

doi: 10.24411/2409-5419-2018-10169

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКИХ ПРОГРАММ ПОТОКОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

ШМЕЛЕВ

Валентин Валерьевич¹

КАРГИН

Виктор Александрович²

ПОПОВ

Дмитрий Вячеславович³

АННОТАЦИЯ

Рассматривается задача мониторинга состояния технической системы в условиях воздействия возмущающих факторов. Представлена математическая постановка задачи. Для семантического описания решения задачи предложена концептуальная модель специального языка высокого уровня. Назначение разрабатываемого языка – описание («программирование») вычислительных процессов обработки технической и технологической информации в предметной области. Модель на основе привлекаемых разделов теорий вычислений, моделирования систем, идентификации и технической диагностики доказывает существование, единство и устойчивость решения поставленной задачи. Для этого, соответственно, изложены три концепции. Первая концепция – концепция полимодельного комплекса мониторинга состояния процессов функционирования технической системы на основе сетей Петри и G-сетей с предикативно-операторным расширением. Вторая концепция – концепция метода синтеза функционально-логических программ потоковых вычислений с верификацией корректности компенсации возмущений. Третья концепция – концепция организации потоковых вычислений с использованием модификаций цветных сетей Петри на основе интерпретации этапов функционального диагностирования состояния технической системы. Объединяющим концепции понятием является понятие интеллектуальной системы, включающей подсистему представления данных и знаний о контролируемой технической системе и подсистему манипуляции ими. Новизной материала является объединение в единых теоретических положениях синтеза программ потоковых вычислений, процедур их формальной верификации и поиска ошибок на основе интерпретации свойств сетей Петри и G-сетей. Практическая значимость и актуальность интеллектуального мониторинга заключаются в учете различных факторов, искажающих процесс мониторинга состояния технической системы. Предлагаются меры по компенсации факторов технической сложности контролируемых процессов в технической системе, структурной, вычислительной, временной, логической сложности мониторинга состояния системы, доверительной сложности исходной информации и структурной и параметрической динамики экземпляров контролируемых процессов. Направлением применения представленной концепции является проектирование схем вычислительных процессов, связанных с обработкой больших данных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теория вычислений; функционально-логическое программирование; потоковые вычисления; обработка измерительной информации; мониторинг состояния.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., заместитель начальника кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, valja1978@yandex.ru

²к.т.н., доцент кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, vic_kargin@mail.ru

³начальник учебной лаборатории кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, 707dim707@gmail.com

Для цитирования: Шмелёв В.В., Каргин В.А., Попов Д.В. Концептуальная модель интеллектуального мониторинга технических систем на основе функционально-логических программ потоковых вычислений // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 5. С. 81-88. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10169

Современное развитие информационных технологий позволяет реализовать на практике концепцию единого информационного пространства в различных, технически и организационно сложных областях деятельности, в том числе и в космической деятельности [1–2]. Единство информационного пространства является необходимым условием «сквозного», т.е. на протяжении всего жизненного цикла технической системы (ТС), автоматизированного мониторинга процессов проектирования, изготовления, испытаний, применения, а также обработки и анализа информации ТС. Основной проблемой, подлежащей решению, является отсутствие единых принципов моделирования и последующего контроля процессов целевого функционирования ТС.

Одним из решений указанной проблемы является предлагаемая информационная технология интеллектуального мониторинга. Под интеллектуальным мониторингом понимается автоматизированный синтез, контроль и корректировка моделей процессов анализа информации при производстве, испытаниях и применении технической системы в различных предметных областях [3]. При этом ставится задача по обеспечению возможности оперативного учета данных и знаний о предметной области ТС. Информационная технология — это совокупность программно-алгоритмических средств использования информации различного рода без привязки к конкретным аппаратно-техническим требованиям и особенностям.

Теоретической основой такой информационной технологии является метод интеллектуального мониторинга ТС на основе функционально-логических программ потоковых вычислений. Данный метод представляется совокупностью следующих элементов:

1. Концептуальная модель интеллектуального мониторинга состояния ТС с компенсацией возмущающих факторов на основе функционально-логических моделей вычислений.
2. Модели интеллектуального мониторинга с использованием вычислительных сетей Петри [4] и G-сетей [5] с предикативно-операторным расширением.

3. Метод синтеза функционально-логических программ потоковых вычислений на основе системы эквивалентных преобразований с верификацией корректности вычислимости.

4. Метод организации потоковых вычислений с использованием модифицированных цветных сетей Петри.

Настоящая статья посвящена подробному рассмотрению первой составляющей — концепции интеллектуального мониторинга. Предназначением данной концепции является четкое ограничение и обоснование круга научно-технических и практических задач, которые необходимо решить для создания метода интеллектуального монито-

ринга состояния ТС с использованием функционально-логических программ потоковых вычислений.

В работе вводится или доопределяется ряд понятий. Программой называется система вычислений, которая для некоторого набора исходных данных позволяет по однозначно определенной последовательности действий, выполняемых «механически» без участия человека, получить некоторый результат [6–7]. Функционально-логической программой называется программа, создаваемая в результате применения принципов функционального программирования [8] (в данном случае используется вызов единой функции с различными параметрами) с реализацией логических взаимосвязей между операторами (операциями). Под потоковыми вычислениями понимается обработка информации различного рода (измерительной, технологической), характеризующей техническую систему. Особенностью процесса обработки такой информации является необходимость обеспечения возможности параллелизма и асинхронности выполнения отдельных операций и их совокупностей, т.е. потоков [9–11].

Для математической постановки задачи интеллектуального мониторинга использован теоретико-множественный подход.

Данные для мониторинга:

1. Исходная спецификация программы мониторинга контролируемого процесса R (кратко программа R) — кортеж:

$$R = \langle S, L \rangle,$$

где $S = \{S_k \mid k = 1 \dots \text{card}(I_s)\}$ — множество операций программы R , I_s — множество номеров операций, операция программы может быть проинтерпретирована как распределенный в некотором пространстве длительности выполнения оператор;

$L = \{l_k \mid k = 1 \dots \text{card}(I_s)\}$ — множество кортежей, обуславливающих выполнение операции S_k .

2. Кортеж l_k :

$$l_k = \langle K_k, t_k, \tau_k \rangle,$$

где $K_k = \langle B_b^{(k)}(x), B_f^{(k)}(x) \rangle$ — управляющий кортеж операции S_k , состоящий из предикатов;

$B_b^{(k)}(x)$ — предикат начала выполнения операции, b — «begin»;

$B_f^{(k)}(x)$ — предикат окончания выполнения операции, f — «finite»;

$x \in X$ — аргумент $B_b^{(k)}(x)$ и $B_f^{(k)}(x)$;

$X = X_1 \cap X_2 \cap X_3$, X_1 — множество первичных результатов измерений параметров ТС, X_2 — множество вторичных (вычисляемых) характеристик ТС,

$X_3 = \{f(B_b^{(k)}), f(B_f^{(k)}) \mid k = 1 \dots \text{card}(I_s)\}$, X — множество возможных типов аргумента x ;

t_k — момент начала выполнения операции S_k ;

τ_k — длительность операции S_k . Величины t_k и τ_k могут быть представлены и с помощью предикатов: $t_k - B_b^{(k)}$, $\tau_k - B_f^{(k)}$.

3. Система показателей качества мониторинга состояния ТС:

$P = \{p_i \mid i = 1 \dots \text{card}(P)\}$ — частные показатели;

$P_{ir} = \{p_{ir,i} \mid i = 1 \dots \text{card}(P_{ir})\}$ — требуемые значения частных показателей;

$P_\Sigma = f(P)$ — единый комплексный интегральный показатель качества.

Требуется найти:

1. S — структуру формального описания унифицированной модели типовой операции (УМТО) программы потоковых вычислений, такую что:

$$\exists S(t) \rightarrow y, S(t') \rightarrow y', y \neq y' \rightarrow S(t) \neq S(t'),$$

где y и y' — текущее и последующее ее выходные параметры, $S(t)$ и $S(t')$ — текущее на момент t и последующее на момент t' состояния модели;

$$\exists u(t): S(t) \rightarrow S(t'),$$

где $u \in U$ — вариант управлений моделью, множество вариантов управлений $U = \{\text{«Старт»}, \text{«Стоп»}, \text{«Приостановка»}, \text{«Возобновление»}, \text{«Изменение состояния операции»}\}$.

2. R' — структуру формального описания функционально-логической программы потоковых вычислений, такую что:

$$S_k \in R', k = 1 \dots \text{card}(I_s);$$

на $\{S_k \mid k = 1 \dots \text{card}(I_s)\}$ для отношений следования (O_1), независимости (O_2), несовместности (O_3) и совместности (O_4) выполняются аксиомы, определяющие наличие свойства частичного порядка:

$$S_k (S_k O_j S_k) \text{ — свойство рефлексивности};$$

$$S_{k_1, k_2, k_3} (S_{k_1} O_j S_{k_2}) \cap (S_{k_2} O_j S_{k_3}) \rightarrow (S_{k_1} O_j S_{k_3}) \text{ — свойство транзитивности};$$

$$S_{k_1, k_2} (S_{k_1} O_j S_{k_2}) \cap (S_{k_2} O_j S_{k_1}) \rightarrow (S_{k_1} = S_{k_2}) \text{ — свойство антисимметричности, } \forall k, j = 1..4;$$

3. Q — структуру формального описания технических ограничений программы или контролируемого процесса, такую что:

$$Q = \{q_k \mid k = 1 \dots \text{card}(Q)\}: q_k(t) \rightarrow q_k(t') \Rightarrow \\ \Rightarrow Q(t) \rightarrow Q(t') \Rightarrow R'(t) \rightarrow R'(t')$$

$q_k \mid k = 1 \dots \text{card}(Q)$ — нестационарная конечномерная конечная функция с дискретными значениями [7].

4. $O: R \rightarrow R'$ — оператор преобразования модели R в конструкцию R' — оператор синтеза функционально-логической программы R' , такой что:

$\mu: R' \rightarrow R - \mu$ — оператор ресинтеза R исходной спецификации по синтезированной программе R' для проверки частичной правильности программы по идентичным пред и пост условиям и проверки завершаемости программы;

$$(\exists \eta = \{\eta_1, \eta_2, \eta_3\}) \cap (\eta_1 = 1) \cap (\eta_2 = 1) \cap (\eta_3 = 1),$$

где η_1 — предикат проверки непротиворечивости программы R' , η_2 — корректности и η_3 — активности.

5. $M: R' \times R' \times R' \times u \rightarrow Re$, оператор интеллектуального мониторинга с принятием решения Re о состоянии контролируемой системы, $Re = M(R'(t_0), R'(t), R'(t_{ir}), u(t))$, $R'(t_0)$ — начальное состояние, $R'(t)$ — текущее состояние, $R'(t_0)$ — требуемое состояние, $u(t)$ — управление процессом, такой что будет выполнено условие пригодности оператора M :

$$Pr(p_i \mid i = 1 \dots \text{card}(P_{ir})) = \text{«истина»},$$

$$\text{где } Pr(p_i \mid i = 1 \dots \text{card}(P_{ir})): (p_1 \geq p_{1ir} \cap \dots \cap p_{\text{card}(P)} \geq p_{\text{card}(P)ir}).$$

Вследствие сложности решаемой задачи искомым оператор M может не иметь строгого формального выражения в виде функции, содержащей аргументы и значения. Он может быть представлен как совокупность действий или программа (алгоритм) потоковых вычислений по преобразованию исходных данных в искомый вид.

Концептуальная модель интеллектуального мониторинга технических систем должна включать в соответствии с определением интеллектуальной системы [12] подсистему представления данных и знаний в предметной области и подсистему манипуляции указанными данными и знаниями (рис. 1).

На верхнем уровне представлены возмущающие факторы, оказывающие влияние на весь жизненный цикл ТС, искажающие процесс мониторинга. Под искажениями процесса мониторинга понимается при этом не только фактическое искажение значений измеряемых параметров, а комплексное паразитное изменение всего процесса мониторинга: от непосредственного влияния на измерения до нарушения процесса их обработки и анализа вследствие временных ограничений на получение результата соответствующих процессов.

Блоками коричневого цвета представлены привлекаемые теории для синтеза полимодельного комплекса. Блоками серого цвета представлены подразделы соответствующих теорий, обеспечивающие формирование частных свойств искомого комплекса. В блоках синего цвета представлены свойства комплекса, которые в совокупности определяют его пригодность. Целесообразно рассмотреть подсистему представления данных и знаний



Рис. 1. Подсистема представления данных и знаний об интеллектуальном мониторинге состояния ТС

как результат решения совокупности задач по достижению соответствующих свойств подсистемы.

Теория моделирования систем предоставляет способ решения задачи описания структуры полимодельного комплекса. С этой целью привлекается теоретико-множественное описание систем для составления денотационной семантики, а также синтаксического описания структуры унифицированной модели типовой операции.

Задача описания функционирования моделей интеллектуального мониторинга решается с помощью положений теории вычислений. В качестве инструментальной и методической основы функционирования полимодельного комплекса используется способ формального описания алгоритма с помощью автоматной модели. Непосредственно используется инструмент потоковых вычислений: G-сети и цветные сети Петри.

На основе теории множеств решается задача обеспечения пригодности предлагаемого полимодельного комплекса в части выполнения свойства частичного порядка на множестве операций моделируемого процесса функционирования ТС.

Подсистема манипуляции данными и знаниями состоит из двух частей. Первая часть (рис. 2) заключается в преобразовании информации о процессах функциониро-

вания ТС в соответствии с предложенной структурой описательного полимодельного комплекса (рис. 1).

Представленная подсистема (см. рис. 2) базируется на положениях теории вычислений и теории моделирования систем. Данные теории предоставляют удовлетворительные средства решения подзадач по компенсации возмущающих факторов.

Привлекается инструмент сетей Петри с модификациями (G-сети) с целью компенсации факторов структурной и параметрической динамики экземпляров контролируемых процессов, логической и вычислительной сложности мониторинга. Привлечение положений теории вычислений по формальной верификации вычислительных алгоритмов позволяет решить задачу по компенсации факторов технической, структурной и доверительной сложности мониторинга. Снижение вычислительной сложности мониторинга является актуальной задачей во многих предметных областях, где контролируемые технические системы являются большими и сверхбольшими по объему циркулируемой в них информации.

Теория моделирования систем позволяет получить решение подзадачи формирования исходного представления информации о контролируемом процессе [13]. Оно базируется на рекурсивной модели дискретного па-



Рис. 2. Подсистема преобразования моделей

раллельного процесса [14] и является «первоначальной» спецификацией программы потоковых вычислений, по которой в дальнейшем будет верифицироваться синтезированная программа.

Таким образом, синтезируемая программа является описанием процесса мониторинга на собственном языке программирования, который можно отнести к языкам верхнего уровня.

Вторая часть подсистемы манипуляции данными и знаниями (рис. 3) и заключается в использовании преобразованной информации с целью мониторинга состояния ТС.

Подсистема манипуляции непосредственно организует мониторинг состояния ТС. Мониторинг вследствие привлекаемых при синтезе программы теорий заключается на внутреннем уровне в функционировании модифицированных цветных сетей Петри. На внешнем уровне мониторинг заключается в интерпретации этапов функционального диагностирования ТС на основе циклической совокупности операций:

1. Сопоставления свойств контролируемого процесса и его модели.
2. Контроля и интерпретации выходных переменных модели.

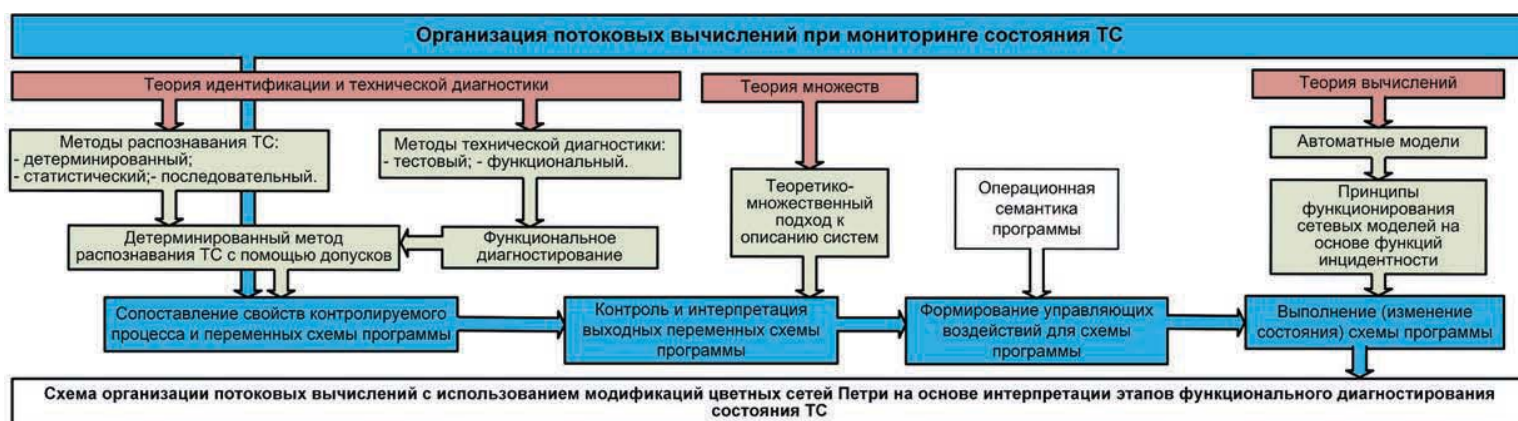


Рис. 3. Подсистема манипуляции моделями

3. Формирования управляющих воздействий для модели.

4. Выполнения (изменения) состояния модели.

Положения теории вычислений применяются в части принципов функционирования сетевых моделей, а также принципов формирования операционной семантики программы потоковых вычислений, сформулированных в подсистеме описания полимодельного комплекса.

Для практической проверки правильности привлечения подразделов теории моделирования систем в части сетей Петри и *G*-сетей в качестве теоретической базы интеллектуального мониторинга использована среда *CPN Tools* [15–17]. В данной системе создавались необходимые модели, которые показали удовлетворение предъявленных требований по компенсации рассматриваемых возмущающих факторов.

Таким образом, рассмотрена в полном объеме концептуальная модель интеллектуального мониторинга. Данная модель позволяет определить средства достижения глобальной цели мониторинга, а именно определение состояния контролируемой ТС, причем будут компенсированы возмущающие факторы процесса мониторинга.

Ставится и решается задача разработки концептуальной модели интеллектуального мониторинга состояния ТС на основе функционально-логических программ потоковых вычислений. Представленные программы являются языком верхнего уровня при «программировании» процессов обработки технической и технологической информации, характеризующей ТС.

Представленный материал базируется на положениях теории вычислений, моделирования систем, теории множеств. Представленная концептуальная модель языка «программирования» вычислительных процессов отличается:

- разработкой полимодельного комплекса интеллектуального мониторинга, сохраняющего на множестве операций контролируемого процесса свойство частичного порядка и охватывающего класс частично-рекурсивных функций;
- реализацией подхода функционального программирования при синтезе программы потоковых вычислений на основе модифицированных цветных сетей Петри;
- формализацией процедур поиска и устранения ошибок на основе интерпретации и проверки свойств сетей Петри и *G*-сетей,
- разработкой процедуры верификации синтезированной программы на основе проверки свойства ее полной (тотальной) правильности.

Практическая значимость и актуальность функционально-логических программ потоковых вычислений заключается в учете при их синтезе различных факторов, искажающих процесс мониторинга состояния ТС. Предусматриваются процедуры корректировки синтези-

рованной программы, которые компенсируют факторы логической, технологической, технической и подобные им сложности мониторинга.

Направлением применения представленного метода синтеза программ потоковых вычислений является проектирование схем вычислительных процессов, связанных с обработкой больших данных (*Big Data*) в сложных условиях. Например, предметной областью внедрения информационной технологии интеллектуального мониторинга может стать космическая деятельность, а именно мониторинг в реальном или близком к нему масштабе времени технического состояния ракетно-космической техники при выполнении ею целевых задач.

Литература

1. Ахметов Р.Н., Васильев И.Е., Капитонов В.А., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Концепция создания и применения перспективной АСУ подготовкой и пуском ракеты космического назначения «Союз-2»: новые подходы к интеграции, интеллектуализации, управлению // *Авиакосмическое приборостроение*. 2015. № 4. С. 3–54.
2. Концепция информатизации Роскосмоса (2010–2015 гг.). Федеральное космическое агентство. URL: <http://www.federspace.ru/2158>.
3. Майданович О.В., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Комплексная автоматизация мониторинга состояния космических средств на основе интеллектуальных информационных технологий // *Информационные технологии*. 2011. № S10. С. 1–32.
4. Peterson J.L. Petri net theory and the modeling of systems. Englewood Cliffs. N.Y., Prentice-hall, 1981. 288 p.
5. Охтилев М.Ю. Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа: монография. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 1999. 162 с.
6. Kalman R. E., Falb P.L., Arbib M.A. Topics in Mathematical System Theory. N.Y.: McGraw-Hill, 1969. 358 p.
7. Парийская Е.Ю. Сравнительный анализ математических моделей и подходов к моделированию и анализу непрерывно-дискретных систем // *Дифференциальные уравнения и процессы управления*. 1997. № 1. URL: <http://www.math.spbu.ru/diffjournal/RU/numbers/1997.1/article.1.4.html> (дата обращения: 20.07.2016).
8. Кларк Э.М., Гамбург О., Пелед Д. Верификация моделей программ: Model Checking: пер. с англ. М.: МЦНМО, 2002. 416 с.
9. Усталов Д.А. Коллективные потоковые вычисления: реляционные модели и алгоритмы // *Моделирование и анализ информационных систем*. 2016. Т. 23. № 2. С. 195–210.
10. Лацис А.О. Параллельная обработка данных. М.: Академия. 2010. 336 с.

11. *Левин В. К.* Тенденции развития суперкомпьютеров // *Computational nanotechnology*. 2014. № 1. С. 35–38.

12. *Лектауэрс А. И., Охтилев М. Ю., Потрясаев С. А., Соколов Б. В., Чуприков А. Ю., Шмелев В. В.* Анализ перспективных подходов к решению задач комплексного моделирования технологий самоуправляемых вычислений в критических приложениях // *Труды СПИИРАН*. 2013. Вып. 6(29). С. 144–169.

13. *Шмелев В. В.* Модели технологических процессов функционирования космических средств // *Авиакосмическое приборостроение*. 2015. № 4. С. 78–93.

14. *Лескин А. А., Мальцев П. А., Спиридов А. М.* Сети Петри в моделировании и управлении. Л.: Наука, 1989. 133 с.

15. *Westergaard M., Kristensen L. M.* The Access/CPN Framework: A Tool for Interacting with the CPN Tools

Simulator // *Proc. of 30th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2009)*. Lecture Notes in Computer Science 5606. Berlin: Springer-Verlag, 2009. Pp. 313–322.

16. *Jensen K., Kristensen L. M., Wells L.* Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems // *International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT)*. 2007. No. 9(3–4). Pp. 213–254.

17. *Ratzer A. V., Wells L., Lassen H. M., Laursen M., Qvortrup J. F., Stissing M. S., Westergaard M., Christensen S., Jensen K.* CPN Tools for Editing, Simulating, and Analysing Coloured Petri Nets // *Proc. of 24th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2003)*. Lecture Notes in Computer Science 2679. Berlin: Springer-Verlag, 2003. Pp. 450–462.

CONCEPTUAL MODEL OF INTELLIGENT MONITORING OF TECHNICAL SYSTEMS BASED ON FUNCTIONAL-LOGIC PROGRAMS OF FLOW CALCULATIONS

VALENTIN V. SHMELEV,

St. Petersburg, Russia, valja1978@yandex.ru

VICTOR A. KARGIN,

St. Petersburg, Russia, vic_kargin@mail.ru

DMITRY V. POPOV,

St. Petersburg, Russia, 707dim707@gmail.com

KEYWORDS: theory of computations; functional-logical programming; Stream computing; processing of measurement information; condition monitoring.

ABSTRACT

The task of monitoring the state of a technical system under the influence of disturbing factors is considered. A mathematical statement of the problem is presented. For a semantic description of the solution of the problem, a conceptual model of a special high-level language is proposed. The purpose of the developed language is the description ("programming") of the computing processes for processing technical and technological information in the subject area. The model on the basis of the attracted sections of the theory of computation, system modeling, identification and technical diagnostics proves the existence, unity and stability of the solution of the task. For this, re-

spectively, set out three concepts. The first concept is the concept of a poly-model complex for monitoring the state of the processes of the technical system functioning on the basis of Petri nets and G-networks with predicative-operator extension. The second concept is the concept of a method for synthesizing functional-logical programs of stream computing with verifying the correctness of compensation for disturbances. The third concept is the concept of organizing stream computing using modifications of color Petri nets based on the interpretation of the stages of functional diagnosis of the state of the technical system. The concept that unifies the concept is the concept of an

intellectual system, which includes a subsystem for presenting data and knowledge about a controlled technical system and a subsystem for manipulating them. The novelty of the material is the integration in unified theoretical positions of the synthesis of flow calculation programs for formal verification procedures and error search based on the interpretation of the properties of Petri and G networks. The practical importance and relevance of intelligent monitoring are to take into account various factors that distort the process of monitoring the state of the technical system. Measures are proposed to compensate for the technical complexity of controlled processes in the technical system, the structural, computational, temporal, logical complexity of monitoring the state of the system, the confidentiality of the initial information, and the structural and parametric dynamics of instances of controlled processes. The direction of application of the presented concept is the design of schemes of computing processes associated with the processing of large data.

REFERENCES

1. Akhmetov R.N., Vasiliev I.E., Kapitonov V.A., Okhtilev M. Yu., Sokolov B.V. Concept of creation and applying perspective ACS preparation and launch of a space rocket "Soyuz-2": new approaches to integration, intellectualization and management. *Aerospace instrument-making*. 2015. No. 4. Pp. 3-54.
2. The Concept of information of Russian Space Department (2010-2015). Federal space agency [The Electronic resource]. URL: <http://www.federspace.ru/2158>.
3. Maidanovich O.V., Okhtilev M. Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Integrated automation of space mean's state monitoring based on intelligent information technology. *Information Technologies*. 2011. No. S10. Pp. 1-32.
4. Peterson J.L. *Petri net theory and the modeling of systems*. Englewood Cliffs, N.Y., Prentice-hall, 1981. 288 p.
5. Okhtilev M. Yu. *Osnovy teorii avtomatizirovannogo analiza izmeritel'noj informacii v real'nom vremeni. Sintez sistemy analiza: monografiya* [Fundamentals of the theory of automated analysis of measurement information in real time. Synthesis of the analysis system: monograph]. St. Petersburg: VKA them. AF Mozhayskiy, 1999. 162 p.
6. Kalman R.E., Falb P.L., Arbib M.A. *Topics in Mathematical System Theory*. N.Y.: McGraw-Hill, 1969. 358 p.
7. Parijskaia E. Yu. Mathematical models and simulating approaches for continuous-discrete systems. *Differential equations and control processes*. 1997. No. 1. URL: <http://www.math.spbu.ru/diffjournal/RU/numbers/1997.1/article.1.4.html> (date of access: 20.07.2016).
8. Clark E.M., Grumberg O., Peled D. *Model checking*. MIT Press, 1999. 314 p.
9. Ustalov D.A. Dataflow-driven crowdsourcing: relational models and algorithms. *Modelling and analysis of information systems*. 2016. Vol. 23. No. 2. Pp. 195-210.
10. Latsis A.O. *Parallel processing of data*. Moscow: Academy. 2010. 336 p.
11. Levin V.K. Tendencies of development of supercomputers. *Computational nanotechnology*. 2014. No. 1. Pp. 35-38.
12. Lektauers A.I., Okhtilev M. Yu., Posturyaev S.A., Sokolov B.V., Chuprikov A. Yu., Shmelev V.V. Analysis of perspective approaches to solving problems of complex modeling of self-controlled computing technologies in critical applications. *Proceedings of SPIIRAN*. 2013. Vol. 6 (29). Pp. 144-169.
13. Shmelev V.V. Process models of functioning of space assets. *Aerospace instrument-making*. 2015. No. 4. Pp. 78-93.
14. Leskin A.A., Maltsev P.A., Spiridnov A.M. *Network of Petri in modelling and management*. Leningrad: Science, 1989. 133 p.
15. Westergaard M., Kristensen L.M. The Access/CPN Framework: A Tool for Interacting with the CPN Tools Simulator. *Proc. of 30th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2009). Lecture Notes in Computer Science 5606*. Berlin: Springer-Verlag, 2009. Pp. 313-322.
16. Jensen K., Kristensen L.M., Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT)*. 2007. No. 9(3-4). Pp. 213-254.
17. Ratzer A.V., Wells L., Lassen H.M., Laursen M., Qvortrup J.F., Stissing M.S., Westergaard M., Christensen S., Jensen K. CPN Tools for Editing, Simulating, and Analysing Coloured Petri Nets. *Proc. of 24th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2003). Lecture Notes in Computer Science 2679*. Berlin: Springer-Verlag, 2003. Pp. 450-462.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Shmelev V.V, PhD, Deputy Head of the Department of the Mozhayskiy Military Aerospace Academy;
Kargin V.A., Ph D., Associate Professor of the Mozhayskiy Military Aerospace Academy;
Popov D.V., Head of the educational Laboratory of the Department of the Military Space Academy.

For citation: Shmelev V.V., Kargin V.A., Popov D.V. Conceptual model of intellectual monitoring of engineering systems on the basis of is functional-logic programs of stream scalings. *H&ES Research*. 2018. Vol. 10. No. 5. Pp. 81-88. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10169 (In Russian)