
УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 519.95

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ И ЕГО ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫМИ ЭКСПЕРИМЕНТАМИ

X.М. Магоммедли

На примере конкретного объекта рассматриваются вопросы разработки алгоритма функционирования гибкой производственной системы (ГПС) с использованием производственной модели. В результате анализа основных свойств сети Петри проведены компьютерные эксперименты.

Ключевые слова: гибкая производственная система, моделирование, логико-лингвистические модели, производственная система, сетевые модели.

Key words: flexible manufacture system, simulation, logical-and-linguistical models, production system, net models.

Как показано [2, с. 371–378], при сложных структурах ГПС непосредственное моделирование системы сетями Петри затруднительно, а в некоторых случаях становится даже невозможным. Отметим, что в настоящее время разработаны различные программные средства для анализа основных свойств сетей Петри и их расширения [1, с. 144]. Следовательно, целесообразно использование сетей Петри как основного моделирующего аппарата, при этом в качестве исходной информации для описания функционирования ГПС можно использовать знания, представленные в виде логико-лингвистических моделей (ЛЛМ), конечных автоматов, параллельно функционирующих асинхронных процессов и т.п. Все это позволит автоматизировать моделирование и исследование ГПС на этапе системотехнического проектирования.

В данной статье на примере производства насосно-компрессорных труб рассматривается автоматизированное моделирование и исследование мехотронных устройств гибкого производственного модуля (ГПМ). При этом для представления знаний о функционировании ГПМ используется производственная система.

По существующей технологии натяг муфты на насосно-компрессорные трубы выполняется следующим образом: муфта, внутри которой установлен сальник, берется рабочим, устанавливается на конец трубы и заворачивается специальным ключом до конца резьбы. До автоматизации процесса натяга муфты на производственном участке работало трое рабочих, которые выполняли монотонно повторяющиеся операции.

Схема автоматизации ГПМ представлена на рис. и функционирует следующим образом: трубы и муфты посредством соответствующих транспортных систем ТС1 и ТС2 последовательно поступают к позициям ПОУ1 и ПОУ2 соответственно; ПОУ1 и ПОУ2 перемещают трубы и муфты к позициям их рабочих зон; ПР2 берет сальник из накопителя, перемещает к позиции рабочей зоны муфты и устанавливает ее внутри муфты; по завершении данной операции ПР1 берет муфту из общей рабочей зоны, перемещает к позиции рабочей зоны трубы, устанавливает на конец трубы, заворачивает муфту до конца резьбы и возвращается к исходной позиции. Аналогичным образом ГПМ работает в циклическом режиме.

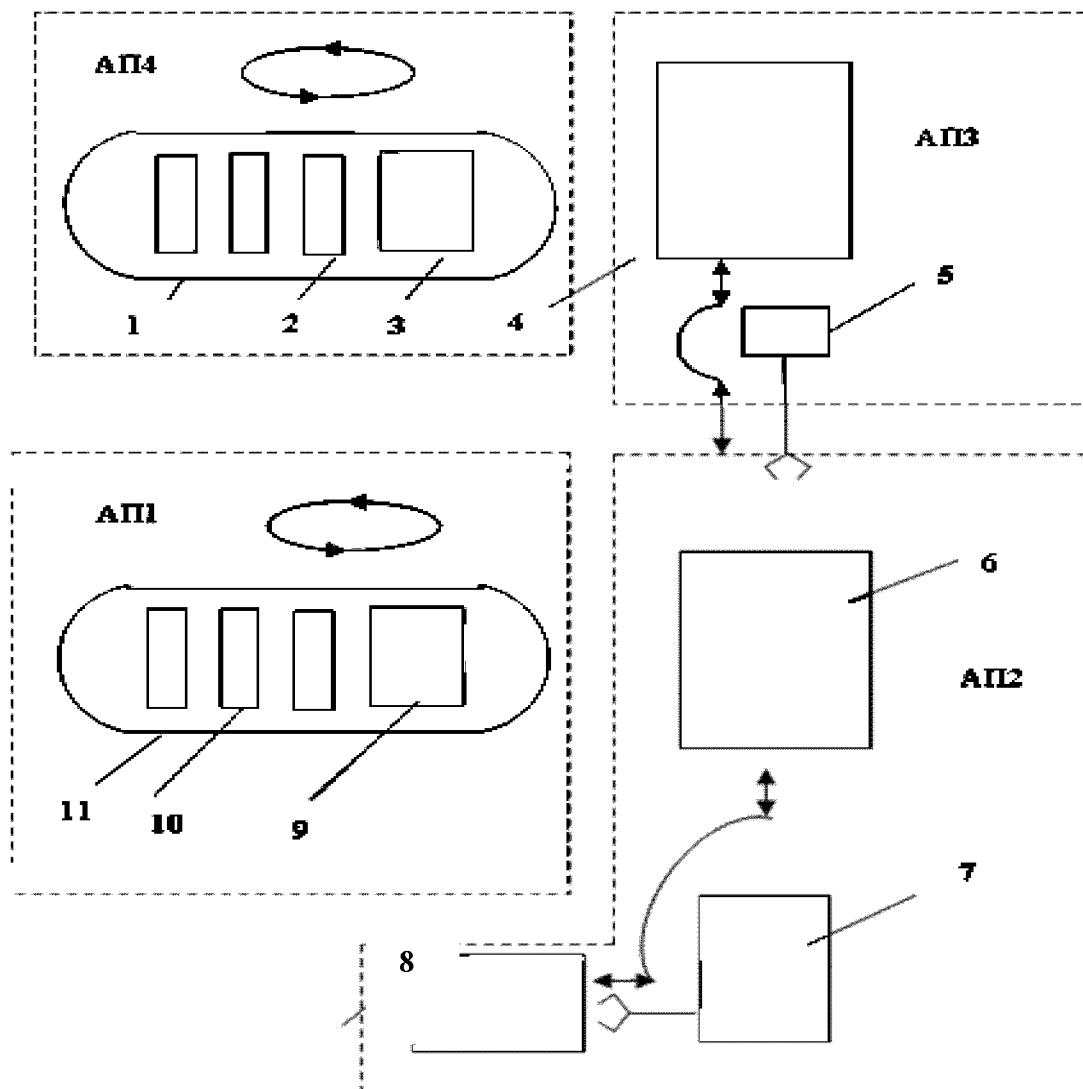


Рис. Схема автоматизации ГПМ: 1 – ТС1; 2 – труба;
 3 – подъемно-ориентирующее устройство (ПОУ1); 4 – рабочая зона трубы;
 5 – промышленный робот (ПР1); 6 – рабочая зона муфты; 7 – ПР2;
 8 – накопитель сальников; 9 – ПОУ2; 10 – муфты; 11 – ТС2

Условно ГПМ можно рассматривать в виде четырех параллельно функционирующих асинхронных процессов (АП), работающих во взаимодействии для достижения конечной цели – установка муфты на конец трубы и перемещение ее к следующей позиции. Следовательно, каждая АП имеет соответствующие мехатронные устройства и транспортные системы для достижения своей цели.

Для описания функционирования АП ГПМ с использованием продукционной модели определим позиции для установки сенсорных устройств и двигатели для формирования управляющих воздействий на мехатронные устройства (табл. 1, 2).

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Таблица 1

Позиции для установки сенсорных устройств в ГПМ

Асинхронные процессы	Сенсорные информаци	Назначение
АП1	X ₁₁ X ₁₂ X ₁₃ X ₁₄ X ₁₅	Наличие муфты на столе ПОУ2. ПОУ2 в исходном состоянии. ПОУ2 в конечном состоянии. Наличие муфты в исходной позиции ТС2. ТС2 включена
АП2	X ₂₁ X ₂₂ X ₂₃ X ₂₄ X ₂₅ X ₂₆ X ₂₇ X ₂₈ X ₂₉ X ₂₁₀ X ₂₁₁	Наличие сальника в накопителе. Рука ПР2 в исходном положении, рука вытянута, и захват отключен. Рука ПР2 вытянута, в исходном положении, и захват отключен. Рука ПР2 в исходном положении, рука вытянута, и захват включен. Рука ПР2 в исходном положении, рука вытянута, и захват включен. Рука ПР2 в конечном положении, рука вытянута, и захват включен. Наличие муфты в рабочей зоне. Наличие сальника в муфте. Рука ПР2 отсутствует в рабочей зоне. Рука ПР2 в конечном положении. Рука вытянута и захват включен
АП3	X ₃₁ X ₃₂ X ₃₃ X ₃₄ X ₃₅ X ₃₆ X ₃₇ X ₃₈ X ₃₉ X ₃₁₀ X ₃₁₁ X ₃₁₂	Рука ПР1 в исходном положении, рука вытянута, и захват отключен. Рука ПР1 в исходном положении, рука вытянута, и захват включен. Рука ПР1 в исходном положении, рука вытянута, и захват включен. Рука ПР1 в исходном положении, рука вытянута, и захват включен. Рука ПР1 в конечном положении, рука вытянута, и захват включен. Рука ПР1 в конечном положении, рука вытянута, и захват включен. Рука ПР1 в конечном положении, рука вытянута, и захват отключен. Рука ПР1 в конечном положении, рука вытянута, и захват включен. Наличие трубы в рабочей зоне. Рука ПР1 отсутствует в рабочей зоне трубы
АП4	X ₄₁ X ₄₂ X ₄₃ X ₄₁ X ₄₁	Наличие трубы на столе ПОУ1. ПОУ1 в исходном состоянии. ПОУ2 в конечном состоянии. Наличие трубы в исходной позиции ТС1. ТС1 включена

Глобальная база данных в ГПМ организуется сенсорной информацией, которая поступают от сенсоров, установленных на различных позициях асинхронных процессов ГПМ. Изменение состояния глобальной базы данных осуществляется в результате формирования управляющих воздействий на соответствующие двигатели различного назначения.

На основе опыта и интуиции экспертом формулируется множество продукции (база знаний) с учетом ситуаций, которые определяются множеством абстрактных пространств (сенсорное, ситуационное и т.п.). Следовательно, количество продукции априорных знаний ограничивается количеством сенсоров, установленных в различных позициях проблемной области.

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:
управление и высокие технологии № 2 (14) 2011

Таблица 2

Позиции для установки двигателей управляющих воздействий

Асин-хронные процессы	Двигатели управляющих воздействий	Назначение
АП1	U ₁₁	Включение ТС1.
	U ₁₂	Отключение ТС1.
	U ₁₃	Включение ПОУ2
АП2	U ₂₁	Включение руки ПР2.
	U ₂₂	Отключение руки ПР2.
	U ₂₃	Включение захвата ПР2.
	U ₂₄	Отключение захвата ПР2.
	U ₂₅	Включение поворотного устройства ПР2.
	U ₂₆	Отключение поворотного устройства ПР2
АП3	U ₃₁	Включение руки ПР1.
	U ₃₂	Отключение руки ПР1.
	U ₃₃	Включение захвата ПР1.
	U ₃₄	Отключение захвата ПР1.
	U ₃₅	Включение поворотного устройства ПР1.
	U ₃₆	Отключение поворотного устройства ПР1.
	U ₃₇	Включение поворотного устройства захвата ПР1.
	U ₃₈	Отключение поворотного устройства захвата ПР1
АП4	U ₄₁	Включение ТС1.
	U ₄₂	Отключение ТС1.
	U ₄₃	Включение ПОУ1.
	U ₄₄	Отключение ПОУ1

Знания, необходимые для принятия решений по управлению, представляют собой множество продуктов, в которой левая часть содержит факты о состояниях ГПМ, а правая – о целенаправленных действиях для достижения конечной цели.

С использованием логических связок типа И, ИЛИ, НЕ () и импликации «ЕСЛИ... ТО...» на примере рассмотрим создание базы знаний в виде продуктов. На естественном языке эта продукция представляется в виде:

ЕСЛИ муфта в рабочей зоне АП2,

И имеется сальник в муфте,

И рука ПР1 в исходном положении, рука втянута, захват отключен,

И рука ПР2 отсутствует в рабочей зоне АП2,

ТО выполняется условие для включения руки ПР1.

На языке внутреннего представления эта запись примет вид:

$$(P_{31}) \quad (X_{27} \& X_{28} \& X_{32} \& X_{29}) \Rightarrow U_{31};$$

где P_i – номер продукций.

Остальные продукции АП3 примет вид:

$$(P_{32}) \quad (X_{27} \& X_{28} \& X_{31} \& X_{29}) \Rightarrow U_{33}; \quad (P_{33}) \quad (X_{33} \& X_{27} \& X_{29}) \Rightarrow U_{32};$$

$$(P_{34}) \quad (X_{34} \& X_{311}) \Rightarrow U_{35}; \quad (P_{35}) \quad (X_{35} \& X_{311} \&) \Rightarrow U_{31};$$

$$(P_{36}) \quad (X_{36} \& X_{311}) \Rightarrow U_{37}; \quad (P_{37}) \quad (X_{38} \& X_{311}) \Rightarrow U_{38};$$

$$(P_{38}) \quad (X_{36} \& X_{311}) \Rightarrow U_{34}; \quad (P_{39}) \quad (X_{39} \& X_{311}) \Rightarrow U_{32};$$

$$(P_{310}) \quad (X_{37}) \Rightarrow U_{36}.$$

Аналогичным образом формируются продукции для других АП ГПМ.

Продукции АП2:

$$(P_{21}) \quad (X_{27} \& \neg X_{28} \& X_{21} \& X_{22}) \Rightarrow U_{21};$$

$$(P_{22}) \quad (X_{23} \& X_{21}) \Rightarrow U_{23}; \quad (P_{23}) \quad (X_{24} \& \neg X_{28}) \Rightarrow U_{22};$$

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

$$(P_{24}) \ (X_{25} \& \neg X_{28}) \Rightarrow U_{25}; (P_{25}) \ (X_{26} \& \neg X_{28} \& X_{27} \& X_{310}) \Rightarrow U_{21};$$

$$(P_{26}) \quad (X_{27} \& X_{28} \& X_{310}) \Rightarrow U_{22}; \quad (P_{27}) \quad (X_{210}) \Rightarrow U_{26}.$$

Продукции АП1:

(P₁₁) (X₁₁ & X₁₅) \Rightarrow U₁₂;

$$(P_{12}) \quad (X_{12} \& X_{11} \& \neg X_{15} \& \neg X_{27} \& X_{310} \& X_{29}) \Rightarrow U_{13};$$

$$(P_{13}) \quad (X_{13} \& \neg X_{15} \& \neg X_{11}) \Rightarrow U_{14}; \quad (P_{14}) \quad (X_{12} \& \neg X_{11} \& X_{14}) \Rightarrow U_{11};$$

$$(P_{15}) \quad (X_{12} \& \neg X_{11} \& \neg X_{14}) \Rightarrow U_{11}.$$

Продукции АП4:

$$(P_{41}) \quad (X_{41} \& X_{45}) \Rightarrow U_{42};$$

(P₄₂) (X₄₂ & X₄₁ & \neg X₄₅ & \neg X₃₁₁ & X₃₁₂) \Rightarrow U₄₃:

$$(P_{43}) \quad (X_{43} \& \neg X_{45} \& \neg X_{41}) \Rightarrow U_{44};$$

$$(\text{P}_{43}) \quad (\text{P}_{43} \Leftrightarrow \neg \text{X}_{43} \Leftrightarrow \neg \text{X}_{41}),$$

$$(\text{P}_{44}) \quad (\text{X}_{42} \wedge \neg \text{X}_{41} \wedge \neg \text{X}_{44}) \Rightarrow \text{U}_{41},$$

Как видно, асинхронные процессы ГПМ функционируют с общими рабочими зонами: рабочая зона трубы для ПР1 и ПОУ1; рабочая зона муфты для ПР1, ПР2 и ПОУ2.

Для исследования алгоритма функционирования ГПМ, представленного в виде производственной модели использованы предложенный подход и программа для его реализации, рассмотренные в [2].

Для анализа основных свойств сетей Петри (ограниченность, безопасность, достижимость, живость и сохраняемость) наиболее эффективными методами являются метод построения дерева достижимости и матричный подход представления сетей. Метод построения дерева достижимости заключается в проверке свойств сетей в результате построения и анализа множества достижимых состояний системы. При большом количестве состояний использование этого метода не дает желаемого эффекта и не обеспечивает анализ всех свойств сетей Петри. Матричный подход позволяет создать практические алгоритмы для анализа основных свойств сетей Петри в результате решения систем линейных уравнений и неравенств (методы поиска инвариантов).

В данном случае матричный подход был применен для компьютерного моделирования алгоритма функционирования ГПМ. Структура модели алгоритма на основе сети Петри представлена в таблице 3.

Как видно из структуры модели в виде сети Петри, ситуациям, в которых может находится ГПМ при функционировании, соответствуют 27 предикатов. Следовательно, указанным предикатам соответствует 21 активное действие – переходы.

Учитывая, что количество строк $n = 27$ и столбцов $m = 21$, программой формируется входная и выходная матрицы. Далее программой вычисляется матрица инцидентности ($D = D^+ - D^-$, где D^+ – выходная функция, D^- – входная функция) сети Петри в размерности $n \times m$ элементы, которой определяются в виде:

$$d_y = \begin{cases} 1, & \text{если } P_i \in D^+, \\ -1, & \text{если } P_i \in D^-, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Вычислением ранга матрицы инцидентности ($\text{rank } D=22$) определяются размеры множества фундаментальных решений для P – инвариантов ($\ell = 3$).

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:
управление и высокие технологии № 2 (14) 2011

свойств сети Петри. При положительных результатах основных свойств сети Петри выводится граф-схема соответствующей сети.

Таблица 3

Структура модели в виде СП

Переходы	Позиции (входы)	Позиции (выходы)
U ₁₁	(1,4), (1,5);	(1,5), (2,1);
U ₁₂	(1,1)	(1,2)
U ₁₃	(1,2)	(1,3)
U ₁₄	(1,3)	(1,4)
U ₂₁	(2,1), (2,5);	(2,2), (2,6);
U ₂₂	(2,3), (2,6);	(2,4), (2,7);
U ₂₃	(2,2)	(2,3)
U ₂₄	(2,7)	(3,1)
U ₂₅	(2,4)	(2,5)
U ₃₁	(3,1), (3,5);	(3,2), (3,6);
U ₃₂	(3,3), (3,9);	(3,4), (3,10);
U ₃₃	(3,2)	(3,3)
U ₃₄	(3,8)	(3,9)
U ₃₅	(3,4)	(3,5)
U ₃₆	(3,10)	(4,1)
U ₃₇	(3,6)	(3,7)
U ₃₈	(3,7)	(3,8)
U ₄₁	(4,4), (4,5);	(4,5), (1,1)
U ₄₂	(4,1)	(4,2)
U ₄₃	(4,2)	(4,3)
U ₄₄	(4,3)	(4,4)

В статье на примере конкретного объекта ГПМ производства насосно-компрессорных труб разработана глобальная база данных и база знаний продукционной системы, обеспечивающая функционирование ГПМ в реальном масштабе времени. В качестве основного моделирующего аппарата предложено использование сети Петри.

При исследовании алгоритма функционирования компьютерными экспериментами по рекомендациям моделирующего аппарата скорректирован разработанной алгоритм, сформулирован его окончательный вариант и приведена граф-схема сети Петри.

Показано, что предложенный подход может быть использован на этапе системотехнического проектирования динамических технических систем, в частности ГПС, также при оценке эффективности алгоритмического и программного обеспечения ГПС в действующих производствах.

Библиографический список

1. Ахмедов М. А. Автоматизация моделирования с применением сетей Петри / М. А. Ахмедов, В. А. Мустафаев. – Баку : Элм, 2007. – 144 с.
2. Кязимов Н. М. Архитектура инструмента автоматизированного проектирования гибких производственных систем / Н. М. Кязимов, Х. М. Магомедли // Информационные технологии моделирования и управления. – 2010. – № 3 (62). – С. 371–378.