

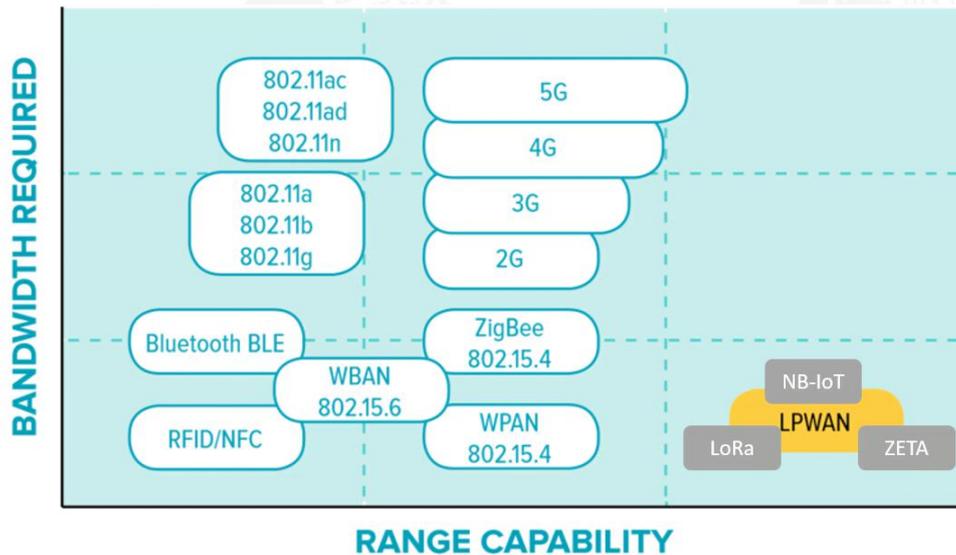
ZETA技术白皮书

目录 CONTENT

一、引言.....	1
二、ZETA 概述.....	1
三、ZETA 协议解析.....	2
3.1 ZETA 网络架构.....	2
3.1.1 AP.....	2
3.1.2 智能路由.....	2
3.1.3 终端.....	3
3.1.4 ZETA Server & PaaS.....	3
3.2 ZETA 协议特点.....	3
3.2.1 超窄带通信.....	3
3.2.2 双向通信.....	3
3.2.3 低功耗.....	4
3.2.4 广覆盖.....	4
3.2.5 抗干扰.....	4
3.3 ZETA 分支协议特性.....	4
3.3.1 ZETA-P.....	4
3.3.2 ZETA-S.....	7
3.3.3 ZETA-G.....	10
3.4 ZETA 协议安全.....	11
3.4.1 入网鉴权.....	11
3.4.2 通信加密算法.....	11
3.4.3 鉴权及数据加密.....	11
四、ZETA 的物理层技术.....	12
4.1 M-FSK 调制技术.....	12
4.2 具有窄带通信优势.....	12
4.3 支持可扩展的覆盖与速率.....	13
4.4 支持高速率传输.....	14

一、引言

本文旨在向各大读者阐述 ZETA 技术——一种基于 UNB 的低功耗广域网（LPWAN）技术协议标准，其具有覆盖范围广、服务成本低、能耗低等特点，满足物联网环境下广域范围内数据交换频次低、连接成本低、适用复杂环境的连接需求，可应用于泛在物联网场景。



二、ZETA 概述

ZETA 协议定义了 OSI 参考模型中的物理层、数据链路层和网络层，实现了 ZETA 网络中各个节点的通信编码、入网控制、设备鉴权、QoS 保障、安全加密等功能。

下文将重点解析 ZETA 协议的整体架构，ZETA 协议的特点，ZETA 不同协议分支的功能特性，ZETA 网络安全方案，同时对 ZETA 的物理层技术进行阐述。

三、ZETA 协议解析

3.1 ZETA 网络架构

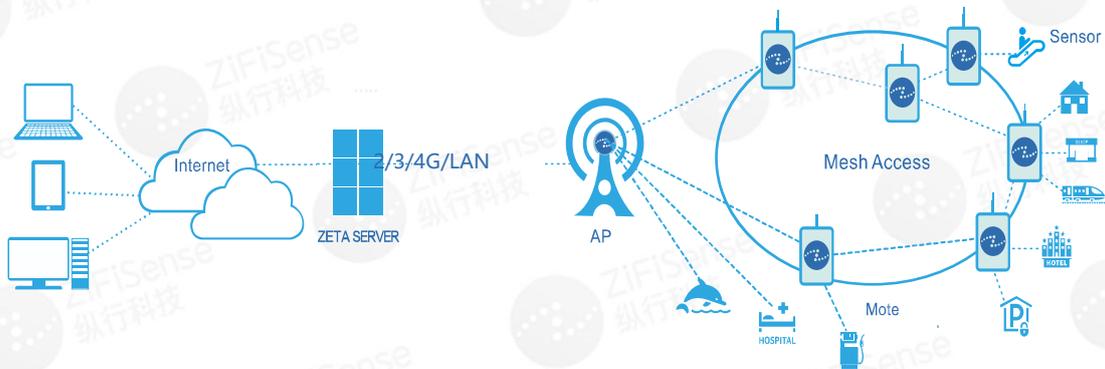


Figure 1 网络架构

ZETA 网络架构为典型的星型拓扑，为了面向多种物联网场景，降低落地成本、难度，ZETA 网络除了支持典型的星型拓扑还创新的实现了树状 MESH 架构，并且设计了三套协议以应对复杂的应用场景需求：

ZETA-P：低时延，主要面向业务流量不大的局域网场景。

ZETA-S：时频复用，主要面向业务流量较大的城域网场景。

ZETA-G：协议精简，成本极低，主要面向对成本敏感有较大连接量场景。

ZETA 网络包含 AP、智能路由、终端、管理平台，其中 AP、终端、管理平台为必选节点，智能路由为可选节点。

3.1.1 AP

AP(Access Point)，ZETA 自组网汇聚点，主要负责 ZETA 网络数据采集，时钟同步，下级设备管理以及数据回传至 Server，支持远程全量升级、配置等功能。

3.1.2 智能路由

低功耗 Mesh 智能路由节点，有效增加单站覆盖范围，便捷补充信号盲区、防止数据拥塞等功能。

- 低功耗设计，电池供电，典型接入量可使用 3 年以上。
- 自组网，上电无需任何设置，自动接入网络。
- 自愈组网，某一个连接中断时，Mesh 节点能够自行进行拓扑重组，尝试网络愈合，确保数据传输的可靠性。

- 多跳，根据协议不同，最多可支持 4 跳，将网络覆盖延伸到 AP 信号不能到达的角落。
- 路由选择，选择最佳的拓扑和通信调度策略将功耗降到最低。

3.1.3 终端

MS (Module&Sensor)，数据透传模块，外接传感器集成终端。

- 低功耗双向通信。
- 自组网，上电无需任何设置，自动接入网络。
- 自愈组网，当连接中断时，尝试网络愈合，确保数据传输的可靠性。
- 路由选择，选择最佳的拓扑和通信调度策略将功耗降到最低。
- 丰富指令集，UART 透传模式，可查询模块信号质量、状态、网络时间、设置测试模式等。

3.1.4 ZETA Server & PaaS

ZETA Server，负责管理 ZETA 网络，如复杂多样协议解析，网络拓扑，当前电量，协议版本，远程升级等功能。

- PaaS 平台，提供标准 API 接口，方便用户对接获取数据。
- 集成化网络管理，无需开发 ZETA 网络管理，减少开发对接投入
- 简单易用 ZETA Server，便捷远程定位问题，大幅度降低排查问题成本
- 通用 API 接口，简单易读
- 提供标准 SDK，5 分钟即可完成对接
- 支持私有云、公有云、混合云部署方式

3.2 ZETA 协议特点

3.2.1 超窄带通信

ZETA 协议使用超窄带进行通信，单信道占用带宽仅 3.8K，支持 100/300/600bps 的典型通信速率，最大速率可支持到 50kbps。整系统带宽最多也不到 30K，占用带宽资源很少，可方便的应用于各国的免授权频谱。

3.2.2 双向通信

ZETA 协议，都具备上行下行双向通信的特点。可用于进行传感器数据采集

上报，也可以进行下行配置与查询和控制等操作。

3.2.3 低功耗

ZETA 协议针对物联网应用的上行为主，小数据量，可靠性要求不高，实时性要求不高等特点，进行了诸如 LDC，ack 下行，分时段下行，深度休眠，分时段上行多种低功耗设计。

3.2.4 广覆盖

ZETA 协议支持点对点通信在视距情况超过 10 公里以上。利用多级智能路由，又进一步扩展了覆盖范围。对于 ZETA-G 协议，采用 SDR 技术，利用正交 FSK+TBCC+重复等多种算法提升上行灵敏度，也有效的增加了覆盖范围。

3.2.5 抗干扰

ZETA 协议使用于非授权频谱，干扰信号较多。因此设计了跳频和载波侦听等功能来提升抗干扰性能。

3.3 ZETA 分支协议特性

本节主要介绍 ZETA-P/ZETA-S/ZETA-G 三种不同协议分支的功能点和基本特性。

3.3.1 ZETA-P

随机入网与数据传输

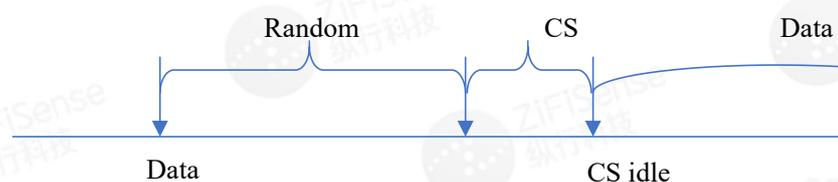


Figure 2 随机发送

当 ZETA-P 协议的设备需要入网与数据传输流程，会先随机退避一段时间，然后进行载波侦听，如果侦听结果为空闲，则发送入网或者数据。**可靠传输**

协议的据传输过程中，会有 ack 帧，用来确认对方是否收到数据，这是为可靠性设计的。如果没有收到 ack 帧，则会进行重传，以确保数据被正确的送达目

标节点。

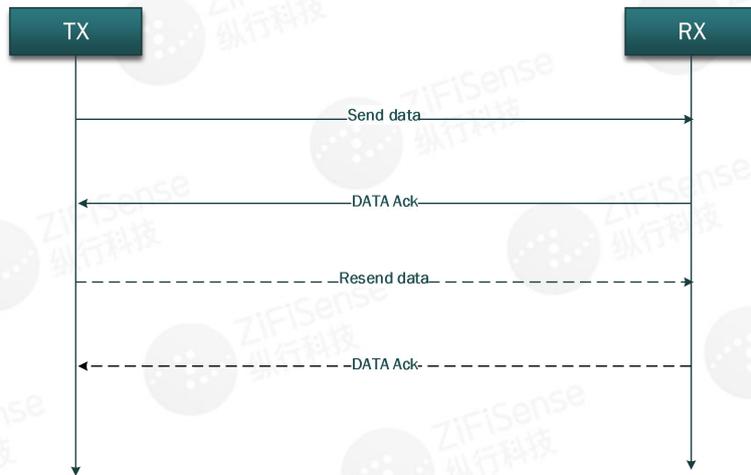


Figure 3 可靠性传输

载波侦听

为了避免网络拥塞，提高信道利用率，在发送数据前，进行载波侦听，信道闲置方可发送，流程如下：

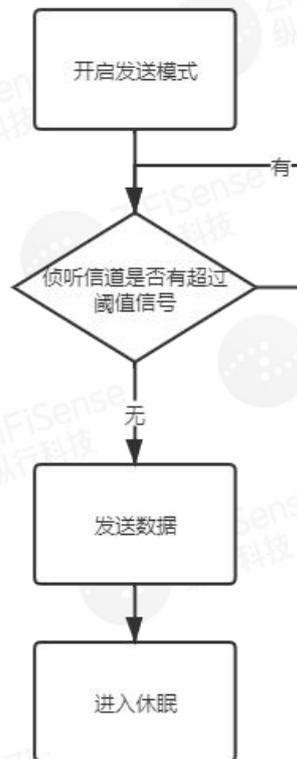


Figure 4 载波侦听流程

归属校验

在实际使用中，可能不同企业共用一套协议，为避免设备接入非自身企业 AP，或者本企业 AP 被其他企业设备接入，在入网时会进行归属校验，流程如下：

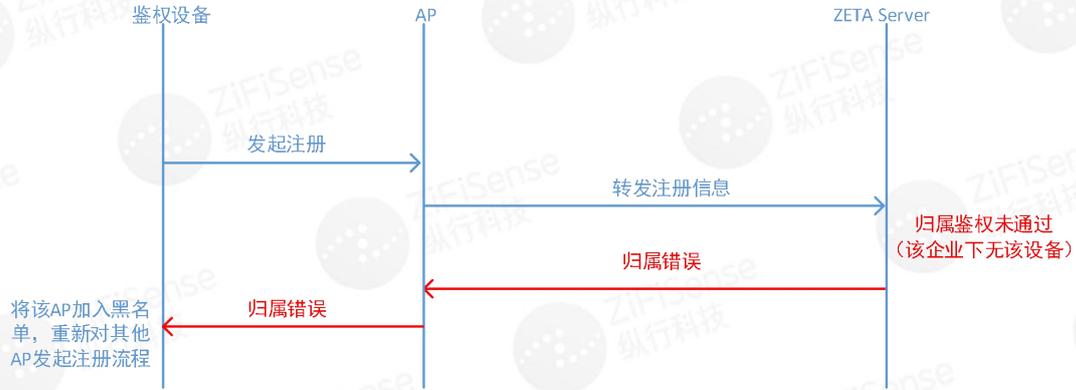


Figure 5 归属校验流程

网络自愈

ZETA-P 协议具有网络自愈功能。网络中某条链路出现故障，导致数据传输失败，终端节点可以自动重新选择其他可用的链路进行数据通信。

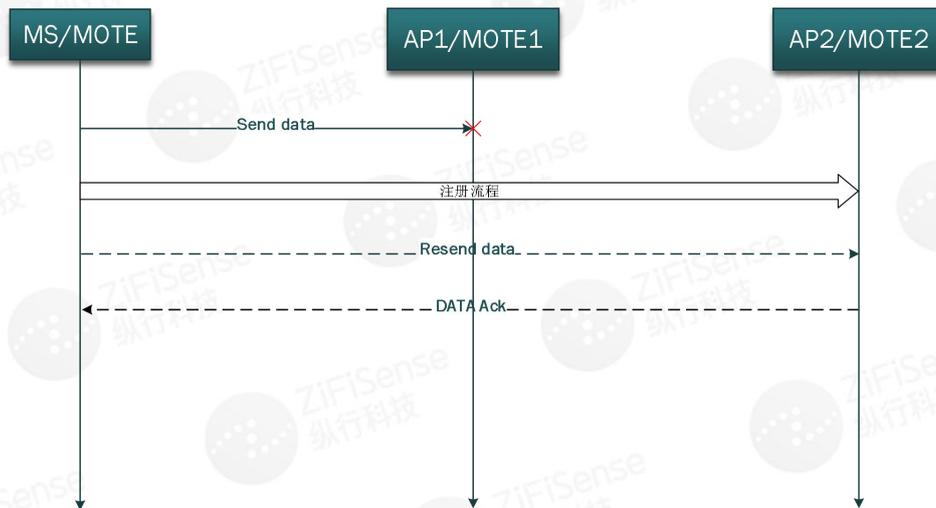


Figure 6 网络自愈

大数据传输

基于随机传输的特点，ZETA-P 协议支持多达 50Bytes 的应用层数据传输。

低时延

ZETA-P 支持的设备数量较少的情况下随机数据传输冲突概率较低，数据产

生后，可在较短时间内响应数据上下行传输，具备低时延的特性，时延取决于空口速率。

OTA

ZETA-P 协议支持 OTA 功能，当设备需要修复 bug，或者新增功能时，可以通过无线升级的方式对设备版本进行更新。同时支持近端单个设备 OTA 操作和远程批量 OTA 操作。

3.3.2 ZETA-S

时隙入网与数据传输

ZETA-S 采用分时隙和分频点的方式来管理空口资源。将时间资源分成若干个时隙，每个时隙是 900ms 或者更长。系统中有多个频点，可分别用于终端、智能路由或者 AP 的上行，下行通信。

每个设备入网时，会由上级分配一个工作时隙，当设备数量比较多时，不同设备可能会分配到相同的时隙，这样在该时隙内，不同设备要同时发送数据就需要进行竞争发送，有一定概率会出现冲突，但是比较随机发送，冲突概率极小。

智能路由创新性的引用时隙复用功能，因为 ZETA 网络系统存在多个频点，不同频点在相同时隙内，是可以同时工作的。比如 A 路由节点在该时隙内接收下级终端的上行数据，同时 B 路由节点也可以在该时隙内发送数据给上级，无形中增加了 ZETA 网络的容量。

入网及数据传输流程（以终端注册网关为例）：



Figure 7 入网及数据传输流程

A.网关周期性广播注册信息；

B.终端注册前监听接收附近网关的广播。收到一个或者多个网关广播信息后，根据注册选择算法选择一个网关，并向其发送注册请求。

C.网关收到注册请求后，会进行相应的资源分配，期间还会有鉴权过程，网关回复注册响应。至此设备注册完成，可以进行数据通信。

D.终端注册成功后，当有数据时，会向网关发送数据。

E.网关收到数据后回复数据 ack。

可靠性传输

除 ZETA-G 外，其他双向协议的数据传输过程中会有 ack 帧，用来确认对方是否收到数据，这是为可靠性设计的。如果没有收到 ack 帧，则会进行重传，以确保数据被正确的发送给目的节点，流程图参考 ZETA-P。

载波侦听

ZETA-S 协议支持载波侦听，用于减少冲突概率。载波侦听过程是在 GAP 内完成的。GAP 时间内结构 DIFS 和若干个 CS_SLOT。

1: 发送方在 DIFS 的时间内处理和准备好 Mac 层消息，启动载波监听，方产生一个最大值不超过竞争窗口最大值，最小不小于高优先级发送窗口的退避值，进行退避过程。

2: 退避过程中, 持续扫描信道状态, 当退避时间到时依然没有检测到载波, 则该发送方获得信道使用权, 立即发送数据进入正常数据发送流程。否则就进行退避, 等待下一个信道窗口进行重发。

跳频

ZETA-S 支持通过跳频来提升系统抗干扰性。系统事先将可用频点划分成若干个频点组。设备入网时, 会从上级获取跳频频点组和当前频点, 然后根据事先约定好的跳频序列, 在跳频组内跳频。这样既然提升了抗干扰性, 也具有一定的抗频点跟踪性, 从而提升了系统安全性。

归属检验

在实际使用中, 可能不同企业共用一套协议以及为避免设备接入非自身企业 AP, 或者本企业 AP 被其他企业设备接入, 在入网时会进行归属校验, 归属流程参照 ZETA-P 章节。

网络自愈

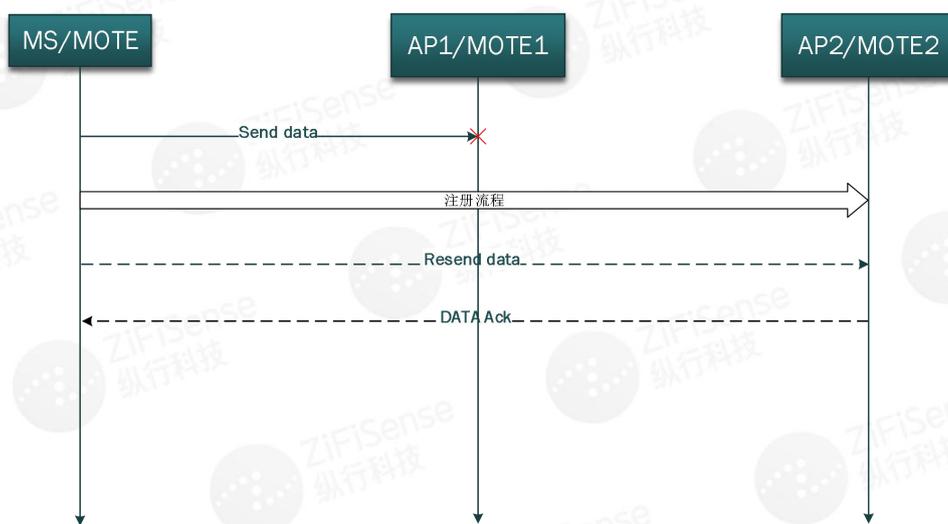


Figure 8 网络自愈

ZETA-S 协议具有网络自愈功能。网络中某条链路出现故障, 导致数据传输失败, 就会自动重新选择其他可用的链路进行数据通信。

小数据量

ZETA-S 协议的单次数据传输都是在一个时隙内完成的, 所以在时隙长度为 900ms 时, 仅支持 8Bytes 的应用层数据。

大容量

基于时隙及频点的统一管理，ZETA 网络信道利用率得到提升，ZETA-S 单网关理论上可支持接入约 90000+个设备。

城域网

ZETA-S 协议的网关节点支持 GPS 同步，可以避免相邻网关之间的相互干扰与失步问题，因此可以在城市或者全国范围内进行大规模部署。

OTA

ZETA-P 协议支持 OTA 功能，当设备需要修复 bug，或者新增功能时，可以通过无线升级的方式对设备版本进行更新。同时支持近端单个设备 OTA 操作和远程批量 OTA 操作。

3.3.3 ZETA-G

载波侦听

为了避免网络拥塞，提高信道利用率，在发送数据前，进行载波侦听，信道闲置方可发送，流程如下：



Figure 9 载波侦听流程

成本极低

ZETA-G 协议面向成本极其敏感行业应用，在保证通信性能以及功耗的前提下，协议设计上采用支持远距离上行，以及近距离下行方式，按照应用场景需求精简协议，大大降低硬件成本，让更多的“物”能够低成本联网。

大容量

ZETA-G 协议主要面向泛在物联场景，比如包裹、物流容器、液化气钢瓶追踪、危险废品追踪等等，要求接入数量庞大，利用 SDR 网关多信道接收功能，单个物理天线可以同时接收多达 64 个信道的数据，极大的扩充了 ZETA 网络系统容量，进一步降低“物”的联网成本。

3.4 ZETA 协议安全

3.4.1 入网鉴权

设备接入时，为避免非 ZETA 终端接入网络，需进行接入鉴权，首先是由设备根据随机数 nonce 以及密钥 KI 计算生成 Auth 值，然后把 nonce 和 Auth 一起发送给 NS 平台，平台根据相同的 KI 以及消息中的 nonce，加上同一个算法生成 Auth，再比较 Auth 进行鉴权。

3.4.2 通信加密算法

不同于互联网，物联网数据量更少，对冗余、开销更敏感，需要更轻量级的加密算法对敏感数据进行加密。

ZETA 协议选用轻量级加密算法 Keeloq 对报文数据域进行加密，加密原理：用 8byte 密钥加密 $n*4\text{byte}$ 明文，从而得到 $n*4\text{byte}$ 密文或者用 8byte 密钥解密 $n*4\text{byte}$ 密文，还原出原 $n*4\text{byte}$ 明文。

3.4.3 鉴权及数据加密

鉴权过程：网关利用 bsid 和随机数 count，以及事先存储于网关内部的密钥 KI，通过 sha256 算法生成鉴权摘要。然后把鉴权摘要和 count，以 KI 为密钥，利用 aes128 算法进行加密，传输给平台，平台接收后用相同算法解密，并校验鉴权摘要。校验通过后，回复登陆成功给网关。网关会使用 RS1024 生成密钥对，将公钥发送给云平台，云平台随机生成 128bits 数据通信密钥，用公钥加密后发给网关。网关利用私钥解密后得到数据通信密钥。后续与云平台通信就用该密钥，利用 aes128 进行加密通信。

四、ZETA 的物理层技术

本章介绍 ZETA 物理层的 advanced M-FSK 调制方式以及它的独特有点。即具有 Sigfox 的窄带通信优势；又具备 LoRa 具的扩展性；还可以利用 5G 技术在较小带宽中传输相对较高的速率。

4.1 M-FSK 调制技术

M-FSK 调制：时域为 1 的信号在频域上 M 个正交频点上选择一个频点调制发送。如下图所示，M=8，每个频点每个符号可以调制 3 个比特信息。最小频点间隔为 2kHz，为了保持频点的正交性符号速率要小于最小频点间隔。如下图所示符号速率为 600Hz。

可以直观获得如下认识：1，调制信息只在相位上改变，不利用幅度调制信息，PAPR 为零，保持低功耗特性；2，发送功率不变，带宽增加，调制比特增多($\log_2(M)$)；3，每个符号只在一个频点上发送，具有窄带通信特点。

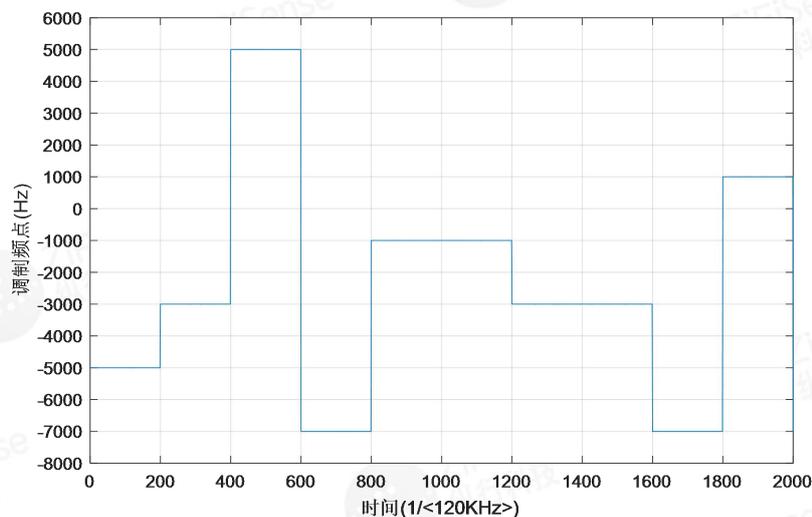
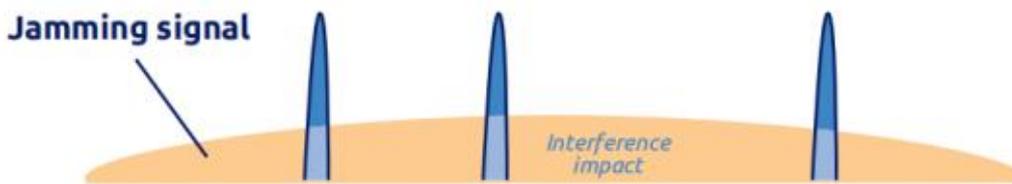


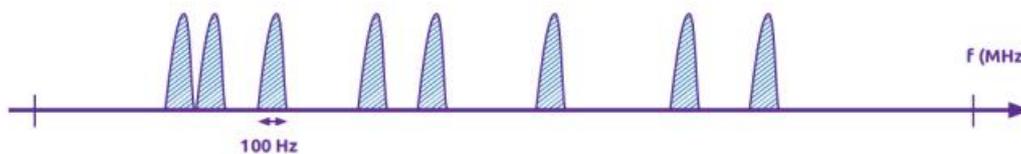
Figure 7 M-FSK 调试方式

4.2 具有窄带通信优势

窄带发送在频域上能量非常集中，具有很好的抗干扰特性，包括基于频谱扩展的信号干扰。



Sigfox 为极窄带通信，传输速率是 100Hz。当 M-FSK 的符号速率小到 100Hz 时，此时每个符号，信号在频域上占极小带宽，与 Sigfox 类似，能量非常集中。所以 M-FSK 具备 Sigfox 窄带通信传输能力。



NB-IoT 有多种上行传输方式，一种是 SC-FSSMA，功耗消耗比较大；另一种也类似 Sigfox，采用类似单频点发送，即窄带通信方式，但符号速率更快，为 3.5kHz，通过重复发送的方法达到远距离覆盖。重复发送的增益仅在完全相干时才能获得最大增益，而在单载波通信中，往往很难做到完全相干合并。所以 NB-IoT 在极致覆盖时性能是略差的，也必然导致功耗也较高。

4.3 支持可扩展的覆盖与速率

M-FSK 调制技术参数包括：传输频域总带宽 BW（不含保护带宽）、频点间隔 SCS（SubCarrier space）、信道编码速率 CR（Code Rate）。由频点间隔 SCS 和传输总带宽 BW 得到频域因子 $K = \log_2^{BW/SCS}$ ；为了保证频点间正交，符号时长至少为 $1/SCS$ 。

根据频域因子、信道编码速率、传输频域总带宽和符号时长确定频谱效率和比特速率，具体推导过程为：

频域因子：

$$K = \log_2^{BW/SCS} \Rightarrow BW = 2^k * SCS \quad (1)$$

比特速率：

$$DR = \frac{K}{1} * CR = K * SCS * CR \quad (2)$$

频谱效率:

$$\eta = \frac{DR}{BW} = \frac{K * SCS * CR}{2^k * SCS} = K/2^k * CR \quad (3)$$

根据与 LoRa 技术相比, Advanced M-FSK 的参数与 Lora 具有一一对应关系。LoRa 是采用一种特殊扩频方式, 而 Advanced M-FSK 采用类似与 5G 中 OFDM 的频点调制技术, 可以充分借鉴 5G 等相关先进接收机技术, 保证了较高的灵敏度。

表 1 Advanced M-FSK 与 LoRa 关键参数对比

	LoRa 技术	Advanced M-FSK 技术	备注
调制比特数	时域因子 SF	频域因子 K	
信号	CSS(Chirp-Spread-Spectrum)	1	Advanced M-FSK 可以灵活的支持相位调制
带宽	BW	SCS × 2 ^K	
载波间隔		SCS	对应 LoRa 的 1/BW
码片时长	1/BW		对应 Advanced M-FSK 的 SCS
符号时长	2 ^{SF} /BW	1/SCS	
比特速率	BW × SF / 2 ^{SF} * CR	K * SCS * CR	
频谱效率	SF / 2 ^{SF} * CR	K / 2 ^K * CR	

同样支持不同速率与覆盖, 支持各种 IoT 场景的应用。假设传输带宽以 120kHz 为例, 选择参数不同, 则速率也不同, 相应覆盖也不同。速率越小, 覆盖越远。

表 2 Advanced M-FSK 的 SCS 与速率关系

SCS	带宽	速率
15kHz	120kHz	45kbps
7.5kHz	120kHz	30kbps
3.75kHz	120kHz	18.75kbps
3.75/2kHz	120kHz	11.25kbps
3.75/8kHz	120kHz	3.75kbps

4.4 支持高速率传输

Advanced M-FSK 在保持低功耗特点的基础上具有 OFDM 的特点。所以具备

5G 技术特点：一是上一节所描述的频点间隔是 **scalable**，高速率时，频点间隔变大，如支持 $SCS=60kHz$ ；二是在每个符号发送频点上增加相位调制信息，如 **BPSK/QPSK/8PSK** 等，即保证了 $PAPR=0dB$ 的要求，也可以进一步提升频谱效率，增加传输速率。

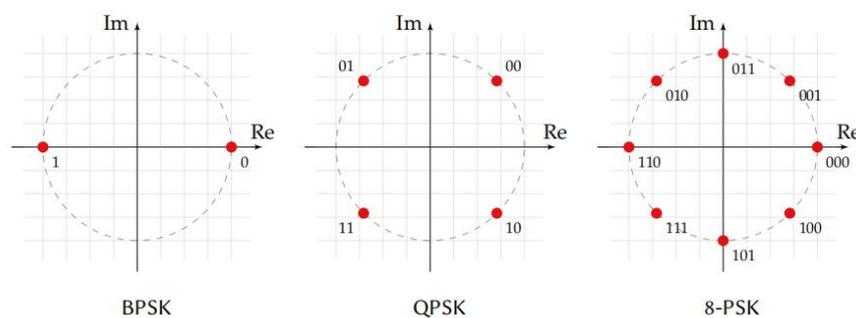
Advanced M-FSK 相比 LoRa 频域因子 K 具有更大的灵活性。Advanced M-FSK 与 5G 类似，为了提升速率，增大频点间隔 SCS ，即使频域因子 K 变小。

表 3 Advanced M-FSK 的 SCS 与速率关系

带宽	K	CR	SCS	速率
120kHz	2	1	30kHz	60kbps
120kHz	3	1	15kHz	45kbps

LoRa 的技术也是通过改变时域 SF 和带宽两个参数，选择合适的速率。如果带宽一定，选择 SF 越小，则速率越大，理论上选择 $SF=1$ ，则速率越高。但实际应用中，市场上并未出现支持 $SF=1$ 的产品，SF 至少要大于等于 6，实际上原因是 CSS 信号在 $SF=1$ 的情况下并不容易发送，即在短时间内发送完整的 CSS 信号很困难。而 Advanced M-FSK 对频域因子没有限制，所以 Advanced M-FSK 具有更好的扩展性。

Advanced M-FSK 相比 LoRa 具有相位调制功能。Advanced M-FSK 与 5G 类似，可以通过增加相位调制增加频谱效率。5G 是 QAM 调制，即在幅度和相位上同时调制信息；Advanced M-FSK 为了保证能量效率，只进行相位的调制。而 LoRa 是无法调制相位的，即如表 1 所示，LoRa 只能发送 CSS 信号，此信号并没有任何其他调制信息，所以无法额外发送比特。下图是相位调制示意图，8PSK 每个符号可以额外发送 3 比特。



下表示意不同带宽通过增加相位调制获得速率：

表 4 不同相位调制对速率的影响

带宽	K	CR	SCS	无相位速率	调制	相位调制速率
960kHz	4	1	60kHz	240kbps	32-PSK	540kbps
120kHz	1	1	60kHz	60kbps	32-PSK	360kbps
120kHz	2	1	30kHz	60kbps	32-PSK	210kbps
120kHz	2	1	30kHz	60kbps	8-PSK	150kbps
120kHz	3	1	15kHz	45kbps	BPSK	90kbps
120kHz	4	1	7.5kHz	30kbps	None	30kbps

从以上描述可以看出，Advanced M-FSK 相比 LoRa 具有更高的频谱效率，在带宽上更容易扩展，可以在相位上调制信息。使 Advanced M-FSK 相比 LoRa 在 sub 1GHz 有限带宽内能满足对数据量要求更高的应用场景。

版权及联系我们

本报告版权归属于厦门纵行科技信息有限公司，未经公司授权许可，任何人不得复制、修改、转载、摘编或以其它任何方式使用本报告的全部或部分内容。如果因应用及合作需要需引用本报告内容，请联系纵行科技相关工作人员。

纵行科技官网：<https://www.zifisense.com/>

联系电话：021-80198001

合作邮箱：info@zifisense.com

