

간접 실내 적외선 채널에서 Pulse-Position Modulation with Trellis-Coded Modulation을 위한 복호기 설계

정상국, 노승용
서울시립대학교 전자공학과

Design of decoder for Pulse-Position Modulation with Trellis-Coded Modulation on Non-Directed Indoor Infrared Channel

S. Jeong, S. Rho
Dept. of Electronic Eng. University of Seoul

Abstract - We examine the performance of high-speed non-directed infrared links using pulse-position modulation (PPM) with trellis-coded modulation (TCM) to mitigate the effects of multipath-induced intersymbol interference (ISI) on such links. Using the measured characteristics of multipath indoor infrared channels, we calculate BER curves and ISI power penalties for maximum-likelihood sequence detection of 8-PPM links using rate-2/3 trellis codes operation at 10 and 30Mb/s. Our results indicate that the suggested decoder of PPM with TCM is a very promising decoder on high-speed non-directed infrared channels.

infrared channels)에 대한 TCM with PPM의 사용을 평가한다. 먼저, 무선 실내 적외선 채널에 대한 채널과 잡음을 모델한다. 그리고 PPM with TCM의 MLSD를 설명한다. 마지막으로 Ungerboeck [5]에 의해 도입된 2/3 trellis codes를 8-PPM에 적용하고, 여러 번 측정된 ISI 채널에 대한 성능을 평가한다. 동일한 대역폭 요구와 유사한 수신기 복잡도를 가진 uncoded 16-PPM의 MLSD에 대한 그것과 결과를 비교한다. 그 결과 ISI 채널에 대한 trellis-coded 8-PPM 성능이 uncoded 16-PPM에 대해 우수함을 보여준다.

1. 서론

개인 컴퓨터와 휴대 통신 단말기의 급속한 발전은 local-area networks(LANs)의 장비와 휴대 디바이스의 상호 연결에 대한 고속 무선 링크에 대한 큰 관심을 가져왔다. [1-3] 다양한 어플리케이션에 대해 무선 링크는 간결하고, 전력 소모가 적고, 배치가 용이하다. 그러나 배경(background) 잡음과 다른 사용자로부터의 간섭에 강하지 못하다.

적외선은 다중경로 페이딩으로부터 영향받지 않지만, 벽, 마루, 그리고 실내 개체로 인해 다중 경로 분산(dispersion)이 발생된다. 결과적으로 intersymbol interference를 발생시킨다.

Pulse-position modulation (PPM)은 단순 on-off keying(OOK)에 비해 큰 평균 전력 효율을 제공하는 기술이다. 그런데, PPM은 OOK에 비해 더 큰 대역폭을 사용하기 때문에 다중 경로에 따른 ISI에 더 영향받기 쉽다. Audeh et al.[4]은 10Mbps, 30Mbps 실내 무선 적외선 채널에서 PPM의 maximum-likelihood sequence detection (MLSD)가 OOK에 비하여 주목할 만한 성능이 개선됨을 증명하였다. 그러나 PPM도 큰 ISI penalties를 가진다. Ungerboeck [5]은 가산성 잡음(additive noise)에 대하여 면역성을 향상시키기 위하여 trellis-code modulation (TCM)을 개발하였다. Chevillat와 Eleftheriou [6]은 ISI channels에 대한 TCM의 MLSD 성능을 조사하였다.

본 논문에서 다중경로 적외선 채널(multipath

2. 본론

2.1 채널과 잡음 모델

높은 SNR을 얻기 위해, 실제 간접 시스템은 1cm^2 또는 파장의 10^8 배의 넓은 면적의 광 수신기를 사용한 직접 방향을 포함한 휘도 변조(IM/DD)를 채택한다. 따라서, 결과적으로 다중경로 페이딩 없이 광의 간접성 없는(incoherent) 수신기가 된다. 휘도 변조(intensity modulation)에서, 전송 신호 $X(t)$ 는 연속 시간 광 전력이다. 수신 신호 $Z(t)$ 는 수신기의 광 전류이다, 그 값은 응답성 R 곱하기 수신기 표면에 대한 집적된 광 전력이다. 벽, 마루, 그리고 방 개체에 반사에서 유래한 다중 분산은 송신기, 수신기, 간섭 반사가 거리에 의해 옮겨졌을 때, 중요하게 변하는 LTI 임펄스 응답 $h(t)$ 로 표현된다. [2]

간접 IM/DD 적외선 링크에 대한 채널 모델은 간단한 형태로 요약될 수 있다.

$$Z(t) = RX(t) \otimes h(t) + N(t) \quad (1)$$

수신기 광 전류 $Z(t)$ 는 전송 광 전력 $X(t)$ 와 채널 임펄스 응답 $h(t)$ 의 컨볼루션(송신기, 수신기 와 간접반사의 주어진 구성을 고정), 더하기 가산성 잡음 $N(t)$ 이다. 이 잡음은 $X(t)$ 에 무관한 화이트(white), 가우시안(Gaussian)으로 모델된다. [3]

IM/DD 적외선 링크로 제한된 평균 전송 전력은 다음과 같이 주어진다:

$$P_T = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T X(t) dt \quad (2)$$

채널 광 경로 손실은 $H(0) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) dt$, 위와 같이하

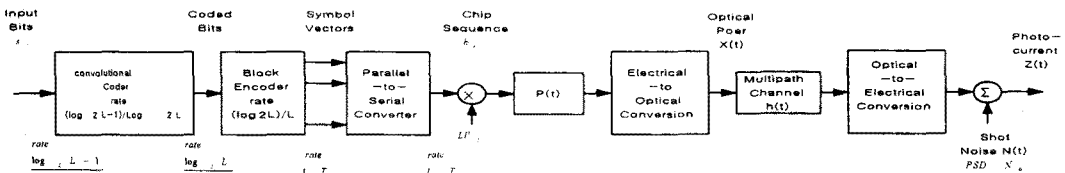


그림 1 다중 채널로 전송되는 TCM의 L-PPM의 블록도

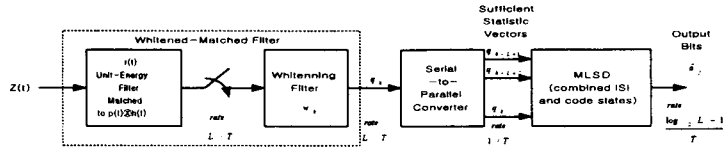


그림 2 whitened-matched필터를 가진 L-PPM with TCM의 MLSD

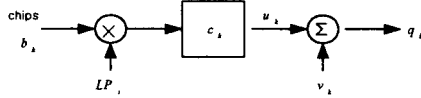


그림 3 칩 비율 L/T에서 샘플된, prior to MLSD, L-PPM의 이산-등가 모델

여 평균 수신 전력은 $P = H(0)P_i$, 그리고 전기적 비트율 R_b 에서 SNR은

$$SNR = \frac{R^2 P^2}{R_b N_0} \quad (3)$$

SNR에 대한 이 정의는 다른 L-PPM 오더에 따른 광 평균-전력 효율의 비교를 쉽게 한다. 이것은 SNR (E_b/N_0)의 일반적 정의에 $1/L$ 배와 같다. 전력 제한 (2) 은 주어진 평균 광 전력 P_i 에 대해, 수신기 SNR은 큰 peak-to-average ratio를 가지는 송신 파형 $X(t)$ 를 전송함으로써 개선할 수 있다.

2.2 PPM with TCM를 위한 MLSD

TCM을 채용한 L-PPM 시스템의 블록 도는 그림 1과 그림 2에 나타나 있다. TCM 부호기는 입력 비트를 $(\log_2 L - 1) / \log_2 L$ 비율의 코드 비트로 변환한다. $\log_2 L$ 코드 비트의 각 그룹은 은 PPM 파형 $p_i(t), i=0, \dots, L-1$ 로 매핑된다. 이때 유지시간 (duration)은 T이다. i에 의해 지시되는 각 $p_i(t)$ 단위 진폭(amplitude)와 유지시간 T/L인 하나의 칩(chip)과 0 크기의 L-1 칩을 덧붙여 포함한다. $p_i(t)$ 의 시퀀스는 칩 파형 $b(t)$ 를 형태를 이룬다. $b(t)$ 는 피크 광 전력 LP_i 로 스케일되고 정해진(fixed) 다중 경로 채널 $h(t)$ 를 통해 전송된다.

MLSD 수신기는 단위 에너지 연속시간 매치 필터 $r(t)$ 로 구성되고 그 출력이 L/T 비율로 샘플되는 whitened matched filter(WMF)를 채용하였다. 이때 이산시간 잡음-whitening filter w_k 가 따른다. WMF 출력 시퀀스 q_k 는 최적 결정을 위한 충분한 통계를 나타낸다. 그림 1과 그림 2의 연속-시간 실험을 그림 3의 이산-시간 등가 모델로 간단히 할 수 있다. 송신 필

터, 채널, 수신필터의 조합은 이산 시간 임펄스응답 c_k 로 표현된다. 수신 샘플 q_k 는

$$q_k = LP_i b_k \otimes c_k + v_k = u_k + v_k \quad (4)$$

잡음 샘플 v_k 는 w_k 를 정규화(normalize) 했기 때문에 평균(mean)이 영이고 분산이 N_0 인 i.i.d. 가우시안 랜덤 변수(Gaussian random variable)이다. 먼저 다른 PPM의 광 카운트 수신기의 경우와 대비해서 잡음 샘플 v_k 는 신호 샘플 u_k 에 무관하다.

최적 trellis 복호기는 최대 라이클리후드 시퀀스 복호기(maximum-likelihood sequence decoder, MLSD)이다. 그것은 단위 가지 매트릭(branch metric) $|q_k - u_k|^2$ 의 전체 수신 값에 대해 합을 최소화 하는 시퀀스 b_k 의 추정 값을 선택한다[8]. 시퀀스 b_k 가 원형이므로(i.i.d가 아니라), 그런데, MLSD는 칩 비율의 비터비 알고리즘(Viterbi algorithm)을 사용해서 구현할 수 없다. 그러나 주어진 단위-심볼(per-symbol) 가지 매트릭을 사용해서 심볼-대-심볼 비터비 알고리즘을 사용해서 구현할 수 있다.

$$\sum_{k=0}^{L-1} |q_k - u_k|^2 \quad (5)$$

SNR이 높은 경우 coded PPM의 MLSD에 대한 비트 에러의 확률은 다음 식으로 적절히 근사될 수 있다:

$$\Pr[\text{bit error}] = n_{\min} \left(\frac{L/2}{L-1} \right) Q \left(\frac{d_{\min}}{2\sqrt{N_0}} \right) \quad (6)$$

d_{\min} 은 최소 거리:

$$d_{\min}^2 = \min_{\{e_k\}} \left| \sum_{k=0}^{\infty} \left| \sum_{m=0}^{\infty} h_m e_{k-m} \right|^2 \right. \quad (7)$$

$(L/2)/(L-1)$ 은 심볼 에러 당 비트 에러의 평균 수를 나타내고, n_{\min} 은 최소-거리 에러 사건(event) 당 비트 에러의 평균 수이다. (7)에서 최소화는 시간 0에서 시작하는 모두 영-아닌(nonzero) 아닌 에러 시퀀스 $\{e_k\}$, $e_k = b_k - b'_k$, b_k 와 b'_k 는 유효한 PPM 칩 시퀀스가 TCM 부호기에 의해 허락된다.

Ungerboeck은 8-PSK에 의해 비율-2/3 trellis code가 도입하였다. 심볼 $j \in \{0, \dots, L-1\}$ 는 j^{th} 위치에 나타나는 펄스의 심볼이다. 전송된 심볼은 trellis 상태(state) 사이를 천이(transition)에 대응한다. 4-상태 trellis에 대해, 최소 거리는 병렬 경로 쌍 사이에 나

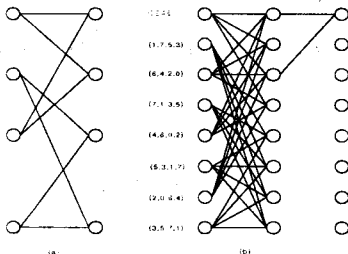


그림 4 (a)Four-state and (b) eight-state trellis code

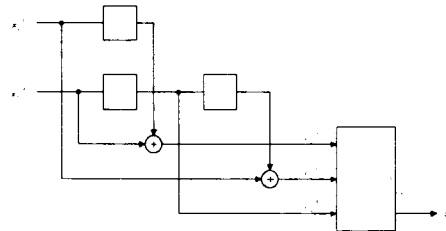


그림 5 trellis encoder of 8-PPM with a rate 2/3

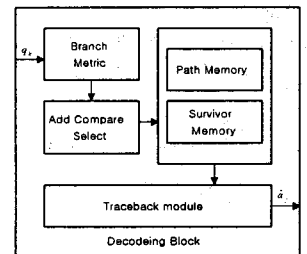


그림 6 PPM with TCM의 MLSD 블록도

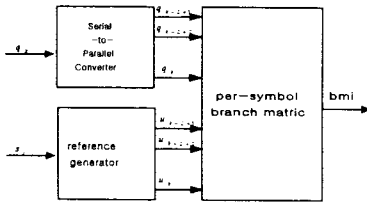


그림 7 Branch Metric of 8PPM with TCM

타난다. 8-상태 trellis에 대해, 최소 거리는 길이 2의 경로의 쌍 사이에서 나타난다.

이상적인 채널에서, 4-상태와 8-상태 trellis에 대한 최소 거리는 각각 $\sqrt{2}$ 와 2이다. ISI 채널에서, 비터비 복호기는 코드와 ISI 상태를 조합한 trellis를 사용한다(6). 최소 거리는 그것이 대응하는 확산 없는 채널에 대응하는 것보다 작다.

2.3 PPM with TCM를 위한 복호기

그림5의 TCM 부호기는 입력 비트를 $(\log_2 L - 1) / \log_2 L$ 비율의 코드 비트로 변환한다. 코드 비트의 각 그룹은 PPM 파형 $p_i(t), i=0, \dots, L-1$ 로 매핑된다. 이때 유지시간(duration)은 T이다. i 에 의해 지시되는 각 $p_i(t)$ 단위 진폭(amplitude)과 유지시간 T/L인 하나의 칩(chip)과 0 크기의 L-1 칩을 덧붙여 포함한다. $p_i(t)$ 의 시퀀스는 칩 파형 $b(t)$ 를 형태를 이룬다

MLSD의 블록도는 그림6에 나타나있다. PPM with TCM의 MLSD는 가지 매트릭 계산부, Add Compare Select부, Path Memory, Survivo memory, Trace back module로 구성되어 있다.

주어진 식 (5)의 단위-심볼(per-symbol) 가지 매트릭을 사용한 심볼-대-심볼 비터비 알고리즘 $\sum_{k=0}^{L-1} |q_k - u_k|^2$ 를 사용해서 그림 7과 같이 구현할 수 있다.

전송된 심볼은 trellis 상태(state) 사이를 천이(transition)한다. 8-상태 trellis에 대해, 최소 거리는 길이 2의 경로의 쌍 사이에서 나타난다. 각 상태에서 그림 8의 ACS를 사용하여 각 상태의 최소 경로를 선택하여 Path memory를 갱신한다.

decoding length에 도달하면 Survivor Memory를 trace back 하여 a_k 를 결정한다.

2.4 다중 경로 채널에서의 성능

불평등 L-PPM ISI 채널에 대해 특별히 높은 비트율에서 특히 심각한 전력 약점(penalties)을 가진다(4). L-PPM의 성능을 향상시키기 위해 허락된 신호

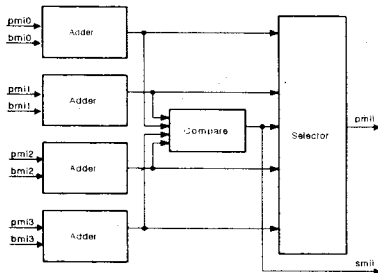


그림 8 Add Compare Selector of 8PPM with TCM rate 2/3

시퀀스 사이의 유클리드 거리를 최대하도록 설계된 trellis-coded modulation(TCM)을 사용한다(5). PPM이 직교 다중펄스 변조 구조(orthogonal multiplex modulation scheme)이므로, 심볼 쌍의 유클리디안 거리는 분산 없는 채널에서 같다. 따라서 좋은 코드를 찾는 파티션닝을 취하는 것은 어떤 장점도 없다. 그런데, 칩이 시간상으로 인접한 심볼을 발생시키는 무선 적외선 채널에서 다중 경로 분산, 위와 같이하여 심볼 0과 1, 이 더 적은 유클리디안 거리에서 0과 4로 된다. 다중경로에서 초래된 ISI 증가 때문에, trellis code의 효과는 partitioning 또한 증가시키도록 설계되었다.

그림 9에 제안된 8PPM with TCM rate 2/3인 복호기의 BER 그래프가 있다. TCM을 사용한 MLSD가 성능이 우수함을 알 수 있다.

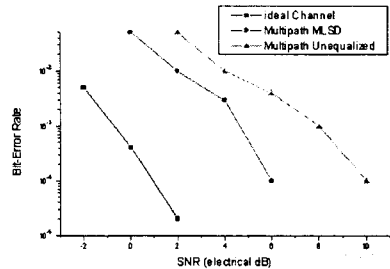


그림 9 BER versus SNR for 8-PPM system in typical multipath channel

3. 결 론

pulse-position modulation (PPM) with trellis-coded modulation(TCM)은 고속 무선 실내 적외선 통신에 적합하다. MLSD of 8-PPM with rate 2/3 trellis coded를 위한 복호기와 복호기를 제안하고, 제안된 복호기의 다 경로에서 유래한 ISI의 효과를 최소화 하는 성능을 검증하였다. 30Mb/s, 8-PPM with a rate 2/3, 8-state trellis code는 uncoded 16-PPM에 비해 우수한 평균 전력 효율을 가진다

(참 고 문 헌)

- [1] F.R Gfeller and U.H. Bapst, "Wireless In-House Data Communication via Diffuse Infrared Radiation" Proc. IEEE, vol. 67, pp. 1474-1486, Nov. 1979
- [2] J.M Kahn, J.R.Barry, M.D. Audeb, J.B. Carruthers, Wj Krause and G.W. Marsh, "Non-Directed Infrared Links for High-Capacity Wireless LANs." IEEE Personal Communications Magazine, vol.1, no. 2, pp. 12-25, Spring 1994.
- [3] J.R. Barry, Wireless Infrared Communications, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1994
- [4] M.D. Audeh, J.M. Kahn, J.R. Barry, "Performance of PPM with Maximum-Likelihood Sequence Detection on Measured Non-Directed Indoor Infrared Channels," in Proc. Intl. Conf. on Commun. Seattle, WA, June 18-22, 1995, pp. 1177-1181
- [5] G. Ungerboeck, "Trellis-Coded Modulation with Redundant Signal Sets PartI: Introduction," IEEE Communications Magazine, vol. 25, no.2, pp.5-11, Feb. 1987
- [6] P.R. Chevillat and E. Eleftheriou, "Decoding of Trellis-Encoded Signals in th Presence of Intersymbol Interference." IEEE Trans. Commun., vol. 37, pp. 669-676, July 1989.