

---

# 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템에서 주파수 도약 패턴에 따른 효율적인 충돌 방지 기법 제안

이문승\*

The Proposal of Efficient Hit Prevention Technique according to the Frequency Hopping Pattern in Orthogonal Multi-Carrier FH/CDMA System

Moon-Seung Lee\*

## 요 약

본 논문에서는 주파수 도약 시퀀스를 사용하는 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템을 구성해 보고 지연된 다른 사용자 신호들에 의한 충돌 발생 가능성을 고려해서 캐리어 슬롯 수를 사용자 접속 캐리어 슬롯 수에 따라 변화시켜 가면서 성능 저하에 큰 영향을 미치지 않는 최적의 사용자 접속 캐리어 슬롯 수를 찾아보았다. 아울러 시스템의 TCM과 Concatenated code 기법을 적용하여 BER 성능 개선 정도를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 평가하였다.

## ABSTRACT

In this paper, we composed orthogonal multi carrier FH/CDMA system using frequency hopping sequence. Considering hit possibilities by delayed other user's signals we searched the optimal number of user access carrier slots not to influence on performance deterioration with the variation of number of carrier slots according to the number of user access carrier slots. Also, we evaluated the BER performance improvement due to TCM and Concatenated coding technique by computer simulation.

## 키워드

FH-CDMA, BER, TCM, Concatenated code

## 1. 서 론

최근에 멀티미디어 무선 서비스가 이동 무선 채널에 대해 데이터의 고속 전송을 요구함에 따라 무선 통

신 시스템의 신호 품질과 스펙트럼 효율을 개선하기 위한 효율적인 부호화 기법과 변조방식 및 신호처리 기술의 개발이 활발하다<sup>[1],[2]</sup>. FH/CDMA (Frequency

---

\* 인하공업전문대학

접수일자 : 2002. 4. 8

Hopping/Code Division Multiple Access) 통신 방식은 변조된 신호의 반송파를 의사 잡음 계열의 도약 패턴에 따라 주파수 합성기를 제어하여 발생하고, 일정한 주기로 전환 함에 의해 스펙트럼을 광대역으로 확산하는 방식이다. 이로 인해 확산 이득이 얻어지고 간섭에 강한 특성을 갖게되며, 이 특성을 활용하면 정보의 비화성과 다중 접속의 유연성을 얻을 수 있게 되어 양호한 효율의 통신 시스템을 구축할 수 있게 된다<sup>[3]</sup>.

다중 경로 페이딩 환경에서 심볼간 간섭 (ISI : Inter-symbol Interference)을 줄이기 위해서는 심볼 주기가 채널의 지연 확산보다 더 커야 한다. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)에서 전체 채널은 많은 협대역의 병렬 부 채널들로 나누어 지게 된다. 따라서 심볼 주기는 증가하게 되고 다중 경로에 의한 심볼간 간섭은 줄어들게 된다. 그러므로 OFDM은 이동 무선 채널에서 다중 경로 페이딩을 극복하고, 고속전송을 위한 효과적인 방식으로 여러 분야에 응용되고있다<sup>[4],[5]</sup>.

한편, 이동 무선 채널에서 높은 비트 율로 동작하는 신호는 주파수 선택성 페이딩과 같은 다중 경로 전파에 의해 영향을 받기 때문에 오율 성능에 치명적인 영향을 준다. 따라서 오류 정정 부호나 다이버시티 같은 기법들이 주파수 선택성을 보상하기 위하여 사용되어야만 한다.

무선 통신에서는 전송 중에 발생하는 에러를 정정해야 하는 필요성 때문에 정보 비트에 잉여 비트를 추가하여 전력 효율을 증가시키는 에러 정정 부호(FEC : Forward Error Correction)를 사용한다. 이와 같이 정보 비트에 용장 비트를 추가하면 전력 효율을 향상시킬 수 있으나, 정보 신호 주기 동안 보다 많은 데이터를 전송해야 하므로 부호화하기 전보다 높은 레벨을 갖는 변조기를 사용하거나 전송 대역폭을 늘려야만 한다. 그러나 최근의 무선 통신 시스템은 한정된 주파수 자원에서 대역 효율을 높여 보다 많은 가입자를 수용해야 하기 때문에, 에러 정정하기 전 보다 더 높은 레벨을 갖는 변조 방식을 사용하여야 한다. 그러나 레벨이 높은 변조 방식을 사용하면 수신측에서 발생하는 오율을 일정한 값으로 유지하기 위해 보다 많은 신호 전력이 요구되는 이물 배반적인 현상이 나타난다<sup>[6][8]</sup>. 이에 대한 성능 개선책으로 다차 변조 방식과 컨벌루션 부호기가 결합된 TCM(Trellis Coded Modulation)

방식이 대두되고 있다.

이와 같은 통신 동향에 따라 본 논문에서는 열악한 무선 채널을 주파수 선택성 레일리 페이딩이 존재하는 통신로 환경으로 모델링하고, 주파수 호핑 패턴의 히트를 고려한 직교 멀티 캐리어 FH/CDMA 통신 방식의 BER 성능을 S/N 비와 캐리어 슬롯 수, 사용자 접속 캐리어 슬롯 수를 변수로 하여 평가하고 최적의 사용자 접속 캐리어 슬롯 수를 찾아보고자 한다. 또한 다양한 멀티미디어 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위한 방안으로 Concatenated FEC 부호화 기법과 TCM 기법을 채택하고, 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 성능 개선 정도를 평가하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 직교 멀티 캐리어 FH/CDMA 시스템의 성능을 해석하고, 3장에서는 TCM 기법을 살펴보고 4장에서는 Trellis code를 이용하는 직교 멀티 캐리어 FH/CDMA 시스템의 구조를 제안한다. 5장에서는 Concatenated code를 이용하는 직교 멀티 캐리어 FH/CDMA 시스템을 해석하고, 6장과 7장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하고 결론을 맺고자한다.

## II. 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템의 성능 해석

본 논문에서는 전파 지연 시간  $\tau$ 를 가지며 도플러 주파수  $f_d$ 로 주파수 시프트된 복합파 합성 모델과 진폭 변동이 레일리 분포를 따르는 주파수 선택성 레일리 페이딩 모델을 가정하고 해석한다.

### 1. 전파 지연에 의한 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템

사용자 모두가 캐리어를 송신하고 있을 경우 멀티 캐리어 복소 송신 신호는 다음과 같이 정의된다<sup>[9][12]</sup>.

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{K-1} R [C_{ki} e^{j2\pi f_k(t-iT_s)}] f(t-iT_s) \quad (1)$$

여기서  $f_k$ 는  $k$  번째 반송파 주파수로서

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_s} \quad (2)$$

되며,  $f_0$ 는 가장 낮은 반송파 주파수이고  $f(t)$ 는 펄

스 파형으로서 다음과 같은 값을 갖는다.

$$f(t) = \begin{cases} 1 & (0 \leq t \leq T_s) \\ 0 & (t < 0, t > T_s) \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $T_s$ 는 1 심볼 주기이다.

송신 신호  $s(t)$ 는 다중 경로 페이딩을 받고 부가성 백색 가우스 잡음(AWGN)에 의한 영향을 받게되므로 수신 신호  $r(t)$ 는 다음과 같이 나타내어진다<sup>[9][12]</sup>.

$$r(t) = \int_0^\infty s(t-\tau)h(\tau;t)d\tau + n(t) \quad (4)$$

여기서,  $h(\tau;t)$ 는 시간  $t$ 에서의 채널의 임펄스 응답이며,  $n(t)$ 는 협대역 가우스 잡음,  $\tau$ 는 경로의 전파 지연 시간을 나타낸다.

식 (1)에서  $|C_{ki}| = |C_{k(i-1)}| = 1$ 로 하면  $m$  번째 캐리어의  $i$  번째 시점에서의 복조 신호  $r_{mi}$ 를 이용한 수신 전력의 평균치  $E[r_{mi}^* r_{mi}]$ 는 다음 식과 같이 구해진다.

$$E[r_{mi}^* r_{mi}] = b_0 + \sigma_n^2 + \sigma_c^2 \quad (5)$$

여기서  $b_0$ 는 희망 신호 전력,  $\sigma_n^2$ 은 간섭 전력,  $\sigma_c^2$ 은 잡음 전력을 나타내는데, 희망 신호 전력은 다음 식과 같이 구해지며,  $p_l$ 은  $l$  번째 수신 경로를 통해 들어온 신호 전력을 나타낸다.

$$b_0 = \sum_{l=1}^L \left( \frac{T_s - \tau_l}{T_s} \right)^2 p_l \quad (6)$$

마찬가지로 간섭 전력도 다음 식과 같이 구해진다.

$$\sigma_n^2 = \sum_{l=1}^L \left( \frac{\tau_l}{T_s} \right)^2 p_l \left\{ \sum_{k=0}^{L-1} \text{sinc}^2 \left( \frac{\pi(k-m)\tau_l}{T_s} \right) - \frac{1}{2} \right\} \quad (7)$$

## 2. 도플러 주파수에 의한 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템

이 경우도 1 절과 동일한 방법으로 유도하면 되는데, 수신 전력의 평균치는 다음과 같이 구해진다<sup>[9][12]</sup>.

$$E[r_{mi}^* r_{mi}] = b_0 + \sigma_c^2 + \sigma_n^2 \quad (8)$$

$$b_0 = 1 + \frac{(\pi f_d T_s)^2}{6} \quad (9)$$

$$\sigma_c^2 = \sum_{k=0}^{L-1} \frac{(f_d T_s)^2}{2(k-m)^2} \quad (10)$$

## 3. 전파 지연과 도플러 주파수를 동시에 고려한 경우 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템

잡음 환경에서의 M-ary FSK 신호의 비트 오류율을 순시 신호 대 잡음비  $\gamma$ 로 나타내면 다음과 같다<sup>[13]</sup>.

$$P_{M\text{-ary FSK}} = \frac{1}{M} \exp\left(-\frac{\gamma}{2}\right) \quad (11)$$

다음으로 레일리 페이딩 통신로에서 순시 신호 대 잡음 비  $\gamma$ 에 대한 확률 밀도 함수는 다음과 같이 나타내진다<sup>[13]</sup>.

$$p(\gamma) = \frac{1}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\gamma}{\sigma^2}\right) \quad (12)$$

최종적으로 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 M-ary FSK 변조 방식을 적용하고, 전파 지연과 도플러 주파수를 동시에 고려한 직교 멀티 캐리어 시스템의 비트 오류 식은 다음과 같이 구해진다.

$$P_e = \int_0^\infty P_{M\text{-ary FSK}} \cdot p(\gamma) d\gamma = \frac{1}{M(1 + \frac{\sigma^2}{2})} \quad (13)$$

여기서  $\sigma^2$ 은 희망 신호 전력 대 비희망 신호 전력 비 (Desired to Undesired Signal Power Ratio)의 분산치로 다음 식과 같이 주어진다.

$$\sigma^2 = \left\{ \left( \frac{b_0}{\sigma_n^2} \right)^{-1} + \left( \frac{b_0}{\sigma_c^2} \right)^{-1} + \left( \frac{b_0}{\sigma_c^2} \right)^{-1} \right\}^{-1} \quad (14)$$

## 4. 주파수 호핑 패턴 비트의 영향

본 절에서는 주파수 호핑 패턴 비트의 영향을 고려하여 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 통신 방식의 비트 오류 식을 유도한다.

주파수 호핑 패턴으로는 다른 호핑 패턴과 히트(주파수 일치)하지 않는 패턴이 바람직하다. 호핑 패턴이 완전히 동기되어 있는 경우에는 다른 패턴과 주파수 히트하지 않지만, 비동기로 상호 간섭하는 경우에는 히트가 발생한다. 호핑 패턴의 1 주기 칩 수 및 주파수 슬롯 수가  $n$ 일 때 호핑 패턴의 히트 확률은 다음과 같이 주어진다<sup>[14]</sup>.

$$P_h = 1 - \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{u-1} \quad (15)$$

여기서  $u$ 는 캐리어 슬롯 수  $n$  중에서 사용되는 캐리어 슬롯 수이다.

본 논문에서는 1 칩 중에 다수 비트의 데이터가 포함된 느린 FH 방식을 고려하기 때문에 호핑 패턴이 히트한 경우의 칩 중의 데이터는 완전히 에러로 간주되어 오류 식은 다음과 같이 정의된다.

$$P_E = P_c + (P_h \times 0.5) \quad (16)$$

여기서  $P_c$ 는 식 (13)이며, 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 전파 지연과 도플러 주파수를 동시에 고려한 직교 멀티 캐리어 시스템의 비트 오류 식이다.

### III. TCM 기법

일반적으로 송신단에서 부호화 기술을 행하기 위해서는 변조단과 부호단이 동시에 존재해야 하는데, TCM 기법을 사용하면 단지 하나의 단으로 구성할 수 있다는 장점이 대두된다. 그리고 부호기를 사용하는 경우에는 부호율에 따라 전송해야 하는 비트의 개수가 증가하게 되는데, 만약 1/2의 부호율을 가지고 있는 경우에는 1 비트를 부호화시킬 때 2 비트를 전송해야 한다. 이와 같이 부호화를 행하면 안전한 전송을 행할 수 있지만, 이에 비해 그만큼 대역폭이 증가한다는 문제점이 발생한다<sup>[6]</sup>. 이때 Ungerboeck<sup>[14]</sup>가 제안한 집합 분할 TCM 기법을 사용하게 되면 대역폭을 증가시키지 않고도 성능 개선을 도모할 수 있기 때문에, 본 논문에서는 이 기법을 채택한다. 그림 1은 대표적인 TCM 구조를 나타낸다.

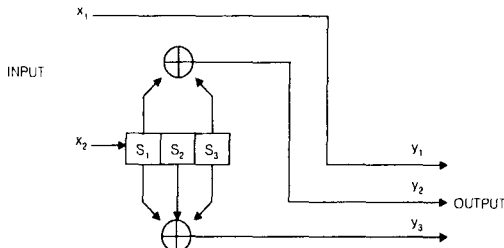


그림 1. TCM 구조  
Fig. 1 Scheme of TCM.

그림에서  $k-1$  개의 비트가 입력되면 가장 낮은 차수의 비트만이 부호화되고, 나머지  $k-2$ 개의 비트는 부호화되지 않는 상태로 입력된다.  $k-1$ 이 2 비트이면 컨벌루션 부호기를 거친  $y_2$ 와  $y_3$  비트는 그레이 부호의 매핑(mapping) 방법에 따라 다음과 같은 4개의 위상을 가질 수 있다.

$$\begin{aligned} 00 &\rightarrow 0 \text{ [rad]} \\ 01 &\rightarrow \pi/2^{k-2} \text{ [rad]} \end{aligned}$$

$$10 \rightarrow 2\pi/2^{k-2} \text{ [rad]}$$

$$11 \rightarrow 3\pi/2^{k-2} \text{ [rad]}$$

나머지 부호화되지 않은 비트는 적절한 배치를 통해 유클리디안(Euclidean) 거리가 최대가 되도록 매핑된다.

### IV. Trellis code를 이용한 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템

본 논문에서 제안하는 Trellis coded 직교 멀티 캐리어 FH/CDMA 통신 시스템 구조는 그림 2와 같다.

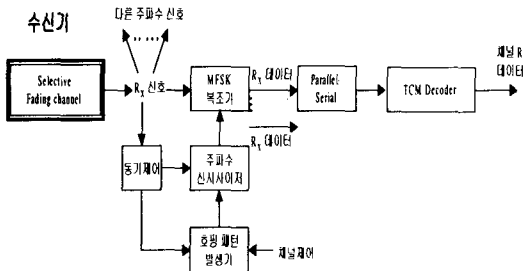
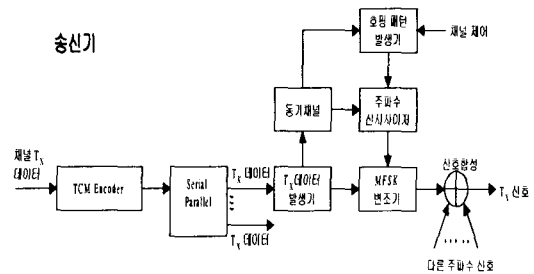


그림 2. 제안된 Trellis coded 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템 구조  
Fig 2. Scheme of the proposal Trellis coded orthogonal MC/FH-CDMA system.

송신 데이터는 부호율이 1/2인 TCM 부호기를 거쳐 부호화된 후, 사용 캐리어 수  $n$ 의 가지로 직렬/병렬 변환되며, 1 가지에 대해 1 캐리어 주파수가 사용된다. 캐리어 주파수는 주파수 호핑 패턴 발생기에 따라 주파수 합성기에서 생성되며, 각 송신 데이터를 변조한다. 이 때 클럭 타이밍과 주파수 등은 동기 제어부에

의해 완전히 제어되어 인접 주파수와는 직교 상태를 유지하도록 한다. 변조 방식으로는 주파수 이용 효율을 향상시키기 위해 M-ary FSK 변조 방식을 사용하고, 확산 부호의 칩율을 데이터율보다 낮게 하는 느린 FH 방식으로 주파수 호핑한다.

이동국의 수신기는 한 채널의 캐리어 수만큼의 복조기 세트를 가져야 한다. 수신 신호는 한 채널의 캐리어 수만큼의 가지로 분리되고, 그 한 가지가 호핑 패턴 발생기에 따라 주파수 합성기에서 생성한 캐리어로 복조된다. 변조의 경우와 마찬가지로 타 주파수 수신부와 연휴하여 완전히 동기 제어된다. 그 후 각각의 주파수 수신 데이터를 합성하여 희망 채널의 데이터를 구성한다.

최종적으로 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 전파 지연, 도플러 주파수, 그리고 주파수 호핑 패턴의 히트를 고려한 Trellis coded 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 통신 방식의 BER 성능은 다음과 같다.

$$P_e = \int_0^{\infty} P_{M\text{-aryFSK}} \cdot p(r) dr = \frac{1}{ACG \cdot M(1 + \frac{\sigma^2}{2})} \quad (17)$$

식 (17)에서 ACG (Asymptotic Coding Gain) 와  $\sigma^2$ 는 다음과 식과 같다.

$$ACG \leq 10 \log_{10} \left[ \frac{\sin^2(4\pi/M)}{\sin^2(2\pi/M)} \right] \quad (18)$$

$$= 10 \log_{10} [4 \cos^2(2\pi/M)] \quad M \geq 8$$

$$\sigma^2 = \left\{ \left( \frac{b_0}{\sigma_n} \right)^{-1} + \left( \frac{b_0}{\sigma_f} \right)^{-1} + \left( \frac{b_0}{\sigma_c} \right)^{-1} \right\}^{-1}$$

### V. Concatenated Code를 이용한 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템

Concatenated FEC 부호 적용시 비터비 복호기 (Viterbi decoder)에서 복호 (decoding) 에러가 발생하면 부호어 결과는 연관된 격자 가지 (Trellis branch)로 인해 송신된 부호어와 다르게 나타난다. 결과적으로 비터비 복호기에 입력된 부호가 랜덤 잡음에 의해 에러로 발생할지라도 복호기의 출력 부호는 버스트성 에러로 나타나는 경향이 있다. 따라서 본래 버스트성 에러 정정 능력을 갖춘 RS (Reed-Solomon) 부호가 비터비 복호기 출력에서 나온 버스트성 에러를 처리하기 위해 외부호로 사용된다.

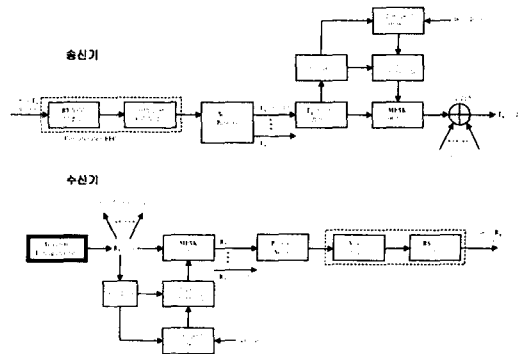


그림 3. 제안된 Concatenated FEC coded 직교 멀티캐리어 FH-CDMA 시스템 구조

Fig.3 Scheme of the proposed Concatenated FEC coded orthogonal MC/FH-CDMA system.

컨벌루션 내부호와 RS 외부호를 갖춘 Concatenated FEC 부호는 멀티미디어 서비스를 위해 제안되었으며, 특히 디지털 셀룰러 시스템의 산업 표준인 부호율 1/2, 구속장(constraint length) 7인 컨벌루션 부호가 내부호로 사용된다. Concatenated FEC 부호의 내부호로 사용되는 컨벌루션 부호의 개략적인 특징은 다음과 같다. 비터비 복호(Viterbi decoding)를 갖춘 컨벌루션 부호의 성능은 유니온 바운드(union bound) 기법의 상한(upper bound)에 의해 결정된다. 정확한 부호어와 비교되는 모든 부정확한 부호어 에러 확률의 합에 의해 에러 확률 상한이 결정된다. 가우스 잡음 통신로에서 비터비 복호기 출력단에서의 직교 신호 비트 오류의 상한식은 다음과 같다[15].

$$P_e \leq \frac{1}{2} (36D^{10} + 211D^{12} + 1404D^{14} + \dots) \quad (19)$$

여기서 D는 Bhattachayya의 상한 식이므로 다음과 같으며, M은 ary의 수를 나타낸다.

$$D = 2\sqrt{\frac{P_E(1-P_E)}{M-1}} + \left[ \frac{M-2}{M-1} \right] P_E \quad (20)$$

여기서,  $P_E$ 는 주파수 호핑 패턴 비트의 영향을 고려한 직교 멀티캐리어 FH-CDMA 방식의 데이터 비트 오류 식(16)과 같다.

비터비 복호를 갖춘 컨벌루션 부호만으로는 무선 멀티미디어 서비스 망에서 요구하는 성능 이득을 충분히 제공하지 못하기 때문에 요구되는  $E_b/N_0$ 을 더욱 더 감소시키기 위해 Concatenated FEC 부호에서는 외부호로 RS 부호를 사용한다.

RS 부호는 정보 심볼 k와 검사 심볼 n-k의 비이진 n 심볼로 구성된다. 2t 검사 심볼을 갖춘 RS 부호는 t 개의 심볼 에러를 정정할 수 있다.

RS 블록 복호기의 출력에서의 심볼 오류식은 다음과 같다<sup>[15]</sup>.

$$P_{sym-RS} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} \binom{n}{i,j} \cdot P^i \cdot (1-P)^{n-i-j} \quad (21)$$

단, P ; RS 부호 통신로 심볼 오류,

$$\binom{n}{i,j} = \frac{n!}{i! \cdot j! \cdot (n-i-j)!}$$

RS 블록 복호기의 출력에서의 비트 오류식은 심볼 오류식으로부터 다음과 같이 구해진다.

$$P_{b-RS} = \frac{P_{sym-RS}}{2} \quad (22)$$

Concatenated FEC 부호에서는 비터비 복호기 출력의 데이터 계열이 RS 복호기의 입력으로 전송된다. 즉, 비터비 복호기에서 정정된 데이터가 RS 복호기에서 다시 정정된다.

### W. 모의 실험 및 결과

본 논문에서 쓰인 각종 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 파라미터  
Table 1. Parameters

파라미터	이용값
도플러 주파수	$f_d=40$ [Hz]
두 경로의 전파 지연 시간	$\tau_1 = 5$ [ $\mu$ sec]
RS 부호의 에러 정정 능력	$t=8$
컨볼루션부호의 부호율 및 구속장	$R=1/2$ , 구속장=7
TCM 부호율	$R=1/2$
캐리어 슬롯 수	$n=1000, 2000, 4000$
1 캐리어 당 전송 속도	$20/n$ (Mbit/s)
변조 방식	8FSK, 16FSK

그림 4는 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 히트를 고려한 경우, 캐리어 슬롯 수와 S/N 비에 따른 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 통신 시스템의 BER 특성을 나타낸다. 그림에서 캐리어 슬롯 수가 증가하면

심볼 시간에 대해 지연 시간차가 적게되기 때문에 오류 특성이 개선됨을 알 수 있다. 그리고 호핑 패턴의 히트 때문에 error floor가 큰 에러가 발생하고, 이 때문에 사용 캐리어 수를 많게 할 수 없어 직교화의 효과가 낮아짐을 알 수 있다.

그림 5와 6은 위와 동일한 통신로 환경에서 캐리어 슬롯 수 n을 각각 2000, 4000으로 고정한 경우, S/N 비에 따른 Trellis coded 직교 멀티캐리어 FH-CDMA 통신 시스템의 BER 특성을 나타낸 것으로 TCM 기법을 적용함에 의해 BER 성능이 약  $5 \times 10^{-2}$  정도 개선됨을 알 수 있고, M-ary 수가 증가할수록 TCM의 효과가 조금 더 나타남을 알 수 있다.

그림 7은 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 Concatenated FEC 부호화 기법 적용시 히트를 고려한 직교 멀티캐리어 FH-CDMA 시스템의 S/N비에 따른 BER 특성을 나타낸 그림이다. 그림으로부터 Concatenated FEC 부호화 기법을 적용함에 의해 약 17[dB] 정도의 SN 값으로 영상 서비스 QoS 조건 ( $BER = 10^{-9}$ )을 충분히 만족시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 8은 히트를 허용한 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 S/N 비를 각각 10, 20[dB], 그리고 캐리어 슬롯 수 n을 각각 1000, 2000, 4000으로 고정한 경우, 사용자 접속 캐리어 슬롯 수 u에 따른 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 통신 시스템의 BER 특성을 나타낸 것으로 사용자 접속 캐리어 슬롯 수가 많을수록 오류 성능이 현격히 나빠짐을 알 수 있으며, 또한 접속 캐리어 슬롯 수가 500 이하일 때 S/N 비 증가 효과가 크게 나타남을 알 수 있다.

그림 9는 위와 동일한 통신로 환경에서 S/N 비를 각각 10, 20 [dB], 그리고 캐리어 슬롯 수 n을 4000으로 고정한 경우, 사용자 접속 캐리어 슬롯 수 u에 따른 Trellis Coded 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 통신 시스템의 BER 특성을 나타낸 것으로 TCM 기법을 적용함에 의해 BER 성능이 약  $5 \times 10^{-2}$  정도 개선됨을 알 수 있다. 그리고 음성 QoS 조건( $BER = 10^{-3}$ )을 만족시키기 위해서는 더욱 더 큰 S/N 비가 요구됨을 알 수 있다.

그림 10은 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서 Concatenated FEC 부호화 기법 적용시 히트를 고려한 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템의 접속 캐리어 수 대 BER 특성을 나타낸 그림이다. Concatenated

FEC 부호화 기법을 적용한 경우 데이터 서비스를 지원받기 위해서는 접속 캐리어 슬롯 수가 약 700( $n$ 이 4000인 경우), 350( $n$ 이 2000인 경우), 180( $n$ 이 1000인 경우) 이하이어야 됨을 알 수 있다. 즉 컨벌루션 부호화 기법을 적용한 경우보다 접속 캐리어 슬롯 수면에서 약 550( $n$ 이 4000인 경우), 260( $n$ 이 2000인 경우), 100( $n$ 이 1000인 경우) 정도의 개선 효과가 얻어짐을 알 수 있다.

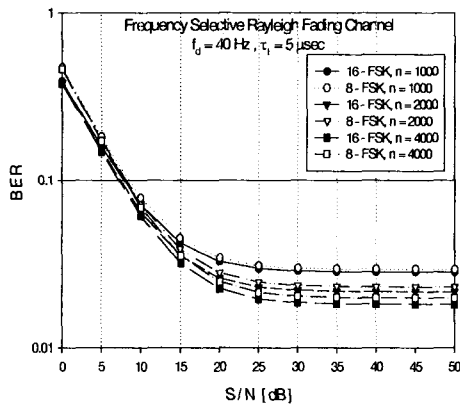


그림 4. 캐리어 슬롯 수와 S/N 비에 따른 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템의 BER 특성 (히트)  
Fig. 4 BER performance for carrier slot number and S/N ratio in orthogonal multi-carrier FH/CDMA system. (hit)

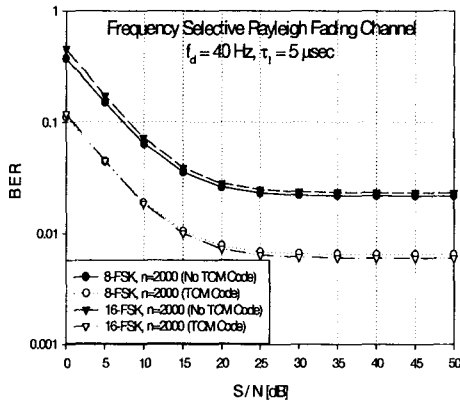


그림 5. S/N 비에 따른 Trellis coded 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템의 BER 특성 ( $n=2000$ , 히트)  
Fig. 5 BER performance for S/N ratio in Trellis coded orthogonal multi-carrier FH/CDMA system. ( $n=2000$ , hit)

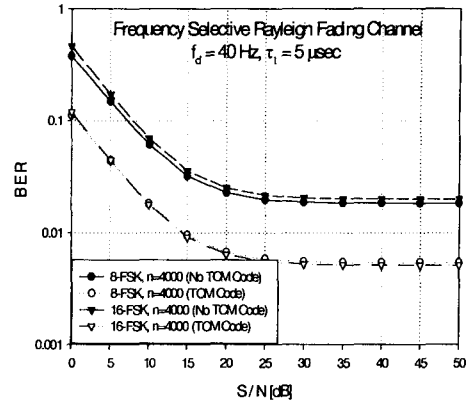


그림 6. S/N 비에 따른 Trellis coded 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템의 BER 특성 ( $n=4000$ , 히트)  
Fig. 6 BER performance for S/N ratio in Trellis coded orthogonal multi-carrier FH/CDMA system. ( $n=4000$ , hit)

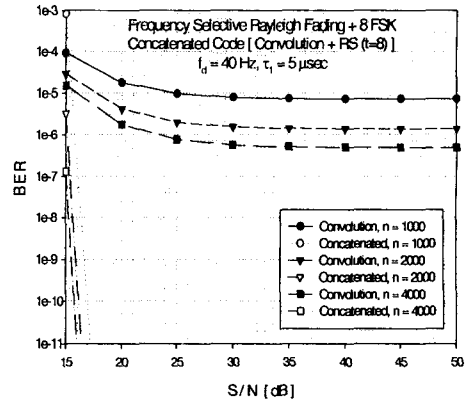


그림 7. S/N 비에 따른 Concatenated FEC coded 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템의 BER 특성 ( $n=1000, 2000, 4000$  히트)  
Fig. 7 BER performance for S/N ratio in Concatenated FEC coded orthogonal multi-carrier FH/CDMA system ( $n=1000, 2000, 4000$  hit)

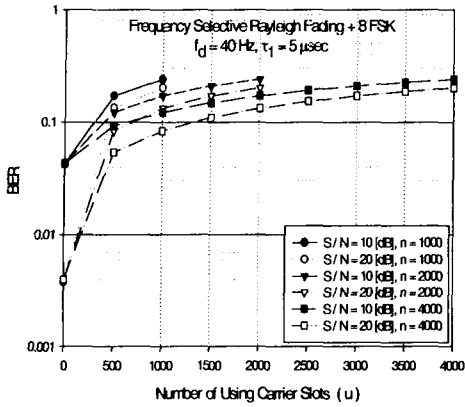


그림 8. 사용자 접속 캐리어 슬롯 수  $u$ 에 따른 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템의 BER 특성 (히트)  
 Fig. 8 BER performance for user access carrier slot number  $u$  in orthogonal multi-carrier FH/CDMA system. (hit)

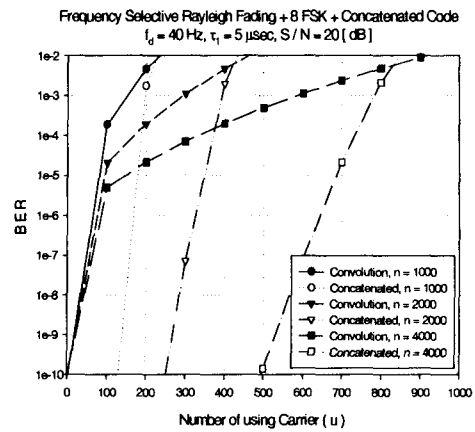


그림 10. 사용자 접속 캐리어 슬롯 수  $u$ 에 따른 Concatenated FEC coded 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템의 BER 특성 (히트)  
 Fig. 10 BER performance for user access carrier slot number  $u$  in Concatenated FEC coded orthogonal multi-carrier FH/CDMA system. (hit)

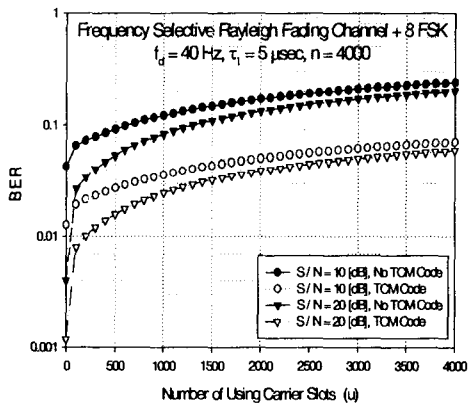


그림 9. 사용자 접속 캐리어 슬롯 수  $u$ 에 따른 Trellis coded 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 시스템의 BER 특성 (히트)  
 Fig. 9 BER performance for user access carrier slot number  $u$  in Trellis coded orthogonal multi-carrier FH/CDMA system. (hit)

## VI. 결론

본 논문에서는 열악한 무선 채널을 주파수 선택성 레일리 페이딩이 존재하는 통신로 환경으로 모델링하고, 주파수 호핑 패턴의 히트를 고려한 직교 멀티캐리어 FH/CDMA 통신 방식의 BER 성능을 S/N 비와 캐리어 슬롯 수를 변수로 하여 평가하였다. 또한 다양한 멀티미디어 QoS 서비스를 지원하기 위한 성능 개선책으로 TCM 기법과 Concatenated FEC 부호화 기법을 채택하여 성능 개선을 도모하였다.

성능 해석 결과, 캐리어 슬롯 수가 증가하면 심볼 시간에 대해 지연 시간차가 적어지기 때문에 오류 특성이 개선됨을 알 수 있었으며 호핑 패턴의 히트 때문에 큰 에러가 발생하고, 이 때문에 사용 캐리어 수를 많이 할 수 없어 직교화의 효과가 낮아짐을 알 수 있었다. 한편, TCM 기법을 적용하면 BER 성능이 약  $5 \times 10^{-2}$  정도 개선됨을 알 수 있었고, M-ary 수가 증가할수록 TCM의 효과가 조금 더 나타남을 알 수 있었다. 또한 음성 QoS 조건 ( $BER = 10^{-3}$ )을 만족시키기 위해서는 더욱 더 큰 S/N 비가 요구됨을 알 수 있었다. 아울러 Concatenated FEC 부호화 기법을 적



용함에 의해 약 17 [dB] 정도의 SN 값으로 영상 서비스 QoS 조건 ( $BER = 10^{-9}$ )을 충분히 만족시킬 수 있음을 알 수 있었고 Concatenated FEC 부호화 기법을 적용하여 데이터 서비스를 지원받기 위해서는 접속 캐리어 슬롯 수가 약 700( $n$ 이 4000인 경우), 350( $n$ 이 2000인 경우), 180( $n$ 이 1000인 경우) 이하이어야 됨을 알 수 있었다. 즉 컨벌루션 부호화 기법을 적용한 경우보다 접속 캐리어 슬롯 수면에서 약 550( $n$ 이 4000인 경우), 260( $n$ 이 2000인 경우), 100( $n$ 이 1000인 경우) 정도의 개선 효과가 얻어짐을 알 수 있었다.

본 연구는 2001년도 인하공업전문대학 교내 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다. 관계자 여러분에게 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] L. J. Cimini, Jr., J. C-I. Chuang, and N. R. Sollenberger, "Advanced cellular internet service(ACIS)." *IEEE Commun. Mag.*, vol. 36, no. 10, pp. 150-159, Oct. 1998.
- [2] A. F. Naguib, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Increasing data rate over wireless channels," *IEEE Signal Processing Mag.* vol. 17, issue. 3, pp. 76-92, May 2000.
- [3] M. Ohkawa, R. Kohno, and H. Imai, "Orthogonal multi-carrier FH-CDMA schemes for frequency selective fading," *電子情報通信學會論文誌 B-II*, vol. J77-B-II, no. 11, pp. 691-702, Nov. 1994.
- [4] L. J. Cimini, Jr., B. Daneshrad, and N. R. Sollenberger, "Clustered OFDM with transmitter diversity and coding," in *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp. 703-707, 1996.
- [5] V. Mignone and A. Morello, "CD-3OFDM: a novel demodulation scheme for fixed and mobile receives," *IEEE Trans. Commun.*, vol.44, pp. 1144-1151, Sep. 1996.
- [6] Paul. Ho, and D. K. P. Furg, "Error performance of interleaved trellis-coded PSK modulations in correlated Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40, pp. 1800-1809, Dec. 1992.
- [7] M.K Simon and D. Divsalar, "Combined trellis coding with asymmetric MPSK modulation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-35, pp. 130-141, Feb. 1987.
- [8] L.F. Wei, "Trellis-coded modulation with multidimensional constellations," *IEEE Trans. on Inform. Theory.*, vol. IT-33, pp. 483-501, July 1987.
- [9] M. Okada, S. Hara, and N. Morinaga, "Bit error rate performance of orthogonal multicarrier modulation radio transmission systems," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, no. 2, pp. 113-119, Feb. 1993.
- [10] M. Okada, S. Hara, and N. Morinaga, "Bit error rate performance of orthogonal multicarrier modulation radio transmission systems," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, no. 2, pp. 113-119, Feb. 1993.
- [11] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission : An idea whose time has come," *IEEE Commun., Mag.*, vol. 28, no. 5, pp. 5-14, May 1990.
- [12] S. B. Weinstein and P. M. Ebert, "Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete fourier transform," *IEEE Trans. on Comm., Tech.*, vol. COM-19, no. 5, pp. 628-634, Oct. 1971.
- [13] B. Sklar, *Digital Communications*, Prentice-Hall, ch. 5, 1988.
- [14] Gottfried Ungerboeck, "Channel coding with multilevel/phase signals," *IEEE Trans. on Inform. Theory.*, vol. IT-28, no. 1, Jan. 1982.
- [15] A. J. Viterbi, "Convolutional codes and their performance in communication systems," *IEEE Trans. Comm., Technical.*, vol. COM-19, pp. 751-772, Oct. 1971.

## 저 자 소 개



이문승(Moon-Seung Lee)

한국항공대학교 통신공학과 공  
학사

송실대학교 전자공학과 공학석사

송실대학교 전자공학과 공학박사

1975년 3월~1996년 2월 일본

Keio 대학 방문 교수

1997년 7월~1998년 2월 미국

CSLA 대학 방문 교수

1975년 3월~현재 인하공업전문대학 정보통신과 교수

※관심분야 : 이동 통신, 무선 통신, 부호이론