

В.М. ШПАКОВ

СИТУАЦИОННЫЙ ПОДХОД К КООРДИНАЦИИ ГИБРИДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Шпаков В.М. Ситуационный подход к координации гибридных процессов.

Аннотация. Подход основан на использовании известного ситуационно-событийного формализма спецификации взаимодействующих гибридных процессов. Приводится краткое описание формализма, отмечаются достоинства его применения для компьютерной реализации динамических систем и обсуждаются возможности его использования для автоматической координации процессов. Рассматриваются основанные на этом формализме методы координации гибридных процессов и особенности их использования. Представлены примеры реализации систем автоматической координации, иллюстрирующие применение некоторых методов.

Ключевые слова: гибридный автомат, автоматическое управление, автоматическая координация, компьютерное моделирование.

Shpakov V.M. Situational approach to hybrid processes coordination.

Abstract. The approach is based on using of the known situation-event formalism of an interacting hybrid processes specification. A short description of the formalism is set out. Some advantages of its using for dynamic systems computer implementation are pointed out and its abilities for processes coordination are discussed. Hybrid processes coordination methods based on it and peculiarities of their usage are reviewed. Instances of automatic coordination systems which illustrate some methods usage are given.

Keywords: hybrid automaton, automatic control, automatic coordination, computer simulation.

1. Введение. Потребность в координации процессов существует во многих технических, в том числе производственных системах [1]. В качестве примера можно привести координированный разворот самолета, при котором процесс управления углами элеронов координируется с процессом управления углом руля направления. Достаточно острой проблема координации процессов является в распределенных системах управления, таких, например, как многоагентные системы управления цепями поставок. Поведение больших промышленных установок определяется совокупностями взаимодействующих гибридных процессов. Часто влияния одних процессов на другие являются нежелательными, а иногда — недопустимыми. Для обеспечения эффективности работы такие влияния необходимо компенсировать. Можно утверждать, что по мере усложнения динамических систем необходимость в координации процессов будет возрастать.

В [2] рассмотрен ситуационно-событийный подход к спецификации взаимодействующих гибридных процессов. В основе подхода ле-

жит модель гибридного автомата [3], функции перехода которой специфицируются с помощью правил трансформации дискретных и непрерывных состояний процессов и реализуются соответствующими функциями исполняющей процедуры интерпретатора этих правил. Реализация процессов, основанная на использовании ситуационного подхода, имеет ряд преимуществ по сравнению с их реализацией с помощью использования универсальных языков программирования и компиляторов [4]. Наиболее трудоемкой задачей при разработке компьютерных моделей динамических систем и реализации систем управления является формализация знаний экспертов в предметных и проблемных областях, приемлемая для использования программистами. Язык трансформационных правил ориентирован на спецификацию процессов и в этом отношении является языком более высокого уровня, чем универсальные языки. Одним из достоинств спецификации процессов с помощью правил является простота и удобство модификации получаемых спецификаций. Можно легко изменять логико-динамическую ситуацию, используемую в условной части любого правила, добавляя или удаляя логические переменные состояния дискретных процессов и предикаты от состояний непрерывных процессов. Можно также добавлять и удалять отдельные правила или их совокупности, не изменяя оставшиеся правила. Целью данной работы является рассмотрение возможностей использования ситуационного подхода для координации гибридных процессов.

Второй раздел статьи посвящен краткому изложению логико-динамического ситуационного подхода к спецификации гибридных процессов. В третьем разделе рассматриваются основанные на этом подходе возможные методы координации процессов, а в четвертом — приводятся иллюстративные примеры координации процессов.

2. Ситуационный подход к спецификации процессов. Текущее состояние совокупности гибридных процессов задается множеством вещественных переменных X , представляющих непрерывные составляющие, и множеством логических переменных W , представляющих дискретные составляющие процессов. Среди этих переменных выделяются подмножества независимых внешних воздействий: логических (V) и непрерывных (X_i). В составе множества W выделяются также подмножество Q , содержащее переменные для представления состояний дискретно-событийных процессов и режимов гибридных процессов, и подмножество предикатов от непрерывных состояний (G). В результате для представления процессов имеем следующие

множества переменных: $W = V \cup Q \cup G$, $X = X_i \cup X_s$, где X_s — непрерывные переменные состояния.

Для спецификации процессов необходимо задать функции переходов следующих типов:

$\sigma : W \rightarrow Q \times \{False, True\}$ — функция трансформации состояний дискретно-событийных процессов и режимов гибридных процессов;

$\delta : W \times X \rightarrow X_s$ — функция трансформации непрерывных состояний для возможных режимов гибридных процессов;

$\gamma : X \rightarrow G \times \{False, True\}$ — зависимость значений предикатов от непрерывных состояний процессов.

С учетом этого абстрактная модель процессов может быть представлена в виде следующего кортежа:

$$M = (V, Q, G, \sigma, \gamma, X, \delta, q_0, Init),$$

где $q_0, Init$ — множества дискретных и непрерывных начальных состояний, соответственно.

Функция перехода σ задается с помощью совокупности продукционных правил вида «Условие \rightarrow Действие», в которых в качестве условия может быть использована логическая формула, а в качестве действия — присвоение требуемых значений определенным состояниям и режимам процессов. В общем случае для спецификации модели могут потребоваться произвольные логические формулы. В качестве условия наиболее удобно использовать элементарные конъюнкции логических переменных. Такие конъюнкции интуитивно понятным образом могут интерпретироваться как логико-динамические ситуации. Элементарная конъюнкция всех логических переменных спецификации процесса определяет глобальную динамическую ситуацию. Элементарные конъюнкции, составленные из элементов подмножеств W , можно назвать локальными динамическими ситуациями. Вводя обозначение S_j для некоторой динамической ситуации, будем иметь:

$$S_j = s_{j_1} \dots s_{j_i} \dots s_{j_n}, \quad \text{где } s_{j_i} = w_{j_i} \quad \text{или} \quad s_{j_i} = \neg w_{j_i}, \quad w_{j_i} \in W, \\ n \in N_w, N_w = |W|.$$

Обозначая множество значимых локальных ситуаций S , тип функции трансформации динамических ситуаций можно определить, как $\sigma : S \rightarrow Q \times \{False, True\}$. Такая функция может быть специфицирована совокупностью продукционных правил, левая часть (условие)

которых является локальной ситуацией, а правая (действие) — совокупностью (списком) логических переменных состояния:

$$S_j \rightarrow q'_{j_1}, \dots, q'_{j_i}, \dots, q'_{j_m}, \quad (1)$$

где $q'_{j_i} \in Q \times \{False, True\}$, $m \in N$. При этом правила между собой соединены логической связкой \vee (или). Это значит, что одно и то же действие может быть произведено при выполнении различных условий, т.е. условия могут образовывать дизъюнкцию. Поскольку дизъюнкция элементарных конъюнкций представляет собой дизъюнктивную нормальную форму (ДНФ), то можно утверждать, что таким способом можно в качестве условия действия представить любую логическую формулу. Реализация функции σ производится исполняющей процедурой, которая в цикле сканирует правила, вычисляет значения условных частей правил и в зависимости от этих значений выполняет присваивание специфицированных значений переменным из исполнительной части правил.

Для реализации функции перехода δ необходимо создавать исполняемые спецификации непрерывных составляющих процесса для каждого режима. Было предложено это делать на основе использования передаточных функций элементарных динамических звеньев, функциональных преобразователей и структурных схем их соединения [5]. Спецификацию же элементарных процессов удобно производить на основе использования транзитивных моделей представления процессов [6]. Эти модели позволяют непосредственно определять отношение следования между входным воздействием и текущим состоянием процесса с одной стороны и новым следующим его состоянием — с другой. При рассмотрении транзитивных моделей используется соглашение о том, что именем переменной со штрихом обозначается состояние процесса, непосредственно следующее за состоянием, обозначенным этим же именем без штриха. В случае свободного одномерного непрерывного процесса отношение следования или транзитивное отношение (transition relation) представляет собой бинарное отношение на множестве вещественных чисел вида $\tau(y, y')$ или $y' = \tau(y)$, где y — текущее состояние процесса, а y' — следующее состояние процесса. Транзитивное отношение τ определяется параметрами элементарного динамического звена и длительностью интервала времени Δt между y и y' . В случае вынужденного процесса оно также зависит от внешнего воздействия x . Для реализации зависимо-

сти непрерывных состояний от логики развития гибридного процесса процедуры вычисления этих отношений включаются в исполнительные части правил, условными частями которых являются требуемые значения соответствующих режимов. В принятых обозначениях эти правила имеют вид

$$S_j \rightarrow x'_k = \tau_k(x_k, x), x_k \in X_s, x \in X, \quad (2)$$

где S_j — ситуация, определяющая режим, τ_k и x_k — соответствующие отношение и состояние, x — вещественная переменная модели. Формирование структурных динамических схем производится путем использования одних состояний в качестве входных воздействий при вычислении других состояний, а также использования сумматоров и других функциональных преобразователей. Правила этого типа могут также использоваться для вычисления функциональных зависимостей между непрерывными состояниями процессов. В этом случае транзитивное отношение будет определяться только процедурами, реализующими функциональные преобразования и арифметические операции.

Реализация функции γ связана с вычислением неравенств от непрерывных состояний. Алгоритмы могут быть различными. Поскольку часто необходимо оценивать диапазон, в котором находится непрерывное состояние, то для вычисления предикатов удобно использовать следующее правило:

$$(x_{j_1} \geq (a_k + x_{j_2})) \wedge (x_{j_3} \leq (b_k + x_{j_4})) \rightarrow g_k, \quad (3)$$

где $x_{j_1}, \dots, x_{j_4} \in X$, $g_k \in G$, a_k и b_k — границы диапазона. Использование различных предикатов, вычисленных с помощью правил (3), в формировании ситуаций позволяет реализовать любой предикат от непрерывных состояний процессов.

Правила (1,2,3) включаются в цикл обновления состояний процессов. Обновление состояния процесса в цикле представляет собой реализацию транзитивного замыкания отношения следования и позволяет представить процесс как траекторию состояний.

3. Координация процессов. Координация процессов представляет собой, в самом общем случае, управление этими процессами с целью обеспечения заданного отношения между их состояниями. Требование выполнения отношения может относиться как ко всему времени протекания процессов, так и к некоторым определенным состояниям процессов, например, конечным или экстремальным их состояниям.

Координация процессов может осуществляться с помощью различных видов воздействий: дискретных команд, изменения непрерыв-

ных управляющих воздействий, изменения параметров и ограничений на объекты или системы, реализующие процессы. Использование правил (1,2,3) предоставляет широкие возможности для координации процессов. Основная идея заключается в том, чтобы в правилах, определяющих эволюцию одного процесса, использовать состояния другого процесса. Так включение предикатов от непрерывных состояний одного процесса в описания ситуаций и событий правил (1) трансформации состояний другого процесса позволяет приостанавливать и вновь запускать этот процесс. Например, в промышленной установке ОГ-100 по производству жидкого гелия на некоторой стадии охлаждения газа необходимо открывать регулирующий вентиль РВ3 при температуре $T_6 = 21^\circ \text{ К}$. Открытие этого вентиля вызывает повышение температуры T_6 . Необходимо координировать процесс открытия вентиля с процессом изменения температуры так, чтобы открывание приостанавливалось при $T_6 = 22^\circ \text{ К}$ до тех пор, пока температура T_6 опять не понизится до 21° К . Пусть S_i — ситуация, в которой надо выполнять команду (*ОткрыватьРВ3*). Тогда для спецификации этого действия можно использовать правило (1):

$$S_i \rightarrow (\text{ОткрыватьРВ3}).$$

Координировать процесс открытия вентиля с изменениями температуры можно путем введения в описание ситуации вспомогательной логической функции (*Пауза*), которую определить через предикаты от температуры T_6 . Процесс координированного открытия вентиля может быть специфицирован следующим образом:

$$S_i, \neg(\text{Пауза}) \rightarrow (\text{ОткрыватьРВ3}) ;$$

$$S_i, (T_6 > 22) \rightarrow (\text{Пауза}) ;$$

$$S_i, (\text{Пауза}), (T_6 > 21) \rightarrow (\text{Пауза}) .$$

В исходном положении (*Пауза*) = False, поэтому при возникновении ситуации S_i вентиль РВ3 начнет открываться, что вызовет повышение температуры T_6 . При $(T_6 > 22) = \text{True}$ сработает второе правило, (*Пауза*) примет значение True, и в соответствие с первым правилом процесс открывания вентиля остановится, температура T_6 начнет понижаться. (*Пауза*) будет оставаться истинной до тех пор, пока выполняется условие третьего правила, т.е. до понижения T_6 до 21° К , после чего по умолчанию она принимает значение False и процесс открывания вентиля РВ3 возобновляется.

С помощью правил (2) реализуются требуемые в заданной ситуации функциональные зависимости одних непрерывных состояний от других непрерывных состояний и от дискретных переменных. Причем этими переменными могут быть состояния любых процессов. При этом значения аргументов, параметров и ограничений процедур вычисления транзитивных отношений, используемых в правых частях правил (2), сами могут определяться с помощью правил такого же типа. Это позволяет специфицировать произвольные зависимости процессов друг от друга, специфицировать с целью координации изменения аргументов, ограничений и параметров объектов и систем, реализующих отдельные процессы, а также изменять значения целевых функций отдельных систем. Некоторые возможные методы координации гибридных процессов рассмотрены ниже на конкретных примерах.

4. Иллюстративные примеры координации процессов. Возможные методы координации процессов рассмотрим на примерах координации переходных процессов в двух системах (С1 и С2) позиционирования ролика на плоскости. Такие системы широко используются для тестирования различных законов управления (нелинейных, нечетко-логических, гибридных) [7]. Аппаратные реализации таких систем используются для проведения натурных экспериментов и обучения [8]. Схема позиционирования ролика на плоскости приведена на рис. 1.

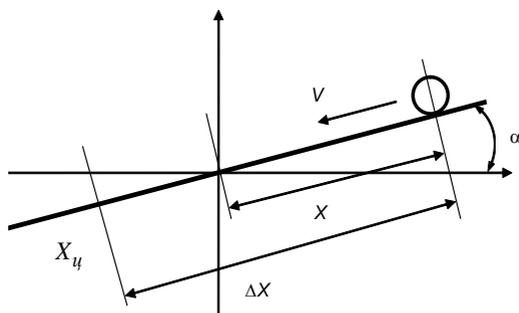


Рис. 1. Позиционирование ролика на плоскости.

Положение ролика определяется координатой X ; X_u – координата целевой позиции ролика. Рассогласование, или ошибка позиционирования, обозначена ΔX . Управление положением ролика производится путем изменения угла наклона плоскости α . Угол наклона однозначно определяет ускорение ролика. Конкретная зависимость уско-

рения от угла определяется моментом инерции ролика. В случае ролика в виде тонкостенного цилиндра для ускорения имеем $a = 0.5 \cdot g \cdot \sin(\alpha)$, где g — ускорение свободного падения, α — угол наклона плоскости.

Задачу координации определим следующим образом. Ролики должны приходить в свои целевые позиции одновременно, независимо от начального рассогласования. Переходные процессы в автоматических системах, а значит и методы их координации, зависят от используемых законов управления. Рассматриваемые примеры предполагают использование для позиционирования роликов гибридного логического закона управления [9]. Этот закон обеспечивает близкое к оптимальному по быстродействию управление позиционированием ролика. При большом рассогласовании этот закон задает максимально допустимый угол наклона плоскости, обеспечивая максимально допустимое ускорение разгона ролика. Значение рассогласования, при котором необходимо изменить угол наклона плоскости на противоположный угол, определяется скоростью ролика и допустимым углом наклона на участке торможения. В непосредственной близости от согласованного положения закон переключается на нечетко логическое управление, обеспечивающее устойчивость установившегося состояния. При таком управлении длительность переходного процесса с приемлемой точностью определяется начальным рассогласованием и допустимыми углами наклона плоскости, т.е. ускорениями разгона и торможения ролика. Значения допустимых углов наклона задаются по техническим требованиям, и в исходном состоянии эти значения в обеих системах одинаковы. В случае ролика в виде тонкостенного цилиндра для длительности переходного процесса имеем:

$$t \approx 2 \cdot \sqrt{\frac{\Delta X}{0.5 \cdot g \cdot \sin(\alpha)}}, \quad (4)$$

где t — длительность, ΔX — начальное рассогласование, α — максимально допустимый угол наклона плоскости. Использование зависимости (4) позволяет достаточно просто решать указанную задачу координации. При этом возможны различные стратегии координации. Системы позиционирования роликов и методы координации их переходных процессов моделировались в созданной в СПИИРАН среде разработки исполняемых спецификаций гибридных процессов (EnviCon) [10].

4.1. Формирование команд на запуск систем. Идея метода состоит в следующем. Вначале запускается система, имеющая большее рассогласование, а вторая система запускается в момент, когда оставшаяся продолжительность переходного процесса первой системы оказывается равной длительности переходного процесса второй системы. Пусть ΔX_1 и ΔX_2 начальные рассогласования систем и пусть для определенности $\Delta X_1 > \Delta X_2$. Для реализации координации база правил должна содержать правила типа (2), обеспечивающие вычисление с помощью формулы (4) длительностей t_1 и t_2 обоих процессов, и их разность $\Delta t = t_1 - t_2$, интегратор, моделирующий текущее время t , и правило типа (3), вычисляющее предикат $(t > \Delta t)$. С помощью правил типа (1) формируются команды K_1 и K_2 на запуск систем С1 и С2, соответственно. Совокупность правил, формирующих эти команды, можно представить в следующем виде.

$$\begin{aligned} (Сmapm) &\rightarrow K_1; \\ (Сmapm) &\rightarrow t_1 = F(\Delta X_1); \\ (Сmapm) &\rightarrow t_2 = F(\Delta X_2); \\ (Сmapm) &\rightarrow \Delta t = t_1 - t_2; \\ (t > \Delta t) &\rightarrow K_2, \end{aligned}$$

где $F(\Delta X)$ — процедура, соответствующая (4).

На рис. 2 приведены графики переходных процессов позиционирования роликов, полученные при моделировании систем и использовании метода их координации с помощью выработки соответствующих дискретных команд. При запуске системы координации логическая переменная $(Сmapm)$ принимает значение True. При этом срабатывают первые четыре правила, что приводит к выдаче команды на пуск первой системы, запуску интегратора, моделирующего часы, и вычисления задержки Δt . Пятое правило срабатывает и выдает команду на запуск второй системы, когда предикат в его условной части принимает значение True. Это происходит, очевидно, через время Δt , что и требовалось обеспечить для того, чтобы оба ролика достигли целевой позиции одновременно. Из рисунка видно, что ролики имеют разные исходные позиции (0 и -100), но достигают своих целевых позиций (100 и 200) одновременно.

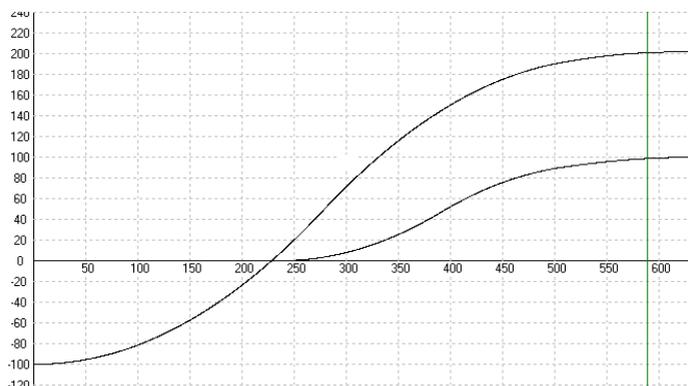


Рис. 2 Координация с помощью команды на запуск.

4.2. Ограничение угла наклона. Если запускать системы одновременно, то для того, чтобы обеспечить одновременный приход роликов в целевые позиции, необходимо обеспечить равенство длительностей переходных процессов. Как видно из (4), длительность зависит от величины начального рассогласования и допустимого угла наклона. Приравнявая длительности, находим зависимость угла наклона плоскости в одной системе от начальных рассогласований и угла наклона в другой системе.

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{\Delta X_2}{\Delta X_1} \cdot \sin(\alpha_1)\right). \quad (5)$$

На старте система координации должна сравнить рассогласования в обеих системах и вычислить требуемое значение угла для системы с меньшим рассогласованием, используя тот факт, что в другой системе установлено известное максимально допустимое ограничение угла. После этого найденное значение присваивается граничению на угол в этой системе. Реализующие этот алгоритм правила могут иметь следующий вид:

$$(Старт), (\Delta X_1 > \Delta X_2) \rightarrow \alpha_2 = F(\Delta X_2, \Delta X_1, \alpha_1);$$

$$(Старт), (\Delta X_2 > \Delta X_1) \rightarrow \alpha_1 = F(\Delta X_1, \Delta X_2, \alpha_2),$$

где символом F обозначена зависимость (5). Переходные процессы в системах позиционирования роликов, полученные при моделировании этого метода координации, приведены на рис. 3. Из рисунка видно, что ролик, имеющий меньшее начальное рассогласование, имеет меньшие по сравнению с другим роликом ускорения как на участке разгона, так

и на участке торможения, за счет чего оба ролика достигают своих целевых позиций одновременно.

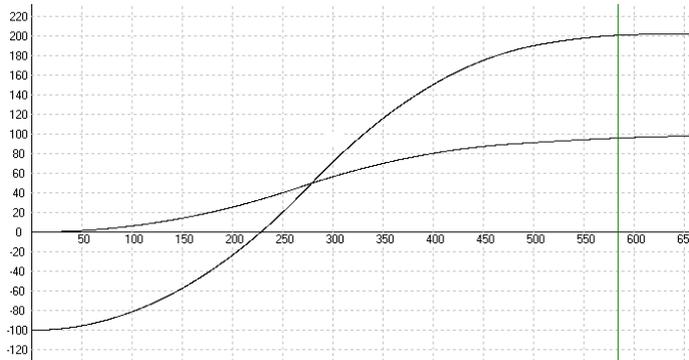


Рис. 3 Координация с помощью ограничения угла наклона.

4.3. Изменение целевых позиций. Если целевые позиции у обоих роликов одинаковые ($X1_u = X2_u = X_u$), то обеспечить одновременность их прихода в эти позиции можно следующим образом. В системе, имеющей большее рассогласование, изменить целевую позицию на начальную позицию второй системы, после чего запустить эту систему. Когда будет достигнута эта позиция, установить первоначальную целевую позицию и одновременно запустить вторую систему. Так как теперь обе системы имеют одинаковые начальные и целевые позиции и одинаковые ограничения на углы наклона плоскостей, то процессы на завершающей стадии будут идентичны друг другу. Специфицировать такой алгоритм координации можно с помощью следующих правил.

$$(\Delta X_1 > \Delta X_2) \rightarrow (X1_u = X2_n), (\text{Пуск } C1),$$

$$((X2_n - X1) < 1) \rightarrow (X1_u = X_u), (\text{Пуск } C2),$$

где $\Delta X_1, \Delta X_2$ — начальные рассогласования, $X2_n$ — начальная позиция ролика 2-ой системы, $X1$ — текущая позиция ролика 1-ой системы, $(\text{Пуск } C1), (\text{Пуск } C2)$ — команды на запуск систем. Графики переходных процессов, полученные при моделировании описанного метода координации, приведены на рис. 4. Из графиков видно, что вначале ролик, имеющий большее начальное рассогласование (300), переходит на начальную позицию второго ролика (50), после чего они синхронно перемещаются в целевую позицию (200).

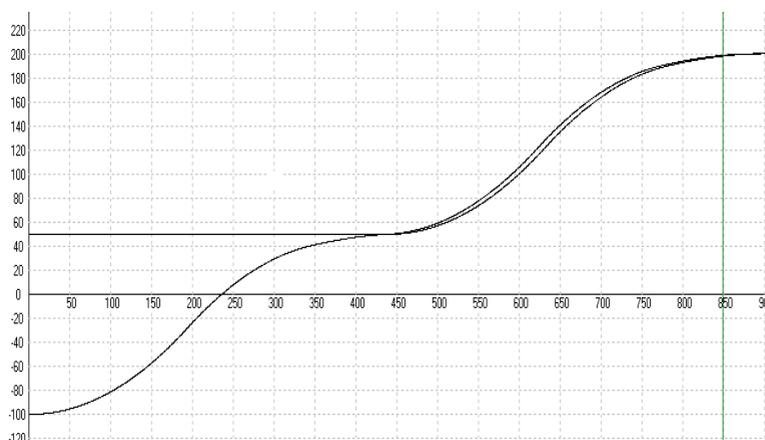


Рис. 4 Координация изменением целевой позиции.

5. Заключение. Методы координации можно сравнивать по их влиянию на качество процессов. Так первые два из рассмотренных методов обеспечивают длительность координированных процессов равной длительности процесса, имеющего большее начальное рассогласование. При использовании третьего метода общая длительность становится больше длительности наиболее длительного процесса. Конкретный выбор того или иного метода координации, в основном, определяется техническими возможностями его реализации, т.е. возможностями реализации изменений параметров, ограничений, целевых функций систем.

Рассмотренные методы далеко не полностью представляют возможности использования ситуационно-событийного подхода для решения задач координации гибридных процессов. В частности, для синхронизации процессов может эффективно использоваться не рассмотренный в статье метод дискретного изменения состояний непрерывных процессов при возникновении (исчезновении) определенных ситуаций. Этот метод очень удобен, например, для синхронизации таймеров, часто используемых в системах управления. Тем не менее, приведенные примеры, на наш взгляд, достаточно наглядно иллюстрируют возможности применения ситуационного подхода совместно с использованием транзитивной модели для координации процессов.

Литература

1. *Umeshwar Dayal, Meichun Hsu, Rivka Ladin Business Process Coordination: State of the Art, Trends, and Open Issues*, http://www.dia.uniroma3.it/~vldbproc/001_003.pdf

2. *Шпаков В.М.* Ситуационные спецификации имитационных моделей гибридных реактивных систем // Труды СПИИРАН. Вып. 1, т. 2. СПб.: СПИИРАН, 2002. 212–222 с.
3. *Henzinger T.A.* The Theory of Hybrid Automata. // Proceedings of the 11th Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 96). 1996. 278–292 pp.
4. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 288 с.
5. *Шпаков В.М.* Спецификация знаний динамики на основе транзитивной модели непрерывных процессов // Труды СПИИРАН. Вып. 3, т. 1. СПб.: Наука, 2006. 191–197 с.
6. *Alur R., Henzinger T.A., Lafferriere G., Pappas G. J.* Discrete Abstractions of Hybrid Systems // Proceedings of the IEEE. No. 88. 2000. 971–984 pp.
7. *Yannick Aoustin and Alexander Formal'skii* Ball on a beam: stabilization under saturated input control with large basin of attraction, *Multibody System Dynamics* (2009) V. 21, No. 1. 2009. 71–89 pp.
8. *E. Laukonen and S. Yurkovich*, "A Ball and Beam Testbed for Fuzzy Identification and Control Design," The 1993 American Control Conference, San Francisco, CA, June 1993.
9. *Шпаков В.М.* Пример применения гибридного логического закона управления // Труды СПИИРАН. Вып. 7. — СПб.: Наука, 2008. 54–63 с.
10. В.М. Шпаков, "Прототип среды моделирования структурированных совокупностей взаимодействующих процессов" // Сборник докладов конференции "Имитационное моделирование. Теория и практика", Санкт-Петербург, 19 – 21 октября 2005.-Т. II, сс. 292 – 295.

Шпаков Владимир Михайлович — к.т.н., доц.; старший научный сотрудник лаборатории интегрированных систем автоматизации Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: автоматическое управление, искусственный интеллект, логическое программирование, экспертные системы, поддержка принятия решений. Число научных публикаций — 58. vlad@iias.spb.su; ЛИСА СПИИРАН, 14-я линия В.О, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-8071, факс +7(812)328-4450.

Shpakov Vladimir Michajlovich — PhD in Technical Science, associate professor; senior researcher, laboratory of integrated systems for automation, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: automatic control, artificial intelligence, logic programming, expert systems, decision making support. The number of publications: — 58. vlad@iias.spb.su; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-8071, fax +7(812)328-4450.

Поддержка исследований. В публикации представлены результаты исследований, поддержанные грантом РФФИ 08-07-00252-а, рук. В.М. Шпаков.

Рекомендовано лабораторией интегрированных систем автоматизации, заведующий лабораторией Смирнов А.В., д. т. н., проф.
Статья поступила в редакцию 16.04.2001..

РЕФЕРАТ

Шпаков В.М. Ситуационный подход к координации гибридных процессов.

Статья посвящена рассмотрению возможностей использования ситуационно-событийного формализма спецификации гибридных процессов для разработки методов решения различных задач координации этих процессов. Отмечается актуальность проблем координации процессов, возрастающая по мере усложнения динамических систем.

Ситуационный формализм спецификации процессов основан на использовании правил трансформации состояний процессов. Он является языком, ориентированным на эффективную реализацию процессов, и в этом отношении является языком более высокого уровня, чем универсальные алгоритмические языки программирования. Одним из достоинств спецификации процессов с помощью правил является простота и удобство модификации получаемых спецификаций. В статье приводится краткое описание ситуационного формализма спецификации процессов. В его основе находится математическая модель гибридного автомата, функции перехода которого задаются с помощью продукционных правил, определяющих трансформацию состояний процессов. Приводятся наиболее выразительные и эффективные, по мнению автора, структуры этих правил.

Координация процессов представляет собой, в самом общем случае, управление этими процессами с целью обеспечения заданного отношения между их состояниями. Основная идея ситуационных методов координации процессов состоит в использовании правил, определяющих эволюцию одного процесса, его состояний и предикатов от состояний другого процесса. В качестве примера приведена спецификация процесса открытия вентиля, координированного с процессом изменения температуры. Координация достигается за счет введения в описание ситуации, при которой открывается вентиль, вспомогательной логической переменной, зависящей от предиката температуры.

Возможные методы координации процессов рассмотрены на примере координации переходных процессов в двух системах позиционирования ролика на плоскости. Задача координации состоит в том, чтобы при различных начальных рассогласованиях обеспечить одновременный приход роликов в свои целевые позиции. Приведены спецификации и представлены результаты моделирования методов координации, основанных на: формировании дискретной команды на запуск одной из систем в вычисленный момент времени; на уменьшении ограничения на угол наклона плоскости и на изменении целевых позиций одной из систем. Приведенные примеры достаточно наглядно иллюстрируют возможности применения ситуационного подхода совместно с использованием транзитивной модели для координации процессов.

SUMMARY

Shpakov V.M. **Situational approach to a hybrid processes coordination.**

The paper is devoted to consideration of ability of a situation-event formalism of hybrid processes specification for development of methods which enable to decide various problems of such processes coordination. It is noted that the urgency of process coordination problems increase as dynamic systems are getting more complicated.

The situation process specification formalism is based on using of process states transformation rules. Formalism is a language oriented on effective process realization and in this regard it is a language of a higher level than universal algorithm programming languages. One of advantages of processes specification with the help of rules is simplicity and an ease of derivable specifications modification. A short description of the process specification situation formalism is given in the paper. A mathematic model of hybrid automaton lies in the base of it, transition functions of the automaton are assigned with the help of production rules which determine the process states' transformation. The most expressive and effective rules' structures, in author's opinion, are given.

The processes coordination, in the most general sense, is the processes control with the purpose of providing of assigned relation between their states. The main idea of situational methods of processes coordination consists in using rules determining the evolution of one process's states and predicating the states of another process. As an example a specification of a valve opening process is presented which is coordinated with a temperature change process. The coordination is provided at the expense of including in the situation determination an auxiliary logic variable depending on a predicate of temperature.

Possible process coordination methods are considered with the examples of transitive processes coordination in two systems of roles positioned on a beam. A coordination task consists in providing of simultaneous arriving of the rolls at their goal positions under different initial positions. Specifications and results of simulations of following methods are given. A method based on creating of discrete command on starting of one system at a proper moment of time is proposed. Another one is based on decreasing of a beam incline angle limitation and the third — on changing of one system goal positions. The examples given obviously show good capability of application of situational approach together with the use of transition models for processes coordination.