ICS 33.050
CCS M 30

团　体　标　准

T/TAF 202.2—2025

信息通信设备通用参数测试方法 第2部分：无线部分

Testing methods for general parameters of information and communication equipment—Part 2: Wireless part

2025-02-10 发布　　2025-02-10 实施

电信终端产业协会　发布

目　　次

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。

本文件是T/TAF 202《信息通信设备通用参数测试方法》的第2部分，T/TAF 202已经发布了以下部分：

——第1部分：基础部分；

——第2部分：无线部分；

——第3部分：有线部分。

随着技术的发展，还将制定后续相关标准。

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。

本文件由电信终端产业协会提出并归口。

本文件起草单位：中国信息通信研究院、上海泰峰检测认证有限公司、武汉网锐检测科技有限公司、博鼎实华（北京）技术有限公司、西安通和电信设备检测有限公司、深圳信息通信研究院、北京通和实益电信科学技术研究所有限公司威尔克通信实验室、重庆信息通信研究院、成都泰瑞通信设备检测有限公司、中国电信股份有限公司广州艾特实验室。

本文件主要起草人：孟艾立、周开波、褚文华、吴京文、刘传利、宋祥烈、王轶哲、张子翼、黄秋钦、陈玺、龚志红、辜天植、陈龙泉、喻春、陶传武、张曦文、姚旺、陆聪伟、唐伟生、祖少华、李建伟、薄菁、彭程、张苒、古思勇、杨帆、丁明玲、王丽丽、李志祺、陶传武、施天翔、傅晓明、栾晏。

引　言

目前在无线信息通信设备质量监控中，存在频率范围、数字调制方式等通用参数缺少明确的测试方法，存在诸如上下行吞吐率、丢包率、传输时延等参数有测试方法但仅适用于某一种设备，不具备通用性，不能适应市场上的新产品检测需求。为此，需要制定无线信息通信设备通用参数的测试标准，以规范测试程序，更好地服务于无线信息通信设备的质量提升。

T/TAF 202《信息通信设备通用参数测试方法》拟由三个部分构成。

——第1部分：基础部分。目的在于规范信息通信设备中的外观、结构、配置、长度、重量等基础参数的测试方法，适用于所有信息通信设备。

——第2部分：无线部分。目的在于规范信息通信设备中的频率范围、数字调制方式、传输速率、传输时延、丢包率、无线信号传输距离等无线相关参数的测试方法，适用于具备无线收发功能的信息通信设备。

——第3部分：有线部分。目的在于规范信息通信设备中的光纤链路传输距离、数字调制方式、传输时延、长期误码性能等有线相关参数的测试方法，适用于有线通信设备。

上述三部分共同构成了信息通信设备通用参数测试方法标准体系。

对于已经有正式发布的国家标准、行业标准或团体标准的信息通信设备，其测试应首先依据已正式发布的针对该设备的标准。本文件测试方法可以作为有效补充。

信息通信设备通用参数测试方法　第2部分：无线部分

1　范围

本文件规定了发射频率范围、数字调制方式、传输速率、丢包率、传输时延、无线信号传输距离、无线自组网功能、跳频通信功能等无线通用参数的定义、测试条件和方法。

本文件适用于无线信息通信设备，其他设备的通用参数测试也可参考本文件。

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。

T/TAF 202.1—2025　信息通信设备通用参数测试方法 第1部分：基础部分

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

发射频率范围　tras frequency range

设备在正常工作状态时，发射信号实际可占用最低频率与最高频率之间的范围。

3.2

数字调制方式　digital modulation

利用数字信号控制载波信号的参量变化的调制方式，一般通过改变载波信号的幅度、相位或频率等参数，进而充当基带数字信号的载体。通常包括幅度键控（ASK）、频移键控（FSK）和相移键控（PSK）及正交幅度调制（QAM）等。

3.3

传输速率　transmission rate

指单位时间内的传输的数据量，常用比特每秒（bit/s，bits per second）衡量。传输速率通常可以通过以下公式计算：传输速率（bit/s）= 传输的数据量D/传输时间T。

3.4

丢包率　packet loss rate

测试中所丢失数据包数量占所发送数据包的比率。

3.5

传输时延 transmission delay

指结点在发送数据时使数据块从结点进入到传输媒体并传输到另一个结点所需的时间,即一个结点从开始发送数据帧到接收结点完成接收数据帧所需要的全部时间。

3.6

传输距离 transmission distance

指在通信或数据传输中，信号或数据能够在满足最低性能要求的情况下传输的最远距离。

3.7

无线自组网 wireless ad hoc network

指一组带有无线收发装置的移动设备组成的一个无中心、多跳、自组织的网络，是一种移动通信网络。

3.8

跳频通信 Frequency Hopping Spread Spectrum （FHSS）

指按照某种预设的规律，在多个频率之间快速切换并进行信息传输的通信方式。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ASK：幅度键控（amplitude shift keying）

CW：连续波信号（Continuous Wave）

FSK：频移键控（Frequency-shiftkeying）

PSK：相移键控（phase-shiftkeying）

QAM：正交幅度调制（Quadrature Amplitude Modulation）

5 测试条件

测试条件应满足测试仪表和被测设备的工作条件。

6 测试方法

6.1 发射频率范围

6.1.1 概述

发射频率范围是设备在正常工作状态时，发射信号实际可占用最低频率与最高频率之间的范围。

对于调制信号，以最低信道的99.9%功率占用带宽的频率下限作为最低频率，以最高信道的99.9%功率占用带宽的频率上限作为最高频率。

对于连续波信号，以设备所能发射的最低/最高频点作为最低/最高频率。

6.1.2 调制信号测试步骤

对于调制信号，测试步骤如下：

a) 设置被测设备在支持的最低信道上以指定功率发射信号，使用频谱仪的占用带宽测量功能，测量并记录 99.9%功率对应的最低频点 F_L；

b) 设置被测设备在支持的最高信道上以指定功率发射信号，使用频谱仪的占用带宽测量功能，测量并记录 99.9%功率对应的最高频点 F_H；

c) 如有需要，可多次重复测试取平均值$\overline{F_L}$、$\overline{F_H}$ 。

6.1.3 连续波信号（CW）测试步骤

对于连续波信号，测试步骤如下：

a) 设置被测设备在支持的最低频率上以指定功率发射信号，测量最高功率点对应的频率，记为最低频点 F_L；

b) 设置被测设备在支持的最高频率上以指定功率发射信号，测量最高功率点对应的频率，记为最高频点 F_H；

c) 如有需要，可多次重复测试取平均值$\overline{F_L}$ 、$\overline{F_H}$。

6.1.4 结果记录

频率范围即为F_L～F_H或$\overline{F_L}$ ～$\overline{F_H}$。

注：如有不同要求，应在测试结果中注明。

6.2 数字调制方式

6.2.1 概述

在通信领域中，数字信号调制主要用于将包含信息的数字信号转换为适合在传输介质上传输的模拟信号。这种转换是通过调制器实现的，调制器能够改变载波信号的某些参数（如幅度、频率或相位），以携带数字信息。

在数字信号调制中，不同的调制方法会有不同的性能表现，为了评估和比较这些性能，可以使用频谱分析仪、矢量信号分析仪等设备所展示的I/Q星座图进行分析验证。

实际的星座图可能会受到信道噪声、信号衰减、多径效应等因素的影响，导致星座点模糊或偏离理论位置。因此，在实际应用中，需要采取相应的措施来减少这些影响，提高通信系统的性能。

6.2.2 测试步骤

数字调制方式的测试步骤如下：

a) 将被测设备发射端口与矢量信号分析仪相连（见图 1），确保所用仪器设备能够支持所需的调制方式，并具备足够的精确度；

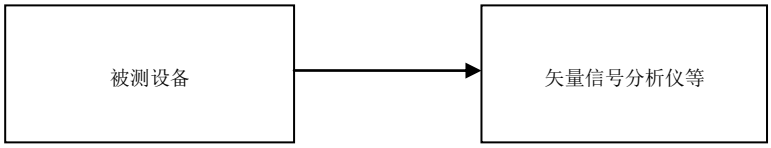


图1 数字调制方式测试连接示意图

b) 设置被测设备相关参数（如频率、幅度、相位等），以匹配要测试的调制方式，使其发射待测调制信号；

c) 使用信号分析仪等仪表对该信号进行分析；

d) 根据信号分析仪反馈的测试结果，如 I/Q 星座图等，记录被测设备所支持的信号调制方式。

6.2.3 结果记录

记录测试结果，必要时应对测试配置进行拍照/截图。

6.3 传输速率

6.3.1 上行传输速率

6.3.1.1 概述

宜在无线信道条件良好的环境(如测试所用无线信道无明显干扰或干扰在可接受范围内)进行测试，确保辅助测试的网络性能（如带宽、延迟、丢包率等）满足测试需求。测试设备的上行传输速率时，将被测设备作为发送端，辅助设备作为接收端建立数据链路。

6.3.1.2 测试连接示意图

无线设备传输速率的测试连接示意图见图2、图3、图4。

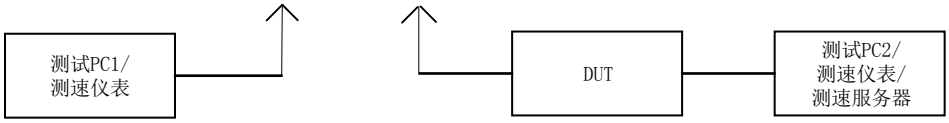


图 2 无线局域网设备测试连接示意图

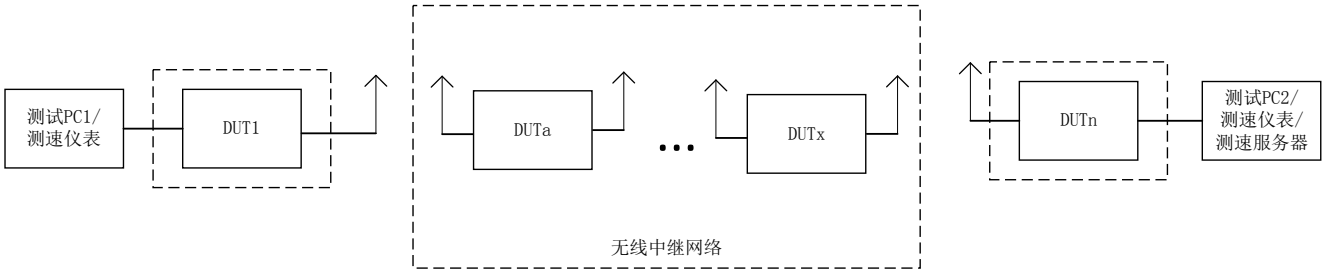


图 3 无线中继设备测试连接示意图

图 4 无线点对点设备测试连接示意图

6.3.1.3 测试步骤

上行传输速率的测试步骤如下：

a) 参考 6.3.1.2 节并结合设备实际情况搭建测试环境；
b) 使用测速仪表连接发送端和接收端，或者分别在发送端和接收端安装测量工具（如：iPerf、JMeter 等）；
c) 配置被测设备的工作频点（信道）、调制方式（如有）及其它参数；
d) 发送端与接收端建立数据业务链路，选择合适大小的数据包（可采用固定包或者混合包）、传输层或应用层协议以及测试时长，测试时长宜不低于 60s；
e) 使用测速仪表或测量工具从发送端通过已建立的数据链路发送数据包到接收端；
f) 统计在接收端收到数据包的大小和所用时间，按公式（1）计算被测设备的上行传输速率；对于能够直接显示传输速率的测试仪表或测量工具，直接读取上行传输速率；

$$V = \frac{D}{T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

式中：
V——传输速率的实际数值，单位为比特每秒（bit/s）；
D——接收数据包的大小，单位为比特（bit）；
T——接收时间，单位为秒（s）。
g) 应多次重复测试取平均值，建议重复不少于 5 次。

6.3.1.4 结果记录

记录测试结果和测试环境条件（包括无线信道条件、辅助网络环境等），必要时应对测试配置进行拍照/截图。

6.3.2 下行传输速率

6.3.2.1 概述

宜在无线信道条件良好的环境(如测试所用无线信道无明显干扰或干扰在可接受范围内)进行测试，确保辅助测试的网络性能（如带宽、延迟、丢包率等）满足测试需求。测试设备的下行传输速率时，将被测设备作为接收端，辅助设备作为发送端建立数据链路。

6.3.2.2 测试步骤

下行传输速率的测试步骤如下：
a) 参考 6.3.1.2 节并结合设备实际情况搭建测试环境；
b) 使用测速仪表连接发送端和接收端，或者分别在发送端和接收端安装测量工具（如：iPerf、JMeter 等）；
c) 配置被测设备的工作频点（信道）、调制方式（如有）及其它参数；
d) 发送端与接收端建立数据业务链路，选择合适大小的数据包（可采用固定包或者混合包）、传输层或应用层协议以及测试时长，测试时长宜不低于 60s；
e) 使用测速仪表或测量工具在接收端通过已建立的数据链路接收来自发送端的数据包；
f) 在接收端统计收到数据包的大小和所用时间，按公式（1）计算被测设备的下行传输速率；对于能够直接显示传输速率的测试仪表或测量工具，直接读取下行传输速率；
g) 应多次重复测试取平均值，建议重复不少于 5 次。

6.3.2.3 结果记录

记录测试结果和测试环境条件（包括无线信道条件、辅助网络环境等），必要时应对测试配置进行拍照/截图。

6.4 丢包率

6.4.1 概述

宜在无线信道条件良好的环境(如测试所用无线信道无明显干扰或干扰在可接受范围内)进行测试，确保辅助测试的网络性能（如带宽、延迟、丢包率等）满足测试需求。丢包率测试应明确无线传输测试距离以及测试环境条件。

6.4.2 测试步骤

丢包率测试步骤如下：

a) 根据实际测试需求，参考 6.3.1.2 节进行测试环境搭建；
b) 测试 PC 或测速服务器安装流量性能测试软件；
c) 配置被测设备的工作频点（信道）、调制方式（如有）及其它参数；
d) 配置测试 PC 的无线参数，确保与被测设备匹配，正式测试前先进行连通性测试，确保链路工作正常；
e) 对流量性能测试软件进行丢包率测试设置，根据测试需要，选择合适大小的数据包（可采用固定包或者混合包）、传输层或应用层协议以及测试时长，测试时长宜不低于 60s；
f) 通过流量性能测试软件读取丢包率测试结果；
g) 应多次重复测试取平均值，建议重复不少于 5 次。

6.4.3 结果记录

记录测试结果和测试环境条件（包括无线信道条件、辅助网络环境等），流量性能测试软件以及测试环境条件。

6.5 传输时延

6.5.1 概述

宜在无线信道条件良好的环境(如测试所用无线信道无明显干扰或干扰在可接受范围内)进行测试，确保辅助测试的网络性能（如带宽、延迟、丢包率等）满足测试需求。测试传输时延时，应确保被测设备处于正常工作状态并保持设备与测试电脑或仪表之间链路通畅。

6.5.2 测试步骤

6.5.2.1 ping 命令法测试步骤

使用 ping 命令进行传输时延测试适用于数据可以环回的场景，具体步骤如下：

a） 使被测设备处于正常工作状态；
b） 将被测设备与测试电脑或仪表通过网线连接，并确保二者位于同一网段；
c） 在命令行输入“ping 目标主机地址属性参数”得到往返行程时间；
d） 通过公示（2）计算获得传输时延；

$$t = t_i / 2 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

式中：

t ——无线网络传输时延，单位为毫秒（ms）；

t_i ——使用 ping 命令测得的往返时延，单位毫秒（ms）。

e）应多次重复测试取平均值，建议重复不少于 5 次。

注：步骤c)中的属性参数依据测试要求而定。

6.5.2.2 traceroute 命令法测试步骤

使用 traceroute 命令进行传输时延测试适用于数据可以环回的场景，具体步骤如下：

a） 使被测设备处于正常工作状态；

b） 将被测设备与测试电脑或仪表通过网线连接，并确保二者位于同一网段；

c） 在命令行输入“tracert 目标主机地址”得到传输时延；

d） 应多次重复测试取平均值，建议重复不少于 5 次。

6.5.2.3 网络监测分析工具测试步骤

使用网络监测分析工具进行传输时延测试适用于端到端的测试场景，具体步骤如下：

a） 使被测设备处于正常工作状态；

b） 根据测试工具说明安装网络监测分析工具；

c） 运行网络监测分析工具得到网络数据包；

d） 计算得到传输时延；

e） 应多次重复测试取平均值，建议重复不少于 5 次。

6.5.3 结果记录

记录测试结果、测试环境条件（包括无线信道条件、辅助网络环境等）、使用的测试仪表，必要时可截图或拍照记录。

6.6 无线信号传输距离

6.6.1 概述

两台设备在该距离下保持通信功能正常，通信速率（或其他参数）满足有关技术要求的规定。

宜在无线信道条件良好的环境(如测试所用无线信道无明显干扰或干扰在可接受范围内)进行测试，确保辅助测试的网络性能（如带宽、延迟、丢包率等）满足测试需求。

无线信号传输距离的测试应优先采用测距法，当受客观条件限制测距法难以实现时，可采用换算法进行替代。

6.6.2 测距法测试步骤

传输距离测试连接示意图见图5。

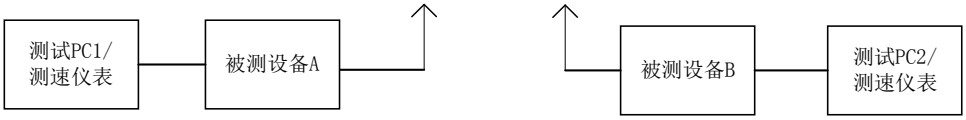


图5 传输距离测距法测试连接示意图

测距法测试步骤如下：

a) 按图 5 搭建测试平台；两台被测设备 A 和 B 在设定的视距下进行部署并开机，两台设备建立无线连接；
b) 测试 PC1 和测试 PC2 或测速仪表通过被测设备 A 和 B 建立数据连接；
c) 在两台测试 PC 或测速仪表间进行通信速率（或其他参数）测试；
d) 反向移动一台被测设备，逐步增加测试距离，当通信速率（或其他参数）低于设备技术要求规定时停止移动，再相向移动被测设备，当通信速率（或其他参数）达到设备技术要求规定时停止移动；
e) 使用测距工具（测距仪/北斗定位仪/导航测距软件等）依据 T/TAF 202.1-2025 中 5.6 节的方法，测试两台被测设备间的距离作为无线信号传输距离；
f) 如有需要，可多次重复测试取平均值。

6.6.3 换算法测试步骤

传输距离测试连接示意图见图6。

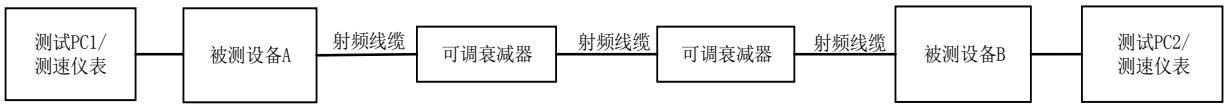


图6 传输距离换算法测试连接示意图

换算法测试步骤如下：

a) 按图 6 搭建测试平台，在两台被测无线设备间通过射频线连接，且在设备间连入 1～2 个可调衰减器（或具有衰减调节功能的设备），两台设备正常工作并建立连接后，增加衰减器的衰减值来等效设备间的传输距离；
b) 使用测试 PC 或测速仪表经被测设备 A 与被测设备 B 进行数据接收和发送，调节衰减器的值，保证被测设备通信速率（或其他参数）满足最低技术要求规定，记录此时的最大路径损耗 Lrmax；
c) 把步骤 b）获取的最大路径损耗和工作频率代入公式（3），计算出通信距离 D 的值作为无线信号传输距离；

$$D = 10^{(Lrmax-20lg(F)-32.4)/20} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

式中：

Lrmax——最大路径损耗，单位为分贝（dB）；
F ——工作中心频率，单位为兆赫兹（MHz）；
D ——传输距离，单位为千米（km）。

d) 如有需要，可多次重复测试取平均值。

6.6.4 结果记录

记录测试结果和测试环境条件（包括无线信道条件、辅助网络环境等），必要时应对测试环境进行拍照记录。

6.7 无线自组网功能

6.7.1 概述

无线设备不依赖于基站，相互间可以高效、快速地组成自组网络；支持点对点、点对多点、链状中

继、网状网络及混合动态网络拓扑等无中心同频自组网。 无线自组网拓扑图见图 7。

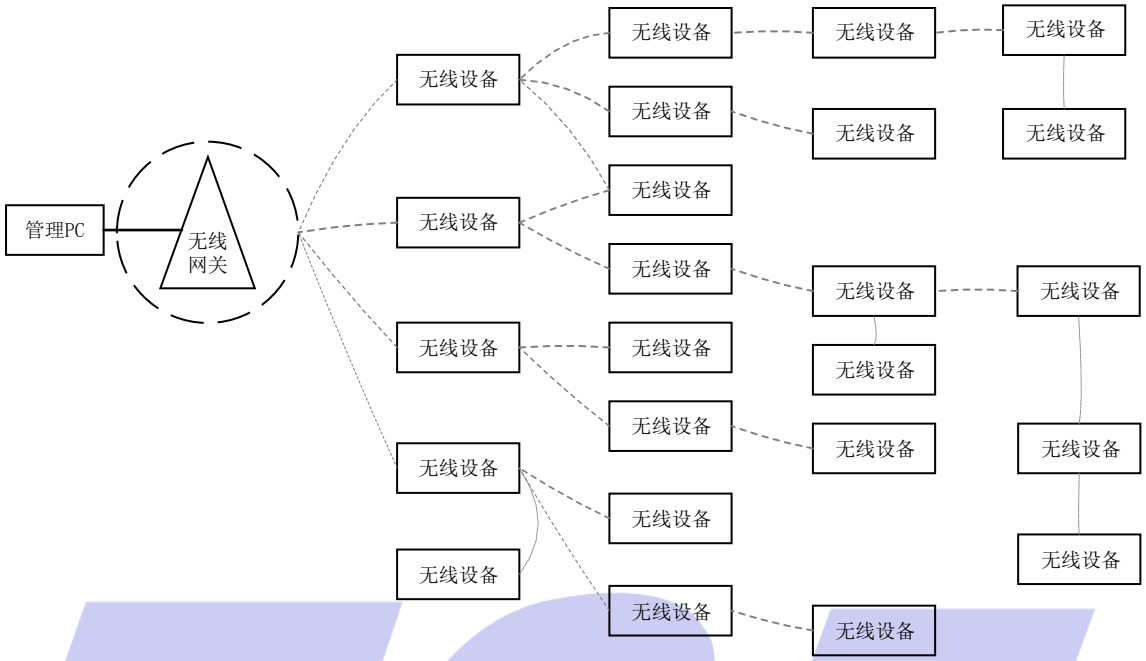


图 7　无线自组网拓扑示意图

6.7.2　测试步骤

无线自组网功能测试步骤如下：

a)　将多个无线设备和无线网关按组网需求进行组网环境搭建；

b)　将各个无线设备和无线网关开通电源，完成组网工作；

c)　通过 PC 控制端的管理软件与无线网关进行连接，获取无线设备的组网情况，必要时可通过 ping 包方式确认结点组网成功；

d)　根据测试需求移动或去除某个无线设备，等无线设备重新组网完成后，再次从控制端管理软件查看组网情况；

e)　重复步骤 d）的操作，直到需要测试的组网方式测试完成。

6.7.3　结果记录

记录无线设备支持的组网方式，必要时应对测试环境/组网链路进行拍照记录。

6.8　跳频通信功能

6.8.1　概述

通过一组伪随机码控制载波跳变的工作方式，实现通信双方使用相同的跳频码发生器，并使用非相干检测等方法实现收发双方跳频序列在时间上的同步。

6.8.2　测试步骤

跳频测试连接见图 8。

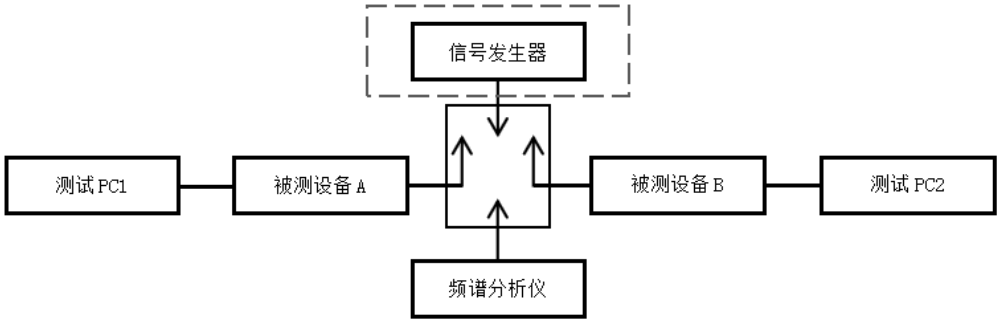


图8　跳频测试连接示意图

调频通信功能的测试步骤如下：

a) 搭建测试环境，在两台具有被动跳频功能的无线设备 A 和 B 间建立同频通信连接，并开启通信业务传输（如 ping 包业务）；
b) 使用频谱分析仪观察无线设备间当前的工作频率，记录频率值；
c) 使用信号发生器或其他被测无线设备发送同频的干扰信号,干扰两台无线设备间的通信传输；
d) 观察两台无线设备间的通信传输业务是否有短暂中断和重传；
e) 从频谱分析仪查看两台无线设备间的工作频点是否改变为新的频率，如有则记录该频率值；
f) 对具有主动跳频模式的无线设备，设置自动跳频时间和频点，使用频谱仪查看无线设备跳频前/后的工作频点。

6.8.3　结果记录

记录两台无线设备间两次测试的通信频率和通信业务传输情况。两次通信频率不同，通信业务正常则跳频成功，否则为失败。

附 录 A
（资料性）
测量不确定度评估示例

本附录给出了几种项目的不确定度评估示例，仅供参考。实际评估时请结合具体使用设备、现场条件等因素进行评估。

A.1 发射频率范围测量

A.1.1 测量方法

该项以连续波信号（CW）测量为例，将被测设备通过射频线缆、衰减器连接至频谱分析仪，从而测得被测设备的工作频率最低值和最高值。本次测量中所用被测设备为无线局域网/蓝牙模块，测试用仪表为 R&S FSVA3044 频谱分析仪。

A.1.2 测量模型

$$F = F_0 + \delta F_S + \delta F_T \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

F_0 ——实际测得的频率值；

δF_S ——测试仪表自身精度引入的修正值；

δF_T ——环境温度变化引入的修正值。

A.1.3 不确定度来源

由测量模型可知，不确定度来源主要包括：

a） 实际测量频率值 F_0 引入的不确定度分量 $u(F_0)$；

b） 测试仪表精度引入的不确定度分量 $u(\delta F_S)$；

c） 环境温度引入的不确定度分量 $u(\delta F_T)$。

A.1.4 标准不确定度评定

A.1.4.1 实际测量频率值 F_0 引入的不确定度分量 $u(F_0)$

该项不确定分量的评估要求在重复性条件下，将同一被测设备进行10次独立测量，测得值见表A.1。

表A.1 工作频率测量结果记录表

测试次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
工作频率 MHz	5180.009899	5180.009899	5180.009949	5180.009899	5180.009899	5180.009949	5180.009949	5180.009949	5180.009949	5180.009949

算术平均值：

$$\bar{F} = 5180.009929\text{MHz} \quad \cdots\cdots (5)$$

实验标准差：

$$s(F) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x)^2}{n-1}} = 0.00002582\text{MHz} = 25.82\text{Hz} \quad \cdots\cdots (6)$$

由于被测设备和测量仪表都比较稳定，在实际应用中通常以单次测量值作为最终的测量结果，所以在不确定度评估时采用单次测量的实验标准差来表示标准不确定度，即：

标准不确定度：

$$u(F_0) = s(F) = 25.82\text{Hz} \quad \cdots\cdots(7)$$

A.1.4.2 测试仪表精度引入的不确定度分量 $u(\delta F_S)$

本次测试所用仪表为R&S FSVA3044，查该仪表的技术手册，相关信息见表A.2和表A.3。

表A.2 FSVA3044频率读数信息

Version 13.00, February 2024

Frequency readout		
Marker resolution		1 Hz
Uncertainty		±(marker frequency × reference accuracy + 10 % × resolution bandwidth + ½ (span / (sweep points –1)) + 1 Hz)
Number of sweep (trace) points	default value	1001
	range	101 to 100001
	range with active EMI measurements (requires R&S®FSV3-K54)	101 to 200001
Marker tuning frequency step size	marker step size = sweep points	span / (sweep points – 1)
	marker step size = standard	span / (default sweep points – 1)
Frequency counter resolution		0.001 Hz
Count accuracy		±(frequency × reference accuracy + ½ (last digit))
Display range for frequency axis		0 Hz to max. frequency
Resolution		0.1 Hz

表A.3 FSVA3044频率准确度信息

Reference frequency, internal		
Accuracy		(time since last adjustment × aging rate) + temperature drift + calibration accuracy
Aging per year	standard	1×10^{-6}
	with R&S®FSV3-B4 OCXO reference frequency option	1×10^{-7}
Temperature drift (0 °C to +50 °C)	standard	1×10^{-6}
	with R&S®FSV3-B4 OCXO reference frequency option	1×10^{-8}
Achievable initial calibration accuracy	standard	5×10^{-7}
	with R&S®FSV3-B4 OCXO reference frequency option	5×10^{-8}

所用仪表具备 FSV3-B4选件，从上述信息可以得出：$u(\delta F_S)$ = marker frequency × reference accuracy+10%×resolution bandwidth+½(span /(sweep points -1))+1 Hz = 5180MHz×5×10^{-8} + 10%×1kHz + 500kHz/10000/2 +1Hz = 385Hz

$\cdots\cdots(8)$

A.1.4.3 环境温度引入的不确定度分量 $u(\delta F_T)$

在测试期间，实验室可控温度范围为1℃，根据ETSI TR 100 028 表F.1可得：

——均值0.02ppm/℃(d)(r)

——标准差0.01ppm/℃(d)(r)

被测设备为无线局域网/蓝牙模块，发射频率为F=5180MHz，则：

$$u(\delta F_T) = \frac{1℃ \times \sqrt{(0.02\text{ppm} \times F/℃)^2 + (0.01\text{ppm} \times F/℃)^2}}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{1℃ \times \sqrt{(0.02ppm \times 5180 \times 10^6 Hz/℃)^2 + (0.01ppm \times 5180 \times 10^6 Hz/℃)^2}}{\sqrt{3}}$$

=66.87Hz

……(9)

A.1.5 标准不确定度的合成

A.1.5.1 标准不确定度分量汇总

各标准不确定度分量汇总见表A.4。

表A.4 发射频率范围不确定分量汇总表

序 号	不确定度来源	u_i/ Hz	分布类型
1	实际测量频率值	$u(F_0)$ = 25.82Hz	正态
2	测试仪表精度	$u(\delta F_S)$ = 385Hz	均匀
3	环境温度	$u(\delta F_T)$ = 66.87Hz	均匀

A.1.5.2 合成标准不确定度

合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u(F_0)^2 + u(\delta F_S)^2 + u(\delta F_T)^2} = 391.62Hz \quad \cdots\cdots(10)$$

A.1.6 扩展不确定度

取包含因子k=2，则：

$$U = k \times u_c = 783.2Hz \approx 0.78kHz \quad \cdots\cdots(11)$$

A.2 传输速率测量

A.2.1 测量方法

传输速率的测量主要是用来衡量无线通信设备在设定的网络环境（如带宽、延迟、丢包率等）中的传输性能。测试方法为将测量工具或软件（如：iPerf、JMeter 等）安装在发送端和接收端，并在两者间建立数据链路业务。

当被测设备作为发送端，辅助设备作为接收端，测试得到被测设备的上行传输速率。

当辅助设备作为发送端，被测设备作为接收端，测试得到被测设备的下行传输速率。

A.2.2 测量模型

以无线通信设备的下行传输速率测量为例，下行速率测量的模型为：

$$V = \frac{D}{T} \quad \cdots\cdots(12)$$

式中：

V——下行传输速率的实际数值，单位为比特每秒（bit/s）；

D——接收数据包的大小，单位为比特（bit）；

T——接收时间，单位为秒（s）。

A.2.3 不确定度来源

不确定度来源主要包括：

a） 测量重复性引入的不确定度分量(u_1)；

b） 传输速率测量软件分辨力引入的不确定度分量（u_2）。

A.2.4 标准不确定度评定

A.2.4.1 测量重复性引入的不确定度分量(u_1)

假设有n个测量值，V_i为第i个测量值，$\bar{V}$为测量平均值，多次测量的实验标准方差

$$V(V_k)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(V_i-\bar{V})^2}{n-1}} \quad \cdots\cdots(13)$$

在重复性条件下，使用测量工具对同一样品进行10次独立测量，测量值见表A.5。

表 A.5 传输速率测量结果记录表

测试次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
下行传输速率 Mbit/s	27.79	23.85	16.91	26.51	27.12	22.10	24.21	19.56	23.07	21.27

进而求得算数平均值和单次测量的实验标准方差：

$$\bar{V}=23.239\text{Mbit/s} \quad \cdots\cdots(14)$$

$$s(V)=3.441\text{Mbit/s} \quad \cdots\cdots(15)$$

由于被测设备、辅助设备和测量工具都比较稳定，在实际应用中通常以单次测量值作为最终测量结果，因此在不确定度评估时采用单次测量的实验标准方差来表示标准不确定度，测量值重复性引入的标准不确定度分量$(u_1)=3.441\text{Mbit/s}$

A.2.4.2 传输速率测量软件分辨力引入的不确定度分量(u_2)

传输速率测量软件的测量分辨力为 0.001Mbit/s，半宽度为 0.0005Mbit/s，按均匀分布，$k_2=\sqrt{3}$，则：

$$u_2=\frac{0.0005}{\sqrt{3}}=0.00029\text{Mbit/s} \quad \cdots\cdots(16)$$

A.2.5 标准不确定度的合成

A.2.5.1 标准不确定度分量汇总

各标准不确定度分量汇总见表A.6。

表A.6 传输速率标准不确定度分量汇总表

序 号	不确定度来源	u_i/ Mbit/s	分布类型
1	测量重复性	u_1=3.441Mbit/s	正态
2	传输速率测量软件分辨力	u_2=0.00029Mbit/s	均匀

A.2.5.2 合成标准不确定度

合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 3.441\text{Mbit/s} \quad \cdots\cdots (17)$$

A.2.6 扩展不确定度

取包含因子k=2，则：

$$U = k \times u_c = 6.9\text{Mbit/s} \quad \cdots\cdots (18)$$

A.3 以太网传输时延测量

A.3.1 测量方法

该项以使用 ping 命令法测量无线网络传输时延为例，被测对象为 5G 移动通信基站。

A.3.2 测量模型

传输时延由无线终端使用 Ping 命令法测量，Ping 命令测量的传输时延测量模型如下：

$$t = t_i / 2 \quad \cdots\cdots (19)$$

式中：

t ——无线网络传输时延，单位为毫秒（ms）；

t_i ——使用 ping 命令测得的往返时延，单位毫秒（ms）。

A.3.3 不确定度来源

不确定度来源主要包括：

a) Ping 命令分辨力引入的不确定度分量（u_1）；

b) 测量重复性引入的不确定度分量（u_2）。

A.3.4 标准不确定度评定

A.3.4.1 Ping 命令分辨力引入的不确定度分量

Ping 得到的时延的分辨力为 0.001ms，由此引入的不确定度分量为 u_1，假定服从均匀分布，包含因子 k =$\sqrt{3}$，故有

$$u_1 = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 0.0003\text{ms} \quad \cdots\cdots (20)$$

A.3.4.2 测量重复性引入的不确定度分量

在重复性条件下，使用 Ping 命令对同一样品进行 3 次独立测量，测量值见表 A.7。

表 A.7 以太网传输时延测量结果记录表

x_i	测量值/ms
x_1	24.189
x_2	18.291
x_3	21.237

进而求得测量重复性引入的不确定度分量：

$$u_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n(n-1)}} \approx 1.7026\text{ms} \quad \cdots\cdots(21)$$

A.3.5 标准不确定度的合成

A.3.5.1 标准不确定度分量汇总

各标准不确定度分量汇总见表A.8。

表 A.8　以太网传输时延标准不确定度分量汇总表

序 号	不确定度来源	u_i/ms	分布类型
1	Ping 命令分辨力	0.0003	均匀
2	测量重复性	1.7026	正态

A.3.5.2 合成标准不确定度

合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{{u_1}^2 + {u_2}^2} = 1.7026\text{ms} \quad \cdots\cdots(22)$$

A.3.6 扩展不确定度

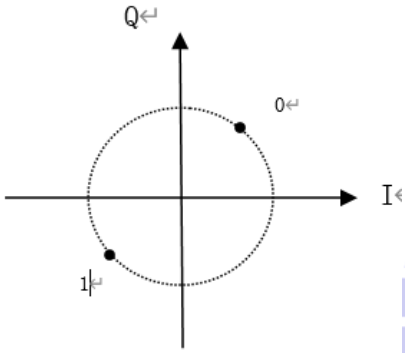
取包含因子 k=2，则：

$$U = k \times u_c = 3.4\text{ms} \quad \cdots\cdots(23)$$

附 录 B
（资料性）
数字调制方式星座图

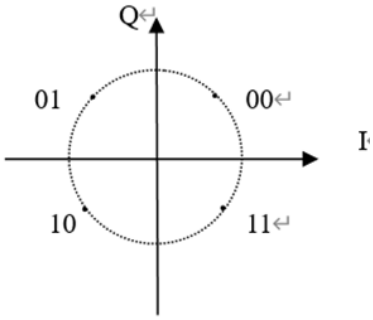
本附录给出了几种调制方式的星座图示例，仅供参考。实际测试时请结合具体设备特性、测试仪表等因素进行评估。

BPSK（Binary Phase Shift Keying）：即二进制相移键控，其中二进制数据通过改变载波信号的相位来进行编码，是最简单的相位调制方式。它定义了2种相位来表示二进制数据，在星座图上，BPSK只有两个点，通常位于实轴的正负两个方向，分别代表0和1。由于BPSK只涉及相位的变化而不涉及幅度的变化，因此在星座图上，这两个点位于同一个圆上，具有相同的幅度但相位相差180度。因此BPSK可以在每个载波上调制1比特的信息。BPSK数字调制方式星座图见图B.1。



图B.1 BPSK数字调制方式星座图

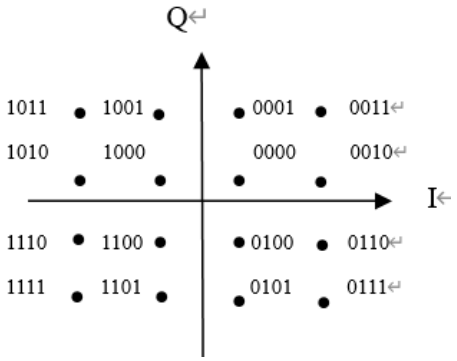
QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）：即四相相移键控，其中二进制数据通过改变载波信号的相位来进行编码。在QPSK中，通常有四个相位用于表示二进制数据使用四个相位来表示二进制数据。在星座图上，QPSK有四个点，它们均匀地分布在单位圆上，每个点代表两个不同的二进制组合（例如00, 01, 10, 11）是四相相移键控。具体来说，这四个点通常位于复平面的四个象限中，每个象限一个点。每个点的实部和虚部坐标都代表了特定的相位和幅度信息。由于有四个可能的相位状态，因此每个符号可以携带2比特的信息。QPSK数字调制方式星座图见图B.2。



图B.2 QPSK数字调制方式星座图

QAM（Quadrature Amplitude Modulation）：即正交振幅调制，它同时利用信号的幅度和相位来传输信息。QAM 星座图展示了 QAM 调制中不同幅度和相位组合所对应的点。是一种结合了幅度和相位调制

的调制方式。QAM 星座图上的每个点代表一个特定的幅度和相位组合，这些点通常在一个二维平面上均匀分布。例如，在 16-QAM 中，星座图上有 16 个点，每个点代表 4 位二进制数据（2 的 4 次方等于 16）。这些点通常排列成一个 4x4 的矩形网格。同样地，64-QAM 和 256-QAM 等更高阶的 QAM 方式会有更多的点，并且网格结构可能更加复杂。16QAM 数字调制方式星座图见图 B.3。



图B.3　16QAM数字调制方式星座图

电信终端产业协会团体标准

信息通信设备通用参数测试方法　第 2 部分：无线部分

T/TAF 202.2—2025

*

电信终端产业协会印发
地址：北京市西城区新街口外大街 28 号
电话：010-82052809
电子版发行网址：www.taf.org.cn