

ICS 35.240  
CCS L 70

DB 14

山西 地方 标准

DB 14/T 3444—2025

---

物联网 超高频速率自适应技术指南

2025-05-07 发布

2025-08-07 实施

山西省市场监督管理局 发布

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 缩略语 .....	2
5 速率自适应技术流程 .....	2
6 构建速率映射关系 .....	3
7 激活自适应触发器 .....	3
8 预测有效节点速率 .....	4
9 选择系统最优速率 .....	5
参考文献 .....	6

## 前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山西省工业和信息化厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对本文件的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省物联网和人工智能标准化技术委员会（SXS/TC22）归口。

本文件起草单位：太原理工大学、清华大学、山西省安装集团股份有限公司。

本文件主要起草人：赵菊敏、李灯熬、白瑞琴、王利民、乔铁柱、刘云浩、王继良、李亚君、程杰、宋佳健、谭龙、张然、李小娜。

# 物联网 超高频速率自适应技术指南

## 1 范围

本文件给出了物联网环境下超高频速率自适应的技术流程，包括：构建速率映射关系、激活自适应触发器、预测有效节点速率、选择系统最优速率的技术指南。

本文件适用于物联网环境下超高频速率自适应技术在反向散射通信过程中的设计和使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 29261.3-2012 信息技术 自动识别和数据采集技术词汇 第3部分：射频识别

## 3 术语和定义

GB/T 29261.3-2012界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 超高频

电磁波频率在300MHz至3GHz之间的频段。

### 3.2 速率自适应

随环境变化自动调整通信设备数据传输速率的技术。

### 3.3 反向散射

数据载体将信号调制到读写器发射的载波上后，携带信号的载波反方向传播至读写器的过程。

### 3.4 反向散射标签

利用反向散射将数据传输到读写器的数据载体。

### 3.5 读写器

从反向散射标签获取数据和向反向散射标签写入数据的电子设备。  
[来源：GB/T 29261.3-2012, 05.04.02, 有修改]

### 3.6 有效节点

状态改变的反向散射标签。

注：由于周围产生干扰或反向散射标签发生移动等，可能导致的状态改变。

### 3.7 丢包率

数据传输过程中丢失的数据包数量与发送的数据包总数的比率。

3.8

**相位**

读写器接收到反向散射标签信号时，该信号在载波周期内的位置。

3.9

**触发器**

特定事件发生时自动执行单节点速率优化流程的机制。

3.10

**同相与正交域**

将信号分解为同相分量（实部）和正交分量（虚部）的复数平面。

3.11

**接收信号强度指示**

衡量读写器接收到的无线信号强度的指标。

**4 缩略语**

下列缩略语适用于本文件。

CGD：簇聚集度（Cluster Grouping Degree）

IQ域：同相与正交域（In-phase and Quadrature Domain）

RSSI：接收信号强度指示（Received Signal Strength Indication）

**5 速率自适应技术流程**

超高频反向散射通信过程中的速率自适应技术流程主要包括：

- a) 构建速率映射关系；
- b) 激活自适应触发器；
- c) 预测有效节点速率；
- d) 选择系统最优速率。

在构建速率映射关系阶段，首先判断通信设备是否为首次部署在目标环境。若为首次部署，则需要通过模拟干扰的方法构建实验数据集，以确定速率映射关系；否则直接进入下一阶段。在激活自适应触发器阶段，首先按簇依次计算 CGD 值并求其均值，然后判定 CGD 均值是否达到阈值。若达到阈值，则激活自适应触发器；否则重新计算 CGD 均值。在预测有效节点速率阶段，首先利用相位构建的高斯模型筛选有效节点，然后预测所有有效节点的速率。在选择系统最优速率阶段，首先计算不同速率模式的权重，然后使用加权法计算系统最优速率。速率自适应技术流程如图 1 所示。

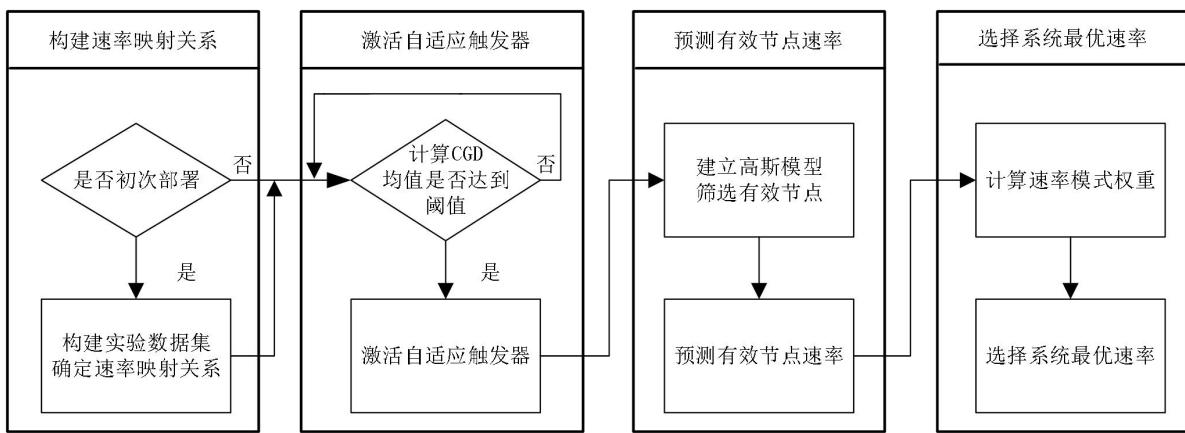


图 1 速率自适应技术流程

## 6 构建速率映射关系

当超高频反向散射通信系统首次部署在目标环境时：

- 根据系统实际情况确定可供选择的速率模式；
- 选择不少于 2 种速率模式并按照优先级排序（以 5 种速率模式为例，分别命名为 Mode0、Mode1、Mode2、Mode3、Mode4）；
- 使用控制变量法模拟常见的环境干扰（如标签移动、行人走动、金属遮挡、同频信号干扰等）；
- 依次切换速率模式以改变上行链路传输速率；
- 记录不同速率模式下读写器接收到的丢包率和 RSSI；
- 确定不同丢包率和 RSSI 下的最优速率模式；
- 根据丢包率、RSSI 和最优速率模式的对应关系构建如图 2 所示的速率映射关系。

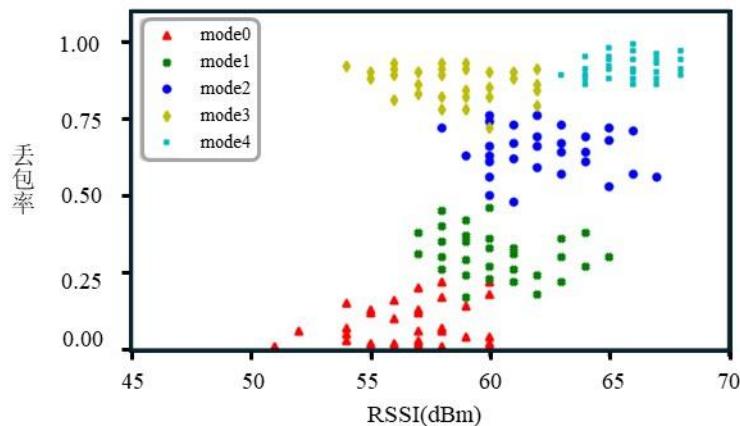


图 2 速率映射关系

## 7 激活自适应触发器

当  $\overline{CGD} \leq 0.7$  或  $\overline{CGD} \geq 0.85$  时，激活自适应触发器。 $\overline{CGD}$  计算方法如下：

- 将读写器连续接收到的  $n$  个信号转化为 IQ 域数据；

- b) 使用聚类算法将 IQ 域数据分为  $L$  个簇，确定其中一个簇的中心点为  $M$ ；
- c) 在 IQ 域上找出同一个簇中距离  $M$  点最远的点  $N$ ，设其距离为  $d$ ；
- d) 设置分级数  $D$ （一般取 3，可依据环境恶劣程度进行调整）；
- e) 以  $D = 3$  为例，以  $M$  为圆心、以  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$  为半径画圆，如图 3 所示。其中， $r_3 = d$ ， $r_1 = r_2 - r_1 = r_3 - r_2$ ；
- f) 使用公式（1）计算 CGD；

$$\begin{cases} X_i = (N_i - N_{i-1}) / \max(N_i) \\ \bar{X} = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D X_i \\ CGD = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D (X_i - \bar{X})^2 \end{cases} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

式中：

$N_i (i = 1, 2, \dots, D)$ ——在 IQ 域中半径为  $r_i$  的圆内包含的数据点个数， $N_0 = 0$ ；

$D$ ——分级数。

- g) 重复上述步骤计算所有簇的 CGD 值，计算其均值为  $\overline{CGD}$ 。

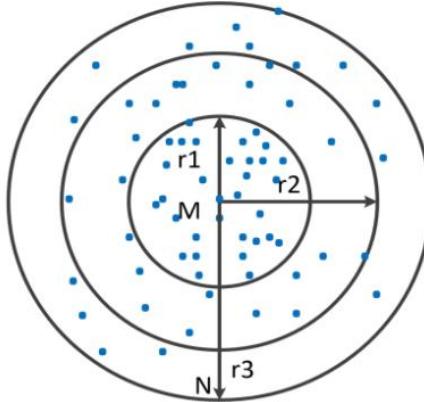


图 3 IQ 域数据分级

## 8 预测有效节点速率

### 8.1 有效节点的筛选

筛选方法如下：

- a) 读写器记录同一反向散射标签某个时间段内接收到的最新的  $n$  个相位值，分别记为  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\dots$ 、 $\theta_n$ ；
- b) 计算  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\dots$ 、 $\theta_n$  的均值为  $\mu_n$  和方差为  $\sigma_n$ ；
- c) 依据大数定理构建高斯模型  $n(\mu_n, \sigma_n)$ ；
- c) 令读写器接收到该反向散射标签的第  $n + 1$  个相位值为  $\theta_{n+1}$ ；
- d) 若  $|\theta_{n+1} - \mu_n| > \xi$  ( $\xi$  一般取 2，可依据环境恶劣程度进行调整)，则该反向散射标签为有效节点；
- e) 使用公式（2）更新高斯模型；

$$\begin{cases} \rho &= \frac{\alpha}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma_n^2}(\theta_{n+1} - \mu_n)^2} \\ \mu_{n+1} &= (1 - \rho)\mu_n + \rho\theta_{n+1} \\ \sigma_{n+1} &= \sqrt{(1 - \rho)\sigma_n^2 + \rho(\theta_{n+1} - \mu_{n+1})} \end{cases} \quad (2)$$

式中：

$\alpha$ ——学习速率。当节点有效时 $\alpha$ 的最佳值是 0.002，否则其值为 0.001；

$\mu_{n+1}$ ——更新后高斯模型的均值；

$\sigma_{n+1}$ ——更新后高斯模型的方差。

## 8.2 预测最优速率

当反向散射标签为有效节点时，预测最优速率模式，步骤如下：

- 实时接收每个有效节点的RSSI和丢包率；
- 为每个有效节点设计一个长短时记忆网络，预测下一阶段的RSSI和丢包率；
- 使用RSSI和丢包率的预测值和图2中的映射关系，预测出每个有效节点在下一阶段的最优速率模式。

## 9 选择系统最优速率

选择系统最优速率模式的步骤如下：

- 将速率模式按照优先级排序；
- 使用公式（3）计算第 $i$ 种速率模式的权重 $w_i$ ；

$$w_i = \frac{bitrate_i}{\sum_{i=1}^{sum} bitrate_i} \quad (3)$$

式中：

$w_i$ ——第 $i$ 种速率模式的权重；

$sum$ ——参与速率自适应的速率模式的类别数；

$bitrate_i$ ——第 $i$ 种速率模式的字节率；

- 使用公式（4）选择第 $k$ 种速率模式作为系统整体的最优速率模式；

$$k = \max_i (w_i M_i) \quad (4)$$

式中：

$k$ ——第 $k$ 种速率模式；

$M_i$ ——选择第 $i$ 种速率模式的节点个数；

$w_i$ ——第 $i$ 种速率模式的权重。

## 参 考 文 献

- [1] 李彦霞. 无源感知系统反向散射链路吞吐量优化机制研究[D]. 太原理工大学, 2019.
  - [2] 刘琪. 面向有效节点的反向散射网络速率自适应算法研究[D]. 太原理工大学, 2022.
  - [3] GONG W, LIU H, LIU J, et al. Channel Aware Rate Adaptation for Backscatter Networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2018, 26(2): 751-64.
  - [4] Pengyu Zhang; Jeremy Gummesson; Deepak Ganesan. BLINK: A High Throughput Link Layer for Backscatter Communication[A]. International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services[C], 2012.
-