

ПОСТРОЕНИЕ КОНТАКТНОГО ГРАФИКА СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИММУННОГО АЛГОРИТМА

М.А. Цуканов, Л.М. Боева

Рассматривается возможность оперативного управления и технологической координации производства с использованием мультиагентных технологий и методов искусственного интеллекта

Ключевые слова: интеллектуальные агенты, агрегаты Бусленко, сети Петри, иммунный алгоритм

Основной целью оперативного планирования и управления производством является составление согласованных производственных планов цехов предприятия и обеспечение их выполнения. Задача существенно усложняется для производств, характеризующихся широкой номенклатурой выпускаемой продукции, многообразием оборудования, многостадийностью технологических процессов, многовариантностью технологических маршрутов и, как следствие, сложными перекрестными материально-транспортными связями.

Помимо перечисленных трудностей задачу оперативного управления усложняет дискретно-непрерывный характер некоторых производств, когда непрерывную работу системы в целом можно представить последовательностью отдельных технологических операций, дискретных по своему характеру — со своим началом и окончанием, с получением выходных результатов или конечной продукции в каждой операции [1].

Объектом оперативного управления в системах подобного типа является совокупность производственных звеньев, осуществляющих отдельные технологические операции. Основой для разработки производственной модели производства служит согласованный в пространстве и во времени цикл изготовления продукции. Представленную в табличной или графической форме модель, в которой оборудование взаимосвязано между собой во времени в соответствии с технологией производства, принято называть контактными графиками (КГ) [2].

Выполнение отдельных заданий КГ на автономных технологических агрегатах характеризует производственную систему как распределенную. Оперативное планирование такого производства требует технологической координации (ТК) производственного оборудования, транспортных средств и выполняемых ими технологических и подъемно-транспортных операций.

Современная практика совершенствования систем управления распределенными системами направлена на использование мультиагентных технологий (МАТ), основанных на взаимодействии нескольких интеллектуальных агентов. Каждый агент (автономный программный модуль) имеет определенный набор свойств в зависимости от целей мультиагентной системы (МАС) в целом, решаемых им задач, технологии реализации, заданных критериев.

Возможность применения парадигмы МАТ для решения задачи ТК дискретно-непрерывных производств продиктована их распределенным характером, когда каждая технологическая операция выполняется на отдельном агрегате, в связи с чем необходимо слежение за его состоянием с целью своевременного включения агрегата в технологический маршрут, являющийся элементом КГ, и прохождением материальных потоков от одного оборудования к другому в режиме on-line.

Характерным примером сложноструктурированного дискретно-непрерывного производства является сталеплавильное производство. Рассмотрим применение МАТ для оперативного управления и ТК оборудования на примере электросталеплавильного цеха (ЭСПЦ) ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» (рис. 1).

В состав электросталеплавильного цеха входят четыре дуговые сталеплавильные печи (ДСП), две установки продувки аргоном

(УПА), три установки циркуляционного вакуумирования стали (УЦВС), три агрегата комплексной обработки стали (АКОС), пять машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), пять стенов разогрева сталь-ковшей (СРСК) и четыре разливочных крана.

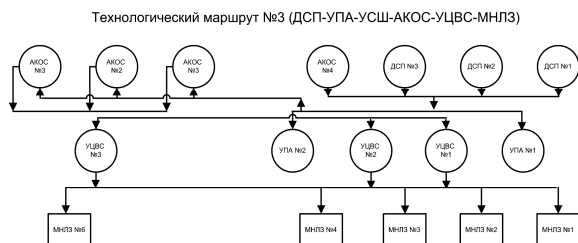


Рис. 1. Пример схемы технологического маршрута ЭСПЦ

При производстве непрерывной заготовки (НЛЗ) в условиях ЭСПЦ действуют четыре технологических маршрута обработки стали.

Предлагаемая МАС оперативного управления и производственной координации сталеплавильного цеха имеет структуру, представленную на рис. 2. Агент-супервизор реализует информационную модель рассматриваемой предметной области, формализованную в виде базы знаний и базы данных с учетом сложившихся технологических предпочтений производства, осуществляет общую координацию действий агентов всех уровней и связь с пользователем системы (диспетчером). Агент-оптимизатор выполняет построение КГ и распределяет его задания по производственным агрегатам (агентам-исполнителям), задачей которых является выполнение определенной технологической или транспортной операции. Агент-реализатор осуществляет проверку сформированного оптимизатором КГ и выявление узких мест в его структуре.



Рис. 2. Структурная схема МАС оперативного управления ЭСПЦ

Для моделирования работы агентов-исполнителей предлагается использовать агрегативный подход Бусленко [3]. В

соответствии с ним любой агрегат A_j (рис.3) характеризуется набором координат $x_j^{(l)}, (l=1, L^*)$, которые описывают его состояние: для основных агрегатов (ДСП, УПА, УЦВС, АКОС) – простой, ожидание продукта, обрабатывающая и передаточная операция, операция ожидания; для агрегатов-накопителей (МНЛЗ) – простой, ожидание продуктов до обработки; для агрегатов - транспортных средств (разливочные краны) – простой, транспортная операция, операция ожидания.

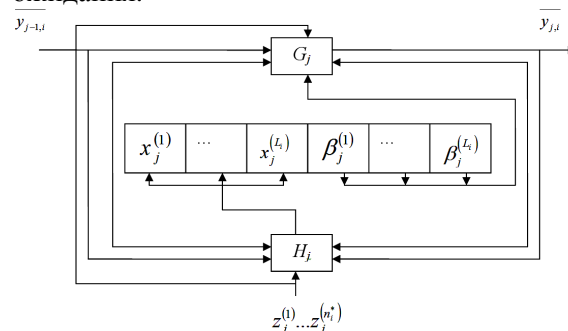


Рис.3. Схема агрегата Бусленко

Каждый агрегат реализует алгоритм выходов G_j (окончание обработки на одном агрегате и передача другому) и алгоритм переходов H_j (изменение состояния агрегата в процессе работы). Параметры агрегата β_j характеризуют его работоспособность.

Рассмотрим в качестве примера агрегативную модель ДСП:

На входы ДСП подается сообщение вида $y_{0,1} = \{p_1, \dots, p_n, d\}$, где p_1, \dots, p_n – состав загружаемых в печь материалов (лом, железорудное сырье и др.), d – плотность загрузки.

Состояние ДСП описывается величиной x_l (при $x_l=0$, печь находится в состоянии «ожидание плавки»; при $x_l=1$, печь находится в состоянии «период плавления»; при $x_l=2$, печь находится в состоянии «окислительно-восстановительный период»; при $x_l=3$, печь находится в состоянии «период доводки»; при $x_l=4$, печь находится в состоянии «ожидание выпуска из печи»).

Параметр печи β_l – количество плавов, выплавленных в печи после ее ремонта.

Момент изменения состояний ДСП определяется оператором переходов $H_{l,i}$ в зависимости от величины $y_{0,1}$ и β_l . Время выпуска стали из печи определяется алгоритмом выходов G_l в зависимости от

величин $\overline{y_{0,i}}$, $\overline{\beta_i}$, $\overline{z_{3,i}}$, $\overline{z_{2,i}}$, а также - от состояния других агрегатов.

Данный уровень МАС обеспечивает информационно мониторинг производственного процесса в режиме on-line путем слежения за состоянием технологического оборудования с видом ретроспективы и перспективы производственных задач (рис. 4).

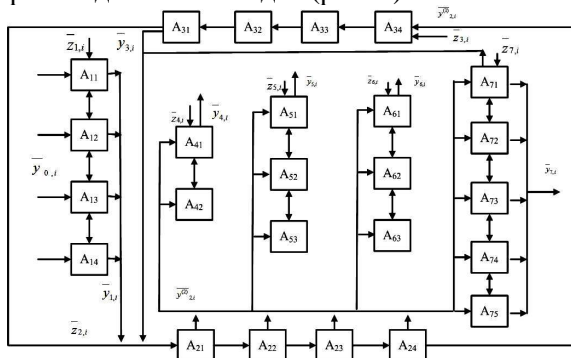


Рис. 4. Схема взаимодействия агентов-агрегатов нижнего уровня

Уровень исполнителей работает в сопряжении с базой данных (БД) и базой знаний (БЗ), в задачи которых входит хранение информации о расположении и параметрах оборудования, описание отдельных технологических операций и маршрутов КГ, оперативное включение в систему нового производственного оборудования.

Агент-оптимизатор решает задачу оптимизации КГ, которая относится к классу задач составления расписаний [4]. Наличие нескольких однотипных агрегатов, многовариантность технологических маршрутов и последовательно-параллельные и перекрестные транспортно-технологические потоки определяют задачу как NP-сложную.

Время ее решения даже с использованием перспективных методов искусственного интеллекта (в частности, генетического алгоритма [5,6], алгоритма муравьиных колоний [7,8]) не удовлетворяет требованиям оперативного управления сталеплавильным цехом. В работе [9] проводится сравнительный анализ реализации переборных задач на основе генетического, муравьиного и иммунного алгоритмов, и демонстрируется существенное преимущество последнего по времени получения решения.

Искусственные иммунные сети (ИИС) обеспечивают эффективный параллельный поиск оптимального решения на основе принципа клональной селекции.

DeCastro [10] предложен алгоритм клональной селекции, эффективный для решения задач распознавания образов и глобальной оптимизации. В соответствии с данным алгоритмом антиген рассматривается как задача, которую необходимо решить, а кандидаты на её решение моделируются посредством популяции антител иммунной системы, каждый элемент которой представляет собой точку в пространстве поиска оптимального решения. Степень соответствия антитела антигену определяется с помощью специальной функции аффинитета (affinity), основываясь на значениях которой с использованием иммунных операторов создается очередная генерация популяции антител в рамках итеративного процесса.

Рассмотрим применение модифицированного алгоритма клональной селекции (рис. 5) как основы работы агента-оптимизатора по построению КГ.

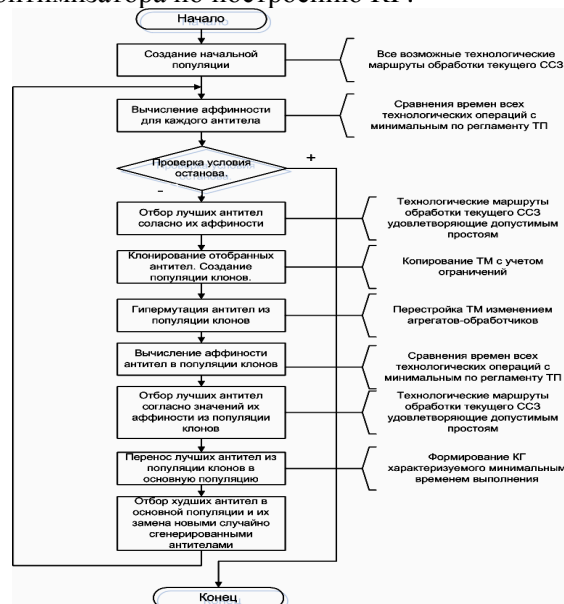


Рис. 5. Блок-схема модифицированного алгоритма клонального отбора

На первом этапе генерируется популяция антител (все возможные варианты маршрутов обработки сменного-суточного задания-ССЗ) которая представляет собой строки фиксированной длины, состоящие из наборов возможных технологических маршрутов текущего ССЗ.

Алгоритм основан на математической модели КГ [11] сталеплавильного цеха (рис.1), предварительно организованном на совокупности плавок по маркам $i = \overline{0, I}$ и по виду МНЛЗ $j = \overline{0, J}$. Целевая функция минимизирует приведенные потери $R_{Q,Q+1} = C_{cp} \cdot \rho_{lk_{ij}} \cdot \Delta D_{lk_{ij}}$; , связанные с переходом

от обработки одной плавки (i,j) к другой $(i+1,j+1)$:

$$F = \sum_{j=1,J} \sum_{i=1,I} R(i, i+1, j, j+1) \rightarrow \min; \quad (1)$$

где $\rho_{lk_{ij}}$ - производительность технологического агрегата по выпуску (i,j) -ой плавки; $\Delta D_{lk_{ij}}$ - длительность переналадки технологического агрегата при переходе от обработки (i,j) -ой плавки к $(i+1,j+1)$ -ой; C_{cp} - средняя себестоимость продукции за смену.

В соответствии с алгоритмом клональной селекции отбор лучших антител (технологических маршрутов) производится согласно их аффинности, которая в задаче построения КГ представляется величиной отклонения текущего времени выполнения работы на конкретном этапе обслуживания заказа от минимально возможного согласно технологии производства. Антитела, отобранные из основной популяции, формируют новую популяцию - популяцию клонов, вариантов обработки заказа из ССЗ на оборудовании ЭСПЦ.

Далее осуществляются случайные перестановки отдельных этапов, допустимых технологией производства, в составе технологического маршрута (гипермутация).

Проверка возможности выполнения составленного КГ осуществляется агентом - реализатором с использованием математического аппарата вложенных сетей Петри. Вложенность сети обусловлена представлением каждой позиции вершины системной сети как сложного объекта- группы оборудования, которое представлено своей агрегативной моделью. Выбор математического аппарата сетей Петри обусловлен дискретно-непрерывным характером сталеплавильного производства.

Функционирование сети описывается формально с помощью множества последовательностей срабатываний переходов и множества достижимых в сети вершин. Эти понятия определяются через правила срабатывания переходов сети [12].

Системная сеть S [13] представляет собой структуру четырех технологических маршрутов, распределённых по оборудованию цеха рис 6.

Математически сеть описывается коротежем:

$$S = \langle P, T, F, \tau_t, C, \{V_s\}, K, M_0 \rangle, \quad (2)$$

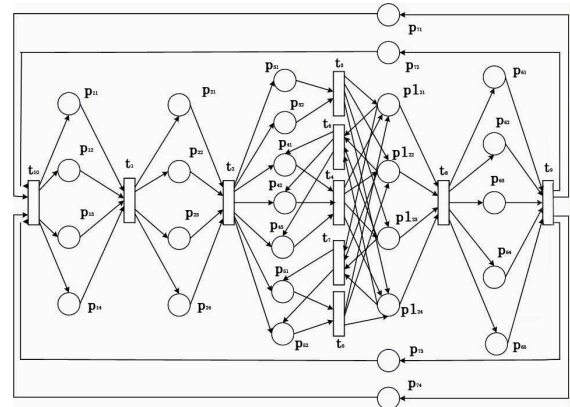


Рис. 6. Системная сеть Петри координации работы технологического оборудования сталеплавильного цеха,

где P - множество позиций, - агрегативных моделей технологического оборудования; T - множество переходов - перестановок сталь-ковша с плавками между агрегатами; F - функция инцидентностей позиций и переходов, определяющая агрегат-источник и агрегат-исполнитель; C - функция цвета принадлежности перехода к определенному технологическому маршруту; τ_t - параметр времени, отнесенный ко всем компонентам сети: $P, T, F, M_0, \{V_s\}$ - условия выполнения переходов; K - емкость маркеров в позициях с учетом C ; M_0 - вектор начальной маркировки, компоненты которого помечают закрытые позиции при поступлении требования на обслуживание.

Срабатывание каждого перехода из множества $T\{t_1, t_2, \dots, t_{11}\}$ определяется наличием сигнала на выходе определенной агрегативной установки. Возможность осуществления перехода в одну из позиций P определяется с учетом значений параметров сети $F(A_{lk}, A_{(l+1)(k+1)})$, определяющих агрегат-исполнитель следующего требования и вектора M_0 , компоненты которого помечают закрытые позиции при поступлении требования на обслуживание. Аргументы функции $A_{lk}, A_{(l+1)(k+1)}$ представляют соответственно агрегат-источник и агрегат-приемник технологического требования.

Объединённые в группы агрегаты имеют соответствующее входное и выходное условие работы (переход). Согласно рис.7 проверяется занятость агрегата на момент поступления требования на обслуживание. В случае успешной проверки, т.е. когда агрегат, на который направлена плавка, свободен ($p_{lk} = 0$), то на время Δt_{lk} ему присваивается значение 1.

DSP	p11==1 p12==1 p13==1 p14==1
KPAN	p11.21.1==0 p12.22.2==0 p13.31.1==0 p14.32.4==0
UPA	p21==0 p22==0
KPAN1	p21.61.1==1 p22.62.2==1 p23.63.3==1 p24.64.4==1

Рис. 7. Проверка состояний загруженности агрегатов

Работа сети начинается с поступления набора моментов времени, характеризующих интервал времени операции с указанием агрегата-исполнителя из КГ. Расписание проверяется сетью с учетом начальных условий, учитывающих текущее состояние производства. В случае, если КГ признан невыполнимым, формируется список корректировок, имеющих цель устранить «узкие» места при перепланировке КГ агентом-оптимизатором.

Агент-супервизор МАС – интерфейсный агент, решающий задачу координации всех уровней, обладающий свойством мобильности, т.е. направления заданий нижестоящим агентам, и осуществляющий связь с пользователем. В набор его инструментария входят средства визуального представления оператору данных о текущем КГ в виде диаграммы Ганта и результатов проверки данного графика агентом-реализатором в случае, если составленный КГ признан невыполнимым.

Парадигма оперативного управления сложноструктурированными дискретно-непрерывными производствами с привлечением методологии МАС позволит повысить его эффективность за счет использования текущей информации о состоянии производственного процесса при построении КГ и его своевременной корректировки в режиме реального времени.

Литература

1. Дьячко А.Г. Математическое и имитационное моделирование производственных систем. Научное издание. - М.:МИСИС, 2007.-540 с.
2. Вережкин С. В. Разработка и применение алгоритмов производственной координации (на примере сталеплавильного комплекса. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Новокузнецк, 2003.
3. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М., - Наука, 1968.-355 с.
4. Вережкин С. В. Формирование контактного графика в параллельно-последовательных системах: Сб. науч. тр. «Информационные технологии в экономике, промышленности и образовании». - Кемерово. Изд-во НФИ КемГУ, 2000.-С. 18-24.
5. Min Liu, Zhi-jiang Sun. An adaptive annealing genetic algorithm for the job-shop planning and scheduling problem. Expert Systems with Applications 38 (2011).
6. Mojtaba Salehi, Reza Tavakkoli-Moghaddam. Application of genetic algorithm to computer-aided process planning in preliminary and detailed planning. Engineering Applications of Artificial Intelligence 22 (2009).
7. C.W. Leung, T.N. Wong. Integrated process planning and scheduling by an agent-based ant colony optimization. Computers & Industrial Engineering 59 (2010) - 166–180.
8. Rong-Hwa Huang, Chang-Lin Yang. Overlapping production scheduling planning with multiple objectives - An ant colony approach. Int. J. Production Economics 115 (2008) - 163–170.
9. Аверкин А.Н., Костюченко О.В., Титова Н.В. Проблема агрегации нескольких экспертных оценок в задаче ранжирования альтернатив и ее решение // Сборник докладов XII Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2009). — Санкт-Петербург, 2009.
10. De Castro L.N., Von Zuben F.J. (2000a), The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications, submitted to GECCO'00.
11. Кулаков С.М. Формирование и реализация программ координации сталеплавильного комплекса / С.М. Кулаков, С.В. Вережкин // Изв. вузов. Черная металлургия. - 2002. - № 4. - С. 38 - 43.
12. Управление ГПС: модели и алгоритмы. Под общ. ред. С. В. Емельянова. - М.: Машиностроение, 1987. - 368 с.
13. Цуканов М. А., Боева Л.М. Моделирование технологической координации оборудования сталеплавильного цеха на основе аппарата вложенных сетей Петри. Воронеж - «Электротехнические комплексы и системы управления», 2010г., № 2(18), с. 51-54.

Старооскольский технологический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (СТИ НИТУ МИСиС) им. А.А. Угарова

CONTACT SCHEDULE DESIGNING OF COMPLICATED STRUCTURE DISCRETE-CONTINUOUS MANUFACTURE WITH USING THE IMMUNE ALGORITHM

M.A. Tsukanov, L.M. Boeva

The article discusses possibility of electrosteel-smelting manufacture operation control and technological coordination by using the multi-agents technologies and methods of artificial intelligence

Key words: intelligence agents, Buslenko units, Petri networks, immune algorithm