

УДК 658.520

Н.А. СКАТКОВА

Севастопольский национальный технический университет, Украина

ГАРАНТОСПОСОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕКОНФИГУРАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Рассматривается задача повышения гарантоспособности сервисов в автоматизированных транспортно-производственных системах. В основе предлагаемых решений лежит адаптивный подход к конструированию вариантов организации структур таких систем. Предлагается концептуальная модель, позволяющая по мере поступления апостериорных данных и текущей функции потерь адаптивно изменять число каналов и дисциплины обслуживания. Приводятся результаты численных модельных экспериментов.

адаптация, транспортно-производственные системы, компьютерное моделирование

Введение

Гарантоспособность является неотъемлемой составляющей жизнедеятельности объектов критического применения. Её повышение в автоматизированных транспортно-производственных системах является актуальной и производственной задачей.

Технической основой гибких производственных систем (ГПС) являются промышленные роботы (ПР) и реализованные на их основе обрабатывающие центры (ОЦ), транспортные роботы (ТР), транспортные системы (ТС), автоматизированные складские системы (АСС). Промышленные роботы сегодня являются новым средством комплексной автоматизации современного многоменклатурного производства, на их базе возможно создание принципиально новых производственных процессов с недостижимыми ранее показателями производительности и качества выпускаемых изделий. Построение ГПС на базе ПР сопровождается появлением новых научно-технических задач, которые требуют разработки соответствующей методологии и инструментальных средств. Задачи анализа и синтеза становятся многовариантными, многофакторными, процессы носят существенно вероятностный характер, возрастает роль процессов принятия решений в неформализуемых ситуациях, уменьшаются априорная информированность, возрастает риск при принятии сис-

темотехнических решений.

Отмеченные обстоятельства требуют развития известных научных положений применительно к новым условиям. В первую очередь это относится к необходимости развития технологий системного моделирования, методов и средств проектирования интегрированных производственных комплексов, разработки принципиально новых методов теории управления сложными системами, анализа их качества.

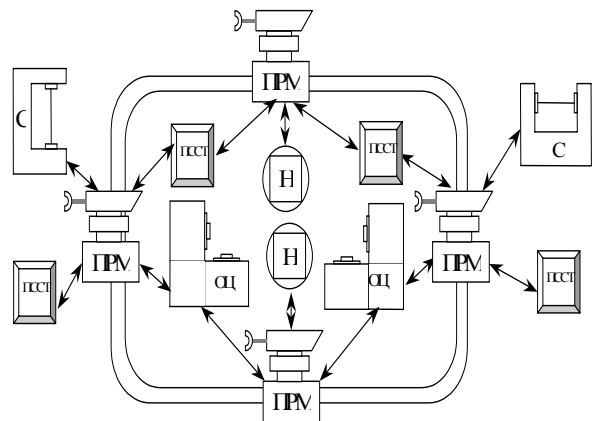


Рис. 1. Вариант компоновки производственного участка на базе кольцевой АТС с использованием ПРМ

Модель

В состав гибкого автоматизированного производства (ГАП) входят гибкие производственные модули (ГПМ), роботизированные производст-

венные комплексы (РТК), автоматизированные транспортно-складские системы (АТСС), и другие подсистемы, комплексы и модули. Основу АТСС наряду с автоматизированными складами, составляют автоматизированные транспортные средства (АТС). Функцией АТС являются реализация материальных потоков, в том числе организация межстаночных связей, перемещение предметов труда, товарной продукции, оснастки, отходов производства, инструмента.

На рис.1 приведены варианты компоновки и структуры ГПМ на базе кольцевой АТС с использованием перемещаемых роботов-манипуляторов (ПРМ); С – станок; ПССТ – предметный стол станка; Н – накопитель; НЗ – накопитель заготовок; ОЦ – обрабатывающий центр.

По отношению к обрабатывающему оборудованию АТС, является обеспечивающей подсистемой, качество функционирования которой во многом определяет эффективность производства в целом. Конструированию, способам реализации и организации АТС посвящено значительное число работ. Однако, вопросы комплексного системного рассмотрения рационального выбора и организации АТС применительно к ГПС разработаны недостаточно. В частности, имеется большая потребность в развитии методов анализа, моделирования таких

систем, их адаптивной настройке, организации функционирования. Этот большой комплекс взаимосвязанных задач обладает большой размерностью, требует использования моделей различных классов, а вопросы идентификации и оптимизации в них проработаны лишь фрагментарно. Следует ожидать, что существенный прогресс в решении обсуждаемых задач, может быть достигнут на пути систематического и целенаправленного применения к данной проблеме методов и подходов системного анализа, принципов системотехнического моделирования и принятия решения.

Одним из наиболее перспективных направлений исследования эффективности автоматизированных систем является теория адаптации, которая позволяет создать алгоритмы, способные эффективно функционировать при недостатке априорной информации. В частности, некоторые результаты теории адаптивных систем с дискретным управлением можно интерпретировать как задачи адаптивного выбора вариантов реализации структур и способов организации функционирования сложных систем.

Далее предлагается концептуальная модель выбора, организации функционирования и адаптивной настройки АТС в составе ГПС, структура которой изображена на рис. 2.

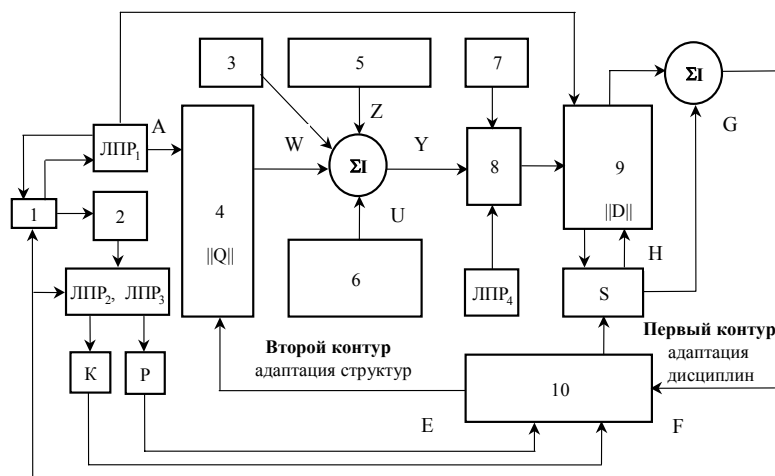


Рис. 2. Структура концептуальной модели решения задач оптимизации на основе адаптивных процедур

Сделаем некоторые пояснения. Блоки рассматриваются информационные источники. Их основное функциональное назначение следующие:

Блок 1 – техническое задание и особые технические условия заказчика; 2 – исходные требования к АТС; 3 – источники информационной неопределенности; 4 – блоки генерации вариантов структурно-функциональной схемы компоновки АТС; 5 – источники производственных и технологических помех и возмущений; 6 – блок информационного описания производственных условий и особенности функционирования технологического производства; 7 – подсистема параметрической оптимизации; 8 – модуль выбора параметров АТС; 9 – блок оценивания системных характеристик структурно-функциональной схемы компоновки; 10 – блок реализации процедур адаптации структур и дисциплин обслуживания; R – информационное описание исходных требований к АТС, учитывающих особенности её организации, конструктивные и технологические ограничения, временные нормативы, стоимостные характеристики и другие специальные требования и ограничения (в том числе системные, энергетические, экологические и др.); Q – информационное описание реализации функциональных задач АТС, (ленточные и круговые конвейеры, роботы-манипуляторы, транспортные роботы, их модификации и некоторые специальные транспортные и накопительные средства; D – матрицы, задающие характеристики выбранного способа технической реализации АТС; S – вектор, описывающий выбранную организацию функционирования АТС, в том числе алгоритмы ее функционирования, включающие дисциплины обслуживания и правила разрешения конфликтов; P – множество алгоритмов адаптации дисциплин обслуживания и правил разрешения конфликтов; K – множество алгоритмов адаптации способов технической реализации АТС, формирования транспортных цепочек и транспортных маршру-

тов; A – выходная информация, сформированная на множестве R ; U – информация, описывающая реальные производственные условия, в которых функционирует АТС; W – результирующая информация, описывающая выбранный способ реализации АТС; Z – информационные помехи, связанные с особыми производственными условиями и отсутствием априорной информации; Y – результирующая информация, полученная при взаимодействии информационных потоков W, U, Z ; G – комплексная (интегральная) оценка свойств АТС, связанных с выбранным вариантом ее технической реализации; F – результирующая информация, полученная при объединении информационных потоков G и H ; H – оценка качества (эффективности) реализованной дисциплины обслуживания и правила разрешения конфликтов; E – эффективность используемых процедур адаптации.

Построение элементов множества R является трудно формализуемой задачей. Основным информационным источником при его формировании является техническое задание, которое, как правило, имеет описательный характер с нечеткими формулировками. Для данных условий производства и требуемых ограничений множество Q имеет небольшую мощность. Свойства, описываемые множествами D и S , получены при использовании специальных математических моделей, которые требуют соответствующей разработки и оценки их адекватности. Это же относится к построению информационных критериев и оценок G, H, F . Алгоритмы и процедуры адаптивной настройки и коррекции ориентированы на использование информации, определяемой матрицей D и вектором S . На этой основе формируются критериальные показатели качества G, H, F , которые определяются в рамках альтернативных стратегий и выбора вариантов реализации транспортных систем.

Процедура адаптивного вибору варіантів со- стоит в наступному [1]. В кожен послідовальний момент часу t_n вибирається варіант x_n з ко- нечного множини можливих варіантів X . По- слідствием произведенного вибору являются поте- ри системы ξ_n , которые зависят не только от x_n , но и от ее состояний. Последовательность вариантов выбора x_n должна быть такой, чтобы минимизиро- вать предельные значения средних текущих потерь. Выбор очередного варианта x_{n+1} производится на основе последовательности оценок потерь ξ_1, \dots, ξ_n , для соответствующих вариантов x_1, \dots, x_n .

С описанием производственных систем связана значительная априорная неопределенность, которая существенно усложняет построение функций выбо- ра и приводит к необходимости использования ран- домизированных стратегий. Для их реализации можно использовать, например, стохастические ав- томаты с переменной структурой. На этой основе конструктивно задаются правила выбора следующе- го вида:

$$p_{n+1} = R_n(x_1, \dots, x_n; p_1, \dots, p_n, \xi_1, \dots, \xi_n; \omega), n = 1, 2, \dots,$$

где R_n – вектор-функция со значениями S^N , кото- рый является $(N - 1)$ -мерным единичным симплек- сом; p_n – вектор условных вероятностей выбора вариантов $x(1), \dots, x(N)$ в момент времени t_n . Выбо- ру очередного варианта x_{n+1} предшествует вычис- ление вектора p_{n+1} .

Известны эффективные алгоритмы [1–3] адап- тивного выбора вариантов (И. Шапиро, К. Нарендра, Р.Д. Льюс, В.И. Варшавский, И.П. Воронцова, С. Лакшмивахан, М. Тхатхачар, Р. Буш, Ф. Мостел- лер, А.В. Назин, А.С. Позняк), в которых использу- ются, как правило, бинарные потери, либо специ- альный оператор проектирования π_ε^N на ε -симп- лекс:

$$\pi_\varepsilon^N \Delta \{p | p \in S^N, p(i) \geq \varepsilon (i = \overline{1, N})\}, \varepsilon \in [0, 1/N];$$

$$S^N = \{p \in R^N | p(i) \geq 0 \quad (i = \overline{1, N}), \sum_{i=1}^N p(i) = 1\}.$$

С целью дальнейшего развития такого подхода предлагается алгоритм самообучения на основе ве- роятностного автомата [4]

$$p_{n+1} = BA_{\varepsilon_{n+1}}^N \{p_n, \gamma_n, \xi_n, \Delta, \text{sign}(\Delta p_n)\}$$

и двухконтурный адаптивный алгоритм на основе имитационной модели

$$p_{n+1} = \pi_{\varepsilon_{n+1}}^N [p_n - \gamma_n | \xi_n (ИМ) - \Delta | \text{sign}(\Delta p_n)]; \gamma_n \geq 0.$$

Второй контур адаптации предназначен для па- раметрической настройки чувствительности алго- ритма адаптации.

Рассмотрим применение предлагаемых алгорит- мов для оптимизации функционирования фрагмента транспортной системы (рис. 3), имеющей альтерна- тивные маршруты. Целевая функция транспортной системы заключающейся в транспортировке изде- лий из точки a_i , принадлежащей структурно- функциональной схеме, в точку h_j той же схемы. Заданы интенсивности перевозок λ_{ij} и пре- дельные времена перевозок t_{ij} как элементы соответствующих матриц.

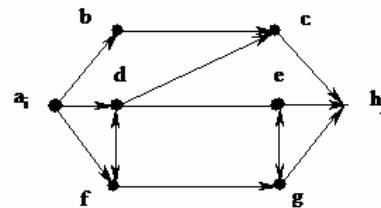


Рис. 3. Фрагмент функциональной схемы транспортной системы

Функциональная задача может быть реализована с использованием одной из нескольких альтерна- тивных транспортных цепочек. Транспортные це- почки (ТЦ) задаются списком:

$$\begin{aligned} \text{ТЦ } (a_i h_j) ::= & \langle a_i b c h_j \rangle \langle a_i d c h_j \rangle \langle a_i d e h_j \rangle \langle \\ & \langle a_i f g h_j \rangle \langle a_i d f g h_j \rangle \langle a_i d f g e h_j \rangle \langle a_i d e g h_j \rangle. \end{aligned}$$

Каждая транспортная цепочка состоит из ряда

транспортных маршрутов (ТМ), например, ТЦ $(a_i b c h_j) ::= \langle a_i b \rangle \langle bc \rangle \langle c h_j \rangle$. Некоторые ТМ входят в различные ТЦ, например ТМ (fg) входит в ТЦ $(a_i f g h_j)$, ТЦ $(a_i d f g h_j)$, ТЦ $(a_i d f g e h_j)$. Каждый ТМ обслуживается некоторым транспортным роботом. Так, $ТР_1$ обслуживает ТМ $(a_i b)$, $(a_i d)$, $(a_i f)$; $ТР_2$ обслуживает ТМ (bc) , (de) ; $ТР_3$ обслуживает ТМ (df) , (de) , (fg) , (fd) , (eg) , (ge) ; $ТР_4$ обслуживает ТМ (ch_j) , (eh_j) , (gh_j) . Каждому ТР может быть назначен приоритет (абсолютный или относительный) по обслуживанию того или иного ТМ. В первом контуре адаптации генерируются варианты, связанные с формированием возможных ТЦ, ТМ и назначением ТР на ТМ. Во втором контуре адаптации генерируются варианты, определяющие приоритеты и порядок разрешения траекторных конфликтов при их возникновении (а также иных конфликтов).

Данный алгоритм предназначен для решения задачи адаптивного выбора варианта среди N дисциплин в случае с бинарными потерями $\xi_n \in \{0, 1\}$, ξ_n – величина, определяющая потери в работе системы на конкретном временном интервале. В матричном виде алгоритм выглядит как

$$p_{n+1} = p_n + \gamma \cdot p_n^T \cdot e(x_n) \cdot (e(x_n) - p_n) \cdot (1 - 2 \cdot \xi_n),$$

а в координатной форме

$$p_{n+1,i} = \begin{cases} p_{n,i} + \gamma \cdot p_{n,m} \cdot (-p_{n,i}) \cdot (1 - 2 \cdot \xi_n), & i \neq m \\ p_{n,i} + \gamma \cdot p_{n,m} \cdot (1 - p_{n,i}) \cdot (1 - 2 \cdot \xi_n), & i = m \end{cases}$$

где $p_n[N]$ – текущий вектор вероятностей выбора стратегий; $p_{n+1}[N]$ – пересчитанный вектор вероятностей выбора стратегий; x_n – вариант стратегии, реализуемый на текущий момент времени; $e(x_n)$ – вектор, определяющий вершину симплекса, которой соответствует x_n ; γ – длина шага алгоритма, $\gamma \in (0; 1)$; m – номер реализуемой стратегии на текущий момент времени.

Таким образом, алгоритм адаптивного выбора варианта реализуемой дисциплины сводится к расчету вектора вероятностей p_{n+1} , а затем к получению случайного исхода ω по определяемому вектором p_{n+1} варианту. Исход ω определяется номером дисциплины, которая будет реализовываться на следующем временном интервале.

Для параметризации адаптивного алгоритма управления необходимо задать способ определения величины ξ_n . С этой целью можно использовать, например, величину среднего коэффициента простоя узлов механообработки (УМ).

Было выполнено компьютерное моделирование работы транспортно-производственной системы, оптимизация которой осуществлялась на основе предложенных алгоритмов адаптивного выбора. В табл. 1 приведены результаты моделирования такой системы.

Таблица 1

Результаты моделирования работы транспортно-производственной системы

Дисциплина управления	$T_{ок}$	$K_{пр}$	$K_{тр}$	Относительные оценки эффективности		
				T	K_1	K_2
Cons-дисциплина	7110	35,68	31,14	1,09	1,19	1,25
Min-дисциплина	7382	38,05	33,67	1,13	1,27	1,35
Max-дисциплина	7716	40,73	36,54	1,18	1,36	1,47
Адаптивный алгоритм	6519	29,85	24,89	1	1	1

В табл. 1 указаны время $T_{ок}$ окончания обработки объектов, средний коэффициент $K_{пр}$ простоя и относительные оценки эффективности: по времени

окончания обработки объектов – T , по среднему коэффициенту простоя УМ – K_1 , по коэффициенту простоя транспорта – K_2 для случаев полученных при реализации адаптивного алгоритма.

Анализ полученных результатов показывает, что адаптивный алгоритм управления дает лучшие результаты, чем использование каждой из дисциплин в отдельности. Среди отдельно реализуемых дисциплин наилучший результат показала Cons-дисциплина. В целом удалось за счет использования адаптации средний коэффициент простоя УМ уменьшить на 5,8%, коэффициент простоя ПРМ уменьшить на 6,25%, а длительность процесса обработки сократить в 1,09 раз.

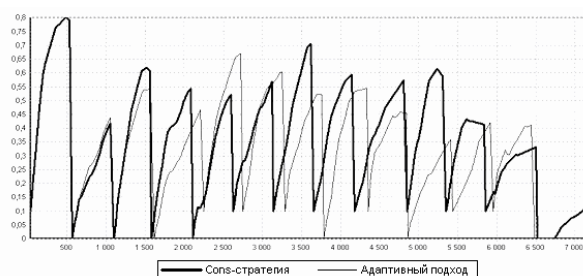


Рис. 4. График зависимости среднего коэффициента простоя УМ

На графике (рис. 4) можно наблюдать зависимость среднего коэффициента простоя УМ от времени на протяжении всего процесса обработки. Средний коэффициент простоя в случае реализации Cons-дисциплины превосходил значение этого же коэффициента в случае адаптивного алгоритма практически на протяжении всего процесса обработки. Пиковые значения можно объяснить тем, что переопределение реализуемой дисциплины производится в дискретные моменты времени и имеет место запаздывание.

Заключение

Развитие адаптивного подхода к выбору вариантов функционирования производственных систем и транспортных потоков в них выполнен на основе структурного усложнения систем управления. Однако, такое усложнение оказывается оправданным, т.к. не ведет к существенным вычислительным

трудностям и может быть реализовано в режиме реального времени. Следует подчеркнуть, что использование предлагаемого подхода требует в каждом конкретном случае тщательного анализа принятой на предприятии производственно-транспортной системы, алгоритмизации ее функционирования и выбора соответствующих функции приоритетов.

Метод оптимизации работы данной производственной системы при помощи адаптивного алгоритма, при своей не сильно увеличившейся сложности по сравнению с оптимизацией при помощи отдельных дисциплин, дает значительно лучшие результаты, как на отдельных участках обработки объектов, так и в целом на протяжении всего процесса обработки. Также данный алгоритм обладает достаточной простотой, а значит, он не требует большого быстродействия, и, следовательно, при реализации в реальном времени не будет требовать высокого быстродействия от системы управления.

Литература

1. Назин А.В., Поздняк А.С. Адаптивный выбор вариантов. Рекуррентные алгоритмы. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
2. Скурихин В.И., Забродский В.А., Копейченко Ю.В. Адаптивные системы управления машиностроительным производством. – М.: Машиностроение, 1989. – 208 с.
3. Назин А.В. Адаптация и обучение в системах управления и принятия решений. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 40-46.
4. Скаткова Н.А. Адаптивная информационная модель информационных процессов организации транспортных потоков. // Вестник СевГТУ «Информатика, электроника, связь». – Севастополь: СевГТУ. – 2001. – Вып. 31. – С. 47-52.

Поступила в редакцию 05.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Я. Копп, Севастопольский национальный технический университет, Севастополь.