

## СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ НА ПЕРИФЕРИЙНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Митхун П. Ачарья, Миррасул Дж. Мусави (Компания ABB)

Цифровые двойники на базе облачных платформ сегодня уже широко применяются и приносят ощутимую пользу. Вместе с тем размещение предварительно обученного в облаке цифрового двойника на периферийном устройстве является новым применением систем искусственного интеллекта и позволяет решать производственные задачи с обработкой данных в реальном времени вне облака. Показаны преимущества такого решения. Приведены практические примеры.

Ключевые слова: искусственный интеллект, облачные технологии, цифровой двойник, моделирование, периферийные устройства, реальное время.

Цифровой двойник — это цифровой образ физического объекта (физического двойника), программный аналог физического устройства, моделирующий внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта в условиях воздействия помех и окружающей среды. Цифровые двойники постоянно обновляются вслед за изменением физических прототипов [1, 2].

В зависимости от конкретного применения для одного актива, процесса или системы может быть создано несколько цифровых двойников, которые в том числе могут быть использованы при проектировании различных приложений реального времени, например, для работы с периферийными вычислениями и средствами аналитики. Под периферийными вычислениями будем понимать вычисления, реализуемые в пограничных шлюзах, КИП и контроллерах, установленных на территории заказчика.

### Цифровой двойник на периферийных устройствах

Традиционно цифровой двойник — это самообучаемая модель, которая обычно расположена в облаке; получает эксплуатационные данные от полевых устройств и информацию об окружающей среде; осуществляет машинное обучение (адаптацию) модели. Построенный таким образом цифровой двойник используется для анализа уже реализованных технологических операций и процессов, проигрывания раз-

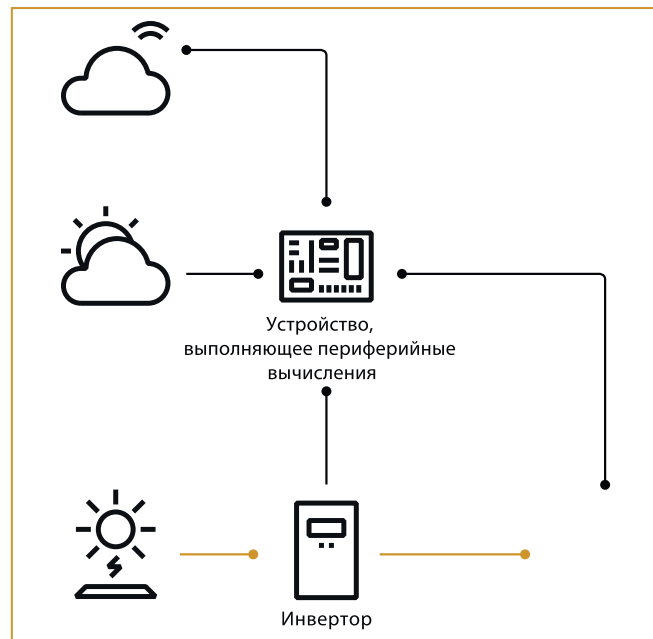


Рис. 2. Периферийные вычисления для мониторинга работы преобразователей тока солнечных батарей

личных вариантов управления по текущему процессу, а также прогнозирования протекания технологических процессов в будущем. Одним из примеров применения цифрового двойника является прогнозное обслуживание физического актива.

Идея перенесения цифрового двойника из облака на процессор окончательно (периферийного) устройства имеет свои серьезные преимущества.

Периферийные устройства в прошлом использовались в основном для сбора данных и базовых вычислений. Сегодня с развитием периферийных вычислений эти устройства способны выполнять сложные вычисления и использовать средства аналитики, что позволяет принимать решения оперативно и по месту. Размещение цифрового двойника на процессоре периферийного устройства позволяет создавать приложения, использующие технологии искусственного интеллекта в реальном времени, благодаря следующим причинам:

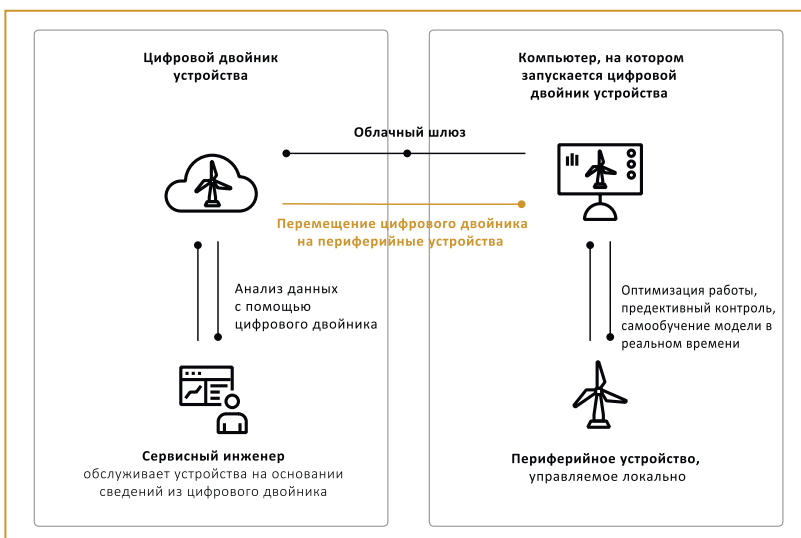


Рис. 1. Перемещение цифровых двойников из облака на периферию

— снижение временной задержки при передаче данных. В некоторых случаях задержки, связанные с передачей данных в облако и обратно на периферию, недопустимы. Если цифровой двойник в периферийном устройстве обнаружил или прогнозирует опасность в работе устройства или программы, защитные операции могут активизироваться за долю секунды;

— интеграция средств аналитики и локального управления. Аналитические расчеты, реализуемые в цифровом двойнике, могут инициировать команды местного управления, и наоборот. Это приводит к возможности автономной работы на периферии. Например, прогнозируемая критическая аномалия может быть предотвращена без вмешательства человека;

— оперативное обучение двойника. Используя данные от периферийного устройства и от окружающей среды, цифровой двойник сможет обучаться и развиваться постоянно. Это позволяет оптимизировать работу систем и самонастраивающихся устройств. Например, подключенное к сети энергетическое устройство может получать от своего периферийного цифрового двойника значения оптимальных эксплуатационных или контрольных параметров для достижения максимальной производительности без нарушения стабильности сети.

Реализация цифрового двойника на периферии вместо облака также имеет ряд коммерческих преимуществ:

- снижение расходов на облачный хостинг. Передача всех данных для хранения и анализа в облако может быть дорогостоящей;
- в результате предварительной обработки информации уменьшается объем данных, передаваемых в облако;
- не требуется отправлять в облако конфиденциальные данные;
- повышение отказоустойчивости системы. Аналитика может выполняться даже при отключении цифрового двойника от облака.

Ниже представлены три примера, иллюстрирующие новые возможности, которые предоставляет разрывание цифрового двойника на периферии.

#### Отслеживание параметров солнечных элементов в режиме реального времени для повышения надежности сети

Интеллектуальные преобразователи тока солнечных батарей могут выполнять дополнительные функции, например, регулировать напряжение и частоту, корректировать коэффициент мощности и управлять

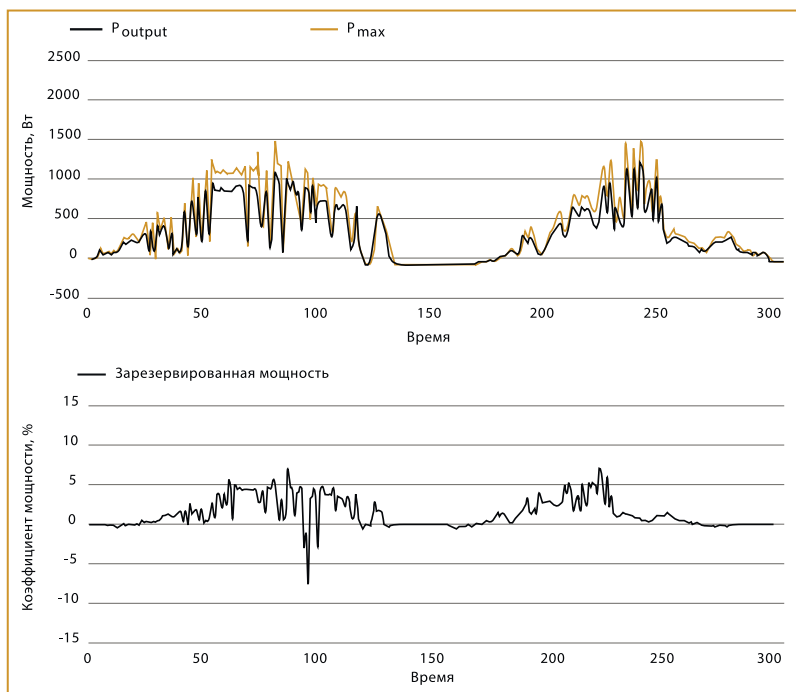


Рис. 3. Регулирование параметров работы преобразователя тока в режиме обслуживания сети. Отрицательное значение резерва около  $t = 96$  является результатом сбора данных

реактивной мощностью. Такие расширенные функции сглаживают колебания, возникающие в результате подключения к сети возобновляемых источников энергии потребителей. Для реализации возможностей интеллектуального управления необходимо сократить выходную мощность преобразователя тока примерно на 10%, и обеспечить таким образом резерв для регулирования по требованию.

Ключом к поддержанию необходимого диапазона регулирования и сокращения производительности является расчет доступной пиковой мощности (ДПМ). Определение и передача этой величины выполняются в каждом цикле управления (обычно < 4 с). Алгоритм расчета ДПМ учитывает параметры солнечного излучения, характеристики тока и напряжения фотоэлектрического модуля, температуру панели, КПД преобразователя тока и другие переменные. Точность расчета ДПМ имеет решающее значение для эффективного регулирования фотоэлектрического оборудования, особенно при повышении регулируемой мощности.

Приложения машинного обучения, функционирующие в облаке, используют исторические данные по всему парку инверторов для создания их моделей. На основе этих моделей на преобразователях тока АВВ для солнечных батарей разворачиваются цифровые двойники, обеспечивающие периферийные вычисления и анализ данных по требованию, в режиме реального времени и при постоянном взаимодействии с облаком.

Для иллюстрации применения цифрового двойника периферийного устройства для расчета выходной

мощности преобразователя тока мощностью 2,5 кВт в реальном времени в среде Python была реализована демонстрационная модель. Она использовала данные, получаемые от солнечной электростанции и периферийного вычислительного устройства, аналогичного одноплатному компьютеру Raspberry Pi.

На рис. 3 показан гипотетический пример настройки преобразователя тока для сетевых служб. В этом случае выходные параметры преобразователя тока постоянно поддерживаются на 10% ниже ДПМ, что оставляет место для повышения мощности. Ожидаемая мощность в любой момент времени рассматривается как ДПМ для данного времени. Полученная величина является опорным значением для следующего интервала отправки данных или контрольного интервала. При изменении мощности солнечного излучения выполняется перерасчет ДПМ, чтобы поддерживать достаточный резерв для локального управления преобразователем тока.

#### Физическая защита трансформатора в режиме реального времени

В этом примере для системы физической защиты большого силового трансформатора в облаке создается цифровой двойник, который потом используется локально для контроля физической безопасности трансформатора в режиме реального времени. Компания АBB разработала комплексный подход к обеспечению отказоустойчивости трансформаторов, который предусматривает обнаружение и оценку целостности оборудования в режиме реального времени.

Трансформатор оснащается тремя датчиками вибрации и одним акустическим датчиком, которые передают данные в облако, где создаются модели, способные разделять виды физического воздействия на трансформатор на умеренные и катастрофические.

Обученные модели, формирующие цифровой двойник системы физической защиты трансформатора, развертываются на периферии. Они получают показания датчиков о физических воздействиях

на трансформатор, отправляют в облако соответствующие отчеты и реагируют на события в режиме реального времени.

Потоковая аналитика подразумевает применение алгоритмов машинного обучения и других методов обработки данных к данным «в движении», позволяя мгновенно отвечать на воздействие и одновременно сокращать объем передаваемых данных. Такой подход отличается от традиционного анализа, когда данные оцениваются только после их сохранения.

Ключевой особенностью потоковой аналитики является скорость, с которой периферийный процессор принимает данные от датчика, выполняющего 52 тыс. выборки в секунду, и использует модель машинного обучения для получения требуемого результата. Передавать потоковые данные в облачную систему на такой скорости очень непросто. Приведенный пример иллюстрирует узкие места облачных технологий, затрудняющие работу в режиме реального времени.

В данном примере моделирование проводилось в среде Python. Модель была развернута на компьютере Raspberry Pi в качестве прокси-сервера для периферийного устройства с одноплатным компьютером.

Цель проекта заключалась в оценке работоспособности модели машинного обучения при обработке потока входящих данных. В модели использовалась следующая классификация воздействий: умеренное (например, над установкой пролетел самолет) или опасное (например, удар молотком).

В экспериментах, проводимых по данному сценарию, эффективность 8-ядерной виртуальной машины Linux (2,1 ГГц), которая выступала в роли прокси-сервера для высокопроизводительного пограничного шлюза, и 4-ядерной машины Raspberry Pi 3 (1,2 ГГц) модели В заметно отличалась. Кроме того, наблюдалось падение производительности системы при переходе от приема данных к оценке модели. Вполне вероятно, что после оптимизации кода производительность системы могла бы улучшиться. Тем не менее разрыв на порядок временной величины между



Рис. 4. Потоковая аналитика данных виброакустического датчика в системе физической защиты силового трансформатора

режимом сбора данных и анализа стал бы значительной помехой для задач, чувствительных к временным задержкам.

#### Оценка электрической системы полуавтономного завода

В данном примере в облаке на основе технологий распознавания изображений был создан цифровой двойник системы безопасности пищевой фабрики. Используя изображения (опасных и неопасных ситуаций), полученные на заводе ранее, в облаке проводилось обучение сверточных нейронных сетей автоматическому обнаружению электрических опасностей. Затем эти нейронные сети предполагалось развернуть на смартфонах операторов или в установленных в рабочем цеху видеокамерах для выявления опасностей в реальном времени.

Глубокое обучение давно известно и широко применяется в облачных сервисах, например, в алгоритмах обработки изображений и распознавания речи. Однако его реализация на периферии стала новаторским решением, особенно учитывая объем необходимых вычислений.

В данном случае в качестве категории опасности была принята коррозия, поскольку для предприятий пищевой промышленности это главная проблема. Для развития сетей глубокого обучения использовались банки данных компании ABB и библиотеки Google TensorFlow и Keras. Объемы и качество данных, используемых для обучения, значительно повлияли на точность результатов классификации. В наилучшем сценарии была достигнута точность 90%, что говорит о наличии потенциала для внедрения искусственного интеллекта. Для справки: эталонная точность распознавания изображений человеком составляет 95%.

В качестве демонстрационного оборудования использовался недорогой одноплатный компьютер

*Митхун П. Ачарья* — ведущий научный сотрудник, *Миррасул Дж. Мусави* — старший научный сотрудник Корпоративного исследовательского института ABB.  
E-mail: [mithun.acharya@us.abb.com](mailto:mithun.acharya@us.abb.com)

Raspberry Pi модель В. Модели глубокого обучения были разработаны на графическом процессоре и развернуты на компьютере Pi. В работе активно использовались библиотеки Python. Этот эксперимент доказал, что для облачных вычислений глубокое обучение не обязательно должно быть дорогим и эксклюзивным инструментом. Его применение на периферии вполне целесообразно и может дать толчок развитию систем, работающих с изображениями и другими высоко размерными данными. Главная задача состояла в том, чтобы продемонстрировать, что прошедшую обучение модель можно развернуть на периферии с приемлемыми затратами. Это достижение служит еще одним примером синергетического эффекта, возникающего при совместном использовании периферийных и облачных технологий в сфере анализа данных и машинного обучения.

#### Заключение

Хотя главная тема статьи — преимущества цифровых двойников периферийного исполнения, авторы не ставили цель противопоставить их облачным решениям, а рассказали о синергетическом потенциале обеих технологий. По мере развития периферийных вычислений следует ожидать, что цифровые двойники периферийного уровня найдут применение во многих сферах, включая интеллектуальные сети, интеллектуальные города, интеллектуальные заводы, робототехнику, Internet вещей и интеллектуальный транспорт.

#### Список литературы

1. Aaron Parrott, Lane Warshaw. Industry 4.0 and the digital twin technology . Deloitte Insights. 2017. May.
2. Jack Reid and Donna Rhodes. Digital system models: An investigation of the non-technical challenges and research needs // Conference on Systems Engineering Research, 2016.

#### «Инфосистемы Джет» повышает защищенность лесной индустрии

Компания «Инфосистемы Джет» завершила проект по модернизации системы обеспечения информационной безопасности группы Свеза — мирового лидера в производстве березовой фанеры. Результатом выполненных работ стало повышение уровня защищенности предприятия от сетевых атак.

Задача была продиктована необходимостью совершенствования системы защиты сетевых периметров бизнес-единиц группы Свеза для противостояния современным киберугрозам. В ходе проекта специалисты «Инфосистемы Джет» подключили межсетевые экраны нового поколения (NGFW), установленные на восьми территориально распределенных площадках предприятия, к системе централизованного управления.

Особенностью проекта стало проведение логического анализа сетевых взаимодействий и составление на его основе политик межсетевого экранирования, обеспечивающих прозрачность контроля трафика на каждой площадке.

Модернизированная система информационной безопасности обеспечивает надежную защиту предприятия от несанкционированного доступа к сетевым ресурсам и эксплуатации их уязвимостей, заражения программным обеспечением ботнетов, а также от передачи или доставки вредоносного ПО — не только известного, но и использующего атаки нулевого дня.

<http://www.sveza.ru> u [jet.su](http://www.jet.su)