

서브밴드 및 넌세그먼트 주파수대에서 어드레스 코딩을 사용한 FH / MFSK 시스템의 성능 분석

Performance Analysis of Multitone FH/MFSK System with Stage Address Coding in Subband and Nonsegmented Frequency Band

이 문 승

Moon Seung Lee

요 약

메세지당 비트 수와 주파수 도약 시퀀스의 톤의 수는 유효한 대역폭과 각 사용자의 데이터율에 의해 결정된다. 이 파라미터는 번갈아 톤 구간을 결정하여 전송 왜곡에 많은 영향을 미친다. 본 논문에서는 충돌이나 히트를 감소하기 위해서 확산 부호를 각 사용자 쌍에게 할당하는 어드레스 코드를 사용하였다. 또한 주파수대는 몇 개의 서브 밴드로 나누어 각각의 사용자는 칩당, 서브 밴드당 멀티톤 전송이 가능하고 주파수 총수의 증가에 의한 각 톤의 구간을 늘릴 수 있도록 새로운 시스템을 제안하였다. 그리고, 비트수, 톤의 길이, 칩당 주파수의 최적 값에 의해 오율성능 개선치를 구하였다. 전반적인 효율 하락 없이 다중 통과 지연 분포의 취약성이 작아지며 동시에 사용자 수가 50% 증가함을 알았다. 또한 사용자 비율에 따른 대역폭 변화에 대한 확산 시스템의 효율이 20% 증진함을 알 수 있었다.

Abstract

The number of bits per message and the number of tones in the frequency-hopping sequence are determined by the available bandwidth and the data rate of each user. These parameters in turn determine the tone duration which strongly influences the vulnerability of the system to transmission distortions. In this paper, an address code which is assigned to each individual user was employed in order to reduce the collisions or hit. Also the frequency band is divided into several subbands and each user transmits multitone frequency per subband per chip. And the new system which is to increase the duration of each tone by increasing the total number of system frequencies that has been proposed. It is found that an optimum value bit, tone, number of frequencies per chirp can improve the error performance. This flexibility slightly increases maximum efficiency and makes the system less vulnerable to multipath delay spread. So, It is found that as the number of user increases 50%, the efficiency as a function of the bandwidth to user's rate ratio can improve 20%.

I. 서 론

최근, 이동통신 채널(channel)에 의한 선택성 페이딩 영향을 경감하기 위해서 주파수 다이버시티 효과와 원근 문제에 우월한 주파수 도약(Frequency Hopping : FH) 방식이 주목되고 있다. 특히 FH / MFSK (Multilevel Frequency Shift-keying) 다중접속방식은 위성통신과 디지털 이동 무선전화에서 그 사용이 급증하고 있으나 동시에 발생하는 사용자의 도약 주파수 사이의 충돌(collision)이나 히트(hit)에 의한 방해가 사용자 용량의 감소를 초래한다. 따라서 충돌이나 히트를 감소하기 위해서 확산 부호를 각 이용자 쌍에게 부여하는 어드레스 부호(address code)를 사용하고 있다. 어드레스를 부여하는 목적은 가능한 한 두 도약 주파수가 겹치지 않도록 어드레스 부호를 도약 계열로 이용하여 MFSK의 반송파 주파수를 도약시킨다. 전송된 데이터는 각각의 사용자에게 할당된 랜덤(random) 도약 시퀀스(sequence)에 의해 다른 주파수 칩(chirp)의 스트림(stream)으로 변환되고 각각의 사용자는 다른 어드레스의 할당에 의해 전송하는 동안 공통주파수 대역으로 분할된다.

인공위성을 사용하는 이동 무선시스템에 주파수 도약 확산 통신 방식을 적용하는 방법이 1978년 Viterbi에 의해 처음으로 제안되었다[1]. 그 제안은 Goodman, Henry, Prabhu에 의해서 사용자에게 어드레스 할당으로 연구되었다[2]. 사용자 사이에서 상호 간섭을 최소화하기 위해 유한체 어드레스 벡터(vector)를 이용한 Einarsson[3]과 Chirp 벡터를 이용한 Haskell[4]에 의해 더욱 발전되었으며 다른 다양한 복호방법은 Timor[5], Healy[6], Henry[7], Einasson[8] 등에 의해 더욱 연구되었다.

더 나아가 레일리 페이딩 환경하에서 직교부호(orthogonal code)를 사용하는 FH 다중접속방식의 성능 연구는 Yue에 의해 해석되었다[9]. 그러

나 이러한 연구들은 사용자 사이의 동시성 문제 때문에 실행에는 다소 제한이 있고 데이터율이 증가하는 시스템에서 어드레스 벡터를 랜덤하게 사용할 때 성능 개선이 적어지는 단점이 있다. 다중 접속 시스템에서 효율은 시퀀스의 길이와 톤 알파벳(tone alphabet)의 크기에 달려 있고, 대역폭과 각 사용자의 데이터율(R)은 비트(K)와 톤의 길이(L) 쌍의 최적 조건에 의해 결정되며 각 톤의 구간을 결정한다[1], [2]. 이 톤 구간은 전송 왜곡에 많은 영향을 미친다. 이동국에서 발생하는 중요한 전송감쇄는 다양한 동시 전파 통로 사이의 지연의 차이로 이 지연 분포(delay spread)는 짧은 톤을 통신하는데 어려우며 사용자 사이의 상호 간섭에 의해 더욱 더 제한된다.

본 연구에서는 서브밴드 및 년세그먼트 주파수대에서 어드레스 코딩을 사용한 FH / MFSK 시스템의 새로운 모델을 제안하여 성능 분석을 한다.

특히 톤 알파벳의 크기를 늘려 각각의 사용자에게 톤을 동시에 송신하는 것을 허용해서 전체적인 시스템의 성능 감소 없이 다중 통로 사이의 지연 분포에 대해 해석하고자 한다. 또한 대역폭, 사용자 데이터율, 동시 사용자 수, 칩당 주파수, 사용자 비율에 따른 대역폭등을 함수로 해서 오율식을 구하고 유도된 오율식을 이용하여 수치 계산 후 그래프로 나타내고 각각의 경우에 대해 비교 검토한다.

II. 시스템 구성

2-1. 기본 모델

[그림 1]은 부호화 FH / MFSK 시스템의 송수신기 구성도와 각부에 있어서 신호 주파수 톤의 시간적 변화를 시간, 주파수, 매트릭스(matrix)로 표현한 것이다. 송신측에는 2치의 K비트의 정보가 2^k 치의 레벨을 가진 정보 심볼(symbol) X_m 에 다치화되며 그 다치화된 데이터는 매 심볼마다 블록(block) 오류 정정 부호에서 부호화 된다. 그 심볼 시간이 T인 부호화된 한 심볼은 L 칩에 분할된다.

다중접속 방식을 행하는 m 번째의 사용자에는 2^K 치 레벨의 L 칩 어드레스 부호 $R_m = (R_{m,1}, R_{m,2}, \dots, R_{m,L})$ 이 할당되며 부호어의 한칩 시간을 τ 라하면 $\tau = T/L$ 가 된다. 어드레스 부호는 데이터 X_m 과 2^K 을 가산하여 송신벡터 $Y_m = (Y_{m,1}, Y_{m,2}, \dots, Y_{m,L})$ 을 얻는다.

$$Y_{m,l} = X_m + R_{m,l} \pmod{2^K} \quad (1)$$

$$(l=1, 2, \dots, L)$$

여기서 $Y_{m,l}, X_m, R_{m,l} \in \{0, 1, \dots, 2^K - 1\}$ 이다.

말하자면 사용자 m 의 송신벡터 Y_m 의 l 칩번째의 요소 $Y_{m,l}$ 의 값에 대응해서 2^K 종류의 도약주파수 중에서 한 종류가 선택되어 한 데이터 심볼당 L 개의 톤으로 해서 송신된다. 수신측에서는 2^K 개 전부의 주파수 톤이 검파되며 송신측과 같은 어드레스 부호 R_m 이 검파된 벡터 Y_n 로부터 2^K 를 감산해서 얻어지는 복호벡터 $Z_m = (Z_{m,1}, Z_{m,2}, \dots, Z_{m,L})$ 부터 어드레스 부호의 복호 매트릭스가 얻어진다.

$$Z_{m,l} = Y_{n,l} - R_{m,l} \pmod{2^K}$$

$$= X_n + R_{m,l} \pmod{2^K} \quad (2)$$

$$(l=1, 2, \dots, L)$$

만일 $m=n$ 의 경우, $Z_{m,l} = X_m$ 이 되고 $Z_{m,l}$ 은 희망국 신호의 톤을 나타내어 희망국의 데이터 복호가 가능하다. 각 매트릭스는 데이터 한 심볼에 대응해서 그 복호 후의 매트릭스를 이용하여 블록(한 심볼)마다 오류 정정 부호의 복호를 실시한다.

[그림 1]에서는 $K=3$ 이고 $L=6$ 인 경우로 부호어의 체계가 (6, 6, 6, 6, 6, 6)이고 어드레스가 (0, 2, 3, 5, 6, 7)의 패턴을 가지고 있기 때문에 가산기 출력은 다음과 같다.

$$(6, 6, 6, 6, 6, 6) + (0, 2, 3, 5, 6, 7)$$

$$= (6, 8, 9, 11, 12, 13)$$

$$= (6, 0, 1, 3, 4, 5) \pmod{2^K} \quad (3)$$

주파수는 이 연산 결과(6, 0, 1, 3, 4, 5)에 대응해서 결정되며 발생된 톤은 전력 증폭된 후 안테나로부터 송신된다. 안테나에서 수신된 신호는 스펙트럼 해석기에 공급되어 「주파수」에서 「레벨」로 변환되며 그때 희망신호 외에 비희망신호도 동시에 수신되기 때문에 동일 칩 축상에 복수의 「레벨」이 발생한다. 어드레스 발생기로부터는 송신측과 같은 어드레스가 출력되어 감산기 출력은 다음과 같이 얻어진다.

$$(6, 0, 1, 3, 4, 5) - (0, 2, 3, 5, 6, 7)$$

$$= (6, 6, 6, 6, 6, 6) \quad (4)$$

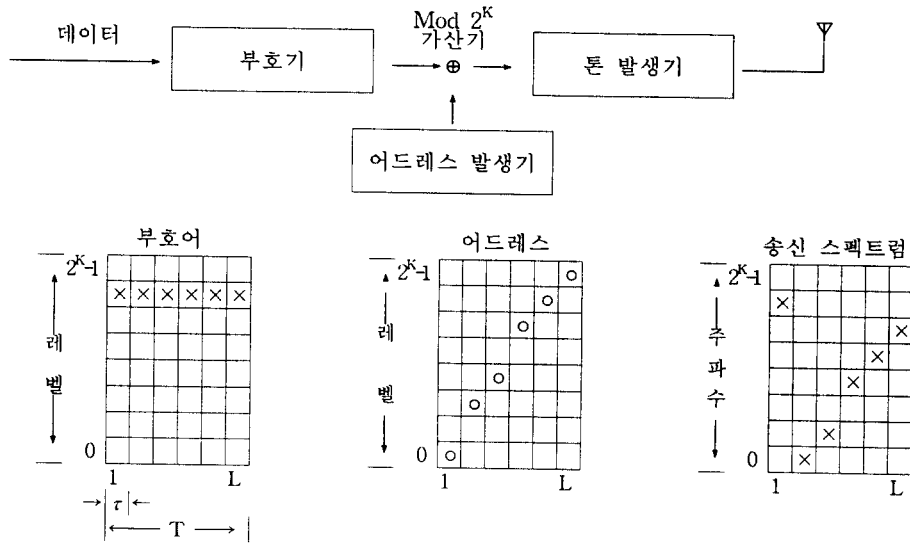
복호기에서는 그 결과를 기초로 송신된 부호어를 다수결 논리 판정(majority logic decision)에 의해 결정하지만 비희망 신호의 방해 성분이 난입해 오기 때문에 오류가 생길 경우가 있다. 이 오류는 동시 전파 통로 사이의 지연의 차를 가지고 오히려 전송 감쇄가 발생한다.

2-2. 제안 모델

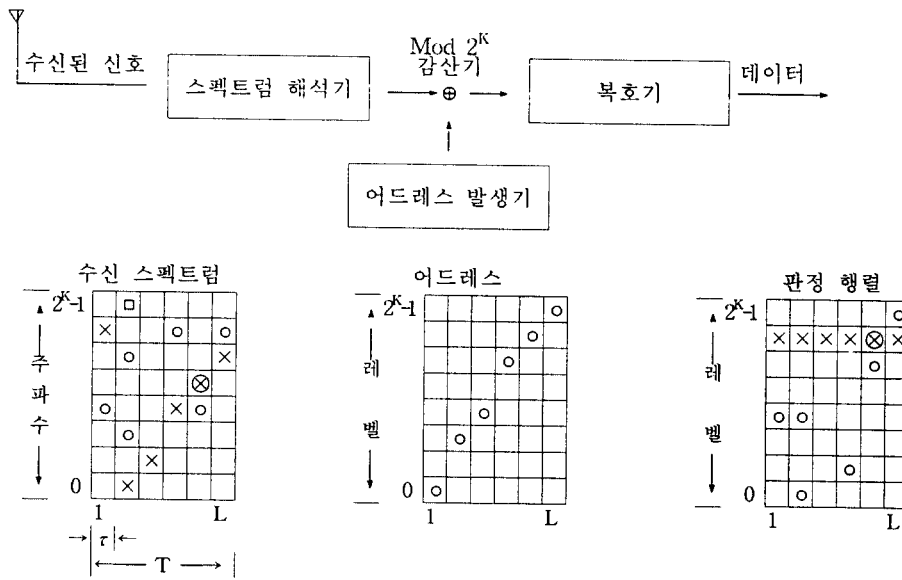
FH/MFSK 시스템에서 메시지당 비트 수와 주파수 도약 시퀀스의 톤의 수는 유효한 대역폭과 각 사용자의 데이터율에 의해 결정된다. 이런 파라미터(parameter)는 번갈아 톤 기간을 결정하며 이 톤기간은 전송 왜곡에 많은 영향을 미친다. 본 논문에서는 서브밴드 및 넌세그먼트 주파수대를 사용해서 각 사용자들에게 동시에 한 톤이상 주파수를 송신하는 것을 허용하고 주파수 총수의 증가에 의한 각 톤의 기간을 늘리고 칩의 수는 감소할 수 있는 모델을 제안한다. 한 톤 이상 주파수를 동시에 송신하는 것을 허용하기 위해서 다음의 두 가지 경우를 고려하여야 한다.

- 1) 주파수 대는 몇 개의 서브밴드로 나누고 각각 사용자는 칩당, 서브밴드당 한 개의 주파수를 송신한다.
- 2) 각각의 사용자는 세그멘테이션(segmentation)

서브밴드 및 년세그먼트 주파수대에서 어드레스 코딩을 사용한 FH/MFSK 시스템의 성능 분석



(a) 송신기 동작
Transmission scheme.



(b) 수신기 동작
Reception scheme.

[그림 1] 송 수신기 구성도

[Fig. 1] Block diagram of transmission and receiver.

없이 칩당 몇몇의 주파수를 송신한다.

[그림 2]는 $L/2$ 시간 슬롯을 사용하여 $3L$ 톤 시퀀스의 시간적 변화를 시간, 주파수 매트릭스로 표현한 것이다.

$L=2L_1$ 일 때 2^k 주파수와 L 칩은 짝수로 하고 주파수 대역 전부를 둘로 나누면 주파수 수는 배가 된다. 첫 번째 L_1 칩을 낮은 대역에 송신하고 동시에 다른 L_1 칩은 높은 대역에 송신하면 주파수의 수는 두배로, 칩의 수는 반으로(각 칩의 기간은 두배)되어 칩당 2개의 주파수를 가진 시스템이 된다. 만약 $L=jL_1$ 이라면 주파수 대역을 j 만큼 더 작은 대역으로 나눌 수 있고 각각의 사용자는 서브밴드당 한 개의 주파수를 송신할 수 있다. 따라서 주파수 슬롯의 총수는 $j2^k$ 이고 칩의 수는 L/j 이 되므로 한 개의 칩과 L 서브밴드로 나뉘는 $L2^k$ 주파수를 갖게 되며 L 주파수를 동시에, 그리고 각 서브밴드당 한 개씩 송신한다.

여기서 각 사용자가 nL K 비트의 어드레스를 사용하여 길이 nL_1 의 시퀀스를 발생한다면, 다음과 같은 시퀀스를 송신한다.

처음 시간 슬롯에서는 $L_1+1, \dots, (n-1)L_1+1$ 을 보내고 두 번째 시간 슬롯에서는 $L_1+2, \dots, (n-1)L_1+2$ 이 보내지며 그렇게 계속되면서 각 사용자는 각 시간 슬롯에 nL_1 개의 주파수를 동시에 송신한다. 수신기에서는 수신된 매트릭스 $2^k \times nL_1$ 을 매 τ 초마다 발생하고 n 번 반복하므로 본래의 매트릭스로 확장시킨다. 즉 첫 번째 항에서는 $L+1, 2L+1, \dots, (n-1)L+1$ 등으로 해서 $2^k \times nL$ 매트릭스를 산출하며 확장된 매트릭스는 길이 nL 의 어드레스를 이용하여 복호된다.

[그림 2]는 $K=3$ 이고 $L=6, n=3$ 인 경우로 $L/2$ 시간 슬롯을 사용해서 각 톤 시퀀스의 시간적 변화를 시간, 주파수 매트릭스로 표현한 것이다.

첫 번째 데이터가 (6, 6, 6, 6, 6, 6), 두 번째 데이터가 (5, 5, 5, 5, 5, 5), 세 번째 데이터가 (3, 3, 3, 3, 3, 3)이고 어드레스가 (0, 2, 3, 5, 6, 7)의 패턴을 가지고 있기 때문에 가산기 출력은 (6, 0, 1, 3, 4, 5), (5, 7, 0, 2, 3, 4), (3, 5, 6, 0, 1, 2)이 된

다. 이 출력은 첫 번째 칩의 낮은 주파수 대역에 (6, 5, 3)을 높은 주파수 대역에 (3, 2, 0)을 동시에 전송하므로 한 칩당 6개의 주파수를 가진 시스템이 된다. 따라서 각 칩의 기간은 두배가 되고 칩의 수는 감소되므로 지연 분포에 대한 영향이 적어진다.

III. 시스템 해석

3-1. 효율 해석

K 는 비트수(2^k 주파수), L 은 시퀀스 길이, M 은 사용자, n 은 칩당 주파수의 수, 라고 할 때 사용자 M 의 복호된 매트릭스 Z_m 이 한 개의 열(row)을 갖는다면, 이 열은 메시지 값 X_m 으로 복호된다. 메시지는 $Q=2^k$ 이상으로 각 사용자당 K 비트의 크기로 블록화(block)하고 MFSK 직교 주파수가 $0, 1/\tau, 2/\tau, \dots, Q-1/\tau$ 로 선택되어 전송된다면 상호간에 직교하는 대역폭 W 는 다음과 같다.

$$W = \frac{Q}{T} = \frac{2^k}{\tau} = \frac{2^k L}{T} \quad [\text{Hz}] \quad (5)$$

단, T : 1비트 시간장,

W : 대역폭,

τ : 1칩 시간장.

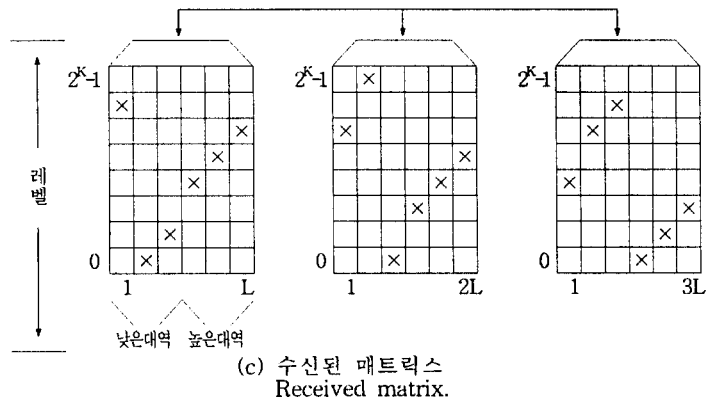
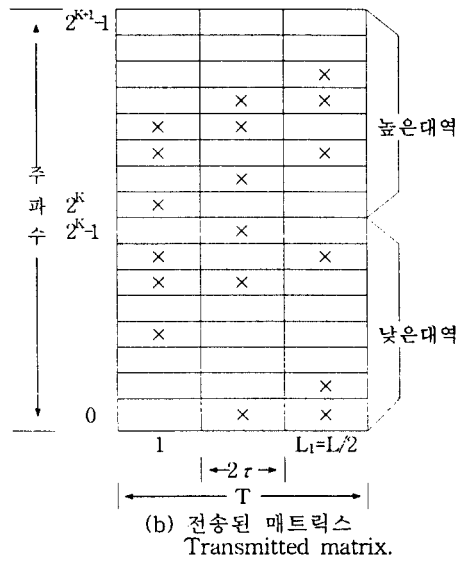
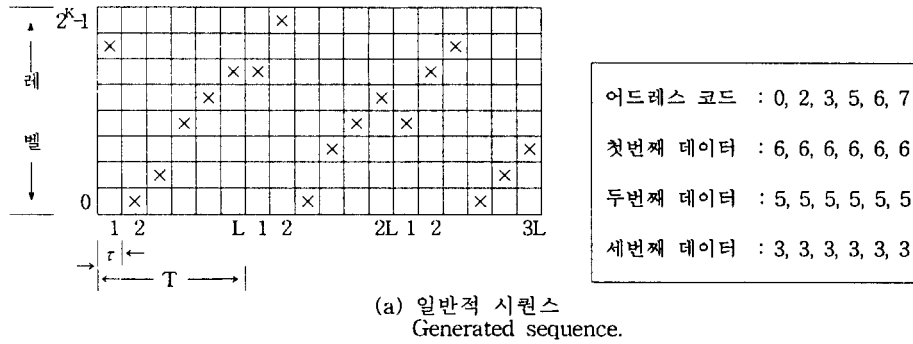
따라서 K 비트는 $L\tau$ 초에 의해 송신되며 사용자의 데이터율은

$$R = \frac{K}{T} \quad [b/s] \quad (6)$$

로 표시 할 수 있으며 초당 K 비트가 송신된다면 칩의 수는 다음과 같이 얻어진다.

$$L = rK2^{-k} = \frac{K}{\tau R} = \frac{KW}{QR} \quad (7)$$

$$\text{여기서, } r \triangleq \frac{W}{R} \quad (8)$$



[그림 2] 송·수신 매트릭스(3L 톤, L/2시간 슬롯, 2^{k+1} 주파수 슬롯)

[Fig. 2] Matrix of transmission and receipt.

주어진 오율에서 시스템을 동시에 나누어 쓸 수 있는 사용자의 최대수를 M 이라고 하면 시스템의 효율 η 은 다음과 같이 정의된다.

$$\eta = \frac{MR}{W} = \frac{M}{r} \frac{[b/s]}{[Hz]} \quad (9)$$

대역폭당 정보율 $[b/s]$ 는 비트 오율 P_b 와 함께 시스템을 통하여 전송되며 주어진 W , R 그리고 P_b 에 의해 효율이 최대화된 최적 K 값을 구할 수 있다.

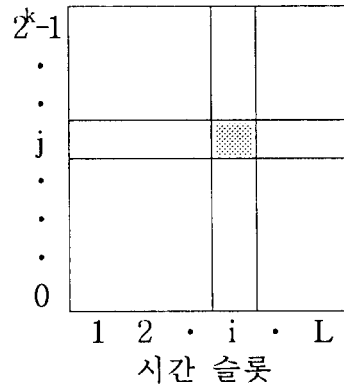
3-2. 오율 해석

오류 판정이 발생하는 것은 수신기 열 잡음이나 다량 통로 전반에 의한 레벨 변동, 혹은 비희망 신호에 의한 간섭 등이 원인이다. [그림 1]에서 수신한 톤의 스펙트럼과 판정 행렬 매트릭스 안에 X 로 표시되어 있는 것은 희망 신호 성분, O 으로 표시한 것은 비희망 신호성분, \square 은 마땅히 신호가 존재해야 함에도 불구하고 레벨이 작다는 이유로 검출 탈락(detection miss 혹은 deletion)을 일으켜 버리는 성분이다.

이것들의 영향을 배제하기 위해 부호어의 판정에는 다수결 논리 판정이 사용되며 이상의 동작을 수식으로 기술해서 오율 계산식을 유도한다.

수신 행렬을 [그림 3]과 같이 주파수와 시간의 슬롯으로 표현하면 주파수 슬롯은 2^k 개 존재한다. 그 중에서 특정의 한 슬롯을 선택하는 확률은 $1/2^k$ 이기 때문에 사용자가 특정의 슬롯 톤을 송신하지 않는 확률은 $(1-1/2^k)$ 가 된다. M 사용자가 통신을 해서 $(M-1)$ 사용자의 신호에 간섭을 미친다면 j 행, i 열의 시간 슬롯 (j, i) 에 $(M-1)$ 사용자가 톤을 송신하지 않을 확률은 $(1-1/2^k)^{M-1}$ 이고 반대로 (j, i) 에 톤을 송신할 확률은 $1-(1-1/2^k)^{M-1}$ 이 된다[1].

복호시 X_m 에 두개 또는 그 이상의 열(row)이 있을 때 평균 비트 오율 P_1 은 다음과 같이 표현된



[그림 3] 주파수-시간 슬롯

[Fig. 3] Frequency-Time slot.

다[1], [5].

$$P_1 < (2^k-1) P^L \quad (10)$$

여기서 $P = 1 - (1 - 2^{-k})^{M-1}$

$$= 1 - \left(1 - \frac{1}{Q}\right)^{M-1} \quad (11)$$

또한 X_m 의 j 칩에 간섭 패턴(pattern)이 있고 남은 $L-j$ 칩들이 의사 간섭 패턴을 가질 때 평균 비트 오율 P_2 는 다음과 같다.

$$P_2 = \sum_{j=0}^L P_{2,j} \quad (12)$$

X_m 에 일치하는 완벽한 열을 형성하고 있고 다른 사용자들로부터 간섭이 있는 경우를 P_{2, L_j} 이라고 하면

$$P_{2, L} < P^L \quad (13)$$

이 되고

$$P_{2, L-1} < L P^{L-1} (1-P) \hat{P} \quad (14)$$

이 된다. 여기서 $LP^{L-1}(1-P)$ 가 간섭이 있는 $L-1$ 칩의 오류이고 \hat{P} 는 남은 칩을 체크(check) 할 때 완전한 열이 순환 이동(cycle-shifted) 된 Pxm 이 존재 할 때의 오류이다. 이 완전한 열이 Pxm 의 2^K-1 열이 되면 \hat{P} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{P} < (2^K-1) P^{L-1} \quad (15)$$

일반적인 항 $P_{2, L-j}$ 은 높은 영역(upper bounded)에서 다음과 같다[5],[10].

$$P_{2, L-j} < P^{L-j}(1-P)^j \binom{L}{j} \hat{P} \quad (16)$$

따라서

$$P_2 < P^L \sum_{j=0}^L \binom{L}{j} [(2^K-1)(1-P)P^{L-2j}]^j \quad (17)$$

$$P_2 < P^L (1+S)^L \quad (18)$$

여기서

$$S=(2^K-1)(1-P) P^{L-2} \quad (19)$$

$P(1+S) < 1$ 일 때 높은 영역에서 문자(word) 오류 P_E 는 다음과 같이 구해진다.

$$P_E < \frac{1}{2} P_1 \cdot P_2 < \frac{1}{2} (2^K-1)(1+S)^L P^{2L} \quad (20)$$

그러므로 비트 오류율은 다음과 같다.

$$P_{b,2} < 2^{K-2}(1+S)^L P^{2L} \quad (21)$$

그리고 M 의 복호된 매트릭스에서 다른 $(M-1)$ 사용자로부터의 간섭 때문에 부분적 주파수 시간 슬롯이 가지는 확률은 다음과 같이 표시 할 수 있다.

$$P_n = 1 - \left(1 - \frac{n}{2^{K+1}}\right)^{M-1} \quad (22)$$

간섭이 각각의 nL 행에서 $(n-1)$ 주파수 슬롯으로 들어가면 다른 열에도 간섭이 존재하는 확률이 크다. 만일 $(n-1)nL < 2^{K+1}-1$ 다면 간섭을 갖게 되는 열은 $(n-1)nL$ 이고 남은 열이 Pn^{nL} 이라면 $(n-1)nL$ 열에서 가지는 문자 오류율은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_w &< (n-1)nL Pn^{nL-1} + [2^{K+1}-1-(n-1)nL] Pn^{nL} \\ P_w &< (2^{K+1}-1) Pn^{nL} (1+S_n) \end{aligned} \quad (23)$$

따라서, 비트 오류율은 다음과 같이 구해진다.

$$P_b < 2^{K-2} Pn^{nL} (1+S_n) \quad (24)$$

$$P_b < 2^{K-2} \left[1 - \left(1 - \frac{n}{2^{K+1}}\right)^{M-1} \right]^{nL} \left\{ 1 + \frac{(n-1)nL \left[1 - \left\{ 1 - \left(1 - \frac{n}{2^{K+1}}\right)^{M-1} \right\} \right]}{(2^{K+1}-1) \left[1 - \left(1 - \frac{n}{2^{K+1}}\right)^{M-1} \right]} \right\} \quad (25)$$

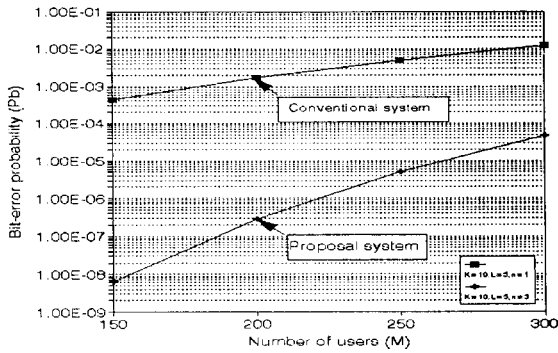
$$\text{여기서, } S_n = \frac{(n-1)nL(1-Pn)}{(2^{K+1}-1)P_n} \quad (26)$$

IV. 결과의 검토

앞장에서 유도한 각 오류식을 이용하여 수치계산한 오류성능을 사용자 수(M), 톤의 길이(L), 비트 수(K), 사용자 데이터율(R), 대역폭(W), 칩당 주파수 수(n), 사용자 비율에 따른 대역폭(r) 등을 함수로 하여 [그림 4] ~ [그림 10]에 나타내었다.

사용자 비율에 따른 대역폭은 (K, L) 조합에 의해 가능하며 주어진 오류에서 사용자 수는 칩당 전송된 주파수의 수에 달려 있다.

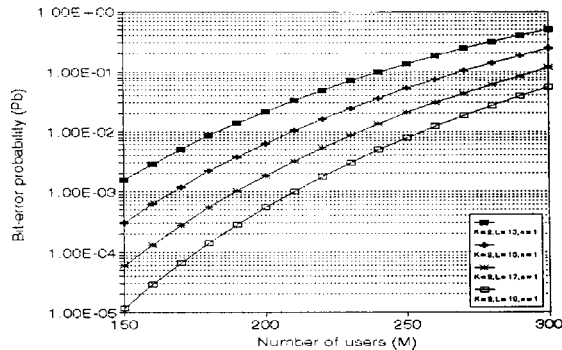
[그림 4]는 $K=12, L=2, n$ 은 관습적인 시스템



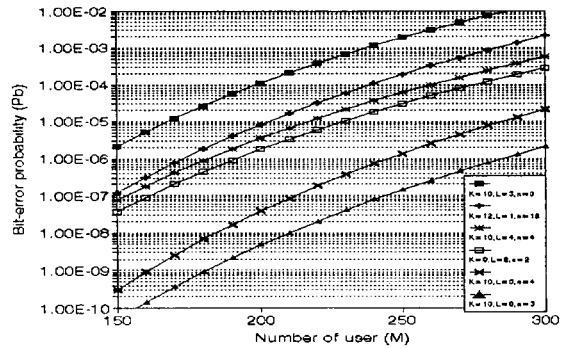
[그림 4] 사용자 수 변화에 대한 오율 특성 비교
 [Fig. 4] Comparison of error probability as functions of the number of users M for a system with $K=12$, $L=2$ and $n=1, 4$.

에서는 1로, 제안한 시스템에서는 4로 하여 사용자 수 M 에 대한 오율성능을 나타낸 것이다. 사용자가 300일 때 제안된 시스템의 오율성능이 1.3×10^2 배 개선됨을 알 수 있다.

[그림 5]와 [그림 6]은 M 변화에 따른 오율 특성을 나타낸 것으로 [그림 5]는 관습적인 시스템에서 K 값을 일정하게 하고 L 의 값을 변화시켰다. 톤의 구간을 늘릴 수록 오율 특성은 개선되고 사용자 수



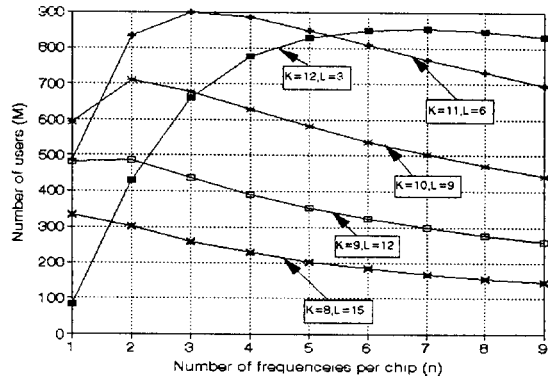
[그림 5] 관습적 시스템에 있어서 사용자 수 변화에 대한 오율 특성
 [Fig. 5] Error probability as functions of the number of users M in conventional system.



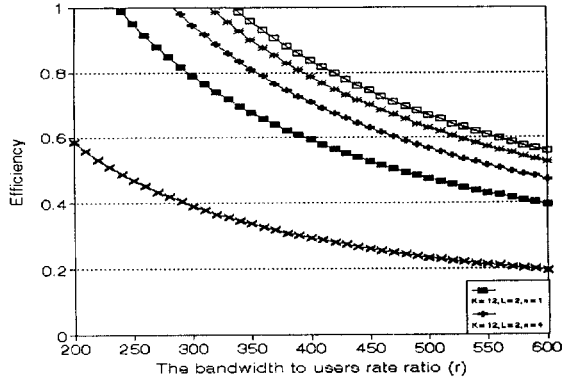
[그림 6] 제안 시스템에 있어서 사용자 수 변화에 대한 오율 특성
 [Fig. 6] Error probability as functions of the number of users M in proposal system.

250을 기준으로 할 때 톤의 길이가 13보다 19가 약 1.3×10 배 정도 오류가 개선된다.

[그림 6]은 제안된 시스템으로 r 을 626으로 하고 K, L, n 을 변화시켜 최적 조건을 구한 것이다. 이 최적 조건이 유용한 대역폭과 사용자의 데이터를 결정해 각톤의 구간을 정한다. 이 구간은 전송 왜곡에 많은 영향을 미치며 최적 조건은 (K, L, n) 값이 $(10, 6, 3)$ 일 때이다.



[그림 7] 시간 슬롯당 n 주파수의 전송 [$r=626$, $P_b=10^{-3}$]
 [Fig. 7] Transmission of n frequencies per time slot.



[그림 8] 사용자 비율에 따른 대역폭 변화에 대한 효율 [$P_b=10^{-3}$]

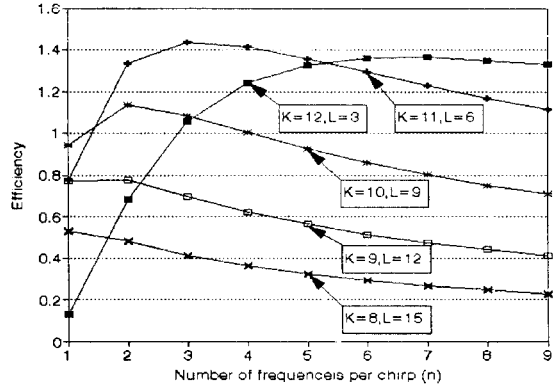
[Fig. 8] Efficiency as functions of the bandwidth to users rate ratio.

[그림 7]은 $r=626$, $P_b=10^{-3}$ 일 때 n 을 함수로 하여 M 의 변화를 나타낸 것이다. $n=1$ 일 때 $K=9$ 또는 $K=10$ 이 이상적인 선택이지만 전반적으로는 $K=8, 9, 10, 11, 12$ 순서로 좋은 성능을 가진 것을 보여준다.

사용자의 최대수는 ($K=10, L=9, n=1$)에서 450, ($K=11, L=6, n=3$)에서 900이 되어 약 50% 증가됨을 알 수 있다.

[그림 8]은 $P_b=10^{-3}$ 일 때 r 함수에 대한 시간 슬롯당 n 을 가진 확산 시스템의 효율을 나타낸 것으로 가장 효율이 좋은 최적의 조건은 (K, L, n)이 (9, 8, 2) 일 때이다. r 값이 최대 (600)이고 (K, L)이 (9, 8) 일 때 관습적인 시스템보다 20% 효율이 증진함을 알 수 있다.

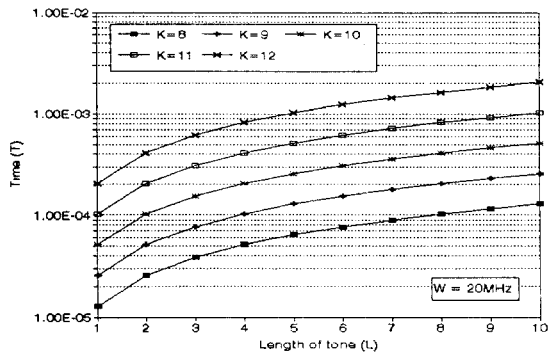
[그림 9]는 $P_b=10^{-3}$, $r=626$ 일 때 n 함수에 대한 확산 시스템의 효율을 나타낸 것이다. $n=1$ 일 때 최대 효율은 1, $n=3$ 일 때 최대 효율은 1.4가 되어 약 40% 증가함을 알 수 있으며 n 이 증가할수록 효율이 제일 좋은 최적 조건은 (K, L)이 (12, 3)일 때이다.



[그림 9] 칩당 주파수 변화에 대한 효율 [$r=626, P_b=10^{-3}$]

[Fig. 9] Efficiency as a functions of the number of frequencies per chip.

[그림 10]은 $W=20$ [MHz], $r=626$ 일 때 L 의 함수 변화에 따른 T 를 나타낸다. K 의 값을 8에서 12로 변화시 L 의 값이 클수록 톤의 시간 T 는 길어진다. 따라서 K 가 9이고 $P_b=10^{-3}$ 이하에서 시스템을 사용할 때에는, L 의 값은 5이내가 최적 조건이 됨을 알 수 있다.



[그림 10] 톤 길이 변화에 대한 전송시간 [$W=20$ (MHz), $r=626$]

[Fig. 10] Transmission of the time as a functions of the length of tone.

V. 결 론

본 연구에서는 서브밴드 및 넉세그먼트 주파수대에서 어드레스 코드를 사용한 시스템을 제안하고 이에 대한 오율식을 유도하고 이를 이용하여 오율 특성을 알아보았다. 결과로부터 각톤의 구간을 늘릴수록 오율성능은 개선되고 사용자 수가 250을 기준으로 할 때 $L=13$ 보다 $L=19$ 인 경우, 약 1.3×10 배 정도 개선됨을 확인하였다. K, L, n 의 최적 조건을 구하여 유용한 대역폭과 사용자의 데이터율을 결정해 칩의 수를 결정하였다. 이때 최적 조건은 K, L, n 값이 (10, 6, 3) 일 때이고 칩의 수가 작을수록 오율성능이 개선됨을 알 수 있었다. 또한 사용자의 최대수는 ($K=10, L=9, n=1$) 보다 ($K=11, L=6, n=3$) 에서 약 50% 증가되고 확산 시스템의 가장 효율이 좋은 최적 조건은 K, L, n 값이 (9, 8, 2) 일 때로 관습적인 시스템보다 제안한 시스템의 효율이 20% 증가함을 확인하였다.

따라서, 시스템 효율은 시퀀스 길이와 톤 알파벳 크기를 늘리면 높아지고 칩의 수가 적을수록 오율성능이 개선됨을 알 수 있었다. 또한 시스템 주파수의 수를 증가시키므로서 각톤의 구간을 늘리면 시스템의 효율을 저하시키지 않으면서 다중 통로지연 분포의 취약성을 감소시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] A. J. Viterbi, "A processing satellite transponder for multipath access by low rate mobile user", *Dig. Satellite Commun. conf.*, montreal, P. Q., Canada, pp. 166-174, Oct. 23-25, 1978.
- [2] D. J. Goodman, P. S. Henry, and V. K. Prabhu, "Frequency hopped multilevel FSK for mobile radio", *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 59, no. 7, pp. 1257-1275, Sept. 1980.
- [3] G. Einarsson, "Address assignment for a time-frequency coded, spread spectrum system", *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 59, no. 7, pp. 1241-1255, Sept. 1980.
- [4] B. G. Haskell, "Computer simulation result on frequency hopped MFSK mobile radio-Noiseless case", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, pp. 125-132, Feb. 1981.
- [5] U. Timor, "Improved decoding scheme for frequency-Hopped multilevel FSK system", *Bell Syst. Tech. Jo*, vol. 59, no. 10, pp. 1839-1855, Dec. 1980.
- [6] T. J. Healy, "Coding and decoding for code division multiple access communication system", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, pp. 310-316, Apr. 1985.
- [7] P. S. Henry, "Spectrum efficiency of a frequency-Hopped-DPSK spread-spectrum mobile radio system", *IEEE Trans. Commun.*, vol. VT-28, no. 4, pp. 496-502, Apr. 1991.
- [8] G. Einarsson, "Coding for a multiple-access frequency-hopping system", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, no. 5, pp. 589-597, MAY. 1984.
- [9] O. Yue, "Frequency-Hopping, Multiple-Access, phase-shift-keying system performance in a Rayleigh fading Environment", *Bell syst. Tech. J.*, vol. 59, no. 6, pp. 861-879, Jul-Aug. 1980.
- [10] M. Schwartz, W. R. Bennett, and S. Stein, "Communication systems and techniques", New York ; MacGraw-Hill, pp. 398-403, 1966.

서브밴드 및 넌세그먼트 주파수대에서 어드레스 코딩을 사용한 FH/MFSK 시스템의 성능 분석

이 문 승



1969년 2월 : 한국항공대학교 통신공
학과 (공학사)

1984년 2월 : 숭실대학교 전자공학과
(공학석사)

1993년 8월 : 숭실대학교 전자공학과
(공학박사)

1969년 3월~1975년 2월 : 주식회사 대한항공 시스템부

1975년 3월~현재 : 인하공업전문대학 통신과 교수