



Sintesi Sequenziale Sincrona

Sintesi Comportamentale di reti Sequenziali Sincrone

Il problema dell'assegnamento degli stati

versione del 15/12/04



Sintesi: Assegnamento degli stati

- La riduzione del numero degli stati minimizza il numero di elementi di memoria e quindi di variabili di stato che descrivono la macchina da sintetizzare
- A pari numero di stati la **complessità della rete combinatoria** che sintetizza la funzione δ **dipende** dal particolare **assegnamento** scelto per gli stati
- L'assegnamento degli stati trasforma la tabella degli stati in **tabella delle transizioni**
- La tabella delle transizioni rappresenta in forma iniziale (manca la scelta del bistabile) l'insieme delle **tabelle delle eccitazioni** della macchina (mappe di Karnaugh soggette ad effettiva sintesi)
- Le **adiacenze** di 1 (o 0) nelle mappe di Karnaugh consentono di ottenere reti combinatorie più o meno complesse, a pari metodo di ottimizzazione

- 2 -



Sintesi: Scelta del codice

- Il processo di codifica degli stati ha l'obiettivo di identificare per ogni rappresentazione simbolica dello stato una corrispondente rappresentazione binaria.
- Due problemi paralleli:
 - **Scelta del codice.**
 - **A minimo numero di bit**
 - n° di elementi di memoria = $\lceil \log_2 |S| \rceil$ (codifica densa)
 - One-Hot
 - n° di elementi di memoria = $|S|$ (codifica sparsa)
 - Distanza Minima
 - Gli stati che sono in corrispondenza delle transizioni più frequenti sono poste a distanza Hamming più piccola possibile ponendo il vincolo del minor numero possibile di bit.
 - ...
 - **Identificazione della codifica di ogni stato.**

- 3 -



Sintesi: Codifica degli stati

- Scelto il codice, la codifica degli stati influisce sia sull'area sia sulle prestazioni del dispositivo.
- Il problema della identificazione della codifica ottima è un problema *NP-completo*
- Impone l'uso di **euristiche per prevedere** l'influenza sul processo di ottimizzazione dell'interazione tra il tipo di elemento di memoria utilizzato e la codifica scelta.
 - Ad esempio, il numero possibili codifiche per il codice *a minimo numero di bit* è:

$$\frac{(2^{\lceil \log_2 |S| \rceil} - 1)!}{(2^{\lceil \log_2 |S| \rceil} - |S|)! \cdot \lceil \log_2 |S| \rceil!}$$
 - Ad esempio, con $|S| = 8$ si hanno 840 possibili codifiche
- Spesso, scelto il codice, si preferisce non ricorrere ad alcuna specifica strategia di codifica.
 - Il *costo della strategia di codifica rispetto alla affidabilità del risultato ottenuto* è ritenuto eccessivo.

- 4 -



Sintesi: Scelta del codice

- Semplici codifiche: binario naturale e one-hot con codifica random
 - Binario Naturale:
 - Il numero di bit è quello minimo
 - al primo stato corrisponde la configurazione di bit associata a 0, al secondo stato corrisponde la configurazione di bit associata ad 1...
 - L'ordinamento degli stati è quello determinato in fase di realizzazione della tabella degli stati.
 - One-Hot:
 - Il numero di bit per la codifica dello stato è pari al numero degli stati
 - In ogni codifica, un solo bit assume valore 1. Tutti i bit rimanenti assumono valore 0
 - Si osservi che le codifiche degli stati sono tutte a distanza di hamming 2

□ Esempio:

	Binario naturale	One-Hot
S_0	00	001
S_1	01	010
S_2	10	100



Codifica degli stati: codifica a numero minimo di bit e flip-flop D

- Consideriamo il caso di codifica a numero minimo di bit e utilizzo di flip flop D
- E' possibile utilizzare metodi euristici per determinare codifiche che possano produrre macchine con reti combinatorie semplificate da una buona scelta dell'associazione codifica-stato
- Nel caso di bistabili D è possibile identificare dei criteri di scelta semplici, poichè la tabella delle transizioni della macchina coincide con la tabella delle eccitazioni
- I criteri di scelta si basano sul principio di generare il più possibile 1 (o 0) adiacenti nella tabella delle transizioni (eccitazioni)



Codifica degli stati: codifica a numero minimo di bit e flip-flop D

- Uno dei metodi utilizzabili manualmente, su macchine con un numero di stati ridotto, si basa sulle seguenti considerazioni che generano vincoli di codifica, con diversa priorità
- A. ALTA PRIORITÀ: Se due stati s_i e s_j hanno, per la stessa configurazione di ingresso, lo stesso stato futuro è opportuno che s_i e s_j abbiano codifiche adiacenti, in modo da avere coppie di 1 o di 0 adiacenti sulle colonne

□ Esempio - alta priorità.

	00	01	11	10	Z
s_0	s_0	s_0	s_2	s_1	1
s_1	s_1	s_1	s_0	s_1	0
s_2	s_2	s_3	s_0	s_2	1
s_3	s_3	s_3	s_2	s_3	0

s_0	00
s_1	01
s_2	11
s_3	10

	00	01	11	10	Z
00	00	00	11	01	1
01	01	01	00	01	0
11	11	10	00	11	1
10	10	10	11	10	0



Codifica degli stati: codifica a numero minimo di bit e flip-flop D (cont.)

- B. MEDIA PRIORITÀ: Se due stati s_i e s_j sono stati prossimi dello stesso stato e corrispondono a ingressi adiacenti, è opportuno che abbiano codifiche adiacenti, in modo da avere coppie di 1 o di 0 adiacenti sulle righe
- C. BASSA PRIORITÀ: Nel caso di macchina di Mealy è possibile esprimere un criterio anche relativo all'uscita (se s_i e s_j hanno uscite identiche, per qualche ingresso, è opportuno che i due stati abbiano codifiche adiacenti)

□ Esempio - media priorità.

	00	01	11	10	Z
s_0	s_0	s_0	s_2	s_1	1
s_1	s_1	s_1	s_0	s_1	0
s_2	s_2	s_3	s_0	s_2	1
s_3	s_3	s_3	s_2	s_3	0

s_0	00
s_1	01
s_2	11
s_3	10

	00	01	11	10	Z
00	00	00	11	01	1
01	01	01	00	01	0
11	11	10	00	11	1
10	10	10	11	10	0



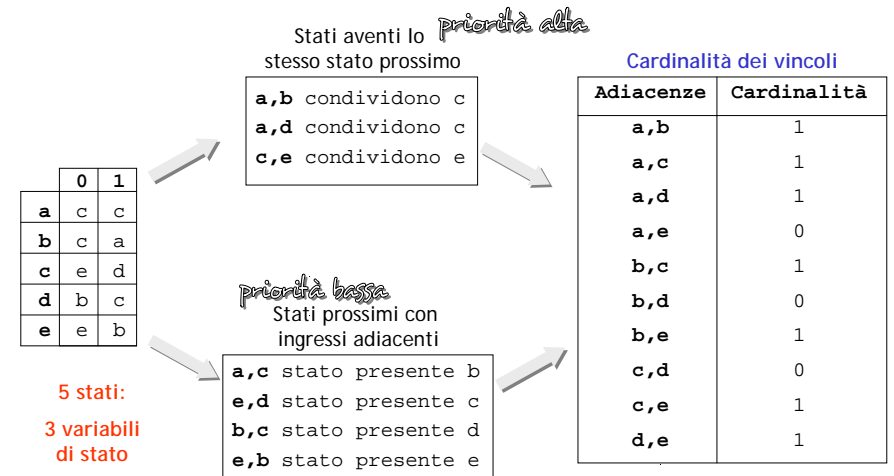
Codifica degli stati: **codifica a numero minimo di bit e flip-flop D** (cont.)

- I vincoli imposti dai tre criteri di adiacenza possono generare conflitti e comunque può risultare impossibile soddisfarli
- A questi vincoli può essere associato anche un **peso** relativo:
 - cardinalità del vincolo derivante dall'esame della tabella degli stati, dopo aver applicato le regole esposte
- Noi consideriamo i vincoli di **alta e media priorità** e utilizziamo il **peso**

- 9 -



Codifica degli stati: **Esempio 1**



- 10 -



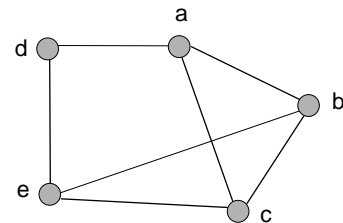
Codifica degli stati: **Esempio 1**

Cardinalità dei vincoli

Adiacenze	Cardinalità
a,b	1
a,c	1
a,d	1
a,e	0
b,c	1
b,d	0
b,e	1
c,d	0
c,e	1
d,e	1

Dalla tabella dei vincoli, si costruisce il grafo, i cui archi hanno un peso pari alla cardinalità dei vincoli. Il peso viene usato se non è possibile soddisfare tutti i vincoli

Grafo dei vincoli con archi pesati

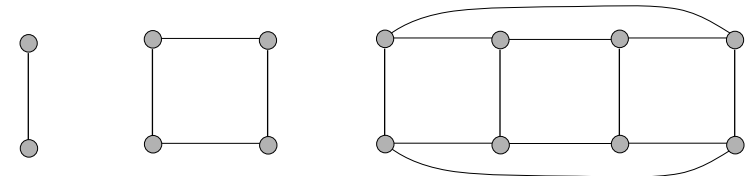


- 11 -



Scelta dell'assegnamento

- Il grafo dei vincoli, il linea di principio, rappresenta l'insieme dei **sotto-cubi di adiacenza** che devono essere riportati nella **mappa di codifica**.
- Ciò è possibile solo se il grafo ottenuto è costituito da soli **n-cubi** o da **unioni di sottocubi**

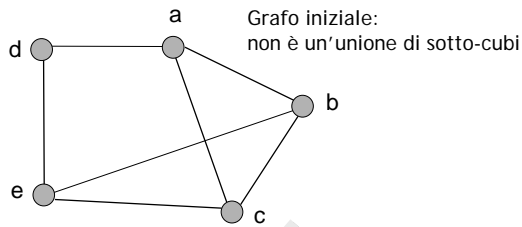


- Se il grafo non è costituito da soli n-cubi o da unioni di n-cubi, è necessario **"tagliare"** alcuni archi
- La scelta viene fatta **eliminando il minimo numero** di archi possibile e utilizzando il **peso come criterio secondario**

- 12 -



Codifica degli stati: *Esempio 1*



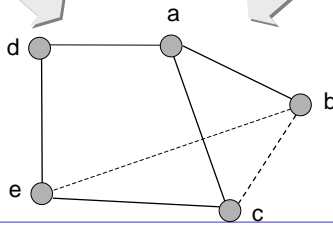
Mapa per la codifica
(variabili di stato)

	00	01	11	10
0	a	c		b
1	d	e		

Codifica

a	000
b	100
c	010
d	001
e	011

Grafo ridotto tagliando il
numero minore di archi



- 13 -



Codifica degli stati: *Esempio 2*

Stati aventi lo stesso stato prossimo

- s0, s1 condividono s1
- s0, s3 condividono s2
- s2, s3 condividono s3
- s1, s2 condividono s0

Stati prossimi con ingressi adiacenti

- s0, s2 stato presente s0
- s1, s2 stato presente s0
- s0, s1 stato presente s0
- s0, s1 stato presente s1
- s2, s3 stato presente s2
- s0, s3 stato presente s2
- s0, s2 stato presente s2
- s2, s3 stato presente s3
- s2, s3 stato presente s3

4 stati:
2 variabili
di stato

Cardinalità dei vincoli

Adiacenze	Cardinalità
s0, s1	4
s1, s2	2
s0, s2	2
s2, s3	4
s0, s3	2

Tabella degli stati

	00	01	11	10
S0	S0	S0	S2	S1
S1	S1	S1	S0	S1
S2	S2	S3	S0	S2
S3	S3	S3	S2	S3

- 14 -



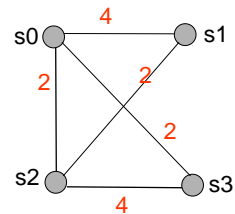
Codifica degli stati: *Esempio 2*

Cardinalità dei vincoli

Adiacenze	Cardinalità
s0, s1	4
s1, s2	2
s0, s2	2
s2, s3	4
s3, s0	2

Dalla tabella dei vincoli, si costruisce il
grafo, i cui archi hanno un peso pari alla
cardinalità dei vincoli. Il peso viene usato
se non è possibile soddisfare tutti i vincoli

Grafo dei vincoli con archi pesati



- 15 -



Codifica degli stati: *Esempio 2*

Grafo iniziale:
non è un'unione di sotto-cubi

Mapa per la codifica
(variabili di stato)

	0	1
0	s0	s1
1	s3	s2

Codifica

s0	00
s1	01
s2	11
s3	10

Grafo ridotto tagliando il
numero minore di archi

- 16 -



Altri criteri di assegnamento

- Esistono metodi che hanno lo scopo di individuare per la funzione δ una **dipendenza ridotta dalle variabili di stato**
- Il metodo assegna, se possibile, gli stati in modo da identificare dei moduli che dipendono da un numero di variabili di stato inferiore a quello totale della FSM
- Il metodo **partiziona le variabili di stato** (i bistabili) e quindi individua dei moduli costituiti da
 - un sottoinsieme di bistabili e una rete combinatoria che realizza δ solo per quel sottoinsieme di variabili di stato
 - le reti combinatorie risultanti sono in generale localmente meno complesse perché dipendono, oltre che dagli ingressi, da un numero ridotto di variabili di stato



Strumenti di sintesi automatica

- Esistono strumenti specifici di sintesi automatica in grado di adottare diverse strategie per definire la codifica degli stati
- In generale utilizzano le regole esposte per identificare i vincoli di adiacenza tra stati. Il criterio di soddisfacimento dei vincoli dipende dalla strategia adottata che, spesso, può essere definita al momento dell'attivazione dello strumento
- Gli strumenti sono in grado di gestire un numero sufficientemente elevato di variabili nelle tabelle delle verità ottenute dall'assegnamento
- Presuppongono di lavorare con Flip-Flop D e il risultato dell'assegnamento e della relativa ottimizzazione della rete combinatoria dipende anche dalla tecnologia implementativa prevista (es. PLA)