

УДК 681.324:007:681.3.068

О. А. Зінець**МЕТОД ТА ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ
УПРАВЛІННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЗА РОЗПОДІЛОМ ТРУДОВИХ
РЕСУРСІВ**

Розроблено метод розподілу трудових ресурсів між задачами процесу з врахуванням псі-характеристик роботи працівників та рівня їх завантаженості. Запропоновано новий підхід до визначення ефективності роботи працівників із урахуванням псі-фактора. Реалізовано мультиагентну систему управління та контролю за розподілом трудових ресурсів.

Ключові слова: *розподіл трудових ресурсів, ефективність розподілу трудових ресурсів, псі-характеристики роботи, ефективність роботи, навантаженість працівника, агентно-орієнтований підхід, мультиагентна система.*

Актуальність теми

Актуальність теми обумовлена ростом масштабів технологічних процесів та зростанням вимог до своєчасного завершення процесу за рахунок оптимального розподілу ресурсів відповідно до мережного графіка виконання робіт процесу. Задачі розподілу трудових ресурсів відносяться до складних багатоекстремальних задач [1 – 5]. Існує лише невелика кількість окремих випадків задач призначення, для яких запропоновані точні методи вирішення. До таких методів можна віднести угорський метод, який застосовується при розподілі трудових ресурсів між задачами, виконання яких непов'язане між собою у часі. Крім того, угорський метод не враховує навантаженість трудових ресурсів. Сучасні системи управління трудовими ресурсами підтримують функцію призначення та перерозподілу трудових ресурсів з точки зору навантаженості, але вибір, кому з працівників призначити виконання тої чи іншої роботи, все ж таки, лежить на менеджері проекту. А покладатися на інтуїцію та досвід менеджера не завжди можна, особливо, якщо це менеджер-початківець. Тому постає проблема пошуку нових методів оптимального розподілу трудових ресурсів, які дозволять зменшити час виконання процесу за рахунок підвищення ефективності розподілу трудових ресурсів між задачами процесу.

Постановка завдання дослідження

Таким чином, постає задача підвищення ефективності розподілу трудових ресурсів між задачами процесу на основі нової технології розподілу трудових ресурсів відповідно до послідовності виконання робіт процесу з урахуванням псі-характеристик роботи працівника та рівня його навантаження.

Для **розв'язання поставленого завдання** пропонується нова технологія розподілу трудових ресурсів на основі агентно-орієнтованого підходу, що включає в себе:

- новий метод розподілу трудових ресурсів, який на відміну від існуючих, що не враховують псі-характеристики роботи працівника, дозволяє розподіляти ресурси відповідно до мережного графіка та одночасно враховувати псі-характеристики роботи працівника та його навантаження, за рахунок чого підвищується оптимальність розподілу трудових ресурсів;
- новий підхід до оцінювання ефективності роботи розробників програмного забезпечення, який, на відміну від існуючих підходів, дозволяє враховувати такі псі-характеристики роботи працівника як швидкодія, рівень знань, відповідальність та надійність, за рахунок чого підвищується точність оцінювання ефективності

роботи працівника;

- математичну модель взаємодії агентів системи розподілу трудових ресурсів, яка на відміну від відомих моделей, що ґрунтуються на виборі агентом дії відповідно до наявних знань про задачу та оточення, дозволяє при виборі дії агента не лише враховувати знання, а й прогнозувати наслідки дії на загальний розподіл ресурсів, що дає змогу отримати оптимальний розподіл;
- математичну модель системи управління та контролю за розподілом трудових ресурсів, яка на відміну від відомих моделей, які орієнтовані на розподіл матеріальних ресурсів, дозволяє врахувати особливості трудових ресурсів та дає змогу автоматизувати процес контролю та розподілу трудових ресурсів.

Суть нового методу розподілу трудових ресурсів на основі агентно-орієнтованого підходу полягає в наступному: кожна задача і кожний співробітник представляються окремими агентами; для забезпечення взаємодії агентів визначаються цільові функції агентів, послідовність, в якій агенти задач вступають у переговори, тип взаємодії.

У залежності від мережного графіка виконання робіт процесу формується послідовність, в якій агенти задач вступають у переговори. Ця послідовність визначається як впорядкована множина m підмножин агентів V_1 і V_k таких, де всі роботи, агенти яких належать цій підмножині, можуть виконуватись лише після завершення всіх робіт, агенти яких належать підмножині з меншим номером.

$$V_k = \{A_{T_i} \in I / P_{A_{T_i}}^I \subseteq \bigcup_{j=1}^{k-1} V_j\} \setminus \bigcup_{j=1}^{k-1} V_j, \quad k = \overline{2, m}, \quad (1)$$

де A_{T_i} – агент операції (роботи) T_i процесу; $P_{T_i}^I$ – множина агентів, операції яких безпосередньо передують операції T_i .

Агенти з підмножини V_1 приймають рішення про вибір стратегії, передбачаючи реакцію агентів, що виконують вибір після них. Така взаємодія визначається за рівновагою Неша 1 [6]:

$$\begin{aligned} NE_1(S_i, y_{G_i}) &= \{y_{S_i} \in A_{S_i} / \forall j \in S_i \forall y_i \in A_j f_j(y_{G_i}, y_{S_i}, \psi_i(NE_1(L_i, y_{G_{i+1}}))) \geq \\ &\geq f_j(y_{G_i}, y_{S_i} / y_j, \psi_i(NE_1(L_i, y_{S_i} / y_j, y_{G_i}))\}, \end{aligned} \quad (2)$$

де $y_{G_m} = (y_i)_{i \in G_m} \in A_{G_m} = \prod_{i \in G_m} A_i$ – вектор дій агентів з множини G_m ,

$y_{S_m} = (y_i)_{i \in S_m} \in A_{S_m} = \prod_{i \in S_m} A_i$ – вектор дій агентів з множини S_m , $y_{S_m} | y_i$ – вектор y_{S_m} дій

агентів з множини S_m , в якій дії i -го агента замінено на y_i .

Агенти інших підмножин вибирають свої стратегії поведінки як залежності від майбутнього вибору інших агентів. Така взаємодія визначається за рівновагою Неша 2 [6]:

$$\begin{aligned} NE_2(I \setminus \{i\}, u_i(\cdot)) &= \{y_{I \setminus \{i\}} \in A_{I \setminus \{i\}} / \forall j \in I \setminus \{i\} \forall y_j \in A_j f_j(y_{I \setminus \{i\}}, u_i(y_{I \setminus \{i\}})) \geq \\ &\geq f_j(y_{I \setminus \{i\}} / y_j, u_i(y_{I \setminus \{i\}} / y_j))\}. \end{aligned} \quad (3)$$

У загальному вигляді взаємодія агентів визначається сукупністю множини агентів, множини їхніх допустимих дій та множини цільових функцій.

$$C = (N, \{D_i\}_{i \in N}, \{f_i(\cdot)\}_{i \in N}), \quad (4)$$

де N – множина агентів, $\{D_i\}_{i \in N}$ – множина їхніх допустимих дій, $\{f_i(\cdot)\}_{i \in N}$ – множина

цільових функцій агента.

Цільова функція поведінки агента залежить від середовища, в якому взаємодіють агенти, цільової функції класу агента та вектора дій всіх агентів

$$f_i = f_i(f_{c_a}, \theta, d), \quad (5)$$

де f_{c_a} – цільова функція, що визначається класом агента (f_{T_i} або f_{W_j}), θ – стан середовища,

$d = (d_i, d_{-i}) = (d_1, d_2, \dots, d_n) \in D' = \prod_{j \in N} D_j$ – вектор дій всіх агентів.

Цільова функція класу задач полягає в максимізації ефективності роботи працівника

$$f_{T_i} = \max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \varepsilon_{w_j T_i} X_{ij},$$

за умови

(6)

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1, X_{ij} = [0,1].$$

Цільова функція класу співробітників визначається мінімізацією коефіцієнту навантаження

$$f_{W_j} = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_{\text{навантаженості}_{W_j}} X_{ij},$$

за умови

(7)

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1, X_{ij} = [0,1].$$

Виходячи з раціональності поведінки, кожен агент буде намагатися вибрати найкращу для нього (з точки зору його цільової функції) дію при заданих умовах. Тому принцип прийняття агентом рішення про обрану дію буде полягати у виборі дії, яка принесе йому найбільшу користь у залежності від стану середовища $\theta \in \Omega$ та дій інших агентів [6]:

$$BR_i(\theta, d_{-i}) = \text{Arg} \max_{d_i \in D_i} f_i(\theta, d_i, d_{-i}), \quad i \in N. \quad (8)$$

Для розрахунку ефективності роботи, що використовується в якості цільової функції класу задач запропоновано новий підхід, який, на відміну від існуючих підходів, що ґрунтуються на визначенні ефективності роботи як відношення виконаної роботи за одиницю часу, дозволяє враховувати такі псі-характеристики роботи працівника як швидкодія, рівень знань, відповідальність та надійність, за рахунок чого підвищується точність оцінювання ефективності роботи працівника.

Розробка програмного забезпечення пов'язана з розумовою діяльністю. Тому визначення ефективності роботи як відношення виконаної роботи за одиницю часу не відображає всю складність задачі, кількість знань та зусиль, які пішли на виконання задачі певним робітником. Зрозуміло, що швидкість розв'язання однієї задачі різними співробітниками залежить від досвіду роботи, рівня кваліфікації співробітника, володіння знаннями, що необхідні для вирішення задачі. Крім того, на ефективність роботи також впливають і деякі псі-фактори: швидкодія працівника (залежно від темпераменту людини), схильність до хвороб і т. д. Тому пропонується для визначення ефективності роботи ввести певний коефіцієнт корисності.

Ефективність роботи з врахуванням коефіцієнта корисності буде визначатися як залежність виконаної роботи від часу затраченого на виконання роботи, що залежить від

величини коефіцієнта корисності.

$$\varepsilon_{W_j} = \frac{V_{T_i}}{t_{T_i W_j} k_{\text{корисності}}}, \quad (9)$$

де V_T – повний об'єм роботи, $t_{T_i W_j}$ – тривалість виконання операції працівником, $k_{\text{корисності}}$ – коефіцієнт корисності.

Коефіцієнт корисності являє собою складний коефіцієнт, що залежить від швидкодії роботи, коефіцієнта надійності, коефіцієнта корисності, коефіцієнта обізнаності:

$$k_{\text{корисності}} = S_{W_j} k_{\text{обізнаності}} k_{\text{відповідальності}} k_{\text{надійності}}, \quad (10)$$

де $S_{W_j}(t) = \frac{V_{W_j}}{V_T}$ – коефіцієнт швидкодії працівника,

$k_{\text{обізнаності}} = \frac{X_1 Z_1 k_1 Tech_1 + X_2 Z_2 k_2 Tech_2 + \dots + X_n Z_n k_n Tech_n}{k_1 Tech_1 + k_2 Tech_2 + \dots + k_n Tech_n}$ – коефіцієнт обізнаності,

$k_{\text{відповідальності}} = [0,1]$ – коефіцієнт відповідальності працівника, $k_{\text{надійності}} = \frac{N_{p.d.} - N_{n.d.}}{N_{p.d.}}$ –

коефіцієнт надійності працівника, $N_{p.d.}$ – кількість робочих днів за певний період, $N_{n.d.}$ –

кількість днів, у які працівник W_j був відсутній на роботі, Z_n – коефіцієнт, який вказує як

працівник володіє технологією, $Z_n = [0,1]$, $k_n Tech_n$ – об'єм частини роботи, яку виконують за

допомогою технології $Tech_n$, n – кількість технологій.

Ефективність роботи, визначена за цим підходом, буде більш інформативною, так як вона враховує псі-характеристики роботи працівника. А цільова функція максимізації ефективності виконання роботи з врахуванням псі-характеристик роботи працівника дозволить оптимально розподілити трудові ресурси між задачами процесу.

Використовуючи розроблений метод розподілу трудових ресурсів та підхід до визначення ефективності роботи працівника було розроблено математичну модель розподілу трудових ресурсів, у якій враховується тривалість виконання робіт працівником у залежності від псі-характеристик його роботи та ступінь його завантаженості. Ця математична модель розподілу трудових ресурсів стала основою математичної моделі мультиагентної системи розподілу трудових ресурсів

Знайти мінімум цільової функції

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{T_i W_j} \left| k_{\text{навантаженості}_{W_j}} - k_{\text{opt}} \right| X_{ij}, \quad (11)$$

за умови

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \quad \sum_{j=1}^n X_{ij} = 1,$$

де $X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } j \text{ – працівник виконує } i \text{ – ту задачу;} \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases}$

$t_{T_i W_j} = \frac{V_{T_i}}{8k_{\text{корисності}}}$ – тривалість виконання задачі T_i працівником W_j , яка залежить від псі-

характеристик працівника.

Перед мультиагентною системою контролю та управління за розподілом трудових ресурсів, крім задачі оптимального розподілу ресурсів, ставилось ще завдання забезпечити контроль за розподілом ресурсів. Це завдання лягло в основу визначення цільової функції агента з контролю показників роботи працівників, яку можна представити таким чином:

$$K_n = F < T_q, U, W_{P_k}, N_{\lambda_{P_k}}, A_{\lambda_i}(P_k, t), \varepsilon_{\lambda_i}(P_k, t), K_{\lambda_i}, f_{P_k}(t, d_{P_k}) > \rightarrow K_{opt}, \quad (12)$$

де K_n – коефіцієнт критичності працівника, T_q – час повної обробки запиту користувача, U – об'єм потоку даних, W_{P_k} – загальна кількість проектів фірми, $N_{\lambda_{P_k}}$ – кількість працівників, задіяних в проекті P_k , A_{λ_i} – інтенсивність спілкування окремого співробітника λ_i з іншими співробітниками в межах проекту P_k за проміжок часу t , ε_{λ_i} – ефективність роботи кожного співробітника λ_i в межах проекту фірми P_k за проміжок часу t , K_{λ_i} – коефіцієнт корисності співробітника λ_i для фірми, $f_{P_k}(t, d_{P_k})$ – функція бажаності результатів виконання проекту, d_{P_k} – термін, протягом якого необхідно виконати проект P_k , k – номер проекту.

Завдання агента з контролю показників роботи працівників полягає у визначенні найбільш «критичних» працівників, втрата працездатності яких призведе до зростання ймовірності несвочасно виконання проекту. Для таких показників коефіцієнт критичності більший від оптимального його значення.

Розроблені метод розподілу ресурсів на агентій основі, математична модель розподілу ресурсів з врахуванням псі-характеристик та рівня навантаження роботи працівника, псі-орієнтований підхід до визначення ефективності роботи працівника лягли в основу побудови математичної моделі мультиагентної системи управління та контролю за розподілом ресурсів, яку можна представити в наступному вигляді:

$$MAS = (S_{sys}, A_{clas}, C_{agent}, ENV, S_{env}, C_{env}, beh_{sys}, beh_{env}, beh_{agent}), \quad (13)$$

де $S = \{s, s', s'', \dots\}$ – множина всіх можливих станів системи, $A_{clas} = \{A_c, A_T, A_{W_j}\}$ – множина всіх можливих класів агентів системи, $C_{agent} = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ – множина всіх можливих взаємодій між агентами системи, $ENV = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$ – множина всіх можливих середовищ системи, $S_{env} = \{s, s', s'', \dots\}$ – множина всіх можливих станів середовищ системи, C_{env} – множина всіх можливих взаємодій між середовищами, beh_{sys} – функція поведінки системи, beh_{env} – функція поведінки середовища, beh_{agent} – функція поведінки агентів одного класу.

Математична модель агента мультиагентної системи має такий вигляд:

$$agent = (S_a, D_a, K_a, G_a, A, K_{na}, SR_i, SR_r, S_{env}, beh_{env}, beh_{agent}, cons), \quad (14)$$

де S_a – множина станів агента, D_a – множина дій агента, K_a – множина знань агента про себе, G_a – множина цілей агента, A – множина агентів-сусідів, K_{na} – множина знань, отриманих від агентів-сусідів, SR_i – множина знань про ідеальний стан розподілу ресурсів, SR_r – множина знань про реальний стан розподілу ресурсів, S_{env} – множина станів середовища, beh_{env} – функція поведінки середовища, beh_{agent} – функція поведінки агента,

cons – умова досягнення консенсусу.

Отримані результати порівняння розробленого методу з існуючими показали, що угорський метод не дає бажаних результатів розподілу трудових ресурсів. При використанні цього методу, або порушується обмеження на заборону залучення до виконання проекту додаткових ресурсів, або ж значно збільшується термін виконання проекту, що суперечить бажанням замовників. Оцінки часу виконання проекту показали, що використання коефіцієнту корисності при розподілі ресурсів за розробленим методом дозволяє більш точно оцінити тривалість виконання роботи тим чи іншим працівником та обрати найкращий варіант. Це дозволило скоротити запланований час виконання проекту на 11%. Значення середньоденної варіації потреби в ресурсах за розробленим методом становить 1,85. Крім того, розроблений метод дозволяє автоматизувати процес розподілу трудових ресурсів, отриманий розподіл буде оптимальний.

Висновки

У статті розглянуто нову інформаційну технологію розподілу трудових ресурсів, яка дозволила підвищити ефективність розподілу трудових ресурсів між задачами процесу за рахунок використання агентно-орієнтованого підходу та врахування псі-характеристик роботи працівника та рівня його навантаження. За цією технологією побудовано мультиагентну систему управління та контролю розподілу трудових ресурсів. Розроблена система дозволила: процес призначення працівника на виконання тої чи іншої роботи, який виконувався виключно менеджером проекту, довірити інтелектуальним агентам; уникнути повного перебору можливих призначень працівників на виконання тої чи іншої роботи за рахунок забезпечення переговорів між агентами системи; забезпечити оптимальний розподіл трудових ресурсів у відповідності з послідовністю виконання робіт та навантаження працівника роботою одночасно з врахуванням псі-характеристик роботи працівників при оцінці тривалості виконання роботи, що дозволило отримати більш точні робочі графіки та гістограми потреби трудових ресурсів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК). Третье издание. Национальный американский стандарт ANSI/PMI. – США: Project Management Institute, 2004. – 388 с.
2. Роберт Т. Фетрелл, Дональд Ф. Шафер, Линда И. Шафер. Управление программными проектами. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1125 с.
3. Хемди А. Таха. Исследование операций. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 901 с.
4. Баркалов П. С., Буркова И. В., Глаголев А. В., Колпачев В. Н. Задачи распределения ресурсов в управлении проектами. – М.: ИПУ РАН (научное издание), 2002. – 63 с.
5. Войцех Е. А. Применение методов сетевого планирования при разработке класса агентов мультиагентной системы управления и контроля распределения трудовых ресурсов // Вестник Херсонского национального технического университета № 1 (24). – 2006. – Херсон. – 135 – 138 с.
6. Новиков Д. А. Сетевые структуры и организационные системы. – М.: ИПУ РАН (научное издание), 2003. – 102 с.

Зінець Олена Анатоліївна – аспірант кафедри інформаційного менеджменту, E.A.Zinets@mail.ru

Вінницький національний технічний університет.