

УДК 519.816

Д.М. Обідін

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

МЕТОД НАКОПИЧЕННЯ ВЕРИФІКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИКОНАННІ ВЕРИФІКАЦІЇ В РОЗПОДІЛЕНИХ БАЗАХ ЗНАНЬ

Доведено теорему, яка показує, що для отримання результату верифікації з високою достовірністю необхідно, щоб інформація про результати перевірок накопичувалася тільки в коректних модулях.

Ключові слова: літальний апарат, розподілена база знань, ефективність системи, функціональна стійкість, верифікація.

Вступ

Сучасний літальний апарат (ЛА) – це складний комплекс, який поєднує різноманітні пристрої та системи. Особливістю систем управління ЛА є широке застосування засобів штучного інтелекту на основі розподілених баз знань (РБЗ). Однією з найважливіших проблем є забезпечення функціональної стійкості такої РБЗ, яка полягає у забезпеченні достатньої функціональності бази знань в умовах впливу різноманітних дестабілізуючих чинників. У цьому аспекті найбільш складним є етап виявлення (верифікація) некоректних модулів РБЗ з метою перебудови подальшої роботи системи управління.

Аналіз публікацій. Проблематиці верифікації РБЗ присвячено значну кількість публікацій. Зокрема, в [1] здійснено загальну постановку проблеми верифікації. У [2] розглядаються концептуальні підходи щодо реалізації механізмів верифікації. У [3] пропонуються моделі перевірок цілісності та повноти РБЗ. У [4, 5] розроблено достатньо ефективні алгоритми верифікації різноманітних РБЗ. У [6] розглядається можливість спрощення РБЗ шляхом трансляції їх у матричну форму для подальшої верифікації, при цьому методика перевірок не пропонується.

Результати досліджень у сфері теорії діагностування розподілених обчислювальних систем свідчать, що в більшості випадків немає необхідності застосування жорстких структур (наприклад, як при паралельному діагностуванні [7]). Діагностування можна здійснювати з тією ж достовірністю меншим числом перевірок, чим досягається вигравш у часі діагностування.

Постановка проблеми. При організації процедури верифікації одним з важливих завдань є завдання визначення коректного модуля, на який слід покласти функції аналізу структури і синдрому, тобто виконання алгоритму верифікації.

Мета статті полягає у доведенні теореми, яка буде показувати, що для отримання результату верифікації з високою достовірністю необхідно, щоб інформація про результати перевірок накопичувалася тільки в коректних модулях.

Виклад основного матеріалу

У цьому плані правомірним є доведення наступної теореми.

Теорема. При пересилці верифікаційної інформації згідно способу умовної передачі результатів елементарних перевірок для будь-якої поточної структури справедливо, що один із коректних моду-

лів накопичить більше результатів перевірок, ніж некоректні модулі.

Доведення. Припустимо, що в який-небудь довільний момент часу в розподіленій семантичній системі, що складається з N модулів, відмовили N_2 модулів. До цього моменту часу залишилися коректними N_1 модулів, де $N_1 = N - N_2$. У системі виконується процедура верифікації, в результаті якої виконане M перевірок.

Розіб'ємо множина всіх модулів РБЗ $\{N\}$ на дві підмножини (рис. 1): $\{N_1\}$ – підмножина коректних модулів, $N_1 = |\{N_1\}|$; $\{N_2\}$ – підмножина некоректних модулів, $N_2 = |\{N_2\}|$.

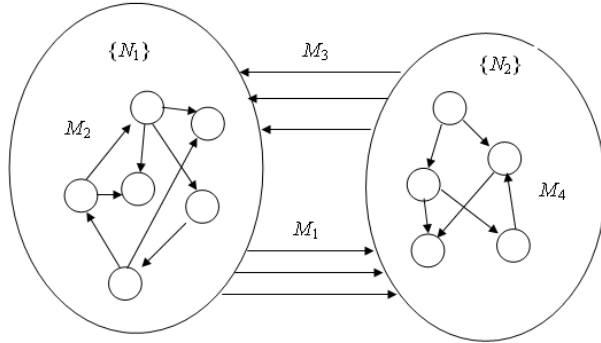


Рис. 1. Розбиття діагностичного графа на дві підмножини модулів: $\{N_1\}$ – коректних; $\{N_2\}$ – некоректних

На рис. 1 позначено:

M_1 – кількість ребер, що виходять з підмножини $\{N_1\}$ і входять в $\{N_2\}$: $e_{ij} = \{v_i, v_j\} \in \{M_1\}$, $v_i \in \{N_1\}$, $v_j \in \{N_2\}$;

M_2 – кількість ребер між модулями підмножини $\{N_1\}$: $E_{ik} = \{v_i, v_k\} \in \{M_2\}$, $v_i \in \{N_1\}$, $v_k \in \{N_1\}$;

M_3 – кількість ребер, що виходять з підмножини $\{N_2\}$ і входять в $\{N_1\}$: $e_{ji} = \{v_j, v_i\} \in \{M_3\}$, $v_i \in \{N_1\}$, $v_j \in \{N_2\}$;

M_4 – кількість ребер, між модулями підмножини $\{N_2\}$: $E_{jl} = \{v_j, v_l\} \in \{M_4\}$, $v_l \in \{N_2\}$, $v_j \in \{N_2\}$.

Оскільки у верифікаційному графі всього M ребер, то очевидно, що підмножини ребер $\{M_i\}$, $i = \overline{1,4}$ є непересічними:

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4.$$

Припустимо, що перевірки рівномірно розподілені між модулями РБЗ.

Тоді $m = M / N$, де m – середня кількість перевірок, виконаних одним модулем, або середня кількість витікаючих ребер однієї вершини верифікаційного графа.

Припустимо, що всі m перевірок, які виконав один з модулів, рівномірно розподілені між рештою $N-1$ модулями. Тоді, коректний модуль v_i , $v_i \in \{N_1\}$ також виконав m перевірок, причому з них $m \cdot (N_1 - 1) / (N - 1)$ перевірів коректних модулів, а $m \cdot N_2 / (N - 1)$ – некоректних. Аналогічно, v_j , де $v_j \in \{N_2\}$, перевірів $m \cdot N_1 / (N - 1)$ коректних і $m \cdot (N_2 - 1) / (N - 1)$ некоректних модулів.

Виходячи з цього, M_i мають наступні значення:

$$\begin{cases} M_1 = mN_1 \frac{N_2}{N-1}; \\ M_2 = mN_1 \frac{N_1-1}{N-1}; \\ M_3 = mN_2 \frac{N_1}{N-1}; \\ M_4 = mN_2 \frac{N_2-1}{N-1}. \end{cases} \quad (1)$$

Розглянемо детальніше один із коректних модулів $v_i \in \{N_1\}$. Цей модуль накопичить в середньому l_i результатів перевірок:

$$l_i = l_1 + l_2 + l_3, \quad (2)$$

де l_1 – кількість перевірок, які виконав модуль v_i ;

l_2 – кількість результатів перевірок, які отримав v_i відповідно до способу умовної передачі після того, як його перевірила решта $N_1 - 1$ коректних модулів з результатом "0";

l_3 – кількість результатів перевірок, які отримав v_i від тих, що перевірили його з результатом "0" некоректних модулів $v_j \in \{N_2\}$.

Виходячи з цього:

$$l_1 = m; \quad l_2 = \frac{M_2}{N_1}; \quad l_3 = \frac{1}{2} \frac{M_3}{N_1}. \quad (3)$$

У виразі для l_3 дріб $1/2$ виражає ймовірність появи нульового результату, якщо перевірка виконана некоректним модулем. Підставивши (1) і (3) в (2), отримуємо кількість результатів, які накопичить коректний модуль v_i :

$$l_i = m + m \frac{N_1 - 1}{N - 1} + m \frac{N_2}{2(N - 1)} = \frac{m}{2(N - 1)} (3N + N_1 - 4). \quad (4)$$

Тепер розглянемо один з некоректних УК $v_j \in \{N_2\}$. Цей модуль перевірів $l_4 = m$ інших модулів, а також отримав l_5 результатів від інших некоректних модулів, що перевірили його з результатом "0".

Оскільки коректні модулі перевірили v_j з результатом "1" то, згідно способу умовної передачі, вони не перешлють йому результати своїх перевірок.

Виходячи з цього:

$$l_j = l_4 + l_5, \quad (5)$$

$$\text{де } l_5 = \frac{1}{2} m \frac{N_2 - 1}{(N - 1)}$$

Таким чином, некоректний модуль v_j накопичить наступну кількість результатів перевірок:

$$l_j = m + m \frac{N_2 - 1}{2(N - 1)} = \frac{m}{2(N - 1)} (2N + N_1 - 3). \quad (6)$$

Тепер для доведення теореми необхідно довести, що $l_i > l_j$ або $\Delta L = l_i - l_j > 0$. Вираз для ΔL запишеться таким чином:

$$\Delta L = l_i - l_j = \frac{m}{2(N - 1)} (N - 1 + N_1 - N_2). \quad (7)$$

З урахуванням того, що $N = N_1 + N_2$, отримуємо:

$$\Delta L = \frac{m}{2(N - 1)} (2N_1 - 1). \quad (8)$$

Аналіз виразу (8) показує, що ΔL може бути менше нуля тільки тоді, коли $N_1=0$. У випадку, якщо в системі є хоч би один коректний модуль, то він накопичить верифікаційної інформації більше, ніж некоректні модулі.

Теорема доведена.

Слід зазначити, що при доведенні теореми використовувалися наступні допущення: рівномірність розподілу перевірок між модулями; рівномірний закон розподілу результатів перевірок ($r_{ij} = 0 \vee 1$), що виконуються некоректними модулями.

Особливий інтерес представляє окремий випадок, коли через нерівномірність закону розподілу результатів перевірок, що виконуються некоректними модулями, коректні модулі отримують інформації менше, а некоректні – більше. Це може відбутися в наступних випадках:

а) набір перевірок $\{M_3\}$ (див. рис. 1) буде виконаний з результатом "1", і некоректні модулі не пересилатимуть в коректні результати перевірок. Ця подія може відбутися з ймовірністю

$$p_1 = 0,5^{M_3};$$

б) набір перевірок $\{M_4\}$ виконаний з результатом "0", що може трапитися з ймовірністю $p_2 = 0,5^{M_4}$.

Внаслідок цього, некоректні модулі накопичать результатів більше, ніж в першому випадку.

Таким чином:

$$I'_i = m + m \frac{N_1 - 1}{N - 1}; \quad I'_j = m + m \frac{N_2 - 1}{N - 1}, \quad (9)$$

де I'_i – кількість результатів перевірок, які накопичаються в одному із коректних модулів $v_i \in \{N_1\}$;

I'_j – кількість результатів перевірок, які накопичаються в одному з некоректних модулів $v_j \in \{N_2\}$.

Порівнюючи різницю, як в першому варіанті, отримаємо:

$$\Delta L' = I'_i - I'_j = \frac{m}{N-1} (N_1 - N_2); \quad (10)$$

Таким чином, величина $\Delta L'$ буде від'ємна (коректні модулі накопичать інформації менше ніж некоректні) тільки у тому випадку, коли $N_2 > N_1$. Ця подія може відбутися з ймовірністю p_3 , яка визначається як ймовірність відмови в системі більше половини модулів.

Припустимо, що ймовірність коректного стану p однакова для кожного модуля. Тоді, використовуючи часткову теорему про повторення дослідів, отримаємо:

$$p_3 = \sum_{N_2 = \lfloor \frac{N+1}{2} \rfloor}^N C_N^{N_2} (1-p)^{N_2} p^{N-N_2}. \quad (11)$$

Таким чином, на підставі вищенаведених досліджень можна зробити висновок, що некоректні

модулі можуть накопичити інформації більше, ($\Delta L < 0$) тільки при одночасній появі подій:

1) некоректні модулі перевіряють коректні з результатом "1";

2) некоректні модулі перевіряють один одного з результатом "0";

3) у системі, що складається з N модулів, більше некоректних модулів, ніж коректних. Ймовірність появи цих подій відповідно дорівнює p_1, p_2, p_3 , а ймовірність їх одночасної появи рівна добутку [9]:

$$p' = p \{ \Delta L' < 0 \} = p_1 p_2 p_3 = 0,5^{(M_3+M_4)} \sum_{N_2 = \lfloor \frac{N+1}{2} \rfloor}^N C_N^{N_2} (1-p)^{N_2} p^{N-N_2}. \quad (12)$$

Слід зазначити, що ймовірність p' є дуже малою величиною. Тому можна стверджувати, що при виконанні процедури верифікації у будь-якому випадку коректні модулі накопичать більше результатів перевірок, чим некоректні. Для підтвердження даного вислову розглянемо наступний приклад.

У системі, що складається з $N=8$ модулів, виконано $M=20$ перевірок. З урахуванням $N_1=3, N_2=5, p=0,8$, ймовірність p' за виразом (12) буде дорівнювати:

$$p' = p \{ \Delta L' < 0 \} = 0,5^{(5,35+7,14)} \sum_{i=5}^8 C_8^i (1-p)^i p^{8-i} = 1,8 \cdot 10^{-6}. \quad (13)$$

З наведеного прикладу видно, що у некоректних модулів може бути більше результатів перевірок, ніж у коректних, проте ймовірність цієї події настільки мала, що можна вважати цю подію неможливою.

Висновки

Один із коректних модулів накопичить інформації більше, ніж некоректні, а, отже, він і виконуватиме алгоритм верифікації після задоволення умови (9). Коректний модуль визначається в результаті відстежування структури верифікаційних зв'язків. Він виконує алгоритм верифікації і передає інформацію про семантичний стан РБЗ до системи управління.

Список літератури

1. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
2. Теїз А. Логический подход к искусственному интеллекту. От модальной логики к логике баз данных / А. Теїз, П. Грибомон, Г. Юлен. – М.: Мир, 1998. – 430 с.
3. Представление и использование знаний // Х. Уэно, Т. Кояма, Т. Окамото и др. – М.: Мир, 1989. – 220 с.
4. Liu W. Rule-Based Detection of Inconsistency in UML Model / W. Liu, S.M. Easterbrook, J. Mylopoulos // Workshop on Consistency Problems in UML-Based Software Development, 2002. – P. 106-123.
5. Вагин В.Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В.Н. Вагин, Е.Ю.

Головина, А.А. Загорянская, М.В. Фомина; под ред. В.Н. Вагина, Д.А. Поспелова. – М.: Физматлит, 2004. – 704 с.

6. Maghrabi S.M.A. Matrix Verification of Knowledge-Based System // JKAU Science. – 2001. – Vol. 13 – P. 63-82.

7. Основы технической диагностики. В 2-х книгах. Кн. 1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.

8. Барабаи О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаи. – К.: НАОУ, 2004. – 224 с.

9. Величенко В.В. Технический интеллект / В.В. Величенко // Интеллектуальные системы. – 1996. – Т. 1, Вып. 1 – 4. – С. 5-18.

Надійшла до редколегії 13.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Вишнівський, Державний університет телекомунікацій, Київ.

МЕТОД НАКОПЛЕНИЯ ВЕРИФИКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИСПОЛНЕНИИ ВЕРИФИКАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ БАЗАХ ЗНАНИЙ

Д.Н. Обидин

Доказана теорема, которая показывает, что для получения результата верификации с высокой достоверностью необходимо, чтобы информация о результатах проверок накапливалась только в корректных модулях.

Ключевые слова: летательный аппарат, распределенная база знаний, эффективность системы, функциональная устойчивость, верификация.

METHOD OF VERIFICATION DATA STORAGE WITHIN PERFORMANCE OF VERIFICATION IN DISTRIBUTED KNOWLEDGE BASES

D.M. Obidin

The theorem, according to which in order to obtain verification result with high degree of reliability, the information about check results should be stored only in correct modules, is proved.

Keywords: aircraft, distributed knowledge base, system efficiency, functional stability, verification.