

М. А. Бондаренко¹, А. В. Бондаренко², М. З. Бененсон¹

¹ АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М. А. Карцева»,

² ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ»

АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ ПЛАТФОРМА ИНДУСТРИАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА

Описаны основные требования к современным системам оперативно-диспетчерского управления (англ. Supervisory Control And Data Acquisition system, SCADA), в частности к системам мониторинга сложных промышленных объектов. Известно, что многие роботизированные процессы требуют неразрушающего контроля с элементами распознавания образов в рамках единой системы мониторинга. На примере SCADA-системы GENESIS64 предложено решение на основе отечественной аппаратно-программной платформы цифровых камер RT-XDC компании «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», позволяющее интегрировать в системы подобного класса любой набор сложных датчиков типа цифровых камер, которые поддерживают стандартные интерфейсы, встроенную обработку и анализ данных. Также предложены иерархическая модель мониторинга сложного объекта и универсальный способ ее представления на примере сети станций Московского метро. Данная модель включает четыре уровня: карты моделей, модели, объектов модели, а также атрибутов объектов. Рассмотренные особенности структуры данных, которыми приходится оперировать при решении общей задачи мониторинга, обуславливают выбор в пользу отечественной объектно-ориентированной системы управления базой данных типа IPR, применяемой в системе автоматизированного проектирования Delta Design. Отмеченные результаты были получены в процессе разработки экспериментального программного обеспечения, позволяющего визуализировать трехмерные модели и отображать информацию о выделенном объекте в виде любых заранее заданных структур.

Ключевые слова: системы автоматизации, промышленный мониторинг, SCADA, техническое зрение, программируемые цифровые камеры, неразрушающий контроль

Введение

Под системой оперативно-диспетчерского управления (англ. Supervisory Control And Data Acquisition system, SCADA) понимают специализированное программное обеспечение, функционирующее в режиме реального времени и предназначенное для решения задач контроля и управления, осуществляемого с участием оператора:

- обмен данными с программируемыми логическими контроллерами в режиме реального времени через драйверы ввода-вывода информации;
- вторичная обработка информации в режиме реального времени;
- логическое управление;
- отображение информации на мониторе диспетчера (оператора) в удобной и доступной для восприятия форме;
- ведение базы данных (БД) реального времени с технологической информацией;
- аварийная сигнализация и управление тревожными сообщениями;
- подготовка и генерирование отчетов о ходе технологического процесса;

- обеспечение связи с автоматизированной системой управления (АСУП).

Одной из наиболее популярных SCADA-систем является GENESIS32, разработанная фирмой Iconics. Она реализована на платформе Microsoft Windows и предназначена для индустриальных систем, включающих разнородное оборудование: исполнительные механизмы, аппаратуру, регистрирующую и обрабатывающую информацию, рабочие места операторов, серверы БД и т.д. [1]. Идеология построения GENESIS32 основана на стандарте OPC (от англ. Object Linking and Embedding for Process Control, технология связывания и внедрения объектов в другие документы и объекты), который является наиболее общим способом организации взаимодействия между различными источниками и приемниками данных, такими как логические контроллеры, БД и системы визуализации информации. OPC обеспечивает интерфейс между источниками данных (серверами) и получателями данных (клиентами). При этом приложения, соответствующие спецификациям, выработанной для клиента OPC, могут обмениваться данными с устройствами любого производителя. Большинство

ведущих производителей аппаратных средств для промышленной автоматизации в настоящее время поставляют OPC-совместимые драйверы для своих устройств сбора данных и управления, в то время как все известные разработчики SCADA-систем в той или иной степени уже встроили поддержку спецификации OPC в свои продукты. Высокий уровень сетевого сервиса в пакете GENESIS32 обеспечивается технологией GenBroker, созданной для построения устойчивых сетевых соединений и использованием протоколов TCP/IP и SOAP/XML, обеспечивающих возможность взаимодействия через Internet/Intranet.

Система предоставляет графический объектно-ориентированный редактор GraphWorX32 с мощным набором анимационных функций и встроенной библиотекой символов технологической графики. Используемая векторная графика дает возможность осуществлять широкий набор операций над выбранным объектом, а также быстро обновлять изображение на экране, используя средства анимации. Система является открытой и унифицированной, что позволяет подключать к ней внешние, независимо разработанные компоненты, в которых реализованы необходимый интерфейс и требуемые форматы данных. Программный пакет GENESIS64 совместим с 64-битовыми компьютерными платформами [2]. В пакете реализован ряд новых технологий, в том числе аппаратная поддержка графических 3D-приложений, что позволяет разрабатывать программное обеспечение для визуализации 2D- и 3D-графики в режиме реального времени.

Таким образом, система мониторинга, удовлетворяющая современным требованиям автоматизации, должна быть масштабируемой и обеспечивать взаимодействие с разнородным оборудованием за счет использования унифицированных интерфейсов и стандартов обмена данными, а также иметь дружелюбный пользовательский интерфейс и наглядно представлять входные данные, что обеспечивается развитым модулем для визуализации графики, поддержкой объектно-ориентированного и многоуровневого представления данных.

SCADA-система может состоять из независимых функциональных модулей, например из станции сбора и обработки производственных данных (SCADA-серверы) и станции мониторинга (SCADA-клиенты). В данной работе рассматриваются вопросы построения станции мониторинга за работой производственного объекта. В качестве примера приведена система мониторинга некоторой станции метрополитена. Разрабатываемая система мониторинга должна быть унифицированной, высокопроизводительной, иметь открытые внутренние механизмы работы и открытую структуру БД, что позволит использовать ее как модуль для больших систем автоматизации.

Универсальная аппаратная платформа системы мониторинга: датчики, коммуникационная среда и устройства обработки сигналов

Эффективность систем управления в значительной степени зависит от выбора аппаратно-программной платформы, в которой должны быть задействованы объекты управления и мониторинга, исполнительные механизмы, аппаратура, регистрирующая и обрабатывающая информацию, рабочие места операторов, серверы БД.

Тем не менее современные системы мониторинга ограничивают выбор аппаратуры нижнего уровня. Главным образом, существуют ограничения на ввод и обработку данных большого объема от сложных датчиков типа систем технического зрения (СТЗ). Большинство SCADA-систем, включая GENESIS64, рассчитаны на отображение и обработку данных от простых датчиков типа давления, температуры, ориентации и т.д., в то время как многие роботизированные процессы, например автономный контроль качества выпускаемой продукции, требуют неразрушающего контроля с элементами распознавания образов.

Однако разработка собственной масштабируемой и распределенной системы мониторинга с широкими сетевыми каналами связи часто экономически нецелесообразна (например, для надежной передачи видеопотока без сжатия с частотой в 25 Гц, где размер кадра 16-битного изображения 2048×2048, требуется канал связи шириной не менее 2 Гб/с). Поэтому в условиях наличия готовых отработанных решений эффективно использовать автономную СТЗ, которая подключается к системе мониторинга типа GENESIS через стандартный интерфейс (например, RS-485) и передает уже обработанные данные малого объема о результате распознавания, такие как тип объекта, его размеры, яркость, телеметрия и другие атрибуты, необходимые для автоматического принятия решения и контроля целевого процесса. По RS-485 возможна и обратная связь с СТЗ, например, для управления режимами съемки или подсветки области наблюдения.

Решение задачи интеграции СТЗ с готовой SCADA-системой типа GENESIS заключается прежде всего в разработке унифицированной аппаратно-программной платформы СТЗ, которая позволит применять любое количество цифровых камер с использованием узких каналов обмена данными за счет выполнения операций цифровой обработки сигналов и распознавания образов непосредственно внутри видеокамер и/или подключенных к ним автономных вычислителей (терминалов). Известно, что большинство производителей цифровых камер делают их по принципу датчик-дисплей, который не обеспечивает встроенную обработку сигналов и возможность удаленного управления

режимами съемки. Полноценная же СТЗ предусматривает встроенную обработку, управление и анализ видеопотока.

Примером отработанной для промышленного применения СТЗ является отечественная платформа цифровых камер RT-XDC производства «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ» [3, 4]. Схема использования цифровых камер в рамках SCADA-системы изображена на рис. 1: видеопоток, сформированный цифровой камерой, после первичной аппаратной обработки (например, фильтрации и коррекции сигнала) подается на терминал по скоростному короткому (до 100 м) каналу передачи данных, например CoaXpress с пропускной способностью до 6,25 Гб/с. В этом терминале на процессорах выполняются операции вторичной обработки изображений (выделение контуров, сегментация областей интереса и т.д.), затем распознавание образов, после чего результат анализа в виде вектора признаков передается по стандартным каналам связи SCADA-системы, который впоследствии визуализируется на автоматизированном рабочем месте (АРМ) оператора.

Ключевые преимущества платформы RT-XDC:

- простота и надежность конструктива модуля фотоприемника цифровых видеокамер, которые состоят из двух печатных плат: фотоприемника и платы обработки с интерфейсами и вторичным источником питания со схемой плавного запуска;
- низкое энергопотребление и сведение к минимуму собственных шумов для получения сигнала максимального качества за счет отработанных схемотехнических решений и применения современной элементной базы;
- использование различных фотоприемных матриц без изменения схемотехнического решения при их совместимости по выводам и сигналам

(меняется только микропрограмма для программируемой логической интегральной схемы, ПЛИС). В случае несовместимости матриц фактически меняется только первая плата фотоприемника, что позволяет выполнить новую разработку в минимальные сроки с низкой трудоемкостью;

- встроенный видеопроцессор на базе ПЛИС с оперативной памятью до 256 МБ для встроенной цифровой обработки сигналов;
- скоростной цифровой интерфейс CoaXpress, ориентированный на передачу видеопотока в реальном масштабе времени по меди (до 100 м) или оптоволокну (до 15 км). Также по CoaXpress передаются сигналы управления цифровой камерой, например, для регулировки электронного затвора. Передача видеопотока осуществляется на унифицированную интерфейсную плату типа RT-650CXP [5], которая по шине PCI-e отправляет данные в терминал обработки.

Таким образом, концепция обмена результатами конечной обработки сигналов в рамках предлагаемой аппаратной платформы позволяет успешно интегрировать любое необходимое количество СТЗ в SCADA-систему.

Унифицированное программное решение задачи мониторинга

Программная часть предлагаемого решения задачи мониторинга реализована на широко известной программной платформе.NET компании Microsoft. Платформа.NET внедрена в мощную по возможностям среду разработки Microsoft Visual Studio, совместима с операционной системой Microsoft Windows и предлагает наиболее полные и легко наращиваемые средства для разработки

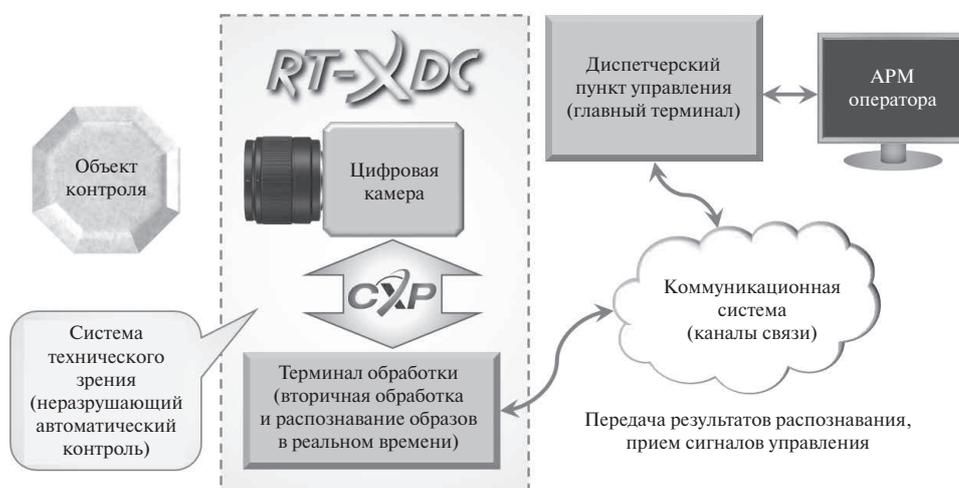


Рисунок 1. Схема интеграции системы технического зрения в рамках платформы RT-XDC и SCADA-системы

человеко-машинного интерфейса с использованием набора программных библиотек WPF версии 4.5 и выше, что позволяет реализовать мультиоконное многопоточное приложение, оперативно взаимодействующее с 3D-графикой.

Для автоматизированного рабочего места оператора очень важны характеристики графического пользовательского интерфейса, что является дополнительным фактором в пользу выбора программной платформы .NET, которая позволяет разрабатывать с высокой эффективностью векторные оконные графические интерфейсы, удовлетворяющие современным требованиям по эргономике. Последнее обеспечивается благодаря механизму привязки данных, поддержке стилей элементов управления и удобному графическому редактору среды разработки Visual Studio, позволяющему создавать на встроенном языке разметки XAML не только элементы управления произвольной формы и закрашки, но и векторные изображения, а также 3D-модели.

Представленное программное решение позволяет загружать с помощью готового бесплатного пакета библиотек с открытым исходным кодом HelixToolkit [6] произвольные 3D-модели широко распространенных форматов *.obj, *.objz, *.stl, *.lwo, *.off, предварительно логически разделенные

на объекты, которые подвергаются сегментации по нажатию курсора мыши: в случае успешной проверки на нажатие при попадании курсора в видимую область объекта происходит его выделение и отображаются информационные поля, отвечающие типу выделенного объекта.

Работа системы рассматривается на примере задачи визуального мониторинга состояния станций Московского метрополитена, которая может быть решена с одним рабочим местом оператора, имеющим доступ к локальной сети данного предприятия. Внедрение подобной технологии позволило бы существенно повысить производительность труда и качество обслуживания, снизить накладные расходы.

Для эффективного решения общей абстрактной задачи визуального интерактивного мониторинга требуется отображение только тех данных, которые представляют интерес для оператора. Перспективным решением здесь представляется четырехуровневая навигация по объекту мониторинга, которая должна в себя включать уровень глобальной карты (сеть станций метро), уровень 3D-модели инфраструктуры (станция метро), уровень объектов 3D-модели (турникеты, эскалаторы, распределительные щиты, камеры наблюдения, часы и т.д.),



Рисунок 2. Реализация концепции четырехуровневой интерактивной навигации по сложному инфраструктурному объекту на примере Московского метрополитена: 1 – уровень глобальной карты, 2 – уровень 3D-модели, 3 – уровень объекта модели (выбранный пользователем объект), 4 – уровень атрибутов выбранного объекта

уровень атрибутов объектов (название, тип, информационные поля), что позволяет использовать данное программное решение для эффективного мониторинга промышленной инфраструктуры любой сложности (рис. 2).

На рис. 2 изображены окно с навигационной картой с метками для перехода между 3D-моделями станций (локаций) и основное окно приложения с моделью абстрактной станции (типа станции «Крылатское» – односводчатая мелкого заложения). Показания информационных полей выделенного объекта под именем «Рамка детектора № 1», на который указывает стрелка под цифрой 3 на рис. 2, не соответствуют реальным значениям и представлены для демонстрации возможностей отображения различных показателей выделяемых объектов. В качестве таковых могут выступать строки, целые и вещественные числа, вектора значений, растровые или векторные изображения, данные в формате даты, времени или денежном формате, логические флаги (да/нет), отвечающие за статус объекта.

Рис. 2 наглядно демонстрирует возможности используемой графической библиотеки на базе платформы.NET в поддержке свойств материалов, освещения и текстурирования объектов. Также имеется возможность работы программы на сенсорных планшетах и мониторах.

В рамках предлагаемого программного решения атрибуты выделяемого объекта могут обновляться как самостоятельно вручную оператором с автоматической проверкой и исправлением, согласно его

типу, так и автоматически, если им отвечают входные сигналы от реальных устройств и датчиков, подключенных к системе мониторинга.

Универсальность программного решения обусловлена следующими факторами:

- загрузка произвольных изображений навигационных карт с заданием меток, по которым можно интерактивно вызвать необходимые 3D-модели;
- загрузка произвольных 3D-моделей широко используемых форматов;
- поддержка сенсорного управления;
- возможность для пользователя в режиме администратора создавать собственные типы объектов и редактировать структуру БД на основе широкого набора базовых типов данных, что позволяет применять разработанное программное обеспечение для очень широкого спектра задач мониторинга (рис. 3).

Особенности структуры базы данных для универсальной системы мониторинга

Классические реляционные БД по-прежнему имеют наиболее широкое распространение. В этом ключе иерархические данные могут быть представлены и в реляционном виде, однако подобное представление потребует большого количества таблиц, которое соответствует числу пользовательских типов, что замедлит выборку данных в базе и добавление новых элементов, так как для соблюдения целостности данных необходимо проверять каждую таблицу на уникальность имен объектов. В противном случае (одна таблица для всех объектов) придется пожертвовать памятью, выделенной под пустые ячейки.

Структуру данных по каждой 3D-модели можно наглядно представить в виде трех таблиц: таблицы типов (табл. 1, соответствует реализации классов в объектно-ориентированном программировании (ООП)), таблицы устройств (табл. 2) и таблицы объектов (табл. 3, в терминах ООП отвечает за создание экземпляров реализованных классов и заполнение их информационных полей).

Поэтому более эффективной представляется иерархическая или сетевая (в виде графа), а не табличная организация данных в системе мониторинга. Из существующих решений для хранения информации с такой организацией лучше всего подходят объектно-ориентированные СУБД.

На сегодняшний день одной из самых популярных объектно-ориентированных СУБД является библиотека DB4O (Data Base for Objects – БД для объектов) [7], для которой существуют версии для языков Java и C# платформы NET. Таблицам в DB4O соответствуют объекты, а записям – экземпляры объектов. Также могут создаваться структурированные

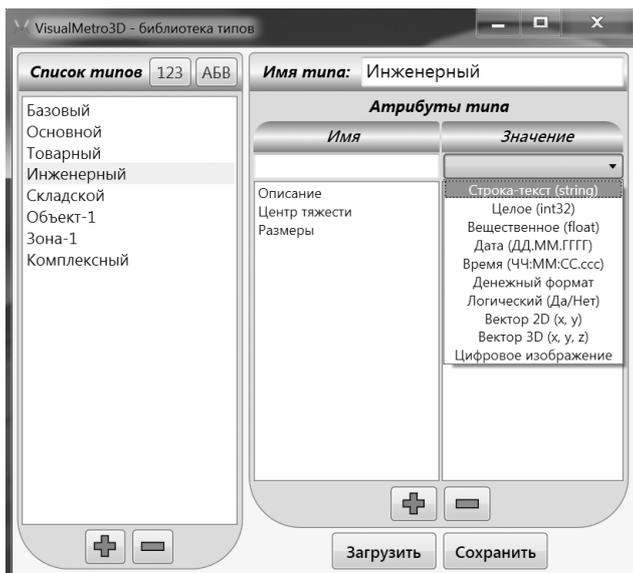


Рисунок 3. Редактор библиотеки допустимых типов объектов – структуры базы данных – обеспечивает возможность вывода только существенной информации пользовательского типа с любым количеством атрибутов

Таблица 1. Пользовательские типы для описания 3D-модели

Уникальное имя типа	Число атрибутов	Имя атрибута	Тип атрибута	Имя атрибута	Тип атрибута	...	Имя атрибута	Тип атрибута
Базовый	0	–	–	–	–	...	–	–
Основной	1	Описание	Строка (string)	–	–	...	–	–
Товарный	2	Описание	Строка (string)	Стоимость	Денежный формат	...	–	–
...
Комплексный	10	Описание	Строка (string)	Количество	Целый (Int32)	...	Снимок	Строка-путь к файлу (string)

Таблица 2. Устройства, привязанные к атрибутам объектов 3D-модели

Уникальное имя объекта	Драйвер внешнего устройства	Число связанных атрибутов	Атрибут 1	Атрибут 2	...	Атрибут N
Часы № 1	clock_driver_1	1	Время	–	...	–
Часы № 2	clock_driver_2	1	Время	–	...	–
...
Рамка детектора № 1	detector_drv_1	2	Статус	Снимок	...	–
Рамка детектора № 2	detector_drv_2	2	Статус	Снимок	...	–

Таблица 3. Объекты 3D-модели

Уникальное имя объекта	Тип объекта	Имя атрибута	Значение атрибута	Имя атрибута	Значение атрибута	...	Имя атрибута	Значение атрибута
–	Базовый	–	–	–	–	...	–	–
Табличка № 1	Основной	Описание	Станция метро «Крылатское»	–	–	...	–	–
Рамка детектора № 1	Комплексный	Описание	Металлодетектор	Количество	1	...	Снимок	D:/База/Крылатское/датчик01.png
...
Часы № 1	Часы	Время	12:34:56	–	–	...	–	–
Часы № 2	Часы	Время	12:34:56	–	–	...	–	–

объекты, содержащие ссылки на другие объекты. В DB4O поддерживается набор стандартных операций CRUD (create, read, update, delete – «создать, прочесть, обновить, удалить») над структурированными объектами. При написании запросов DB4O позволяет использовать механизм наследования. Также DB4O предоставляет возможность копирования данных в реляционные СУБД. В рамках данной парадигмы для отечественной САПР Delta Design [8] была разработана сетевая многопользовательская СУБД IPR, которая обеспечивает высокоскоростной доступ к информации и использует объектный язык запросов, похожий на SQL.

Выводы

Практически важным результатом проделанной работы является готовое универсальное решение на базе отработанных технологий нескольких ведущих компаний, занимающихся созданием аппаратуры и программного обеспечения для систем мониторинга. Полученное решение позволяет эффективно и с минимальными затратами на повышение пропускной способности коммуникационной сети использовать в SCADA-системах полноценное техническое зрение с распознаванием образов, которое необходимо современным роботизированным предприятиям.

Тем не менее некоторые аспекты разработки программного обеспечения требуют дополнительного исследования, поэтому в настоящее время

проводятся работы по апробации предложенной концепции четырехуровневой иерархии на реальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швецов Д. SCADA-система GENESIS32 в сквозной автоматизации производства [Электронный ресурс] // ИСУП. 2007. № 4 (16). URL: <http://isup.ru/articles/2/243> (дата обращения: 21.02.2019).
2. GENESIS64: пакет для создания систем управления технологическими процессами и визуализации систем управления предприятия любого уровня на 64-битовых платформах. [Электронный ресурс]. URL: <https://asutp.prosoft.ru/products/types/324229/324230/457736.html> (дата обращения: 21.02.2019).
3. РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ. Особенности цифровых камер на платформе RT-XDC [Электронный ресурс]. URL: <http://rastr.net/product/digit-cam/rt-xdc-platform.html> (дата обращения: 21.02.2019).
4. Универсальная аппаратно-программная платформа цифровых видеокамер / А. В. Бондаренко, М. А. Бондаренко, И. В. Докучаев, М. Г. Князев, К. А. Ядчук. Труды XXIV Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. М.: АО «НПО «Орион», 2016. С. 229–232.
5. РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ. RT-650СХР: прием данных от цифровых камер унифицированной платформы RT-XDC [Электронный ресурс]. URL: <http://rastr.net/product/digit-cam/controller/rt-650cxr.html> (дата обращения: 21.02.2019).
6. HelixToolkit Release 2015.1: библиотека для работы с 3D графикой на платформе.NET, документация и техническое описание [Электронный ресурс]. URL: <https://media.readthedocs.org/pdf/helix-toolkit/latest/helix-toolkit.pdf> (дата обращения: 21.02.2019).
7. Ньюпорт Т. Путеводитель по db4o для Java-разработчика. Введение и общий обзор возможностей [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/j-db4o1> (дата обращения: 21.02.2019).
8. Корнильев Е., Попов С. Delta Design – новое решение на отечественном рынке САПР электроники // Современная электроника. 2015. № 8. С. 7680.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бондаренко Максим Андреевич, к.т.н., зам. начальника лаборатории Киберфизических систем и искусственного интеллекта, АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М. А. Карцева», Российская Федерация, 117437, Москва, ул. Профсоюзная, д. 108, тел.: 8 (910) 401-81-09, e-mail: max.bond@bk.ru.

Бондаренко Андрей Викторович, генеральный директор, ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», Российская Федерация, 117593, Москва, Соловьиный проезд, д. 4, к. 1, офис 152, тел.: 8 (495) 425-73-26, e-mail: rastermsk@gmail.com.

Бененсон Михаил Залманович, к.т.н., главный научный сотрудник, АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М. А. Карцева», Российская Федерация, 117437, Москва, ул. Профсоюзная, д. 108, тел.: 8 (495) 3308148, e-mail: mz_ben@mail.ru.

For citation: Bondarenko M. A., Bondarenko A. V., Benenson M. Z. Hardware-software platform of industrial monitoring. Voprosy radioelektroniki, 2019, no. 5, pp. DOI

M. A. Bondarenko, A. V. Bondarenko, M. Z. Benenson

HARDWARE-SOFTWARE PLATFORM OF INDUSTRIAL MONITORING

The paper describes basic requirements for a modern supervisory control and data acquisition system (SCADA), in particular for monitoring systems of complex industrial facilities. It is known that many robotic processes require non-destructive testing with pattern recognition elements within a common monitoring system. On the widely used GENESIS64 SCADA example, it is considered a solution based on the hardware and software platform RT-XDC of RASTER TECHNOLOGY digital cameras, allowing to integrate into the system of this class any set of complex sensors such as digital cameras that support standard interfaces, built-in processing and data analysis. In addition, it is proposed the hierarchical model of complex objects monitoring and the universal way of its representation on the Moscow metro station network example, which includes four levels: the model map level, the model level, the model objects level and the level of their attributes. The considered data structure, which have to operate in solving the common monitoring task, make a choice in favor of object-oriented databases application like IPR, used in Delta Design CAD. The results were obtained during the development of experimental software that allows visualizing 3D models and displaying information about the selected object in the form of any predetermined structures.

Keywords: automatization systems, industrial monitoring, SCADA, technical vision, programmable digital cameras, non-destructive testing

REFERENCES

1. Shvetsov D. SCADA GENESIS32 through automation. *ISUP*, 2007, no. 4 (16). (In Russian). Available at: <http://isup.ru/articles/2/243> (accessed 21.02.2019).

2. GENESIS64: package for creation of process control systems and enterprise management systems visualization of any level on 64-bit platforms. (In Russian). Available at: <https://asutp.prosoft.ru/products/types/324229/324230/457736.html> (accessed 21.02.2019).
3. Raster Technology Co. Ltd. Features of digital cameras on the platform RT-XDC (In Russian). Available at: <http://rastr.net/product/digit-cam/rt-xdc-platform.html> (accessed 21.02.2019).
4. Bondarenko A. V., Bondarenko M. A., Dokuchaev V. I., Knyazev M. G., Yachuk K. A. Universal hardware-software platform for digital cameras. (Conference proceedings) XXIV International scientific and technical conference on photoelectronics and night vision devices. Moscow, JSC NPO Orion, 2016, pp. 229–232. (In Russian).
5. Raster Technology Co. Ltd. RT-650CXP digital interface for unified platform RTXDC. (In Russian). Available at: <http://rastr.net/product/digit-cam/controller/rt-650cxp.html> (accessed 21.02.2019).
6. HelixToolkit Release 2015.1: 3D graphics library on the.NET platform, documentation and technical description. Available at: <https://media.readthedocs.org/pdf/helix-toolkit/latest/helix-toolkit.pdf> (accessed 21.02.2019).
7. Newport T. Guide to db4o for Java developer. Introduction and overview of features. Available at: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/j-db4o1> (accessed 21.02.2019).
8. Kornilev E., Popov S. Delta Design – a new solution in the domestic market of CAD electronics. *Sovremennaya elektronika*, 2015, no. 8, pp. 76–80. (In Russian).

AUTHORS

Bondarenko Maxim, Ph. D., deputy chief of Cyberphysical systems and artificial intelligence laboratory, M. A. Kartsev Computing System Research and Development Institute (NIIVK, JSC), 108, Profsoyuznaya, Moscow, 117437, Russian Federation, tel.: +7 (910) 401-81-09, email: max.bond@bk.ru.

Bondarenko Andrey, general director, Raster Technology Co. Ltd, 4-1-152, Solovinyi passage, Moscow, 117593, Russian Federation, tel.: +7 (495) 425-73-26, e-mail: rastermsk@gmail.com.

Benenson Mikhail, Ph. D., assistant professor, leading researcher, M.A. Kartsev Computing System Research and Development Institute (NIIVK, JSC), 108, Profsoyuznaya, Moscow, 117437, Russian Federation, tel.: +7 (495) 3308148, e-mail: mz_ben@mail.ru.