

Стратегии проектирования и методы описания сложных систем на основе функционально-структурной теории

М. Г. Гриф, email: grifmg@mail.ru¹

С. А. Кочетов, e-mail: sa.kochetov@gmail.com¹

¹ Новосибирский государственный технический университет

***Аннотация.** В статье рассмотрены методы и технологии автоматизации проектирования процессов функционирования человеко-машинных систем на основе функционально-структурной теории и обобщенного структурного метода проф. А. И. Губинского. Процесс функционирования представляется в виде последовательности выполняемых элементарных операций - типовых функциональных единиц, которые объединяются в типовые функциональные структуры. Показаны основные стратегии проектирования человеко-машинных систем: «сверху в низ», «снизу в верх» и совмещение этих стратегий. Генерация множества альтернативных процессов человеко-машинной системы использует понятие альтернативного графа. Приведен формальный способ представления процессов функционирования систем в виде бинарных отношений элементов, входящих в функциональную сеть. Представлен язык описания процессов, использующий в основе бинарные отношения.*

***Ключевые слова:** функционально-структурная теория, обобщенный структурный метод, человеко-машинная система, множество альтернатив, автоматизация проектирования, стратегии проектирования.*

Введение

При проектировании сложных систем приходится анализировать большой объем информации, учитывать множество возможных альтернативных вариантов решения и оценивать их последствия, получать обоснование для выбора оптимальных стратегий реализаций проектируемой системы. Таким образом, на сегодняшний день, важнейшим направлением в исследовании и автоматизации проектных работ, является разработка систем интеллектуальной поддержки, позволяющих описывать процессы функционирования (ПФ) сложных систем, в которых основное место уделяется человеку, как лицу, принимающему решения. Такие человеко-машинные системы (ЧМС) используются во многих областях человеческой деятельности.

Анализ используемых моделей ПФ ЧМС показывает, что одним из универсальных методов описания является аппарат функциональных сетей (ФС), функционально-структурная теория (ФСТ) и обобщенный структурный метод (ОСМ) проф. Губинского А. И. [1]. Этот подход получил развитие в работах [1-2], в которых предложены технологии последовательной оптимизации процессов функционирования ЧМС по показателям эффективности, качества и надежности (ЭКН) на основе ФСТ.

1. Формализованное описание процессов функционирования ЧМС

Под процессом функционирования ЧМС понимается логико-временная последовательность действий и операций эргатических и неэргатических элементов системы, устойчивая к возмущениям и ведущая к достижению поставленной цели (или целей) функционирования [1]. Под операцией $O = O(F, E, S, Q)$ понимается процесс выполнения функции F элементом E в состоянии ЧМС S , Q - показатели эффективности, качества и надежности (ЭКН). В показатели ЭКН $Q = (B, T, V)$ входят B - вероятность безошибочного и бездефектного выполнения операции, T - среднее время выполнения операции, V - стоимость выполнения (или дохода) операции. Операция O может быть простой - типовой функциональной единицей (ТФЕ), и составной, если включает в себя множество других операций. В качестве ТФЕ могут выступать: «рабочая операция» (РО), проверка условий: проверка правильности выполнения контролируемой операции («функциональный контроль», ФК), проверка работоспособности техники и (или) человека («диагностический контроль», ДК) и др. Часто встречающиеся комбинации ТФЕ, для которых заранее рассчитаны математические модели, представляют собой типовые функциональные структуры (ТФС). Отдельный процесс функционирования ЧМС представляется в виде суперпозиции ТФС $O_z = TFC_i(O_{i_1}, O_{i_2}, \dots, O_{i_k})$, где $TFC_i \in M_{TFC}$, O_{i_j} - простая или составная операция. Две операции с совпадающей функцией $F = O(F, E_1, Q_1)$ и $O(F, E_2, Q_2)$ являются альтернативными («параметрическими») способами выполнения операции O , так же как и составные операции $O = TFC_i(O_{i_1}, O_{i_2}, \dots)$ и $O = TFC_s(O_{s_1}, O_{s_2}, \dots)$, - «структурными».

Задача оптимизации (обобщенная задача динамического программирования) ставится следующим образом:

$$K_{ЭКН}(A) \rightarrow \text{extr}, A \in M_a \subseteq M_a, \quad (1)$$

где $K_{ЭКН}(A)$ – критерий оптимальности для сочетаний критериев ЭКН; M_d – множество допустимых альтернатив, M_a – альтернативные варианты процесса [2].

2. Стратегии проектирования процессов функционирования ЧМС

Начинать проектировать систему можно непосредственно «сверху», представив ее в виде «черного ящика». При таком подходе, на начальном этапе проектирования ФС рассматривается как составная операция, представляющая суперпозицию множества альтернативных способов ее выполнения. Далее каждая составная операция раскрывается до самого «низа», представляя каждую суперпозицию как множество альтернативных способов ее выполнения пока не будет состоять только из простых операций. Такая стратегия носит название «сверху в низ». Схематично этот процесс представляется в виде альтернативного графа (АГ) (рис. 1).

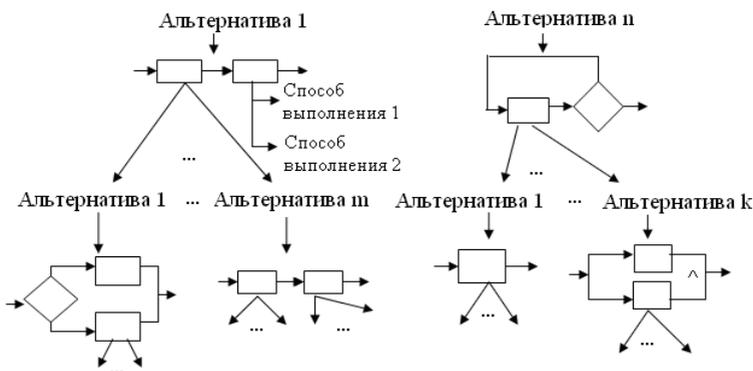


Рис. 1. Альтернативный граф для ПФ ЧМС

Данная стратегия была реализована в гибридной экспертной системе (ГЭС) ИНТЕЛЛЕКТ-2 [2]. Подход проектирования ПФ с использованием АГ представляет определенную сложность. Обычно процесс представляет собой некоторую последовательность операций. И для того, чтобы воспользоваться возможностями ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-2, последовательный процесс необходимо предварительно представить в виде АГ. Это значительно увеличивало время на проектирование и сопровождалось ошибками. Более того, если возникнет необходимость внести изменения в описание исходного процесса, требовалось обратно представить АГ как последовательный процесс, внести в него изменения и после этого, запомнить все изменения обратно, в виде АГ.

Дальнейшим развитием системы ИНТЕЛЛЕКТ-2 стала ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-3 [3]. Эта система позволила проектировать систему в естественном виде – «как есть», без ее преобразования в виде суперпозиций операций (рис. 2).

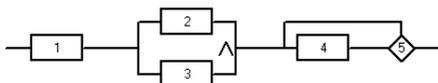


Рис. 2. Представление ПФ ЧМС в виде ФС

Такой подход носит название «снизу в верх». При желании, можно проектировать также по методике «сверху в низ». В системе можно выбрать любую РО, «раскрыть» ее для представления в виде суперпозиции. Система имеет существенно развитый графический интерфейс проектирования. В ГЭС было реализовано большинство элементарных операций над ФС, таких как: добавления, удаления, сохранения и вставки как отдельных ТФС, так и целых участков функциональной сети. ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-3 позволяет задавать альтернативные участки функциональной сети. Эти участки могли пересекаться между собой. Реализация таких возможностей потребовала доработки механизма поиска оптимального решения, который был существенно доработан [4].

В первоначальной версии ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-3, проектирование ПФ могло осуществляться только с использованием графических возможностей, предоставляемых самой программой. Спроектированную систему можно было сохранить, и затем загрузить в программу. При этом возможно было использовать только два формата: XML и представление в виде внутреннего бинарного формата. Непосредственно использовать эти форматы вне программы, а особенно бинарного, было крайне сложно. Хотелось бы иметь возможность представить ПФ в формате, простым в использовании и понятным проектировщику. Простейший вариант – задание ПФ в виде формального языка.

3. Язык описания процессов функционирования ЧМС

ПФ можно представить в виде множества бинарных отношений, входящих в него элементов. В ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-3 таким одиночным элементом является ТФС. Однако сама ТФС содержит подмножество ТФЕ. Таким образом, ПФ в итоге представляет собой множество бинарных отношений ТФЕ. В общем виде ФС можно задать в виде множества бинарных отношений, входящих в нее операций

$\{(O_1, O_2), \dots, (O_{n-1}, O_n)\}$, обладающих свойством O_n «следует за» O_{n-1} . В соответствии с рекомендациями ФСТ, для удобства, дополним номенклатуру описания ФС, специальными композиторами [1]: T «транзит И» - обозначает начало и конец каждой ТФЕ, C «стартер» - обозначает начало выполнения параллельных операций, $F_{\&}$ «финишер И» - окончание всех параллельных операций, $F_{\#}$ «финишер ИЛИ» - окончание любой из параллельных операций. Для обозначения начала и окончания ФС, добавлены композиторы H и K . На рис. 3 представлена ФС, задаваемая в виде множества бинарных отношений:

$$R_{\phi C} = \{(H, T_1), (T_1, A_1), (A_1, T_2), (T_2, A_2), (A_2, T_3), (T_3, \beta_{\phi}), (\beta_{\phi}, T_4), (T_4, K)\}.$$

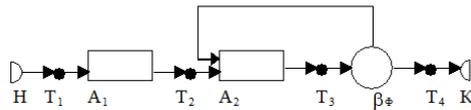


Рис. 3. Представление ПФ ЧМС с использованием композиторов

В итоге, ФС представимую в виде суперпозиции ТФС, можно описать в виде порождающей грамматики $G - \langle T, N, P, S \rangle$. T – множество терминальных символов – сюда входят все подмножества ТФЕ и композиторы. N – множество нетерминальных символов – это все типы ТФС и $PO_{экс}$. P – правила, порождающие все типы ТФС из терминальных символов: $TFC(1) - \rightarrow \alpha_1, \dots, TFC(n) - \rightarrow \alpha_n$; где $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ цепочки терминалов при условии $\alpha_1 \neq \alpha_2, \dots, \alpha(n-1) \neq \alpha_n$, и правило $PO_{экс} - \rightarrow TFC(1) | TFC(2) | \dots | TFC(n)$. В скобках указан тип ТФС. S – начальный символ грамматики $S - \rightarrow PO_{экс}$.

В случае если ФС описывается на языке бинарных отношений, ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-3 производит анализ входной последовательности на предмет допустимости представления ФС в виде суперпозиции ТФС. Для этого, ИНТЕЛЛЕКТ-3 использует метод восходящего синтаксического анализа – «свертка-перенос» [5].

Заключение

Проведенное формальное описание процессов функционирования человеко-машинных систем. Рассмотрены методы автоматизации проектирования процессов функционирования таких систем на основе

функционально-структурной теории и обобщенного структурного метода проф. А. И. Губинского. Предоставлены стратегии «сверху в низ», «снизу в верх» и смешанного проектирования ЧМС. Представлены способы описания ПФ ЧМС в виде альтернативного графа, задающие суперпозицию ФС в явном виде. Разработан язык описания ПФ ЧМС, представляющий собой множество бинарных отношений элементов, входящих в ФС.

Список литература

1. Адаменко, А. Н. Информационно - управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник /А. Н. Адаменко [и др]; Под общ. ред. А. И. Губинского и В. Г. Евграфова. – М.: Машиностроение, 1993. – 528 с.
2. Гриф, М. Г. Автоматизация проектирования процессов функционирования человеко-машинных систем на основе метода последовательной оптимизации: монография /М. Г. Гриф, Е. Б. Цой. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 264 с.
3. Гриф, М. Г. Стратегии проектирования множества альтернатив в задачах оптимизации на основе функционально-структурной теории / М. Г. Гриф, С. А. Кочетов, Е. Б. Цой //Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – № 4 (29). – С. 44–51.
4. Grif, M. G. Functional -Structural Theory Based Techniques for Human Machine Systems Optimal Design / M. G. Grif, S. A. Kochetov, N. D. Ganelina //13 International Scientific. Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) – 39281: proc. (Russia, Novosibirsk, 3–6 October 2016). – Novosibirsk, 2016. – Vol. 1. – Part 2. – P. 494–497.
5. Компиляторы. Принципы, технологии и инструментарий / В. Альфред [и др]. – 2-е изд. – Москва: Вильямс, 2015. – 1184 с.