

УДК: 519.7:65.012.122

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.И. Городецкий

ООО InfoWings

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Малая морская, 18

E-mail: vladim.gorodetsky@gmail.com

П.О. Скобелев

Институт проблем управления сложными системами РАН

Россия, 443060, Самара, Садовая, 60

E-mail: skobelev@kg.ru

Ключевые слова: кибер-физическая система, инфраструктура, сервисы, ресурсы, многоагентная архитектура, самоорганизация, сети агентов.

Аннотация. Предлагается концептуальная модель цифровой платформы киберфизических систем, т.е. программно-коммуникационной инфраструктуры, которая интегрирует множество ее гетерогенных компонент в единое информационное пространство знаний и данных, поддерживает взаимодействия и коммуникации ее компонент между собой и с внешними ресурсами и сервисами (сенсорными сетями, облачными сервисами и ресурсами), а также обеспечивает ее базовыми прикладными сервисами, которые необходимы для работы приложений. Формулируются цели и задачи платформы, приводится классификация ее сервисов и дается краткое описание их содержания.

1. Введение

Под кибер-физической системой (КФС) понимают новый тип сложной системы, которая интегрирует в себе автономные вычислительные, коммуникационные и управляющие компоненты, включая сенсоры и исполнительные устройства, а также имеет доступ к Интернет для поиска и использования внешних ресурсов, сервисов и информации [1-3]. Развитие этой концепции берет начало от встроенных систем, ее частным случаем является концепция Интернета вещей, обогащенная цифровым двойником объекта.

В настоящее время понятие КФС развивается как концепция построения сложной «системы систем», в которой отдельные компоненты обладают автономным поведением и способны взаимодействовать между собой, с виртуальным и физическим внешним миром, и пользователями в целях кооперации и координации своего индивидуального поведения для достижения частных целей подсистем и общих целей системы в целом.

Эта концепция, с одной стороны, открывает возможности по созданию систем с новыми свойствами, к которым относятся высокая интеллектуальность, способность к адаптации на локальном и глобальном уровнях при изменении внешней среды и локальных целей компонент, живучесть и устойчивость в условиях помех и отказов и т.п., т.е. открывает реальную возможность создания так называемых жизнеспособных систем [4]. Но, с другой стороны, для реализации КФС с указанными свойствами необходимо решить ряд новых проблем, некоторые из которых являются серьезными вызовами.

Специалисты ИТ-сообщества полагают, что решение этих проблем и вызовов следует искать с привлечением архитектур и технологий многоагентных систем (МАС) [5]. Этот взгляд соответствует и позиции авторов данной работы, целью которой является развитие концепции КФС как многоагентной системы (КФ МАС). В ней все ее автономные компоненты, виртуальные и физические, в мире программ представляются автономными программными агентами – узлами сети агентов, которые способны обмениваться информацией, ресурсами и сервисами с целью кооперации и координации своего индивидуального поведения на парной основе (англ. peer-to-peer, p2p) с использованием методов самоорганизации в сетевцентрической модели управления, хорошо зарекомендовавшей себя в сложных задачах управления крупномасштабными системами.

Принципиально новой компонентой такой КФ МАС является так называемая цифровая платформа (ЦП). Ее основная функция – это обеспечить функционирование множества распределенных компонент КФС как единого целого. Для этого необходимо «поместить» программных агентов (узлы сети) в единое информационное, коммуникационное и программное пространство, называемое обычно инфраструктурой, которая обеспечит агентов не только техническими возможностями по обмену сообщениями, но и другими возможностями для решения задач кооперации и координации поведения.

Анализ задач, решаемых с помощью ЦП является целью данной работы. В разделе 2 перечисляются функции платформы и дается классификация задач (сервисов), решаемых средствами платформы. В разделах 3 и 4 дается краткое описание системных и прикладных сервисов платформы. В заключении резюмируются основные результаты работы.

2. Основные функции цифровой платформы

Согласованное функционирование разнообразных и, как правило, многочисленных компонент КФС может быть достигнуто за счет того, что все они «помещаются» в единую информационно-коммуникационную среду исполнения, называемую ЦП, призванную поддерживать их совместимость и согласованное поведение. Согласно современным взглядам, ЦП КФС должна быть реализована как открытая программно-аппаратная среда, которая интегрирует множество ее автономных компонент, их знания и данные, их сервисы и ресурсы в единую сетевую модель и играет роль интеллектуального ядра распределенных процессов управления. Кратко, ее задачи состоят в том, чтобы:

- «погрузить» все ее компоненты в единое сетевое коммуникационное, информационное и семантическое пространство знаний и данных и обеспечить интерфейсы доступа к ним со стороны программ и пользователей в различных случаях использования;
- обеспечить совместимость компонент КФС по форматам при их взаимодействии для решения задач кооперации и координации поведения;
- поддержать решение задач распределения, планирования, и оперативного управления общими ресурсами КФС в реальном времени;
- обеспечить узлы сети компонент КФС онлайн-доступом к облачным ресурсам и сервисам и к внешним источникам информации, например, к данным сенсорных сетей;
- обеспечить логирование и накопление данных, порождаемых системой и их использование для получения новых знаний путем машинного обучения;
- реализовать базовые функции безопасности системы, также

–предоставить компонентам КФС единую среду исполнения программ.

Следует отметить, что задачи ЦП никак не затрагивают внутреннюю структуру, функции, а также конфиденциальные данные и знания отдельных узлов сети. И это важно для того, чтобы, во-первых, обеспечить необходимый уровень абстракции архитектуры ЦП по отношению к конкретным приложениям и, во-вторых, обеспечить возможность повторного использования ее компонент в разных приложениях.

Анализируя приведенный перечень задач (сервисов) ЦП, можно видеть, что все они по своей роли могут быть разделены на три группы:

–*системные сервисы*, имеющие целью поддержать сетевую структуру компонент КФС, обеспечить адресацию сообщений агентов в процессах кооперации, координации и принятия решений, и обеспечить безопасность при работе с внешними ресурсами;

–*прикладные сервисы*, поддерживающие решение прикладных задач КФС, а также

–*сервисы доступа* к внешним источникам данных, знаний, ресурсов и сервисов.

Далее эти группы сервисов ЦП анализируются более подробно.

3. Системные сервисы

Стандартные системные сервисы имеют целью поддерживать связность сети автономных объектов (отношение соседства на множестве пар ее узлов, представленных на сетевом уровне агентами), информацию об именах и адресах узлов (агентов) сети и информацию о сервисах, которыми они обладают. Это стандартные функции системы, основанной на сервисах, однако их реализация существенно зависит от используемой архитектуры и технологии программной реализации. Далее полагается, что в качестве модели концептуализации и архитектуры программной реализации КФС и ее ЦП используется модель и технология МАС. По этой причине естественно использовать опыт создания системных сервисов в МАС, а абстрактную архитектуру FIPA и ее сервисы [6] – в качестве прототипа архитектура и сервисов ЦП КФС. Напомним, что абстрактная архитектура FIPA реализует четыре базовых сервиса, и их практически без изменения можно использовать в качестве системных сервисов ЦП КФС. Дадим их краткое описание.

1) *Сервис белых страниц*. Он включает в себя *директорий агентов* и *механизм поиска* агентов. Директорий агентов называют также *белыми страницами* агентской платформы. Он каждому агенту МАС ставит в соответствие его адрес.

2) *Сервис желтых страниц*. Он также включает в себя две компоненты, а именно *директорий сервисов*, доступных в МАС (*желтые страницы*) – он каждому сервису ставит в соответствие список агентов, которые в состоянии его поставлять, и *механизм поиска*, который реализует поиск сервисов и агентов, ими владеющих, по желтым страницам. Директории агентов и сервисов вместе должны также поддерживать ссылочную модель, которая фиксирует *создание* агента, поставляющего те или иные сервисы, его *регистрацию*, *размещение*, *миграцию* и *уничтожение*, а также информацию о его *сервисах*. Иначе говоря, эта модель фиксирует *жизненный цикл агентов* МАС, и их *сервисов*.

3) *Язык коммуникаций*, поддерживаемый ЦП. Язык коммуникаций агентов должен предоставлять им средства для формального описания и интерпретации сообщений. В качестве стандарта такого языка в FIPA сейчас принят язык ACL (от англ. *Agent Communication Language*). Могут использоваться также и другие языки, поскольку абстрактные функции платформы всегда отделены от реализации языка коммуникаций.

4) *Транспорт сообщений*. Эта компонента ответственна за доставку сообщений, содержанием которых может быть, например, запрос на поиск сервисов и агентов, функции координации поведения агентов МАС и т.п. Этот сервис описывается на уровне абстракции, который исключает описание деталей конкретных транспортных протоколов.

В спецификации абстрактной архитектуры платформы [6] перечисляются также те ее аспекты, которые в настоящее время пока в ней не рассматриваются, но должны быть в программной реализации платформы. К ним относятся

5) *Аспекты, которые не могут быть описаны абстрактно*. Например, к ним относятся компоненты жизненного цикла агента типа *старт*, *остановка*, *рестарт* и т.п., которые в различных программных системах и средах реализуются по-разному, а также компоненты обеспечения *безопасности агента*, поддержки его мобильности и др.

6) *Аспекты, которые являются очень специфичными* и потому не нуждаются в стандартизации. К ним относятся, обычно, предметно-зависимые сервисы.

Отметим, что в FIPA-спецификации агентской платформы дано детальное описание компонент ее абстрактной архитектуры, отношений между ними в объектно-ориентированном стиле на языке UML с использованием готовых шаблонов проектирования [7].

4. Прикладные и внешние сервисы платформы

Перечень потребных прикладных сервисов ЦП КФС существенно зависит от типа приложения, однако часть из них из них требуются в большинстве КФС.

7) *Сервис создания и использования единого пространства знаний и данных*. Все приложения КФС объединяет то, что несмотря на многообразие и большое количество компонент в каждой из них (до десятков тысяч и даже более), они решают задачи совместно, а ЦП КФС является той средой, которая интегрирует все компоненты в единую систему. Поэтому базовый прикладной сервис ЦП – это интеграция знаний и данных системы в единое, не просто информационное, но семантическое пространство с обеспечением одинаковой интерпретации всей используемой к ней терминологии, с поддержкой многоаспектности и целостности данных и знаний для гарантии, что одни и те же знания и данные, вызываемые в контексте разных аспектов и из разных программ или терминалов, будут идентичными для всех сущностей, которые к ним обращаются. Важным требованием к этому сервису является также поддержка открытости информационного пространства к его пополнению новыми знаниями и данными, например, о новых технологиях и ресурсах, о новых компонентах системы и т.п.

Сервис использования знаний и данных должен поддерживать выбор механизма поиска в базе знаний и данных ответов на запросы, представленные в терминах понятий, атрибутов и примеров онтологии в различных случаях использования, поддерживать компоненты инжиниринга и модификации онтологий и механизмов ее использования.

8) *Сервис виртуального рынка*. КФС практически всегда параллельно решает множество задач, которым требуются одни и те же ресурсы и сервисы. Естественно, что в такой системе будут постоянно возникать конфликты в борьбе за ресурсы, которые всегда ограничены. Отличительной особенностью КФС является тот факт, что все доступные в ней ресурсы и сервисы являются *ресурсами и сервисами общего пользования*, т.е. у них нет владельцев, а потому центральной задачей ЦП является задача планирования использования ресурсов на множестве потребителей, обычно, в реальном времени,

Практика показывает, что в КФС реальной сложности эту задачу можно решить только на основе принципов самоорганизации и концепции виртуального рынка с участием агентов [8, 9]. Поэтому ЦП КФС должна *предоставлять сервис виртуального рынка*. Так же, как и сервис создания и использования единого пространства знаний и данных, этот сервис относится к числу типовых сервисов ЦП, т.е. к числу обязательных.

Однако один и тот же механизм виртуального рынка, не может подходить для всех случаев планирования ресурсов и сервисов КФС. Например, есть своя специфика в транспортных задачах и в цепях поставок комплектующих деталей для сборочного производства, свои механизмы потребуются для планирования ресурсов в рое спутников для дистанционного зондирования Земли и т.д. Это означает, что на практике нужно иметь доступ к различным моделям алгоритмизации виртуального рынка, и платформа должна их поддерживать, как и различные версии одного и того же типа сервисов.

9) *Сервис поддержки новых протоколов*. Практически все задачи КФ МАС решаются на основе взаимодействия его компонент. В настоящий момент трудно предвидеть все разнообразие таких задач. Но очевидно, что в них основным способом вычислений будут распределенные вычисления на основе взаимодействий автономных программных агентов. Поэтому представляется важной способность ЦП иметь расширяемую библиотеку протоколов, которые по отдельности или в некоторых комбинациях могут представлять реализацию новых сервисов ЦП, и потому пользователь сможет формировать из них сложные сценарии поведения агентов для различных случаев использования КФС.

10) *Сервис логирования и накопления данных и знаний*. Основу информационного наполнения КФС должны составлять знания. База знаний и данных такой системы должна постоянно пополняться новыми знаниями, и потому сервисы накопление и пополнение знаний также должна быть в числе базовых прикладных сервисов ЦП. В соответствии с современной концепцией накопления и обновления знаний в сложных системах, основным источником новых знаний могут быть данные логов о процессах работы различных компонент, подсистем и конкретных объектов производственной системы. Современная технология обработки больших данных имеет целью обнаружение в них указанных выше зависимостей. Эта задача должна решаться в любой КФС, и ее поддержка – это задача прикладных сервисов ее ЦП.

11) *Подключение внешних сервисов и ресурсов*. Любая цифровая система, в частности, КФС обязательно должна иметь доступ к сервисам и ресурсам внешних источников, например, к облачным ресурсам и сервисам, к информации, которая собирается сенсорными сетями и др. Задача доступа к этой информации в настоящее время успешно решается с помощью стандартных программно-аппаратных интерфейсов,

5. Заключение

В работе представлена общая концепция и состав базовых сервисов ЦП КФС, которая рассматривается как инфраструктура, поддерживающая задачи ее создания и функционирования как открытой распределенной самоорганизующейся «системы систем» умных сервисов, реализуемой с помощью сети программных агентов. ЦП должна объединять автономные компоненты КФС в единую систему сетевой структуры с горизонтальными и вертикальными взаимодействиями компонент, работающих в едином информационном пространстве знаний и данных, способных кооперироваться, автономно разрешать конфликты и координировать свое поведение при совместном рас-

пределенном и параллельном решении сложных задач, обмениваться информацией, сервисами и ресурсами. Описано базовое множество системных и прикладных сервисов, которые в состоянии поддержать такой стиль функционирования КФС.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (13-01-00000а) и фонда Royal Science Foundation (Номер гранта), а также в рамках темы ИПУСС РАН «Разработка и исследование методов и средств аналитического конструирования, компьютерного представления знаний, вычислительных алгоритмов и мультиагентных технологий в задачах оптимизации процессов управления сложными системами».

Список литературы

1. <http://cyberphysicalsystems.org/>.
2. <https://www.nist.gov/el/cyber-physical-systems>
3. https://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286
4. Бир С. Мозг фирмы | Издание третье. М.: Либроком, 2009. 414 с.
5. Rzevski G., Skobelev P. Managing complexity. London-Boston: WIT Press, 2014. 209 p.
6. Абстрактная архитектура FIPA. <http://www.fipa.org/specs/fipa00001/SC00001L.html>
7. E Gamma, R. Helm, J. Johnson, and J. Vlissides. Design Patters: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley, 1995.
8. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. I. Модели многоагентной самоорганизации //Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 2. С. 92-120.
9. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. II. Приложения и технология разработки // Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 3. С. 102-123.