

3. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами: Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ, 2002. – 605 с.
4. Черткова Е.А. Разработка компьютерных обучающих систем. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2005. – 175 с.
5. Ветров А.Н. Среда автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей: Монография. – М.: Деп.РАО. – 2007. – 256 с.
6. Бова В.В., Курейчик В.В., Нужнов Е.В. Проблемы представления знаний в интегрированных системах поддержки управленческих решений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 107-113.
7. Кравченко Ю.А. Оценка когнитивной активности пользователя в системах поддержки принятия решений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 113-117.
8. Бова В.В., Гладков Л.А., Курейчик В.В. и др. Модели и методы представления знаний в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин.

Бова Виктория Викторовна

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: vvbova@yandex.ru.

347928, г. Таганрог, Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371651.

Кафедра систем автоматизированного проектирования; старший преподаватель.

Bova Viktoria Viktorovna

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: vvbova@yandex.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371651.

The Department of Computer Aided Design; Senior Teacher.

УДК 621.3.06

В.А. Литвиненко, С.А. Ховансков, Е.В. Литвиненко

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ
УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ГРАФАХ***

Рассматриваются вопросы использования методов искусственного интеллекта для управления точностью решения NP-трудных задач на графах. Основное внимание уделено такому методу искусственного интеллекта, как параметрическая адаптация, позволяющего адаптировать алгоритм решения задачи на графах к внешним условиям выполнения алгоритма таким, как: требуемая точность решения, размерность задачи, ресурс времени, отведенный для решения задачи. Предложена модификация алгоритма определения всех клик графа, предложенного Bron C. и Kerbosh J. (Алгоритм 457), переводящая этот алгоритм в класс адаптивных алгоритмов на графах с управляемой точностью решения на основе использования параметрической адаптации.

Методы искусственного интеллекта; параметрическая адаптация; алгоритмы на графах; точность решения; размерность задачи; ресурс времени; база данных; управление точностью; алгоритмы определения клик графа.

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 11-01-00975-а).

V.A. Litvinenko, S.A. Hovanskov, E.V. Litvinenko

**APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS FOR
MANAGEMENT OF THE DECISION ACCURACY
OF THE TASK ON GRAPHS**

Questions of use of methods of artificial intelligence for management of accuracy of the decision of NP-difficult problems on graphs are considered. The basic attention is given such method of artificial intelligence as the parametrical adaptation, allowing to adapt algorithm of the decision of a problem on graphs for external conditions of performance of algorithm: demanded accuracy of the decision, dimension of a problem, the resource of time which has been taken away for the decision of a problem. Updating of algorithm of definition of all cliques of the graphs offered Bron C and Kerbosh J. (Algorithm 457), translating this algorithm in a class of adaptive algorithms on graphs with operated accuracy of the decision on the basis of use of parametrical adaptation.

Artificial intelligence methods; parametrical adaptation; algorithms on columns; accuracy of the decision; dimension of a problem; time resource; a database; management of accuracy; algorithms of definition of cliques of graphs.

Введение. Многие задачи на графах [1–3] относятся к классу NP-трудных задач [1,2]. Например, к таким задачам на графах относятся задачи определения клик графа, максимальных внутренне и внешне устойчивых множеств графа, выделение ядер графа, определение максимальных паросочетаний графа и др. [1–3].

Трудоёмкость решения NP-трудных задач на графах ограничивает их использование для задач большой размерности.

Однако при использовании задач на графах для решения задач практического характера часто нет необходимости получать точные решения, с которыми, как раз, и связана трудоёмкость алгоритмов NP-трудных задач на графах, а достаточно получать решения, связанные с определением различных подмножеств решений, например, для задачи определения клик графа – выделение семейств клик, покрывающих все вершины или ребра графа [3,4,18].

При этом постоянно возрастающая производительность вычислительной техники позволяет для решения NP-трудных задач на графах использовать методы и алгоритмы, которые для более низкого по быстродействию класса компьютеров применять было невозможно из-за их высокой трудоёмкости.

Поэтому для повышения эффективности использования вычислительной техники возникает необходимость постоянно разрабатывать и исследовать новые алгоритмы для решения NP-трудных задач.

Однако есть и другой путь решения такой проблемы, связанный с разработкой методов и алгоритмов для решения NP-трудных задач, которые имели бы возможность получать решения с различной точностью. Если требования решения задачи таковы, что необходимо получать точное решение, то алгоритм решения NP-трудной задачи должен обеспечить получение такого решения. Но в том случае, когда точного решения получать не требуется, алгоритм решения NP-трудной задачи также должен позволить получить приближённое решение задачи.

Как быть в таком случае, когда для решения NP-трудной задачи необходимо получать решения с различной точностью? Разрабатывать множество алгоритмов, каждый из которых мог бы обеспечить определённую точность? Очевидно, что это достаточно неэффективно. Поэтому авторы настоящей статьи проводят исследования в области построения методов и алгоритмов решения NP-трудных задач, которые имели бы возможность получать решения с различной точностью и, в том числе, получать точное решение. По существу, речь идет о разработке методов и алгоритмов управления точностью решения NP-трудных задач.

Одним из направлений таких исследований является использование методов искусственного интеллекта [5,6] для управления точностью решения NP-трудных задач на графах.

Параметрическая адаптация. В настоящее время к основным направлениям разработки методов искусственного интеллекта относятся [5–14]:

- ◆ искусственные нейронные сети;
- ◆ эволюционные вычисления [8,9];
- ◆ распознавание образов;
- ◆ экспертные системы;
- ◆ эвристическое программирование;
- ◆ мультиагентный подход [10];
- ◆ адаптивные системы [11–14] и т.д.

В настоящей работе рассматривается использование такого метода искусственного интеллекта как адаптация для управления точностью решения задач на графах.

В работе [11] под адаптацией в технических системах понимается способность системы изменять свое состояние и поведение (параметры, структуру, алгоритм, функционирование) в зависимости от условий внешней среды путем накопления и использования информации о ней. В работах [11,13,14] рассмотрена классификация методов адаптации, в соответствии с которой одним из методов адаптации является априорная параметрическая адаптация, при которой приспособление объекта адаптации к внешним условиям производится с помощью параметров адаптации, которые выбираются на основе заранее полученных адаптирующих воздействий, соответствующих внешним условиям [14].

Таким образом, можно выделить такой метод искусственного интеллекта, как параметрическая адаптация, с использованием которого и предлагается управлять точностью решения задач на графах.

В работах [15,19] под точностью решения задач на графах понимается мощность получаемого множества соответствующих частей графа. Так, для задачи выделения клик графа – это мощность множества выделенных клик графа. Чем меньше мощность множества выделенных экстремальных частей графа, тем меньше точность решения. Выделение всех клик графа соответствует получению точного решения.

В работе [19] для задач на графах в качестве внешних условий решения задачи предложено использовать: требуемую точность решения, ресурс времени, отведенный на решение задачи, и размерность самой задачи.

Таким образом, управлять точностью решения задач на графах предлагается за счет разработки и использования алгоритмов решения задач на графах, имеющих возможность адаптации к изменению внешних условий.

В работе [15] такие алгоритмы названы адаптивными алгоритмами решения задач на графах с управляемой точностью решения. Адаптация в таких алгоритмах достигается за счет использования такого метода искусственного интеллекта как параметрическая адаптация, что позволяет алгоритму адаптироваться к внешним условиям решения задачи и получать решения задач на графах с заданной точностью или с наибольшей точностью за отведенный ресурс времени решения задачи.

Применение метода параметрической адаптации для построения адаптивных алгоритмов решения задач на графах с управляемой точностью решения заключается в выборе значений различных параметров адаптации, которые позволят алгоритму адаптироваться к внешним условиям за счет его выполнения с соответствующими параметрами адаптации, что и приводит к получению решения с точно-

стью, соответствующей установленному значению этих параметров. При определенных значениях параметров адаптации с помощью адаптивного алгоритма должно быть возможно получение и точного решения.

Поскольку задачи на графах являются комбинаторно-логическими – переборными задачами, то в качестве параметров адаптации могут быть выбраны, прежде всего, определенные условия, ограничивающие этот перебор. За счет такого ограничения становится возможным получение решения с различной точностью. Адаптирующими воздействиями, соответствующими внешним условиям, в этом случае, являются конкретные значения этих параметров адаптации.

В работе [15] принятие решения при выборе значения параметров предлагается проводить на основе анализа конкретных условий выполнения задачи – ресурс времени, отведенный на решение задачи, размерность задачи и требуемая точность решения, и информации базы знаний, содержащей необходимые сведения о соотношении значений условий выполнения задачи и параметров адаптации алгоритма, управляющих точностью решения.

В работе [23] приведена классификация методы управления точностью решения экстремальных задач на графах:

- 1) метод параметрической адаптации алгоритма к внешним условиям выполнения алгоритма;
- 2) метод использования простых алгоритмов к различным подстановкам исходного графа;
- 3) метод использования набора альтернативных алгоритмов с различной точностью решения;
- 4) метод управления точностью решения на основе библиотеки адаптивных алгоритмов.

По существу, все эти перечисленные методы основаны на параметрической адаптации, поскольку в каждом из них производится выбор значения параметра адаптации на основе анализа базы данных.

Модификация Алгоритма 457. В [15,21] в основу метода параметрической адаптации алгоритма к внешним условиям выполнения алгоритма положен алгоритм выделения клик графа [16], эффективность которого исследована в [20], а алгоритма адаптации рассмотрен в [22].

В настоящей работе в качестве адаптивного алгоритма выделения клик графа с параметрической адаптации предлагается использовать модификацию алгоритма выделения всех клик графа, предложенного Bron C. и Kerbosh J. (Алгоритм 457) [1,17].

Алгоритм заключается в систематическом переборе всех клик графа путем построения дерева поиска T , которое проходит в процессе поиска с возвращениями. Сокращение количества вершин дерева T , из которых производится построение клик графа, осуществляется с помощью теоремы, которая заключается в следующем.

Если S – подмножество вершин графа G , которое порождает полный подграф, и какая-то вершина x смежна с каждой вершиной из S , и все поддеревья $S \cup \{x\}$ уже исследованы в дереве T , то уже исследованы и порождены все клики, включающие $S \cup \{x\}$, то необходимо исследовать только те из сыновей $S \cup \{v\}$, для которых $v \notin G_x$, где G_x – множество вершин, смежных вершине x .

Указанная теорема может быть применена только к первому исследуемому сыну S . Это является условием выделения всех клик графа, т.е. получения точного решения.

Если теорему применить не только к первому сыну S , то это будет являться условием выделения не всех клик графа, а некоторого подмножества клик графа,

мощность которого будет зависеть от количества сыновей S , к которым будет применено условие теоремы.

Таким образом, количество исследуемых сыновей S дерева T может являться параметром адаптации алгоритма выделения клик графа и предложенная модификация алгоритма выделения всех клик графа переводит алгоритм [17] в класс адаптивных алгоритмов, использующих параметрическую адаптацию для управления точностью решения задачи определения клик графа.

В настоящее время проводится исследование эффективности предложенного адаптивного алгоритма выделения клик графа и формирование базы данных, позволяющей выбирать значения параметров адаптации в зависимости от внешних условий решения задачи.

Заключение. Разработка адаптивных алгоритмов решения на графах с управляемой точностью позволит, не меняя сам алгоритм, а, следовательно, и его программное обеспечение, получить на используемом компьютере наиболее точное решение при заданной размерности задачи и ресурсе времени, отведенном на ее решение, и при этом, в отличие от приближенных алгоритмов, дает возможность получить и точное решение задачи. Такая особенность адаптивных алгоритмов решения комбинаторно-логических задач является особенно важной при постоянно возрастающем быстродействии компьютеров и использованию суперкомпьютеров, поскольку направлена на оптимизацию вычислительных ресурсов компьютера, на котором решается задача.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рейнгольд Э., Нивергельт Ю., Део Н. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика: Пер. с англ. / Под ред. В.Б. Алексеева. – М.: Мир, 1980. – 476 с.
2. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход: Пер. с англ. / Под ред. Г.Г. Гаврилова. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
3. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Курейчик В.М. Применение графов для проектирования дискретных устройств. – М.: Сов.радио, 1975. – 224 с.
4. Литвиненко В.А. Методы определения семейств клик графа // Методы и программы решения оптимизационных задач на графах и сетях. Ч. 2. Теория, алгоритмы. – Новосибирск, 1982. – С. 90-92.
5. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д.Ф. Люгер. – 4-е изд.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2003. – 865 с.
6. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход (AIMA) / С. Рассел, П. Норвиг – 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2005. – 1424 с.
7. Потапов А.С. Технологии искусственного интеллекта – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 218 с.
8. Курейчик В.М. Биоинспирированный поиск с использованием сценарного подхода // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 7-12.
9. Литвиненко В.А., Ховансков С.А., Норкин О.Р. Оптимизации мультиагентной системы распределенных вычислений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 226-234.
10. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 16-24.
11. Растринин Л.А. Адаптация сложных систем. – Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.
12. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б., Чернышев Ю.О. Адаптация на основе самообучения / Монография. – Ростов н/Д.: Изд-во РГАСХМ ГОУ, 2005.
13. Лебедев Б.К., Венцов Н.Н. Адаптивное управление информационными потоками распределенной САПР СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 12 (101). – С. 59-64.
14. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Поисковая адаптация. Теория и практика: Монография. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.

15. *Литвиненко В.А.* Применение адаптивных алгоритмов определения экстремальных множеств графов при решении оптимизационных задач автоматизированного проектирования ЭВА // Известия ТРТУ. – 2001. – № 4 (22). – С. 361-362.
16. *Курейчик В.М., Литвиненко В.А.* Определение клик симметрического графа // Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. Технические науки. – 1979. – № 2. – С. 13-16.
17. *Bron C., Kerbosh J.* Algorithm 457: Finding All Cliques of an Undirected Graph, Comm. ACM, 16 (1973), 575-577.
18. *Калашиников В.А., Литвиненко В.А.* К вопросу определения семейств клик графа. 30. Intern. Wiss. Koll. TH Ilmenau Vortragsreihe. 1985. – С. 41-44.
19. *Литвиненко В.А.* Адаптивные алгоритмы определения экстремальных множеств графов // Известия ТРТУ. – 2000. – № 2 (16). – С. 186-189.
20. *Литвиненко В.А., Зеленский Л.И., Белгородцев Р.А.* Исследование эффективности модифицированного алгоритма определения клик графа // Известия ТРТУ. – 2002. – № 3 (26). – С. 204-205.
21. *Litvinenko V.A.* Adaptive algorithms of definition of extreme sets of graphs // Proceeding of the International Scientific Conferences «Intelligent System (IEEE AIS'03)» and «Intelligent CAD's (CAD-2003)». Scientific publication in 3 volumes. – 2003. – Vol. 3. – С. 52-59.
22. *Литвиненко В.А., Калашиников В.А.* Алгоритм адаптации проектной операции определения клик графа // Известия ТРТУ. – 2003. – № 2 (31). – С. 165-170.
23. *Чернышев Ю.О., Литвиненко В.А., Ховансков С.А., Литвиненко Е.В.* Методы управления точностью решения экстремальных задач на графах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 84-90.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Г.А. Галуев.

Литвиненко Василий Афанасьевич

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: litv@tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371651.

Кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Ховансков Сергей Андреевич

Тел.: +79185792173.

Доцент.

Литвиненко Егор Васильевич

Тел.: 88634360854.

Кафедра систем автоматизированного проектирования; студент.

Litvinenko Vasilii Afanasievich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University».

E-mail: litv@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371651.

The Department of Computer Aided Design; Associate Professor.

Hovanskov Sergey Andreevich

Phone: +79185792173.

Associate Professor.

Litvinenko Yegor Vasilievich

Тел.: +78634360854.

The Department of Computer Aided Design; Student.