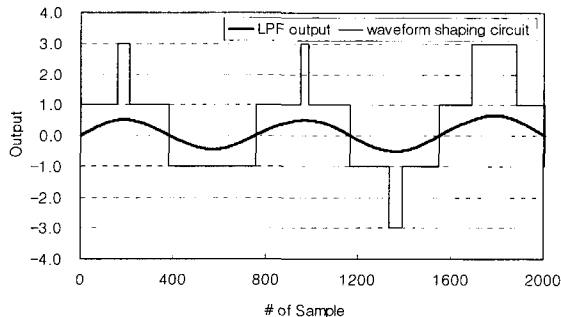


그림 10. 비교기의 출력 파형( $E_b/N_0=10$  dB)  
Fig. 10. Comparator output characteristic( $E_b/N_0=10$  dB).

잡음환경에서의 비교기를 거친 출력신호 특성은 그림 10과 같다. 여기서 알 수 있듯이 두 번째 비교기에 의해 검출된 신호 특성은 심볼검출지점을 중심으로하여 피크값이 발생함을 알 수 있다. 즉, LSB 신호파형을 이용하여 샘플링-누적 방법을 이용하면 최적 샘플 지점을 검출할 수 있다.

4) 심볼 동기 알고리즘 성능평가

표 1. 심볼 동기 알고리즘의 포착 확률  
Table 1. Acquisition probabilities of the symbol timing synchronization algorithms.

심볼 동기 방식 $E_b/N_0$ (dB)	ZC Open Loop	ZC Closed Loop	샘플링-누적에 의한 방식
6	0.605	0.632	0.995
8	0.964	0.954	1
10	1	0.998	1

심볼 동기 알고리즘들의 성능평가를 위한 시뮬레이션 환경은 심볼당 8배의 클럭 신호가 존재하는 환경으로 가정하였으며 4번째 클럭 펄스가 최적심볼 동기 시점으로 결정되고 보간기는 없는 것으로 가정하였다. 또한 최적시점 검출여부는 심볼 동기 프리앰블이 끝나는 시점에서 평가하였다. ZC 페루프 심볼 동기 검출방식의 루프필터는 2차 능동필터를 이용하였으며 심볼 동기 프리앰블에 빠른 포착을 유도할 수 있는 루프대역폭을 할당하여 최적 성능을 유도하였다.

결론적으로 프리앰블 구간동안 관찰한 것으로 가장 좋은 심볼 동기 방법은 표 1과 같이 샘플링-누적에 의한 방법이 여타 방법에 비해  $E_b/N_0$  대 포착 확률이 가장 우수했다. 페루프에 의한 방법도 그다지 나쁘지는 않았으나 무선호출과 같은 짧은 메시지 전송 시스템에서는 심볼 동기 획득 후 최적시점이 심하게 요동(Drift)하거나 변화되어 추적할 필요성이 없으므로 저전력으로 설계가능한 ZC Open Loop나 샘플링-누적에 의한 심볼 동기 방식이 적합할 것으로 사료된다.

이상과 같이 효율적인 다양한 심볼 동기 알고리즘을 고찰해볼 때 회로설계가 용이하고 간단한 알고리즘을 도입하더라도 성능이 우수하게 나타나는 이유는 데이터 효율이 저하 되더라도 짧은 메시지 구간동안에 프리앰블을 삽입했기 때문이다.

3. UW(Unique Word) 검출방법

UW의 검출방법은 기본적으로 심볼동기획득 후 상관 특성에 의존하여 검출하게 되며 시스템 사양에 따라 다양하게 변형되어 사용될 수 있다. 본 논문에서는 비주기자기상관(Aperiodic Autocorrelation) 우수코드를 조사하여 무선호출시스템 심볼동기 패턴과 잘 어울리는 UW를 선정하고 BCH 코딩에 의한 방법, 윈도우 코드에 의한 방법과도 비교하여 UW 검출 성능분석을 수행하였다.

1) 비주기자기상관 우수코드에 의한 UW 검출

UW의 검출이 송수신 데이터의 상관에 의해 검출되기 때문에 대개 UW는 다른 비트와의 상관관계의 특성은 낮고 자기 비트와의 상관특성이 가장 우수한 코드를 사용한다. UW의 우수성을 검증하기 위해 주로 사용되는 방법은 비주기자기상관특성을 살펴보는 것인데 비주기자기상관이란 이동하는 시퀀스와 고정된 시퀀스간의 겹쳐지는 부분의 코드값들의 Ex-OR값을 계산하는 것으로서 상관의 최대값 주위의 Sidelobe값이 낮을수록 상관특성이 좋은 것으로 평가한다.

여러 자료를 조사한 바로 지금까지 알려진 32 bit 길이의 비주기자기상관특성이 우수한 UW들은 대표적으로 4가지 종류가 있는데 00B5367116은 Bit Sense Unknown 코드에서 비주기 자기 상관 특성이 가장 좋은 코드이며, A140CE4916는 선행하는 비트패턴이 1010... 일 경우, F4159B1C16는 선행하는 비트패턴이 1111... 일 경우, 4CB2B1FE16는 선행하는 비트패턴이 1100... 일 경우 각각 가장 우수한 코드로 발표되어 있다<sup>[11]</sup>. 그러나 본 논문에서 심볼동기를 위해 사용하는 선행 비트 패턴인 1000... 일 경우에 대한 최적 코드는 조사되지 않았다.

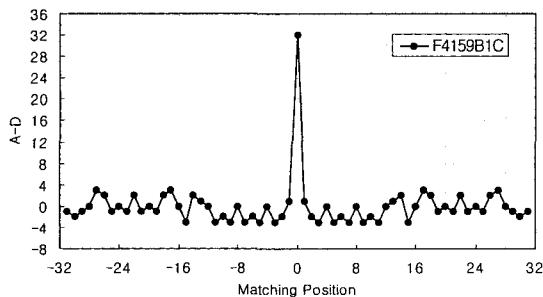


그림 11. F4159B1C16 UW에 대한 비주기자기상관특성  
Fig. 11. Aperiodic autocorrelation characteristic of the F4159B1C16 UW.

앞서 언급한 코드의 비주기자기상관특성을 살펴보면 그림 11과 같이 Sidelobe가  $\pm 3$ 을 넘는 것이 없이 각각의 UW가 거의 비슷한 성능을 가지는 것을 알 수 있었다. 하지만 1000번 횟수의 시뮬레이션 결과 그림 12에 나타난 F4159B1C16 코드가 가장 UW 포착확률이 우수함을 알 수 있었다.

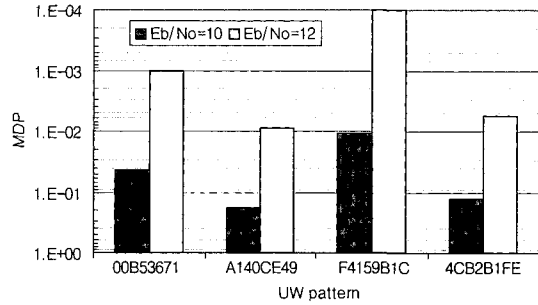


그림 12. UW 패턴에 따른 UW 검출실패 확률  
Fig. 12. UW miss detection probabilities for the UW patterns.

2) BCH 코딩에 의한 UW 검출

BCH 코딩에 의한 UW 검출방법은 먼저 21bit UW를 BCH(31,21) 인코딩하여 31bit로 만든 후 1bit를 추가하여 32bit로 만든다. 그 후 UW를 전송한 후 복조된 UW의 상관값이 정해진 임계값 이상으로 검출되어지면 이 UW를 다시 BCH Decoding하여 그 데이터가 이미 알고 있는 32bit와 비교하여 같으면 UW로 채택하고 아니면 버린다. 이와 같이 하므로써 임계값 이상의 UW로 판정되더라도 다시 디코딩에 의한 확인을 수행함으로 허위검출확률(FAP : False Alarm Probability)을 줄일 수 있는 특징을 가지게 된다.

3) 윈도우 UW (GSM UW)에 의한 검출

윈도우 코드란 상관특성이 GSM 코드 형식과 같이 피크값 주위의 Sidelobe값에 0(Zero)값이 연속하여 5개가 나오는 코드를 말한다. 그림 13과 같이 UW[32, 22]는 전송되는 32bit UW길이이며 22 bit가 수신단에서 상관(Correlation)하는 UW 비트 길이이다. 이 방식은 주위의 0상태를 감지하고 UW를 검출하므로 허위검출확률을 줄일 수 있는 장점을 가진다. 그림 14는 UW 코드 03D6443F16를 사용하여 부분 비주기자기상관특성을 살펴본 것이다. 피크값 22를 중심으로 5개의 비트가 0인 조건을 만족함을 알 수 있다.

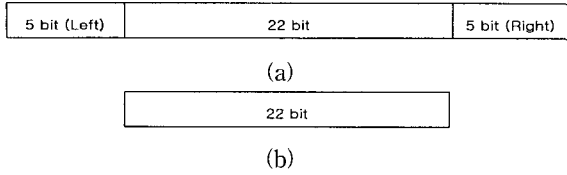


그림 13. 윈도우 UW [32, 22]의 구성

- (a) 송신 UW
- (b) 수신단에서 상관되는 UW

Fig. 13. Structure of the window UW [32, 22].

- (a) Transmitted UW
- (b) Correlated UW in the receiver

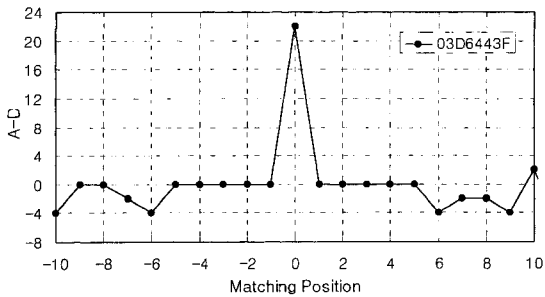


그림 14. 윈도우 UW의 비주기자기상관특성

Fig. 14. Aperiodic autocorrelation characteristic of the window UW.

4) UW의 성능평가

윈도우 특성을 지니는 32bit의 코드는 컴퓨터 프로그래밍하여 찾아본 결과 820개가 있는 것을 알 수 있었다. 얻어진 이 코드들을 이용하여 UW검출 능력을 평가해 본 결과 UW에 에러가 발생하지 않을 경우는 그림 14와 같이 관찰구간내의 윈도우로서 주위의 0상태가 좋은 특성을 나타내어 검출이 용이함을 알 수 있었다. 그러나 UW중 에러가 발생하면 그림 15와 같이 피크값이 떨어지며 주위값의 0상태도 유지되지 않는다. 즉, 윈도우로서의 장점을 살릴 수 없게 되었다.

윈도우 코드에 대해 에러 발생 위치를 임의로 여러 곳에 가정하고 시뮬레이션을 수행한 결과, 단지 1비트의 오류만 발생하더라도 윈도우 특성은 Sidelobe의 0상태가 허물어지며 윈도우로서의 장점을 살리기 어렵게 됨을 알 수 있었다. 뿐만 아니라 윈도우 코드 [32,22]의 단점은 10만분의 최대값이 감소한다는 것이다. 결론적으로 윈도우 특성 코드는 Quadrature Detector를 이용한 복조 시스템 환경에서 코드의 특징인 Sidelobe의 0상태를 기대할 수 없어 UW 검출을 제대로 수행할 수 없었다.

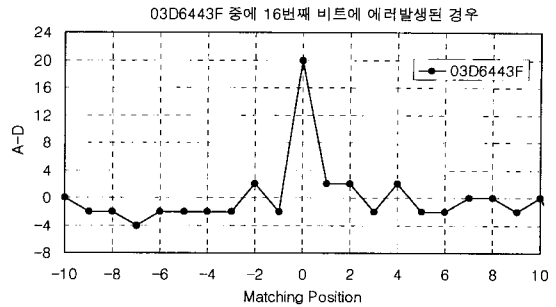


그림 15. 윈도우 UW 내에 1비트 에러가 발생한 경우의 비주기자기상관특성

Fig. 15. Aperiodic autocorrelation characteristic for 1bit error in the window UW.

상관특성을 이용한 UW 검출은 임계여유값(Threshold Margin)이란 것을 두고 UW 검출 여부를 판단한다. 여기서 임계여유값이란 UW bit의 개수인 최고 상관값 32로부터 UW로 판단하게 되는 여유값을 의미한다. 사용되는 UW 검출방식(Ex-OR)이 같으면 1 다르면 -1값을 더하게 되므로 임계여유값이 10이라면 수신된 UW중 다르게 판정된 bit의 수가 5개까지 존재할 때 UW로 판정될 수 있음을 의미하게 된다.

상관특성에 의한 UW검출 방식은 임계여유값이 10일 경우 UW 검출성공확률(Correct Detection Probability)이 Eb/No 10dB에서 1000번 시뮬레이션 동안 100%였으며 이보다 더 작은 임계여유값을 주었을 경우는 더 높은 Eb/No환경이 되어야 UW 검출성공확률이 100%가 되었다. 반대로 더 큰 임계여유값을 주었을 경우는 검출성공확률 특성은 만족될 수 있었으나 허위검출확률이 존재하여 Component를 손실할 우려가 있었다. 따라서 적절한 임계값 설정으로 Component를 놓치거나 (UW Miss Detection) 허위검출(UW False Alarm)하지 않도록 해야한다.

BCH 코딩에 의한 UW검출 방식은 임계여유값이 10일 경우가 임계여유값이 4일 경우 그림 16와 같이 성능이 다소 우수하지만 비슷한 편인데 그 이유는 BCH 코딩의 에러 정정능력이 2bit 이므로 임계여유값을 10으로 주더라도 2bit 이상의 에러는 정정하지 못하고 UW로 판정되지 않기 때문이다.

시뮬레이션 결과 상관특성에 의한 방식과 BCH 코딩에 의한 두 방식간의 성능은 그림 16에 나타난 바와 같이 자기상관특성이 우수한 코드를 이용하여 임계여유값이 10일 경우(불일치 bit의 갯수가 5개)를 이용한 방식이 가장 좋은 성능을 나타내었다. 임계여유값이 4일 경우에

도 역시 상관특성에 의한 방식이 BCH 코딩에 의한 방식보다 우수한 검출 성능을 나타내었는데 이는 상관특성 방식 코드의 상관특성이 BCH 코딩되어 상관특성과는 무관하게 설계된 코드보다 우수하기 때문이다.

검출성공확률 못지 않게 중요한 FAP의 확률은 BCH 코딩방식의 UW 검출은 FAP이 1000개의 UW 중에 한번도 나타나지 않아 허위검출확률 측면에서는 성능이 좋은 것으로 나타났지만 상관특성을 이용한 방식 또한 Eb/No 10dB에서 임계여유값을 10으로 주어도 허위검출발생이 발견되지 않아 검출성공확률이 보다 우수한 상관특성을 이용한 UW검출방법을 채택하는 것이 바람직하다고 판단된다.

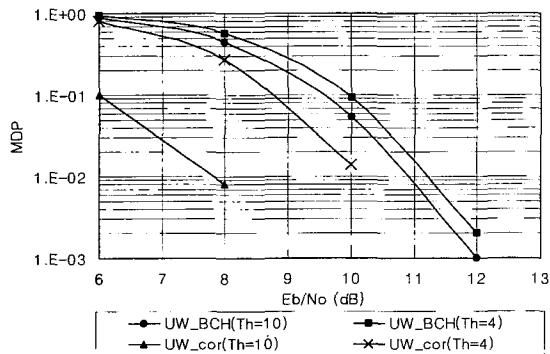


그림 16. Eb/No에 따른 UW 검출실패확률  
Fig. 16. UW miss detection probability for Eb/No

4. 코딩 및 인터리빙

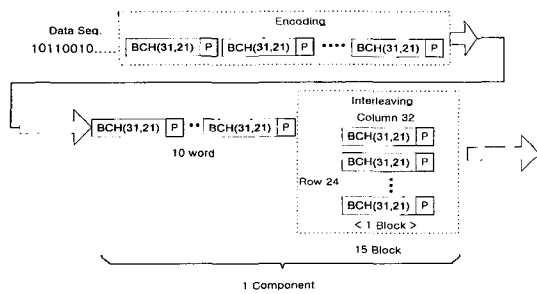


그림 17. 코딩 및 인터리빙 구조  
Fig. 17. Coding and interleaving structure.

페이딩 특성은 이동통신 시스템을 설계하는데 있어서 필수적으로 고려해 보아야 할 사항이다. 주파수대에 따라서 페이딩 주기나 지속시간등의 통계적 특성이 달라지기 때문에 시스템 설계시 필히 반영되고 있다<sup>[12]</sup>.

AWGN과 페이딩 환경에서 코딩 및 인터리빙에 의한 성능을 평가하기 위해 BCH(31,21)와 블록 인터리버(24×32) 사용하여 시뮬레이션 하였다.

그림 17은 코딩(Coding) 및 인터리빙(Interleaving) 방식을 나타낸 것인데 코딩 방식은 BCH(31, 21)로 하였으며, 이동 환경에서 주로 발생하는 페이딩(Fading)에 의한 연접성 에러(Burst Error)를 보상하기 위해 인터리빙을 수행한다. BCH는 순환코드(Cyclic Code)로서 블록 길이의 선택폭이 넓고 에러 정정능력이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 여기서 1 word 는 32bit를 의미하며 BCH(31, 21) 뒤에 1bit의 Parity가 붙게 된다.

AWGN 환경하에서 BCH 코딩과 인터리빙을 적용하였을 경우와 적용하지 않았을 경우의 BER 성능평가 결과를 그림 18에서 살펴보면 BER=10<sup>-3</sup> 부근에서 성능은 BCH 코딩과 인터리빙을 적용했을 경우가 약 1dB 정도 우수했다. 반면 페이딩 환경하에서는 이동체의 속도를 60km/h 로 가정하고 페이딩 모델은 Jake 모델을 사용하여 시뮬레이션 하였는데 그 결과 코딩과 인터리빙이 없는 단순 BCH 코딩의 경우 코딩 이득이 BER=10<sup>-3</sup>까지는 별로 나타나지 않는데 반해 인터리빙을 적용하면 코딩 이득이 BER=10<sup>-3</sup>에서 5~6 dB 정도 생기는 것을 알 수 있다. 즉, 페이딩 환경에서 인터리빙을 적용하면 Burst Error에 대한 에러정정을 우수하게 수행하는 것을 알 수 있었다.

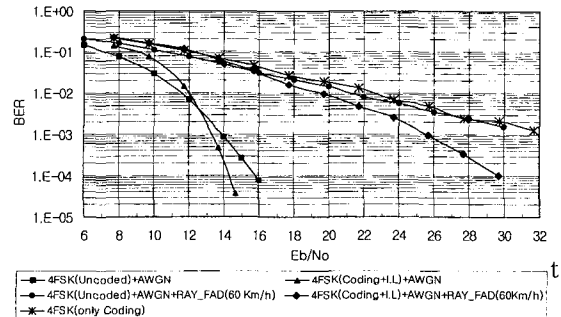


그림 18. AWGN 및 페이딩 채널 환경에서의 BER 성능평가  
Fig. 18. BER performance in the AWGN and fading channel environment.

IV. 결론

이상과 같이 무선호출시스템 및 메시지 전송시스템에서 사용되고 있는 Quadrature Detector를 이용한 FSK 신호 변복조 시스템에 관한 전반적인 설계 및 성능평가를 수행하였다. 특히 휴대하고 다니게 되는 단말기의 간단함, 저전력 소모 등을 고려하여 샘플링-누적에 의한 2bit 개루프 구조 심볼동기 알고리즘을 제안했으며, UW 검출방법의 다양한 고찰을 통해 F4159B1



C16 코드의 부분자기 상관특성 우수코드를 제안하였다. 아직까지 이와 같은 무선호출 시스템 및 메시지 전송시스템에 대한 전반적인 설계 및 설계방법을 체계적으로 다룬 논문은 국내외적으로 소개되어 있지 않은 것으로 조사되었다. 따라서 본 논문에서 제시한 FSK 변조기 설계, 효율적인 개루프 심볼동기 알고리즘, 다양한 UW 검출 방법 및 최적 코드 제안, Quadrature Detector의 최적 설계기법, BPF, LPF 주파수 특성 및 Limiter 추가에 따른 성능개선, Coding 및 Interleaving 등 적용시 페이딩 환경에서의 BER 향상성능평가 등의 방대한 연구는 실제 시스템에 적용 및 구현 가능한 결과로서 상당히 의의가 깊다고 하겠다. 연구수행된 결과를 바탕으로 다소 현실적인 고려를 감안한다면 현재의 저속 데이터 교환 복조시스템에 대한 구현 기반 마련은 물론 미래에 보다 진일보된 이동통신 시스템 개발에도 기여할 수 있을 것을 사료된다.

참 고 문 헌

[1] Bernard Sklar, *Digital Communications*, Prentice Hall, 1988.  
 [2] *Motolola Confidential Proprietary*, Motolola, Inc. March 1997.

[3] Marvin E. Frerking, *Digital Processing in Communication Systems*, Van Nostrand Multiple Access Protocol, Cable Modem 등  
 [4] *FM IF Receiver for FLEX Pager KA8515*, SAMSUNG, Co. Ltd. March 1998.  
 [5] *TOSHIBA Bipolar Linear Integrated Circuit Silicon Monolithic TA31149FN*, TOSHIBA.  
 [6] *2-Bit Analog-to-Digital Converter for FLEX™ Pager Chipset*, Texas Instruments, 1996.  
 [7] *High Performance Ceramic Discriminator for Various Mobile Communication Equipment*, CERAFIL®, 1996.  
 [8] *IF Amplifier for M-ary FSK Paggers CXA3117N*, SONY.  
 [9] *Low Voltage FM Narrowband Receiver MC3374*, Motolola, Inc. 1996.  
 [10] 최형진, 동기방식 디지털 통신, 교학사, 1995  
 [11] P. F. Driessen, "Binary Frame Synchronization Sequences for Packet Radio," *Electronics Letters*, Vol. 23., No.22, pp. 1190-1191, October 1987.  
 [12] 오재덕, "320MHz대 고속 및 양방향 무선호출 서비스 도입시의 전파환경적 문제점 고찰," *KMT Technology*, July 1996

저 자 소 개



金 基 潤(正會員)

1997년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 2월 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 졸업(공학석사). 1999년~현재 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 박사과정. 주관심분야 : 디지털 모뎀

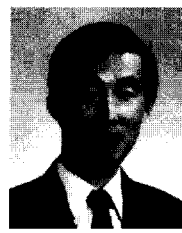
설계, 디지털 신호처리, 이동통신, 위성통신 등



趙 炳 學(正會員)

1981년: 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1988년: 동 대학원 졸업(공학석사). 1997년~현재: 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 박사과정. 1981년~1986년: 동양정밀 공업(주) 중앙연구소. 1988년~1990년: LG전자 영상미

디어연구소 선임연구원. 1992년~현재: 전자부품연구원 수석연구원. 주관심분야: 디지털변복조, Reinhold, 1994.



崔 炯 辰(正會員)

1974년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1976년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업(공학석사). 1976년 3월~1979년 7월 : 주식회사 금성사 중앙연구소 기정(과장급) 연구원. 1979년 9월~1982

년 12월 : 미국 University of Southern California 전기공학과 졸업(공학박사). 1982년 10월~1989년 2월 : 미국 LinCom Corp. 책임 연구원. 1989년 3월~현재 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부(정교수). 주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 모뎀 기술 등임