

ПОДХОД К РАСПРЕДЕЛЕННОМУ УПРАВЛЕНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Введение

Современные гибкие компьютеризированные производственные системы диктуют требования к автоматизированным распределенным транспортным системам (АРТС), которые служат связующим звеном для позиций как обрабатываемых так и обрабатывающих ресурсов.

В такого рода системы могут входить порталные штабелеры (для обслуживания автоматизированных складов) и отдельные автономные транспортные средства (для обслуживания обрабатывающих ресурсов) - робокаров (РК) с бортовыми контролерами и формированием в реальном времени управлением.

К функциям управления относятся: маршрутизация и деление пути, диспетчеризация РК и общее упорядочение транспортных потоков в условиях неопределенности окружающей среды и возникающими в системе глобальными или локальными нештатными ситуациями (перегрузка, отказ и т.п.) или неполноты динамики относительно реального внешнего окружения. В первом случае определяющей проблемой является деление ресурсов и планирования заданий и обслуживание их транспортными средствами, а во втором - обеспечение транспортных средств возможностью переадресации и каналами сенсорной чувствительности. При наличии начальных условий, законов, которые лежат в основе тех или других деструктивных явлений, эти знания могут быть определены в виде соответствующей математической зависимости, на основании которой можно прогнозировать поведение отдельных составляющих и системы в целом.

Постановка задачи

Рассмотрим класс АРТС петлеобразной структуры, в которой: маршруты движения позволяют только однонаправленное движение групп РК; каждый из пунктов пересечения перекрестка управляется ТС; время пересечения перекрестка назначается (не учитывая время ожидания на позволяющий сигнал “Движение”); маршрут считается пройденным при прохождении всех перекрестков на пути маршрута.

Определим следующие маршрутные особенности: заявки на РК появляются периодически, с постоянными промежутками времени между ними; каждое транспортное задание должно завершаться к следующей заявке того же задания; автономный транспортный модуль является независимым от исходной или последней заявок на другие транспортные средства; операционное время для заявок данного РК является постоянным и согласовывается с временем выполнением заявки без прерывов.

Для описания проблемы выберем типовую компоновочную структуру (рис. 1). Для реализации в ней петлеобразной АРТС и решения задач воспользуемся объектно-ориентированной средой моделирования материальных потоков ГПС [2,3,4].

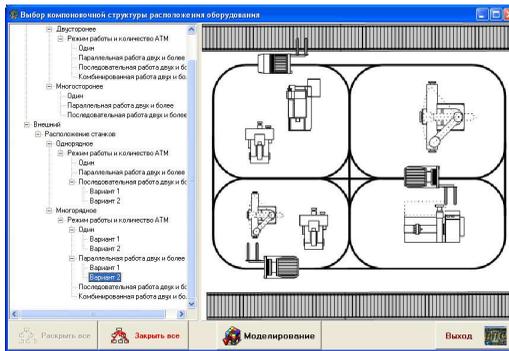


Рис. 1 – Представление классификации компоновочных структур в виде дерева классов

Рассмотрим АРТС, приведенную на рис. 2. После определения всех возможных маршрутных направлений каждый транспортный семафор (ТС) управляет потоком транспортных средств, используя два сигнала: “Движение” и “Стоп”. Учитывая ограничение относительно однонаправленности движения, можно предложить два типа ТС: первый управляет двумя потоками РК - слева направо (\rightarrow) и снизу направо (\nearrow); второй координирует четыре потока РК – справа налево (\leftarrow), снизу вверх (\uparrow), снизу налево (\nwarrow) и справа вверх (\nearrow).

Допускается, что время переключения ТС является присущим для всех направлений. Общее время ожидания разрешения пересечения РК перекрестка, определяет время цикла отдельного ТС. Следовательно, моделирование АРТС происходит с учетом событий, которые классифицируются как управляемые. К тому же, управление может ограничивать режим функционирования системы, но не может внедрять новые режимы из-за того, что в системе временные события не могут ускоряться, т.е. события могут выполняться строго в определенное время или запаздывать. Такие особенности задачи управления могут быть использованы для предотвращения транспортных пульсаций и получения достаточного процессного времени для выполнения операций с одновременной синхронизацией событий. Речь идет об управлении с помощью ТС транспортными потоками таким образом, чтобы гарантировать завершенность ими каждого маршрутного направления в пределах временного расписания, свободных от недозагрузок и столкновений РК. Переключение на перекрестке имеет наивысший приоритет управления движением РК по маршрутам. Для решения данной задачи был выбран аппарат процессных алгебр (ПА). Но для соблюдения условия постоянства времени

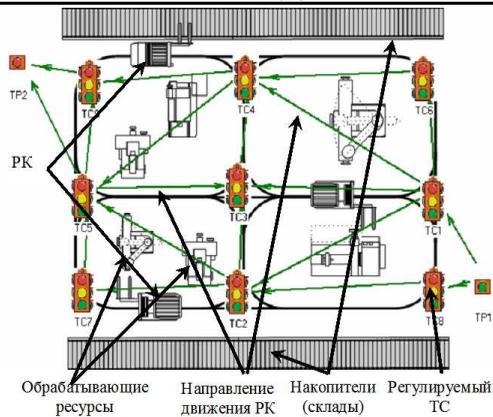


Рис. 2 – Конфигурация петлеобразной АРТС с определением транспортных маршрутов

цикла при вышеописанных условиях функционирования АРТС возникает необходимость модификации классического формализма, т.е. будем использовать модифицированные процессные алгебры (МПА) с целью обеспечения математическими средствами точного прогнозирования и управления событиями в АРТС. Для этого необходимо определить:

- параметры корректности построение маршрута АРТС;
- минимальное время движения между двумя пунктами, заданными по маршруту следования РК в АРТС;
- время движения РК вдоль заданного маршрута АРТС;
- кратчайший из всех возможных маршрутов, соединяющий два заданных пункта в петлеобразной структуре маршрутов АРТС.

Математическая модель АРТС

Воспользуемся основными понятиями и определениями, которые позволяют использовать аппарат МПА, описанный в [1,2] для системных матричных преобразований.

Перед определением формализмов, необходимых для моделирования введем некоторые обозначения:

n – количество пересечений (перекрестков) в структуре петлеобразной АРТС, причем исходную позицию обозначим индексом 0, а пункт назначения через $n + 1$ (на рис. 3. $n = 4$);

$t_{i,j}$ – среднее время движения РК между двумя непосредственно связанными i -м и j -м пунктами в АРТС. Вычисляем как результат деления длины и средней скорости движения ($i, j = 0, \dots, n + 1$);

T_i – время, необходимое ТС для изменения своего состояния на i – м перекрестке ($i = 0, \dots, n$);

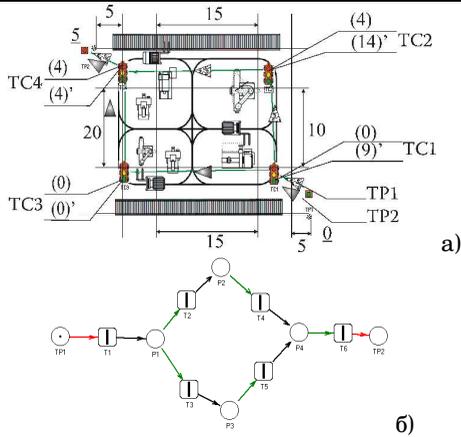


Рис. 3 – Петлеобразная АРТС с четырьмя перекрестками (ТС1-ТС4) и двумя возможными маршрутами (ТР1, ТР2) движения РК: а) графическое представление; б) сеть Петри

r_{ij} – длительность сигнала “Стоп” на i -м перекрестке системы ($i = 0, \dots, n; j = 0, \dots, n + 1$);

p_{ij} – фаза ТС на i -м перекрестке с учетом относительного временного момента $t_0 = 0$, отсчитанного от времени начала срабатывания сигнала “Стоп”, относительно j -го пункта АРТС ($i = 0, \dots, n; j = 0, \dots, n + 1$);

x_0 – время начала движения, относительно $t_0 = 0$.

Моделирование АРТС

Используя формулы и определения, описанные в [1,2], строим сеть Петри и определяем основные сетевые характеристики АРТС (рис. 3,б). Опшем данную сеть Петри:

1. Начальная разметка:

$$\mu_0 = (1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0).$$

2. Матрица F

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Матрица H

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- ☐ M(1,0,0,0,0,0). Исходная маркировка.
- ☐ M6(0,1,0,0,0,0). Сработал переход Т1.
- ☐ M61(0,0,1,0,0,0). Сработал переход Т2.
- ☐ M612(0,0,0,1,0,0). Сработал переход Т4.
- ☐ M6123(0,0,0,0,1,0). Сработал переход Т6. Тупик.
- ☐ M65(0,0,0,0,0,1). Сработал переход Т3.
- ☐ M654(0,0,0,1,0,0). Сработал переход Т5. Переход на М6.

Для данной сети Петри построим граф достижимых маркировок (состояний) в виде дерева, а также проведем исследование сети на: ограниченность, живость, наличие тупиков.

Исследуя сеть Петри на *ограниченность*, решаем систему:

$$\begin{cases} AX = 0 \\ X^T M_k = X^T M_0 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} X^T M_k = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Из результата решения видно, что полученная p -цепь является полной, так как информация имеется о всех позициях, в которых количество меток равно “1”. Следовательно, данная сеть ограничена.

Исследуя сеть Петри на *живость*, рассмотрим целочисленный вектор Y (T -инвариант), который равен:

$$Y^T = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Поскольку НЕ все компоненты вектора Y нулевые, то последовательность состояний сети не имеет возвратов, что подтверждается графом состояний. Таким образом, сеть не является живой.

Для исследование сети Петри на наличие тупиков, рассмотрим разность матриц:

$$F^T = H - A = \begin{cases} \mu_1 = 0 \\ \mu_2 = 0 \\ \mu_3 = 0 \\ \mu_4 = 0 \\ \mu_5 = 1 \\ \mu_6 = 0 \end{cases} .$$

Полученная маркировка (000010) является тупиком, что соответствует графу достижимых маркировок. Но т.к. мы проверяем сеть только на достижимость РК от начальной позиции к конечной, а маркировка (000010) и есть достижение конечной позиции, следовательно сеть ограничена и безопасна.

Пусть граф конфигурации АРТС описывается матрицей A размерностью $(n + 1) \times (n + 2)$ и $A = [A]_{i,j=0}^{n+1}$, где $A_{ij} = t_{ij}$, диагональные элементы $A_{ij} = 0$ и недиагональные элементы $A_{ij} = \infty$, если между i -м и j -м пунктами непосредственная связь отсутствует. Для определения формулы расчета минимального времени движения от начальной позиции до пункта назначения воспользуемся леммой.

Лемма 1. Кратчайшее время (из возможных) движения y между заданными пунктами петлеобразной структуры АРТС вычисляется по следующему выражению:

$$\exists k_0 : y = x_{n+1}(k_0) = \left(\left(\begin{matrix} k_0 - 1 \\ \otimes_{j=0} B(j) \end{matrix} \right) \otimes x(0) \right)_{n+1} ,$$

где $B(j) = C + Z(j - 1)$ и $x(0)$ определяется согласно выражения (5).

Синтез управляющей структуры

При практическом проектировании АРТС появляются вопросы относительно ТС-управлений, которые определяют самосинхронизирующее управление с целью поддержки движения РК в пиковые периоды производства и при устоявшемся режиме управления непрерывными материальными потоками в высокочемких производственных процессах.

Определение маршрутов РК. Параметры перекрестков были приведены в [1] и допускают их следующие определения для ТС:

$T = [T_i]_{i=0}^{n+1}$ – вектор периода ТС-переключения, где $T_0 = T_{n+1} = \infty$;

$R = [R_{ij}]_{i,j=0}^{n+1}$ – $(n + 2) \times (n + 2)$ – матрица с недиагональными элементами $R_{ij} = r_{ij}$, если существует непосредственная связь между i -м и j -м пунктами; $R_{ij} = 0$ в остальных случаях;

$P = [P_{ij}]_{i,j=0}^{n+1}$ – $(n + 2) \times (n + 2)$ – матрица с недиагональными элементами $P_{ij} = p_{ij}$, если существует непосредственная связь между i -м и j -м пунктами; $P_{ij} = 0$ в остальных случаях.

В случае петлеобразной структуры АРТС, приведенной на рис. 3, вышеописанные параметры определяются следующими матрицами:

$$\begin{matrix} \text{Период} & \text{Продолжительность "Стоп"} & \text{ТС-фазы с } t_0 = 0 \\ \mathbf{T} = \begin{bmatrix} \infty \\ 8 \\ 20 \\ 16 \\ 12 \\ \infty \end{bmatrix} ; & \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 6 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 15 & 0 & 0 & 15 & 0 \\ 0 & 12 & 0 & 0 & 12 & 0 \\ 0 & 0 & 9 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} ; & \mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} . \end{matrix}$$

В матрицах A , R , P , и в векторе T , принимаются во внимание только те параметры системы, которые касаются заданного маршрута.

Теперь можно вычислить время, необходимое для передвижения РК вдоль заданного маршрута (рис. 4).

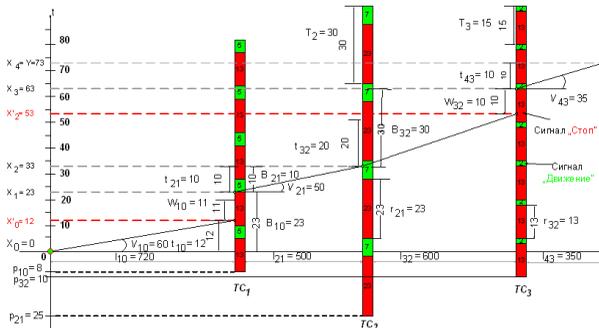


Рис. 4 – Временная диаграмма маршрута с тремя перекрестками

Пусть время движения через перекресток $\tau_1 = 0$. Отсюда, начальное время движения из стартовой позиции будет временем начала отсчета: $x_0 = 0$ (рис. 4), а T_1 – период переключения сигнала ТС на перекрестке; кроме того, пусть r_{10} – длительность времени сигнала “Стоп”, когда РК прибывает на перекресток. Если p – гибкий по отношению к началу формирования сигнала “Стоп” промежуток времени, можно сказать, что состояние ТС, когда РК прибывает на перекресток, характеризуется фазой p . Тогда начальный момент сигнала “Стоп” находится в фазе ноль, а начальный момент сигнала “Движение” находится в фазе r_{10} . Если точка начала отсчета $t_0 = 0$ установлена на момент активации сигнала “Стоп”, тогда фаза p на некоторый момент времени t может вычисляться по формуле: $p = t\emptyset T_1$, где T_1 – время цикла ТС.

Однако, точка отсчета $t_0 = x_0 = 0$ не обязательно совпадает с фазой прибытия РК на перекресток в момент активации ТС, т.е. не обязательно фаза p_{10} будет равняться нулю. Следовательно, в общем случае состояние ТС определяется фазой p : $p = (p_{10} + (t\emptyset T_1)) \emptyset T_1 = (p_{10} + t) \emptyset T_1$.

В частности, на момент, когда РК после прохождения дистанции l_{10} прибывает на перекресток, состояние ТС может определяться следующим значением фазы p :

$$p = (p_{10} + x_0 + t_{10}) \emptyset T_1 = (p_{10} + t_{10}) \emptyset T_1.$$

Если $p \geq r_{10}$, тогда РК успевает на перекресток при положении ТС “Движение” (рис. 4 перекресток $ТС_2$) и имеет возможность пройти перекресток без задержки; в противном случае РК должен ожидать разрешение $(r_{10} - p)$ единиц времени (рис. 4 перекрестки $ТС_1, ТС_3$). Очевидно, что время ожидания РК на перекрестке будет равняться:

$$W_{10} = r_{10} - (p \oplus r_{10}). \tag{1}$$

Следовательно, время ожидания РК на пересечении перекрестка задается формулой:

$$x_1 = (t_{10} + W_{10}) \otimes x_0 = (c_{10} + z_{10}(x_0)) \otimes x_0, \tag{2}$$

где

$$c_{10} = t_{10} + r_{10}; z_{10}(x_0) = -((t_{10} + p_{10} + x_0) \emptyset T_1) \oplus r_{10}. \tag{3}$$

Тогда общее время движения РК:

$$y = t_{21} + x_1. \tag{4}$$

Для системы с одним ($n = 1$) перекрестком, в соответствии с принятыми выше обозначениями формализмов моделирования, можно записать:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & \infty & \infty \\ t_{10} & 0 & \infty \\ \infty & t_{21} & \infty \end{bmatrix}; \mathbf{T} = \begin{bmatrix} \infty \\ T_1 \\ \infty \end{bmatrix}; \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ r_{10} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ p_{10} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$x(0) = \begin{bmatrix} x_0 = 0 \\ x_1 = \infty \\ x_2 = \infty \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Аналогично (2) определим те же параметры в матричной форме.

Тогда $x(1) = (C + z(0)) \otimes x(0) =$

$$\begin{aligned} &= \left(\begin{bmatrix} 0 & \infty & \infty \\ t_{10} + r_{10} & 0 & \infty \\ \infty & t_{21} & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -[(t_{10} + p_{10}) \emptyset T_1] \oplus r_{10} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right) \otimes \begin{bmatrix} 0 \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} 0 \\ t_{10} + r_{10} - [(t_{10} + p_{10}) \emptyset T_1] \oplus r_{10} \\ 0 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (6)$$

После определения $z(1)$, можно определить $x(2)$:

$$x(2) = (C + z(0)) \otimes x(1) = \begin{bmatrix} 0 \\ t_{10} + r_{10} - [(t_{10} + p_{10}) \emptyset T_1] \oplus r_{10} \\ t_{10} + r_{10} - [(t_{10} + p_{10}) \emptyset T_1] \oplus r_{10} + t_{21} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Следующие перекрестки не меняют состояния вектора. Соответствующие элементы этого вектора представляют собой оценки стартового времени, времени прохождения перекрестка и времени приезда РК в пункт назначения. Значения этих оценок определяются выражениями (1) и (2). Для вычисления следующих состояний векторов воспользуемся выражениями тезисов леммы 1.

Пример. Рассмотрим более общий случай проезда РК через n перекрестков, однако метод решения задачи не меняется: это повторение одноперекрестного маршрута n раз. Время пересечения РК i -го перекрестка становится начальным временем для маршрута $i + 1$ -го перекрестка.

Для иллюстрации такой задачи рассмотрим случай, когда задан маршрут через три перекрестка (рис. 4) с параметрами: $l_{10} = 720$; $l_{21} = 500$; $l_{32} = 600$; $l_{43} = 350$; $V_{10} = 60$; $V_{21} = 50$; $V_{32} = 30$; $V_{43} = 35$; $r_{10} = 13$; $r_{21} = 23$; $r_{32} = 13$; $p_{10} = 8$; $p_{21} = 25$; $p_{32} = 10$; $T_1 = 18$; $T_2 = 30$; $T_3 = 15$. Тогда $t_{10} = l_{10}/V_{10} = 12$; $t_{21} = l_{21}/V_{21} = 10$; $t_{32} = l_{32}/V_{32} = 20$; $t_{43} = l_{43}/V_{43} = 10$, и основные параметры в матричной форме представления для данного случая имеют вид:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \infty \\ 18 \\ 30 \\ 15 \\ \infty \end{bmatrix}; \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 12 & 0 & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 10 & 0 & \infty & \infty \\ \infty & \infty & 20 & 0 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 10 & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 13 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 23 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \text{ из этого следует:}$$

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} + \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 25 & 0 & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 33 & 0 & \infty & \infty \\ \infty & \infty & 33 & 0 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 10 & 0 \end{bmatrix}.$$

Следующие итерации с учетом (7):

$$x(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B}(0) = \begin{bmatrix} 0 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 23 & 0 & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 10 & 0 & \infty & \infty \\ \infty & \infty & 20 & 0 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 10 & 0 \end{bmatrix};$$

$$x(1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 23 \\ \infty \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B}(1) = \begin{bmatrix} 0 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 23 & 0 & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 10 & 0 & \infty & \infty \\ \infty & \infty & 20 & 0 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 10 & 0 \end{bmatrix};$$

$$x(2) = \begin{bmatrix} 0 \\ 23 \\ 33 \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B}(2) = \begin{bmatrix} 0 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 23 & 0 & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 10 & 0 & \infty & \infty \\ \infty & \infty & 30 & 0 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 10 & 0 \end{bmatrix};$$

$$x(3) = \begin{bmatrix} 0 \\ 23 \\ 33 \\ 63 \\ \infty \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B}(3) = \begin{bmatrix} 0 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 23 & 0 & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 10 & 0 & \infty & \infty \\ \infty & \infty & 20 & 0 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 10 & 0 \end{bmatrix}; \quad x(4) = \begin{bmatrix} 0 \\ 23 \\ 33 \\ 63 \\ 73 \end{bmatrix},$$

откуда видно, что при заданном маршруте минимальное время движения РК от исходного до конечного пункта равно $y = x_4(4) = 73$. Что и подтверждает программная реализация (рис. 5,6).

Рассмотрим основную проблему - выбор маршрута с кратчайшим временем движения среди возможных маршрутов между заданными пунктами петлеобразной структуры АРТС.

Рассмотрим все перекрестки петлеобразной АРТС, которая изображена на рис. 3.

Параметры R_{ij} , P_{ij} и T_i задано матрицами, а начальное состояние $x(0)$ аналогично (5). Соответствующими итерациями являются:

Время (W) ожидания ПК на перекрестке					Время (B) движения ПК между выбранными пунктами					Полное время (K) прибытия в пункт	
	0	1	2	3		0	1	2	3		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	11	0	0	0	23	0	0	0	0	23	23
2	0	0	0	0	0	10	0	0	0	33	33
3	0	0	10	0	0	0	0	30	0	63	63
4	0	0	0	0	0	0	0	0	10	73	73

Рис. 5 – Результат вычислений при программном моделировании (матрицы времени ожидания и движения между пунктами)

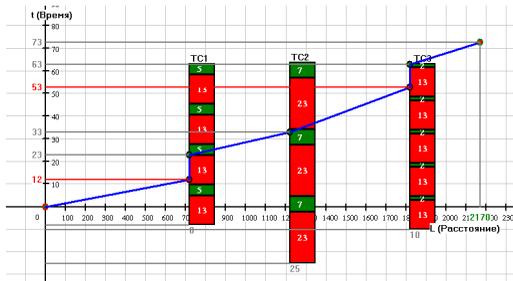


Рис. 6 – Результат вычислений при программном моделировании (диаграмма времен)

$$x(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ \infty \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B}(0) = \begin{bmatrix} 0 & 5 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 9 & 0 & 10 & 15 & \infty & \infty \\ \infty & 10 & 0 & \infty & 15 & \infty \\ \infty & 15 & \infty & 0 & 20 & \infty \\ \infty & \infty & 15 & 20 & 0 & 5 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 5 & 0 \end{bmatrix};$$

...

$$x(3) = \begin{bmatrix} 0 \\ 9 \\ 33 \\ 24 \\ \infty \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B}(3) = \begin{bmatrix} 0 & 5 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 9 & 0 & 12 & 19 & \infty & \infty \\ \infty & 24 & 0 & \infty & 24 & \infty \\ \infty & 15 & \infty & 0 & 20 & \infty \\ \infty & \infty & 24 & 20 & 0 & 5 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 5 & 0 \end{bmatrix}; \quad x(4) = \begin{bmatrix} 0 \\ 9 \\ 33 \\ 24 \\ 49 \end{bmatrix},$$

из чего видно, что $y = x_5(4) = 49$.

При сравнении двух альтернативных маршрутов TP1 и TP2 на рис. 7 легко увидеть, что маршрут TP2 (рис. 8) с минимальным временем движения будет $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$. После просмотра результатов с учетом фаз P_{ij} переключения ТС, маршрут через перекресток TC_3 в целом по

времени прибытия РК на позицию 5 структуры АРТС становится более быстрым, чем маршрут через перекресток TC_2 .

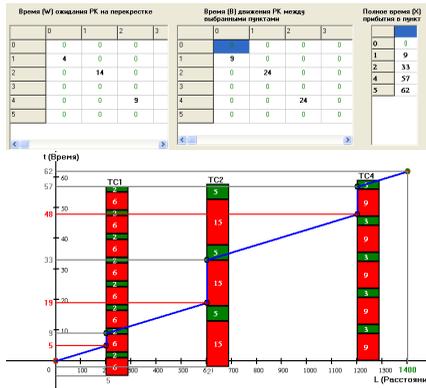


Рис. 7 – Результат вычислений при программном моделировании маршрута $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 5$



Рис. 8 – Результат вычислений при программном моделировании маршрута $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$

Следовательно, можно определить минимальный по общему времени маршрут движения между начальным и конечным пунктами АРТС-структуры при управлении движением РК с помощью ТС. Впрочем, для удовлетворения требований эффективного функционирования ГПС как сложной разветвленной системы значительного количества обрабатывающих ресурсов, необходимо решить задачу синхронизации работы всех системных ТС. Исходя из того, что каждое последующее состояние системы вычисляется матрицей A для постоянных элементов, а форма управ-

ления в случае АРТС-структуры с ТС-управляемыми перекрестками, к тому же системная матрица $B(k)$ изменяется в течение каждой итерации в соответствии с леммой 1 и количеством действий для ее вычисления в пределах mN^2 , то общее количество действий, необходимое для решения такой полиномиальной сложной проблемы определяется порядком mN^6 .

Выводы

1. Исследованные механизмы временных назначений обеспечивают реализацию движения РК в режиме, исключающем столкновения и ожидания, что ведет к робастному распределенному управлению материальных потоков в петлеобразных АРТС.

2. Распределенное управления перекрестками, а следовательно, и РК исключает необходимость трудоемких и долговременных составлений расписаний движения РК и гарантирует свободное от пульсаций движение.

3. Предложенная методика вычисления параметров АРТС, обеспечивает возможность прогнозирования точного поведения всех транспортных компонентов как в условиях устоявшегося режима функционирования, так и в случае возникновения нештатных ситуаций.

Литература

1. Банашак З.А., Лісовиченко О.І., Ткач Г.М., Ямпольський Л.С. Реалізація концепції розподіленого керування з самосинхронізацією потоків транспортних засобів ГВС// Міжвідомчий науково-технічний збірник “Адаптивні системи автоматичного управління”.- Дніпропетровськ: ДНВП Системні технології, 2001-Вип. 4'(24).- С.88-108.
2. Лісовиченко О.І. Разработка объектно-ориентированной среды моделирования материальных потоков гибкой производственной системы : Дис. канд. техн. наук : спец.: 05.13.20.- К., 2007- 192с.
3. Лісовиченко О.І., Лавров А.А. Подход к созданию объектно-ориентированной среды моделирования производственных систем // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Адаптивні системи автоматичного управління”.-Дніпропетровськ: ДНВП Системні технології, 2006-Вип. 9'(29).- С. .
4. Лісовиченко О.І. , Данішевський Б.М. , Птічнікова А.С. , Ланкін Ю.М. , Ямпольський Л.С. Візуалізація моделювання гіперпросторово-розподілених гнучких комп'ютерно-інтегрованих виробничих систем Міжвідомчий науково-технічний збірник “Адаптивні системи автоматичного управління”.-Дніпропетровськ: ДНВП Системні технології, 2004-Вип. 7'(27).

Получено 23.04.2008