

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ИНТЕГРАЦИИ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СРЕДСТВ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ

По мере нарастания темпов конкуренции формируется стратегия ведения бизнеса, предусматривающая гибкое и оперативное реагирование на изменение рыночных условий и повышение требований заказчиков. Указанная стратегия реализуется посредством адаптации архитектуры гетерогенной сети к моделям бизнес-деятельности корпорации. В настоящее время сервис-ориентированная архитектура (Service Oriented Architecture – SOA) [1-6] признается в качестве приоритетного направления адаптации архитектуры корпоративных гетерогенных сетей к бизнес-процессам в целях обеспечения устойчивого конкурентного преимущества в сфере профессиональной деятельности. К корпоративным гетерогенным сетям относятся сложные крупномасштабные сети организаций (учреждений, предприятий, фирм), объединяющие территориально рассредоточенные разнотипные и согласованно функционирующие программные и аппаратные компоненты, созданные и действующие в соответствии с разнородными технологиями.

Сервис-ориентированная архитектура

В сфере экономики сервис-ориентированная архитектура представляется как набор бизнес-методов, методов процесса, организационных методов и методов управления, объединяемых в гибкую систему, позволяющую снизить возможность невыполнения профессиональных функций и оценить значимость информационных технологий в получении конкурентных преимуществ. В технической сфере определяются различные представления SOA. В области информационных технологий сервис-ориентированная архитектура трактуется как методология построения информационных систем в соответствии с

моделями деятельности, учитывающими бизнес-приоритеты в рыночных условиях. В области информационных сетей сервис-ориентированная архитектура рассматривается как компонентная модель связи функциональных модулей программных приложений посредством определенных интерфейсов и соглашений между ними. Модули именуется сервисами (службами или сервис-ориентированными средствами).

Согласно [1,3,4] сервисам ставятся в соответствие следующие признаки:

- 1) мера связанности сервисов между собой и бизнесом отражается зависимостями в отношениях между предметом автоматизации и логикой;
- 2) взаимодействие сервисов подчиняется контрактным правилам, которыми в техническом контексте определяются ограничения, свойства, политика применения, приоритеты, программные интерфейсы, коммуникационные требования;
- 3) внутренняя логика сервисов изолируется от окружающей среды;
- 4) сервисами допускается композиция, которая может оформляться в виде сервиса следующего уровня;
- 5) любой сервис может использоваться многократно;
- 6) каждый сервис должен являться самоуправляемым и обнаруживаемым;
- 7) нейтральность сервиса по отношению к обращающимся модулям должна обеспечиваться отсутствием собственного состояния.

В корпоративных гетерогенных сетях различаются три основных типа сервисов: сервисы бизнес-функций, сервисы инфраструктуры и сервисы жизненного цикла. Сервисы первого типа предназначены для автоматизации профессиональной деятельности. Сервисами второго типа выполняется отображение сервисов бизнес-функций на платформы

инфраструктуры. Сервисами третьего типа осуществляется дизайн, внедрение, управление и изменение сервисов первых двух типов.

Основные компоненты концептуальной модели интеграции и базовые стандарты сервис-ориентированных средств

Основными компонентами концептуальной модели интеграции сервис-ориентированных средств являются поставщик сервиса, потребитель сервиса, посредник сервиса. Поставщиком описывается и реализуется сервис. Потребителем выполняется с помощью вызова сервиса необходимая функция профессиональной деятельности. Описание сервиса находится в реестре. Посредником обслуживается реестр сервиса.

В настоящее время ведущие позиции среди сервисов, соответствующих концепции SOA, занимают Web-сервисы (Web-службы). Подобная ситуация объясняется тем, что любой Web-сервис идентифицируется строкой URI и является программной системой с общедоступными интерфейсами, определяемыми на языке XML.

Концепция сервис-ориентированной архитектуры в гетерогенных сетях реализуется совокупностью информационных технологий различных классов, определяющих базовые стандарты для создания корпоративных приложений [5].

Модель обмена информацией между службами определяется с помощью следующих средств:

- языка разметки документов XML (Extensible Markup Language), обеспечивающего структуризацию информации разного типа посредством произвольного набора инструкций;
- языка XHTML, представляющего собой интеграцию языка XML и языка разметки гипертекста HTML (Hypertext Markup Language);
- языка запросов к данным, структурированным в виде XML, XQL (XML Query Language);

– языка описания структуры XML документа XSD (XML Schema Definition), разработанного для создания в памяти объектов, соответствующих структуре XML документов.

В качестве транспортного протокола для Web-служб используется широко распространенный протокол передачи гипертекстовых документов HTTP (HyperText Transfer Protocol). Обмен сообщениями регламентируется простым протоколом доступа к объектам SOAP (Simple Object Access Protocol), который может использоваться с любым протоколом прикладного уровня. Формат сообщений, используемые протоколы и адрес, по которому находятся сервисы, регламентируется спецификацией языка описания сервисов WSDL (Web Services Description Language). Стандартом для индексирования Web-сервисов является спецификация универсального описания, обнаружения и интеграции UDDI (Universal Description Discovery & Integration). В систему стандартов сервис-ориентированной архитектуры для реализации совместной работы служб вводится спецификация языка исполнения бизнес-процессов BPEL (Business Process Execution Language).

Основными свойствами языка BPEL являются асинхронные взаимодействия, координация потоков и управление исключительными ситуациями. Асинхронные взаимодействия поддерживаются с целью размещения Web-сервисов в сценариях интеграции, повышающего степень распределения обработки и позволяющего пользователю участвовать в реализации бизнес-процесса.

Координация потоков осуществляется на основе организации параллельных потоков выполнения и поддержки образцов соединений. Основные действия потоков складываются из индивидуальных шагов взаимодействия с сервисами, манипулирования обмениваемыми данными и обработки исключительных состояний. С помощью структурированных действий описывается создание и выполнение процесса. В реальные

приложения включаются образцы сложных взаимодействий с синхронными и асинхронными сервисами. Управление исключительными ситуациями является неотъемлемым этапом автоматизации профессиональной деятельности в условиях рыночных отношений. При проявлении исключительных ситуаций вызываются локальные обработчики ошибок, связанных с Web-сервисами, и уведомляются асинхронные сервисы об их возникновении. Представленная взаимосогласованная совокупность стандартов является основой для автоматизации проектирования приложений, соответствующих концепции сервис-ориентированной архитектуры с позиций функциональности. Однако в рамках этой основы не предусматривается решение задач автоматизации проектирования рассматриваемых приложений с позиций требуемого качества. В связи с этим предлагается расширение основы, ориентированное на формирование моделей крупногранулярных процессов, соответствующих интеграции сервис-ориентированных средств, и анализ качества их выполнения. Крупногранулярным процессом считается композиция процессов, каждым из которых представляется реализация конкретной службы.

Формирование моделей интеграции сервис-ориентированных средств

Расширение основы для автоматизации проектирования приложений проводится на уровне формального описания и анализа деятельности. Первоисточником для описания моделей интеграции рассматриваемых средств является определение видов деятельности в среде сервис-ориентированной архитектуры. В системе стандартов, соответствующих концепции SOA, на этом уровне автоматизации используется язык BPEL.

Согласно [7] деятельность рассматривается как самостоятельный элемент поведения приложения, которая может включать другие деятельности или отдельные действия. Под элементарной единицей спецификации поведения понимается действие. В модели деятельности

описывается последовательность действий и условий их выполнения на основе определения потока управления, а также поток объектов, необходимых для осуществления отдельных действий или соответствующих результатам их реализации. В русле объектно-ориентированного анализа информационных систем модель изображается в форме диаграммы деятельности (activity diagram).

При сопоставлении спецификаций языка BPEL и языка унифицированного моделирования UML 2.0 (Unified Modeling Language) выясняется, что на разработку каждого из них существенное влияние оказала нотация моделирования бизнес-процессов BPMN (Business Process Modeling Notation). В связи с этим в качестве основы для расширения выбирается система элементов моделирования деятельности языка UML 2.0, тем более, что расширяемость позиционируется в качестве одного из его ключевых свойств.

В концептуальную основу моделирования интеграции сервис-ориентированных средств включаются принципы определения деятельности, действия, узлов и дуг деятельности, семантики деятельности, семантики действия, потока управления, потока объектов, специальных регионов, специальных действий.

Поток управления рассматривается как прототип координации сервис-ориентированных средств, выполняющих действия деятельности в среде сервис-ориентированной архитектуры. Он образуется из узлов, являющихся абстрактными узлами деятельности и предназначенных для координации потоков. Узлами управления являются начальный узел, узел решения, узел слияния, узел разделения, узел соединения, узел финала деятельности и потока.

Поток объектов формируется с помощью узлов, среди которых узел объекта, узел центрального буфера и хранилища данных, узел входных

контактов объекта, узел выходных контактов объекта, узел параметра деятельности.

Группа элементов моделирования, называемая специальные регионы, предназначается для группировки действий, относящихся к одной деятельности и имеющих некоторую общую характеристику. В такую группу включаются элементы разбиения деятельности, элементы региона прерываемой деятельности, элементы обработчика исключений.

Группа элементов, именуемая специальные действия, предусматривается для случаев моделирования различного поведения. К указанной группе относятся элементы создания и разрушения объектов и связей, чтения и записи переменных, передачи сигнала, приема события.

В диаграммах деятельности сервис-ориентированных средств описанные компоненты модели будут представляться в виде определенных типов графических элементов языка UML 2.0.

Вводимые расширения основы моделирования интеграции сервис-ориентированных средств касаются отображения статистических свойств действий в деятельности и потока управления, координирующего их последовательность.

В дальнейшем статистические свойства действий сервис-ориентированных средств рассматриваются во временном контексте, поскольку фактор времени является одним из основных при определении качества профессиональной деятельности в среде сервис-ориентированной архитектуры.

При отображении статистических свойств учитывается дискретность времени, являющаяся следствием цифрового характера технологий сервис-ориентированной архитектуры.

В соответствии с вышеизложенным каждое действие любого из сервис-ориентированных средств описывается плотностью вероятности $u_i(k_i)$, $k_i = 1, 2, \dots, K_i$

$$\sum_{k_i}^{K_i} u_i(k_i) = 1, i = 0, 1, 2, \dots, I, \quad (1)$$

где k_i – дискретное время выполнения i -го действия, K_i – верхняя граница дискретного времени выполнения i -го действия, i – номер некоторого действия; I – общее число действий.

Плотность вероятности $u_i(k_i), k_i = 1, 2, \dots, K_i$ может определяться посредством импорта результатов работы системы мониторинга в инфраструктуре гетерогенной сети либо путем анализа конечной цепи Маркова, марковского или полумарковского процесса, основные этапы которого раскрываются в [8]. Последние два пути определения плотности вероятности ориентируются на те случаи, когда рассматриваемое действие описывается в дискретном пространстве состояний, соответствующих множеству происходящих событий.

На основании определяющего признака SOA, заключающегося в нейтральности сервиса по отношению к обращающимся модулям, принимается предположение о независимости случайных времен выполнения действий, соответствующих интегрируемым сервисам.

Плотность вероятности указывается внутри графического элемента узла действия.

Вводимые расширения относятся и к потоку управления. На дугах, исходящих из каждого узла решения, указываются $p_{j,l}, j = 1, 2, \dots, J; l = 1, 2, \dots, L_j$ вероятности выбора альтернативных вариантов поведения в ходе деятельности, которые удовлетворяют условию полной группы несовместных событий:

$$\sum_{l=1}^{L_j} p_{j,l} = 1, j = 1, 2, \dots, J, \quad (2)$$

где j – номер узла решения; L_j – число альтернативных вариантов поведения после решения j , J – число узлов решения.

Предлагаемая формализация процесса формирования конкретной модели интеграции сервис-ориентированных средств представляется следующими шагами:

1. Позиционирование вида деятельности в среде сервис-ориентированной архитектуры.
2. Выделение множества действий \mathbf{D} ($|\mathbf{D}|=I$) в деятельности сервис-ориентированных средств.
3. Описание каждого действия $d_i, i=0,1,2,\dots,I$ плотностью вероятности $u_i(k_i), k_i=1,2,\dots,K_i$, удовлетворяющей условию (1).
4. Формирование потока управления из узлов координации действий сервис-ориентированных средств.
5. Описание каждого альтернативного варианта всех узлов решения соответствующей вероятностью $p_{j,l}, j=1,2,\dots,J; l=1,2,\dots,L_j$ с обязательным выполнением условия (2). Указанные вероятности могут определяться с помощью считывания соответствующих результатов работы системы мониторинга или оценки вероятности событий, происходящих при выполнении действий в деятельности сервис-ориентированных средств. Если любой из указанных путей определения считается не приемлемым, то вероятности альтернативного выбора считаются варьируемыми параметрами, принимающими случайные значения на интервале $[0,1]$ при выполнении условия (2).
6. Формирование матрицы инцидентности для узлов разъединения и узлов соединения \mathbf{A} размера $(n \times n)$, где n – общее число узлов разъединения и узлов соединения; $a_{i,j} = 0$, если узлы не связаны через узлы действий; $a_{i,j} = 1$, если j -ому узлу предшествуют узлы действий, следующие в последовательности узлов после i -ого узла; $a_{i,j} = -1$, если узлы действий, предшествующие i -ому узлу, следуют после j -ого узла.

7. Описание спецификаций всех узлов соединений, характеризующих взаимодействие сервис-ориентированных средств.

При вариации содержания выполняемых операций представленных шагов образуется многовариантный набор моделей интеграции сервис-ориентированных средств.

Показатели качества совместной работы служб и методы их оценки

Качество совместной работы служб сервис-ориентированной архитектуры является многопрофильной категорией. Однако в рамках данной статьи рассматриваются лишь те аспекты качества, которые касаются времени исполнения бизнес-процесса.

В соответствии с концепцией сервис-ориентированной архитектуры принимается гипотеза о взаимной независимости времен выполнения действий в деятельности.

Стохастический профиль интеграции сервис-ориентированных средств в полной мере характеризуется плотностью вероятности времени выполнения деятельности, вследствие чего она выбирается базовым показателем качества совместной работы служб. После нахождения базового показателя качества без особых вычислительных затруднений определяются показатели, представляющие собой числовые характеристики времени выполнения деятельности в среде сервис-ориентированной архитектуры. При выдвигании временного ограничения, обусловленного спецификой профессиональной деятельности, наибольшее внимание уделяется риску срыва временного регламента. Считается, что чем ниже риск, тем выше качество совместной работы служб. По этой причине риск срыва временного регламента деятельности также включается в систему показателей качества.

Для определения выбранных показателей качества совместной работы служб предлагается метод, содержащий следующие этапы:

1. Выделение в модели интеграции сервис-ориентированных средств последовательностей узлов действий, замена каждой последовательности новым узлом более сложного действия с определением эквивалентной характеристики в виде плотности вероятности времени его выполнения по следующей формуле:

$$u(k_{0,1,\dots,m}) = \sum_{\min k_{0,1,\dots,(m-1)}}^{\max k_{0,1,\dots,(m-1)}} u(k_{0,1,\dots,(m-1)}) u_m(k_{0,1,\dots,m} - k_{0,1,\dots,(m-1)}), \quad (3)$$

$$k_{0,1,\dots,m} = \min(k_0 + k_1 + \dots + k_m), \dots, \max(k_0 + k_1 + \dots + k_m), m = 0, 1, \dots, M_j,$$

$$u(k_0) = u_0(k_0),$$

где $k_{0,1,\dots,m}$ – дискретное время выполнения последовательности m действий; $u(k_{0,1,\dots,m})$ – плотность вероятности времени выполнения последовательности $(m+1)$ действий.

2. Нахождение в модели интеграции сервис-ориентированных средств группы узлов альтернативных действий, замена каждой найденной группы новым узлом более сложного действия с определением эквивалентной характеристики в виде плотности вероятности времени его выполнения согласно соотношению (4):

$$u(k_{1,2,\dots,l,\dots,L_j}) = \sum_{l=1}^{L_j} p_{j,l} u_l(k_l), \quad (4)$$

$$k_{1,2,\dots,l,\dots,L_j} = \min_l k_l, \dots, \max_l k_l; \quad l = 1, 2, \dots, L_j;$$

где $u(k_{1,2,\dots,l,\dots,L_j})$ – плотность вероятности $k_{1,2,\dots,l,\dots,L_j}$ времени выполнения L_j альтернативных действий.

3. Выделение последовательностей узлов новых более сложных действий, замена каждой выделенной последовательности новым узлом укрупненного действия с определением по формуле (3) эквивалентной характеристики в виде плотности вероятности его выполнения.

4. Представление спецификаций узлов соединений модели интеграции сервис-ориентированных средств в базисе функций $\wedge(N), \vee(N)$, « M из N », где N – степень параллельности, M – число выполненных действий, по окончании которых завершается соединение параллельных действий.
5. Выделение в модели групп узлов параллельных действий, замена каждой группы новым узлом укрупненного действия с определением эквивалентной характеристики в виде плотности вероятности времени его выполнения по формуле (5), (6), если соединение осуществляется согласно булевой функции $\wedge(N)$, или по формуле (7), (8), если узел соединения описывается булевой функцией $\vee(N)$, или по формулам (9), (10), (11), (12), если соединение проводится в соответствии с функцией « M из N ».

$$u_{\wedge}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N}) = \prod_{n=1}^N \left(\sum_{k_n=1}^{k_{1,2,\dots,n,\dots,N}} u_n(k_n) \right) - \prod_{n=1}^N \left(\sum_{k_n=1}^{k_{1,2,\dots,n,\dots,N}-1} u_n(k_n) \right), \quad (5)$$

$$k_{1,2,\dots,n,\dots,N} = \max_n(\min k_1, \min k_2, \dots, \min k_n, \dots, \min k_N), \dots, \dots, \max_n(\max k_1, \max k_2, \dots, \max k_n, \dots, \max k_N) \quad , \quad (6)$$

$$u_{\vee}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N}) = \prod_{n=1}^N \left(1 - \sum_{k_n=1}^{k_{1,2,\dots,n,\dots,N}-1} u_n(k_n) \right) - \prod_{n=1}^N \left(1 - \sum_{k_n=1}^{k_{1,2,\dots,n,\dots,N}} u_n(k_n) \right), \quad (7)$$

$$k_{1,2,\dots,n,\dots,N} = \min_n(\min k_1, \min k_2, \dots, \min k_n, \dots, \min k_N), \dots, \dots, \min_n(\max k_1, \max k_2, \dots, \max k_n, \dots, \max k_N) \quad , \quad (8)$$

$$u_{M,N}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N}) = U_{M,N}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N}) - U_{M,N}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N} - 1), \quad (9)$$

$$U_{M,N}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N}) = \sum_{r=1}^{k_{1,2,\dots,n,\dots,N}} u_{\wedge}(r) \text{ npu } M = N, \quad (10)$$

$$U_{M,N}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N}) = \sum_{r=1}^{k_{1,2,\dots,n,\dots,N}} u_{\vee}(r) \text{ npu } M = 1, \quad (11)$$

$$U_{M,N}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N}) = G(N, M, N, k_{1,2,\dots,n,\dots,N}) \text{ npu } 1 < M < N, \quad (12)$$

где

$$G(N, M, IND, k_{1,2,\dots,n,\dots,N}) = \begin{cases} 0, \text{ если } M > N; \\ \sum_{r=1}^{k_{1,2,\dots,n,\dots,N}} u_{\vee}(r), \text{ если } M = 1; \\ \sum_{r=1}^{k_{1,2,\dots,n,\dots,N}} u_{\wedge}(r), \text{ если } M = N; \\ U_{IND}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N})G(N-1, M-1, IND-1, k_{1,2,\dots,n,\dots,N}) + \\ + (1 - U_{IND}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N})) \times \\ \times G(N-1, M, IND-1, k_{1,2,\dots,n,\dots,N}), \text{ если } M < N; \end{cases}$$

$$U_{IND}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N}) = \sum_{r=1}^{k_{1,2,\dots,n,\dots,N}} u_{IND}(r),$$

$$IND = 1, 2, \dots, N;$$

$k_{1,2,\dots,n,\dots,N}$ – время выполнения параллельных действий; $u_{\wedge}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N})$ – плотность вероятности времени выполнения параллельных действий при соединении согласно булевой функции $\wedge(N)$; $u_{\vee}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N})$ – плотность вероятности времени выполнения параллельных действий при соединении согласно булевой функции $\vee(N)$; $u_{M,N}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N})$ – плотность вероятности времени выполнения параллельных действий при соединении согласно функции « M из N »; $U_{M,N}(k_{1,2,\dots,n,\dots,N})$ – функция распределения времени выполнения параллельных действий при соединении согласно функции « M из N ».

6. Формирование последовательности узлов укрупненных действий и определение $u(k_{0,1,\dots,i,\dots,I})$ плотности вероятности времени выполнения деятельности согласно соотношению (3).

7. Определение показателей качества совместной работы служб:

$$E[k_{0,1,\dots,i,\dots,I}] = \sum_{\min k_{0,1,\dots,i,\dots,I}}^{\max k_{0,1,\dots,i,\dots,I}} k_{0,1,\dots,i,\dots,I} u(k_{0,1,\dots,i,\dots,I}), \quad (13)$$

$$D[k_{0,1,\dots,i,\dots,I}] = \sum_{\min k_{0,1,\dots,i,\dots,I}}^{\max k_{0,1,\dots,i,\dots,I}} (k_{0,1,\dots,i,\dots,I} - E[k_{0,1,\dots,i,\dots,I}])^2 u(k_{0,1,\dots,i,\dots,I}), \quad (14)$$

$$R(k_{0,1,\dots,i,\dots,I} > C) = 1 - \sum_{\min k_{0,1,\dots,i,\dots,I}}^C u(k_{0,1,\dots,i,\dots,I}), \quad (15)$$

где C – верхняя граница допустимого времени выполнения деятельности; $E[k_{0,1,\dots,i,\dots,I}]$, $D[k_{0,1,\dots,i,\dots,I}]$ – соответственно математическое ожидание и дисперсия времени выполнения деятельности в среде сервис-ориентированной архитектуры; $R(k_{0,1,\dots,i,\dots,I} > C)$ – риск срыва временного регламента.

Для подтверждения корректности определения показателей качества совместной работы служб целесообразно воспользоваться модифицированным методом свертки, раскрытым в [8].

Исходным материалом для применения модифицированного метода свертки будет являться логическая модель деятельности, которая формируется посредством преобразования диаграммы деятельности. Преобразование осуществляется путем замены узлов действий и узлов решений узловыми вершинами ориентированного графа, а узлов разъединения и узлов соединения узловыми вершинами. При использовании модифицированного метода вырожденный граф строится по матрице инцидентий \mathbf{A} , сформированной при разработке диаграммы деятельности.

Каждый из определенных выше показателей может включаться в представительное множество критериев качества совместной работы служб SOA, формируемых на основе теории исследования операций [9].

Прикладной аспект разработанных формализаций предлагается распространять, прежде всего, на типовые профили интеграции сервис-ориентированных средств, широко востребованных в профессиональной деятельности. При подобной направленности применения формализаций

обеспечивается формирование рациональных профилей услуг в зависимости от условий выполнения профессиональной деятельности.

Далее ключевые особенности определения показателей качества совместной работы служб раскрываются при анализе четырех типовых профилей интеграции сервис-ориентированных средств.

На рис.1 приводится модель сервисной деятельности в случае, когда запрос клиента может выполняться одним из L сервис-ориентированных средств, развернутых на серверах с различными характеристиками производительности и сконфигурированных в среде исполнения крупно-гранулярных процессов. В рассматриваемой модели действие 0 ассоциируется с инициализацией сервисной деятельности, последующие L действий – с альтернативным выполнением сервисов, а завершающее $(L+1)$ действие – с сохранением статуса транзакции и тарификацией. Клиентской стороной ставится цель выполнения сервисной деятельности и получения информации относительно ее качества, а администратором гетерогенной сети – балансировка нагрузки сервисного обслуживания. В соответствии с предложенным методом математическое ожидание, дисперсия времени реализации сервисной деятельности и риск срыва временного регламента определяются с помощью соотношений (16) – (21):

$$u(k_{1,2,\dots,l,\dots,L}) = \sum_{l=1}^L p_l u_l(k_l), \quad (16)$$

$$k_{1,2,\dots,l,\dots,L} = \min_l k_l, \dots, \max_l k_l; \quad l = 1, 2, \dots, L;$$

$$u(k_{0,1,2,\dots,l,\dots,L}) = \sum_{k_0}^{K_0} u_0(k_0) u(k_{0,1,2,\dots,l,\dots,L} - k_0), \quad (17)$$

$$k_{0,1,\dots,l} = \min(k_0 + k_{1,2,\dots,l}), \dots, \max(k_0 + k_{1,2,\dots,l}), \quad l = 1, \dots, L;$$

$$u(k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}) = \sum_{\min k_{0,1,\dots,l,\dots,L}}^{\max k_{0,1,\dots,l,\dots,L}} u(k_{0,1,\dots,l,\dots,L}) u_{(L+1)}(k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)} - k_{0,1,\dots,l,\dots,L}), \quad (18)$$

$$k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)} = \min(k_0 + k_1 + \dots + k_l + \dots + k_L + k_{(L+1)}), \dots ;$$

$$\dots, \max(k_0 + k_1 + \dots + k_l + \dots + k_L + k_{(L+1)})$$

$$E[k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}] = \sum_{\min k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}}^{\max k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}} k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)} u(k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}); \quad (19)$$

$$D[k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}] =$$

$$= \sum_{\min k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}}^{\max k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}} (k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)} - E[k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}])^2 \times u(k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}); \quad (20)$$

$$R(k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)} > C) = 1 - \sum_{\min k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}}^C u(k_{0,1,\dots,l,\dots,L,(L+1)}). \quad (21)$$

В среде автоматизированной разработки программных проектов NetBeans 6.5 при реализации совместной работы служб на языке BPEL анализируемый процесс представляется в виде с рис. 2.

На рис. 3 изображается модель сервисной деятельности в случае, когда, для выполнения запроса клиента потребуется реализация нескольких сервис-ориентированных средств, допускающих параллельную работу служб, которым соответствует N действий. Действия 0 и $(N+1)$ рассматриваются в той же интерпретации, как и в модели с рис. 1.

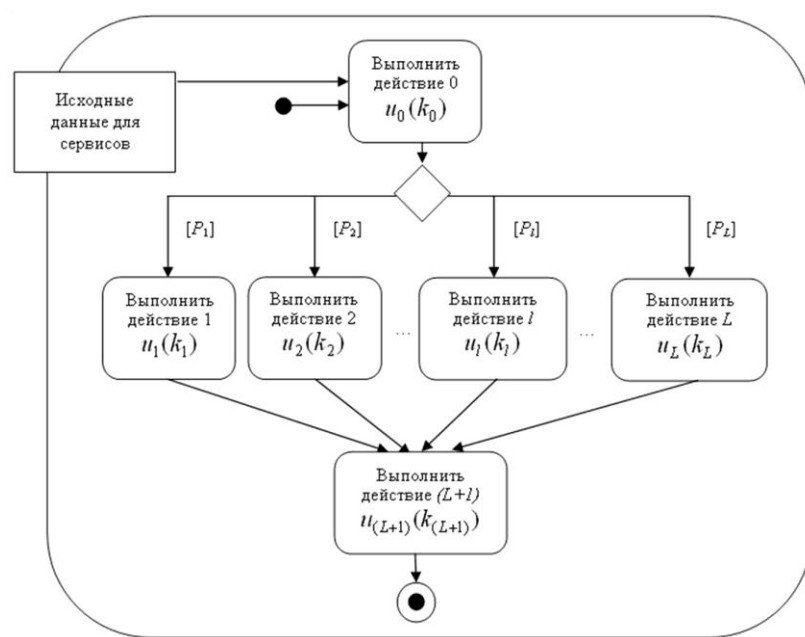


Рис. 1. Типовая модель альтернативных действий

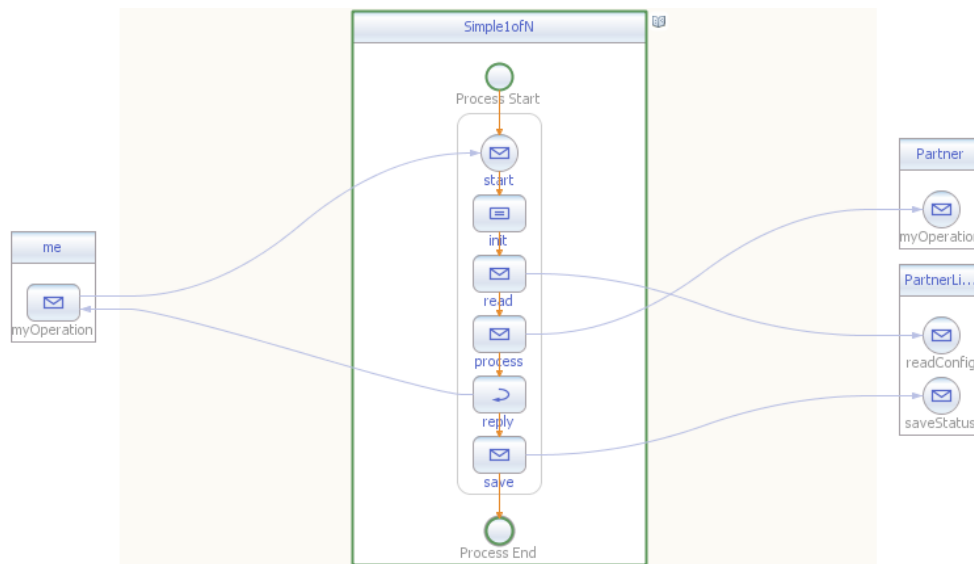


Рис.2. Типовая модель альтернативных действий на языке BPEL

На практике параллельная работа служб именуется реализацией партнерских сервисов. При вариации функциональной спецификации узла соединения образуется ряд типовых профилей интеграции сервис-ориентированных средств, базовыми среди которых являются варианты, описываемые функциями $\wedge(N)$, $\vee(N)$, « M из N ». Первые два из указанных профилей являются частными случаями третьего варианта: функция $\wedge(N)$ соответствует функции « M из N » при $M=N$, а функции $\vee(N)$ – « M из N » при $M=1$.

В том случае, когда для успешного выполнения исследуемой деятельности требуется информация от всех параллельно реализуемых партнерских сервисов, то спецификация соединения описывается булевой функцией $\wedge(N)$. В подобной ситуации партнерские сервисы сопровождаются отличающимися интерфейсами и предназначаются для выполнения различных функций, подчиненных достижению единой цели. Примером такого рода может являться широкий спектр крупно-гранулярных процессов (бизнес-процессов), в которых обработка отдельных частей входной информации проводится несколькими партнерами. Например, при оказании услуги оплаты определенных видов

Интернет-контента со счёта мобильного оператора проводится несколько действий¹, среди которых авторизация абонента, получение информации о предоставляемом Интернет-контенте (профиль услуги).

Если для успешного выполнения исследуемой деятельности требуется информация от любого первого завершённого партнерского сервиса из N реализуемых, то спецификация соединения представляется булевой функцией $\vee(N)$. Подобного рода ситуация проявляется тогда, когда среди N предусматриваемых авторизаций неудачно завершается хотя бы любая одна.

В случае, когда у партнерских сервисов одинаковые интерфейсы и для успешного выполнения исследуемой деятельности оказывается достаточным завершения M опрашиваемых средств из N параллельно реализуемых, узел соединения описывается функцией « M из N ». Подобная ситуация наблюдается при поиске контента на множестве серверов. Например, в крупно-гранулярном процессе, осуществляющем поиск ссылок на видеоконтент на нескольких серверах контент-провайдеров, в параллельных потоках вызывается N партнерских сервисов поиска.

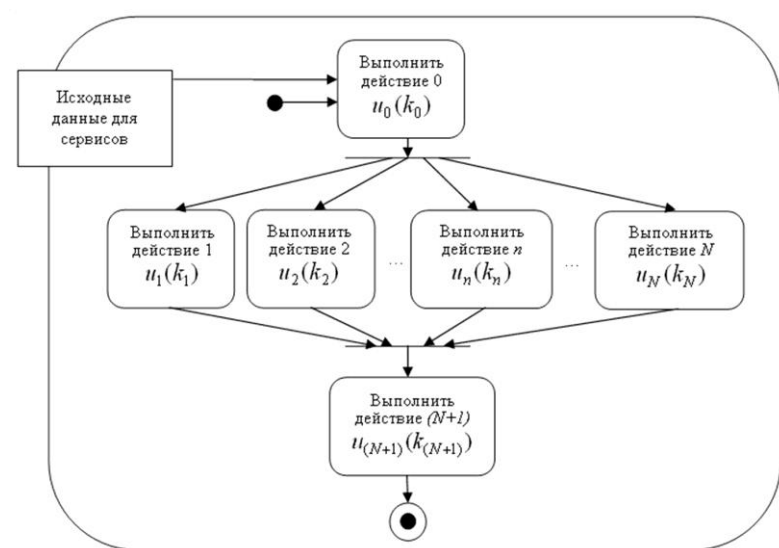


Рис. 3. Типовая модель параллельных действий

При описании узла соединения спецификацией $\wedge(N)$ математическое ожидание, дисперсия времени совместной работы служб и риск срыва

регламента определяются соответственно соотношениями (5), (6), (22) – (26),

$$u(k_{0,1,2,\dots,n,\dots,N}) = \sum_{k_0}^{K_0} u_0(k_0) u_{\wedge}(k_{0,1,2,\dots,n,\dots,N} - k_0), \quad (22)$$

$$k_{0,1,\dots,n} = \min(k_0 + k_1 + \dots + k_n), \dots, \max(k_0 + k_1 + \dots + k_n), n = 0, 1, \dots, N;$$

$$u(k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}) = \sum_{\min k_{0,1,\dots,n,\dots,N}}^{\max k_{0,1,\dots,n,\dots,N}} u(k_{0,1,\dots,n,\dots,N}) u_{(N+1)}(k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)} - k_{0,1,\dots,n,\dots,N}), \quad (23)$$

$$k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)} = \min(k_0 + k_1 + \dots + k_n + \dots + k_N + k_{(N+1)}), \dots; \\ \dots, \max(k_0 + k_1 + \dots + k_n + \dots + k_N + k_{(N+1)})$$

$$E[k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}] = \sum_{\min k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}}^{\max k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}} k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)} u(k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}); \quad (24)$$

$$D[k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}] = \sum_{\min k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}}^{\max k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}} (k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)} - E[k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}])^2 \times u(k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}); \quad (25)$$

$$R(k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)} > C) = 1 - \sum_{\min k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}}^C u(k_{0,1,\dots,n,\dots,N,(N+1)}). \quad (26)$$

Если узел соединения характеризуется функцией $\vee(N)$, то числовые характеристики времени совместной работы служб и риск срыва регламента находятся с помощью выражений (7), (8), (27), (23) – (26):

$$u(k_{0,1,2,\dots,n,\dots,N}) = \sum_{k_0}^{K_0} u_0(k_0) u_{\vee}(k_{0,1,2,\dots,n,\dots,N} - k_0), \quad (27)$$

$$k_{0,1,\dots,n} = \min(k_0 + k_1 + \dots + k_n), \dots, \max(k_0 + k_1 + \dots + k_n), n = 0, 1, \dots, N.$$

Когда спецификация узла соединения представляется функцией «М из N», тогда статистические показатели времени совместной работы служб и риск срыва регламента вычисляются по формулам (9) – (12), (28), (23) – (26):

$$u(k_{0,1,2,\dots,n,\dots,N}) = \sum_{k_0}^{K_0} u_0(k_0) u_{M,N}(k_{0,1,2,\dots,n,\dots,N} - k_0), \quad (28)$$

$$k_{0,1,\dots,n} = \min(k_0 + k_1 + \dots + k_n), \dots, \max(k_0 + k_1 + \dots + k_n), n = 0, 1, \dots, N.$$

При реализации совместной работы служб на языке BPEL в среде NetBeans 6.5 последние три типовых варианта крупно-гранулярных процессов формируются согласно схеме с рис. 4.

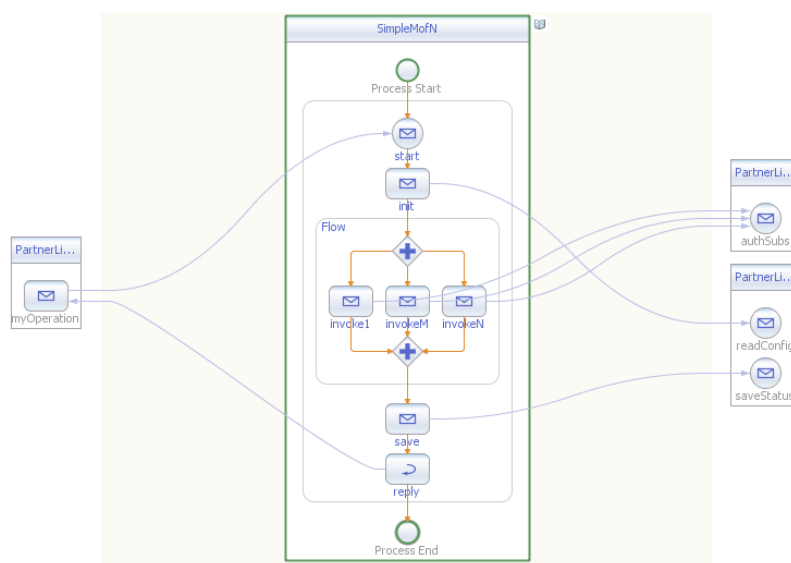


Рис. 4. Типовая модель параллельных действий на языке BPEL

Заключение

В результате развития технологических основ создания программных продуктов:

- расширена система моделей сервис-ориентированной архитектуры, обеспечивающая совмещение автоматизации разработки программного обеспечения гетерогенных сетей и оценку качества совместной работы служб;
- формализовано формирование моделей интеграции сервис-ориентированных средств, предназначенных для анализа качества совместной работы служб;

- разработан метод определения показателей качества совместной работы служб, раскрывающего их зависимость от динамических свойств и характеристик взаимодействия сервис-ориентированных средств;
- выведены аналитические зависимости показателей качества совместной работы служб от параметров типовых моделей интеграции сервис-ориентированных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Леснова, Л.** Сервис-ориентированная архитектура: подход IBM // Connect! Мир связи. – 2008. № 3. – С. 104 – 105.
2. **Черняк, Л.** Загадка SOA // Открытые системы. – 2007. № 7. – С. 18 – 25.
3. **Thomas, Erl.** Service-Oriented Architecture (SOA): Concepts, Technology, and Design. – Prentice Hall, 2005. – 760 p.
4. **Фейгин, Д.** Концепция SOA // Открытые системы. – 2004. № 6. – С. 14 – 18.
5. **Дубова, Н.** SOA: подходы к реализации // Открытые системы. – 2004. № 6. – С. 19 – 25.
6. **Дубова, Н.** Репетиция оркестра Web-сервисов // Открытые системы. – 2004. № 11. – С. 30 – 36.
7. **Леоненков, А.В.** Самоучитель UML 2. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 576 с.
8. **Птицына, Л.К.** Программное обеспечение компьютерных сетей. Моделирование механизмов синхронизации параллельных вычислительных процессов в системах мониторинга и управления [Текст]: учеб. пособие. / Л.К. Птицына, Н.В. Соколова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 213 с.
9. **Катулев А.Н., Северцев Н.А.** Исследование операций: принципы принятия решений и обеспечение безопасности. – М.: Физ.-мат.лит., 2000. – 320 с.