

## 일반화된 전달함수방법을 위한 초상태 천이행렬

진익주    관찬    재영    이진호    황금찬

正會員  陳翼洙\*, 趙寬\*\*, 安載泳\*\*\*, 李鎮鎬\*\*\*\*, 黃金燦\*\*\*\*

### Superstate Transition Matrix for the Generalized Transfer Function Method

Ik Soo Jin\*, Kwan Cho\*\*, Jae Young Ahn\*\*\*,  
Jin Ho Lee\*\*\*\*, Keum Chan Whang\*\*\*\* Regular Members

#### 要 約

본 논문의 목적은 일반화된 전달함수방법을 이용하여 TCM 시스템의 성능분석시 핵심부분인 초상태 천이행렬을 구성하는 문제를 단순화시켜 결과적으로 TCM 시스템의 성능분석을 용이하게 하는데 있다.

따라서 본 논문에서는 초상태 천이행렬을 쉽게 구할 수 있는 알고리즘과 이를 축소하는 알고리즘을 제안하였으며, MTCM 부호를 예로들어 적용예를 보였다. 본 알고리즘은 특히 트렐리스의 상태수가 크거나 병렬천이가 많을 경우 매우 유용함을 확인하였다.

#### ABSTRACT

The purpose of this paper is to provide an algorithm in which the procedure of constructing a superstate transition matrix for trellis codes is reduced and, as a result, make it easier to evaluate the performance of a TCM scheme when the generalized transfer function method is used.

In this paper, an algorithm for constructing a superstate transition matrix and an algorithm for reducing the matrix easily are addressed and applied to an MTCM scheme as an example. It is shown that the algorithm is very useful for trellis codes with a large number of states and/or parallel transitions.

\*電子通信研究所 移動通信技術研究團

\*\*LG 情報通信 端末開發團

\*\*\*電子通信研究所 衛星通信技術研究團

\*\*\*\*延世大學校 電氣工學科

論文番號 : 95234-0704

接受日字 : 1995年 7月 4日

## I. 서론

TCM (trellis coded modulation) 시스템의 이론적인 성능분석방법으로는 전달함수방법 (transfer function approach)에 근거한 상한식을 이용하여 비트오율을 계산하는 방법이 광범위하게 사용되고있다<sup>1)</sup>. 전달함수방법을 이용하여 TCM 시스템의 성능분석을 하기 위해서는 대체로 2 가지 작업을 반드시 수행해야한다. 첫번째는 트렐리스 선도로 부터 전달함수를 구하는 것이고, 두번째는 분석하고자하는 시스템의 상황 (즉, 채널이나 채널상태정보등 기타 다른 조건들) 이 반영된 pairwise 오율을 유도하는 것이다.

전달함수를 구하는 방법에는 오류 상태선도 (error state diagram) 를 이용하는 방법<sup>2)</sup> 과 일반화된 전달함수 방법 (generalized transfer function) 방법<sup>3)</sup> 등이 있다. 오류 상태선도를 이용하는 방법은 계산량이 트렐리스의 상태수에 비례하지만 uniform 조건을 만족하는 특수한 트렐리스 부호에만 적용이 가능하다는 것이 단점이다. 이에 반하여 일반화된 전달함수방법은 지극히 일반적인 방법으로 모든 트렐리스부호에 적용할 수 있다는 장점이 있다. 일반화된 전달함수방법의 핵심은 초상태 천이행렬 (superstate transition matrix) 을 구성하는 것이다. 그러나  $s$ -상태의 트렐리스 부호경우 초상태 천이행렬의 크기는  $s^2 \times s^2$  이 되며, 병렬천이(parallel transition)의 갯수를  $N_p$ 라 하면 초상태 천이행렬을 구성하는 원소들은  $N_p \times N_p$  개항의 합으로 이루어지므로 계산량은  $N_p^2$  배로 증가한다. 따라서 상태수가 크고 MTCM (multiple trellis coded modulation) 처럼 병렬천이 수가 많고 전연결 (full-connection) 일 경우는 일반화된 전달함수방법을 적용하기가 힘들게 된다.

한편, 일단  $s^2 \times s^2$  초상태 천이 행렬이 구성되면 트렐리스 부호가 uniform 조건을 만족할 경우, 초상태 천이행렬의 동일한 입력 및 출력 천이관계를 이용하여  $s \times s$  행렬로 축소할 수 있다. 그러나  $s^2 \times s^2$  행렬을  $s \times s$  행렬로 축소하는 기존의 과정은 매우 번거롭다<sup>4)</sup>. 예를 들어 8-상태 트렐리스 부호경우, 처음에  $64 \times 64$  행렬을 구하고 이를 반씩 줄여나가면서 마지막으로  $8 \times 8$  행렬을 얻게 되는 것이다. 상태수가 더 큰 부호일 경우에 상황은 더욱 나빠진다.

본 논문의 목적은 일반화된 전달함수방법을 사용하여

TCM 시스템의 성능분석을 할때 트렐리스 부호의 종류 (TCM 혹은 MTCM), 상태수나 병렬천이수의 크고 작음에 상관없이 일반화된 전달함수방법의 핵심부분인 초상태 천이행렬을 구성하는 문제를 단순화시켜 결과적으로 TCM 시스템의 성능분석을 용이하게 하는데 있다.

따라서 본 논문에서는  $s$ -상태의 트렐리스 선도로 부터  $s^2 \times s^2$  초상태 천이행렬을 구하는 알고리즘과, 트렐리스 부호가 uniform 조건을 만족할경우  $s^2 \times s^2$  초상태 천이행렬로 부터 여러 단계를 거치지 않고 직접  $s \times s$  초상태 천이행렬로 축소하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

## II. 일반화된 전달함수 방법

전달함수를 이용한 비트오율의 상한식은 일반적으로 다음과 같다<sup>1)</sup>.

$$P_b \leq \frac{1}{b} \cdot \left. \frac{\partial T(\Omega)}{\partial I} \right|_{I=1} \quad (1)$$

여기서 함수  $T(I)$ 를 전달 함수라 한다. 트렐리스 부호의 상태수를  $s$  라하면,  $s^2 \times s^2$ 의 크기를 갖는 초상태 천이행렬  $\mathbf{A}(I)$ 를 정의함으로써 전달함수  $T(I)$ 를 구할 수 있다. 행렬  $\mathbf{A}(I)$ 는 식 (2) 와 같이 분할된다.

$$\mathbf{A}(I) = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{GG}(I) & \vdots & \mathbf{A}_{GB}(I) \\ \cdots & \vdots & \cdots \\ \mathbf{A}_{BG}(I) & \vdots & \mathbf{A}_{BB}(I) \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2) 에서  $\mathbf{A}_{GG}(I)$ 는 good 초상태에서 good 초상태로 상태천이가 일어나는 크기가  $s \times s$ 인 부행렬이며,  $\mathbf{A}_{GB}(I)$ 는 good 초상태에서 bad 초상태로 상태천이가 일어나는 크기가  $s \times (s^2-s)$ 인 부행렬이다. 또한,  $\mathbf{A}_{BG}(I)$ 는 bad 초상태에서 good 초상태로 상태천이가 일어나는 크기가  $(s^2-s) \times s$ 인 부행렬이며,  $\mathbf{A}_{BB}(I)$ 는 bad 초상태에서 bad 초상태로 상태천이가 일어나는 크기가  $(s^2-s) \times (s^2-s)$ 인 부행렬이다. 일반화된 전달함수 방법에서는 항상 영 (zero) 인 데이터를 전송한다는 가정이 필요없다. 또한 모든 정확한 경로와 가능한 모든 오류경로를 비교하여 계산을 할 수 있기 때문에 지극히 일반적이며, 모든 트렐리스 부호의 해석에 적용할 수 있다는 장점이 있다.

전달함수  $T(I)$ 를 식 (2) 의 초상태 천이행렬  $\mathbf{A}(I)$ 를 이용하여 나타내면 식 (3) 과 같다 [1, Appendix B].

$$T(I) = \frac{1}{s} \cdot \left[ a(I) + b(I) \cdot [I - \mathbf{A}_{BB}(I)]^{-1} \cdot c(I) \right] \quad (3)$$

여기서

$$\begin{aligned} a(I) &= \mathbf{1}^T \cdot \mathbf{A}_{GG}(I) \cdot \mathbf{1} \\ b(I) &= \mathbf{1}^T \cdot \mathbf{A}_{GB}(I) \\ c(I) &= \mathbf{A}_{BG}(I) \cdot \mathbf{1} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에서  $\mathbf{1}$ 은 모든 원소가 1인 열 벡터이며,  $^T$ 는 행렬의 전치 (transpose)를 의미한다. 식 (1)에 식 (3)을 대입하고 매개변수  $I$ 에 대하여 미분을 한다음  $I = 1$ 을 대입하면 다음과 같은 비트 오류 확률식을 얻을 수 있다.<sup>(3)</sup>

$$P_b = \frac{1}{s \cdot b} \{ a'(1) + b'(1) \cdot [I - \mathbf{A}_{BB}(1)]^{-1} \cdot c(1) + b(1) \cdot [I - \mathbf{A}_{BB}(1)]^{-1} \cdot c'(1) + b(1) \cdot [I - \mathbf{A}_{BB}(1)]^{-1} \cdot \mathbf{A}_{BB}'(1) \cdot [I - \mathbf{A}_{BB}(1)]^{-1} \cdot c(1) \} \quad (5)$$

### III. 초상태 천이행렬을 구하기위한 알고리즘

TCM 에서는 일반적으로 M-PSK, M-AM 또는 M-QAM 변조방식이 많이 사용되고 있는데, 본 알고리즘에서는 M-PSK 로 변조한 경우에 대해서 다루었다. 또한 Ungerboeck 의 TCM<sup>(7)</sup> 은 MTCM 에서  $k^* = 1$  인 특수한 경우이므로 본 알고리즘에서는 MTCM 에 대해서 다루었다.

#### 3.1 알고리즘의 입력값

본 알고리즘에서는 트렐리스의 상태수 ( $s$ ), M-PSK 신호집합의 크기 ( $M$ ), 병렬 천이수 ( $N_p$ ), 입력 비트수 ( $b$ ), 다중화 지수 ( $k^*$ ), 트렐리스 선도의 입력 비트와 출력 심볼에 대한 정보 및  $s^2 \times s^2$  천이행렬  $\mathbf{A}(I)$ 의 레이블 (label) 을 필요로한다. 본 알고리즘에서는 트렐리스 선도에 나타나는 입력비트와 출력 심볼들을 표현하기 위한 방법으로, 식 (6) 과 같이  $Trellis$  라는 배열 변수를 설정하였다.

$$Trellis[s][s][N_p][b+k^*] \quad (6)$$

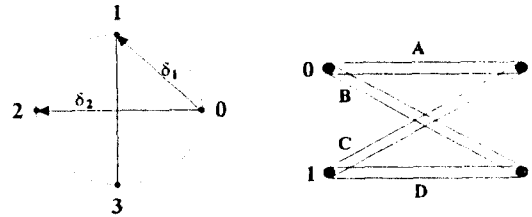
$Trellis$  라는 배열변수에서 첫번째 배열은 트렐리스

선도의 현재 상태를 의미하고, 두번째 배열은 다음상태를 의미한다. 세번째 배열은 트렐리스 선도의 현재 상태와 다음 상태에 연결된 병렬 천이의 수이고, 네번째 배열은 트렐리스 가지가 결정되었을 때 그 가지에 할당된 입력 비트수와 채널 출력심볼의 갯수이다.  $s^2 \times s^2$  천이행렬  $\mathbf{A}(I)$ 의 레이블을 위하여 STATE\_INDEX 라는 배열변수를 설정하였다.

$$STATE\_INDEX [s \times s][2] \quad (7)$$

상태번호는 0 번에서 ( $s-1$ ) 까지 불허지며, 배열변수 STATE\_INDEX 에는 상태번호의 가능한 모든 조합쌍이 입력된다.

그림 1에 상태수 2, 부호율 2/4 ( $k^*=2$ ) 4-PSK MTCM 부호 (5)의 트렐리스 선도와 4-PSK 신호좌표를 나타내었다. 이러한 출력 심볼집합들은  $A = \{00\}, \{22\}$ ,  $B = A + \{02\}$ ,  $C = A + \{13\}$ ,  $D = B + \{13\}$  의 연산결과로부터 구성된다. 이 경우  $s = 2$ ,  $M = 4$ ,  $N_p = 2$ ,  $b = 2$ ,  $k^* = 2$ 가 된다. 또한 트렐리스 선도의 입력 비트와 출력 심볼을 나타내는 배열 Trellis는 그림 1을 참고로 하여 다음과 같이 입력되어야 한다.



$$A = \begin{bmatrix} 00/00 \\ 01/22 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 10/02 \\ 11/20 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 00/13 \\ 01/31 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 10/11 \\ 11/33 \end{bmatrix}$$

input bits/output 4-PSK symbols

그림 1. 상태수 2, 부호율 2/4 ( $k^*=2$ ) 4-PSK MTCM 부호의 트렐리스 선도와 4-PSK 신호좌표

Fig. 1. 4-PSK signal constellation and trellis diagram of the two-state rate 2/4 ( $k^*=2$ ) 4-PSK MTCM code

```
static char Trellis[2][2][2][4] = {
    {{ {0,0,0,0},{0,1,2,2}}, "state 0 → state 0"
    {{ {1,0,0,2},{1,1,2,0}}, "state 0 → state 1"
    {{ {0,0,1,3},{0,1,3,1}}, "state 1 → state 0"
    {{ {1,0,1,1},{1,1,3,3}} } "state 1 → state 1"
};
```

예로든 상태수 2, 부호율 2/4 ( $k^* = 2$ ) 4-PSK MTCM 부호는 전연결 (full connection)인 경우이지만, 만일 트렐리스 선도가 반연결 (half connection) 일 경우는 상태간에 천이가 없는 경우도 생기게 된다. 그럴경우는 배열 *Trellis*의 해당위치에 문자 'X'를 입력시킨다.  $s^2 \times s^2$  행렬  $\mathbf{A}(I)$ 의 레이블은 상태수가 2인 경우이므로 다음과 같이 입력되어야 한다.

```
static int STATE_INDEX [4][2] = {
    {0,0}, {1,1}, {0,1}, {1,0}
};
```

### 3.2 $s^2 \times s^2$ 초상태 천이행렬

입력이 완료되면 *STATE\_INDEX*의 입력값에 따라, 오류가 없는 천이와 오류가 있는 천이의 입력비트들을 비교하여 해밍 거리를, 채널 심볼들을 비교하여 유클리드 거리를 계산한다. 계산된 결과를 이전에 결과들과 비교하여 같은것이 없으면 *Char\_flag*에 저장된 값은 1이 증가하며, 프로그램이 종료되었을때 *Char\_flag*에 저장된 값이 초상태 천이행렬의 서로 다른 원소 수가 된다.  $s$ -상태의 트렐리스 선도로 부터  $s^2 \times s^2$  초상태 천이행렬  $\mathbf{A}(I)$ 를 구하기 위한 순서도를 그림 2에 나타내었다.

그림 2의 순서도에서 *SUPER\_MATRIX\_table*은 행렬  $\mathbf{A}(I)$ 를 표형대로 출력하기 위한 배열변수이며, *SUPER\_MATRIX\_entries*는 행렬  $\mathbf{A}(I)$ 의 구성원소를 나타내기 위해 설정되었다. 배열 *SUPER\_MATRIX\_entries*의 차원은  $k^*+2$ 이므로, 다중화지수  $k^*$  값에 따라 적당하게 바뀌어야 한다. 그리고 *SUPER\_MATRIX\_entries*의 출력값에는 특별한 입력이 선택될 사전확률이 포함되지 않았으므로 결과식에 반드시 포함 시켜야 한다.

상태수 4, 부호율 4/6 ( $k^* = 2$ ) 8-PSK MTCM 부호 (6)에 대하여 본 알고리즘을 적용한 결과를 표 1에 나타내었다. 이 경우  $s = 4$ ,  $M = 8$ ,  $N_p = 4$ ,  $b =$

4이다. 상태수가 4이므로  $\mathbf{A}(I)$  행렬의 크기는  $16 \times 16$ 이 되며, 배열 *STATE\_INDEX*는 다음과 같이 입력되어야 한다.

```
static int STATE_INDEX [16][2] = {
    {0,0}, {1,1}, {2,2}, {3,3},
    {0,1}, {0,2}, {0,3},
    {1,0}, {1,2}, {1,3},
    {2,0}, {2,1}, {2,3},
    {3,0}, {3,1}, {3,2}
};
```

표 1에서  $I(d_H)$ 는 비트 에러의 갯수를 나타내며, 실제로  $I^H$ 를 의미한다.  $C(1)$ ,  $C(2)$  등은  $C(\delta_1^2)$ ,  $C(\delta_2^2)$ 를 의미하고  $C(0)=1$ 로 정의한다.  $C(\delta_j^2)$ 의 의미는 pairwise 오출함수의  $|x_p - \hat{x}_p|^2$  부분을  $\delta_j^2$ 로 치환한다는 뜻이다.

### 3.3 축소된 $s \times s$ 초상태 천이행렬

일단  $s^2 \times s^2$  행렬  $\mathbf{A}(I)$ 가 구성되면, 트렐리스 선도가 uniform 조건을 만족할 경우에는 초상태 천이행렬의 동일한 입력 및 출력 천이를 이용하여  $s \times s$  행렬  $\mathbf{A}_r(I)$ 로 축소할 수 있다<sup>[2-4]</sup>.

그러나 초상태 천이행렬을 축소하는 기존의 과정은 행렬의 크기를 반씩 줄여나가기 때문에 여러단계를 거쳐야 한다. 이러한 번거로움을 피하기 위하여 본 논문에서는 직접  $s^2 \times s^2$  초상태 천이행렬을  $s \times s$  초상태 천이행렬로 축소하는 알고리즘을 개발하였다. 편의상  $s^2 \times s^2$  행렬은  $\mathbf{A}(I)$ 로, 축소된  $s \times s$ 행렬은  $\mathbf{A}_r(I)$ 로 구별하여 표기하기로 한다.

- (i)  $s \times s$  행렬  $\mathbf{A}_r(I)$ 의 행과 열에 0 부터  $(s-1)$  까지 레이블 한다.
- (ii)  $s \times s$  부행렬  $\mathbf{A}_{GG}(I)$ 에서 임의의 행 (혹은 열)에 있는 모든 원소들을 더하여, 이 값을  $\mathbf{A}_r(I)$  행렬의  $(0,0)$  위치에 매핑한다.
- (iii)  $s \times (s^2-s)$  부행렬  $\mathbf{A}_{GB}(I)$ 에서 첫번째 열부터  $(s-1)$  열까지 각 열에 있는 원소들을 각각 더하여, 이 값들을  $\mathbf{A}_r(I)$  행렬의  $(0,1)$  부터  $(0,s-1)$  위치에 각각 매핑한다.
- (iv)  $(s^2-s) \times s$  부행렬  $\mathbf{A}_{BG}(I)$ 에서 첫번째 행부터  $(s-1)$  행까지 각 행에 있는 원소들을 각각 더하여,

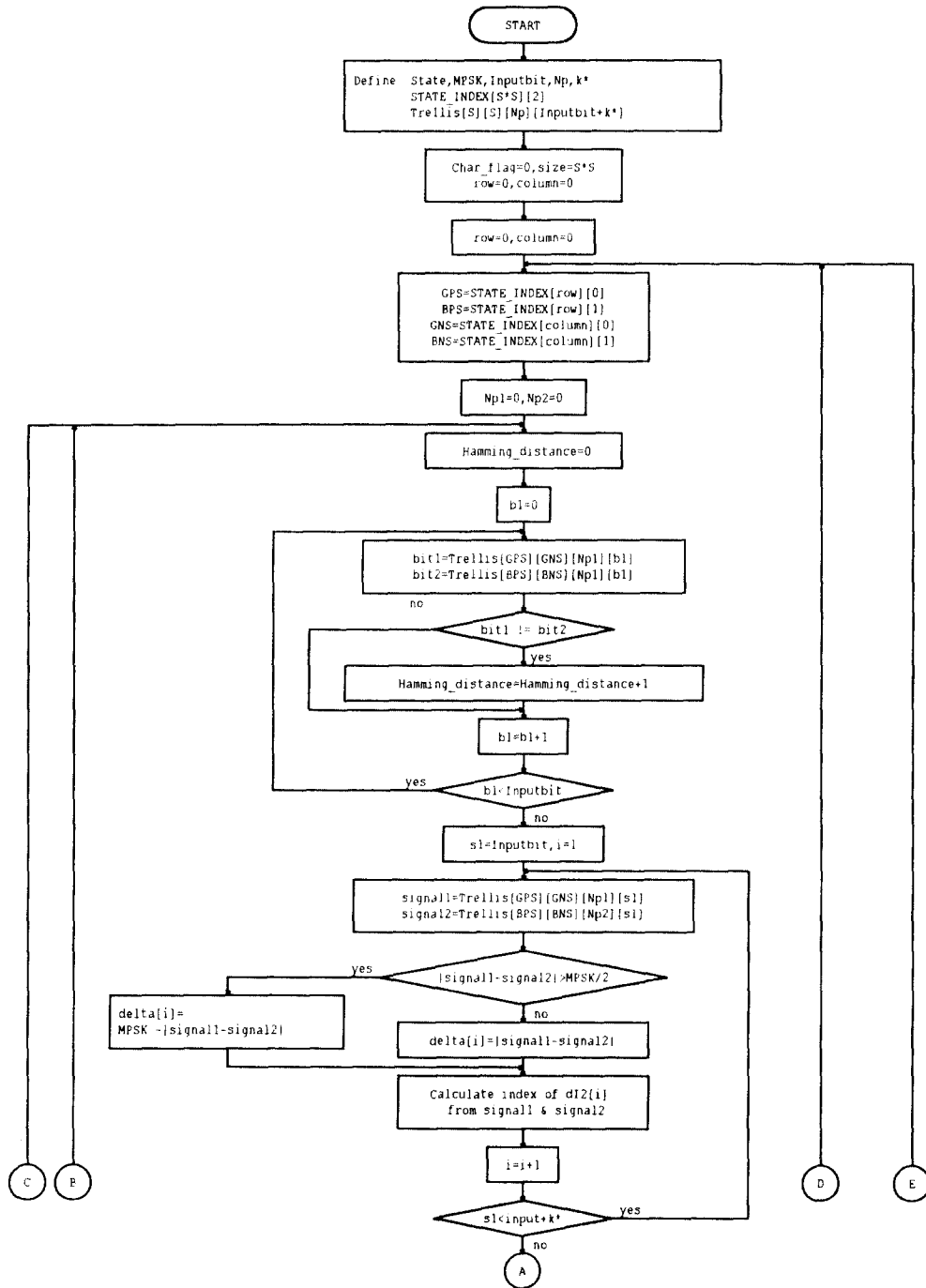


그림 2.  $s^2 \times s^2$  초상태 천이행렬  $A(I)$ 를 구하기위한 순서도  
 Fig. 2. Flow chart for  $s^2 \times s^2$  superstate transition matrix  $A(I)$

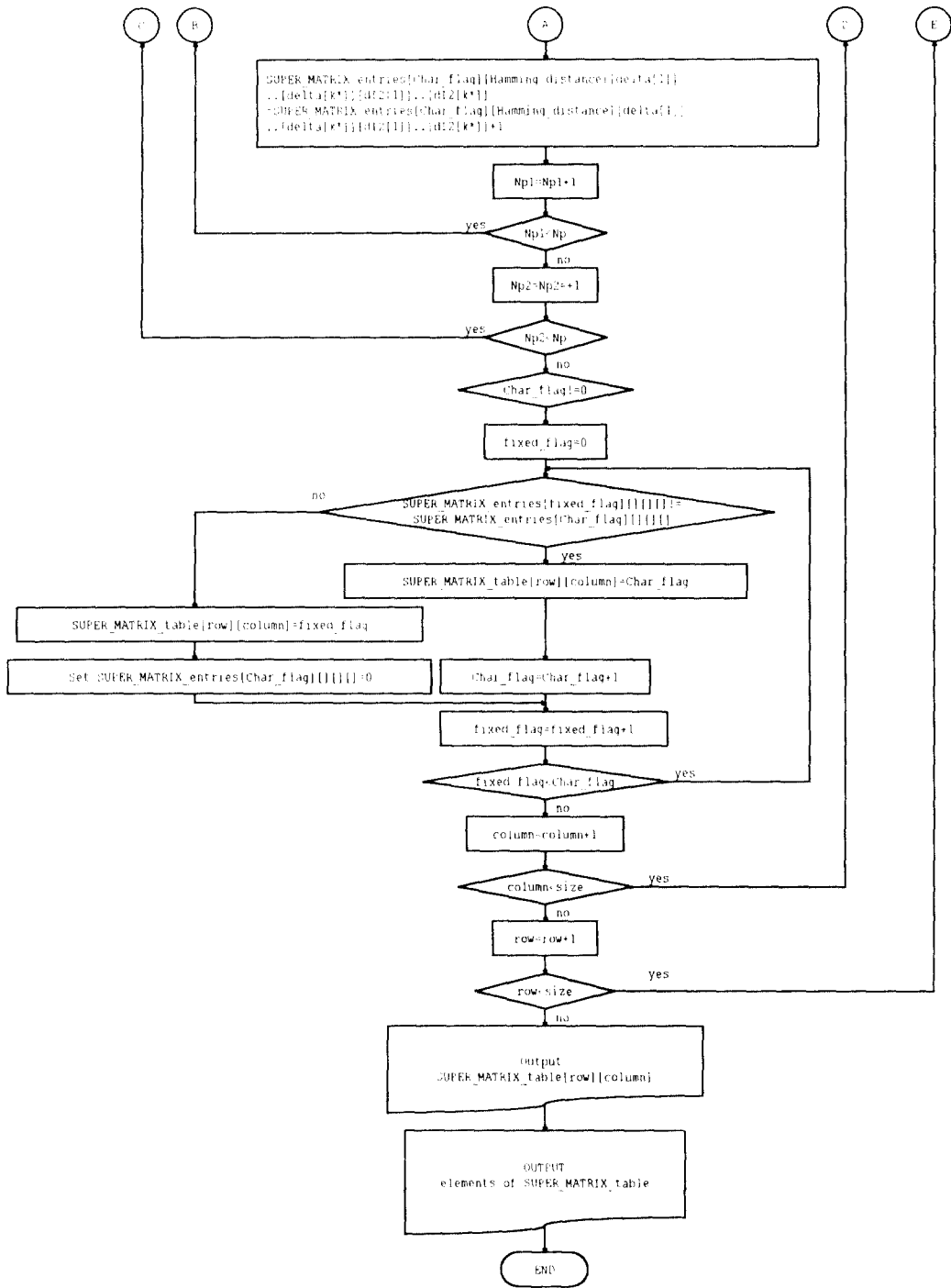


그림 2.  $s^2 \times s^2$  초상태 천이행렬  $A(D)$ 를 구하기 위한 순서도(계속)  
 Fig. 2. Flow chart for  $s^2 \times s^2$  superstate transition matrix  $A(D)$

표 1. 상태수 4, 부호율 4/6 ( $k^* = 2$ ) 8-PSK MTCM 부호의 16×16 초상태 천이행렬  $A(I)$   
 Table 1. 16×16 superstate transition matrix for the 4-state rate 4/6 ( $k^*=2$ ) 8-PSK MTCM code

	00	11	22	33	01	02	03	10	12	13	20	21	23	30	31	32
00	a	a	a	a	b	c	d	b	d	c	c	d	b	d	c	b
11	a	a	a	a	b	c	d	b	d	c	c	d	b	d	c	b
22	a	a	a	a	b	c	d	b	d	c	c	d	b	d	c	b
33	a	a	a	a	b	c	d	b	d	c	c	d	b	d	c	b
01	e	e	e	e	f	g	h	i	j	g	g	h	f	j	g	i
02	b	b	b	b	a	d	c	a	c	d	d	c	a	c	d	a
03	f	i	f	i	e	h	g	e	g	j	h	g	e	g	j	e
10	e	e	e	e	i	g	j	f	h	g	g	j	i	h	g	f
12	i	f	i	f	e	j	g	e	g	h	j	g	e	g	h	e
13	b	b	b	b	a	d	c	a	c	d	d	c	a	c	d	a
20	b	b	b	b	a	d	c	a	c	d	d	c	a	c	d	a
21	i	f	i	f	e	j	g	e	g	h	j	g	e	g	h	e
23	e	e	e	e	i	g	j	f	h	g	g	j	i	h	g	f
30	f	i	f	i	e	h	g	e	g	j	h	g	e	g	j	e
31	b	b	b	b	a	d	c	a	c	d	d	c	a	c	d	a
32	e	e	e	e	f	g	h	i	j	g	g	h	f	j	g	i

$$\begin{aligned}
 a &= 4I(0)C(0)C(0) + 4I(1)C(2)C(2) + 4I(1)C(4)C(4) + 4I(2)C(2)C(2) \\
 b &= 4I(1)C(1)C(3) + 2I(2)C(1)C(3) + 6I(2)C(3)C(1) + 2I(3)C(1)C(3) + 2I(3)C(3)C(1) \\
 c &= 4I(1)C(0)C(4) + 4I(2)C(2)C(2) + 4I(2)C(4)C(0) + 4I(3)C(2)C(2) \\
 d &= 4I(2)C(1)C(1) + 2I(3)C(1)C(1) + 6I(3)C(3)C(3) + 2I(4)C(1)C(1) + 2I(4)C(3)C(3) \\
 e &= 4I(0)C(0)C(2) + 2I(1)C(2)C(0) + 2I(1)C(2)C(4) + 4I(1)C(4)C(2) + 2I(2)C(2)C(0) + 2I(2)C(2)C(4) \\
 f &= 4I(1)C(1)C(1) + 2I(2)C(1)C(3) + 2I(2)C(3)C(1) + 4I(2)C(3)C(3) + 2I(3)C(1)C(3) + 2I(3)C(3)C(1) \\
 g &= 4I(1)C(0)C(2) + 2I(2)C(2)C(0) + 2I(2)C(2)C(4) + 4I(2)C(4)C(2) + 2I(3)C(2)C(0) + 2I(3)C(2)C(4) \\
 h &= 4I(2)C(1)C(3) + 2I(3)C(1)C(1) + 4I(3)C(3)C(1) + 2I(3)C(3)C(3) + 2I(4)C(1)C(1) + 2I(4)C(3)C(3) \\
 i &= 4I(1)C(1)C(3) + 2I(2)C(1)C(1) + 4I(2)C(3)C(1) + 2I(2)C(3)C(3) + 2I(3)C(1)C(1) + 2I(3)C(3)C(3) \\
 j &= 4I(2)C(1)C(1) + 2I(3)C(1)C(3) + 2I(3)C(3)C(1) + 4I(3)C(3)C(3) + 2I(4)C(1)C(3) + 2I(4)C(3)C(1)
 \end{aligned}$$

이 값들을 행렬  $A_r(I)$ 의  $(1, 0)$  부터  $(s-1, 0)$  위치

에 각각 매핑한다.  
 (v)  $(s^2-s) \times (s^2-s)$  부행렬  $A_{BB}(I)$ 에서 첫번째 행부터  $(s-1)$  행까지를 선택하여, 이를  $(s-1)$  개의 열을 갖는  $s$  개의 부행렬로 분할한다. (본 논문에서는 분할된  $s$  개의 부행렬을 왼쪽부터  $A_{BB}^{(j)}(I)$ ,  $(j=0, \dots, s-1)$ 로 표기한다.)

(vi)  $s \times (s^2-s)$  부행렬  $A_{GB}(I)$ 를  $(s-1)$  개의 열을 갖는  $s$  개의 부행렬로 분할한다. (본 논문에서는 분할된  $s$  개의 부행렬을 왼쪽부터  $A_{GB}^{(j)}(I)$ ,

$(j=0, \dots, s-1)$ 로 표기한다.)

(vii) 부행렬  $A_{r,BB}(I)$ 의  $i$  ( $i=1, \dots, s-1$ )번째 열을 구하는 과정은 다음과 같다.

첫째, 부행렬  $A_{GB}^{(j)}(I)$ 의 각 열에 있는 원소들을 각각 더한다.

둘째, 부행렬  $A_{GB}^{(0)}(I)$ 의  $i$  번째 열에 있는 원소들의 합과 같은  $A_{GB}^{(j)}(I)$ 의 열들을 선택한다. 만일  $j$  가 고정된 부행렬  $A_{GB}^{(j)}(I)$  내에서 합이 같은 열이 2 개 이상 존재하면, 같은 열에 있는  $A_{BB}^{(j)}(I)$ 의 열의 원소들을 각각 더한후

에, 부행렬  $A_{BB}^{(i)}(I)$ 의  $i$  번째 열에 있는 원소들의 합과 같은 쪽을 선택하고, 선택된  $A_{BB}^{(i)}(I)$ 의 열과 같은 열에 있는  $A_{GB}^{(i)}(I)$ 의 열을 선택한다.

셋째, 부행렬  $A_{BB}^{(0)}(I), A_{BB}^{(1)}(I), \dots, A_{BB}^{(3)}(I)$ 에 대하여, 둘째 단계에서 선택된  $A_{GB}^{(i)}(I)$ 의 열들과 같은 위치에 있는 열들을 선택하여 각각의 열 벡터를 더한다.

표 2는 표 1에 본 알고리즘을 적용하여 얻어진 축소된  $s \times s$  행렬  $A_r(I)$ 이다. 예를 들어, 표 2에서 부행렬  $A_{r, BB}(I)$ 의 첫번째 열은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} f \\ a \\ e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i \\ a \\ e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f \\ a \\ e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i \\ a \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2f + 2i \\ 4a \\ 4e \end{bmatrix} \quad (8)$$

본 알고리즘의 이해를 돕기 위하여 표 1을 굵은선과 점선으로 구분해 놓았다. 굵은선으로 구분된 4 개의 부행렬들은 식 (2)의  $A_{GG}(I), \dots, A_{BB}(I)$ 를 나타낸다.  $A_{BB}(I)$ 에서 점선으로 구분된 4 개의  $3 \times 3$  부행렬들은  $A_{BB}^{(i)}(I), (i=0, \dots, 3)$ 를 나타낸다.

표 2 상태수 4, 부호율 4/6 ( $k^*=2$ ) 8-PSK MTCM 부호의 축소된  $4 \times 4$  초상태 전이행렬  $A_r(I)$

	0	1	2	3
0	4a	4b	4c	4d
1	4e	2f + 2i	4g	2h + 2j
2	4b	4a	4d	4c
3	2f + 2i	4c	2h + 2j	4g

#### IV. 결 론

본 논문에서는 일반화된 전달함수 방법을 사용하여 TCM 시스템의 성능분석을 할때, 일반화된 전달함수 방법의 핵심부분인 초상태 전이행렬을 구성하는 문제를 단순화시키기 위하여,  $s$ -상태의 트렐리스 선도로부터  $s^2 \times s^2$  초상태 전이행렬을 구하는 알고리즘과, 트렐리스 부호가 uniform 조건을 만족할 경우  $s^2 \times s^2$  초상태 전이행렬로부터 직접  $s \times s$  초상태 전이행렬로 축소하는 알고

리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 트렐리스의 상태수가 크고 병렬천이의 수가 많을수록 위력을 발휘하였다. 본 논문에서는 M-PSK 로 변조한 경우만 다루었지만 약간의 수정을 가하면 4/8-PSK 같은 혼합 (hybrid) 형태, M-AM, M-QAM 에도 적용가능하다. 따라서 본 논문에서의 결과는 트렐리스 부호를 사용한 모든 시스템의 성능분석에 유용하게 사용될 수 있으리라 생각된다.

#### 참고문헌

1. E. Biglieri, D. Divsalar, P. J. McLane, M. K. Simon, *Introduction to trellis-coded modulation with applications*, Macmillan, New York 1991.
2. E. Biglieri and P. J. McLane, "Uniform distance and error probability properties of TCM schemes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 39, no. 1, pp.41-53, Jan. 1991.
3. E. Biglieri, "High-level modulation and coding for nonlinear satellite channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, no. 5, pp.616-626, May 1984.
4. 진익수, 광 홍식, 조관, 황금찬 "신호좌표를 최적화한 Trellis 부호를 적용한 DS/SSMA 시스템의 성능분석," 통신학회 논문지, 제 19권, 제 11호, pp.2147-2159, 1994.
5. D. Divsalar and M. K. Simon, "Multiple trellis coded modulation (MTCM)," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-36, no. 4, pp.410-419, Apr. 1988.
6. D. Divsalar and M. K. Simon, "The design of trellis coded MPSK for fading channels: set partitioning for optimum code design," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-36, no. 9, pp.1013-1021, Sep. 1988.
7. G. Ungerboeck, "Channel coding with multi-level/phase signals," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-28, no. 1, pp.55-67, Jan. 1982.





陳翼洙(Ik Soo Jin) 정회원

1964년 2월 5일생

1987년 2월 : 연세대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사)

1989년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1995년 8월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1995년 11월~현재 : 전자통신연구소 이동통신단 신호처리연구실 근무

\*주관심 분야 : 대역확산통신, CDMA 이동무선통신, 변복조, 채널코딩



趙寬(Kwan Cho) 정회원

1965년 9월 20일생

1988년 2월 : 연세대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사)

1990년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업(공학석사)

1995년 8월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1995년 9월~현재 : LG 정보통신 단말사업부 단말개발단 근무

\*주관심 분야 : 대역확산통신, CDMA 이동무선통신, 채널코딩

安載泳(Jae Young Ahn)

정회원

1961년 2월 24일생

1979년 2월 : 연세대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사)

1981년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1989년 8월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1989년 9월~현재 : 전자통신연구소 위성통신기술연구단 근무

\*주관심 분야 : 대역확산통신, CDMA 이동무선통신, 위성통신



李鎭鎭(Jin Ho Lee) 정회원

1959년 8월 15일생

1982년 2월 : 연세대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사)

1984년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1991년 9월~현재 : 연세대학교 대학원 전기공학과 박사과정 재학

1984년 1월~1989년 6월 : 금성반도체근무

1989년 7월~현재 : 한국IBM 근무

\*주관심 분야 : 대역확산통신, 유무선 연동망, 광대역 통신망



黃金燦(Keum Chan Whang) 정회원

1944년 7월 18일생

1967년 2월 : 연세대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사)

1979년 6월 : Polytechnic Institute of New York 전기공학과 졸업(공학박사)

1980년 9월~현재 : 연세대학교 공과대학 전기공학과 교수

\*주관심 분야 : 대역확산통신, 이동무선통신, 무선 패킷망, 광대역통신망, 탄성표면파 소자 및 그 응용분야