Архитектура программных систем в контексте технологий Индустрии 4.0

К. В. Чайка[1], К. В. Кринкин[2], Ар. Ю. Филатов[3], Ан. Ю. Филатов[4]
Факультет компьютерных технологий и информатики
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
Санкт-Петербург, Россия
[1]konstantin.chaika@moevm.info, [2]kirill.krinkin@moevm.info, [3]art32fil@gmail.com, [4]ant.filatov@gmail.com

***Аннотация*. В статье рассматриваются определения индустрии 4.0 и факторы, влияющие на их формирование. Описываются области, на которые она оказывает влияние и которые участвуют в формировании индустрии нового поколения. Отмечаются проблемы, возникающие в связанных с индустрией 4.0 областях при их объединении и возможные пути их решения, особенности организации производственного процесса. Выделяются свойства, которыми должно обладать программное обеспечение промышленных устройств.**

Ключевые слова: индустрия 4.0; промышленное окружение; архитектура программных систем

I. Введение

Индустрия 4.0 – термин, впервые использованный на ганноверской выставке в 2011 году, получил очень широкое распространение. Он имеет много определений, и объединяет в себе большое количество различных областей и технологий. Сейчас его часто используют в качестве синонима четвертой промышленной революции.

Развитие современных технологий все больше приближает этот момент, но остается еще достаточно много задач. Которые требуют внимания, большая часть их которых относится не к какой-то конкретной области, а к способу организации взаимодействия этих областей и интеграции их в единый производственный поток.

В работе рассмотрены определения для индустрии 4.0, основные области и проблемы их интеграции, в том числе с точки зрения программных систем.

II. Определения индустрии 4.0

Индустрия 4.0 новый термин, включающий в себя много различных областей. Какое-то единое определение его отсутствует и каждый толкует его по-разному. Формулировки часто зависят от точки зрения автора и области которую он рассматривает для применения в рамках индустрии нового поколения.

Определение индустрии 4.0 может быть дано с точки зрения основных ее направлений: интернета вещей (IoT) и кибер-физических систем.

Сегодня мы окружены большим количеством встраиваемых систем, но все они спроектированы как самостоятельные устройства, а в кибер-физических системах ключевой особенностью является объединение устройств в единую сеть. Также, часто определения строятся на современных направлениях развития технологий, которые оказывают влияние на производство. Сюда относят автономные производственные системы, которые делят производство на части, управление и оптимизация которых может производиться независимо [1].

Можно выделить 4 основные точки зрения на индустрию 4.0. которые и влияют на формирование определений: производство, бизнес, продукция, потребители. С точки зрения производства ключевым является модульная структура соединенных в сеть независимых подсистем. Такую организацию называют умным производством. С точки зрения бизнеса, индустрия 4.0 подразумевает наличие связи между различными компаниями, фабриками, поставщиками, логистами ресурсами и потребителями. Характеризовать производство можно и с точки зрения продукции. Индустрия 4.0 подразумевает, что каждый продукт будет иметь персональный идентификатор, что позволяет контролировать продукт на всех этапах производства [2].

Обобщая требования, предъявляемые для индустрии 4.0, можно сделать вывод, что под индустрией 4.0 в общем случае подразумевается способ организации производства, в виде объединенных единой коммуникационной сетью децентрализовано управляемых подсистем, обеспечивающих взаимную реконфигурацию в зависимости от свойства каждой единицы продукции с учетом эффективного использования ресурсов.

III. Области, затрагиваемые индустрией 4.0

В индустрии 4.0 находят применение большое количество различных областей. Все они так или иначе оказывают влияние на развитие современных технологий и, в частности, современного производства, однако для их комплексного применения встает вопрос из совместного взаимодействия. Далее рассмотрены основные области [1].

Анализ больших данных. Много устройств, производящие большие объемы данных порождают задачи хранения этих данных, обработки и анализа, а анализ уже собранных данных может быть полезен для предупреждения ошибок в будущем.

Автономные роботы. Использование автономных роботов позволяет переложить на них точную или тяжелую работу, причем задания могут представлять собой не только запрограммированную последовательность действий.

Симуляция. Имеется в виду в смысле построения копии физического окружения и процессов в виртуальном пространстве. Это открывает новые возможности для настройки, отладки или проверке любых изменений [3].

IIoT (Industrial Internet of Things). Все устройства и датчики, объединенные в одну сеть и взаимодействующие друг с другом или при необходимости, с контролерами более высокого уровня позволяют реализовать более гибкий производственный процесс [4].

Информационная безопасность. Существующие решения, направленные на индустрию нового поколения, являются крайне уязвимы для кибер-атак, поэтому с развитием различных протоколов связи, вопрос противостояния атакам стоит очень серьезно.

Облачные вычисления. Уже сейчас многие компании используют облачное программное обеспечение для некоторых корпоративных приложений. С развитием индустрии 4.0 и облачных технологий, все чаще они будут применяться и для развертывания производственных систем. Это позволит упростить мониторинг и управление данными.

Аддитивное производство. Этот термин включает в себя подход к производству различных объектов по из трехмерной модели путем послойного добавления материала. Высокая скорость, возможность изготовления детали на одном станке и почти любой формы позволяют изготовить более легкие, но прочные компоненты.

Таким образом, на развитие индустрии нового поколения оказывает влияние большой набор технологий, которые именно в своем комплексном использовании могут обеспечить организацию производства, называемую индустрия 4.0.

IV. Анализ проблем и подходов к их решению

Несмотря на активное развитие всех областей, входящих в состав индустрии нового поколения, при реализации индустрии 4.0 возникают проблемы, которые сами по себе в той или иной области могли бы и не возникнуть [5].

Современные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) используются повсеместно, но их возможностей недостаточно для индустрии 4.0. Они представляют собой простую автоматизированную ячейку, единственная задача которой – обработка заготовки с помощью какого-то имеющегося набора инструментов в соответствии с определенной программой – фактически, жесткой последовательностью инструкций. Также, к этой ячейке можно отнести системы загрузки, выгрузки и позиционирования деталей. Таким станкам с одной стороны не хватает автономности, а с другой – возможностей взаимодействия с другими компонентами производства. Подобные устройства не должны действовать на основе полученных прямых инструкций, а уметь принимать самостоятельные решения и договариваться с другими устройствами на производстве. Именно это является ключевым в построении самоорганизующейся производственной системы. Полезные результаты для решения этой проблемы могут принести исследования в области технологий искусственного интеллекта.

Беспроводные сети передачи данных тоже при использовании в промышленности оказываются недостаточно подготовленными, чтобы удовлетворить все выдвигаемые им требования. Существующие решения либо не могут обеспечить достаточную пропускную способность для интенсивной передачи больших объемов данных, либо могут её обеспечивать, но не предназначены для промышленных приложений. Возможно, решением может стать гибридная сеть из магистральной проводной сети и подключенных к ней беспроводных передатчиков.

Анализ больших данных активно развивающаяся на область, которая с внедрением облачных вычислений, в перспективе, будет иметь большую ценность. Но основная проблема, которую требуется решить - эффективный сбор данных. То есть требуется определить, какие именно данные требуется собирать, как это можно делать, какой они имеют смысл и как их анализировать. Например, для определения узких мест снижающих общую производительность требуется знать время, затрачиваемое на каждую операцию. А анализ состояния устройств позволит определять вероятность их выхода из строя.

Компьютерная безопасность также является большой проблемой для современных информационных систем. С одной стороны, требуется обеспечить сохранность конфиденциальных данных, с другой - важно не допустить возможность несанкционированного доступа к механизмам управления фабрикой. На сегодняшний день даже известное программное обеспечение содержит в себе различные уязвимости. Поэтому для индустрии нового поколения требуется разработать особые и современные методы.

Организация производства. На сегодняшний день есть возможность построить любую конвейерную систему, но она будет иметь довольно жесткую структуру. От индустрии нового поколения требуется наличие механизмов самостоятельного принятия решений и механизмов самостоятельной оптимизации и самостоятельного конфигурирования. Это позволит динамически изменять маршрут каждого элемента продукции в соответствии с требуемыми для него операциями.

Помимо технических задач, которые предстоит решить для построения индустрии 4.0, много проблем

обусловлено интегрированием кибер-физических систем с различными бизнес-процессами. Сюда входит взаимодействие с поставщиками материалов, доставка товаров, формирование счетов, чеков, товарных накладных, взаимодействие с заказчиками, формирование спецификации продукции согласование сроков изготовления. Каждый из этих этапов в каждой компании, так или иначе, сформирован и отлажен, но внедрение их всех в единую инфраструктуру индустрии нового поколения пока невозможен. Решение этой проблемы следует начать с согласования единых требований к моделям данных и формату обмена данными.

Внутренняя логистика. Это достаточно крупная проблема для того, чтобы выделить ее отдельным пунктом. В индустрии 4.0 важным моментом является возможность свободного перемещения деталей между произвольными точками. Существующие решения с использованием мобильных роботов обычно накладывают сильные ограничения либо на возможные маршруты, либо на окружение, в котором возможно это перемещение, например, размеченный пол. Для построения гибкой и самоорганизующейся системы требуется не только решение задачи передвижения робота в динамически меняющемся окружении из других роботов, предметов и людей, но и децентрализованный механизм планирования перемещений. Так, группа роботов может иметь набор логистических задач рядом с ними, которые надо выполнить и внутри себя распределить их.

Таким образом, возникающие проблемы можно разделить на три группы. Первая группа – аппаратные проблемы, которые включают в себя реализацию средств коммуникации между устройствами, устройствами и реальным миром, различные механические манипуляторы и прочее. Вторая группа – интеграция производственных процессов с бизнес процессами, включающая в себя взаимодействие поставщиков и потребителей с фабрикой, отслеживание производственного процесса каждого продукта. И третья группа – интеллектуальные механизмы планирования, принятия решений, изменения производственных процессов и самооптимизации [6].

V. Характеристика промышленного окружения индустрии 4.0

Любое производство почти всегда само по себе выдвигает определенные требования к окружению. Это может быть стерильные условия, или шлюзовые двери при этом размещение должно быть компактным, чтобы не увеличивать стоимость фабрики. Правильное географическое распределение оборудования по площади и наличие маршрутов между ними является очень важной задачей. При внутренней организации производства следует учитывать следующие факторы: большое количество участников производственного процесса, большое количество этапов производства, географическое распределение оборудования, время обработки на каждом этапе, суммарное время обработки и некоторые другие [1].

При проектировании производственного окружения можно прибегнуть к моделированию передвижения продукции последовательно через все оборудование, которое должно быть им посещено. Это позволит не только определить частоту использования оборудования, но и вероятность использование конкретного типа оборудования для производства определенного типа продукции [1].

В целом, организация производственного процесса может быть представлена в виде взаимодействия нескольких типов агентов:

1. агенты-оборудование, которое и выполняет основные операции;
2. транспортные агенты, к которым относят автономных роботов, конвейеры и так далее;
3. агент-продукт, который представляет собой элемент продукции.

В этой схеме продукт является инициатором всех операций обработки и перемещения [2]. Для реализации такого подхода каждый экземпляр должен иметь свой идентификатор, а все остальные устройства должны иметь возможность его считать, и иметь доступ к централизованной системе, которая сможет сообщить, какие действия требуется выполнить над заготовкой, и будет отслеживать продвижение ее по производственной линии [3].

Использование различных транспортных агентов также дополняет требования к структуре производства. Стремление к гибкому производству приводит к отказу от стандартных конвейерных решений в пользу автономных транспортных средств, перемещающих продукцию по всей площади производства. С точки зрения управления ключевым является переход от централизованного управления к децентрализованным иерархическим системам. Таким образом, агент-продукт, зная свой вес, форму и так далее может сообщить транспортным агентам о необходимости перемещения между двумя точками. Транспортные агенты делятся между собой этой информацией и принимают общее решение о ее выполнении. При этом задачи планирования уже перекладываются на самого агента. Такое адаптивное поведение агентов позволяет использовать их в динамических и сложных окружениях [4].

Так как агентами являются автономные устройства, большое внимание требуется уделить вопросу восприятия роботами окружающего мира. Для стационарных роботов основной задачей является распознавание объекта, его положения и ориентации в пространстве. Например, возможно оснастить каждую деталь визуальной меткой, кодом, который можно будет найти, используя камеру и получить информацию о детали и ее положение, используя эти данные для захвата детали роботом. [3], [7].

Для мобильных роботов задача восприятия окружающего мира тесно связана с задачей навигации. Ограничения на физическую структуру помещений часто зависят от выбранного подхода к организации перемещения мобильных роботов, но так или иначе большинство решений основываются на какой-то

дополнительной разметке помещений. Это также может быть выполнено с помощью визуальных меток нанесенных на стены или пол [7], [8].

Все свойства присущие индустрии 4.0 описанные ранее также накладывают ограничения при проектировании производства. Все агенты должны быть оснащены механизмами мониторинга, позволяющие в реальном времени узнавать их состояние и различные текущие характеристики. Должна существовать компьютерная сеть в том числе беспроводная, поддерживающая взаимодействие большого числа агентов [2], [9].

VI. Требования к архитектуре ПО

В архитектуре программных систем индустрии 4.0 можно выделить 3 основных уровня: физический, сетевой и облачный. Физический уровень представлен кибер-физическими системами. Оборудование на этом уровне может получать команды от облачного уровня, настраивая свою работу. Все компоненты физического уровня подключены к промышленной сети. Облачный уровень занимается сбором информации, поступающей с физического уровня, ее анализом, передачей обратной связи физическому уровню и предоставлением интерфейса для управления и анализа состояния фабрики [2], [5].

Так как все устройства должны иметь возможность передавать информацию между собой, они должны поддерживать общие протоколы. Стандарты, основанные на Ethernet, OPC-UA могут быть хорошими кандидатами, несмотря на то, что они не подразумевают передачу в реальном времени. Общий интерфейс и подключение к единой сети позволит создавать связь между физическими объектами и их виртуальным представлением, что в свою очередь позволит легко моделировать процессы в промышленных приложениях в едином виде [3].

Технологии, играющие ключевые роли также можно разделить на несколько групп: технологии производственных устройств, сетевые технологии, облачные технологии и технологии клиентских приложений. К производственным технологиям относятся способы взаимодействия с миром: компьютерное зрение, RFID и т.д. Для унификации доступа к различным сетевым устройствам могут использоваться URL-адреса и HTTP-протокол. В качестве формата обмена данными может использоваться JSON. Облачное решение для пользователя системы представляется с использованием модели Platform as a Service (PaaS). Просмотр статистики и анализ текущего состояния фабрики пользователям может быть предоставлен веб-интерфейс или мобильные приложения [1], [5].

Для решения задач планирования и логистики, требуется обеспечить механизмы поддержки автономных процессов перемещения грузов, причем принятие решений должно происходить не централизованно, а иерархически. Транспортные агенты должны иметь возможность делиться знаниями с помощью механизмов связи друг с другом, а распределение задач между агентами может происходить выборочно. Некоторый набор задач может быть выдан выбранной по какому-то критерию группе агентов, а конечное распределение будет выполнено уже между агентами самостоятельно. Преимуществами являются высокая скорость, адаптируемость и масштабируемость. Также такой подход хорошо подходит для использования в динамичных средах [4], [8].

Таким образом, архитектура ПО в индустрии 4.0 может быть представлена в виде трех уровней: уровня управления устройствами, сетевого уровня и облачного. Являясь распределенными системой, устройства должны поддерживать механизмы мониторинга и сетевого взаимодействия друг с другом, при этом исполняя свои функции автономно.

VII. Заключение

В ходе работы были рассмотрены различные определения для индустрии 4.0 и сформировано обобщенное определение. Рассмотрены основные проблемы, связанные с объединением областей, затрагиваемых индустрией 4.0, а также предложены направления для решения этих проблем.

Для формирования требований к архитектуре систем индустрии 4.0 были описаны особенности промышленного окружения и стека технологий, который может быть представлен в виде трех уровней: управления устройствами, сетевого уровня и облачного.

Список литературы

[1] Vaidyaa S., Ambadb P., Bhoslec S. Industry 4.0–a glimpse //Design Engineering. 2018. Т. 2351. С. 9789. URL: https://www.researchgate.net/profile/Azedine_Boulmakoul/post/Can_I_find_recent_publications_on_using_big_data_and_cloud_computing_in_industrial_applications/attachment/5a8f3ffe4cde266d588d00c5/AS:596958771150848@1519337470051/download/1-s2.0-S2351978918300672-main.pdf (дата обращения: 19.03.2019)

[2] Lasi H. et al. Industry 4.0 // Business & Information Systems Engineering. 2014. Т. 6. №. 4. С. 239-242.

[3] Brettel M. et al. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective // International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering. 2014. Т. 8. №. 1. С. 37-44. URL: https://waset.org/publications/9997144/how-virtualization-decentralization-and-network-building-change-the-manufacturing-landscape-an-industry-4.0-perspective (дата обращения: 19.03.2019)

[4] Jazdi N. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0 // Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 2014. С. 1-4.

[5] Rüßmann M. et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries //Boston Consulting Group. – 2015. – Т. 9. URL:http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives_Industry.4.0_2015.pdf (дата обращения: 19.03.2019)

[6] Weyer S. et al. Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems //Ifac-Papersonline. 2015. Т. 48. №. 3. С. 579-584.

[7] Schlechtendahl J. et al. Making existing production systems Industry 4.0-ready // Production Engineering. 2015. Т. 9. №. 1. С. 143-148.

[8] Schabus S., Scholz J. Geographic Information Science and technology as key approach to unveil the potential of Industry 4.0: How location and time can support smart manufacturing // Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), 2015 12th International Conference on. IEEE, 2015. Т. 2. С. 463-470.

[9] Qin J., Liu Y., Grosvenor R. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond // Procedia Cirp. 2016. Т. 52. С. 173-178. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221282711630854X (дата обращения: 19.03.2019)