

15. Chemyr I. A. SmartText: Using Agents Supporting Personalized Reading Comprehension / I. A. Chemyr, M. A. Horney, L. Anderson-Inman // Personal Technologies. — 1998. — Vol.2, № 3. — P. 152–161.
16. Chimir I. Modeling of a Procedural Knowledge by a Dialogue Knowledge Base / I. Chimir, W. Abu-Dawwas // The International Arab Journal of Information Technology. — 2004. — Vol.1, № 1. — P. 128–134.
17. Kahneman D. Attention and Effort / D. Kahneman. — New Jersey : Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1973.

Стаття присвячена дослідженню та моделюванню внутрішніх механізмів діалогу між людьми з метою розробки штучного людиноподібного діалогового агента. Онтологічний базис діалогової взаємодії між людьми, на якому базуються дослідження, одержано шляхом аналізу діалогів між людьми і ілюструється одним з Платонівських діалогів під назвою Протагор. У статті запропоновані дві моделі, які пояснюють внутрішні механізми діалогу між людьми. Обидві моделі синтезовані для винятку одного типу діалогу між людьми під назвою еротетичний діалог. Модель структури діалогової транзакції синтезована у контексті представлення декларативних знань за допомогою Мови Тернарного Опису. Модель когнітивного циклу діалогової взаємодії є розвитком циклічної моделі перцепції Найсера.

Ключові слова: *природний діалог, еротетичний діалог, діалогова транзакція, декларативні знання, мова тернарного опису.*

Отримано: 23.06.2014

УДК 004.832.2

С. І. Шаповалова, канд. техн. наук

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРАГМЕНТА ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭВРИСТИЧЕСКИХ СТРАТЕГИЙ ПОИСКА

В статье представлена разметка графа пространства состояний для формирования тестовых примеров по задаваемой эвристической стратегии поиска и характеристикам допустимости оценочной функции.

Ключевые слова: *поиск в пространстве состояний, эвристический поиск, допустимость оценочной функции.*

Введение. Поиск в пространстве состояний является одним из фундаментальных подходов искусственного интеллекта. Основной проблемой является слишком большой размер пространства поиска,

при котором даже корректные алгоритмы не приводят к результату из-за нехватки компьютерных и/или временных ресурсов. Выбор и реализация стратегии поиска, оптимальной с точки зрения количества переходов до цели и количества исследованных при этом состояний, необходимы при реализации многих прикладных задач. Формирование описаний тестовых графов поиска с задаваемыми характеристиками целесообразно, во-первых, для составления практических заданий по учебным дисциплинам, связанным с разработкой программного обеспечения систем искусственного интеллекта, и во-вторых, для определения оптимальных алгоритмов на стадии проектирования, а также заключительного тестирования прикладных программ. Поэтому формальное определение графа для эвристического поиска на основе универсальной оценочной функции, позволяющего строить и отображать тестовые примеры заданного уровня сложности, является актуальным и имеет практическое значение.

Современные общепринятые учебные издания по искусственному интеллекту, например [1–5], обязательно включают примеры решения задач эвристического поиска в пространстве состояний. Однако объяснение поиска приводится на нескольких хрестоматийных учебных задачах, таких как задача фермера или «игра в 8». Получение студентами навыков использования эвристических стратегий, а также их контроль, желательно осуществлять на абстрактных графах поиска. Кроме того, единое представление тестовых заданий повышает объективность оценивания знаний.

Цель статьи – формализация представления графа состояний для моделирования информированного поиска по стратегиям, использующим оценочную функцию.

Постановка задачи формирования тестового графа: сформировать описание помеченного графа для моделирования эвристического поиска из начального состояния в конечное по заданной стратегии. Условия:

1. Оценочная функция, соответствующая разметке тестового графа, должна соответствовать возможностям устного счета.
2. В тестовом графе должно быть более одного конечного состояния для того, чтобы проверить корректность использования заданной стратегии, так как на одном и том же графе вывод по различным стратегиям дает разные результаты.
3. Каждый тест должен быть сформирован в двух представлениях: для студента в виде помеченного графа, для преподавателя (или автоматической проверки) – в виде графа с рассчитанными значениями оценочной функции для всех вершин, поставленных в спи-

сок для исследования, а также с выделенными вершинами, «открытыми» в процессе поиска.

Для достижения цели необходимо решить следующие задания:

1. Разработать систему определения структуры и разметки графа, отражающую оценку его вершин.
2. Реализовать формирование записей программного кода, представляющего каждый тестовый граф.
3. Визуализировать тестовый граф по описанию.

Характеристики информированного поиска в пространстве состояний. Характеристики поиска можно разделить на две категории. Первая касается параметров структуры графа, а вторая — свойств эвристического поиска.

Графы поиска в пространстве состояний являются ориентированными графами, дуги которых направлены от состояния-родителя к состоянию-потомку. Поиск в пространстве состояний осуществляется на основании оператора, генерирующего возможные переходы из текущего состояния, и предполагает построение графа из примененных переходов и пройденных вершин непосредственно в процессе поиска. Тестовые графы являются отображением фрагмента пространства поиска и имеют свои отличительные особенности.

Свойства тестовых графов определим, исходя из следующих рассуждений:

1. Запрещен возврат в ранее исследованное состояние, поэтому тестовый граф представим деревом (ациклическим графом).
2. На каждом шаге из всех возможных альтернатив выбирается только одна, поэтому каждая вершина-потомок графа будет иметь единственную входную дугу. Значение полустепени захода каждой вершины s_i графа (кроме корневой s_1) равно единице:

$$\text{deg}^+(s_i) = 1. \quad (1)$$

3. Заранее известно полное количество возможных переходов, но с учетом условий запрета некоторых состояний на каждом шаге количество альтернатив выбора различно, поэтому значение полустепени исхода каждой вершины s_i графа (кроме корневой s_1) находится в диапазоне:

$$\text{deg}^-(s_i) \in [1, k]. \quad (2)$$

где k — количество всех возможных переходов, которые можно построить на основании заданного оператора.

4. Можно достичь одного и того же состояния на основании различных цепочек рассуждений (последовательностей переходов), поэтому в

тестовом графе можно задавать несколько одинаковых состояний при условии, что они принадлежат различным ветвям дерева.

5. В общем случае начальных состояний может быть несколько в зависимости от условий постановки прикладной задачи. Однако поиск должен осуществляться для каждой начальной вершины автономно, поэтому тестовый граф является деревом с единственным корнем.
6. Поиск заканчивается идентификацией целевого состояния, поэтому целевые состояния отображаются листовыми вершинами дерева.

При анализе эвристических стратегий используются следующие параметры оценок сложности алгоритмов [6]: степень ветвления графа b (branching factor), глубина дерева m (максимальное количество уровней) и глубина дерева на уровне решения d . По введенным условиям глубина дерева совпадает с максимальной глубиной целевого состояния. В общем случае, значение параметра b зависит от соотношения полного количества вершин графа и количества листовых вершин. В данном проекте для определения характеристик графа как структуры предлагаются следующие характеристики: полное количество вершин графа n , количество целевых вершин, глубина дерева поиска для каждой целевой вершине, полное количество возможных переходов k , минимальное количество вершин формируемого графа.

Поскольку тестирование предназначается для информированных алгоритмов поиска, рассматриваются только стратегии, в которых используется оценочная функция: «подъем на холм» (hill climbing), «сначала лучший» (best-first search) и A^* . Оценочная функция пути, проходящего через состояние s_i , определяется следующим образом:

$$f(s_i) = g(s_i) + h(s_i), \quad (3)$$

где $g(s_i)$ — стоимость пройденного пути от начального состояния до состояния s , $h(s_i)$ — оценка состояния s_i с точки зрения пути от s_i до целевого состояния.

Приоритет состояний строится по принципу: чем меньше значение $f(s_i)$, тем лучше.

Для стратегии hill climbing не учитывается составляющая $g(s_i)$. Стратегии best-first search и A^* используют полную формулу (3). Однако A^* требует выполнения условия допустимости оценочной функции:

$$h(s_i) \leq h^*(s_i), \quad (4)$$

где $h^*(s_i)$ — фактическая стоимость кратчайшего пути от s_i до целевого состояния (соответствующей действиям по решению прикладной задачи).

Допустимость гарантирует, что первое найденной решение будет оптимальным по стоимости пути от начального состояния до целевого. Необходимо учесть, что для стратегии A^* оценочная функция

может быть двух типов: допустимая и немонотонная, допустимая и монотонная. Монотонность гарантирует, что каждая вершина, найденная в процессе поиска, будет находиться на кратчайшем пути, ведущем у целевой вершине, то есть в процессе поиска не будет рассмотрено ни одной «лишней» вершины, не ведущей к цели. Эвристическая функция монотонна [3], если:

1. Для всех состояний s_i и s_j выполняется условие:

$$h(s_i) - h(s_j) \leq \text{cost}(s_i, s_j), \quad (5)$$

где s_j — потомок s_i , $\text{cost}(s_i, s_j)$ — фактическая стоимость (количество шагов при единичной стоимости дуги графа) перемещения от состояния s_i до состояния s_j .

2. Эвристическая оценка целевого состояния равна нулю:

$$h(\text{Goal}) = 0. \quad (6)$$

Порядок исследования вершин графа и их количество в процессе поиска зависят от используемой стратегии и таких характеристик оценочной функции как монотонность и допустимость. При формализации описаний тестовых графов необходимо учесть, что использование каждой из этих стратегий накладывает свои требования по выполнению этих характеристик.

Представление оценочной функции и разметки тестовых графов. В основу разметки тестовых графов положена лексикографическая упорядоченность в соответствии с латинским алфавитом. Каждая вершина помечается одной буквой. Для расчета эвристической функции предлагается следующая формула:

$$h(s_i) = \frac{6}{N}, \quad (7)$$

где N — номер буквы, помечающей вершину s_i в алфавите.

Обратная пропорция означает, что чем далее по алфавиту находится название вершины, тем «ближе» она к целевой. Функция (7) будет направлять поиск при условии, что непосредственные преемники каждой вершины будут иметь оценочную функцию меньшую, чем у вершины-родителя:

$$h(s_{i+1}) < h(s_i), \quad (8)$$

где s_i — вершина-родитель вершины s_{i+1} .

При этом упорядоченность преемников текущей вершины s_i не является необходимым условием. Это дает возможности:

1) моделировать множество различных разметок графа одной и той же структуры;

2) проектировать различные варианты обхода вершин графе с одной и той же разметкой, используя разные стратегии.

Формула (7) подобрана таким образом, чтобы выполнить требование простоты расчетов. С этой же целью для разметки отобраны только те буквы, номера которых имеют общий делитель с 6 или очевидный ответ расчета по формуле (7). В таблице 1 из ниже представленного примера представлены используемые обозначения вершин.

Расчет эвристической функции по формуле (7) и выполнение условия (8) обеспечивают поиск по стратегии best-first search при любых значениях стоимости ребер (найденный путь будет иметь минимальную стоимость). Остальные стратегии требуют выполнения дополнительных условий при разметке графа.

Алгоритм, реализованный по стратегии hill climbing, по определению не является полным, то есть он не гарантирует нахождение существующего ответа. Для того, чтобы путь от начальной до целевой вершины был найден, необходимо на каждом шаге выбирать для вершины s_i преемник s_{i+1} , принадлежащий этому пути, то есть выполнять условие:

$$h(s_{i+1}) = \min\left(h(s_{i+1}^1), h(s_{i+1}^2), \dots, h(s_{i+1}^k)\right), \quad (9)$$

где s_{j+1}^i — j -й кандидат в преемники из k альтернатив перехода.

Постановку задачи поиска по стратегии hill climbing корректно формулировать следующим образом: «Найти решение на заданном графе по стратегии hill climbing или доказать, что это невозможно». В тестовых примерах, где решение должно быть найдено, разметка графа начинается с разметки ветви, содержащей искомым путь, в соответствии с формулой (7) и условиями (8) и (9).

Стратегия A^* является частным случаем best-first search и определяется дополнительными требованиями к оценочной функции. Она обязательно должна быть допустимой. Формула (7) обеспечивает условие допустимости в случае единичной стоимости всех ребер графа при соблюдении требования, чтобы минимальная глубина нахождения целевой вершины была не менее 3. В случае, когда стоимость вершин превышает единицу, условие допустимости выполняется для всех вершин без дополнительных требований.

Монотонность оценочной функции (7) достигается за счет выполнения условий (8) и (9) и введения специального обозначения целевой вершины Goal для выполнения условия (6).

Представление результатов моделирования фрагмента пространства поиска. Описанная система разметки позволяет строить описание графа в виде последовательности дуг, связывающих помеченные вершины. Учитывая специализацию этого графа, для его визуализации

можно использовать один из алгоритмов поуровневого изображения дерева, например радиальное расположение [7]. При полностью автоматизированной визуализации тестовых графов необходимо также решить проблему размещения меток, обеспечивая наглядность, недвусмысленность и отсутствие наложений. Однако для достижения поставленной цели достаточно подготовить несколько шаблонов изображений графа и впоследствии расставлять обозначения и рассчитанные значения оценок вершин в заранее предусмотренные поля.

Приведем общую формулировку тестового примера для студентов:

дано: изображение фрагмента графа пространства состояний, обозначения начального и целевого состояний, стратегия поиска, формула расчета эвристической функции (7);

определить: путь от начального до целевого состояния, последовательность исследованных вершин в процессе поиска решения.

На рисунке 1 приведен пример изображения тестового графа, на котором осуществлялся поиск от вершины А до вершины Х с единичной стоимостью ребер по стратегии best-first search.

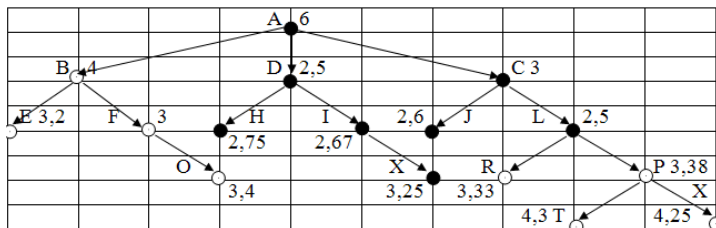


Рис. 1. Тестовый граф поиска по стратегии best-first search

Изображение этого графа предназначено для преподавателя. Закрашены вершины, «открытые» в процессе поиска, рядом с каждой вершиной поставлена ее оценка (табл. 1). Ответ: путь от начального до целевого состояния — А, D, I, X; последовательность исследованных вершин — А, D, I, H, C, L, J, X. В задании студента предоставляется граф с обозначениями вершинами без выделений. Расчет значений оценочной функции производится самостоятельно.

Таблица 1

Расчетные характеристики тестового графа поиска по стратегии best-first search

№ п/п	Обозначение вершины s_i	Параметр оценки N	Эвристическая оценка $h(s_i)$	Глубина графа $d(s_i)$	Оценочная функция $f(s_i) = h(s_i) + d(s_i)$
1	А	1	6	0	6
2	В	2	3	1	4
3	С	3	2	1	3

Продолжение таблицы 1

4	D	4	1,5	1	2,5
5	E	5	1,2	2	3,2
6	F	6	1	2	3
7	H	8	0,75	2	2,75
8	I	9	0,67	2	2,67
9	J	10	0,6	2	2,6
10	L	12	0,5	2	2,5
11	O	15	0,4	3	3,4
12	P	16	0,38	3	3,38
13	R	18	0,33	3	3,33
14	T	20	0,3	4	4,3
15	X	24	0,25	3 / 4	3,25 / 4,25

Выводы:

1. Обоснованы характеристики графа состояний, которые должна отражать модель фрагмента пространства состояний.
2. Предложено представление оценочной функции, используемой в стратегиях эвристического поиска, и способы обеспечения характеристик ее допустимости и монотонности при разметке графа.
3. Предложена концепция разметки графа на основании расчета оценочной функции, позволяющая моделировать фрагмент пространства состояний для поиска по задаваемой стратегии.

Тестовые графы могут быть использованы для обучения, проверки знаний и тестирования базовых программ поиска для проверки выполнения основных условий. Однако подобные примеры не пригодны для общего случая тестирования программного обеспечения прикладных интеллектуальных задач, пространство поиска которых несоизмеримо больше используемого в тестах. Перспективами дальнейших исследований является разработка системы формирования графов с сотнями вершин, разметка которых позволяет тестировать корректность алгоритмов поиска.

Список использованной литературы:

1. Джарратано Дж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Дж. Джарратано, Г. Райли. — М. : Вильямс, 2007. — 1152 с.
2. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. — 2-е изд. — М. : Вильямс, 2006. — 1408 с.
3. Luger G. F. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving / G. F. Luger. — 6th ed. — Addison-Wesley, 2008. — 784 p.
4. Братко И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке PROLOG / И. Братко. — М. : Вильямс, 2004. — 640 с.

5. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. — СПб. : Питер, 2000. — 384 с.
6. Jones M. T. Artificial Intelligence: A Systems Approach (Computer Science) / M. T. Jones. — Jones & Bartlett Learning, 2009. — P. 89.
7. Касьянов В. П. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В. П. Касьянов, В. А. Евстигнеев. — СПб. : БХВ-Петербург, 2003. — 1104 с.

The paper presents a state graph labeling for the generation of test pattern of search tree by user-defined strategy and admissibility characteristics of the evaluate function.

Key words: *state space search, heuristic search, admissibility of the evaluate function.*

Отримано: 14.07.2014

UDC 517.5+518.5+519.65+517.518.8+517.518.34

A. A. Verlan*, Ph. D., Associate Professor,
Jo Sterten**, Assistant Professor

*National Technical University of Ukraine
«Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv,

**Gjøvik University College, Gjøvik, Norway

ON THE REPRESENTATION OF NON-LINEAR FUNCTIONS BY FRACTIONAL-POWER SERIES

A method for approximation of relationships by polynomials containing fractional-power terms is proposed, which in many cases makes it possible to cut down the number of computations. The proposed method for representation of relations by fractional-power polynomials features a smaller number of expansion terms while the approximation precision being the same as in the case of the «classical» methods. The method for finding the parameters of such expansions is considered; generalized spline of fractional order (smaller than or equal to unity) is defined. The experimental results on approximation of relations by fractional splines are presented.

Key words: *approximation, non-linear relationships, fractional-power series, splines.*

Introduction. The modeling and identification of *industrial / manufacturing objects* requires registration of experimental relationships which are usually represented in discrete form [1]. In this regard, there occurs the problem of analytical representation of the experimental relationships recorded, and in the case when the experiments are conducted in conditions of high data recording noise levels — the problem of fairing the experimental curves. The precision of approximation by the existing interpola-