

УДК 658:62.001.57

О.В. МАЛЕЕВА, К.О. ЗАПАДНЯ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Предлагается метод оценки множества вариантов транспортного обслуживания в распределенных технологических комплексах, основанный на комбинаторике и теории перечисления Пойа и Де Брейна. Получены аналитические выражения для подсчета вариантов. Результаты работы можно использовать для построения структуры транспортной системы и выбора рациональной схемы управления транспортом.

транспортная система, транспортное обслуживание, рациональный технологический комплекс

Введение

Транспортная система (ТС) в распределенных технологических комплексах (РТК) является одним из основных элементов, от которого зависят основные показатели эффективности РТК. С помощью ТС обеспечивается своевременная доставка сырья, материалов, инструмента, деталей и т.д. Поэтому на ранних стадиях создания РТК большое внимание уделяется системному анализу транспортного обслуживания (ТО), обоснованию системы управления и диспетчеризации ТС.

Существующие подходы не в полной мере учитывают множественность ТО, не проводится количественный анализ возможных решений организации ТС для оценки гибкости и выбора рациональной схемы ТО.

1. Постановка задачи

В работе проводится системный анализ структурных решений ТС для РТК на основе комбинаторных методов и теории перечисления [1 – 5].

2. Метод решения

Для сложных РТК, состоящих из связанных в пространстве и во времени производств (нефтедобыча, переработка, транспортировка) организуется

многопоточное ТО. Транспортные потоки могут быть реализованы в виде одноименклатурного или многоименклатурного обслуживания. В первом случае ТС представляет собой транспортную магистраль, перестраиваемую при переходе на новый тип ТО. Во втором случае в РТК присутствует одновременно несколько транспортных потоков. В общем случае, в составе РТК присутствуют как специализированные производственные модули (ПМ), так и универсальные.

А. Комбинаторно-групповые свойства ТО описываются в виде композиции групп [1]:

$$H_y = S_L[E_m],$$

где m – число основных производственных операций в отдельно взятом транспортном маршруте ТО; L – количество транспортных потоков в РТК.

Используя результат де Брейна [1] и учитывая свойства единичной группы E_m и симметрической группы S_L , для циклового индекса композиции групп получим

$$Z[S_L[E_m], X_1, X_2, \dots] = Z[S_L, X_1^m, X_2^m, \dots]. \quad (1)$$

Определим количество возможных вариантов закрепления производственных модулей в ТО для нижеперечисленных случаев:

Все ПМ универсальны. Число их может изменяться: $K = 1, 2, \dots, m \cdot l$, где $m \cdot l$ – максимально возможное количество ПМ. Так как в данном случае рассматривается одноименклатурная обработка, то

модули можно закреплять за одной или несколькими операциями любого транспортного потока. Используя (1), получим число вариантов

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{K!} \sum_{h \in S_K} Z[S_L; \dots, (\sum_{j/i} j_n C_{j_n})^m, \dots]. \quad (2)$$

2. При наличии типов ПМ и с учетом (2)

$$K_{\Sigma} = \prod_{j=1}^r \frac{1}{e_j!} \sum_{h \in S_{e_j}} Z \left[S_L, \dots, \left(\sum_{P/j} P_{h_j} C_{P_{h_j}} \right)^{m_j}, \dots \right], \quad (3)$$

где r – число типов ПМ; e_j – количество ПМ j -го типа.

3. Если задано количество модулей, входящих в РТК, то с учетом (2), получим

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{K!} \sum_{h \in S_K} Z \left[S_L, \dots, \left(\sum_{j/i} j_h C_{P_{j_h}} \right)^m, \dots \right] - \frac{1}{(K-1)!} \sum_{h \in S_{(K-1)}} Z \left[S_L, \dots, \left(\sum_{j/i} j_h C_{P_{j_h}} \right)^m, \dots \right]. \quad (4)$$

4. Для случая, когда известны и количество ПМ, и их типы, используя (3) и (4), получим

$$K_{\Sigma} = \prod_{j=1}^r \left[\frac{1}{e_j!} \sum_{h \in S_{e_j}} Z \left[S_L, \dots, \left(\sum_{P/j} P_{h_j} C_{P_{h_j}} \right)^{m_j}, \dots \right] - \frac{1}{(e_j-1)!} \sum_{h \in S_{(e_j-1)}} Z \left[S_L, \dots, \left(\sum_{P/j} P_{h_j} C_{P_{h_j}} \right)^{m_j}, \dots \right] \right]. \quad (5)$$

Б. За каждым транспортным потоком закрепляются свои ПМ, причем их нельзя использовать в других потоках. В этом случае любой поток с закреплением модулей для ТО можно рассматривать независимо от других потоков. Общее число возможных вариантов закреплений с учетом всех потоков равно

$$K_{\Sigma} = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_L = \prod_{P=1}^L K_P, \quad (6)$$

где K_P – количество вариантов для P -го потока.

1. Для универсальных модулей (универсальность только для «своего» потока) при $K = \overline{1, m_P}$ и с учетом (6), получим

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{K_1!} \sum_{h_1 \in S_{K_1}} C_{1_{h_1}}^{m_1} \cdot \frac{1}{K_2!} \sum_{h_2 \in S_{K_2}} C_{1_{h_2}}^{m_2} \cdot \dots \cdot \frac{1}{K_L!} \sum_{h_L \in S_{K_L}} C_{1_{h_L}}^{m_L} =$$

$$= \prod_{P=1}^L \frac{1}{K_P!} \sum_{h_P \in S_{K_P}} C_{1_{h_P}}^{m_P}, \quad (7)$$

где m_P – число обслуживаемых производственных операций P -го потока.

2. При наличии типов ПМ, используя (3) и (7), получим

$$K_{\Sigma} = \prod_{P=1}^L \prod_{j_P=1}^{r_P} \frac{1}{e_{j_P}!} \sum_{h_{j_P} \in S_{e_{j_P}}} C_{1_{h_{j_P}}}^{m_{j_P}}, \quad (8)$$

где r_P – число типов модулей для P -го потока; e_{j_P} – количество ПМ j -го типа для P -го потока; $e_{j_P} = \overline{1, m_{j_P}}$; m_{j_P} – число операций в отдельном маршруте P -го потока, реализуемых j -м типом ПМ.

3. В случае, когда задано число модулей для каждого транспортного потока, используя (4) и (7), получим

$$K_{\Sigma} = \prod_{P=1}^L \left[\frac{1}{K_P!} \sum_{h_P \in S_{K_P}} C_{1_{K_P}}^{m_P} - \frac{1}{(K_P-1)!} \sum_{h_P \in S_{K_P}} C_{1_{K_P}}^{m_P} \right]. \quad (9)$$

4. Если известны и число модулей и их типы для каждого потока, то используя (8) и (9), получим

$$K_{\Sigma} = \prod_{P=1}^L \prod_{j_P=1}^{r_P} \left[\frac{1}{e_{j_P}!} \sum_{h_{j_P} \in S_{e_{j_P}}} C_{1_{K_{j_P}}}^{m_{j_P}} - \frac{1}{(K_{j_P}-1)!} \sum_{h_{j_P} \in S_{(e_{j_P}-1)}} C_{1_{K_{j_P}}}^{m_{j_P}} \right]. \quad (10)$$

В. В этом случае в состав РТК входят модули, которые могут быть использованы в качестве универсальных для всех транспортных потоков, а также модули, специализированные на конкретные потоки. Тогда с учетом закрепления за транспортным потоком как универсальных, так и специализированных модулей

$$m = \sum_{S=1}^q n_S + \sum_{P=1}^l m_P,$$

где n_S – число производственных операций, которые могут быть реализованы S -й группой универсальных модулей на всех потоках; m_P – количество операций P -го потока, реализуемых P -й группой специализированных модулей (специализация в смысле ориентации на «свой» поток); m – общее количество производственных операций по всем потокам.

Комбинаторно-групповые свойства для этого варианта описываются следующим образом:

$$H_Y = S_l[E_{h_1}] + S_l[E_{h_2}] + \dots + S_l[E_{h_q}] + E_{m_1} + E_{m_2} + \dots + E_{m_q}. \quad (11)$$

1. Рассмотрим случай универсальных ПМ. Используя (2), (7) и (11), получим

$$\begin{aligned} K_\Sigma &= \frac{1}{K_1!} \sum_{h_1 \in S_{K_1}} Z \left[S_l, \dots, \left(\sum_{P/i} p C_{P_{h_1}} \right)^{n_1}, \dots \right] \times \\ &\times \frac{1}{K_2!} \sum_{h_2 \in S_{K_2}} Z \left[S_l, \dots, \left(\sum_{P/i} p C_{P_{h_2}} \right)^{n_2}, \dots \right] \times \dots \\ &\dots \times \frac{1}{K_q!} \sum_{h_q \in S_{K_q}} Z \left[S_l, \dots, \left(\sum_{P/i} p C_{P_{h_q}} \right)^{n_q}, \dots \right] \times \\ &\times \frac{1}{r_1!} \sum_{h_1 \in S_1} C_{1_{h_1}}^{m_1} \cdot \frac{1}{r_2!} \sum_{h_2 \in S_2} C_{1_{h_2}}^{m_2} \dots \frac{1}{r_l!} \sum_{h_l \in S_l} C_{1_{h_l}}^{m_l} = \\ &= \prod_{p=1}^l \frac{1}{r_p!} \sum_{h_p \in S_{r_p}} C_{1_{h_p}}^{m_p}, \end{aligned} \quad (12)$$

где K_S – число модулей в S -й группе для транспортного обслуживания n_S -х операций; r_p – количество модулей в P -й группе для транспортного обслуживания m_p -х операций.

2. При наличии различных типов ПМ, используя (3) и (8), получим

$$\begin{aligned} K_\Sigma &= \prod_{i_1=1}^{r_1} \frac{1}{e_{j_1}!} \sum_{h_1 \in S_{e_{j_1}}} Z \left[S_l, \dots, \left(\sum_{P/i} p C_{h_{j_1}} \right)^{n_{j_1}}, \dots \right] \times \\ &\times \prod_{i_2=1}^{r_2} \frac{1}{e_{j_2}!} \sum_{h_2 \in S_{e_{j_2}}} Z \left[S_l, \dots, \left(\sum_{P/i} p C_{h_{j_2}} \right)^{n_{j_2}}, \dots \right] \times \dots \\ &\dots \times \prod_{i_q=1}^{r_q} \frac{1}{e_{j_q}!} \sum_{h_q \in S_{e_{j_q}}} Z \left[S_l, \dots, \left(\sum_{P/i} p C_{h_{j_q}} \right)^{n_{j_q}}, \dots \right] \times \\ &\times \prod_{i_1=1}^{a_1} \frac{1}{q_{i_1}!} \sum_{h_{i_1} \in S_{q_{i_1}}} C_{1_{h_{i_1}}}^{m_{i_1}} \cdot \prod_{i_2=1}^{a_2} \frac{1}{q_{i_2}!} \sum_{h_{i_2} \in S_{q_{i_2}}} C_{1_{h_{i_2}}}^{m_{i_2}} \dots \prod_{i_l=1}^{a_l} \frac{1}{q_{i_l}!} \sum_{h_{i_l} \in S_{q_{i_l}}} C_{1_{h_{i_l}}}^{m_{i_l}} = \\ &= \prod_{S=1}^q \prod_{j_s=1}^{r_s} \frac{1}{e_{j_s}!} \sum_{h_s \in S_{j_s}} Z \left[S_l, \dots, \left(\sum_{P/i} p C_{h_{j_s}} \right)^{n_{j_s}}, \dots \right] \times \\ &\times \prod_{P=1}^l \prod_{i_p=1}^{a_p} \frac{1}{q_{i_p}!} \sum_{h_{i_p} \in S_{q_{i_p}}} C_{1_{h_{i_p}}}^{m_{i_p}}. \end{aligned} \quad (13)$$

3. Если задано количество модулей, то используя (12), получим

$$K_\Sigma = \prod_{S=1}^q \left\{ \frac{1}{K_S!} \sum_{h_S \in S_{K_S}} Z \left[S_l, \dots, \left(\sum_{P/i} p C_{P_{K_S}} \right)^{n_{j_1}}, \dots \right] - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{(K_S - 1)!} \sum_{h_S \in S_{(K_S - 1)}} Z \left[S_l, \dots, \left(\sum_{P/i} p C_{P_{K_S}} \right)^{n_{j_1}}, \dots \right] \right\} \times \\ \times \prod_{P=1}^l \left(\frac{1}{r_p!} \sum_{h_p \in S_{r_p}} C_{1_{K_p}}^{m_p} - \frac{1}{(r_p - 1)!} \sum_{h_p \in S_{(r_p - 1)}} C_{1_{K_p}}^{m_p} \right). \quad (14)$$

4. Если задано и количество ПМ и их типы, то с учетом (13) и (14), получим

$$\begin{aligned} K_\Sigma &= \prod_{S=1}^q \prod_{j_s=1}^{r_p} \left\{ \frac{1}{e_{j_s}!} \sum_{h_{j_s} \in S_{e_{j_s}}} Z \left[S_l, \dots, \left(\sum_{P/i} p C_{P_{K_{j_s}}} \right)^{n_{j_1}}, \dots \right] - \right. \\ &\left. - \frac{1}{(e_{j_s} - 1)!} \sum_{h_{j_s} \in S_{(e_{j_s} - 1)}} Z \left[S_l, \dots, \left(\sum_{P/i} p C_{P_{K_{j_s}}} \right)^{n_{j_s}}, \dots \right] \right\} \times \\ &\times \prod_{P=1}^l \prod_{i_p=1}^{a_p} \left(\frac{1}{q_{i_p}!} \sum_{h_{i_p} \in S_{q_{i_p}}} C_{1_{K_{i_p}}}^{m_{i_p}} - \frac{1}{(q_{i_p} - 1)!} \sum_{h_{i_p} \in S_{(q_{i_p} - 1)}} C_{1_{K_{i_p}}}^{m_{i_p}} \right). \end{aligned} \quad (15)$$

Выводы

Предложенный подход позволяет обосновать структуру транспортной системы и выбрать рациональную схему управления транспортным обслуживанием в распределенных технологических комплексах.

Литература

1. Де Брейн Н. Обзор обобщенной перечислительной теории Пойа // Перечислительные задачи комбинаторного анализа. – М.: Мир. – 1979. – С. 229 – 256.
2. Пойа Д. Комбинаторные вычисления для групп, графов и химических соединений // Перечислительные задачи комбинаторного анализа. – М.: Мир. – 1979. – С. 36 – 139.
3. Рейнголц Э., Нивергельт Б., Доон Н. Комбинаторные алгоритмы, теории и практика. – М.: Мир, 1980. – 476 с.
4. Харрари Ф. Теория графов. – М.: Мир, 1973. – 300 с.

Поступила в редакцию 15.07.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.