

Corso di Calcolatori Elettronici I

Algebra di Boole:
funzioni e forme normali di tipo P ed S

Roberto Canonico

Università degli Studi di Napoli Federico II

A.A. 2019-2020





- Elementi del sostegno dell'algebra $K \rightarrow$ **valori booleani**
- Variabili che possono assumere valori booleani \rightarrow **variabili booleane**
- Funzioni di variabili booleane in $K \rightarrow$ **funzioni booleane**

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

- Le variabili possono essere a loro volta funzioni booleane
- Un insieme F di funzioni sul sostegno di un'algebra si dice **funzionalmente completo** se qualsiasi funzione dell'algebra può essere ottenuta come composizione di funzioni appartenenti ad F



- Se il supporto K dell'algebra ha cardinalità finita k , qualsiasi funzione $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ può essere rappresentata mediante una tabella, chiamata **tabella di verità**
- La tabella rappresenta su ogni riga il valore di f in un punto del dominio (x_1, x_2, \dots, x_n)
- La tabella ha $N = k^n$ righe
 - quante sono le disposizioni con ripetizione di k simboli su n posti
- In ogni punto del dominio, una funzione può assumere uno tra k distinti valori
- Esistono $M = k^N = k^{(k^n)}$ distinte funzioni di n variabili
 - Le funzioni dell'algebra di Boole a due valori ($k = 2$) di $n = 2$ variabili sono $M = 2^{(2^2)} = 2^{(4)} = 16$
- Da ora in avanti considereremo l'algebra di Boole a due valori

Funzioni booleane di 2 variabili



a	b	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Un esempio di funzione di 3 variabili



a	b	c	y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1



- Data una funzione $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, ci si pone il problema di trovarne una rappresentazione *algebrica*
- In una rappresentazione algebrica di una funzione $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, diremo *letterali* i simboli che rappresentano il valore di una variabile indipendente x_i od il suo complemento \bar{x}_i
 - Esempio: in $y = \bar{a} \cdot b + \bar{b} \cdot c$, \bar{a} , b , \bar{b} e c sono letterali
- Una espressione nella forma $y = \sum \gamma_i$ con γ_i prodotto di letterali (o letterale singolo) si dice una *somma di prodotti*
 - Esempio: $y = \bar{a} \cdot b + \bar{b} \cdot c + \bar{c}$
- Una espressione nella forma $y = \prod \sigma_i$ con σ_i somma di letterali (o letterale singolo) si dice un *prodotto di somme*
 - Esempio: in $y = (\bar{a} + \bar{b}) \cdot (b + \bar{c}) \cdot a$
- Le rappresentazioni algebriche del tipo *somma di prodotti* e *prodotto di somme* si dicono *forme elementari*



Nel contesto delle funzioni di n variabili booleane x_1, x_2, \dots, x_n , diremo:

- **mintermini**: le funzioni che si esprimono come prodotto dei letterali di TUTTE le variabili indipendenti
- **maxtermini**: le funzioni che si esprimono come somma dei letterali di TUTTE le variabili indipendenti
- Esempio: nel contesto delle funzioni di 4 variabili a, b, c e d
 - $a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} \cdot d$ è un mintermine, mentre $a \cdot \bar{b} \cdot d$ non lo è
 - $a + \bar{b} + c + \bar{d}$ è un maxtermine, mentre $a + \bar{b} + \bar{d}$ non lo è
- Un mintermine vale 1 se e solo se tutti i letterali che in esso compaiono valgono 1
 - Un mintermine di n variabili ha una tabella di verità con un solo 1 e $2^n - 1$ zero
- Un maxtermine vale 0 se e solo se tutti i letterali che in esso compaiono valgono 0
 - Un maxtermine di n variabili ha una tabella di verità con un solo 0 e $2^n - 1$ uno



Nel contesto delle funzioni di n variabili booleane x_1, x_2, \dots, x_n (avendo stabilito per convenzione un ordine con il quale sono elencate le variabili)

- identificheremo un mintermine con la lettera P e pedice intero corrispondente al numero intero la cui rappresentazione binaria si ottiene costruendo una stringa con 1 al posto delle variabili che compaiono affermate nel mintermine, e 0 per le variabili negate
- Esempio: per 3 variabili (a, b, c)

$$P_0 = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c}$$

$$P_1 = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c$$

$$P_2 = \bar{a} \cdot b \cdot \bar{c}$$

...

$$P_7 = a \cdot b \cdot c$$



Nel contesto delle funzioni di n variabili booleane x_1, x_2, \dots, x_n (avendo stabilito per convenzione un ordine con il quale sono elencate le variabili)

- identificheremo un maxtermine con la lettera S e pedice intero corrispondente al numero intero la cui rappresentazione binaria si ottiene costruendo una stringa con 0 al posto delle variabili che compaiono affermate nel maxtermine, e 1 per le variabili negate
- Esempio: per 3 variabili (a, b, c)

$$S_0 = a + b + c$$

$$S_1 = a + b + \bar{c}$$

$$S_2 = a + \bar{b} + c$$

...

$$S_7 = \bar{a} + \bar{b} + \bar{c}$$



- $P_i = \overline{S}_i, \forall i$
- $S_i = \overline{P}_i, \forall i$
- $P_i \cdot P_j = 0, \forall i \neq j$
- $S_i + S_j = 1, \forall i \neq j$
- $\sum_{i=0}^{2^n-1} P_i = 1$
- $\prod_{i=0}^{2^n-1} S_i = 0$



- Premessa: la somma di ℓ mintermini è una funzione la cui tabella di verità ha ℓ uno e $2^n - \ell$ zero
- Assegnata una funzione f di n variabili booleane x_1, x_2, \dots, x_n , dalla tabella di verità è possibile derivare una particolare espressione algebrica nella forma *somma di prodotti*
 - ciascun 1 della tabella di verità corrisponde ad un mintermine
 - la funzione f si può esprimere come somma dei mintermini corrispondenti ai singoli punti del dominio in cui f vale 1
- L'espressione algebrica che si ottiene in questo modo viene detta *la forma normale di tipo P* o *prima forma canonica* di f



- Ci poniamo nel contesto dell'algebra di Boole a due valori: $K = \{0, 1\}$
- Assegnata una funzione f di n variabili booleane x_1, x_2, \dots, x_n , dalla tabella di verità si ricava il valore α_i di f in ciascun punto del dominio

$$\alpha_0 = f(0, 0, \dots, 0, 0)$$

$$\alpha_1 = f(0, 0, \dots, 0, 1)$$

$$\alpha_2 = f(0, 0, \dots, 1, 0)$$

$$\alpha_3 = f(0, 0, \dots, 1, 1)$$

...

$$\alpha_{2^n-1} = f(1, 1, \dots, 1, 1)$$

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \bar{x}_1 \cdot f(0, x_2, \dots, x_n) + x_1 \cdot f(1, x_2, \dots, x_n) = \\ &= \bar{x}_1 \cdot [\bar{x}_2 \cdot f(0, 0, x_3, \dots, x_n) + x_2 \cdot f(0, 1, x_3, \dots, x_n)] + \\ &+ x_1 \cdot [\bar{x}_2 \cdot f(1, 0, x_3, \dots, x_n) + x_2 \cdot f(1, 1, x_3, \dots, x_n)] = \dots = \\ &= f(0, 0, \dots, 0) \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \dots \cdot \bar{x}_n + \dots + f(1, 1, \dots, 1) \cdot x_1 x_2 \dots x_n = \\ &= \sum_{i=0}^{2^n-1} \alpha_i \cdot P_i \end{aligned}$$



a	b	c	y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

$$y = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} + \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c + \bar{a} \cdot b \cdot \bar{c} + \bar{a} \cdot b \cdot c + a \cdot b \cdot c = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_7$$



- Premessa: il prodotto di ℓ maxtermini è una funzione la cui tabella di verità ha ℓ zero e $2^n - \ell$ uno
- Assegnata una funzione f di n variabili booleane x_1, x_2, \dots, x_n , dalla tabella di verità è possibile derivare una particolare espressione algebrica nella forma *prodotto di somme*
 - ciascuno 0 della tabella di verità corrisponde ad un maxtermine
 - la funzione f si può esprimere come prodotto dei maxtermini corrispondenti ai singoli punti del dominio in cui f vale 0
- L'espressione algebrica che si ottiene in questo modo viene detta *la forma normale di tipo S* o *seconda forma canonica* di f

Esempio: forma normale di tipo S di una funzione



a	b	c	y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

$$y = (\bar{a} + b + c) \cdot (\bar{a} + b + \bar{c}) \cdot (\bar{a} + \bar{b} + c) = S_4 \cdot S_5 \cdot S_6$$