

# 基于2.4GHz LoRa技术的自组织网络传输策略研究

肖良辉

闽江学院 福建福州 350108

**摘要:** 本文针对2.4GHz LoRa技术潜在的点对点通信与自组织网络应用场景, 深入探讨了带宽与扩频因子对N2N LoRa通信的能耗影响。同时, 文章提出两种策略以优化能耗: 一种是在降低节点发射功率的基础上, 利用增加扩频因子或降低带宽来保证通信距离; 第二种是保持较小的扩频因子或较大的带宽, 增强节点发射功率来保证所需的传输距离。本文通过优化LoRa通信能耗模型, 对比了上述两种策略在节能效果上的差异。

**关键词:** 2.4GHz LoRa; 点对点通信; 通信能耗

## 引言

LoRa是一种超远距离无线传输方案, 其采用扩频通信来增加传输距离。在现有的sub-GHz LoRa网络中, 通过终端、网关和NS部署为LoRaWAN标准协议网络, 可实现区域组网。例如, Semtech公司使用SX1276/SX1278芯片来构建终端, 使用SX1301芯片构建网关, 并在云端部署网络服务器。标准的LoRaWAN网络是一种星型拓扑结构, 网关是中心节点, 其他节点必须通过网关来传递消息, 如图1所示。

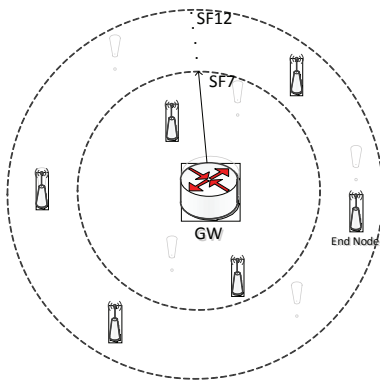


图1 Sub-GHz LoRaWAN拓扑结构

为了简化网络部署, 节约部署和维护成本, 有些应用直接采用LoRa点对点通信技术或多跳组网策略, 而不需要部署LoRaWAN网关、NS以及进行LoRaWAN组网。

这种部署方式更具私有性和灵活性, 同时通过LoRa多跳自组织网络, 可以进一步扩大LoRa的覆盖范围。

目前, 除了目前被大家所熟知的sub-GHz LoRa通讯技术, Semtech公司也推出了工作在2.4GHz ISM频段的LoRa技术和芯片(SX1280)<sup>[1]</sup>。而2.4GHz LoRa技术的应用, 将更多倾向于使用自组织方式进行组网。

## 一、相关工作

随着物联网市场的快速发展, LPWAN技术越来越受到人们的关注。2.4GHz LoRa因其低功耗、通信距离远等特点, 使得研究的人变得越来越多。张泽佳<sup>[2]</sup>基于LoRa无线传输网络TOF飞行时间测距方法, 设计并开发了一套面向城市轨道交通运行的动态避障系统。樊东燕<sup>[3]</sup>提出了一种利用LoRa芯片SX1280获得不同环境下RSSI值, 并通过三边定位算法实现节点定位的测距定位方案。熊润群等人<sup>[4]</sup>提出了一种基于匹配的信道与扩频因子分配算法MSFCAA, 并实验表明基于匹配的信道与扩频因子分配算法能显著提升LoRa网络数据提取率并极大降低网络能耗。

但是, 目前针对2.4GHz LoRa技术的相关研究中, 并未涉及到2.4GHz LoRa的点对点和自组织网络的能耗的分析。本文针对LoRa通信的特点, 评估了不同的扩频因子和带宽对2.4GHz LoRa点对点和自组织组网应用能耗的影响。

其中, 表1是2.4 GHz LoRa在不同扩频因子(SF)和带宽(BW)下的接收灵敏度。

## 二、LoRa N2N通信的能量模型

在LoRa通信中, 功耗主要包括射频功耗、处理器功耗、外设功耗以及传输功耗等几方面, 通过计算各部分

**基金项目:** 2020年福建省中青年教育科研项目 (JAT200432)

**作者简介:** 肖良辉, 男, 汉, 1991年6月, 福建省龙岩市, 本科, 工程师, 闽江学院, 嵌入式及物联网系统, 邮编: 350108。

表1 2.4G LoRa接收灵敏度[dBm]

BW \ SF	5	6	7	8	9	10	11	12
203 KHz	-109	-111	-115	-118	-121	-124	-127	-130
406 KHz	-107	-110	-113	-116	-119	-122	-125	-128
812 KHz	-105	-108	-112	-115	-117	-120	-123	-126
1625 KHz	-99	-103	-106	-109	-111	-114	-117	-120

的功耗值便可得到模块的实际能耗。考虑到LoRa通信的ADR特性(自适应速率,可动态调节传输速率<sup>[5]</sup>),结合发送功率的离散档位调节,我们将能耗模型公式重新定义如下:

$$\begin{cases} E_t = (P_T + P_{amp}) \times ToA \\ E_r = P_R \times ToA \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $P_T$ 、 $P_R$  分别是LoRa节点的基础电路功率,  $P_{amp}$  为发送电路射频电路的功率,  $ToA$  为数据包的空中飞行时间。

$$T_{packet} = \begin{cases} \left[ n_{preamble} + 6.25 + 8 + \text{ceil} \left( \frac{\max(8PL-4SF+16CRC-20H,0)}{4 \times SF} \right) \times (CR + 4) \right] \times T_s & SF < 7 \\ \left[ n_{preamble} + 4.25 + 8 + \text{ceil} \left( \frac{\max(8PL-4SF+8+16CRC-20H,0)}{4 \times SF} \right) \times (CR + 4) \right] \times T_s & SF \in [7 - 10] \\ \left[ n_{preamble} + 4.25 + 8 + \text{ceil} \left( \frac{\max(8PL-4SF+8+16CRC-20H,0)}{4 \times (SF-2)} \right) \times (CR + 4) \right] \times T_s & SF > 10 \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $T_s$  为符号时间, 满足:

$$T_s = 2^{SF} / BW \quad (6)$$

$n_{preamble}$  为系统设定的前导码长度, PL为有效负载的字节数。使用显式报头模式时, H为0, 使用隐式报头模式时, H为1。CR表示编码率(CR为1、2、3、4时分别表示的编码率为4/5、4/6、4/7、4/8)。CRC为尾部CRC校验, 开启校验则CRC=1, 否则CRC=0。

结合  $P_{amp}$  及  $ToA$  的计算, 通过选取SF及BW, 使得  $E_t$  的值最小, 即可以使得LoRa发送节点的发送能耗达到最低。

### 三、实验及分析

本研究借助MatLab平台, 深入探讨了扩频因子(SF)与带宽(BW)两个因素对能耗的具体影响。在模拟过程中, 我们设定了一系列基准仿真参数: PL设为64, H为0, 启用CRC校验(CRC=1), 并设置编码率(CR)为1。随后, 通过调整SF值: 5~12, 以及BW在203KHz、406KHz、812KHz和1625KHz四种不同值, 分别计算了在每种参数组合下的发送能耗。

为了评估能耗, 我们设定通信距离d为1000米, 再

#### (1) $P_{amp}$ 的计算

$P_{amp}$  为发送节点的电路发射功率, 相同参数下, 距离越远, 则需要的功率越大。为了确定传输距离为d时所需的最小发射功率, 考虑到LoRa调制的接收灵敏度, 其接收信号能量需要满足:

$$P_k g(d) \geq (S_{th}|_{sf, bw}) \quad (2)$$

$S_{th}$  表示特定SF和BW时的接收灵敏度, 即到达信号的最低门限值。因此上式转化为:

$$P_k \geq \frac{S_{th} \times (4\pi d)^2}{\lambda^2} \quad (3)$$

#### (2) $ToA$ 的计算

对于LoRa通信, 发送k bit数据的ToA时间为前导码时间和数据负载时间之和:

$$T_{packet} = T_{preamble} + T_{payload} \quad (4)$$

根据SX1280数据手册, 2.4GHz LoRa的ToA时间计算公式如下:

根据表1中不同SF与BW组合情时的接收灵敏度要求, 利用能耗公式计算对应的发送能耗( $E_t$ )如图2和图3所示。从图中可以得出: 在理论参数条件下, (1) 当BW相同时, 随着SF的增大, 发送能耗呈先下降后上升的趋势, 最小能耗值处于SF为7~8时; (2) 在SF一定的情况下, BW增加发送能耗呈下降趋势。以下两点说明, 在理想参数条件下, 较大或较小的SF及BW值都不利于降低功耗。

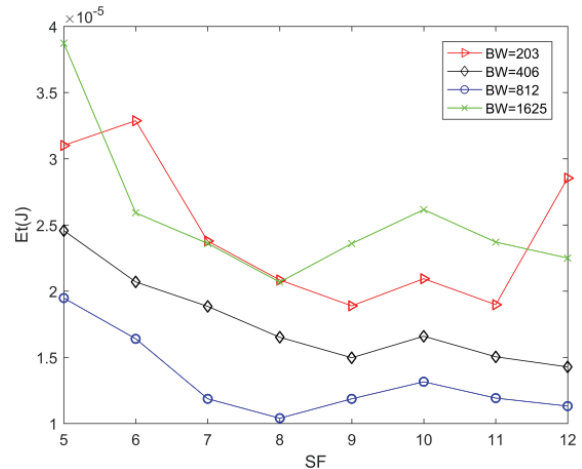


图2 传输能耗(理论参数)

## 结论

本文针对LoRa通信的特点,改进提出了一种适用于动态速率及发送功率离散调节的能耗模型。并利用该能耗模型,结合LoRa通信的ToA时间,分析了模型理论参数时,不同的SF和BW设置对发送能耗的影响。本文所得出的结论,不仅可以为2.4GHz LoRa自组织网络提供参考,还可以用于潜在的sub-GHz LoRa自组织网络。

## 参考文献

[1]Semtech.SX1280/SX1281 Data Sheet Rev 2.0[EB/OL]. [https://www.semtech.com/uploads/documents/DS\\_SX1280-1\\_V2.0.pdf](https://www.semtech.com/uploads/documents/DS_SX1280-1_V2.0.pdf), Feb. 2018.

[2]张泽佳.面向地铁避撞预警的自组网动态测距系统[D].南京邮电大学,2024.

[3]樊东燕.基于RSSI的LoRa无线传感网定位技术研究[D].山西大学商务学院,2019.

[4]熊润群,张华俊.一种多无人机辅助的LoRa网络节能数据采集方法[D].东南大学计算机科学与工程学院,2024.

[5]Wael Ayoub, Abed Ellatif Samhat, Fabienne Nouvel, et al. Internet of Mobile Things: Overview of LoRaWAN, DASH7, and NB-IoT in LPWANs Standards and Supported Mobility[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials ,2019, Vol. 21, no. 2, PP. 1561-1581.