

## ОСОБЕНОСТИ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИТЕ СИСТЕМИ, SCADA И IOT

Цветелина Симеонова

### PECULIARITIES OF DISTRIBUTED SYSTEMS, SCADA AND IOT

Tsvetelina Simeonova

**Резюме:** Цел на работата е разглеждане и съпоставяне на особеностите на разпределените системи, SCADA и IoT. Както SCADA, така и IoT включват сензори и събиране на данни. Въпреки, че се различават в много аспекти, те споделят обща цел. Идеята за интелигентна мрежа води към интеграция на SCADA и IoT. SCADA е полезна при наблюдение и управление на инсталации или промишлено оборудване. Интернет на нещата е съвкупност от физически устройства с различни реализации, софтуерни надстройки, сензори, задействащи устройства и мрежова свързаност, като всички действат заедно, за да могат обектите да свързват и обменят данни. Тъй като акцентът на статията е разглеждането на развитието на индустриалните технологии - на концептуално съществуващата, но технологично осъществима в последните години IoT, както и на съществуващите SCADA - именно като разпределени системи и в сравнителен план, то изложението ще включва резюме на характерните особености на тези две технологии, и на тази база, на структурно-функционален анализ на ефективността при интеграция на последните поколения на SCADA във функционалността на IoT. Показани са в табличен вид и са анализирани особеностите и възможностите за интеграция, както и предпоставките за това. Резултатите могат да се използват при проектирането и експлоатацията.

**Ключови думи:** SCADA, IoT, разпределени системи

**Abstract:** The aim of the work is to consider and compare the features of distributed systems, SCADA and IoT. Both SCADA and IoT include sensors and data collection. Although they differ in many respects, they share a common goal. The idea of a smart grid leads to the integration of SCADA and IoT. SCADA is useful for monitoring and managing installations or industrial equipment. The Internet of Things is a collection of physical devices with different implementations, software upgrades, sensors, actuators, and network connectivity, all of which work together to enable objects to connect and exchange data. The focus of the article is the consideration, as distributed systems and in comparative terms, of the development of industrial technologies IoT and SCADA. The presentation will include a summary of the characteristics of these two technologies and a structural-functional analysis of the efficiency in the integration of the latest generations of SCADA systems in the functionality of IoT. The possibilities for integration are shown, as well as the prerequisites for this. The results can be used as recommendations in the areas of design and operation.

**Keywords:** SCADA, IoT, Distributed Systems

### 1. Въведение. Особенности на SCADA и IoT в индустрията

Системите за дистанционен контрол SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) са внедрени за наблюдение и контрол на процесите в индустрията. Интернет на нещата IoT (Internet of Thing), поддържан от инструменти, техники и инфраструктура, е способен да разрешава автоматизирано проблеми на макро ниво в индустрията. За получаване на ползи и от двете, SCADA и IoT се интегрират. Този подход улеснява ефективното наблюдение и контрол на процесите и архивирането на данни в подкрепа на вземането на решения. Направено е проучване как интеграцията на SCADA и IoT е подходяща в индустриална среда, за да се предлагат по-добри продукти и услуги [1]. Описани са IoT (табл. 1) и система SCADA (табл. 2). SCADA се използват в индустрията от 1960 г. и оттогава се развиват, въз основа на индустриалните нужди и технологичните разработки,

ЦВЕТЕЛИНА СИМЕОНОВА

като технологично еволюират в четири поколения. Резюме на характеристиките на поколенията SCADA, както и тяхната структура, е дадено в табл. 3. По същество и двете платформи се използват за повишаване на общата производителност, повишаване на ефективността, намаляване на времето на престой и удължаване на живота на оборудването чрез интегриране на интелигентна поддръжка. В такъв контекст, в табл. 4 е направен сравнителен анализ между традиционна SCADA и IoT от гледна точка на характеристики на разпределените системи [2].

Таблица 1. Особености на IoT в индустрията

<p>IoT се разширява, като мнозинството свързани обекти могат да събират, обработват и изпращат данни до други обекти, приложения или сървъри. В резултат се обхващат много индустрии и случаи на използване, включително производство, медицина, автомобилостроене, системи за сигурност, транспорт и др. Обхватът на IoT се разширява, като се приспособява към напредъка в технологични области като свързаност, мрежи, облачни изчисления (cloud computing), големи данни (big-data) и кибер сигурност.</p>
<p>IoT предоставя следните функции: - Задоволяване на потребности за разнообразен набор от адаптери и свързаност към устройства; - Свързване на "неща", включително SCADA; - Обработка на данни в реално време; - Приемане на облачни изчисления и Софтуер като услуга SaaS (Software as a Service); - Обработка на големи данни и машинно обучение.</p>
<p>IoT поддържа установяването на тясна връзка между обектите във физическия свят и неговото логическо представяне в информационните системи. IoT системата може да функционира и прехвърля информация в онлайн режим само когато устройствата са безопасно свързани към комуникационната мрежа. Такива комуникации, позволяващи на физическите обекти да "комуникират" един с друг, са възможни благодарение на стандартите и протоколите за IoT.</p>

Таблица 2. Система SCADA

<p>SCADA е компютърно базирана система за контрол на процесите. Системите SCADA са много ефективни при наблюдението и контрола на процесите и съоръженията в индустрията. Фокусът на SCADA е върху мониторинга и контрола. Най-общо, оперативните цели на системите SCADA са: - Подходящ мониторинг на производствената система, поддържане на отклоненията в граници, събиране на информация за определено отклонение, предаване на данни към централизиран обект и сигнализиране на централния контролен център; следва извършване на всички необходими анализи и контрол и показване на информацията по логичен и организиран начин за хората, които да ги интерпретират и съответно използват; - Получаване на контрол върху системата и гарантиране на необходимата ѝ производителност; - Намаляване на оперативните нива на персонала чрез централизирана работа; - Ограничено по обем архивиране на данни за бъдеща употреба. Всяко внедряване на системите SCADA е специфично в областите на използване като: електроенергетика, нефтена, газова и космическа промишленост.</p>
<p>Типичната система SCADA включва три подсистеми: - Главен терминал MTU (Master Terminal Unit), който е централизирана компютърна система, улесняваща операторите за наблюдение на процеса; - Отдалечен терминал RTU (Remote Terminal Unit), включващ микроконтролер, интерфейси, сензори и устройства за управление; - Комуникационна мрежа с кабелна и безжична свързаност, с различни стандарти и протоколи.</p>
<p>Архитектурата на всяка конкретна реализация на SCADA се определя най-вече от отдалечеността, скоростта на предаване на данни, вида и инфраструктурата на комуникациите, налични в обектите (сайтовете) по местоположение.</p>

Табл. 3. Поколения SCADA

Поколение	Характеристики
Първо поколение / Монолитна	Независима самостоятелна система, хоствана на централизиран компютри (mainframe computers) и има монолитна архитектура. Комуникацията с RTUs е чрез собствени (proprietary) мрежи. Нисък риск за сигурността.
Второ поколение / Разпределена	Разпределен тип с множество компютри (stations), комуникиращи по локална мрежа LAN (Local Area Network) със собствени (proprietary) протоколи. Всеки RTU, като част от системата, е функционално специализиран и изпълнява определен набор от задачи. Намалени разходи и размер. Умерен риск за сигурността.
Трето поколение / Мрежово ориентирана	Базира се на архитектурата на OSI. Функциите на системата са разпределени и комуникацията се осъществява през WAN (Wide Area Network) с Интернет протокол IP (Internet Protocol). Системи с WAN, комуникация - Ethernet, Fiber Optic. Много системи

	под един надзорен орган. Поради географското разпространение и използването на WAN, системата е склонна към рискове за сигурността, но правилната поддръжка и актуализации намаляват тежестта им.
Четвърто поколение / Интегрирана система на SCADA и IoT	Интегрирана система на SCADA и IoT, с поддръжка на технологии като големи данни (big data) и облачни изчисления (cloud computing). Различната гама стандарти и протоколи за кабелна и безжична комуникация са част от системата. Цената на инфраструктурата е умерена, а поддръжката е по-лесна. Протоколи като TLS (Transport Layer Security) или SSL (Secure Socket Layer) осигуряват сигурността.

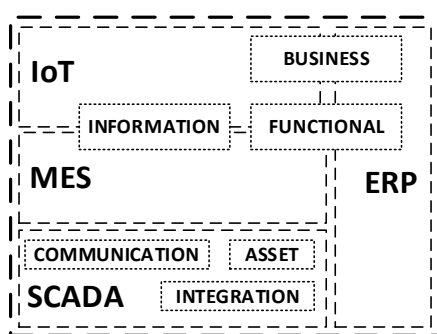
Табл. 4. Сравнителен анализ между SCADA и IoT

	Традиционна SCADA	IoT
Scalability Мащабируемост	В SCADA системите, поради традиционната фиксирана архитектура с фиксирана структура за определен период, производителността е фиксирана за даден брой устройства. Цената, при необходимост от разширение, е прекомерно висока и много от използваните съществуващи протоколи е трудно да се интегрират, при създаване на по-нови модели.	IoT внедрява архитектурата без сървър (Serverless architecture), при която дизайнът на приложението включва услуги като BaaS (Backend as service), на трети страни, и/или които включват персонализиран код, управляван в управлявани контейнери или платформа FaaS (Functions as service). IoT има възможност да обработва огромно количество данни от сензори и осигурява свързаност, използвайки протоколи (като MQTT, HTTPS, XMPP, COAP, REST и др.), които се прилагат при заявена необходимост от мащабируемост, при Serverless архитектура. IoT е зависеща от платформата и от компонентите, с богати функции за добавяне и промени.
Data Analytics Анализ на данни	Основната употреба на SCADA е свързана с ежедневната експлоатация на конкретна индустриална система, обработването и съхранението на ограничено количество данни без необходимост от запазване на данни за по-задълбочен анализ - проверка на производителността, на интеграцията с CRM или ERPs, няма свързана със SCADA контекстуална информация.	IoT включва дългосрочно съхранение на данни, за да се анализират данните по-подробно с цел прогнозиране на графиците за поддръжка, намаляване на общия престой и удължаване на живота на оборудването. При обобщение на прогнозния анализ и превантивната поддръжка, възможностите са част от него, поддържат се от модул за машинно обучение (ML) и модул за статистическо моделиране, както и AI алгоритми.
Standardization Стандартизация	Системите SCADA използват за събиране на данни предимно Open Platform Communications (OPC). Това е стандарт, който е утвърден във времето, но основният му недостатък е, че разчита на технологията DCOM (Distributed Component Object Model) и устройствата не могат да събират/обменят данни помежду си, независимо от шаблона.	ПОТ стандартизира сензорните мрежи, събирането и агрегирането на данни. IoT стандарти като OPC-UA се използват за дефиниране на сигурната комуникация в реално време при различни устройства за управление и сензори от различни доставчици. Сигурността е включена в IoT стандартите с поддръжка на протоколите MQTTS, HTTPS, RAML или CoaP с TLS и т.н., чрез които може да се внесе защитен слой.
Interoperability Оперативна съвместимост	При SCADA, устройства, които не са от един и същ производител, не могат лесно да се интегрират, както и да се взаимозаменят различни версии от един и същ производител. Интеграцията между устройства/версии и производители не е лесна за SCADA. В същото време SCADA има някои ограничения и това може да се преодолее с IoT.	Формираните ПОТ екосистеми все още остават фрагментирани, но има протоколи, като MQTT, които позволяват на платформите да поддържат комуникация между устройства, независимо от доставчика. IoT стандартите предлагат много протоколи и интерфейси, които могат да взаимодействат безпроблемно, осигуряват буквално безкрайна гъвкавост за добавяне, пускане на устройства и хомогенно интегриране на хардуера и софтуера.

## 2. Особенности и приложение на интегрирана архитектура на SCADA и IOT

Основните функции на SCADA са мониторинг и контрол на процесите в реално време, а основните функции на IoT са архивиране на исторически данни, улесняване при прогнозен анализ и вземането на решения. Интегрираната архитектура на SCADA и IoT се внедрява за подобряване на производителността чрез разширяване на специфичната за дадена индустрия функционалност.

Пример за автоматизиране на индустриални процеси, с използване на интегрираната архитектура на SCADA и IoT, е даден на фиг. 1. Като интерфейс, в сценария на индустриалната автоматизация, се използва системата за изпълнение на производството MES (Manufacturing Execution System). За увеличаване и контрол на производството се използват системата за планиране на ресурсите на предприятието ERP (Enterprise Resource Planning) и включената в нея система за управление на жизнения цикъл на продукта PLM (Product Life-cycle Management).



Фиг. 1. Пример за използване на интегрирана архитектура на SCADA и IoT.

Пример за структуриране на различни типови слоеве както на IoT, така и на SCADA приложения, е даден в табл. 5 [3].

Таблица 5. Структуриране на различни типови слоеве на IoT и на SCADA приложения.

Слоеве	Описание
Бизнес процеси (Business Processes)	В концепциите от най-високо ниво на IoT, на акционерите на SCADA се предоставя възможност за интегриране на различни бизнес процеси чрез подобро съвместно вземане на решения. IoT архитектурите са повлияни също от архитектурите ориентирани към услуги (SOA), които поддържат заместване ad hoc на компоненти на процеса. В приложенията на системите за индустриално управление ICS (Industrial Control System) е възможно да се използват IoT интерфейси, базирани на протокола MQTT (Message Queuing Transport Telemetry), за да се заменят различни Modbus мрежи.
Приложения (Applications)	Интеграцията на индустриални системи чрез локални и широкообхватни мрежи (local and wide area networks) осигурява дистанционен контрол на ниво приложение. Също така, на лицата, вземащи решения, се предоставят множество визуализации в реално време на основните устройства и процеси, което подпомага отчитането и анализа. Това не само подкрепя оптимизирането на производствените процеси, но също така помага на оперативния персонал да идентифицира и реагира на проблемите, свързани с безопасността, по начин, който не би бил възможен, ако различни екипи разчитат на ръчно интегриране на множество източници на данни от отделни системи, по-специално, когато могат да се разпространяват лавинообразни ефекти, например в енергийни мрежи и др.
Обобщаване на данни (Data Aggregation)	Предоставянето на услуги на ниво приложения зависи от събирането на данни. Обработката и преобразуването на сензорни данни помага да се идентифицират потенциални оптимизации. Интегрирането на SCADA в IoT подкрепя внедряването на анализи на големи данни чрез събиране на информация за разпределени процеси в почти реално време. Дискусивна е и възможността за откриване на зловреден софтуер.
Мрежова свързаност	IoT концепциите и системите SCADA зависят от внедряването на мрежови протоколи, които позволяват обмен на данни в реално време между компонентите на даден процес. Дизайнът

(Network Connectivity)	на тези протоколи силно влияе върху мащабируемостта на крайните архитектури. Колкото повече информация трябва да знае получателят за изпращача на данни, толкова по-трудно ще бъде да замести компоненти или да въведе нови услуги/устройства. Разработването на ICS IoT шлюзове помага за справяне с проблемите с мащабируемостта, свързани с традиционните SCADA протоколи. Те също предизвикват множество проблеми със сигурността, когато „въздушната пропаст“ се използва за изолиране на индустриалните системи от по-широко базирани Интернет приложения.
Физически устройства (Physical Devices)	Има прилики между домашните устройства използвани в IoT и индустриалните компоненти на системите SCADA. И двете използват вградени процесори. И двете имат значителни възможности в реално време. Съществуват обаче и важни разлики - особено по отношение на енергийната ефективност и опасенията за безопасността, които възникват от потенциални грешки или от последиците от злонамерен софтуер.

### 3. Структурно-функционален анализ на предимствата на технологиите на SCADA и индустриалния IoT като разпределени системи [4]

Фокусът на работата е, от гледна точка на разпределените системи - анализ на ключови характеристики (мащабируемост, анализ на данни, стандартизация, оперативна съвместимост) на система SCADA и на индустриалния IoT. Информацията, генерирана от SCADA системи, действа като един от източниците на данни за IoT [2]. В архитектурите на тези системи присъстват, например сензорен слой, взаимодействащ с физическите обекти, които се наблюдават и контролират, както и слой на задействащите устройства и т.н. Тези слоеве могат да се анализират по отношение на оперативна съвместимост, мащабируемост и надеждност, които са ключови характеристики на много разпределени системи - табл. 6 (вж. също табл. 4 и табл. 5).

Таблица 6. Анализ на индустриалния IoT (и вкл. SCADA) като разпределени системи.

<p><b>1. Разпределени системи.</b> По същество индустриалните IoT решения са разпределени системи (Distributed Systems), което произтича от самата същност на възникването и развитието на IoT. Индустриалната IoT система е съвкупност от, до голяма степен независими, взаимосвързани изчислителни елементи, които следят или контролират някои физически ресурси по начин, който се явява пред потребителите на системата като операция на едно съоръжение, реализиращо определен бизнес процес. С други думи, индустриалните IoT системи напълно отговарят на класическите дефиниции на разпределените системи. Наред с други, това определение подчертава два аспекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• включва компоненти, които са свързани помежду си, макар и до голяма степен автономни;</li> <li>• изисква тези компоненти да се появяват пред външния свят като единна съгласувана система.</li> </ul> <p>Такава комбинация предполага, че автономните компоненти си сътрудничат по един или друг начин. Принципиите и парадигмите, според които подобно сътрудничество може да съществува, лежат в основата на разпределените системи.</p>
<p><b>2. Области на приложение.</b> На практика индустриалният IoT се развива изключително ускорено от изследователските общности, разработващи мрежи и вградени системи, което доведе до множество решения, които са в основата на внедряването им. Мрежовата общност обикновено се фокусира върху методите за свързване на компонентите, така че да позволи ефективна и надеждна комуникация. Общността на вградените системи от своя страна се занимава със самите компоненти и техните интерфейси с физическите обекти и заобикалящата ги среда. Въпреки че тези интереси практически често се припокриват с тези на общността на разпределените системи, те се различават, и следователно, разглеждането на индустриални IoT, както и SCADA, решения като разпределени системи (с всичките им класически предизвикателства) има потенциал да добави стойност на крайния продукт.</p>
<p><b>3. Особенности.</b> Очевидно изложението отчита разликите в степента на централизация и на концентрация на ресурсите, развивани в разработките на различните общности. Следователно може да има дискусия по отношение на класическите разпределени системи, доколкото в структурите на система SCADA и реализациите на индустриални IoT решения, винаги някои от ключовите компоненти в техните технологични слоеве концептуално са с по-голяма степен на централизация и концентрация, пример за най-голяма степен на което са центровете за данни. Разликите може да произтичат най-вече от степента на</p>

свързване на реалните физически обекти, които се наблюдават или контролират.

**4. Оперативна съвместимост.** Целта на индустриалните IoT системи е да трансформират и оптимизират бизнес процесите. Въпреки че тази трансформация често включва в голяма степен иновативни елементи, тя обикновено не включва подмяна на цялата инфраструктура. Напротив, такива системи обикновено допълват инфраструктурата или дори интегрират различните ѝ съществуващи компоненти. Това предполага, че те трябва да работят с наследени компоненти, понякога по начини, които не са били предвидени от създателите на тези компоненти. Освен това, дори специализираните устройства ориентирани за IoT могат да бъдат силно разнородни в една система. В зависимост от функцията си, те могат да варират в своето захранване, наличните ресурси, мрежовата технология, прикрепените сензори и задействащи механизми, както и в зависимост от софтуера, с който са способни да работят.

Въпреки тези различия, те трябва да си взаимодействат в рамките на единна съгласувана система. Един от подходите за решаване на този проблем е стандартизацията. От друга страна, проблемите с интеграцията се решават отдавна от общността на разпределените системи чрез т.нар. междинен софтуер (Middleware). Както опитът от интеграцията на корпоративни приложения показва, междинният софтуер може да бъде ефективен подход за осигуряване на оперативна съвместимост, дори сред наследени системи. Следователно, въпреки че стандартизацията е важна, разработването на подходящ междинен софтуер може също да окаже голямо влияние върху търговското приемане на индустриалния IoT.

## 5. Заключение

От гледна точка на разпределените системи, SCADA и индустриалните IoT системи, трябва да си взаимодействат със съществуващите инфраструктури и да интегрират силно разнородни хардуерно-софтуерни платформи. Те също трябва да бъдат подготвени за мащабиране на няколко порядъка - по размер, обхват и/или плътност, както и да позволят мениджмънт от различни центрове. Освен това те трябва да бъдат надеждни, тоест безотказни, безопасни, налични, поддържани и сигурни, като всички тези характеристики трябва да се отчитат едновременно във всеки момент. В реалността е необходимо да се отчитат и други характеристики и изискванията към тях.

## ЛИТЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ (REFERENCES):

1. SUBRAMANIAN, Chamakuzhi. Demystifying Integration of SCADA and IoT in an Industry. In: *Flotek.g 2017. Innovative Solutions in Flow Measurement and Control - Oil, Water and Gas, August 28-30, 2017, FCRI, Palakkad, Kerala, India* [online]. Fluid Control Research Institute, 2017, pp. 1-7 [viewed 02 June 2021]. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/319416763\\_Demystifying\\_Integration\\_of\\_SCADA\\_and\\_IoT\\_in\\_an\\_Industry](https://www.researchgate.net/publication/319416763_Demystifying_Integration_of_SCADA_and_IoT_in_an_Industry)
2. RAJESWAR, Mr. K. Industry 4.0 wave - Relevance of SCADA in an IOT world and journey towards a true digital enterprise. *IEEE India Info* [online]. 2019, vol. 14(3), pp. 78-88 [viewed 02 June 2021]. Available from: <http://site.ieee.org/indiacouncil/files/2019/10/p78-p88.pdf>
3. JOHNSON, Chris. *Securing Safety-Critical SCADA in the Internet of Things* [online]. University of Glasgow, School of Computing Science [viewed 02 June 2021]. Available from: [http://www.dcs.gla.ac.uk/~johnson/papers/IET2016/SCADA\\_IoT.pdf](http://www.dcs.gla.ac.uk/~johnson/papers/IET2016/SCADA_IoT.pdf)
4. IWANICKI, Konrad. *A Distributed Systems Perspective on Industrial IoT* [online]. Uniwersytet Warszawski, Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki [viewed 02 June 2021]. Available from: <https://www.mimuw.edu.pl/~iwanicki/projects/heni/pubs/iwanicki-ICDCS2018.pdf>

## Информация за авторите:

ас. д-р инж. Цветелина Симеонова, ВТУ "Т. Каблешков", кат. СОТС, ул. Гео Милев 158, България, [ts.b.simeonova@abv.bg](mailto:ts.b.simeonova@abv.bg)

## Contacts:

Asist. Prof. Tsvetelina Simeonova, PhD, Todor Kableshkov High School of Transport, 158 Geo Milev St., Bulgaria, [ts.b.simeonova@abv.bg](mailto:ts.b.simeonova@abv.bg)

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 12.09.2020

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 27.09.2020