

О ВРЕМЕННОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ТЕОРИИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ ХОАРА

Анотація. У статті вводиться параметр часу до теорії взаємодіючих процесів Хоара. Представлені основні операції теорії, такі як префіксація, рекурсія, оператори вибору та ін. та аксіоматичні закони теорії з урахуванням введеного параметра.

Ключові слова: теорія взаємодіючих процесів, подія, процес, протокол, префіксація, рекурсія, оператор вибору, функція перейменування.

Аннотация. В статье вводится параметр времени в теорию взаимодействующих процессов Хоара. Представлены основные операции теории, такие как префиксация, рекурсия, операторы выбора и др. и аксиоматические законы теории с учетом введенного параметра.

Ключевые слова: теория взаимодействующих процессов, событие, процесс, протокол, префиксация, рекурсия, оператор выбора, функция переименования.

Abstract. The article studies addition of the time parameter to the theory of communicating processes of Hoare. The basic operations of theory, such as prefix, recursion, selection operator and other, and axiomatic laws of theory are rewritten taking into account the entered parameter.

Keywords: theory of communicating processes, event, process, protocol, prefix, recursion, selection operator, renaming function.

1. Введение

Последние десятилетия прошлого века охарактеризовались бурным развитием информационных технологий. Начиная с 70-х годов XX века, существенно расширился спектр задач, эффективно решаемых с использованием информационных технологий, что способствовало их широкому внедрению в различные виды деятельности и проявлению повышенного интереса к проектированию программных средств со стороны исследователей [1].

В информатике для описания взаимодействия в программных системах значительное развитие получило семейство формальных языков, или математических теорий параллелизма, известных как алгебра процессов или алгебра исчислений.

В настоящее время существует достаточное количество форм методов параллелизма, наиболее известные из которых:

1. CSP (Communicating sequential processes) [2] – теория взаимодействующих последовательных процессов, предложенная известным теоретиком информатики Ч. Хоаром (Великобритания). Согласно Хоару, взаимодействие между процессами происходит при помощи сообщений.

2. CCS (Calculus of communicating systems) [3, 4] – теория взаимодействующих процессов, разработанная Р. Милнером. В основу взаимодействия процессов положен механизм рандеву, при котором взаимодействие между процессами происходит мгновенно.

3. ACS (Algebra of communicating systems) [5] – алгебра взаимодействующих процессов, предложенная Бегстра и Клопом.

В данной работе будет использоваться CSP. Алгебра Хоара представляет собой хорошую нотацию с математической теорией. Хоар формализовал понятие процесса и ввел его описание при помощи протоколов, а также предложил ряд аксиом, описывающих взаимодействие процессов.

Однако недостатком данной теории является абстрагирование от понятия времени. Хоар считает, что:

– события происходят мгновенно, т.е. являются элементарным действием, не

имеющим протяженности во времени. Протяженное, т.е. требующее времени, действие рассматривается как пара событий, первое из которых отмечает начало действия, а второе – его завершение;

– события и процессы не привязываются точно ко времени. Преимуществом такого подхода, по мнению Хоара, является упрощение построений и рассуждений, их применимость к физическим и вычислительным системам любой скорости и производительности.

Однако следствием исключения времени является отказ от понятия одновременности, причинно-временных зависимостей. Когда совместность событий существенна (например, при синхронизации процессов), единственный способ учесть данное обстоятельство – свести эти события в одно или позволить совместным событиям происходить в любом относительно друг друга порядке. Кроме того, абстрагирование от времени приводит к невозможности численной оценки длительности процесса.

Цель данной работы – введение времени в теорию взаимодействующих последовательных процессов Ч. Хоара для устранения описанных недостатков.

2. Основы CSP (Communicating sequential processes)

CSP описывает поведение системы как алгебраическую модель процессов, в которых сложные формы поведения составлены из более простых с помощью небольшого набора операторов. Эти операторы включают:

– префиксную запись, которая описывает последовательное выполнение операций: пусть x – событие, а P – процесс. Тогда $(x \rightarrow P)$ описывает объект, который вначале участвует в событии x , а затем ведет себя как P . Заметим, что операция префиксации ассоциативна справа, а это означает, что $x \rightarrow (y \rightarrow P) = x \rightarrow y \rightarrow P$;

– механизм рекурсии для описания многократно или бесконечно повторяемого процесса: процесс $P = (x \rightarrow P)$, записанный с помощью рекурсии, выполняет один раз событие x , а затем ведет себя как процесс P .

Префиксная запись и рекурсия задают линейную модель поведения. Она аналогична программе, содержащей линейную последовательность операторов и не имеющей операторов цикла или ветвления;

– альтернатива в поведении объекта представляется с помощью нескольких операторов выбора. CSP обеспечивает две основные формы выбора: внутренний выбор, выполняемый самим объектом или управляющим им процессом, и внешний выбор, когда решение принимается средой (информация поступает извне от объектов, не являющихся элементами данной системы).

В случае детерминированного выбора окружение процесса либо само осуществляет выбор, либо может наблюдать его. Если x и y – различные события, то оператор выбора $(x \rightarrow P \mid y \rightarrow Q)$ описывает объект, который сначала участвует в одном из событий x , y , а затем описывается процессом P , если первым произошло событие x , или Q , если первым произошло событие y . Таким образом, наступление события x или y определяется внешним фактором, но далее выбор между процессами P и Q строго детерминируется.

При недетерминированном процессе ни процесс, ни его окружение не могут ни выбирать, ни наблюдать его действие. В таком случае выбор между процессами P и Q осуществляется произвольно. Использование недетерминированного выбора (PPQ) позволяет учитывать стохастическое влияние внешних по отношению к объекту факторов возмущающих воздействий со стороны других объектов, взаимодействующих с моделируемой системой.

Генеральный выбор $(x \rightarrow P \parallel y \rightarrow Q)$ вводится, чтобы позволить окружению процес-

са управлять выбором при условии выбора на первом шаге. Если первое действие невозможно для P , то выбирается Q ; иначе выбирается P . Если первое действие возможно и для P , и для Q , выбор между ними остается недетерминированным;

– взаимодействие процессов (объединение, синхронизация двух и более процессов). Процессы могут происходить последовательно и параллельно, взаимодействовать между собой, обмениваясь сообщениями по входным и выходным каналам. Использование каналов для передачи сообщений между процессами соответствует архитектурному стилю «каналы и фильтры».

Одним из наиболее важных моментов является различие в операторах управления выбором. Это различие дает возможность моделировать реальные системы, в которых многие параметры определяются внешними факторами, и является ключевым для описания некоторых критических свойств архитектурных взаимодействий.

Описание архитектурных взаимодействий устроено таким образом, что имеется возможность их протоколировать, определять, какое конкретно взаимодействие ответственно за какую функцию и где в модели произошла ошибка, если поведение системы не соответствует ее спецификации.

3. Введение временного параметра в CSP

Введем следующие подходы к модельному времени в моделировании [6]:

1. Пересчет значения выходного сигнала в моменты особого состояния, когда заранее известны моменты изменения входных сигналов и особых состояний системы (событийно-ориентированный подход).

2. Пересчет значения выходного сигнала с фиксированным шагом Δt . При таком моделировании значение модельного времени на каждом такте увеличивается на фиксированную величину. В этот момент можно вычислять логические условия и выполнять события. Недостатком данного подхода является возможность "перескочить" момент модельного времени, при котором агрегат находится в особом состоянии. Данная реализация модельного времени более проста, но уступает предыдущей в эффективности.

3. Пересчет значения выходного сигнала в реальном времени.

На данном этапе для модельного времени реализуются событийно-ориентированный подход и пересчет значения выходного сигнала с фиксированным шагом.

Рассмотрим введение времени в теорию взаимодействующих процессов Ч. Хоара.

Обозначим временную переменную как t .

Тогда описание процесса P принимает вид

$$P = ((x_1, t_1) \rightarrow (x_2, t_2) \rightarrow \dots \rightarrow (x_n, t_n) \rightarrow P), \quad (1)$$

где t_n – время, например количество тактов, за которое выполняется событие x_n .

При этом законы, введенные для процессов, сохраняют свое действие, однако переписываются с учетом времени, например:

$$((x, t_1) \rightarrow P) = ((x, t_2) \rightarrow P) \Leftrightarrow t_1 = t_2 \quad (2)$$

или

$$((x, t_1) \rightarrow P) | ((y, t_2) \rightarrow Q) = ((y, t_3) \rightarrow Q) | ((x, t_4) \rightarrow P) \Leftrightarrow (t_1 = t_4) \wedge (t_2 = t_3). \quad (3)$$

Протоколы поведения процессов принимают следующий вид:

$$\langle (x_1, t_1), (x_2, t_2), \dots, (x_n, t_n) \rangle, \quad (4)$$

где t_n – время, за которое выполняется событие x_n .

Операции для работы с протоколами остаются неизменными. Однако введение времени позволяет расширить функцию переименования f , где f – инъективная функция, отображающая последовательность символов из множества A в последовательность символов из множества B . Она может работать не только с множеством событий в протоколах процессов, но и с временем выполнения данных событий, позволяя вводить временные коэффициенты для управления модельным временем.

Рассмотрим в качестве примера функции переименования оператор $twice$ (“удвоить”), который удваивает каждый элемент на входе данного оператора.

Оператор $twice$ без учета времени позволяет получить следующий протокол событий:

$$twice^*(\langle 1,5,3,6 \rangle) = \langle 2,10,6,12 \rangle. \quad (5)$$

При введении времени получаем расширение возможностей данного оператора:

$$\begin{aligned} twice_x^*(\langle (1,10), (5,20), (3,30), (6,40) \rangle) &= \langle (2,10), (10,20), (6,30), (12,40) \rangle, \\ twice_t^*(\langle (1,10), (5,20), (3,30), (6,40) \rangle) &= \langle (1,20), (5,40), (3,60), (6,80) \rangle, \\ twice_xt^*(\langle (1,10), (5,20), (3,30), (6,40) \rangle) &= \langle (2,20), (10,40), (6,60), (12,80) \rangle. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, при применении функции f к процессу P с алфавитом αP , где каждое событие связано со временем, функция f показывает не только изменение алфавита, но и времени выполнения этих событий, и введя временной коэффициент масштабирования, можно управлять модельным временем.

Протоколы процесса после переименования получают простой заменой отдельных символов и времени выполнения во всех протоколах исходного процесса.

Помеченное событие со временем принимает вид

$$l.(x,t). \quad (7)$$

Взаимодействие процессов осуществляется по описанным в [2] законам, однако введение времени позволяет расширить теорию взаимодействующих последовательных процессов введением дополнительных операторов. Так, введем дополнительный символ $?$ для процесса, который t_1 единиц времени ведет себя как P , а затем t_2 единиц времени ведет себя как Q . Тогда

$$R = (P?t_1) \rightarrow (Q?t_2). \quad (8)$$

Такое расширение теории взаимодействующих последовательных процессов позволит математически строго описывать причинно-временные зависимости между элементами системы.

4. Численная оценка времени выполнения процесса

Введение времени в описание процессов позволяет численно оценивать время их выполнения.

Обозначим через $T(P)$ время выполнения процесса P .

Тогда для префиксно-рекурсивного определения событий получим

$$\begin{aligned} P &= ((x_1, t_1) \rightarrow (x_2, t_2) \rightarrow \dots \rightarrow (x_n, t_n) \rightarrow P), \\ T(P) &= \sum_{i=1}^n t_i. \end{aligned} \quad (9)$$

Для процессов, содержащих операторы выбора, оценивается интервал времени их выполнения $T(P) \in [t_{\min}, t_{\max}]$, а также при необходимости среднее оценочное значение

$$\hat{T}(P) = \frac{t_{\min} + t_{\max}}{2} \quad (10)$$

или

$$\bar{T}(P) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (11)$$

где t_i – длительность выполнения процесса при выборе i -того варианта;

n – количество альтернатив в операторе выбора.

Например, пусть

$$P = ((x_1, t_1) \rightarrow P) | (x_2, t_2) \rightarrow (x_3, t_3) \rightarrow P). \quad (12)$$

Тогда

$$T(P) = t_1 | t_2 + t_3. \quad (13)$$

Пусть

$$t_1 < t_2 + t_3. \quad (14)$$

Тогда мы можем оценить интервал времени выполнения процесса P :

$$\begin{aligned} t_{\min} &\leq T(P) \leq t_{\max}, \\ t_1 &\leq T(P) \leq t_2 + t_3. \end{aligned} \quad (15)$$

5. Выводы

В данной работе:

- введен временной параметр в теорию взаимодействующих процессов Хоара;
- переписаны основные операции теории, такие как префиксация, рекурсия, операторы выбора и др. и аксиоматические законы теории с учетом введенного параметра;
- введено численное определение длительности выполнения процесса.

Использование данной теории позволит эффективно моделировать архитектуру современных программных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Бусленко Н.П. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
2. Хоар Ч. Взаимодействующие последовательные процессы / Хоар Ч. – М.: Мир, 1989. – 264 с.
3. Milner R. A Calculus of Communicating Systems / R. Milner // Lecture Notes in Computer Sciences. – 1980. – Vol. 92. – 260 p.
4. Milner R. Calculi for Synchrony and Asynchrony / R. Milner // Theoretical Computer Science. – 1983. – N 25. – P. 267 – 310.
5. Bergstra J.A. Process Algebra with Asynchronous Communication Mechanisms / J.A. Bergstra, J.W. Klop // Lecture Notes in Computer Science. In Seminar on Concurrency. – 1985. – N 197. – P. 76 – 95.
6. Satoh I. Time and Asynchrony in Distributed Computing / I. Satoh. – Japan: Keio University, 1996. – 97 p.

Стаття надійшла до редакції 25.05.2011