УДК 519.876.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕТАЮЩИХ СИСТЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДО, ВО ВРЕМЯ И ПОСЛЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОЙ ФАЗЫ ЧС

 $A.\Pi.~$ Назаренко, директор НТЦ — заместитель генерального директора ФГУП НИИР, к.т.н.; apn@niir.ru

В.К. Сарьян, научный консультант ФГУП НИИР, д.т.н., академик НАН РА; sarian@niir.ru

А.С. Лутохин, ведущий инженер ФГУП НИИР; 070@niir.ru

Представлены системы нового класса — Интернета Вещей (IoT), в том числе летающего IoT, в котором объекты могут двигаться в трехмерном пространстве. Дается описание возможных применений летающего IoT до, во время и после катастрофической фазы чрезвычайной ситуации (ЧС). Формулируются проблемы рационализации поведения одних IoT по данным, полученным от других IoT, и предлагаются подходы к их решению.

Ключевые слова: летающий Интернет Вещей, чрезвычайные ситуации, оптимальное управление, спасение людей, инфокоммуникационные услуги.

Введение. В ближайшем будущем в числе абонентских устройств, активно взаимодействующих в формирующейся единой конвергентной инфокоммуникационной среде (КИС), кроме человеко-машинных систем (ЧМС) и машинных систем (МС), начнут все чаще применяться системы Интернета Вещей (ІоТ). Предполагается, что использование дополнительных данных, которые производит ІоТ, позволят рационализировать в реальном масштабе времени деятельность ЧМС и МС в условиях усиливающейся антропогенности окружающей среды, а также снизить потребление ограниченных ресурсов и улучшить качество жизни массового пользователя.

В состав IoT могут войти, как созданные человеком вещи (устройства), так и природные объекты, в том числе живые системы и, в частности, человек [1]. Ожидается, что к 2020 г. число систем IoT в несколько раз превысит число людей, проживающих на нашей планете, и приблизится в 25 млрд шт. Кроме того, существует устойчивая тенденция трансформации ЧМС и МС в системы IoT. По нашему мнению, в недалеком будущем IoT будет целиком охватывать формирующуюся единую КИС.

Взаимодействие IoT и КИС. В типичном случае устройство IoT состоит из: приемника, определяющего местоположение (например, приемника «Глонасс»/GPS», а для летающих систем $IoT_{\rm net}$ — еще и измерителя высоты); модуля беспроводной связи (Wi-Fi, LTE и др.), связывающего данное устройство IoT с остальной КИС по IP; одного или нескольких датчиков физических величин, определяющих состояние устройства IoT или окружающей его среды, с которыми взаимодействуют через IP-среду единой КИС и другие устройства IoT (рис. 1, [2]). При рассмотрении очень важным обстоятельством является то, что информация о местоположении обязательно включается в число данных, характеризующих свойства IoT. Подчеркнем еще раз, что для $IoT_{\rm net}$ местоположение определяется тремя координатами.

На рис. 2 приведена блок-схема фрагмента единой КИС, в которой взаимодействуют устройства IoT. Их поведение надо рационализировать на основании данных, полученных от мониторинговых устройств IoT. На рисунке устрой-

ства этих двух типов обозначены соответственно как IoT_r и IoT_m . Также специально выделены подтипы летающих устройств, обозначаемых $IoT_{r,net}$ и $IoT_{m,net}$. Заметим, что в некоторых случаях устройства IoT могут исполнять две роли одновременно и быть объектами как мониторинга, так и рационализации, а стационарные устройства IoT — превращаться в летающие, если они снабжены соответствующими физическими датчиками и в определенных условиях могут передвигаться в трех измерениях.

В типичном случае данные от IoT_m должны непрерывно передаваться через центр управления (ЦУ, он же центр администрирования услуг) в большую базу данных (БД). В ЦУ на основе поступивших данных, а также записанных в БД данных от IoT_m , после необходимых вычислений в «облаке» (облачные вычисления — ОВ) в режиме реального времени вырабатываются и передаются сигналы рационального поведения для каждого IoT_n , находящегося в тот момент в хронотопе X, обозначенном пунктирной линией на рис. 2.

Под хронотопом здесь подразумевается пространство и время, в которых мониторинговые данные от IoT_m , включенных в хронотоп, влияют на выбор рационального поведения IoT_m , оказавшихся в данное время в этом хронотопе. Общее число IoT_m , находящихся в рассматриваемый момент времени в X, на рис. 2 обозначено как N; общее чис-

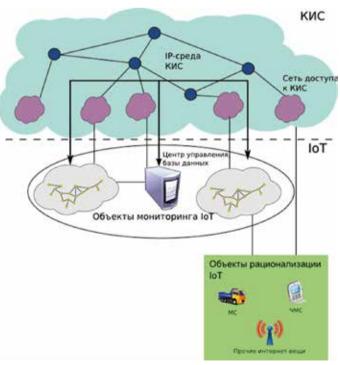


Рис. 1. Общая схема взаимодействия устройств в ІоТ

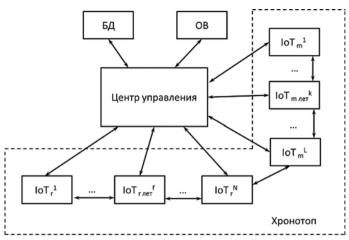


Рис 2. Фрагмент единой КИС

ло ${\rm IoT}_m$, входящих в **X** — как L. В число N входит f летающих устройств ${\rm IoT}_{r,\rm net}$, а в число L — k летающих устройств ${\rm IoT}_{m,\rm net}$, $1 \le f < N$, $1 \le k < L$. Взаимодействие между всеми составляющими сложной динамической системы, представленной на рис. 2, осуществляется через единую КИС.

Таким образом, основная идея широкого использования IoT — существенное повышение рациональности поведения IoT, в X с помощью данных от IoT_m . В единой КИС выработка сигналов управления рациональным поведением IoT, является инфокоммуникационной услугой (ИК-услуги), оказываемой ЦУ [1].

Летающий Интернет Вещей может использоваться при ЧС для решения следующих задач:

- до возникновения ЧС для мониторинга параметров окружающей среды с целью обнаружения первых признаков ЧС:
- во время ЧС для обеспечения связи с индивидуальными устройствами лиц, находящихся в опасности, а также спасателей; для мониторинга параметров окружающей среды с целью текущего и последующего анализа данных для корректировки модели ЧС. Кроме того, устройства Интернета Вещей, находящиеся на объекте и движущиеся в трехмерном пространстве при его разрушении, также должны рассматриваться как часть летающего Интернета Вещей;
- после завершения активной фазы ЧС для обнаружения лиц, по-прежнему находящихся в зоне опасности.

Широкому использованию окружающих человека IoT способствовали мощные технологические прорывы, осуществленные в последнее время:

- переход на новую систему присвоения IP адресов IPv6, которая дает практически неограниченный доступ IoT в единую КИС по протоколу IP;
- конвергенция сетей связи, включая и сенсорные сети в единой КИС;
- повсеместный доступ массового пользователя к широкополосным каналам единой КИС;
- развитие систем беспроводного доступа массового абонента на территории страны;
- разработка и практическое использование методов обработки больших БД;
 - разработка и практическое использование ОВ;
- переход операторов связи на широкополосные каналы (стандарты LTE и др.);
- развитие технологии, производства и использования беспроводных сенсорных сетей.

Кроме того, появятся летающие системы Интернета Вещей, прообразом которых служат летающие сенсорные сети [3].

Проблемы рационализации в IoT. Доступ большого числа пользователей к услугам IoT создает ряд трудностей. Выигрыш от рационализации при некотором превышении числа пользователей, имеющих доступ к услугам по рационализации, резко падает. В качестве примера можно привести использование «умных» навигаторов одновременно всеми участникам дорожного движения в крупном городе с улицами, имеющими ограниченную пропускную полосу, которая может привезти к полной парализации трафика.

В [4] было доказано утверждение, согласно которому при увеличении количества пользователей какой-либо системы при заданном уровне технологий для гарантированного обслуживания всех этих пользователей необходимо выделять все большее количество ограниченных ресурсов на одного пользователя. Из-за этого возрастание пользовательской базы рано или поздно приведет к исчерпанию ограниченных ресурсов или необходимости использования новой технологии.

Кроме того, возникают несколько очень неприятных эффектов, связанных с необходимостью искать рациональное решение и подсказывать поведение в реальном масштабе времени:

- необходимость непрерывной передачи данных о свойствах всех IoT_m , что нередко является причиной резкого повышения пиковых нагрузок даже на сверхширокополосные каналы связи, на которые в последнее время перешли операторы единой КИС;
- большие требования к БД связаны с непрерывной записью информации, снимаемой от всех IoT_m , расположенных в X, через ЦУ;
- сложность ответственной (в смысле администрирования услуг) идентификации ЦУ некоторых мониторинговых ІоТ,, при рационализации действий других конкретных ІоТ,;
- передаваемые от ЦУ управленческие сигналы рационального поведения конкретных IoT, должны быть кем-то утверждены и признаны как не наносящие вред IoT, т.е. ЦУ должен ответственно администрировать услугу для всех IoT, которые он обслуживает в рамках X;
- необходимость многокритериальной рационализации, так как у составных элементов рассматриваемого на рис. 2 фрагмента КИС в общем случае будут быть разные цели рационализации своих действий.

Решить эти проблемы в общем виде довольно трудно. Для того чтобы ощутить это выразим рациональность поведения сложной динамической системы через оптимальное управление системой, изображенной на рис. 2 [5]. Оптимального решения надо добиться для каждого ІоТ, [6]. Для этого воспользуемся теорией оптимального управления, наиболее полно изложенной в [7].

Будем рассматривать оптимальное управление IoT_r в реальном масштабе времени как следствие данных, передающихся от мониторинговых IoT_m по описанному выше пути. В нашем случае задачу можно свести к решению оптимального управления в реальном масштабе времени (напомним, рационального поведения) IoT_r по информации, полученной от мониторинговых IoT_m .

Пусть состояние объекта оптимального управления (IoT_r) в каждый момент времени t полностью характеризуется набором параметров $x(t) = (x^1(t), ..., x^n(t))$. Динамику объекта можно записать выражением:

$$\dot{x} = f(t, x(t), u(t)), \tag{1}$$

где $u(t) = (u^1(t), \ldots, u^m(t))$ — вектор управляющих воздействий, каждая компонента которого представляет собой интенсивность какого-либо воздействия от ЦУ на основе данных от IoT_m , определяющих состояние объекта управления IoT_r . При этом на конкретных физических объектах управление u(t) не может быть произвольным — из физического смысла управления следует ограничение на возможные величины управляющих воздействий:

$$u(t) \in U$$
,

где U — некоторое заданное множество. Размерность вектора управляющих воздействий m может совпадать с числом IoT_m , находящихся в \mathbf{X} — L, а размерность n вектора состояния x(t) — с числом IoT_r в \mathbf{X} — N.

Формулировка задачи оптимального управления подразумевает оценку качества управления. Так, управляемый объект можно перевести из множества M_0 на множество M_1 многими способами, но оптимальное управление должно реализовать наилучший с точки зрения поставленной задачи способ. Таким образом, необходимо задать функционал или критерий качества — рациональности:

$$J(u(t),x(t)) = \int_{t_0}^{t_1} f^0(s,x(s),u(s)) ds.$$

Тогда формализованную цель управления можно представить как задачу подбора такого управления, при котором критерий качества рациональности достигает заданного значения. Применительно к рассматриваемой задаче ${\rm IoT}_{,h}$ начальный момент времени t_0 и конечный момент данного этапа процесса времени t_1 совпадают с началом и окончанием этапа процесса управления рациональностью поведения соответственно.

В общем виде задача не имеет решения, возможны только частные решения, когда все определяющие задачу функции (модели объекта управления, воздействий и модель IoT_m) известны и решение может быть получено с достаточной точностью. Вообще наличие указанных моделей при организации оптимального (рационального) поведения IoT_r , (рис. 2) играют решающую роль для обеспечения оптимального управления IoT_r в реальном времени [8].

Решение задачи рационализации при спасении людей во время ЧС. В качестве примера практического решения уравнения (1) для многокритериальной динамической системы (рис. 2) рассмотрим задачу управления спасением людей при ЧС, которой авторы занимаются уже 5 лет. В условиях ЧС все ІоТ, имеют общую задачу управления — спасение людей, и динамика ситуации с достаточной точностью может быть сведена к линейной задаче быстродействия [4]. При этом многокритериальную динамическую систему, изображенную на рис. 2, можно представить как однокритериальную, т.е. оптимизация всех ІоТ, имеет общую цель — спасение ІоТ, при подготовке к ЧС, во время протекания и после окончания ЧС.

Действительно, анализ развития случившихся катастроф позволяет выявить закономерности развития ЧС для различных типов объектов и катастроф. При этом на отрезке времени от начала ЧС до момента наступления катастрофической фазы выявленные закономерности позволяют подобрать соответствующее оптимальное управление с учетом цели управления и внедрить его на новых и существующих объектах системы управления. Таким образом,

до наступления катастрофической фазы общее уравнение (1) может быть сведено к виду:

$$\dot{x} = \mathbf{A}x + u,\tag{2}$$

где \mathbf{A} — постоянная матрица размером $n \times n$. Данная задача в теории оптимального управления называется линейной задачей быстродействия. Ее решением является управление, реализуемое на сегодня в общих инструкциях и установленных правилах поведения для различных типов ЧС на объекте. Условия существования оптимального управления при этом закладываются изначально в характеристики объекта при его проектировании, что также регламентируется соответствующими государственными стандартами, нормами и правилами.

Для того чтобы уменьшить влияние этих негативных явлений на безусловно полезное и широкое внедрение IoT в повседневную жизнь было выбрано направление, которые можно считать наиболее важным и в котором НИИР является лидером. Ниже дано описание результатов деятельности института на трех наиболее авторитетных мировых экспертных площадках — МСЭ-Т (ITU-T), ТЕЛ АТЭС (APECTEL) и ЭСКАТО (ESCAP).

Рассмотрим, каким образом можно решить проблему непрерывной передачи данных на центральный сервер. Все устройства IoT можно разделить на известные и неизвестные. Под известным устройством IoT подразумевается устройство, для которого известна модель его поведения с течением времени. Информация от данного IoT передается только в случае, если в результате какой-то бифуркации траектория отклоняется от стандартной (известной) или резко меняются другие характеристики. Здесь важно, что состав и месторасположение внутренних модулей устройства IoT (т.е. датчиков физических величин и приемопередатчиков беспроводной связи) определяется типом устройства и тем, какие его свойства представляют интерес.

Если модель поведения устройства известна, резко сокращаются число внутренних модулей, объем информации и не требуется специального увеличения емкости каналов связи. Кроме того, обращения к БД происходят не непрерывно, а только при отклонении известной траектории от стандартной для коррекции имеющейся модели. Отдельно выделим случай проведения исследований [9], когда не известны стандартные модели поведения устройств ІоТ. При этом возникает необходимость передавать информацию от ІоТ, включенных в эксперимент, непрерывно до тех пор, пока не составлена стандартная модель поведения ІоТ, и режим передачи перейдет в режим определения отклонений от известной траектории.

ФГУП НИИР занимается следующими особыми приложениями IoT — индивидуализированным управлением спасением людей от наступления ЧС до катастрофической фазы, сенсорными управленческими сетями (Рек. МСЭ-Т Y.2222 [10]) и управлением во время катастрофической фазы ЧС (Рек. МСЭ-Т Y.2074 [11]).

Необходимо отметить роль модели Интернета Вещей при ЧС. Обычно модели катастроф простираются только на время от начала ЧС до ее катастрофической фазы. Именно эти модели используются при разработке нормативных инструкций поведения персонала и людей на объекте, в котором произошло ЧС. Как показывает практика, при широковещательном объявлении тревоги люди впадают в панику и забывают предписанные инструкции, что списывается обычно на «человеческий фактор». ІоТ же позволяет

вписывать в индивидуальные абонентские устройства те же самые нормативные инструкции и представлять их для пользователя в индивидуализированной форме [12–14].

Основная идея проекта Рек. Y.2074 заключается в том, что режим работы разнообразных устройств ІоТ продлевается на режим катастрофы. Датчики передают информацию о координатах в период ЧС, добывают ценнейшую информацию реального поведения сложных уникальных объектов при возникновении и протекании конкретной ЧС. Эти данные очень ценны для корректировки расчетной модели поведения объекта при ЧС, на их основании производится проектирование реального объекта.

Заключение. Проанализированы проблемы, возникающие при попытке применения летающих систем Интернета Вещей для различных задач, в том числе при подготовке, во время протекания и после окончания ЧС. Управление при ЧС — одно из немногих приложений, при котором удается достичь рационализации поведения большого количества объектов IoT в рамках хронотопа. При этом существенным условием рационализации является наличие моделей поведения объектов IoT.

ФГУП НИИР ведет активную деятельность по развитию данного приложения IoT, делая вклады и предложения в крупнейшие международные организации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта N15-07-09431a «Разработ-ка принципов построения и методов самоорганизации для летающих сенсорных сетей».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сарьян В.К., Сущенко Н.А., Дубнов И.А. и др.** Прошлое, настоящее и будущее стандартизации Интернета вещей // Труды НИИР. — 2014. — № 1. — С. 1–7.

- 2. **Назаренко А.П., Сарьян В.К.** Навигация Интернета вещей: перспективы, проблемы, решения / Труды форума «КВНО-2015». 2015.
- Кучерявый А.Е., Владыко А.Г., Киричек Р.В. и др. Летающие сенсорные сети // Электросвязь. — 2014. — № 9. — С. 2–5.
- 4. **Сарьян В.К., Сущенко Н.А**. Разработка модели инфокоммуникационных услуг на основе теории целеустремленных систем // Труды НИИР. 2014. № 2. С. 16–25.
- 5. **Rabin M.** Incorporating limited rationality into economics // Journal of economic literature. 2013. Vol.51, Nº 2.
- 6. **Ногин В.**Д. Принятие решений в многокритериальной среде. М.: Физмалит, 2005.
- 7. **Благодатских В.И.** Введение в теорию управления. М.: Высшая школа управления, 2001.
- Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
- 9. **Сарьян В.К., Травуш В.И., Лутохин А.С., Сущенко Н.А.** Уточнение модели разрушения больших сооружений с помощью Интернета Вещей / Труды НИИР. 2015. № 2.
- 10. ITU-T Recommendation Y.2222. Sensor control networks and related applications in next generation network environment (04/2013).
- 11. ITU-T Recommendation Y.2074. Requirements for Internet of things devices and operation of Internet of things applications during disasters (01/2015).
- 12. **Назаренко А.П., Сарьян В.К., Лутохин А.С. и др.** Роль модели ІоТ в управлении индивидуализированным управлением людей, оказавшихся в зоне ЧС во время возникновения ЧС // Труды НИИР. 2015. № 3.
- 13. Назаренко А.П., Сарьян В.К., Сущенко Н.А., Лутохин А.С. Использование современных инфокоммуникационных технологий для спасения людей при чрезвычайных ситуациях // Электросвязь. 2014. № 10. С. 33–38.
- Butenko V., Nazarenko A., Sarian V. et al. Applications of wireless sensor networks in Next Generation Networks. (ITU, 2014).

Получено 15.05.15

Импортозамещение

НУЖНА ЕДИНАЯ ПРОГРАММА ДЕЙСТВИЙ

В конце мая 2015 года в Москве на площадке Технопарка «Слава» состоялась Всероссийская научно-техническая конференция «Импортозамещение оборудования и технологий в стратегически важных отраслях экономики России» (организатор — компания «ОПК», информационный спонсор – журнал «Электросвязь»). На ней рассматривались проблемы импортозамещения в экономике России, касающиеся укрепления обороноспособности страны, развития электронно-компонентной базы предприятий, наукоемкого станкостроения, инструментальной промышленности и др.

Открывая конференцию, заместитель начальника отдела Департамента ОПК Минпромторга России Сергей Артизов проинформировал о ходе работ министерства по снижению зависимости от поставок иностранной продукции в образцах вооружения, военной и специальной тех-

ники, предусмотренных к созданию, закупке, ремонту либо сервисному обслуживанию в рамках Госпрограммы вооружения на 2011—2020 гг. Правительство делает основную ставку на военную отрасль как на рычаг, который приведет в движение маховик импортозамещения и остановит угрозу потери технологического суверенитета. В то же время высказывались мнения, что этот механизм слишком поздно был приведен в движение: для раскрутки процесса потребуется не менее 10—30 лет.

Отдельная тема — научно-конструкторские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР). Из средств федерального бюджета на проведение НИОКР в 2015—2020 гг. предполагается выделить более 120 млрд руб. Порядка 132 млрд рублей потребуется на создание страховых запасов комплектующих изделий иностранного производства. При этом, по словам С. Арти-

зова, речь не идет о финансировании какой-то отдельной программы импортозамещения. Указанные мероприятия будут профинансированы в рамках существующей государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности на период до 2020 года».

Участники конференции, в том числе представители «ОКБ «Новатор», ФГУП НИИР, сетовали на то, что отсутствие документов, регламентирующих оформление и допуск импортных материалов, используемых при изготовлении продукции специального назначения, а также методики применения ЭКБ импортного производства, тормозит процесс импортозамещения. Еще одно пожелание обобщить разрозненные данные по импортозамещающим мероприятиям в единую программу, доступную всем, кто решает проблему импортозамешения.