

УДК 004.853

Лялецький Олександр Вадимович

Канд. фіз.-мат. наук, с.н.с., кафедра комп'ютерних наук, факультет інформаційних технологій, НУБіП

lav@unicyb.kiev.ua

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ТЕСТУВАННЯ ТА ОБРОБКИ ФОРМАЛЬНИХ ТЕКСТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ SAD

Анотація. Використовуючи систему автоматизації дедукції SAD, орієнтовану на верифікацію текстів, поданих формальною природною мовою, вивчаються питання розробки та використання комп'ютерних засобів інтелектуального тестування формалізованих текстів, що відмінне від звичайного "питально-відповідного" способу тестування та засноване на декларативному способі подання інформації. Дається стисла характеристика лінгвістичних і логічних особливостей системи SAD, що свідчить про можливість її використання для дедуктивного тестування знань того, кого навчають. На конкретному прикладі демонструється застосування системи SAD для виконання верифікації замкненого математичного тексту, що свідчить про можливість використання системи для вирішення задач дедуктивного тестування. Обговорюються виникаючі задачі та пропонуються методи їх вирішення. Описуються можливі напрямки подальшого розвитку системи SAD, пов'язаних з усиленням її мовних можливостей, збагаченням інтерфейсних засобів та побудовою нових модулів її логічного апарату.

Ключові слова: "питально-відповідне" тестування; дедуктивне тестування; декларативний спосіб подання інформації; автоматизація міркувань; пошук логічного висновку; формальна природна мова; система SAD.

Актуальність. У поточний час створена велика кількість інструментальних засобів і систем, орієнтованих на тестування знань в широкому діапазоні дисциплін, що викладаються в вищих і загальноосвітніх навчальних закладах. Характерною рисою вказаних засобів і систем є те, що значна їх частина орієнтована на дуже широку сферу свого застосування, у зв'язку з чим майже всі вони призначені для найпростішого, "питально-відповідного", способу тестування того, кого навчають, коли його знання перевіряються на підставі вказівки ним правильної відповіді із списку варіантів, запропонованих викладачем. А це веде до того, що процес тестування може переродитися в випадковий вибір варіантів відповіді. Але подібна форма перевірки знань не завжди придатна для природничих дисциплін, які вимагають від того, кого навчають, доброї математичної підготовки, перевірка якої передбачає, що відповіддю того, кого навчають, служить або деяка формула, або доведення у вигляді деякого ланцюжка умовиводів, що забезпечує істинність твердження, яке розглядається.

Сучасний стан інформатики в області створення і використання систем комп'ютерної алгебри і систем автоматизації міркувань зробив можливим перехід від простого "питально-відповідного" тестування до більш інтелектуальних типів перевірки знань: аналітичного і дедуктивного. Перший тип виникає в разі, коли відповідь того, кого навчають, являє собою символічний вираз, в справедливості якого комп'ютер повинен виконати деякі аналітичні перетворення¹, а другий може виявитися дуже корисним в ході вивчення різних математичних дисциплін, що вимагають від того, кого навчають, вміння проводити формальні доведення у рамках деякої логіки, в коректності яких повинна переконатися та або інша система автоматизації міркувань. В подальшому нас буде інтересувати тільки другий тип інтелектуального тестування, для виконання якого пропонується застосувати та

¹ За деталями можна звернутися до [1] і [2], де дається огляд деяких систем аналітичної обробки інформації, що мають на даний час назву систем комп'ютерної алгебри.

розвинути в певних напрямках систему автоматизації дедукції SAD, що була створена у ході реалізації проекту з назвою Алгоритм Очевидності (див., наприклад, [3] і [4]) для дедуктивної обробки на комп'ютері текстів, що можуть бути подані формальною природною мовою.

Мета дослідження полягає у демонстрації, на прикладі системи SAD, того, що в поточний час мається все необхідне для використання та розвитку декларативного способу подання інформації і методів пошуку логічних висновків з ціллю виконання дедуктивного тестування знань того, кого навчають.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В ході проведених в роботі досліджень використовувалися останні дослідження з автоматизації міркувань, які, наприклад, можна знайти в довіднику [5], що дає один з самих широких охоплень існуючих підходів, методів та засобів, які можуть бути використані для інтелектуального тестування знань навчас мого.

Матеріали і методи дослідження спираються на аналіз існуючих підходів до інтелектуального тестування знань того, кого навчають на базі декларативної парадигми з використанням методів пошуку доведень в формальних теоріях.

Система SAD. Система автоматизації дедукції SAD (System for Automated Deduction), що розміщена на сайті "<http://nevidal.org>", базується на декларативному способі подання та обробки комп'ютерних знань, які мають вигляд текстів (аксіом, визначень, теорем, доведень і т. п.), поданих формальною природною мовою, а перевірка знань того, кого навчають, за допомогою SAD може полягати в перевірці на комп'ютері правильності побудови тим, кого навчають, ланцюжка умовиводів, що ведуть до поставленої мети. Відмітимо, що дослідження і роботи за декларативною парадигмою в Україні вперше були ініційовані академіком В.М. Глушковим і розпочаті в Інституті кібернетики НАНУ в першій половині 1960-х років. В ході виконання таких робіт були спроектовані і реалізовані (російськомовна) система САД (1978 р.) і згадана вище (англомовна) система SAD (2002 р.), яка на відмінність від САД, орієнтованої тільки на виконання автоматичного пошуку доведень теорем, може також проводити верифікацію як математичних, так і інших формалізованих текстів [6], що говорить про можливість її використання для цілій інтелектуального тестування знань того, кого навчають.

Відповідно до Алгоритму Очевидності система SAD з самого початку замислювалася як мовно-дедуктивна система, призначена для надання допомоги математику в його науковій і викладацькій діяльності. Вона має три етапи обробки вхідної інформації, що має вигляд формального англійського тексту, поданого мовою ForTheL [7], максимально наближеної до мови звичайних математичних публікацій.

На першому етапі проводиться синтаксичний аналіз вхідного тексту, визначається його структура і логічний зміст, закодований в ForTheL-реченнях. Після цього він трансліюється у своє вхідне представлення. Результатом виявляється дерево речень, яке після його "лінеаризації" визначає послідовність тих цільових тверджень, що мають бути доведені системою з використанням, у випадку необхідності, своїх логічних попередників.

На другому етапі цільові твердження послідовно обробляються для того, щоб, у цілях їх спрощення, виконувати зведення задачі встановлення виведення твердження, що розглядається, до встановлення виведення ряду підтверджень, які у подальшому передаються одному із засобів перевірки, що мають в системі. Так, система може або звести доведення основної цілі до доведення більш простих під цілей, або запропонувати альтернативну ціль у випадку, коли виявляється невдалим обраний напрямок доведення. В даний час набір програмних засобів системи не є досить багатим і містить сукупність прийомів спрощення задач на пропозиційному рівні.

Пошук логічного виведення виконується системою SAD на третьому етапі. Для цього система може використати як свій "рідний" засіб перевірки Moses, так і один із зовнішніх відносно неї засобів перевірки, наприклад, SPASS або Vampire.

"Рідний" засіб перевірки системи SAD базується на машинному численні секвенційного типу для класичної логіки першого порядку, яке використовує оригінальне поняття

допустимої підстановки, що дозволяє проводити доведення в сигнатурі вихідної теорії (тобто без виконання попередньої скульемізації). Крім цього, в ньому є можливість накопичувати системи рівностей (рівнянь), розв'язання яких в даний час зводиться до використання алгоритму уніфікації. При цьому, SAD побудована таким чином, що системи рівнянь можуть бути передані спеціальним засобом вирішення, наприклад, системам комп'ютерної алгебри.

Особливості системи SAD. Відмітимо деякі особливості мовних та дедуктивних засобів системи SAD.

У першу чергу звертаємо увагу на те, що граматики мови ForTheL імітує граматику англійських речень (у той час, як САД є російськомовною системою).

ForTheL-текст являє собою послідовність розділів, фраз, і службових конструкторів, де фрази являються або припущеннями або твердженнями.

Розділи можуть містити розділи нижнього рівня і фрази. До розділів верхнього рівня відносяться аксіоми, визначення та теореми. Кожен розділ верхнього рівня являє собою послідовність припущень та завершується твердженням. В теоремах і аксіомах твердження може бути довільного вигляду, тоді як твердження з визначення повинно мати спеціальний вигляд у відповідності з типом об'єкта, що визначається. Розділами нижнього рівня є доведення, блоки і випадки в доведеннях. Кожен розділ нижнього рівня є послідовність припущень та тверджень і завершується твердженням.

Фрази будуються з іменників, що позначають поняття (класи) та функції, з прикметників та дієслів, що позначають предикати, а також з прийменників, союзів і службових слів, що визначають логічну структуру складного речення.

Мова ForTheL також містить в собі мову першого порядку. Ця властивість дозволяє представляти усякі формули логіки першого порядку у вигляді ForTheL-фраз.

Як відмічалось вище, логічний апарат SAD проектувався на базі секвенційного формалізму (див., наприклад, [8]), який дав можливість тому, щоб в процесі дедукції виконувалися наступні умови (значна частка яких реалізована в діючій системі SAD):

- зберігалася структура початкової задачі; пошук логічного виведення виконувався в сигнатурі вихідної теорії;
- здійснювалася редукція складного твердження, яке розглядається, до сукупності менш складних, допоміжних, тверджень;
- обробка рівностей відокремлювалися від дедукції з метою керування процесами знаходження рішень систем рівнянь;
- малася можливість застосування звичайної техніки знаходження рішень систем рівностей (такої, як звичайна уніфікація, АС-уніфікація, Е-уніфікація і т.д.) та відомих методів роботи з рівністю (наприклад, використання парамодуляційної техніки);
- застосовувалися прийоми доведення, що є звичайними для людини, наприклад, такі, як розкриття визначень та використання допоміжних тверджень;
- малася можливість забезпечення гнучкого інтерактивного режиму роботи.

Застосування системи SAD. Наразі система SAD може виконувати тестування відповідей того, кого навчають, та верифікацію математичних текстів у відповідності з послідовним проходженням наступних трьох кроків [9]:

- запис користувачем тексту формальною природною мовою ForTheL, близькою до мови звичайних наукових публікацій;
- автоматичне спрощення та декомпозиція задачі, що розв'язується, на підзадачі з метою подальшого автоматичного знаходження їх рішення;
- пошук доведення або самої теореми, або кожного шагу її доведення з використанням засобу перевірки, коли логічна істинність твердження, що розглядається, встановлюється за допомогою або свого "рідного" засобу перевірки Moses, або одного з таких широко відомих засобів перевірки, як SPASS, Vampire, E Prover і Prover9, що гарантує повноту машинного пошуку висновку у класичній логіці першого порядку.

Для того, щоб продемонструвати можливості застосування системи SAD для вирішення завдань тестування знань того, кого навчають, в конкретній математичній області, які

потребують від нього вміння проводити дедуктивні побудови, припустимо, що після вивчення основних положень теорії множин, тому, кого навчають, потребувалося побудувати доведення теореми про те, що S є підмножина будь-якої множини тоді і тільки тоді, коли S є пуста множина, в припущенні що він знайомий з мовою ForTheL (нічого більшого, крім мови ForTheL, знати тому, кого навчають, не потрібно).

Припустимо, що той, кого навчають, наступним чином формалізував на мові ForTheL цю теорему та її доведення, задавши при цьому всю додаткову інформацію, необхідну для верифікації ForTheL-тексту (зацікавлений читач може зайти на сайт "[http:// nevidal.org](http://nevidal.org)", де серед прикладів верифікації текстів системою SAD можна знайти і приклад обробки доведення цієї теореми).

Proposition. S is a subset of every set iff S is empty.

Proof.

Case S is empty. Obvious.

Case S is a subset of every set.

Take an empty set E .

Let z be an element of S .

Then z is an element of E .

We have a contradiction.

end.

qed.

Проаналізувавши цей текст і переконавшись в його правильності з синтаксичної точки зору, система SAD починає покрокову перевірку математичної коректності запропонованого доведення.

Перевірівши кожен крок доведення, система підтверджує його коректність, видавши повідомлення:

```
[Reason] stdin: verification successful
[Main] sections 22 - goals 6 - subgoals 10 - trivial 1 -
proved 5
[Main] symbols 24 - checks 20 - trivial 20 - proved 0 -
unfolds 11
[Main] parser 00:00.00 - reason 00:00.00 - prover
00:00.21/00:00.02
[Main] total 00:00.22
```

в якому крім повідомлення про успіх перевірки наводиться і деяка статистика робот з текстом. (У випадку необхідності можна задати виведення інформації і про хід перевірки доведення системою SAD з різними рівнями деталізації.)

Відмітимо, що в ході експлуатації системи SAD вдалося верифікувати доведення ряду нетривіальних фактів з різних розділів математики, до яких відносяться: нерівність Коші-Буняковського-Шварца, лему Ньюмана про конвергенції локально конфлюентних і завершуваних систем терм-переписувальних правил, твердження про нерациональність квадратного кореня з простого числа, китайську теорему про остачі, тотожність Безу для кілець, теорему Тарського про нерухому точку.

Результати дослідження та їх обговорення. Сказане вище демонструє, що система SAD може служити не тільки хорошим інструментом тестування знань того, кого навчають, з математики, а й засобом підтримки повсякденної математичної діяльності людини. У зв'язку з цим представляється розумним подальший розвиток системи SAD в наступних напрямках.

На мовному рівні. Зробити систему SAD багатомовною, наприклад, створивши українську і російську версії мови ForTheL, що дозволить користуватися дедуктивним

можливостями системи SAD користувачам, які володіють тільки одною з вхідних мов такої багатомовної системи. При цьому з'явиться можливість побудови наступних двонаправлених перекладачів: англійські ForTheL-тексти $\leftrightarrow$ українські ForTheL-тексти, англійські ForTheL-тексти $\leftrightarrow$ російські ForTheL-тексти і українські ForTheL-тексти $\leftrightarrow$ російські ForTheL-тексти.

На рівні міркувань. Розробити інструментарій для взаємодії SAD з відомими системами комп'ютерної алгебри та солверами для забезпечення її віддаленими засобами рішення задач, що з'являються в ході обробки системою SAD вхідного ForTheL-тексту. Також розвинути режим інтерактивної взаємодії людини з системою з ціллю керування ним пошуком доведення та його деталізації.

На дедуктивному рівні. Побудувати набір інструментальних засобів, який дає можливість "збірки" з окремих модулів того чи іншого засобу перевірки для логічного апарата системи в залежності від заданої предметної області та/або бажання користувача. (Так модифікована система буде корисною у випадках, коли застосування неklasичних міркувань стає необхідним елементом успішного вирішення розв'язуваної задачі.)

Список використаних джерел

1. О. Татарников. Обзор программ для символьной математики. URL: <https://compress.ru/article.aspx?id=16152>.
2. Системы компьютерной алгебры семейства АНАЛИТИК. Теория, реализация, применение: сб. науч. тр. / Под ред. А.А. Морозова, В.П. Клименко, А.Л. Ляхова, К.: НПП Интерсервис, 2010. 764 с.
3. Летичевский А.А., Лялецкий А.В., Мороховец М.К. Алгоритм Очевидности Глушкова. *Кибернетика и системный анализ*. № 4. 2013. С. 3-16.
4. Lyaletski A., Lyaletsky A., Paskevich A. Evidential paradigm and SAD systems: features and peculiarities. *International Journal of Mathematical Sciences and Computing*. 2018. No. 2. P. 1-11.
5. Robinson A. J. A., Voronkov, A. Handbook of Automated Reasoning. Volume 1. North Holland, 2001. 964 p.
6. Verchinine K., Paskevich A., Lyaletski A. SAD as a mathematical assistant - how should we go from here to there? *Journal of Applied Logic*. 2006. Vol. 4, No. 4. P. 560-591.
7. Vershinine K., Paskevich A. ForTheL — the language of formal theories. *International Journal of Information Theories and Applications*. 2000. Vol. 7, No. 3. P. 120-126.
8. Lyaletski A. Mathematical text processing in EA-style: a sequent aspect. *Journal of Formalized Reasoning* (Special Issue: Twenty Years of the QED Manifesto). 2016. Vol. 9, No. 1. P. 235-264.
9. Verchinine K., Lyaletski A., Paskevich A. System for Automated Deduction (SAD): a tool for proof verification. *Lecture Notes in Computer Science*. 2007. Vol. 4603. P. 398-403.

References

1. O. Tatarnikov. Obzor programm dlya simvol'noy matematiki. Available at: <https://compress.ru/article.aspx?id=16152>.
2. Morozov, A. A., Klimenko V. P., Lyakhov A. L. ed. (2010). Sistemy komp'yuternoy algebrы semeystva ANALITIK. Teoriya, realizatsiya, primeneniye: sb. nauch. tr. K.: NPP Interservis, 764 s.
3. Letichevskiy, A.A., Lyaletskiy, A.V, Morokhovets, M.K. (2013). Algoritм Ochevidnosti Glushkova [Glushkov's Evidence Algorithm]. *Kibernetika i sistemnyy analiz*, 4, 3-16.
4. Lyaletski, A., Lyaletsky, A., Paskevich A. (2018). Evidential paradigm and SAD systems: features and peculiarities. *International Journal of Mathematical Sciences and Computing*. No. 2. P. 1-11.
5. Robinson A. J. A., Voronkov, A. ed. (2001). Handbook of Automated Reasoning. Volume

1. North Holland. 964 p.

6. Verchinine, K., Paskevich, A., Lyaletski A. (2006). SAD as a mathematical assistant - how should we go from here to there? Journal of Applied Logic. Vol. 4, No. 4. P. 560-591.

7. Vershinine, K., Paskevich, A. (2000). ForTheL — the language of formal theories. International Journal of Information Theories and Applications Vol. 7, No. 3. P. 120-126.

8. Lyaletski A. (2016). Mathematical text processing in EA-style: a sequent aspect. Journal of Formalized Reasoning (Special Issue: Twenty Years of the QED Manifesto), Vol. 9, No. 1. P. 235-264.

9. Verchinine, K., Lyaletski, A., Paskevich, A. (2007). System for Automated Deduction (SAD): a tool for proof verification. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4603. P. 398-403.

Лялецкий Александр Вадимович

Канд. физ.-мат. наук, с.н.с., кафедра компьютерных наук, факультет информационных технологий, НУБіП

lav@unicyb.kiev.ua

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕСТИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ФОРМАЛЬНЫХ ТЕКСТОВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ SAD

Используя англоязычную систему автоматизации дедукции SAD, которая ориентирована на верификации текстов, записанных на формальном естественном языке, изучаются вопросы разработки и использования компьютерных средств интеллектуального тестирования формализуемых текстов, которое отлично от обычного "вопросно-ответного" способа и основано на декларативном способе представления информации. Дается краткая характеристика лингвистических и логических особенностей системы SAD. К ним относятся как ее входной язык, грамматика которого имитирует грамматику повсеместного английского языка, что дает возможность ввода информации в виде, максимально приближенном к виду обычных математических публикаций, так и логический аппарат системы, который базируется на секвенциальном формализме, что дает возможность сохранять структуру исходной задачи и выполнять логический поиск в сигнатуре исходной теории.

На конкретном примере демонстрируется применение системы SAD для верификации замкнутого математического текста, что подтверждает возможность применения системы для решения задач дедуктивного тестирования знаний обучаемого.

Обсуждаются возможные направления дальнейшего развития самой системы SAD, к которым относятся: усиление языковых возможностей системы за счет создания украинской и русской версий ее входного языка и соответствующих трансляторов; обогащение системы SAD средствами интерфейса с известными системами компьютерной алгебры и солверами для обеспечения ее удаленными средствами решение задач; построение набора инструментальных средств, который даст возможность "сборники" из отдельных программных модулей того или иного пружера для логического аппарата системы в зависимости от рассматриваемой предметной области и/или желания пользователя.

Ключевые слова: *"вопросно-ответное" тестирование; дедуктивное тестирование; декларативный способ представления информации; автоматизация рассуждений; поиск логического вывода; формальный естественный язык; система SAD.*

Lyaletski Alexander Vadimovich

Cand. Phys.-Math. Sc., Sr. Research Scientist, Department of Computer Science, Faculty of Information Technologies, NULES of Ukraine

lav@unicyb.kiev.ua

SOME ISSUES OF TESTING AND PROCESSING FORMAL TEXTS BY THE SAD SYSTEM

Using the English-language system for automated deduction SAD, oriented to verifying the texts presented in a formal natural language, the issues of the development and use of computer tools for the intelligent testing of formalized texts, which is distinguished from the usual "question-answer" method of testing and based on a declarative way for presenting information are studied. A brief description of the linguistic and logical features of the SAD system is given. They include both its input language, the grammar of which imitates the grammar of English sentences, which gives the possibility to input information in the form being as close to the form of ordinary mathematical publications as possible, and the logical engine of the system, based on sequent formalism, which makes it possible to preserve the structure of an original task and perform a logical search in the signature of an initial theory.

A concrete example demonstrates the use of the SAD system for the verification of self-contained mathematical texts, which confirms the possibility of its application for solving the problems of intelligent testing of a learner's knowledge.

Some possible directions for further development of the SAD system are discussed, which includes: (1) strengthening the language capabilities of the SAD system by creating Ukrainian and Russian versions of its input language and relevant translators; (2) enriching the SAD system by tools for an interface of it with known computer algebra systems and solvers in the order to provide the system with remote tools for task solving; (3) constructing a toolkit that will give the possibility to "construct" for the system a new prover from separate soft modules depending on the subject area and/or a user's desire.

Keywords: *"question-answer" testing; deductive testing; declarative way of presenting information; automated reasoning; logical inference search; formal natural language; SAD system.*