

УДК 658.520

Н.А. Скаткова

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

kvt@sevgtu.sebastopol.ua

АДАПТИВНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУР ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Предложена концептуальная модель решения задач оптимизации структур автоматизированных транспортных систем на основе адаптивных процедур выбора вариантов.

Технической основой 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, таким образом, являются новым средством комплексной автоматизации современного многономенклатурного 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 значительными экономическими и социальными последствиями, прогнозирование которых затруднено. Расчетные задачи анализа и синтеза становятся многовариантными, многофакторными, процессы носят существенно вероятностный характер, возрастает роль процессов принятия решений в неформализуемых ситуациях, уменьшатся априорная информированность, возрастает риск при принятии системотехнических решений.

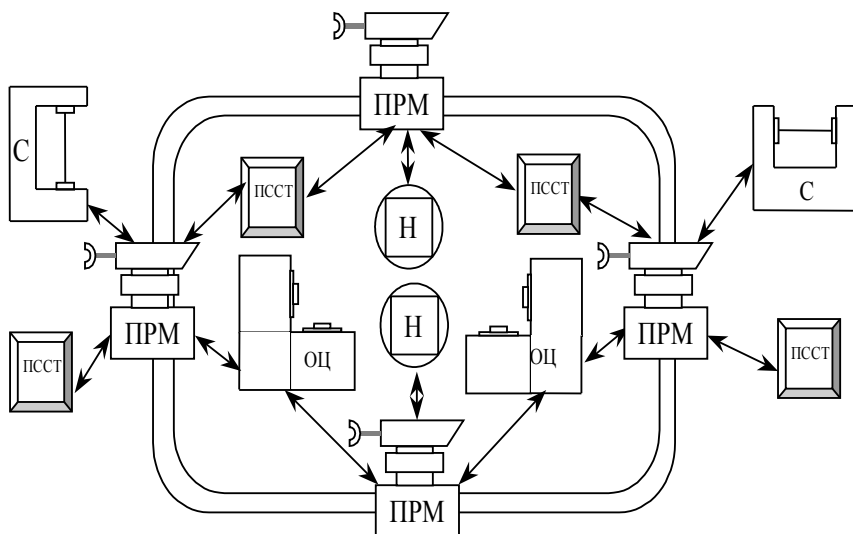


Рисунок 1 - Вариант компоновки производственного участка на базе кольцевой ТС с использованием ПРМ

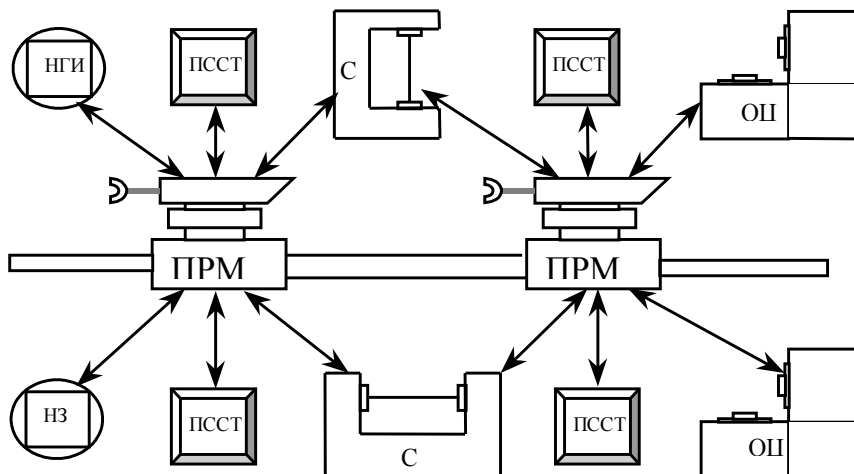


Рисунок 2 - Вариант компоновки производственного участка на базе линейной ТС с использованием ПРМ

Разрешение этой проблемы в общем виде 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 производствен-

ных комплексов, разработки принципиально новых методов теории управления сложными системами, анализа их качества [1].

В состав ГАП входят гибкие производственные модули (ГПМ), роботизированные производственные 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 АС являются реализация материальных потоков, в том числе организация меж-станочных связей, транспортирование предметов труда, товарной продукции, оснастки, отходов производства, инструмента.

На рисунках 1, 2 показаны варианты компоновки и структуры ГПМ на базе кольцевой и линейной ТС с использованием перемещаемых роботоманипуляторов (ПРМ).

ОЦ – обрабатывающий центр; С – станок; ПССТ – предметный стол станка; Н – накопитель; НЗ – накопитель заготовок; НГИ – накопитель готовых изделий.

По отношению к АС АТСС является обеспечивающей подсистемой, качество функционирования которой во многом определяет эффективность АС в целом. Конструированию, способам реализации и организации ТС посвящено значительное число работ. Однако вопросы комплексного системного рассмотрения рационального выбора и организации АТСС применительно к АС и ГПС разработаны недостаточно. В частности, имеется большая потребность в разработке 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 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 идей системного анализа, принципов системотехнического моделирования и принятия решения.

Анализ последних достижений в указанной области показывает, что 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 АТС.

С этой целью далее предлагается концептуальная модель выбора, организации функционирования и адаптивной настройки АТС в составе АП.

роботы, их модификации и некоторые специальные транспортные и накопительные средства;

D – матрица, задающая 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 маршрутов.

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;

C – результаты коррекций.

Построение элементов множества R является трудноформализуемой задачей. Основным источником его формирования является техническое задание на разработку АТС, которое, как правило, имеет описательный характер с нечеткими формулировками. Для данных условий производства и имеющихся ограничений множество Q имеет небольшую мощность. Свойства, описываемые множествами D и S , предполагают наличие специальных математических моделей, многие из которых требуют соответствующей разработки и оценки адекватности. Это же относится к построению информационных критериев и оценок G , H , F . Алгоритмы и процедуры адаптивной настройки и коррекции, ориентированные для использования по информации, определяемой матрицей D и вектором S , и формирование на этой основе критериальных показателей качества G , H , F

можно сформировать в рамках построения стратегии и выбора вариантов реализации транспортных систем.

Это требует необходимости в каждом из последовательных моментов времени t_n выбирать вариант x_n из конечного множества возможных вариантов X . Последствием произведенного выбора являются потери системы ξ_n , представляющие собой случайную величину, имеющую функцию элементарного исхода ω . Не исключено, что потери зависят не только от x_n , но и от состояния системы. Последовательность вариантов выбора x_n должна быть такой, чтобы минимизировать предельные значения средних текущих потерь. Выбор очередного варианта x_{n+1} должен производиться на основе последовательности потерь $\xi_1, \dots, \xi_n$, соответствующих вариантам $x_1, \dots, x_n$. Функция T_n - правило выбора варианта, если

$$x_{n+1} = T_n(x_1, \dots, x_n; \xi_1, \dots, \xi_n; \omega), \quad n = 1, 2, \dots$$

В условиях полной информации оптимальная стратегия выбора варианта всегда принадлежит классу детерминированных стратегий, и, более того, является программной. В этом случае $x_{n+1} = T_n(\omega)$. Наличие априорной неопределенности существенно усложняет построение функции выбора и приводит к необходимости использования рандомизированных стратегий, которым соответствуют стохастические автоматы с переменной структурой, реализующих рандомизированные правила выбора следующего вида

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

где R_n - вектор-функция со значениями в симплексе S^N ; p_n - вектор условных вероятностей выбора вариантов $x(1), \dots, x(N)$ в момент времени t_n . Выбору очередного варианта x_{n+1} предшествует вычисление вектора p_{n+1} . Вариант x_{n+1} представляет собой дискретную случайную величину, принимающую значения $x(1), \dots, x(N)$ с условными вероятностями $p_{n+1}(1), \dots, p_{n+1}(N)$ при фиксированной предыстории $(x_1, \dots, x_n; \xi_1, \dots, \xi_n)$. Целесообразно среди рандомизированных правил выбора использовать марковские правила и соответствующие им рекуррентные алгоритмы адаптивного выбора вариантов: $p_{n+1} = Q_n(x_n, p_n, \xi_n)$.

В таблице 1 приведены наиболее эффективные алгоритмы [1- 4] адаптивного выбора вариантов, в которых, как правило, используются бинарные потери, либо специальный оператор проектирования π_ε^N на ε -симплекс:

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

$$S^N = \{p \in R^N | p(i) \geq 0 \quad (i = \overline{1, N}), \sum_{i=1}^N p(i) = 1\} - (N-1) - \text{мерный единичный симплекс};$$

ный симплекс;

$S_{\varepsilon}^N = \{p | p \in S^N, p(i) \geq \varepsilon \quad (i = \overline{1, N})\} - (N-1) - \text{мерный единичный } \varepsilon - \text{симплекс}; R^k - k - \text{мерное евклидово пространство.}$

Таблица 1 – Основные алгоритмы адаптивного выбора вариантов

Алгоритм	Авторы
$p_{n+1} = p_n + \gamma_n(1 - \xi_n)[e(x_n) - p_n],$ $\xi_n \in \{0, 1\}, \gamma_n \in (0, 1).$	И Шапиро, $\gamma_n = const$ К. Нарендра
$p_{n+1} = p_n + \gamma p_n^T e(x_n)(e(x_n) - p_n) \left[\frac{(1 - \xi_n)}{a + (1 - a)p_n^T e(x_n)} - \frac{\xi_n}{1 - (1 - a)p_n^T e(x_n)} \right],$ $\xi_n \in \{0, 1\}, \gamma \in (0, 1), a \in (0, 1].$	Р.Д. Льюс
$p_{n+1} = p_n + \gamma p_n^T e(x_n)(e(x_n) - p_n)(1 - 2\xi_n), \xi_n \in \{0, 1\}, \gamma \in (0, 1)$	В.И. Варшавский, И.П. Воронцова
$p_{n+1} = p_n + \gamma e(x_n) - p_n [\lambda(p_n)(1 - \xi_n) - \mu(p_n)\xi_n], \xi_n \in \{0, 1\}, \gamma$ $\lambda(p) \triangleq c_\lambda \prod_{i=1}^N [p(i)]^{\lambda_i}, c_\lambda \in [0, 1], \mu(p) \triangleq c_\mu \prod_{i=1}^N [p(i)]^{\mu_i}, c_\mu \in [0, 1],$ $\lambda_i, \mu_i \geq 0, i = \overline{1, N}$	С. Лакшми-варахан, М. Тхатха-чар
$p_{n+1} = p_n + \gamma_n \left(e(x_n) - p_n + \frac{e^N - Ne(x_n)}{N-1} \xi_n \right), \xi_n \in \{0, 1\}, \gamma_n \in (0, 1)$	Р. Буш, (при $\gamma_n = \gamma$) Ф. Мостеллер
$\tilde{p}_{n+1} = \pi_{\varepsilon_{n+1}}^N \left\{ \tilde{p}_n - \gamma_n \xi_n q_n \right\}, p_{n+1} = \tilde{p}_n + \frac{\varepsilon_n}{2} (I - N^{-1} E) q_n,$ $\gamma_n \geq 0, \varepsilon_n \in (0, N^{-1}), q_n \triangleq (q_{1n}, \dots, q_{Nn}), q_{in} \in [-1, 1],$	А.В. Назин, А.С. Позняк
$p_{n+1} = \pi_{\varepsilon_{n+1}}^N \left\{ p_n - \gamma_n \frac{\xi_n - \Delta}{e^T(x_n) p_n} e(x_n) \right\}, \gamma_n \geq 0, \varepsilon_n \in (0, N^{-1}).$	А.С. Позняк $\Delta = 0,$ А.В. Назин

Продолжение таблицы 1

$p_{n+1} = \pi_{\varepsilon'_{n+1}}^{N_1} \left\{ p_n - \gamma'_n \frac{\xi_n - \Delta}{p_n^\top e^{N_1}(x_n^1)} e^{N_1}(x_n^1) \right\},$ $\gamma'_n, \gamma''_n \geq 0, \varepsilon'_n \in (0, N_1^{-1}), \varepsilon''_n \in (0, N_2^{-1}),$ $p_{n+1}^i = \pi_{\varepsilon''_{n+1}}^{N_2} \left\{ p_n^i - \gamma''_n \frac{\xi_n - \Delta_i}{p_n^{\top} e^{N_2}(x_n^2)} \chi(x_n^1 = x^1(i)) e^{N_2}(x_n^2) \right\}.$	А.В. Назин (при $\Delta = 0$),
$p_{n+1} = \pi_{\varepsilon'_{n+1}}^{N_1} \left\{ p_n - \gamma'_n \frac{\xi_n - \Delta}{p_n^\top e^{N_1}(x_n^1)} e^{N_1}(x_n^1) \right\},$ $\gamma'_n, \gamma''_n \geq 0, \varepsilon'_n \in (0, N_1^{-1}), \varepsilon''_n \in (0, N_2^{-1}),$ $p_{n+1}^i = \pi_{\varepsilon''_{n+1}}^{N_2} \left\{ p_n^i - \gamma''_n \frac{(\xi_n - \Delta_i) \chi(x_n^1 = x^1(i))}{[p_n^\top e^{N_1}(x_n^1)][p_n^{\top} e^{N_2}(x_n^2)]} e^{N_2}(x_n^2) \right\}.$	А.В. Назин, А.С. Позняк (при $\Delta = \Delta_i = 0$),
$p_{n+1} = \pi_{\varepsilon_{n+1}}^N [p_n - \gamma_n \xi_n - \Delta \text{sign}(\Delta p_n)]; \gamma_n \geq 0; \varepsilon_n \in (0; N^{-1}); \Delta > 0.$	Н.А. Скат- кова (Δ - опреде- ляется по имитацион- ной модели)

Для пояснения задачи рассмотрим фрагмент транспортной системы (рисунок 4), описывающий возможные реализации одной из ее функциональных задач, заключающейся в транспортировке изделий из точки a_i , принадлежащей структурно-функциональной схеме АП, в точку h_j той же схемы. Заданы интенсивности транспортировок λ_{ij} и предельные времена

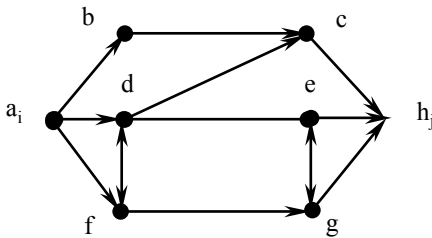


Рисунок 4 – Фрагмент функциональной схемы транспортной системы

транспортировок t_{ij} как элементы соответствующих матриц Λ и T .

Функциональная задача может быть реализована с использованием одной из нескольких альтернативных транспортных цепочек. Транспортные цепочки (ТЦ) можно задать с помощью списка: ТЦ

$$(a_i h_j) ::= \langle a_i b c h_j \rangle \vee \langle a_i d c h_j \rangle \vee \langle a_i d e h_j \rangle \vee \langle a_i f g h_j \rangle \vee \langle a_i d f g h_j \rangle \vee \langle a_i d f g e h_j \rangle \vee \langle a_i d e g h_j \rangle.$$

Каждая транспортная цепочка состоит из ряда транспортных маршрутов, 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 (ТР). Так, ТР₁ обслуживает ТМ $(a_i b), (a_i d), (a_i f)$; ТР₂ обслуживает ТМ $(bc), (de)$; ТР₃ обслуживает ТМ $(df), (de), (fg), (fd), (eg), (ge)$; ТР₄ обслуживает ТМ $(ch_j), (eh_j), (gh_j)$. 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).

В заключение отметим, что применение идей адаптивного подхода позволило, во-первых, предложить структуру концептуальной модели решения задачи оптимизации структур транспортных систем автоматизированных производств достаточно общего вида; во-вторых, указать перспективные направления дальнейших исследований в данной области на основе численных процедур, использующих рандомизированные правила выбора.

Библиографический список

1. Габасов Р. Синтез оптимальных замкнутых систем / Р. Габасов // Кибернетика и системный анализ. — 2002. — № 3. — С. 100–119.
2. Сухов Л.Н. Прикладные возможности метода адаптивного прогнозирования при проектировании автоматических линий механической обработки / Л.Н. Сухов, М.В. Фрицкий // Автоматизация и современные технологии. — 1999. — № 10. — С. 10–12.
3. Назин А.В. Адаптивный выбор вариантов. Рекуррентные алгоритмы / А.В. Назин, А.С. Поздняк. — М.: Наука, 1986. — 288 с.
4. Скаткова Н.А. Адаптивная информационная модель информационных процессов организации транспортных потоков / Н.А. Скаткова // Вестн. СевГТУ: Сб. науч. тр. Сер. Информатика, электроника, связь. — Севастополь, 2001. — Вып. 31. — С. 47–52.

Поступила в редакцию 18.12.2002 г.