课程目录

life.augmented

life.augmented

LoRa与LoRaWAN 介绍

David Liu

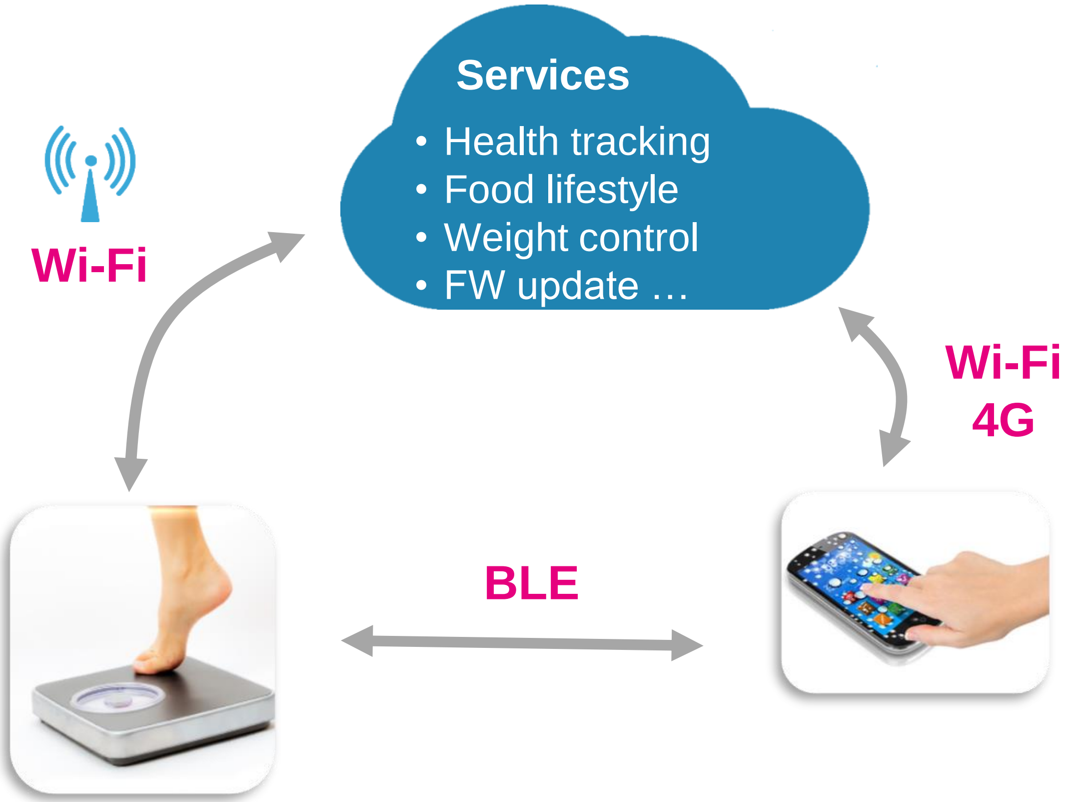
课程目录

life.augmented

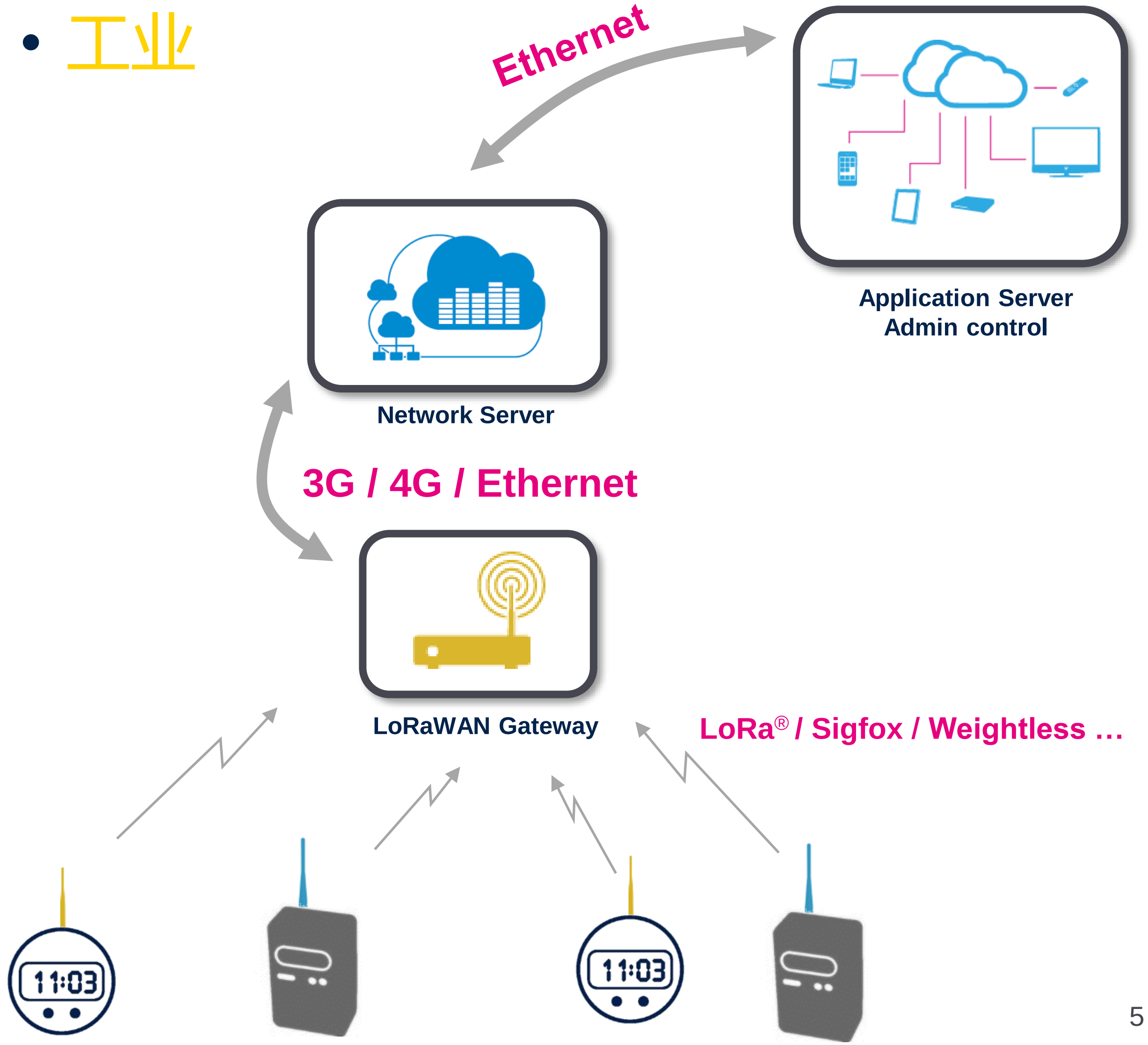
概览

物联网

- 消费

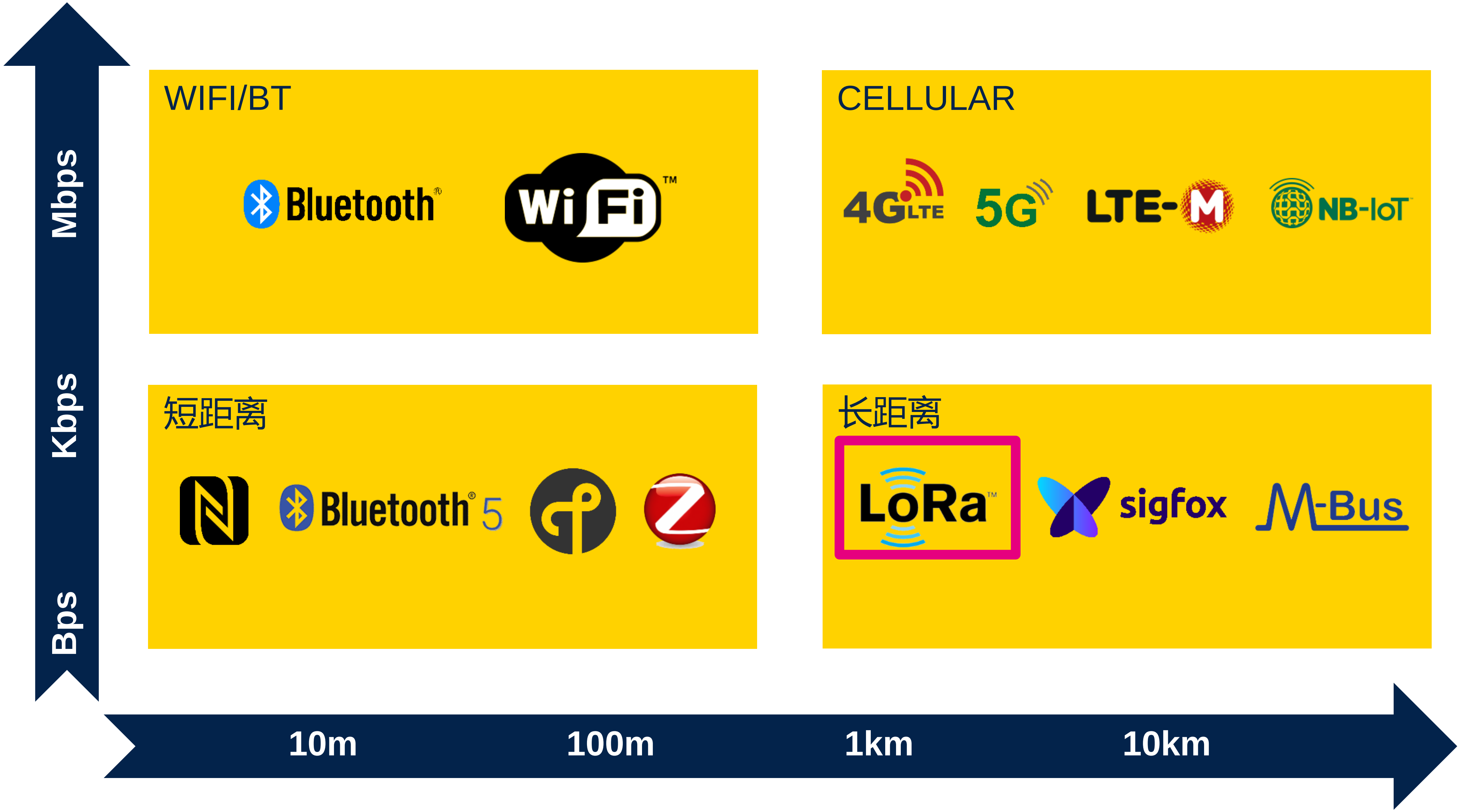


- 工业



life.augmented

无线通信技术



life.augmented

什么是LoRa？

What is LoRa ?

故事:

- LoRa是 由法国公司Cycleo（于2009年作为IP和设计解决方案提供商成立）开发的专利技术，用于扩频无线调制

- 2012年， Cycleo被Semtech（美国）以约500万美元的价格收购。

- 2015年Semtech建立了LoRa联盟。 包括意法半导体，瑞萨电子，微芯，软银，阿里巴巴，亚马逊，思科，RisingHF，CLAATEK等。

技术

- LoRa（Long Range）是Semtech公司的调制技术，用于低功耗，广域网（LPWAN）。

- LoRa是物理层。

- LoRa 基于线性调频扩频（CSS）通信和工作在免许可证的SubGHz 频段。

life.augmented

全球LoRa® 网络部署

100+ Countries with LoRaWAN deployments

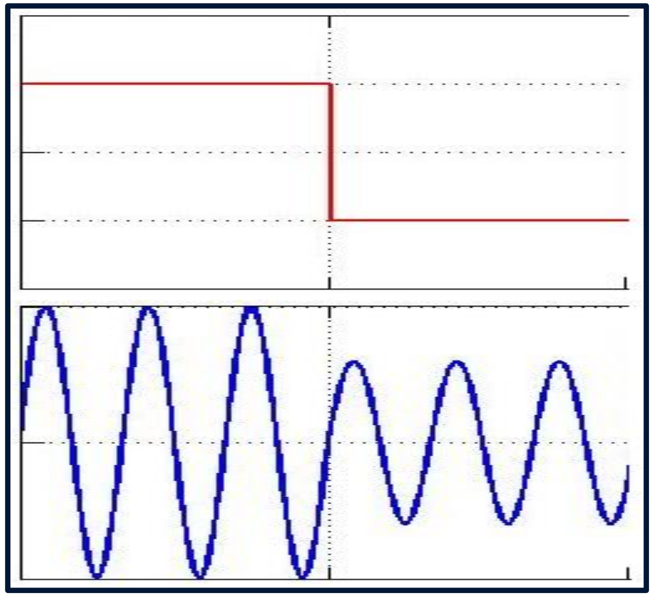
- 100 Network Operators
- 9 Operators are LoRa-Alliance members
- LoRa-Alliance: > 460 members

LoRa 调制

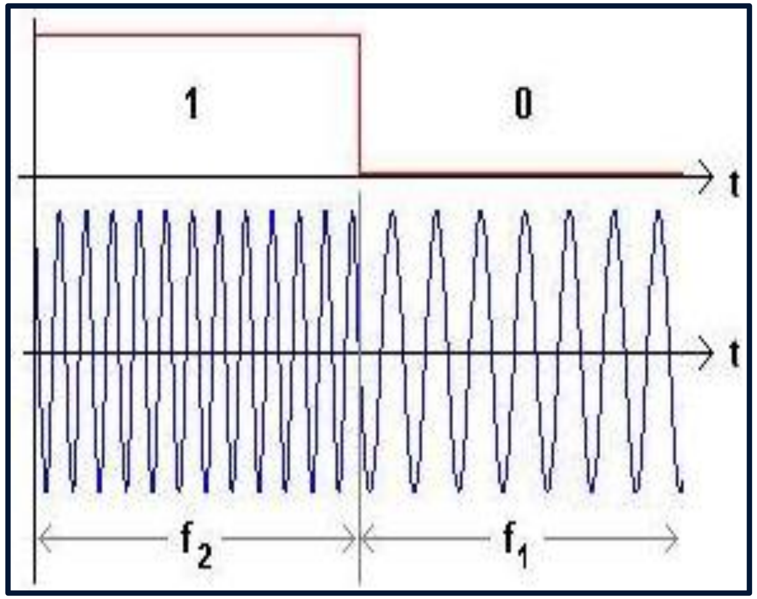
life.augmented

数字无线调制

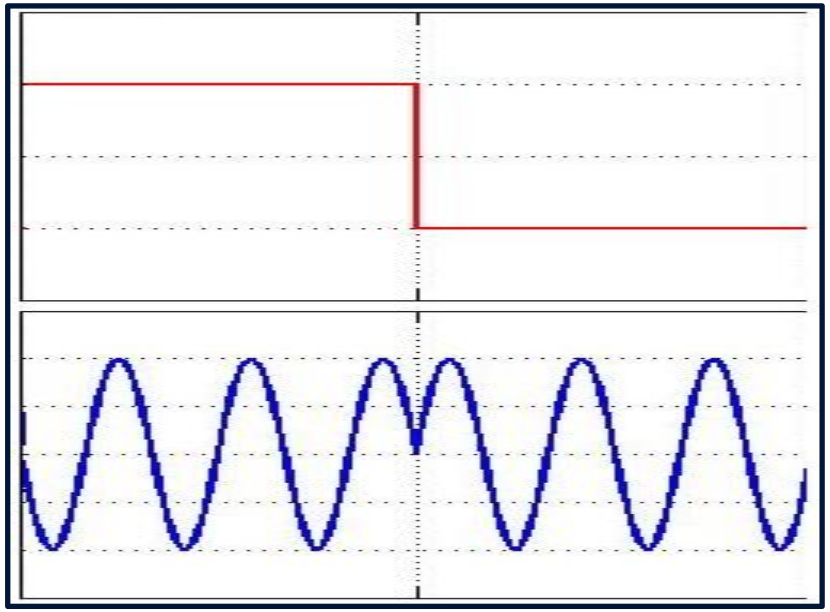
- ASK**幅移键控**
  - 用不同的载波幅度表示不同数据



- FSK**频移键控**
  - 用不同的载波频率表示不同数据

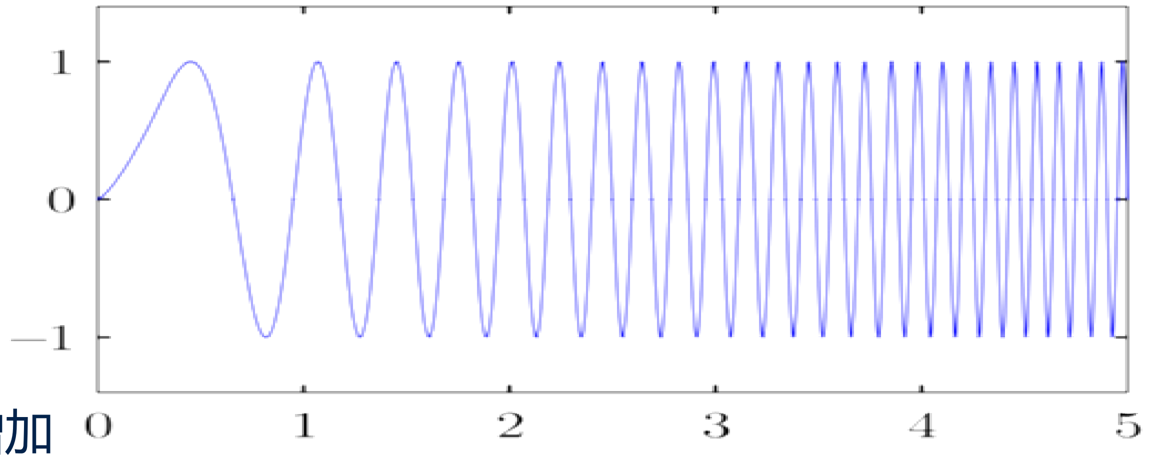


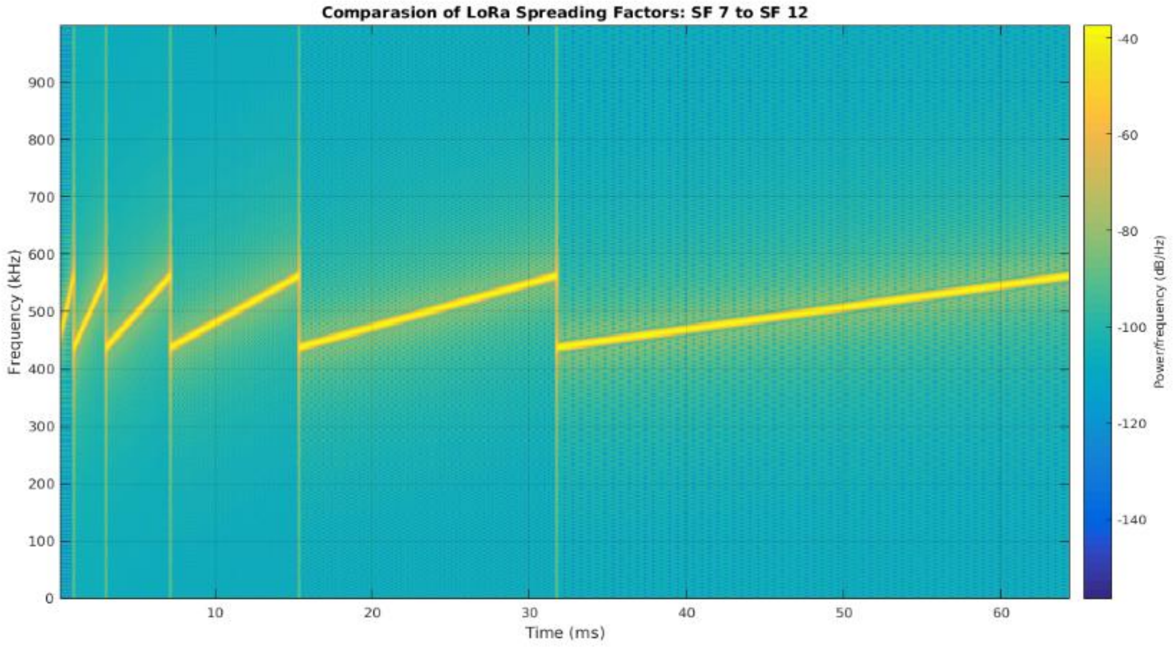
- PSK**相移键控**
  - 用不同的相位表示不同数据



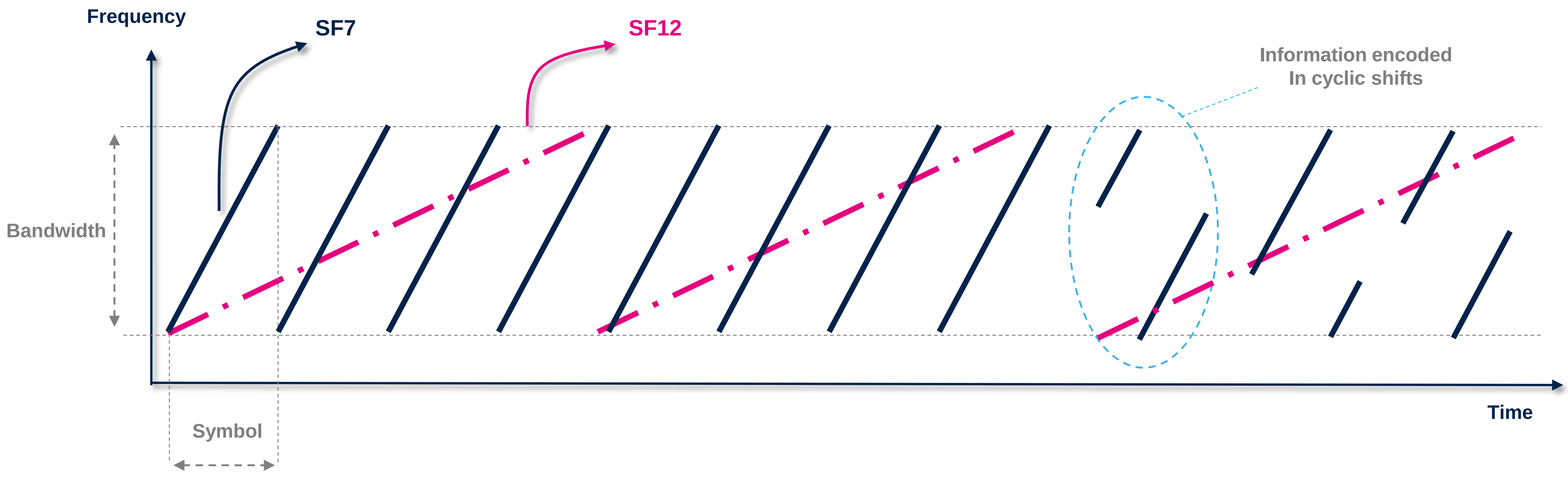
Lora 调制: CSS线性扩频调频

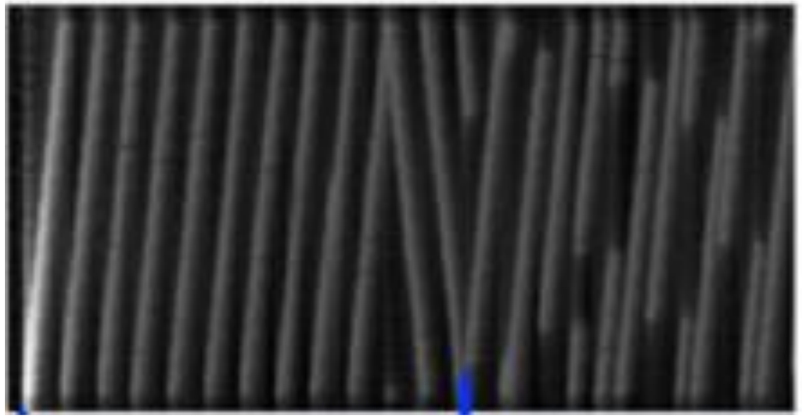
- LoRa是基于Chirp的专有扩频调制方案扩频调制（CSS）。它使用线性调频脉冲对信息进行编码。
- 扩频技术是故意在频域中扩展信号的方法。
- 线性调频，通常称为扫频信号，是指频率随时间增加（向上调频）或降低（向下调频）。
- $f_{chirp}(t) = e^{j(mt+fo)t+\varphi}$ with $m = \frac{f1-f0}{Tsym}$





LoRa 调制

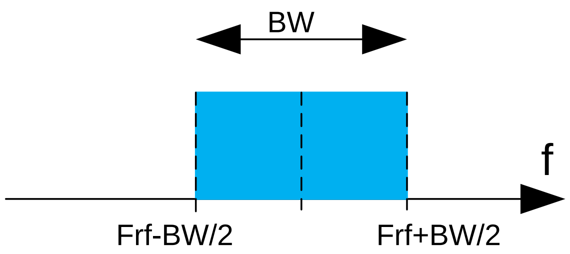

Frequency
SF7
SF12
Information encoded
In cyclic shifts
Bandwidth
Time
Symbol




Mkr1 487.100
13.6
-6.00 dB
131.3 kHz

Lora 调制参数

- **速率(DR)**
  - 定义 SF,BW 分组.
- **调制带宽(BW)**
  - 125kHz, 250kHz, 500kHz for LoraWan
  - 低至7.81kHz
- **扩频因子(SF)**
  - 一个符号包含SFn里的n位数据
  - SF7 到SF12 适用于 LoraWan
  - SF5 和 SF6 也适用于LoRa
- **编码率(FEC) (CR)**
  - 在消息中添加冗余（开销）以更正Rx处的错误位冗余度越高，可以校正的位数越多。
  - 有效负载可使用4/5至4/8
- **低速优化（LDRO)**
  - 适用于SF11 和 SF12.



DR(Date Rate)	SF(Spreading Factor)	BW (Bandwidth kHz)	Indicative bit Rate (b/s)	Indicative Sensitivity for CR=4/6 (dBm)	SNR (dB)
0	SF12	125	250	-136	-20
1	SF11	125	440	-134	-17.5
2	SF10	125	980	-131	-15
3	SF9	125	1760	-129	-12.5
4	SF8	125	3125	-126	-10
5	SF7	125	5470	-123	-7.5
6	SF7	250	11000	-120	-7.5
7	FSK	50	50000	-106	14

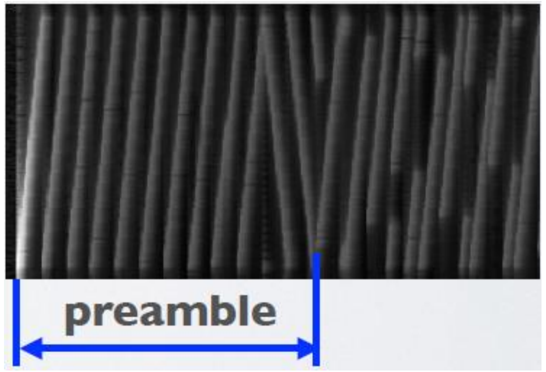
Sens(dBm)=-174+10*LOG10(BW)+SNR+NF (NF approx. 7dB)

life.augmented

Lora 调制参数

Bandwidth (BW)	125 KHz to 500 KHz
Spreading Factor (SF)	7 to 12
Coding Rate (CR)	1 to 4

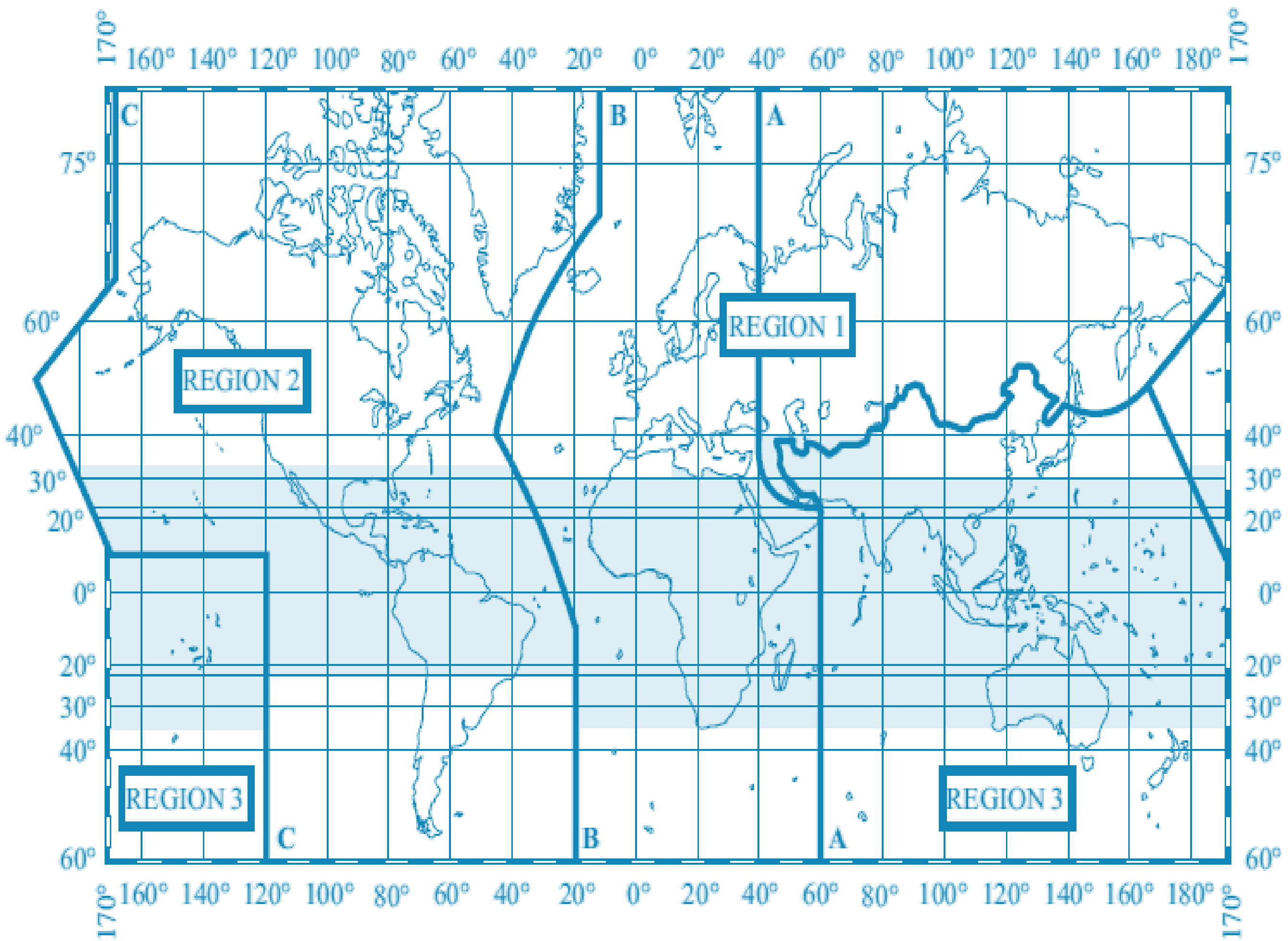
- **LoRa 传输速率计算**
  - 码片速率: Rc=BW(Chips/s)
  - 符号速率: Rs=Rc/2^SF
  - 位速率（Bit rate）： Rb=Rs*SF*CR
  - Rb=BW/2^SF*SF*CR ： Rb=125k/2^7x7x4/5=5.45kbps (BW=125KHz, SF=7, CR=4/5)
- **符号传输时间**
  - Ts = (2^{SF}/BW).CR
- **空中传播时间TOA计算**
  - TOA= Tpreamble + Tpayload = (Npreamble+2+2+1/4) * Ts+ Ts * N(payloadSymbNb)
  - TOA计算工具
    - STM32CubeMonitor
    - https://www.loratools.nl/#/airtime
- **数据传输时间间隔:**Tinterval = (86400 - n x TOA) / n
- **占空比**DutyCycle = (n x TOA) / 86400 Note:1 day 24hX60x60=86400s



全球LoRa工作频段

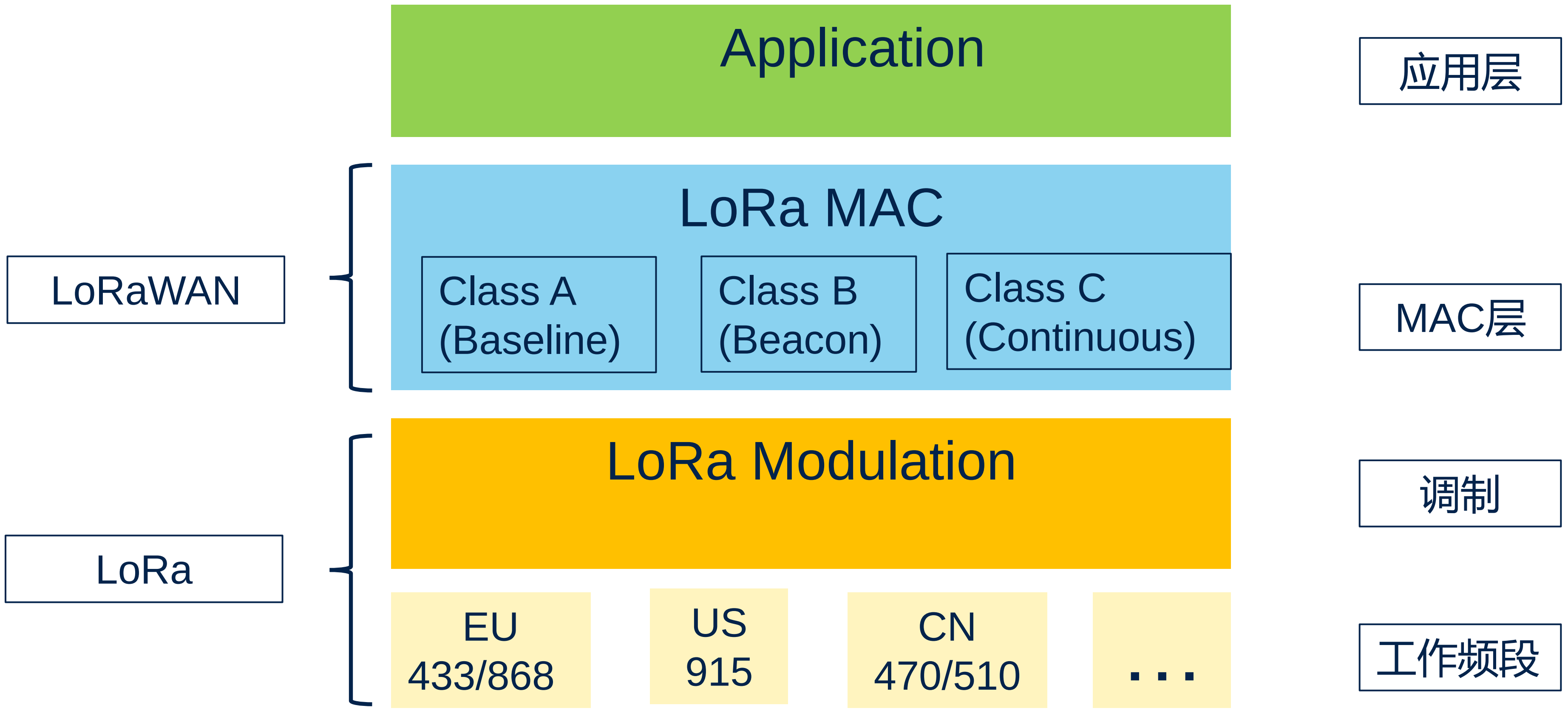
工作频段和输出功率

Countries	Frequency band review	Max. output power
中国	470 to 510 MHz	17 dBm
欧洲	433-868 MHz	14 dBm
美国	915 MHz	20 dBm
韩国	900 MHz	14 dBm
日本	920 MHz	
马来西亚	862 to 875 MHz	20 dBm
菲律宾	868 MHz	
越南	920 to 925 MHz	
印度	865 to 867 MHz	
新加坡	922 MHz	
泰国	920 to 925 MHz	
印尼	922 MHz	
澳洲	915 to 928 MHz	
台湾	920 to 925 MHz	



LoRaWAN简介

LoRa 和 LoRaWAN

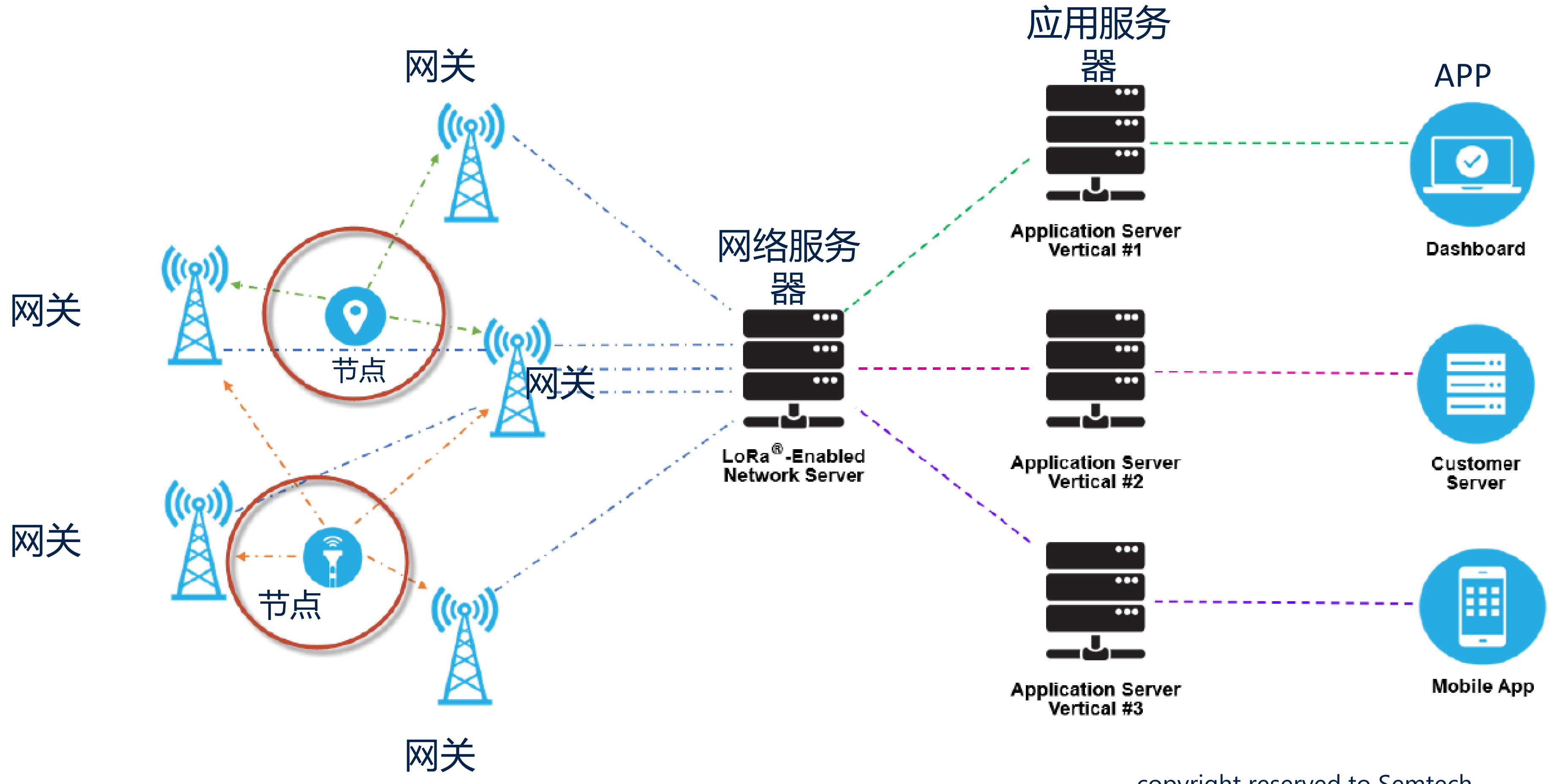


LoRaWAN网络架构

LoRaWAN 网络架构

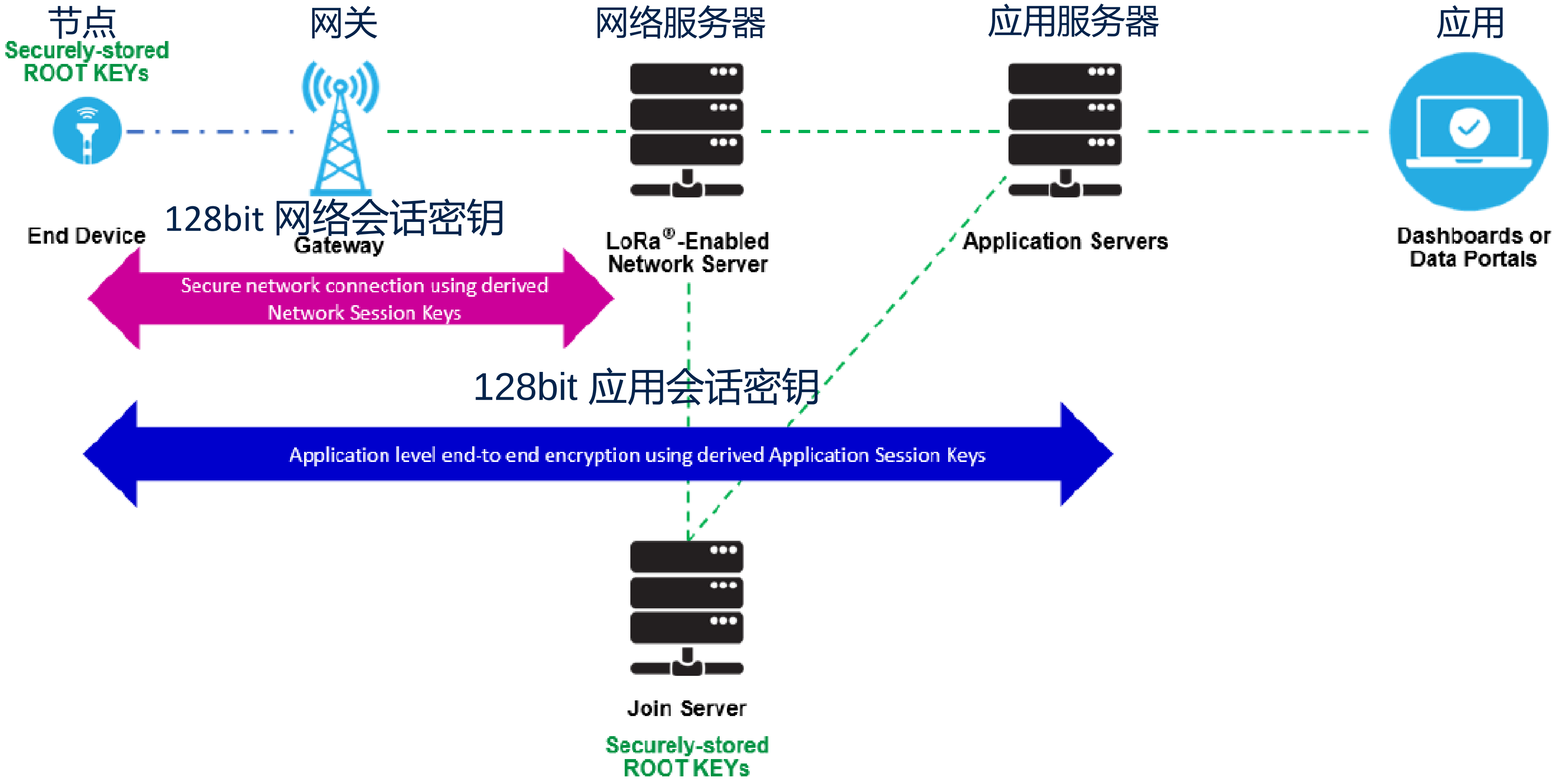
LoRaWAN 网络组成:

- LoRaWAN节点
- LoRaWAN网关
- LoRaWAN网络服务器
- LoRaWAN应用服务器
- APP



life.augmented

LoRaWAN 安全数据传输

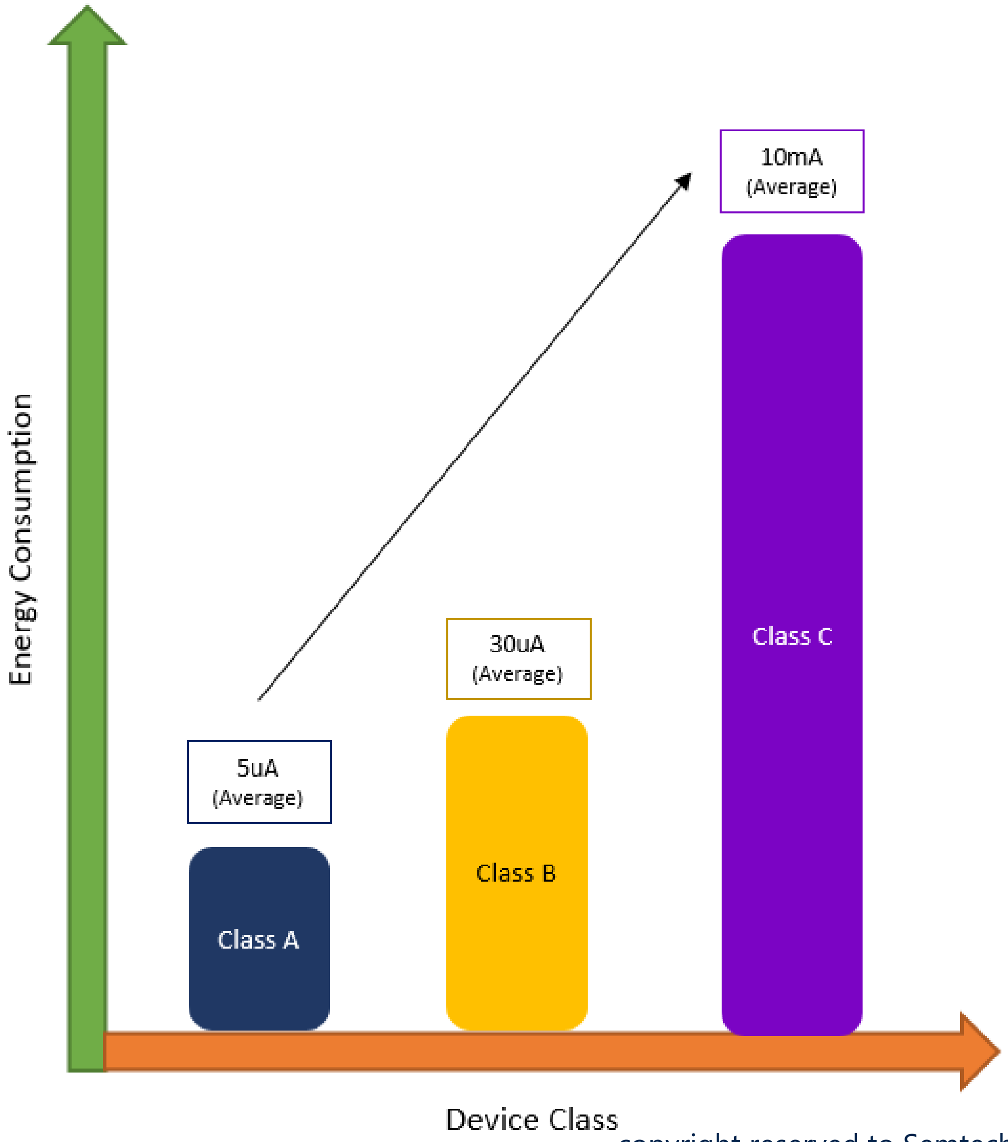


LoRaWAN节点

life.augmented

节点类别: Class A, Class B, Class C

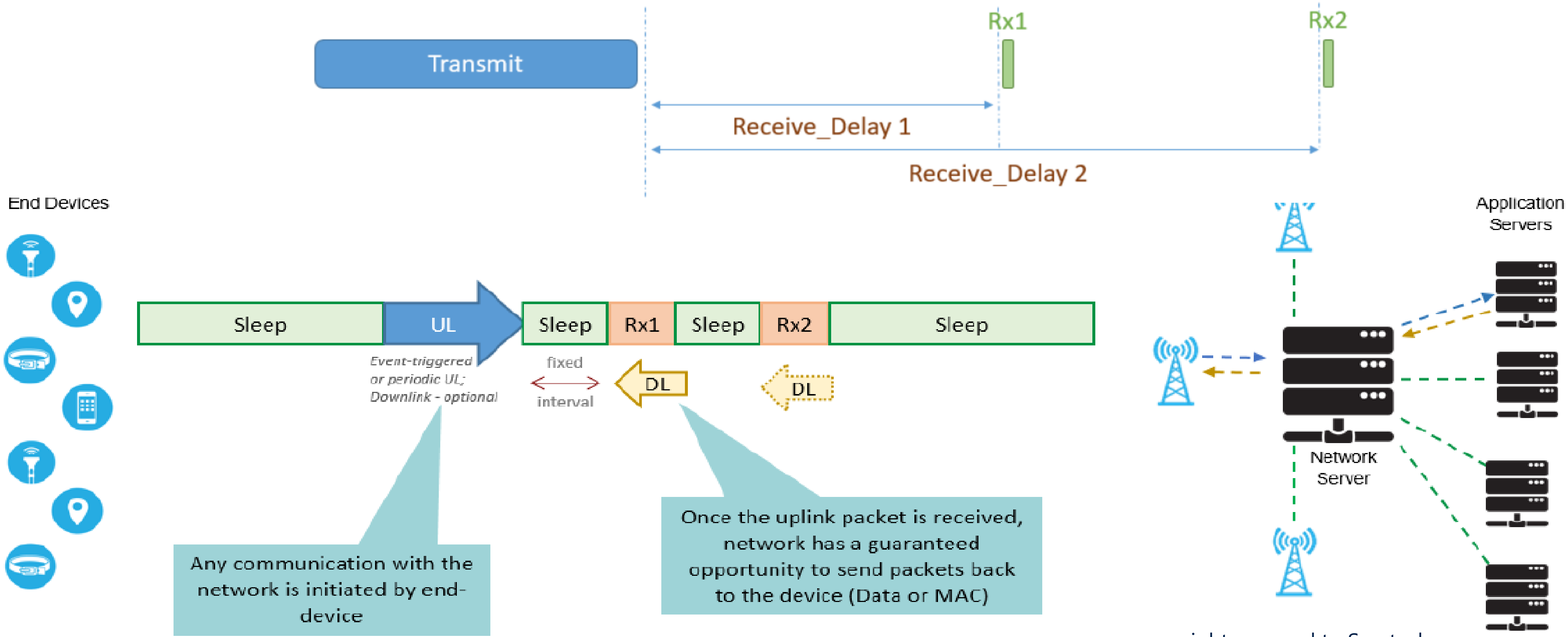
- 基于LoRaWAN的终端设备可能会根据其设备类别以三种模式之一运行。
- 所有此类设备必须支持Class A操作。
- Class B设备必须同时支持Class A和Class B模式。
- Class C设备必须支持Class A。这些操作模式与设备与网络的通信方式有关



Note: Diagram is representative but not to scale

Class A类节点

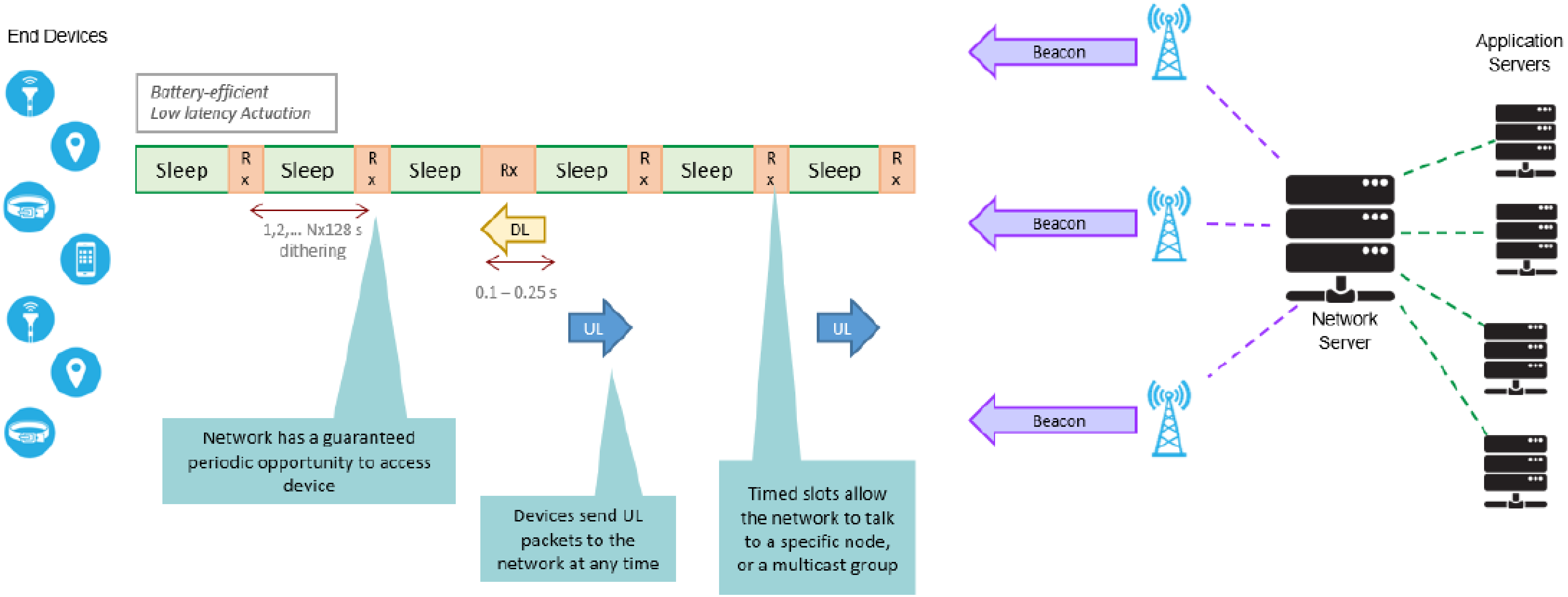
- Class A：所有LoRaWAN终端设备必须实现A类功能。 降低功耗。
- ClassA 终端设备允许双向通信，其中每个终端设备的上行链路传输之后是两个短的下行链路接收窗口。
- 在任何其他时间，来自服务器的下行链路通信都必须等到下一个计划的上行链路。



life.augmented

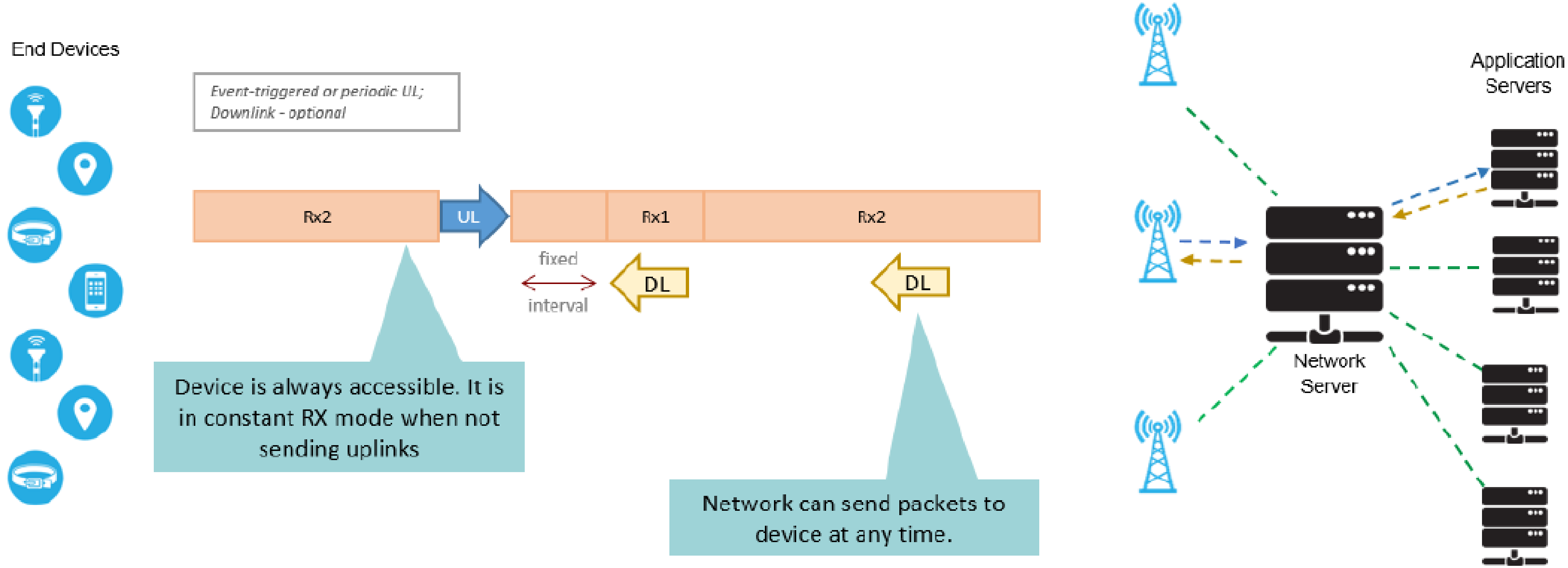
Class B类节点

- LoRaWAN Class B模式为终端节点设备提供了定期调度，固定的时间机会从网络接收下行链路数据，从而使ClassB终端设备既适用于监视传感器，也适用于执行器。
- 所有基于LoRaWAN的终端设备均以Class A模式启动； 但是，在制造过程中设定为Class B的设备可以通过应用层切换到Class B模式。
- Class B模式下的终端设备提供定期安排的接收窗口，此外，每当将ClassA模式的上行链路发送到服务器时，这些窗口就会打开



Class C类节点

- Class C始终处于“打开”状态； 也就是说，它们不依赖电池电量。 低延迟，多功耗。
- Class C终端设备实现与Class A设备相同的两个接收窗口，但是它们不会关闭Rx2窗口，直到它们将下一次传输发送回服务器。因此，他们几乎可以随时在Rx2窗口中接收下行链路数据

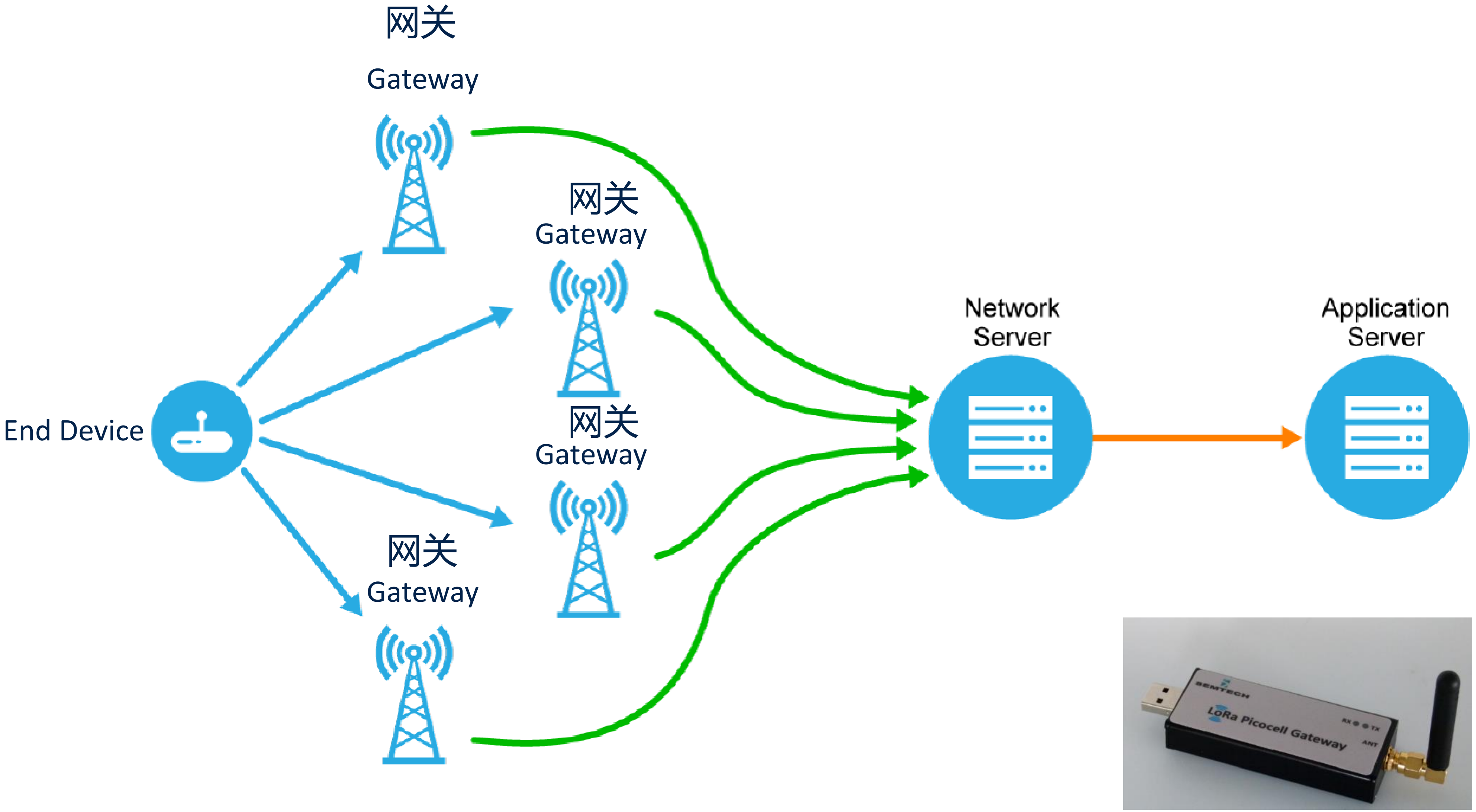


copyright reserved to Semtech

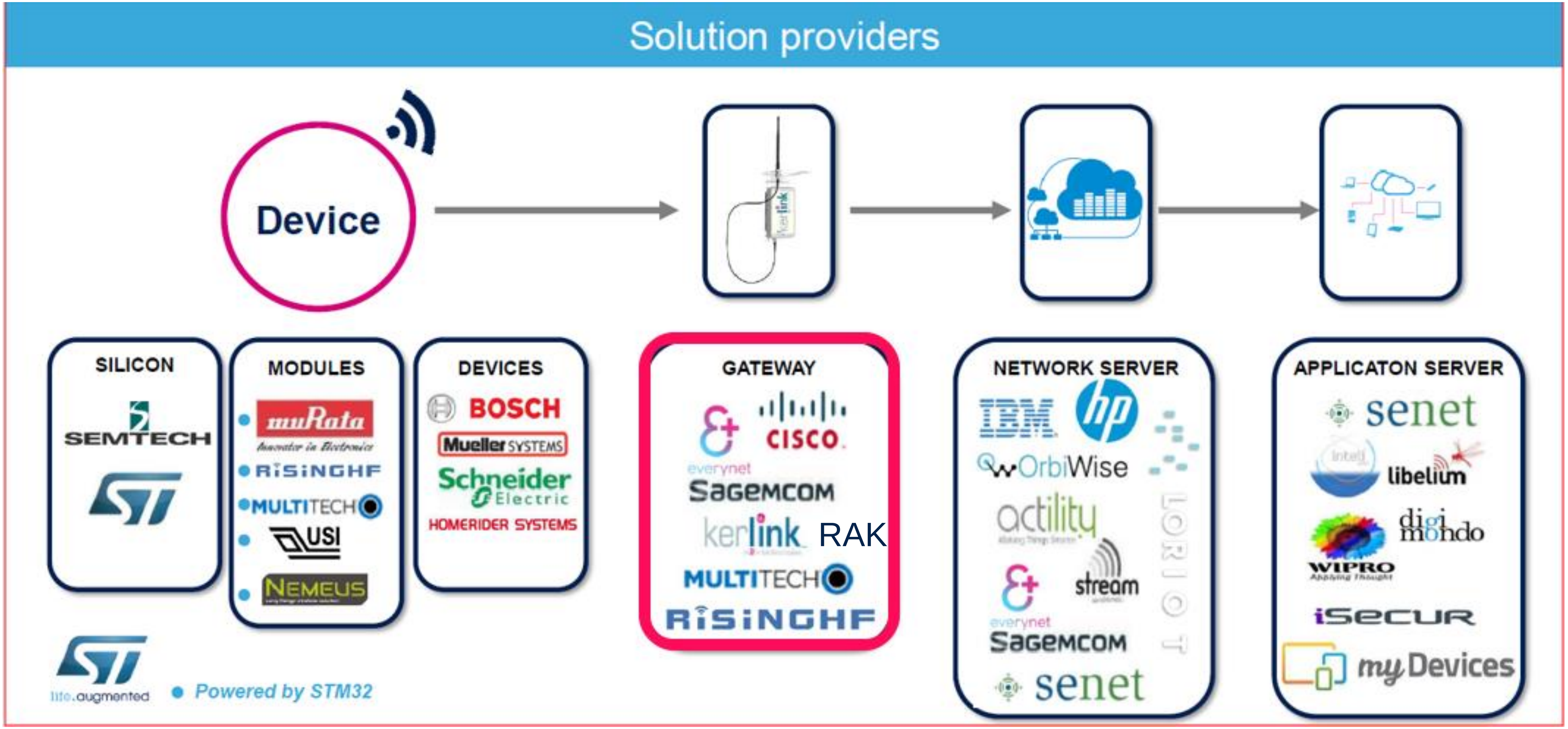
LoRaWAN网关和网络服务器

LoRaWAN 网络结构

网关



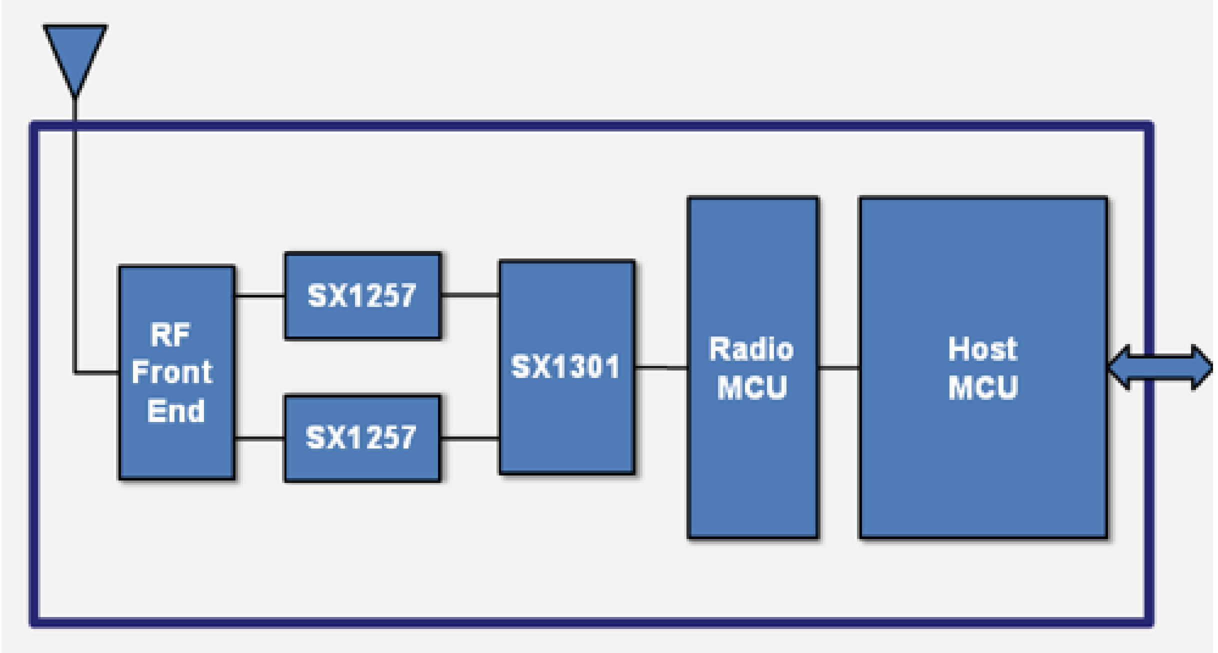
LoRaWAN 网关供应商参考



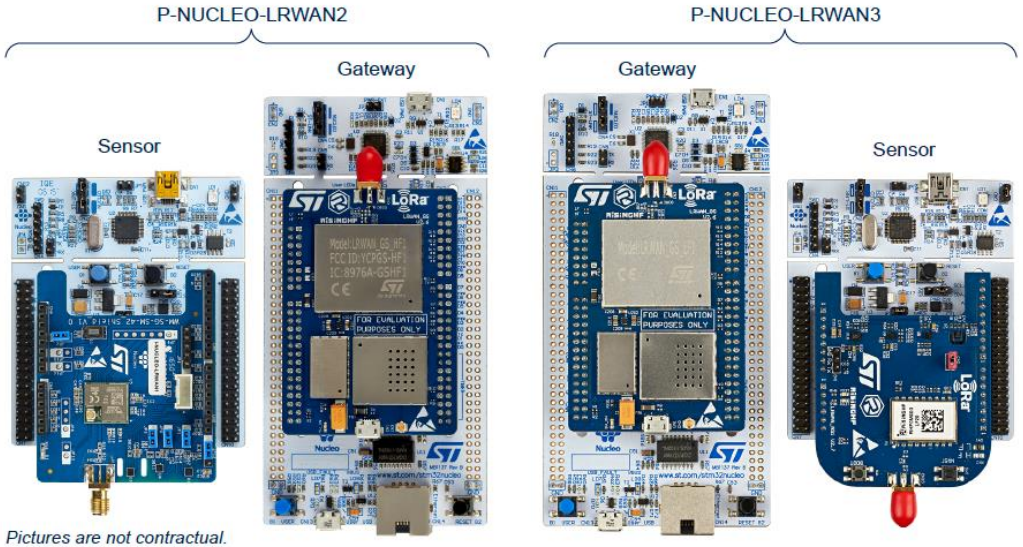
LoRaWAN 网关架构

LoRaWAN网关是一个多通道LoRa解调器，能够并行解码几个频率上的所有LoRa调制变量。

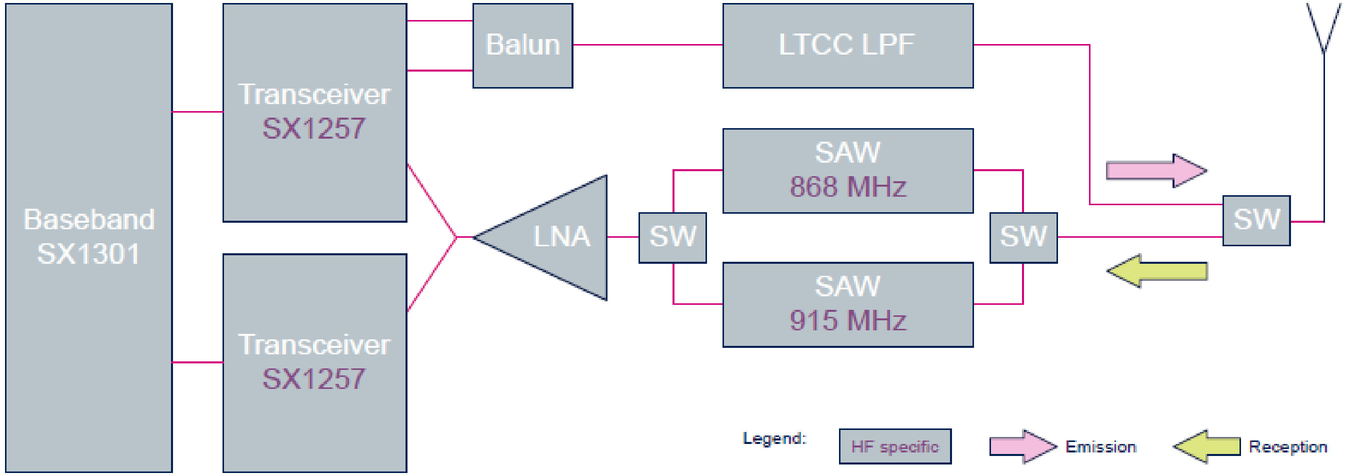
- **主控 MCU**
  - 可以使用32位微控制器或微处理器（STM32F7XX/STM32MP1XX）.
- **射频MCU**
  - 可以使用16位微控制器
- **数字基带芯片**
  - SX1301
    - LoRa基带处理器
  - SX1257
    - 双射频前端电路



P-NUCLEO-LRWAN 网关

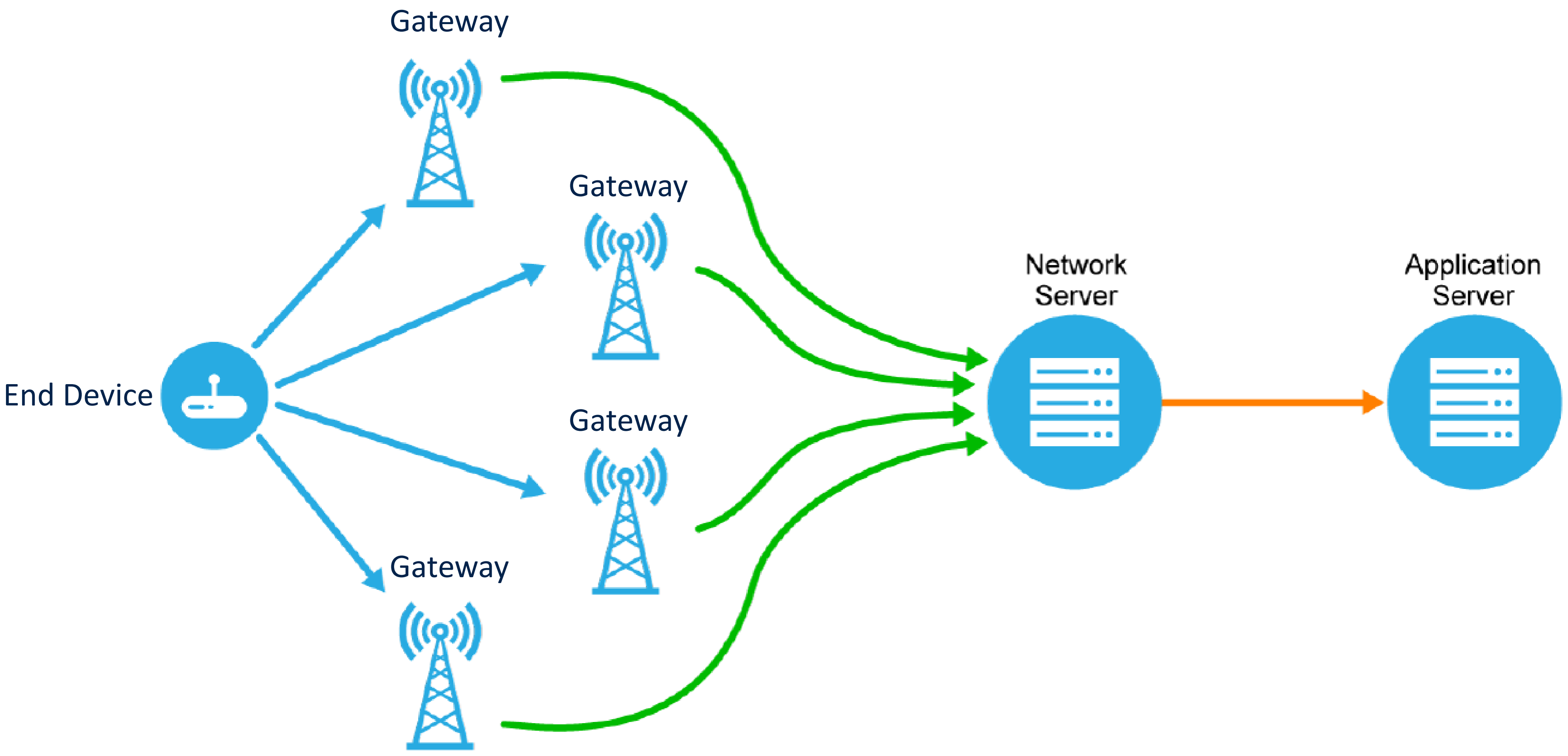


Pictures are not contractual.

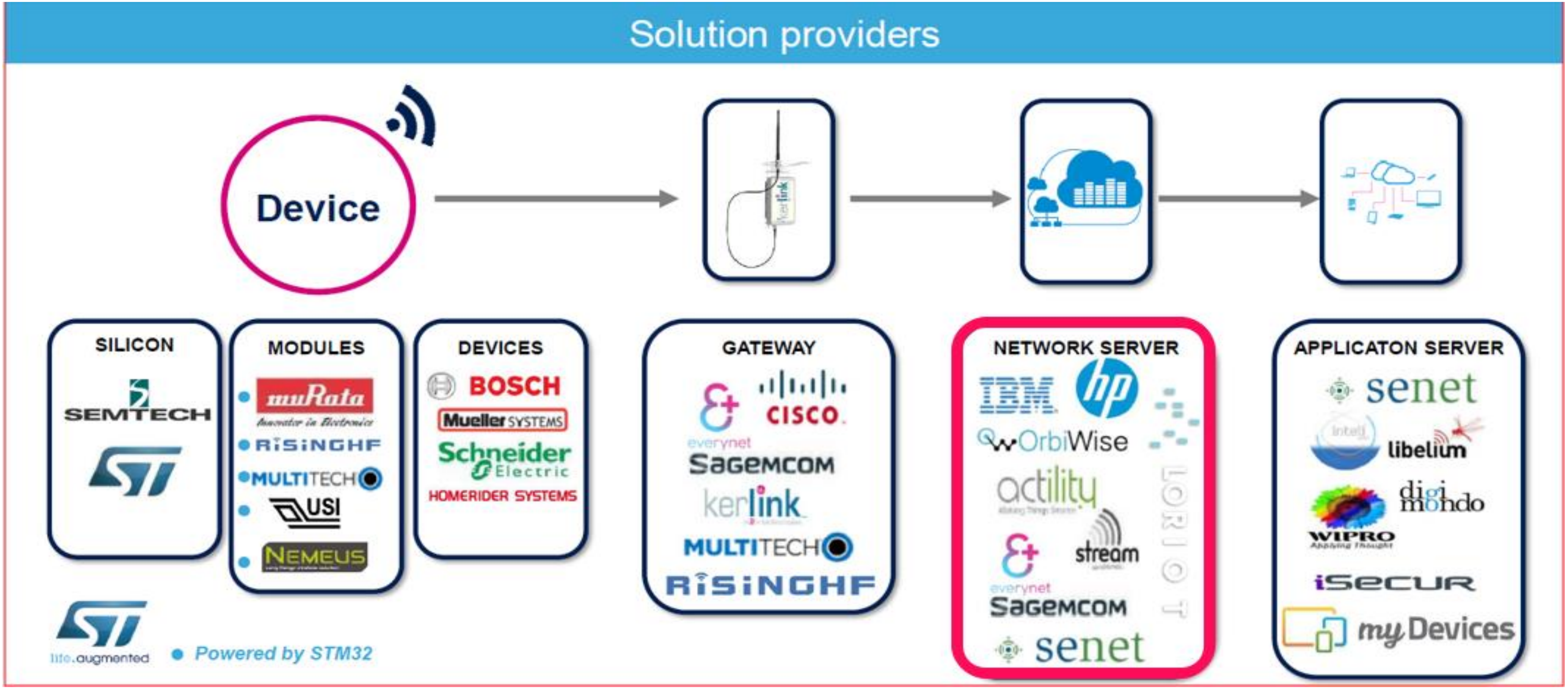


LoRaWAN 网络结构

网络服务器



LoRaWAN 网络服务器供应商

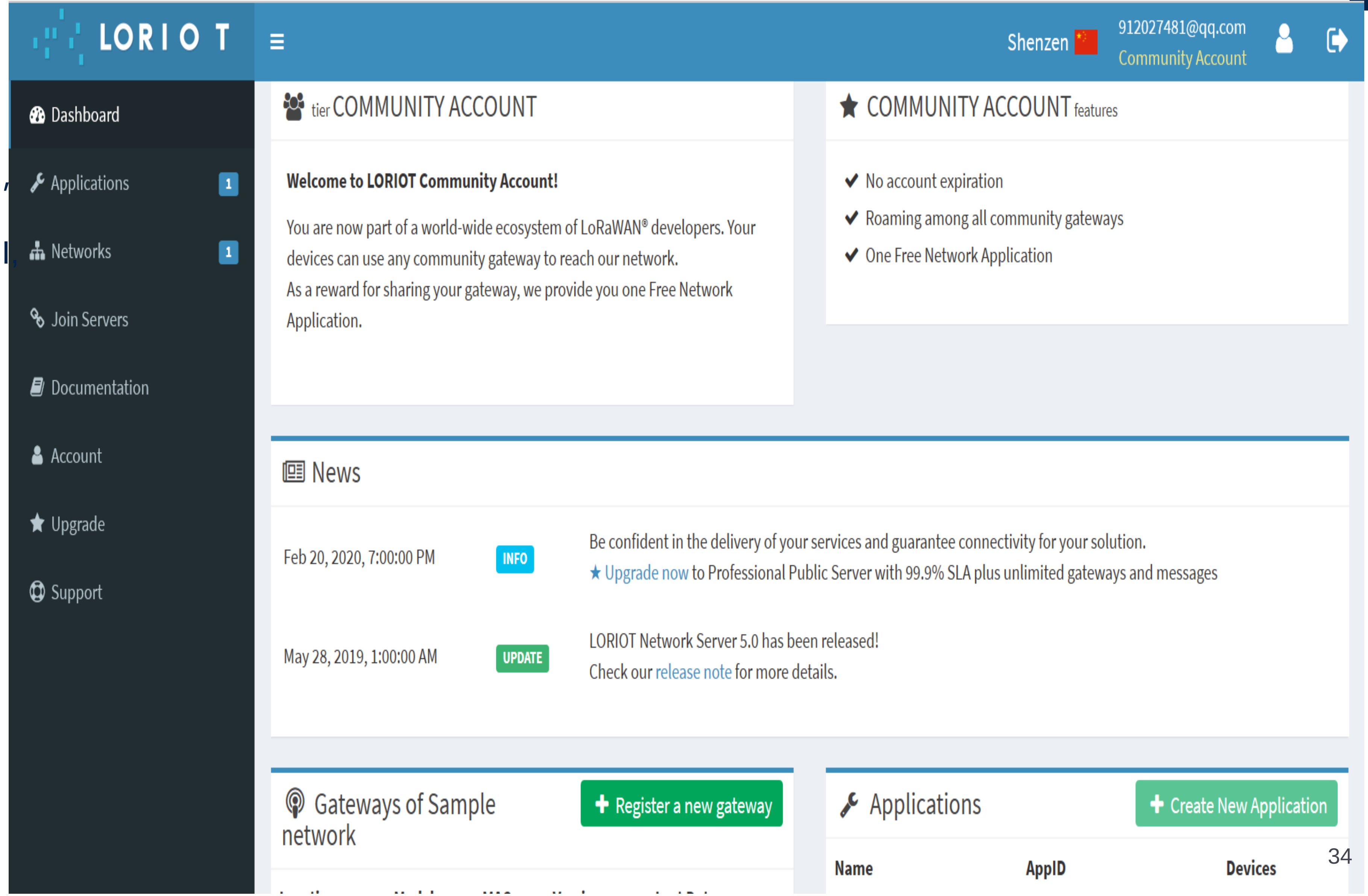


LoRaWAN 网络服务器

示例:

LORIOT 网络服务器:

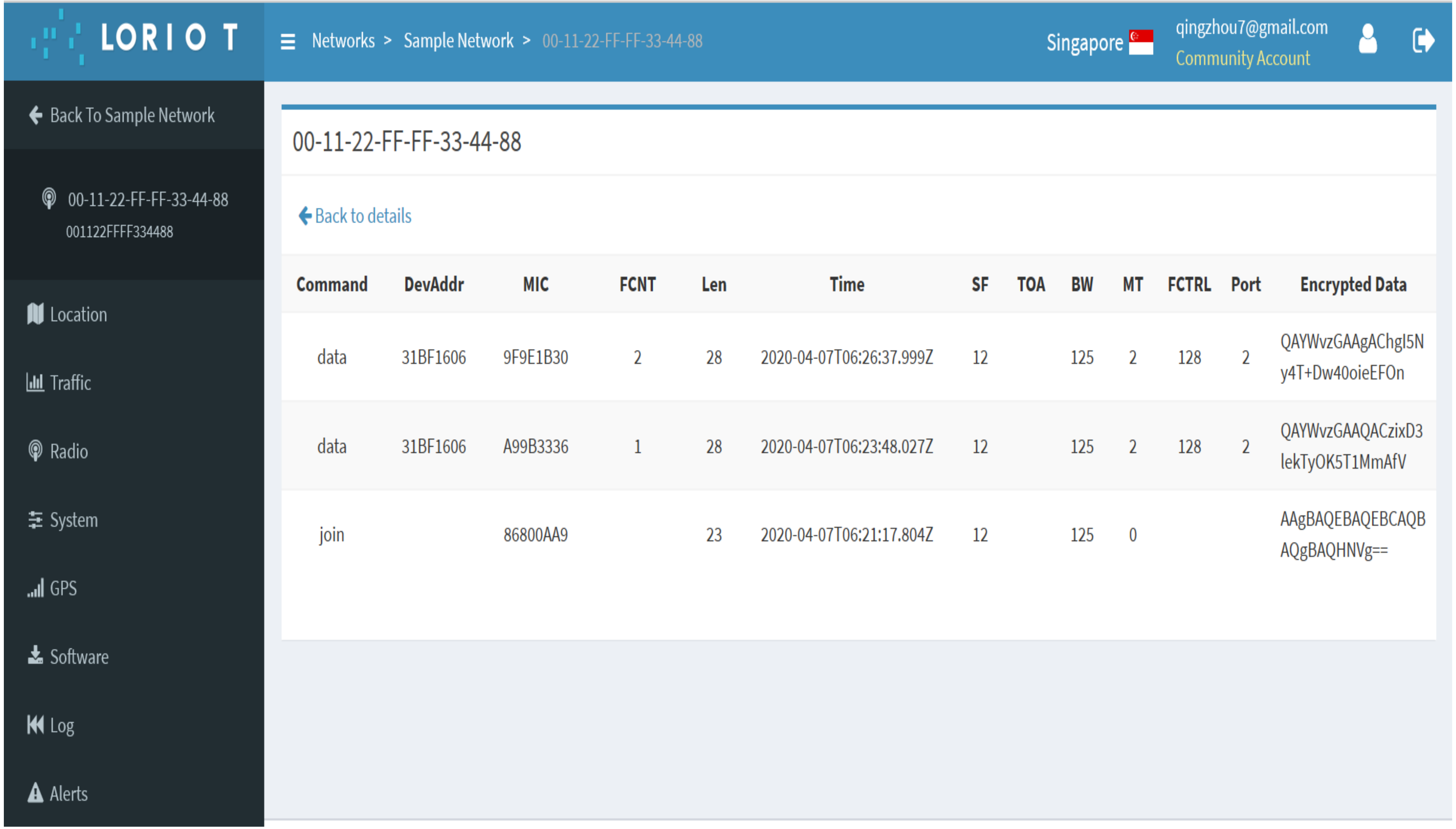
- 配置LoRaWAN网关MAC地址,
    - 注册网关
- 配置LoRaWAN 节点 Dev_EUI,
App_EUI,APPKey注册 节点（STM32WL）



LoRaWAN 网络服务器

示例:

Network 网关日志

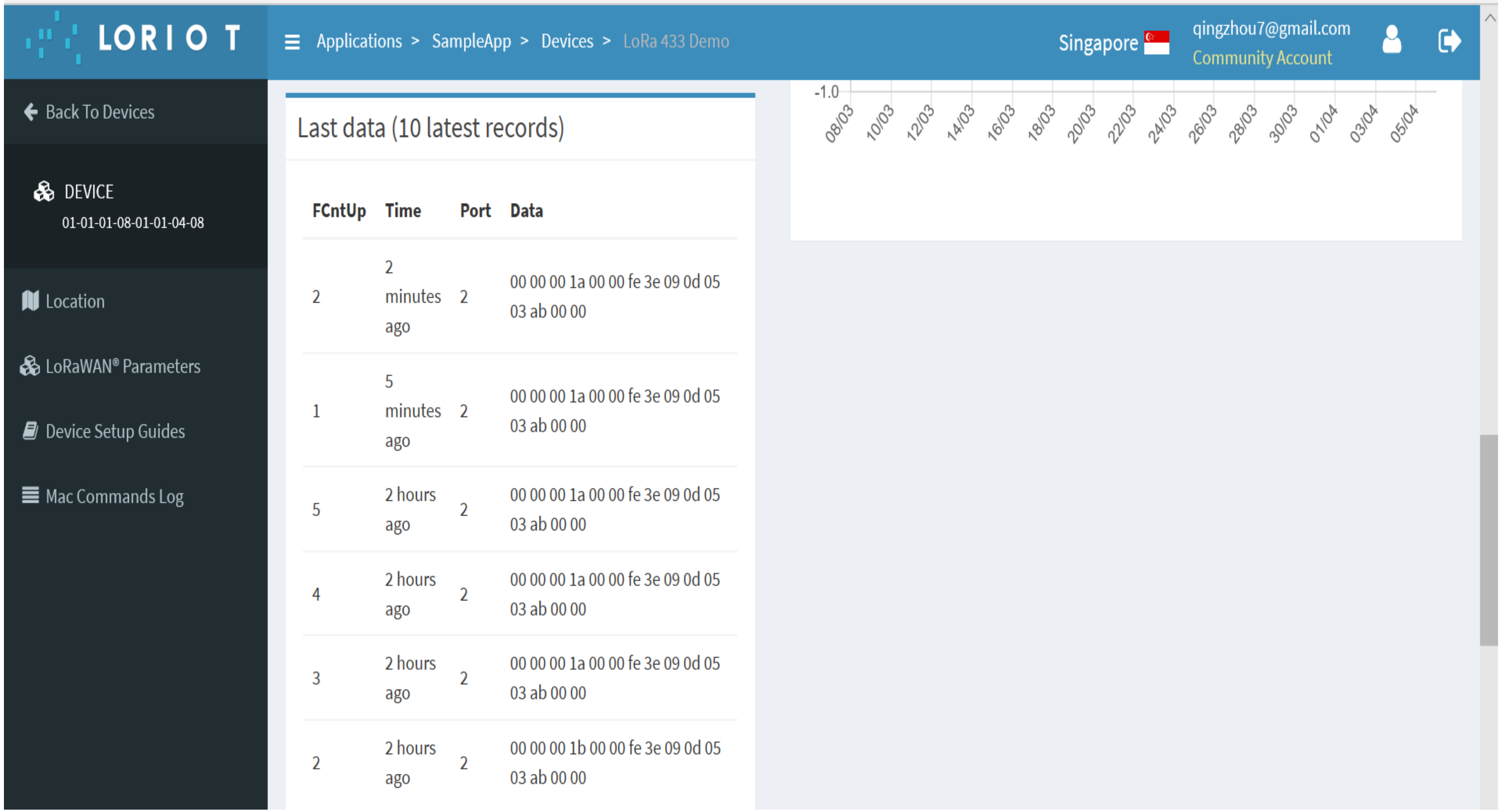


life.augmented

LoRaWAN 网络服务器

示例:

Network 节点接收收据



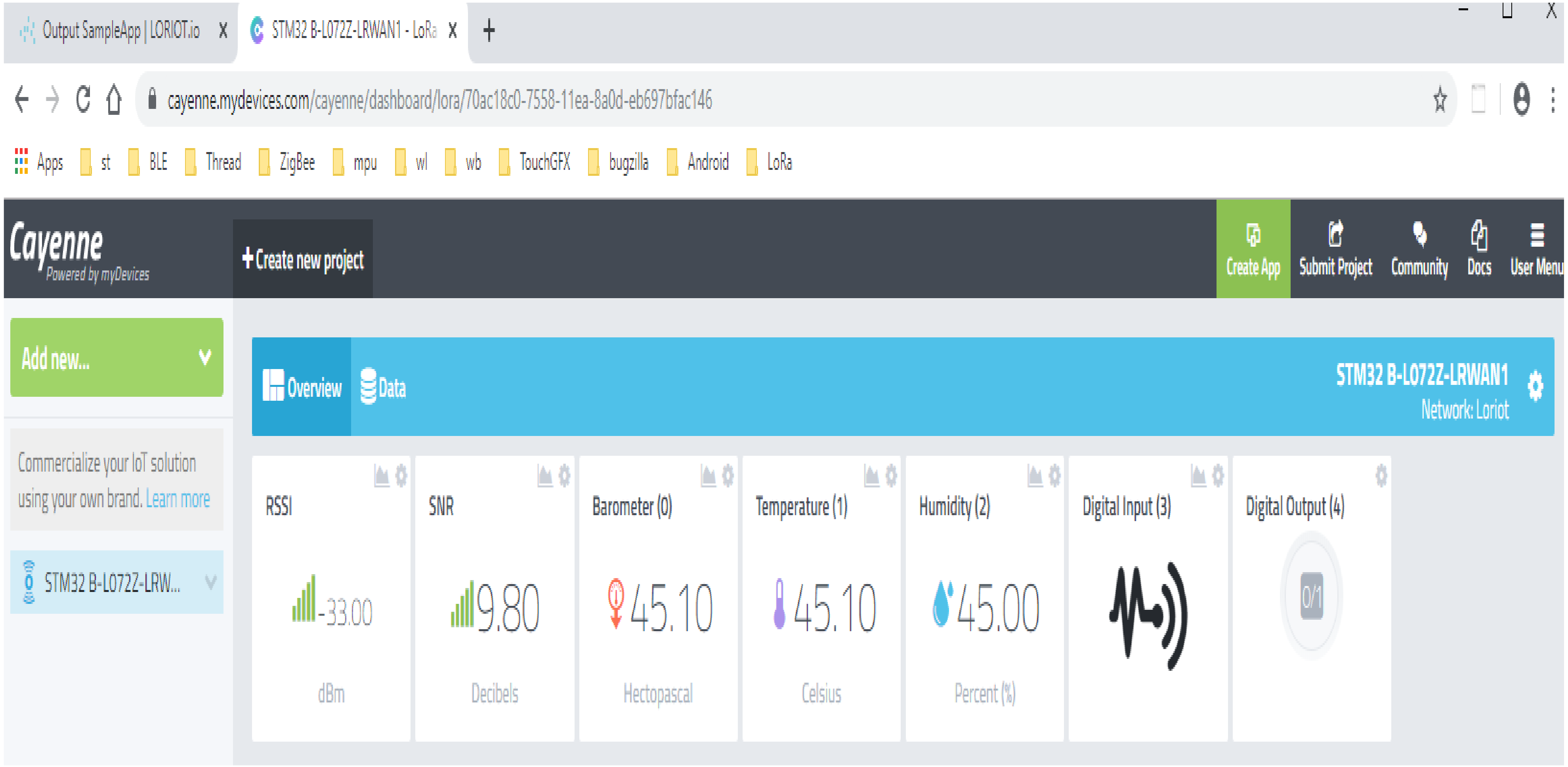
life.augmented

LoRaWAN 应用服务器

:

示例:

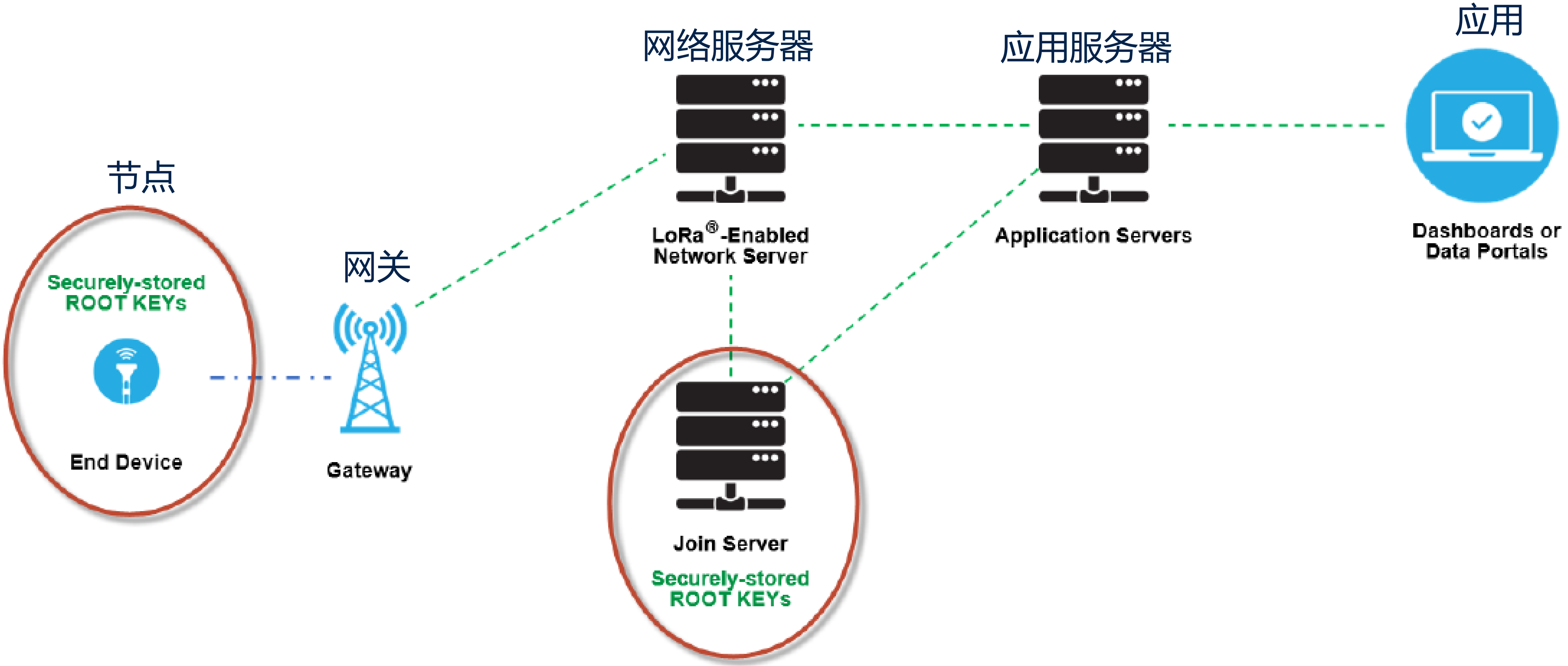
节点数据由网络服务器转发到应用服务器



life.augmented

LoRaWAN节点入网步骤

LoRaWAN 网络


网络服务器
应用服务器
应用
节点
网关
Securely-stored ROOT KEYs
End Device
Gateway
LoRa®-Enabled Network Server
Application Servers
Dashboards or Data Portals
Join Server
Securely-stored ROOT KEYs

LoRaWAN 节点激活方法

两种激活方式:

1.**Over-the-Air Activation(OTAA)**

- 基于全局唯一标识符
- 空中消息握手

OTAA

- 设备制造商自动生成基本的配置参数
- 可以定期更新安全密钥（会话密钥和派生密钥）
- 设备可以存储多个“身份”，以在其生命周期内动态安全地切换网络和运营商
- 提供高级的防篡改安全选项

2.**Activation By Personalization (ABP)**

- 生产时存储共享密钥
- 锁定到特定网络

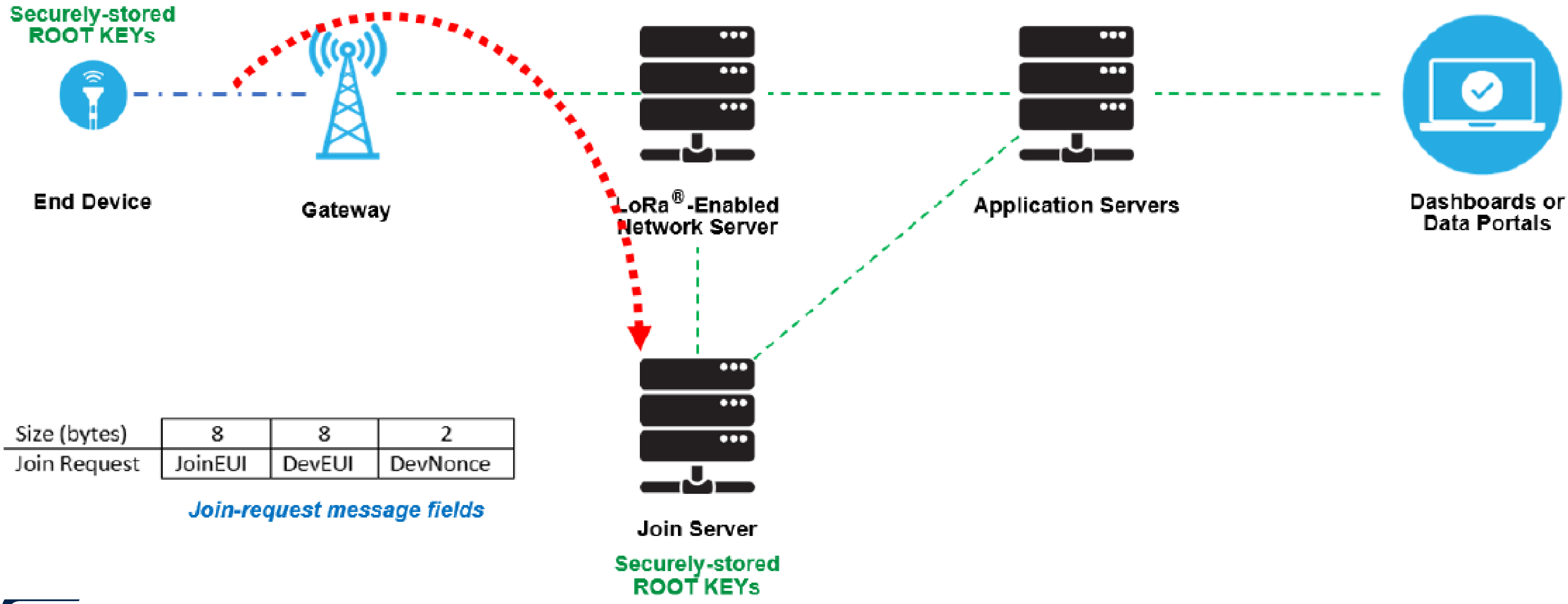
ABP

- 简化的（不太安全）的激活过程
- 在制造时对ID和密钥进行了个性化设置□
- 上电后，设备立即开始工作； 跳过加入程序
- 设备绑定到特定的网络/服务； NetID是设备网络地址的一部分

OTAA / ABP的入网参数

参数	描述	节点激活方式
DevEUI	64位全局唯一ID（IEEE EUI64地址）唯一标识终端设备。	OTAA
AppEUI	64位应用ID用于唯一标识应用提供者的节点（IEEE EUI64地址）	
AppKey	由AES分配的AES-128应用密钥，专用于终端设备应用程序提供者，用于派生特定于该终端设备的会话密钥NwkSKey和AppSKey，以加密和验证网络通信和应用程序数据。	
NwkSKey	网络会话密钥，用于特定的终端设备。 网络服务器和终端设备将其用于计算和验证MIC（消息完整性代码），或加密和解密仅MAC数据消息的有效载荷字段	ABP
AppSKey	应用会话密钥，用于特定的终端设备。被用于应用服务器和终端设备加解密应用数据。	
DevAddr	标识当前网络中的终端设备的32位地址。	

OTAA: 入网请求

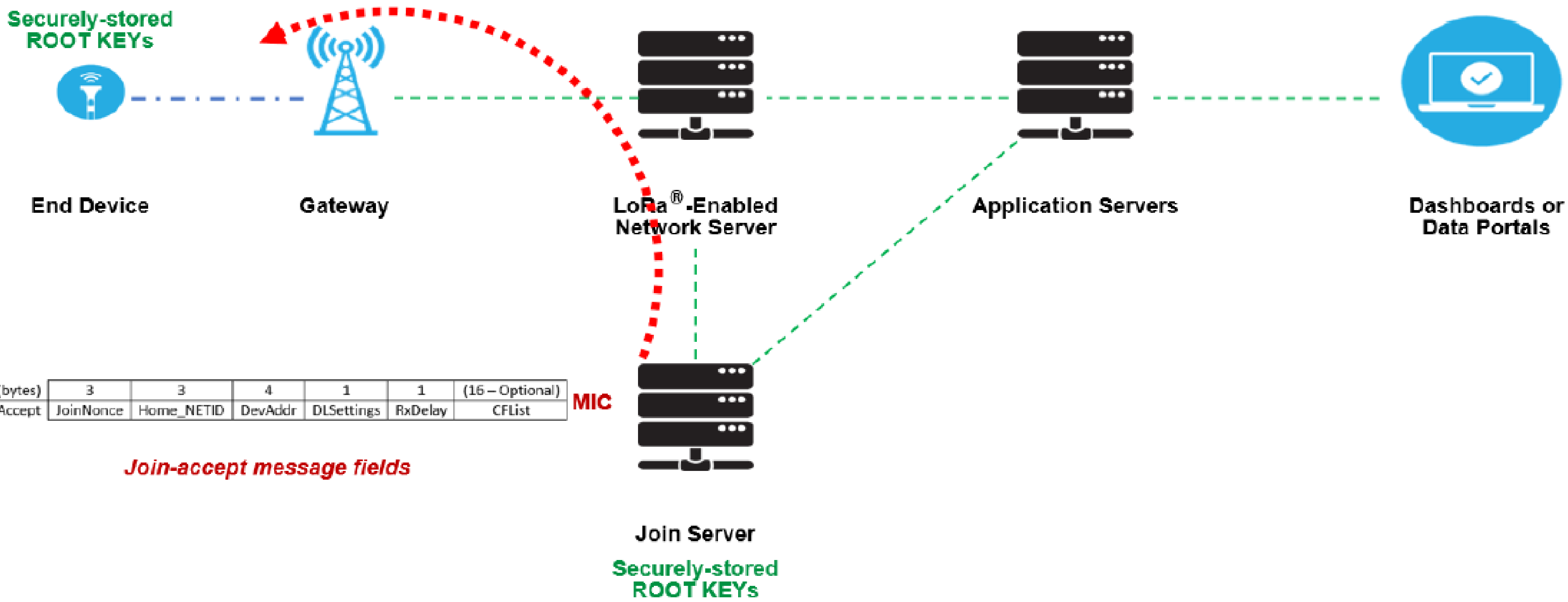


Size (bytes)	8	8	2
Join Request	JoinEUI	DevEUI	DevNonce

Join-request message fields

life.augmented

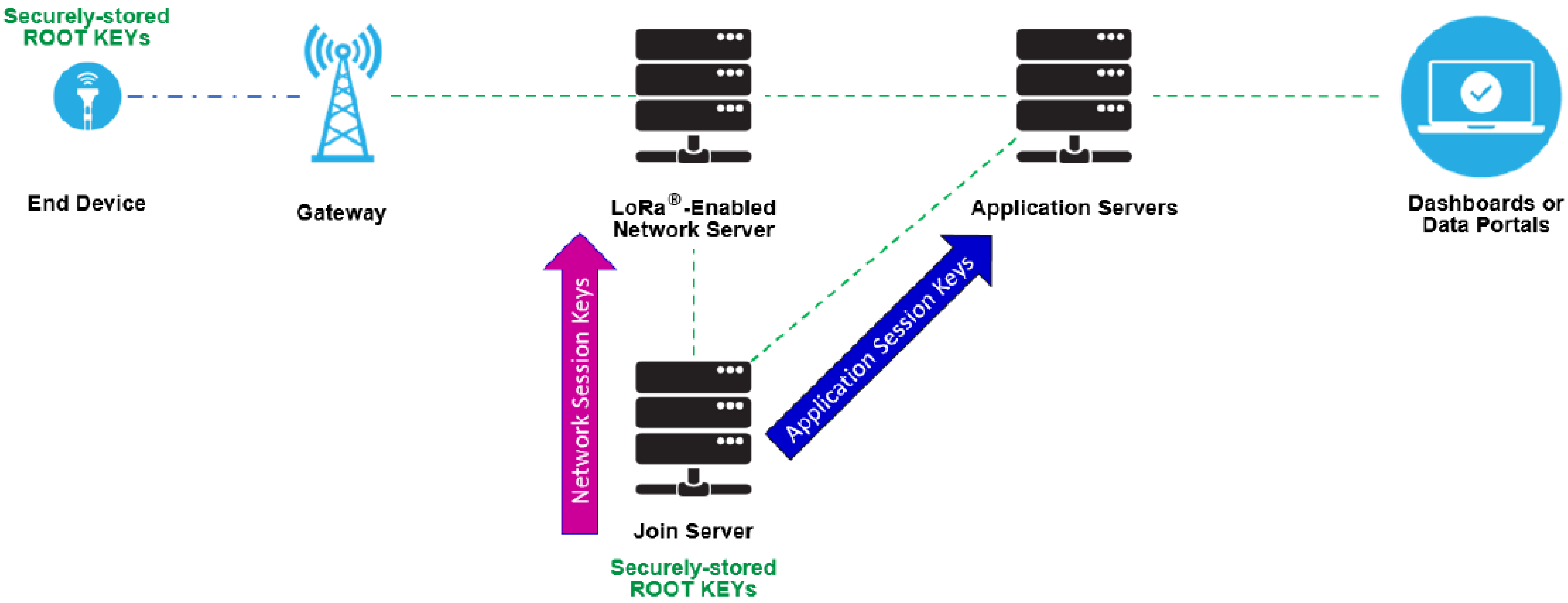
OTAA: 入网接受



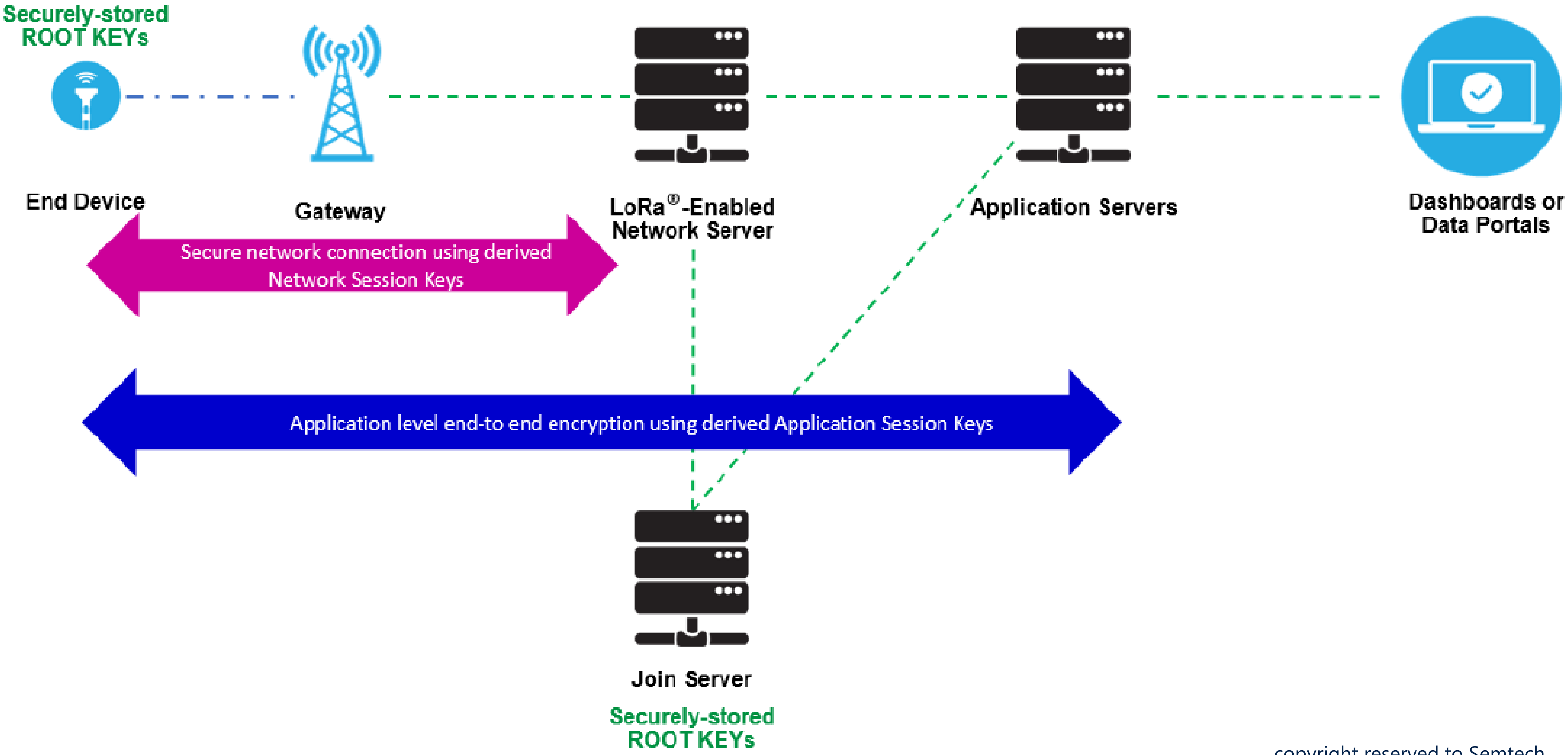
Size (bytes)	3	3	4	1	1	(16 – Optional)
Join Accept	JoinNonce	Home_NETID	DevAddr	DLSettings	RxDelay	CFList

Join-accept message fields

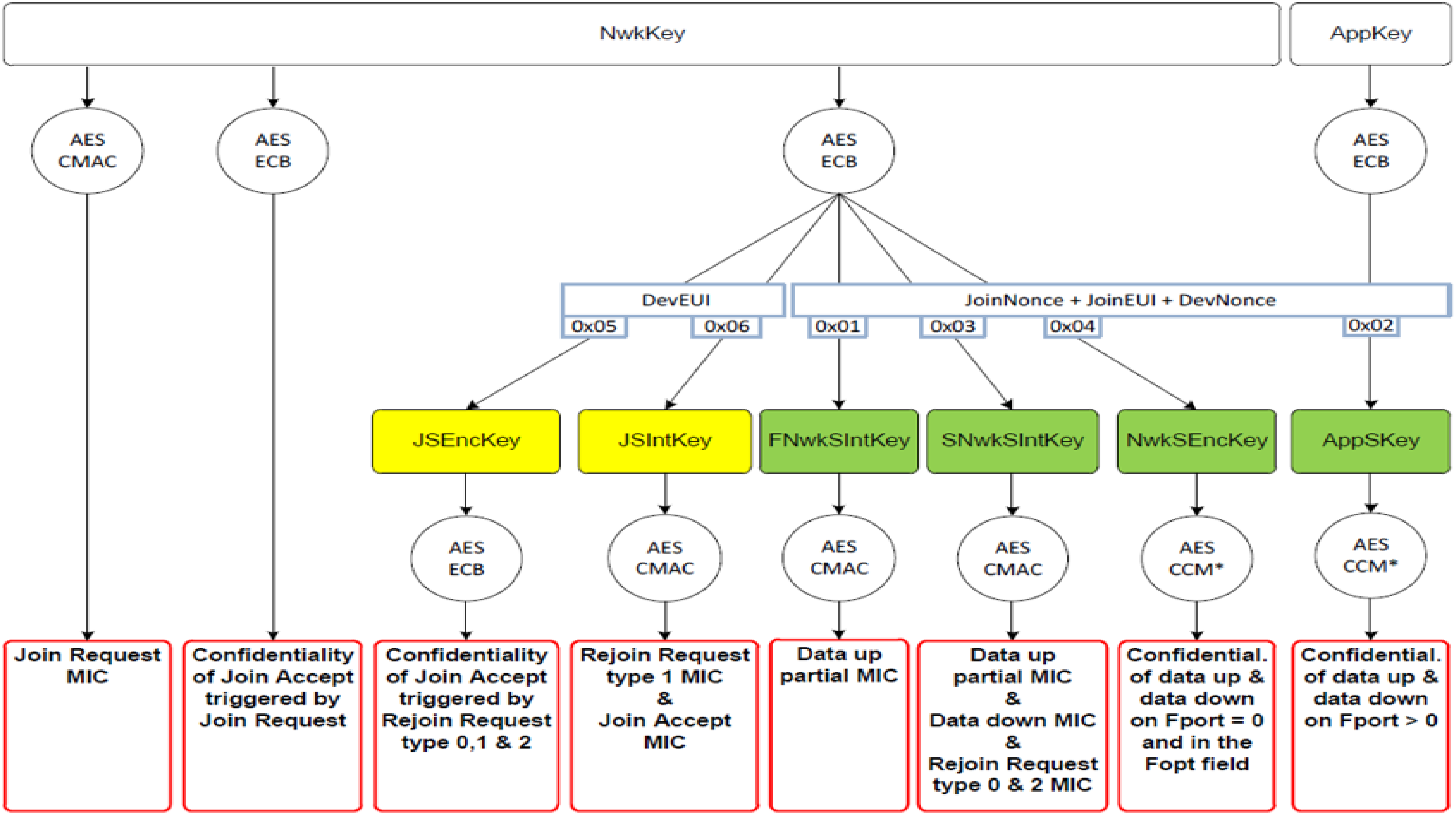
OTAA: 会话密钥


Securely-stored
ROOT KEYs
End Device
Gateway
LoRa®-Enabled
Network Server
Application Servers
Dashboards or
Data Portals
Network Session Keys
Application Session Keys
Join Server
Securely-stored
ROOT KEYs

OTAA:安全传输


Securely-stored ROOT KEYs
End Device
Gateway
LoRa®-Enabled Network Server
Application Servers
Dashboards or Data Portals
Secure network connection using derived Network Session Keys
Application level end-to end encryption using derived Application Session Keys
Join Server
Securely-stored ROOT KEYs

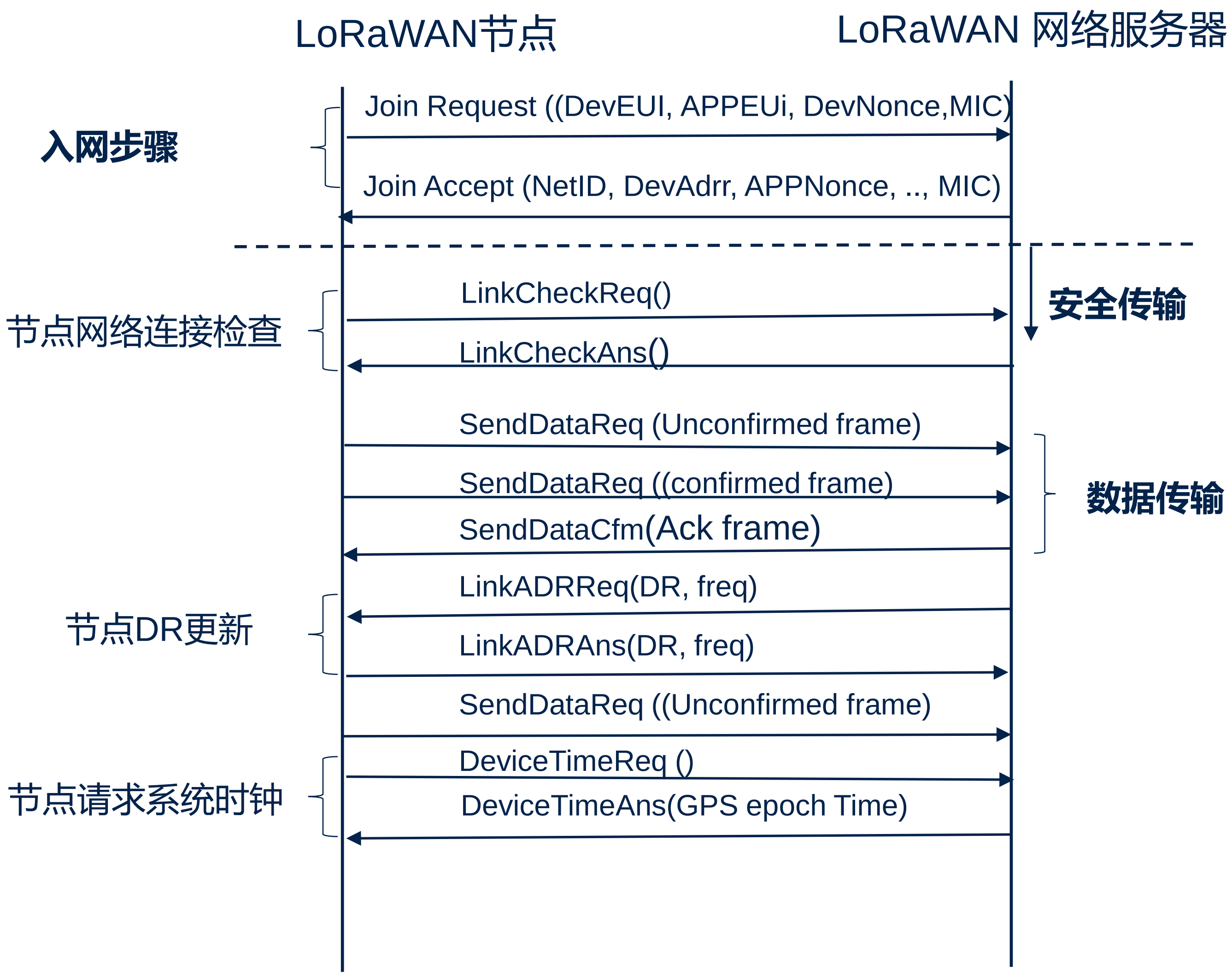
LoRaWAN 安全密钥派生图



life.augmented

OTAA: 工作流程

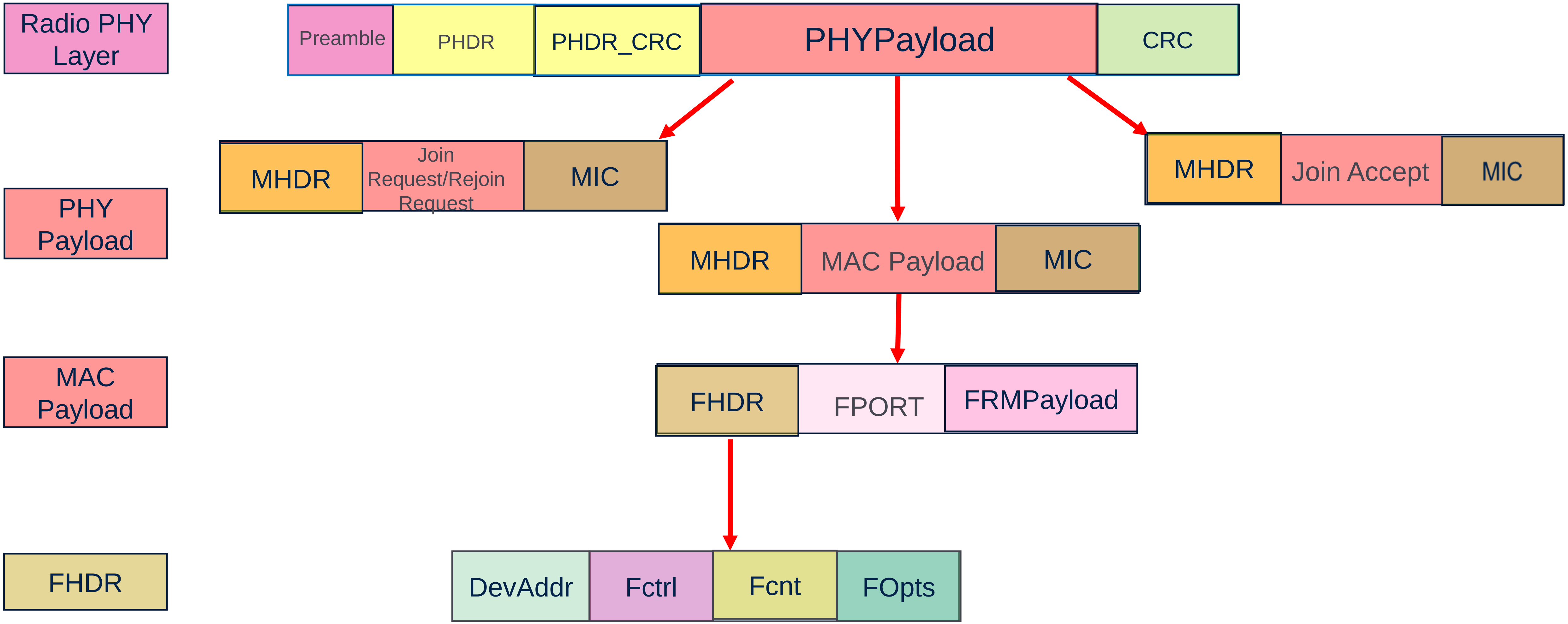
OTAA 方式激活节点



life.augmented

LoRaWAN数据包格式

LoRaWAN数据包格式



LoRaWAN MAC指令

LoRaWAN MAC 指令

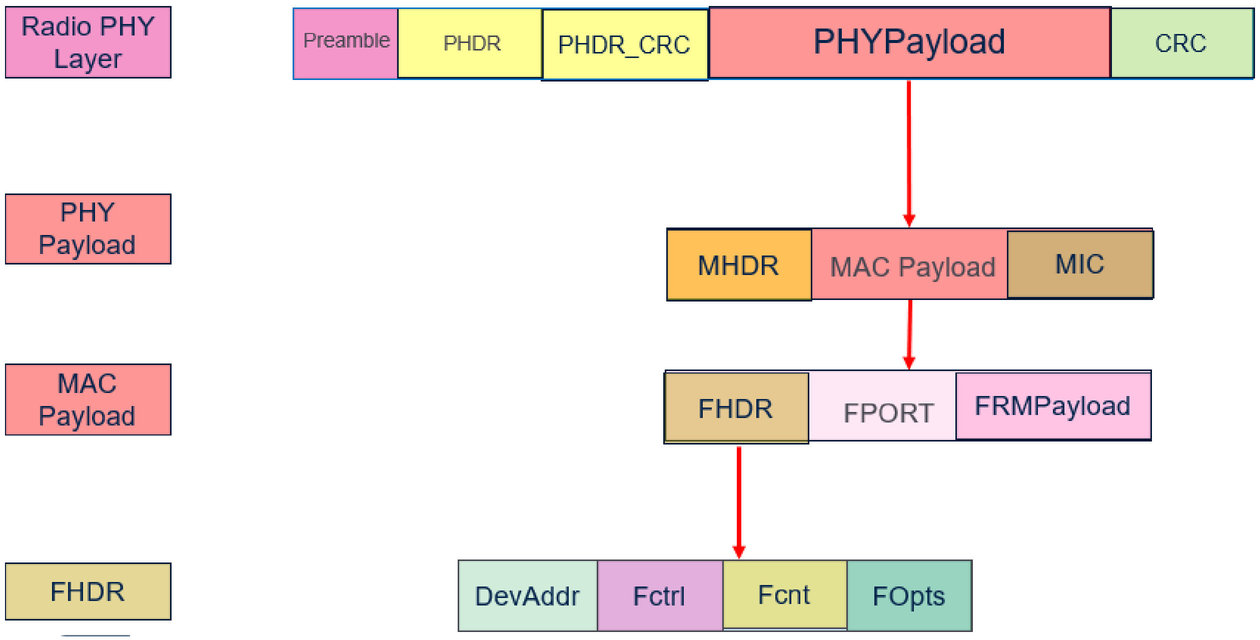
对于LoRaWAN网络管理，可以在网络服务器和终端设备上的MAC层之间专门交换一组MAC命令。 MAC层命令对于应用程序或应用程序服务器或在终端设备上运行的应用程序永远是不可见的。

- 单个数据帧可以包含任何MAC命令序列，它们可以commands带在FOpts字段中，或者作为单独的数据帧发送时，可以在FRMPayload字段中将FPort字段设置为0。
- MAC命令始终以加密方式发送，并且不得超过15个八位位组.
- 作为FRMPayload发送的MAC命令始终被加密，并且不得超过最大FRMPayload长度.

LoRaWAN MAC 指令

发送MAC指令的两种方法：

- 在FOpts字段中附带的MAC命令
- MAC命令作为单独的数据帧发送，在FRMPayload字段中将FPort字段设置为0



LoRaWAN MAC 命令

CID	Command	Transmitted by		Short Description
		End-device	Gateway	
0x01	***ResetInd***	x		Used by an ABP device to indicate a reset to the network and negotiate protocol version
0x01	***ResetConf***		x	Acknowledges ResetInd command
0x02	***LinkCheckReq***	x		Used by an end-device to validate its connectivity to a network.
0x02	***LinkCheckAns***		x	Answer to LinkCheckReq command. Contains the received signal power estimation indicating to the end-device the quality of reception (link margin).
0x03	***LinkADRReq***		x	Requests the end-device to change data rate, transmit power, repetition rate or channel.
0x03	***LinkADRAns***	x		Acknowledges the LinkADRReq.
0x04	***DutyCycleReq***		x	Sets the maximum aggregated transmit duty-cycle of a device
0x04	***DutyCycleAns***	x		Acknowledges a DutyCycleReq command
0x05	***RXParamSetupReq***		x	Sets the reception slots parameters
0x05	***RXParamSetupAns***	x		Acknowledges a RXParamSetupReq command

life.augmented

LoRaWAN MAC 命令

CID	Command	Transmitted		Short Description
0x06	***DevStatusReq***		x	Requests the status of the end-device
0x06	***DevStatusAns***	x		Returns the status of the end-device, namely its battery level and its demodulation margin
0x07	***NewChannelReq***		x	Creates or modifies the definition of a radio channel
0x07	***NewChannelAns***	x		Acknowledges a NewChannelReq command
0x08	***RXTimingSetupReq***		x	Sets the timing of the of the reception slots
0x08	***RXTimingSetupAns***	x		Acknowledges RXTimingSetupReq command
0x09	***TxParamSetupReq***		x	Used by the Network Server to set the maximum allowed dwell time and Max EIRP of end-device, based on local regulations
0x09	***TxParamSetupAns***	x		Acknowledges TxParamSetupReq command
0x0A	***DlChannelReq***		x	Modifies the definition of a downlink RX1 radio channel by shifting the downlink frequency from the uplink frequencies (i.e. creating an asymmetric channel)
0x0A	***DlChannelAns***	x		Acknowledges DlChannelReq command
0x0B	***RekeyInd***	x		Used by an OTA device to signal a security context update (rekeying)
0x0B	***RekeyConf***		x	Acknowledges RekeyInd command
0x0C	***ADRParamSetupReq***		x	Used by the Network Server to set the ADR_ACK_LIMT and ADR_ACK_DELAY parameters of an end-device
0x0C	***ADRParamSetupAns***	x		Acknowledges ADRParamSetupReq command
0x0D	***DeviceTimeReq***	x		Used by an end-device to request the current date and time
0x0D	***DeviceTimeAns***		x	Sent by the network, answer to the DeviceTimeReq request
0x0E	***ForceRejoinReq***		x	Sent by the network, ask the device to

LoRaWAN MAC 命令

CID	Command	Transmitted by		Short Description
		End-device	Gateway	
				Rejoin immediately with optional periodic retries
0x0F	***RejoinParamSetupReq***		x	Used by the network to set periodic device Rejoin messages
0x0F	***RejoinParamSetupAns***	x		Acknowledges RejoinParamSetupReq
0x80 to 0xFF	Proprietary	x	x	Reserved for proprietary network command extensions

life.augmented

课程回顾

1. 概览
2. 什么是LoRa
3. LoRa调制
4. LoRaWAN 简介
5. LoRaWAN 网络架构
6. LoRaWAN 节点
7. LoRaWAN网关和网络服务器
8. LoRaWAN 节点入网步骤
9. LoRaWAN 数据包格式
10. LoRaWAN MAC 指令

life.augmented

Thank you

life.augmented