

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 681.3

МЕТОД ГЕНЕРАЦИИ ФРАГМЕНТОВ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ С УЧЕТОМ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ СОЧЕТАНИЙ ОПЕРАЦИЙ*

Е.В. ГЕНИАТУЛИНА¹, М.Г. ГРИФ²

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры АСУ НГТУ. E-mail: genilen@mail.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой АСУ НГТУ. E-mail: grifmg@mail.ru.

Описана формальная модель представления данных в системе, обеспечивающей оптимальное проектирование процессов функционирования человеко-машинных систем, – ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-3. Введены базовые понятия обобщенного структурного метода. Приведены основные понятия и определения, необходимые для алгоритма генерации фрагментов процесса с учетом обязательных сочетаний операций. Предложено использование матрицы обязательных сочетаний операций, в которой ненулевые элементы строк имеют смысл единственно возможных сочетаний способов выполнения соответствующих ТФЕ в альтернативах. Введено понятие состава и понятие парной несовместимости составов, на основе которой происходит распределение выполняемых функций составами. Представлен алгоритм оптимизации с учетом обязательных и недопустимых сочетаний операций, позволяющих наложить ограничения на последовательность выполнения операций процесса функционирования человеко-машинной системы. В качестве критерия оптимальности алгоритма выбрана трудоемкость алгоритма, понимаемая как количество элементарных операций, которые необходимо выполнить для решения задачи. Показано, что данный алгоритм является количественно зависимым. Посчитана трудоемкость алгоритма оптимизации с учетом обязательных и недопустимых сочетаний операций.

Ключевые слова: функционально-структурная теория, человеко-машинная система, множество альтернатив, альтернативный граф, функциональная сеть, цель операции, обязательные сочетания операций, парная несовместимость

* Статья получена 2 августа 2014 г.

ВВЕДЕНИЕ

Современному человеку в процессе принятия профессиональных и иных решений приходится затрачивать много времени и средств на анализ огромных массивов различной информации. Выбор в реальных ситуациях требует выполнения операций, одни из которых более эффективно выполняет человек, а другие эффективно может выполнять и машина.

Одной из систем, обеспечивающей оптимальное проектирование процессов функционирования человеко-машинных систем (ЧМС), является Гибридная экспертная система (ГЭС) ИНТЕЛЛЕКТ-3 [1]. В основе представления процесса функционирования ЧМС в данной системе лежит обобщенный структурный метод (ОСМ). В основе структурной теории лежит представление процесса в виде последовательности действий, регламентируемых определенными функциональными типовыми структурами (ТФС), каждая ТФС представляется состоящей из ряда формализованных единиц – типовых функциональных единиц (ТФЕ). Функциональные сети и ОСМ специально предназначены для количественной оценки вероятностно-временных и ресурсно-стоимостных показателей процесса функционирования сложных систем с учетом участия в них человека.

В системе ИНТЕЛЛЕКТ-3 процесс задается в виде графа посредством суперпозиции ТФС. Каждая ТФС включает в себя обязательные параметры: множество функций (глагол), множество элементов (человек, техника) и операции O (что выполняется). Под операцией понимается процесс выполнения функции F элементом E в состоянии ЧМС S . Под операцией понимается процесс выполнения функции каким-либо элементом. $O \equiv O(F, E, Q)$ [1, 2].

Способов выполнения операций может быть несколько. Причем существуют ограничения на совместимость тех или иных способов. То есть тот или иной способ выполнения не может выполняться одновременно с другим или же, наоборот, может существовать прямая зависимость на последовательность выполнения тех или иных операций. Пользователь не может сгенерировать альтернативы для отдельного выбранного им фрагмента процесса с учетом таких ограничений, что увеличивает время, затрачиваемое на создание графа, и уменьшает эффективность за счет возможного упущения тех или иных ограничений.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Формализуем понятие ограничений на совместимость способов выполнения ТФЕ P_{ogr} [52]. Определим матрицу из N_{ogr} ограничений на совместимость способов выполнения ТФЕ $M_{sov} = \left\| m_{ij} \right\|_{N_{ogr} \times |M_{ТФЕ}|}$, где каждый j -й столбец

матрицы M_{sov} соответствует своей ТФЕ $-\forall i m_{ij} \in M_p(O_j) \cup 0, j = 1, \dots, |M_{ТФЕ}|$ и $M_{ТФЕ} = \bigcup_{j=1}^{|M_{ТФЕ}|} O_j$. Если некоторый элемент матрицы $m_{ij} = 0$, то он не значим для i -го ограничения. Так, при выполнении условия $m_{ij} = 0, j = 1, \dots, |M_{ТФЕ}|$ i -ю строку матрицы M_{sov} можно удалить (не учитывать). Пусть M_{sov}^i – список всех $m_{ij} \neq 0$ в i -й строке матрицы M_{sov} .

$M_{zsov} = \left\| m_{ij} \right\|_{N_{ogr} \times |M_{ТФЕ}|}$, где каждый j -й столбец матрицы M_{zsov} соответствует своей ТФЕ $-\forall i m_{ij} \in M_p(O_j) \cup 0, j = 1, \dots, |M_{ТФЕ}|$ и $M_{ТФЕ} = \bigcup_{j=1}^{|M_{ТФЕ}|} O_j$. Если некоторый элемент матрицы $m_{ij} = 0$, то он не значим для i -го ограничения.

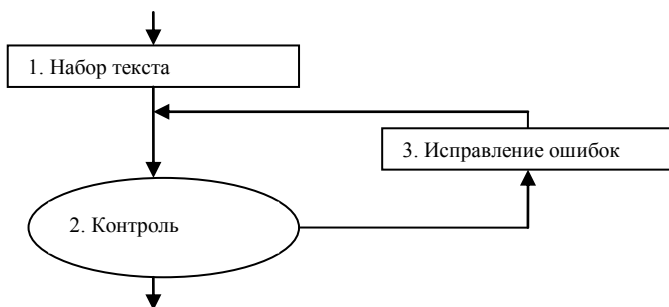
Появляется задача направленного перебора с учетом обязательных сочетаний операций и автоматической генерации матрицы M_{sov} или M_{zsov} . Когда пользователь вводит матрицу самостоятельно, ему необходимо помнить, какой номер у способа выполнения операции в определенной ТФС. Это заставляет пользователя тратить больше времени на ввод матрицы ограничений на совместимость.

2. ФОРМАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Рассмотрим пример понятия ограничений на совместимость способов выполнения ТФЕ с учетом недопустимых сочетаний операций. Пусть набором текста на ЭВМ могут заниматься два оператора – A и B (см. рисунок). В данной ФС только три операции, следовательно, имеем восемь альтернатив.

Однако реальных альтернатив только две: назначить на все три операции либо A , либо B . Следовательно, нужно задать матрицу

$$M_{sov} = \begin{Bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \text{ или } M_{zsov} = \begin{Bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \end{Bmatrix}.$$



Функциональная сеть набора текста оператором ЭВМ

Для упрощения ввода и хранения информации, используемой ранее, а также для автоматического формирования матрицы M_{sov} введем понятие списка по парной несовместимости составов:

$$Sp \equiv (St_i, St_j), \text{ где } St_i, St_j \equiv (O_1, O_2, \dots, O_n, B, T, V).$$

На основе приведенного примера достаточно сказать, что A и B несовместимы, чтобы получить автоматическую матрицу M_{sov} , приведенную выше, тогда как, вводя матрицу самостоятельно, пользователю необходимо помнить, какой номер у способа выполнения операции в определенной ТФС, что заставляет пользователя тратить больше времени на ввод матрицы ограничений на совместимость.

Таким образом, получаем:

$Sp \equiv (A, B)$ – означает, что состав A и состав B – несовместимы.

В результате на основе примера получается матрица несовместимых сочетаний способов выполнения операций:

$$M_{sov} = \left. \begin{array}{l} 1 \quad 2 \quad 0 \\ 1 \quad 0 \quad 2 \\ 2 \quad 1 \quad 0 \\ 2 \quad 0 \quad 1 \\ 0 \quad 1 \quad 2 \\ 0 \quad 2 \quad 1 \end{array} \right\}.$$

Поскольку просмотр графа последовательный и сравнение попарно, добавляется в матрицу еще две строки $\{0,2,1\}$ и $\{0,1,2\}$. Они являются лишними, поскольку сочетания $\{1,2,0\}$ и $\{1,0,2\}$ уже учитывают $\{0,2,1\}$ и $\{0,2,1\}$.

В связи с этим встает необходимость поиска взаимозаменяющих строк, который предполагает поиск лишних строк и удаление их из матрицы несовместимых способов сочетания операций для более быстрого его анализа, что сокращает время работы всего алгоритма оптимизации в целом.

3. АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ С УЧЕТОМ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ И НЕДОПУСТИМЫХ СОЧЕТАНИЙ ОПЕРАЦИЙ

Алгоритм генерации матрицы ограничений на совместимость при парном несоответствии

НАЧАЛО

ШАГ 1: $i = \text{количество строк в } M_{sov}$

ШАГ 2: ЦИКЛ ДЛЯ ($k=1; k \leq \text{количество альтернатив}; k++$)

ШАГ 3: ЦИКЛ ДЛЯ ($l=k+1; l \leq \text{количество альтернатив}; l++$)

ШАГ 4: ЕСЛИ k и l несовместимы

ШАГ 5: ЕСЛИ (*Поиск взаимозаменяющих строк*==0)

ШАГ 6: $i++$

ШАГ 7: $M_{sov}[i][k] = k$

ШАГ 8: $M_{sov}[i][l] = l$

ШАГ 9: ИНАЧЕ;

ШАГ 10: ЕСЛИ (*Поиск взаимозаменяющих строк*==0)

ШАГ 11: $i++$

ШАГ 12: $M_{sov}[i][k] = l$

ШАГ 13: $M_{sov}[i][l] = k$

ШАГ 14: ИНАЧЕ;

ШАГ 15: ИНАЧЕ;

ШАГ 16: КОНЕЦ ЦИКЛА

ШАГ 17: КОНЕЦ ЦИКЛА

КОНЕЦ

Алгоритм задания обязательных способов выполнения операций

НАЧАЛО

ШАГ1: ЕСЛИ применимо для всех ТФЕ;

ШАГ2: ШАГ 5

ШАГ3: ИНАЧЕ

ШАГ4: ВВОД номеров ТФЕ через запятую

ШАГ5: ВВОД номера альтернативы

ШАГ6: Формирование строк обязательных сочетаний операций

КОНЕЦ

Алгоритм анализа обязательных и недопустимых операций

НАЧАЛО

ШАГ 1: ЕСЛИ задана M_{zsov}

ШАГ 2: ЦИКЛ ДЛЯ ($i=0; i < M_{zsov}.Length; i++$)

ШАГ 3: $k=0; k1=0$; //счетчики

ШАГ 4: ЦИКЛ ДЛЯ ($j=0; j < M_{zsov}[i].Length; j++$)

ШАГ 5: ЕСЛИ $M_{zsov}[i][j] \neq 0$

ШАГ 6: $k++$

ШАГ 7: ЕСЛИ $M_{zsov}[i][j] \neq 0$ и $M_{zsov}[i][j] \neq$ рассматриваемой альтернативе

ШАГ 8: Запоминаем альтернативу, $k1++$

ШАГ 9: ИНАЧЕ;

ШАГ 10: КОНЕЦ ЦИКЛА

ШАГ 11: ЕСЛИ $k \neq k1$ или $k = 0$

ШАГ 12: $k=0, k1=0, continue$

Продолжение алгоритма анализа обязательных и недопустимых операций

ШАГ 13: ИНАЧЕ return 0 //нельзя удалять

ШАГ 14: ИНАЧЕ ЕСЛИ задана M_{sov}

ШАГ 15: ЦИКЛ ДЛЯ ($i=0; i < M_{sov}.Length; i++$)

ШАГ 3: $k=0; k1=0$; //счетчики

ШАГ 4: ЦИКЛ ДЛЯ ($j=0; j < M_{sov}[i].Length; j++$)

ШАГ 5: ЕСЛИ $M_{sov}[i][j] \neq 0$

ШАГ 6: $k++$

ШАГ 7: ЕСЛИ $M_{sov}[i][j] \neq 0$ и $M_{sov}[i][j] \neq$ рассматриваемой альтернативе

ШАГ 8: Запоминаем альтернативу, $k1++$

ШАГ 9: ИНАЧЕ;

ШАГ 10: КОНЕЦ ЦИКЛА

ШАГ 11: ЕСЛИ $k \neq k1$ или $k = 0$

ШАГ 12: $k=0, k1=0, continue$

ШАГ 13: ИНАЧЕ return 2 //удалять безусловно

ШАГ 14: ИНАЧЕ;

КОНЕЦ

В качестве критерия оптимальности алгоритма выбирается трудоемкость алгоритма, понимаемая как количество элементарных операций, которые необходимо выполнить для решения задачи с помощью данного алгоритма. Трудоемкость алгоритмов зависит от входных данных, а точнее – от их объема.

В нашем случае трудоемкость зависит от количества строк в каждой из матриц и не зависит от значений данных.

Алгоритм выполняет одинаковое количество операций при фиксированном значении n ограничений и, следовательно, является количественно-зависимым. Следовательно, трудоемкость алгоритма – $O(n)$, где n – количество ограничений алгоритма.

Так, для матрицы недопустимых сочетаний операций трудоемкость – $O(n_{sov})$, где n_{sov} – количество строк в M_{sov} . Для матрицы обязательных сочетаний операций трудоемкость – $O(n_{zsov})$, где n_{zsov} – количество строк в M_{zsov} .

Следовательно, эффективнее выбирать ту матрицу в ходе решения задачи, в которой наименьшее количество строк.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный метод генерации процессов функционирования позволяет пользователю задать быстро и удобно альтернативы, имеющие ограничения на совместимость или же являющиеся обязательными для того или иного процесса. Данный метод программно реализован в ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-3 с учетом всех описанных особенностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриф М.Г. Современные методы проектирования информационно-управляющих систем: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 95 с.
2. Гениатулина Е.В., Гриф М.Г. Методы генерации множества альтернатив в задачах оптимизации человеко-машинных систем // Научный вестник НГТУ. – 2010. – № 4 (41). – С. 41–50.
3. Гениатулина Е.В. Проектирование процессов функционирования в человеко-машинных системах // Перспективы развития информационных технологий: сборник материалов II Ежегодной всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новосибирск: Сибпринт, 2010. – С. 205–210.
4. Гениатулина Е.В. Метод генерации процессов функционирования человеко-машинных систем в интеллектуальных системах // Молодой ученый. – 2009. – № 10. – С. 83–84.

5. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. – Л.: Наука, 1982. – 270 с.

6. Гениатулина Е.В. Представление данных в интеллектуальных системах, усеченно-естественный язык // Материалы девятой международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии», Воронеж, 12–13 февраля 2009 г.: в 2 т. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2009. – Т. 1. – С. 202–210.

7. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: справочник / А.Н. Адаменко, А.Т. Ашероф, И.Л. Бердников, Т.Н. Борщева; под общ. ред. А.И. Губинского и В.Г. Евграфова. – М.: Машиностроение, 1993. – 528 с.

8. Решта И.В. Интеллектуальная система поддержки принятия решений. Структурный подход [Электронный ресурс] // Материалы международного семинара «Диалог 2003». – [М.], 2003. – С. 1–8. – URL: <http://www.dialog-21.ru/Archive/2003/Reshta.pdf> (дата обращения: 29.10.2014).

9. MacGarry K., Wermter S., MacIntyre J. Hybrid neural system: from simple coupling to fully integrated neural network // Neural computing surveys. – 1999. – Vol. 2. – P. 62–93.

10. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта: пер. с фр. – М.: Мир, 1991. – 568 с.

Гениатулина Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры АСУ НГТУ. Основное направление научных исследований – автоматизация проектирования человеко-машинных систем. Имеет 12 публикаций. E-mail: genilen@mail.ru

Гриф Михаил Геннадьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой АСУ НГТУ. Основное направление научных исследований – автоматизация проектирования человеко-машинных систем, методы дискретной оптимизации и искусственного интеллекта. Имеет более 210 публикаций, в том числе 3 монографии и 14 учебных пособий. E-mail: grifmg@mail.ru

The method of generation of fragments of functioning whith the mandatory mix of operations*

E.V. Geniatulina¹, M.G. Grif²

Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD, associate professor of ACS NSTU. E-mail: genilen@mail.ru
Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD, prof, head of department ACS NSTU. E-mail: grifmg@mail.ru.

We describe a formal model of data in the system which allows an optimal process design of man-machine systems - INTELLIGENCE HPP-3. The basic concepts of a generalized structural method introduced. The basic concepts and definitions necessary for the generation algorithm of process fragments with the mandatory combinations of operations are shown. Proposed use of the matrix binding combinations of operations, in which the nonzero elements of rows are meaningful only possible combinations of ways to implement the relevant alternatives in TFE. The concept of the concept and the pair incompatibility compositions on which there is a distribution of functions performed compositions introduced. An algorithm for optimization with the mandatory and invalid combinations of operations which allow to impose restrictions on the sequence of operations of the process of man-machine systems. The optimality criterion is chosen algorithm complexity of the algorithm, understood as the number of elementary operations that must be done to solve the problem. It is shown that the algorithm is quantified data dependent. Counting complexity of the optimization algorithm with the mandatory and invalid combinations of operations.

Keywords: functional-structural theory, man-machine system, a set of alternatives, alternative graph, functional network, the purpose of the operation, the required combination of operations, steam incompatibility

REFERENCES

1. Grif M.G. *Sovremennye metody proektirovaniya informatsionno-upravlyayushchikh sistem* [Modern methods of design information management systems]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2003. 95 p.
2. Geniatulina E.V., Grif M.G. *Metody generatsii mnozhestva al'ternativ v zadachakh optimizatsii cheloveko-mashinnykh sistem* [Methods of alternatives set generation in man-machine systems optimization problems]. *Nauchnyi vestnik NGTU – Science bulletin of Novosibirsk state technical university*, 2010, no. 4 (41), pp. 41–50.
3. Geniatulina E.V. [Designing processes functioning in man-machine systems]. *Perspektivy razvitiya informatsionnykh tekhnologii. Sbornik materialov II Ezhegodnoi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Prospects for the development of information technology. Collection of

* Received 2 August 2014.

materials II Annual All-Russian scientific and practical conference with international participation]. Novosibirsk, Sibprint Publ., 2010, pp. 205–210. (In Russian).

4. Geniatulina E.V. Metod generatsii protsessov funktsionirovaniya cheloveko-mashinnykh sistem v intellektual'nykh sistemakh [Method for the generation process of man-machine systems in intelligent systems], *Molodoi uchenyi – Young scientist*, 2009, no. 10, pp. 83–85.

5. Gubinskii A.I. *Nadezhnost' i kachestvo funktsionirovaniya ergaticheskikh sistem* [Reliability and quality of operation ergonomics systems], Leningrad, Nauka Publ., 1982. 270 p.

6. Geniatulina E.V. [Data representation in intelligent systems, truncated natural language], *Materialy devyatoi mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii "Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii"*: v 2 t. [Proceedings of the ninth international scientific conference "Computer science problems, methodology, technology": in 2 vol.]. Voronezh, 2009, vol. 1, pp. 202–210. (In Russian).

7. Adamenko A.N., Asherov A.T., Berdnikov I.L., Borshcheva T.N. *Informatsionno-upravlyayushchie cheloveko-mashinnye sistemy. Issledovanie, proektirovanie, ispytaniya. Spravochnik* [Information and control man-machine systems. Research, development, test. Directory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1993. 528 p.

8. Reshta I.V. [Intelligent decision support system. A structured approach]. *Materialy mezhdunarodnogo seminara "Dialog 2003"* [Proceedings of international seminar "Dialogue 2003"], Moscow, 2003, pp. 1–8. (In Russian). Available at: <http://www.dialog-21.ru/Archive/2003/Reshta.pdf> (accessed 29.10.2014)

9. MacGarry K., Wermter S., MacIntyre J. Hybrid neural system: from simple coupling to fully integrated neural network. *Neural computing surveys*, 1999, vol. 2, pp. 62–93.

10. Lauriere J.-L. *Intelligence artificielle. Resolution de problemes par l'homme et la machine*. Paris, Eyrolles, 1987. 473 p. (in French). (Russ. ed.: Lor'er Zh.-L. *Sistemy iskusstvennogo intellekta*. Perevod s frantsuzskogo, Moscow, Mir Publ., 1991. 568 p.).