

Как развернуть гибридную  
сеть Rajant/LTE:

**Результаты тестирования  
производительности Rajant vs  
Private LTE**

**RAJANT**



# Table of Contents

<b>1</b>	<b>Введение</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Цель тестирования</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Список оборудования Rajant</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Создание туннелей удаленного протокола (RPT) и подтверждение функциональности</b> .....	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Конфигурация SlipStream RPT</b> .....	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Конфигурации узлов Peregrine LTE</b> .....	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>Покрытия LTE</b> .....	<b>6</b>
<b>8</b>	<b>Результаты тестирования</b> .....	<b>7</b>
<b>9</b>	<b>Требования к использованию общественного LTE</b> .....	<b>11</b>
<b>10</b>	<b>Выводы</b> .....	<b>12</b>



## Введение

LTE - это стандарт, разработанный для связи с мобильными телефонами в глобальной сети, а Wi-Fi - стандарт, разработанный для локальных сетей, и мы ежедневно пользуемся ими. Оба стандарта используются в рудниках для разных целей, и физика определяет ограничения каждого из них. LTE использует более низкие частоты для покрытия большей площади, но с меньшей пропускной способностью, в то время как Wi-Fi использует более высокие частоты для получения более высокой пропускной способности на более коротких расстояниях. Компания Rajant интегрирует обе технологии в своё решение и обеспечивает межмашинное взаимодействие с момента создания компании в 2001 году для расширения диапазона и пропускной способности за пределы ограничений стационарной инфраструктуры.

В этом документе мы тестируем новейшую интеграцию LTE с Rajant Kinetic Mesh® в различных местах добычи полезных ископаемых, чтобы продемонстрировать бесшовный роуминг между Rajant Kinetic Mesh и LTE, а также документируем достигнутые фактические показатели пропускной способности и задержки. Тестирование проводилось в частных и общественных сетях LTE. Однако в данном документе, в первую очередь, рассматривается тестирование Rajant в частных сетях LTE, поскольку общественные сети менее распространены в горнодобывающей промышленности, а результаты тестирования показали значительную вариативность, поэтому поддержание постоянной пропускной способности транзита было невозможным.

В данном документе одна из доступных сетей поддерживала канал с полосой пропускания 10 МГц радиочастотного спектра LTE, что обеспечивало скорость загрузки 20 Мбит/с и скорость отдачи 10 Мбит/с. Дополнительная частная сеть была предоставлена на другом участке с 5 МГц спектра LTE со скоростью загрузки 10 Мбит/с и скоростью отдачи менее 5 Мбит/с.

В ходе тестирования компания Rajant добилась пропускной способности 99,5 Мбит/с через Kinetic Mesh с задержкой 1,786 мс и пропускной способности 19,1 Мбит/с через частную LTE с задержкой 38,701 мс.

Использование туннелирования удаленного протокола (RPT) компании Rajant необходимо для организации сети mesh через соединение Layer3 LTE.

Примечание: Целью реализации RPT соединения через общественную сеть LTE было определить, что требуется для того, чтобы избежать трансляции сетевых адресов операторского класса для создания туннелей удаленного протокола через инфраструктурные маршруты с подключением через общественную сеть. Тестирование пропускной способности выявило скачки задержки и стоимости маршрутов. Следует избегать сетей LTE общего пользования для обеспечения надежности и требуемой пропускной способности приложений, поскольку в них наблюдались задержки в диапазоне 125–133 мс, а стоимость маршрута превышала 28 000.



## Целью тестирования было:

- » Интеграция с частной сетью LTE на нескольких участках рудника
- » Подтверждение регистрации SIM карты в частной и общественных сети LTE
- » Создание туннелей удаленного протокола и подтверждение работы
- » Проверка задержки по каналу RPT
- » Подтверждение того, что RPT может направлять трафик, при наилучшей стоимости маршрута
- » Подтверждение того, что mesh соединения могут маршрутизировать трафик, когда стоимость mesh соединения выше стоимости RPT
- » Подключение к общественному LTE и определение лучшего метода работы с CGNAT

## Список Оборудования Rajant:

- » Peregrine FE1-2255B
- » Peregrine 2455LW с интерфейсом LTE, версия прошивки 11.25.1
- » Slipstream 2, версия прошивки 11.25.1



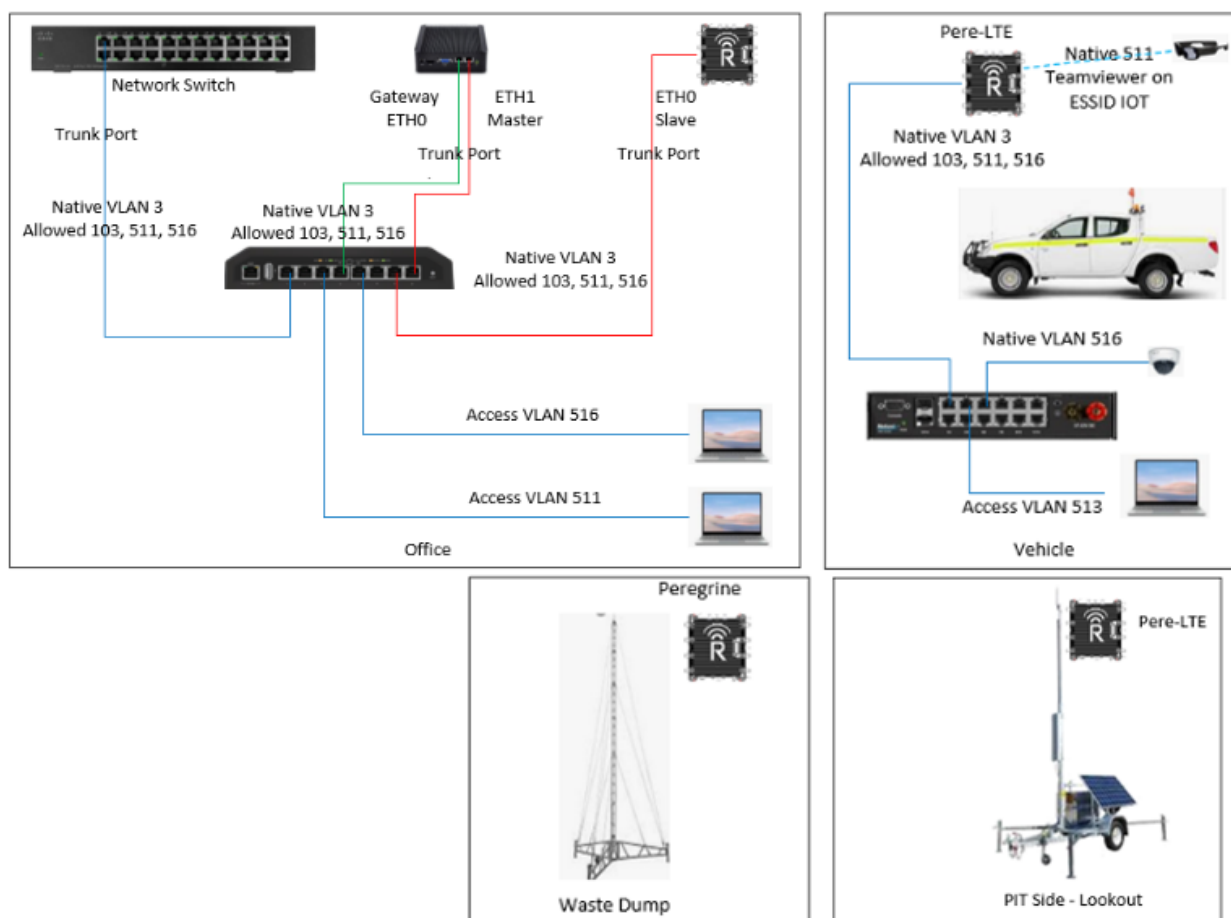
## Создание туннелей удаленного протокола и подтверждение функциональности

Туннелирование удаленного протокола было установлено через UDP. Для обеспечения функционирования туннеля удаленного протокола были применены следующие настройки узла.

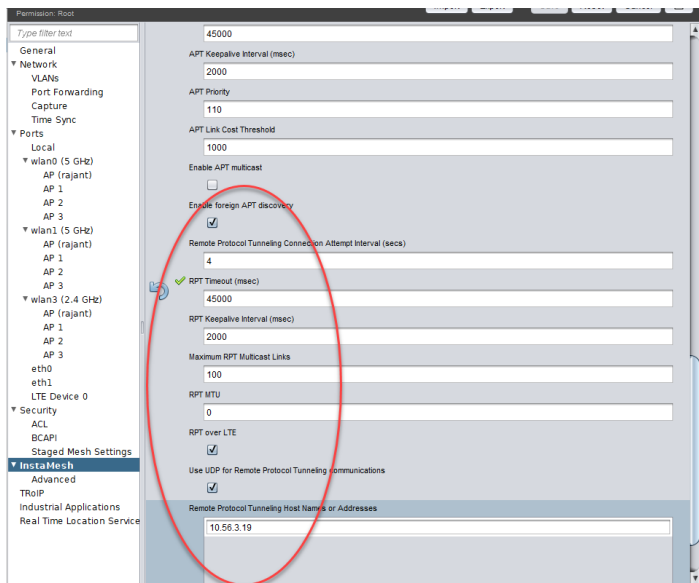
### Конфигурация SlipStream RPT

SlipStream подключался через Eth0 к сетевому коммутатору. Сеть SlipStream была сконфигурирована со статическим IP-адресом, основанным на его вычисленном адресе V11. Порт ETH0 SlipStream был настроен в режиме шлюза - с IP-адресом шлюза, установленным через DHCP. ETH 1 был подключен к порту сетевого коммутатора.

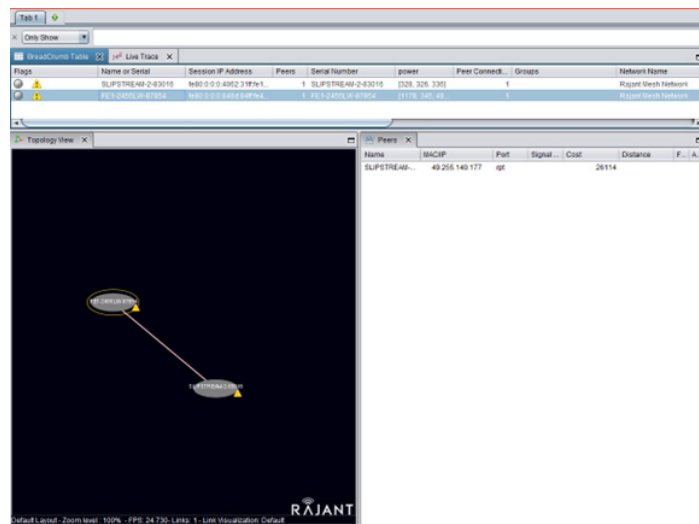
На рисунке ниже показана блок-схема конфигурации тестовой сети шахтного участка



Настройки SlipStream в разделе InstaMesh® (advanced InstaMesh параметры по умолчанию). Настройка RPT необходима, так как узлы BreadCrumb® нуждаются в RPT для объединения в сеть через LTE. InstaMesh на узлах Peregrine был настроен для RPT с использованием IP-адреса шлюза, назначенного по DHCP, в качестве адреса туннелирования RPT.



На этом изображении показаны туннели RPT, созданные по LTE между каждым узлом и SlipStream.



## Покрытие LTE

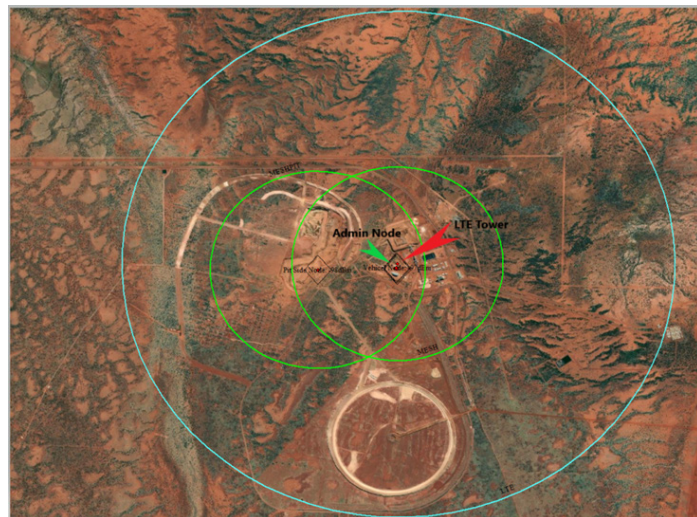
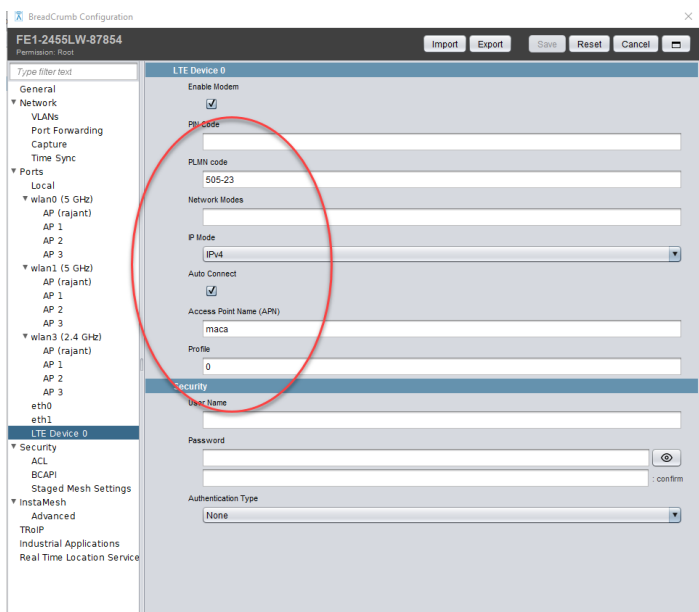
Зеленые круги показывают, где узлы подключались к LTE. Более высокая пропускная способность и меньшая задержка - соединение узла со стороны карьера с узлом администратора. Синий круг - покрытие LTE.

ПРИМЕЧАНИЕ - Во время испытаний мы намеренно сделали так, чтобы узел у карьера НЕ мог соединиться с узлом администратора, чтобы была использована связь LTE.

## Настройка узлов Peregrine LTE

Сетевой адрес был установлен в соответствии с SlipStream - назначен вручную на основе вычисленного V11, но в подсети /24.

Интерфейс LTE был включен со следующими параметрами.





На изображении ниже башня LTE находится слева. Узел администратора установлен на крыше здания справа. Узел со стороны карьера находится за кучей грязи прямо перед автомобилем. Узел со стороны карьера находился в зоне покрытия LTE, поэтому он мог передавать данные от административного здания к узлу со стороны карьера и по mesh и по LTE. Смотрите видео по ссылке ниже, где показан мобильный роуминг между сетью mesh и LTE. В реальном мире мы бы разрешили узлу со стороны карьера подключаться к узлу администратора по mesh, так как это обеспечивает 5-6-кратное увеличение пропускной способности.

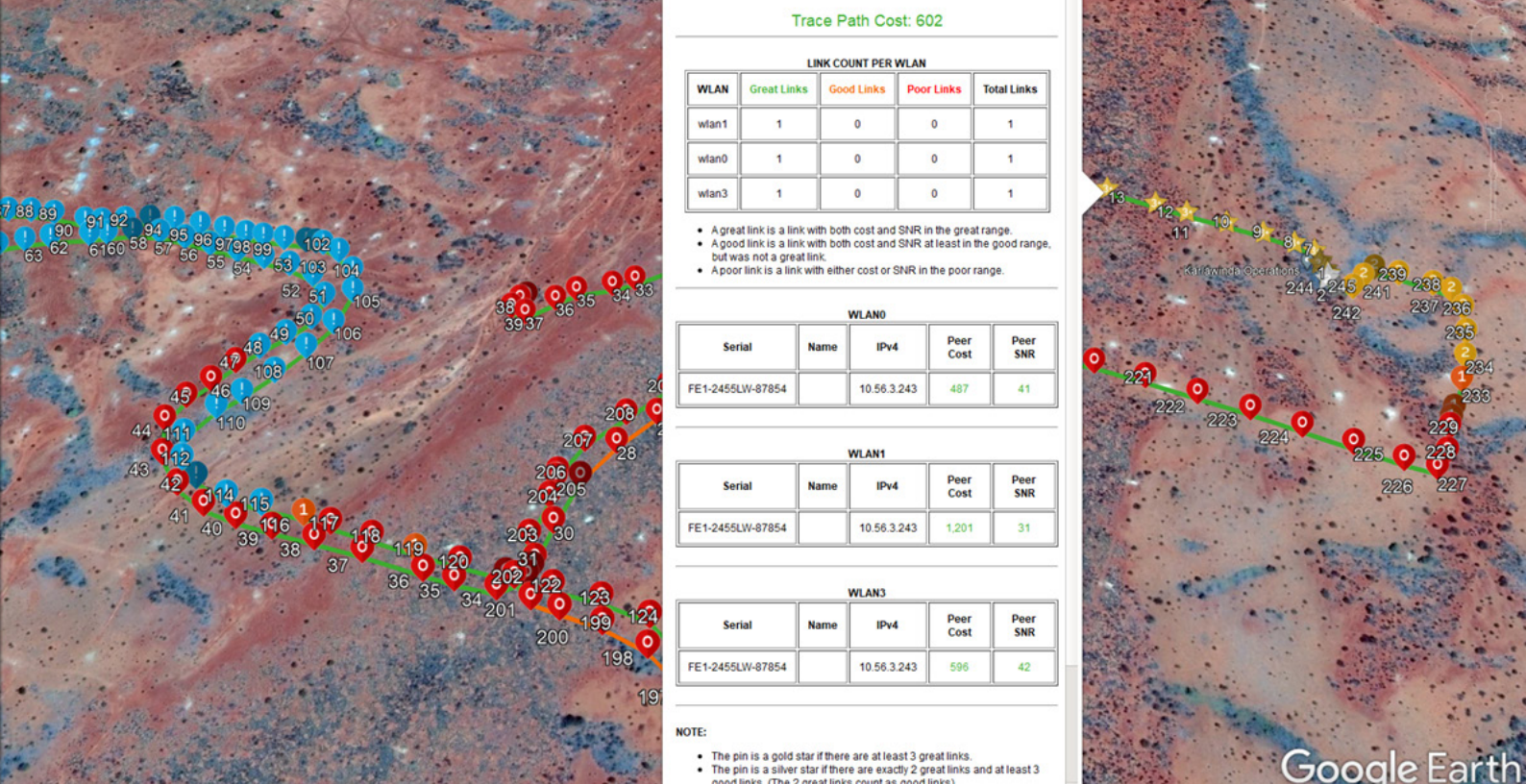


## Результаты испытаний

Стандартные узлы Rajant BreadCrumb (не-LTE) также могут использовать 4G/LTE соединения гибридных узлов Rajant через беспроводную сеть Kinetic Mesh, когда LTE имеет лучшую стоимость маршрута.

Гибридные узлы BreadCrumb могут плавно переключаться между беспроводными Kinetic Mesh и 4G/LTE соединениями. Одноранговые маршруты переключаются без потери пакетов.

Смотрите видео. <https://www.youtube.com/watch?v=7a3avMBPL-A>



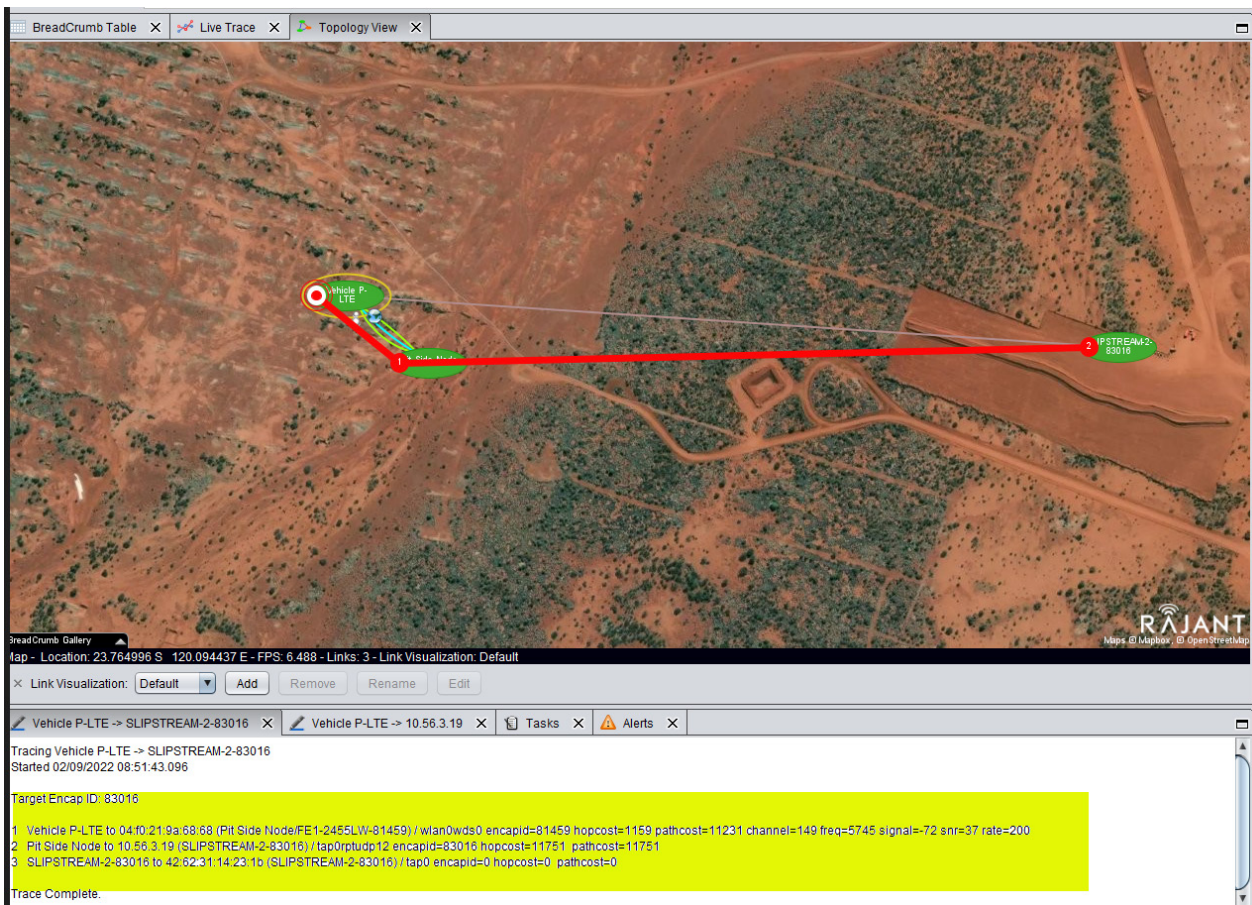
Используя MeshMapper, мы можем отслеживать продвижение мобильного узла в инфраструктуре Kinetic Mesh, а затем переключиться на LTE. Как показано на этом изображении, мобильный узел находился в зоне действия mesh, что подтверждается отличной стоимостью маршрута для всех трёх интерфейсов.



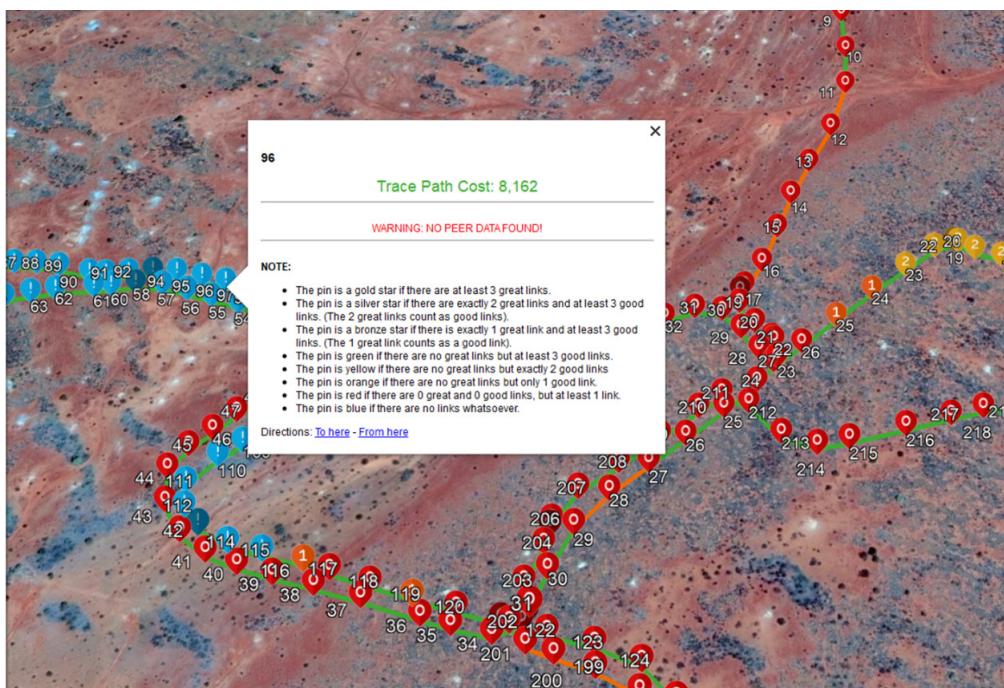
Здесь показана пропускная способность 100Мбит/с UDP через Kinetic Mesh.



На этой трассировке InstaMesh во время тестирования мы видим, как мобильный узел передаёт данные через Kinetic Mesh на узел у карьера, а затем использует LTE, чтобы добраться от узла у карьера до вышки LTE. Сплошные линии показывают путь передачи данных.



Как только автомобиль выезжает за пределы покрытия Kinetic Mesh, на смену приходит LTE. Данные по-прежнему передаются без покрытия Kinetic Mesh по LTE.



Starting Iperf3 Performance Test  
Client: FE1-2455LW-81459  
Server: SLIPSTREAM-2-83016  
Test Direction: Client->Server  
Test Mode: AUTO\_UDP  
Buffer Length: Automatic  
Test started: 01/26/2022 14:07:40.144  
Downloading Iperf3 results.

Latency: 38.701 ms.  
BreadCrumb CPU Utilization: 0%  
Buffer Length: 1428 bytes

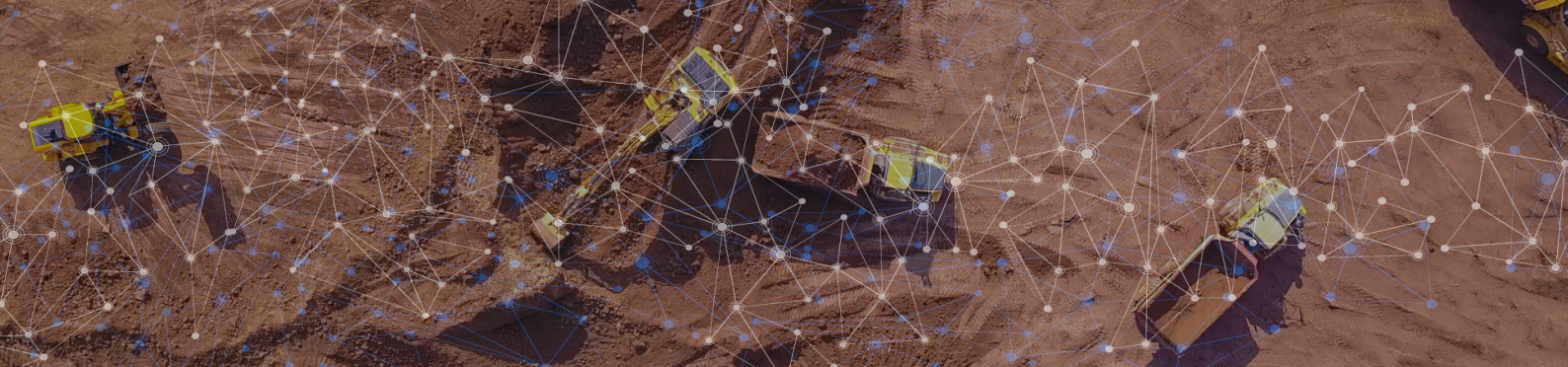
Sender: fe80::13:95ff:fe3c:e1ec  
Bitrate: 20.0 Mbits/sec  
CPU Utilization: 2%

Receiver: fe80::4062:31ff:fe14:231b  
Bitrate: 19.1 Mbits/sec  
Jitter: 0.959 ms  
Packet Loss: 1.1%  
CPU Utilization: 2%

Test ended: 01/26/2022 14:08:50.187

При скорости загрузки 20 МБ/с и отдачи 10 МБ/с мы видим пропускную способность 19,1 МБ/с через LTE и отсутствие потери пакетов. При роуминге в обе стороны между LTE и Kinetic Mesh не теряется пинг:

```
Command Prompt
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=12ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=20ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=20ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=19ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=17ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=17ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=18ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=18ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=21ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=19ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=21ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=16ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=19ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=10ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=7ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=7ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=7ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=7ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=7ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=19ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=16ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=17ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=17ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=22ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=7ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=16ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=17ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=17ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=21ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=21ms TTL=64
Reply from 10.23.4.190: bytes=32 time=6ms TTL=64
```



## Требования к использованию общественного LTE

- » Провайдеры LTE обычно применяют трансляцию сетевых адресов (NAT) на постоплатных и предоплатных SIM-картах 4G/LTE
- » FE1-2455LW по-прежнему будет получать IP-адрес для SIM-карты, однако этот NAT предотвращает создание RPT-туннеля.

Для успешной реализации RPT через публичный LTE убедитесь, что APN поддерживает динамический публичный IP-адрес без NAT.

Ниже приведен пример динамического IP-адреса публичного LTE с использованием NAT. Обратите внимание, что без проброса портов и NAT, публичный LTE не может работать.

```
2069:instaMesh.cpp:1228:Failed to send keepalive to port 9, tap0rptudp9, 49.255.140.177 with error 89, Destination address required
2069:instaMesh.cpp:974:Failed to send periodic keepalive to rpt link 9, tap0rptudp9, 49.255.140.177, aptIsReady=0, handshakeDone=0
2069:instaMesh.cpp:1027:sendRptKeepAlives deleting port 9, tap0rptudp9, 49.255.140.177
2069:packet.cpp:439:Deleting port 9, tap0rptudp9, 49.255.140.177
2069:instaMesh.cpp:1228:Failed to send keepalive to port 10, tap0rptudp10, 49.255.140.177 with error 89, Destination address required
```

Ниже приведен пример публичного динамического IP-адреса LTE без NAT. Обратите внимание, процесс проброса портов завершен.

```
:439:Deleting port 178, tap0rptudp178, 49.255.140.177
: 2069:instaMesh.cpp:12606:Found crumb with encapsid of 83016 from port 9, tap0rptudp9, 49.255.140.177
: 2069:packet.cpp:1097:Finished handling response on port 9, tap0rptudp9, 49.255.140.177
: 2069:instaMesh.cpp:12316:Setting encapsid of port 9, tap0rptudp9, 83016 after completing handshake, progress is 2
: 2069:instaMesh.cpp:12322:Enabling port 9, tap0rptudp9, 83016 after completing handshake, progress is 2
: 2069:packet.cpp:1097:Finished handling response on port 9, tap0rptudp9, 83016
: 2069:instaMesh.cpp:12670:ack response on port 9, tap0rptudp9, 83016 of 0.125919 seconds with 0 packets lost out of 2 packets sent
: 2069:instaMesh.cpp:12670:ack response on port 9, tap0rptudp9, 83016 of 0.133966 seconds with 0 packets lost out of 1 packets sent
: 2069:instaMesh.cpp:12670:ack response on port 9, tap0rptudp9, 83016 of 0.135771 seconds with 0 packets lost out of 1 packets sent
: 2069:instaMesh.cpp:12670:ack response on port 9, tap0rptudp9, 83016 of 0.125752 seconds with 0 packets lost out of 1 packets sent
```

SCTP через публичный LTE - успешное создание SCTP-туннеля. Ответ ACK на туннель - Обратите внимание: в ответе на подтверждение существенно высокая задержка через туннели.

```
Feb 18 07:37:30 instamesh[2069]: 2069:portInfo.cpp:1080:port 0, tap0 set srto_initial to 45000, srto min to 7, srto_max to 45000, a
Feb 18 07:37:30 instamesh[2069]: 2069:packet.cpp:1132:Finished handling response on port 10, tap0sctp10, 49.255.140.177
Feb 18 07:37:30 instamesh[2069]: 2069:packet.cpp:1132:Finished handling response on port 10, tap0sctp10, 49.255.140.177
Feb 18 07:37:30 instamesh[2069]: 2069:instaMesh.cpp:12316:Setting encapsid of port 10, tap0sctp10, 83016 after completing handshake,
Feb 18 07:37:30 instamesh[2069]: 2069:instaMesh.cpp:12322:Enabling port 10, tap0sctp10, 83016 after completing handshake, progress
Feb 18 07:37:30 instamesh[2069]: 2069:packet.cpp:1132:Finished handling response on port 10, tap0sctp10, 83016
Feb 18 07:37:36 instamesh[2069]: 2069:instaMesh.cpp:12670:ack response on port 10, tap0sctp10, 83016 of 0.114972 seconds with 0 pac
Feb 18 07:37:40 instamesh[2069]: 2069:instaMesh.cpp:12670:ack response on port 10, tap0sctp10, 83016 of 0.065667 seconds with 0 pac
```



## Выводы

Промышленные приложения, например, для рудников, требуют большего, чем LTE и Wi-Fi. Обе сети развертываются для различных приложений, и физика определяет ограничения каждой из них. При развертывании Rajant Kinetic Mesh с использованием FE1-2455LW, с маршрутизацией протокола InstaMesh компании Rajant по LTE, можно увидеть, что соединение остается надёжным и бесперебойным при переключении между Rajant Kinetic Mesh и LTE. Kinetic Mesh обеспечивает гораздо меньшую задержку и гораздо большую пропускную способность.

## Rajant Peregrine LTE BreadCrumb

Узел Peregrine LTE совместим со всеми узлами Rajant BreadCrumb. Это часть инициативы компании Rajant по разработке глубоко интегрированных решений, которые безопасно объединяют данные от подключенных людей, транспортных средств, машин и датчиков с машинным обучением. Эта новая высокопроизводительная платформа BreadCrumb промышленного класса обеспечивает безопасное соединение с помощью туннелирования APT и RPT от Rajant, активно используя несколько частот, чтобы избежать помех и перегрузок сети.

Peregrine LTE использует автоматизированную маршрутизацию пакетов в реальном времени, чтобы всегда выбирать наилучший путь для каждого пакета. Такая комбинация данных открывает преимущества оптимизации процессов, предиктивной аналитики, AR, VR и многого другого, повышая при этом безопасность персонала. Способное обеспечить надежное соединение в сильно загроможденных, захламленных или затененных местах, устройство Peregrine LTE идеально подходит для расширения возможностей рынка в таких отраслях, как железнодорожный транспорт, морские порты, военная промышленность, горнодобывающая промышленность и тяжелое строительство..



# RAJANT

Если это движение, это Rajant.  
Промышленные беспроводные сети без границ.

Tel: 484.595.0233 | [www.rajant.com](http://www.rajant.com)

© Copyright 2022. Корпорация "Rajant". Все права защищены.



Узнайте больше об отмеченном наградами устройстве Rajant Peregrine LTE BreadCrumb для непрерывного, полностью мобильного подключения, необходимого для обеспечения современных операций, основанных на данных. Посетите сайт [www.rajant.com](http://www.rajant.com) или свяжитесь с представителем компании, чтобы начать работу