

СИНТАКСИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Е. А. Лавров, д-р техн. наук, профессор;
Н. Б. Пасько*, ст. преподаватель,
Сумский государственный университет,
ул. Римского-Корсакова, 2, 40007, г. Сумы, Украина;
E-mail: prof_lavrov@mail.ru

*Сумский национальный аграрный университет,
ул. Кирова, 160, 40020, г. Сумы, Украина.

Светлой памяти докторов технических наук, профессоров
Анатолия Ильича Губинского (1931-1990),
Владимира Георгиевича Евграфова (1931-2011)
и Акивы Товиевича Ашерова (1938-2011) посвящаем.

Рассматривается задача разработки моделей синтаксического анализа функциональной сети, описывающей процесс функционирования системы «человек-машина», с целью автоматизации оценивания показателей человеко-машинного взаимодействия. Работа выполнена в рамках функционально-структурной теории эрготехнических систем проф. А. И. Губинского.

Ключевые слова: человеко-машинная система, эргономика, функциональная сеть, типовая функциональная единица, типовая функциональная структура, правило распознавания.

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Справочник [1] определяет **функциональную сеть** как «один из принципиально новых подходов в теории и практике сетевых методов. Функциональная сеть представляет собой языково-алгебраическую систему для описания поведения логико-динамических объектов дискретного типа любой природы, в том числе и деятельности оператора. Является обобщением аппарата алгоритмических, автоматных, традиционных сетевых методов; они применяются для построения математических моделей, позволяющих получать вероятностные и ресурсные (в т. ч. и временные) характеристики деятельности оператора. Применение функциональных сетей позволяет перейти от ретроспективных индуктивно-эмпирических методов к более перспективным дедуктивно-формальным методам исследования, отражающим как специфические свойства отдельных элементов (и человека, и машины), так и их системную результативность и устойчивость функционирования».

Функциональные сети (ФС) стали основой предложенного профессором Анатолием Ильичем Губинским обобщенного структурного метода (ОСМ) моделирования человеко-машинного взаимодействия.

С проблемой человеческого фактора Анатолий Ильич Губинский столкнулся, проходя службу на кораблях Военно-Морского Флота (в должностях: командир боевой части, старший механик, главный механик дивизиона; в 1959 году принимал участие в первом походе атомного подводного крейсера к Северному полюсу). Опыт, полученный А. И. Губинским в процессе службы на флоте, стал толчком к началу исследований в области поиска эргономических резервов совершенствования сложных судовых систем управления. В 1963 году А. И. Губинский (совместно с Ю. П. Гречко) возглавил первую лабораторию ВМФ, занимающуюся вопросами эргономического обеспечения.

Разработанный Губинским А. И. с соратниками-сослуживцами по ВМФ (Евграфов В. Г., Кобзев В. В., Чабаненко П. П., Еремеев В. И., Мигачев В. В. и др.) ОСМ, позволил эффективно моделировать, оценивать и оптимизировать судовые системы управления. Основой такой эффективности стали модели, позволяющие описывать на едином языке деятельность человека-оператора и функционирование технических подсистем корабля.

Такой моделью и была ФС.

Привлечение к революционным исследованиям в области эргономики ученых-математиков (Падерно П. И., Адаменко А. Н., Кучуков А. М. и др.) и ученых, занимавшихся исследованием автоматизированных систем различного назначения (Ашероф А. Т., Павлов Е. А., Кожевников Г. А. Ротштейн А. П., Амбарцумян К. А., Плаксин И. А., Лаушкин Г. Д., Яковлев Б. А., Цой Е. Б., Гриф М. Г. и многих других) позволили развить и эффективно использовать ФС для моделирования и эргономического совершенствования автоматизированных систем различного назначения. Среди них: АСУТП, АСУП, САПР, ИАСУ, автоматизированные обучающие системы, авиационные системы и даже космические системы (Попович П. Р., Колесников Г. М.).

ОСМ постоянно развивался и совершенствовался. Официально А. И. Губинский зафиксировал ОСМ-67, ОСМ-75, ОСМ-81. После ухода из жизни А. И. Губинского в 1990 году версии ОСМ перестали нумеровать.

Однако интенсивные исследования основанной проф. Губинским А. И. научной школы "Эффективность, качество и надежность эрготехнических систем" в области развития аппарата ФС продолжают и сегодня трудами научных направлений докторов наук профессоров П. И. Падерно (С. Петербург), П. П. Чабаненко (Севастополь), А. П. Ротштейн (Иерусалим), Штовбы С. Д. (Винница), Цоя Е. Б. (Новосибирск), Грифа М. Г. (Новосибирск) и др.

Анализ проблемной ситуации и постановка задач исследования

Суть процедур оценивания показателей человеко-машинного взаимодействия состоит в следующем:

- выделяются действия и операции процесса функционирования системы;
- в соответствие действиям и операциям ставят типовые функциональные единицы (ТФЕ) [2];
- устанавливают логико-функциональные связи между ТФЕ и формируют модель процесса (множество ТФЕ и связей между ними образуют модель в виде ФС);
- ищутся типовые функциональные структуры (ТФС), которые заменяются на эквивалентные ТФЕ с такими же показателями качества выполнения и расхода ресурсов.

Последняя процедура повторяется многократно до полного "сворачивания" ФС.

Многообразие возможных связей между ТФЕ и, как правило, большая размерность сетей вызывают проблемы:

- Большая трудоемкость «ручного счета»;
- Для автоматизированных моделирующих систем - трудоемкость процедур перевода представленных в графическом виде или словами структур алгоритмов в машинноориентированную форму;
- Сложности реализации процедур полной автоматизации расчетов (без вмешательства человека), связанных с эквивалентированием показателей и поэтапным уменьшением размерности сети.

Развитию моделей описания функциональных сетей посвящены работы Евграфова В. Г. [2], Чабаненко П. П. [2], Адаменко А. Н. [2, 3], Ротштейна А. П. [4], Цоя Е. Б. [5], Грифа М. Г. [5] и др. Анализ

некоторых попыток формально описать ФС на языке, удобном для ввода в компьютер, проведен в [8].

В связи с последними требованиями, возникшими из-за широкого внедрения полиэргатических систем с жесткими ограничениями на время принятия управленческих решений, когда оператору-руководителю необходимо оперативно анализировать процессы человеко-машинного взаимодействия, возникает необходимость анализировать ФС в автоматическом режиме (без участия человека). Существующие средства автоматизации анализа ФС, как указано в [8], имеют резервы повышения эффективности. Это вызвало необходимость разработки нового языка описания ФС. Такой язык предложен нами в работах [7, 8]. Язык описания ФС должен быть дополнен моделями, позволяющими анализировать и распознавать ТФС таким образом, чтобы обеспечить автоматический анализ и оценивание ФС.

Таким образом, задачей данного исследования является разработка механизма распознавания ТФС для обеспечения процедуры редукции ФС, описанной моделью [7, 8].

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Укрупненный алгоритм редукции функциональной сети

Язык [7, 8] обеспечивает возможность выявлять ТФС в модели ФС и заменять их на эквивалентные ТФЕ. Таким образом, процесс уменьшения размерности ФС сводится к манипулированию строчными описаниями ФС, ТФС и ТФЕ. Основные этапы этого процесса показаны на рис. 1.

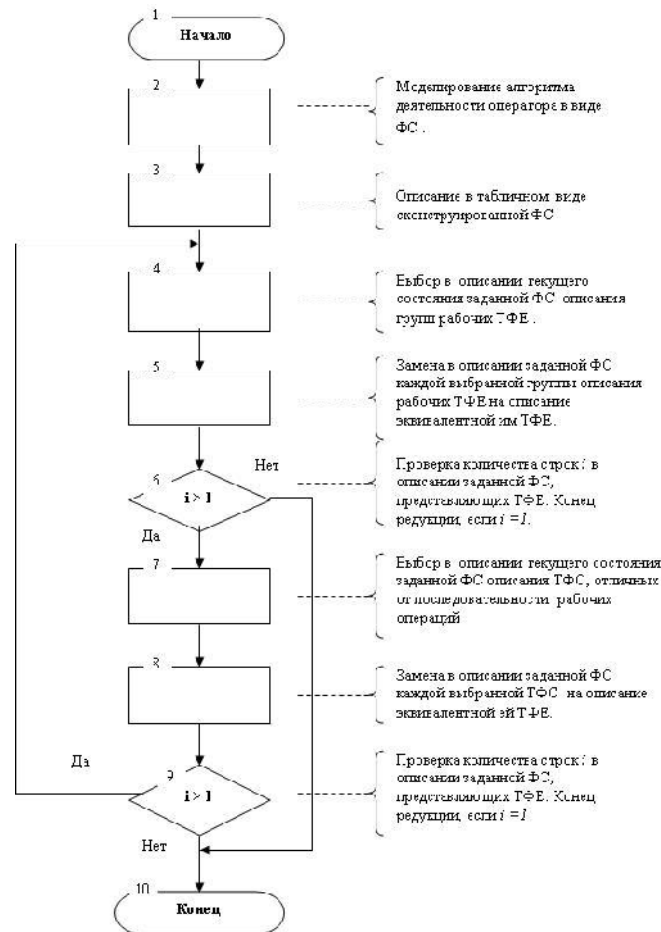


Рисунок 1 - Основные этапы процесса редукции ФС

Рисунок 2 содержит примеры ТФС (содержание структуры, обозначение, схема).

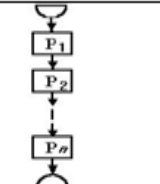
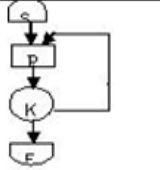
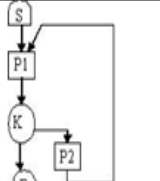
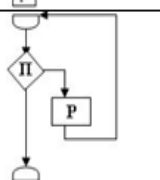
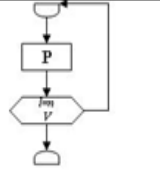
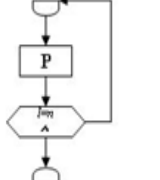
Содержание типовой функциональной структуры (ТФС)	Обозначение		Схема ТФС
	ТФС	Правило распознавания в структуре алгоритма деятельности	
Последовательное выполнение рабочих операций	F_{SRR}	a_1	
Рабочая операция с контролем функционирования без ограничения на количество циклов	F_{SRK}	a_2	
Рабочая операция с контролем функционирования, доработкой и повторением рабочей	F_{SRKR}	a_3	
Контроль работоспособности с ремонтом без ограничения на количество циклов	F_{SPR}	a_4	
n-кратное повторение рабочей операции с приемкой по всем успешным исходам	F_{SCRPF}	a_5	
n-кратное повторение рабочей операции с приемкой при наличии хотя бы одного успешного исхода	F_{SCRO}	a_6	

Рисунок 2 - Примеры ТФС (содержание, обозначение, схема)

Составим укрупненный алгоритм процесса уменьшения размерности ФС.

1. Представить алгоритм деятельности оператора в виде функциональной сети.
2. Описать в табличном (строчном) виде сконструированную сеть O_{FS} с помощью элементов и операций описания, разработанных в моделях [8]:

$$O_{FS} ::= \langle \{o_{e_j}, te_j, N_j, \{V_{l_i}, L_{l_i}\} \mid l = 1, 2, \dots, \eta_j, [k_{c_j}]\} \mid j = 1, 2, \dots, n \rangle, \quad (1)$$

где o_{e_j} - j -й элемент описания в структуре алгоритма деятельности;

te_j - обозначение в структуре алгоритма ТФЕ с элементом описания o_{e_j} ;

n - количество элементов описания в структуре алгоритма;

$N_j, \{V_{l_i}, L_{l_i}\}$ - описательная операция, отвечающая j -му элементу описания функциональной сети. Обозначает переход типа V_{l_i} с ТФЕ с элементом описания o_{e_j} и номером N_j , на ТФЕ с номером L_{l_i} ;

j - количество типов переходов, отвечающих j -му элементу описания;

k_{c_j} - ограничение на количество повторений в цикле.

3. Присвоить номеру укрупняющей подстановки и счетчику ТФС значение 1: $k=1$; $m=1$.

4. Создать временное описание функциональной сети с именем O_{FS_1} в соответствии с формулой (1) в табличном виде. Выбрать в описании заданной функциональной сети строки, описывающие последовательности рабочих операций, и поместить их в описание ФС с именем O_{FS_1} .

5. В описании функциональной сети с именем O_{FS_1} каждую группу строк, описывающих последовательность рабочих операций, заменить строкой, описывающей эквивалентную им ТФЕ.

6. Создать описание протокола процесса уменьшения размерности функциональной сети PR_{FS} на языке описания функциональной сети [8] и поместить строки описания протокола для шага $k=1$. В исходном описании функциональной сети с именем O_{FS} выбранные строки, описывающие последовательности рабочих операций, заменить на строки, описывающие им эквивалентные ТФЕ. Удалить все строки с описания O_{FS_1} .

7. Проверить количество строк в описании заданной функциональной сети с именем O_{FS} , описывающих ТФЕ: $i = \text{количество ТФЕ}$.

8. Если $i=1$, перейти на 24, иначе перейти на 9.

9. Увеличить счетчик ТФС на 1: $m=m+1$.

10. В описании функциональной сети с именем O_{FS} выбрать последовательности строк, представляющих m -ю ТФС и поместить в описание функциональной сети с именем O_{FS_1} .

11. Если количество строк в описании функциональной сети с именем O_{FS_1} пусто, то перейти на 19, если нет - заменить в O_{FS_1} строки, описывающие m -е ТФС, на строки, описывающие эквивалентные им ТФЕ.

12. Увеличить шаг сворачивания на 1: $k=k+1$. В описание протокола процесса уменьшения размерности ФС PR_{FS} добавить записи, описывающие протокол сворачивания m -х ТФС.

13. В исходном описании функциональной сети с именем O_{FS} записи, описывающие выбранные m -е ТФС, заменить на записи с описания O_{FS_1} , представляющие эквивалентные им ТФЕ.

14. Удалить все строки с описания O_{FS_1} .

15. Выбрать в описании функциональной сети с именем O_{FS} строки, представляющие последовательности рабочих ТФЕ, и поместить их в описание функциональной сети с именем O_{FS_1} .

16. Если количество строк в описании ФС с именем O_{FS_1} пусто, то перейти на 19, иначе - заменить записи, представляющие последовательности рабочих ТФЕ, на записи эквивалентных им ТФЕ.

17. Увеличить шаг сворачивания на 1: $k=k+1$. В описание протокола процесса уменьшения размерности ФС PR_{FS} добавить записи, описывающие протокол сворачивания последовательностей рабочих ТФЕ.

18. В исходном описании функциональной сети с именем O_{FS} выбранные строки, описывающие последовательности рабочих операций, заменить на строки, описывающие им эквивалентные ТФЕ. Удалить все строки с описания O_{FS_1} .

19. Проверить количество строк в описании заданной функциональной сети с именем O_{FS} , описывающих ТФЕ: $i=\text{количество ТФЕ}$. Если $i=1$, перейти на 24, иначе перейти на 20.

20. Проверить условие "Есть еще ТФС?". Если "Да", то увеличить счетчик ТФС на единицу: $m=m+1$, иначе перейти к шагу 22.

21. Перейти к шагу 10.

22. Проверить количество строк в описании заданной функциональной сети с именем O_{FS} .

23. Если $i>1$, проверить описание функциональной сети.

24. Конец процесса уменьшения размерности функциональной сети.

Требуют детального рассмотрения пункты указанного алгоритма, касающиеся выявления сворачиваемых фрагментов функциональной сети, т.е ТФС, и замены их на эквивалентные ТФЕ.

2. Синтаксис для операций с табличными описаниями ФС, ТФЕ, ТФС, протоколов сворачивания ТФС

Обозначим описания в общем виде (т. е., для ФС, или для ТФС, или для ТФЕ, или для протокола редукции) символом « R », строку описания в общем виде – r .

Введем понятие совместимых описаний: *два описания будут совместимы, если они имеют одинаковый состав элементов в строке описания.*

Пусть заданы два совместимых описания R_1 и R_2 .

Объединением *Union* двух совместимых описаний R_1 и R_2 будет описание R , которое содержит совокупность строк заданных описаний, причем, первыми в описании R указываются строки описания R_1 :

$$R=R_1 \text{ Union } R_2::=\{r \mid r \in R_1 \vee r \in R_2\}.$$

Обозначение операции *Union* в функциональном виде:

$$R_1 \text{ Union } R_2::=\text{Union}(R_1, R_2).$$

Пересечение *Intersect* двух совместимых описаний R_1 и R_2 будет описание R , которое содержит множество строк, принадлежащих одновременно описанию R_1 и описанию R_2 :

$$R=R_1 \text{ Intersect } R_2::=\{r \mid r \in R_1 \wedge r \in R_2\}.$$

Обозначение операции *Intersect* в функциональном виде:

$$R_1 \text{ Intersect } R_2::=\text{Intersect}(R_1, R_2).$$

Разность *Minus* двух совместимых описаний R_1, R_2 будет описание R , которое содержит множество строк, принадлежащих описанию R_1 и не принадлежащих описанию R_2 :

$$R=R_1 \text{ Minus } R_2::=\{r \mid r \in R_1 \wedge r \notin R_2\}.$$

Обозначение операции *Minus* в функциональном виде:

$$R_1 \text{ Minus } R_2 ::= \text{Minus}(R_1, R_2).$$

Выбором *Where* на описании R_1 по условию $\alpha(r)$ будет описание R , строки r которого принадлежат описанию R_1 , и условие $\alpha(r)$ принимает значение «Истина»:

$$R = R_1 \text{ Where } \alpha ::= \{r \mid r \in R_1 \wedge \alpha(r) = \text{"Истина"}\}.$$

Обозначение операции *Where* в функциональном виде:

$$R_1 \text{ Where } \alpha = \text{Where}(R_1, \alpha).$$

Операцию выбора из двух (или нескольких) описаний R_1, R_2 по условию α обозначим через *Times*. В этом случае функциональное выражение выбора будет иметь вид:

$(R_1 \text{ Times } R_2) \text{ where } \alpha ::= \text{TimesWhere}(R_1, R_2, \alpha)$ – результат выбора из описаний R_1 и R_2 по условию α . Условие α содержит операции сравнения атрибутов описаний R_1 и R_2 между собой, с константами и может быть сколь угодно сложным.

В тех операциях, где объединение описаний, как результат выбора, осуществляется само с собой, или одно описание соединяется дважды с другим описанием, используем псевдонимы (алиасы), которые позволяют различать соединяемые копии описаний. Псевдонимы указываются после названия описания через символ "пробел":

$R = \text{TimesWhere}(R_1 \ P_1, R_1 \ P_2 \ \dots, R_1 \ P_n, \alpha)$ – описание R является результатом выбора из описания R_1 при условии α , которое содержит операции сравнения разных атрибутов между собой.

3. Модели синтаксического анализатора функциональной сети

Процесс уменьшения размерности ФС состоит в том, что выделение на каждом шаге процесса в структуре алгоритма ТФС и замена их на эквивалентные ТФЕ продолжается до тех пор, пока вся функциональная сеть не будет сведена к одной эквивалентной ТФЕ, если это возможно. То есть, на каждом шаге процесса структура алгоритма функционирования характеризуется определенным состоянием. Введем обозначения:

k – шаг процесса уменьшения размерности ФС, $k \in N$;

$f_k = f(k)$ – состояние функциональной сети на k -ом шаге процесса;

G_f – множество состояний функциональной сети в процессе сворачивания, $f_k \in G_f$;

$k_0 = 0$ – изначальный шаг процесса уменьшения размерности ФС;

$f_0 = f(k_0)$ – изначальное состояние функциональной сети, $f_0 \in G_f$.

G – множество правил распознавания сворачиваемых фрагментов функциональной сети;

$g_j \in G$ – правило выявления в структуре алгоритма j -й ТФС для сворачивания;

$u_k = u(k)$ – протокол сворачивания на k -м шаге процесса.

САФС – это математическая структура, которая представляется переходным отображением $R: (k; k_0, f_0) \rightarrow f(k)$ для состояния структуры алгоритма функционирования $f(k) \in G_f$, достигнутого на шаге процесса уменьшения размерности ФС $k \in N$ при применении правил выявления ТФС $g_j \in G$, если на исходном шаге $k_0 = 0$ исходное состояние структуры алгоритма функционирования было $f_0 = f(k_0)$, $k_0 \in N$, а также

отображением выхода – протокола процесса уменьшения размерности ФС $u(k) = \eta(k, f(k))$. Отображения R и η задаются наборами правил замены ТФС на эквивалентные ТФЕ и математических моделей определения показателей качества выполнения эквивалентных ТФЕ, соответственно. С помощью САФС можно представить соотношение изменения состояния функциональной сети на шаге процесса сворачивания в зависимости от исходных правил распознавания ТФС, итерационной формулой:

$$f_{k+1} = f_k \circ_k, \quad (2)$$

где f_k - состояние функциональной сети на k -м шаге процесса сворачивания, представленное в строчном (табличном) виде формулой (1) с помощью языка описания функциональной сети;

$k = (1, 2, \dots, m)_k$ - обобщенный вектор правил распознавания ТФС в структуре алгоритма функционирования на k -м шаге процесса сворачивания,

j - правило выявления в структуре алгоритма j -й ТФС для сворачивания, $m=18$. Правила распознавания ТФС задаются предикатами, операнды которых принадлежат множествам элементов описания и операций описания и используются при описании функциональной сети (формула 1).

С целью аппроксимации модели (2), и, учитывая, что состояние функциональной сети f_k представляется в строчном виде формулой (1), отображение $R: f_k \rightarrow f_{k+1}$ исследуем как последовательность выражений, приводящих строчное описание, отвечающее состоянию функциональной сети f_k (обозначим описание через O_{FS_k}), к строчному описанию, отвечающему состоянию функциональной сети f_{k+1} (обозначим описание через O_{FS_k+1}).

Аналогично, через PR_{FS_k} обозначим строчное описание, содержащее протокол процесса сворачивания, отвечающий k -му шагу процесса, и через PR_{FS_k+1} - протокол процесса сворачивания, отвечающий $k+1$ -му шагу процесса.

Тогда процесс уменьшения размерности ФС может быть подан в виде последовательности итерационных формул, примененных к описаниям.

Описания O_{FS_1} и O_{FS_E} , имеющие одинаковый состав элементов в строке описания, что и описание O_{FS_k} , берутся для выбора строк, представляющих ТФС, с отношения O_{FS_k} и для представления эквивалентных ТФЕ, соответственно.

Распознавание и выбор сворачиваемых фрагментов функциональной сети j -й ТФС выполняется функцией $TimesWhere(O_{FS_k}, \dots, i)$. Правило j зависит от типа ТФС.

Замена сворачиваемых фрагментов функциональной сети ТФС на эквивалентные ТФЕ осуществляется последовательным выполнением операций $Minus$ и $Union$ над описаниями O_{FS_k+1} , O_{FS_1} и O_{FS_E} . Описание O_{FS_E} формируется на основе описания O_{FS_1} , определенного выполнением функции $TimesWhere(O_{FS_k}, \dots, i)$. При этом каждой ТФС, представленной в O_{FS_1} , отвечает одна запись описания O_{FS_E} . Значение атрибутов этой записи, определяющих показатели качества выполнения эквивалентной ТФЕ, рассчитываются, в случае бинарных ошибок, по известным моделям оценки надежности процессов функционирования ЧМС, и по формулам, выведенным в [9] – в случае нескольких типов ошибок.

Для отображения протокола процесса уменьшения размерности ФС берется описание PR_{FS_k} , которое кроме атрибутов, значениями которых являются показатели качества выполнения эквивалентных ТФЕ,

содержит атрибуты для значений шага сворачивания, обозначения эквивалентной ТФЕ и перечня сворачиваемых ТФЕ.

Таким образом, формула (2) аппроксимируется как последовательность итерационных формул над указанными описаниями:

$$\left. \begin{aligned} O_{FS_1} &= TimesWhere(O_{FS_k} o_1, O_{FS_k} o_2, \dots, a_i); \\ O_{FS_k+1} &= Minus(O_{FS_k}, O_{FS_1}); \\ O_{FS_k+1} &= Union(O_{FS_k+1}, O_{FS_1}); \\ PR_{FS_k+1} &= Union(PR_{FS_k}, O_{FS_1}). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Символ многоточие в первой формуле означает, что число «алиасов» зависит от типа распознаваемой ТФС в структуре алгоритма.

Зададим правила формирования описания O_{FS_1} для основных ТФС.

1. Распознавание ТФС «последовательное выполнение рабочих операций» - Fs_{RR} :

$$O_{FS_1} = TimesWhere(O_{FS_k} o_1, O_{FS_k} o_2, a_1), \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} a_1 &= ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_1} - 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 1)) \vee \\ & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j - 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 1)). \end{aligned}$$

2. Распознавание ТФС «рабочая операция с контролем функционирования без ограничения на количество циклов» - Fs_{RK} :

$$O_{FS_1} = TimesWhere(O_{FS_k} o_1, O_{FS_k} o_2, a_2), \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} a_2 &= ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_1} - 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_2} = o_1 \cdot N_j)) \vee \\ & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_1 \cdot L_{j_2} = o_1 \cdot N_j - 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_2} \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 1)). \end{aligned}$$

3. Распознавание ТФС «рабочая операция с контролем функционирования, доработкой и повторением рабочей» - Fs_{RKR} :

$$O_{FS_1} = TimesWhere(O_{FS_k} o_1, O_{FS_k} o_2, O_{FS_k} o_3, a_3), \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned}
a_3 = & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_1} - 1) \wedge (o_2 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge \\
& o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 2 \wedge o_2 \cdot L_{j_2} = o_2 \cdot N_j + 1 \wedge \\
& o_3 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_3 \cdot N_j = o_2 \cdot L_{j_2} \wedge o_3 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j)) \vee \\
& ((o_1 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 2 \wedge o_1 \cdot L_{j_2} = o_1 \cdot N_j + 1) \wedge \\
& (o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j - 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j) \wedge \\
& (o_3 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_3 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_3 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_2} \wedge o_3 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j)) \vee \\
& ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot N_j = o_3 \cdot N_j + 1 \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j) \wedge \\
& (o_3 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge o_3 \cdot L_{j_2} = o_1 \cdot N_j \wedge o_3 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 1) \wedge \\
& o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_3 \cdot N_j \wedge o_2 \cdot N_j + 2 = o_1 \cdot N_j \wedge o_2 \cdot N_j + 1 = o_3 \cdot N_j)).
\end{aligned}$$

4. Распознавание ТФС «контроль работоспособности с ремонтом без ограничения на количество циклов» - Fs_{PR} :

$$O_{FS_1} = TimesWhere(O_{FS_k} o_1, O_{FS_k} o_2, a_4), \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned}
a_4 = & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "P" \wedge o_1 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_3} - 1 \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 2) \wedge \\
& (o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_3} \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j)) \vee \\
& ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j - 1 \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j - 1) \wedge \\
& (o_2 \cdot o_{e_j} = "P" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_1} \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 2 \wedge o_2 \cdot L_{j_3} = o_1 \cdot N_j)).
\end{aligned}$$

5. Распознавание ТФС « n -кратное повторение рабочей операции с приемкой по всем успешным исходам» - Fs_{CRF} :

$$O_{FS_1} = TimesWhere(O_{FS_k} o_1, O_{FS_k} o_2, a_5), \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned}
a_5 = & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot o_{e_j} = "C_F" \wedge o_1 \cdot N_j = o_2 \cdot N_j - 1 \wedge \\
& o_2 \cdot L_{j_4} = o_1 \cdot N_j \wedge o_2 \cdot L_{j_5} = o_2 \cdot N_j + 1) \vee (o_1 \cdot o_{e_j} = "C_F" \wedge o_1 \cdot L_{j_5} = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge \\
& o_1 \cdot L_{j_4} = o_1 \cdot N_j - 1 \wedge o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j)).
\end{aligned}$$

6. Распознавание ТФС « n -кратное повторение рабочей операции с приемкой при наличии хотя бы одного успешного исхода» - Fs_{CRO} :

$$O_{FS_1} = TimesWhere(O_{FS_k} o_1, O_{FS_k} o_2, a_6), \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned}
a_6 = & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot o_{e_j} = "C_O" \wedge o_1 \cdot N_j = o_2 \cdot N_j - 1 \wedge \\
& o_2 \cdot L_{j_4} = o_1 \cdot N_j \wedge o_2 \cdot L_{j_5} = o_2 \cdot N_j + 1) \vee (o_1 \cdot o_{e_j} = "C_O" \wedge o_1 \cdot L_{j_5} = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge \\
& o_1 \cdot L_{j_4} = o_1 \cdot N_j - 1 \wedge o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j)).
\end{aligned}$$

7. Распознавание ТФС «последовательное выполнение рабочей операции и операции контроля» - FS_{RK1} :

$$O_{FS_1} = TimesWhere(O_{FS_k} o_1, O_{FS_k} o_2, a_7), \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} a_7 = & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_1} - 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_2} > o_2 \cdot N_j + 1)) \vee \\ & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_1 \cdot L_{j_2} > o_1 \cdot N_j + 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j - 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 1)). \end{aligned}$$

8. Распознавание ТФС «последовательное выполнение рабочей операции и операции контроля работоспособности» - FS_{RP} :

$$O_{FS_1} = TimesWhere(O_{FS_k} o_1, O_{FS_k} o_2, a_8), \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} a_8 = & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_1} - 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "P" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_2} > o_2 \cdot N_j + 1)) \vee \\ & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "P" \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_1 \cdot L_{j_2} > o_1 \cdot N_j + 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j - 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 1)). \end{aligned}$$

9. Распознавание ТФС «рабочая операция с контролем функционирования и исправлением ошибки без циклов» - FS_{RRR} :

$$O_{FS_1} = TimesWhere(O_{FS_k} o_1, O_{FS_k} o_2, O_{FS_k} o_3, a_9), \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned} a_9 = & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_1} - 1) \wedge (o_2 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge \\ & o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 2 \wedge o_2 \cdot L_{j_2} = o_2 \cdot N_j + 1 \wedge \\ & o_3 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_3 \cdot N_j = o_2 \cdot L_{j_2} \wedge o_3 \cdot L_{j_1} = o_3 \cdot N_j + 1)) \vee \\ & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 2 \wedge o_1 \cdot L_{j_2} = o_1 \cdot N_j + 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j - 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j) \wedge \\ & (o_3 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_3 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_3 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_2} \wedge o_3 \cdot L_{j_1} = o_3 \cdot N_j + 1)) \vee \\ & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot N_j = o_3 \cdot N_j + 1 \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 1) \wedge \\ & (o_3 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge o_3 \cdot L_{j_2} = o_1 \cdot N_j \wedge o_3 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 1) \wedge \\ & o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_3 \cdot N_j \wedge o_2 \cdot N_j + 2 = o_1 \cdot N_j \wedge o_2 \cdot N_j + 1 = o_3 \cdot N_j)). \end{aligned}$$

10. Распознавание ТФС «рабочая операция с контролем функционирования, доработкой и повторением контрольной операции без ограничения на количество циклов» - F_S RKRR :

$$O_{FS_1} = TimesWhere(O_{FS_k} o_1, O_{FS_k} o_2, O_{FS_k} o_3, a_{10}), \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} a_{10} = & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_1} - 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge \\ & o_2 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j + 2 \wedge o_2 \cdot L_{j_2} = o_2 \cdot N_j + 1 \wedge \\ & o_3 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_3 \cdot N_j = o_2 \cdot L_{j_2} \wedge o_3 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j)) \vee \\ & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 2 \wedge o_1 \cdot L_{j_2} = o_1 \cdot N_j + 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j - 1 \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j) \wedge \\ & (o_3 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_3 \cdot N_j = o_1 \cdot N_j + 1 \wedge o_3 \cdot N_j = o_1 \cdot L_{j_2} \wedge o_3 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j)) \vee \\ & ((o_1 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_1 \cdot N_j = o_3 \cdot N_j + 1 \wedge o_1 \cdot L_{j_1} = o_2 \cdot N_j) \wedge \\ & (o_3 \cdot o_{e_j} = "K" \wedge o_3 \cdot L_{j_2} = o_1 \cdot N_j \wedge o_3 \cdot L_{j_1} = o_1 \cdot N_j + 1) \wedge \\ & (o_2 \cdot o_{e_j} = "R" \wedge o_2 \cdot L_{j_1} = o_3 \cdot N_j \wedge o_2 \cdot N_j + 2 = o_1 \cdot N_j \wedge o_2 \cdot N_j + 1 = o_3 \cdot N_j)) \end{aligned}$$

В формулах (4)-(13) использованы псевдонимы для описания O_{FS_1} обозначенные через " o_1 ", " o_2 ", " o_3 ".

ВЫВОДЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработанные модели положены в основу программного комплекса «Компьютерная технология моделирования дискретного человеко-машинного взаимодействия» [10], который прошел апробацию:

- при моделировании распределенных систем обработки информации и управления различного назначения;
- в курсе «Эргономика» для слушателей магистратуры Сумского государственного университета (спец. «Информатика»).

Направления дальнейших исследований:

- широкая апробация моделей в рамках программного комплекса;
- создание баз данных реальных процессов реальных систем, проанализированных с помощью разработанных моделей, для обеспечения возможности оперативного оценивания альтернативных стратегий организации деятельности.

SUMMARY

THE PARSER OF FUNCTIONAL NETWORKS

E. A. Lavrov, N. B. Pasko*,

Sumy State University,

2, Rimsky-Korsakov Str., 40007, Sumy, Ukraine;

E-mail: prof_lavrov@mail.ru

**Sumy National Agrarian University,*

160, Kirova Str., 40020, Sumy, Ukraine

In the paper the authors examine the task of developing models for parsing of the functional grid that describes the operation process "man-machine" to automate the evaluation indicators of human-computer interaction. The work has been carried out within the functional-structural theory of ergotechnical systems of prof. A. I. Gubinskyi.

Keywords: "man-machine", ergonomics, functional grid, typical functional unit, the typical functional structure, the rule of recognition.

РЕЗЮМЕ

СИНТАКСИЧНИЙ АНАЛІЗАТОР ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МЕРЕЖ

Є. А. Лавров, Н.Б. Пасько*

Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна;
E-mail: prof_lavrov@mail.ru

*Сумський національний аграрний університет,
вул. Кірова, 160, м. Суми, 40020, Україна

Розглядається задача розробки моделей синтаксичного аналізу функціональної сітки, що описує процес функціонування системи «людина-машина», з метою автоматизації оцінювання показників людино-машинної взаємодії. Робота виконана в межах функціонально-структурної теорії ерготехнічних систем проф. А. І. Губинського.

Ключові слова: система «людина-машина», ергономіка, функціональна сітка, типова функціональна одиниця, типова функціональна структура, правило розпізнавання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Душков Б. А. Энциклопедический словарь: Психология труда, управления, инженерная психология и эргономика / Б. А. Душков, А. В. Королев, Б. А. Смирнов, 2005 г.
2. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник / А. Н. Адаменко, А. Т. Аперов, Е. А. Лавров и др. // под общ. ред. Губинского А. И. и Евграфова Е. Г. - М., Машиностроение, 1993. - 528 с.
3. Адаменко А. Н. Автоматизация анализа функциональных сетей на основе использования языка исчисления предикатов и системы логического вывода «ПРОЛОГ-СМ» / А. Н. Адаменко, А. Л. Медынцева // Изв. ЛЭТИ. - Вып. 337. - 1985. - С.14-21.
4. Ротштейн А. П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба. - Винница : Континент-ПРИМ, 1997. - 142 с.
5. Гриф М. Г. Автоматизация проектирования процессов функционирования человеко-машинных систем на основе метода последовательной оптимизации / М. Г. Гриф, Е. Б. Цой. - Новосибирск : изд-во НГТУ, 2005. - 264 с.
6. Эргономика информационных технологий в примерах и задачах : учебное пособие / А. Т. Аперов, Г. И. Сажко, Е. А. Лавров, В. Г. Хоменко, Ю. Н. Полякова. - Горловка : ЧП «Видавництво Ліхтар», 2007. - 214 с.
7. Лавров Е. А. Язык описания функциональных сетей для моделирующего квалиметрического комплекса эрготехнических систем / Е. А. Лавров, Н. Б. Пасько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Сер. Информационно-управляющие системы. - Харьков, 2010. - 3/11 (45). - С. 4-10.
8. Лавров Е. А. Подход к формализованному описанию дискретной деятельности в системах «человек-техника-среда» / Е. А. Лавров, Н. Б. Пасько // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки», № 3. - 2012. - С. 55-67.
9. Лавров Е. А. Моделирование надежности человеко-машинных систем: учет ошибок разных типов / Е. А. Лавров, Н. Б. Пасько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Сер. Системы управления. - Харьков, 2007 - 2/2 (26). - 2007. - С. 58-62.
10. Лавров Е. А., Пасько Н.Б. Свідотство про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма «Комп'ютерна технологія моделювання дискретної людино-машинної взаємодії» Лавров Є. А., Пасько Н.Б., № 45262, 21.08.2012.

Поступила в редакцию 25 ноября 2013 г.