

Раздел 7.

Построение и организация связи беспроводных сетей 5G и протокол сенсорных сетей MQTT

Лектор :

проф. кафедры ССС ПГУТИ,

д.т.н. Гребешков А.Ю.

Самара
2021 год

7.1 Основы построения сетей связи поколения 5G/IMT-2020

Источник:

<https://digital.gov.ru/uploaded/files/kontseptsiya-sozdaniya-i-razvitiya-setej-5g-imt-2020.pdf>

Увеличение пропускной способности сети (рост скорости передачи данных в 10-100 раз в расчете на абонента до 10 Гбит/с (DL) и до 5 Гбит/с (UL))

Обеспечение роста потребляемого трафика в расчете на 1 абонента (рост в 1000 раз) –до 500 Гб на пользователя в месяц;-

Увеличение количества подключаемых абонентских устройств в соте в 10-100 раз -до 300000 на узел и до 1 миллиона устройств на 1 км²;

Уменьшение сквозной задержки передачи данных в сети с 10 мс до 1 мс

Многократное увеличение времени автономной работы абонентских устройств с небольшим энергопотреблением, таких как сенсоры IoT/M2M/D2D –до 10 лет

Снижение стоимости эксплуатации и энергопотребления сетей 5G/IMT-2020 до 10 раз по сравнению с сетью 4G

Услуги на основе голограмм и мультимедиа с полным эффектом присутствия, включая трансляции спортивных матчей и интерактивные фильмы с охватом в 360 град.;

Полномасштабные услуги виртуальной и дополненной реальности (Virtual Reality/Augmented Reality - VR/AR), включая услуги AR при навигации и вождении автомобиля, диагностику и хирургическое вмешательство на расстоянии с помощью хирургического робота.

Услуги со сверхнизкой задержкой по времени, включая дистанционное управление спасательным роботом и автономное вождение автомобиля;

Услуги Интернета вещей;

Интеллектуальные услуги на основе больших объемов данных;

Тактильный Интернет.

Отрасль экономики	Наиболее востребованные сценарии применения 5G	Ожидаемый эффект
Обрабатывающие производства	1. Обеспечение взаимодействия между машинами в реальном времени для роботизации отдельных узлов производственных линий.	1. Повышение гибкости и эффективности отечественного производства.
	2. Использование беспроводного транспорта для доставки товара и комплектующих по территории предприятия	2. Сокращение складских расходов.
	3. Обеспечение беспроводной связи между большим количеством датчиков и манипуляторов с пультом управления для автоматизации производственных процессов:	3. Сокращение затрат времени на логистику.
	4. Логистика: отслеживание потока продукции от сырья до момента передачи в доставку готовой продукции.	4. Повышение качества продукции
	5. Дистанционное управление роботами по каналам связи 5G/IMT-2020, в том числе в новых отраслях.	5. Повышение эффективности, безопасности персонала.
	6. Использование дополненной реальности для моделирования реальных ситуаций в процессе обучения персонала.	6. В перспективе переход на полностью автоматизированное цифровое производство, управляемое интеллектуальными системами в режиме реального времени в постоянном взаимодействии с внешней средой, выходящее за границы одного предприятия, с перспективой объединения в глобальную промышленную сеть вещей и услуг (ПоТ) (Индустрия 4.0).
	7. Дистанционная оценка качества или диагностика	
ЖКХ (Обеспечение электрической энергией, водоснабжение, водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений)	1. Создание интегрированной сети датчиков для управления сетями распределения ресурсов (электроэнергии, воды, газа)	1. Снижение потребления энергии, воды и других ресурсов. 2. Сокращение времени выявления и устранения последствий чрезвычайных ситуаций в ЖКХ: утечек, протечек, задымления, неконтролируемого изменения температуры, влажности. 3. Сокращение потерь при генерации и распределении электроэнергии.

Усовершенствованная подвижная сверхширокополосная связь (eMBB).

Эта группа услуг охватывает сценарии использования, ориентированные на человека и обеспечивающие доступ к мультимедийному контенту, услугам и данным (аналогична услугам, предоставляемым в настоящее время сетями LTE).

К таким услугам относятся: Ultra HD и видео, 3D видео, в том числе в реальном времени, онлайн игры, виртуальная реальность, потоковый голос.

Крупномасштабные системы межмашинной связи (MIoT).

Большое количество подключенных устройств, передающих относительно небольшой объем данных, не столь чувствительных к задержке.

Необходимо обеспечить низкую стоимость абонентских устройств при поддержке большой зоны охвата и продолжительного времени работы устройства от батареи.

Основные области применения: энергетика, транспорт, здравоохранение, торговля, общественная безопасность, промышленность, ЖКХ, беспилотные транспортные средства.

Сценарии MIoT отличает высокая плотность соединений и необходимость поддержания корректного функционирования большого количества устройств в сети.

Сверхнадежная передача данных с малой задержкой (URLLC)

Жесткие требования к таким показателям функционирования сети, как пропускная способность, задержка и готовность.

Услуги:

беспроводное управление промышленными и производственными процессами (роботизация);
дистанционная медицина, в частности, хирургия;
автоматизация распределения энергии в «умных» электросетях,
общественная безопасность, «умные» дома и города,
применение интеллектуальных транспортных средств и внедрение интеллектуальной дорожной инфраструктуры на базе V2Хит.д.

В некоторых сценариях URLLC высокое значение имеет низкая задержка для того, чтобы обеспечить работу критически важных служб безопасности, а также высокий уровень мобильности в сфере услуг безопасности перевозок.

Тип услуг	Применение	Основные требования	Возможность предоставления на сетях LTE Advanced	Требования к покрытию
Сверхширокополосная мобильная связь (eMBB)	Передача видео со сверхвысоким разрешением (4K, 8K), 3D видео (в т.ч. широкоэкранные услуги)	Сверхвысокая скорость радиосоединения, низкая задержка (видео реального времени). Задержка ≤ 200 мс	1. LTE Advanced - возможно при невысокой концентрации абонентов (суммарная пропускная способность до 100 Гбит/с/км ²) 2. От 100 Гбит/с/км ² до 1000 Гбит/с/км ² – только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное
	Виртуальная реальность (применение VR в производстве, телеприсутствие и прочие VR-сервисы). Дополненная реальность	Сверхвысокая скорость радиосоединения, сверхнизкая задержка	1. LTE Advanced - возможно при невысокой концентрации абонентов (суммарная пропускная способность до 100 Гбит/с/км ²) и требованиях по задержке до 7 мс. 2. Требования по скорости свыше 4 Гбит/с и задержке ≤ 2 мс – только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное
	Тактильный интернет	Сверхнизкая задержка	Только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное
	Игры в облаке (VR-сервисы с коммуникациями)	Сверхвысокая скорость радиосоединения. Низкая задержка ≤ 7 мс	Только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное
	Мобильная «последняя миля» - альтернатива оптической линии связи до квартиры	Высокая скорость радиосоединения до 150 Мбит/с	LTE Advanced - возможно при невысокой концентрации абонентов (суммарная пропускная способность до 100 Гбит/с/км ²)	Ограниченное
	Беспроводная связь в высокоскоростных поездах	Скорость до 500 км/ч. Задержка ≤ 10 мс	LTE Advanced - возможно	Отдельные транспортные артерии
	Услуги передачи данных в условиях высокой концентрации абонентов	Суммарная пропускная способность до 100 Гбит/с/км ²	Только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное

Тип услуг	Применение	Основные требования	Возможность предоставления на сетях LTE Advanced	Требования к покрытию
Массовая межмашинная связь (M2M)	Подключенные счетчики воды, электроэнергии и пр.	Возможность преодоления препятствий	LTE Advanced - возможно – до 100 тыс. устройств на кв. км.	Региональное или федеральное
	Умный дом (подключенные бытовые устройства и пр.)	Возможность преодоления препятствий	LTE Advanced - возможно – до 100 тыс. устройств на кв. км.	Региональное или федеральное
	Умный офис	Функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций, возможность преодоления препятствий, высокая надежность	LTE Advanced - возможно – до 100 тыс. устройств на кв. км.	Региональное или федеральное
	Умный город (системы видеонаблюдения и пр.)	Работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций, работа в условиях быстро движущихся объектов и наличия препятствий, высокая надежность радиосоединения, возможность преодоления препятствий	1. LTE Advanced - возможно – до 100 тыс. устройств на кв. км. 2. Полномасштабный «Умный город» в крупных городских агломерациях с высокой плотностью населения – только сети 5G/IMT-2020	Городское
	Сенсорные сети (промышленные, коммерческие и т.д.)	Работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций, работа в условиях быстро движущихся объектов и наличия препятствий, Mesh сеть	1. LTE Advanced - возможно – до 100 тыс. устройств на кв. км. 2. Сценарии со сверхвысокой концентрацией датчиков IoT в отдельных зонах (производство, инфраструктура) – только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное

Тип услуг	Применение	Основные требования	Возможность предоставления на сетях LTE Advanced	Требования к покрытию
Массовая межмашинная связь (MTC)	Удаленный контроль перевозок (мониторинг транспортных средств)	Работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций, работа в условиях быстро движущихся объектов и наличия препятствий	LTE Advanced - возможно	Региональное или федеральное
Сверхнадежная связь (URLLC)	Частичная промышленная автоматизация, мониторинг и контроль	Надежность и высокая скорость радиосоединения, низкая задержка, работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций	1. Удаленный контроль производственного оборудования и объектов - возможно LTE Advanced 2. Smart Grid – («умные» сети) - управление производством, передачей и потреблением электроэнергии - возможно LTE Advanced	Региональное или федеральное
	Полная промышленная автоматизация, в том числе управление ключевыми энергетическими объектами, удаленно управляемое оборудование	Сверхвысокая надежность и высокая скорость радиосоединения, сверхнизкая задержка, работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций	Только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное
	Критически важные приложения. Электронное здравоохранение (удаленная хирургия при помощи роботов и др.)	Сверхвысокая надежность и высокая скорость радиосоединения, низкая или сверхнизкая задержка	Только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное

1. Усовершенствованные формы сигналов, модуляция и кодирование, схемы многостанционного доступа:

- фильтрованное OFDM (FOFDM);
- модуляция с множеством несущих с использованием банка фильтров (FBMC);
- многостанционный доступ с разделением по шаблону (PDMA);
- многостанционный доступ на основе разреженных кодов (SCMA);
- многостанционный доступ с разделением на основе перемежения (IDMA) и распределение по несущим с низкой плотностью (LDS).

2. Антенные технологии:

- формирование трехмерного луча FD-MIMO (3D beamforming);
- активная антенная система (AAS) с решеткой излучателей;
- усовершенствованные системы с многоканальным входом/многоканальным выходом (massive и multi user MIMO).

3. Гибкость при использовании спектра:

- агрегация несущих с различным дуплексом (TDD и FDD);
- двухканальное подключение, в том числе и в мультистандартной сети;
- динамический TDD.

4. Обеспечение прямой связи между абонентскими терминалами.

5. Использование в микросотах схем модуляции более высокого порядка и использование эталонных сигналов с уменьшенным объемом служебной информации (основан на применении функционала Lean Carrier).

**Ниже 1 ГГц:**

Полоса 694-790 МГц, в Европе планируется использовать 2×30 МГц для развертывания сетей 5G/IMT-2020 с широким покрытием, которые должны обеспечить массовое предоставление сервисов Интернета вещей и минимального набора сервисов 5G/IMT-2020 за пределами крупных городов и вдоль транспортных магистралей.

1-6 ГГц:

Городская, пригородная и сельская местность, с шириной спектра канала до 100 МГц в диапазонах 3400-3800 МГц, 4400-4990 МГц, 5,9 ГГц.

В качестве перспективных рассматриваются полосы частот 3300-3800 МГц с общей шириной 500 МГц и 3300-4200 МГц с общей шириной 900 МГц.

Полоса радиочастот 3400-4200 МГц в Российской Федерации для использования РЭС подвижной службы не распределена и используется на первичной основе РЭС фиксированной и фиксированной спутниковой служб различного назначения.



Частоты выше 6 ГГц:

Организация сверхвысокоскоростных каналов связи на небольших расстояниях от базовой станции за счет использования каналов с шириной спектра до 400 МГц, обеспечения сверхмалых задержек на радиоинтерфейсе **NR (New Radio)**.

Неудовлетворительные характеристики распространения.

На данный момент техническими спецификациями 3GPP определены четыре NR диапазона выше 6 ГГц:

n257 (26,5-29,5 ГГц), n258 (24,25-27,5 ГГц), n260 (37-40 ГГц), n261 (27,5-28,35 ГГц).

Частоты 66-71 ГГц рассматривают для использования на безлицензионной основе.

Диапазон 71,0-76,0 ГГц используется для мобильного **backhaul** - распределительной сети, связывающей базовые станции с контроллерами и центрами коммутации подвижной связи.

В диапазоне 694-790 МГц: обеспечение эффективного радиопокрытия в условиях городской, пригородной и сельской местности на базе существующих узлов для услуг IoT/M2M;

В диапазоне 2,3-2,4 ГГц: с целью повышения скорости передачи данных и емкости сетей на линии «базовая станция – абонентский терминал» за счет агрегирования данного диапазона либо с полосами частот ниже 1 ГГц, либо с полосами в диапазоне 3-5 ГГц;

В диапазоне 4,4 - 4,99 ГГц: организация в районах с высокой плотностью трафика на базе существующих сайтов высокоскоростных каналов, поддержка основного набора услуг, а также «облачные» сервисы и разнообразные услуги IoT/M2M/D2D;

В диапазоне 24,25 - 29,5 ГГц: организация сверхвысокоскоростных каналов связи на небольших расстояниях от базовой станции, обеспечение покрытия в hot spots, обеспечение всех типов услуг 5G/IMT-2020, особенно услуг типа URLLC.



LAA (Licensed-Assisted Access) – применение технологии агрегации нелицензируемого и лицензируемого спектра т.е. применение участков нелицензируемого спектра со свободным доступом пользователей для формирования вторичных агрегируемых несущих (SCC) в групповом агрегируемом сигнале;

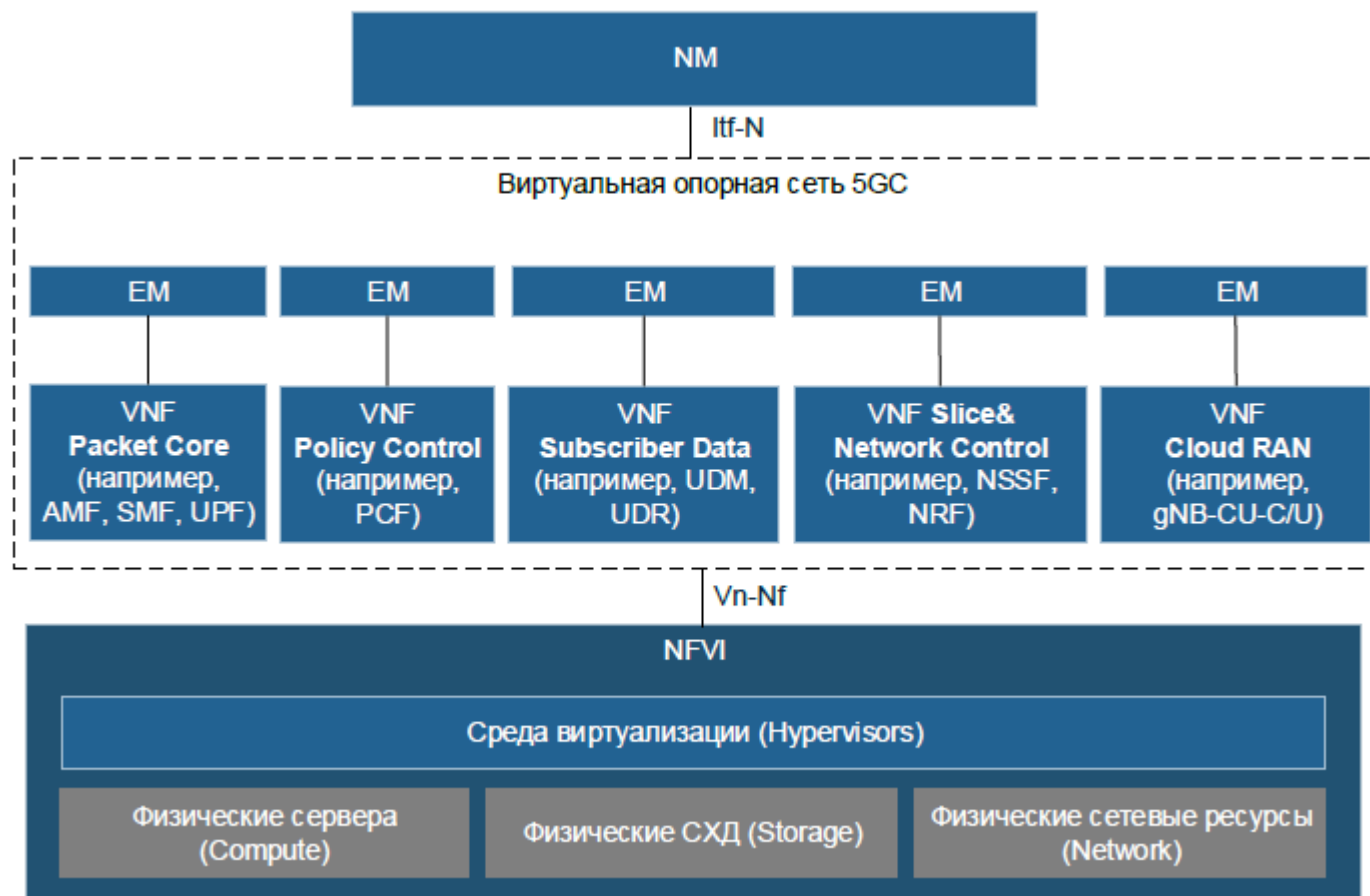
LSA (Licensed Sharing Access) – применение технологии лицензируемого шеринга спектра, совместное использование участков лицензируемого спектра, выделенных операторам одной или разных радиослужб;

LA (Licensed Sharing Access) – применение спектра в лицензируемых полосах частот.

Полоса частот	Технология доступа к спектру		
	LAA	LSA	LA
694-790 МГц	да	да	да
3,4-3,8 ГГц	да	да	да
4,4-4,99 ГГц	да	да	да
5,9 ГГц	нет	да	да
24,25-29,5 ГГц	да	нет	да
30-55 ГГц	да	нет	да
66-76 ГГц	нет	нет	да
81-86 ГГц	нет	нет	да

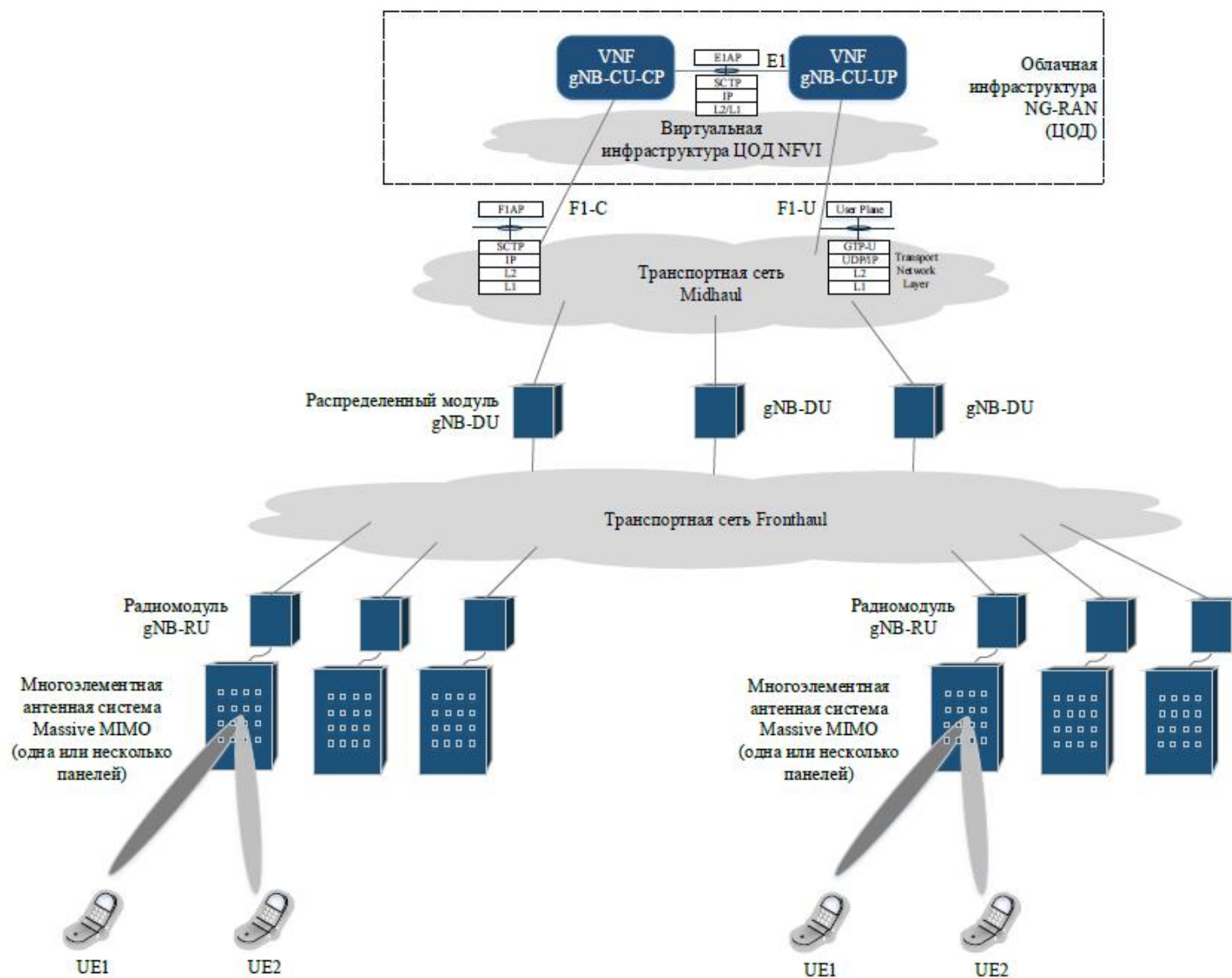


Тип услуг 5G/ IMT-2020	Высокоуровневые требования	Возможные вопросы, связанные со спектром	Оптимальные частотные диапазоны
Усовершенствованная подвижная широкополосная связь (eMBB)	Сверхвысокоскоростные радиоканалы	Сверхширокие полосы несущих	24 ГГц и выше
	Высокоскоростные радиоканалы	Широкие полосы несущих	3,4-3,8 ГГц, 4,4-4,99 ГГц
	Устойчивость к большому Допплеровскому сдвигу	Зависит от требований к емкости	Все диапазоны
	Сверхмалая временная задержка	Приложения малого радиуса действия	3,4-3,8 ГГц, 4,4-4,99 ГГц, 24 ГГц и выше
	Малая временная задержка	Приложения среднего радиуса действия	3,4-3,8 ГГц, 4,4-4,99 ГГц
	Сверхвысоконадежные радиоканалы	Существенное влияние атмосферных осадков на надежность outdoor радиоканалов мм- диапазона	Ниже 1 ГГц, 3,4-3,8 ГГц, 4,4-4,99 ГГц
Сверхнадежная передача данных с малой задержкой (URLLC)	Малый радиус действия	Использование радиочастот мм-диапазона	24 ГГц и выше
	Средний радиус действия	-	3,4-3,8 ГГц, 4,4-4,99 ГГц
	Преодоление препятствий радиосигналом на своем пути	-	Ниже 1 Гц



Технологии виртуализации – реализации телекоммуникационных модулей (сетевых функций 5G Core) с помощью **виртуальных сетевых функций VNF.**

Недостатком виртуальной инфраструктуры является то, что обработка трафика пользователей (пакетов данных плоскости User Plane) выполняется на серверном уровне, что требует больших ресурсов. Планируется использование SDN.



Реализация моделей базовой станции gNB с использованием технологии виртуализации NVF и имеет ряд преимуществ:

- реализация программно-определяемых мультистандартных базовых станций NR/E-UTRA, гибкость и масштабируемость виртуальных решений;
- размещение оборудования базовых станций в центрах обработки данных высокой степени надежности и безопасности;
- единая облачная инфраструктура Cloud RAN управляет большим количеством радиомодулей и охватывает большую территорию радиопокрытия, обеспечивает более оптимальное использование частотного ресурса, более эффективную работу алгоритмов компенсации помех и многоточечной передачи Intra-RAT хендверов.

Транспортная сеть мобильной сети 3G/4G состоит из двух основных частей:

распределительной сети (Backhaul), связывающей базовые станции с функциональными элементами опорной сети, магистральной сети (Backbone), обеспечивающей высокоскоростные каналы связи между функциональными элементами опорной сети.

Переход на архитектуру C-RAN может привести к выделению в сети Backhaul двух новых сегментов:

сети «Fronthaul», объединяющей пулы радиомодулей gNB-RU и распределенные модули gNB-DU,

сети «Midhaul», объединяющей пулы распределенных модулей gNB-DU и центральные модули gNB-CU.

Совокупность сетей «Fronthaul», «Midhaul» и «Backhaul» получила обобщенное наименование сети «X-haul» и может быть построена с применением различных технологий, включая оптоволоконные линии связи, радиорелейные линии, спутниковые линии связи, Carrier Ethernet, IP/MPLS, Segment Routing и др..

AMF, Access and Mobility Management Function - функция управления доступом и мобильностью;

NRF, New Radio – новые радиointерфейсы;

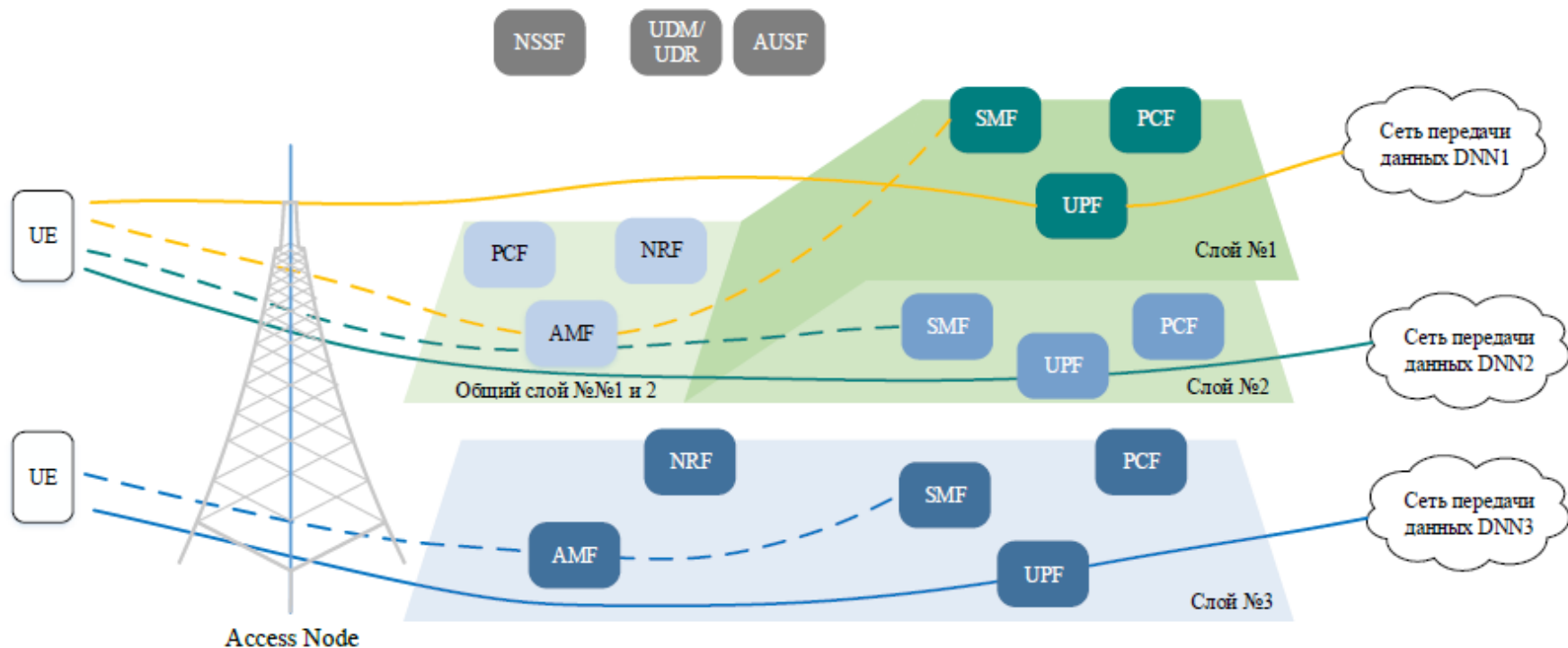
PCF, Policy Control Function – функция управления политиками;

UPF, User Plane Function – функция плоскости пользователя;

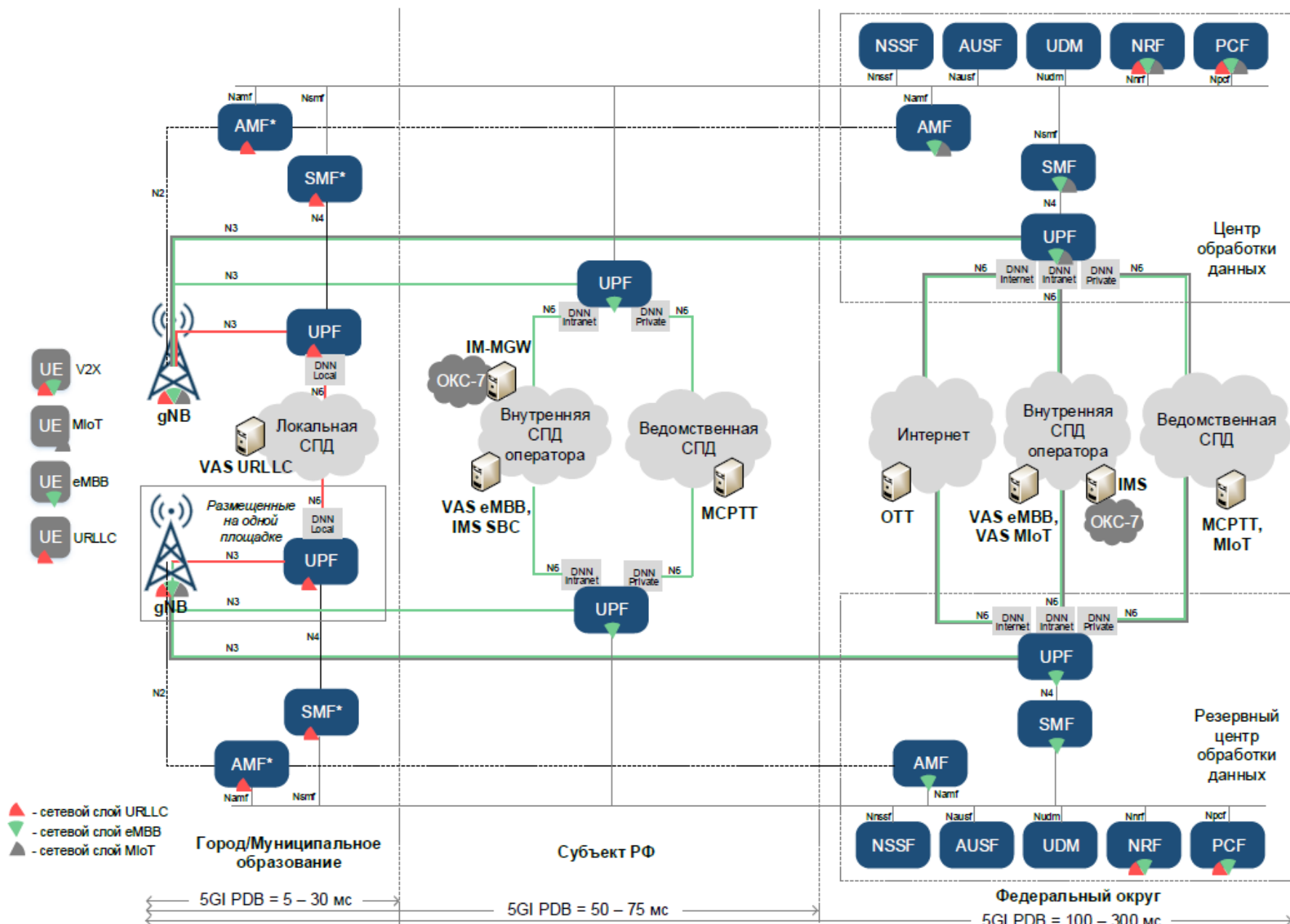
NSSF, Network Slice Selection Function – функция выбора сетевых слоев;

AUSF, Authentication Server Function - функция сервера аутентификации;

UDM, Unified Data Management - управление унифицированными данными.



Для предоставления абоненту услуг определенного сегмента задействуется сетевой слой с необходимым набором виртуальных сетевых функций VNF



7.2 Протокол MQTT сенсорных сетей

По материалам ВКР Костяева П.С., 2021

Протокол Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) есть универсальное средство передачи данных в сетях радиодоступа вне зависимости от используемой радиотехнологии.

Используемая модель взаимодействия «издатель-подписчик» позволяет специфичным способом относительно классических локальных сетей распределить роли узлов с минимальными привилегиями по умолчанию.



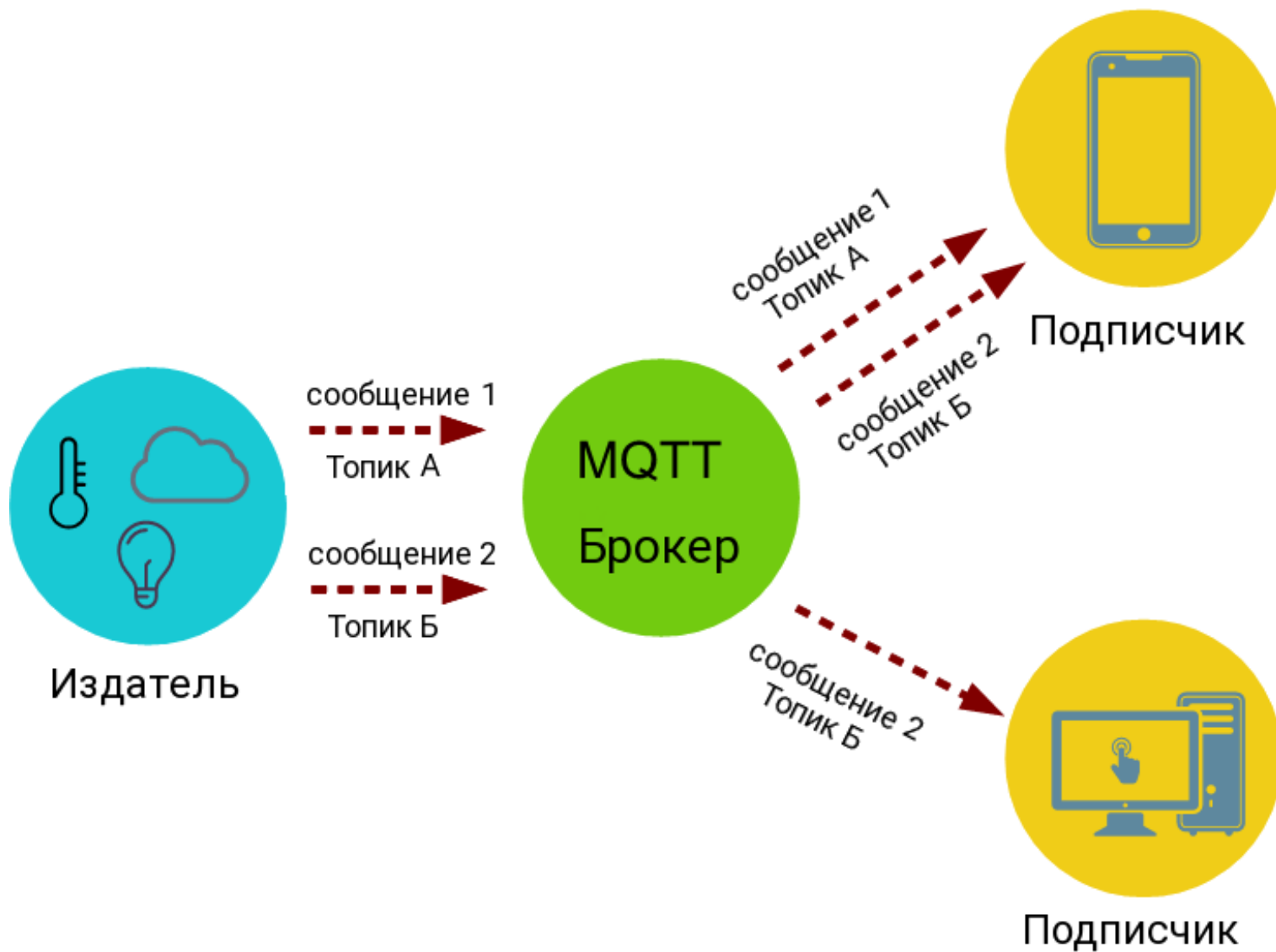
Модель «издатель-подписчик» представляет собой набор ролей и соответствующих им действий, сочетание которых позволяет распределить необходимые сообщения тем абонентам, которые намереваются их получить, используя *темы - topic (атрибуты)* сообщений.

Издатель является основным создателем и публикатором сообщений, причем при создании сообщения издатель может присвоить сообщению определенную тему или атрибут. Издатель убеждается, что в сети присутствует брокер и начинает отправку сообщений ему.

Подписчик способен принимать и обрабатывать сообщения, подписываться на определенного издателя и отписываться от него.

Брокер выполняет роль транзитного узла, а также узла обработки в системе с моделью «издатель-подписчик». Брокер, не производит инициации, поэтому режимы у него отсутствуют – обработка поступивших сообщений производится циклически, в зависимости от их содержания

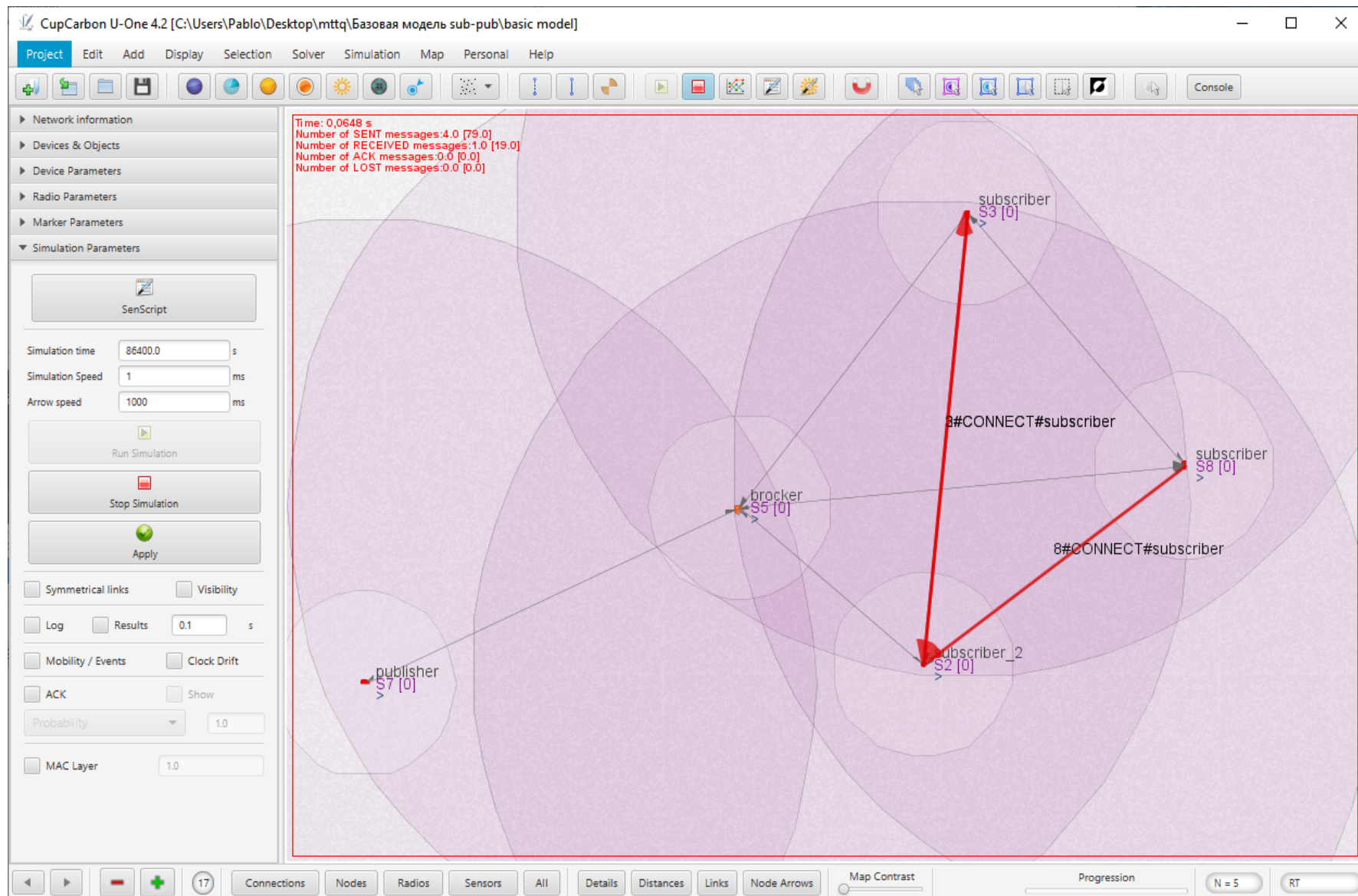
Обмен сообщениями в модели «издатель – подписчик»



Принцип обмена информацией, в основе которого лежит шаблон «издатель-подписчик» состоит в следующем:

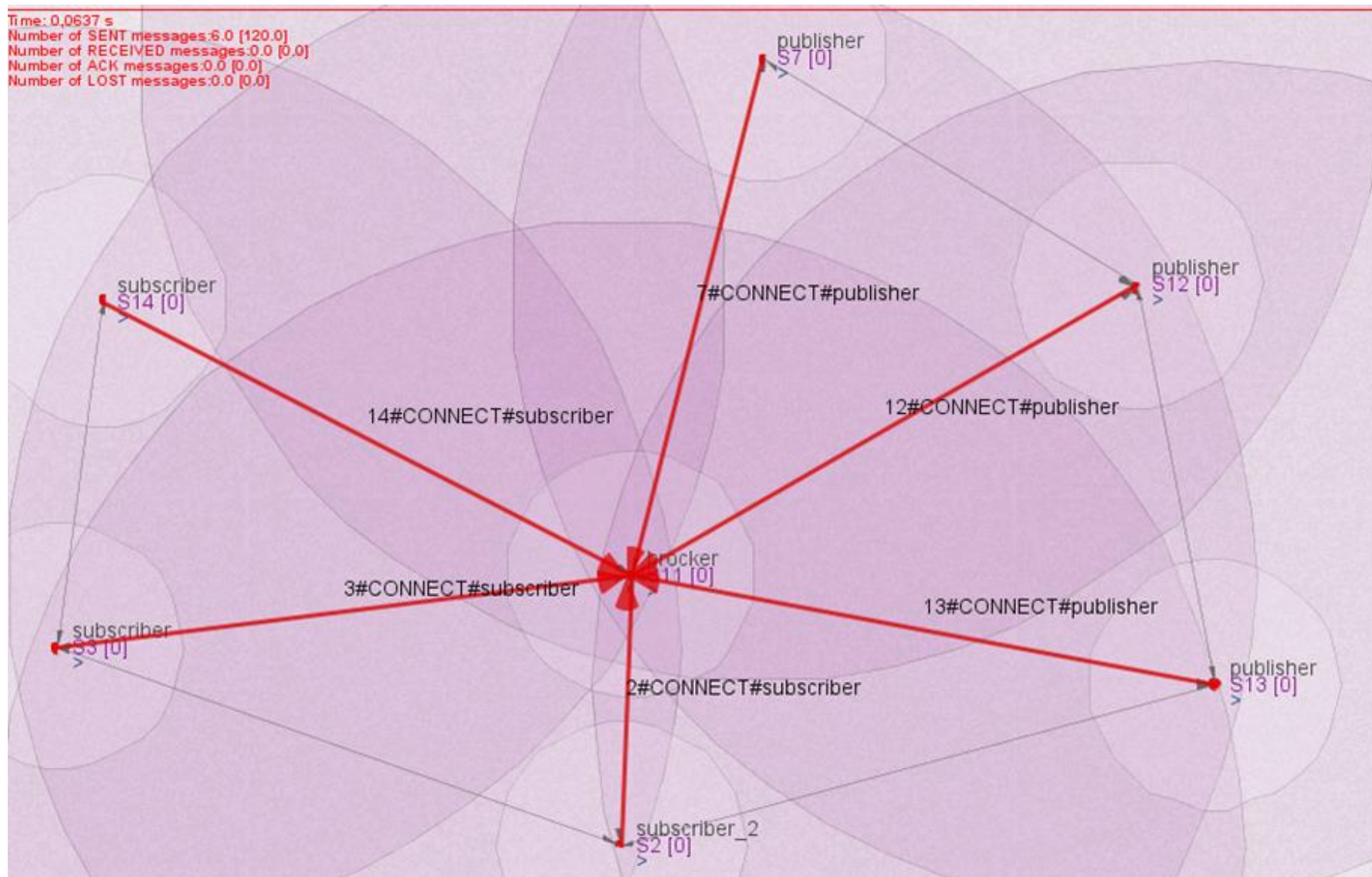
1. **Издатель составляет сообщение**, после чего присваивает ему специальную метку, которая в описании протокола именуется топиком/темой (topic) и выступает идентификатором, определяющим одну из множества категорий сообщений.
2. **Подписчик, в свою очередь, способен подписываться и отписываться от получения конкретных топиков**, а также непосредственно принимать сообщения.
3. **Топик можно рассматривать как поток информации ввода-вывода** – издатель производит запись информации, в то время как подписчик отслеживает и фиксирует изменения данных в нем, иерархическая организация названия топика схожа с путем расположения файла, что позволяет разделить права доступа к ресурсам, по аналогии с файловыми директориями.

Ни издатель, ни подписчик не ограничиваются в количестве одновременно используемых топиков, разрешенных для использования – публикация сообщений на несколько независимых топиков, как и возможность подписаться на некоторое количество разнообразных топиков может быть реализована при помощи программы.





Установление сеанса связи сообщением CONNECT





1) **Узел (издатель) отправляет запрос CONNECT** и ожидает получить ответ, но это ожидание ограничено временным интервалом *waiting_timeout*, и если ожидание выходит за рамки этого диапазона считается неудачным, и выполняется следующая попытка (*if(\$reply==NO_MESSAGE)*);

2) **Когда ответ, полученный от узла (брокера) соответствует необходимому – на запрос CONNECT узел отвечает сообщением CONNAK**, в этом случае, узел (издатель) добавляет найденный узел в стек доступных – *brokers_id* и готов к переходу в режим *sending_messages* (*if(\$reply==CONNAK)*);

Стоит отметить, что даже в случае если брокер по той или иной причине ответит данному узлу (издателю) несколько раз, то издатель запомнит этого брокера один раз, до момента пока с ним не разорвется соединение (в некоторых случаях).

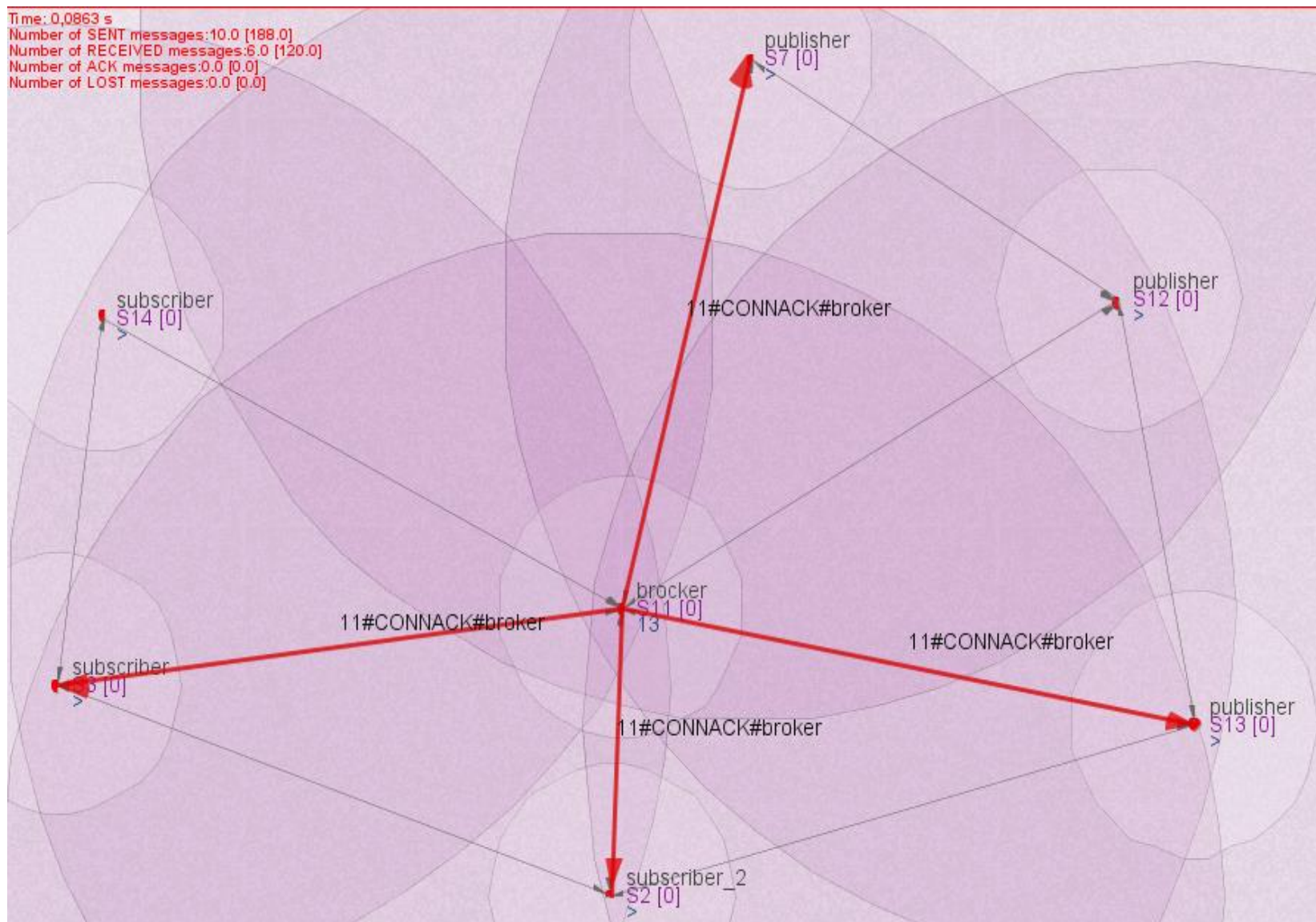


3) **Когда нет ответа от опрашиваемого узла** – издатель отправляет запрос типа CONNECT снова и ожидает получить ответ, но это ожидание ограничено временным интервалом *waiting_timeout*, если ожидание выходит за рамки этого диапазона считается неудачным, и выполняется следующая попытка, если это позволяет счетчик попыток *tries_to_search_broker*.

4) **Когда превышено количество отведенных попыток – если издатель смог найти хотя бы одного брокера**, то издатель переходит в следующий режим *sending_messages*, а если не найден ни один брокер, то он начинает «опрос» ближайших узлов еще раз циклически.



Time: 0,0863 s
Number of SENT messages: 10.0 [188.0]
Number of RECEIVED messages: 6.0 [120.0]
Number of ACK messages: 0.0 [0.0]
Number of LOST messages: 0.0 [0.0]

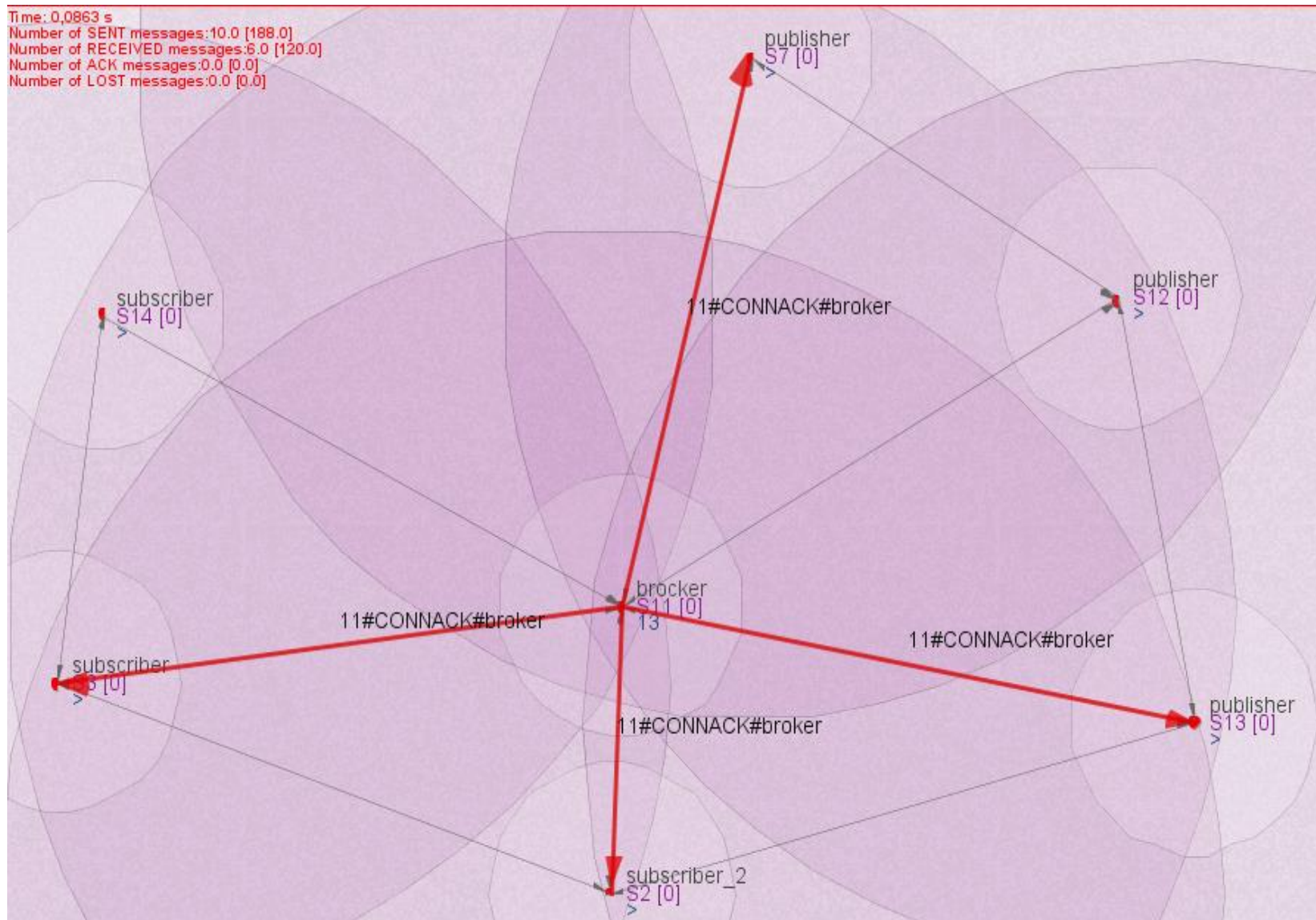


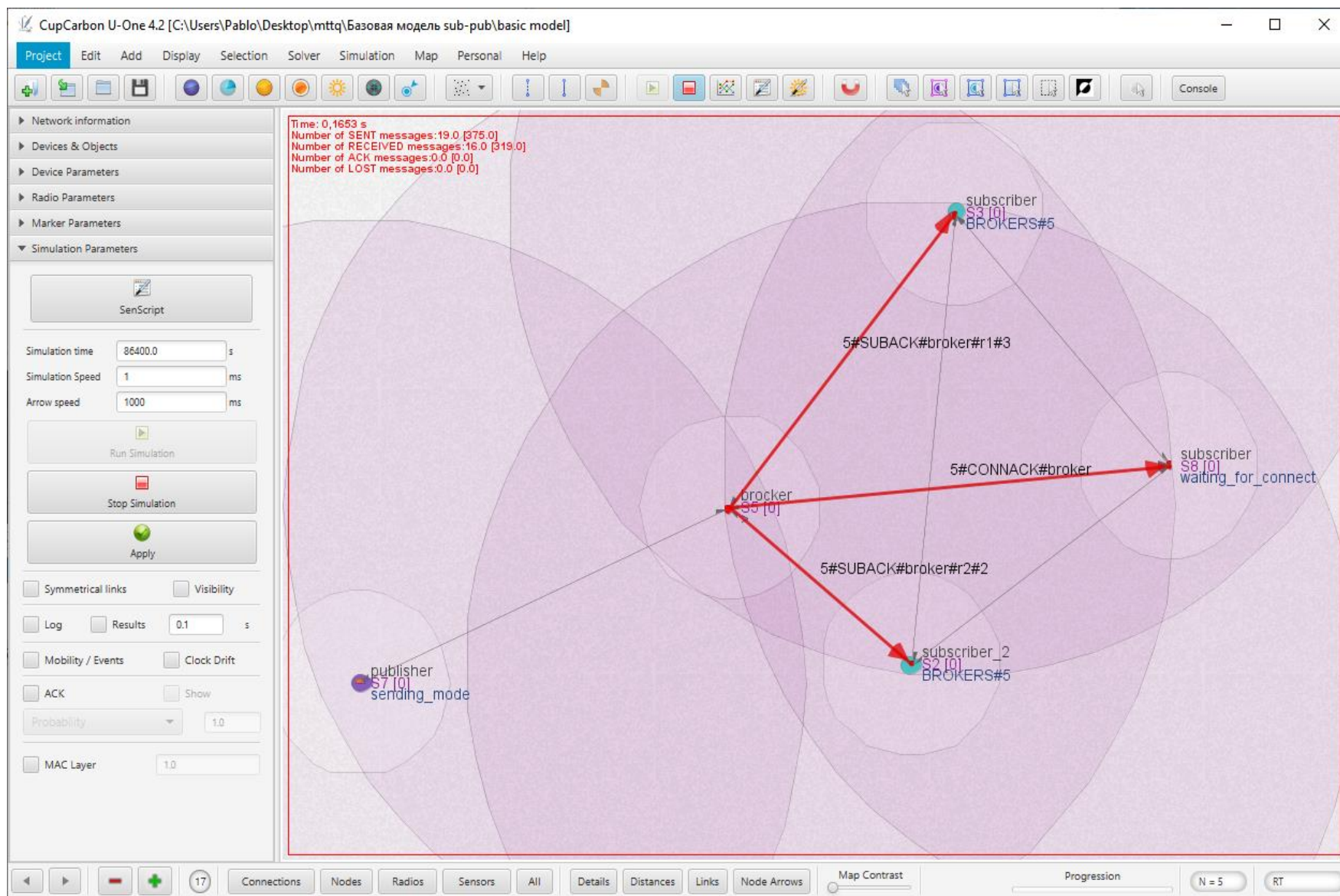


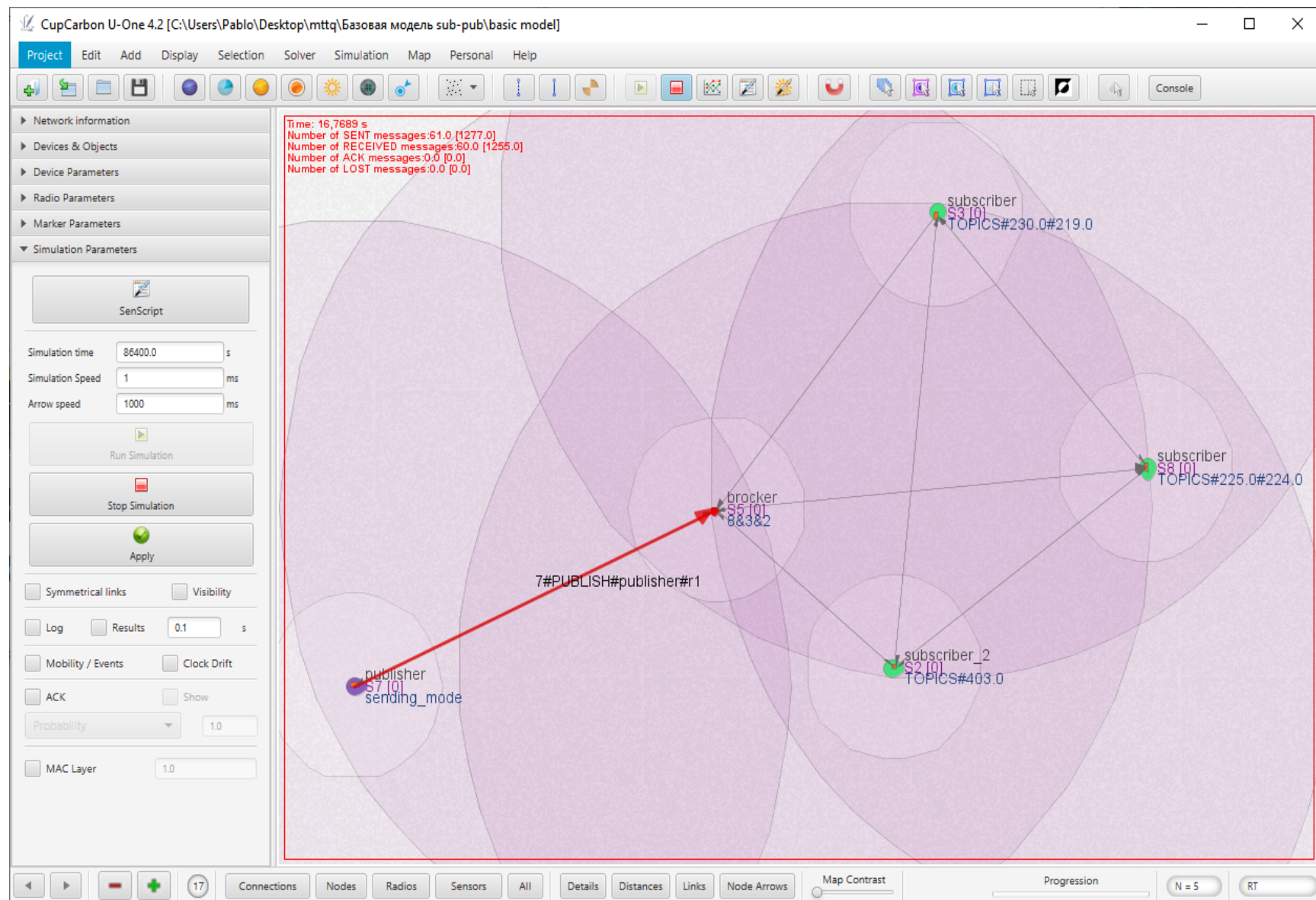
Запрос SUBSCRIBE происходит циклически ко всем найденным брокером – например, если подписчик намеревается подписаться на 2 различные темы и в процессе установления соединения успешно соединился с двумя брокерами, то сначала отправит запрос SUBSCRIBE тема1 к брокеру1, далее SUBSCRIBE тема2 к брокеру1.

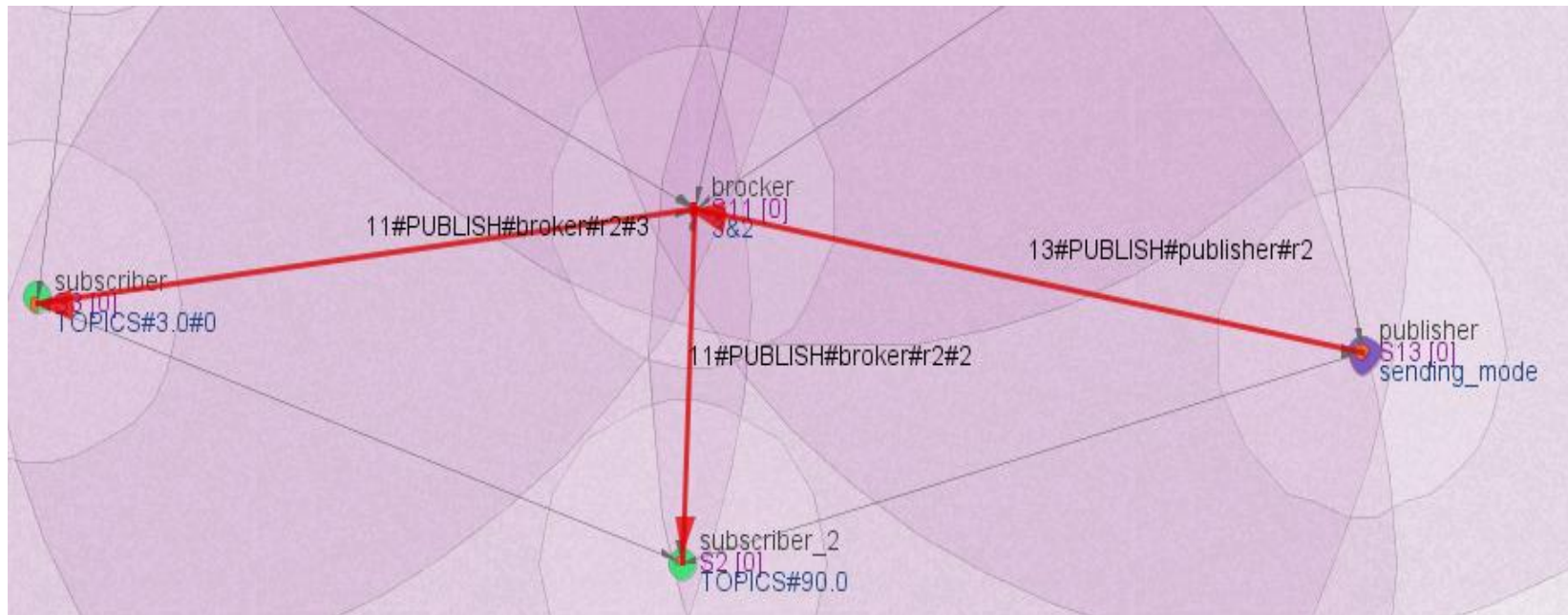
Подписчик в ответ на SUBSCRIBE ожидает SUBACK от брокера, и так же, как и в случае с установкой соединения реагирует на превышение времени ожидания или получения другого сообщения в ответ на запрос SUBSCRIBE, как на неудачную попытку подписаться.

Если подписчику удалось подписаться хотя бы на одну тему, то он меняет свой текущий режим на `waiting_for_messages`, иначе начинает попытку подписки сначала либо снова переходит к установлению соединения.

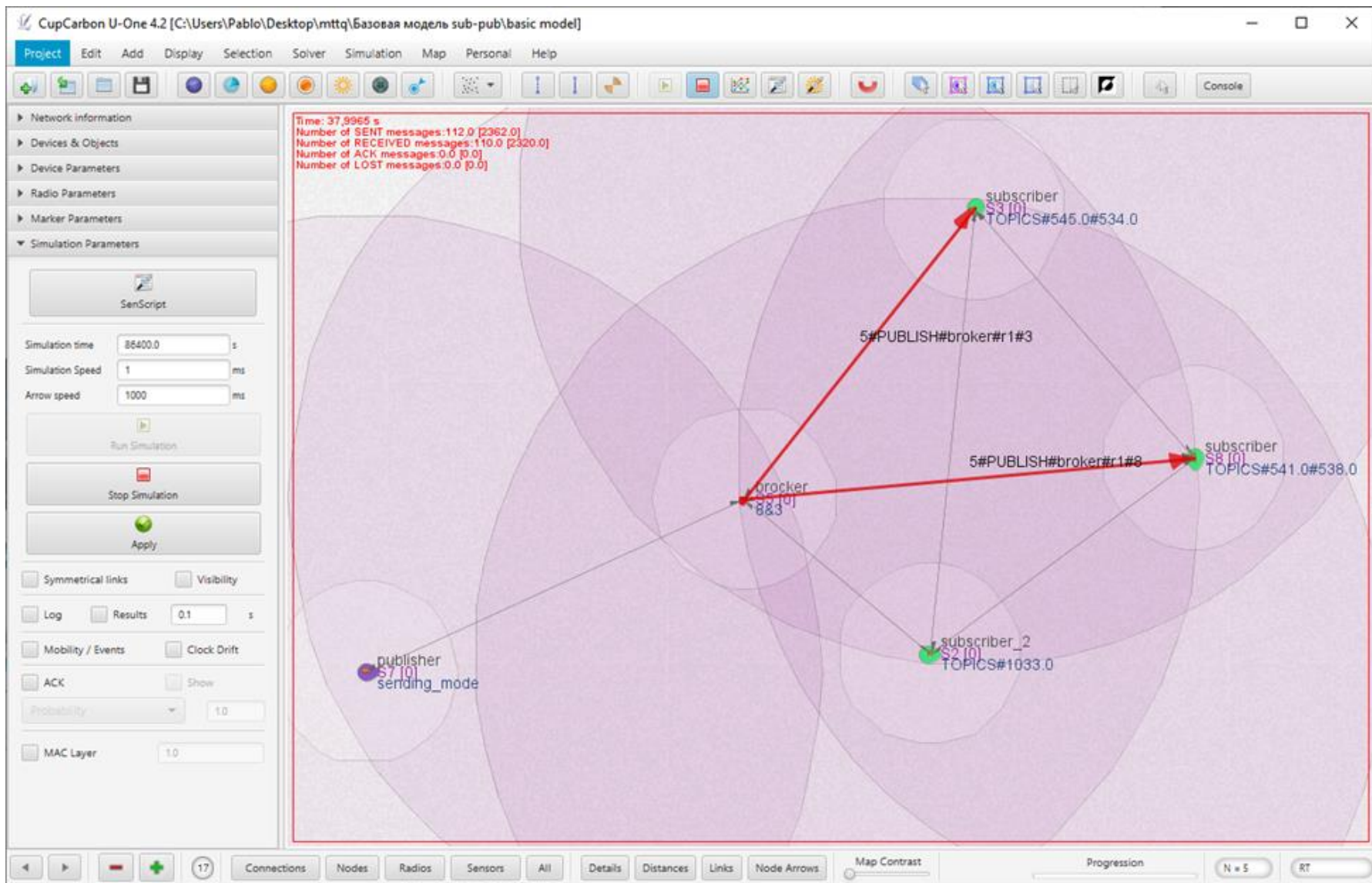


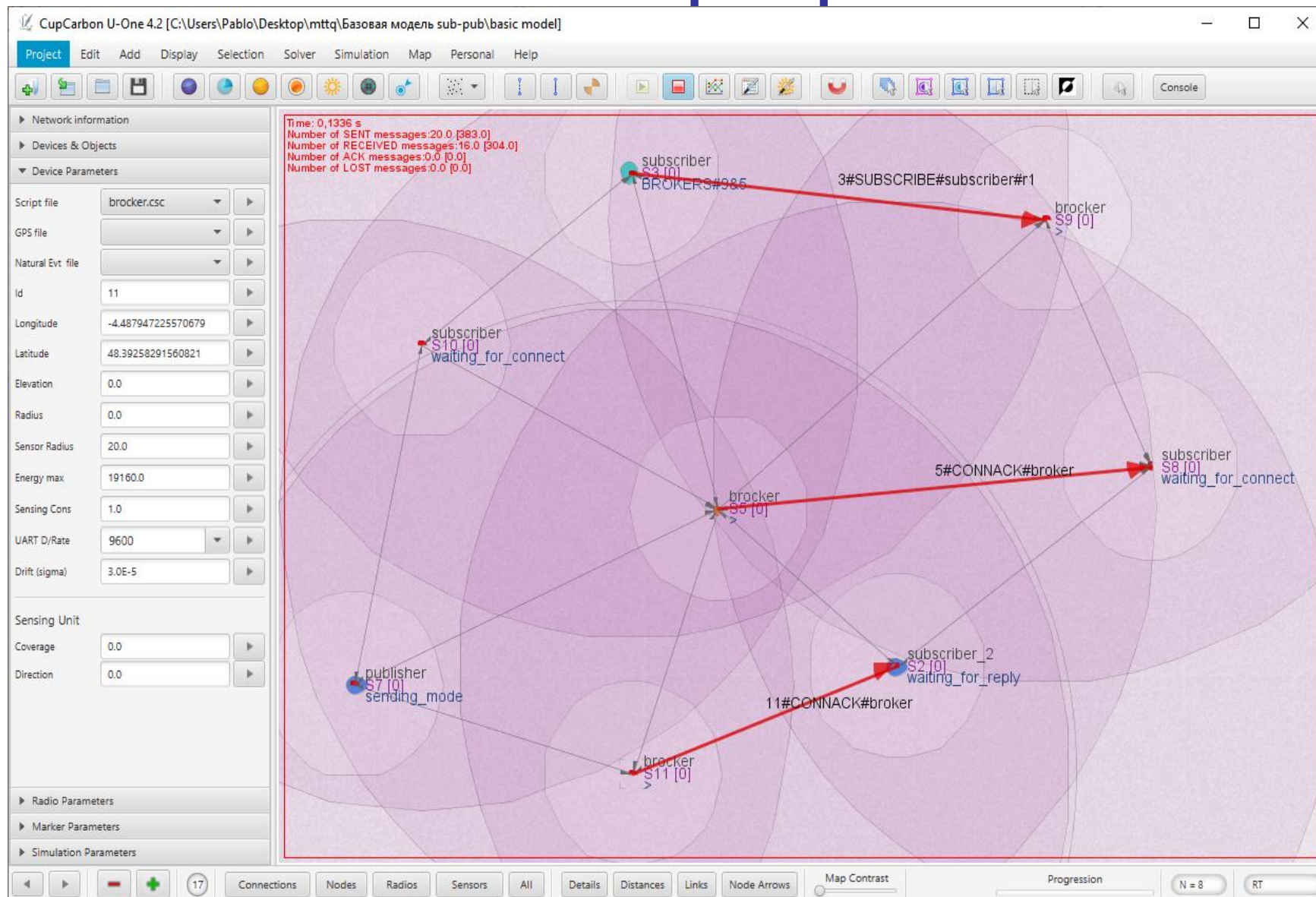






После подписки на необходимые топики система переходит в стабильном состоянии, в котором происходит непрерывное распространение сообщений по сети.





1. Для развертывания сетей 5G широко применяются технологии виртуализации функций и сетевых сервисов.
2. Применение сетей 5G предполагает принципиально новый подход к регулированию использования нелицензируемого и лицензируемого РЧС в диапазоне от 700 МГц до 7 ГГц.
3. Протокол сенсорных сетей MQTT используется для передачи телеметрии независимо от технологий передачи сетевого уровня с помощью модели «издатель - подписчик».