

# LoRa 联盟

## LoRaWAN™规范

### 作者

N. Sornin (Semtech), M. Luis (Semtech), T. Eirich (IBM), T. Kramp (IBM),  
O.Hersent (Actility)

版本: V1.0

日期: 2015 年 1 月

状态: 已发布

注意: 该版本为称为 LoRaWAN™ 的 LoRa™联盟协议的候选规范

## 目录

1 引言.....	3
1.1 LoRaWAN 的分类.....	3
1.2 惯例.....	4
2 LoRaWAN 选项简介.....	5
2.1 LoRaWAN 的分类.....	5
2.2 说明范围.....	6
3 物理消息格式.....	8
3.1 上行链路消息.....	8
3.2 下行链路消息.....	8
3.3 接收窗口.....	8
4 MAC 信息格式.....	11
4.1 MAC 层（PHY 有效载荷）.....	11
4.2 MAC 头（MHDR 字段）.....	11
4.3 数据信息的 MAC 有效载荷（MAC 有效载荷）.....	13
4.4 信息完整编码.....	19
5 MAC 指令.....	20
5.1 连接检查指令（ <i>LinkCheckReq</i> , <i>LinkCheckAns</i> ）.....	21
5.2 链路 ADR 指令（ <i>LinkADRReq</i> , <i>LinkADRAAns</i> ）.....	21
5.3 终端设备传输占空比（ <i>DutyCycleReq</i> , <i>DutyCycleAns</i> ）.....	23
5.4 接收窗口参数（ <i>RXParamSetupReq</i> , <i>RXParamSetupAns</i> ）.....	24
5.5 终端设备状态（ <i>DevStatusReq</i> , <i>DevStatusAns</i> ）.....	25
5.6 信道的创建/修改（ <i>NewChannelReq</i> , <i>NewChannelAns</i> ）.....	25
5.7 设置 TX 和 RX 的延时（ <i>RXTimingSetupReq</i> , <i>RXTimingSetupAns</i> ）.....	26
6 终端设备激活.....	28
6.1 终端设备激活后的数据存储.....	28
6.2 无线激活（OTA）.....	28
6.3 手动激活.....	31
7 物理层.....	32
7.1 EU 863-870MHz ISM（Industrial Scientific Medical）频段.....	32
7.2 US 902-928MHz ISM 频段.....	37
7.3 China 779-787MHz ISM 频段.....	41
7.4 EU 433MHz ISM 频段.....	45
22 词汇表.....	49
23 文献目录.....	50
23.1 参考文献.....	50

## 1 引言

本文描述了 LoRaWAN™网络协议，该协议被优化用于电池供电终端设备，这些设备既可以是移动的，也可以是安装在某一固定位置的。

LoRaWAN 网络协议基于 star-of-stars 拓扑结构。在该结构中，网关在终端设备和后台的中央网络服务器中传递信息。网关通过标准 IP 连接网络服务器，与此同时，终端设备使用单跳段的 LoRa™和 FSK 通信方式来和一个或多个网关相连。尽管主要的通信量来自于从终端设备到网络服务器的上行链路，但所有的通信一般来说都是双向的。

终端设备和网关之间的通信在不同频率的信道中以不同的数据率传出。数据率的选择是通信范围和消息长度的折中。不同数据率的通信不会互相干扰。LoRa 的数据率范围是从 0.3kbps 到 50kbps。为了使电池寿命和整体网络容量同时最大化，LoRa 的网络基础设施用自适应数据率的方案单独处理每个终端设备的数据率和射频输出。

只要遵守以下规则，终端设备可以在任意时间在任意可利用的信道中，以任意可利用的数据率进行传输。

- 对于每一次传输，终端设备以随机的方式改变信道。由此产生的频率差异性可以使系统对干扰具有更强的鲁棒性。
- 设备终端的最大传输占空比和使用的子带及当地规则有关
- 设备终端的最大传输持续时间（或停留时间）和使用的子带及当地规则有关

注意：每个子带最大传输占空比和停留时间具有区字段差别并且由第六章给出定义。

### 1.1 LoRaWAN 的分类

本文所描述的所有的 LoRaWAN 设备至少需要执行 CLASS A 功能。除此之外，他们可以完成 CLASS B 的选择，本文也会描述 CLASS C 或者其他被定义了的类型。在所有的情况下，他们必须可以保持和 CLASS A 兼容。

---

1 网关也被称作集线器或者基站

2 终端设备也被成为微粒

3 中间单元的支持——中继器——不会在本文中进行描述。但是封装开销的负荷限制会包括在此说明中。中继器使用 LoRaWAN 作为其回程机制。

## 1.2 惯例

MAC 指令被写为 LinkCheckReq，字和字段被写为 FRMPayload，常量被写为 RECEIVE\_DELAY1，变量被写为  $N$ 。

在本文中，

- 所有多八位位字段的八位指令是低位优先。
- EUI 是 64 位整型，以低位优先传输。

## 2 LoRaWAN 选项简介

LoRa™是由 Semtech 研发的远程低功耗低数据率的无线调制设备。完成高于 CLASS A 的设备在本文中称为“更高等级终端设备”。

### 2.1 LoRaWAN 的分类

LoRa 网络区分为基本 LoRaWAN（命名为 CLASS A）和可选功能（CLASS B, CLASS C.....）:

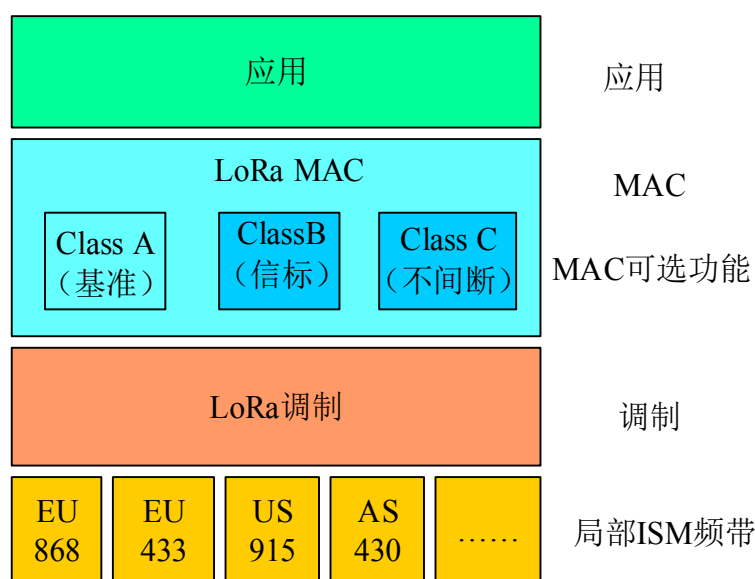


图 1 LoRaWAN 分类

- 双向终端设备（CLASS A）：通过在终端设备上行链路传输后开放两个下行链路窗口，使 Class A 的设备可以双向通信。传输时隙由终端设备决定，该传输时隙基于其自身的通信需求，在随机时间基准（ALOHA 型协议）上进行小变动。由于应用层只在终端设备上行链接传输后较短的时间内需要来自服务器的下行链路通信，因此 CLASS A 模式的设备是功耗最低的终端设备系统。服务器在其他任意时刻的下行链路都需要等待直到下一个确定的上行链路。  
低功耗，先发送后接收，发送和接收交替进行。终端只有再发送数据后才能接收处理服务器发送来的数据，发送数据不受接收数据的限制。收发比=1：1
- 具有确定接收时隙的双向终端设备（CLASS B）：CLASS B 设备考虑了更多接收时隙。除 CLASS A 的随机接收窗口外，CLASS B 设备会在确定的时间内打开额外的接收窗口。为保证终端设备在确定的时间内打开接收窗口，终端设备会从网关接收到一个时间同步信标。这使服务器知道终端设备何时在监听。  
先发送后接收，每次发送后按照一定时间间隔启动接收窗口，接收多条数据。时间信标从网关获取，以便服务器知晓终端接收消息的时刻。收发比=1：N
- 具有最大接收时隙的双向终端设备（CLASS C）：CLASS C 的终端设备具有接近于连续地开放接收窗口，接收窗口只在传输时关闭。相对于 CLASS A 和 CLASS B，CLASS C 终端设备会消耗更多的能量，但是在 CLASS C 模式下，服务器到终端设备通信的延时最短。

打开接收窗口的时间间隔很小，几乎不间断。更耗能，但和服务器交互的延迟低。

## 2.2 说明范围

这个 LoRa 规范描述了一个更高等级的终端设备和 CLASS A 区分开来的额外功能。一个更高等级的终端设备也会完成在 LoRaWAN 中 CLASS A 规范中所有描述的功能，具有向下兼容性。

注意：物理信息格式、MAC 信息格式和其他和 CLASS A 及更高级终端设备所共有的这个规范地其他部分都只是在 LoRaWAN CLASS A 规范中进行了描述，以此来避免冗余。



### 3 物理消息格式

LoRa 术语区分上行链路和下行链路消息。

#### 3.1 上行链路消息

上行链路信息由终端设备通过一个或多个网关传输给网络服务器。

下行设备使用 LoRa 射频传输包显性模式，模式包括 LoRa 的物理和它的 CRC 校验。有效负荷的完整性由 CRC 进行保护。

无线收发器将 PHDR, PHDR\_CRC 和有效负荷 CRC 字段插入其中。

上行链路 PHY:



图 2 上行链路 PHY 结构

#### 3.2 下行链路消息

每一个下行链路消息都由网络服务器通过唯一的网关转接传输给一个终端设备。

下行消息使用射频数据包显性模式，该模式包括一个物理数据头和 CRC 头。

下行链路 PHY

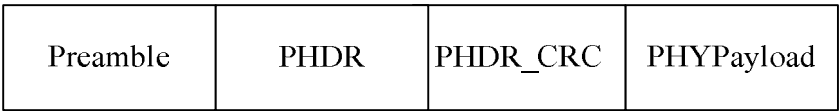


图 3 下行链路 PHY 结构

#### 3.3 接收窗口

每个上行链路传输后，终端设备会紧接着开放两个短接收窗口。接收窗口开始时间是传输的最后一个上行位末尾。

1 看 LoRa 射频收发器数据手册对 LoRa 射频数据包隐式/显性模态的描述  
2 本规范没有描述从一个网络服务器到多个终端设备的多情况信息的传输。  
3 在这个水平下完成无有效负荷完整性检查，以此来在保证对任意的被使用了的 ISM 带占空比限制的最小的影响下，信息尽量短。



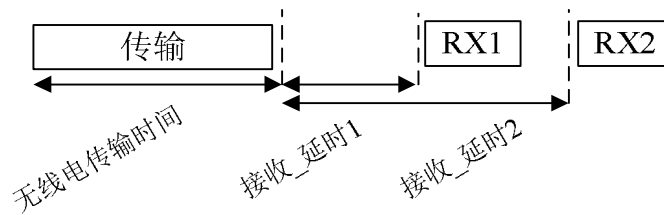


图 4 终端设备接收时序

### 3.3.1 第一个接收窗口信道，数据率，和开始

第一个接收窗口 RX1 和上行链路使用同一个频率信道，并且数据率是上行链路所使用数据率的函数。在上行调制结束 RX1 开放，持续时间为  $\text{RECEIVE\_DELAY1's}$ （正负 20us 误差）。上行链路和 RX1 时隙下行数据率的关系是具有局字段性的，在第七章会有详细地描述。系统默认值为第一个接收窗口的数据率和上一个上行链路的数据率一致。

### 3.3.2 第二个接收窗口信道，数据率，和开始

第二个接收窗口 RX2 使用固定配置频率和数据率。当上行链路调制结束后接收窗开放  $\text{RECEIVE\_DELAY2's}$ （正负 20us 误差）的时长。频率和数据率可以通过 MAC 指令进行修改（参考第五章）。使用的系统默认的频率和数据率具有局字段性，详细情况参考第七章。

### 3.3.3 接收窗口时长

接收窗口长度必须至少是终端设备无线收发器有效地检测到一个下行前导所需的最小时间。

### 3.3.4 接收窗口的接收激活

如果任意一个接收窗口中检测到前导，射频接收器将保持活性直到下行链路帧解调制。如果在第一接收窗口检测到一个帧并解调制。如果在地址及消息完整性代码检测后确认该帧是给该终端设备的帧，终端设备则不会再打开第二接收窗口。

### 3.3.5 网络向终端设备发送消息

如果网络准备向终端设备传输一个下行链路，他通常会在两个窗口的任意一个窗口的开始时间准确地进行传输

---

$\text{RECEIVE\_DELAY1}$  和  $\text{RECEIVE\_DELAY2}$  在第六章进行讲解

### 3.3.6 关于接收窗口的重要提示

一个终端设备在它在先前传输的第一个或者第二个接收窗口已经接到了下行消息，或者先前传输的第二个接收窗口过期之前，是不能够接受其他上行链路消息的。

### 3.3.7 接收或传输其他协议

节点可以监听或者传输其他协议或者在 LoRaWAN 传输和接收窗口间做处理，只要终端设备保持了和当地规则的兼容性并且遵守 LoRaWAN 的规则。

4 MAC 信息格式

所有 LoRa 上行链路和下行链路消息均携带一个 PHY 有效载荷，以单字节 MAC 头（MHDR）开始，紧接着一个 MAC 有效载荷，以一个 4 字节的信息完整性代码（MIC）。

射频 PHY 层

Preamble	PHDR	PHDR_CRC	PHYPayload	CRC*
----------	------	----------	------------	------

图 5：射频 PHY 层结构（CRC\*只在上行信息中可利用的）

PHY 有效载荷

MHDR	MACPayload	MIC
------	------------	-----

图 6PHY 有效载荷结构

MACP 有效载荷

PHDR	FPort	FRMPayload
------	-------	------------

图 7 MAC 有效载荷结构

FHDR

DevAddr	FCtrl	FCnt	Fopts
---------	-------	------	-------

图 8 帧头结构

图 9 LoRa 信息形式元素

4.1 MAC 层（PHY 有效载荷）

Size(bytes)	1	1..M	4
PHYPayload	MHDR	MACPayload	MIC

MAC 有效载荷字段的最大长度（M）具有局域性并在第六章做了详细的定义。

4.2 MAC 头（MHDR 字段）

Bit#	7..5	4..2	1..0
MHDR bits	MType	RFU	Major

MAC 头中包含消息类型（MType）和帧编码所遵循的 LoRaWAN 规范的主版本号（Major）。RFU 是保留位

最大有效载荷字节数在第六章详细说明

### 4.2.1 消息类型 (MType bit field)

LoRaWAN 区分六个不同的 MAC 信息类型: join request, join accept, unconfirmed data up/down, 以及 confirmed data up/down。

MType	描述		备注
000	join request	入网请求	无线激活过程使用，具体见章节 6.2
001	join accept	入网接受	无线激活过程使用，具体见章节 6.2
010	unconfirmed data up	无 ACK 数据上行	接受者不必回应
011	Unconfirmed Data Down	无 ACK 数据下行	接受者不必回应
100	Confirmed Data Up	含 ACK 数据上行	接受者必须回应
101	Confirmed Data Down	含 ACK 数据下行	接受者必须回应
110	RFU	保留	保留
111	Proprietary	专有	用来实现自定义格式的消息，交互的设备之间必须有相同的处理逻辑，不能和标准消息互通

表 1 MAC 信息类型

#### 4.2.1.1 Join-request and join-accept 信息

Join-request and join-accept messages 信息的使用方法通过 6.2 中的无线激活程序给出。

#### 4.2.1.2 数据消息

数据消息用来传输 MAC 指令和设备数据，MAC 指令和设备数据可以整合到一个消息中。unconfirmed data up/down 消息需要接收器确认 (ACK)，confirmed data up/down 消息不需要确认 (ACK)。专有消息可以用于不能与被标准消息共同使用但是必须要在和私有扩展有共识的设备中使用的非标准信息格式。

对于不同的信息类型，信息的完整性由不同的方式进行保证，并且由以下每一个信息类型进行描述。

主要位	描述
00	LoRa WAN R1
01..11	RFU

表 2 主要列表

注意：主要版本指定了加入进程中（见 6.2）中改变了的信息的格式并且 MAC 有效载荷的首起的四个位在第四章阐述。对于每一个主要版本，终端设备可以完成帧格式的不同的副本。被终端设备使用的副本必须使用带外消息提前告知网络服务器。（例如，作为设备初始化信息的一部分）

一个确认机制的详细的时序表在第十八部分给出。

### 4.3 数据信息的 MAC 有效载荷（MAC 有效载荷）

数据信息的 MAC 有效载荷，被称为“数据帧”，包括一个帧头（FHDR），紧接着可配置的端口字段（FPort）和可选帧有效载荷字段（FRMPayload）。

#### 4.3.1 帧头（FHDR）

帧头（FHDR）包括了终端设备的设备短地址（DevAddr），一个一位帧控制位（FCtrl），一个 2 位帧计数器和一个达到 15 位的，用来传递 MAC 指令的帧配置（FOpts）。

Size(bytes)	4	1	2	0..15
FHDR	DevAddr	FCtrl	FCnt	FOpts

下行帧的帧头的 Fctrl 的内容：

Bit#	7	6	5	4	[3..0]
Fctrl bits	ADR	ADRACKReq	ACK	FPending	FOptsLen

上行帧的帧头的 Fctrl 内容：

Bit#	7	6	5	4	[3..0]
Fctrl bits	ADR	ADRACKReq	ACK	RFU	FOptsLen

##### 4.3.1.1 在帧头中的自适应数据率控制（ADR, ADRACKReq in FCtrl）

LoRa 网络允许终端设备单独使用任何可能的数据率。LoRaWAN 应用该特性来适应和优化静态终端设备的数据率。这称为自适应数据率（Adaptive Data Rate, ADR）并且当该 ADR 被使能时，网络将会被优化尽可能地使用最快的数据率。

当移动终端设备在射频环境中引起快速变化时数据率管理是不现实的，因此移动终端设备需要使用固定的默认数据率。

如果 ADR 位置位，网络将会通过合适的 MAC 指令控制终端设备的数据率。如果 ADR 不置位，不管接收信号的质量如何，网络将不能试图控制终端设备的数据率。根据需求，在指令中 ADR 直接可以被终端设备或网络置位或不置位。然而，无论什么时候可能，ADR 应该使能来增加终端设备电池的寿命和充分利用网络带宽。

**注意：**即使是移动终端设备实际上在大多数时间都是不移动的。因此根据移动性的状态，终端设备可以要求网络使用 ADR 去优化数据率。

如果终端的数据速率经过网络优化比默认值大，那他就要定期检查保证网络能够收到上传的数据。终端上行的帧号每增加一次（重复发送不增加帧号），同时  $ADR\_ACK\_CNT + 1$ 。上行帧号达到  $ADR\_ACK\_LIMIT$  ( $ADR\_ACK\_CNT \geq ADR\_ACK\_LIMIT$ ) 仍然没有收到回复，就设置 ADR 请求应答标记（ADRACKReq）。接下来向网络发送请求，如果在发送上行请求后的一定时间  $ADR\_ACK\_DELAY$  内收到服务器下行帧的回应则重置

ADR\_ACK\_CNT 数量。在此期间不需设置下行 ACK 位，因为在终端等待接收期间（接收间隙内）收到任何应答都意味着网关还会接收来自该设备的上行数据。如果终端在下一个上行链路 ADR\_ACK\_DELAY（例如，一共过了时间：ADR\_ACK\_LIMIT+ADR\_ACK\_DELAY）内没有收到任何回复，就会尝试切换到更低的数据速率上（无线广播范围的距离更长）再次连接，每次终端设备达到 ADR\_ACK\_LIMIT 就会再次降低自己的数据速率。如果设备使用默认的数据速率就不需要设置 ADRAckReq，因为这种情况下任何操作都不会改善连接范围（增加连接距离）。

注意：不需要立即响应 ADRAckReq 请求为网络优化其下行链路提供了灵活性。

注意：在上行链路传输，如果  $ADR\_ACK\_CNT \geq ADR\_ACK\_LIMIT$  并且当前数据率比设备默认的最小数据率大，那么 ADRAckReq 会被设置，而在其他情况下，ADRAckReq 会被清除。

#### 4.3.1.2 信息确认位和确认进程（ACK in FCtrl）

当接收到一个确认数据（*confirmed data*）消息时，接收器将会用确认位置位的数据帧来响应。如果发射器是个终端设备，网络将会在发射操作后使用由终端设备开放任一接收窗发送的确认（ACK）。如果发射器是一个网关，那么终端设备将会在其权限中终端就自行决定发送确认消息的传输方式。

确认只是在对最新接收的信息响应中发送，而且绝不会重新发送。

注意：为了使终端设备尽可能简单，尽可能减少状态，在数据信息需要确认的请求被接收后，它可以立刻传输一个明文（可能是空的）确认数据信息。作为二选一，终端设备也可以推迟 ACK 的传输，用下一个数据消息装载其 ACK。

#### 4.3.1.3 重新机制

对于被请求确认（ACK）但并未接收到（ACK）的同一个信息重发（及时间设置）的次数是由终端设备自己设置，每一个终端设备可能都不相同，也可以通过网络服务器设置或调整。

注意：在第十八章中，给出了确认机制的一些时序图示例。

注意：如果一个终端设备重发次数已达到最大值，但仍未收到 ACK，可以通过降低数据率获取更大的射频范围来尝试重新连接。它取决于终端设备再次重发信息或放弃传输该信息继续发送其他信息。

注意：如果网络服务到了最大数量的重发而未接到 ACK，一般可认为终端设备是不可到达的，直到再次接到来自终端设备的信息。它取决于网络服务器一旦问题终端设备再次重新连接就再次重发信息或放弃传输该信息继续发送其他信息。



注意：重发中推荐的数据率回退策略在 18.4 中描述。

#### 4.3.1.4 帧挂起位（FPending in FCtrl，只在下行链路中）

帧挂起位(FPending)只在下行链路交互中使用，这表示网关有更多的数据挂起等待发送，因此要求终端设备通过发送另外一个上行信息，尽可能快的开放另一个接收窗口。

帧挂起位准确的使用方法在 18.3 中描述。

#### 4.3.1.5 帧计数（FCnt）

每一个终端设备有两个帧计数器来记录上行发送给网络服务器的数据帧数量（FCntUp），由终端设备来增加，由来自网络服务器（FCnt Down）的终端设备的下行链路来接收，FCnt Down 的值由网络服务器增加。网络服务器跟踪上行链路帧计数器并且为每一个终端设备产生下行计数器。在加入接收后，终端设备和终端设备的网络服务器的帧计数器被重新置 0。随后在各自的方向每发送一个数据帧，在发送侧的 FCntUp 和 FCntDown 均加 1。在接收器侧，倘若接收到的值相比于当前计数值大并且比在考虑了号码归零之后的 MAX\_FCNT\_GAP 指定值小，那么对应的计数值保持和接收到的值保持同步。如果差距比 MAX\_FCNT\_GAP 的值大，这意味着很多数据帧已经丢失了，将放弃后续发送。

LoRa 允许使用 16 位或者 32 位的帧计数器。网络侧需要在带外被告知已在指定设备中完成的帧计数器的宽度。 如果使用一个 16 位帧计数器，可以直接使用 FCnt 字段作为计数器，如果需要通过前置 0 字节尽可能地扩展。如果使用一个 32 位帧计数器，则 FCnt 字段分别对应 32 位帧计数器的最低有效 16 位（例如，上行数据使用上行 FCnt，下行数据使用下行 FCnt）。

一个节点在上行 FCnt 的一次循环内，如果不是消息重传，上行传输数据使用的 FCnt 不能重复。

**FCnt 的一次循环指的是：从 1 到达最大值，0x1 ~ 0xFFFF（因为 LoRaWAN 中的 FCnt 字段是 2 个字节）**

注意：当计数器使用 32 位时，FCnt 字段只发送 32bits 中的 16 个最低有效位。此时服务器需要通过观察传输的数据来自己维护 16 个最高有效位。

#### 4.3.1.6 帧配置（FOptsLen in FCtrl，FOpts）

FCtrl 位中的 帧配置长度字段表示帧配置字段（FOpts）的实际长度。



MAX\_FCNT\_GAP、RECEIVE\_DELAY1 and RECEIVE\_DELAY2 的实际最大值, 可以在 7.1.7 for EU863-870 or 7.2.7 for US902-928 找到

Fopts 装载到数据帧中发送的 MAC 命令最长 15 字节；4.4 给出了有效的 MAC 指令清单。

如果 FOptsLen 是 0，那么 FOpts 字段是缺省的。如果 FOptsLen 不为 0，例如如果在 FOpts 有 MAC 指令存在，那么端口端口号要么省略，要么是一个非零值（具体看下面）。

MAC 指令不能同时出现在有效负载字段和帧配置字段。

### 4.3.2 端口字段（FPort）

如果帧有效负载字段不空，那么端口字段也不能空。一个 FPort 的 0 值表明 FRMPayload 只包括 MAC 指令，见 4.4 有效的 MAC 指令清单。FPort 值 1..223（0x01..0xDF）是具体应用的。FPort 值 224..255（0xE0..0xFF）是为将来的标准化设备扩展保留的。

Size(bytes)	7..23	0..1	0..N
MACPayload	FHDR	FPort	FRMPayload

N 是设备有效载荷的字节数。N 的有效范围具有区域特异性并且在第七章被定义。

N 应该等于或者小于： $N \leq M - 1 - (\text{length of FHDR in octets})$

其中 M 是 MAC 有效载荷字节数的最大值。

### 4.3.3 MAC 帧有效载荷加密（FRMPayload）

如果一个数据帧装载一个有效载荷，FRMPayload 必须在信息整体编码计算前加密。

使用的加密方案是基于 IEEE802.15.4/2006 Annex B [IEEE802154]中描述的泛型算法，该算法使用的 AES 的密钥长度为 128 字节。

作为默认值，在 LoRaWAN 层为所有的 FPort 进行加密、解密。如果这样对设备更加方便的话，也可以在 LoRaWAN 层上为除 0 以外特定的 FPorts 加密和解密。关于 FPort 和来自于哪个节点的、在 LoRaWAN 层外被加密或解密的信息必须要通过带外信道和服务器进行通信。（见第十九章）

#### 4.3.3.1 LoRaWAN 中的加密

使用的密钥  $K$  取决于数据信息的 FPort

FPort	K	备注
0	NwkSKey	网络密钥
1..255	AppSKey	应用密钥

表 3 FPort 列表

加密字段为： $pld=FRMPayload$

采用分组加密，对于每个数据消息，算法确认了块序列  $A_i$ ， $i=1\dots k$ ， $k=(\text{len}(pld)/16)$  正向取整。

Size(bytes)	1	4	1	4	4	1	1
$A_i$	0x01	4x0x00	Dir	DevAddr	FCntUp or FCntDown	0x00	$i$

字段的方向 (Dir) 上行链路帧是 0, 下行链路帧是 1.

块  $A_i$  被加密以获得一个块  $S_i$  来获得序列  $S$ :

$S_i = \text{aes128\_encrypt}(K, A_i)$  for  $i=1..k$

$S = S_1 | S_2 | \dots | S_k$

有效载荷的加密和解密通过截断完成:

$(pld | \text{pad}_{16}) \text{ xor } S$

#### 4.3.3.2 LoRaWAN 层以上的加密

如果 LoRaWAN 层上在被选择的端口提供预加密 FRMPayload 给 LoRaWAN 层 (但并未在 FPort0, 该端口 MAC 指令预留), LoRaWAN 将来自 MACPayload 的 FRMPayload 转化为设备, 并且将来自设备的 FRMPayload 不经过对 FRMPayload 的任何修正直接转化为 MACPayload。

## 4.4 信息完整编码

信息完整编码在信息全部的字段中被计算。

$msg = \text{MHDR} | \text{FHDR} | \text{FPort} | \text{FRMPayload}$

通过  $\text{len}(msg)$  表示在字节中信息的长度。

根据[RFC4493]计算 MIC

$cmac = \text{aes128\_cmac}(\text{NwkSKey}, B_0 | msg)$

$\text{MIC} = cmac[0..3]$

块  $B_0$  的定义如下:

Size(bytes)	1	4	1	4	4	1	1
$B_0$	0x49	4x0x00 0	Dir	DevAddr r	FCntUp or FCntDown	0x00	$\text{len}(msg)$

方向字段 (Dir) 对于上行帧是 0, 对于下行帧是 1。

## 5 MAC 指令

对于网络管理，一系列 MAC 指令可能只在网络服务器和终端设备的 MAC 层上进行交换。MAC 层指令对应用或应用服务器或在终端设备上的运行应用是不可见的。

单一的数据帧可以包括任意序列的 MAC 指令，或者在 FOpts 字段装载或者当在 FPort 字段的值被设为 0 的 FRPayload 字段中发送一个单独的数据帧的时候装载。装载的 MAC 指令通常不经过加密就会被发送，并且必须不能超过 15 个字节。作为 FRMPayload 发送的 MAC 指令经常是加密的并且最大长度不能超过 FRMPayload 的最大长度。

一帧数据中可以包含任何 MAC 命令，MAC 命令既可以放在 FOpts 中，也可以放在 FRMPayload 中，但不能同时在两个字段携带 MAC 命令。MAC 命令放在 FRMPayload 时，FPort = 0。

注意：MAC 的内容不能被公开的指令必须要在单独数据新的 FRMPayload 中发出。

一个 MAC 指令由一个字节的，并很可能紧跟一序列空的特定指令序列的指令标识符组成。

指令标识符	指令	终端发送	网关发送	简介
0x02	<i>LinkCheckReq</i>	×		用于终端设备来检验和网络 的连接性
0x02	<i>LinkCheckAns</i>		×	响应 LinkCheckReq 指令， 包括已接受信号功率评估 只是终端设备接收质量(连 接范围)
0x03	<i>LinkADRReq</i>		×	要求终端设备改变数据率、 传输功率、重复速率或信道
0x03	<i>LinkADRAns</i>	×		确认 LinkRateReq 指令
0x04	<i>DutyCycleReq</i>		×	设置一个设备最大的聚合 传输占空比
0x04	<i>DutyCycleAns</i>	×		确认 DutyCycleReq 指令
0x05	<i>RXParamSetupReq</i>		×	设置接收时隙参数
0x05	<i>RXParamSetupAns</i>	×		确认 RXSetupReq 指令
0x06	<i>DevStatusReq</i>		×	请求终端设备状态
0x06	<i>DevStatusAns</i>	×		返回终端设备状态，即电池 水平和解调制范围
0x07	<i>NewChannelReq</i>		×	创建或者修改射频信道定 义
0x07	<i>NewChannelAns</i>	×		确认 NewChannelReq 指令
0x08	<i>RXTimingSetupReq</i>		×	设置接收时隙时序
0x08	<i>RXTimingSetupAns</i>	×		确认 RXTimingSetupReq 指 令
0x08 to 0xFF	<i>Proprietary</i>	×	×	保留专有网络命令拓展

注意：MAC 指令的长度没有明确的给出的并且必须使 MAC 执行暗自知晓，因此未知的 MAC 指令不能被跳过，并且第一个未知的 MAC 指令终止 MAC 指令序列的进程。因此根据 LoRaWAN 的说明书版本来定制 MAC 指令，而说明书在第一次就已经介绍了 MAC 指令。这样所有取决于已完成的 LoRaWAN 说明书的版本的 MAC 指令均可以用一个比已完成的 LoRaWAN 说明书版本更新的版本进行处理。

注意：任何被网络服务器调整了的值（例如 RX2，新的或者被调整了的信道定义）仍保持有效的直到下一个终端设备的加入。因此当每一个成功加入进程后，终端设备再次采用默认参数并且由网络服务器按照需要重新调整值。

## 5.1 连接检查指令（*LinkCheckReq*, *LinkCheckAns*）

采用 *LinkCheckReq* 指令，一个终端设备可以证明其和网络的连接性。该指令无有效载荷。

当网络服务器通过一个或多个网关接收到 *LinkCheckReq* 时，它会以 *LinkCheckAns* 指令进行响应。

Size(bytes)	1	1
LinkCheckAns Payload	Margin	GwCnt

Margin(解调幅度)是最近一条被成功收到的 *LinkCheckReq* 命令的链路预算(单位 dB)，是一个 8 位 (bits) 无符号整型，范围 [0,254]。值为 0 表示在解调（信号强度）的下限上收到了数据，值 20 表示网关在比解调下限高出 20 dB 的信号强度上收到了数据。255 是保留值。网关计数值 (GwCnt) 是网关成功接收的上一个的 *LinkCheckReq* 指令的数量。

## 5.2 链路 ADR 指令（*LinkADRReq*, *LinkADRAAns*）

通过 *LinkADRReq* 指令，网络服务器要求终端设备执行速率配适。

Size(bytes)	1	2	1
LinkADRReq Payload	DataRate_txPower	ChMask	Redundancy

Bits	[7..4]	[3..0]
DataRate_TXPower	DataRate	TXPower

请求的数据率 (DataRate) 和 TX 发送功率 (TXPower) 是具有区域段特异性的并且按第七章的方式进行编码。

如下所示信道掩码（ChMask）通过使 0 位对应对低有效位编码信道使其可以为上行链路访问所使用。

Bit#	可利用信道
0	Channel 1
1	Channel 2
..	..
15	Channel 16

表 5 信道状态表

在 ChMask 字段一个位被设置为 1 意味着如果某一信道允许当前被终端设备使用的数据率，那么对应的该信道可由上行链路所使用。若被设为 0 意味着对应信道应该被避免使用。

Bits	7	[6..4]	[3..0]
Redundancy bits	RFU	ChMaskCntl	NbReq

在冗余位重复数量（NbRep）字段是每条上行链路消息重复的数量。这仅应用于“unconfirm”上行帧。默认值是 1，有效范围是[1..15]。如果接收到 NbRep==0，那么终端设备需要使用默认值。网络管理员可以使用这个字段来控制节点上行链路的冗余性来获得指定的服务质量。像通常一样终端设备在重复的传输中执行频率跳跃，它需要在每一个重复后等待直到接收窗口过期。

信道掩码控制（ChMaskCntl）字控制了先前定义的信道掩码控制位 ChMask 屏蔽的释义。若网络中有多于 16 个的信道在执行，那么该字段为非 0 值。用它来控制 ChMask 使用哪 16 个信道。通过特殊的调制方法它也可以应用于全局开关所有信道中。该字段的使用具有区域特异性并在第七章中给出定义。

信道频率具有具有区域特异性并且在第六章被定义。一个终端设备通过 *LinkADRAns* 指令来响应 *LinkADRReq*。

Size(bytes)	1
LinkADRAns Payload	Status

Bits	[7..3]	2	1	0
Status bits	RFU	Power ACK	Data ract ACK	Channel mask ACK

*LinkADRAAns Status* 位有以下意义:

	Bit=0	Bit=1
Channel mask ACK	发送信道掩码使能一个未定义信道。这个指令被舍弃而且终端设备状态不改变	信道掩码发送被成功释义。所有当前定义的信道状态根据屏蔽被置位
Data rate ACK	终端设备不知道要求的数据率或者被提供的信道掩码是不可能考虑到（任何使能的信道都不支持）。指令被舍弃且终端设备状态不改变	成功设置数据率
Power ACK	在设备中要求的功率等级未定义。指令被舍弃且终端设备状态不改变	成功设置功率等级

表 6: *LinkADRAAns Status* 位意义

如果这三位等于 0，指令不成功，节点被保持在先前的状态。

### 5.3 终端设备传输占空比 (*DutyCycleReq*, *DutyCycleAns*)

网络协调员使用 *DutyCycleReq* 指令来限制总发射占空比的最大值。总发射占空比指所有子频带的发射占空比。

Size(bytes)	1
<i>DutyCycleReq</i> Payload	MaxDCycle

终端设备传输最大的占空比为:

$$aggregated\ duty\ cycle = \frac{1}{2^{MaxDCycle}}$$

MaxDutyCycle 的最大有效范围是[0..15]。在没有区域调节设置占空比限制的情况下，使用 0 表示“占空比没有限制”。

值 255 指终端设备将会立刻变得静默。它等效于终端设备远距离关断。

终端设备采用 *DutyCycleAns* 指令来响应 *DutyCycleReq*。*DutyCycleAnsMAC* 回复不包括任何有效载荷。

## 5.4 接收窗口参数 (*RXParamSetupReq*, *RXParamSetupAns*)

*RXParamSetupReq* 指令允许在紧跟每个上行链路第二个接收窗口 (RX2) 的频率的改变和数据率的设置。指令也允许在上行链路和 RX1 时隙下行数据率之间编写一个偏移量。

Size(bytes)	1	3
RX2SetupReq Payload	DL setting	Frequency

Bits	7	[6..4]	[3..0]
DL setting	RFU	RX1DROffset	RX2DataRate

RX1DROffset 字段设置了上行链路数据率和在第一个接收时隙 (RX1) 和终端设备通讯的下行链路数据率的偏移量。偏移量的默认值为 0。偏移量是在为某些地区基站考虑最大功率密度限制时和平衡上行链路和下行链路射频连接边界而使用的。

与 *LinkADDRReq* 指令的惯例一致 (例如 0 代表 DR0/125kHz)，数据率 (RX2dataRate) 字段定义了使用第二个接收时隙的下行链路的数据率。频率 (Frequency) 字段对应第二接收窗口使用的信道频率，因此频率按照 *NewChannelReq* 指令定义的惯例进行编码。

设备终端使用 *RXParamSetupAns* 确认接收了 *RXParamSetupReq* 指令。有效载荷包括单个的状态字。

Size(bytes)	1
RX2SetupAns Payload	Status

状态 (Status) 字有以下的意义：

Bits	[7..3]	2	1	0
Status Bits	RFU	RX1DROffset ACK	RX2 Data rate ACK	Channel ACK

	Bit=0	Bit=1
Channel ACK	要求的频率对终端设备是不可用的	RX2 时隙信道成功设置
RX2 Data rate ACK	要求的数据率对终端设备是不可用的	RX2 时隙数据率成功设置
RX1DROffset ACK	RX1 时隙的上行链路/下行链路数据率偏移量不在允许的范围内	RX1DROffset 设置成功

表 7: RX2SetupAns 的状态字节意义

如果 3 个字节中的任何一个等于 0，指令不成功并且保持之前的参数。



## 5.5 终端设备状态 (*DevStatusReq*, *DevStatusAns*)

网络服务器通过 *DevStatusReq* 指令要求来自终端设备的状态信息。该指令无有效载荷。如果一个 *DevStatusReq* 被终端设备接收，终端设备会以 *DevStatusAns* 进行响应。

Size(bytes)	1	1
DevStatusAns Payload	Battery	Margin

电池水平 (Battery) 报告按照如下方式编码:

电池	描述
0	终端设备连接了外部电源
1..254	电池水平, 1 是最小水平, 254 是最大水平
255	设备不能够检测到电池水平

表 8 电池水平解码

调制幅度 (Margin) 是最近一次接收成功 *DevStatusReq* 命令的解调信噪比, 其值 (四舍五入) 取整, 单位 dB。调制幅度值是一个有符号整型, 长度 6 个比特位, 最小值 -32, 最大值 31。

Bits	[7..6]	[5..0]
Status	RFU	Margin

## 5.6 信道的创建/修改 (*NewChannelReq*, *NewChannelAns*)

*NewChannelReq* 指令可以用来修改已存在信道的参数, 或创建新的信道。指令设置了新信道的中心频率和在该信道上可以使用的数据率的范围。

Size(bytes)	1	3	1
NewChannelReq Payload	ChIndex	Freq	DrRange

信道索引 (ChIndex) 是被创建或修改的信道的索引。根据使用的地区和频率带, LoRaWAN 规范**强调**默认信道必须可以适用于所有的设备, 而且不能被被 *NewChannelReq* 指令修改 (第六章)。如果默认信道的数量为 N, 那么默认的信道为 0~N-1, 则 ChIndex 可接受的范围是 N~15。一个设备必须能够处理至少 16 个不同的信道定义。在某一区域内设备也许可以存储超过 16 个的信道定义。

频率(Frequency)字段是 24 位的无符号整形。实际的信道频率以 Hz 为单位是  $100 \times \text{Freq}$ 。低于 100MHz 的频率被保留。这使得一个信道的频率必须要在以每 100Hz 为步长的 100MHz 到 1.67GHz 范围内。Freq 值为 0 为禁用信道。终端设备需要确射频硬件允许某一定信道频率, 否则返回一个错误。

数据率范围 (DrRange) 字段指定了信道允许的数据率范围。这个字段分开为 2 个四位索引:

Bits	7..4	3..0
DrRange	MaxDR	MinDR

根据 5.2 中对惯例的定位，最小数据率 (MinDr) 子段指定了信道上允许的最低数据率。例如 0 指定了 DR0/125kHz。同样的，最大数据率 (MaxDR) 子字段制定了最高数据率。例如，DrRange=0x77 意味着在信道上只允许 50kbps GFSK 而 DrRange=0x50 意味着 DR0/125kHz 到 DR5/125kHz 是支持的。

新定位的信道被使能并可以立刻在通信中使用。

终端通过返回 NewChannelAns 指令来确认对 NewChannelReq 的接收。该消息的有效载荷包括以下信息：

Size(bytes)	1
NewChannelAns Payload	Status

状态 (Status) 位有以下含义：

Bits	[7..2]	1	0
Status	RFU	Data rate range ok	Channel frequency
		Bit=0	Bit=1
Data rate range ok		设备的指定的数据率范围超出终端设备当前定义的数据率	数据率范围和终端设备的可能性兼容
Channel frequency ok		设备不能使用该频率	设备可以使用该频率

表 9 NewChannelAns 状态位说明

如果 2 位中的任意一位为 0，则指令不成功，新的信道不会被创建。

## 5.7 设置 TX 和 RX 的延时(RXTimingSetupReq, RXTimingSetupAns)

RXTimingSetupReq 指令允许在 TX 上行链路末尾和开放第一个接收时隙之间配置延时。第二个接收时隙在第一个接收时隙开放后 1s 开放。

Size(bytes)	1
RXTimingSetup Payload	Setting

延时 (Delay) 表明延时。该字段分为两个 4 位索引：

延时用秒来表示。Del0 延时 1s。

Del	Delay[s]
0	1
1	1
2	2
3	3
...	...
15	15

终端设备通过无有效负荷的 RXTimingSetupAns 指令来响应 RXTimingSetupReq。



## 6 终端设备激活

为了加入到一个 LoRaWAN 网络中，每一个终端设备不得不初始化并被激活。

终端设备的激活可以以两种方式获得：当一个终端设备被部署或重置可以通过无线激活（Over-The-Air Activation, OTA）；或者通过手动激活（Activation By Personalization, ABP），在这种方式中，终端设备的初始化和激活两步是由一步完成的。

### 6.1 终端设备激活后的数据存储

激活后，以下的信息被储存在终端设备中：设备地址(**DevAddr**)，应用标识符(**AppEUI**)，网络会话密钥(**NwkSKey**)和应用会话密钥(**AppSKey**)。

#### 6.1.1 终端设备地址(DevAddr)

DevAddr 由 32 位来识别在当前网络中的终端设备，其的结构如下：

Bit#	[31..25]	[24..0]
DevAddr bits	NwkID	NwkAddr

最高的 7 位用来为网络身份证（NwkID）来区分不同网络运营商网络重叠的部分并且去补救漫游问题。低 25 位，终端设备的网络地址（NwkAddr）或者是终端设备，可以被网络管理员任意分配。

#### 6.1.2 应用标识符（AppEUI）

AppEUI 在 IEEE EUI64 具有全球唯一应用 ID，可以单独识别终端设备的应用服务提供商（等等）。

AppEUI 在激活程序执行前已储存在终端设备中。

#### 6.1.3 网络会话密钥（NwkSKey）

NwkSKey 是终端设备特定的网络会话密钥。他在网络服务器和终端设备中使用来计算和验证所有数据信息的 MIC 以确保数据的完整性。它进一步使用在只有 MAC 数据消息的有效载荷字段加密和解密中。

#### 6.1.4 应用会话密钥（AppSKey）

AppSKey 是终端设备特定的应用会话密钥。它在网络服务器和终端设备中使用来加密和解密特定应用数据消息字段的有效载荷。它也可以用于计算和验证可能被包括在应用特定数据消息的有效载荷的应用层 MIC。

## 6.2 无线激活（OTA）

终端设备在与网络服务器交流（数据交换）之前，必须先通过加入过程加入网络服务器。每次终端设备会话的上下文丢失（与服务器通信断开）后都要重新加入。

在开始加入进程之前，加入程序需要终端设备以以下信息来进行初始化：一个全球的唯一终端设备标识符（DevEUI），应用标识符和一个 AES-128 密钥（AppKey）。

AppEUI 在上述 6.1.2 中进行了描述。

注意：无线激活时，网络密钥初不会向初始化那样写死到终端，而是在终端加入网络时由网络层衍生并分发，该密钥用来对传输数据进行加密和校验。这样，终端设备能很方便的在不同的网络服务器和应用提供商之间切换。使用网络会话密钥和应用会话密钥可以避免应用数据被网络供应商（网络服务器拥有者）解析或篡改，从而接入大量的网络服务器。

### 6.2.1 终端设备标识符（DevEUI）

DevEUI 是全球终端 ID，符合 IEEE EUI64，用来唯一辨识终端设备。

### 6.2.2 应用密钥（AppKey）

AppKey 是终端设备一个特定的 AES-128 应用密钥，该密钥由应用所有者分配给终端设备，根密钥只有应用供应商知晓和掌握。无线激活入网时，通过 AppKey 衍生会话密钥 NwkSKey 和 AppSKey，并分发相应的终端设备，用来加密和校验网络通讯和应用数据。

### 6.2.3 入网流程

从终端的角度看，和服务器交互的入网流程包含两个 MAC 消息：join request 和 join accept。

### 6.2.4 入网请求（Join-request message）

入网流程开始于终端设备发送一个入网请求消息。

Size(bytes)	8	8	8
Join Request	AppEUI	DevEUI	DevNonce

入网请求消息包括终端设备的 AppEUI 和 DevEUI，紧随其后的是 2 字节的随机数（DevNonce）。

DevNonce 是个随机值，终端设备最近使用的一些(数量自定义)DevNonce 会保存在网络服务器（NS）。如果终端发送的入网请求中的 DevNonce 在 NS 中可以查到，该请求就会被忽略。

注意：该机制的目的是防止重放攻击(replay attacks)，避免其它人通过发送之前的入网请求来断开终端设备和网络的连接。。

1 由于所有的终端设备是以与终端设备不相关的特定程序密钥结束的，从一个终端设备中抽取 AppKey 只会对该终端设备折中。

2 假设随机数的质量满足真正的随机数的标准，那么 DevNonce 可以使用一序列的 RSSI 测量值来抽取。

加入请求消息的消息整体编码（MIC）值（查看第四章对 MAC 消息的描述）计算方法如下<sup>1</sup>：

```
cmac=aes128_cmac(AppKey,MHDR|AppEUI|DevEUI|DevNonce)
MIC=cmac[0..3]
```

入网请求以明文发送。

### 6.2.5 接受入网消息（Join-accept）

如果终端设备被允许加入网络，网络服务器（NServer）将会通过 join-accept 消息来响应 join-request 消息。join-accept 消息像普通的下行链路一样发送，但是会使用 JOIN\_ACCEPT\_DELAY1 或者 JOIN\_ACCEPT\_DELAY2（来分别代替 RECEIVE\_DELAY1 and RECEIVE\_DELAY2）。这两个接收窗口使用的信道频率和数据率与在“物理层”章节描述的“接收窗口”部分的接收窗口 RX1 和 RX2 是一致的。

如果入网请求被拒绝，那么网络服务器（NServer）不会给终端设备响应。

join-accept 消息包括应用层随机数（AppNonce），3 字节；网络 ID（NetID）；终端地址（DevAddr）；介于 TX 和 RX（RxDelay）之间的延迟；信道频率的一系列配置（CFList）。CFList 相关内容见第 7 章。

Size(bytes)	3	3	4	1	1	(16) Optional
Join Accept	AppNonce	NetID	DevAddr	DLSetting	RxDelay	CFList

AppNonce 是由网络服务器产生的一个随机数或唯一 ID，终端设备用它来衍生两个会话密钥：NwkSKey 和 AppSKey。衍生算法如下：

```
NwkSKey = aes128_encrypt(AppKey, 0x01 | AppNonce | NetID | DevNonce | pad16)
```

```
AppSKey = aes128_encrypt(AppKey, 0x02 | AppNonce | NetID | DevNonce | pad16)
```

join-accept 消息的 MIC 值按照如下方式计算<sup>4</sup>：

```
cmac = aes128_cmac(AppKey,MHDR | AppNonce | NetID | DevAddr | RFU | RxDelay | CFList)
MIC = cmac[0..3]
```

join-accept 消息用 AppKey 来进行加密：

```
aes128_decrypt(AppKey, AppNonce | NetID | DevAddr | RFU | RxDelay | CFList | MIC)
```

注意：网络服务器使用以 ECB 模式进行 AES 解密操作来加密加入接受消息使终端设备可以使用 AES 加密操作来解密消息。这样终端设备仅仅只需要完成 AES 加密而不是 AES 解密。

<sup>1</sup> [RFC4493]

<sup>3</sup> pad<sub>16</sub> 函数附加 0 字节以便于数据长度是一个 16 的倍数

<sup>4</sup> [RFC4493]

注意：建立这两个会话密钥考虑到了联盟网络服务器结构，在这种结构中网络运营商不能偷听程序数据。在这样的数据中，终端设备实际加入网络和建立终端设备的 NwkSKey 的进程中应用供应商必须支持网络运行商。与此同时应用供应商承诺网络运营商任何终端设备的产生通信量它都会收费，并保持对保护应用数据的 AppSKey 的完全控制。

NetID 的格式如下：7 个 NetID 的最低有效位被称作 NwkID 并且匹配之前描述的终端设备短地址的 7 个最高有效位。邻近或重叠的网络必须有不同的 NwkID。网络运行商可以随意选择保留的 17 个最高有效位。

DLsetting 字段包括下行链路配置：

Bits	7	6..4	3..0
Dlsettings	RFU	RX1DRoffset	RX2 Data rate

RX1Droffset 字段设置上行链路数据和被用作在第一接收时隙（RX1）中与终端设备通信的下行链路数据之前的偏移。偏移默认值为 0。下行数据率通常小于等于上行链路数据率。偏移量被用来考虑在某些区字段基站的最大功率密度限制以及平衡上行链路和下行链路射频通信线路的边界。

上行链路和下行链路数据率的实际关系是有区域特异性的，并且在“物理层”部分会详细介绍。

延时 RxDelay 遵循着在 *RXTimingSetupReq* 指令中的延时字段一样的惯例。

## 6.3 手动激活

在某些环境中，终端设备可以被手动激活。直接手动激活通过旁路 join-request 和 join-accept 进程使终端设备连接到指定的网络。

手动激活终端设备意味着 DevAddr 和两个会话密钥 NwkSKey、AppSKey 直接存储到终端设备而不是 DevEUI、AppEUI 和 AppKey 中。当被启动时，终端设备被配备了加入特定 LoRaWAN 网络所需要的信息。

每一个设备应该有 NwkSKey 和 AppSKey 独特的设置。折中一个设备的密钥不应该折中其他设备通信的安全性。建立这些密钥的流程应该是建立在从来自公共可用信息（例如节点地址）以任何方式都不能推断出的密钥之上。

## 7 物理层

### 7.1 EU 863-870MHz ISM（Industrial Scientific Medical）频段

#### 7.1.1 EU863-870 前导码格式

应该使用以下同步字：

调制	同步字	前导码长度
LoRa	0x34	8 个符号
GFSK	0xC194C1	5 个字节

表 11 EU863-870 同步字码

#### 7.1.2 EU863-870 ISM 频段信道频率

在欧洲，无线电频谱是由 ETSI [EN300.220] 定义的 ISM 频段。

网络服务器可以自由地给网络信道设置属性。然而以下三个默认信道必须由每个 EU868MHz 终端设备完成。这些信道是所有的网关都应该一直监听最小集。

调制	带宽[kHz]	信道频率 [MHz]	FSK/LoRa 的比特率	Nb 信道	占空比
LoRa	125	868.10 868.30 868.50	DR0 to DR5 / 0.3-5kbps	3	<1%

表 12: EU863-870 的默认信道

为了访问物理层，ETSI 条强制规定了一些限制，发射器可以在线的最长时间或者在每个小时发送的最长时间。ETSI 条例允许使用占空比限制或者是被作为对话前监听自适应频率捷变（LBT AFA）传输管理。当前的 LoRaWAN 规范只使用占空比限制传输来遵守 ETSI 规则。

LoRaWAN 强制执行每一个子带占空比限制。每一次帧在指定的子带中传输，帧的发射时间和无线传输时长均会被该子带记录。同样的子带在下一个  $T_{off}$  s 时间内不能再次使用：

$$T_{off_{subband}} = \frac{T_{imeonAir}}{DutyCycle_{subband}} - T_{imeonAir}$$

在子带不可用期间，仍旧可以设置在其他子带发送数据。如果所有的子带都不能用，那么设备不得不等待直到可以发送数据。设备根据子带的有效性自适应调整其信道调频顺序。

例如：A 设备在默认信道上只传输帧数据消耗了 0.5s，该信道子带的占空比 1%，那么 A 在接下来 49.5s 内不能再次使用整个子带（868-868.6）。



EU868 ISM 频段终端设备应该使用下列默认值：

- 默认辐射传输发送功率：14dBm

EU868MHz 终端设备应该具有在 863~870MHz 频率频带下运行的能力并且应有至少能存储 16 个信道参数的信道数据的结构体。一个信道数据结构对于一个频率和该频率下一组可用的数据率。

前三个信道分别对应 868.1、868.3 和 868.5MHz/DR0~DR25 并且在每一个终端设备中都必须实现。这些默认信道不能通过 *NewChannelReq* 指令修改，以保证终端设备和网关之间最小的共同信道。

下表给出了终端设备使用来发送 JoinReq 消息的频率列表。JoinReq 消息发送占空比不能超过 0.1%。

调制	带宽[kHz]	信道频率 [MHz]	FSK/LoRa 的比特率	Nb 信道	占空比
LoRa	125	864.10 864.30 864.50 868.10 868.30 868.50	DR0 toDR5 / 0.3-5kbps	6	<0.1%

表 13：EU863-870JoinReq 信道列表

### 7.1.3 EU863-870 数据率和节点输出功率编码

以下编码适用于 EU863-870 频段的数据率（DR）和节点发送功率（TXPower）：

数据率	配置	参考的物理比特率	TXPower	配置
0	LoRa: SF12/125kHz	150	0	20dBm（如果支持）
1	LoRa: SF11/125kHz	440	1	14dBm
2	LoRa: SF10/125kHz	980	2	11dBm
3	LoRa: SF9/125kHz	1760	3	8dBm
4	LoRa: SF8/125kHz	3125	4	5dBm
5	LoRa: SF7/125kHz	5470	5	2dBm
6	LoRa: SF7/125kHz	11000	6..15	RFU
7	FSK:50kbps	50000		
8..15	RFU			

表 14：数据率和终端发送功率表

### 7.1.4 EU863-870 JoinAccept CFList

EU863-870 SIM 频段 LoRaWAN 在 JoinAccept 消息中执行 16 个字节的可选信道频率列表（CFList）。

在这种情况下，CFList 是一个通过将每一个频率编码为 24 位无符号整型（三个字节）来为信道 4~信道 8 提供五个信道频率列表。所有的信道都可以使用 LoRa 调制 DR0~DR5 125kHz。频率列表全部 16 个字节由单个 FUR 字节结束。

Size(bytes)	3	3	3	3	3	1
CFList	Freq Ch4	Freq Ch5	Freq Ch6	Freq Ch7	Freq Ch8	FUR

列表中信道值的单位是 100Hz，其中 100Mhz 以下的频率暂时保留（待未来使用）。这使得信道的频率都设置在 100MHz 到 1.67GHz 之间，以 100Hz 为步长递增。不使用的频道频率值为 0。CFList 列表是可选择的并且它的存在可以被 JoinAccpet 信息所检测。如果存在，则 CFList 代替除了三个默认信道（第六章定义）以外之前存储在终端设备中所有的信道。即最新定义的信道是立刻被使能并被终端设备用于通信的。

### 7.1.5 EU863-870 LinkAdrReq 指令

EU863-870 LoRaWAN 最大只支持 16 个信道。当 ChMaskCntl 字段是 0 时 ChMask 字段独自使能或无效 16 个信道中的每一个。

ChMaskCntl	ChMaskCntl 应用于
0	信道 1~16
1	RFU
..	..
4	RFU
5	RFU
6	开启所有的信道。 设备应该使能所有当前定义的与 ChMask 字段值无关的信道
7	RFU

表 15: ChMaskCntl 值表

如果 ChMask 字段值代表着 RFU，终端设备应该拒绝指令并且在响应中复位 Channel mask ACK 位。

### 7.1.6 EU863-870 有效载荷最大字节数

最大的 MAC 有效载荷字节数 M 在下表中给出。它受到 PHY 层的限制。该 PHY 层基于考虑了可能的中继器封装层的有效调制率。下表同样给出了在没有 FOpt 的情况下，应用负载最大长度的参考值。如果 FOpt 字段不为空，那么 N 值可能更小些。

数据率	M	N
0	59	51
1	59	51
2	59	51
3	123	115
4	230	222
5	230	222
6	230	222

7	230	222
8..15	未定义	

表 16: EU863-870 最大有效载荷字节数

如果一个终端设备从不使用中继器那么缺省可选择 FOpt 控制字段的最大应用有效载荷字节数为:

数据率	M	N
0	59	51
1	59	51
2	59	51
3	123	115
4	250	242
5	250	242
6	250	242
7	250	242
8..15	未定义	

表 17 EU863-870 最大有效载荷字节数

### 7.1.7 EU863-870 接收窗口

RX1 接收窗使用之前上行链路的信道。数据率是上行链路数据率的函数，RX1DROffset 见下表。RX1DROffset 允许的值是在[0..5]的范围内。[6..7]被保留以便以后使用。

RX1DROffset	0	1	2	3	4	5
上传数据率	在 RX1 中的下发数据率					
DR0	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0
DR1	DR1	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0
DR2	DR2	DR1	DR0	DR0	DR0	DR0
DR3	DR3	DR2	DR1	DR0	DR0	DR0
DR4	DR4	DR3	DR2	DR1	DR0	DR0
DR5	DR5	DR4	DR3	DR2	DR1	DR0
DR6	DR6	DR5	DR4	DR3	DR2	DR1
DR7	DR7	DR6	DR5	DR4	DR3	DR2

RX2 接收窗使用一个固定的频率和数据率。默认的参数是 869.52MHz/DR0(SF,125kHz)

### 7.1.8 EU863-870 默认设置

以下参数是 EU863-870MHz 频段的推荐值

RECEIVE_DELAY1	1 s
RECEIVE_DELAY2	2 s (必须是 RECEIVE_DELAY1 + 1s)
JOIN_ACCEPT_DELAY1	5 s
JOIN_ACCEPT_DELAY2	6 s
MAX_FCNT_GAP	16384

---

ADR_ACK_LIMIT	64
ADR_ACK_DELAY	32
ACK_TIMEOUT	2 +/- 1 s (1~3s 的随机延时)

如果在终端设备中执行的实际参数值与默认值不同（例如终端设备使用更长的 RECEIVE\_DELAY1 和 RECEIVE\_DELAY2 的延时时间），在终端设备试运行过程中，这些参数必须采用带外的信道通知网络服务器。网络服务器可能不接受与默认值不同的参数。

## 7.2 US 902-928MHz ISM 频段

### 7.2.1 US902-928 前导码格式

应该使用以下同步字码：

调制	同步字码	前导码长度
LoRa	0x34	8 个符号

在 US 902-928MHz ISM 频段 LoRaWAN 不使用 GFSK 调制。

### 7.2.2 US902-928 信道频率

915MHz ISM 频段应该被分为以下信道：

- 上传—标号为 0-63 的 64 个信道使用 LoRa 125kHz 带宽，该带宽从 DR0 到 DR3，它开始于 902.3 MHz 以 200kHz 的步长线性增加到 914.9MHz。
- 上传—标号为 67-71 的 8 个信道使用 LoRa 500kHz 带宽，该带宽在 DR4 开始于 903MHz 以 1.6MHz 的步长线性增加到 914.2MHz。
- 下发—标号为 0-7 的 8 个信道使用 LoRa 500kHz 带宽，该带宽在 DR10 到 DR13，它开始于 923.3 MHz 以 600kHz 的步长线性增加到 927.5MHz。

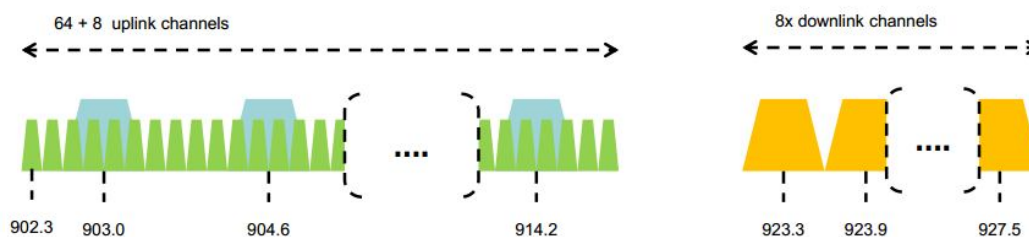


图 10: US902-928 信道频谱

915 MHz ISM 频段终端设备应该使用以下默认参数：

- 默认的辐射传输发送功率：20dBm
  - 当设备以 125kHz 带宽传输时可以使用的最大值为 30dBm。传输持续时间不能超过 400ms。
  - 当设备以 500kHz 带宽传输时可以使用的最大值为 26dBm。

US902-928 终端设备应该具有在 902~928MHz 频率频带下运行的能力并且应有至少能存储 72 个信道参数的信道数据的结构体。一个信道数据结构对于一个频率和该频率下一组可用的数据率。

如果使用手动激活，那么终端设备应该在 64 个使用 DR0 设置的信道上随机选择 125kHz 信道，或者在使用 DR4 的 8 个信道中选择随机选择 500kHz 的信道传输 JoinReq 信号。每一次传输后终端设备都要改变信道。

### 7.2.3 US902-928 数据率和节点发送功率编码

以下编码适用于 EU863-870 频段的数据率（DR）和节点发送功率（TXPower）：

数据率	配置	参考的物理比特率	TXPower	配置
0	LoRa: SF1:0/125kHz	150	0	30dBm-2*TXPower
1	LoRa: SF9/125kHz	440	1	28dBm
2	LoRa: SF8/125kHz	980	2	26dBm
3	LoRa: SF7/125kHz	1760	3:9	...
4	LoRa: SF8/500kHz	3125	10	10dBm
5: 7	RFU		11:15	FUR
8	LoRa: SF12/500kHz	5470		
9	LoRa: SF11/500kHz	11000		
10	LoRa: SF10/500kHz	50000		
	LoRa: SF9/500kHz			
12	LoRa: SF8/500kHz			
13	LoRa: SF7/500kHz			
14: 15	RFU			

表 18: 数据率和 TXPower 表

(DR4 和 DR12 一致, DR8..13 必须在终端设备中执行并为未来应用保留)

#### 7.2.4 US902-928 JoinResp CFList

US902-928 频段 LoRaWAN 不支持附加于 JoinResp 消息的可选择的 CFList 的使用。如果 CFList 不为空, 它会被终端设备忽略。

#### 7.2.5 US902-928 LinkAdrReq 指令

对于 US902-928 版本 LinkADRReq 字段的 ChMaskCntl 有以下意义:

ChMaskCntl	ChMaskCntl 应用于
0	信道 0~15
1	信道 16~31
..	..
4	信道 64~71
5	RFU
6	开放所有的 125kHz 信道 ChMask 应用于信道 65~72
7	关闭所有的 125kHz 信道 ChMask 应用于信道 65~72

表 19 ChMaskCntl 值表

如果 ChMaskCntl=6, 启用 125kHz 信道; 如果 ChMaskCntl=7, 禁用 125kHz 信道。与此同时信道 64 到 71 根据 ChMask 位屏蔽而设置。

注意: 当使用最大发送功率时根据 FFC 规则至少跳频 50 个信道。当限制终端设备的传输功率到 21dBm 时, 终端设备的信道很可能变少 (至少 6 个 125kHz 信道)

### 7.2.6 US902-928 最大有效载荷字节数

最大的 MACP 有效载荷字节数  $M$  在下表中给出，受限于 PHY 层的限制。该 PHY 层基于考虑了可能的中继器封装层的有效调制率。缺省 FOpt 控制字段 (N) 的最大应用有效载荷字节数如下表所示。如果 FOpt 字段不为空，那么 N 值可能更小些。

数据率	$M$	$N$
0	19	11
1	61	5.
2	137	129
3	250	242
4	250	242
5:7	未定义	
8	41	33
9	117	109
10	230	222
11	230	222
12	230	222
13	230	222
14:15	未定义	

表 20: US902-928 最大有效载荷字节数

灰色对应的数据率可以被中继器后的终端设备使用。

如果一个终端设备从不使用中继器那么缺省 FOpt 控制字的最大应用有效载荷字节数为：

数据率	$M$	$N$
0	19	11
1	61	5.
2	137	129
3	250	242
4	250	242
5:7	未定义	
8	61	53
9	137	109
10	250	242
11	250	242
12	250	242
13	250	242
14:15	未定义	

表 20: US902-928 最大有效载荷字节数(不兼容中继器的)

### 7.2.7 US902-928 接收窗口

RX1 接收信道是用来初始化数据交换的上传信道的函数。RX1 接收信道由以下几点决定：

- RX1 窗口的数据率取决于传输数据速率（见下表 22）
  - RX1 的信道数量=传输信道数量/8
- RX2（第二个接收窗）设置使用固定的数据率和频率。默认值是 923.3Mhz / DR8

RX1DROffset 上传数据率	下发数据率			
	0	1	2	3
DR0	DR10	DR9	DR8	DR8
DR1	DR11	DR10	DR9	DR8
DR2	DR12	DR11	DR10	DR9
DR3	DR13	DR12	DR11	DR10
DR4	DR8	DR13	DR12	DR11
DR8	DR8	DR8	DR8	DR8
DR9	DR9	DR8	DR8	DR8
DR10	DR10	DR9	DR8	DR8
DR11	DR11	DR10	DR9	DR8
DR12	DR12	DR11	DR10	DR9
DR13	DR13	DR12	DR11	DR10

RX1DROffset 允许的值在[0..3]的范围内，[4..7]保留。

### 7.2.8 EU863-870 默认设置

以下参数是 US902-928 频段的推荐值

RECEIVE_DELAY1	1 s
RECEIVE_DELAY2	2 s (必须是 RECEIVE_DELAY1 + 1s)
JOIN_ACCEPT_DELAY1	5 s
JOIN_ACCEPT_DELAY2	6 s
MAX_FCNT_GAP	16384
ADR_ACK_LIMIT	64
ADR_ACK_DELAY	32
ACK_TIMEOUT	2 +/- 1 s (在 1s 到 3s 间随机 延时)

如果在终端设备中执行的实际参数值与默认值不同（例如终端设备使用更长的 RECEIVE\_DELAY1 和 RECEIVE\_DELAY2 的延时时间），在终端设备试运行过程中，这些参数必须采用带外的信道通知网络服务器。网络服务器可能不接受与默认值不同的参数。



## 7.3 China 779-787MHz ISM 频段

### 7.3.1 CN779-787 前导码格式

以下的同步字码应该为：

调制	同步字码	前导码长度
LoRa	0x34	8 个符号
GFSK	0xC194C1	5 个字节

表 23: CN779-787 同步字码

### 7.3.2 CN779-787 ISM 频段信道频率

只要无线设备的 EIRP 小于 10mW(或者 10dBm), 那么 LoRaWAN 就可以只用于 CN779-787 ISM 频带。

终端设备传输占空比应该小于 1%。

LoRaWAN 信道中心频率在以下的范围内：

- 最小频率：779.5MHz
- 最大频率：786.5MHz

CN780MHz 终端设备应该具有在 779~787MHz 频率频带下运行的能力并且应有至少能存储 16 个信道参数的信道数据的结构体。一个信道数据结构对于一个频率和在该频率下的一组可用数据率。

前三个信道分别对应 779.5、779.7 和 779.9MHz/DR0~DR25 并且在每一个终端设备都必须执行。这些默认信道不能通过 *NewChannelReq* 指令修改，来保证终端设备和网关之间的最小信道集合。其他信道在一个网络基站的网络的频率范围内自由分布。

下表给出了终端设备使用来发送 JoinReq 消息的频率列表。JoinReq 消息发送占空比不能超过 0.1%。

调制	带宽[kHz]	信道频率 [MHz]	FSK/LoRa 的比特率	Nb 信道	占空比
LoRa	125	779.5 779.7 779.9 780.5 780.7 780.9	DR0 to DR5 / 0.3-5kbps	6	<0.1%

表 24: CN780 JoinReq 信道列表

### 7.3.3 CN779-787 数据率和终点发送功率编码

以下编码适用于 CN780 频段的数据率（DR）和终点发送功率（TXPower）：

数据率	配置	参考的物理比特率	TXPower	配置
0	LoRa: SF12/125kHz	250	0	10dBm
1	LoRa: SF11/125kHz	440	1	7dBm
2	LoRa: SF10/125kHz	980	2	4dBm
3	LoRa: SF9/125kHz	1760	3	1dBm
4	LoRa: SF8/125kHz	3125	4	-2dBm
5	LoRa: SF7/125kHz	5470	5	-5dBm
6	LoRa: SF7/125kHz	11000	6..15	RFU
7	FSK:50kbps	50000		
8..15	RFU			

表 25 数据率和 TX 功率表

### 7.3.4 CN799-787 JoinAccept CFList

CN780 频段 LoRaWAN 在 JoinAccept 消息中执行 16 个字节的可选信道频率列表(CFList)。

在这种情况下 CFList 是一个通过将每一个频率编码为 24 位无符号整型（三个字节）来为信道 4~信道 8 提供五个信道频率列表。所有的通道都是 DR0~DR5 125kHzLoRa 调制可用。频率列表全部 16 个字节由单个 FUR 字节结束。

Size(bytes)	3	3	3	3	3	1
CFList	Freq Ch4	Freq Ch5	Freq Ch6	Freq Ch7	Freq Ch8	FUR

实际信道频率以 100Hz 为单位，频率低于 100MHz 的被保留。这使得信道频率都设置在 100MHz 到 1.67GHz 之间，以 100Hz 为步长递增。不使用的频道频率值为 0。CFList 列表是可选择的并且可以被 JoinAccept 信息检测到。如果存在，则 CFList 代替除了三个默认信道（第六章定义）以外的，之前存储在终端设备中所有的信道。

即最新定义的信道立刻启用并被终端设备用于通信。

### 7.3.5 CN799-787 LinkAdrReq 指令

CN780 LoRaWAN 最大只支持 16 个信道。当 ChMaskCntl 字段是 0 时 ChMask 字段独自启用/禁用 16 个信道中的每一个。

ChMaskCntl	ChMaskCntl 应用于
0	信道 1~16
1	RFU
..	..
4	RFU
5	RFU
6	所有开放的信道。 设备应该使能所有当前定义的与 ChMask 字段值无关的信道
7	RFU

表 26: ChMaskCntl 值表

如果 ChMask 字段值代表着 RFU，终端设备应该拒绝指令并且在响应中复位 Channel mask ACK 位。

### 7.3.6 CN799-787 中最大有效载荷字节数

下表给出了最大的 MACPayload 长度 ( $M$ )。受限于 PHY 层。该 PHY 层基于考虑了可能的中继器封装层的有效调制率。FOpt 控制字 ( $N$ ) 的缺省的最大应用有效载荷字节数由下表给出。如果 FOpt 字段不为空，那么  $N$  值可能更小些。

数据率	$M$	$N$
0	59	51
1	59	51
2	59	51
3	123	115
4	230	222
5	230	222
6	230	222
7	230	222
8..15	未定义	

表 27 CN780 的最大有效载荷字节数

如果一个终端设备从不使用中继器那么缺省可选择 FOpt 控制字段的最大应用有效载荷字节数为：

数据率	M	N
0	59	51
1	59	51
2	59	51
3	123	115
4	250	242

5	250	242
6	250	242
7	250	242
8..15	未定义	

表 17 CN780 最大有效载荷字节数（不兼容中继器）

### 7.3.7 CN779-787 接收窗口

RX1 接收窗口使用上个上行链路信道。数据率是上行链路数据率的函数，下表给出的 RX1DROffset、RX1DROffset 允许范围是[0..5]，[6..7]保留。

RX1DROffset	0	1	2	3	4	5
上传数据率	在 RX1 中的下发数据率					
DR0	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0
DR1	DR1	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0
DR2	DR2	DR1	DR0	DR0	DR0	DR0
DR3	DR3	DR2	DR1	DR0	DR0	DR0
DR4	DR4	DR3	DR2	DR1	DR0	DR0
DR5	DR5	DR4	DR3	DR2	DR1	DR0
DR6	DR6	DR5	DR4	DR3	DR2	DR1
DR7	DR7	DR6	DR5	DR4	DR3	DR2

RX2 接收窗使用固定的频率和数据率。默认的参数是 786MHz/DR0。

### 7.3.8 CN779-787 默认设置

以下参数是 CN779-787MHz 频段的推荐值：

RECEIVE_DELAY1	1 s
RECEIVE_DELAY2	2 s (必须是 RECEIVE_DELAY1 + 1s)
JOIN_ACCEPT_DELAY1	5 s
JOIN_ACCEPT_DELAY2	6 s
MAX_FCNT_GAP	16384
ADR_ACK_LIMIT	64
ADR_ACK_DELAY	32
ACK_TIMEOUT	2 +/- 1 s (在 1s 到 3s 间随机 延时)

如果在终端设备中执行的实际参数值与默认值不同（例如终端设备使用更长的 RECEIVE\_DELAY1 和 RECEIVE\_DELAY2 的延时时间），在终端设备试运行过程中，这些参数必须采用带外的信道通知网络服务器。网络服务器可能不接受与默认值不同的参数。

## 7.4 EU 433MHz ISM 频段

### 7.4.1 EU 433MHz 前导码格式

以下的同步字码应该为：

调制	同步字码	前导码长度
LoRa	0x34	8 个符号
GFSK	0xC194C1	5 个字节

表 29: CN779-787 同步字码

### 7.4.2 EU 433MHz ISM 频段信道频率

只要无线设备的 EIRP 小于 10mW（或者 10dBm），那么 LoRaWAN 就可以只用于 EU 433MHz ISM 频带。

终端设备传输占空比应该小于 1%<sup>1</sup>。

LoRaWAN 信道中心频率在以下的范围内：

- 最小频率：433.175MHz
- 最大频率：434.665MHz

EU 433MHz 终端设备应该具有在 433.05~434.9MHz 频率频带下运行的能力并且应有至少能存储 16 个信道参数的信道数据的结构体。一个信道数据结构对于一个频率和该频率下一组可用的数据率。

前三个信道分别对应 433.175、433.375 和 433.575MHz/DR0~DR25 并且每一个终端设备中都必须执行。这些默认信道不能通过 *NewChannelReq* 指令修改，以保证在终端设备和网关之间最小信道集合。其他信道在网络基站的网络的频率范围内自由分布。

下表给出了终端设备使用来发送 JoinReq 消息的频率列表。JoinReq 消息发送占空比不能超过 0.1%。

调制	带宽[kHz]	信道频率 [MHz]	FSK/LoRa 的比特率	Nb 信道	占空比
LoRa	125	433.175 433.375 433.575	DR0 to DR5 / 0.3-5kbps	3	<0.1%

表 30: EU 433 JoinReq 信道列表

<sup>1</sup> 在 433MHz ISM 频段中 EN300220 ETSI 标准限值到最大传输占空比的 10%。LoRaWAN 需要比法定上限低 1% 的传输比来避免网络拥堵。

### 7.4.3 EU 433 数据率和终点发送功率编码

以下编码适用于 EU 433 频段的数据率（DR）和终点发送功率（TXPower）：

数据率	配置	参考的物理比特率	TXPower	配置
0	LoRa: SF12/125kHz	250	0	10dBm
1	LoRa: SF11/125kHz	440	1	7dBm
2	LoRa: SF10/125kHz	980	2	4dBm
3	LoRa: SF9/125kHz	1760	3	1dBm
4	LoRa: SF8/125kHz	3125	4	-2dBm
5	LoRa: SF7/125kHz	5470	5	-5dBm
6	LoRa: SF7/125kHz	11000	6..15	RFU
7	FSK:50kbps	50000		
8..15	RFU			

表 31 数据率和 TX 功率表

### 7.4.4 EU 433 JoinAccept CFList

EU 433 频段 LoRaWAN 在 JoinAccept 消息中执行 16 个字节的可选信道频率列表（CFList）。

在这种情况下 CFList 是一个通过将每一个频率编码为 24 位无符号整型（三个字节）来为信道 4~信道 8 提供五个信道频率列表。所有的通道都是 DR0~DR5 125kHz LoRa 调制可用。频率列表全部 16 个字节由单个 FUR 字节结束。

Size(bytes)	3	3	3	3	3	1
CFList	Freq Ch4	Freq Ch5	Freq Ch6	Freq Ch7	Freq Ch8	FUR

实际信道频率以 100Hz 为单位，频率低于 100MHz 的值保留，这使得信道的频率都设置在 100MHz 到 1.67GHz 之间，以 100Hz 为步长递增。不使用的频道频率值为 0。CFList 列表是可选择的并且它可以被 JoinAccept 信息所检测。如果存在，则 CFList 代替除了三个默认信道（第六章定义）以外的，之前存储在终端设备中所有的信道。

即新定义的信道是可以立刻启用并用于终端设备通信的。

### 7.4.5 EU 433 *LinkAdrReq* 指令

EU 433 LoRaWAN 最大只支持 16 个信道。当 ChMaskCntl 字段是 0 时 ChMask 字段独自启用/禁用 16 个信道中的每一个。

ChMaskCntl	ChMaskCntl 应用于
0	信道 1~16
1	RFU
..	..
4	RFU
5	RFU
6	开放所有的信道。 设备应该使能所有当前定义的与 ChMask 字段值无关的信道
7	RFU

表 32: ChMaskCntl 值表

如果 ChMask 字段值代表着 RFU，终端设备应该拒绝指令并且在响应中复位 Channel mask ACK 位。

### 7.4.6 EU 433 中最大有效载荷字节数

下表给出了最大的 MACPayload 长度 ( $M$ )。受限于 PHY 层。该 PHY 层基于考虑了可能的中继器封装层的有效调制率。FOpt 控制字 ( $N$ ) 的缺省的最大应用有效载荷字节数由下表给出。如果 FOpt 字段不为空，那么  $N$  值可能更小些。

数据率	$M$	$N$
0	59	51
1	59	51
2	59	51
3	123	115
4	230	222
5	230	222
6	230	222
7	230	222
8..15	未定义	

表 33 EU 433 的最大有效载荷字节数

如果一个终端设备从不使用中继器那么缺省可选择 FOpt 控制字段的最大应用有效载荷字节数为：

数据率	M	N
0	59	51
1	59	51
2	59	51
3	123	115
4	250	242

5	250	242
6	250	242
7	250	242
8..15	未定义	

表 34 EU 433 最大有效载荷字节数（不兼容中继器）

### 7.4.7 EU 433 接收窗口

RX1 接收窗口使用上个上行链路信道。数据率是上行链路数据率的函数，下表给出的 RX1DROffset、RX1DROffset 允许范围是[0..5]，[6..7]保留。

RX1DROffset	0	1	2	3	4	5
上传数据率	在 RX1 中的下发数据率					
DR0	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0
DR1	DR1	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0
DR2	DR2	DR1	DR0	DR0	DR0	DR0
DR3	DR3	DR2	DR1	DR0	DR0	DR0
DR4	DR4	DR3	DR2	DR1	DR0	DR0
DR5	DR5	DR4	DR3	DR2	DR1	DR0
DR6	DR6	DR5	DR4	DR3	DR2	DR1
DR7	DR7	DR6	DR5	DR4	DR3	DR2

RX2 接收窗口使用固定的频率和数据率。默认的参数是 434.665MHz/DR0 (SF12 , 125kHz)。

### 7.4.8 EU433 默认设置

以下参数是 EU433 频段的推荐值：

RECEIVE_DELAY1	1 s
RECEIVE_DELAY2	2 s (必须是 RECEIVE_DELAY1 + 1s)
JOIN_ACCEPT_DELAY1	5 s
JOIN_ACCEPT_DELAY2	6 s
MAX_FCNT_GAP	16384
ADR_ACK_LIMIT	64
ADR_ACK_DELAY	32
ACK_TIMEOUT	2 +/- 1 s (在 1s 到 3s 间随机 延时)

如果在终端设备中执行的实际参数值与默认值不同（例如终端设备使用更长的 RECEIVE\_DELAY1 和 RECEIVE\_DELAY2 的延时时间），在终端设备试运行过程中，这些参数必须采用带外的信道通知网络服务器。网络服务器可能不接受与默认值不同的参数。



## 22 词汇表

ADR	Adaptive Data Rate	自适应数据率
AES	Advanced Encryption Standard	高级加密标准
AFA	Adaptive Frequency Agility	自适应频率捷变
AR	Acknowledgement Request	确认请求
CBC	Cipher Block Chaining	密码块链接
CMAC	Cipher-based Message Authentication Code	基于密文的消息认证码
CR	Coding Rate	编码速率
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余校验
DR	Data Rate	数据率
ECB	Electronic Code Book	电子码书
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	欧洲电信标准化协会
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power	等效全向辐射功率
FSK	Frequency Shift Keying modulation technique	频移键控调制技术
GPRS	General Packet Radio Service	通用无线分组业务
HAL	Hardware Abstraction Layer	硬件抽象化层
IP	Internet Protocol	互联网协议
LBT	Listen Before Talk	对话前监听
LoRa™	Long Range modulation technique	远程调制技术
LoRaWAN™	Long Range Network protocol	远程网络协议
MAC	Medium Access Control	介质访问控制
MIC	Message Integrity Code	消息完整性代码
RF	Radio Frequency	射频
RFU	Reserved for Future Usage	留作日后使用
Rx	Receiver	接收器
RSSI	Received Signal Strength Indicator	接收信号强度指示器
SF	Spreading Factor	扩频因子
SNR	Signal Noise Ratio	信噪比
SPI	Serial Peripheral Interface	串行外设接口
SSL	Secure Socket Layer	安全套接层
Tx	Transmitter	发射器
USB	Universal Serial Bus	通用串行总线

## 23 文献目录

### 23.1 参考文献

- [IEEE802154]: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), IEEE Std 802.15.4TM-2011 (Revision 4 of IEEE Std 802.15.4-2006), September 2011
- [RFC4493]: The AES-CMAC Algorithm, June 2006