УДК 681.5

В. А. Савченко
Інститут авіаційно-космічних досліджень ім. І.І. Сікорського
Повітрофлотський проспект, 32-Б, 03186 Київ, Україна

Модель багаторівневої системи підтримки прийняття рішень реального часу на основі інтелектуальної інтеграції

Запропоновано ключові елементи моделі багаторівневої системи підтримки прийняття рішень реального часу для органів оперативного управління на основі застосування концепції інтелектуальної інтеграції.

Ключові слова: *система підтримки прийняття рішень, інтелектуальна інтеграція, інтелектуальний компонент.*

Вступ

Розробка систем підтримки прийняття рішень, які функціонують у реальному часі (СППР РЧ) завжди була актуальним завданням у сфері автоматизації управлінської діяльності людини. Аналізуючи досвід практичного застосування засобів автоматизованого управління, інформаційних та інформаційно-аналітичних систем у системах оперативного управління на фоні всезростаючих обсягів інформації, що необхідна для прийняття рішень, значної ваги рішень і прямої залежності результатів дій оперативних служб від рішень, які приймаються, можна зробити висновок про наявність практичної потреби щодо створення та застосування засобів автоматизації на основі використання елементів штучного інтелекту та інженерії знань.

Така практична проблема може бути вирішена декількома шляхами. По-перше, — це впровадження до архітектури існуючих систем проміжних апаратних і програмних елементів, які б об'єднували розрізнені мережі до одного обчислювального середовища, таким чином реалізуючи схему мереженої взаємодії з інтелектуальними компонентами. По-друге, — це розробка (використання) нового інтегрованого апаратного та програмного забезпечення, яке б замінило собою існуючі традиційні автоматизовані системи на якісно нові інтелектуальні системи управління.

У будь-якому випадку залишаються невирішеними питання концепцій, теоретичних положень, моделей і методів побудови програмного забезпечення, а також

© В. А. Савченко

наділення зазначених систем інтелектуальними властивостями, характерними для всіх сучасних систем управління.

Аналіз публікацій

У загальному вигляді теоретична проблема побудови СППР реального часу може бути сформульована як проблема інформаційної та інтелектуальної інтеграції, дослідженню якої присвячено велику кількість робіт вітчизняних і зарубіжних учених [1–9]. Причому теорія інформаційної інтеграції, метою якої є опис закономірностей у процесах передачі та прийому повідомлень у деякій системі управління, вже є достатньо опрацьованою. Питання дослідження й розробки моделей і методів інтелектуальної інтеграції у корпоративних СППР на даний час знаходиться у стадії формування концептуальних установок і постановки завдань, а для СППР РЧ, до яких висуваються більш жорсткі вимоги щодо оперативності роботи, такі питання на сьогоднішній день не розглядалися.

Слід також зазначити, що відомі підходи та методи інформаційної інтеграції в СППР не забезпечують підвищення їхнього інтелектуального рівня. Не дивлячись на низку важливих робіт у сфері побудови інтегрованих інтелектуальних систем Т.А. Гаврилової [5], Б.М. Герасимова [1, 2], В.Ф. Горнєва, А.В. Колесникова, Е.В. Попова, Г.В. Рибіної, В.Ф. Хорошевського [5, 9], А.І. Ерліха [8] та ін., проблема створення загальної методології проектування даного класу систем повністю не вирішена. Вимагають подальшого дослідження і розробки такі питання як:

— створення методології розробки СППР РЧ, як інтелектуальної системи, яка охоплює всі етапи аналізу, проектування і реалізації багатокомпонентних додатків;

— реалізації мовних і інструментальних засобів (універсальних і проблемно-орієнтованих), які підтримують повний життєвий цикл розробки СППР РЧ;

— розробка узагальнюючих формалізмів для різних класів моделей і методів підтримки прийняття рішень на цих моделях;

— створення методів і процедур автоматизованого придбання знань з урахуванням особливостей СППР РЧ;

— розробка проблем верифікації баз знань і методів логічного виводу в різній архітектурі інтегрованих систем.

Тому, **метою** даної статті є розробка моделі багаторівневої системи підтримки прийняття рішень реального часу на основі концепції інтелектуальної інтеграції та визначення шляхів її вирішення.

Загальні положення моделі

Для формалізації поставленого наукового завдання введемо наступні позначення:

$$CS = \left(Op, Ap, Prog, R_{com}, R_{\inf}, Z, Pr, Q(Z), C(Z)\right), \tag{1}$$

де *CS* — система підтримки прийняття рішень реального часу, як розподілена інформаційна система, зокрема на мобільних платформах;

Op — множина операторів (осіб, які приймають рішення);

Ap — множина технічних засобів інформатизації (апаратна платформа системи), які різняться між собою показниками продуктивності щодо виконання завдань управління;

Prog — множина програмних засобів СППР РЧ, яка може включати як різнорідні операційні середовища, так і прикладні програми, зокрема редактори геоінформаційних систем, систем управління базами даних, офісні додатки та ін.;

R_{com} — мережа зв'язку (множина фізичних каналів зв'язку між елементами апаратної платформи), яка включає всі доступні канали передачі даних і характеризується певною пропускною здатністю каналу;

R_{inf} — множина інформаційних зв'язків у системі, яка являє собою множину пар елементів системи, між якими здійснюється інформаційний обмін, тобто передавання та прийом пакетів повідомлень;

Z — множина завдань, які виконує система;

Pr — множина процесів, які протікають у системі;

Q(*Z*) — множина показників якості виконання завдань;

C(*Z*) — множина показників витратності роботи СППР РЧ.

Аналізуючи зв'язки між складовими (1), можна показати, що робота системи може бути подана у вигляді відображення

$$Op \times Ap \times Prog \times R_{com} \times R_{inf} \times Z \to Pr\,, \tag{2}$$

де × — декартовий добуток множин.

У загальному випадку завдання побудови СППР РЧ є складним і багатоаспектним. Для таких систем досить важко побудувати обґрунтований функціонал корисності, тому необхідні умови досягнення властивостей взаємодії (властивостей цілісності) інформаційної системи необхідно сформулювати за певних обмежень.

Однією з основних вимог, які висуваються до роботи засобів автоматизації управління у реальному часі є вимога щодо оперативності вирішення визначених завдань, тобто час протікання процесів управління *T*(*Pr*) повинен бути мінімальним при дотриманні вимог щодо збереження необхідної кількості завдань *Z* та якості їхнього виконання *Q*(*Z*).

Тобто, необхідно встановити:

$$T(Pr) \to \min, \text{ при } Z \in Z^*,\ Q(Z) \geq Q^*(Z),\ C(Z) \leq C^*(Z), \tag{3}$$

де *Z**, *Q**(*Z*), *C**(*Z*) — деякі граничні показники, встановлені користувачем системи.

Розглядаючи систему (1)–(3) за складовими, можна побачити, що оперативність процесів управління можна покращити шляхом зміни параметрів кожної окремої складової системи.

Так, можна збільшити швидкість роботи оператора *Op* у системі. Проте, таке підвищення швидкості не може бути нескінченним, оскільки обмежується фізико-психологічними можливостями людини і, в цілому, вимагає значних фінансових і часових витрат на перенавчання особового складу, тобто $T(Op)\downarrow \sim C(Z)\uparrow$.

Іншим напрямком підвищення оперативності є зміна параметрів апаратного забезпечення *Ap*, тобто заміна застарілих обчислювальних засобів більш новими і продуктивними. Проте такий шлях напряму збільшує вартість системи і, у більшості випадків, не може бути реалізованим через необхідність одночасної заміни обладнання всіх елементів системи.

Оновлення програмного забезпечення *Prog*, включаючи впровадження засобів штучного інтелекту, вбачається найбільш ефективним засобом підвищення оперативності, проте, у більшості випадків потребує попередньої зміни апаратних платформ *Ap*. Кожне нове покоління програм потребує більшої кількості обчислювальних ресурсів.

Оскільки *CS* є мереженою системою, то оперативність її роботи залежить від параметрів системи зв'язку R_{com} та передачі даних R_{inf}. Удосконалення системи через параметр R_{com} дійсно призводить до підвищення оперативності, проте, як і у попередніх випадках, потребує фінансових витрат на удосконалення мережі. Більш перспективним вбачається напрямок, який полягає в якісній зміні процесів інформаційного обміну R_{inf}, що включає застосування засобів семантичної (інтелектуалізованої) обробки інформації для зменшення її кількості без суттєвої втрати змісту.

З цього короткого аналізу можна зробити висновок про те, що далеко не всі напрямки побудови СППР РЧ можуть привести до суттєвого підвищення оперативності управління без значних фінансових витрат, тому загальну ідею побудови СППР РЧ доцільно будувати на комплексному поєднанні напрямків, поклавши в основу інтелектуалізацію програмного забезпечення та процесів інформаційного обміну. Такий шлях є найбільш ефективним з точки зору підвищення оперативності системи і достатньо повно інтегрується з іншими напрямками удосконалення.

Отже, у формалізованій постановці завдання підвищення оперативності СППР РЧ може бути визначено як завдання удосконалення програмних засобів *Prog* та процесів інформаційного обміну R_{inf} у системі (1), які би призводили до зменшення часу вирішення завдань СППР РЧ

$$CS = \arg\min T(CS) \tag{4}$$

при обмеженнях

$$Op \in Op^*,\ Ap \in Ap^*,\ R_{com} \in R_{com}^*,\ Z \in Z^*,\ Q(Z) \geq Q^*(Z),\ C(Z) \leq C^*(Z), \tag{5}$$

де *CS* — СППР РЧ, визначена як (1); Op^*, Ap^*, R_{com}^*, Z^* — деякі зафіксовані множини, які описують фізичну сутність запропонованого проекту СППР РЧ; $Q^*(Z)$, $C^*(Z)$ — вимоги замовника до СППР РЧ.

Методологічні основи побудови СППР РЧ являють собою сукупність методичних підходів математичних моделей, методів і методик, що дозволяють реалізувати принципи побудови зазначеної системи.

Стратегічний план побудови такої СППР РЧ полягає в розробці відповідної структурно-логічної моделі, в якій кожній особі, що приймає рішення (ОПР) буде надано відповідне програмне забезпечення, яке полегшуватиме процес прийняття

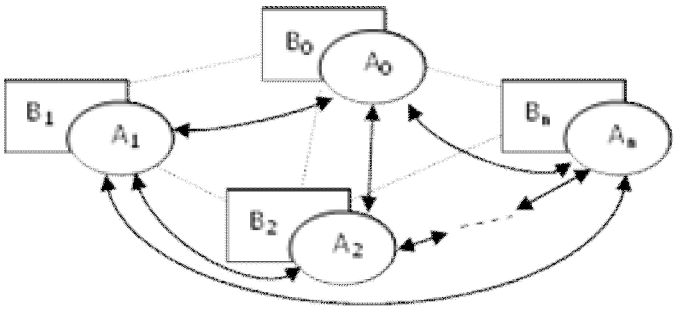
рішення з визначеного переліку завдань, з тим щоб забезпечити потенційний запас працездатності ОПР. Зазначені програми СППР РЧ а також процедури їхньої взаємодії у розподіленому середовищі системи повинні володіти певним рівнем інтелекту, достатнім для підтримки інтелектуальної взаємодії у системі.

Як інтелектуальні компоненти для інформаційних систем дедалі ширше використовуються інтелектуальні агенти [5, 9, 10].

Інтелектуальний агент (ІА) — це програмний або апаратний об'єкт, що автономно функціонує для досягнення цілей, поставлених перед ним власником або користувачем, володіє певними інтелектуальними здібностями.

Такі агенти повинні забезпечувати численні складні реакції на події та виникаючі ситуації, які існують в інформаційному просторі, накопичувати дані про минулі події та ситуації, володіти здатністю до одержання знань і модифікації моделей оточуючого середовища. Створення такого агента потребує врахування великої кількості факторів, що притаманні конкретній предметній області й тому не може бути віднесене до розряду тривіальних задач.

На рисунку для прикладу показана дворівнева мультиагентна СППР реального часу, яка включає рівень керівництва (B_0 — керівник та A_0 — його агент), а також рівень безпосередніх виконавців ($B_1...B_n$) та їхніх агентів ($A_1...A_n$)



Мультиагентна система управління: $B_0...B_n$ — виконавці; $A_0...A_n$ — агенти

Модель інтелектуального агента

На підставі аналізу характеристик і недоліків відомих моделей ІА [4, 5, 9, 10], пропонується визначати ІА як структуру вигляду

$$IA = <N_{IA}, S_A, V_{IA}, M_{VB}, V_O>, \quad (6)$$

де N_{IA} — ім'я інтелектуального агента; S_A — структура атрибутів ІА; $V_{IA} = \{IA\}$ — множина вкладених ІА; M_{VB} — механізм вибору поведінки; $V_O = \{O\}$ — множина інформаційних об'єктів, що реалізовують сценарії поведінки IA.

Інтелектуальний агент на підставі критеріїв вибору поведінки, закладених в M_{VB}, приймає рішення про реалізацію на даний момент часу деякого сценарію поведінки та ініціалізує відповідний інформаційний об'єкт. Обмін цими інформаційними об'єктами, обробка їхніх атрибутів та отримання на їхній основі певних рішень і складають суть інтелектуальної інтеграції для багаторівневої СППР реального часу.

Для формалізації вищевикладеного вважатимемо, що інтелектуальна інтеграція базується на інформаційній взаємодії (передача інформації у формі даних), але при цьому ІА передають і приймають необхідні знання, виражені у формі сукупностей тверджень (теорем) деякої формальної теорії. Для ІА, які приймають участь в інтелектуальній взаємодії, можна встановити: KM_c^{In} — детермінована множина повідомлень знань, що приймаються; KM_v^{In} — недетермінована множина повідомлень знань, що приймаються; KM_c^{Out} — детермінована множина повідомлень знань, що передаються; KM_v^{Out} — недетермінована множина повідомлень знань, що передаються; $KM_{\text{ш}}^{\xi} = \left\{ KM_i \middle| KM_i \left\{ f_j \middle| f_j \in \boldsymbol{FT}_k \right\} \right\}$, де $\boldsymbol{FT}$ — деяка формальна теорія.

Також необхідно визначити матриці показників якості інтелектуального обміну — $\|KQ\| = [kq_{ij}]$, де kq_{ij} — вектор граничних значень показників якості при передачі *i*-го повідомлення знань *j*-м пріоритетом.

Тоді аксіому існування інтелектуальної інтеграції у СППР РЧ можна визначити наступним чином:

$$\boldsymbol{I}_{Int}(CS) \Leftrightarrow \left(\begin{array}{c} \boldsymbol{I}_{Inf}(\text{CS}) \wedge \forall \text{IA}_i \left(\text{IA}_i \in \boldsymbol{IA} \right) \to \exists \left(KM_c^{In} \left(T_c^{In} \right) \wedge KQ_c^{In} \right) \wedge \\ \wedge \left(KM_c^{Out} \left(T_c^{Out} \right) \wedge KQ_c^{Out} \right) \wedge \left(KM_v^{In} \wedge KQ_v^{In} \right) \wedge \\ \wedge \left(KM_v^{Out} \wedge KQ_v^{Out} \right) \wedge \left(Cost\left(\boldsymbol{I}_{Int} \right) \to \min \right) \end{array} \right), \qquad (7)$$

де $\boldsymbol{I}_{Inf}(CS)$ — інформаційна взаємодія між агентами (здатність передавати та приймати повідомлення); $Cost\left(\boldsymbol{I}_{Int}\right)$ — функціонал вартості системи; $T_{\text{ш}}^{\varsigma}$ — час прийому повідомлень.

Для формування методології побудови СППР РЧ необхідно розробити: логічну структуру, що відображає організацію інтелектуальних компонентів і їхню взаємодію з суб'єктами органу управління і об'єктами інформаційної системи; об'єктну структуру, що визначає організацію розподілених об'єктів у системі управління; топологічну структуру, що визначає просторові взаємозв'язки інтелектуальних компонентів і об'єктів у визначеній мереженій архітектурі. Також необхідно сформулювати завдання подальшого дослідження, яке полягає в дослідженні й розробці моделей інтелектуальних агентів СППР РЧ, запропонованих в її концептуальній структурі.

Висновки

Ідея побудови багаторівневої системи підтримки прийняття рішень реального часу базується на сумісному використанні наступних підходів:

— агентної орієнтації, що полягає у переважному використанні як основного компонента множини інтелектуальних агентів, які володіють автономним функці-

онуванням і цілеспрямованою поведінкою;

— ієрархічної інтелектуальної організації компонентів СППР, яка припускає наявність у системі агентів різної інтелектуальної ваги і підпорядкування агентів з меншою вагою агентам з більшою вагою;

— мультиплікативності інтелектуальних агентів у СППР, яка припускає створення для кожної посадової особи системи управління такої кількості агентів, яка необхідна для того, щоб забезпечити необхідний запас продуктивності.

Напрямком подальших досліджень у сфері розробки багаторівневих систем підтримки прийняття рішень реального часу є розробка детальних моделей інформаційних об'єктів та інтелектуальних агентів відповідно до запропонованої загальної моделі системи.

1. *Герасимов Б.М.* Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности / Б.М. Герасимов, М.М. Дивизинюк, И.Ю. Субач. — Севастополь: Изд.центр СНИЯЭиП, 2004. — 320 с.

2. *Интеллектуальные* системы поддержки принятия решений: Теория, синтез, эффективность / Тарасов В.А., Герасимов Б.М., Левин И.А., Корнейчук В.А. — К.: МАКНС, 2007. — 336 с.

3. *Информационно-управляющие* человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытания. Справочник; под общ. ред. А.И. Глубинского и В.Г. Евграфова. — М.: Машиностроение, 1993. — 528 с.

4. *Люгер Д.Ф.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. — 4-е изд.; пер. с англ. — М.: Вильямс, 2003. — 550 с.

5. *Гаврилова Т.А.* Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. — СПб.: Питер, 2000. — 384 с.

6. *Рассел С.* Искусственный интеллект. Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. —М.: Вильямс, 2007. — 386 с.

7. *Тарасов В.Б.* Новые стратегии реорганизации и автоматизации предприятий: на пути к интеллектуальным предприятиям / В.Б. Тарасов // Новости искусственного интеллекта. — 1996. — № 4. — С. 40–84.

8. *Эрлих А.И.* Проблемы моделирования в интеллектуальных системах / А.И. Эрлих // Вести. МГТУ. 1/94. Спец. выпуск «Системы искусственного интеллекта». — М.: МГТУ, 1994. — С. 29–33.

9. *Хорошевский В.Ф.* PIES-технология и инструментарий PIES Work Bench для разработки систем, основанных на знаниях / В.Ф. Хорошевский // Новости искусственного интеллекта. — 1995. — № 2. — С. 65–77.

10. *Швецов А.Н.* Мультиагентные системы: от формальных моделей к промышленным приложениям / А.Н. Швецов. — Вологда: ВГТУ, 2008. — 101 с.

Надійшла до редакції 11.02.2011