
GFDD에 기초한 디지털논리시스템 구성

박춘명*

Construction of Digital Logic Systems based on the GFDD

Chun-Myoung Park*

요 약

본 논문에서는 그래프 이론에 기초를 둔 GFDD를 사용하여 디지털논리시스템을 구성하는 한가지 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 먼저 유한체와 그래프 이론의 수학적 성질을 논의하였으며, 단일변수에 대한 동작영역과 함수영역간의 변환을 용이하게 하기 위한 변환행렬 $\Psi_{GF(P)}[1]$ 과 $\{GF(P)\}[1]$ 을 논의하였다. 그리고 디지털스위칭함수를 구하기 위한 Reed-Muller 확장을 논의하였으며, 이를 다변수인 경우로 확장하기 위해 Krönecker Product를 논의하였다.

ABSTRACT

This paper propose the design method of the constructing the digital logic systems over galois fields using by the galois field decision diagram(GFDD) that is based on the graph theory. The proposed design method is as following. First of all, we discuss the mathematical properties of the galois fields and the basic properties of the graph theory. After we discuss the operational domain and the functional domain, we obtain the transformation matrixes, $\Psi_{GF(P)}[1]$ and $\{GF(P)\}[1]$, in the case of one variable, that easily manipulate the relationship between two domains. And we extend above transformation matrixes to n-variable case, we obtain $\Psi_{GF(P)}[n]$ and $\{GF(P)\}[n]$. We discuss the Reed-Muller expansion in order to obtain the digital switching functions of the P-valued single variable. And for the purpose of the extend above Reed-Muller expansion to more two variables, we describe the Krönecker product arithmetic operation.

키워드

Galois Fields, Decision Diagram, Graph Theory, Digital Logic Systems, Switching Function,
Reed-Muller Expansion, Krönecker product

I. 서 론

최근에는 디지털논리시스템의 분석 및 합성과 해석하는 방법으로 그래프이론에 기초를 둔 방법이 주목을 받고 있다. 그래프이론에 바탕을 둔 디지털논리시스템은 크게 방향성비사이클릭그래프(Directed Acyclic Graph

: DAG)와 방향성사이클릭그래프(Directed Cyclic Graph : DCG)의 적용 분야로 분류된다. 특히 DAG는 일명 결정다이아그램(Decision Diagram : DD)이라고도 하며 S.B.Aker[1]에 의해 최초로 2진논리에서의 그 개념이 정립되었으며, 이를 2진논리결정다이아그램(Binary Decision Diagram : BDD)이라고 한다. 그 후 R.E.Bryant[2]는

S.B.Aker가 제안한 개념으로부터 최초로 BDD를 사용하여 부울함수구성의 추출 및 축약에 적용하였다. 또한 가지의 DCG는 시스템의 입출력 사이의 특정한 연관 관계를 도출하여 선형디지털논리시스템(Linear Digital Logic Systems : LDLS)을 구현하는 분야에 상당히 효과적이다. 이 방법은 복잡하고 방대한 입출력 사이의 일련의 관계를 함수로서 해석하여 부분연산을 수행한 후 중첩의 원리에 의해 선형결합이 가능하다는 장점이 있으며, 이로 인해 시스템의 입출력 상태를 보다 간단히 처리할 수 있다. 최근에는 디지털논리시스템의 스위칭함수를 구현하는데 기본이 되는 수학적개념 중에서 Galois체의 수학적 성질과 DD를 접목하여 디지털논리시스템을 설계하려는 연구가 활발히 진행되기 시작했으며, 이 방법은 기존의 일반적인 DD에 바탕을 둔 디지털논리시스템설계기법에 비해 매우 규칙적이고 효과적이며 확장성에도 효과적인 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 Galois체상에서의 디지털논리시스템설계를 Galois체상의 수학적 성질에 기초를 둔 Galois체상의 DD(Galois Field Decision Diagram : GFDD)를 제안하였으며 이를 바탕으로 Galois체상의 P 차 n변수의 디지털논리시스템의 스위칭함수를 도출하고 이를 토대로 디지털논리시스템설계에 대한 한 가지 방법을 제안하였다.

II. Galois체의 배경 및 수학적 성질

2.1. Galois체의 배경

Galois체는 임의의 소수 P와 양의 정수 m에 대하여 Pm개의 원소를 가지는 유일한 체를 의미한다. 일반적으로 Galois체는 GF(Pm)으로 표시하며 기초체 GF(P)와 이를 m차 확대한 확대체 GF(Pm)으로 나눌 수 있으며 GF(P)의 P는 1보다 큰 소수로써 GF(P)의 원소는 {0,1,2, ... ,P-1}이며, 확대체 GF(Pm)은 GF(P)상의 m차 벡터공간(vector space)으로 표시 할 수 있다. 한편, Galois체는 {S, +, •, 0, 1}의 5가지 요소로 표시되며 S는 원소들의 집합이고 +와 •는 S상의 이항연산(binary operation)이며 0과 1은 각각 가산과 승산에 대한 항등원이며, 모든 산술연산은 modP로 처리된다. 특히 소수 P가 2인 GF(2m)은 GF(2m)∈Z2={0, 1}이므로 이는 현재의 2치(2진)논리에서의 디지털논리시스템의

근간이 된다. 이때 GF(2m)상에는 2m개의 원소가 존재하며 이들 원소를 2치화하는 데는 m개의 Bit Code가 필요하다. 또한, GF(2m)은 부호이론(Coding Theory), 오진정정부호(Error-Correcting Code : ECC) 분야를 비롯하여 디지털신호처리(Digital Signal Processing : DSP), 디지털이미지처리(Digital Image Processing : DIP), 디지털정보처리(Digital Information Processing: DIP) 및 스위칭함수 등의 구현에 효과적으로 사용된다.

2.2. Galis체의 중요한 수학적 성질

Galois체상의 중요한 수학적 성질을 요약하면 다음과 같다.

<MP1> 다음 식(2-1)을 인수분해하여 m차 기약다항식(Irreducible Polynomial)을 구하고 이 기약다항식을 0으로 하는 한 근을 α라 할 때 식(2-2)와 같은 원시기약다항식(Primitive Irreducible Polynomial)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} X^Q - X &= X(X^{Q-1} - 1) \\ &= X(X-1)(X^{Q-2} + X^{Q-3} + \dots + X^2 + X + 1) \end{aligned} \quad (2-1)$$

여기서, Q는 P^m이고, P는 소수이며 m은 양의 정수이다.

$$\begin{aligned} F(\alpha) &= \sum_{i=0}^{m-1} a_i \alpha^i \\ &= a_{m-1} \alpha^{m-1} + a_{m-2} \alpha^{m-2} + \dots + a_1 \alpha + a_0 \end{aligned} \quad (2-2)$$

여기서 α는 P를 법으로 하는 정수체 Z_P=GF(P)의 원소를 계수로 하는 m차 원시기약다항식의 근이고 α_i ∈ Z_P=GF(P)(i=0,1, ..., m-1)이다.

또한, 식(2-2)를 벡터공간(Vector Space)으로 표시하면 다음 식(2-3)과 같다.

$$F(\alpha) = [a_{m-1} \ a_{m-2} \ a_{m-3} \ \dots \ a_1 \ a_0] \quad (2-3)$$

여기서 α_i(i=0,1,.....,m-1)는 αⁱ의 계수이다.

<MP2> GF(P^m)상에서의 원소생성은 식(2-2)를 0으로 하는 한 근 α의 멱승으로 구해지며 원소의 개수는 P^m

개다. 이 내용을 식으로 표시하면 다음 식(2-4)과 같다.

$$GF(P) = \{0, a^1, a^2, \dots, a^{Q-2}, a^{Q-1} = 1\} \quad (2-4)$$

여기서, $Q=P^m$ 이다.

<MP3> $(a+b)^Q = a^Q + b^Q = a+b \ (\forall a, b \in GF(P^m))$

여기서, $Q=P^m$ 이다.

<MP4> $a^i \cdot a^j = a^{(i+j) \bmod (Q-1)} = a^{r \bmod (Q-1)}$ 단, $r=i+j$ 이고 이고

$0 \leq r \leq Q-1$ 이다. ($\forall a^i, a^j, a^r \in GF(P^m)$)

여기서, $Q=P^m$ 이다.

<MP5> $GF(P^m)$ 상의 모든 산술연산은 mod P 연산이다.

이 외에 Galois체의 유용한 성질은 참고문헌^[3-5]을 참조하였다.

2.3. 그래프의 기본 성질

일반적으로 그래프는 다음 식(2-5)와 같이 표현된다.

$$G(V, E) \quad (2-5)$$

여기서, V는 유한개의 비공집합(nonempty set) 노드(node)의 집합이고, E는 노드 집합에서의 2개의 부집합(subset) 에지(edge)의 집합이다.

이 외에 그래프의 유용한 성질은 참고문헌을 참조하였다.^[6,7]

III. Reed-Muller 대수의 수학적 성질 및 표기

디지털논리시스템의 스위칭함수를 표현하는 여러 가지 방법 중에서 본 논문에서 다루게 될 Galois체상의 디지털논리시스템의 스위칭함수를 구현하는데는 Reed-Muller expansion을 사용한다. 이는 Galois체상의 스위칭함수를 표현 할 때 Reed-Muller expansion을 사용하면 다른 표현 방법에 비해 좀 더 규칙적이고 확장성이 용이하다는 효과적인 면이 있기 때문이다.

3.1. Reed-Muller Expansion

Galois체의 기초체인 $GF(P)$ 상의 n 변수 $X_n, X_{n-1}, \dots, X_2, X_1$ 에 대한 Reed-Muller Expansion은 다음 식(3-1)과

같으며 integer modulo-P 연산을 수행한다.

$$F(X_n, X_{n-1}, \dots, X_2, X_1) = \delta_0 \oplus \delta_1 X_1 \oplus \dots \oplus \delta_{Q-1} X_n X_{n-1} \dots X_2 X_1 \quad (3-1)$$

여기서 $Q=P^m$ 이고 \oplus 는 $GF(P)$ 상의 integer modulo-P 합이다.

한편, Galois체의 확대체인 $GF(P^m)$ 상의 n 변수 X_1, X_2, \dots, X_n 에 대한 Reed-Muller Expansion은 다음 식(3-2)와 같으며 Polynomial modulo(prime polynomial) 연산을 수행한다.

$$G(X) = a_k X^k \oplus a_{k-1} X^{k-1} \oplus \dots \oplus a_1 X \oplus a_0 \quad (3-2)$$

3.2. 동작영역(Operational Domain)과 함수영역(Functional Domain)

3.2.1. 영역간의 변환관계

진리치표나 Karnaugh map은 스위칭함수의 동작에 관한 정보를 내포하고 있으며 이를 동작영역(Operational Domain)이라고 부른다. 이때 동작영역에서의 계수인 D_i 는 n 변수 Karnaugh map에서의 구조와 동일하다. 한편, Reed-Muller Expansion의 계수인 δ_i 는 함수영역(Functional Domain)에서의 스위칭함수의 동작에 대한 정보를 내포하고 있다. 이들 2영역간의 함수영역 사이의 상호변환관계를 그림으로 도시하면 다음 그림 3-1과 같다.

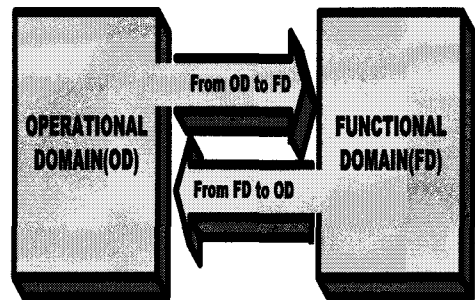


그림 3-1. 동작영역과 함수영역 사이의 관계
Fig. 3-1. The relationship of the between operational domain and functional domain.

위 그림 3-1에서 함수영역에서 동작영역으로의 변환은 변환행렬 $\{GF(P)\}_{[n]}$ 에 의해 정의되며, 동작영역에서

함수영역으로의 변환은 변환행렬 $\Psi_{GF(P)[n]}$ 로에 의해 정의된다. 여기서 각 변환행렬 $\zeta_{GF(P)[n]}$ 과 $\Psi_{GF(P)[n]}$ 은 Galois 체 $GF(P)$ 상에서 n 변수인 경우의 변환행렬을 의미한다.

3.2.2. Krönecker Product

앞절에서 논의한 $GF(P)$ 상의 Reed-Muller Expansion 과 이에 대한 동작영역과 함수영역, 이들 각각의 계수인 D_i 와 δ_i , 이들 영역간의 변환관계를 $GF(P)$ 상의 다변수로의 확장을 논의한다. 이를 수행하기 위해서는 Krönecker Product \boxtimes 의 수학적 연산성질이 요구되며 그 중 중요한 성질은 다음과 같다.

$$\text{행렬 } [A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}, [B] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \text{와 } [C] =$$

$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix}$ 일때, 이들 행렬간의 Krönecker Product \boxtimes 는 다음과 같다.

- (1) $[A] \boxtimes [B] \neq [B] \boxtimes [A]$
- (2) $([A] \boxtimes [B]) \boxtimes [C] = [A] \boxtimes ([B] \boxtimes [C])$
- (3) $[A] \boxtimes [B] = \begin{bmatrix} a_{11}[B] & a_{12}[B] \\ a_{21}[B] & a_{22}[B] \end{bmatrix}$

$$= \begin{bmatrix} a_{11}b_{11} & a_{11}b_{12} & a_{12}b_{11} & a_{12}b_{12} \\ a_{11}b_{21} & a_{11}b_{22} & a_{12}b_{21} & a_{12}b_{22} \\ a_{21}b_{11} & a_{21}b_{12} & a_{22}b_{11} & a_{22}b_{12} \\ a_{21}b_{21} & a_{21}b_{22} & a_{22}b_{21} & a_{22}b_{22} \end{bmatrix}$$

3.2.3. 다변수로의 확장

앞에서의 내용을 토대로 $GF(P)$ 상의 n 변수인 경우의 $\zeta_{GF(P)[n]}$ 와 $\Psi_{GF(P)[n]}$ 을 도출하면 다음 식(3-3)과 식(3-4)와 같다.

$$\zeta_{GF(P)[n]} = \zeta_{GF(P)[n-1]} \boxtimes \zeta_{GF(P)[1]} = \zeta_{GF(P)[1]} \boxtimes \zeta_{GF(P)[1]} \boxtimes \dots \boxtimes \zeta_{GF(P)[1]} (n\text{회}) \tag{3-3}$$

$$\Psi_{GF(P)[n]} = \Psi_{GF(P)[n-1]} \boxtimes \Psi_{GF(P)[1]} = \Psi_{GF(P)[1]} \boxtimes \Psi_{GF(P)[1]} \boxtimes \dots \boxtimes \Psi_{GF(P)[1]} (n\text{회}) \tag{3-4}$$

IV. GFDD 구성 및 회로설계

본 장에서는 III장에서의 내용을 토대로 Reed-Muller Expansion으로 표현된 $GF(P)$ 상의 n 변수 스위칭함수를 GFDD로 표현하고 이로부터 간략화된 스위칭함수를

도출한 후, 이를 토대로 회로설계하는 방법에 대해 논의한다.

4.1. $GF(P)$ 상의 n 변수인 경우의 스위칭함수

$GF(P)$ 상의 P 치 n 변수 스위칭함수 F 에 대해서, mapping Ω 를 다음과 같이 정의한다.

[정의4-1] $\Omega : F \rightarrow \Omega_F$

여기서 Ω 는 행렬 ($P^n \times P^n$)으로 정의되며 Krönecker product 형태로 표현하면 다음 식(4-1)과 같다.

$$\Omega = \bigotimes_{i=1}^n \Omega_i \tag{4-1}$$

여기서, Ω_i^{-1} 의 각 열(column)은 정수 $0, 1, \dots, P-1$ 의 항으로 표현되며 i 번째 변수 X_i 는 Galois 체 $GF(P)$ 상의 integer modulo- P 연산을 수행한다.

[정의4-2] 위 정의4-1에서 부행렬(submatrix) Ω_i 는 i 번째 변수에 대한 함수 F 의 확장을 표현한다. 이 내용을 수식으로 표현하면 다음 식(4-2)와 같다.

$$F = \Omega_i^{-1} \Omega_i F_P \tag{4-2}$$

여기서, $F_P = [f_0, f_1, \dots, f_{P-1}]^T$ 이며 f_i 는 $X_i = 0, 1, \dots, P-1$ 에 대한 각각의 coset이다.

[정의4-3] $GF(P)$ 상의 n 변수 P 치 함수 F 에 대한 Ω -Decision Diagram(Ω DD)는 mapping Ω 를 통해 함수 F 에 연결된다.

함수확장식인 식(4-1)은 i 번째 level에서의 Ω DD의 level에서의 node를 수행하고, Ω DD의 정수노드 값은 함수 F 의 Ω -spectrum Ω_i 의 값이다. 루트노드로부터 정수노드로의 경로(path)는 Ω^{-1} 의 열을 나타낸다. 따라서, 위 식(4-1)은 i 번째 level에서의 Ω DD의 node를 수행한다. 위의 정의4-1부터 4-3까지의 내용과 III장의 내용을 토대로 Galois 체 $GF(P)$ 상에서의 n 변수 P 치의 스위칭함수는 다음 식(4-3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$F = \left(\bigotimes_{i=1}^n [1 X_i^1 X_i^2 \dots X_i^{P-2} X_i^{P-1}] \right) \left(\bigotimes_{i=1}^n \Psi_{GF(P)[i]} \right) F \tag{4-3}$$

여기서, \boxtimes 는 Krönecker Product이다.

또한, F는 $F=[f(0), f(1), \dots, f(P^n-2), f(P^n-1)]^T$ 이다.

한편, III장의 식(3-4)에 의해 위 식(4-3)은 다음 식(4-4)와 같다.

$$F = \left(\bigotimes_{i=1}^n [1X_i^1 X_i^2 \dots X_i^{P-2} X_i^{P-1}] \right) \cdot [f(0), f(1), \dots, f(P^n-2), f(P^n-1)]^T \quad (4-4)$$

여기서, 모든 연산은 GF(P)상에서의 integer modulo-P 연산을 한다.

4.2. GFDD 도출

GFDD를 도출하기 위해 다음과 같은 정의들을 한다. [정의4-4]

GFDD는 식(4-2)에 기초한 DD이다. 따라서, GFDD에서의 각각의 노드는 식(4-2)에 대한 사상(mapping)이며 정수노드의 값은 함수 F의 GF-계수(GF-coefficient)이다. 또한, 루트노드로부터 종단노드까지의 각각의 경로는 $\Psi_{GF(P)^n}$ 의 열에 해당된다. 그러므로 루트노드와 비종단노드의 출력에지는 $1, X_i^1, X_i^2, \dots, X_i^{P-1}$ 에 의해 표현된다.

[정의4-5]

스위칭함수에 대한 동작영역값의 진리값벡터(Operational Domain Truth Vector : ODTV)로의 표현을 다음과 같이 정의한다.

$$F=[\langle \dots \langle X_v \rangle X_v \rangle \dots X_v]^T \quad (4-5)$$

여기서, X_v 는 변수명이다.

위 정의 4-5의 내용은 다음과 같다. 맨 나중에 있는 변수명이 1번째 레벨의 노드(즉, 루트 노드)에 해당되며 그 다음의 변수명이 2번째 레벨의 노드들에 해당된다. 이러한 방법으로 제일 가운데 있는 변수명이 마지막 레벨에 있는 노드들에 해당된다(즉, 종단노드의 바로 위 레벨의 노드).

[정의4-6]

스위칭함수에 대한 함수영역값의 진리값벡터(Functional Domain Truth Vector : FDTV)로의 표현을 다음과 같이 정의한다.

$$GF = [\langle \dots \dots \langle 1X_i^1 X_i^2 X_i^3 \dots X_i^{P-1} \rangle 1X_i^1 X_i^2 X_i^3 \dots X_i^{P-1} \rangle \dots \langle 1X_i^1 X_i^2 X_i^3 \dots X_i^{P-1} \rangle]$$

여기서, $1X_i^1 X_i^2 X_i^3 \dots X_i^{P-1}$ 는 GFDD의 에지에 해당된다.

4.3. 회로설계

본 절에서는 앞에서 논의한 GFDD를 토대로 디지털 논리시스템을 구성하기 위한 회로설계에 대해 논의한다. 먼저 디지털논리시스템을 구성하기 위해 GF(P)상의 기본모듈(Basic Module : BM)을 블록도(Block Diagram)로 도시하면 다음 그림4-1과 같다.

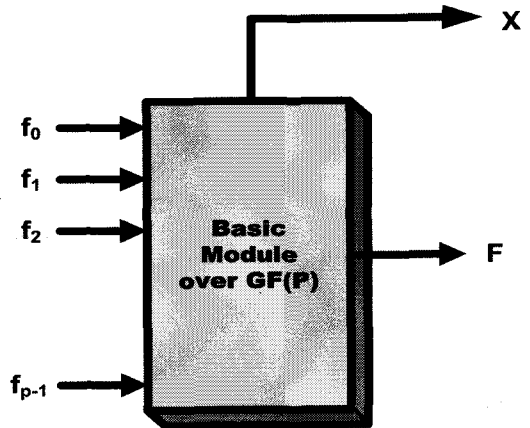


그림 4-1. Galois체 GF(P)상의 기본모듈의 블록도. Fig. 4-1. The block diagram of the basic module over Galois Field GF(P).

위 그림4-1의 Galois체 GF(P)상의 기본모듈이 각각 경우에 따라 다양한 모듈로써 대체된다.

4.4. GFDD에 기초한 디지털논리시스템구성 알고리즘

앞의 내용을 토대로 Galois체상에서의 GFDD에 기초한 디지털논리시스템을 구성하는 알고리즘은 다음과 같다.

[알고리즘]

STEP 1 : 임의의 GF(P)상의 입출력에 관한 정보를 분석한다.

STEP 2 : STEP1로부터 모든 정보를 함수영역으로 표현한다. 이때 변환행렬 $\Psi_{GF(P)^n}$ 를 사용하여 함수영역으로 변환한다. 즉, GF(P)상의 Reed-Muller Expansion을 도출

한다. 이때 모든 연산은 integer modulo-P 연산이다.
 STEP 3 : STEP2에서 함수영역계수 δ_i 를 추출한다.
 STEP 4 : STEP3의 결과를 Vector 형식으로 표현한다.
 STEP 5 : 만일 GF(P)상의 스위칭함수가 2변수 이상의 다변수인 경우에는 STEP1부터 STEP4까지의 과정에 Krönercker Product를 수행한다.
 STEP 6 : STEP5로부터 GF(P)상의 최종 스위칭함수를 도출한다.
 STEP 7 : 함수영역에서의 진리값벡터(FDTV)를 도출한다.
 STEP 8 : STEP7의 내용을 토대로 최종 GFDD를 도출한다.
 STEP 9 : STEP8의 결과를 $\zeta_{GF(P)[1]}$ 모듈과 $\Psi_{GF(P)[1]}$ 모듈을 토대로 회로설계한다.

V. 결 론

본 논문에서는 Galios체상에 기초를 둔 디지털논리시스템의 해석과 종합을 효과적으로 수행하기 위해 최근에 도입되고 있는 그래프이론에 기초를 둔 DD를 사용하여 디지털논리시스템을 구성하는 한가지 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 기존의 여러 가지의 DD에서 단점으로 지적되고 있는 지수적으로 증가되는 DD의 크기를 효과적으로 줄일 수 있었으며, 좀 더 규칙적이고 확장이 용이한 장점도 있다. 제안한 Galios체상에 기초를 둔 GFDD를 토대로 다차논리디지털시스템을 구성하는 방법을 요약하면 다음과 같다.

먼저 Galios체상의 수학적 성질과 그래프이론으로부터 본 논문에서 도입되는 각종 수학적 성질과 그래프의 성질을 논의하였다. 또한, 동작영역과 함수영역의 개념을 논의하였으며, 이들 2영역사이의 상호관계 및 변환을 용이하게 수행 할 수 있는 변환행렬인 $\Psi_{GF(P)[1]}$ 과 $\zeta_{GF(P)[1]}$ 을 도출하였으며 이를 n변수인 경우로 확장하여 변환행렬인 $\Psi_{GF(P)[n]}$ 과 $\zeta_{GF(P)[n]}$ 을 도출하였다.

한편, GF(P)상의 다변수일 경우로 확장하기 위해 Krönercker Product의 연산에 대해 서술하였다. 마지막으로 최종 GFDD에 의해 표현된 Galios체상의 디지털논리스위칭함수를 회로설계하기 위해 먼저 GF(P)상의 기본모듈인 BM을 제안하였으며, 이를 토대로 최종 GF(P)상의 P차 n변수의 디지털논리스위칭함수에 대한 회로설계하는 방법을 제안하였다. 제안한 Galios체 GF(P)상의 P차 n변수의 디지털논리스위칭함수를 GFDD

로 도시한 후 이를 토대로 회로설계하는 방법은 다른 방법에 비해 규칙적이고 확장이 용이하며 기존의 MDD에 비해 노드 수와 예제가 줄어드는 효과가 있다. 향 후 연구과제로서는 좀 더 다양한 기본모듈의 구성과 다변수일 경우에 도입되는 Krönercker Product 연산을 좀 더 효과적으로 수행 할 수 있는 방법이 요구되며 현재 연구진행 중에 있다.

참고문헌

- [1] S.B.Aker, "Binary Decision Diagrams," IEEE Trans. Comput., vol.C-27, no.6, pp.509-516, Jun. 1978.
- [2] R.E.Bryant, "Graph-Based Algorithms for Boolean Function manipulations," IEEE Trans. Comput., vol.C-35, no.8, pp.677-691, Aug. 1986.
- [3] E.Artin, *Galois Theory*, NAPCO Graphics, Inc., Wisconsin. 1971.
- [4] R.Lidi and G.Pilz, *Applied Abstract Algebra*, Springer-Verlag, Inc., N.Y., 1984.
- [5] R.J.McEliece, *Finite Fields for Computer Science and Engineers*, Kluwer Academic Publishers., 1987.
- [6] D.B.West, *Introduction to Graph Theory*, Prentice-hall, 1996.
- [7] R.J.Wilson and J.J.Watkihs, *GRAPHS An Introductory Approach*, John Wiley & Sons, Inc., 1990.

저자소개



박춘명(Chun-Myoung Park)

현 충주대학교 첨단과학기술대학
전기·전자 및 정보공학부 컴퓨터
공학과 교수

※관심분야 : 차세대 디지털논리시스템 및 컴퓨터 구조, 임베디드시스템, 마이크로프로세서 응용, 멀티미디어시스템, 유비쿼터스컴퓨팅시스템 등