Controllo decentralizzato di reti di Petri mediante posti monitor

Maria Paola Ciullo

Università degli Studi di Cagliari

Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica

Relatori: Prof. Alessandro Giua
Ing. Carla Seatzu

15 Luglio 2009

Sommario

- **Introduzione**
- Approccio decentralizzato
- Implementazione
- Simulazioni
- Conclusioni

Controllo decentralizzato e obiettivi

- Controllore decentralizzato $\rightarrow$ supervisori locali, ognuno controlla e osserva una parte del sistema
- Controllo decentralizzato e SED
- Obiettivi della tesi:
  - Determinazione di posti monitor decentralizzati per lo sviluppo di un controllore decentralizzato
  - Studio e implementazione delle soluzioni

Controllo decentralizzato e obiettivi

- Controllore decentralizzato $\rightarrow$ supervisori locali, ognuno controlla e osserva una parte del sistema
- Controllo decentralizzato e SED
- Obiettivi della tesi:
  - Determinazione di posti monitor decentralizzati per lo sviluppo di un controllore decentralizzato
  - Studio e implementazione delle soluzioni

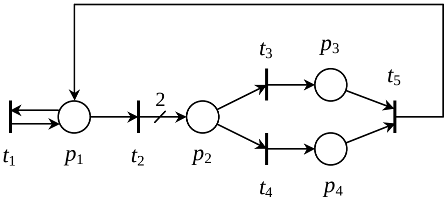
Controllo decentralizzato e obiettivi

- Controllore decentralizzato → supervisori locali, ognuno controlla e osserva una parte del sistema
- Controllo decentralizzato e SED
- Obiettivi della tesi:
  - Determinazione di posti monitor decentralizzati per lo sviluppo di un controllore decentralizzato
  - Studio e implementazione delle soluzioni

Controllo decentralizzato e obiettivi

- Controllore decentralizzato $\rightarrow$ supervisori locali, ognuno controlla e osserva una parte del sistema
- Controllo decentralizzato e SED
- Obiettivi della tesi:
  - Determinazione di posti monitor decentralizzati per lo sviluppo di un controllore decentralizzato
  - Studio e implementazione delle soluzioni

Rete di Petri



Una rete posto/transizione P/T è una struttura $N = (P, T, Pre, Post)$ dove:

- P è un insieme di m posti rappresentati da cerchi
- T è un insieme di n transizioni rappresentate da barre
- $Pre : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ è la funzione di pre-incidenza che specifica gli archi diretti dai posti alle transizioni
- $Post : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ è la funzione di post-incidenza che specifica gli archi diretti dalle transizioni ai posti

Specifiche di mutua esclusione generalizzate

Specifiche statiche $\Rightarrow$ marcature raggiungibili

Specifica statica $\Rightarrow$ GMEC $\Rightarrow w^T M \leq k \Rightarrow \mathcal{M}(w,k)$

GMEC (w,k) dove $w \in \mathbb{Z}^m$ e $k \in \mathbb{Z}$

Più GMEC (w_i, k_i) con $i = 1, ..., q \Rightarrow$ GMEC multipla (W,k)

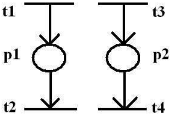
$W^T M \leq k \Rightarrow \mathcal{M}(W,k)$

$$W = [\ w_1 \quad w_2 \quad \ldots \quad w_q\ ]^T \qquad e \qquad k = [\ k_1 \quad k_2 \quad \ldots \quad k_q\ ]^T$$

Posto monitor

Data una GMEC $(w, k) \Rightarrow$ controllore $\Rightarrow$ posto *monitor*

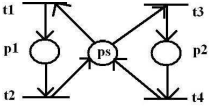
Un monitor è un posto p_s aggiunto alla rete a ciclo aperto



L'aggiunta del posto monitor alla rete descrive un sistema a ciclo chiuso

$$\Downarrow$$

PROCESSO + SUPERVISORE



GMEC multipla $\rightarrow q$ monitor, tanti quanti sono i vincoli della GMEC

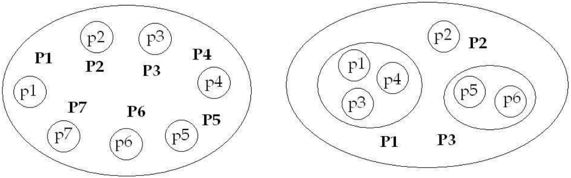
Sommario

- Introduzione
- **Approccio decentralizzato**
- Implementazione
- Simulazioni
- Conclusioni

Esposizione del problema

Ipotesi

- Marcature $\Rightarrow R(N, M_0)$, $\mathcal{M}(W, k)$
- Insieme P $\Rightarrow \nu$ sottoinsiemi P_i per $i = 1, \ldots, \nu$



Problema

- Data una rete P/T $\langle N, M_0 \rangle$
- Data una GMEC (W, k)
- Data una partizione di posti

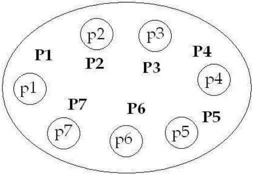
Obiettivo: realizzare ν controllori decentralizzati

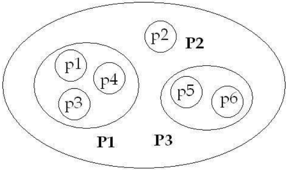
Soluzione: Approccio A e Approccio B

Esposizione del problema

Ipotesi

- Marcature $\Rightarrow R(N, M_0)$, $\mathcal{M}(W, k)$
- Insieme P $\Rightarrow \nu$ sottoinsiemi P_i per $i = 1, \ldots, \nu$





Problema

- Data una rete P/T $\langle N, M_0 \rangle$
- Data una GMEC (W, k)
- Data una partizione di posti

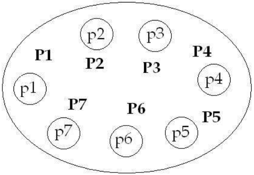
Obiettivo: realizzare ν controllori decentralizzati

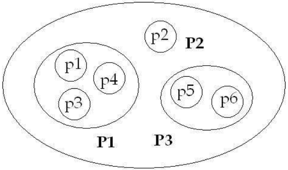
Soluzione: Approccio A e Approccio B

Esposizione del problema

Ipotesi

- Marcature $\Rightarrow R(N, M_0)$, $\mathcal{M}(W, k)$
- Insieme P $\Rightarrow \nu$ sottoinsiemi P_i per $i = 1, \ldots, \nu$





Problema

- Data una rete P/T $\langle N, M_0 \rangle$
- Data una GMEC (W, k)
- Data una partizione di posti

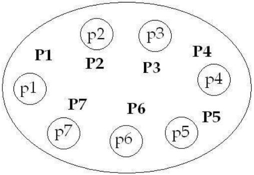
Obiettivo: realizzare ν controllori decentralizzati

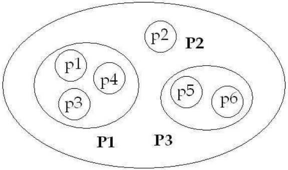
Soluzione: Approccio A e Approccio B

Esposizione del problema

Ipotesi

- Marcature $\Rightarrow R(N, M_0)$, $\mathcal{M}(W, k)$
- Insieme P $\Rightarrow \nu$ sottoinsiemi P_i per $i = 1, \ldots, \nu$





Problema

- Data una rete P/T $\langle N, M_0 \rangle$
- Data una GMEC (W, k)
- Data una partizione di posti

Obiettivo: realizzare ν controllori decentralizzati

Soluzione: Approccio A e Approccio B

Approccio A

Massimizzare la cardinalità dell'insieme di marcature legali per il controllo decentralizzato

Ipotesi

1. i pesi delle GMEC possono assumere solo valori positivi $\rightarrow W \geq 0$, $k \geq 0$
2. insieme di posti singleton

Soluzione

Tecniche di programmazione non lineare intera

Approccio A

Massimizzare la cardinalità dell'insieme di marcature legali per il controllo decentralizzato

Ipotesi

1. i pesi delle GMEC possono assumere solo valori positivi $\rightarrow W \geq 0,\ k \geq 0$
2. insieme di posti singleton

Soluzione

Tecniche di programmazione non lineare intera

Approccio A

Massimizzare la cardinalità dell'insieme di marcature legali per il controllo decentralizzato

Ipotesi

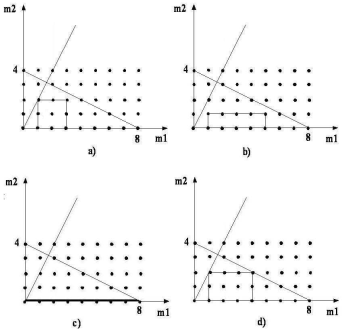
1. i pesi delle GMEC possono assumere solo valori positivi $\rightarrow W \geq 0,\ k \geq 0$
2. insieme di posti singleton

Soluzione

Tecniche di programmazione non lineare intera

Approccio B

Determinare un insieme di marcature legali decentralizzate massimale e in grado di garantire fairness



- Massimalità ⇒ nessun aumento senza violare i vincoli
- Fairness ⇒ caratteristiche simili

Ipotesi

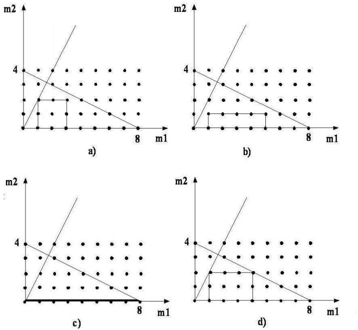
- Rilassa i vincoli imposti

Soluzione

1. Problema di programmazione lineare intera
2. Applicazione di algoritmi iterativi

Approccio B

Determinare un insieme di marcature legali decentralizzate massimale e in grado di garantire fairness



- Massimalità ⇒ nessun aumento senza violare i vincoli
- Fairness ⇒ caratteristiche simili

Ipotesi

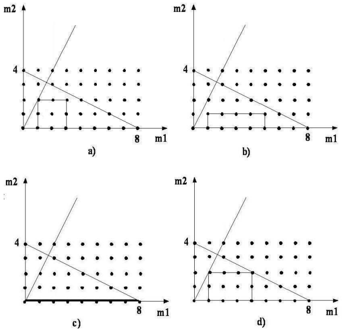
- Rilassa i vincoli imposti

Soluzione

1. Problema di programmazione lineare intera
2. Applicazione di algoritmi iterativi

Approccio B

Determinare un insieme di marcature legali decentralizzate massimale e in grado di garantire fairness



- Massimalità $\Rightarrow$ nessun aumento senza violare i vincoli
- Fairness $\Rightarrow$ caratteristiche simili

Ipotesi

- Rilassa i vincoli imposti

Soluzione

1. Problema di programmazione lineare intera
2. Applicazione di algoritmi iterativi

Approccio B

Questo approccio può essere riassunto nei seguenti step:

1. Determinare un punto $c \in \mathcal{M}(W, k) \Rightarrow$ Problema di Programmazione Lineare Intera
2. Definire un nuovo insieme di GMEC $(\tilde{W}, \tilde{k})$ traslate nel punto $c \Rightarrow$ operazioni matriciali
3. Determinare un box intero massimale interno in $\mathcal{M}(\tilde{W}, \tilde{k}) \Rightarrow$ Algoritmo HB e Algoritmo HMB
4. Determinare le GMEC decentralizate nel sistema originale $\Rightarrow m = m' + c$

Approccio B

Questo approccio può essere riassunto nei seguenti step:

1. Determinare un punto $c \in \mathcal{M}(W,k) \Rightarrow$ Problema di Programmazione Lineare Intera
2. Definire un nuovo insieme di GMEC $(\tilde{W},\tilde{k})$ traslate nel punto $c \Rightarrow$ operazioni matriciali
3. Determinare un box intero massimale interno in $\mathcal{M}(\tilde{W},\tilde{k}) \Rightarrow$ Algoritmo HB e Algoritmo HMB
4. Determinare le GMEC decentralizate nel sistema originale $\Rightarrow m = m' + c$

Approccio B

Questo approccio può essere riassunto nei seguenti step:

1. Determinare un punto $c \in \mathcal{M}(W, k) \Rightarrow$ Problema di Programmazione Lineare Intera
2. Definire un nuovo insieme di GMEC $(\tilde{W}, \tilde{k})$ traslate nel punto $c \Rightarrow$ operazioni matriciali
3. Determinare un box intero massimale interno in $\mathcal{M}(\tilde{W}, \tilde{k}) \Rightarrow$ Algoritmo HB e Algoritmo HMB
4. Determinare le GMEC decentralizate nel sistema originale $\Rightarrow m = m' + c$

Approccio B

Questo approccio può essere riassunto nei seguenti step:

1. Determinare un punto $c \in \mathcal{M}(W, k) \Rightarrow$ Problema di Programmazione Lineare Intera
2. Definire un nuovo insieme di GMEC $(\tilde{W}, \tilde{k})$ traslate nel punto $c \Rightarrow$ operazioni matriciali
3. Determinare un box intero massimale interno in $\mathcal{M}(\tilde{W}, \tilde{k}) \Rightarrow$ Algoritmo HB e Algoritmo HMB
4. Determinare le GMEC decentralizzate nel sistema originale $\Rightarrow m = m' + c$

Approccio B

Questo approccio può essere riassunto nei seguenti step:

1. Determinare un punto $c \in \mathcal{M}(W, k) \Rightarrow$ Problema di Programmazione Lineare Intera
2. Definire un nuovo insieme di GMEC $(\tilde{W}, \tilde{k})$ traslate nel punto $c \Rightarrow$ operazioni matriciali
3. Determinare un box intero massimale interno in $\mathcal{M}(\tilde{W}, \tilde{k}) \Rightarrow$ Algoritmo HB e Algoritmo HMB
4. Determinare le GMEC decentralizate nel sistema originale $\Rightarrow m = m' + c$

Algoritmo HB

Algoritmo HB (Hypercube Bound)

- A ogni step si assegna il lower bound o l'upper bound a un posto appartenente al supporto della GMEC corrente, il cui valore coincide con il lato dell'ipercubo corrente
- La soluzione trovata con l'Algoritmo HB fornisce un box interno massimale quando la sequenza di τ è strettamente crescente, tranne nella coda in cui la sequenza può essere costante, ma non viene garantita la massimalità del box se due o più valori di τ che non si trovano in coda sono uguali
- τ rappresenta metà lato dell'ipercubo

$$\text{Se } \tau_1 < \tau_2 < \cdots < \tau_\mu = \tau_{\mu+1} = \cdots = \tau_{2m}$$

$$\Downarrow$$

$\mathcal{B}(l^*, u^*)$ è un *box interno massimale* incluso in $\mathcal{M}(\tilde{W}, \tilde{k})$

Algoritmo HMB e caso non singleton

Algoritmo HMB (**H**ypercube **M**aximal **B**ound)

- Si cercano tutte le variabili alle quali corrisponde lo stesso upper bound che differisce da τ_m e si verifica se i loro upper bound o lower bound possano essere rispettivamente aumentato o diminuito ulteriormente

Caso non singleton

Se $\mathcal{B}(l^*, u^*)$ è un box intero massimale

$\Downarrow$

Se l'insieme dei posti P è partizionato in ν sottoinsiemi di posti p_i

$\Downarrow$

si definiscono $q \times \nu$ GMEC decentralizzate

Sommario

- Introduzione
- Approccio decentralizzato
- **Implementazione**
- Simulazioni
- Conclusioni

Implementazione Matlab

Strumenti utilizzati: Matlab e glpkmex

1. Algoritmo HB
2. Algoritmo HMB
3. Caso non singleton

Conteggio delle marcature

1. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ nell'ipercubo
2. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ interne alla GMEC

Implementazione Matlab

Strumenti utilizzati: Matlab e glpkmex

1. Algoritmo HB
2. Algoritmo HMB
3. Caso non singleton

Conteggio delle marcature

1. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ nell'ipercubo
2. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ interne alla GMEC

Implementazione Matlab

Strumenti utilizzati: Matlab e glpkmex

1. Algoritmo HB
2. Algoritmo HMB
3. Caso non singleton

Conteggio delle marcature

1. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ nell'ipercubo
2. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ interne alla GMEC

Implementazione Matlab

Strumenti utilizzati: Matlab e glpkmex

1. Algoritmo HB
2. Algoritmo HMB
3. Caso non singleton

Conteggio delle marcature

1. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ nell'ipercubo
2. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ interne alla GMEC

Implementazione Matlab

Strumenti utilizzati: Matlab e glpkmex

1. Algoritmo HB
2. Algoritmo HMB
3. Caso non singleton

Conteggio delle marcature

1. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ nell'ipercubo
2. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ interne alla GMEC

Implementazione Matlab

Strumenti utilizzati: Matlab e glpkmex

1. Algoritmo HB
2. Algoritmo HMB
3. Caso non singleton

Conteggio delle marcature

1. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ nell'ipercubo
2. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ interne alla GMEC

Implementazione Matlab

Strumenti utilizzati: Matlab e glpkmex

1. Algoritmo HB
2. Algoritmo HMB
3. Caso non singleton

Conteggio delle marcature

1. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ nell'ipercubo
2. Marcature legali $\mathcal{M}(W, k)$ interne alla GMEC

Sommario

- Introduzione
- Approccio decentralizzato
- Implementazione
- **Simulazioni**
- Conclusioni

Simulazioni

Testare le funzionalità del programma e valutare i tempi di elaborazione

1. 2 casi didattici → testare il software
2. 2 casi con significato fisico → aumentare la complessità
3. 1 caso parametrico → valutare i tempi

Validazione della soluzione → conteggio delle marcature

Simulazioni

Testare le funzionalità del programma e valutare i tempi di elaborazione

1. 2 casi didattici → testare il software
2. 2 casi con significato fisico → aumentare la complessità
3. 1 caso parametrico → valutare i tempi

Validazione della soluzione → conteggio delle marcature

Simulazioni

Testare le funzionalità del programma e valutare i tempi di elaborazione

1. 2 casi didattici → testare il software
2. 2 casi con significato fisico → aumentare la complessità
3. 1 caso parametrico → valutare i tempi

Validazione della soluzione → conteggio delle marcature

Simulazioni

Testare le funzionalità del programma e valutare i tempi di elaborazione

1. 2 casi didattici → testare il software
2. 2 casi con significato fisico → aumentare la complessità
3. 1 caso parametrico → valutare i tempi

Validazione della soluzione → conteggio delle marcature

Simulazioni

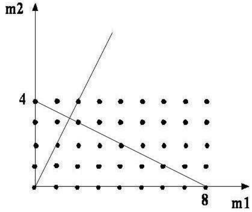
Testare le funzionalità del programma e valutare i tempi di elaborazione

1. 2 casi didattici $\rightarrow$ testare il software
2. 2 casi con significato fisico $\rightarrow$ aumentare la complessità
3. 1 caso parametrico $\rightarrow$ valutare i tempi

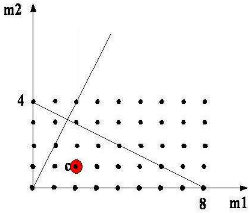
Validazione della soluzione $\rightarrow$ conteggio delle marcature

Caso didattico

$$\mathcal{M}(W,k) = \{ \quad m \in \mathbb{N}^2 \quad | \quad m(p_1) + 2m(p_2) \leq 8, \\ -2m(p_1) + m(p_2) \leq 0\}$$

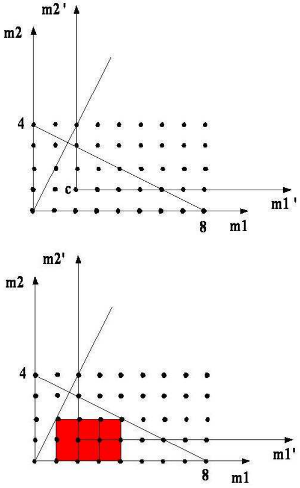


- Si rappresentano i vincoli espressi dalle GMEC e si determina $\mathcal{M}(W,k)$



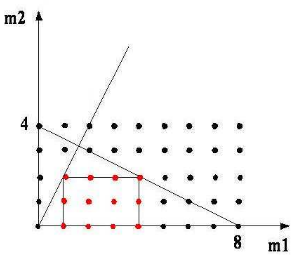
- Risolvendo un LIPP si determina un punto $c \in \mathcal{M}(W,k)$

Caso didattico

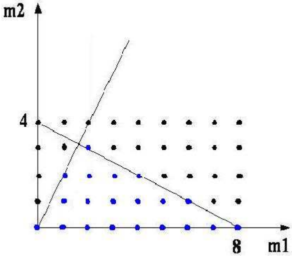


- Si fissa un nuovo sistema d'assi con centro in c
- Con gli Algoritmi HB e HMB si determinano i boundaries dell'ipercubo

Marcature



- Marcature interne all'ipercubo → 12

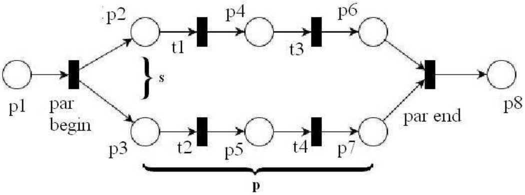


- Marcature interne alle GMEC → 20

Caso parametrico

Rete costituita da:

- transizione par begin
- struttura di sequenzialità
- transizione par end



Rete con $s = 2$ $p = 3$

$$\mathcal{M}(W,k) = \{m \in \mathbb{N}^8 \mid m(p_1) \leq 1, m(p_2) + m(p_3) \leq 1, m(p_4) + m(p_5) \leq 1, m(p_6) + m(p_7) \leq 1, m(p_8) \leq 1\}$$

Casi analizzati:

1. $s = 2$, $s = 6$, $s = 9$
2. $p = 2$, $p = 3$, $p = 5$

Tempi di elaborazione

I tempi sono espressi in secondi

$p \setminus s$	2	6	9
2	0.272335	0.839425	0.997365
3	0.329425	0.887091	1.873017
5	0.603750	1.950972	4.779424

- Tempo di elaborazione per l'esecuzione dell'Algoritmo HMB

$p \setminus s$	2	6	9
2	0.572660	1.571516	1.970390
3	0.698623	1.934852	3.636547
5	1.321578	3.924730	9.786135

- Tempo di esecuzione del caso non singleton

$p \setminus s$	2	6	9
2	0.765561	1.725765	2.375036
3	0.849274	2.329903	3.874122
5	1.421067	4.295428	10.41877

- Tempo di esecuzione per il conteggio delle marcature

Sommario

- Introduzione
- Approccio decentralizzato
- Implementazione
- Simulazioni
- **Conclusioni**

Contributi e sviluppi futuri

- Contributi della tesi

    1. Lo sviluppo di un software in Matlab che permette di eseguire gli algoritmi trattati, con alcuni miglioramenti
    2. Una modifica del campo di definizione delle variabili del problema di programmazione lineare
    3. La realizzazione di una funzione in grado di valutare la bontà della soluzione
    4. Una serie di simulazioni che dimostrano la validità dell'approccio

- Sviluppi futuri

    1. Stabilire dei criteri per la ripartizione dei posti della rete
    2. Stabilire dei criteri che permettano di vincolare l'insieme di GMEC al fine di non avere un problema illimitato
    3. Conoscere i legami che si creano quando l'applicazione degli algoritmi avviene conoscendo la rete di Petri

Contributi e sviluppi futuri

- Contributi della tesi

  1. Lo sviluppo di un software in Matlab che permette di eseguire gli algoritmi trattati, con alcuni miglioramenti
  2. Una modifica del campo di definizione delle variabili del problema di programmazione lineare
  3. La realizzazione di una funzione in grado di valutare la bontà della soluzione
  4. Una serie di simulazioni che dimostrano la validità dell'approccio

- Sviluppi futuri

  1. Stabilire dei criteri per la ripartizione dei posti della rete
  2. Stabilire dei criteri che permettano di vincolare l'insieme di GMEC al fine di non avere un problema illimitato
  3. Conoscere i legami che si creano quando l'applicazione degli algoritmi avviene conoscendo la rete di Petri

Contributi e sviluppi futuri

- Contributi della tesi

  1. Lo sviluppo di un software in Matlab che permette di eseguire gli algoritmi trattati, con alcuni miglioramenti
  2. Una modifica del campo di definizione delle variabili del problema di programmazione lineare
  3. La realizzazione di una funzione in grado di valutare la bontà della soluzione
  4. Una serie di simulazioni che dimostrano la validità dell'approccio

- Sviluppi futuri

  1. Stabilire dei criteri per la ripartizione dei posti della rete
  2. Stabilire dei criteri che permettano di vincolare l'insieme di GMEC al fine di non avere un problema illimitato
  3. Conoscere i legami che si creano quando l'applicazione degli algoritmi avviene conoscendo la rete di Petri

Contributi e sviluppi futuri

- Contributi della tesi
    1. Lo sviluppo di un software in Matlab che permette di eseguire gli algoritmi trattati, con alcuni miglioramenti
    2. Una modifica del campo di definizione delle variabili del problema di programmazione lineare
    3. La realizzazione di una funzione in grado di valutare la bontà della soluzione
    4. Una serie di simulazioni che dimostrano la validità dell'approccio

- Sviluppi futuri
    1. Stabilire dei criteri per la ripartizione dei posti della rete
    2. Stabilire dei criteri che permettano di vincolare l'insieme di GMEC al fine di non avere un problema illimitato
    3. Conoscere i legami che si creano quando l'applicazione degli algoritmi avviene conoscendo la rete di Petri

Contributi e sviluppi futuri

- Contributi della tesi

  1. Lo sviluppo di un software in Matlab che permette di eseguire gli algoritmi trattati, con alcuni miglioramenti
  2. Una modifica del campo di definizione delle variabili del problema di programmazione lineare
  3. La realizzazione di una funzione in grado di valutare la bontà della soluzione
  4. Una serie di simulazioni che dimostrano la validità dell'approccio

- Sviluppi futuri

  1. Stabilire dei criteri per la ripartizione dei posti della rete
  2. Stabilire dei criteri che permettano di vincolare l'insieme di GMEC al fine di non avere un problema illimitato
  3. Conoscere i legami che si creano quando l'applicazione degli algoritmi avviene conoscendo la rete di Petri

Contributi e sviluppi futuri

- Contributi della tesi

  1. Lo sviluppo di un software in Matlab che permette di eseguire gli algoritmi trattati, con alcuni miglioramenti
  2. Una modifica del campo di definizione delle variabili del problema di programmazione lineare
  3. La realizzazione di una funzione in grado di valutare la bontà della soluzione
  4. Una serie di simulazioni che dimostrano la validità dell'approccio

- Sviluppi futuri

  1. Stabilire dei criteri per la ripartizione dei posti della rete
  2. Stabilire dei criteri che permettano di vincolare l'insieme di GMEC al fine di non avere un problema illimitato
  3. Conoscere i legami che si creano quando l'applicazione degli algoritmi avviene conoscendo la rete di Petri

Contributi e sviluppi futuri

- Contributi della tesi

  1. Lo sviluppo di un software in Matlab che permette di eseguire gli algoritmi trattati, con alcuni miglioramenti
  2. Una modifica del campo di definizione delle variabili del problema di programmazione lineare
  3. La realizzazione di una funzione in grado di valutare la bontà della soluzione
  4. Una serie di simulazioni che dimostrano la validità dell'approccio

- Sviluppi futuri

  1. Stabilire dei criteri per la ripartizione dei posti della rete
  2. Stabilire dei criteri che permettano di vincolare l'insieme di GMEC al fine di non avere un problema illimitato
  3. Conoscere i legami che si creano quando l'applicazione degli algoritmi avviene conoscendo la rete di Petri

Contributi e sviluppi futuri

- Contributi della tesi

  1. Lo sviluppo di un software in Matlab che permette di eseguire gli algoritmi trattati, con alcuni miglioramenti
  2. Una modifica del campo di definizione delle variabili del problema di programmazione lineare
  3. La realizzazione di una funzione in grado di valutare la bontà della soluzione
  4. Una serie di simulazioni che dimostrano la validità dell'approccio

- Sviluppi futuri

  1. Stabilire dei criteri per la ripartizione dei posti della rete
  2. Stabilire dei criteri che permettano di vincolare l'insieme di GMEC al fine di non avere un problema illimitato
  3. Conoscere i legami che si creano quando l'applicazione degli algoritmi avviene conoscendo la rete di Petri

Contributi e sviluppi futuri

- Contributi della tesi

  1. Lo sviluppo di un software in Matlab che permette di eseguire gli algoritmi trattati, con alcuni miglioramenti
  2. Una modifica del campo di definizione delle variabili del problema di programmazione lineare
  3. La realizzazione di una funzione in grado di valutare la bontà della soluzione
  4. Una serie di simulazioni che dimostrano la validità dell'approccio

- Sviluppi futuri

  1. Stabilire dei criteri per la ripartizione dei posti della rete
  2. Stabilire dei criteri che permettano di vincolare l'insieme di GMEC al fine di non avere un problema illimitato
  3. Conoscere i legami che si creano quando l'applicazione degli algoritmi avviene conoscendo la rete di Petri

Grazie per l'attenzione