

M-HL9 用户手册

LoRa 通信模组

V1.0



南京芮捷电子科技有限公司

地址：南京市浦口高新区星火路 9 号

电话：156 5102 8736

邮箱：sales@rejee.com

网址：www.rejee.com

◆ 关于本手册

本文档主要介绍 M-HL9 模块的使用方式、操作说明和注意事项等。

◆ 文档变更通知

用户可以通过芮捷官网 www.rejee.com，淘宝商店或相关技术支持人员获取技术资料。

◆ 免责声明和版权公告

本文中的信息，包括供参考的 URL 地址，如有变更，恕不另行通知。文档“按现状”提供，不负任何担保责任，包括对适销性、适用于特定用途或非侵权性的任何担保，和任何提案、规格或样品在他处提到的任何担保。本文档不负任何责任，包括使用本文档内信息产生的侵犯任何专利权行为的责任。

文中提到的所有商标名称、商标和注册商标均属其各自所有者的财产，特此声明。

版权归 © 2019 芮捷所有。保留所有权利。

目 录

1. 产品概述.....	5
1.1. 产品特性.....	5
2. 使用前准备.....	6
2.1. 串口驱动安装.....	6
2.2. 测试工具软件.....	6
3. AT 指令操作.....	7
3.1. AT 模式切换与测试.....	7
3.2. 参数匹配要求.....	8
3.3. 恢复出厂设置 ATZ.....	8
3.4. 参数配置与查询.....	9
3.5. 版本查询 ATI.....	10
3.6. 指令帮助 ATH.....	10
3.7. 软件复位.....	10
4. 数据传输.....	11
4.1. 短包透传.....	11
4.2. 长包透传.....	12
4.3. AT 指令发送.....	13
5. 跳频功能.....	14
6. 退避策略.....	15
7. 接收窗口功能.....	16
8. 芮捷 LPWAN 协议.....	17
8.1. 网关单播通信.....	17
8.2. 网关组播通信.....	18
8.3. 网关广播通信.....	18
8.4. 网关应答功能.....	18
9. 加密功能.....	19

M-HL9 通信模组手册

10. 信号测试.....	20
11. 软件设计参考.....	21
11.1. 功耗设计.....	21
11.2. 部署参考.....	22
12. 版本修订历史.....	23

1. 产品概述

M-HL9 是“芮捷电子”基于 Semtech 公司 SX127x 系列射频前端开发的一款支持远距离低功耗的 LoRa 通信模组，主控采用 Cortex M0+超低功耗微控制器，采用超小型封装工艺，经过专业射频电路调试，广泛应用于智能仪表、物流及供应链、智能建筑及家居、智慧城市、资产追踪、城市路灯、医疗保健产品、农业、停车场传感器等领域。

1.1. 产品特性

M-HL9 是针对 LPWAN 领域应用需求推出的一款新模组，继承上一代 KL9 模组的主要功能，并支持模组直接二次开发，主要特性如下。

1. 支持休眠模式下远程无线唤醒
2. 支持碰撞检测自动跳频
3. 数据透明传输实现快速组网
4. 支持 AES128 加密传输
5. 射频参数支持 AT 指令修改，灵活应对各种环境
6. 开放硬件和软件 SDK，支持二次开发

2. 使用前准备

本文档为了便于说明相关操作，选择以 M-HL9 的评估板（HL9-EV）为对象，详细介绍 HL9 的相关功能和特性。HL9-EV 采用 TTL 转 USB 串口方式与电脑相连，通过电脑端的串口工具操作 M-HL9。因此，电脑端首先需要安装串口驱动，下面以 Windows 平台为例。

2.1. 串口驱动安装

HL9-EV 的串口采用 CH34x 芯片，在使用芮捷 LoRa 模组之前，需要先在 Windows 电脑上安装对应的驱动程序 CH341SER.EXE，执行该程序安装即可。

2.2. 测试工具软件

为验证和测试 HL9 功能点，需要通过电脑串口连接上模组进行数据收发。此处选择一个常用的串口工具“sscom”来连接模组，该软件直接复制过来即可运行，无需安装。

3. AT 指令操作

芮捷 LoRa 评估板模组自带串口芯片,USB 接口方式,在电脑端安装好 CH34x 驱动后,芮捷 LoRa 评估板模组通过 USB 接电脑上,将自动识别出 COM 口,默认串口(即 COM 口)波特率 9600,数据位 8bits,1bit 停止位,无校验位。如下所示。



3.1. AT 模式切换与测试

在 AT 模式下,指令操作正常返回 OK,错误返回 ERxx (xx 为不同错误编号,具体含义参考 AT 指令手册)。通过此方式也可以用作判断当前模块是否处于 AT 模式。

例如,串口输入“+++”指令,如果当前处于 AT 模式,则返回 ERxx,如果当前处于透传模式,则返回 OK,模式切换为 AT 模式,如下所示。



3.2. 参数匹配要求

通过 AT+CFG? 可以查询模组当前的配置参数，在使用过程中，如遇到通信不正常或无法收发时，请先检查模组参数配置情况再分析问题。对于通信双方来说，需要确保通信双方的参数要匹配。即发送方（如 Txx）等于接收方（Rxx），在模组指令中，T 代表发送参数，R 代表接收参数。一般成对匹配参数如下：

发送方 TFREQ 等于接收方 RFREQ

发送方 TSF 等于接收方 RSF

发送方 TIQ 等于接收方 RIQ

发送方 TFIX 等于接收方 RFIX（默认 FIX: 0,0 第 1 个代表发送，第 2 个代表接收），该参数主要配合 SF6 使用，正常为 0。

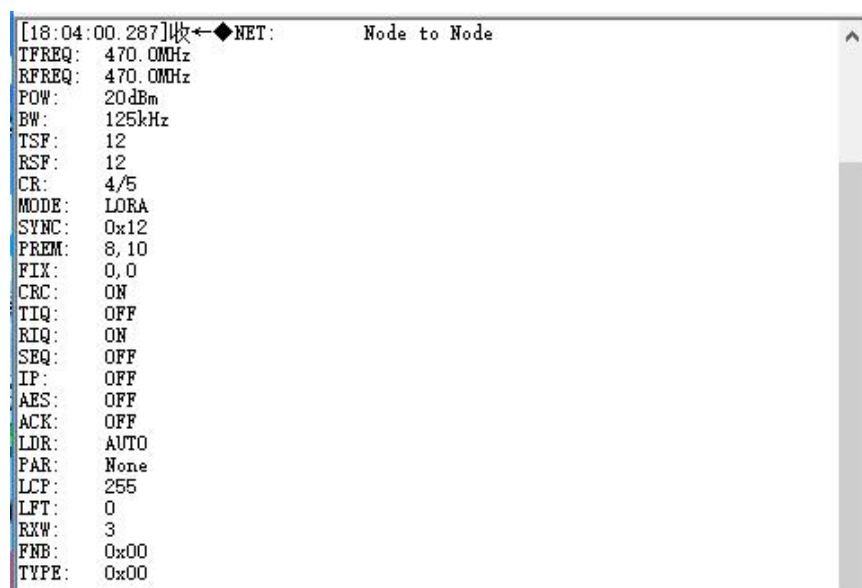
发送方 TPREM 小于等于接收方 RPREM（默认 PREM: 8,10 第 1 个代表发送，第 2 个代表接收）。

其它不区分收发（上下行）的参数，则要求双方保持一致。

3.3. 恢复出厂设置 ATZ

通过命令 ATZ 可以恢复成默认参数，ATZ 后默认模组重启，因此需要切换为 AT 模式后查询参数，如下所示。

如下所示频点恢复成默认 475.5MHz，ATZ 前参数如下：



```
[18:04:00.287]收←◆NET:      Node to Node
TFREQ:  470.0MHz
RFREQ:  470.0MHz
POW:    20dBm
BW:     125kHz
TSF:    12
RSF:    12
CR:     4/5
MODE:   LORA
SYNC:   0x12
PREM:   8,10
FIX:    0,0
CRC:    ON
TIQ:    OFF
RIQ:    ON
SEQ:    OFF
IP:     OFF
AES:    OFF
ACK:    OFF
LDR:    AUTO
PAR:    None
LCP:    255
LFT:    0
RXW:    3
FNB:    0x00
TYPE:   0x00
```


ATZ 恢复出厂设置后

```
[18:04:29.059]发->◇ATZ
[18:04:29.132]收<-◆
OK
LoRa M-HL9, HAL V18:5, XTL:0, Firmware V1019

[18:04:30.756]发->◇AT+CFG?
[18:04:33.172]发->◇+++
[18:04:33.210]收<-◆
OK

[18:04:33.556]发->◇AT+CFG?
[18:04:33.607]收<-◆NET:      Node to Gateway
TFREQ: 475.5MHz
RFREQ: 506.5MHz
POW: 20dBm
BW: 125kHz
TSF: 12
RSF: 12
CR: 4/5
MODE: LORA
SYNC: 0x12
PREM: 8,10
FIX: 0,0
CRC: ON
TIQ: OFF
RIQ: ON
SEQ: OFF
IP: OFF
AES: OFF
ACK: OFF
LDR: AUTO
PAR: None
```

模组重启

重新进入AT

参数恢复默认

3.4. 参数配置与查询

如修改频点为 478500000Hz(即 478.5MHz)，先通过 Windows 计算器转化成十六进制数，然后参考“芮捷 AT 指令手册”修改频点。



如修改发送频点 478.5MHz，命令则为 AT+TFREQ=1C8554A0。通过命令查询如下，频点已修改。

```
[14:13:53.365]发->◇AT+TFREQ=1C8554A0
[14:13:53.425]收<-◆
OK

[14:13:55.421]发->◇AT+CFG?
[14:13:55.473]收<-◆NET:      Node to Gateway
TFREQ: 478.5MHz
RFREQ: 506.5MHz
POW: 20dBm
BW: 125kHz
TSF: 12
RSF: 12
```

也可以单独查询当前频点参数，返回为统一格式化十六进制内容，以方便软件解析操作。

```
[14:14:12.493]发->◇AT+TFREQ?
[14:14:12.554]收<-◆
+TFREQ:1C8554A0
```

3.5. 版本查询 ATI

ATI 命令查询设备信息，目前主要显示为软硬件版本。如下所示，第一个参数为硬件版本，第二个参数为软件版本。首先切换进入 AT 模式（如果当前已经是 AT 模式，可忽略当前步骤）。

```
[18:06:46.574]发->◇+++□
[18:06:46.613]收<-◆
OK

[18:06:48.134]发->◇ATI
□
[18:06:48.184]收<-◆
+ATI:3,1019
```

3.6. 指令帮助 ATH

ATH 命令用于列出当前模组所支持的指令列表。其中设置命令如 2X 代表参数为 2 个字符的十六进制（即单字节），8X 则为 8 个字符的十六进制（即 4 字节）。

```
[14:23:13.600]发->◇ATH
□
[14:23:13.647]收<-◆AT
ATH
ATI
ATZ
ATR
ATT
AT+CFG?
AT+ID?
AT+CSQ?
AT+AK?
AT+ADDR?
AT+MADDR?
AT+SYNC?
AT+POW?
AT+BW?
AT+CR?
AT+CRC?
AT+TFREQ?
AT+RFREQ?
AT+TSF?
AT+RSF?
AT+NET=2X
AT+AK=32X
AT+ADDR=6X
AT+MADDR=6X
AT+MODE=2X
AT+TFREQ=4X
AT+RFREQ=4X
AT+LDR=2X
AT+SYNC=2X
AT+POW=2X
AT+BW=2X
AT+CR=2X
AT+CRC=2X
AT+TFREQ=6X
AT+RFREQ=6X
```

3.7. 软件复位

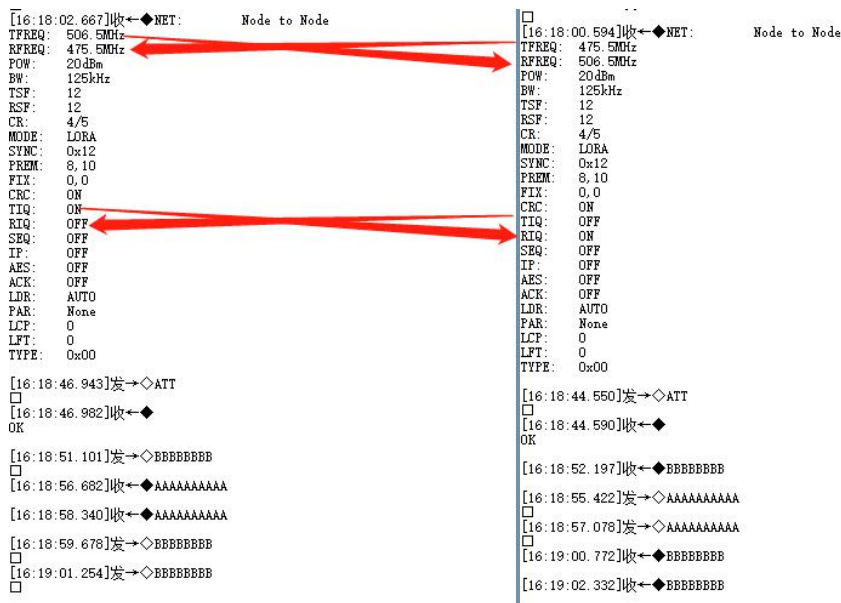
ATR 可以软件复位系统。

```
[18:08:20.086]发->◇ATR
□
[18:08:20.153]收<-◆
OK
LoRa M-HL9, HAL V18:5, XTL:0, Firmware V1019
```

4. 数据传输

4.1. 短包透传

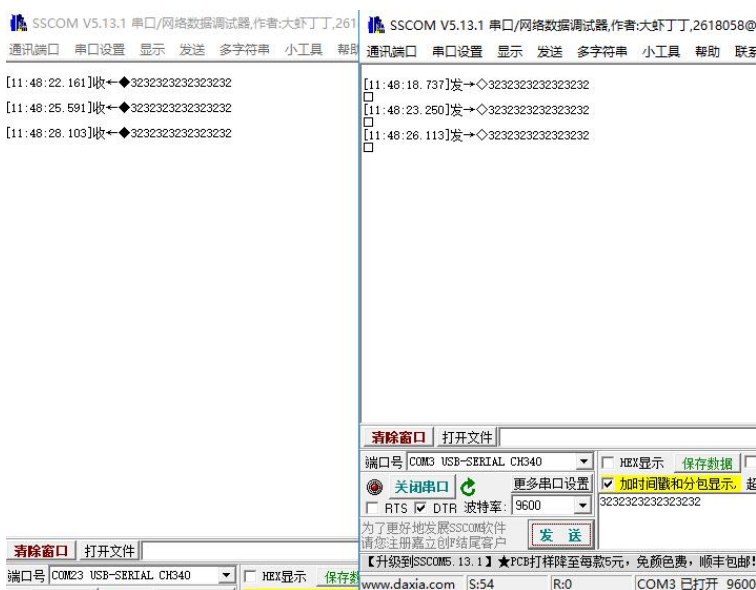
如果用两个HL9-EV模组进行透传，需要将NET模式配置成点对点（即不跳频），然后收发参数要匹配。如下所示。



如果用HL9-EV与网关来测试，则默认参数即可。默认出厂的模组与网关参数是匹配的。如下所示。

接收端（网关EV）

模组端（M-HL9-EV）



4.2. 长包透传

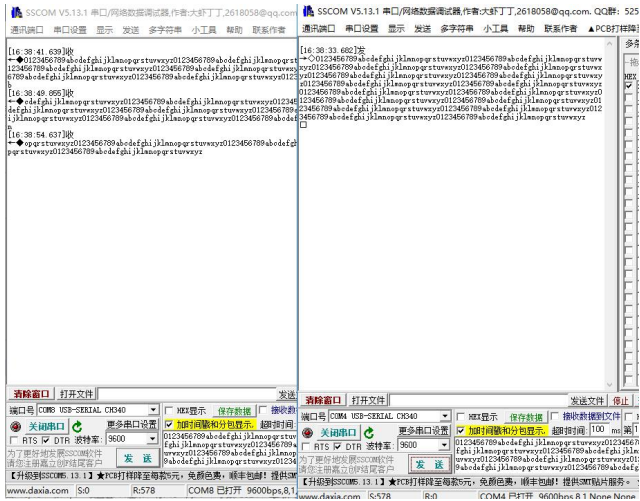
在此特别指出长数据包的原因主要有两点。

1. LoRa 寄存器的收发缓存区只有 256 个字节，正常收发分别用 128，所以无法直接支持较长数据包的发送，而且标准 LoRaWAN 建议不超过 64 字节。
2. 大数据包发送时，由于空中传输时间太长，容易受干扰且解包能力要求更高，需要开启低速率优化功能，HL9 模组默认 SF11 和 SF12 是自动开启低速率优化的，如果使用 HL9 其他速率或带宽，请参考 AT 手册，通过 AT+LDR 命令自行开启 LDR 功能，LDR 开启会增加数据空中传输时间。

为了尽量扩大数据包的收发字节数，满足一些特性行业用户需求，HL9 模组做如下设计：

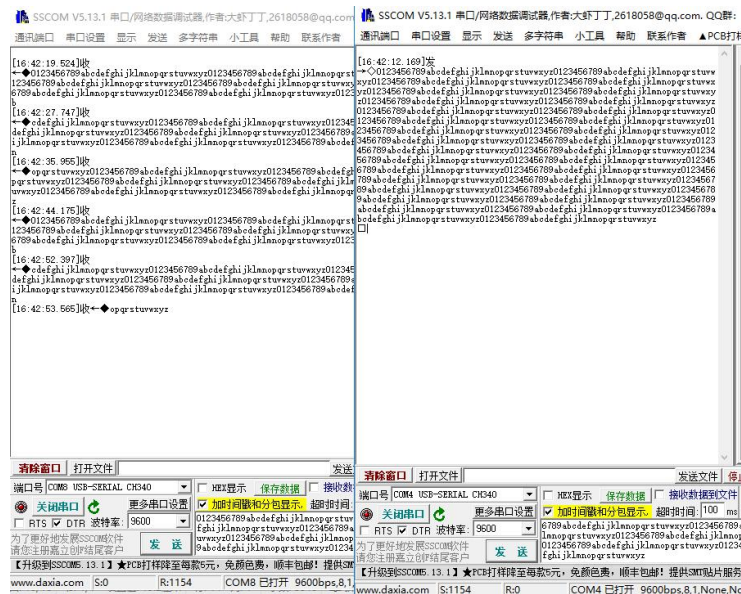
1. 单次发送字节数扩展为最多 228 个字节（基于缓冲池字节对齐和参考 LoRaWAN 最大字节数限制）；
2. 采用缓冲池方式扩展数据包长度，目前设计缓存个数 5 即缓存池为 5*228。在透传模式下，串口 1 一次性发送超过 228 字节数时，数据包自动分包多次发送。

测试样例如下所示，发送 578 个字节，被分次发送（228+228+122）。

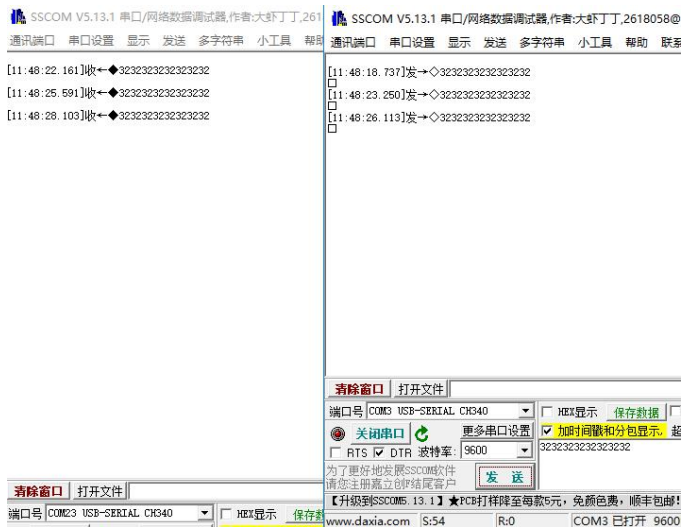


M-HL9 通信模组手册

还可以测试更大数据包发送，如下被分 6 次发送（228*5+14）。



说明：上述第2样例原则上已经超过缓冲池限制，但是由于我们系统在串口接收中是通过长度和字节间隔延时自动分包，在波特率不高情况下，系统调度可能能及时获取串口FIFO使串口硬件不溢出。

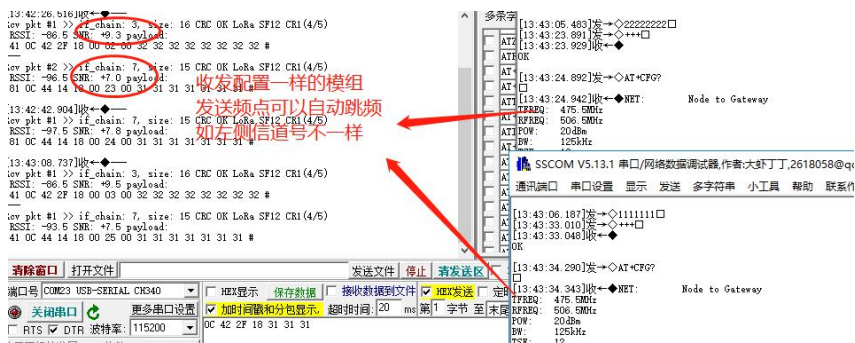


4.3. AT 指令发送

模组除了透传功能，也支持 AT 指令发送数据。使用 AT 指令发送数据，如果数据无线发送成功，则返回 OK，发送失败，则返回对应 ERxx。

5. 跳频功能

在模组配置为点对网关方式时（NET=01），则数据发送通过 LBT（先听后发）检测后，根据检测结果自动选择频点进行发送。为了便于观看结果，使用网关 Frame 格式显示接收频点和数据信息。如下所示，左侧为网关评估板，右侧为 HL9 评估板。



6. 退避策略

HL9 模组内置检测机制和退避算法，参考 LPWAN 标准算法优化而来。HL9 模组默认退避算法碰撞后重试次数为 4 次。默认的退避策略是重试次数超过 4 次则丢弃此次发送，因此在有些特殊应用场景，基于节点组网方式由于数据空中时间较长、带宽和信道唯一，导致竞争性获取信道尝试失败过多产生数据丢弃情况，开放退避策略可配置功能，用户可以基于实际需求配置退避尝试次数。

基于该功能的指令为 AT+FNB，可配置两种逻辑。退避失败是否强制发送和退避尝试次数，HL9 内部限制最低次数为 4。

最高为(第 7bit)：代表数据发送退避尝试超过最大次数后是否强制发送。

低 6 位 (6~0 bit)：代表配置退避次数。默认 0 或不配置或配置小于 4，则使用内部默认 4 次。

如设备同时上报、周期内可选信道单一（如用 sx127x 做类似网关集中器），则配置退避次数可使模组发送时遇到碰撞继续等待重试，以达到类似排队目的，在一些只用 sx127x 做接收的场合，也可以很好的处理同时和集中式上报数据的情况。相对的退避次数配置越低，尝试周期和次数越多则功耗响应增加。

7. 接收窗口功能

设计该功能用于满足类似有应答需求和功耗需求的业务场合。AT+RXW 参数配置为发送后开启多少秒接收窗口，如 LCP>0 则关闭接收进入休眠。因此该命令需要与 LCP 指令配合实现功耗要求。

场景模式	LCP	RXW	备注
透传	0	0	默认配置，LCP 为 0 不主动休眠。持续接收，类似 LoRaWAN Class C
透传	0	>0	LCP 为 0，不主动休眠。因此发送完成后继续打开接收，RXW 参数无意义，相当于无效
周期性侦听	>0	0	空中唤醒功能，周期性休眠
窗口式接收	>0	>0	类似 LoRa Class A 功能，发送完成开启 RXW 秒接收后关闭，自动进入休眠（LCP 为休眠时间）

8. 芮捷 LPWAN 协议

HL9 除了集成 AT 功能外，还附带了简单的芮捷自定义 LPWAN 协议，实现如下功能。该功能通过 AT+SIP 命令可开可关，默认是关闭的。该功能主要用于网关与模组之间进行交互，因此需要使用网关来演示该功能的使用。另外，终端的单播和组播地址是可修改的，这样可以满足特性应用需求，即下行与单个模组通信或按组通信。

```
[11:48:25.591]收←◆32323232323232
[11:48:28.103]收←◆32323232323232
[11:53:04.337]发→◇+++□
[11:53:04.344]收←◆
OK
[11:53:08.634]发→◇AT+CFG?
□
[11:53:08.662]收←◆TFREQ:      506.5MHz
POW:      20dBm
BW:       125
TSF:      12
CR:       4/5
MODE:     LORA
TPREM:    8
CRC:      ON
TIQ:      ON
LDR:      AUTO
RFREQ:    475.5 475.7 475.9 476.1 476.3 476.5 476.7 476.9
SYNC:     0x12
RPREM:    10
LDR:      AUTO
IP:       OFF
AES:      OFF
TYPE:     SIMPLE
PAR:      None
LCP:      1800[0,0]
LFT:      0
GPS:      {0,0}
```

在模组端和接收端需同时开启协议（IP）功能

8.1. 网关单播通信

```
[13:34:26.924]收←◆0C 42 2F 18 41 54 52 0D 0A
[13:34:30.328]发→◇00 00 00 71 31 31 31 □
[13:34:40.320]发→◇00 00 00 71 31 31 31 □
```

组播地址相同的两个模组，
网关下行同时接收

```
[13:33:54.986]发→◇AT+MADDR?
□
[13:33:55.047]收←◆
+MADDR 71000000
[13:33:58.785]发→◇ATT
□
[13:33:58.824]收←◆
OK
[13:34:25.401]发→◇ATR
□
[13:34:31.553]收←◆111
[13:34:41.544]收←◆111
```

SSCOM V5.13.1 串口/网络数据

清除窗口 打开文件 发送文件 停止 有发送区

端口号 COM23 USB-SERIAL CH340 ☒ HEX显示 ☒ 保存数据 ☐ 接收数据到文件 ☒ HEX发送 ☐ 定时

☒ 关闭串口 ☒ 更多串口设置 ☒ 加时间戳和分包显示 超时时间: 20 ms 第 1 字节 至 末尾

☐ RTS ☒ DTR 波特率: 115200 00 00 00 71 31 31 31

8.2. 网关组播通信

13:34:26.924] 收 ← 0C 42 2F 18 41 54 52 0D 0A
13:34:30.328] 发 → 00 00 00 71 31 31 31
13:34:40.320] 发 → 00 00 00 71 31 31 31

组播地址相同的两个模组，
网关下行同时接收

SSCOM V5.13.1 串口/网络数据
通讯端口 串口设置 显示 发送

清除窗口 打开文件 发送文件 停止 有发送区

端口号 COM23 USB-SERIAL CH340
HEX显示 保存数据 接收数据到文件 HEX发送 定时
加时间戳和分包显示 超时时间: 20 ms 第 1 字节 至 末尾
RTS DTR 波特率: 115200

00 00 00 71 31 31 31

8.3. 网关广播通信

13:34:26.924] 收 ← 0C 42 2F 18 41 54 52 0D 0A
13:34:30.328] 发 → 00 00 00 71 31 31 31
13:34:40.320] 发 → 00 00 00 71 31 31 31
13:36:59.601] 发 → FF FF FF FF 31 31 31
13:37:06.017] 发 → FF FF FF FF 31 31 31

同样广播
所有都接收

SSCOM V5.13.1 串口/网络数据调试器
通讯端口 串口设置 显示 发送 多字

清除窗口 打开文件 发送文件 停止 有发送区

端口号 COM23 USB-SERIAL CH340
HEX显示 保存数据 接收数据到文件 HEX发送 定时
加时间戳和分包显示 超时时间: 20 ms 第 1 字节 至 末尾
RTS DTR 波特率: 115200

FF FF FF FF 31 31 31

8.4. 网关应答功能

13:32:28.121] 发 → 0C 44 14 18 30 30 30
13:32:47.657] 发 → 0C 44 14 18 31 31 31
13:34:01.025] 发 → 00 00 00 71 31 31 31
13:34:26.924] 收 ← 0C 42 2F 18 41 54 52 0D 0A
13:34:30.328] 发 → 00 00 00 71 31 31 31
13:34:40.320] 发 → 00 00 00 71 31 31 31
13:36:59.601] 发 → FF FF FF FF 31 31 31
13:37:06.017] 发 → FF FF FF FF 31 31 31
13:38:52.277] 收 ← 0C 42 2F 18 32 32 32 32 32 32 32
13:39:08.017] 收 ← 0C 42 2F 18 31 31 31
13:39:17.341] 收 ← 0C 44 14 18 1A
13:39:19.209] 发 → 0C 42 2F 18 31 31 31
13:40:01.542] 收 ← 0C 44 14 18 31 31 31 31 31 31

透传正常是无回应，开启应答后网关应答OK

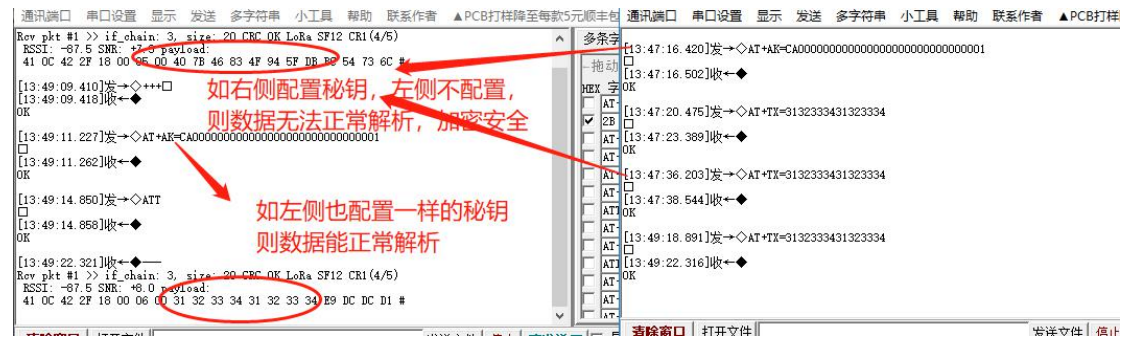
SSCOM V5.13.1 串口/网络数据调试器
通讯端口 串口设置 显示 发送 多字

清除窗口 打开文件 发送文件 停止 有发送区

端口号 COM7 USB-SERIAL CH340
HEX显示 保存数据 接收数据到文件 HEX发送 定时
加时间戳和分包显示 超时时间: 20 ms 第 1 字节 至 末尾
RTS DTR 波特率: 9600

31313131313131

9. 加密功能



10. 信号测试

HL9 支持信号测试，可显示接收信号质量、强度、频点、数据长度、内容等。通过该模式可用于项目部署前的环境测试和评估。对比 LoRa 数据手册相关参数，可以判断当前信号是否达到理论极限。参考手册 Band3（150MHz 左右）时理论值如下，当前 Band 为 470M 左右与此理论应该稍弱，但相差不大。

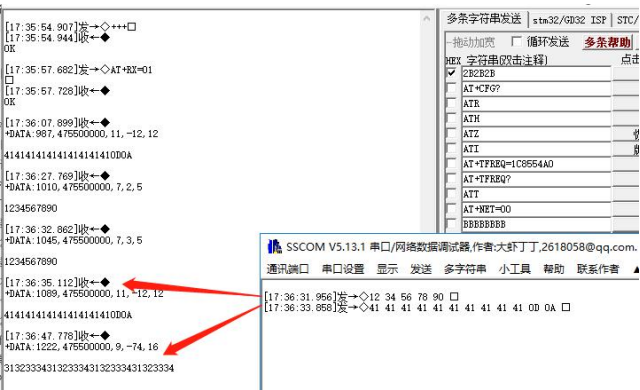
Symbol	Description	Conditions	Min.	Typ	Max	Unit
RFS_L125_LF	RF sensitivity, Long-Range Mode, highest LNA gain, Band 3, 125 kHz bandwidth	SF = 6	-	-121	-	dBm
		SF = 7	-	-125	-	dBm
		SF = 8	-	-128	-	dBm
		SF = 9	-	-131	-	dBm
		SF = 10	-	-134	-	dBm
		SF = 11	-	-136	-	dBm
		SF = 12	-	-137	-	dBm

注意：如果测试指数已经接近理论极限，说明当前环境下信号覆盖已到极限距离。如果实测距离与理论链路预算预估值相差很大，请检查天线、天线器件、焊接、设备供电等多方面因素是否存在问题。一般情况下射频参数通过仪表测试符合设计要求，则通信距离基本没有什么差别，因为芯片都是一样，出口功率和接收性能即决定了传输距离。

测试操作示例如下所示，将模组切换到 AT 模式，通过 AT+RX=01 打开接收测试模式。另外一个模组发送数据“0x12,0x34,0x56,0x78,0x90”，“AAAA....”。

接收测试结果显示如下（频偏单位 Hz、频点单位 Hz、SNR、RSSI、Length）。

注意：测试模式重启后取消或主动发送 AT+RX=00 关闭。



11. 软件设计参考

11.1. 功耗设计

HL9 采用低功耗串口设计、支持空中唤醒机制（对应 LCP 参数：链路监测周期）。对应使用场景：

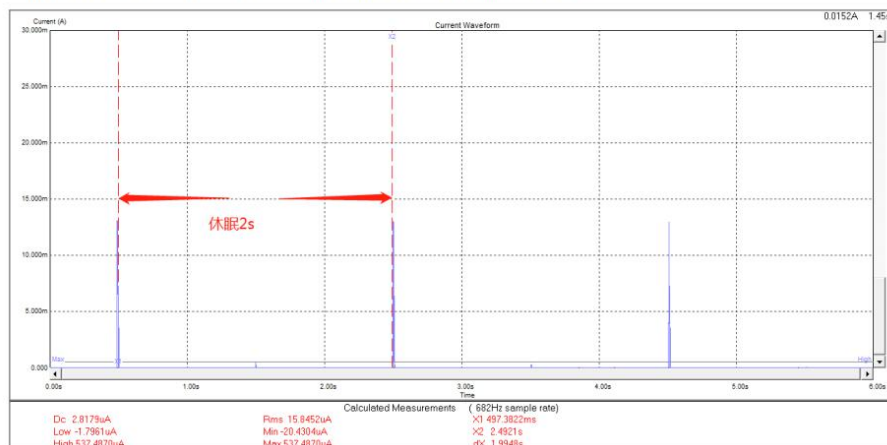
1. 如果只上传不接收场合，则可以将 LCP 配置最大（即全 0xFFFF，单位秒），则模组在无串口输入时，自动深度休眠。当串口有数据口，自动唤醒并推送数据。因此，HL9 不仅支持低功耗下发送数据，同样可以使用 AT 命令进行操作。低功耗串口要求波特率 ≤ 9600

2. 如果需要上行和下行，且下行规律未知，则模组需要随时接收。如果功耗无要求，则默认 LCP 配置为 0 即为透传持续接收模式，类似 LoRaWAN Class C。如果有功耗要求，则需要通过配置 LCP 值来兼顾功耗和接收。LCP 为休眠周期，周期到则开启 LoRa 信号监测，默认颗粒度为 1 秒，则最短唤醒响应为 1 秒钟。如果需要更快唤醒周期，则可以参考 HL9-SDK 进行二次开发和烧录。越快唤醒，则休眠时间越短，唤醒频度越高功耗越高。

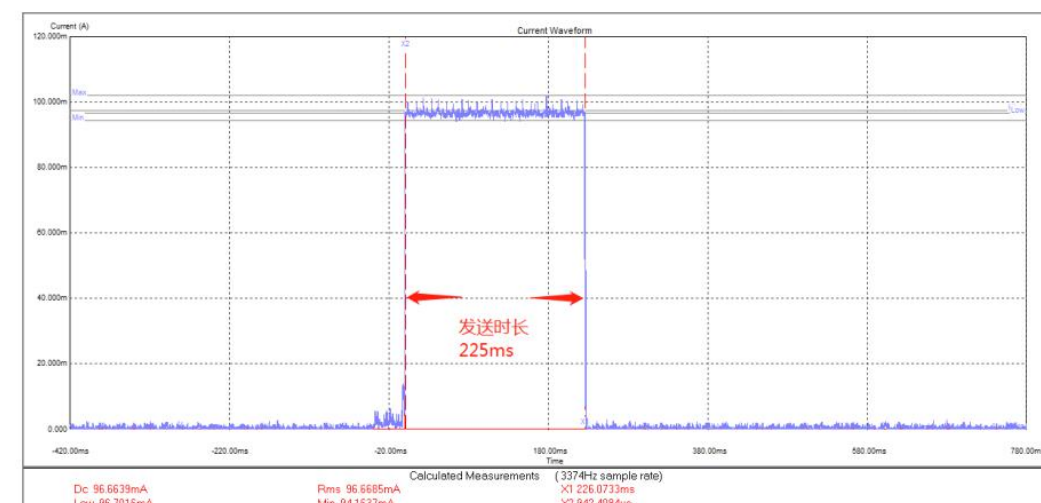
3. 如果需要上行和下行，且下行为发送后开接收，即 LoRaWAN Class A 方式。旧版本可以使用发送完成后，等一段时间接收后，主动休眠，有新发送请求再次循环该操作。新版本（版本号 1019）支持接收窗口配置，通过指令 AT+RXW 配置接收窗口（功能为发送完成后开 RXW 秒接收，注意该功能需要配置 LCP，因为开接收窗口目的就是为了超过窗口时间后模组能够进入休眠节约功耗）。

模组功耗测试样例如下：

此时模块 A 每 2s 进行一次 LoRa 信号侦听，运行电流曲线如下：



当模块 A 发送 30 个字节长度数据时的电流曲线：



11.2. 部署参考

为了满足客户多样化的需求，HL9 在设计上尽量把所有 LoRa 可配置参数全部 AT 实现开放给客户进行配置，以便支持用户多样化的场景。客户可以根据实际需要选择最优速率和功率。

1. 频点多样化，上下行分频
2. 收发速率上下行区分，即减少干扰，又有利于通过下行功率增加提高空中唤醒效率
3. IQ 反转区分，减少上下行干扰。
4. AES 加密安全性等

12. 版本修订历史

日期	版本	发布说明
2019.07	V1.0	初稿发布