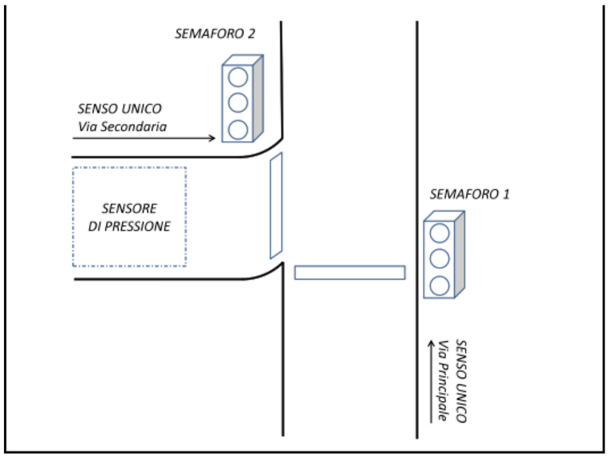
Automazione I

31 Ottobre 2014

Esercizio 1

Si consideri lo scenario rappresentato in Fig. 1, in cui un PLC deve coordinare la segnaletica di un incrocio stradale. L'incrocio è dato da una via secondaria che si immette in una via principale. Due semafori (Semaforo 1, Semaforo 2) controllano rispettivamente il flusso di macchine della via principale e della via secondaria. Ogni luce (ROSSO, GIALLO, VERDE) di ogni semaforo è attuabile per mezzo di un relè. Il sensore di pressione (SP) posto sotto il manto stradale della via secondaria serve a verificare il PASSAGGIO di macchine che si avvicinano all'incrocio per immettersi nella via principale (SP = 1 se un veicolo sta transitando sopra il sensore, SP = 0 altrimenti). L'obiettivo del PLC è quello di realizzare un "semaforo intelligente" in grado di bloccare la via principale solo quando vengono rilevati veicoli in transito nella via secondaria.



SENSORI
SP: sensore di pressione

ATTUATORI
R1: relé della luce ROSSO del Semaforo 1
G1: relé della luce GIALLO del Semaforo 1
V1: relé della luce VERDE del Semaforo 1
R2: relé della luce ROSSO del Semaforo 2
G2: relé della luce GIALLO del Semaforo 2
V2: relé della luce VERDE del Semaforo 2

Figura 1: Automazione della segnaletica di un incrocio stradale, con i relativi sensori e attuatori

La logica di controllo del PLC deve garantire che:

1. Il ciclo di funzionamento di ogni semaforo è VERDE fino all'occorrenza di un evento, scatta quindi il GIALLO che dura per 3 secondi, scatta quindi il ROSSO che rimane tale fino all'occorrenza di un altro evento.
2. Il sistema dei due semafori deve essere sempre consistente, ovvero, in ogni istante di tempo i semafori non devono essere entrambi VERDE/GIALLO (pericolo di incidente) o ROSSO (inutile inefficienza).
3. Quando il Semaforo 1 scatta da ROSSO a VERDE deve rimanere VERDE almeno per 3 minuti, indipendentemente da qualsiasi evento.
4. Passati i 3 minuti (come indicato nel punto 3), il Semaforo 1 rimane VERDE se nessun veicolo è passato sopra il sensore di pressione durante tali 3 minuti. In tal caso, il Semaforo 1 rimane VERDE fino a quando il sensore di pressione non rileva un veicolo che sta passando nella via secondaria per immettersi nella via principale. Viceversa, se nei 3 minuti è stato rilevato il transito di un veicolo, passati i 3 minuti il Semaforo 1 deve far scattare il GIALLO.
5. Quando il Semaforo 2 scatta da ROSSO a VERDE, il VERDE rimane tale per 1 minuto, poi scatta il GIALLO per 3 secondi, quindi il ROSSO.

Si rappresenti il diagramma SFC della logica di controllo del PLC ipotizzando che:

- Allo stato iniziale il Semaforo 1 è VERDE (con timer azzerato), il Semaforo 2 è ROSSO e il sensore di pressione SP non ha rilevato auto in transito.
- I flussi dei due Semafori devono essere sviluppati in maniera indipendente (ognuno con un proprio stato iniziale) e sincronizzati con opportune strutture per garantire il loro corretto funzionamento.

Esercizio 2

In Fig. 2 è riportata una rete di Petri che modellizza una situazione nella quale ci sono due semafori che non possono mai essere contemporaneamente verdi (situazione simile, sebbene non identica a quella dell'Esercizio 1).

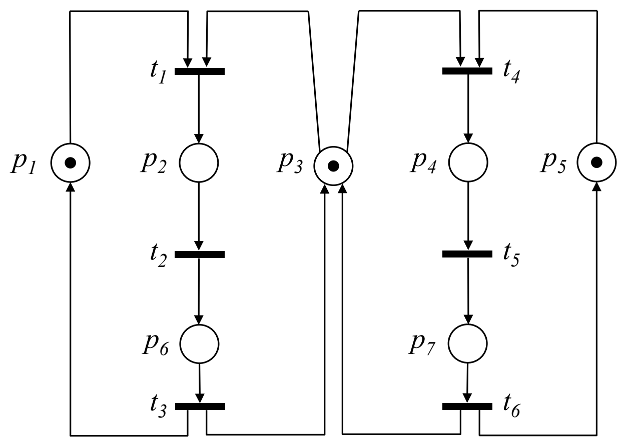


Figura 2: Rete di Petri relativa allo stato di due semafori

- Fornire un'interpretazione del significato dei posti in questa rete di Petri.
- Verificare se la marcatura iniziale indicata sia reversibile o meno, utilizzando i concetti di marcature raggiungibili, sequenze ammissibili di scatto e $T-$invarianti,
- A partire dalla matrice di incidenza $\boldsymbol{C}$ della rete, determinare la struttura di tutti i $P-$invarianti aventi solo elementi interi. Dare un'interpretazione dei $P-$invarianti così trovati, in termini di proprietà di conservatività (eventualmente di sottoparti della rete) e di limitatezza.
- Il comportamento della rete in Fig. 2 non prescrive con certezza la stretta alternanza del segnale VERDE tra i due semafori. Progettare un controllore che realizzi sempre tale alternanza mediante l'aggiunta di un solo posto di controllo.

[120 minuti; libri aperti]

Soluzioni

31 Ottobre 2014

Esercizio 1

Il diagramma SFC della logica di controllo del PLC è riportato in Fig. 3.

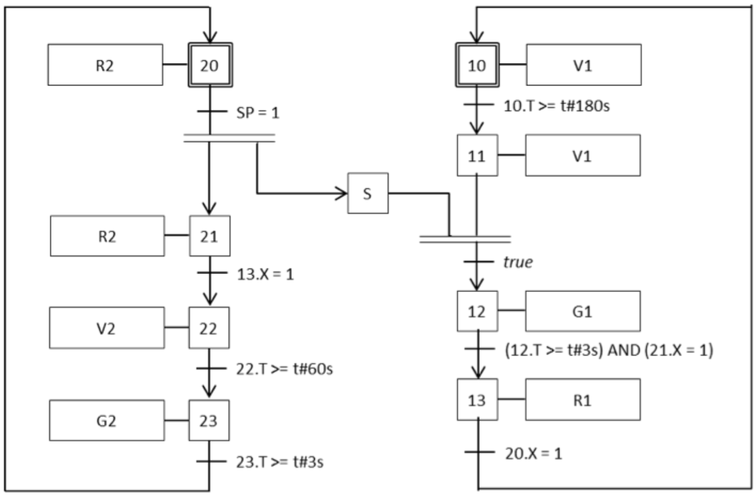


Figura 3: Diagramma SFC relativo all'automazione della segnaletica di un incrocio stradale

Esercizio 2

I posti p_1, p_2 e p_6 rappresentano rispettivamente lo stato di ROSSO, VERDE e GIALLO del primo semaforo; significato analogo hanno i posti p_5, p_4 e p_7 per il secondo semaforo. Il posto p_3 rappresenta il consenso all'attivazione mutuamente esclusiva del segnale di VERDE sui semafori. Si noti che, in ragione della descrizione minimale del funzionamento, questa rete non prescrive nessuna ulteriore logica di attivazione del VERDE tra i due semafori.

La matrice di incidenza $\boldsymbol{C}$, di dimensioni (7×6), della rete di Petri in Fig. 2 è la seguente:

$$\boldsymbol{C} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}. \tag{1}$$

E' semplice verificare (ad esempio con la funzione `rank` in Matlab) che la matrice $\boldsymbol{C}$ ha rango pari a 4. Quindi l'equazione che definisce i $T-$invarianti,

$$\boldsymbol{C}\,\boldsymbol{\eta} = \boldsymbol{0},$$

ha un insieme di soluzioni indipendenti di dimensione $6 - 4 = 2$. In particolare, i due $T-$invarianti

$$\boldsymbol{\eta}_1^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{e} \quad \boldsymbol{\eta}_2^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

indicano che la marcatura iniziale potrebbe essere raggiunta con uno scatto di ciascuna delle tre transizioni t_1, t_2 e t_3, legate al primo semaforo, oppure con uno scatto analogo delle transizioni t_4, t_5 e t_6 del secondo semaforo. Tali sequenze di scatto (con le transizioni nell'ordine lessicografico) sono entrambe ammissibili. Indipendentemente da quale dei due semafori riceva l'attivazione nello stato di VERDE, ne segue quindi che la marcatura iniziale risulta essere *reversibile*. In particolare, esistono sempre sequenze di scatto ammissibili che restituiscono la marcatura iniziale a partire da qualsiasi marcatura raggiungibile della rete.

Viceversa, nell'equazione che definisce i $P-$invarianti,

$$\boldsymbol{C}^T \boldsymbol{\gamma} = \mathbf{0}, \tag{2}$$

la dimensione dello spazio nullo della matrice $\boldsymbol{C}^T$ è pari a 3 (= # colonne di $\boldsymbol{C}^T$ − rango di $\boldsymbol{C}^T$). Per avere una base con la quale esprimere tutto l'insieme di interesse, occorre e basta trovare quindi tre $P-$invarianti (con elementi nel dominio $\mathbb{Z}$ degli interi) che siano linearmente indipendenti. Un primo $P-$invariante (in forma canonica) è

$$\boldsymbol{\gamma}_1^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

che individua il ciclo di posti $\{p_1, p_2, p_6\}$ dove si conserva il numero di token presenti. Questo ciclo è associato al funzionamento del primo semaforo. Analogamente, il $P-$invariante

$$\boldsymbol{\gamma}_2^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

individua il ciclo conservativo posti $\{p_4, p_5, p_7\}$ associato al secondo semaforo. Un terzo $P-$invariante è dato da

$$\boldsymbol{\gamma}_3^T = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

e può interpretarsi come relativo all'attività di *sincronizzazione* dei due semafori (è l'unico dei tre dove compare il posto p_3). I tre $P-$invarianti $\boldsymbol{\gamma}_i$, $i = 1, 2, 3$, tutti non negativi e a supporto minimo, sono tra loro linearmente indipendenti. E' infatti possibile verificare che

$$\boldsymbol{\Gamma} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\gamma}_1 & \boldsymbol{\gamma}_2 & \boldsymbol{\gamma}_3 \end{pmatrix} \qquad \Rightarrow \qquad \text{rango } \boldsymbol{\Gamma} = 3.$$

Poiché il vettore non negativo

$$\boldsymbol{\gamma}_0^T = (\boldsymbol{\gamma}_1 + \boldsymbol{\gamma}_2 + \boldsymbol{\gamma}_3)^T = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 \end{pmatrix}$$

è evidentemente ancora soluzione della (2) e il suo supporto è l'intero insieme dei 7 posti della rete, ne segue che la rete stessa è *conservativa* e *limitata*.

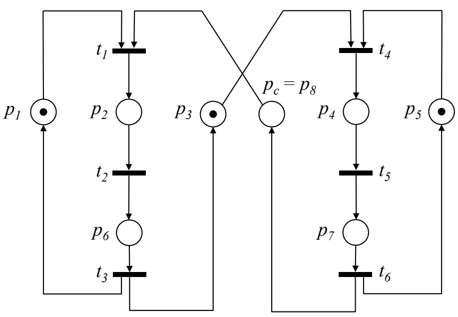


Figura 4: Modifica della rete di Petri di Fig. 2 con l'aggiunta del posto di controllo $p_c = p_8$

E' facile mostrare infine che l'aggiunta del posto di controllo p_8 nella rete di Fig. 4 induce una perfetta alternanza dei segnali di VERDE sui due semafori.

* * * * *