

## Беспроводная ячеистая сеть **SmartMesh® IP**

от Analog Devices  
для Промышленного  
Интернета Вещей

Даниил Конев,  
инженер по применению  
электронных компонентов  
ООО "ЭЛТЕХ Компонент",  
[Daniil.Konev@eltech.spb.ru](mailto:Daniil.Konev@eltech.spb.ru)  
[www.eltech.spb.ru](http://www.eltech.spb.ru)





AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

# Содержание

- ▶ 1 Обзор технологии SmartMesh IP™
- ▶ 2 Краткая спецификация радиоканала
- ▶ 3 Технология SmartMesh® в цифрах
- ▶ 4 Где применяется сеть SmartMesh IP™
- ▶ 5 Особенности сети SmartMesh IP™
- ▶ 6 Из чего состоит сеть SmartMesh IP™
- ▶ 7 Аппаратное обеспечение для разработки узлов сети SmartMesh IP™
- ▶ 8 Встраиваемое программное обеспечение для разработки узлов сети SmartMesh IP™
- ▶ 9 Библиотеки кода для управления сетью SmartMesh IP™
- ▶ 10 Быстрый старт в развёртывании сети SmartMesh IP™
- ▶ 11 Три режима энергопотребления сетевого узла Частицы
- ▶ 12 Пример применения сети SmartMesh IP™ из реальной жизни
- ▶ 13 Пример. Каким образом к Частице можно подключить сенсоры.

# 1 Обзор технологии SmartMesh IP™

## Что это

- Это решения беспроводной ячеистой сети для разработки приложений IoT, работающих в жестких промышленных условиях (например, заводы, здания из металлоконструкций с бетонными стенами и т. д.).

## Для чего

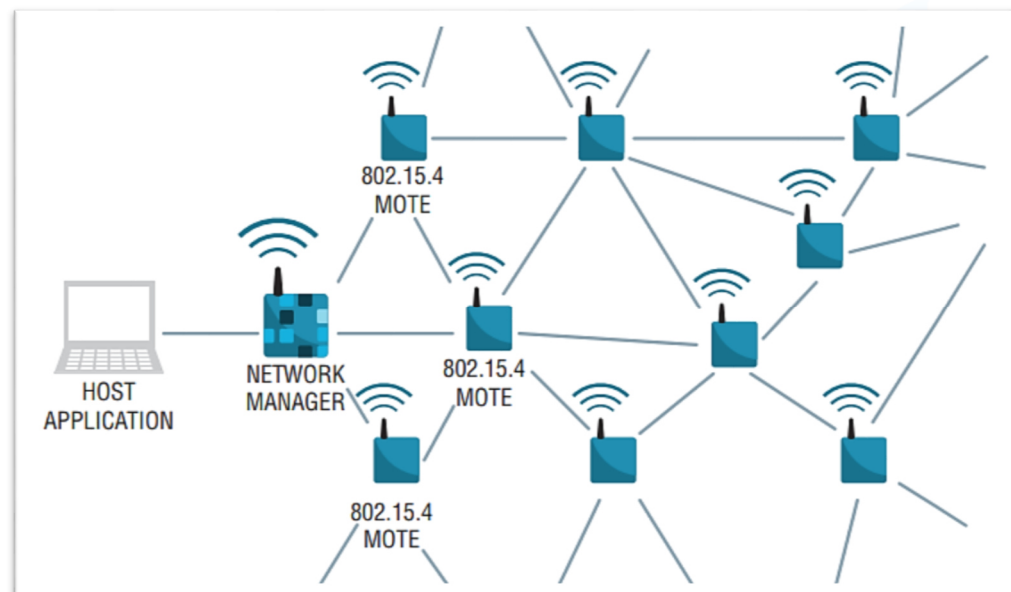
- На беспроводную ячеистую сеть SmartMesh® возложена задача доставки данных с высокой надёжностью (>99,999%) от различных датчиков в течение многих лет, не требуя вмешательства человека/инженера.

## Факты

- Создана для **промышленного** Интернета Вещей.
- Спроектирована на **годы** безаварийной работы.
- Предоставляется **готовое** программное обеспечение, что ускоряет выход на рынок.
- Разработана в Analog Devices.

## Как устроена сеть

- Каждый рядовой узел в сети является беспроводным и легко добавляемым.
- Каждый узел в сети является роутером и способен принимать и передавать данные любому узлу в пределах досягаемости.
- Все узлы связываются с центральным компьютером или облаком через специальный сетевой хост-менеджер.



## 2 Краткая спецификация радиоканала

В среднем, дальность связи между двумя беспроводными узлами сети достигает:

- 100 м в помещении;
  - 300 м на улице с препятствиями;
  - 1200 м на улице в прямой видимости без препятствий.
- Частотный диапазон:
- 2,4000 - 2,4835 ГГц.
- Указанные частоты и мощность излучения удовлетворяют требованиям нелицензируемого ISM диапазона частот.

Документация

- <https://www.analog.com/en/products/ltc5800-ipm.html>
- <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/5800ipmfa.pdf>

### **RADIO SPECIFICATIONS** The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ and $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Frequency Band		●	2.4000		2.4835	GHz
Number of Channels		●		15		
Channel Separation		●		5		MHz
Channel Center Frequency	Where $k = 11$ to 25, as Defined by IEEE.802.15.4	●		$2405 + 5 \cdot (k-11)$		MHz
Raw Data Rate		●		250		kbps
Antenna Pin ESD Protection	HBM Per JEDEC JESD22-A114F			$\pm 1000$		V
Range (Note 4)	25°C, 50% RH, +2dBi Omni-Directional Antenna, Antenna 2m Above Ground					
Indoor				100		m
Outdoor				300		m
Free Space				1200		m

5800ipmfa

### **RADIO TRANSMITTER CHARACTERISTICS** The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ and $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Power	Delivered to a 50Ω load	●				
High Calibrated Setting				8		dBm
Low Calibrated Setting				0		dBm

дБм, децибел-милливатт ?

8

дБВт, децибел-ватт ?

-22

Вт, ватт ?

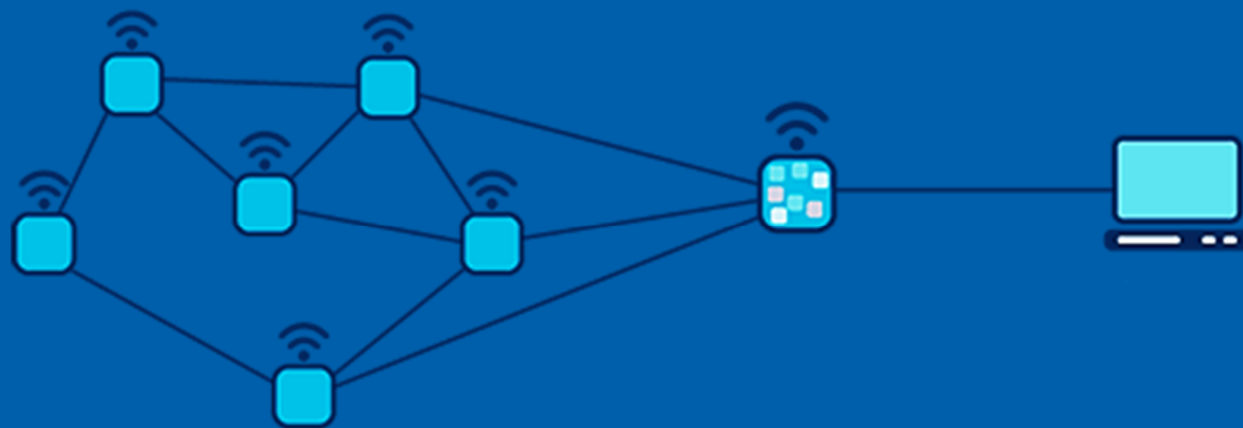
0.00630957344480193



# 3 Технология SmartMesh® в цифрах

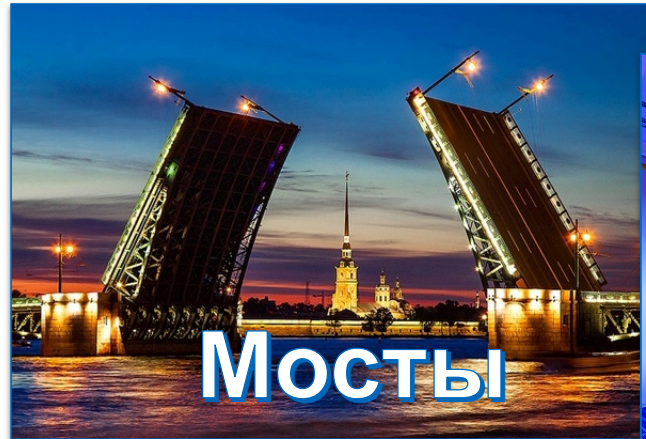


## 4 Где применяется сеть SmartMesh IP™



# 4.1 Перечень объектов 1

**Отслеживание состояния объектов в жестких радиочастотных средах:** обширный металл и бетон, в том числе промышленные предприятия, центры обработки данных, мониторинг коммерческих зданий, мостов, туннелей.



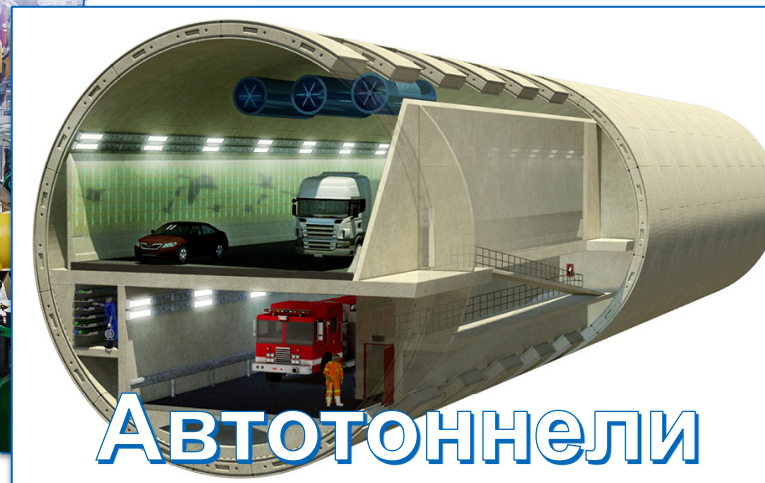
**Мосты**



**Датацентры**



**Автозаводы**



**Автотоннели**



**Добыча/нефть**



## 4.2 Перечень объектов 2

**Отслеживание состояния объектов в жестких радиочастотных средах:**  
(длинные сети) приложения уличной парковки, интеллектуальные сети уличного освещения, охватывающие несколько городских кварталов, коммерческое орошение, шахты, трубопровод.



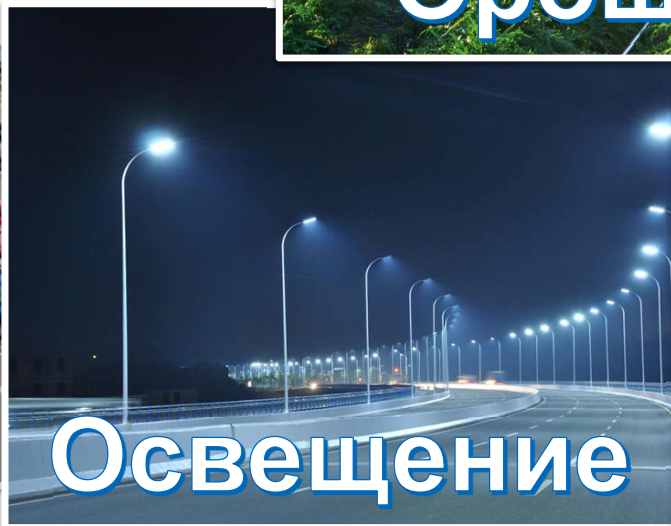
**Орошение**



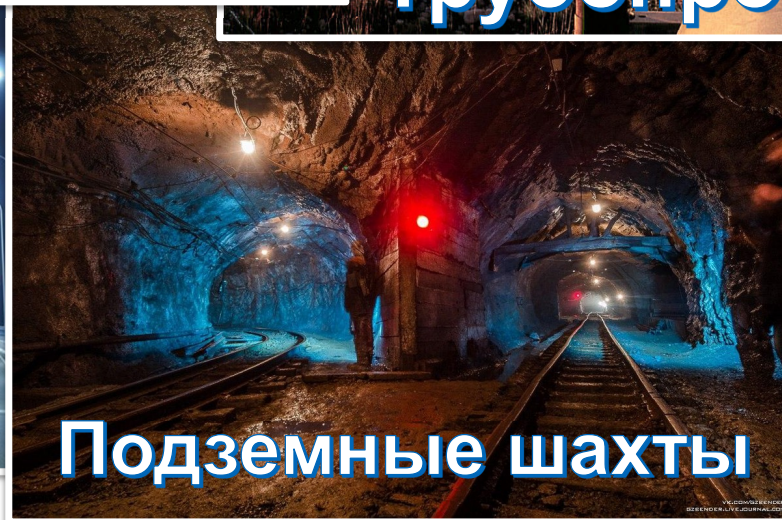
**Трубопровод**



**Парковки**



**Освещение**

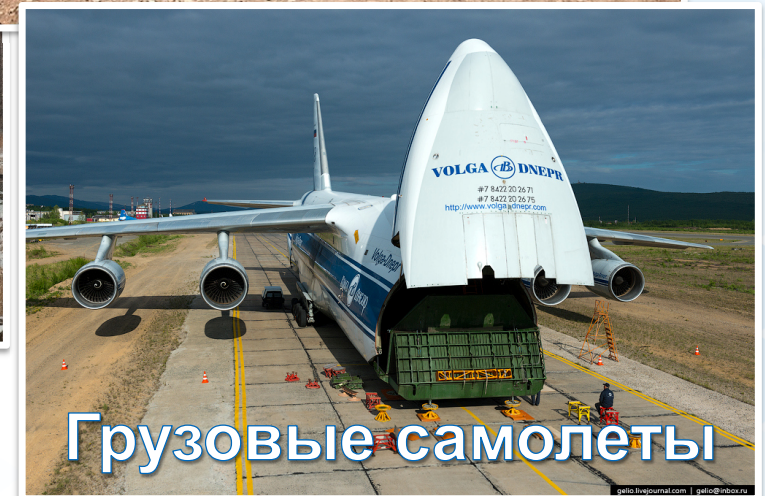


**Подземные шахты**



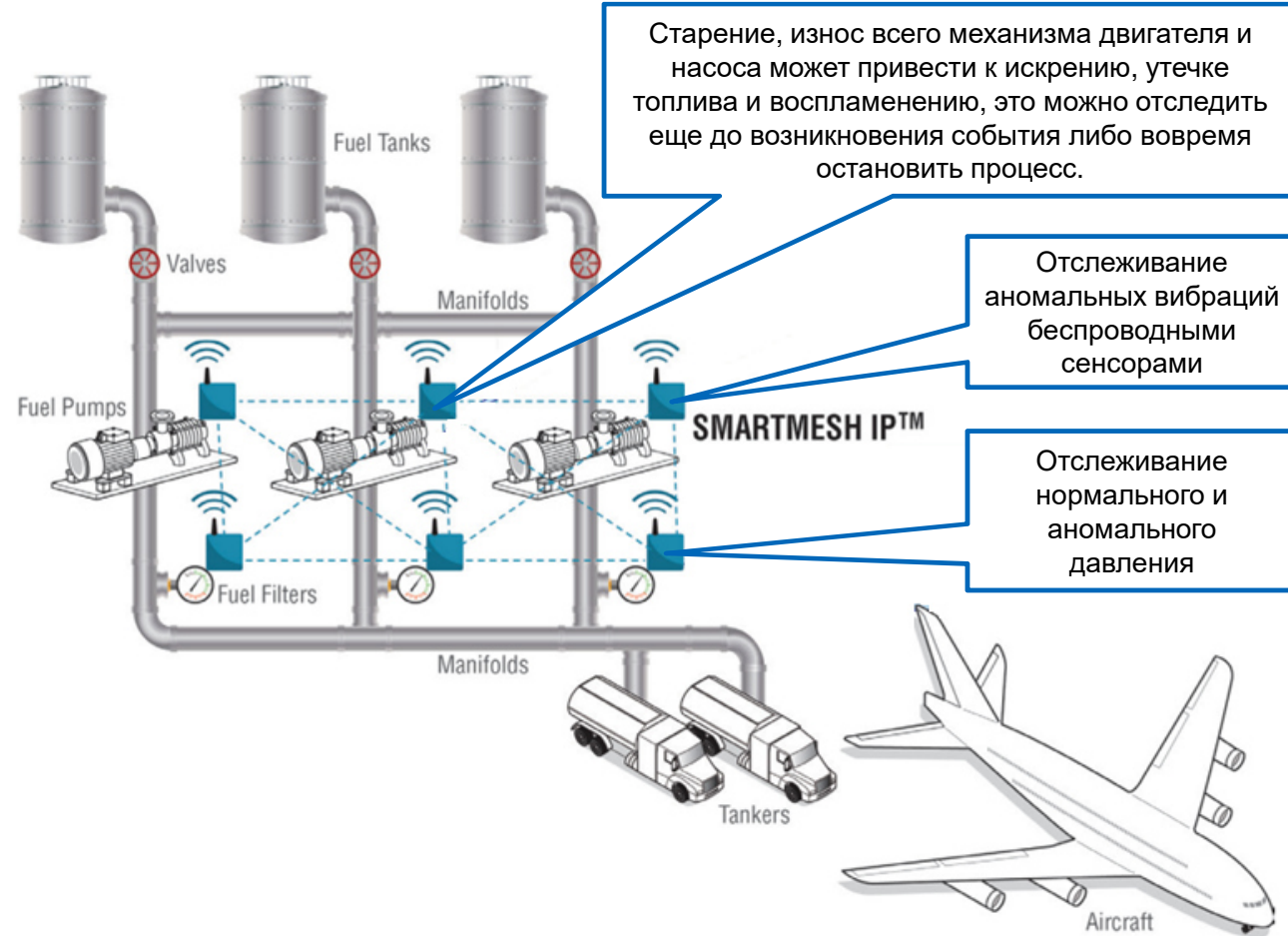
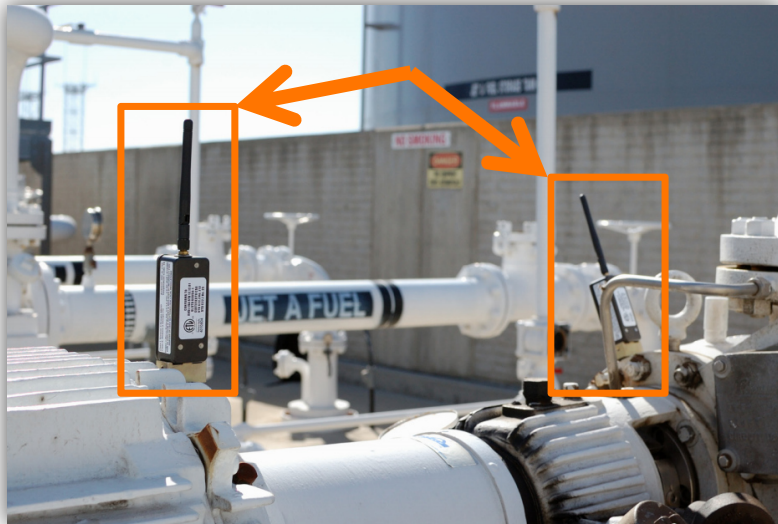
## 4.3 Перечень объектов 3

**Отслеживание состояния объектов в жестких радиочастотных средах:** приложения с плотным развертыванием, где тысячи узлов работают в пределах доступной радиосвязи друг от друга, например: подсобные солнечные фермы, сети на движущихся транспортных средствах, включая железнодорожные вагоны, грузовые контейнеры, полуприцепы, грузовые самолеты.

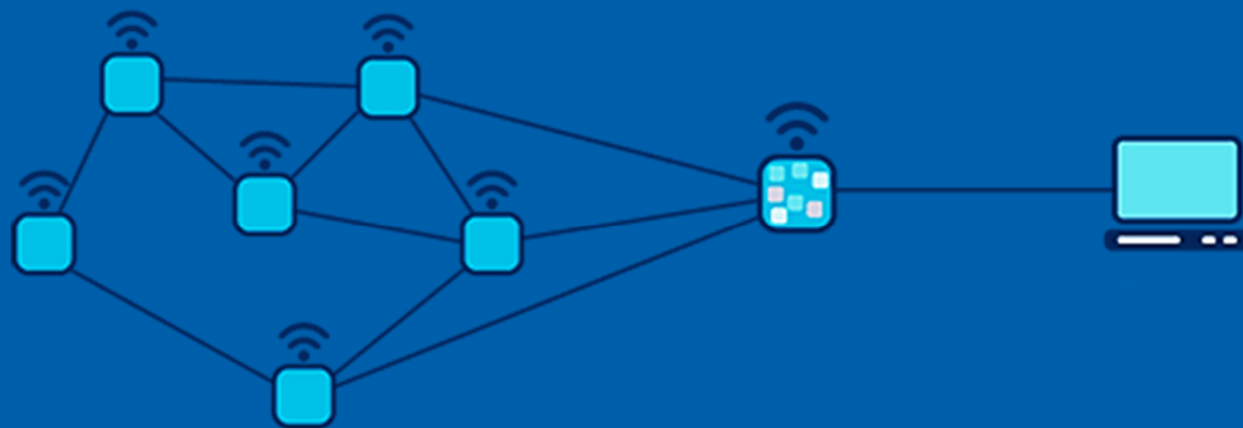


## 4.4 Контроль запасов топлива в аэропорту

- Несколько аэродромов на юго-западе США развернули у себя беспроводную сенсорную сеть для контроля за наличием топлива и предотвращения аварийных ситуаций.



## 5 Особенности сети SmartMesh IP™





# 5.1 Безаварийная работа в течение 10 лет

- ▶ **10 летний (и более) срок службы батарей**

Технология сети SmartMesh® позволяет размещать датчики везде, где должна быть собрана информация.

- ▶ **Навыки радио-инженера не требуются**

Монтажники не нуждаются в специализированной радиочастотной подготовке.

- ▶ **Лицензирование не требуется**

Работа на частоте 2,4 ГГц позволяет разрабатывать один продукт, но обслуживать мировой рынок (разные страны).

- ▶ **Самодиагностика сети**

позволяет визуализировать на мониторах производительности и целостность сети

- ▶ **Самооптимизация сети**

Сеть SmartMesh® постоянно отслеживает надежность передачи данных, выстраивает кратчайший путь для передачи данных, минимизирует энергопотребление в изменчивой радиочастотной обстановке.

- ▶ **Обновление модулей по воздуху**

Сеть SmartMesh® умеет обновлять «по воздуху» свое встроенное программное обеспечение узлов/микроконтроллеров, развернутых в поле.

- ▶ **Надежность передачи превышает вероятность 99,999%**

Сеть SmartMesh® способна обслуживать бизнес-интересы, обеспечивая наивысшую в отрасли вероятность доставки данных там, где конкуренты терпят неудачу. Например: промышленные применения не терпят даже 1% отказов, т.к. это соответствует незапланированному простою 3,65 дня в год.

- ▶ **Масштабируемость до 50 000 узлов**

Синхронизированная по времени технология SmartMesh® с переключением каналов устраняет конфликты передаваемых пакетов по сети. Алгоритмы оптимизации интеллектуально распределяют трафик для эффективной маршрутизации данных.

- ▶ **Двухнаправленная связь для мониторинга и контроля**

Позволяет как получать данные датчиков, получать файлы журналов, так и настраивать датчики и исполнительные механизмы (сигнализация, замки, клапаны, заслонки, и т. д.).



## 5.2 Готовый стек и программное обеспечение

### ► Не требуется разработка стека

Готовое встроенное ПО позволяет разработчикам сосредоточиться на разработке системы датчиков в приложении, зная, что SmartMesh® автоматически позаботится о целостности сети.

### ► Тестирование сетевого стека

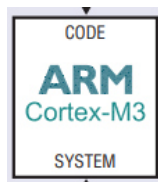
Готовое сетевое программное обеспечение проверено в реальных условиях стресса, таких как радиочастотные помехи, интенсивный трафик данных, экстремальные условия окружающей среды и множественные совместно расположенные сети.

### ► Комплексный API упрощает конечную разработку

Программные интерфейсы (API) обеспечивают доступ к конфигурации сети и статистике о ее производительности.

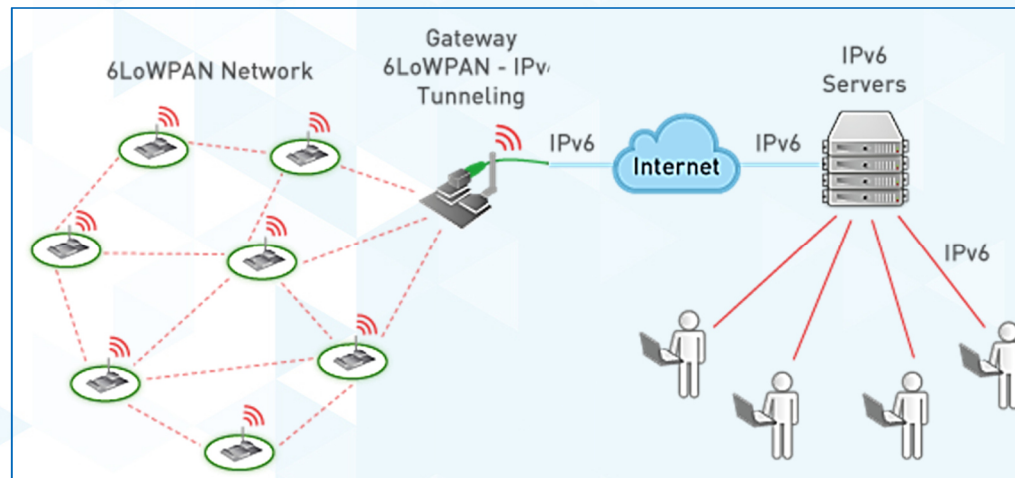
### ► Программируемый пользователем ARM Cortex-M3

Беспроводные узлы SmartMesh IP позволяют разработчику встраивать собственное программное обеспечение в микроконтроллер модуля.



### ► Совместимость стандартов беспроводной связи

- Специализированные микросхемы SmartMesh IP совместимы с технологией 6LoWPAN, что делает возможным передавать данные с датчиков в интернет-облако.
- Специализированные микросхемы SmartMeshIP WirelessHART совместимы с технологией WirelessHART.



**\*6LoWPAN** ([англ.](#) IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks) — стандарт взаимодействия по протоколу [IPv6](#) поверх маломощных беспроводных персональных сетей стандарта [IEEE 802.15.4](#)

**\*WirelessHART** — сетевая технология для беспроводных устройств на базе протокола [HART](#) (Highway Addressable Remote Transducer Protocol). Технология создана в компании Dust Networks, Inc., которая с 2017 г. принадлежит Analog Devices Inc.

## 5.3 Синхронизация и микропотребление

### ► Технология TSCH:

- В сети SmartMesh® реализован стандарт физического уровня IEEE 802.15.4e, который создан при участии команды Analog Devices «SmartMesh» специально для IoT, в котором реализована синхронизация по времени и скачкообразное переключение каналов - Time Synchronized Channel Hopping (TSCH). Технология TSCH является основой для стандартов WirelessHART (IEC62591) и IEEE 802.15.4e.
- В сетях на основе TSCH все частицы (пылинки, узлы) в сети синхронизируются с точностью до нескольких микросекунд. Сетевая связь происходит во временные интервалы, это обеспечивает обмен пакетами с низким энергопотреблением, попарное переключение каналов и разнообразие путей передачи.

### Как обеспечивается микропотребление:

- Использование технологии TSCH позволяет устройствам SmartMesh® спать в режиме потребления сверхмалой мощности между запланированными сеансами связи.
- Сетевой менеджер использует технологию TSCH для обеспечения того, что:
  - Частицы знают, когда они должны «говорить», когда они должны «слушать», а когда они должны «спать».
  - В сети отсутствуют конфликты при передаче пакетов данных.
  - Обеспечивается сверхнизкое энергопотребление на каждом узле маршрутизации (на каждой частице), частица обычно потребляет <50 мкА в режиме сна.

Статья From IEEE 802.15.4 to IEEE 802.15.4e: A Step Towards the Internet of Things Domenico De Guglielmo, Giuseppe Anastasi

## 5.4 Переключение каналов и маршрутизация

### Частотное разделение каналов:

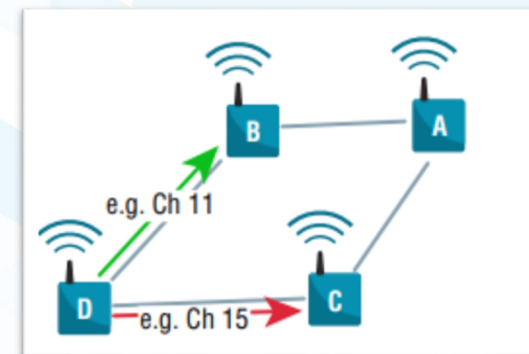
- ▶ Строгая синхронизация по времени позволяет переключать каналы в каждой паре передатчик-приемник для разнесения частот и избегания конфликтов передачи и для обеспечения полного дуплекса связи.

### В итоге в сети SmartMesh®:

- ▶ Каждый пакет передается в своем частотном канале.
- ▶ Может происходить одновременная передача с нескольких разных узлов, это увеличивает общую пропускную способность.
- ▶ Возможно увеличить емкость до нескольких тысяч узлов без получения побочных эффектов.

### Определение пути трафика и частотное разнесение каналов:

- ▶ Каждый узел может найти себе избыточное количество других узлов и обеспечить себе множество путей передачи, что избавит сеть от радио препятствий и многолучевого замирания. Если происходит сбой передачи на одном пути то Частица попытается передать трафик через другой путь. В отличие от других конкурентных сетей, в SmartMesh® не тратится дополнительное время и мощность на поиск альтернативного пути передачи трафика.
- ▶ На рисунке показано, что, если зеленый путь (канал 11) сбоит, то узел D уже знает, что он может передать трафик по красному пути (канал 15):



## 5.5 Оптимизация и шифрование

### Динамическая оптимизация сети:

Сеть SmartMesh® постоянно отслеживает радиочастотную обстановку в своем месторасположении и передает Сетевому Менеджеру специальный пакет данных «Отчет о состоянии». Таким образом Сетевой менеджер сможет:

- ▶ Просчитать и передать избыточное количество путей между Частицами в изменчивой радиочастотной обстановке.
- ▶ Обеспечить минимальную задержку сети во время настройки каждого Узла.
- ▶ Существенно уменьшить повторную передачу трафика за счет регулярного поиска альтернативных путей.
- ▶ Существенно уменьшить итоговое полное потребление мощности каждой Частицы и всей сети.

### 128-битное AES шифрование в сети:

- ▶ Каждый пакет между узлами является зашифрованным, проверяется целостность пакета, происходит идентификация каждого узла.
- ▶ При добавлении нового узла в сеть, Сетевой Менеджер берет на себя функцию выдачу нового ключа доступа и обмен ключами между всеми узлами.
- ▶ Вся сеть может быть настроена на переход на новый ключ шифрования в автоматическом режиме.
- ▶ Владелец сети сам решает как часто меняются ключи, балансируя количество трафика в сети.

- ▶ \* AES (Advanced Encryption Standard) - симметричный алгоритм блочного шифрования, принятый в качестве стандарта шифрования правительством США по результатам конкурса AES.

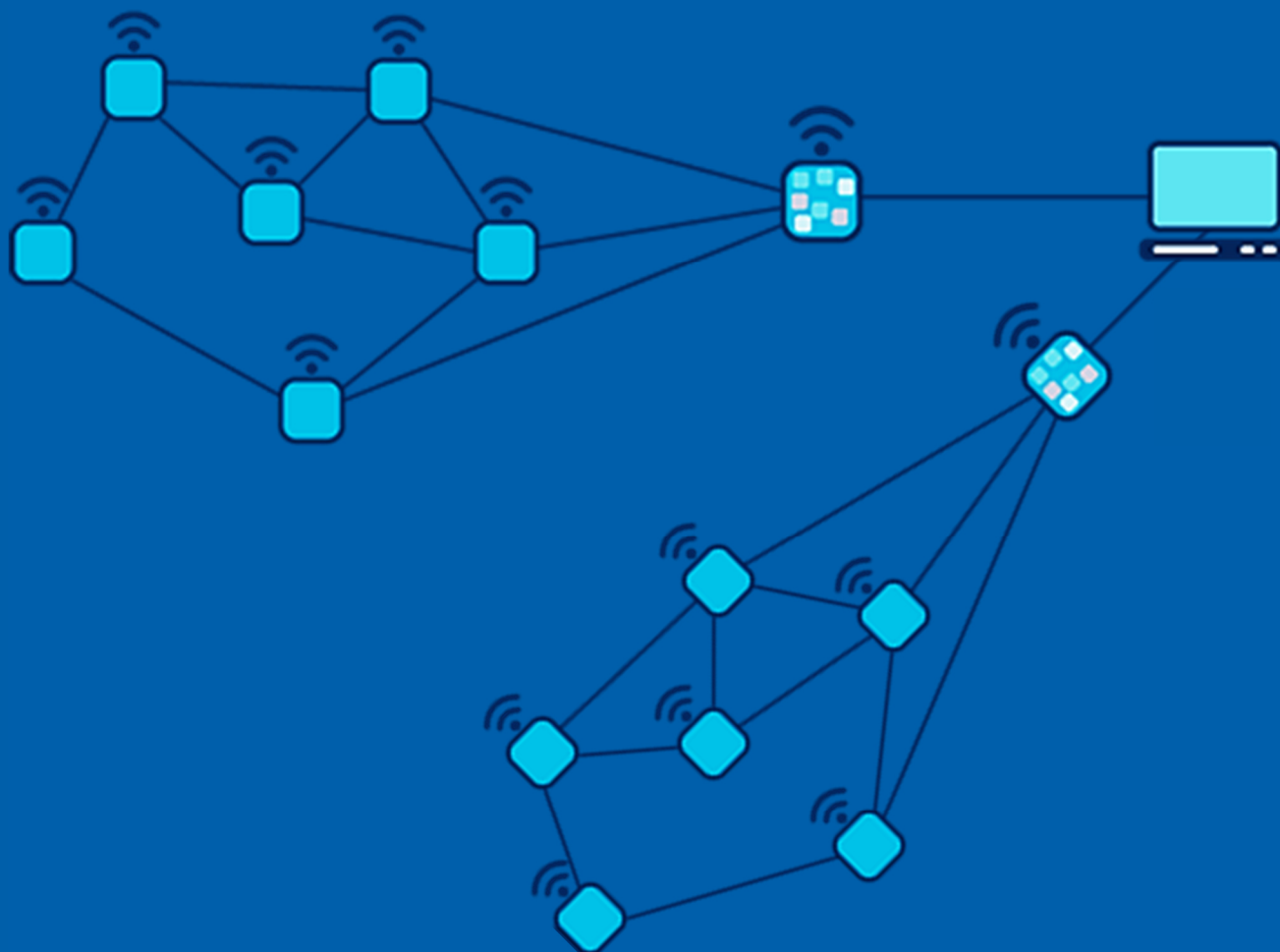




AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

## 6 Из чего состоит сеть SmartMesh IP™

©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved.



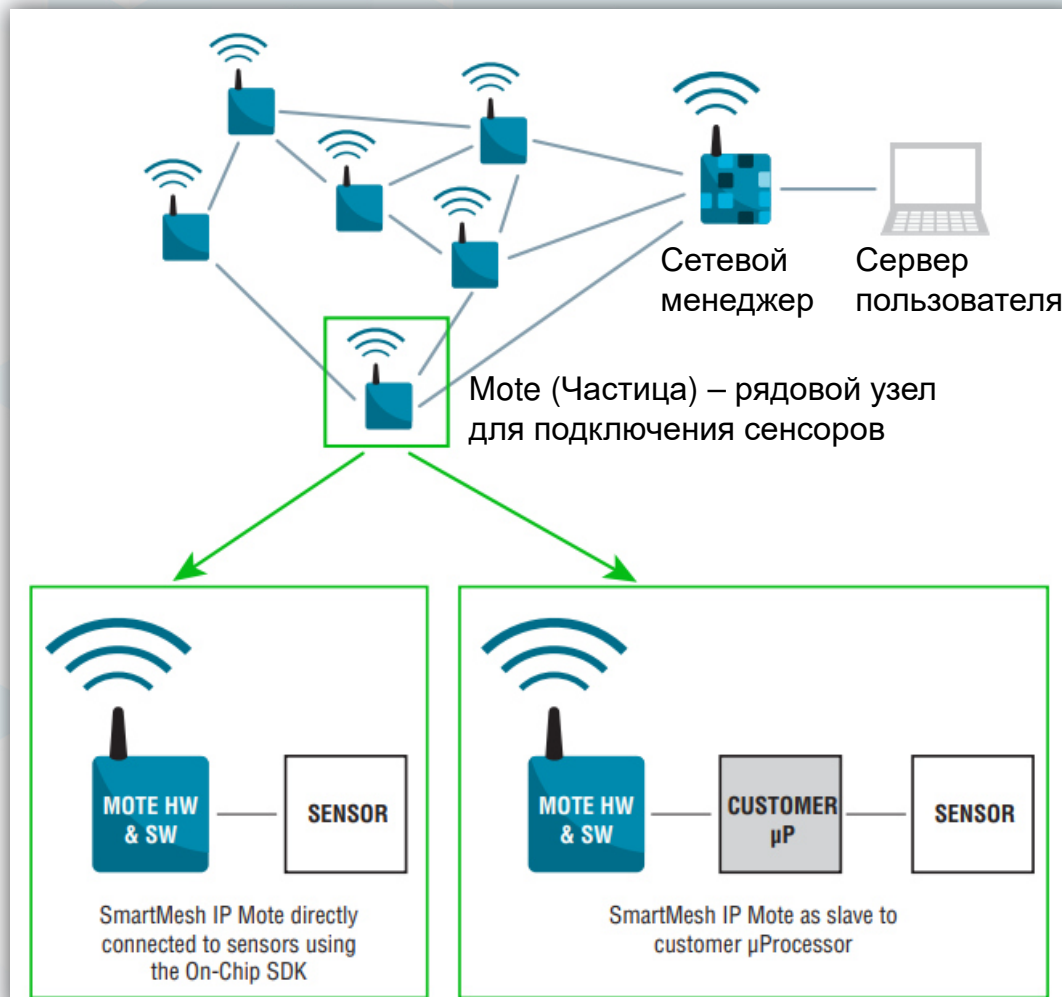
## 6.1 Два ключевых беспроводных узла в сети

### Сеть состоит из:

- ▶ **Рядовых узлов** – это **Частицы**, к которым подключаются либо сенсоры, либо исполнительные механизмы.
- ▶ **Сетевых менеджеров** – это узлы высшего ранга, которых может быть от одного до множества. Они являются шлюзами и оптимизаторами сети. Они подключаются к главному компьютеру пользователя.

### Построить сеть можно из:

- ▶ Микросхем приемо-передатчиков.
- ▶ Модулей, готовых к работе.
- ▶ Подготовленного программного обеспечения в виде настольных приложений и библиотек исходного кода (всё предоставляется бесплатно). ПО применяется как для разработки сети условно с нуля на основе микросхем, так и для конфигурации готовой сети на основе модулей.



## 6.2 Сетевые узлы SmartMesh IP™ Motes

### Что такое SmartMesh IP Motes

- ▶ Частицы (Motes) – это беспроводные узлы (Nodes) в сети SmartMesh IP Network. К Частицам могут подключаться либо полевые сенсоры, либо исполнительные устройства (актуаторы).

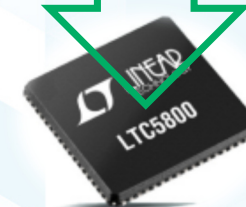
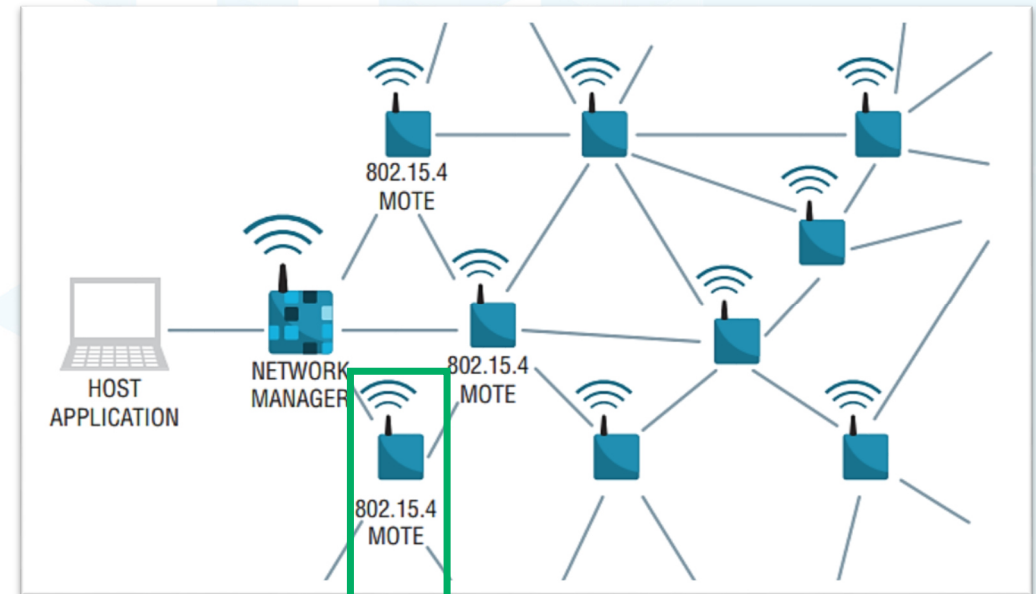
### Что делают SmartMesh IP Motes

- ▶ Частицы считывают показания с сенсоров и передают другим Частицам. Каждая Частица, кроме работы с сенсором, выполняет еще и функцию беспроводной маршрутизации с низкими энергозатратами.

### Кто управляет всеми Частицами

- ▶ Частицы регулярно отправляют специальному узлу - Сетевому Менеджеру отчет о своем состоянии и состоянии радиоэфира. Сетевой Менеджер регулярно «продумывает» и указывает каждой Частице с какой другой Частицей она будет работать в паре и по каким маршрутам между Частицами Частица может передавать трафик. Это позволяет достичь высокой эффективности по скорости и бесконфликтности передачи и низкого энергопотребления.

### Частицы с запланированными маршрутами



Частицы разрабатываются либо из микросхем, либо собираются из готовых модулей

## 6.3 Сетевые узлы SmartMesh IP Manager

### Что такое SmartMesh IP Manager

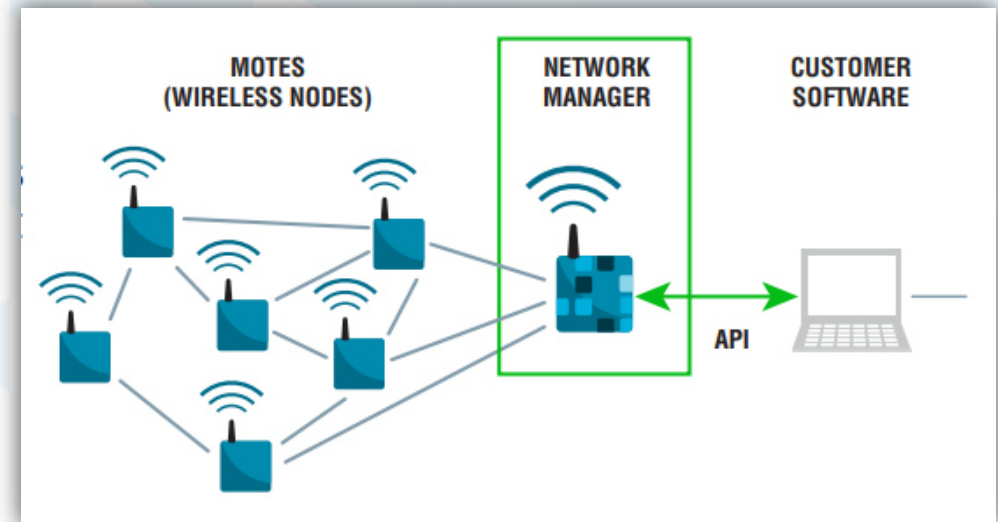
- ▶ Сетевой Менеджер – это особый программируемый аппаратный узел сети. Он является беспроводным шлюзом, с которым общаются все Частицы.

### Что делает SmartMesh IP Manager

- ▶ Только через Сетевой Менеджер (СМ) можно настроить всю сеть. СМ отвечает за автоматическую оптимизацию сети. СМ выводит всю сеть в интернет-пространство.

### Кто управляет всеми Сетевым Менеджером

- ▶ К СМ можно получить доступ с персонального компьютера при помощи соответствующего API.
- ▶ СМ подключается к ПК через USB-шнур.
- ▶ Существует 2 версии СМ: EManager и VManager.



- ▶ Только через Сетевой Менеджер можно получить доступ во всю сеть ко всем Частицам.
- ▶ Сетевой Менеджер разрабатывается либо из микросхем либо является готовым модулем



## 6.4 Сетевой узел SmartMesh IP версии EManager

### Особенность SmartMesh IP EManager

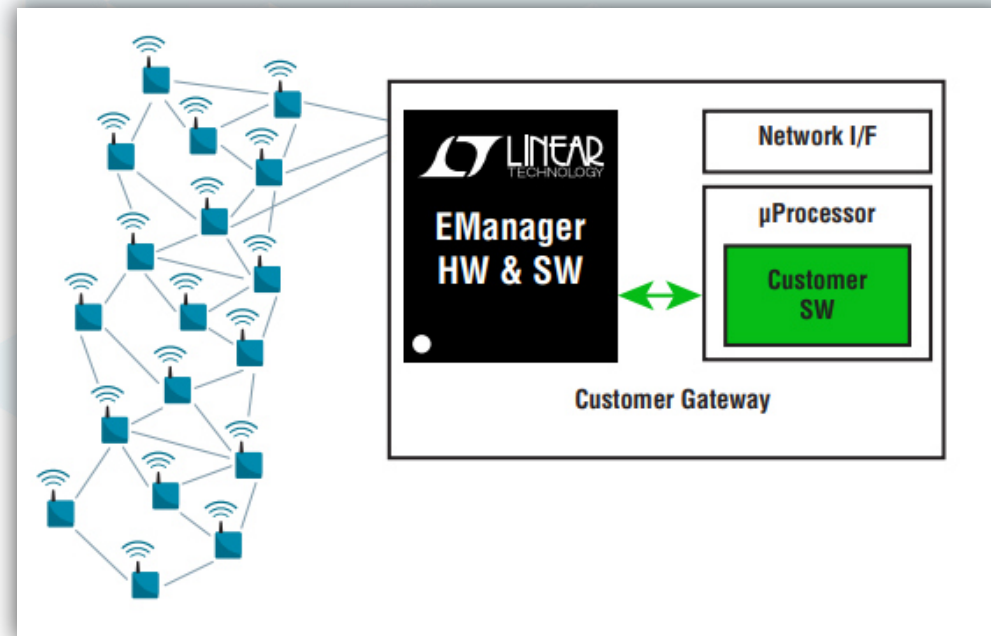
- ▶ Это упрощенная версия, он поддерживает до 100 Частиц в сети.

### Как реализован SmartMesh IP EManager

- ▶ Это аппаратный менеджер-на-кристалле. Им является микросхема LTC5800-IPM, которая управляется внешним микропроцессором.
- ▶ Это идеальное решение для сетей малого размера.

### Кто управляет всеми Сетевым Менеджером

- ▶ К Сетевому Менеджеру (CM) можно получить доступ с персонального компьютера при помощи соответствующего API.
- ▶ CM подключается к ПК через USB-шнур.



Структура сети малого размера до 100 узлов.  
Менеджером сети является чип LTC5800-IPM.

## 6.5 Сетевой узел SmartMesh IP версии VManager

### Особенность SmartMesh IP VManager

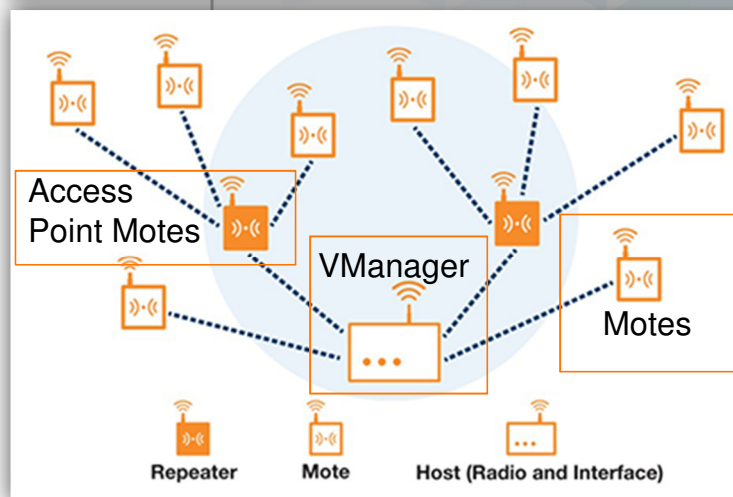
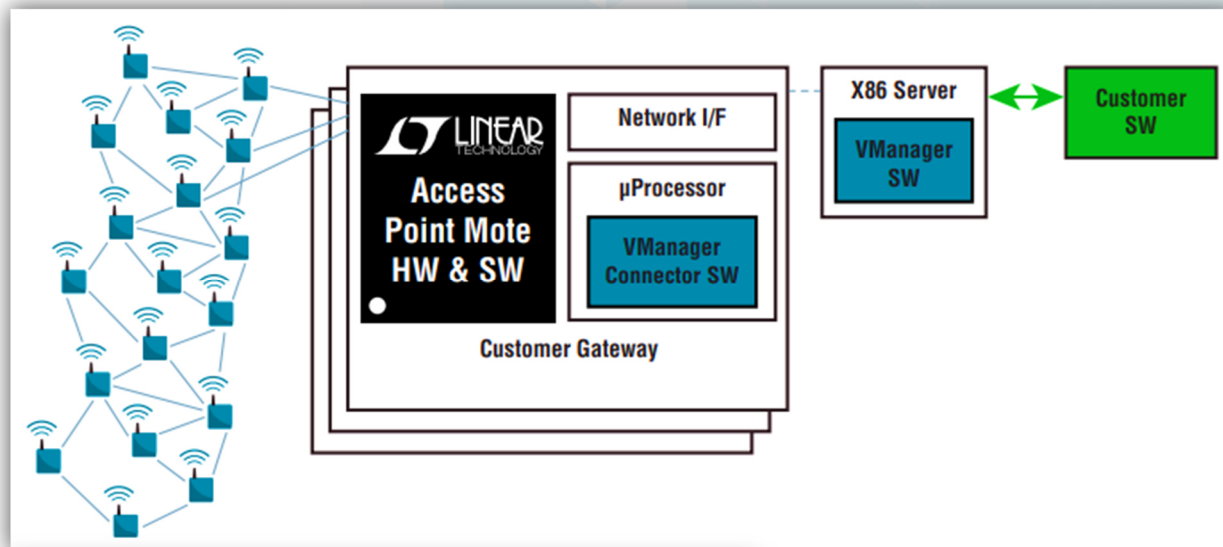
- ▶ Это сложная/мощная версия. Он поддерживает до 50 000 Частиц/Узлов в одной сети.

### Как реализован SmartMesh IP VManager

- ▶ Это программный менеджер работающий в комбинации с множеством аппаратных точек доступа.
- ▶ Аппаратной точкой доступа является та же микросхема LTC5800-IPM работающая в режиме Access Point Motes (AP Motes).
- ▶ Весь VManager управляется внешним ПО, установленном на ПК.
- ▶ Это идеальное решение для сетей большого размера.

### Кто управляет Сетевым Менеджером VManager

- ▶ Пользователь или владелец сети

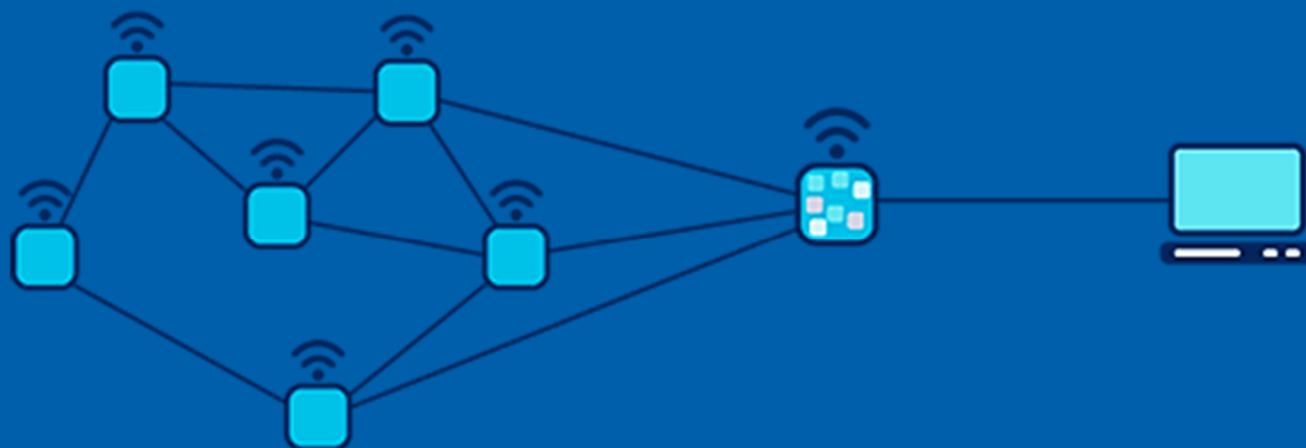


- ▶ Структура сети большого размера до 50 000 узлов. Менеджером сети является чип LTC5800-IPM и ПО VManager.
- ▶ ПО VManager устанавливается и запускается на виртуальных машинах таких как VMWare или Oracle VirtualBox, которые предназначены для ПК архитектуры x86.



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

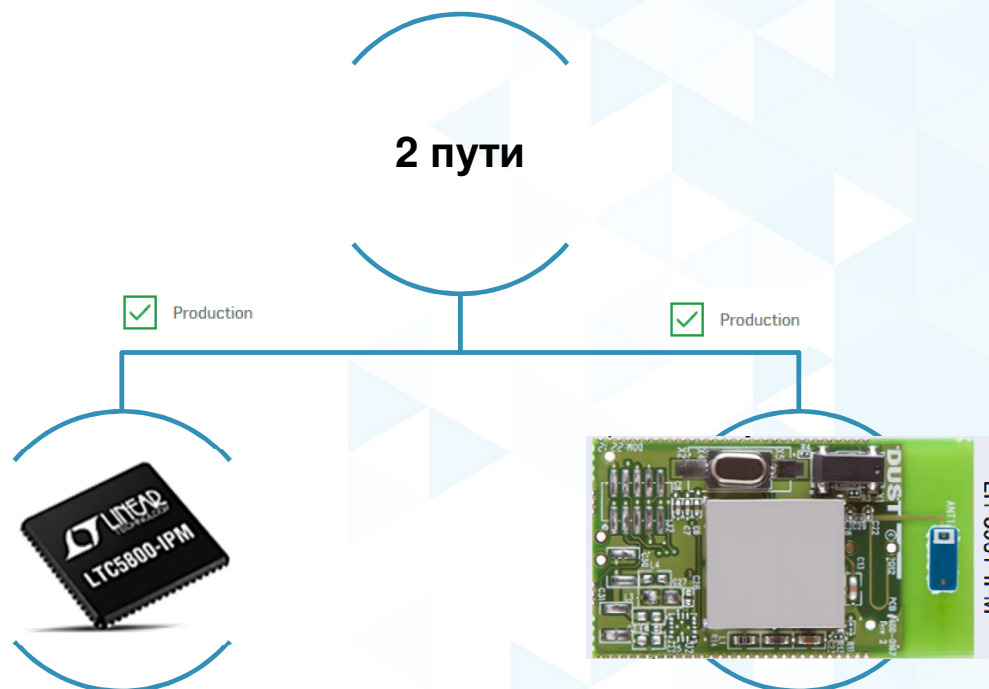
## 7 Аппаратное обеспечение для разработки узлов сети SmartMesh IP™



## 7.1 Два пути для разработки сетевого узла

Аппаратную часть узла сети можно разработать самостоятельно на основе микросхемы, либо можно просто купить готовые встраиваемые (embedded) модули на печатной плате.

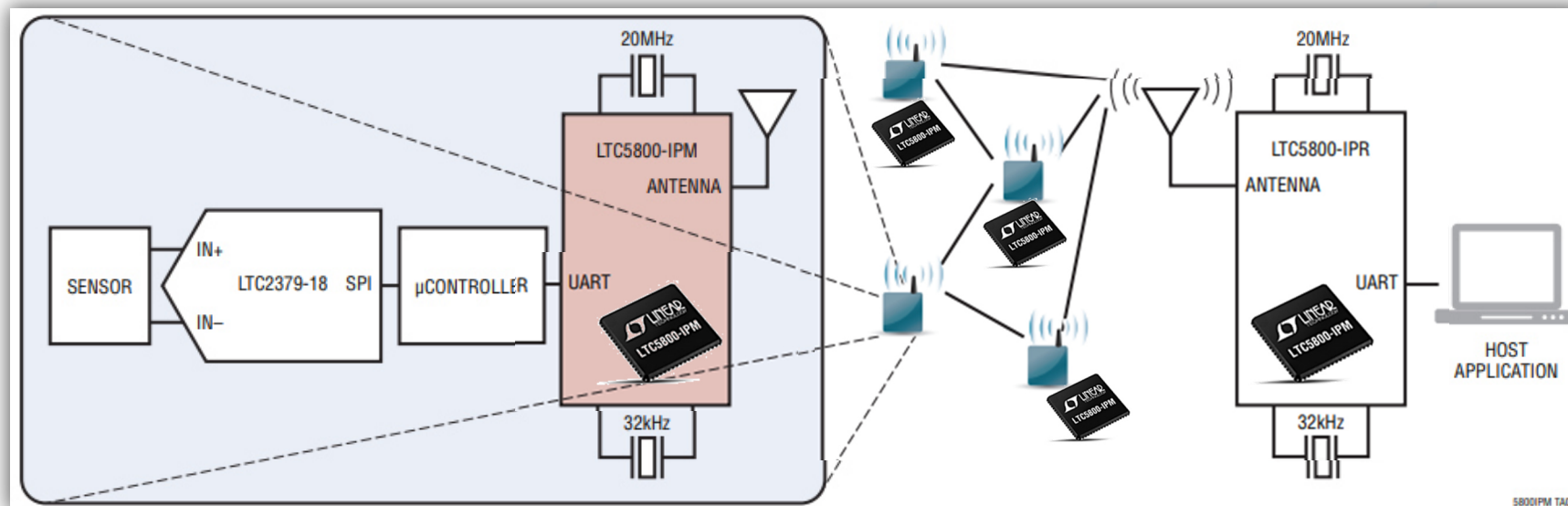
Данные модули (не микросхемы) сертифицированы для работы в странах: США, Канада, Европейский Союз, Япония, Тайвань, Корея, Индия, Австралия и Новая Зеландия.





## 7.2 Разработка узла Частицы на базе микросхемы

На рисунке показана функциональная схема Частицы, к которой через UART подключен микроконтроллер. На схеме функциональный блок Частица закодирован номером LTC5800-IPM, но наименование у микросхемы другое, например: LTC5800HWR-IPMA#PBF.



Короткий алгоритм разработки Частицы

1. Взять микросхему с наименованием LTC5800HWR-IPMA#PBF.
2. Разработать для микросхемы схему и печатную плату по типовому проекту.
3. Загрузить в микросхему готовое встраиваемое ПО «SmartMesh IP Mote Software».
4. Частица готова к внешнему управлению через UART и её можно использовать для работы в сети.

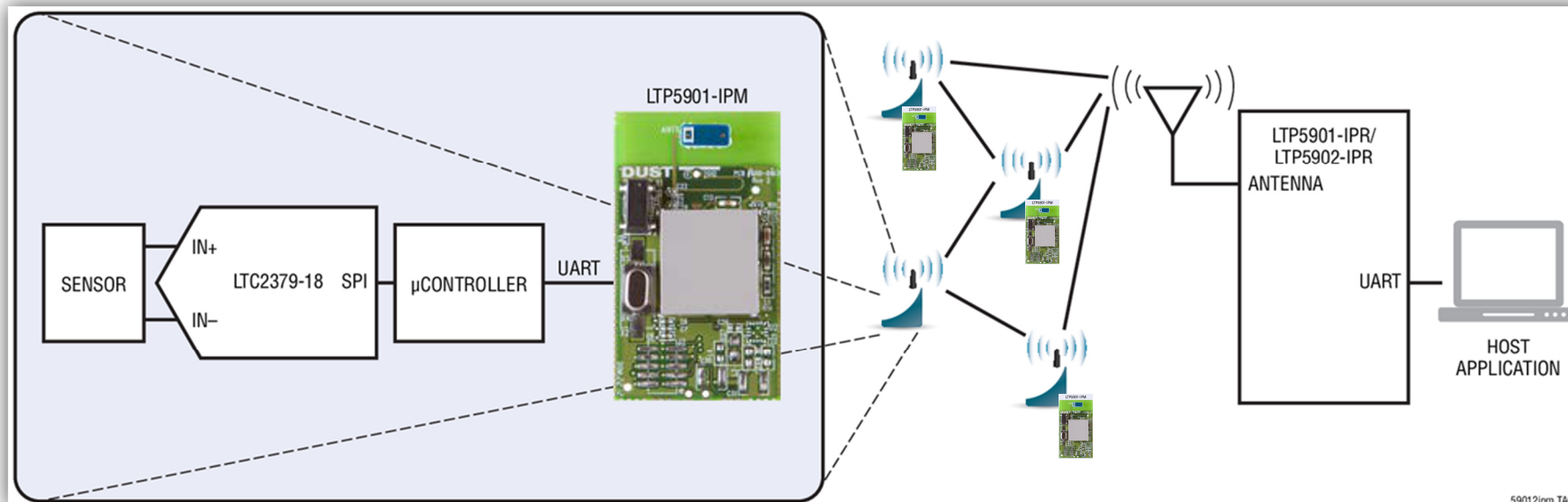


1. Документация на узел Частицы – <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/5800ipmfa.pdf>
2. Типовой проект – [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/user-guides/Eterna\\_Integration\\_Guide.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/user-guides/Eterna_Integration_Guide.pdf)

## 7.3 Разработка узла Частицы на базе Модуля

На рисунке показана функциональная схема Частицы, к которой через UART подключен микроконтроллер. На схеме функциональный блок Частицы закодирован номером LTC5901-IPM.

Модуль LTC5901-IPM имеет чип-антенну на плате.



Короткий алгоритм разработки функционального узла Частица

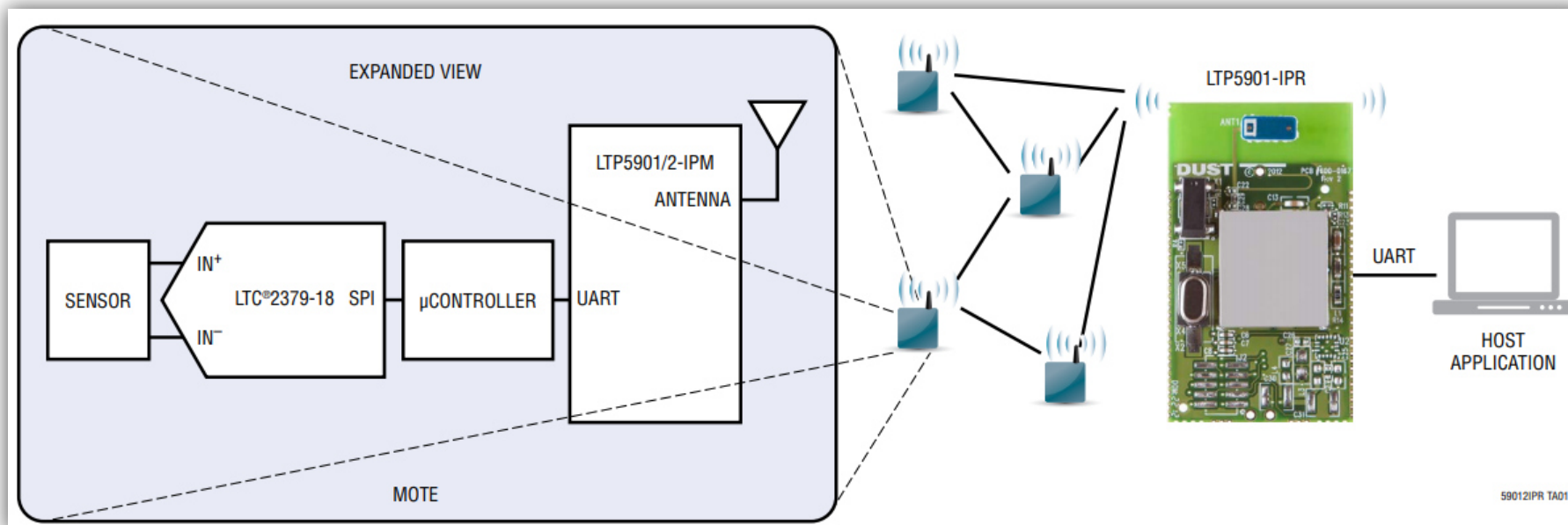
1. Взять готовый разработанный модуль с наименованием LTP5901IPC-IPMA#PBF, либо LTP5902IPC-IPMA#PBF.
2. Загрузить в модуль/микросхему готовое встраиваемое ПО «SmartMesh IP Mote Software».
3. Частица готова к внешнему управлению через UART и её можно использовать для работы в сети.

1. Документация на узел Частицы – <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/5800ipmfa.pdf>
2. Типовой проект для всех модулей – [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/product-information/LTP5901\\_SMARTMESH\\_MODULE\\_BOARD\\_FILES.zip](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/product-information/LTP5901_SMARTMESH_MODULE_BOARD_FILES.zip)

## 7.4 Разработка узла Manager на базе Модуля

На рисунке показана функциональная схема Частицы, к которой через UART подключён микроконтроллер. На схеме функциональный блок Узел Менеджер закодирован номером LTP5901-IPR.

Модуль LTC5901 имеет чип-антенну на плате.



Короткий алгоритм разработки функционального узла Manager.

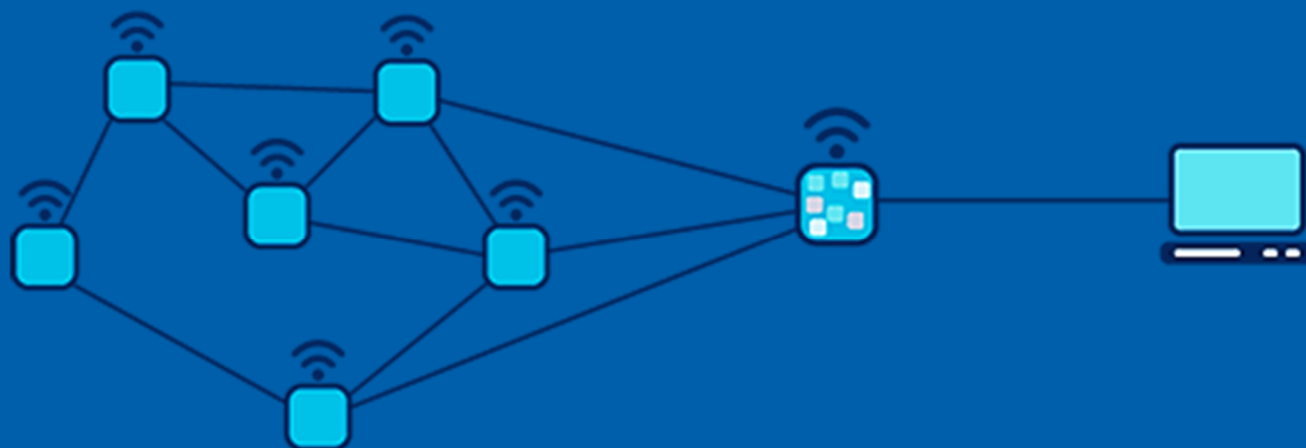
1. Взять готовый разработанный модуль с наименованием LTP5901IPC-IPMA#PBF, либо LTP5902IPC-IPMA#PBF.
2. Загрузить в модуль/микросхему готовое встраиваемое ПО «SmartMesh IP Network Embedded Manager Software».
3. Аппаратный Менеджер готов к внешнему управлению через UART и его можно использовать для работы в сети.

1. Документация на узел Менеджер – <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/59012iprfa.pdf>
2. Типовой проект для всех модулей – [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/product-information/LTP5901\\_SMARTMESH\\_MODULE\\_BOARD\\_FILES.zip](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/product-information/LTP5901_SMARTMESH_MODULE_BOARD_FILES.zip)



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™




## 8 Встраиваемое программное обеспечение для разработки узлов сети SmartMesh IP™






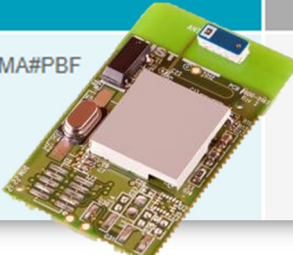

## 8.1 Одна микросхема для всех типов узлов

- ▶ Поведение микросхемы LTC5800 в IP-сети SmartMesh® определяется выбором загруженного встраиваемого программного обеспечения: **Wireless Mote**, **EManager** или **Access Point Mote**.
- ▶ Встраиваемое программное обеспечение, поставляемое с микросхемой LTC5800, полностью протестировано, проверено и легко настраивается через программный интерфейс прикладного программирования (API).
- ▶ После того, как вы купили продукты SmartMesh IP™, скомпилированные двоичные встраиваемые файлы можно загрузить через вашу учетную запись в личном кабинете на сайте [www.analog.com](http://www.analog.com), чтобы потом загрузить их в микросхему.
- ▶ Ссылка на страницу микросхемы: <https://www.analog.com/en/products/ltc5800-ipm.html>.
- ▶ Стандартная оценочная цена за микросхему указана на сайте.  
Для получения цены, актуальной в РФ, необходимо обратиться к официальному дистрибьютору Analog Devices, ООО «ЭЛТЕХ Компонент», [www.eltech.spb.ru](http://www.eltech.spb.ru).

Model	Package	Pins	Temp Range	Packing Qty	Price (100-499)	Price (1000+)	RoHS
<div><div> Production</div><div>LTC5800HWR-IPMA#PBF Request PCN/PDN Notification Production</div><div></div></div>	72-Lead QFN (10mm x 10mm x 1mm w/ EP)	72	-55 to 105C	Tray, 168	\$16.13	\$13.19	Y 

## 8.2 Один модуль для всех типов узлов

- ▶ Поведение модуля LTP5901IPC-IPMA#PBF в IP-сети SmartMesh® определяется выбором загруженного встраиваемого программного обеспечения: **Wireless Mote**, **EManager** или **Access Point Mote**.
- ▶ Встраиваемое программное обеспечение, поставляемое с микросхемой LTC5800, полностью протестировано, проверено и легко настраивается через программный интерфейс прикладного программирования (API).
- ▶ После того, как вы купили продукты SmartMesh IP™, скомпилированные двоичные встраиваемые файлы можно загрузить через вашу учетную запись в личном кабинете на сайте [www.analog.com](http://www.analog.com), чтобы потом загрузить их в микросхему.
- ▶ Ссылки на страницы 2-х типов модулей:
  1. <https://www.analog.com/en/products/ltp5901-ipm.html> (встроенная антенна установлена на плату)
  2. <https://www.analog.com/en/products/ltp5902-ipm.html> (внешняя антенна подключается через коаксиальный кабель)
- ▶ Стандартная оценочная за модуль указана на сайте.  
Для получения цены актуальной в РФ, необходимо обратиться к официальному дистрибьютору Analog Devices, ООО «ЭЛТЕХ Компонент», [www.eltech.spb.ru](http://www.eltech.spb.ru).

Model	 Production	Package	Pins	Temp Range	Packing Qty	Price (100-499)	Price (1000+)	RoHS
LTP5901IPC-IPMA#PBF <a href="#">Request</a> <a href="#">PCN/PDN</a> <a href="#">Notification</a> Production		66-Lead PCA	66	-40 to 85C	Tray, 22	\$48.30	\$42.00	Y 

## 8.3 Иллюстрация процесса получения узла Mote

В микросхему LTC5800HWR-IPMA#PBF и в модуль LTP5901IPC-IPMA#PBF может быть загружен код для режима работы: **SmartMesh IP Mote**

- Документация на Узел Mote <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/5800ipmfa.pdf>

Embedded Soft File  
**SmartMesh IP  
Mote**

CHIP

1. LTC5800HWR-IPMA#PBF
2. LTC5800IWR-IPMA#PBF

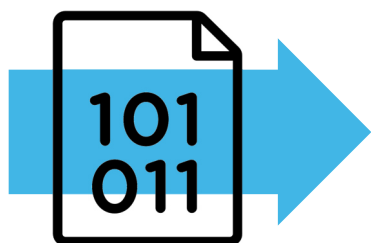
Module

1. LTP5901IPC-IPMA#PBF
2. LTP5902IPC-IPMA#PBF

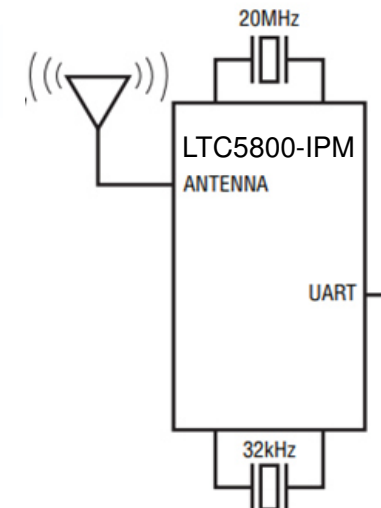
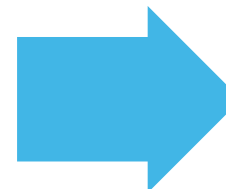
Узел

**LTC5800-IPM SmartMesh IP Mote**

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/5800ipmfa.pdf>



или



## 8.4 Иллюстрация процесса получения узла Manager

В микросхему LTC5800HWR-IPMA#PBF и в модуль LTP5901IPC-IPMA#PBF может быть загружен код для режима работы: SmartMesh IP Manager

- Документация на Узел Manager <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/5800iprfa.pdf>

Embedded Soft File  
**SmartMesh IP  
Manager**

CHIP

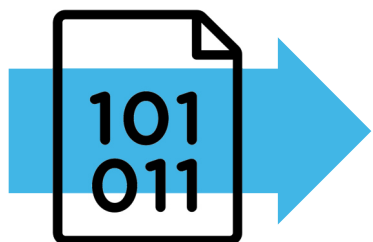
1. LTC5800HWR-IPMA#PBF
2. LTC5800IWR-IPMA#PBF

Module

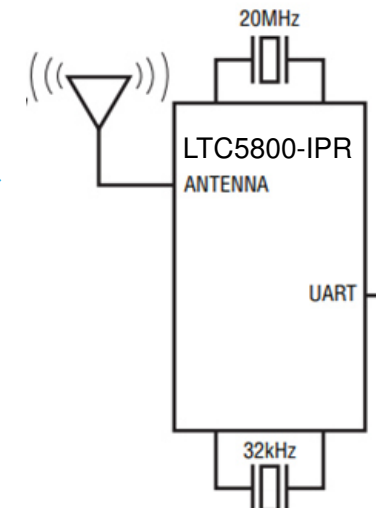
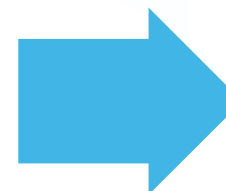
1. LTP5901IPC-IPMA#PBF
2. LTP5902IPC-IPMA#PBF

Узел

LTC5800-IPR SmartMesh IP Network Manager  
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/5800iprfa.pdf>



или





## 8.5 Иллюстрация процесса получения узла Access Point

В микросхему LTC5800HWR-IPMA#PBF и в модуль LTP5901IPC-IPMA#PBF может быть загружен код для режима работы: **SmartMesh IP Access Point**

- Документация на Узел Access Point <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/5800ipaf.pdf>

Embedded Soft File  
**SmartMesh IP  
Access Point**

CHIP

1. LTC5800HWR-IPMA#PBF
2. LTC5800IWR-IPMA#PBF

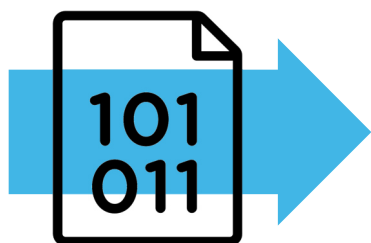
Module

1. LTP5901IPC-IPMA#PBF
2. LTP5902IPC-IPMA#PBF

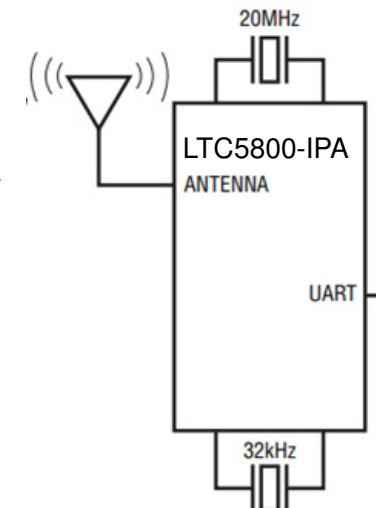
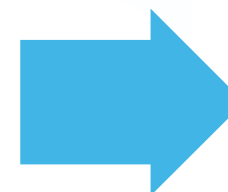
Узел

**LTC5800-IP SmartMesh IP Access Point**

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/5800ipaf.pdf>



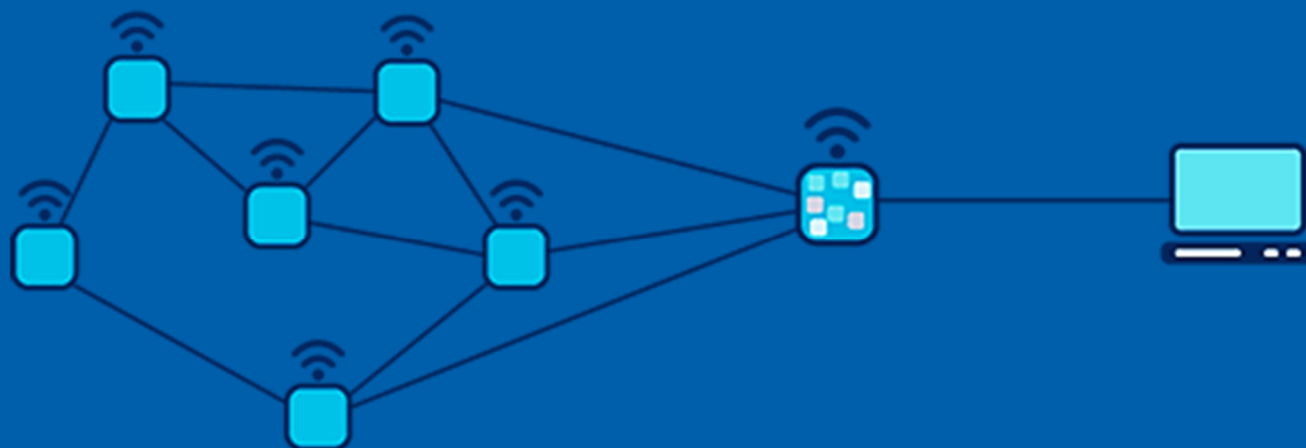
или





AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

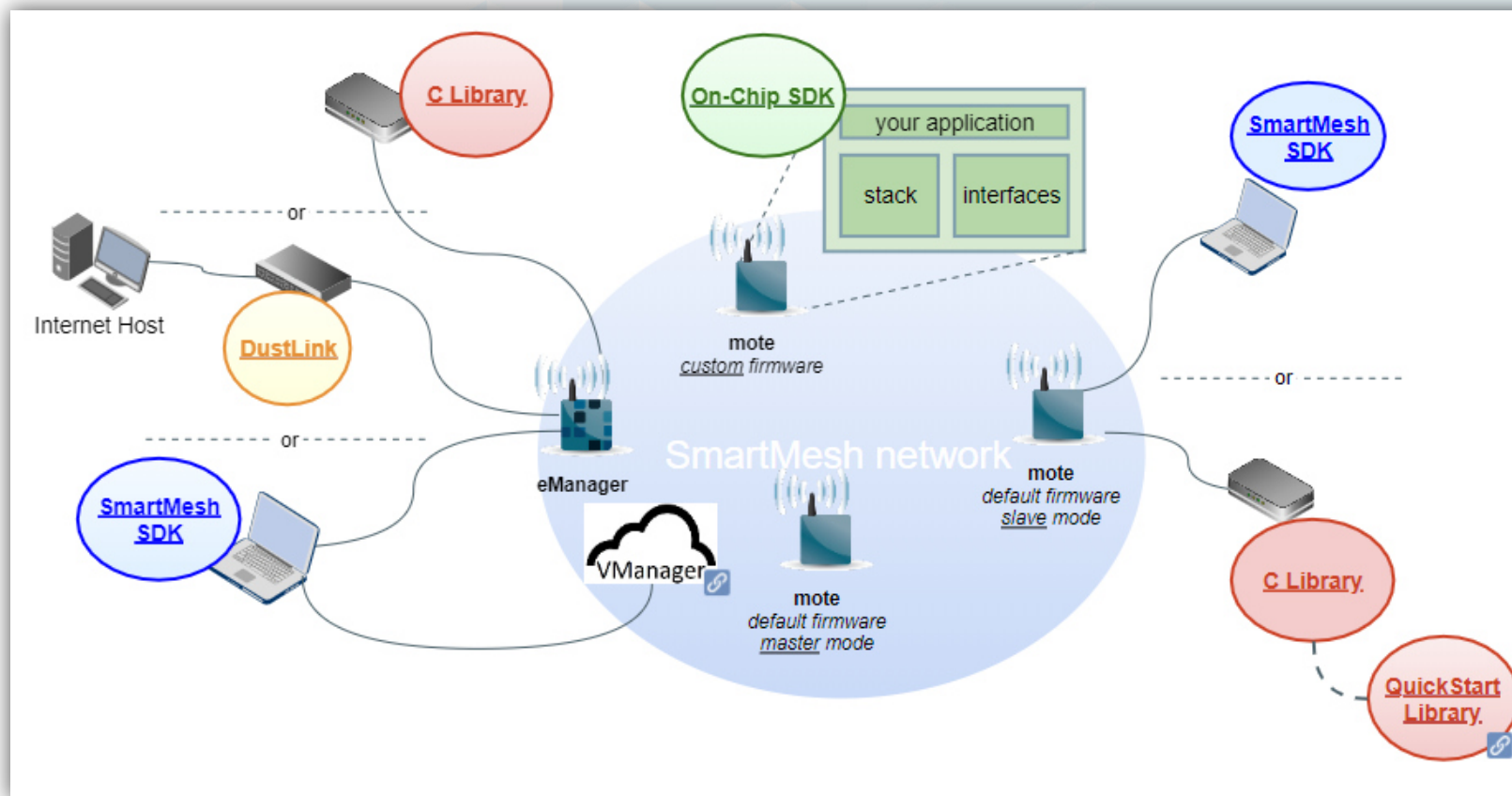
## 9 Библиотеки кода для управления сетью SmartMesh IP™



## 9.1 Инфраструктура библиотек кода

Существует несколько библиотек кода в виде программных интерфейсов:

1. C Library
2. SmartMesh SDK
3. On-Chip SDK

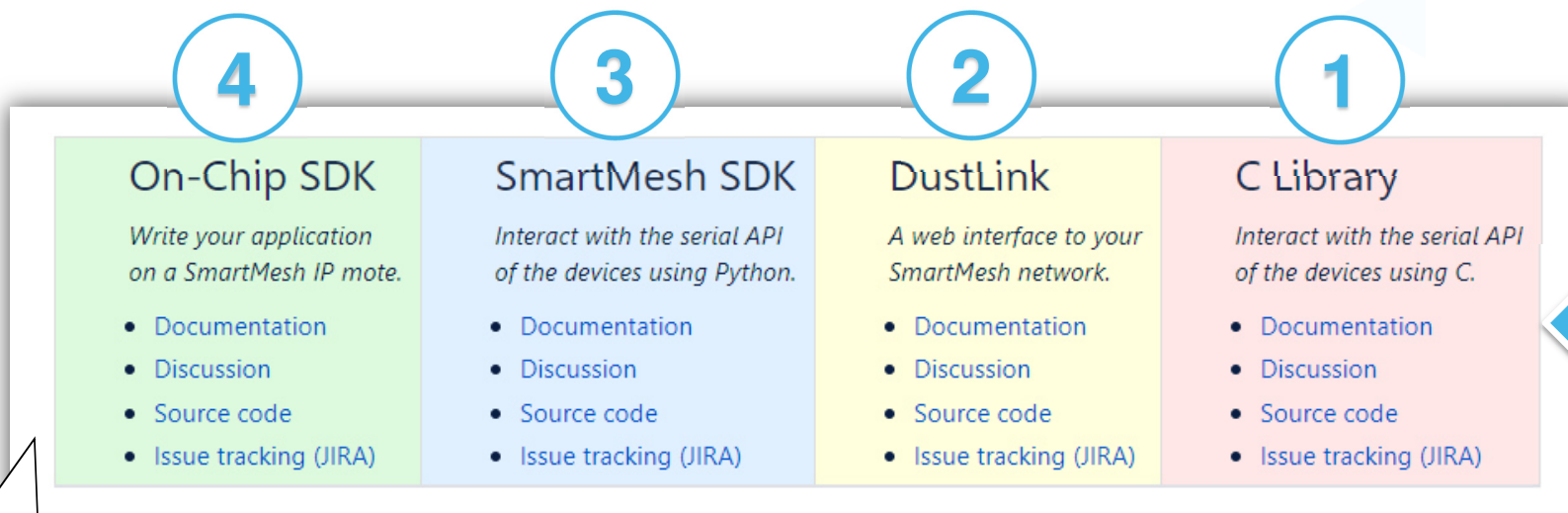


Ссылка на исходный код всех библиотек: <https://dustcloud.atlassian.net/wiki/spaces/ALLDOC/overview>

## 9.2 Исходные коды всех библиотек

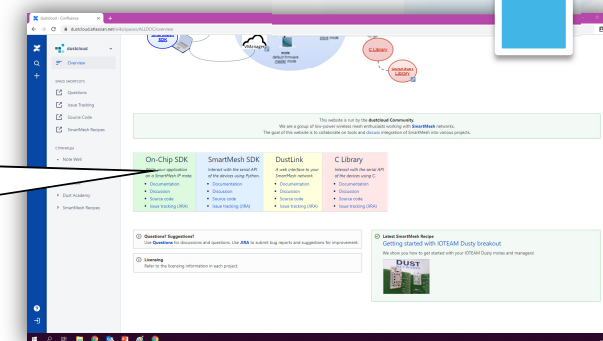
- Ссылка на исходный код всех библиотек:

<https://dustcloud.atlassian.net/wiki/spaces/ALLDOC/overview>



Ссылки на все библиотеки с документацией

Web-страница

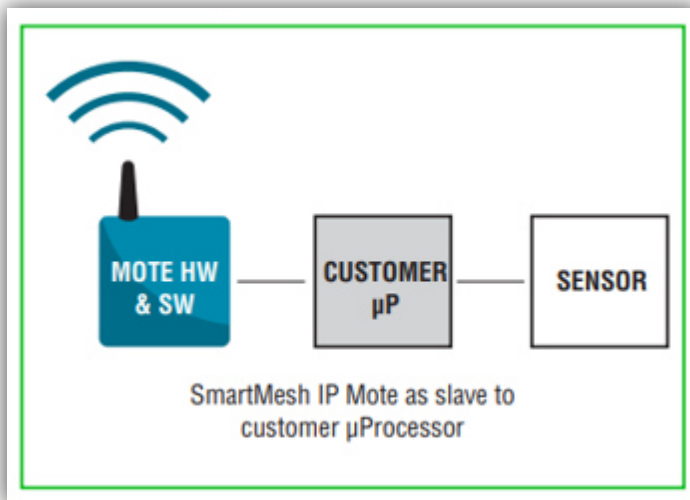




## 9.3 Библиотека кода для внешнего процессора Частицы

### Библиотека C Library

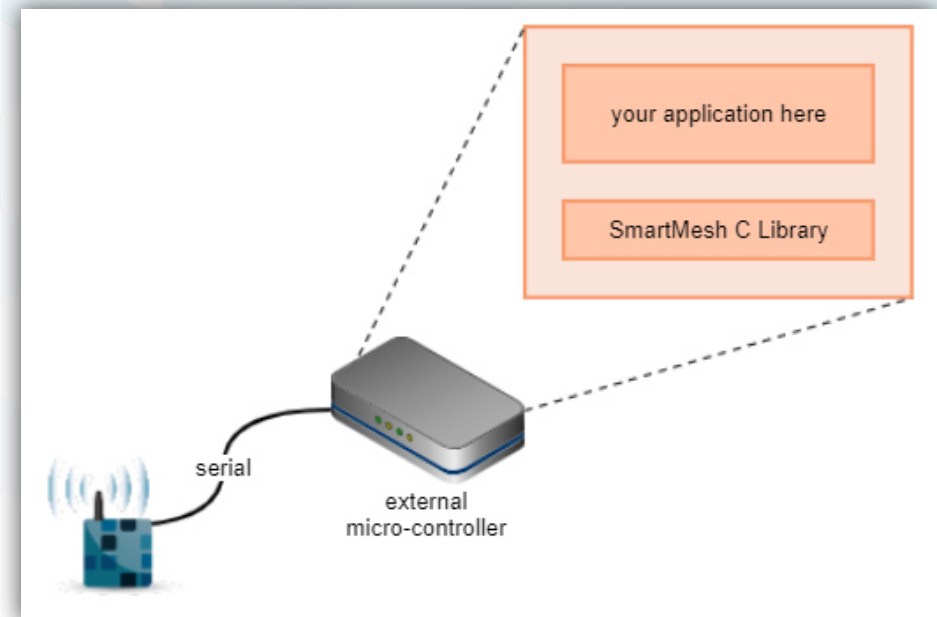
- ▶ Эту библиотеку следует использовать чтобы управлять Частицей от внешнего процессора через последовательный аппаратный интерфейс UART.
- ▶ Это библиотека API, написанная на чистом языке C без привязки к процессору. Она встраивается в проект путем копирования директории с исходными файлами \*.c и \*.h. Управление Частицей происходит путем вызова доступных функций из API.



Внешний процессор может управлять как сенсором так и Частицей

### Библиотека позволяет

- ▶ Управлять периферией: GPIO, ADC, UART, SPI, I2C.
- ▶ Запрашивать статистику о качестве связи.
- ▶ Посылать и принимать сообщения через всю сеть.



Структура будущего кода в проекте показана на рисунке. Она состоит из кода самой библиотеки и дописанного пользовательского кода .

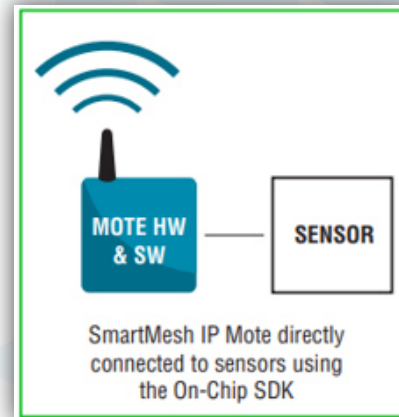
## 9.4 Библиотека кода для встроенного процессора Частицы

### Программное обеспечение Частицы On-Chip Software Development Kit (On-Chip SDK)

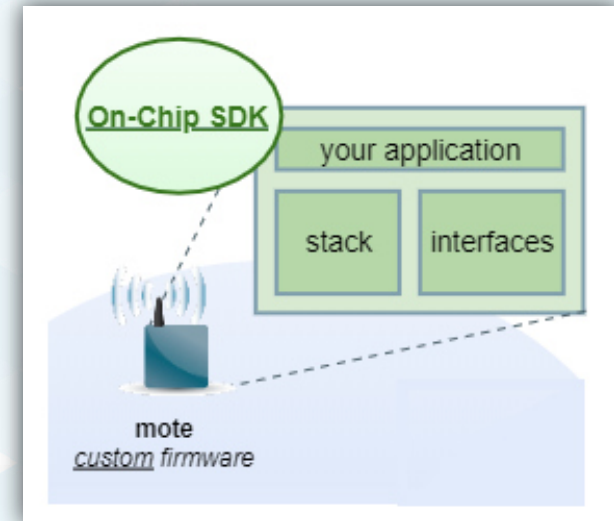
- ▶ Все ПО для сетевого стека уже полностью написано, скомпилировано и протестировано на надежность. Его можно свободно использовать, но модернизировать и дописывать не нужно.
- ▶ Каждая микросхема Частицы содержит встроенный процессор ARM Cortex-M3. ПО On-Chip-SDK позволяет программисту встроить свое приложение на языке C в существующий код, чтобы управлять периферией по своему усмотрению.

### ПО On-Chip SDK позволяет

- ▶ Управлять периферией: GPIO, ADC, UART, SPI, I2C, 1Wire.
- ▶ Запрашивать статистические данные о качестве связи.
- ▶ Посылать и принимать сообщения через всю сеть.



- ▶ Внутренний процессор может управлять как сенсором так и Частицей.
- ▶ Нет необходимости использовать внешний процессор.



Структура прошивки в случае использования SDK для процессора ARM Cortex-M3, встроенного в микросхему Частицы.

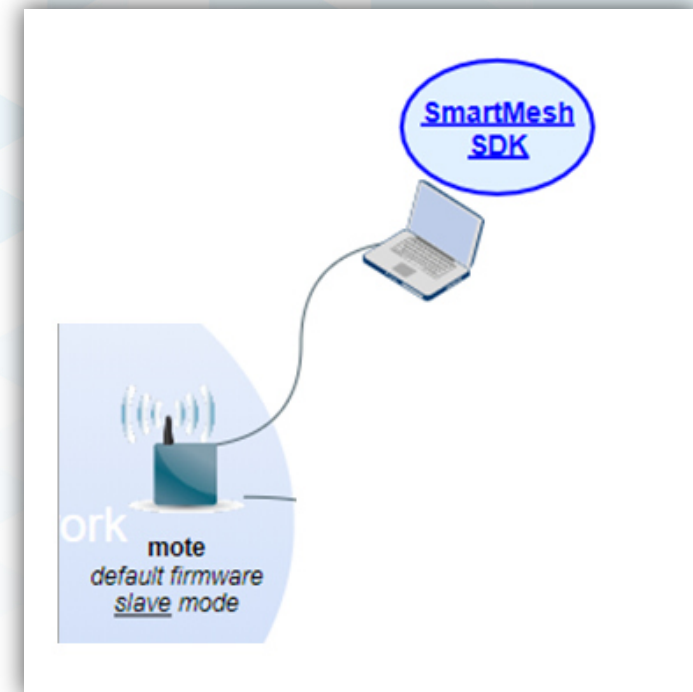
## 9.5 Библиотека SmartMesh SDK на Python

### SmartMesh SDK

- ▶ Это библиотека API, написанная на языке Python, что позволяет управлять Частицей через Python-скрипты, подключив Частицу к персональному компьютеру.
- ▶ Данная библиотека умеет управлять не только Частицей, но и Сетевым Менеджером.

### Поддерживает несколько API-интерфейсов:

1. SmartMesh IP Manager
2. SmartMesh IP Mote
3. SmartMesh WirelessHART Manager
4. SmartMesh WirelessHART Mote

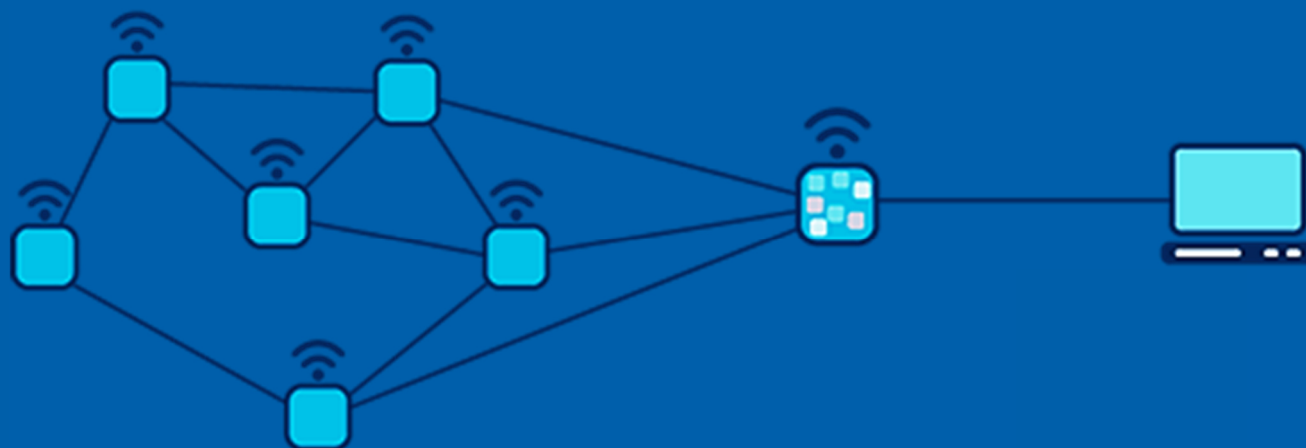




AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

# 10 Быстрый старт в развёртывании сети SmartMesh IP™

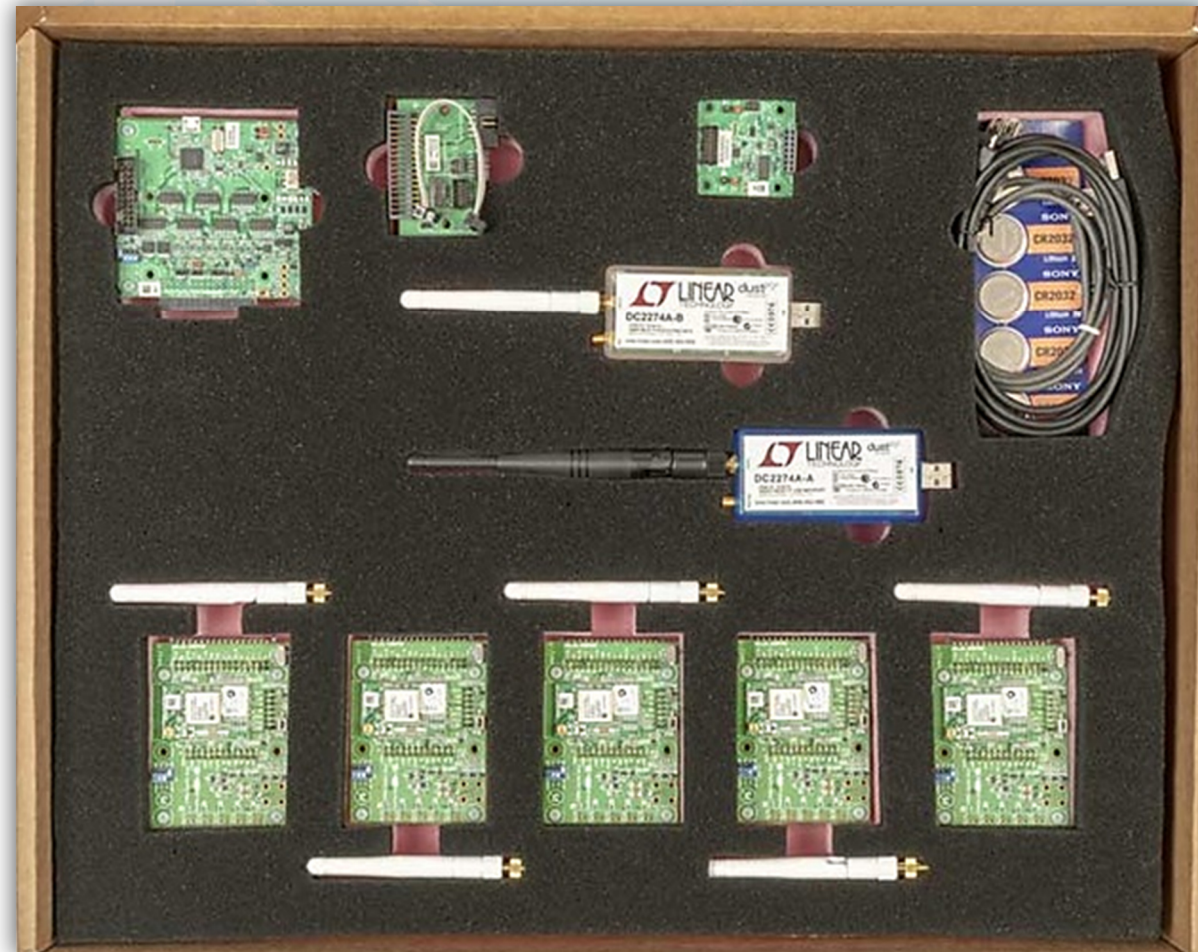
©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved.





# 10.1 Оценочный набор SmartMesh IP Starter Kit

- ▶ Стартовый комплект с наименованием **DC9021B** включает в себя различные необходимые модули в виде готовых печатных плат, чтобы вы могли быстро развернуть ячеистую сеть для вашего приложения. Интерфейс командной строки позволит быстро просматривать список узлов в сети, а также ключевые статистические данные о характеристиках, таких как надежность и задержка данных.
- ▶ Оценочная цена: \$3000.  
Для получения цены актуальной в РФ, необходимо обратиться к официальному дистрибьютору Analog Devices, ООО «ЭЛТЕХ Компонент», [www.eltech.spb.ru](http://www.eltech.spb.ru).
- ▶ Страница продукта:  
<https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/dc9021b.html>



## 10.2 Состав оценочного набора Starter Kit

1. 1 шт. [USB Embedded Network Manager \(DC2274A-A\)](#)
2. 1 шт. [USB Access Point Mote \(DC2274A-B\)](#)
3. 5 шт. [Evaluation / Development Motes \(DC9018B-B\)](#)
4. 1 шт. [Eterna Interface Card \(DC9006A\)](#), which includes a [DC9004 adapter card](#)
5. 1 шт. [Eterna QuikEval Adapter \(DC9005A\)](#)
6. 5 шт. CR2032 батареи
7. 1 шт. USB кабель

ПО набора:

<https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/dc9021b.html>

SmartMesh IP Starter Kit Software

Software Utility	Description	Download Link
Serial Mux	Software used to connect multiple clients to the manager	<a href="#">Download</a>
SmartMesh SDK (optional)	Software development kit used to interact with the devices' Application Programming Interface (API)	<a href="#">GitHub Repository</a>
FTDI driver	USB-to-Serial drivers for communication with DC9001, DC9006 boards	<a href="#">Download VCP from FTDIchip.com</a>
LBR (optional)	Low power Border Router software utility and sample code. Python script for mapping SmartMesh IP networks onto an IPv4 network (e.g. Ethernet)	<a href="#">Download</a>

## 10.3 Оценочный узел SmartMesh IP USB EManager

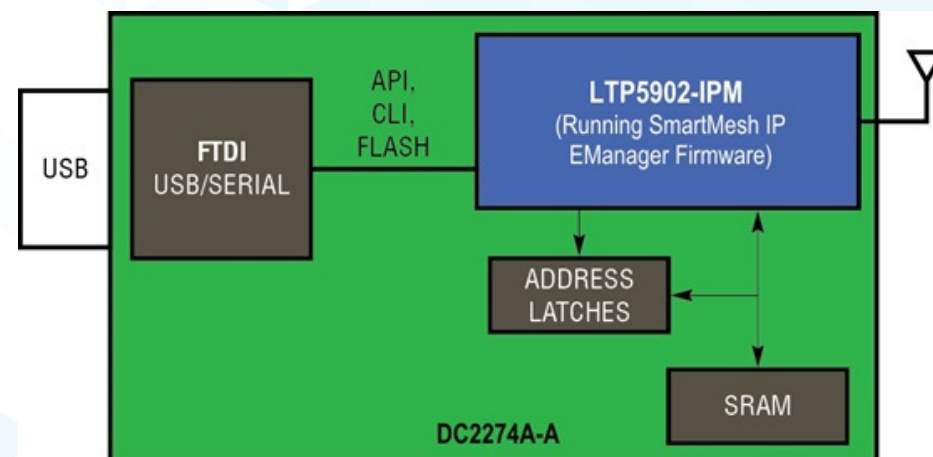
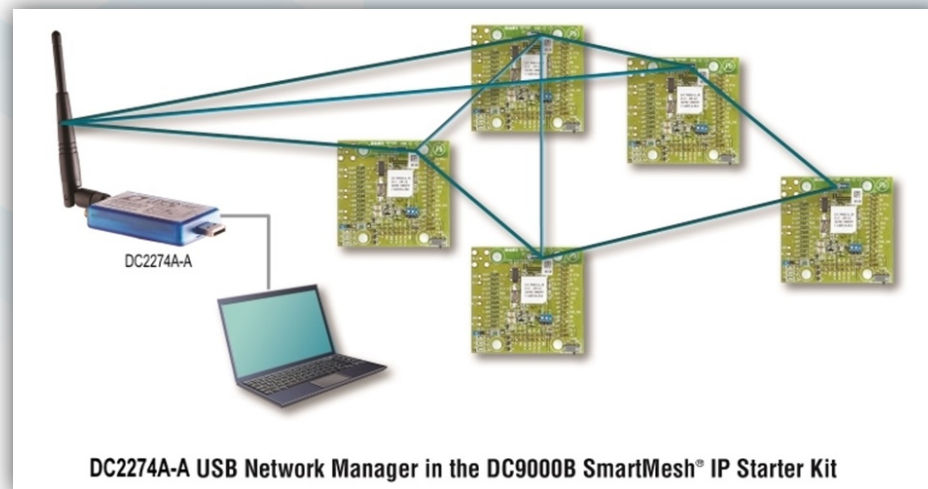
Модуль DC2274A-A SmartMesh IP USB Manager включает в себя подсистему LTP5902-IPM SmartMesh, на которой выполняется микропрограмма EManager со способностью управлять Частицами в количестве 100 шт. Соединение с ПК через USB обеспечивает питание и программный доступ к портам API UART и CLI UART у менеджера. DC2274A-A USB Network Manager доступен отдельно или как часть начального набора SmartMesh IP DC9021B, который включает в себя пять беспроводных ячеистых узлов. С помощью SmartMesh IP Starter Kit пользователь может за несколько минут настроить беспроводную ячеистую сеть и быстро оценить характеристики сети в своей собственной прикладной среде.

Страница продукта: <https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/dc2274a-a.html>

Можно купить отдельно от отладочного набора.

Оценочная цена: \$500.

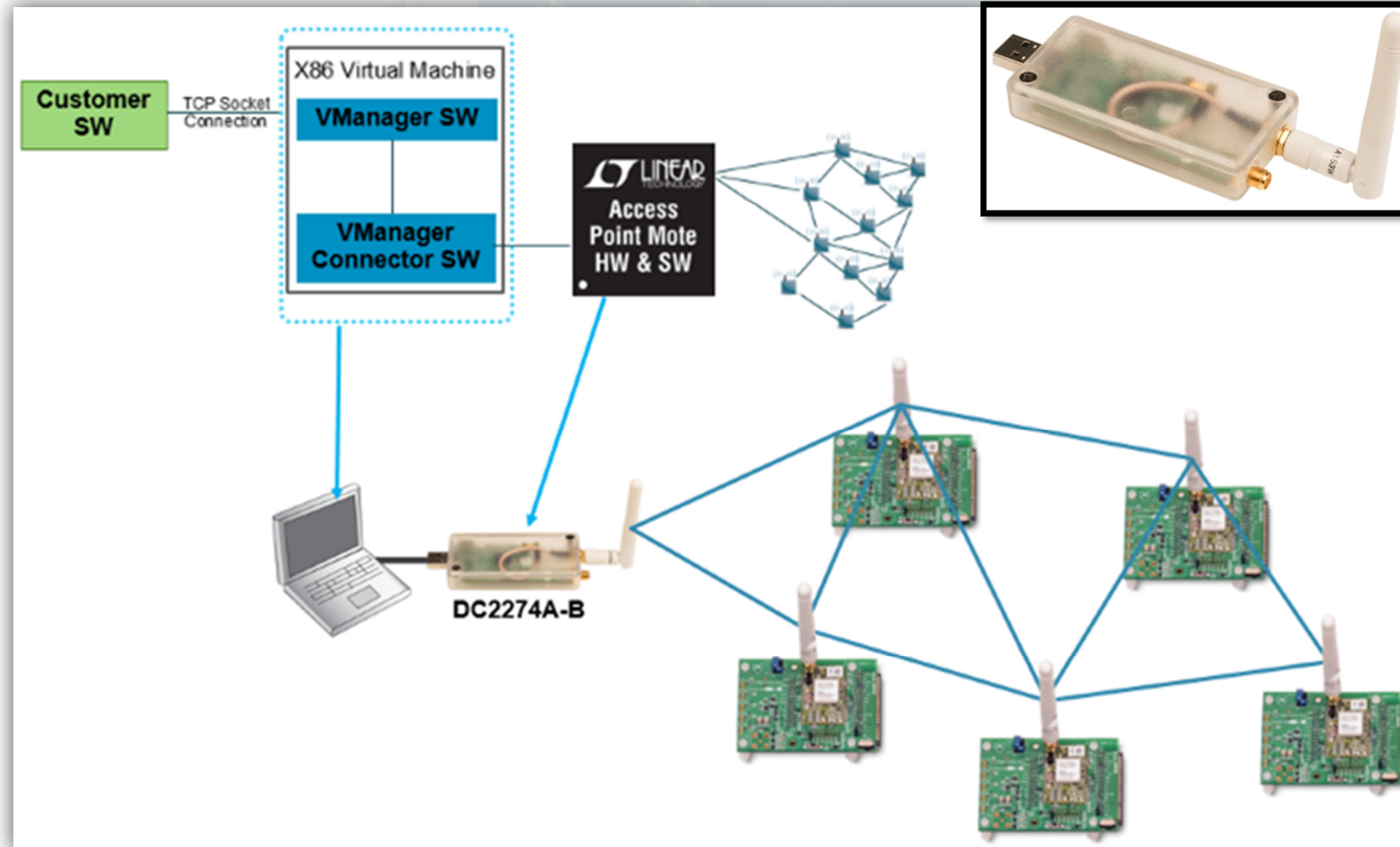
Для получения цены актуальной в РФ, необходимо обратиться к официальному дистрибьютору Analog Devices, ООО «ЭЛТЕХ Компонент», [www.eltech.spb.ru](http://www.eltech.spb.ru).





## 10.4 Оценочный узел SmartMesh IP USB Access Point

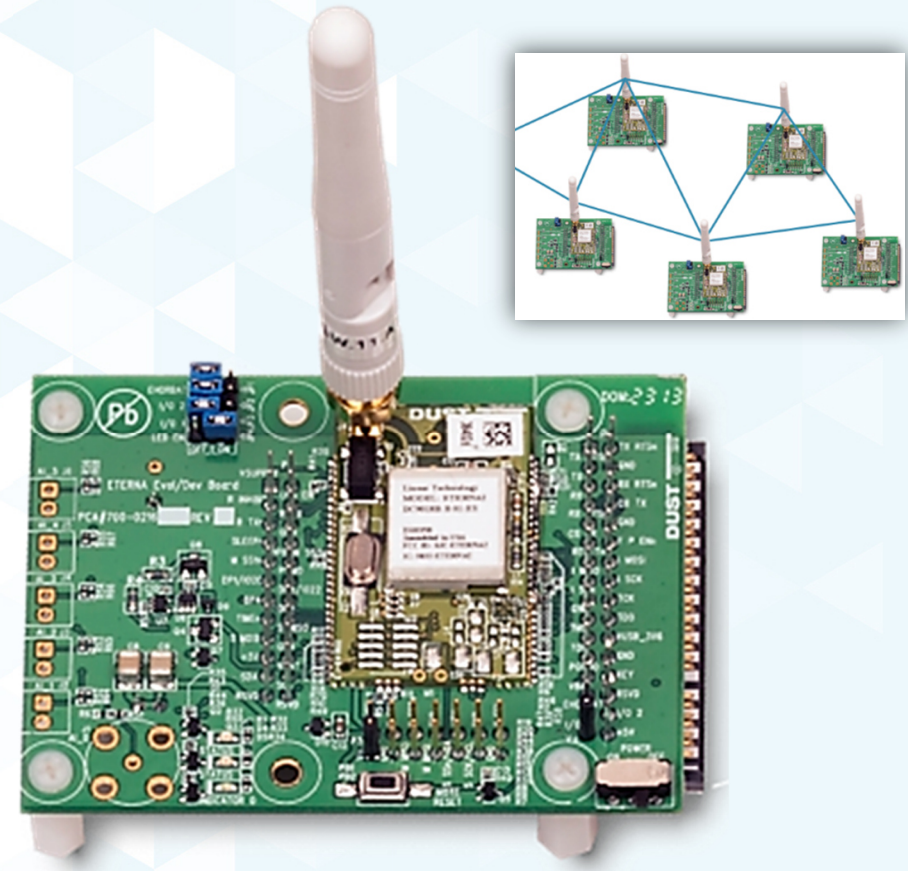
- ▶ Демонстрационная плата/модуль DC2274A-B, служит точкой доступа, соединяя беспроводную сенсорную сеть SmartMesh IP с сетевым менеджером VManager.
- ▶ VManager - это программный менеджер, который позволяет: построить большую сеть - тысячи узлов;
- ▶ Страница продукта:  
<https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/dc2274a-b.html>
- ▶ Можно купить отдельно от оценочного набора.  
Оценочная цена: \$125.  
Для получения цены актуальной в РФ, необходимо обращаться к официальному дистрибьютору Analog Devices, ООО «ЭЛТЕХ Компонент», [www.eltech.spb.ru](http://www.eltech.spb.ru)





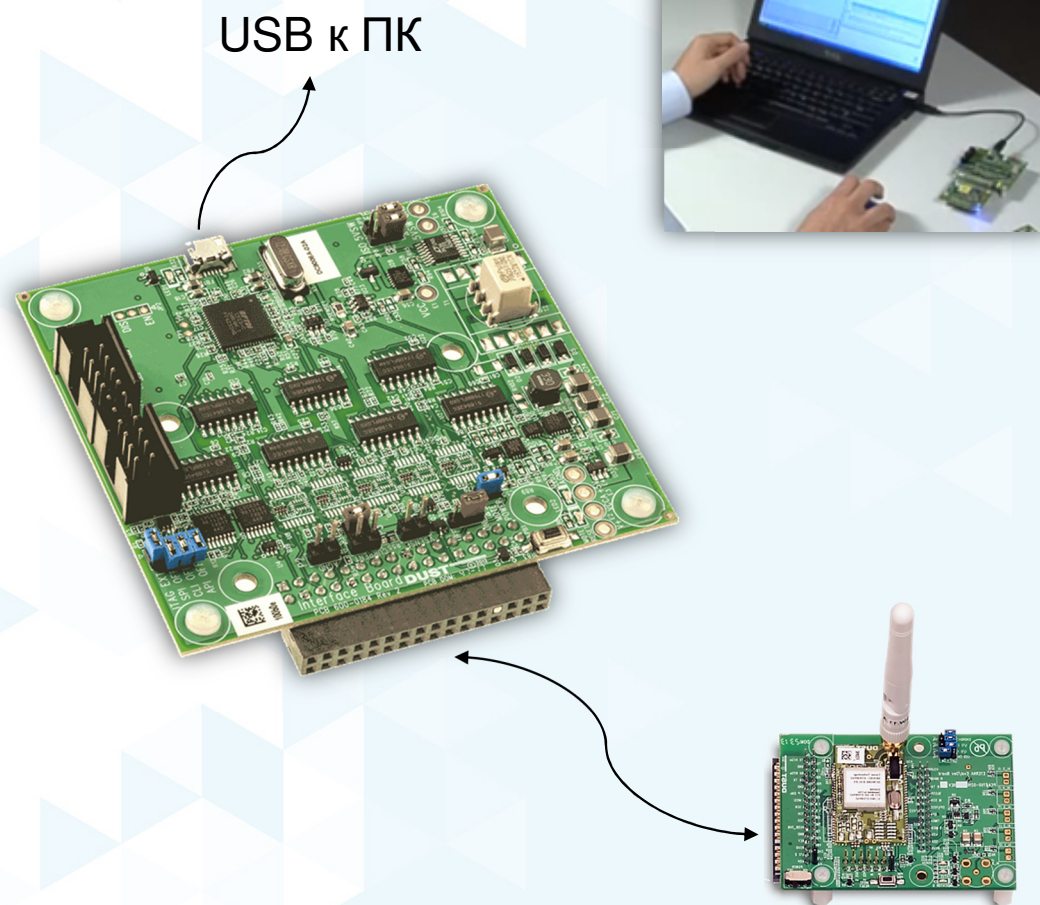
## 10.5 Оценочный узел SmartMesh IP Mote

- ▶ Оценочный стартовый комплект содержит их в количестве 5 шт.
- ▶ Страница продукта: <https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/dc9018b-b.html>
- ▶ Можно купить отдельно от отладочного набора. Оценочная цена: \$300.  
Для получения цены актуальной в РФ, необходимо обращаться к официальному дистрибьютору Analog Devices, ООО «ЭЛТЕХ Компонент», [www.eltech.spb.ru](http://www.eltech.spb.ru)



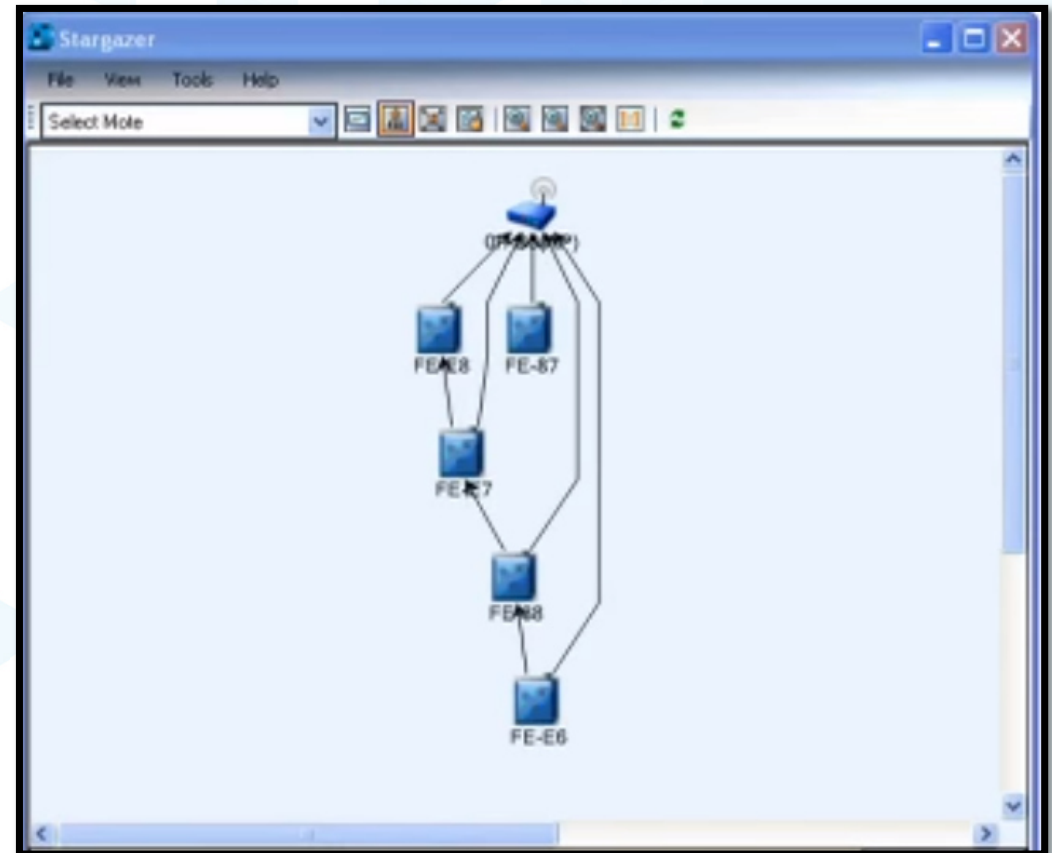
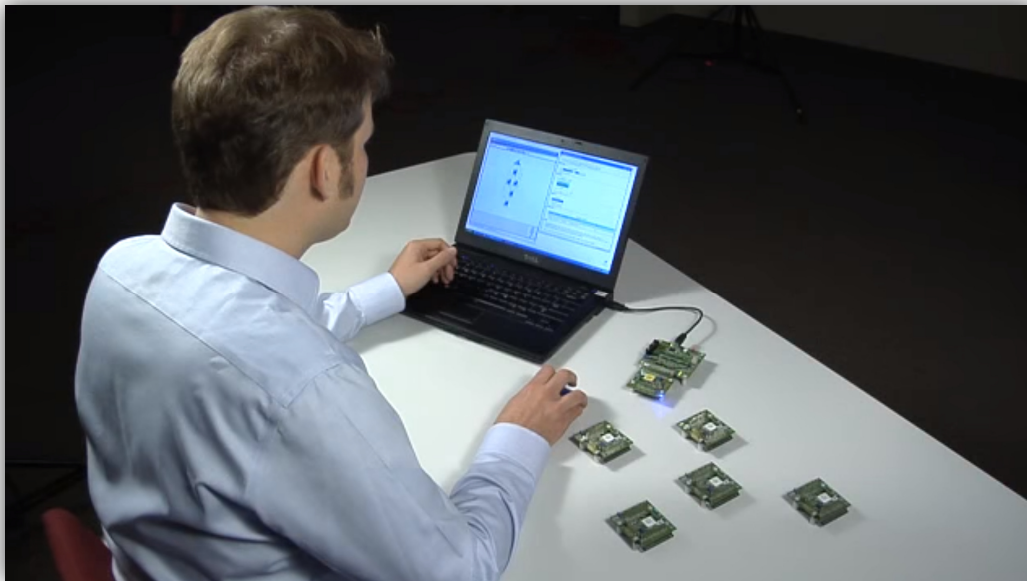
## 10.6 Оценочная карта Eterna Interface Card

- ▶ Используется как переходной аппаратный интерфейс для подключения Частицы к персональному компьютеру, обеспечивает:
  - питание от USB,
  - программный API доступ через порт UART Частицы.
- ▶ Страница продукта: <https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/dc9006a.html>
- ▶ Можно купить отдельно от отладочного набора. Оценочная цена: \$500.  
Для получения цены актуальной в РФ, необходимо обращаться к официальному дистрибьютору Analog Devices, ООО «ЭЛТЕХ Компонент», [www.eltech.spb.ru](http://www.eltech.spb.ru)



## 10.7 Вид сети в приложении Stargazer для ПК

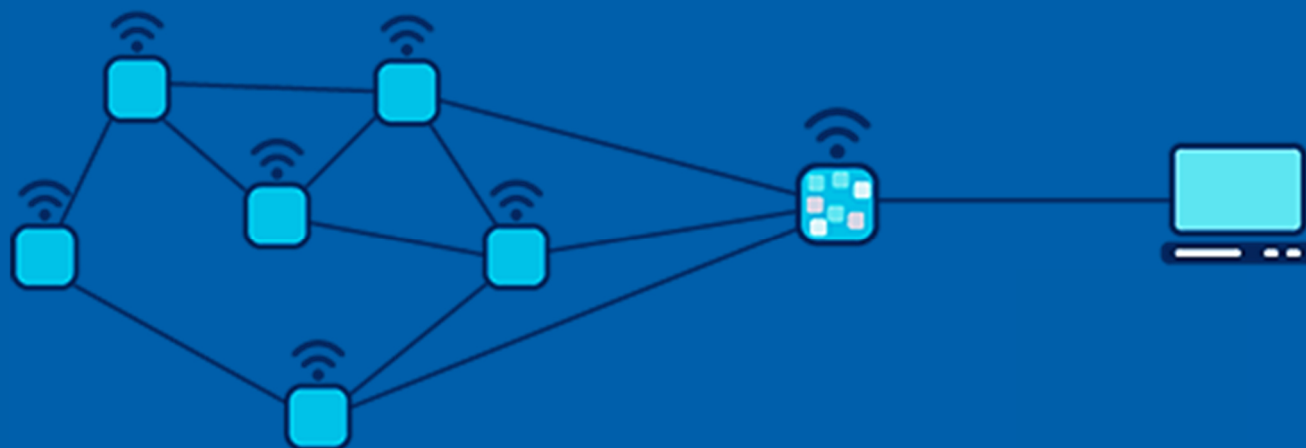
- Собрав оценочный комплект и настроив сеть, можно в приложении Stargazer увидеть топологию сети в режиме реального времени.





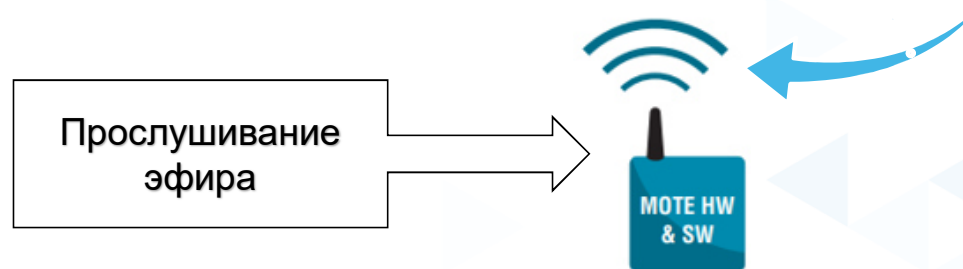
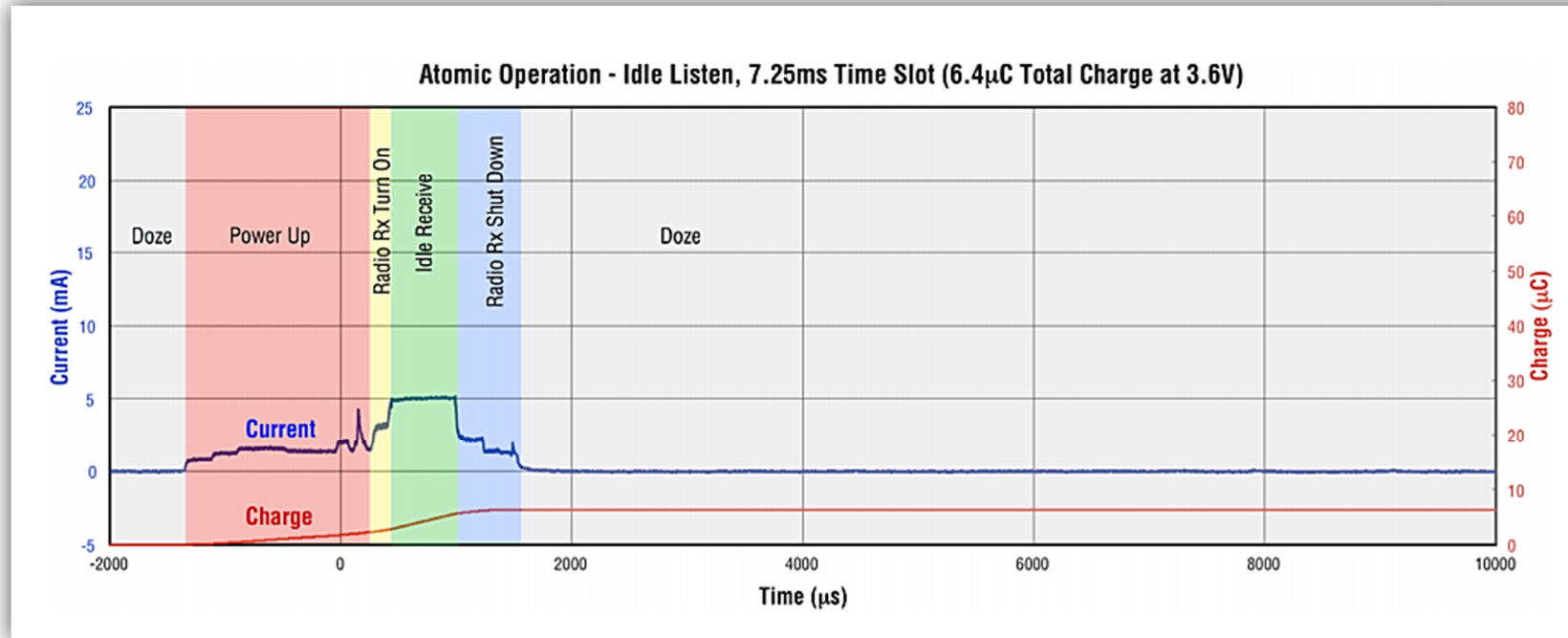
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

# 11 Три режима энергопотребления сетевого узла Частицы



## 11.1 Режим «Прослушивание эфира»

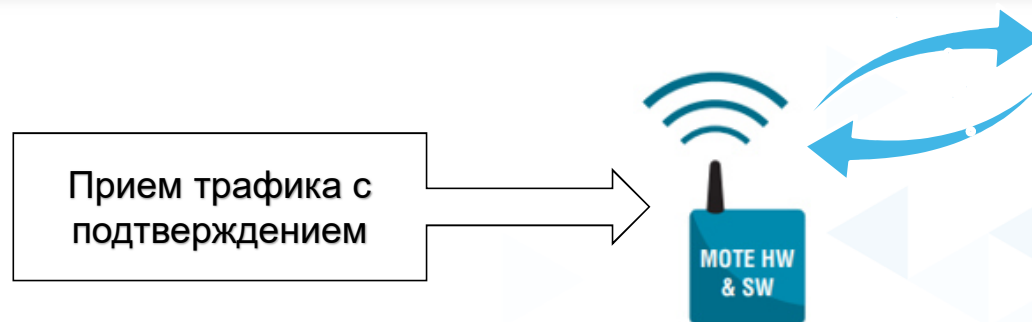
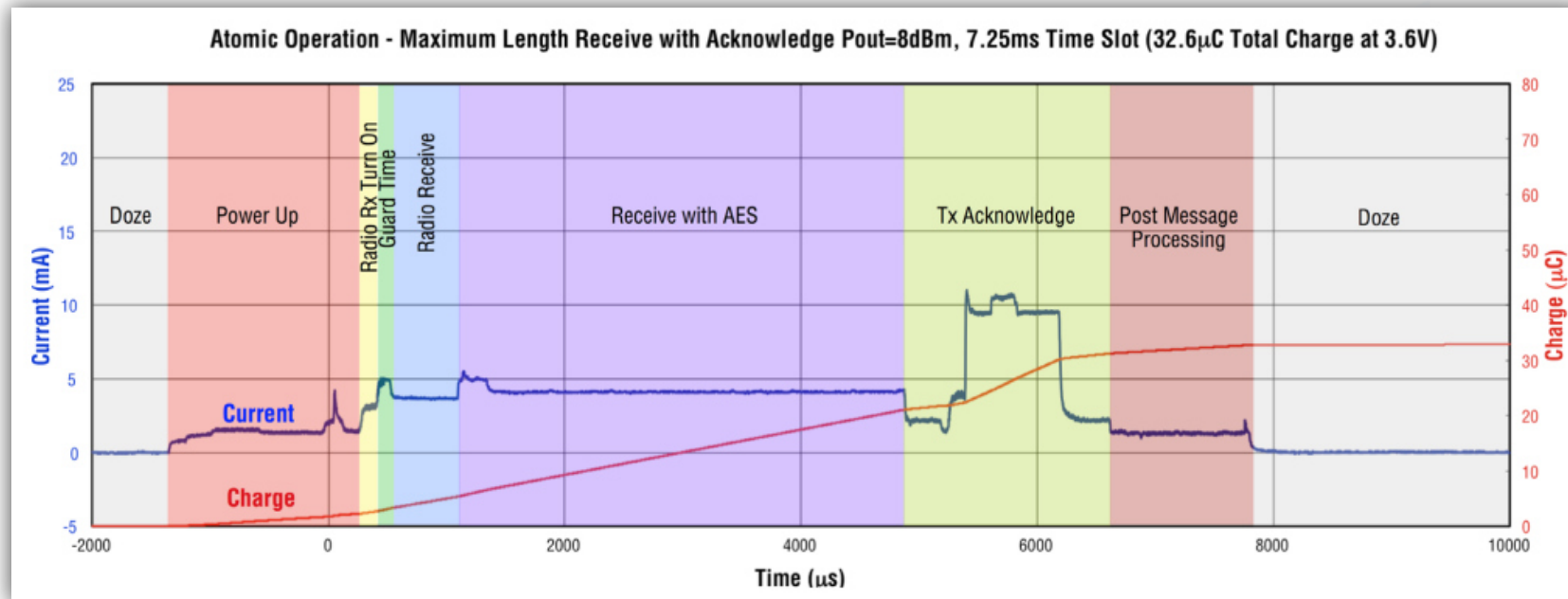
- ▶ За интервал времени примерно 4 мс Частица успевает:
  - проснуться
  - включить приёмник
  - прослушать эфир
  - выключить приёмник
  - уйти в сон
- ▶ Максимальный пиковый ток при этом достигает 5 мА при питании от батареи 3,6 В.
- ▶ Потребление заряда составит примерно 7 мкКл.
- ▶ Интервал пробуждения – настраивается.





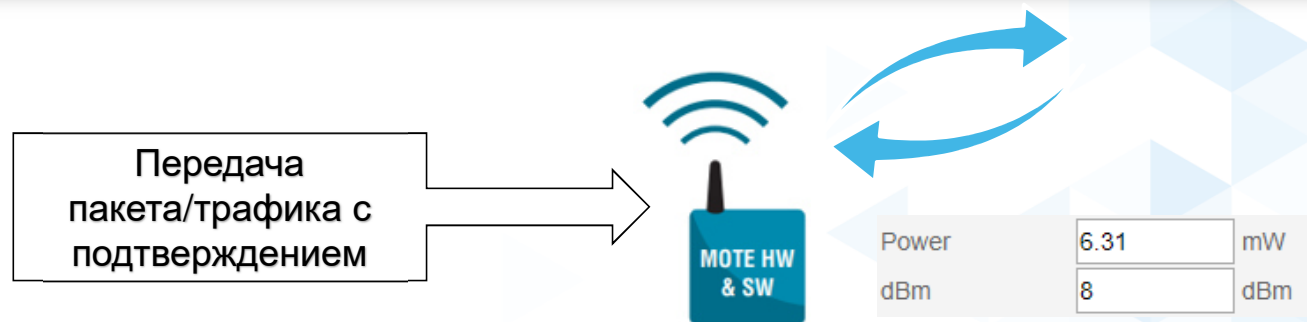
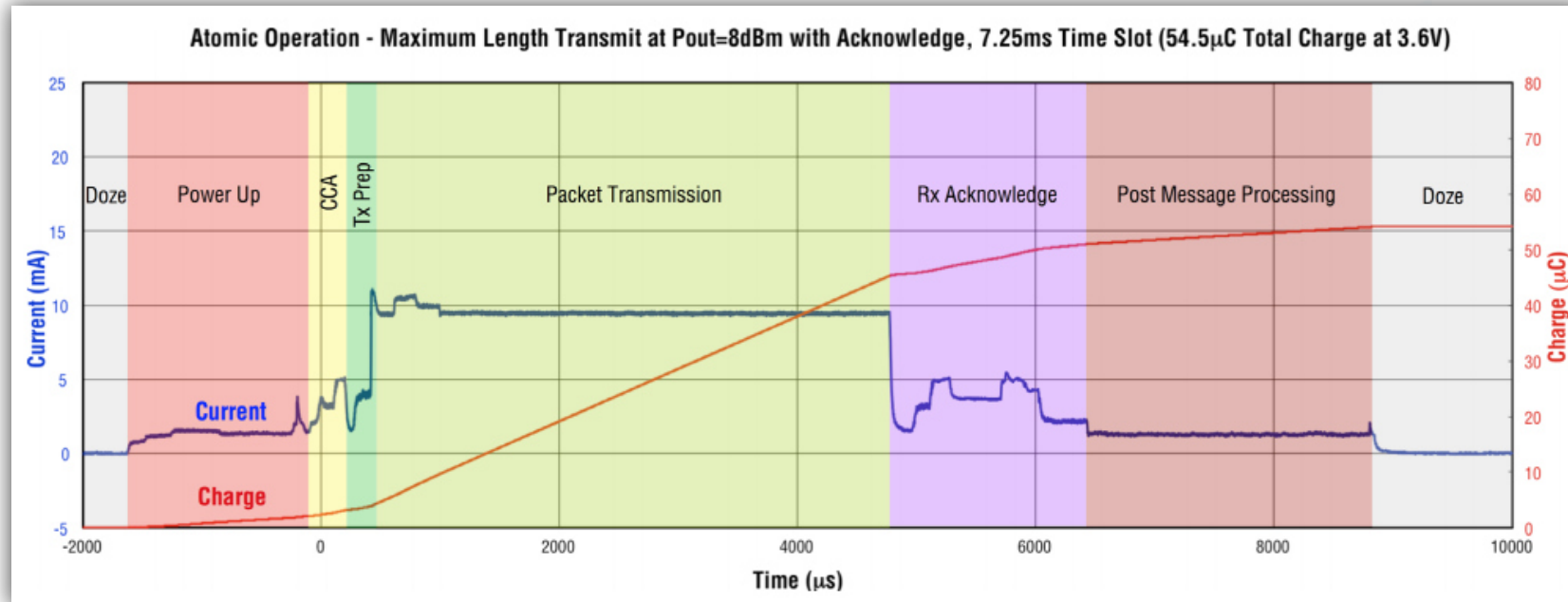
## 11.2 Режим «Прием трафика»

- ▶ За интервал времени примерно 9 мс Частица успевает:
  - проснуться
  - включить приёмник
  - безопасно подключиться к другой Частице
  - принять и расшифровать данные
  - отправить подтверждение об успешном приёме
  - уйти в сон
- ▶ При максимальной мощности передатчика 8 дБм максимальный пиковый ток достигает примерно 11 мА при питании от батареи 3,6 В. Потребление заряда составит примерно 33 мкКл.
- ▶ Интервал пробуждения – настраивается.



## 11.3 Режим «Передача трафика»

- ▶ За интервал времени примерно 9 мс Частица успевает:
  - проснуться
  - включить передатчик
  - безопасно подключиться к другой Частице
  - передать пакет
  - получить подтверждение об успешном приеме от другой Частицы
  - уйти в сон
- ▶ При мощности передатчика 8 дБм максимальный пиковый ток достигает примерно 11 мА при питании от батареи 3,6 В. Потребление заряда составит примерно 55 мкКл.
- ▶ Интервал пробуждения – настраивается.





AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

## 12 Пример применения сети SmartMesh IP™ из реальной жизни

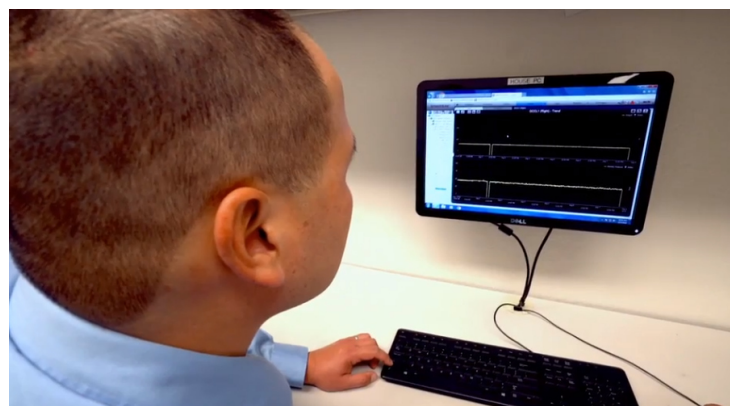
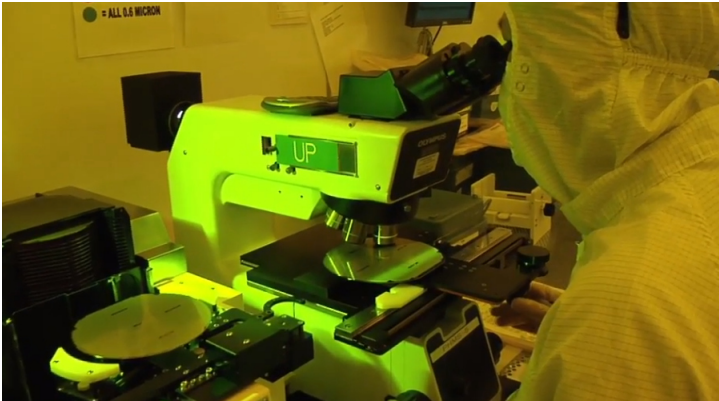
©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved.



Сеть SmartMesh IP развернута на фабрике Linear Technology

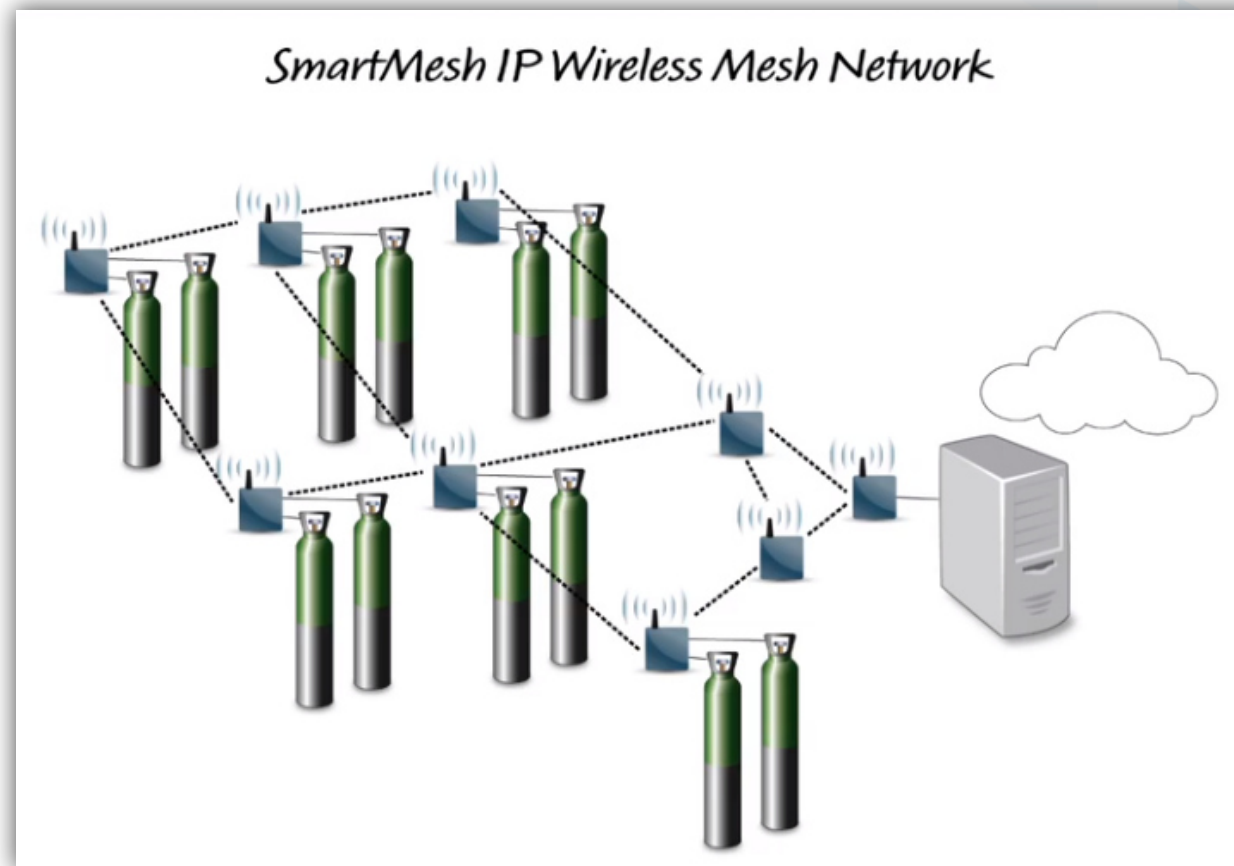


# 12.1 Процесс контроля запаса газа на фабрике полупроводников



## 12.2 Топология сети на фабрике и ее задача

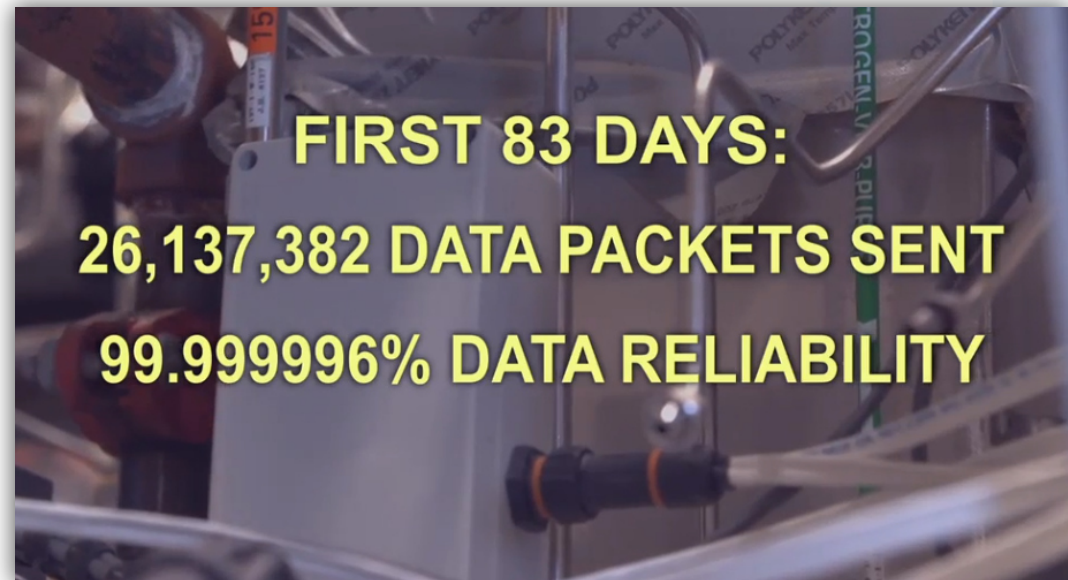
- ▶ На фабрике Analog Devices по производству полупроводниковых пластин в Силиконовой долине мы используем беспроводную сенсорную IP-сеть SmartMesh® для оптимизации производственных процессов: отслеживания уровней наполненности газовых баллонов для упреждающего планирования пополнения запасов и обеспечения бесперебойного снабжения.
- ▶ Оптимизация времени безотказной работы приводит к увеличению объема производства полупроводниковых пластин (если сравнивать с отсутствием оптимизации). Система должна работать бесперебойно и надёжно в условиях металлических и бетонных конструкций.



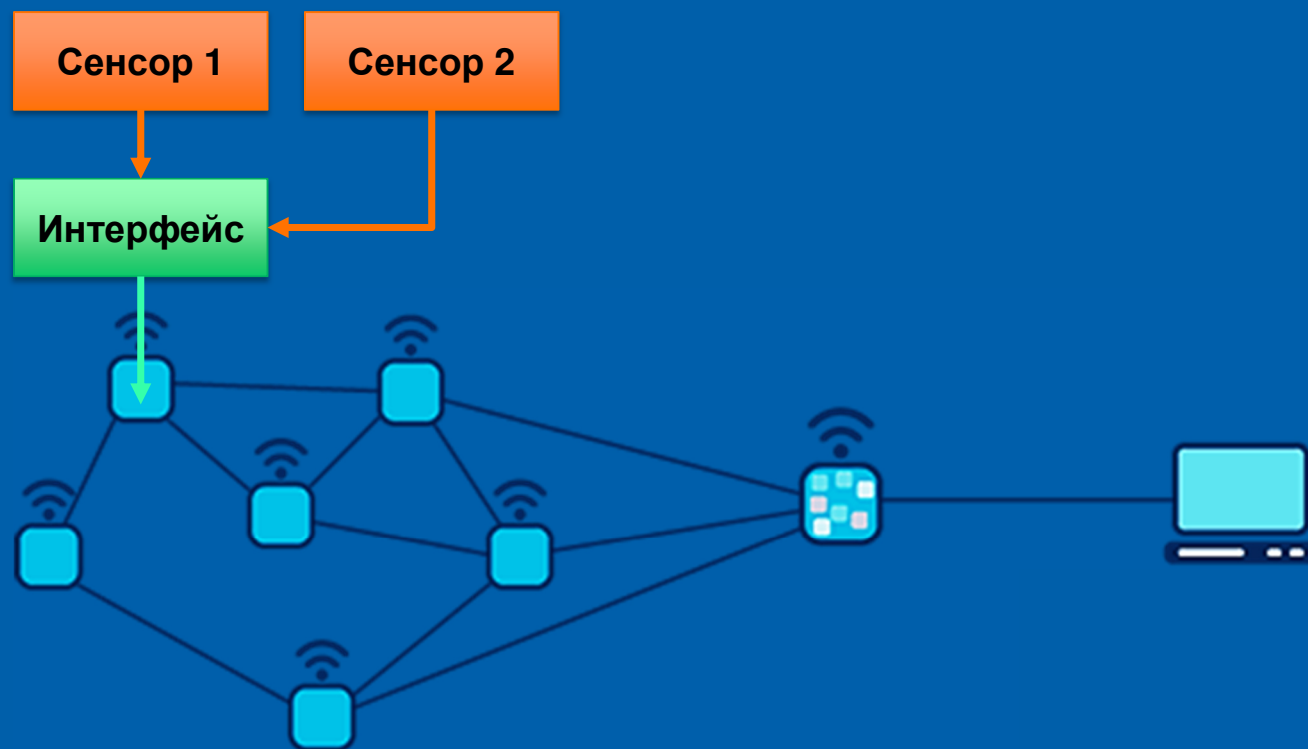


## 12.3 Надёжность передачи данных

- Надёжность передачи данных по факту может превышать заявленную: за 83 дня работы сети достоверность (целостность) доставленных информационных пакетов от сенсоров превысила **99,99999%**.



## 13 Пример. Каким образом к Частице можно подключить сенсоры.



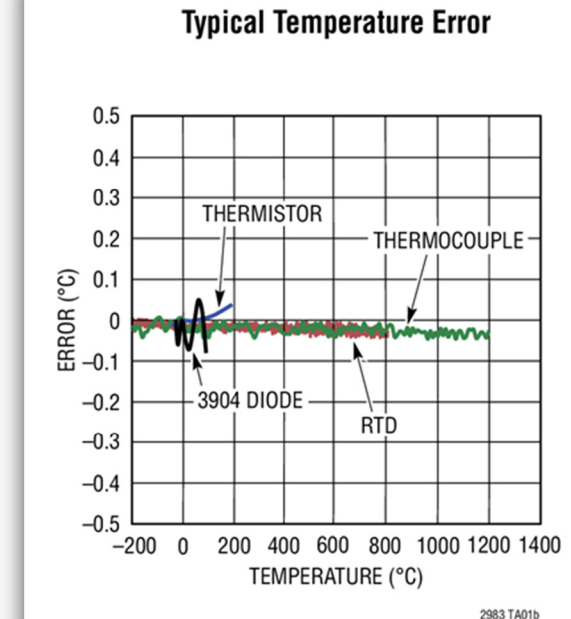
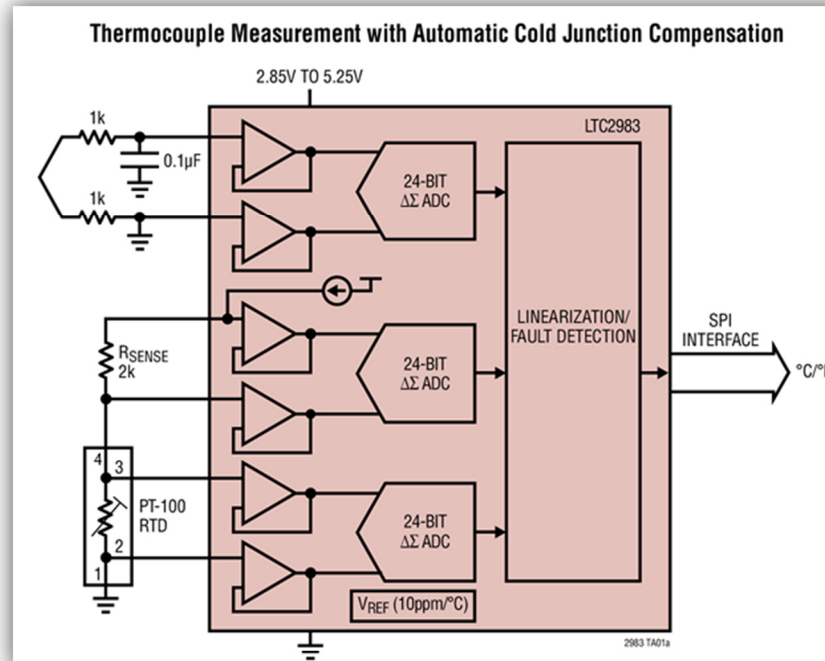
## 13.1 Мульти-сенсорная микросхема LTC2983



Recommended  
for New Designs



- ▶ Прямая оцифровка:
  - RTD (резистивных температурных детекторов):  
2-х, 3-х и 4-х-проводных;
  - Термопар;
  - Термисторов;
  - Диодов.
- ▶ Однополярное питание от 2,85 В до 5,25 В
- ▶ Результаты выводятся в °C или °F
- ▶ 20 входов
- ▶ Автоматическая компенсация холодного спая термопары
- ▶ Встроенные стандартные (B, E, J, K, N, S, R, T) и программируемые пользователем коэффициенты для термопар
- ▶ Автоматическое обнаружение короткого замыкания
- ▶ Буферизованные входы
- ▶ Шина данных: SPI



Model	Package	Pins	Temp Range	Packing Qty	Price (100-499)	Price (1000+)	RoHS
LTC2983ILX#PBF PCN Production	48-Lead LQFP (7mm x 7mm)	48	-40 to 85C	Tray, 250	\$27.22	\$22.41	Y <a href="#">Info</a>

▶ <https://www.analog.com/en/products/ltc2983.html>

▶ <https://www.analog.com/en/applications/technology/precision-sensor-interface.html>



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

# Спасибо!

По всем вопросам просим обращаться к  
официальному дистрибьютору Analog Devices,  
ООО «ЭЛТЕХ Компонент», [www.eltech.spb.ru](http://www.eltech.spb.ru)  
по электронной почте [analog@eltech.spb.ru](mailto:analog@eltech.spb.ru) или  
по телефону +7 (812) 327 90 90.

©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

