

論文99-36C-1-5

결정도를 이용한 GF(3)상의 GRM 상수 생성 방법

(A Production method of GRM coefficients using Decision Diagram over GF(3))

申 富 植 * , 黃 鍾 學 * , 金 興 壽 *

(Boo Sik Shin, Jong Hak Hwang, and Heung Soo Kim)

요 약

GF(3)상에서 n 변수에 대한 $3n$ 개의 서로 다른 극수(Polarity)를 갖는 GRM(Generalized Reed Muller) 상수를 구하는 방법을 제안하였다. n 개의 입력변수에 대한 일반적인 GRM함수의 생성방법은 단변수에 대한 전달행렬을 구하고 이를 n 번의 kronecker 곱을 행한 변환행렬을 이용하여 GRM상수를 구한다. 본 논문에서는 결정도를 이용한 GRM상수의 생성방법을 나타내었다. 단 변수에 대한 상수 값의 변화를 결정도에 적용하고 이를 확장하여 n 변수에 대한 GRM상수를 구하였다.

Abstract

This paper presents a production method to GRM coefficients which consists of $3n$ polarities to n variables over GF(3). General production method is searching for transformation matrix for a single variable and then kronecker products for n times. This paper presents a production method of GRM coefficients using DD(Decision Diagram). Change of coefficients to a single variable are apply to DD and extended to n variables.

1. 서 론

현재 사용되고 있는 논리회로 시스템은 부울(Boolean)함수를 기초로 2진 논리회로로 구성되어있다. 그러나 2진 논리회로가 갖는 회로 복잡성, 단지수 제한문제등으로 인하여 Boolean체의 확장체인 유한체(Galois field)를 기초로 한 다치논리에 대한 연구가 활발히 진행중이다^[1-2]. 유한체는 p 를 소수 m 을 양의 정수라 할 때 p^m 개의 원소로 체를 구성한다. 다치논리함수는 일반적으로 입력 값의 조합에 의하여 출력 값이 주어지는 진리표를 일반화한 연산영역(Operational Domain)과 입력변수를 함수적으로 표현한

함수영역(Functional Domain)에서 해석이 가능하며 영역간의 변환은 RM(Reed-Muller) 전개식을 이용한다. RM전개식을 사용하는 이점은 소자 수와 게이트의 상호 연결 수에 있어서 타 함수의 논리회로 실현보다 경제적이며 테스트가 용이하기 때문에 RM전개식의 계수들을 연산하는 여러 가지 방법들이 제안되었다^[3-4]. RM상수를 구하는 방법은 변환행렬을 이용하여 구하는 방법^[5]이 일반적이나 최근에는 그래프이론에 대한 관심이 높아지면서 결정도를 이용하여 RM상수를 구하는 방법이 제시되었다^[6]. 결정도는 함수 간략화 및 함수의 해석, 실현이 용이한 함수를 구현하는 방법으로서 여러 사람에게 의해 활발히 연구되고 있다^[7-11]. 2진 논리함수에 대한 결정도를 BDD(Binary Decision Diagram)라 하며 1978년 Akers^[7]에 의하여 제안되었으며 BDD의 확장이라는 개념을 다치논리 함수에 적용한 것을 MDD(Multiple-valued

* 正會員, 仁荷大學校 電子工學科

(Dept. of electronics Eng., IN-HA University, Incheon, Korea)

接受日字:1998年9月22日, 수정완료일:1998年12月23日

Decision Diagram)^[10]라 한다.

본 논문은 GF(3)상에서 여러 응용분야에 사용되고 있는 결정도 중 MDD를 이용하여 GRM상수를 구하는 방법을 제안하였다

II. GF(3)에서의 GRM상수 생성

RM전개식에 의하여 표현된 함수는 유일한 것이 아니다. GF(3)상에서 입력 변수 x 를 \bar{x} 인 $x+1, x+2$ 로 대체한다면 다른 형태의 정규화된 형식으로 표현된다. GF(3)상에서는 n 개의 입력 변수에 대하여 3^n 개의 입력형태가 만들어지며 이에 대한 RM상수를 구하는 것이 GRM변환이다. GRM상수 값의 결정은 연산영역에서 극수에 대한 GRM상수를 구하는 방법이 있지만 함수 영역에서 극수(이하 P)가 0인 고정 극수(Fixed Polarity)를 구하여 극수를 확장시켜 GRM상수를 구하는 것이 효과적이다. 본 장에서는 GF(3)상에서의 GRM상수를 생성하는 방법을 나타내었다.

1. 단변수에 대한 변환 상수 생성

단변수($n=1$)인 경우 일반적인 RM 전개식은 다음과 같다.

$$f(x) = c_0 + c_1 x' + c_2 x'^2 \tag{1}$$

('+' 는 modulo-3 연산)

x' 는 x 의 입력형태가 $x, x+1$ 또는 $x+2$ 의 3가지 형태중에 하나를 의미한다.

각각은 극수 0,1,2를 나타내며 x' 를 x 에 대하여 표현하면 다음과 같이 표현된다.

$$x' = x + k \quad (k = 0, 1 \text{ 또는 } 2) \tag{2}$$

단변수에 대한 RM전개식이 $f(x) = a_0 + a_1 x' + a_2 x'^2$ 인 경우 x' 에 대하여 식(2)를 대입하면

$$\begin{aligned} f(x) &= a_0 + a_1 x' + a_2 x'^2 \\ &= a_0 + a_1 (x+k) + a_2 (x+k)^2 \\ &= (a_0 + a_1 k + a_2 k^2) + (a_1 + 2a_2 k)x + a_2 x^2 \\ &= c_0 + c_1 x + c_2 x^2 \end{aligned} \tag{3}$$

식(3)을 이용하여 단변수에 대한 극수 0,1,2에 대한 변환 수식을 구할 수 있다.

① $x' = x$ 인 경우 (P=0)

식(3)으로부터 $k=0$ 을 대입하면 다음과 같은 변환 식을 얻을 수 있다.

$$f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \tag{4}$$

② $x' = x + 1$ 인 경우(P=1)

식(3)으로부터 $k=1$ 을 대입하면 다음과 같은 변환식을 얻을 수 있다.

$$f(x) = (a_0 + a_1 + a_2) + (a_1 + 2a_2)x + a_2 x^2 \tag{5}$$

③ $x' = x + 2$ 인 경우(P=2)

식(3)으로부터 $k=2$ 를 대입하면 다음과 같은 변환 식을 얻을 수 있다

$$f(x) = (a_0 + 2a_1 + a_2) + (a_1 + a_2)x + a_2 x^2 \tag{6}$$

위의 식(4), 식(5), 식(6)으로부터 극수에 따른 상수의 변환 관계를 나타내면 다음과 같다.

표 1. 극수에 따른 상수의 변환

Table 1. Changes of coefficients to polarity.

c_i	$x' = x$	$x' = x+1$	$x' = x+2$
c_0	a_0	$a_0 + a_1 + a_2$	$a_0 + 2a_1 + a_2$
c_1	a_1	$a_1 + 2a_2$	$a_1 + a_2$
c_2	a_2	a_2	a_2

(예제 1) 3차 1변수의 경우 P=0의 RM함수가 다음과 같은 경우 P=1, P=2의 함수를 구하라.

$$f(x) = x + 2x^2$$

표 1을 이용하여 변환 상수를 구하여 보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

표 2. 상수의 변환

Table 2. Changes of coefficients to polarity.

c_i	$x' = x$	$x' = x+1$	$x' = x+2$
c_0	0	0	1
c_1	1	2	0
c_2	2	2	2

표 2를 이용하여 P=1, P=2에 대한 GRM함수의 일반식을 구하면 다음과 같다.

$$f(x) = 2x + 2x^2 \quad (P=1)$$

$$f(x) = 1 + 2x^2 \quad (P=2)$$

2. n변수에 대한 변환상수 생성

n변수에 대한 상수의 변환은 단변수에 대한 상수의 변환 과정을 n변수로 확장하여 이루어 진다. n변수에 대한 RM전개식의 일반식은 다음과 같이 표현된다.

[정의 1] $f^F(x)$ 는 $f(x)$ 함수에 대하여 극수 F변환에 의해 생성된 극수 F의 GRM함수를 나타낸다.

극수 P는 n변수인 경우 $P=0$ 부터 $P=3^n-1$ 을 의미한다.

[정의 2] $f(X_n)$ 는 입력변수가 n개로 구성된 함수 $f(x)$ 를 의미한다.

단변수에 대한 일반식을 표현하면 다음과 같다.

$$f(X_1) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 \quad (7)$$

2변수에 대한 일반식을 나타내면 다음과 같다.

$$f(X_2) = (a_0 + a_1x_2 + a_2x_2^2) + (a_3 + a_4x_2 + a_5x_2^2)x_1 + (a_6 + a_7x_2 + a_8x_2^2)x_1^2 \quad (8)$$

x_2 변수에 대한 부분은 단변수에 대한 일반식으로 표현되며 식(8)을 x_1 에 대하여 표현하면 다음과 같다.

$$f(X_2) = f(X_1) + f(X_1)x_1 + f(X_1)x_1^2 \quad (9)$$

식(9)에 의하여 $f(X_2)$ 함수의 경우도 $f(X_1)$ 함수를 상수로 하여 x_1 변수에 대하여 단변수에 대한 극수의 변환과정을 적용하면 구할 수 있다.

식(9)를 n변수로 확장하면 다음과 같다.

$$f(X_n) = f(X_{n-1}) + f(X_{n-1})x_n + f(X_{n-1})x_n^2 \quad (10)$$

극수가 P인 GRM상수를 구하는 것은 각각의 변수에 따르는 극수 P의 단변수 변환 상수를 구하여 이를 n변수로 확장하면 극수 P에 대한 GRM 함수를 구할 수 있다.

(예제 2) 3차 2변수에 대한 P=0의 함수 식이 다음과 같은 경우 P=4의 GRM상수를 구하라.

$$f(x_1x_2) = x_2 + x_2^2 + x_1 + 2x_1x_2 + x_1x_2^2 + x_1^2 + 2x_1^2x_2 + x_1^2x_2^2 \quad (11)$$

$$f(x_1x_2) = (x_2 + x_2^2) + (1 + 2x_2 + x_2^2)x_1 + (1 + 2x_2 + x_2^2)x_1^2$$

표 1을 이용하여 x_2 변수에 대한 P=1의 변환을 행하면 다음과 같다.

$$f^1(x_1x_2) = (2 + x_2^2) + (1 + x_2 + x_2^2)x_1 + (1 + x_2 + x_2^2)x_1^2 \quad (12)$$

식(12)의 결과 식을 이용하여 x_1 변수에 대한 P=1의 변환을 행하면 P=4의 GRM 함수식을 구할 수 있으며 다음과 같다.

$$f^4(x_1x_2) = (1 + 2x_2) + (1 + x_2 + x_2^2)x_1^2$$

위의 예제에서와 같이 n변수에 대한 GRM함수를 구하는 방법은 단변수에 대한 변환상수를 구하는 방법을 n변수로 확장하여 구하면 된다.

III. 결정도를 이용한 GRM상수 생성

1. 결정도를 이용한 단변수 변환 상수 생성

결정도는 스위칭 함수를 그래픽으로 나타내어 함수의 간략화 및 회로실현이 용이한 효과적인 함수해석 방법이다. 2진 논리함수의 결정도를 BDD라 하며 이를 다치논리에 확장한 결정도를 MDD라 한다. 결정도는 절점(Node)와 가지(Branch)로 구성되어 있으며 p치 함수의 경우는 하나의 절점에 대하여 p개의 가지로 구성된다.

이러한 결정도를 이용하여 GRM상수를 구하는 방법은 P=0의 RM상수를 결정도로 나타낸 후 P에 따른 해당변수에 대한 단변수 변환 상수를 이용하여 이를 결정도로 변환하는 방식으로 행한다. 식(1)을 결정도로 표현하면 그림 1(a)과 같다. 그림 1(a)는 P=0의 결정도를 의미하며 P=1, P=2에 대하여 P=0를 기준으로 하여 변환된 결정도를 표 1을 사용하여 그리면 그림 1(b),(c)와 같다.

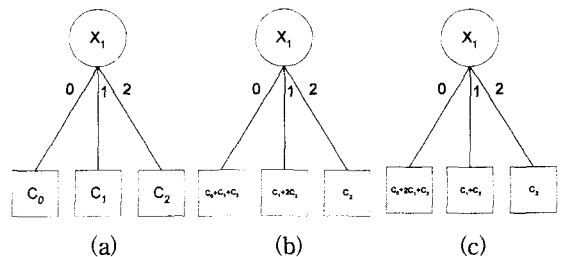


그림 1. 단변수 결정도
Fig. 1. DD of single variable.

[정의 4] $C_i(b_1, b_2, \dots, b_n)$ 는 결정도에서 X_i 절점에서 하위 계층의 가지 값이 b_1, b_2, \dots, b_n 에 이르는 상수 값을 의미한다. ($C_i(b_1, b_2, \dots, b_n), b_i \in \{0, 1, 2\}$)

[정의 4] 를 그림 1에 적용하여 나타내면 다음과 같

다.

표 3. 결정도에서 극수에 따른 상수의 변환
Table 3. Changes of coefficients to plarities in DD.

P=1인 경우	P=2인 경우
$C_i(0)=C_i(0)+C_i(1)+C_i(2)$	$C_1(0)=C_1(0)+2C_1(1)+C_1(2)$
$C_i(1)=C_i(1)+2C_i(2)$	$C_1(1)=C_1(1)+C_i(2)$
$C_i(2)=C_i(2)$	$C_1(2)=C_i(2)$

n변수의 경우 $X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_n$ 계층으로 결정도를 구성하였다면 X_k 변수에 대한 P=1, P=2의 상수 변환 다음과 같다.

① P=1

$$C_k(0, k+1, \dots, n) = C_k(0, k+1, \dots, n) + C_k(1, k+1, \dots, n) + C_k(2, k+1, \dots, n)$$

$$C_k(1, k+1, \dots, n) = C_k(1, k+1, \dots, n) + 2C_k(2, k+1, \dots, n)$$

$$C_k(2, k+1, \dots, n) = C_k(2, k+1, \dots, n)$$

② P=2

$$C_k(0, k+1, \dots, n) = C_k(0, k+1, \dots, n) + 2C_k(1, k+1, \dots, n) + C_k(2, k+1, \dots, n)$$

$$C_k(1, k+1, \dots, n) = C_k(1, k+1, \dots, n) + C_k(2, k+1, \dots, n)$$

$$C_k(2, k+1, \dots, n) = C_k(2, k+1, \dots, n)$$

위의 결정도에서 가지가 2인 x^2 에 대한 상수 값은 극수에 대하여 변화가 없고 x^1, x^0 의 항만 결정도의 상수 값이 변화함을 알 수 있다.

2. 결정도를 이용한 GRM상수 생성 알고리즘

결정도를 이용하여 GRM상수를 구하는 방법을 단계적으로 표현하면 다음과 같다.

[단계 1] P=0의 RM상수식에 대한 결정도를 그린다.

[단계 2] [단계 1]의 결정도에 대하여 절점이 생략된 가지에 대하여 절점을 삽입한다. 절점이 생략된 가지라는 것은 변수의 각 계층에 대하여 생략된 절점을 의미한다.

[단계 3] 극수에 따른 해당 입력변수의 절점에 대하여 단변수의 결정도를 이용하여 결정도 변환을 행한다.

위의 과정을 극수에 따른 해당 변수에 개별적으로 적용하면 원하는 극수의 GRM상수를 갖는 결정도를 구성할 수 있다.

n=2인 경우에 대하여 P=0의 함수식이 다음과 같은 경우 결정도를 이용하여 P=1, P=7의 GRM상수를 구

하는 방법을 적용하면 다음과 같다.

$$f(x_1x_2) = c_0 + c_1x_2 + c_2x_2^2 + c_3x_1 + c_4x_1x_2 + c_5x_1x_2^2 + c_6x_1^2 + c_7x_1^2x_2 + c_8x_1^2x_2^2$$

$$(c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8 \in \{0,1,2\})$$

[단계 1] P=0의 RM상수식에 대한 결정도를 그린다(그림 2).

[단계 2] 절점이 생략된 가지가 없으므로 [단계 2]는 생략한다.

[단계 3] P=1 경우이므로 x_2 변수의 각각의 절점에 대한 단변수 변환 결정도를 이용한 결정도를 작성한다(그림 3).

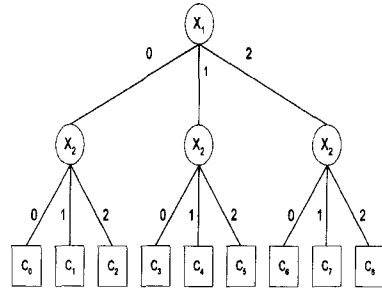


그림 2. P=0의 결정도
Fig. 2. DD for P=0.

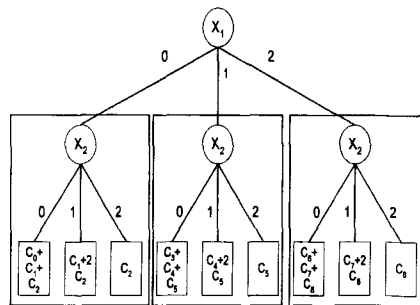
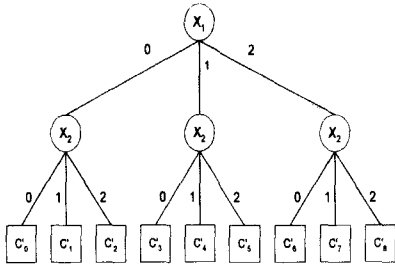


그림 3. P=1의 결정도
Fig. 3. DD for P=1.

[단계 3] P=7 경우이므로 x_2 는 P=1변환, x_1 은 P=2의 변환을 행하면 된다. 그림 3의 P=1의 변환을 이용하여 P=7의 변환을 행하면 x_1 에 대하여 하위의 절점(그림 3의 □부분)을 상수로 해석하여 P=2의 변환을 행하며 주면 된다. P=2에 대한 변환은 표 3.에

의하여 $C_1(0)=C_1(0)+2C_1(1)+C_1(2), C_1(1)=C_1(1)+C_1(2), C_1(2)=C_1(2)$ 에 대한 변환을 행한다.(그림 4).



$$C'_0 = C_0+C_1+C_2+2(C_3+C_4+C_5)+C_6+C_7+C_8$$

$$C'_1 = C_1+2C_2+2(C_4+2C_5)+C_7+2C_8$$

$$C'_2 = C_2+2C_5+C_8$$

$$C'_3 = C_3+C_4+C_5+C_6+C_7+C_8$$

$$C'_4 = C_4+2C_5+C_7+2C_8$$

$$C'_5 = C_5+C_8$$

$$C'_6 = C_6+C_7+C_8$$

$$C'_7 = C_7+2C_8$$

$$C'_8 = C_8$$

그림 4. P=7의 결정도
Fig. 4. DD for P=7.

(예제 3) 3차 2변수에 대한 P=0의 함수식이 다음과 같은 경우 P=1, P=7에 대한 GRM상수를 결정도를 이용하여 구한다.

$$f(x_1, x_2) = x_2 + x_2^2 + x_1 + x_1x_2 + x_1x_2^2 + x_1^2 + 2x_1^2x_2 + x_1^2x_2^2$$

(1) $P=1(f(x_1, (x_2+1)))$ 에 대한 GRM상수 생성

[단계 1] 주어진 함수식에 대한 결정도를 작성한다. x_1 변수를 상위의 계층에 위치하여 결정도를 그리면 다음과 같다(그림 5).

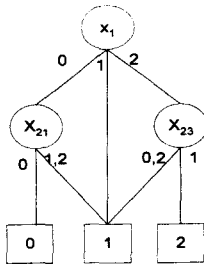


그림 5. [단계 1] 결정도
Fig. 5. DD for [Step 1].

[단계 2] 절점이 생략된 가지에 대하여 절점을 삽입한다(그림 6).

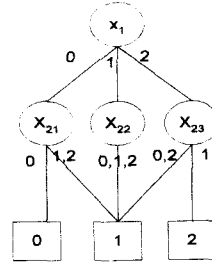


그림 6. [단계 2] 결정도
Fig. 6. DD for [Step 2].

[단계 3] 극수가 1인 경우이므로 x_2 변수의 각각의 절점에 대한 단변수 변환 결정도를 이용한 결정도를 작성한다.

X_{21} 절점에서 $C_{21}(0)=0, C_{21}(1)=C_{21}(2)=1$ 이므로 표 1을 이용하여 상수 변환을 행하면 $C_{21}(0)=0+1+1, C_{21}(1)=1+2 \cdot 1, C_{21}(2)=1$ 이다(그림 7). X_{22}, X_{23} 변수에 대하여도 동일한 방법을 적용하면 P=1에 대한 결정도는 그림 8과 같다.

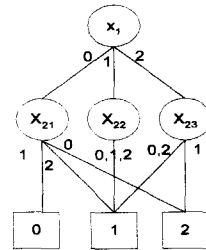


그림 7. X_{21} 절점의 변환
Fig. 7. Changes of Vertex to X_{21} .

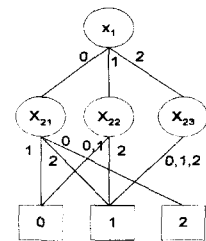


그림 8. P=1의 결정도
Fig. 8. DD for P=1.

그림 8의 결정도를 이용하여 GRM상수를 구하면 $[201\ 001\ 111]^T$ 가 되어 P=1의 GRM함수 식은 다음과 같다.

$$f(x_1x_2) = 2 + x_2^2 + x_1x_2^2 + x_1^2 + x_1^2x_2 + x_1^2x_2^2$$

(2) P=7 (f(x₁+2), (x₂+1))에 대한 GRM상수

[단계 1] 주어진 함수식에 대한 결정도를 작성한다 (그림 5)

[단계 2] 절점이 생략된 가지에 대하여 절점을 삽입한다(그림 6)

[단계 3] P=7이므로 표 1을 이용하여 그림 6의 x₁, x₂의 절점들에 대하여 P=2, P=1의 상수 변환을 행하면 P=7의 결정도를 얻을 수 있다. 먼저 x₂절점에 대하여 P=1의 변환을 행하며 (그림 8) 이 결과를 이용하여 x₁변수에 대하여 P=2인 경우를 대입하여 C₁(0,j) = C₁(0,j) + 2C₁(1,j) + C₁(2,j), C₁(1,j) = C₁(1,j) + C₁(2,j), C₁(2,j) = C₁(2,j) (j에 순차적으로 0,1,2를 대입한다)를 사용하여 구할 수 있다.

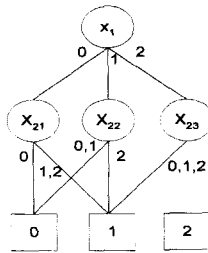


그림 9. C(0,j) 변환
Fig. 9. Changes of C(0,j)

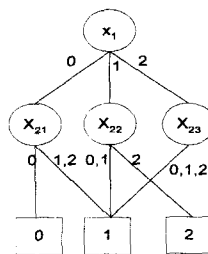


그림 10. P=7의 결정도
Fig. 10. DD for P=7.

그림 9는 x₁ 변수의 0가지에 해당하는 상수값을 P=2의 변환을 행한 것이고 그림 10은 0,1,2가지에 대한 변환을 행한 후의 결정도이다. 그림 10의 결정도를 이용하여 P=7의 GRM상수를 구하면 [011 112 111]^T 가 되어 P=7의 GRM함수 식은 다음과 같다.

$$f(x_1x_2) = x_2 + x_2^2 + x_1 + x_1x_2 + 2x_1x_2^2 + x_1^2 + x_1^2x_2 + x_1^2x_2^2$$

IV. 비교 및 검토

GRM상수를 구하는 목적은 최적의 극수를 선정하여 최적화된 GRM 함수를 구성하기 위한 것이다. 최적의 함수를 생성하기 위한 기존의 모든 방법은 행렬 연산 또는 수식적인 알고리즘을 이용하여 모든 극수의 GRM함수를 구하여 최적의 함수를 결정하였다. 본 논문에서는 기존에 제안된 방법들과는 다르게 결정도를 사용하여 GRM상수를 구하는 방법을 제안하였다. 이와같이 결정도를 이용하여 구하는 방법은 결정도를 이용한 함수의 간략화 방법을 적용할 수 있으며 결정도를 이용하여 최적의 극수선정등의 문제를 결정도에서 해결하려는 목적으로 본 논문을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 다음과 같은 특성으로 나누어서 비교하여 보았다.

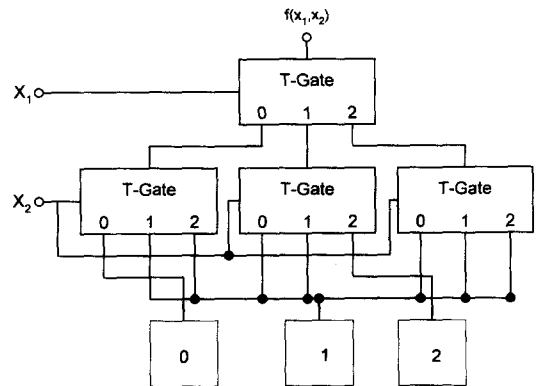


그림 11. Fig.10에 대한 회로 실현
Fig. 11. Circuit realization for Fig.10.

① 함수의 간략화

일반적인 GRM상수의 생성방법을 사용하여 GRM 함수를 구하면 함수의 간략화를 위하여 결정도, Karnaugh Map, Quine-McClusky, 함수분할등의 방법을 사용하여 함수의 간략화를 다시 실행하여야한다. 그러나 제안된 논문은 GRM함수를 결정도를 이용하여 구하므로 일반함수에서 결정도로의 변환이 필요치 않고 기 발표된 결정도의 간략화 방법등을 사용하여 함수의 간략화를 할 수 있다.

② 회로의 구현

결정도를 사용하는 이유중의 한 가지는 함수의 회로 구현에 효과적이라는 것이며 제안된 방법은 GRM상수가 결정도로 표현되므로 기존의 방법에서 나타나는 상수를 구한 후 회로를 그리는 방법보다 효과적으로 회

로를 구성 할 수 있다. 3치 함수의 경우이므로 3입력 /1출력의 다치 T-게이트를 사용하여 (예제 3)의 P=7 인 경우의 회로를 구성하면 다음과 같다.

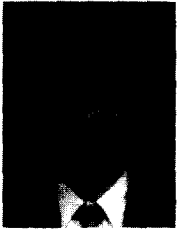
V. 결 론

기존에 제안된 방법들은 전달행렬연산 또는 생성알고리즘을 이용하여 GRM상수를 구하는 방법을 제안하였다. 최근에는 논리회로의 간략화 및 회로 구현의 용이성을 위하여 결정도로 함수를 해석하는 방법이 많이 제안되었는데 본 논문은 이러한 결정도를 이용하여 GRM상수를 구하는 방법에 대하여 논하였다. 제안된 방법은 먼저 단 변수에 대한 극수 0의 RM함수를 결정도로 표현하고 이를 n변수로 확장하여 결정도에 적용하는 방법으로 GRM상수를 생성하였다. 이와같이 결정도로 표현된 GRM상수는 결정도를 이용한 함수의 간략화 방법, 회로구현등의 방법을 적용할 수 있으며 GF(p)상에도 동일한 방법을 적용하면 결정도로 구성된 GRM상수를 구할 수 있다. 또한 종단절점(Terminal Node)의 0의 값에 가장 많은 가지가 모이는 최적의 극수를 결정도상에서 구할수 있는 방법을 연구하면 최적의 GRM함수를 구할 수 있을 것으로 생각되며 이에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] K. C. Sith, "Multiple-valued logic : a tutorial and appreciation", computers, pp. 17-27, Apr, 1988.
- [2] D.Etiemble, "On the Performance of the Multivalued intergrated Circuits : Past, Present and future", ISMVL 92, pp. 154-164, Sendai japan, May, 1992.
- [3] B.Harking and C.Moraga, "Efficient Derivation of Reed-Muller Expansions in Multiple-Valued Logic System", IEEE Proc. of International Symposium on Multiple-Valued Logic, Sendai Japan, pp. 436-441, May. 1992.
- [4] Z.Zilic and Z.G. Vranesic, "New Interpolation Algorithms for Multiple-Valued Reed-Muller Forms", IEEE Proc. of International Symposium on Multiple-Valued Logic, SANTIAGO de COMPOSTELA, Spain, pp. 16-23, May. 1996.
- [5] Davio Green "Modern Logic Design", Addison-Wesley publishing co, 1986.
- [6] T.Sasao, "Calculation of Reed-Muller-Fourier Coefficients of Multiple-Valued Functions through Multiple-Place Decision", IEEE Proc. of International Symposium on Multiple-Valued Logic, Boston, Massachusetts, USA, pp. 82-88, May 1994.
- [7] S.B.Aker, "Binary Decision Diagrams", IEEE Trans. Comput., vol. C-27, no. 6, pp. 509-516, jun. 1978.
- [8] R.E.Bryant, "Graphic-Based Algorithms for Boolean Function manipulation", IEEE Trans. Comput., vol. C-35, no. 8, pp. 677-691, Aug. 1986.
- [9] T. Sasao, "Optimization of Multiple-Valued AND-EXOR Expressions using Multiple-Place Decision Diagrams", IEEE Proc. of Symposium on Multiple-Valued Logic, Sendai Japan, pp. 451-458, May. 1992.
- [10] D.M.Miller, "Multiple-Valued Logic Design Tools", IEEE Proc. of Symposium on Multiple-Valued Logic, Sacramto, California, pp. 2-11, May. 1993.
- [11] T.Sasao and J.T.Butler, "A Methode to represent Multiple-Output Switching Functions by Using Multi-Valued Decision Diagrams", IEEE Proc. of Symposium on Multiple-Valued Logic, SANTIAGO de COMPOSTELA, Spain, pp. 248-254, May. 1996.

 저 자 소 개



申 富 植(正會員)

1965년 1월 14일생. 1987년 인하대학교 전자공학과 졸업(학사). 1989년 동대학 대학원 졸업(석사). 1989년 1월 ~ 1995년 3월 LG산전 선임연구원. 현재 동대학 박사과정 재학중. 안산1대학 전산정보처리과 조교수

黃 鍾 學(正會員) 第 31卷 第 3號 參照

현재 한국체육과학 연구원

金 興 壽(正會員) 第 34卷 C編 第 6號 參照

현재 인하대학교 전자공학과 교수