УДК 621.313.13

АЛГОРИТМЫ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СКЛАДЕ

асп. [1]**Поляковский В.В.**, асп. [1]**Лахвич М.Н.**, студ. [1]**Голунова В.М.**, студ. [1]**Хмель О.В.**

[1]*УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск*

Введение. В настоящее время одним из острых вопросов построения современного автоматизированного склада является вопрос решение транспортной задачи без участия человека, путем использования роботов-кладовщиков. В работе рассмотрен подход к построению архитектуры алгоритмов группового управления складскими роботами.

Цифровая экосистема умного производства. Сейчас современному высокотехнологическому производству, или как принято говорить умному производству (Smart manufacturing, SM), предъявляются новые требования, предполагающие интеграцию производственных бизнес-процессов в глобальную сеть спроса-предложения. Данные требования реализуются путем создания цифровых экосистем, способных адаптироваться к глобальной среде как на физическом, так и на виртуальном мирах.

Такой подход был сформулирован в рамках философии четвертой промышленной революция, более известная как «Индустрия 4.0» (Industry 4.0), получила свое название от инициативы 2011 года, возглавляемой бизнесменами, политиками и учеными, которые определили ее как средство повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности Германии через усиленную интеграцию «кибер-физических систем», или CPS, в заводские процессы [1].

Рис. 1.Иерархия цифровой экосистемы умного производства

Неотъемлемой часть экосистемы современно предприятия (рисунок 1) является системы управления автоматизированным складом или WMS-системы. Однако, наряду с классическими задачами WMS-систем, которое можно сформулировать, как организация оптимального товародвижения в рамках склада, все более остро ставится задача управления складскими роботами, которые выполняют функцию транспортной системы на складе, осуществляя перемещение товаров по заданным маршрутам.

В качестве исполняющего механизма, осуществляющее непосредственное перемещение, может выступать автономный робот-кладовщик (рисунок 2) или интегрированный роботизированный комплекс.

Рис. 2. Пример робота-кладовщика на предприятии Amazon [2]

Алгоритмы формирования маршрутов движения. Данные алгоритмы реализованы в ядре WMS-системы и предназначены для формирования маршрутов движения товаров на складе согласно стратегии, применяемой на предприятии. К таким алгоритмам можно отнести алгоритмы размещения продукции, отборки продукции, уплотнения, инвентаризации и т.д.

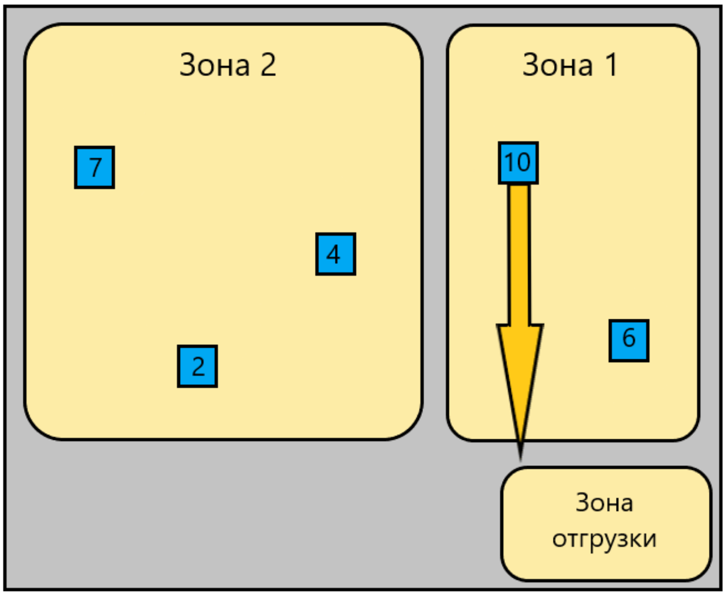

Рис. 3. Топология склада

Рассмотрим алгоритм отборки продукции на примере склада, топология которого представлена на рисунке 3. На данном складе можно выделить три зоны: зона мезонина (зона 1) и зона полётных стеллажей (зона 2) и зона отгрузки. В каждой из зон синими квадратами отмечены ячейки, в которых существует физическое наличие продукции, предназначенной для отборки.

Алгоритм, определяющий ячейки, из которых будет отбираться продукция, можно разделить на два этапа:

– определение зоны или зон, в рамках которых будут производиться отборка;

– определение конкретных ячеек зон, выбранной на первом этапе.

При определении номера зоны отборки необходимо сформулировать правила приоритета – например, приоритет имеет зона с максимальным коэффициентом эффективности операции отборки, для нашего пример это зона 1 мезонин.

Далее происходит подбор конкретной ячейки в рамках зоны, который осуществляется согласно стратегии отборки продукции, который и определяет приоритеты. Примером такой стратегии может быть FEFO (First Expire, First Out – первый истекает – первый выходит), для которой решающую роль будет играть дата истечения срока годности.

Результатом работы алгоритмов данного уровня являются массив из номеров ячеек, контрольных точек, которые требуется обойти складскому роботу, для обеспечения выполнения поставленной задачи на отборку.

Алгоритм трассировки траектории движения. Рассмотрим алгоритм формирования траектории движения на примере топологии перемещения, представленной на рисунке 4.

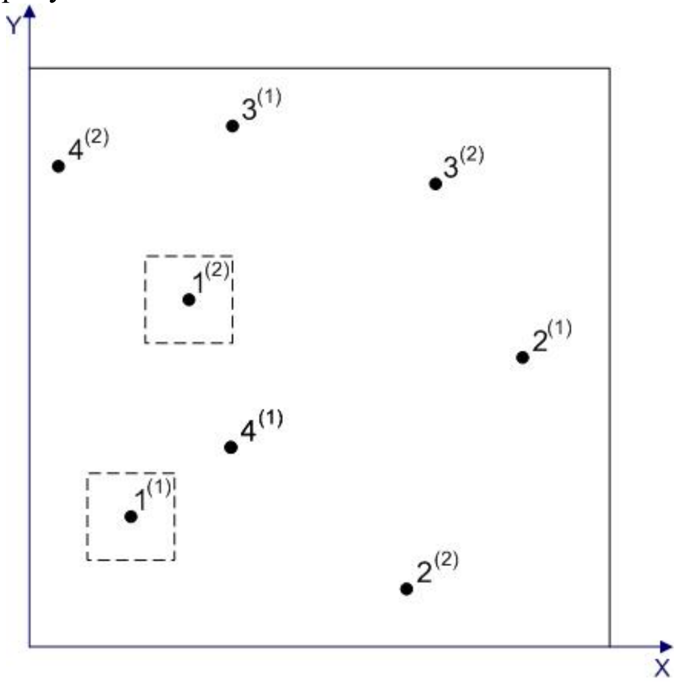

Рис. 4. Топология перемещений роботов

На рисунке 4 представлен набор контрольных точек для 2-х роботов на рабочей области, в которые они должны осуществить свое перемещение. Обозначим эти наборы точек для робота 1 через множество p1, для робота 2 – через множество p2.

В качестве параметра оптимизации принимаем время выполнения полной задачи на перемещение, т.к. очевидно, что минимальность пройденного расстояния не всегда обеспечивает максимальную производительность многокоординатной системы перемещения. Под полным временем выполнения задачи на перемещения понимается промежуток времени, в течение которого все позиционеры многокоординатной системы выполнят перемещения во все ключевые точки своих траекторий. Таким образом, полное время перемещения может быть определено по следующей формуле:

$$t_{total} = \max(t_{total}^{k}), \qquad (1)$$

где t_{total}^{k} – полное время перемещения k-го робота системы, которое может быть рассчитано по следующей формуле:

$$t_{total}^{k} = \sum_{i=1}^{n-1} t_{i\to i+1}^{k}, \qquad (2)$$

где $t_{i\to i+1}^{k}$ – время перемещения k-го робота из точки i в точку (i+1);
n – количество ключевых точке траектории k-го робота.

Из выражений (2) и (3) следует, что решение задачи определения оптимальной траектории перемещения достижимо путем поиска локальных оптимумов по времени перемещения из текущий в последующие ключевые точки $t_{i\to i+1}^{k}$.

Принимая во внимание трапецеидальный закон движения роботов, можем выполнить расчет времени движения k-го робота от точки i до точки j:

$$t_{i\to j}^{k} = \frac{\sqrt{(p_j^k[x]-p_i^k[x])^2-(p_j^k[y]-p_i^k[y])^2}}{v_{\max}^{k}} + \frac{1}{2}\cdot(t_p^k+t_T^k)+\Delta t_{i\to j}^{k}, \qquad (3)$$

где $t_{i\to j}^{k}$ – время перемещения k-го позиционера из точки i в точку j;
($p_i^k[x]$, $p_i^k[y]$), ($p_j^k[x]$, $p_j^k[y]$) – координаты i-й и j-й точки соответственно для k-го позиционера;
$v_{\max}^{k}$ – максимально допустимая скорость k-го робота;
t_p^k – время разгона k-го робота;
t_T^k – время торможения k-го робота;
$\Delta t_{i\to j}^{k}$ – время остановки k-го робота, в случае коллизий с другим роботом системы.

Расчет производим для всех возможных комбинаций из множеств точек траектории позиционеров системы (p_1, p_2, …, p_n). Результатом данного расчета является двухмерной множество NT, состоящее из двух частей – порядкового номера последующей точки и время перемещения в эту точку из текущего положения. То есть каждый элемент множества NT представляет собой пару (j, t), где j – порядковый номер последующей точки, t – время перемещения в эту точку. Расчет значений множества NT для k-го позиционера выполняется на каждой итерации алгоритма с использованием следующего выражения:

$$NT[k] = \begin{cases} [j,\ t_{i\to j}^{k}],\ при\ j = i+1, \\ [j,\ t_{i\to j}^{k}],\ при\ NT[k][t] > t_{i\to j}^{k}, \\ NT[k],\ при\ NT[k][t] \le t_{i\to j}^{k}, \end{cases} \qquad (4)$$

где $NT[k]$ – порядковый номер последующей точки и времени перемещения в нее для k-го роботом, представленные в форме одномерного множества вида $[n, t]$.

Анализируя полученные выражения (3) и (4) видно, что время перемещения отдельного робота в последующую точку зависит не только от координат и параметров его движения, но и от перемещений остальных роботов, которое учитывается в выражении (4) с помощью значения $\Delta t_{i\to j}^{k}$.

Таким образом, формирование оптимальной траектории движения для каждого робота системы отдельно невозможно, а необходимо учитывать совместные перемещения. В этом случае формула (4) примет следующий вид:

$$NT[k] = \begin{cases} [j,\ t_{i\to j}^{k}],\ при\ j = i+1, \\ NT'[k],\ при \max(NT[t]) > \max(NT'[t]), \\ NT[k],\ при \max(NT[t]) \le \max(NT'[t]), \end{cases} \qquad (5)$$

где $NT'[k]$ – множество вида [n, t] для выбранной комбинации точек на i-м шаге расчета.

Алгоритмы бесколлизионных движений. Задача построения бесколлизионных перемещений в общем рабочей области является ключевой в алгоритмах группового управления складскими роботами. Авторами предлагается использовать математическую модель и аналитические алгоритмы формирования бесколлизионных движений при равномерном и равноускоренном законах движения, которые представлены в работе [3].

В работе представлены 3 основных уровня архитектуры алгоритмов группового управления складскими роботами, реализация которых позволит организовать совместное эффективное перемещение в рабочей области склада, согласно стратегии складского управления, принятой на предприятии. Данные алгоритмы могут быть объедены в один вычислительный модуль, с последующей интеграцией его в ERM/WMS/MES-систему предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жарский, В.В., Карпович, С.Е., Дайняк, И.В., Ланин, В.Л., Петухов, И.Б., Литвинов, Е.А., Поляковский, В.В. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования : монография / С.Е. Карпович [и др.] ; под. ред. д-ра техн. наук, проф. С.Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2013. – 208 с.*
2. *[Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа https://logist.today/2017/03/30/zamenjat-li-roboty-gruzchikov-i-kurerov/*
3. *Поляковский, В.В. Анализ и предотвращение коллизий планарных позиционеров в системе перемещений Трипланар / В.В. Поляковский [и др.] // Доклады БГУИР. – 2007. – № 6. – С. 65–71.*