УДК 681.5

Д.М. Обідін

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

МЕТОД ВЕРИФІКАЦІЇ БАЗ ЗНАНЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ МАТРИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

У статті висвітлюється метод верифікації баз знань на основі операцій з матрицями, що дозволяє відшукувати усі відомі аномалії у базах правил, такі як дублювання, часткове включення, зациклювання, надлишкове правило, неузгодженість, розривність та надмірність.

Ключові слова: *база знань, система автоматичного управління повітряним судном, верифікація.*

Вступ

Під час виконання складних режимів польоту екіпаж повітряного судна повинен контролювати параметри польоту та приймати рішення на виконання певних дій для парирування нештатних ситуацій з метою ефективного виконання польотного завдання. На сучасних повітряних суднах кількість інформації, що має сприймати екіпаж, граничить з функціональними можливостями підготовленої людини-оператора. Тому актуальним є впровадження ідеї інтелектуалізованої системи автоматичного управління (САУ) польотом повітряного судна, яка побудована на принципах теорії автоматичного регулювання та теорії прийняття рішень. Така система має функціонувати в традиційних режимах стабілізації параметрів польоту та траєкторного управління повітряним судном, а в нештатних ситуаціях повинна генерувати командиру екіпажу альтернативні рішення на основі інформаційної підготовки прийняття рішення, вибору рішення та оцінки його ефективності.

Актуальність теми. Основу інтелектуалізації САУ складають бази знань (БЗ), що містять в собі знання експертів, та знання, накопичені в процесі експлуатації системи. Бази знань призначені для полегшення вирішення оператором тих завдань, які не мають чіткого структурованого рішення за прийнятний час. При цьому такі завдання, як правило, обумовлюються значною кількістю факторів впливу, що призводить до значної складності подання відповідних ситуацій у базах знань. Передбачається, що процес накопичення знань в базі знань буде постійним та безперервним, кількість інформації буде постійно зростати, тому актуальним науковим завданням є розробка механізмів вирішення конфліктних ситуацій протиріччя знань, дублювання та інших. Саме верифікації бази знань і присвячена дана стаття.

Постановка проблеми. Верифікація бази знань – це процес визначення її відповідності специфікаціям, що описують реальні процеси, для вирішення проблемних ситуацій яких вона і призначена. Загальна проблема верифікації баз знань обумовлюється структурними особливостями побудови сучасних систем управління, у яких передбачається автоматизоване поповнення баз знань (самонавчання) та не виключаються також можливі технічні (програмні) збої, що може впливати на їх цілісність, а відтак, і обумовлюватиме необхідність динамічної верифікації БЗ у процесі їх функціонування. Проблема значно ускладнюється у випадку жорстких часових та ресурсних обмежень (наприклад на літальному апараті під час польоту), що вимагає необхідності розробки ефективних методів верифікації БЗ на основі нових підходів та моделей.

Аналіз публікацій. Проблематиці верифікації БЗ присвячено значну кількість публікацій. Так у [1] здійснено загальну постановку проблеми верифікації. У [2] розглядаються концептуальні підходи щодо реалізації механізмів верифікації. У [3] пропонуються моделі перевірок цілісності та повноти БЗ. У [4 – 5] розроблено достатньо ефективні алгоритми верифікації різноманітних БЗ, хоча через складність моделей можливість реалізації таких алгоритмів є вкрай сумнівною. У [6] розглядається можливість спрощення БЗ шляхом трансляції їх у матричну форму для подальшої верифікації, при цьому методика перевірок не пропонується. Крім того усі зазначені підходи вимагають необхідності наявності людини (групи експертів) у процесі верифікації, що досить складно забезпечити для динамічних систем (наприклад на літаку у польоті). Тому загальна проблема щодо створення компактних та ефективних методів верифікації БЗ залишається невирішеною.

Мета статті полягає у дослідженні методу верифікації БЗ САУ на основі матричних перетворень. При цьому ключова ідея базується на поданні правил бази знань у вигляді матриці, що дозволяє у подальшому застосовувати традиційні операції з матрицями для визначення проблемних місць БЗ САУ.

На основі підходу, започаткованого у [6] визначимо систему верифікації баз знань, як структуру з 4 основних елементів: пристрою вводу, матричного маніпулятора, тестера та пристрою виводу.

Для реалізації здатності щодо введення бази правил до системи, пристрій вводу повинен бути здатним розуміти формат бази правил, для чого найбільш доцільною буде система продукцій у кон'юнктивно нормальній формі типу:

$$a \wedge b \to c\,;\ f \wedge g \to i\,.$$

Система повинна бути здатною детектувати основні аномалії БЗ: надмірність, дублювання, часткове включення, зациклювання, надлишкове правило, неузгодженість, розривність. Результати роботи системи повинні бути легко інтерпретованими та зрозумілими.

Основні аномалії баз правил

БЗ володіє надмірністю, якщо окреме правило або група правил не використовуються при поданні пропозиційних формул. Це може бути виявлено двома способами. По-перше, якщо правило не посилається на жодне інше правило БЗ. По-друге, якщо правило хоча і існує як окремий крок у породженні деякої пропозиційної формули, але не має контакту з початковими даними. Дублювання виникає у ситуації, коли два правила є тотожними і відрізняються лише порядком змінних. Само по собі це не є проблемою, але ситуація може ускладнитись у випадку зміни однієї з копій правила. Часткове включення виникає, коли одне з правил є більш деталізованим, ніж інше, що може бути результатом таких ситуацій:

якщо правила мають однаковий консеквент, при цьому антецедент одного правила є підмножиною іншого;

коли антецеденти є тотожними, а консеквент одного правила є підмножиною іншого;

у випадку змішування двох попередніх ситуацій.

Зациклювання є однією з найбільш складних проблем БЗ, яка може виникати безпосередньо у процесі функціонування БЗ. Цикли можуть бути двох типів, прямого типу – коли правило викликає саме себе при своєму застосуванні, та непрямого типу – коли консеквент слідує за антецедентом через декілька проміжних кроків.

Надлишкове правило – правило, яке було включене до бази правил виключно для опису домена, або для доповнення структури з метою її удосконалення. Проте, таке правило може спричиняти небажану недієздатність усієї системи правил. Як правило, таке може статися, коли вводяться узагальнюючі правила, що поєднують два або більше існуючих правил у БЗ.

Неузгодженість виникає, коли у базі правил співставляються різні висновки одним і тим же наборам фактів.

Розривність виникає тоді коли частина правил поділяє одну пропозиційну формулу з іншим правилом але не зв'язується більше з іншими правилами БЗ у подальшому.

Методика верифікації бази знань. На початку роботи на основі існуючої БЗ система повинна сформувати відповідні матриці. Ця операція покладається на пристрій вводу, який повинен з наявної (текстової, символьної, графічної) БЗ виділити основні концепти, здійснити їх лексичний аналіз та інтерпретувати до матриці БЗ. Для цього продукційні правила у вигляді $b \wedge c \wedge d \to a$ переписуються з застосуванням апарату комп'ютерної алгебри [7] у вигляді списків типу $\{a,b,c,d\}$. При цьому консеквент a є "головою", а b,c,d – "хвостом" списку. У подальшому кожному елементу списку відповідатиме певний стовпчик, а кожному правилу – рядок матриці БЗ

$$Q=\begin{array}{c} \\ \text{Пр.1} \\ \text{Пр.2} \\ \dots \\ \text{Пр.n} \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} a & b & c & d & \dots & z \end{array} \\ \begin{bmatrix} q_{1a} & q_{1b} & q_{1c} & q_{1d} & \cdots & q_{1z} \\ q_{2a} & q_{2b} & q_{2c} & q_{2d} & \cdots & q_{2z} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{na} & q_{nb} & q_{nc} & q_{nd} & \cdots & q_{nz} \end{bmatrix} \end{array}. \quad (1)$$

Наприклад, надзвичайну ситуацію на борту літака можна подати наступним чином:

Правило 1: Ситуація класифікується як "пожежа у двигуні", якщо спостерігається "підвищення температури" & "зменшення тяги" & "немає реакції на дії екіпажу". Така формула може бути записана у вигляді чотирьох змінних:

a) "пожежа у двигуні";

b) "підвищення температури";

c) "зменшення тяги";

d) "немає реакції на дії екіпажу".

Або, у компактному вигляді $b \wedge c \wedge d \to a$, де $\to$ – символ імплікації.

Такій формулі у матриці (1) буде відповідати рядок $(1,1,1,1)$. Якщо при цьому ввести додаткові правила, які будуть деталізувати окремі елементи правила 1, наприклад: $e \wedge f \to c$; $g \wedge h \to d$, то результуюча матриця Q набуде вигляду

$$Q=\begin{bmatrix} 1&1&1&1&0&0&0&0 \\ 0&0&1&0&1&1&0&0 \\ 0&0&0&1&0&0&1&1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Ідея дослідження бази правил, поданої у вигляді (1) полягає у формуванні деякої допоміжної матриці

$$M = QQ^T. \quad (3)$$

Так, для матриці (2) матриця (3) дасть результат

$$M=\begin{bmatrix} 4&1&1 \\ 1&3&0 \\ 1&0&3 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Головна діагональ матриці (4) показує скільки змінних входить до кожного з правил. Крім того, (4) дає змогу дослідити деякі факти бази правил, які потім можуть бути використані для визначення аномалій БЗ. Так, кожен елемент матриці (4), окрім діагональних, відображає кількість включень елементів формул до інших формул бази правил. Можна побачити, що елемент у першому рядку другої колонки дорівнює 1, тому можна сказати, що перше та друге правило використовують єдину спільну змінну.

На основі матриці M можна детектувати всі основні аномалії БЗ. Далі, на прикладах, проілюструємо порядок визначення окремих аномалій.

Надмірність. Нехай БЗ задано множиною правил $\{b \wedge c \to a, e \wedge f \to g, g \wedge h \to i\}$, якій відповідає

$$Q=\begin{bmatrix} 1&1&1&0&0&0&0&0&0 \\ 0&0&0&0&1&1&1&0&0 \\ 0&0&0&0&0&0&1&1&1 \end{bmatrix}, \text{ що дає } M=\begin{bmatrix} 3&0&0 \\ 0&3&1 \\ 0&1&3 \end{bmatrix}.$$

З аналізу матриці M можна побачити, що перше правило БЗ не зв'язане з іншими правилами, оскільки у першому рядку та стовпчику матриці M стоять 0. Таке правило у БЗ є надмірним і може бути видалене.

Розривність. Для виявлення розривності необхідно ввести деякі пояснення. Кінцевим правилом називається правило, яке визначає мету виведення. Початковим правилом – правило, яке не використовує у якості антецедента жодне з існуючих правил БЗ, а отримує інформацію від інших джерел (наприклад оператора, датчика та ін). Правила тіла бази – будь яке інше правило, яке знаходиться між початковим та кінцевим правилом.

Тестування на розривність має на меті визначення тих правил тіла бази, які не пов'язані спільними елементами. Наприклад, якщо розглянути БЗ $\{b \to a, c \to b, d \to c, e \to d\}$, то відповідна їй матриця

$$Q=\begin{bmatrix} 1&1&0&0&0 \\ 0&1&1&0&0 \\ 0&0&1&1&0 \\ 0&0&0&1&1 \end{bmatrix} \text{ дасть } M=\begin{bmatrix} 2&1&0&0 \\ 1&2&1&0 \\ 0&1&2&1 \\ 0&0&1&2 \end{bmatrix}.$$

Аналіз матриці M свідчить, що кожне правило такої БЗ використовує хоча б один елемент іншого правила і тому така БЗ є зв'язною, не має пропущених зв'язків та надмірності. На противагу їй, можна розглянути іншу БЗ $\{b \to a, c \to b, d \to f, e \to d\}$, з матрицею

$$Q=\begin{bmatrix} 1&1&0&0&0&0 \\ 0&1&1&0&0&0 \\ 0&0&0&1&0&1 \\ 0&0&0&1&1&0 \end{bmatrix}, \text{ яка дає } M=\begin{bmatrix} 2&1&0&0 \\ 1&2&0&0 \\ 0&0&2&1 \\ 0&0&1&2 \end{bmatrix}.$$

У такої матриці, як і у попередньому випадку правило 1 є кінцевим, а правило 4 – початковим. Проте правила 2 та 3 не зв'язані з будь-яким іншим правилом, що і визначає наявність розривності БЗ.

Дублювання. Пошук простого дублювання може бути здійснено за матрицею M шляхом відшукання повторення числа змінних у правилах та дубльованих стовпчиках за схемою $M(i,i)=M(j,j)=$ $=M(i,j)$, де $M(i,i), M(j,j), M(i,j)$ – елементи матриці M. Таким чином визначається наявність простого дублювання між правилами i та j. Наприклад: для БЗ $\{b \wedge c \to a, d \wedge e \to b, f \wedge g \to d, f \wedge g \to d\}$ з

$$Q=\begin{bmatrix} 1&1&1&0&0&0&0 \\ 0&1&0&1&1&0&0 \\ 0&0&0&1&0&1&1 \\ 0&0&0&1&0&1&1 \end{bmatrix}, \text{ яка дає } M=\begin{bmatrix} 3&1&1&1 \\ 1&3&0&0 \\ 1&0&3&3 \\ 1&0&3&3 \end{bmatrix},$$

елемент $M(3,3) = M(4,4) = M(3,4) = 3$, що свідчить про наявність дублювання правил 3 та 4.

Часткове включення. Часткове включення є більш складним випадком дублювання, що вимагає застосування більш складного тесту у порівнянні з дублюванням. Метою такого тестування є визначення правил, які є окремим випадком інших, більш загальних правил. Цього можна досягти, перевіряючи матрицю M аналогічно тесту на дублювання та виділяючи ті правила, які не відповідають умові: число змінних в одному правилі повинно бути більшим ніж у іншому, а правило з меншим числом змінних використовує усі правила з більшим числом змінних. Така формула ілюструється такою умовою:

якщо $\left[M(i,i) > M(j,j)\right] \wedge \left[M(i,j) = M(j,j)\right]$ то правило j включає правило i, або

якщо $\left[M(j,j) > M(i,i)\right] \wedge \left[M(i,j) = M(j,j)\right]$ то правило i включає правило j.

Наприклад, для БЗ $\{d \wedge e \to b, b \wedge c \to a, d \to b\}$ з $Q = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$, яка дає $M = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 2 \\ 1 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \end{bmatrix}$, застосувавши попередньо встановлену умову можна визначити $\left[M(1,1) > M(3,3)\right] \wedge \left[M(1,3) = M(3,3)\right]$, що дає змогу зробити висновок про те, що правило 1 включає правило 3.

Неузгодженість. Процедура виявлення неузгодженості полягає у визначенні тих правил, які використовують спільні "хвости" але мають різні "голови". Наприклад для БЗ $\{a \wedge b \to c, a \wedge b \to d, e \wedge f \to b\}$

$Q = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ дає $M = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 3 \end{bmatrix}$. Наявність 2 у другому стовпчику першого рядка та у першому стовпчику другого свідчить про наявність неузгодженості між правилами 1 та 2.

Зациклювання. Тест для виявлення зациклювання дещо відрізняється від інших тестів, оскільки не використовує матрицю M, а застосовує матрицю Q у її початковому вигляді (сформовану за виразом (1)) та модифіковану шляхом підстановки одних правил в інші. Для цього матричний маніпулятор повинен проаналізувати "голови" списків (рядків). Якщо таких рядків більше ніж 1, то такі правила повинні розглядатися на предмет зациклювання типу $\{a \to b, b \to a\}$. Зациклювання може бути прямим, типу $\{d \to d\}$, та непрямим (коли антецедент та консеквент розділені деякими проміжними надлишковими правилами). При видаленні надлишкових правил з непрямого циклу він перетворюється на прямий, який може бути легко виявленим.

Надлишкове правило. Ця ситуація виникає коли у БЗ існують правила, які можуть бути поєднані у одне. Наприклад, БЗ $\{a \to b, b \to c\}$, яка включає два правила може бути переформатована у БЗ $\{a \to c\}$. Наявність значного числа таких надлишкових правил може ускладнювати пошук інших аномалій БЗ. При цьому також вирішується задача пошуку непрямих циклів.

Для виявлення **зациклювання** необхідно розглядати непрямі цикли як прямі, але розділені додатковими надлишковими правилами. Оскільки достатньо просто сформувати тест для прямих циклів, то необхідною умовою щодо тесту для циклічних баз правил можна висунути відсутність в них надлишкових правил. Застосування такого підходу можна здійснити шляхом підстановки відповідних змінних до лівих частин правил.

Наприклад БЗ $\{b \wedge c \to a, a \wedge d \to e, e \wedge f \to g\}$ після підстановки першого правила у друге буде мати вигляд $\{b \wedge c \to a, b \wedge c \wedge d \to e, e \wedge f \to g\}$. При цьому правило 1 буде тепер надлишковим. Аналогічним чином можна отримати

$$\{b \wedge c \to a, b \wedge c \wedge d \to e, b \wedge c \wedge d \wedge f \to g\}$$

з надлишковими першим та другим правилами. Як бачимо, у такій БЗ немає циклічності.

Однак, якщо підставити b у g, ми, тим самим отримаємо циклічну БЗ

$$\{b \wedge c \to a, b \wedge c \wedge d \to e, b \wedge c \wedge d \wedge f \to b\},$$

у якій b буде повторюватись як зліва так і справа. При цьому інші правила так і залишаться надлишковими (як і у початковій базі).

Якщо змінна з'являється більш як один раз у правилі з одного боку від знаку "$\to$" то вона замінюється сама на себе, оскільки будь-що поєднане з самим собою дає первинне значення змінної. Тому "коректні" БЗ містять правила лише з однократним включенням змінних. Але таких змінних може бути більше ніж одна у випадку, коли вони (змінні) зустрічаються по різні боки знака імплікації і тому є частиною циклічної БЗ.

Для використання матричних операцій щодо пошуку зациклювань необхідно ввести додатковий вектор змінних, побудований з правих частин правил виведення. Для БЗ, що розглядалася це буде $R = (a, e, g)$.

Для пояснення та перевірки працездатності тесту розглянемо деяку циклічну БЗ

$$\{b \wedge c \to a, a \wedge d \to e, e \wedge f \to b\}$$

яка може бути подана матрицею

$Q = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ та вектором $R = (a, e, b)$.

Необхідність введення вектора R обумовлюється необхідністю врахування кількості підстановок змінних при операціях з матрицями. Завданням аналізу буде виявлення наявних зациклювань у БЗ, для чого, покроково, застосуємо алгоритм аналізу матриці Q на основі відповідних підстановок змінних. За наявності зациклювань результуюча матриця буде містити елементи, більші за 1.

Крок 1. У матриці Q рядок 1 додати до рядка 2, при цьому, якщо $R(1) = a$, то встановити $Q(1, a) = 0$. Отримаємо матрицю

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Крок 2. У матриці Q_1 рядок 2 додати до рядка 3, при цьому, якщо $R(2) = e$, то встановити $Q_1(2, e) = 0$. Отримаємо матрицю

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Крок 3. У матриці Q_2 рядок 3 додати до рядка 1 матриці Q_1, аналогічним чином встановивши $Q_2(3, b) = 0$, якщо $R(3) = b$. Отримаємо матрицю

$$Q_3 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Крок 4. У матриці Q_3 рядок 1 додати до рядка 2, встановивши $Q_3(1, a) = 0$ при $R(1) = a$. Отримаємо матрицю

$$Q_4 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Аналіз матриці Q_4 дає змогу зробити висновок про наявність зациклювання між правилами 1 і 2 у такій БЗ, оскільки у рядках 1 і 2 наявні елементи більші за 1.

Висновки

Запропонований апарат матричних операцій для верифікації баз знань відрізняється простотою реалізації та необхідною наглядністю і може бути застосованим у системах управління реального часу, які працюють у режимі жорстких часових та ресурсних обмежень. Застосування таких моделей для верифікації баз знань САУ літального апарата може бути автоматизовано що дозволить забезпечити валідність баз знань та їх повноту не залучаючи для цього методи експертних оцінок та додаткові людські ресурси.

Напрямком подальших досліджень у цій сфері може бути широке коло питань щодо реалізації запропонованих методів у програмному забезпеченні різноманітних систем, методи трансляції інформації до баз знань та формування відповідних перевірочних матриць.

Список літератури

1. *Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский // – СПб: Питер, 2000. – 384 с.*
2. *Тейз А. Логический подход к искусственному интеллекту. От модальной логики к логике баз данных / А. Тейз, П. Грибомон, Г. Юлен // – М.: Мир, 1998. – 430 с.*
3. *Уэно Х. 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. *Капітонова Ю.В. Основи дискретної математики / Ю.В. Капітонова, С.Л. Кривий, О.А. Летичевський, та ін. // – К.: Наукова думка, 2002. – 580 с.*

Надійшла до редколегії 23.11.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Кравченко, Національний університет оборони України, Київ.

МЕТОД ВЕРИФИКАЦИИ БАЗ ЗНАНИЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Д.Н. Обидин

В статье рассмотрен метод верификации баз знаний на основе операций с матрицами, который позволяет находить все известные аномалии в базах правил, такие как дублирование, частичное включение, зацикливания, избыточное правило, несогласованность, разрывность и избыточность.

Ключевые слова: *база знаний, система автоматического управления воздушным судном, верификация.*

METHOD OF VERIFICATION OF KNOWLEDGE BASES AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS BASED ON MATRIX OPERATIONS

D.M. Obidin

The article highlights the method for knowledge base verification on the basis of matrix operations that allows to find all known anomalies in rule set such as duplication, subsumption, circular rule sets, inconsistency, missing lincs, auxiliary rule sets and redundancy.

Keywords: *knowledge base, aircraft control system, verification.*