

CPM통신체계에서 오유조종부호기구성의 한가지 방법

김 래 국

연속위상변조(CPM)방식은 스펙트럼점유특성이 좋은것으로 하여 대역이 제한된 통로의 경우 매우 우수한 방법으로 알려져있다.[1, 2] 선행연구[1]에서는 CPM변조방식에서 부호기와 변조를 서로 별개로 취급하였다. 논문에서는 중첩부호기를 리용한 연속위상부호기를 CPM변조방식에 도입하여 체계의 성능을 높였다.

1. 연속위상주파수편의변조(CPFSK)

M 차원 연속위상주파수편의변조(M-CPFSK)는 M 차원형태의 CPM이다.

CPM체계에서 리용하는 송신신호는 다음과 같다.[2]

$$S(t, U) = \sqrt{\frac{2E_S}{T}} \cos(2\pi f_1 t + \Phi(t, U) + \Phi_0) \quad (1)$$

여기서 f_1 은 비대칭반송주파수로서 $f_1 = f_c - h(M-1)/2T$ 이며 f_c 는 반송주파수이다. 그리고 E_S 는 통로기호당 에네르기이고 Φ_0 은 반송파초기위상이다.

우리는 $f_1 T$ 가 옹근수라고 가정한다. 이러한 가정을 하면 CPM파형에 대한 등가표현을 리용할 때 간단하게 된다.

식 (1)에서 정보나르개인 위상은 다음과 같다.[2]

$$\Phi(t, U) = 4\pi h \sum_{i=0}^{\infty} U_i q(t - iT) \quad (2)$$

여기서 h 는 변조첨수로서 $h = J/P$ 로 표시되며 이때 J 와 P 는 서로 소인 옹근수이다. 그리고 J 는 일반적으로 1이며 P 는 2의 η 제곱으로 계산되는 수로서 CPE(연속위상부호기)의 기억요소수이다. 한편 $U(U_i, i=0, \dots, M-1)$ 는 M 진 기호렬이며 T 는 통로기호주기이다.

식 (2)에서 위상응답함수 $q(t)$ 는 연속이며 단조증가하는 함수이다. 즉

$$q(t) = \begin{cases} 0 & t < 0, \quad t > LT \\ 1/2 & 0 \leq t \leq LT \end{cases} \quad (3)$$

여기서 L 은 옹근수이다.

위상응답함수는 일반적으로 LT 주기동안의 주파수임펄스 $g(t)$ 의 적분으로 정의된다. 즉

$$q(t) = \int_{-\infty}^t g(\tau) d\tau.$$

완전응답신호화체계의 경우 L 은 1이며 부분응답체계의 경우에는 $L > 1$ 이다.

2. CPM통신체계에서 오유조종부호기

16-CPFSK의 경우 논의하러는 CPM부호기(CPM통신체계에서 오유조종부호기)구조는 그림 1과 같다.

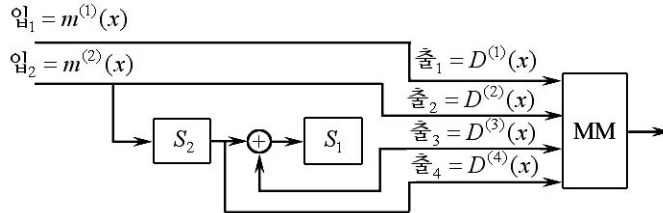


그림 1. CPM부호기구조(16-CPFSK, $h=1/2$ 인 경우)

그림 1에서 입력비트는 $m=2$ 이고 부호화률은 $R=1/2$ 이다.

그림 1에서 보는바와 같이 CPM부호기는 연속위상부호기(CPE)와 무기억넘기기장치(MM)로 구성된다. 여기서 CPE는 부호단어열을 만드는 중첩부호기이며 부호화된 부호단어열은 MM에 의해 파형으로 넘기기된다. 즉 MM은 연속위상신호파형을 만든다.

CPE를 리용한 방법들은 격자상태수가 주어진 조건에서 전통적인 근사법을 리용한 체계들보다 성능이 더 좋다. 그것은 CPE를 리용한 방법들이 유클리드거리를 증가시키기 때문이다.

식 (1)에서 Φ_0 은 관찰하는 순간 신호의 초기위상과 이전 신호의 마지막위상에 대응되며 이전 신호의 마지막위상은 연속성을 보장할수 있게 알려져야 한다.

선행연구[1]에서 본 TTCM(터보살창부호변조)부호기구성과의 차이점을 간단히 보기로 하자. 선행연구에서는 위상연속성을 보장하기 위해 하나의 기억요소를 더 리용하였다면 논문에서 제안한 부호기에서는 부호화에 리용되는 기억요소중에서 두번째 기억요소가 부호화와 연속성보장 두 경우에 다 리용된다.

부호기의 CPE기억단에 입력되는 신호들은 연속성보장을 위해 부호기출구에 연결된 MM에 입력된다. 이렇게 하면 CPE를 위한 부차적인 기억요소들을 리용하지 않고도 연속 위상신호화조작을 할수 있다.

중첩부호기와 CPE가 결합된 이 부호기를 연속위상중첩부호기라고 하는데 이것은 입력 자료를 부호화하는데 리용될뿐아니라 위상연속성을 보장하는데도 리용된다.

이 부호기구조에서는 위상연속성을 보장하는데 하나의 기억단만이 리용되었으므로 변조첩수는 $1/2$ 이다. 한편 MM에는 1개의 입력이 추가된다. 따라서 신호위상상태와 CPE 기억단사이에 더 엄밀한 한계가 존재한다.

기억단값이 0이면 신호위상은 0으로 될것이며 기억단이 1이면 신호위상이 π 로 된다. 연속성보장을 위한 기억단이 하나이므로 2개의 위상상태를 가지게 되며 위상상태가 2이므로 $h=1/2$ 로 된다.

부호기의 현 상태와 입력, 출력자료들과 신호별자리를 표에 보여주었다. 표에서 보는바와 같이 출₁과 출₂는 체계적인 방식에서의 첫 2개의 출력값들로서 입력비트들인 입₁, 입₂와 같다. 출₃과 출₄는 부호화된 비트들이며 여기서 출₃은 CPFSK를 위해 리용된다.

한편 $출_4$ 는 다음번 부호화구간에서 신호가 시작될 위상이 무엇인가 하는것을 보여준다. 만일 $출_4$ 가 0이면 현 신호의 끝위상과 다음신호의 시작위상이 다같이 0이다. 또한 $출_4$ 가 1이면 현 신호의 끝위상과 다음신호의 시작위상이 π 이다. 그리고 $출_3$ 이 0이면 신호는 《정》이고 $출_3$ 이 1이면 《부》이다. 이때 이 조건이 만족되면 연속성이 보장된다.

표로부터 출력기호들을 구하기 위한 식들을 유도하면 다음과 같다.

$$출_1 = 입_1, \quad 출_2 = 입_2, \quad 출_3 = S_{1,n}, \quad 출_4 = S_2, \quad S_{1,n} = S_2 \oplus S_{1,n-1}, \quad S_2 = 입_2$$

표. 16-CPFSK의 임출력과 신호별자리

| 상태 | 입력 | 출력 | 신호 | 16-CPFSK | 상태 | 입력 | 출력 | 신호 | 16-CPFSK |
|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|-----------|
| S_1 | S_2 | $입_1$ | $입_2$ | $출_1$ | $출_2$ | $출_3$ | $출_4$ | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | D_0 | S^0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | D_2 | S^{-2} |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | D_4 | S^4 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | D_6 | S^{-6} |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | D_8 | S^8 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | D_{10} | S^{-10} |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | D_{12} | S^{12} |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | D_{14} | S^{-14} |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | D_1 | S^1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | D_3 | S^{-3} |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | D_5 | S^5 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | D_7 | S^{-7} |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | D_9 | S^9 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | D_{11} | S^{-11} |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | D_{13} | S^{13} |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | D_{15} | S^{-15} |

표에 대응한 상태도는 그림 2와 같다.

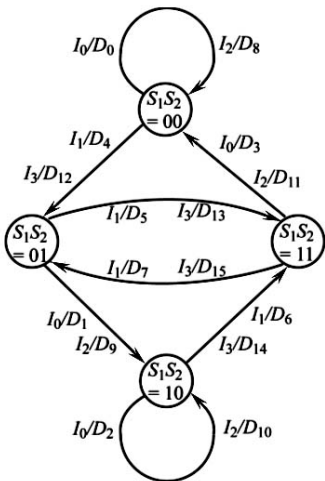


그림 2. CPM부호기(16-CPFSK, $h=1/2$ 인 경우)의 상태도

한편 CPM부호기의 입력과 출력을 다항식형태로도 표현할 수 있다.

이제 부호기의 입력렬을 표시하는 다항식을 $m(x)$ 라고 하고 첫번째 입력렬을 표시하는 다항식을 $m^{(1)}(x)$, 두번째 입력렬을 표시하는 다항식을 $m^{(2)}(x)$ 라고 하자. 또한 출력렬을 표시하는 다항식을 $D(x)$ 라고 하고 첫번째 출력렬을 표시하는 다항식을 $D^{(1)}(x)$, 두번째 출력렬을 표시하는 다항식을 $D^{(2)}(x)$, 세번째 출력렬을 표시하는 다항식을 $D^{(3)}(x)$, 네번째 출력렬을 표시하는 다항식을 $D^{(4)}(x)$ 라고 하자. 그러면 부호화속도가 $R=k/n=2/4$ 인 CPM부호기의 $k \times n$ 전달함수 행렬 $G(x)$ 는 다음과 같다.

$$G(x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \frac{x^2}{1+x} & x \end{bmatrix} \quad (4)$$

그리고 출력렬을 표시하는 다항식벡터 $D(x)$ 는 다음과 같다.

$$D(x) = (D^{(1)}(x) \ D^{(2)}(x) \ D^{(3)}(x) \ D^{(4)}(x)) = m(x)G(x) \quad (5)$$

실례로 입력렬이 01, 01, 10, 01, 11, 00, 11, 10, ...일 때 이것을 다항식형태로 표시하면 각각

$$m^{(1)}(x) = x^2 + x^4 + x^6 + x^7 + \dots, \quad m^{(2)}(x) = 1 + x + x^3 + x^4 + x^6 + \dots$$

으로 되며 출력렬을 표시하는 다항식벡토르 $D(x)$ 는

$$D(x) = \left(x^2 + x^4 + x^6 + x^7 \quad 1 + x + x^3 + x^4 + x^6 \quad \frac{x^2 + x^3 + x^5 + x^6 + x^8}{1+x} \quad x^2 + x^4 + x^6 + x^7 \right)$$

로 표시된다. 이에 대응하는 출력렬은 다음과 같다.

$[(0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 1), (1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0), (0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0), (0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1)].$

이 렬이 교차로 출력되면 MM에 넘기기되는 부호렬은 다음과 같다.

$[0100, 0101, 1011, 0100, 1101, 0011, 1100, 1001]$

한편 표에서 보면 위상이 이행할 때의 송신신호들은 0위상으로부터 0위상으로 이행할 때 s^0, s^4, s^8, s^{12} , 0위상으로부터 π 위상으로 이행할 때 s^1, s^5, s^9, s^{13} , π 위상으로부터 0위상으로 이행할 때 $s^{-3}, s^{-7}, s^{-11}, s^{-15}$, π 위상으로부터 π 위상으로 이행할 때 $s^{-2}, s^{-6}, s^{-10}, s^{-14}$ 로 된다.

3. CPM신호들의 통로용량

그림 1에서 보면 MM입구에 들어가는 4개의 입력들이 있으므로 변조는 16-CPFSK이라고 말할수 있다. M 차원인 경우 부호기출구수와 MM의 입구수 O 는 $O = \log_2 M$ 에 의해 계산할수 있다.

일반적으로 TTC/CPM을 제외한 경우 신호별자리는 $V=2M$ 개의 신호로 구성되지만 TTC/CPM의 경우 즉 $V=M$ 인 경우 16-CPFSK를 위한 16개의 서로 다른 신호들 $(\{s^0, s^1, \dots, s^{V-1}\})$ 이 있다.

이와 같이 신호모임이 감소하면 통로용량이 약간 감소한다.

이제 AWGN통로와 Rician웨이딩통로(K 가 10dB인 경우와 4dB인 경우)에서 통로용량이 어떻게 변하는가를 보기로 하자.

먼저 AWGN통로의 경우 수신신호는

$$y(n) = s(n) + w(n) \quad (4)$$

이다. 여기서 s 는 nT 만 한 변조시간에 송신된 실값불변속통로신호를 의미하며 w 는 매 차원마다에서 평균값이 0이고 분산이 σ^2 인 독립인 정규분포잡음을 의미한다.

이때 평균신호대소음비(SNR)는 다음과 같이 정의된다.

$$SNR = \frac{E\{s^2(n)\}}{E\{w^2(n)\}} = \frac{E\{s^2(n)\}}{M\sigma^2} \quad (5)$$

여기서 $E\{s^2(n)\}$ 은 정규화된 평균신호전력이며 $E\{s^2(n)\}=1$ 이라고 정의한다.

다음으로 Rician웨이딩통로의 경우 수신신호는 다음과 같다.

$$y(n) = \rho(n)s(n) + w(n) \quad (6)$$

식 (6)에서 ρ 는 웨이딩진폭으로서 다음과 같은 Rician분포를 가진다.

$$P(\rho) = 2\rho(1+K)e^{(-\rho^2(1+K)-K)}I_0[2\rho\sqrt{K(1+K)}] \quad (7)$$

여기서 K 는 통로의 웨이딩효과의 신호대소음비이며 I_0 은 제1종의 0차 변형된 베셀함수이다.

편리상 통로용량을 AWGN통로에 대하여 계산한다. 이때 웨이딩 파라미터들은 1이라고 보고 계산한다.[1] 즉

$$C^* \cong \log_2(V) - \frac{1}{V} \cdot \sum_{k=0}^{V-1} E \left\{ \log_2 \sum_{i=0}^{V-1} \exp \left[-\frac{|s^k + w - s^i|^2 - |w|^2}{2\sigma^2} \right] \right\}. \quad (8)$$

$h=1/2$ 인 16-CPFSK경우의 통로용량은 그림 3과 같다.

이 경우 통로용량의 최대값은 4이다. 왜냐하면 $V=M=16$ 이고 $C_{\text{최대}}^* = \log_2(16)$ 이기 때문이다.

우리의 경우 2bit/T의 전송을 위해 16-CPFSK, $h=1/2$ 인 경우 CPM은 이론적인 제한이 -5.1dB 이라는것을 알수 있다.

성능을 평가하기 위한 모의에서는 AWGN통로, $K=10\text{dB}$ 인 Rician웨이딩통로, $K=4\text{dB}$ 인 Rician웨이딩통로들을 선택하였으며 웨이딩진폭은 알려졌다고 가정한다.

16-CPFSK, $h=1/2$ 인 CPM에서 4번 반복하였을 때의 비트오유확률을 그림 4에서 보여 주었다. 여기서 프레임크기를 $N=256$ 으로 주었다.

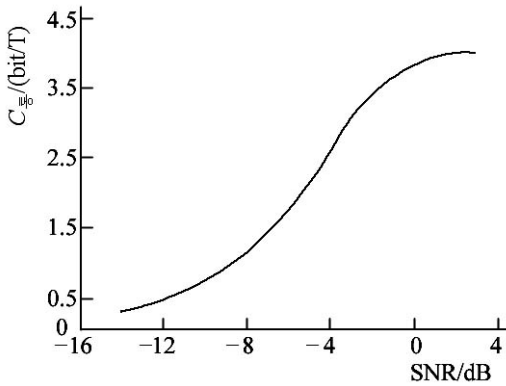


그림 3. 대역제한된 AWGN통로의
통로용량(16-CPFSK, $h=1/2$ 인 경우)

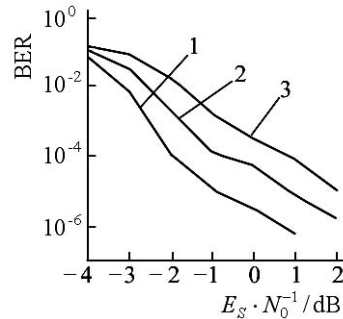


그림 4. CPM신호의 비트오유률(16-CPFSK,
 $h=1/2$, 반복회수가 4인 경우)

1-AWGN통로, 2- $K=10\text{dB}$ 인 Rician웨이딩
통로, 3- $K=4\text{dB}$ 인 Rician웨이딩통로

통로가 $K=4\text{dB}$ 인 Rician웨이딩통로의 경우 2dB에서 10^{-5} 의 비트오유률을 얻을수 있으며 $K=10\text{dB}$ 인 Rician웨이딩통로를 리용하면 0.8dB에서 10^{-5} 의 비트오유률을 얻을수 있다. 또한 AWGN통로를 리용하면 -0.9dB 에서 10^{-5} 의 비트오유률을 얻을수 있다.

맺 는 말

제안한 부호기구성방법은 선행연구[2]에서 제안한 부호기구성방법과 비교해볼 때 같은 비트오유률을 보장하면서도 기억요소수를 2/3로 줄이고 부호기구성을 간단히 하는 우점을 가지고있다.

참 고 문 헌

- [1] O. Osman; IEEE Trans. Wirel. Commun., 4, 2, 397, 2005.
- [2] B. E. Rimoldi; IEEE Trans. Inf. Theory, 34, 260, 2001.

주체103(2014)년 9월 5일 원고접수

A Method for Construction of Error Control Encoder in CPM Communication System

Kim Thae Guk

In band-limited channels, such as satellite communications, continuous phase modulation (CPM) has explicit advantages, since it has low spectral occupancy property.

Comparing to the methods in previous literatures, the method for constructing encoder, proposed in this paper, provides equal BER, but may decrease memory elements to $2/3$ and simplify the structure.

Key word: CPM