УДК 004

В.П. КВАСНІКОВ, Л.О. БАБІЧ

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

РОЗПОДІЛЕННЯ ЗАДАЧ В НЕОДНОРІДНІЙ ГРУПІ РОБОТІВ В ПРОЦЕСІ КОЛЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

Розглянуто задачу розподілення завдань з перериваннями в неоднорідній групі роботів (роботи можуть відрізнятись функціональними можливостями) в процесі колективного управління. Виконана формалізація процесу розподілення задач серед роботів групи елементами теорії множин. Запропонована математична абстракція робочого середовища групи роботів у вигляді підмножини декартового добутку множини роботів та множини ресурсів. Запропоновані алгоритми розподілу задач між роботами групи з перериваннями, в яких завдання, що виконується роботом може бути призупинене для виконання цим роботом іншого завдання, причому виконання першого завдання може бути передане для виконання іншому роботу.

Ключові слова: *група роботів, колективне управління, розподілення задач, система завдань, робот.*

Вступ

Роботи застосовуються у багатьох галузях науки, техніки та промисловості, в першу чергу там, де застосування людської праці неможливе чи пов’язано з ризиками для життя або здоров’я, наприклад, в зонах радіоактивного чи хімічного забруднення, в умовах бойових дій, під час проведення підводних або космічних досліджень. Однак, зрозуміло, що одиночний робот, яким би інтелектуальним він не був, може застосовуватися лише для рішення деяких поодиноких задач або виконання досить простих операцій, оскільки він, як правило, має порівняно невеликі ресурси для виконання поставленої задачі:

– малий радіус дії, обмежений бортовим енергоресурсом;

– невелика кількість функціональних можливостей;

– обмежений набір виконавчих пристроїв;

– вкрай низька ймовірність виконання поставленої задачі в екстремальних ситуаціях, оскільки відсутнє будь-яке резервування, тобто вихід з ладу поодинокого робота беззаперечно унеможливить виконання поставленого завдання.

Очевидним вирішенням вказаних вище проблем є застосування одразу декількох роботів, тобто груп роботів. Це дає можливість вирішення таких складних завдань, як наприклад, масштабне дослідження поверхонь інших планет, будівництво складних конструкцій в космосі та в зонах радіоактивного ураження, участь в бойових та розвідувальних операціях, рятувальних операціях та гасінні пожеж. При цьому виникають нові проблеми групового управління, комунікації та алокацій завдань, зв'язаних з організацією групової взаємодії роботів.

Аналіз досліджень та публікацій. Рішенням проблеми колективного управління групою роботів займалися такі відомі вчені як: С.Г. Капустян, А.В. Тимофієв, К. Лєрман, М. Дж. Матарик, Дж. Мак Луркін, Д. Ямінс, С. Ботелло та ін. [1 – 3] Аналізуючи результати досліджень можна зробити висновок що на сьогодні не існує будь якого узагальненого підходу до розподілення задач в процесі колективного управління групою роботів. Крім того, більшість дослідницьких проектів приймає виконання завдань в ідеальних умовах за відсутністю зовнішніх сил що збурюють систему. Тому вирішення поставленої задачі є досить актуальним кроком вирішення цілісної проблеми колективного управління групи роботів.

Викладення основного матеріалу

Формально представимо групу роботів наступним чином:

$$GR = (P, R),$$

де $P = \{P_1, \ldots, P_m\}$ – множина роботів; $R = (TR, M)$ – пара, що вміщує в собі типаж $TR = \{TR_1, \ldots, TR_k\}$ та кількісний склад $M = \{m_1, \ldots, m_k\}$ допоміжних ресурсів.

Тобто вважається, що в системі є m_i ідентичних ресурсів типу TR_i, $i = 1, \ldots, k$. Роботи $P_1, \ldots, P_m$ можуть бути ідентичними або функціонально різними.

Завдання – це елементарна одиниця процесу з не специфікованими внутрішніми операціями та відношеннями, але зі специфікованими зовнішніми функціями (відношення до інших завдань, необхідні пристрої, час виконання, вхідні та вихідні дані, ресурси і т.д.).

Процес – це множина завдань, в котрій присутній частковий порядок, що представляє собою внутрішню послідовність окремих завдань в ході їх виконання.

Система завдань:

$$TS = (T, <),$$

де $T = \{T_1, \dots, T_n\}$ – множина завдань; $<$ – частковий порядок на T.

Відношення представляється наступним чином: якщо $T_i < T_j$, то завдання T_i необхідно виконати перед початком виконання завдання T_j.

На частковий порядок $<$ накладається умова ациклічності, відсутність надлишкових зв'язків (транзитивність) та (без втрати загальності) наявність одного входу (без попередників) та одного виходу (без послідовників).

Якщо систему завдань TS реалізувати на $GR = (P, R)$, то з завданнями $T_1, \dots, T_n$ пов'язуються наступні величини:

t_{ij} – час, необхідний для виконання завдання T_i роботом P_j, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, m$;

r_{ij} – число ресурсів TR_j необхідних для виконання завдання T_i, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, k$.

Вважаємо, що $r_{ij} \le m_j$ для $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, k$. Величини t_{ij} і вважаються відомими.

Нехай для виконання завдань TS є GR і визначені t_{ij} і r_{il} для $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, m$, $l = 1, \dots, k$. Порядок призначення роботів та ресурсів із GR для вирішення завдання з системи TS назвемо розподілом TS на GR. Довжиною розподілу вважатимемо час, що проходить від початку виконання TS на GR згідно даного розподілу до повного виконання системи TS. Цю довжину позначимо як $t(S(TS, GR))$.

З системою завдань TS при її вирішенні на даній множині роботів $\{P_1, \dots, P_m\}$ пов'язана матриця (S_{ij}), $1 \le i \le m$, $1 \le j \le n$, в якій S_{ij} – швидкість вирішення завдання T_j роботом P_i. Вважаємо, що $S_{ij} \ge 0$ для кожного i, j, при чому рівність $S_{ij} = 0$ означає, що задача T_j не може бути вирішена роботом P_i.

При вирішенні завдання T_j роботом P_i прийматиметься до уваги скорочення тривалості t_j завдяки швидкодії S_{ij}. Завдання вважатимемо вирішеним, якщо його тривалість буде нульовою.

Розподіли можна поділити на два класи:

– розподіли без переривання, в яких завдання лишається за призначеним роботом до повного вирішення;

– розподіли з перериваннями, в яких завдання, що виконується роботом може бути призупинене для виконання цим роботом іншого завдання, причому виконання першого може бути передане для виконання іншому роботу.

Алгоритм 1.

Вхід: $\tau = t_1 = t_2 = \dots = t_n$, $S_1 \ge S_2 \ge \dots \ge S_n$, m, n.

Вихід: оптимальний розподіл $S(TS, GR)$ з перериваннями.

1. Якщо $m > n$, то $m := n$.

2. Присвоїмо $t := \dfrac{n\tau}{\sum_{i=1}^{m} S_i}$, t – тривалість оптимального розподілу.

3. Якщо $\dfrac{\tau}{S_m} > t$, переходимо до 8.

4. Назначимо завдання T_1 роботу P_1 на інтервалі часу $\left\langle 0, \dfrac{\tau}{S_1} \right\rangle$.

5. Виконуємо крок 6 для $T_2, T_3, \dots, T_n$.

6. Нехай завдання $T_1, \dots, T_{j-1}$ вже назначені роботам $P_1, \dots, P_{i-1}$ в інтервалі $\langle 0, t \rangle$ і роботу P_i в інтервалі $\langle 0, c \rangle$ для деякого $c < t$. Розглядаємо завдання T_j.

Якщо $c + \dfrac{\tau}{S_i} \le t$, то призначаємо завдання T_j роботу P_i в інтервалі $\left\langle c, c + \dfrac{\tau}{S_i} \right\rangle$, інакше призначаємо T_j для P_i в інтервалі $\langle c, t \rangle$ і для P_{i+1} в інтервалі $\left\langle 0, \dfrac{\tau - S_i(t - c)}{S_{i+1}} \right\rangle$.

7. Переходимо до 9.

8. Розділяємо інтервал $\langle 0, t \rangle$ на n однакових інтервалів $I_1, \dots, I_n$. Для $i = 1, 2, \dots, m$ і $j = 1, 2, \dots, n$ призначаємо завдання T_j роботу P_i в інтервалі I_α, де $\alpha = (i + j - 2) \bmod (n) + 1$.

9. Кінець.

Нехай $t_1 = \ldots = t_5 = 6$, $S_i = 2,\ 1,\ 1$ для розподілу в першому випадку, тобто згідно крокам 4 і 6 алгоритму $S_i = 3,\ 2,\ 1$ для розподілу в другому випадку згідно кроку 8.

Алгоритм 2.

Вхід: $t_1 \geq t_2 \geq \ldots \geq t_n$, $S_1 \geq S_2 \geq \ldots \geq S_n$, m, n.

Вихід: оптимальний розподіл $S(TS, GR)$ з перериваннями.

1. Призначимо найшвидших роботів для вирішення найдовших завдань;

якщо для деяких α завдань $T_{j+1}, \ldots, T_{j+\alpha}$, $j + \alpha < m$, $j \geq 0$ справедливо $t_{j+1} = \ldots = t_{j+\alpha}$, то в простому розподілі призначаються всі α роботів $P_{j+1}, \ldots, P_{j+\alpha}$ всім α завданням $T_{j+1}, \ldots, T_{j+\alpha}$, причому кожне з них виконуватиметься при такому призначенні зі швидкістю

$$S = \sum_{i=j+1}^{j+\alpha} \frac{S_i}{\alpha};$$

якщо для деяких α, $T_{j+1}, \ldots, T_{j+\alpha}$ для останніх β роботів $P_{m-\beta+1}, \ldots, P_m$ справедливо $t_{j+1} = \ldots = t_{j+\alpha}$, то призначаються всі β роботів $P_{m-\beta+1}, \ldots, P_m$ всім завданням $T_{j+1}, \ldots, T_{j+\alpha}$, причому кожне з них буде вирішено зі швидкістю

$$S = \sum_{i=m-\beta+1}^{m} \frac{S_i}{\alpha}.$$

2. В кожний момент часу після кроку просунення у відповідності з миттєвим призначенням повинні виконуватись найкоротші завдання або їх частини, а роботи, що звільнилися повинні призначатись більш тривалим завданням або їх частинам у відповідності з кроком 1 (кількість завдань залишається незмінною, змінюється лише їх тривалість).

3. Якщо тривалість всіх завдань зменшено до нуля (TS вирішено), то розподіл $S(TS, GR)$ будується наступним чином:

якщо в простому розподілі робот P_j був призначений в часовому інтервалі $\langle \tau_1, \tau_2 \rangle$ лише задачі T_j, то і для $S(TS, GR)$ задачу T_j призначаємо для робота P_j в інтервалі $\langle \tau_1, \tau_2 \rangle$;

якщо в простому розподілі було α роботів $P_{j+1}, \ldots, P_{j+\alpha}$ в часовому інтервалі $\langle \tau_1, \tau_2 \rangle$ призначені задачам $T_{j+1}, \ldots, T_{j+\alpha}$, то для $S(TS, GR)$ призначаємо задачі ротам в тому ж інтервалі згідно з алгоритмом 1.

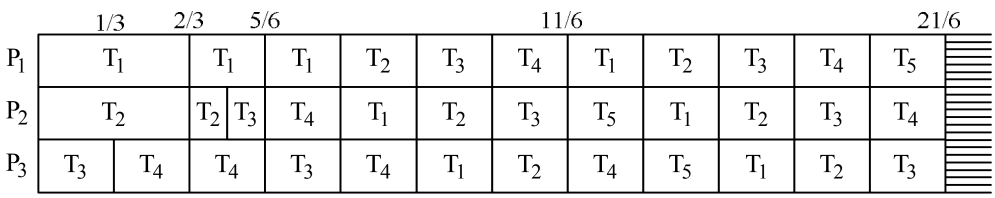

Рис. 1. Розподіл $S(TS, GR)$

В кроці 2 алгоритму 2 необхідно задати ще спосіб визначення моменту часу, коли в простому розкладі і отже в $S(TS, GR)$ необхідно зробити переривання. Нехай для системи завдань з тривалостями $t_1, \ldots, t_n$ (ці тривалості можуть вже бути скороченими відносно вхідних) в простому розподілі в простому розподілі присутній фактичний припис F. Цей припис визначає певні підмножини роботів на підмножини завдань і складається з наступних частин:

$$F = \{F_1, \ldots, F_z\}.$$

Нехай кожне F_j призначає множину потужності β_i з першим роботом P_{j_i} на множині завдань з тривалостями f_i. Нехай ця множина завдань має потужність α_i і нехай f – тривалість першого завдання в TS, котре не призначено жодному роботу. Якщо такою задачі немає, то покладемо $f = 0$. Час $\Delta\tau$, коли діє даний припис визначається за формулою:

$$\Delta\tau = \min\left\{ \min\left\{ x : x = \frac{\alpha_i \alpha_{i+1}\left(f_i - f_{i+1}\right)}{Q_i \alpha_{i+1} - Q_{i+1} \alpha_i} \,\&\, x > 0,\right.\right.$$

$$\left.\left. 1 \leq i \leq k-1 \right\}, \frac{\alpha_k\left(f_k - f\right)}{Q_k} \right\},$$

де $Q_i = \sum_{j - j_i}^{j_i + \beta_i - 1} S_i$ для $i = 1, \ldots, k$.

Таким чином $\Delta\tau$ показує, за який час урівнюються довжини деяких завдань, які вирішуються роботами з різною швидкодією.

Доведення оптимальності даного алгоритму тривіально. Достатньо відзначити, що тривалість оптимального розподілу t_{opt} для даної системи завдань та тривалістю GR дорівнює

$$t_{opt} = \max\left\{ \frac{\sum\limits_{i=1}^{m} t_i}{\sum\limits_{i=1}^{m} S_i}, \frac{t_i}{S_i}, \frac{t_1 + t_2}{S_1 + S_2}, \ldots, \frac{\sum\limits_{i=1}^{m-1} t_i}{\sum\limits_{i=1}^{m-1} S_i} \right\}$$

і що запропонований алгоритм дійсно дає розподіл цієї тривалості.

Нехай $t_i = 6,\ 5,\ 4,\ 4,\ 2$ для $i = 1,\ldots,5$; $< \ = \varnothing$, $S_i = 3,\ 2,\ 1$, $1 \le i \le 3$. Розподіл $S(TS, GR)$ представлено на рис. 1.

Висновки

Результатом дослідження проблеми розподілення задач з перериваннями в неоднорідній групі роботів (роботи можуть відрізнятись функціональними можливостями) в процесі колективного управління та формалізації процесу розподілення задач серед роботів групи елементами теорії множин є алгоритм розподілення задач між роботами групи з перериваннями, в яких завдання, що виконується роботом може бути призупинене для виконання цим роботом іншого завдання. Запропонований алгоритм управління колективною взаємодією роботів можна застосувати при їх груповій взаємодії в процесі рішення складних завдань в екстремальних умовах.

Література

1. *Капустян С.Г. Децентрализованный метод коллективного распределения целей в группе роботов / С.Г. Капустян // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2006. – № 2. – С. 84-91.*

2. *Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы / А.В. Тимофеев. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. – 1988. – 332 с.*

3. *Botelho S. M+ : a scheme for multi-robot cooperation through negotiated task allocation and achievemen / S. Botelho, R. Alami. // In Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'99), May 10-15 [1999]. – Detroit, Michigan, 1999. – P. 1234–1239.*

Надійшла до редакції 10.05.2010

Рецензент: д-р. техн. наук, проф., проф. кафедри електротехніки та автоматики В.В. Древецький, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ В НЕОДНОРОДНОЙ ГРУППЕ РОБОТОВ В ПРОЦЕССЕ КОЛЛЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В.П. Квасников, Л.О. Бабич

Рассмотрена задача распределения задач с прерываниями в неоднородной группе роботов (роботы могут отличаться функциональными возможностями) в процессе коллективного управления. Выполнена формализация процесса распределения задач среди роботов группы элементами теории множеств. Предложенная математическая абстракция рабочей среды группы роботов в виде подмножества декартового произведения множества роботов и множества ресурсов. Предложены алгоритмы распределения задач между роботами группы с прерываниями, в которых задание, которое выполняется роботом, может быть приостановлено для выполнения этим роботом другого задания, причем выполнение первого задания может быть передано для выполнения другому роботу.

Ключевые слова: группа роботов, коллективное управление, распределение задач, система заданий, робот.

DISTRIBUTING OF TASKS IN THE HETEROGENEOUS GROUP OF ROBOTS IN THE PROCESS OF COLLECTIVE CONTROL

V.P. Kvasnikov, L.O. Babich

The problem of tasks distribution with breaking in the heterogeneous group of robots (robots can have different functional possibilities) in the process of collective management is considered. Formalization of process of tasks distribution among the group of robots by the elements of sets theory is executed. Mathematical abstraction of working environment of group of robots is offered as a subset of Cartesian product of set of robots and set of resources. Offered algorithms of distributing the tasks with breaking between robots groups, in which executed a task by a robot can be halted for implementation of other task by this robot, thus the first task processing can be passed for implementation to other robot.

Key words: group of robots, collective management, tasks distribution, tasks system, robot.

Квасников Владимир Павлович –д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой информационных технологий Национального авиационного университета, Киев, Украина, e-mail: kvp@nau.edu.ua.

Бабич Леонид Олегович – аспирант кафедры информационных технологий Национального авиационного университета, Киев, Украина, e-mail: LBabich@espiga.com.ua.