고속 무선랜 시스템에서 콘볼루션 부호기 및 터보 부호기를 이용한 성능 비교

서완우* · 정연호** · 하덕호**

Performance Comparison of Convolutional Coder and Turbo Coder in a High-Speed Wireless LAN System

Wan-woo Seo* · Yeon-ho Chung** · Deock-ho Ha**

요 약

무선랜 기술은 소규모 공간에서 적은 비용과 낮은 전력으로 고속 데이터 전송을 가능하게 한다. 고속 무선랜 관련 표준안인 IEEE 802.11a 및 ETSI HIPERLAN(High Performance Radio LAN) 규격은 5 GHz대의 무선주파수를 사용하며 고속 데이터 전송에 적합하고 주파수 효율이 높은 OFDM 방식을 채택하고 있다. 본 논문에서는 SPW 시뮬레이션 플랫포옴을 이용하여 유럽의 무선랜 표준 방식인 HIPERLAN/2를 구현하여 표준안에 포함된 구속장의 길이가 7인 콘볼루션 부호기를 이용한 성능과 콘볼루션 부호기 대신에 샤논 한계에 근접하는 우수한 성능을 가진 코드율이 1/2, 1/3, 1/4인 터보 부호기를 적용하여, 다양한 데이터율을 가지는 HIPERLAN/2 무선랜 시스템의 성능을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과에 의하면 데이터율이 12 Mbps에서는 터보 코드율이 1/3, 1/4 일 때 콘볼루션 부호기보다 약 3 dB 이상의 우수한 성능 개선을 보였고, 데이터율이 36 Mbps 에서는 코드율이 1/4 일 때 기존의 콘볼루션 부호기보다 약 4 dB 이상 성능이 더 개선됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT

WLAN technologies enable high-speed data transmission in a small space with relatively low cost and power. There are two main standardizations regarding WLAN; namely, IEEE802.11a and ETSI BRAN. Two standards use a radio frequency of 5 GHz band and employs OFDM as a transmission mode. OFDM is known to provide high-frequency efficiency as well as high-speed data transmission. In this paper, We use SPW simulation tool and implement the HIPERLAN/2 system. Based on the HIPERLAN/2 system in the SPW platform, the system performance is analyzed and compared with turbo codes in place of a convolutional coder of the HIPERLAN/2 WLAN system. The simulation results show that the performance with the turbo codes (rate 1/3 and 1/4) at a data rate of 12 Mbps shows 3 dB gain over the system with the convolutional codes. At a data rate of 36 Mbps, the performance with the turbo codes is further improved by approximately 4 dB.

키워드

무선랜, HIPERLAN/2, OFDM, Turbo code

Ⅰ. 서 론

무선랜 시스템은 무선주파수 기술을 이용하여 이더넷 혹은 토큰링과 같은 기존 랜기술의 모든 이점과 기능을 그대로 제공한다. 무선랜은 현재

* 부경대학교 정보통신공학과 석사과정
** 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
접수일자 : 2003. 10. 16

멀티미디어 데이터 서비스에 요구되고 있는 광대역의 고용량 전송 속도를 제공함과 동시에 셀룰러 이동통신 시스템과 연동하여 다양한 형태의 서비스 제공이 가능하게 해준다. 현재 이용되고 있는 무선랜 기술들은 2.4 GHz 대의 ISM 밴드에서 구현되고 있다[1]. 예를 들어 최대 2 Mbps까지 전송할 수 있는 IEEE 802.11[2] 그리고 기존 변·복조 기술을 일부 변경하여 전송속도를 11 Mbps까지 고속화한 IEEE 802.11b가 있다. 하지만 기존의 IEEE 802.11규격의 무선랜 제품은 낮은 전송 속도를 내는 것이 대부분이어서 인터넷과 멀티미디어 서비스 요구를 수용하는 데는 한계가 있었다. 이에 1999년 9월 고속 무선랜의 표준안으로 5 GHz대역에서 6~54 Mbps의 전송 속도를 갖는 OFDM방식의 IEEE 802.11a가 최종 확정되었다[3]. 유럽에서는 ETSI BRAN[4]의 HIPERLAN 규격을 제안하였고, 일본에서는 MMAC(Multimedia Mobile Access Communications)[5] 규격이 제안되어 있다. HIPERLAN은 IMT-2000망, ATM망, IP망 등 이동통신과 유선 광대역망의 접속이 가능한 고속 무선 전송시스템이라는 점에서 이동통신과 무선랜을 통합한 새로운 서비스를 창출할 수 있는 기술로 주목받고 있다. 터보 부호는 최근 4세대 OFDM 멀티미디어 시스템 설계 혹은 3세대 시스템의 진화 과정에서 적응변조 및 부호(Adaptive modulation and coding)와 함께 고려되고 있는 핵심 부호 기술이다[6].

본 논문에서는 유럽방식의 HIPERLAN/2 고속 무선랜 시스템에서 콘볼루션 부호기 대신 샤논 한계에 근접하는 오류 정정 능력을 가진 부호기인 터보 부호기를 적용하여 성능 개선 효과에 대해 비교 및 분석하고자 한다. 이를 위해 HIPERLAN/2 시스템의 규격에 따라 SPW(Signal Processing Worksystem) 시뮬레이션 플랫포옴[7]을 이용하여 구현하였으며 콘볼루션 부호기와 다양한 코드율을 가지는 터보 부호기를 이용하여 HIPERLAN/2 시스템의 성능변화를 관찰하였다. 2장에서는 HIPERLAN/2 시스템 및 터보 부호기에 대해 설명하고 3장에서는 시뮬레이션 환경 및 결과를 그리고 4장에서는 결론을 도출한다.

II. HIPERLAN/2 시스템 및 터보 부호기

HIPERLAN/2 시스템의 송신부는 그림 1과 같다.

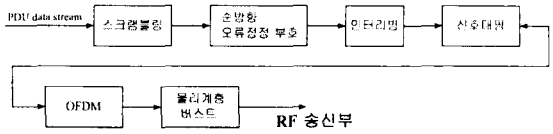

그림 1. 시스템 참조 모델
Fig. 1 System reference model

그림 1에서 전송을 위해 PDU(Protocol Data Unit)에서 데이터가 들어온다. 이 데이터는 연속적인 '1' 혹은 '0'을 피하기 위하여 스크램블러에 입력되며 입력된 데이터는 길이 127의 스크램블러에 의해 스크램블 되며, 이에 사용되는 생성다항식은 식 (1)과 같다.

$$S(x) = X^7 + X^4 + 1 \tag{1}$$

스크램블된 데이터는 채널 인코더로 입력되는데 코드종류, 부호화 및 코드율에 독립적인 첫 번째 펑처링(P1), 그리고 코드율에 따른 두 번째 펑처링(P2)의 4단계의 연속적인 연산으로 이루어진다. HIPERLAN/2에서 사용하는 콘볼루션 부호기는 그림 2와 같이 코드율이 1/2이고 구속장의 길이가 7이다.

스크램블 되지 않은 6비트의 '0'이 입력되고 이는 콘볼루션 부호기의 상태를 "0 상태"로 되돌려 준다. 입력 비트들은 64개의 상태를 가지며 1/2비율의 코드로 부호화된다.

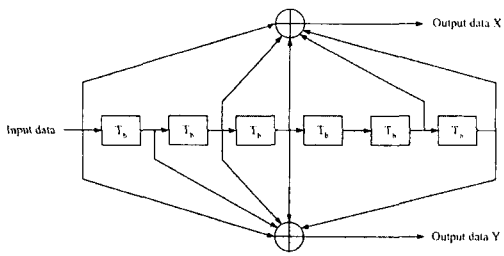

그림 2. 콘볼루션 부호기
Fig. 2 Convolutional coder

부호화 과정이 끝난 데이터 비트는 군집에러를 방지하기 위해 블록 인터리버에 의해 인터리빙 된다. 이때, 인터리버 블록의 크기는 OFDM 심볼의 비트 숫자에 따라 결정된다.

표 1. OFDM 파라미터
Table. 1 OFDM parameters

파라미터	값
표본화율 f_s=1/T	20 MHz
사용 심볼 지속시간 T_U	64 × T 3.2 μs
보호구간 지속시간 T_{CP}	16 × T 0.8 μs
전체 심볼 지속시간 T_S	80 × T 4.0 μs
데이터 부반송파 갯수 N_{SD}	48
파일럿 부반송파 갯수 N_{SP}	4
전체 부반송파 갯수 N_{ST}	52 (N_{SD}+ N_{SP})
부반송파 간격	0.3125 MHz ($1/T_U$)
전체 대역폭	16.25 MHz (N_{ST}+Δf)

인터리빙이 끝난 데이터는 다음 과정으로 물리계층의 전송 모드에 따라 그레이 코딩방식을 이용하여 BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM으로 변조된다. 이렇게 해서 나온 데이터 비트의 복소수 값인 48개의 심볼과 4개의 파일럿 심볼이 합쳐진 52개의 부반송파 심볼들이 하나의 OFDM 심볼을 만들게 된다. HIPERLAN/2에서 사용되는 OFDM 변조의 각 파라미터 값들은 표 1과 같다.

HIPERLAN/2의 물리계층은 고속 전송을 위하여 OFDM 방식을 사용한다. OFDM 방식은 고속 무선전송에서 지연 확산에 의해 발생하는 심볼간의 간섭(Intersymbol interference) 및 반송파간의 간섭(Intercarrier interference)을 방지하기 위해 OFDM 심볼 간에 보호구간(TCP)이 삽입된다. 이 보호구간은 순환 전치 방법을 이용하여 한 OFDM 심볼의 마지막 TCP 시간에 해당되는 부분을 해당 심볼의 앞부분에 복사하여 사용한다. 따라서 보호구간은 TCP 보다 작은 채널 환경의 지연 확산에 대해 심볼간의 간섭을 효과적으로 제거하게 된다.

OFDM 수신부는 송신부와 반대로 동작한다. 수신단에서는 이득조절, 시간 및 주파수 동기화 그리고 채널 추정이 필요하다. 이러한 기능을 위해 훈련열(Training sequence)이 제공된다. 2개의 OFDM 심볼이 채널 추정 역할을 위해 프리엠블로 제공되고 있다. 프리엠블에서 얻어지는 정보는 채널 추정을 용이하게 해주는 채널 상태 정보(Channel state information)가 된다. 이 채널 추정 프리엠블은 두개의 심볼의 보호구간에 해당하는 1.6 μs에 걸쳐 구성된다. 두개의 OFDM 심볼에 대해 채널 추정의 평균값을 이용하여 채널 보정 및 잡음의 영향도 제거할 수 있다. 그리고 수신기에서 콘볼루션 부호기에 대한 복호 과정은 연판정(Soft decision) 비터비(Viterbi) 복호기를 사용하며, 이 방법은 부호기에 의해서 보내진 데이터 열에 대한 최적의 최대 가능성 비를 추정할 수 있다.

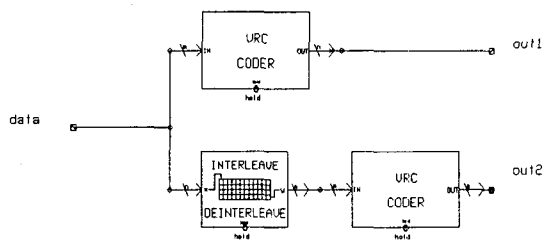

그림 3. 터보 부호기
Fig. 3 Turbo coder

본 논문에서 적용된 터보 부호기의 구성도는 그림 3과 같으며 터보 부호기의 파라미터 값에 따라 원하는 코드율을 얻을 수 있도록 설계를 하였다. 그림 3에서 VRC 부호기는 RSC(Recursive Systematic Code) 부호기로써 터보 부호기는 2개의 RSC 부호기를 사용하고 두 RSC 부호기 사이에 인터리버를 두어 병렬 연접한 구조로써 낮은 SNR에서는 RSC부호의 BER이 같은 구조의 NSC(Non-systematic Code)부호의 BER보다 항상 작고, 높은 SNR에서는 NSC부호의 성능이 좋게 나타난다. 따라서 터보 부호기에서는 RSC부호를 구성부호로 사용하고, 인터리버의 크기와 반복 복호 횟수를 증가시킴으로써 우수한 성능을 나타낸다.

터보 부호기의 복호 방식에는 MAP(Maximum A Posteriori) 알고리즘을 사용한다. MAP 알고리즘은 Bahl[8] 등에 의하여 처음으로 제안되었으나, 복호 단어가 많아지면 복호할 때 복잡도가 증가하고 비터비 알고리즘보다 시간 지연이 길어지는 단점이 있다. 본 논문에서 적용한 터보 부호기의 구성은 그림 4와 같은 cdma2000[9]에 기반을 둔 MAP 방식의 터보 부호기를 구성하였다. 터보 부호기는 병렬로 연결된 형태에 반해, 터보 복호기는 복호기간의 정보를 서로 공유하여 보다 좋은 성능을 나타내기 위해 직렬로 연결된 형태를 사용한다. 그림 4에서 보면 복호기의 입력은 정보 비트와 패리티 비트로 나누어 입력이 된다. 입력 in1이 첫 번째 구성 부호기의 입력으로 들어가게 되고 입력 in1의 인터리버를 통과한 형태가 입력 in2와 함께 두 번째 구성 부호기의 입력이 된다. 첫 번째 반복 부호 단계에서 가능성비(Log Likelihood Ratio: LLR) L1을 생성한다. L1은 입력된 정보와의 상관성을 없애기 위하여 입력 in1과 사전 정보를 제거하면 첫 번째 구성 부호기 L1의 외부 정보가 발생하고 U2와 순서를 맞춰주기 위해 인터리버를 통과시키면 두 번째 구성 부호기를 위한 사전 정보가 된다. L2는 입력 in2와 사전 정보가 제거되면서 디인터리빙 과정을 통해 다시 첫 번째 구성 부호기의 사전 정보가 된다. 이와 같은 반복 복호가 이루어지는데, 적절한 반복 횟수를 수행한 후 L2는 디인터리빙 되고 L2를 판정하여 송신 데이터 비트를 결정하게 된다.

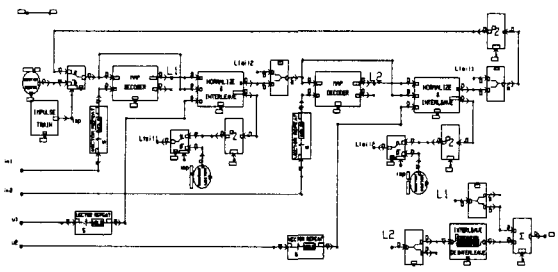

그림 4. MAP 터보 부호기
Fig. 4 MAP Turbo coder

터보 부호기의 반복부호는 복호에서 출력 값을 연판정으로 보내 줌으로써 신뢰도의 정도를 판단하고 이것을 고려하여 반복적으로 복호를 수행하여 성능을 향상 시킨다. 연판정 출력 값은 LLR로 표현되며, 복호화된 비트의 LLR은 식(2) 와 같다.

$$L(d|x) = \log\left[\frac{P(d=+1|x)}{P(d=-1|x)}\right] \quad (2)$$

식 (2)에서 $P(d=i \mid x)$, $i=-1, 1$은 데이터 비트 d의 사전정보(A Priori Probability)이다. 복호된 비트 d가 양의 값을 나타낼 경우는 식 (2)에서 '1' 일 확률이 '-1' 일 확률에 비해 더 크다는 것을 의미하게 되고 이때 복호되는 값은 '1'이 된다. 음의 값을 나타낼 경우에는 반대로 '-1' 일 확률이 '1' 일 확률보다 클 경우로 이때 복호되는 값은 '0'이 된다. 이러한 LLR의 출력 값으로 식 (3) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$L(\hat{d}) = L_c(x) + L(d) + L_e(\hat{d}) \quad (3)$$

여기서 $L_c(x)$는 채널의 신뢰 값과 수신되어진 조직화된 정보 비트를, $L(d)$는 입력비트 $\hat{d}$에 대한 사전정보의 LLR이고, $L_e(\hat{d})$는 외부정보(extrinsic LLR)이다.

III. 성능 분석

HIPERLAN/2의 콘볼루션 부호기와 터보 부호기의 성능 비교를 위해 표준안으로 제시된 구속장의 길이가 7인 콘볼루션 부호기와 비터비 복호기를 이용한 시스템을 구현하였다. 그리고 또한 HIPERLAN/2의 콘볼루션 부호기 대신에 구속장의 길이가 4이고 코드율이 각각 1/2, 1/3 및 1/4인 터보 부호기로 구성한 시스템을 구현하여 그 성능을 비교 하였다. 이 두 시스템을 시뮬레이션이 가능한 친 사용자 환경을 가진 시스템 개발 도구인 SPW를 이용하였다. 시뮬레이션에 이용한 시스템의 최상위 구성도를 그림 5에 나타내었다.

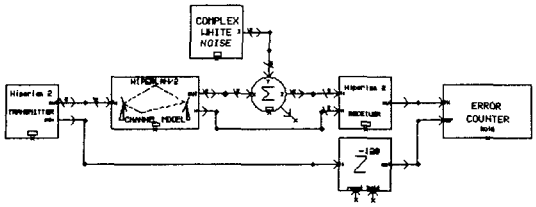

그림 5. HIPERLAN/2 시스템
Fig. 5 HIPERLAN/2 system

첫 번째 블럭은 HIPERLAN/2의 송신부에 해당하며 그림 1의 송신부의 과정을 수행하게 된다. 두 번째 블럭은 이동 무선 페이딩 채널 블록으로 주파수 선택적/비선택적 페이딩 신호를 발생하게 된다. 채널 블럭을 거쳐 나온 신호는 가산성 백색 잡음이 더해져서 수신부에 도달하게 된다. 수신부에서는 비터비 복호기 혹은 터보 MAP 복호기가 구현되어 있다. 마지막으로 송신된 데이터와 수신된 데이터를 비교하여 BER을 계산한다.

HIPERLAN/2 시스템에서 사용된 시스템의 주요 파라미터 값은 표 2와 같다.

표 2. HIPERLAN/2 파라미터
Table. 2 HIPERLAN/2 parameters

파라미터	값
순환 전치 길이	800 ns
스크램블러 초기화 비트	5
펑쳐링 시작 비트	0

시뮬레이션에 사용된 터보 부호기는 cdma2000에 기반한 MAP 방식의 부호기를 사용하였으며, 터보 부호기의 주요 파라미터 값은 표 3과 같다.

표 3. 터보 부호기 파라미터
Table. 3 Turbo coder parameters

파라미터	값
터보 부호율	K=1, N=3
구속장 길이	4
반복횟수	7

시뮬레이션을 위한 채널은 가산성 백색잡음 환경(AWGN)을 사용하였으며 HIPERLAN/2 시스템에서 데이터율이 12 Mbps 및 36 Mbps에서 수행하였다. 데이터율에서 터보 부호기의 코드율을 각각 1/2, 1/3 및 1/4로 파라미터를 변화시켜가면서 적용하였으며 각각의 성능을 HIPERLAN/2 시스템과 비교하였다.

1. 데이터율 12 Mbps에서의 성능비교

시뮬레이션에 사용된 HIPERLAN/2의 PDU 길이는 48 bytes(384 bits)이며, 총 40개의 패킷을 전송하였을 때 성능을 비교한 결과를 그림 6에 나타내었다.

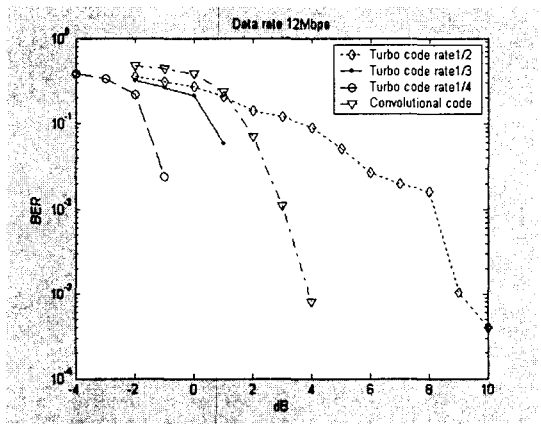

그림 6. 데이터율12 Mbps에서의 성능 비교
Fig. 6 Performance comparition at the rate of 12 Mbps

성능 분석 결과를 보면 터보 부호기의 코드율이 1/2 일 경우에는 기존 HIPERLAN/2 시스템의 콘볼루션 부호기 성능이 상대적으로 더 우수하게 나타났음을 볼 수 있으며, 그 외의 코드율 1/3과 1/4에서는 터보 부호기를 이용한 HIPERLAN/2 시스템의 성능이 비트오율 10^{-3}에서 약 3 dB이상 더 우수한 것으로 관찰되었다.

2. 데이터율 36 Mbps에서의 성능비교

데이터율 36 Mbps에서의 성능 비교 분석을 위해 HIPERLAN/2의 PDU 길이를 72 bytes(576 bits)로 하여 총 40개의 패킷을 전송하였다. 성능

분석 결과에 의하면 그림 7에서 나타난 것과 같이 36 Mbps에서는 터보 부호기의 코드율이 1/2, 1/3인 경우 HIPERLAN/2 시스템의 콘볼루션 부호기의 성능이 더 우수하게 나타났으며, 코드율 1/4인 경우에만 터보 부호기의 성능이 더 우수한 것으로 나타났다. 이러한 관찰 결과는 높은 데이터율에서는 구속장의 길이가 성능과 밀접한 관계를 가지는 중요한 파라미터가 됨을 알 수 있다. 즉, 구속장의 길이가 더 큰 콘볼루션 부호기에서 더 우수한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

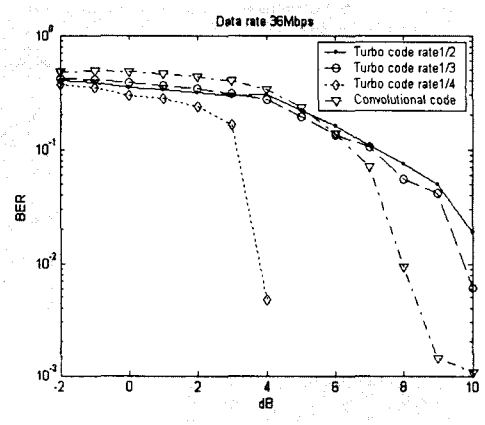

그림 7. 데이터율 36 Mbps에서의 성능 비교
Fig. 7 Performance comparition at the rate of 36 Mbps

V. 결론 및 고찰

본 논문에서는 초고속 무선랜의 유럽 표준방식인 HIPERLAN/2 시스템을 기반으로 하여 표준안에 제시된 콘볼루션 부호기 대신에 터보 부호기를 사용하여 성능을 비교하였다. 시뮬레이션에 사용된 콘볼루션 부호기의 구속장 길이는 7이고 터보 부호기의 구속장 길이는 4를 이용하였으며, 가산성 백색잡음 환경에서 두 시스템을 비교하였다. 동일한 코드율 1/2에서 시뮬레이션 결과는 구속장의 길이가 훨씬 더 큰 콘볼루션 부호기가 더 우수한 성능을 보여주었다. 그러나 터보 부호기의 코드율을 콘볼루션 부호기의 코드율 보다 더 낮은 값으로 적용하였을 경우 터보 부호기가 더 우수한 성능을 보여주고 있음을 확인하였다. 이러한 연구 결과를 토대로 향후 다중경로 페이딩 채널에서의 성능 비교 및 저밀도 패리티 코드(Low-Density Parity Check Codes)와의 비교 분석 연구가 필요할 것이다.

참고 문헌

[1] Van Nee, R., Awater, G., Morikura, M., Takanashi, H., Webster, M. and Halford, K., "New high rate wireless LAN standards", IEEE Comm. Mag. Vol.37, pp. 82-88, Dec. 1999.

[2] http://grouper.ieee.org/groups/802/11

[3] Doufexi, A., Armour, S., Butler, M., Nix, A., Bull, D., McGeehan, J. and Karlsson, P., "A comparison of the HIPERLAN/2 and IEEE-802.11a wireless LAN standards", IEEE Comm. Mag. Vol.40, pp.172-180, May. 2002.

[4] http://www.etsi.org

[5] Kruys, J., "Standardization of wireless high speed premises data networks", Wireless ATM Workshop, Espoo, Finland, Sep. 1996.

[6] Classon, B., Blankenship, K. and Desai, V., "Channel coding for 4G systems with adaptive modulation and coding", IEEE comm. Vol.9, pp.8-13, Apr. 2002.

[7] http://www.cadence.com

[8] Bahl, L., Cocke, J., Jelinek, F. and Raviv, J., "Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate", IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.20, pp.284-287, Mar. 1974.

[9] Prasad, N. and Prasad, A., *WLAN System and Wireless IP for Next Generation Communication:* Artech House, 2002.

[10] Berrou, C., Glavieux, A. and Thitimajshima, P., "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding : Turbo-codes", in IEEE ICC, Vol.2, pp.1064-1070, May. 1993.

[11] ETSI TS 101 475 V1.1.1 "Broadband Radio Access Networks(BRAN), HIPERLAN Type 2, Physical layer," April. 2000.

저자 소개

서완우(Wan-Woo Seo)

2001년 2월 : 동명정보대학교 정보통신공학과 졸업
2004년 현재 : 부경대학교 대학원 정보통신공학과 석사 과정 중
※ 관심분야 : 시공간부호, 채널부호화

정연호(Yeon-Ho Chung)

1984년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
1992년 2월 : The Imperial College, The University of London, U.K(공학석사)
1996년 2월 : Liverpool University, U.K. 전기 및 전자공학과(공학박사)
1994년 ~ 1996년 : Liverpool University 연구/강의 조교
1994년 ~ 1995년 : 영국Freshifield Communications Ltd. 기술 자문역 (이동통신 시스템 설계 및 H/W, S/W 개발)
1996년 ~ 2001년 : 경북대학교/동의대학교 전임강사
2001년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 조교수
※ 관심분야 : 적응 변조 및 부호화 기술, 반송파 간섭신호 부호, OFDM 시스템, 채널부호화

하덕호(Deock-Ho Ha)

1979년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업
1972년 2월 ~ 1976년 11월 : 군복무(공군 30단 레이다 정비)
1978년 11월 ~ 1981년 1월 : (주)금성사 중앙연구소 연구원
1982년 4월 ~ 1984년 3월 : 일본 Kyoto대학(공학석사)
1984년 3월 ~ 1987년 3월 : 일본 Kyoto대학(공학박사)
1987년 3월 ~ 1987년 8월 : 일본 (주)Matsushita 전기, 무선연구소 연구원
1990년 8월 ~ 1991년 8월 : 캘리포니아 대학(U.C., Davis) 방문 연구교수
2000년 2월 ~ 2001년 2월 : 미국 콜로라도 주립대학 방문 연구교수
1987년 9월 ~ 현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학과 정교수
※ 관심분야 : 실내외 UWB 전파특성 모델링, 다이버시티 시스템, 디지털 이동통신방식, CIMA, OFDM 시스템, 채널부호화