

# 5G для «Индустрии 4.0»:

## новые функции, варианты развертывания и особенности тестирования

Технологии мобильной связи вышли далеко за пределы традиционных потребительских областей применения. Использование сетей 5G в промышленности интенсивно набирает обороты по всему миру. Часть спектра частот 5G уже зарезервирована для частных сетей в четырех странах — Франции, Германии, Японии и Великобритании. Еще 12 стран готовятся принять аналогичные решения [1].

Джесси Кавазос (Jessy Cavazos)

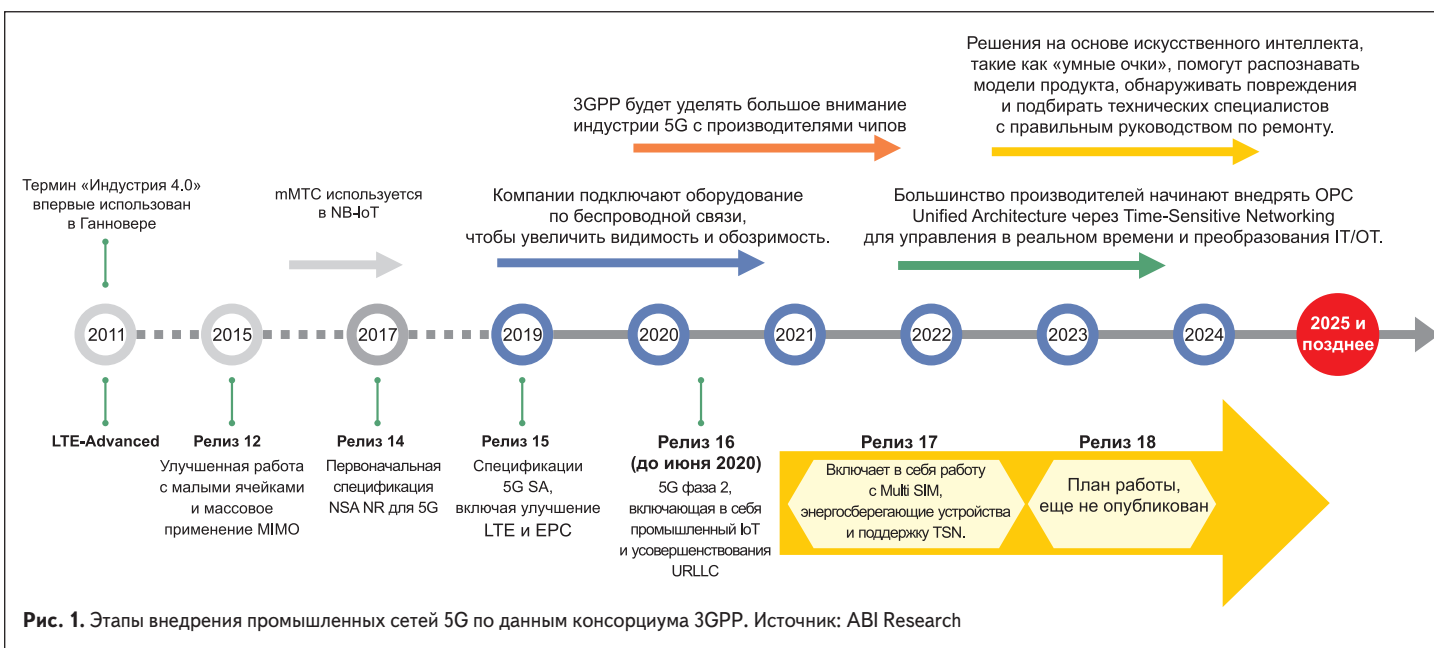
В последние несколько лет производители устройств и мобильные операторы активно разрабатывали сценарии использования сетей в рамках четвертой промышленной революции — «Индустрии 4.0» [2–4]. На этом новом этапе развития открылся целый ряд интересных областей применения технологий 5G:

- Оптимизация профилактического техобслуживания, которая потенциально позволит сократить время простоя оборудования приблизительно на 9%.
- Повышение точности контроля и мониторинга благодаря беспроводной передаче информации между датчиками и расширению диапазона движения механизмов.
- Развитие инструментов дополненной реальности и дистанционной консультации, позволяющих удаленно решать различные задачи и потенциально сократить время простоя оборудования на 25%.

- Дистанционное управление роботами с использованием логических контроллеров в среде высокопроизводительных вычислений.
- Использование автономных управляемых транспортных средств и автономных мобильных роботов, способных функционировать в неструктурированной среде благодаря сетям 5G.

В разработке сценариев промышленного использования 5G приняли участие различные отраслевые группы, среди которых лидирующее положение занимает 5G Alliance for Connected Industries and Automation (Альянс 5G для развития промышленных сетей и автоматизации, 5G-ACIA) [5, 6]. Первый релиз стандартов для сетей 5G, реализованный консорциумом 3rd Generation Partnership Project (3GPP), был ориентирован преимущественно на потребительский сектор, однако последующие релизы предлагали ряд расширенных возможностей для промышленной сферы (рис. 1). Новый релиз 16

Оригинал статьи был опубликован в Microwave Journal (www.microwavejournal.com).



устанавливает строгие требования к задержке передачи данных. Релиз 17 будет направлен на усиление интеграции инструментов 5G в сети, чувствительные к задержкам. Такая интеграция является ключевым фактором автоматизации производства.

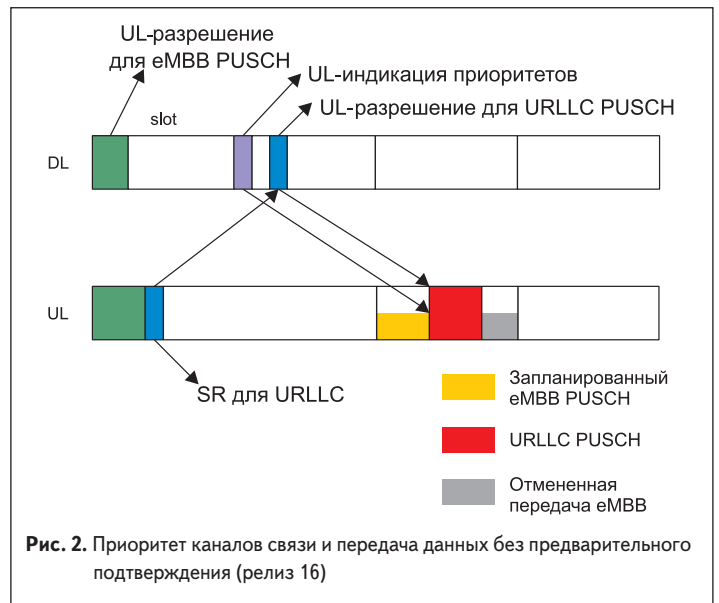
Требования к передаче данных со сверхнизкой задержкой впервые появились в релизе 15 и получили дальнейшее развитие в релизе 16. Повышение надежности предусматривает резервирование систем. Технология 5G основана на использовании большого количества антенн и дублированных каналов связи для обеспечения надежности подключения. Для передачи данных с максимальной скоростью и сверхнизкой задержкой необходимо уделить внимание разработке соответствующих интерфейсов. Релиз 16 предусматривает сокращение задержки в сетях 5G за счет использования некоторых новых функций, в том числе выбора приоритета и передачи данных без подтверждения (рис. 2). Функция выбора приоритета позволяет прерывать передачу данных и пропускать трафик с более высоким приоритетом. Эта функция реализуется на низком уровне стека связи и обеспечивает более эффективное предоставление услуг на более высоких уровнях. Передача данных без подтверждения предполагает отказ от сигнальных подтверждений, которые традиционно применяются в инфраструктуре связи при передаче данных с оборудования пользователя. Устройству может передавать данные по мере их поступления.

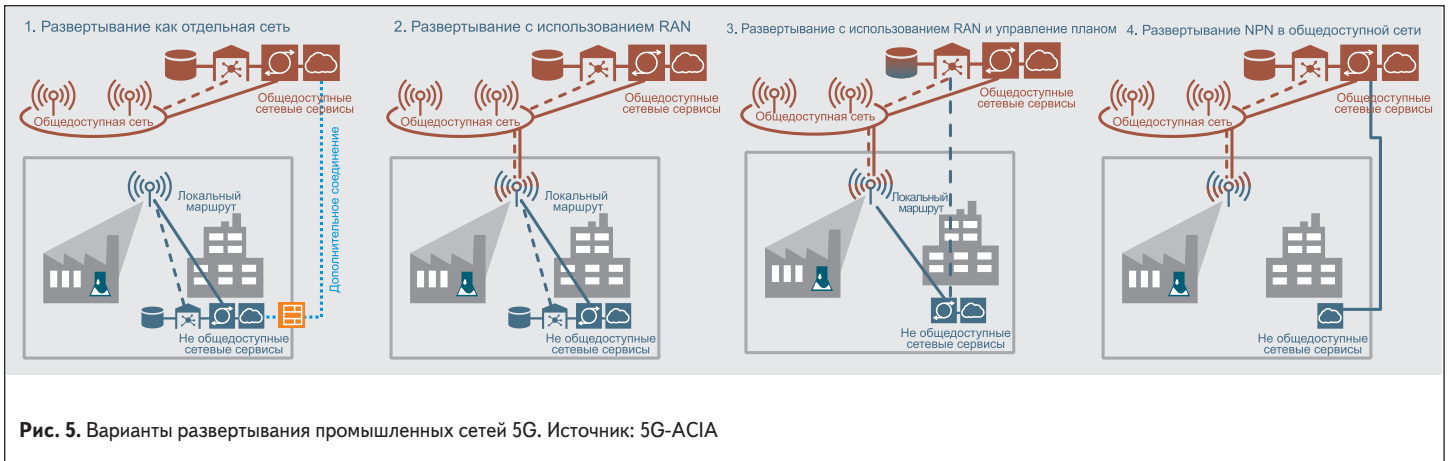
Высокая пропускная способность сетей 5G играет решающую роль во многих областях промышленного использования, например при дистанционном консультировании и при эксплуатации автономных управляемых транспортных средств, где требуется мгновенная передача потокового видео (рис. 3). Massive MIMO, модуляция высокого порядка и расширение полосы пропускания — основные технологии, обеспечивающие высокую пропускную способность сетей 5G. В технологии Massive MIMO реализуется одновременная передача данных с помощью массива антенн. Модуляция высокого порядка позволяет кодировать большее число битов с применением доступной части спектра. Наконец, использование более высоких частот позволяет расширить полосу пропускания.

Технология 5G реализована в некоторых промышленных процессах для обеспечения потоковой связи машинного типа. Например, профилактическое техобслуживание предусматривает применение инструментов машинного обучения (МО) и искусственного интеллекта (ИИ). Объемы и разнообразие данных напрямую влияют на эффективность алгоритмов МО и ИИ, поэтому технологии сбора информации с большого числа датчиков представляют интерес для производителей (рис. 4). Отсутствие кабелей также повышает гибкость, позволяя размещать датчики по всей производственной линии и даже создавать цифровые копии оборудования в целях перехода на новый уровень эффективности производства.

Развертывание сетей 5G в промышленной среде может осуществляться различными способами — от создания специальных автономных сетей ограниченного пользования (NPN) до внедрения разнообразных гибридных моделей с участием сетевых операторов (рис. 5). Сетевой оператор может размещать сеть ограниченного пользования на той же физической инфраструктуре, которая предназначена для общедоступных сервисов, с помощью технологии сегментирования сети, позволяющей операторам модифицировать сети в соответствии с потребностями конкретных клиентов. Некоторые гибридные модели используют инфраструктуру беспроводных сетей с радиодоступом вместо инфраструктуры периферийных вычислений. Все эти варианты по-своему влияют на концепции управления услугами и защиты данных. Выбор способа развертывания зависит от сценария эксплуатации и стратегии бизнеса. Как говорилось выше, некоторые страны уже зарезервировали части спектра исключительно для промышленных нужд, при этом в ряде других стран рассматриваются различные модели предоставления доступа к спектру для промышленных предприятий. Так, в Германии доступ к промышленному диапазону частот получили уже более 40 предприятий и организаций. Популярность спектра способствует росту интереса к сетям ограниченного доступа.

Развертывание промышленных сетей 5G в основном предусматривает замену относительно дорогостоящей инфраструктуры проводной связи на сложную систему с гладким взаимодействием различных инфраструктурных компонентов. Тестирование становится неотъемлемой частью жизненного цикла системы (рис. 6). Тестирование эффективности и безопасности перед развертыванием играет важную роль на уровне практических приложений. Для предотвращения будущих проблем необходимо перед внедрением новых функций моделировать различные типы





трафика, сетей и устройств. Автоматизация тестирования — ключевой фактор при добавлении новых устройств в систему, предусматривающий определение объема испытаний и наличие свободного диапазона частот на этапе разработки и планирования. В зависимости от сценария использования моделирование каналов и измерение их характеристик позволяют гарантировать эффективность работы сети в будущем.

Различные сценарии применения и нагрузки сетей используются в ходе развертывания и приемки с целью предварительного тестирования сетей в режиме передачи промышленного трафика, а также для моделирования различных сетевых сбоев, что позволяет лучше понять причины, от которых зависит эффективность работы сети в различных условиях. Перед установкой новых сетевых устройств настоятельно рекомендуется проверять их соответствие требованиям безопасности и эффективности. Основными задачами на этапе эксплуатации и оптимизации являются анализ спектра и сети, устранение неполадок и собственно оптимизация рабочих процессов. Параллельно необходимо внедрять решения для непрерывного мониторинга ключевых показателей эффективности (КПЭ). Повышенная значимость многих сценариев промышленного использования сетей 5G приводит к тому, что мониторинг КПЭ с точки зрения длительности задержек и безопасности становится важнейшим фактором успеха.

Принципы работы сетей 5G отличаются от более ранних технологий мобильной связи. Сети 5G обладают множеством атрибутов, каждый из которых представляет собой качественный скачок по сравнению с возможностями предыдущих поколений. Эти атрибуты позволяют распространить технологии 5G на промышленные области приме-

нения, что приведет к масштабным изменениям облика индустрии и появлению новых задач, требующих глубокого понимания технологий беспроводной связи. Это начало увлекательнейшего пути для инженеров-разработчиков и тестировщиков. ■

### Литература

1. Ericsson Mobility Report June 2020. [www.ericsson.com/en/mobility-report/reports/june-2020](http://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports/june-2020).
2. Platform Industrie 4.0. Corona and the Consequences, June 2020. [www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Corona\\_Thesen.html](http://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Corona_Thesen.html).
3. ABI Research and Ericsson. Unlocking the Value of Industry 4.0. October 2019. [www.ericsson.com/4aa865/assets/content/dafdcc983d4f4ecc9787d88dd6ad4ce7/unlocking-the-value-of-industry-4.0---cr-eric-106.pdf](http://www.ericsson.com/4aa865/assets/content/dafdcc983d4f4ecc9787d88dd6ad4ce7/unlocking-the-value-of-industry-4.0---cr-eric-106.pdf).
4. STL Partners and Huawei. 5G's Impact on Manufacturing: \$740BN of Benefits in 2030. October 2019. [www.carrier.huawei.com/~media/CNGBV2/download/program/Industries-5G/5G-Impact-on-Manufactureing.pdf](http://www.carrier.huawei.com/~media/CNGBV2/download/program/Industries-5G/5G-Impact-on-Manufactureing.pdf) STL Partners/.
5. 5G-ACIA. Key 5G Use Cases and Requirements. May 2020. [www.5g-acia.org/fileadmin/5G-ACIA/Publikationen/5G-ACIA\\_White\\_Paper\\_Key\\_5G\\_Use\\_Cases\\_and\\_Requirements/Key\\_5G\\_Use\\_Cases\\_and\\_Requirements\\_DOWNLOAD.pdf](http://www.5g-acia.org/fileadmin/5G-ACIA/Publikationen/5G-ACIA_White_Paper_Key_5G_Use_Cases_and_Requirements/Key_5G_Use_Cases_and_Requirements_DOWNLOAD.pdf).
6. 5G-ACIA. 5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios. July 2019. [www.5g-acia.org/fileadmin/5G-ACIA/Publikationen/5G-ACIA\\_White\\_Paper\\_5G\\_for\\_Non-Public\\_Networks\\_for\\_Industrial\\_Scenarios/WP\\_5G\\_NPN\\_2019\\_01.pdf](http://www.5g-acia.org/fileadmin/5G-ACIA/Publikationen/5G-ACIA_White_Paper_5G_for_Non-Public_Networks_for_Industrial_Scenarios/WP_5G_NPN_2019_01.pdf).

