

LoRaWAN Node 设计与实现_试读版

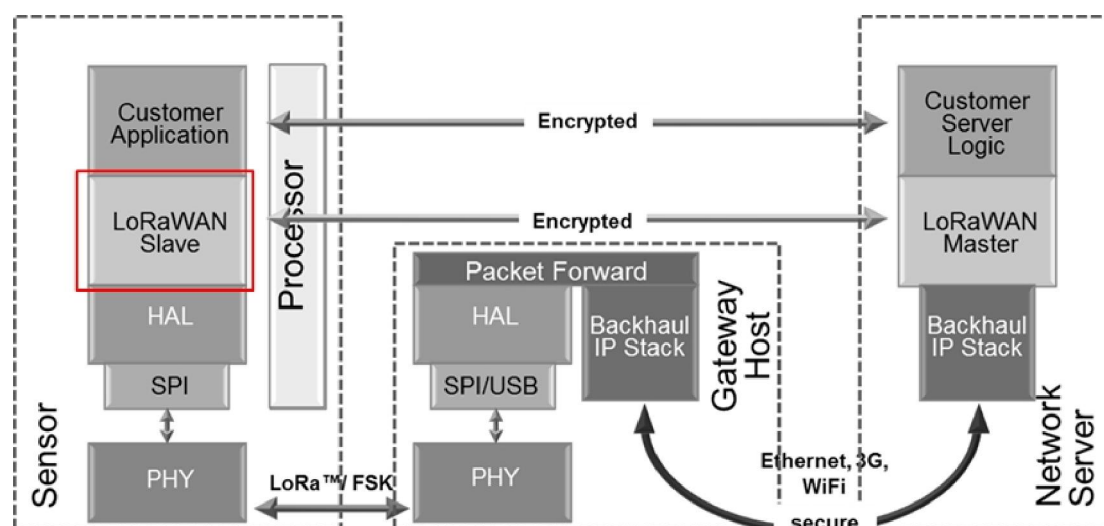
引言

LoRaMac.c 是 LoRaWAN Node 的核心代码，它超过 4000 行，复杂度较高；因为我们是“实现者”：移植该代码并设计高质量的 Node，所以需要“逐行”理解它；

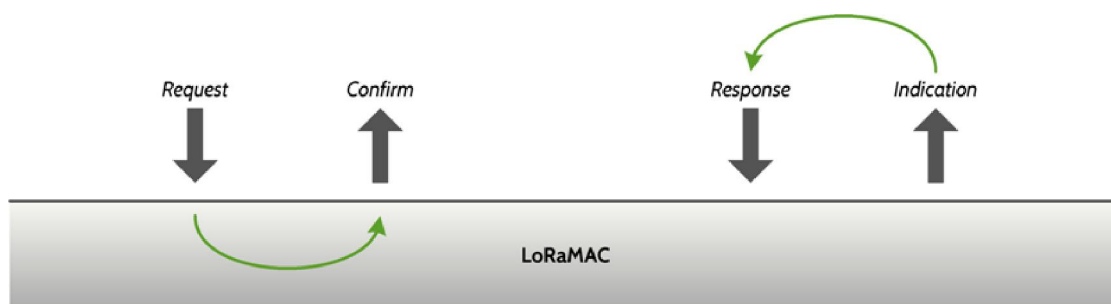
高效掌握该代码，即使遗忘也能快速恢复，这就需要“文档化，图表化，实例化”；鉴于以上理由，我们撰写了本文档。

1 体系结构

如下图所示，LoRaMac.c 运行在 Node 系统中，主要实现 LoRaWAN 协议。



以下摘自 LoRaMAC / Preface / Architecture:



The concept of the API follows the concept of primitives of the IEEE Standard for local and metropolitan area networks — part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (IEEE802.15.4-2011).

The upcoming figure shows the concept of primitives of the LoRaMAC layer. The concept follows the Request-Confirm and Indication-Response architecture. The LoRaMAC layer offers MCPS (MAC Common Part Sublayer) services, MLME (MAC layer management entity) services and a MIB (MAC information base).

In general, the LoRaMAC layer utilizes MCPS services for data transmissions and data receptions, and MLME services to manage the LoRaWAN network. The MIB is responsible to store important runtime information and holds the configuration of the LoRaMAC layer.

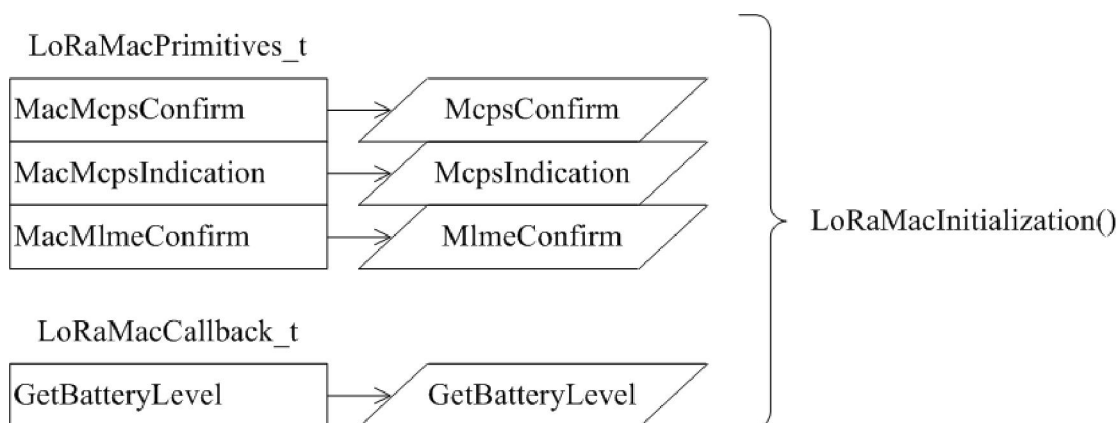
An upper layer (e.g. the main application) is able to perform Requests which the LoRaMAC layer confirms with a Confirm primitive. The LoRaMAC layer notifies an upper layer with the Indication primitive in case of events. The upper layer may responses to an Indication with the Response primitive.

2 如何使用

2.1 官方示例代码中,由 Main.c 调用 LoRaMac.c,函数接口与功能如下表所示。

State	Call LoRaMac Functions	Meaning
INIT	LoRaMacInitialization()	register“Primitives”and “Callbacks”
	LoRaMacMibSetRequestConfirm()	set“ADR, RX2_CHANNEL...”to LoRaMAC
JOIN	LoRaMacMlmeRequest(MLME_JOIN)	If “OTAA == TRUE”
	LoRaMacMibSetRequestConfirm(ADDR...)	If “ABP == TRUE”
SEND	LoRaMacQueryTxPossible()	Get how bytes of data can be sent
	LoRaMacMcpsRequest()	Sends a data frame to Gateway
CYCLE/ SLEEP	LoRaMacMibGetRequestConfirm(JOINED)	Check “Is Network Joined”periodically

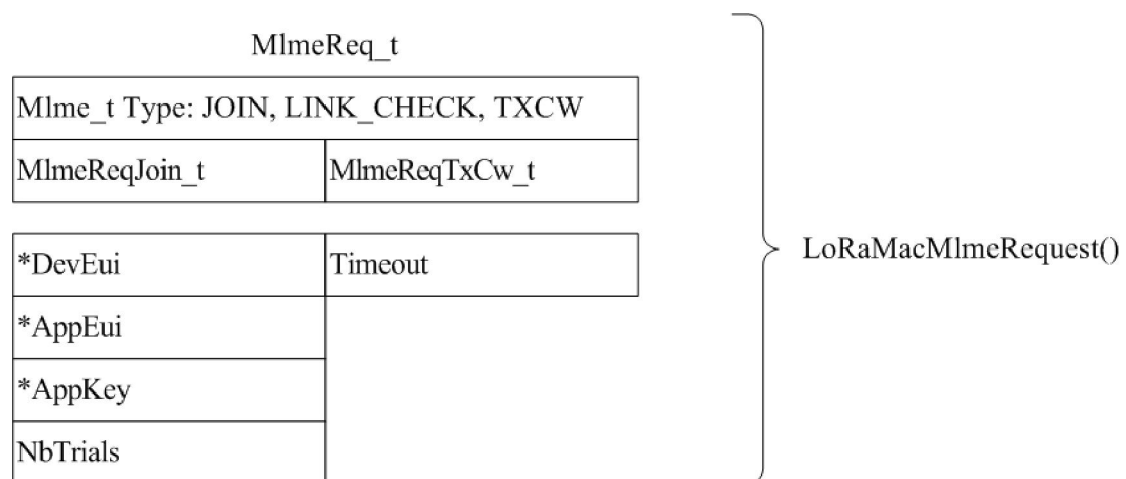
2.2 Main 调用 LoRaMacInitialization()需要注册 4 个回调函数指针,如下图所示。



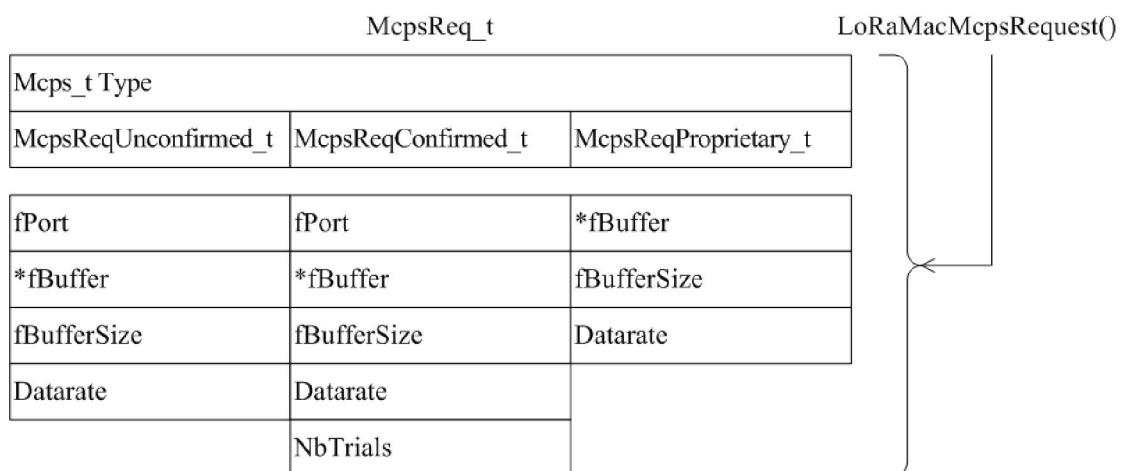
2.3 Main 调用 LoRaMacMibSetRequestConfirm()设置各项参数, Param 是一个联合体, 它会根据 Type 类型, 解释成相应对象的数值。



2.4 Main 调用 LoRaMacMlmeRequest(JOIN)完成 OTAA 入网。



2.5 Main 定时调用 LoRaMacMcpsRequest()发送传感器数据帧。



3 接口函数

3.1 接口函数功能

Funtion	Do what
LoRaMacInitialization()	LoRaMAC layer initialization
LoRaMacQueryTxPossible()	Queries the LoRaMAC if it is possible to send the next frame
LoRaMacChannelAdd/Remove()	Add or Remove a channel
LoRaMacMulticastChannelLink/Unlink()	Link or Unlink a multicast channel
LoRaMacMibGet/SetRequestConfirm()	MIB Get or Set
LoRaMacMlmeRequest()	Management services: JOIN, LINK_CHECK, TXCW
LoRaMacMcpsRequest()	Handles data services: UNCONFIRMED, CONFIRMED, MULTICAST, PROPRIETARY

3.2 MIB / MLME / MCPS

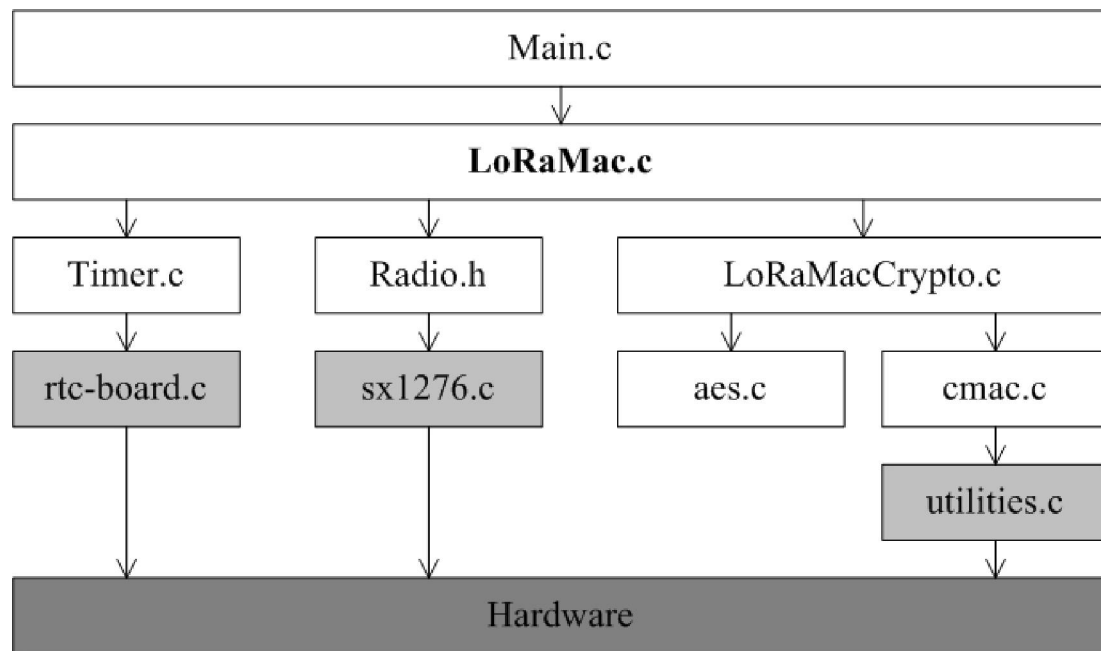
MIB	LoRaMac 基础信息数据 (Mac Information Base)
功能	提供用户访存 LoRaMac 的属性参数
入口函数	LoRaMacMibSetRequestConfirm() / LoRaMacMibGetRequestConfirm()
数据结构	读取与设置共 27 个变量: DeviceClass, DevAddr, NwkSKey, AppSKey 等
执行流	由 Set 和 Get 函数提供直接访存

MLME	LoRaMac 管理实体 (Mac Layer Management Entity)
功能	允许用户管理 LoRaMac 层, 包括: Join 入网, CheckLink 检测网络, TxCW 持续发送测试终端
入口函数	LoRaMacMlmeRequest()
数据结构	MlmeConfirm 返回用户调用的结果
执行流 Tx	LoRaMacMlmeRequest() -> Send() -> Radio.Send()
执行流 Rx	Radio.Rx() -> OnRadioRxDone() -> OnMacStateCheckTimerEvent()->MacMlmeConfirm()

MCPS	LoRaMac 常用部分子层 (Mac Common Parts Sublayer)
功能	用户发送数据包, 包括 3 种类别: unconfirmed, confirmed, proprietary
入口函数	LoRaMacMcpsRequest()
数据结构	McpsIndication 和 McpsConfirm
执行流 Tx	LoRaMacMcpsRequest() -> Send() -> Radio.Send()
TxDone	OnRadioTxDone() -> OnMacStateCheckTimerEvent() -> MacMcpsConfirm()
RxDone	OnRadioRxDone() -> OnMacStateCheckTimerEvent() -> MacMcpsIndication()

4 与上下层衔接

4.1 LoRaMac.c 的文件依赖关系如下图所示，阴影部分表示：该代码需要移植到系统硬件之上。



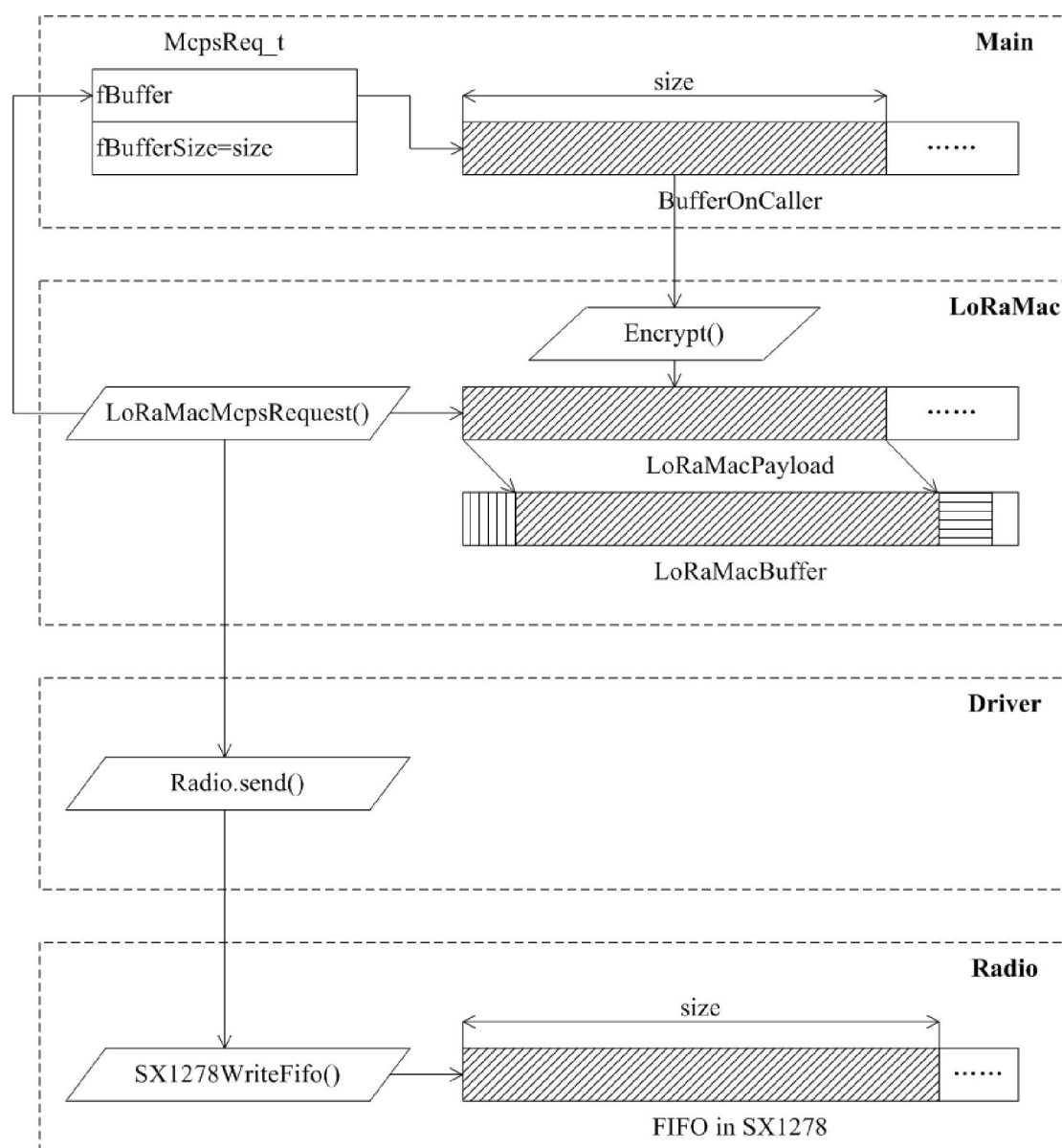
4.2 回调函数如下图所示，它实现了下层通知和调用上层。

您阅读的是“试读版”，已经试读结束！

购买锐米开源套装，可获取《LoRaWAN Node 设计与实现_完整版》

http://www.rimelink.com/nd.jsp?id=65#_np=107_316

4.3 发送数据流，为节省内存，可以去除 LoRaMacPayload 数据块。



4.4 接收数据流

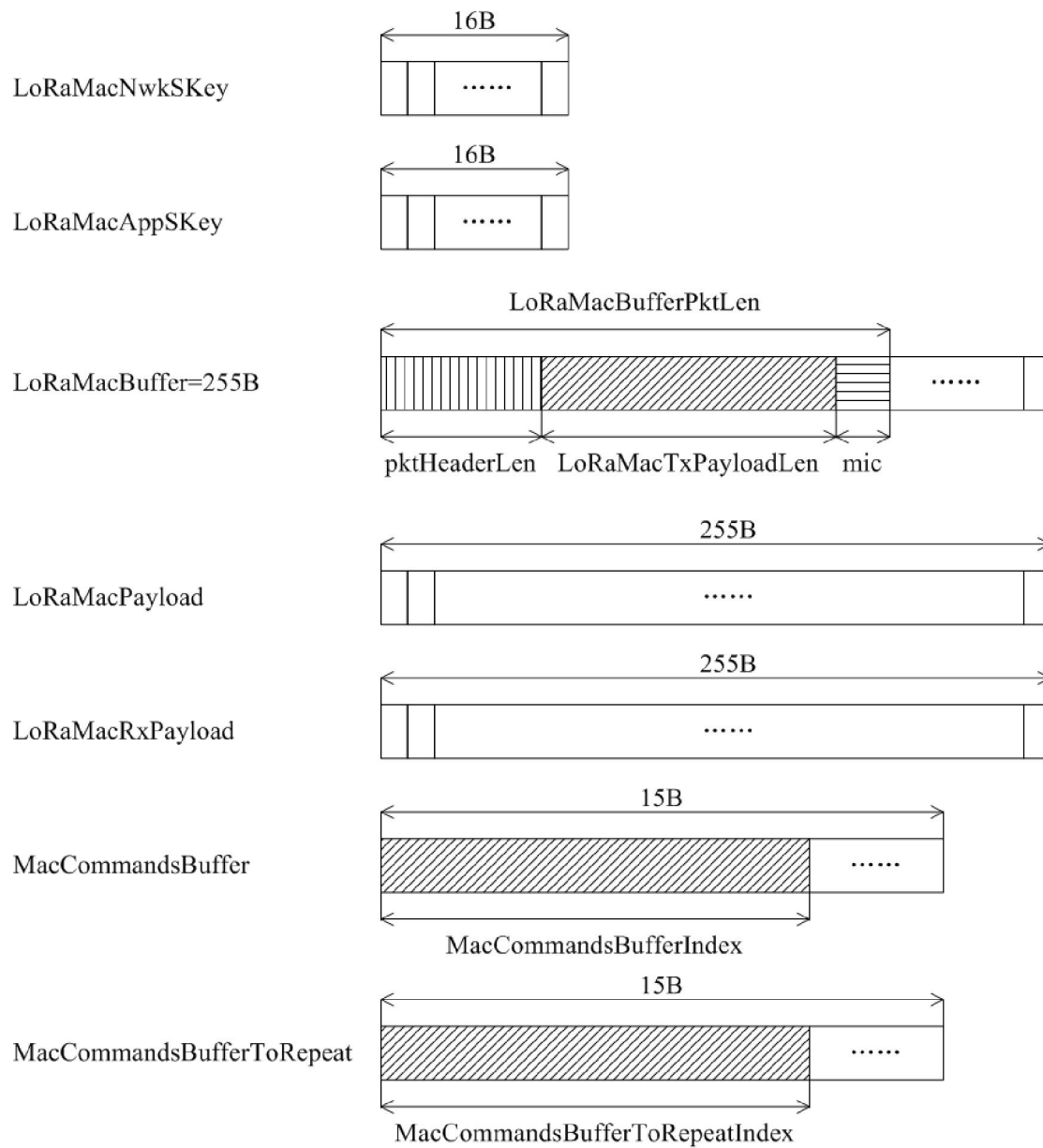
您阅读的是“试读版”，已经试读结束！

购买锐米开源套装，可获取《LoRaWAN Node 设计与实现_完整版》

http://www.rimelink.com/nd.jsp?id=65#_np=107_316

5 数据结构

5.1 数组变量



5.2 通道参数，注意，CN470 的 96 个通道占用了 672Byte.

您阅读的是“试读版”，已经试读结束！

购买锐米开源套装，可获取《LoRaWAN Node 设计与实现_完整版》

http://www.rimelink.com/nd.jsp?id=65#_np=107_316

5.3 Mcps / Mlme 数据结构

McpsIndication_t: Size=24B	
McpsIndication	McpsIndication
	Status

	DownLinkCounter
McpsConfirm_t: Size=18B	
McpsConfirm	McpsRequest
	Status

	UpLinkFrequency
MlmeConfirm_t: Size=12B	
MlmeConfirm	MlmeRequest
	Status

	NbRetries

5.4 定时器数据结构，LoRaMac 共使用了 5 个定时器。

您阅读的是“试读版”，已经试读结束！

购买锐米开源套装，可获取《LoRaWAN Node 设计与实现_完整版》

http://www.rimelink.com/nd.jsp?id=65#_np=107_316

5.5 MAC 命令组帧

您阅读的是“试读版”，已经试读结束！

购买锐米开源套装，可获取《LoRaWAN Node 设计与实现_完整版》

http://www.rimelink.com/nd.jsp?id=65#_np=107_316

5.6 发送 Mac 命令数据流，注意，有些 Mac 命令是必须要上传给 Server，直到收到 DownLink 帧为止，它们存储 MacCommandBufferToRepeat 数组中。

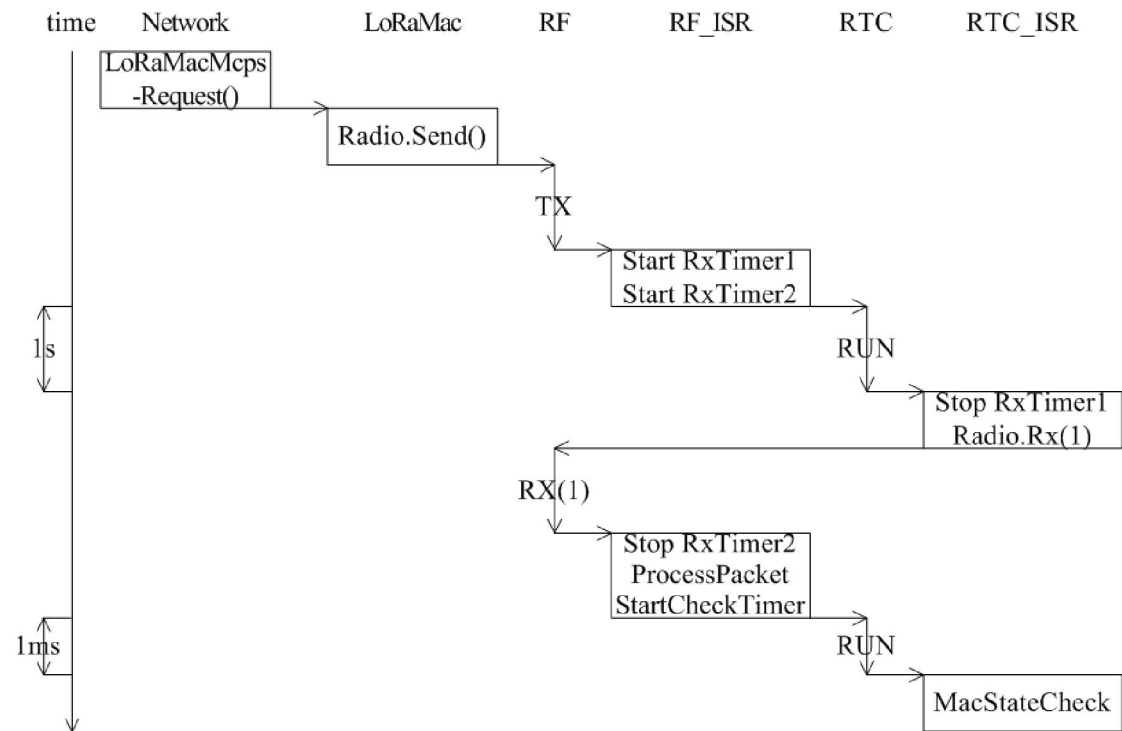
您阅读的是“试读版”，已经试读结束！

购买锐米开源套装，可获取《LoRaWAN Node 设计与实现_完整版》

http://www.rimelink.com/nd.jsp?id=65#_np=107_316

6 调度机制

6.1 发送与 Rx1 时序



6.2 发送与 Rx2 时序

您阅读的是“试读版”，已经试读结束！

购买锐米开源套装，可获取《LoRaWAN Node 设计与实现_完整版》

http://www.rimelink.com/nd.jsp?id=65#_np=107_316

6.3 ClassC 时序

您阅读的是“试读版”，已经试读结束！

购买锐米开源套装，可获取《LoRaWAN Node 设计与实现_完整版》

http://www.rimelink.com/nd.jsp?id=65#_np=107_316

6.4 CheckTimer 时序

您阅读的是“试读版”，已经试读结束！

购买锐米开源套装，可获取《LoRaWAN Node 设计与实现_完整版》

http://www.rimelink.com/nd.jsp?id=65#_np=107_316

7 重点算法

7.1 DutyCycle 的实现

LoRaMac 发送数据帧是由 DutyCycle 控制，它的数值源自 Server 的 Mac 命令：

DutyCycleReq <-> DutyCycleAns，计算公式如下所示。

$$\text{AggregatedDCycle} = 1 \ll \text{MaxDCycle};$$

$$\text{AggregatedTimeOff} = \text{AggregatedTimeOff} + (\text{TxTimeOnAir} * \text{AggregatedDCycle} - \text{TxTimeOnAir});$$

$$\text{ElapsedTime} = \text{TimerGetElapsedTime}(\text{AggregatedLastTxDoneTime});$$

$\text{nextTxDelay} = \text{AggregatedTimeOff} - \text{ElapsedTime};$

允许与禁止发送数据帧的原理，如下图所示。

您阅读的是“试读版”，已经试读结束！

购买锐米开源套装，可获取《LoRaWAN Node 设计与实现_完整版》

http://www.rimelink.com/nd.jsp?id=65#_np=107_316

7.2 重点函数

Funtion	Do what
OnRadioRxDone()	Decrypt and process the received packet

7.3 难点函数

Funtion	Do what
OnMacStateCheckTimerEvent()	Check Mac state as well as invoke callbacks include: LoRaMacPrimitives->MacMcpsConfirm() LoRaMacPrimitives->MacMlmeConfirm() LoRaMacPrimitives->MacMcpsIndication()