

ПРИБРЕТЕНИЕ ЗНАНИЙ В СОЦИОКИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ В ПРОЦЕССЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕСУРСОВ

А. В. Смирнов^а, доктор техн. наук, профессор

Т. В. Левашова^а, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

^аСанкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, РФ

Введение: социокиберфизические системы естественным образом объединяют машины и человека, что делает эти системы привлекательными для исследований, связанных с направлениями, входящими в область управления знаниями. Это объясняется тем, что именно человек благодаря своему интеллекту способен к незапрограммированному реагированию на ситуации за счет использования имеющихся у него знаний. **Цель:** исследование сценариев информационного взаимодействия ресурсов социокиберфизических систем при достижении этими ресурсами общих целей, в результате чего ресурсы (физические, кибернетические и социальные элементы систем, которые связаны в общую сеть) приобретают новые знания. **Результаты:** описаны сценарии взаимодействия, в которых кибернетические ресурсы приобретают знания из онтологии, друг от друга и от человека. Онтология служит моделью, обеспечивающей понимание ресурсами друг друга. Представлена метаонтология социокиберфизической системы, которая конкретизирована применительно к предложенным сценариям. В качестве средства, поддерживающего информационное взаимодействие ресурсов, используется интернет-сообщество — виртуальное сообщество, участники которого объединяются для взаимодействия через сеть Интернет на основе общих интересов. Приводится пример формирования текстовых сообщений, отправляемых ресурсами системы в интернет-сообщество. **Практическая значимость:** рассмотренные сценарии информационного взаимодействия вносят вклад в развитие инновационных систем производства продукции, услуг или процессов, нацеленных на получение выгоды посредством приобретения знаний.

Ключевые слова — социокиберфизическая система, онтология, интернет-сообщество, робототехническая сборка изделий.

Введение

В последние годы широкое развитие получили исследования, связанные с новой моделью экономики (экономика знаний) и 4-й промышленной революцией (Industry 4.0, Logistics 4.0 и Mobility 4.0), что обусловлено, в первую очередь, появлением киберфизических систем. Это принципиально новый класс сложных систем, развитие которых требует создания новых подходов, моделей, методов и технологий.

Киберфизические системы тесно интегрируют физические и вычислительные среды на основе их информационного взаимодействия в режиме реального времени [1]. Эти системы основаны на инфраструктурах, обеспечивающих связь, вычисления и управление и состоящих из нескольких уровней как в физической, так и в вычислительной системах. Такие системы открывают перспективы предоставления новых типов информационных сервисов, использующих возможности физических систем, связанных с предоставлением контекстной информации ранее недостижимого качества.

Термин «киберфизические системы» весьма близок по смыслу к набирающей популярность концепции «Интернет вещей» (Internet of Things). Европейский исследовательский кластер в области Интернета вещей (The European Research

Cluster on the Internet of Thing) определяет эту область исследований как динамическую глобальную сетевую инфраструктуру, способную к самонастройке на основе стандартных и поддерживающих интероперабельность протоколов. В этой инфраструктуре физические и виртуальные вещи имеют идентификаторы, физические свойства (атрибуты) и виртуальные персоналии, используют интеллектуальные интерфейсы и легко интегрируются в информационную сеть [2].

В реальности Интернет состоит не только из вещей, а также из онлайн-сервисов, потоков данных и людей, что привело к появлению концепции «Интернет всего» (Internet of Everything). Интернет всего определен как комплексная самонастраивающаяся и адаптивная система сетей сенсоров и интеллектуальных объектов, назначением которой является связь всех вещей, включая привычные и промышленные объекты. Основное назначение технологии Интернета всего — сделать вещи умными, программируемыми и более способными к взаимодействию с человеком [3]. Прогнозируют, что Интернет всего произведет революцию в большинстве видов взаимодействия людей. Наиболее сильно эта революция затронет здравоохранение, образование, работу, политику, экономику и развлечения [4].

Так же, как Интернет вещей движется в сторону концепции Интернета всего, киберфизические

системы перерастают в социокиберфизические системы (СКФС). С одной стороны, сращивание физического и информационного пространств в киберфизических системах сближает эти системы с концепцией Интернета вещей. В то же время анализ современных подходов и технологий, направленных на поддержку эффективной работы киберфизических систем, показал, что, помимо взаимодействия между кибернетическими и физическими мирами, эти системы интенсивно взаимодействуют с человеком [5]. Следовательно, подобные системы должны рассматриваться как сложные социотехнические среды, в которых человек и техника «взаимно переплетены» [6]. Включение человека в систему повышает интеллектуальность этой системы. В частности, человек может представлять и обрабатывать данные, распознавать ситуации, принимать решения, решать задачи, обучать кибернетические объекты и т. п.

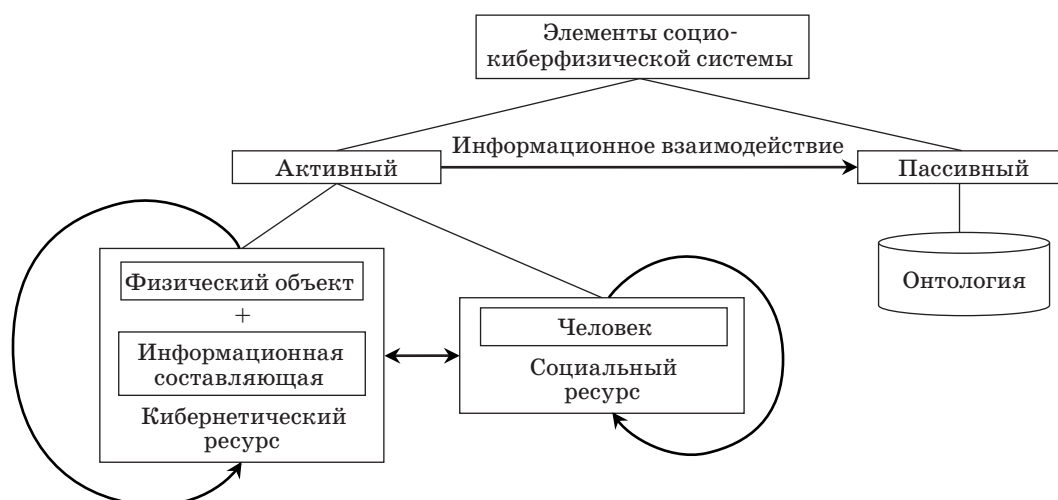
В данной работе рассматривается одна из проблем, которая может быть эффективно решена за счет вовлечения человека, — приобретение знаний в СКФС. Именно благодаря присутствию в СКФС людей появляется возможность получения принципиально нового знания, т. е. знания, которое не только не было занесено ранее в базу знаний СКФС и не было известно ее ресурсам, а новоизобретенного знания.

Процессы информационного взаимодействия ресурсов социокиберфизической системы

Приобретение знаний — это процесс обогащения знаний некоторого объекта новыми знаниями. Таким объектом может быть программный

агент, информационная система, человек и т. п. В данной работе объектами, приобретающими знания, являются ресурсы СКФС. Концепция СКФС предполагает интеграцию физического, кибернетического и социального пространств [7]. Физическое пространство состоит из различных информационно-вычислительных физических устройств. Эти устройства, объединенные на основе процессов передачи информации, образуют кибернетическое пространство. Социальное пространство представлено людьми с их знаниями, ментальными способностями и социокультурными элементами. Все три пространства тесно взаимосвязаны. Кибернетическое пространство обменивается информацией с физическим пространством (физическими устройствами) и социальным пространством (людьми). Перечисленные пространства представлены множествами образующих их ресурсов (физических объектов с информационно-вычислительной составляющей и людей).

Информационное взаимодействие физического, кибернетического и социального пространств СКФС осуществляется посредством взаимодействия ресурсов, образующих эти пространства. Поскольку физические ресурсы не могут взаимодействовать без поддержки со стороны информационных технологий, в данной работе информационные ресурсы и физические ресурсы с информационной составляющей объединены в категорию кибернетических ресурсов. Таким образом, выделяются кибернетические и социальные ресурсы как ресурсы, обладающие способностями к взаимодействию (рис. 1). Оба типа ресурсов могут взаимодействовать между собой и с ресурсами другого типа. При этом кибернетические и социальные ресурсы являются актив-

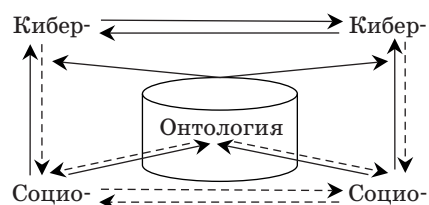


■ **Рис. 1.** Концептуальная модель социокиберфизической системы
 ■ **Fig. 1.** Conceptual framework of socio-cyber-physical system

ными ресурсами, которые могут инициировать взаимодействие, что показано на рисунке двунаправленной стрелкой.

Помимо кибернетических и социальных ресурсов, СКФС включает в себя онтологию, которая служит для представления знаний проблемной области, в которой функционирует СКФС, и предоставляет словарь для информационного взаимодействия ресурсов. Она участвует во взаимодействии как пассивный элемент — посредством запросов со стороны активных элементов (кибернетических и социальных ресурсов). На рисунке взаимодействие с пассивным элементом обозначено однонаправленными стрелками.

Возможные процессы информационного взаимодействия между ресурсами СКФС показаны на рис. 2. Процессы, которые рассматриваются в данной работе, выделены сплошными стрелками; процессы, помеченные пунктирными стрелками, не рассматриваются. Кибернетические ресурсы могут обмениваться информацией друг с другом и с ресурсами социального пространства. При этом считается, что кибернетические ресурсы могут приобретать знания друг от друга и от социальных ресурсов, а социальные ресурсы могут приобретать знания только друг от друга. Также кибернетические ресурсы могут посылать запросы к онтологии и получать из нее знания. Вносить знания в онтологию разрешается только экспертам, т. е. только ресурсам социального



■ **Рис. 2.** Информационное взаимодействие ресурсов СКФС

■ **Fig. 2.** Information interactions of resources in socio-cyber-physical system

- Методы приобретения знаний в зависимости от видов взаимодействующих ресурсов
- Methods of knowledge acquisition depending on kinds of interacting resources

Ресурс, предоставляющий знания	Ресурс, приобретающий знания		
	Кибернетический	Социальный	Онтология
Кибернетический	1, 2, 3	Не рассматривается	Не рассматривается
Социальный	1, 2, 3		3
Онтология	1, 2		Не рассматривается

пространства. Хотя ресурсы социального пространства могут приобретать новые знания в ходе обмена информацией друг с другом, этот процесс относится к социальной сфере и в данной работе не рассматривается. Также не рассматривается процедура приобретения знаний ресурсами социального пространства из онтологии.

В работе выделены следующие методы приобретения знаний: 1) простое запоминание; 2) интеграция знаний; 3) логический вывод. Они являются основными методами, которые используются в любых методах приобретения знаний (интервьюирование, эксперимент, логическое доказательство).

Простое запоминание является результатом взаимодействия ресурсов, при котором один ресурс передает второму свои знания и второй ресурс добавляет полученные знания в свою базу знаний. Полученное знание может оказаться «недостающим» знанием, которое не было ранее специфицировано в базе знаний, или принципиально новым знанием.

Интеграция знаний возникает, когда уже существующие знания одного из ресурсов — участника взаимодействия — объединяются со знаниями, полученными этим ресурсом от другого участника. В отличие от предыдущего метода, здесь в результате объединения имеющихся и приобретенных знаний получается новое знание, которым ранее не обладал ни один из ресурсов, принимающих участие во взаимодействии [8].

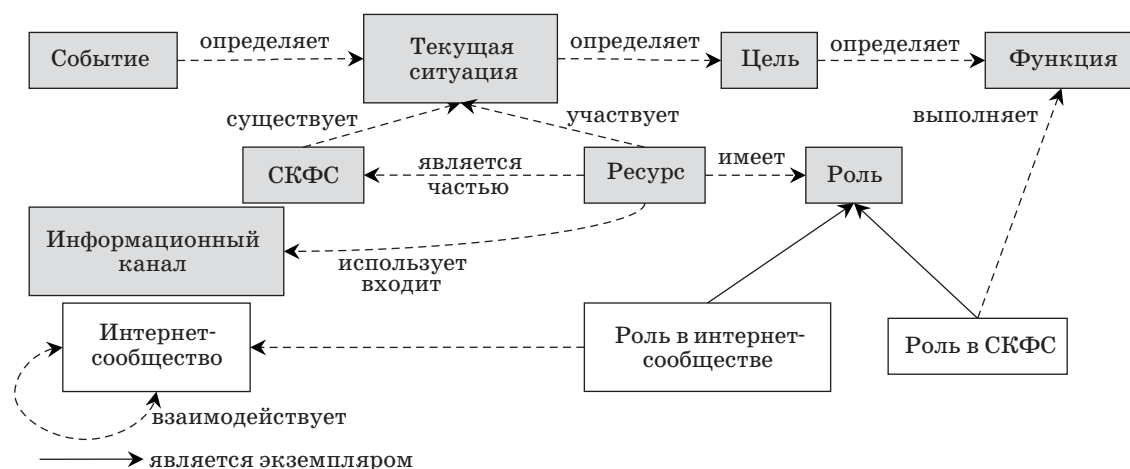
Логический вывод возможен, если знания ресурса, приобретающего знания, представлены при помощи онтологии, основанной на логическом формализме. В частности, наиболее широко распространенный в настоящее время язык представления онтологий OWL (Web Ontology Language) [9], рекомендованный Семантическим Web, основан на дескрипционной логике. Логически выведенное знание является следствием интеграции знаний.

В СКФС перечисленные выше методы приобретения знаний используются в процессах информационного обмена между различными видами ресурсов (таблица).

В основе всех видов информационного воздействия лежит онтология.

Онтология социокиберфизической системы

Как отмечалось, проблема понимания ресурсами друг друга решается за счет использования ими общей онтологии. В данной работе представлена метаонтология СКФС (рис. 3). Предполагается, что эта онтология конкретизируется применительно к определенной проблемной области, в которую интегрируется СКФС. На рисунке затененные концепты являются



■ Рис. 3. Метаонтология СКФС

■ Fig. 3. Core ontology of socio-cyber-physical system

экземплярами концепта Thing — самого общего концепта онтологии, экземплярами которого являются все концепты онтологии. Сам концепт Thing не представлен, чтобы не загромождать иллюстрацию.

В метаонтологии СКФС физическое, кибернетическое и социальное пространства представлены образующими их ресурсами. Эти ресурсы выполняют определенные функции в соответствии с текущими целями и ролями этих ресурсов.

Под целью понимается задача, которую требуется решить, или ситуация, которая должна быть достигнута. Цель определяется текущей ситуацией, сложившейся в СКФС. Текущая ситуация — это совокупность всех сведений о структуре СКФС и ее функционировании в данный момент времени. Индикатором изменения ситуации является наступление некоторого события. Цель определяет мотивацию взаимодействия ресурсов. Цель достигается вследствие выполнения ресурсами определенных функций. Функция — это действие, присущее роли. Функции, которые ресурс выполняет в текущей ситуации, определяются выполняемой этим ресурсом ролью. Функцией может быть вычислительная процедура и некоторое физическое действие (поднять предмет, включить свет и т. п.).

Для взаимодействия ресурсы используют информационный канал. В данной работе в качестве информационного канала используется интернет-сообщество, т. е. виртуальное сообщество, участники которого взаимодействуют через сеть Интернет. В настоящее время общение через Интернет для людей является обычной практикой. В отличие от социальных сетей, интернет-сообщество объединяет людей на основе общих интересов или целей. Так как СКФС предполагает интеграцию физического, кибернетического и со-

циального пространств для решения конкретных задач, общность целей явилась ключевым фактором, который обусловил выбор концепции интернет-сообщества для организации информационного взаимодействия между ресурсами СКФС. Помимо общности целей интернет-сообщество предоставляет следующие преимущества:

- поддерживается обмен информацией в реальном времени;
- отсутствует проблема распознавания многомодальной информации;
- текстовые сообщения, в отличие, например, от голосовых или жестовых, явно специфицируют знания;
- текстовые сообщения могут быть проанализированы с помощью множества компьютерных средств;
- возможно применение шаблонов для обмена сообщениями на основе онтологии СКФС, что позволяет избежать использования сложных алгоритмов анализа текста сообщения.

В интернет-сообществе у ресурсов есть своя роль (например, отправитель сообщения, получатель сообщения, администратор и т. п.), которая отличается от роли, играемой этими ресурсами в СКФС (например, источник информации, менеджер, исполнитель и т. п.). В процессе выполнения сценариев СКФС у одного и того же ресурса роли могут меняться.

Сценарии взаимодействия ресурсов СКФС

В данном разделе рассматриваются сценарии взаимодействия ресурсов, в которых используются методы приобретения знаний, представленные в таблице. В качестве проблемной области выбрана робототехническая сборка изделий. Кибернетические ресурсы в этой проблемной об-

ласти представлены роботами. Онтология проблемной области, используемая в сценариях, реализована на языке OWL средствами редактора онтологий Protégé [10].

Взаимодействие кибернетических ресурсов с онтологией

Рассматриваемый в данном подразделе сценарий демонстрирует приобретение знаний посредством использования метода простого запоминания. Сценарий не предполагает использование концепции интернет-сообществ. Кибернетические ресурсы, представленные роботами, взаимодействуют с онтологией посредством запросов, реализованных на языке SPARQL [11]. Данный язык позволяет строить запросы к знаниям, представленным в формате RDF и OWL.

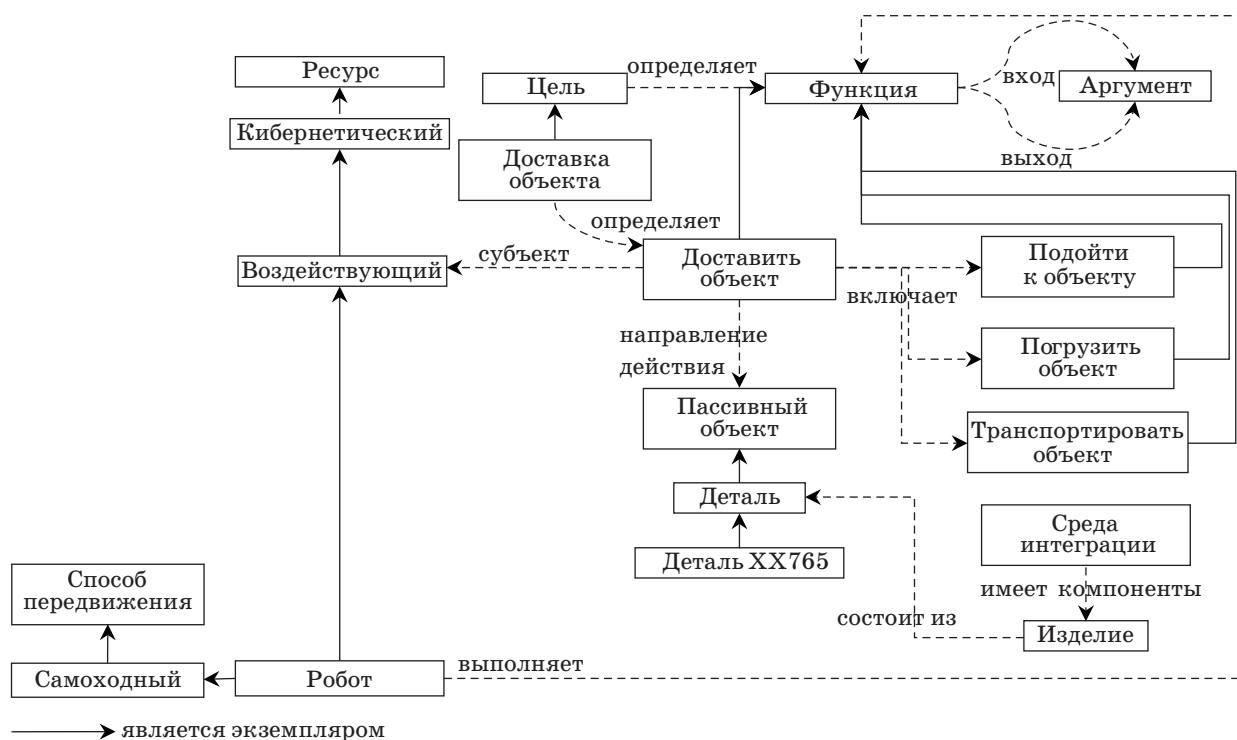
В сценарии предполагается, что ресурсу недостаточно имеющихся у него знаний для выполнения задания. Он пытается получить недостающие знания из онтологии, которая хранится удаленно и доступна через сеть Интернет. Проблема организации доступа к онтологии в работе не рассматривается. Ресурс взаимодействует с онтологией посредством отправки в нее запроса и получения ответа, в котором содержатся недостающие знания. Эти знания ресурс запоминает в своей базе знаний.

Предложенный сценарий демонстрируется на примере взаимодействия робота с онтологией при

выполнении задания, связанного с доставкой роботом детали для сборки. Фрагмент онтологии СКФС, представляющий знания, релевантные рассматриваемому сценарию, приведен на рис. 4. Для простоты понятие роли на рисунке опущено. Предполагается, что роль робота в рассматриваемом сценарии — «исполнитель».

В онтологии робот определен как самоходный кибернетический ресурс, который может воздействовать на объекты. Под воздействием понимается действие с применением силы, т. е. робот может перемещать объекты, толкать их и т. п. В качестве объекта воздействия робота рассматривается «Деталь ХХ765», которая является разновидностью понятия «Деталь», определенно в рассматриваемой проблемной области (среде функционирования СКФС).

Используя метаонтологию (см. рис. 3), задачи, возможные в среде функционирования СКФС, мы представили в виде подкатегорий концепта «функция». Сложные задачи декомпозированы на подзадачи и представлены простыми функциями. Функции описываются множеством входных и выходных аргументов. Рассматриваемые здесь функции не являются математическими (понятие функции в онтологии (см. рис. 3) предполагает выполнение вычислений или действий). Таким образом, в отличие от математической функции, которая может иметь только один выходной аргумент, рассматриваемые здесь функ-



■ Рис. 4. Фрагмент онтологии для задачи «Доставить объект»

■ Fig. 4. Ontology fragment for the task «Deliver an object»

```
...
PREFIX assem: <http://www.semanticweb.org/tanya/ontologies/2017/0/assembly#>
SELECT DISTINCT ?Function
  WHERE {?Purpose owl:onProperty assem:determinesFunction.
        ?Purpose owl:someValuesFrom ?Function.
        assem:Доставка_объекта rdfs:subClassOf ?Purpose.}
```

- **Рис. 5.** Запрос на определение функций, обеспечивающих достижение цели «Доставка объекта»
- **Fig. 5.** Query to selection of the functions to be carried out to achieve the purpose of «Object delivery»

```
...
SELECT DISTINCT ?Functions
  WHERE {
    ?ClassFunctions owl:onProperty assem:includes.
    ?ClassFunctions owl:someValuesFrom ?Functions.
    assem:Доставить_объект rdfs:subClassOf ?ClassFunctions.
  }
```

- **Рис. 6.** Запрос функций, входящих в функцию «Доставить объект»
- **Fig. 6.** Query to selection of the functions being part of the function «Deliver an object»

ции не имеют ограничений на количество выходных аргументов.

Робот получает задание в форме запроса, суть которого заключается в том, что робот должен доставить деталь XX765 из точки *A* в точку *B*. В онтологии (см. рис. 4) задание соответствует цели. Так как на фрагменте, изображенном на рис. 4, не представлены аргументы функций, следует пояснить, что координаты точки *A* являются одним из входных аргументов функции «Подойти к объекту», точки *B* — одним из входных аргументов функции «Транспортировать объект». Задание формулируется в виде RDF-триплета $\langle \textit{Subject}, \textit{Property}, \textit{Object} \rangle$, что согласуется с представлением онтологии на языке OWL. В триplete *Subject* — доставка объекта, *Property* — направление действия, *Object* — деталь XX765.

Робот выполняет задание первый раз, и в его базе знаний нет плана выполнения полученного задания. Под планом выполнения понимается последовательность функций, которые робот должен реализовать, чтобы выполнить задание. Для того чтобы узнать, какие функции требуется реализовать, робот обращается в онтологию с запросом (рис. 5) на определение функций, связанных с целью задания отношением «определяет» (в онтологии это отношение представлено свойством *determinesFunction*). Запрос представлен на языке SPARQL с учетом особенностей реализации онтологии в редакторе онтологий Protégé. Результатом выполнения запроса является функция «Доставить объект».

Следующий запрос робота (рис. 6) направлен на выявление функций, входящих в функцию «Доставить объект», т. е. связанных с этой функцией отношением «включает» (в онтологии это отношение представлено свойством *includes*). Результатом выполнения запроса является список из трех функций: «Подойти к объекту», «Погрузить

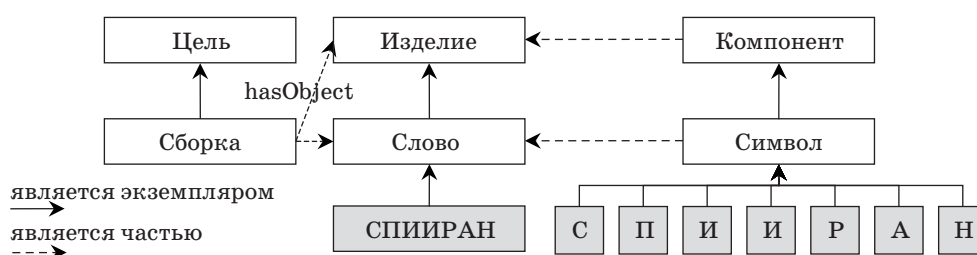
объект» и «Транспортировать объект». В общем случае эти функции, как и функция «Доставить объект», могут быть сложными, и робот должен выполнить серию запросов, чтобы выяснить все функции, требующие выполнения. Данный пример ограничен только функциями, представленными на рис. 4.

Порядок выполнения функций определяется роботом на основании анализа входных и выходных аргументов этих функций. В рассматриваемом примере вначале выполняется функция «Подойти к объекту», затем «Погрузить объект», последней выполняется функция «Транспортировать объект». Все функции будут конкретизированы применительно к детали XX765, которая в онтологии является разновидностью объекта, над которым выполняются перечисленные функции.

План выполнения задания «Доставить деталь XX765» записывается роботом в его базу знаний в форме онтологии, в которой явно прописана последовательность выполнения соответствующих функций. Последовательность функций задается при помощи шаблона проектирования онтологий (Ontology Design Pattern) для задания последовательностей — *sequence.owl* [12]. Этот шаблон определяет отношение предшествования через транзитивные и нетранзитивные свойства, а также инверсию. Шаблон может быть использован для моделирования последовательностей задач, процессов, временных интервалов, ситуаций и т. п.

Взаимодействие кибернетических ресурсов друг с другом

Сценарий взаимодействия кибернетических ресурсов демонстрирует использование метода интеграции знаний. Сценарий предполагает сотрудничество роботов с одинаковой функциональностью. В сценарии участвуют два робота,



■ **Рис. 7.** Сборка слова «СПИИРАН» (фрагмент онтологии)

■ **Fig. 7.** Assembly of the word «SPIIRAN» (ontology fragment)

каждый из которых знает свою часть работы (свои функции) по сборке изделия и последовательность выполнения этих функций. В процессе сборки роботы обмениваются информацией о том, какую функцию каждый из них будет выполнять в данный момент времени. В результате у каждого робота накапливаются знания обо всех функциях, требующихся для сборки данного изделия, и о последовательности выполнения этих функций, т. е. о полном процессе сборки конкретного изделия, вследствие чего каждый робот может осуществлять процесс сборки самостоятельно и передавать приобретенные знания другим роботам.

Подробно сценарий взаимодействия кибернетических ресурсов описан на примере сборки двумя роботами слова из 3D-символов [13]. В приведенном в данной работе сценарии роботы для обмена сообщениями используют онтологию СКФС, специализированную для задачи сборки изделия, где изделием является слово «СПИИРАН» (рис. 7). Предложенный сценарий является упрощенным, в нем не учтены процессы синхронизации.

Согласно рассматриваемому сценарию все символы, представляющие буквы русского алфавита, разложены вдоль пути следования роботов. Каждый робот знает, какой символ он должен найти и перенести на заранее известное место. Эти знания представлены в онтологии робота в виде последовательности функций. Как только один из роботов находит соответствующий символ и доставляет его в надлежащее место, он отправляет сообщение в интернет-сообщество. В сообщении содержится информация о том, какой символ и в какое место перенесен. Второй робот, задействованный в том же процессе сборки, добавляет в свою онтологию эту информацию и объединяет ее с имеющейся. И так же, как и первый робот, он отправляет в интернет-сообщество информацию касательно своей части работы (тех символов, которые он нашел и перенес). В результате оба робота знают, какие символы требуется найти и куда их надо перенести, т. е. им становится известен весь процесс сборки.

Рассмотренный сценарий позволяет организовать кооперативную работу ресурсов СКФС. Так как оба робота знают всю процедуру сборки, они могут вместе участвовать в процессе сборки слова. Например, один из роботов находит любой из требующихся символов и сообщает об этом через интернет-сообщество другому роботу. Второму роботу становится известно, какой символ найден, и он может переносить следующий символ, например тот, который находится ближе к нему в данный момент.

Взаимодействие кибернетических и социальных ресурсов

Сценарий взаимодействия кибернетических и социальных ресурсов демонстрирует использование интернет-сообщества для информационного взаимодействия ресурсов. Сценарий предложен для ситуации, когда робот не знает, какую функцию он должен выполнять, чтобы справиться с заданием, и обращается за помощью к человеку.

Предлагаемый сценарий является разновидностью описанного выше сценария взаимодействия кибернетических ресурсов при сборке слова «СПИИРАН» с той разницей, что вторым участником сценария является человек. Согласно сценарию робот знает, какие символы он должен найти, но не знает, в какое место он должен их перенести. Он консультируется у человека, и человек сообщает роботу координаты требуемого местоположения найденного символа с учетом того, что результатом сборки является требуемое слово.

В сценарии для робота и человека отводятся следующие роли. В СКФС робот выполняет роль «исполнитель», а человек — «консультант». В интернет-сообществе робот играет роль получателя знаний, человек — поставщика знаний.

Сообщения в интернет-сообщество отправляются в следующем формате:

<Type, Resource_Send, Resource_Recip, Product, Component, Service, Content, Status>,

где *Type* — тип сообщения; *Resource_Send* — имя отправителя сообщения; *Resource_Recip* —

имя, идентификатор или роль получателя сообщения; *Product* — название изделия (экземпляр концепта *Product* в онтологии); *Component* — название компонента изделия (экземпляр концепта *Component* в онтологии); *Service* — выполняемая отправителем сообщения функция; *Content* — специфическая информация, связанная со значениями входных и выходных аргументов выполняемой функции; *Status* — статус выполнения задания (для статуса определено три значения: выполнено, отказ, приостановлено).

Ниже приводится пример сообщения робота применительно к сценарию сборки слова «СПИИРАН». В сообщении используются словари онтологии СКФС, специализированной для проблемной области роботизированной сборки [13], и онтологии сборки слова «СПИИРАН» (см. рис. 7). Предполагается, что робот нашел символ «Р» и запрашивает информацию о том, куда его переместить. Он отправляет сообщение в следующем виде:

<Request, Robot1, Consultant, СПИИРАН, P, Character relocation, P, ?, ?, ?, Suspended>,

где *Request* — тип сообщения (запрос); *Robot1* — имя робота-отправителя сообщения; *Consultant* — роль ресурса: консультант (сообщение предназначено для любого ресурса, выполняющего роль консультанта); *СПИИРАН* — название собираемого изделия; *P* — рассматриваемый компонент: символ «Р»; *Character relocation* — выполняемая функция: транспортировка символа; *Suspended* — статус выполнения функции: выполнение приостановлено. Поле *Content* представлено в виде «*P, ?, ?, ?*», означающем, что компонент *P* является входным аргументом выполняемой функции и что робот запрашивает значения для выходных переменных этой функции (в онтологии выходные переменные соответствуют 3D-координатам местоположения).

Учитывая, что человек является ресурсом, выполняющим роль консультанта, приведенное выше сообщение преобразовывается в понятное человеку представление. Для преобразования используются упомянутые выше онтологии. Результат преобразования выглядит следующим образом.

Запрос к консультанту от робота Robot1: Робот Robot1 осуществляет сборку слова «СПИИРАН». Robot1 имеет дело с компонентом символ «Р». Robot1 выполняет функцию «Транспортировка символа». Robot1 спрашивает координаты x , y , z для символа «Р».

В соответствии со сценарием консультант в ответ на полученное сообщение должен выслать ответное (ответ (*Replay*)), в котором он сообщает значения координат для символа «Р». Для того чтобы сообщения человека были понятны роботу,

человек пользуется шаблонами ответов. Эти шаблоны разработаны на основе запросов. В рассматриваемом сценарии на запрос от робота Robot1 человек-консультант отвечает, используя следующую форму:

координата x для символа «Р» — значение,
координата y для символа «Р» — значение,
координата z для символа «Р» — значение,
где значение — значение координаты, сообщаемое консультантом.

Рассматриваемый сценарий рассчитан на взаимодействие человека с проблемной областью и с выполняемыми роботами заданиями. При определении координат человек пользуется специальной процедурой. Он оценивает значение координаты y . Это значение задает прямую линию, вдоль которой производится сборка слова. Значение координаты x вычисляется следующим образом:

$$v_x = x_0 + (i - 1)w,$$

где x_0 — значение координаты x , соответствующее местоположению первого символа собираемого слова (в рассматриваемом случае символа «С»); i — порядковое место символа в слове (в нашем случае 5-е место для символа «Р»); w — константа ($w = 2w_l$, где w_l — средняя ширина символов). Координата z в рассмотренном сценарии не учитывается, она введена в онтологии для случаев 3D-сборки.

Рассмотренный сценарий является примером взаимодействия кибернетических и социальных ресурсов, когда кибернетический ресурс обращается за помощью к человеку и получает от него недостающую информацию. Если этот ресурс обладает способностью запоминать получаемую информацию, то он записывает ее в свою базу знаний. В конкретном рассмотренном сценарии полученная информация будет представлена в виде индивида функции «Транспортировать объект», входными аргументами которой будут символ «Р» и координаты первоначального местоположения этого символа, а выходными аргументами — координаты, сообщенные роботу человеком. Хотя данный пример не является показательным с точки зрения дальнейшего использования приобретенных роботом знаний, он дает понимание, как осуществляется взаимодействие с человеком.

Одним из следствий сценария взаимодействия робота с человеком является то, что если робот получает от человека ранее неизвестные ему знания, то впоследствии он может пользоваться приобретенными знаниями и выполнять процедуру сборки конкретного изделия без участия человека, а также обмениваться своими знаниями с другими кибернетическими ресурсами. В рассмотренном сценарии таким знанием могла бы быть функция расчета координат.

Логический вывод

Метод логического вывода демонстрируется на примере пополнения роботом имеющихся у него знаний. За основу взяты вышерассмотренные сценарии взаимодействия ресурсов в целях доставки объекта и сборки слова.

Задача «Сборка слова» представлена в онтологии робота в виде подкатегории концепта «цель». Цель достигается выполнением функций «Подойти к объекту», «Идентифицировать объект», «Погрузить объект», «Транспортировать объект», где объектами являются символы. Если для выполнения рассматриваемой задачи использовать робот, который ранее выполнял задачу доставки объекта (в рассматриваемых сценариях представлял деталь), и добавить в его онтологию представление задачи сборки изделия, где изделием является слово, то задача (или функция) «Доставить объект» будет автоматически классифицирована как подзадача задачи сборки изделия.

Здесь знанием, приобретенным в результате логического вывода, является знание о том, что задача сборки изделия включает в себя функцию «Доставить объект».

Заключение

В работе предложены сценарии информационного взаимодействия ресурсов социоконфигуральной системы в целях приобретения этими ресурсами знаний. Рассмотрены три метода приобретения знаний: простое запоминание, интеграция существующих знаний со знаниями, приобретенными в процессе взаимодействия, и логический вывод.

Показано, что проблема понимания разнородными ресурсами друг друга может быть решена за счет использования этими ресурсами общей онтологии. Описана метаонтология социоконфигуральной системы, которая конкретизирована применительно к предложенным сценариям.

Предложено использовать концепцию интернет-сообществ для информационного взаимодействия ресурсов. Приведен пример формирования сообщений, отправляемых ресурсами в интернет-сообщество.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-29-04349, 17-07-00247 и 17-07-00248) и бюджетных тем № 0073-2014-0005 и 0073-2015-0007.

Литература

1. **Antsaklis P.** Goals and Challenges in Cyber-Physical Systems Research // *IEEE Transactions on Automatic Control*. 2014. Vol. 59. N 9. P. 3117–3119. doi:10.1109/TAC.2014.2363897
2. Internet of Things / IoT European Research Cluster. http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.htm (дата обращения: 03.07.2017).
3. **J. Roberto Boisson de Marca.** Coming Next: The Internet of Everything / *President's Column of IEEE*. — 07.03.2014. <http://theinstitute.ieee.org/members/presidents-column/whats-coming-next-the-internet-of-everything> (дата обращения: 03.07.2017).
4. **Anderson J., Rainie L., Duggan M.** Digital Life in 2025: report. — Washington: Pew Research Center, 2014. — 61 p. <http://www.pewinternet.org/2014/03/11/digital-life-in-2025/> (дата обращения: 03.07.2017).
5. **Horvath I., Gerritsen B. H. M.** Cyber-Physical Systems: Concepts, Technologies and Implementation Principles // *Proc. of TMCE 2012*/ eds. by I. Horvath, Z. Rusak, A. Albers, M. Behrendt. 2012. P. 19–36.
6. **Agah A.** Human Interactions with Intelligent Systems: Research Taxonomy // *Computer and Electrical Engineering*. 2001. Vol. 27. P. 71–107. doi:https://doi.org/10.1016/S0045-7906(00)00009-4
7. **Liu Z., Yang D.-S., Wen D., Zhang W.-M., Mao W.** Cyber-physical-social Systems for Command and Con-

- trol // *IEEE Intelligent Systems*. July/August 2011. P. 92–96. doi:10.1109/MIS.2011.69
8. **Smirnov A., Levashova T., Shilov N.** Patterns for Context-based Knowledge Fusion in Decision Support // *Information Fusion*. 2015. Vol. 21. P. 114–129. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.inffus.2013.10.010
9. OWL Web Ontology Language Overview / W3C Recommendation; eds. by D. L. McGuinness, Frank van Harmelen. — 10 Feb. 2004. <https://www.w3.org/TR/owl-features/> (дата обращения: 03.07.2017).
10. Protégé: official Web-site. <http://protege.stanford.edu/> (дата обращения: 28.06.2017).
11. **Harris S., Seaborne A.** SPARQL 1.1 Query Language / W3C Recommendation. — 21 Mar. 2013. <http://www.w3.org/TR/sparql11-query> (дата обращения: 03.07.2017).
12. Sequence Pattern / Ontology Design Patterns. <http://www.ontologydesignpatterns.org/cp/owl/sequence.owl> (дата обращения: 19.07.2017).
13. **Smirnov A., Levashova T., Kashevnik A.** Ontology-based Cooperation in Cyber Physical Social Systems // *Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems: Proc. of the 8th Intern. Conf.*, Aug. 28–31, 2017, Lyon, France. — Springer; *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 2017. Vol. 10444. doi:10.1007/978-3-319-64635-0_6

UDC 004.822:004.896:007.51
doi:10.15217/issn1684-8853.2017.6.113

Knowledge Acquisition in Socio-Cyber-Physical Systems through Information Exchange between Resources

Smirnov A. V.^a, Dr. Sc., Tech., Professor, smir@iias.spb.su

Levashova T. V.^a, PhD, Tech., Senior Researcher, tatiana.levashova@iias.spb.su

^aSaint-Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, 39, 14 Line, V. O., 199178, Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: Socio-cyber-physical systems naturally unite machines and humans. This fact makes such systems attractive for knowledge management research, as only humans, due to their intellect and knowledge, are capable of an unprogrammed response to situations. **Purpose:** Studying communicative interactions between the resources of socio-cyber-physical systems while these resources are jointly accomplishing their objectives. As a result of these interactions, the resources (physical, cybernetics and social elements of the systems interrelated into a network) acquire new knowledge. **Results:** Interaction scenarios have been described in which cyber-resources acquire knowledge from the ontology, from each other and from humans. The ontology serves as a model ensuring that the resources understand each other. A meta-ontology of a socio-cyber-physical system is proposed, specialized with respect to the suggested scenarios. Internet community is used as a tool supporting the communicative interactions. Internet community is a virtual community whose members unite on the base of common interests or goals to interact with each other primarily via the Internet. An example of forming text messages sent by the system resources to the Internet community is given. **Practical relevance:** The discussed scenarios of communicative interactions contribute to the development of innovative systems aiming at gaining benefit from knowledge acquisition.

Keywords — Socio-Cyber-Physical System, Ontology, Internet Community, Robotic Assembly.

References

1. Antsaklis P. Goals and Challenges in Cyber-Physical Systems Research. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2014, vol. 59, no. 9, pp. 3117–3119. doi:10.1109/TAC.2014.2363897
2. *Internet of Things, IoT European Research Cluster*. Available at: http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.htm (accessed 3 July 2017).
3. J. Roberto Boisson de Marca. *Coming Next: The Internet of Everything*. President's Column of IEEE, 7 March 2014. Available at: <http://theinstitute.ieee.org/members/presidents-column/whats-coming-next-the-internet-of-everything> (accessed 3 July 2017).
4. Anderson J., Rainie L., Duggan M. *Digital Life in 2025*. Report. Washington, Pew Research Center, 2014. 61 p. Available at: <http://www.pewinternet.org/2014/03/11/digital-life-in-2025/> (accessed 3 July 2017).
5. Horvath I., Gerritsen B. H. M. Cyber-Physical Systems: Concepts, Technologies and Implementation Principles. *Proc. of TMCE 2012*, I. Horvath, Z. Rusak, A. Albers, M. Behrendt (Eds.), 2012, pp. 19–36.
6. Agah A. Human Interactions with Intelligent Systems: Research Taxonomy. *Computer and Electrical Engineering*, 2001, vol. 27, pp. 71–107. doi:[https://doi.org/10.1016/S0045-7906\(00\)00009-4](https://doi.org/10.1016/S0045-7906(00)00009-4)
7. Liu Z., Yang D.-S., Wen D., Zhang W.-M., Mao W. Cyber-Physical-Social Systems for Command and Control. *IEEE Intelligent Systems*, July/August 2011, pp. 92–96. doi:10.1109/MIS.2011.69
8. Smirnov A., Levashova T., Shilov N. Patterns for Context-based Knowledge Fusion in Decision Support. *Information Fusion*, 2015, vol. 21, pp. 114–129. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.inffus.2013.10.010>
9. *OWL Web Ontology Language Overview*. D. L. McGuinness, Frank van Harmelen (Eds.). W3C Recommendation, 10 Feb. 2004. Available at: <https://www.w3.org/TR/owl-features/> (accessed 3 July 2017).
10. *Protégé*. Official Web-site. Available at: <http://protege.stanford.edu/> (accessed 28 June 2017).
11. Harris S., Seaborne A. *SPARQL 1.1 Query Language*. W3C Recommendation, 21 March 2013. Available at: <http://www.w3.org/TR/sparql11-query> (accessed 3 July 2017).
12. *Sequence Pattern / Ontology Design Patterns*. Available at: <http://www.ontologydesignpatterns.org/cp/owl/sequence.owl> (accessed 19.07.2017).
13. Smirnov A., Levashova T., Kashevnik A. Ontology-based Cooperation in Cyber Physical Social Systems. *Proc. of the 8th Intern. Conf. "Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems"*, Springer, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2017, vol. 10444. doi:10.1007/978-3-319-64635-0_6