

COG

电磁频谱空间认知动态系统工业和信息化部重点实验室标准

COG 00001-2020

无线信道模拟设备测试方法

Test method for wireless channel emulator

2020-11-24 发布

2020-11-24 实施

南京航空航天大学
电磁频谱空间认知动态系统工业和信息化部重点实验室

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、符号和缩略词.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.1.1 无线信道模拟设备	1
3.1.2 频率范围.....	1
3.1.3 模拟带宽.....	1
3.1.4 多径数目.....	1
3.1.5 路径时延.....	1
3.1.6 路径损耗.....	1
3.1.7 多普勒频率.....	1
3.1.8 衰落失真度.....	1
3.1.9 衰落深度.....	2
3.1.10 衰落相关性.....	2
3.1.11 信道噪声.....	2
3.1.12 信噪比.....	2
3.2 符号.....	2
3.3 缩略语.....	3
4 基本要求.....	3
4.1 测试条件.....	3
4.1.1 测试环境及场地.....	3
4.1.2 预处理.....	3
4.1.3 默认允差.....	3
4.2 测试装置和仪器.....	3
4.2.1 示波器.....	3
4.2.2 矢量网络分析仪.....	4
4.2.3 频谱分析仪.....	4
5 测试项目和测试方法.....	4
5.1 性能指标测试.....	4
5.1.1 频率范围和带宽.....	4
5.1.2 多径数目.....	5
5.1.3 路径时延.....	5
5.1.4 路径损耗.....	6
5.1.5 多普勒频率.....	7
5.1.6 衰落失真度.....	8
5.1.7 衰落深度.....	8
5.1.8 衰落相关性.....	9
5.1.9 信道噪声.....	9
5.2 功能指标测试.....	10
5.2.1 信道衰落类型.....	10

5.2.2 多普勒谱形状.....	11
5.2.3 动态场景模拟.....	11
附录 A (资料性附录) 测试记录表格.....	13
附录 B (资料性附录) 测试示例图.....	16

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

本标准由电磁频谱空间认知动态系统工业和信息化部重点实验室提出并归口。

本标准起草单位：南京航空航天大学。

本标准主要起草人：朱秋明、吴启晖、毛开、仲伟志、陈小敏。

无线信道模拟设备测试方法

1 范围

本标准规定了无线信道模拟设备的测试方法，适用于单通道、独立多通道和 MIMO 等无线信道模拟设备的功能及性能指标符合性测试，不适用于无线信道软件仿真器和录波回放类等无线信道模拟设备的性能指标符合性测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本使用于本文件。凡是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。

JJF1286-2011 无线信道模拟器校正规范

3 术语和定义、符号和缩略词

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1 无线信道模拟设备

模拟真实无线电磁传播环境且具备射频输入输出的硬件设备，又称作 RF 信道模拟设备。

3.1.2 频率范围

无线信道模拟设备输出信号中心频率能够覆盖的范围。

3.1.3 模拟带宽

无线信道模拟设备输出信号的 3 dB 带宽。

3.1.4 多径数目

无线信道模拟设备能够模拟的传播路径的数目。

3.1.5 路径时延

无线信道模拟设备能够模拟的不同传播路径相对于参考径的时延值。

3.1.6 路径损耗

无线射频信号从发射端经过某个路径到达接收端所引入的信号衰减。

[JJF1286-2011，术语和定义]

3.1.7 多普勒频率

收发端相对运动引起的信号中心频率变化值。

3.1.8 衰落失真度

衡量无线信道模拟设备输出信道衰落的实测 PDF 和理论 PDF 之间的误差，可定义为

$$E_{p_r} = \frac{\sqrt{\int_0^{\infty} |p_r(r) - \hat{p}_r(r)|^2 dr}}{\sqrt{\int_0^{\infty} |p_r(r)|^2 dr}} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

E_{p_r} ——衰落失真度；

$p_r(r)$ ——实测输出衰落 PDF;

$\hat{p}_r(r)$ ——理论 PDF;

r ——输出信道衰落的模值。

3.1.9 衰落深度

无线信道模拟设备输出衰落波形的电平增益均值 P_0 (即自由空间电平增益), 减去 $T\%$ 时间超过的电平增益 $P(T)$

$$F_d(T) = P_0 - P(T) \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$F_d(T)$ ——衰落深度;

P_0 ——输出衰落波形的电平增益均值;

$P(T)$ —— $T\%$ 时间超过的电平增益;

T ——推荐值为 99.74。

3.1.10 衰落相关性

$$R_{r_1 r_2} = \frac{\lim_{K \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^K \tilde{r}_1(k) \tilde{r}_2(k)}{\sqrt{\lim_{K \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^K \|\tilde{r}_1(k)\|^2 \lim_{K \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^K \|r_2(k)\|^2}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$R_{r_1 r_2}$ ——衰落相关性;

r_1 ——无线信道模拟设备通道 1 输出的复衰落;

r_2 ——无线信道模拟设备通道 2 输出的复衰落;

k ——表示离散时间序号;

K ——推荐值为 $10/f_d$ 。

3.1.11 信道噪声

无线信道模拟设备模拟输出的噪声。

3.1.12 信噪比

无线信道模拟设备输出信号功率和输出噪声功率的比值。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

f_c ——载波中心频率;

τ ——路径时延;

P_L ——路径损耗;

f_d ——多普勒频率;

r ——信道衰落的模值;

SNR ——信噪比。

3.3 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ACPR——邻信道功率比 (Adjacent Channel Power Ratio);

CDF——累积分布函数 (Cumulative Distribution Function);

CIR——冲激响应 (Channel Impulse Response);

DEE——动态场景模拟 (Dynamic Environment Emulation);

DPSD——多普勒功率谱密度 (Doppler Power Spectrum Density);

DUT——被测设备 (Device under Test);

MIMO——多输入多输出 (Multiple Input Multiple Output);

PDF——概率密度函数 (Probability Density Function);

RF——射频 (Radio Frequency)。

4 基本要求

4.1 测试条件

4.1.1 测试环境及场地

测试应在 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度小于 80% 的环境及场地下进行。

4.1.2 预处理

测试前应将 DUT 在测试环境中放置 24 h。

4.1.3 默认允差

多径数目允许误差：不得出现误差；

路径损耗允许误差： ± 0.5 dB；

路径损耗分辨率允许误差： $\pm (5\% \times \text{分辨率预设指标})$ ；

路径时延允许误差： $\pm (5 \text{ ns} + 1\% \times \text{路径延时预设值})$ ；

时延分辨率允许误差： $\pm (5\% \times \text{分辨率预设指标})$ ；

多普勒频率允许误差： $\pm (1 \text{ Hz} + 0.5\% \times \text{多普勒频率预设值})$ ；

多普勒频率分辨率允许误差： $\pm (5\% \times \text{分辨率预设指标})$ ；

衰落分布最大失真度允许误差： $\pm 5\%$

信噪比允许误差： $\pm (0.1 \text{ dB} + 1\% \times \text{信噪比预设值})$

除另有规定外，其他测试设备特性和测试过程产生的量值允差为 $\pm 5\%$ 。

4.2 测试装置和仪器

4.2.1 示波器

频率范围：40 MHz~6 GHz

采样率：不低于 5 GSa/s

工作带宽 B：不低于 500 MHz

其他功能：具备双通道、支持余晖模式、Save 或 Storage 功能

4.2.2 矢量网络分析仪

频率范围：40 MHz~6 GHz

方向性：>40 dB

相位测量最大允许误差(相位<20°)：±0.2

其他功能：支持 FORMAT 相位或时延测试功能、CIR 测试功能

4.2.3 频谱分析仪

频率范围：40 MHz~6 GHz

电平测量范围：-120 dBm~0 dBm

其他功能：最大保持功能（max hold）、Marker Function 功能、3 dB 带宽测试功能、Peak Search 功能、支持瀑布图（spectrogram）测试功能、3dB 带宽测试功能、ACPR 功能

4.2.4 信号发生器

频率范围：40 MHz~6 GHz

电平范围：-120 dBm~0 dBm

电平最大允许误差：±0.9 dB

其他功能：支持单音信号、扫频信号、窄脉冲信号发生功能

5 测试项目和测试方法

5.1 性能指标测试

5.1.1 频率范围和带宽

5.1.1.1 测试目的

验证无线信道模拟设备射频输出的信道频率范围和模拟带宽是否满足预期的指标要求。

5.1.1.2 测试步骤

采用图 1 所示装置连接关系测试信道模拟带宽，测试步骤如下：

- a) 根据测试连接图连接好测试装置，启动无线信道模拟设备热机 5 min；
- b) 根据频率范围指标设置信号发生器中心频率为待测频点值 f_c ，根据需要测试的信道模拟带宽值设置输出适当带宽的扫频信号；
- c) 被测无线信道模拟设备中心频率设为 f_c ，开启某通道一条路径，时延、路径损耗和多普勒频率等均设为 0（无多普勒频率参数可等效将运动速度参数设为 0），衰落类型选用常量信道或纯多普勒信道，运行信道模拟器；
- d) 设置频谱分析仪中心频率为 f_c ，扫描带宽设为扫频信号带宽的 2 倍，适当设置参考电平、垂直分辨率和分辨率带宽等，打开频谱仪的最大保持（max hold）功能，待信号稳定后，读取信号中心频点值，打开频谱分析仪标记(marker)功能，选择 Marker Function，打开 N dB Points，输入-3dB，便可在频谱仪上获得两个箭头之间的 3dB 带宽读数。
- e) 多通道无线信道模拟设备可启用不同通道重复步骤 b)–d)，测量不同通道的信道模

拟带宽。

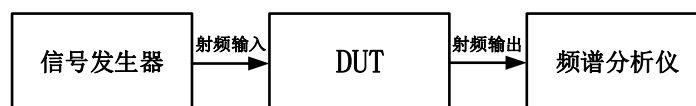


图 1 测试连接图

5.1.1.3 测试记录

将不同通道的信道模拟带宽预期指标、测试值及误差值记录在附录 A 的信道模拟带宽测试记录表格中。

5.1.2 多径数目

5.1.2.1 测试目的

验证无线信道模拟设备输出信道多径数目是否满足设定值。

5.1.2.2 测试步骤

采用图 2 所示装置连接关系测试信道多径数目，测试步骤如下：

- a) 根据测试连接图连接好测试装置，启动无线信道模拟设备热机 5 min；
- b) 被测无线信道模拟设备中心频率设为 f_c ，根据多径数目测试需求开启某通道 N 条路径，各条路径时延值依次设为不同值（要求相邻路径时延差值大于示波器可分辨时延值 $1/B$ ），其他路径参数保持初始默认值，运行信道模拟器；
- c) 设置信号发生器中心频率为 f_c （需满足 $2f_c$ 不大于示波器工作带宽），配置输出信号为脉冲信号，脉冲周期需大于步骤 b) 设置的最大路径时延；
- d) 将示波器窗口时间横轴缩放至合适大小保证能同时显示所有信道多径，读取多径数目；
- e) 多通道无线信道模拟设备可启用不同通道重复步骤 b)–d)，获取不同通道的信道多径数目。

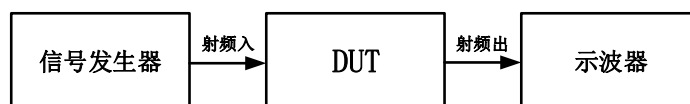


图 2 测试连接图

5.1.2.3 测试记录

将不同通道的信道多径数目预设值、测试值及误差值记录在附录 A 的信道多径数目测试记录表格中。

5.1.3 路径时延

5.1.3.1 测试目的

验证无线信道模拟设备输出信道的路径时延值是否满足预设值以及时延分辨率是否满足指标需求。

5.1.3.2 测试步骤

采用图 3 所示装置连接关系测试高精度路径时延，测试步骤如下：

- a) 设置矢量网络分析仪中心频率为 f_c ，启用连续波工作模式 (CW)，配置输出信号为扫宽为 0 的单频点信号，测量前进行直连校准，校准后打开 FORMAT 中的时延测试功能；
- b) 根据测试连接图连接好测试装置，启动无线信道模拟设备热机 5 min；
- c) 被测无线信道模拟设备中心频率设为 f_c ，开启某通道 1 条路径，先将该路径时延值设为 0，且将多普勒频率参数设为 0（无多普勒频率参数可等效将运动速度参数设为 0），其他路径参数保持初始默认值，运行信道模拟设备；
- d) 读取矢量网络分析仪的当前基准时延值为 τ_0 ，重新设置信道模拟器路径时延值（若要测量时延分辨率，将时延值设为分辨率值即可），读取矢量网络分析仪的时延值为 τ_1 ，可获取路径时延值为

$$\tau = \tau_1 - \tau_0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- τ ——待测路径时延值；
- τ_0 ——第一次测得的基准时延值；
- τ_1 ——第二次测得的时延值

- e) 多通道无线信道模拟设备可启用不同通道重复步骤 b) – d)，获取不同通道的路径时延值或时延分辨率。

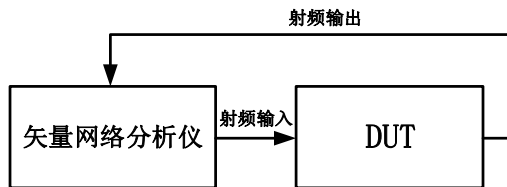


图 3 测试连接图

5.1.3.3 测试记录

将不同通道的路径时延预设值、测试值及误差值和时延分辨率指标值、测试值及误差值分别记录在附录 A 的高精度路径时延测试记录表格中。

5.1.4 路径损耗

5.1.4.1 测试目的

验证无线信道模拟设备输出信道的路径损耗值是否与预设值一致以及损耗分辨率是否满足指标需求。

5.1.4.2 测试步骤

采用图 1 所示装置连接关系测试信道路径损耗，测试步骤如下：

- a) 根据测试连接图连接好测试装置，启动无线信道模拟设备热机 5 min；
- b) 设置信号发生器中心频率为 f_c ，配置输出功率合适的单音信号；
- c) 被测无线信道模拟设备中心频率设为 f_c ，开启某通道一条路径，时延、路径损耗和

多普勒频率等均设为 0（无多普勒频率参数可等效将运动速度参数设为 0），选用常量信道模拟功能或纯多普勒模拟功能，运行信道模拟器；

- d) 设置频谱分析仪中心频率为 f_c ，设置适当的扫描带宽、参考电平、垂直分辨率和分辨率带宽等，使用频谱分析仪 Peak Search 功能定位信号峰值，读取路径损耗为 0 时的基准功率为 P_0 ；
- e) 进一步在无线信道模拟设备上将路径损耗值改为待测值（若要测量路径损耗分辨率，将路径损耗值设为分辨率值即可），读取频谱分析仪上的信号峰值为 P_1 ，可得路径损耗值为

$$P_L = P_1 - P_0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中：

P_L ——待测路径损耗值；

P_0 ——第一次测得的基准功率值；

P_1 ——第二次测得的功率值。

- f) 多通道无线信道模拟设备可启用不同通道重复步骤 b)–e)，测量不同通道的信道路径损耗。

5.1.4.3 测试记录

将不同通道的信道路径损耗预设值、测试值及误差值和路径损耗分辨率指标值、测试值及误差值分别记录在附录 A 的路径损耗测试记录表格中。

5.1.5 多普勒频率

5.1.5.1 测试目的

验证无线信道模拟设备输出信道衰落的多普勒频率是否与预设值一致以及多普勒频率分辨率是否满足指标需求。

5.1.5.2 测试步骤

采用图 1 所示装置连接关系测试多普勒频率，测试步骤如下：

- a) 根据测试连接图连接好测试装置，启动无线信道模拟设备热机 5 min；
- b) 设置信号发生器中心频率为 f_c ，配置输出功率合适的单音信号；
- c) 被测无线信道模拟设备中心频率设为 f_c ，开启某通道一条路径，时延、路径损耗设为 0，开启该路径纯多普勒模拟功能，将多普勒频率设为 0（无多普勒频率参数的设备可等效设置运动速度为 0），运行信道模拟器；
- d) 设置频谱分析仪中心频率为 f_c ，设置适当的参考电平、垂直分辨率、分辨率带宽和扫描带宽等，使用频谱分析仪的 Peak Search 功能定位信号峰值，读取频率基准值 f_0 ；
- e) 进一步将无线信道模拟设备的多普勒频率设为待测值 f_d （若要测量多普勒频率分辨率，将多普勒频率值设为分辨率值即可），无多普勒频率参数的设备可等效设置

运动速度 v ，使用 Peak Search 定位信号峰值，读取频率测试值 f_1 可得到多普勒频率测试值为 $f_1 - f_0$ 。

$$f_d = v / c \cdot f_c \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中：

f_d ——多普勒频率；

v ——运动速度；

c ——光速，取 3×10^8 m/s；

f_c ——信号中心频率。

- f) 多通道无线信道模拟设备可启用不同通道重复步骤 b)–d)，测量不同通道的多普勒频率。

5.1.5.3 测试记录

将不同通道的多普勒频率预设值、测试值及误差值和多普勒频率分辨率指标值、测试值及误差值分别记录在附录 A 的多普勒频率测试记录表格中。

5.1.6 衰落失真度

5.1.6.1 测试目的

验证无线信道模拟设备输出信道衰落的统计分布是否与理论值一致。

5.1.6.2 测试步骤

采用图 2 所示装置连接关系测试信道衰落统计分布，测试步骤如下：

- 根据测试连接图连接好测试装置，启动无线信道模拟设备热机 5 min；
- 设置信号发生器中心频率为 f_c （需满足 $2f_c$ 不大于示波器工作带宽），配置输出信号为单音信号；
- 被测无线信道模拟设备中心频率设为 f_c ，开启某通道一条路径，选用待测的衰落类型，其他路径参数保持初始默认值，运行信道模拟器；
- 将示波器窗口时间横轴缩放至合适大小，利用 Save 或 Storage 功能多次导出波形数据，提取波形数据的包络，统计 PDF 分布并归一化，根据式(1)计算实测 PDF 的失真度。以瑞利衰落为例，测试和理论 PDF 的对比如附录 B 的图 B.1 测试示例所示；
- 多通道无线信道模拟设备可启用不同通道重复步骤 b)–d)，获取不同通道的信道多径数目。

5.1.6.3 测试记录

将不同通道衰落分布的理论分布与测试对比图、最大失真度记录在附录 A 的衰落统计分布测试记录表格中。

5.1.7 衰落深度

5.1.7.1 测试目的

验证无线信道模拟设备输出信道衰落的衰落深度是否满足指标要求。

5.1.7.2 测试步骤

采用图 2 所示装置连接关系测试信道衰落统计分布，测试步骤如下：

- 根据 5.1.6.2 测试步骤 a) – d) 获取输出衰落波形数据及幅值 PDF，进一步根据幅值 PDF 获得电平增益的 CDF 曲线，得到 99.74% 时间超过的电平增益 $P(99.74\%)$ ，如附录 B 的图 B. 2 测试示例所示，同时根据衰落波形数据获得实测输出波形统计电平平均值 P_{σ} ，结合式(2)计算获得衰落深度；
- 多通道无线信道模拟设备可启用不同通道重复步骤 a)，获取不同通道的信道衰落深度。

5.1.7.3 测试记录

将不同通道衰落深度指标值、衰落深度测试值和误差记录在附录 A 的衰落深度测试记录表格中。

5.1.8 衰落相关性

5.1.8.1 测试目的

验证多通道无线信道模拟设备不同通道输出信道衰落的相关性是否与预设值一致。

5.1.8.2 测试步骤

采用图 4 所示装置连接关系测试不同通道的信道衰落相关性，测试步骤如下：

- 根据测试连接图连接好测试装置，启动无线信道模拟设备热机 5 min；
- 设置信号发生器中心频率为 f_c （需满足 $2f_c$ 不大于示波器工作带宽），配置输出信号为单音信号；
- 被测无线信道模拟设备中心频率设为 f_c ，启用任意两个通道，利用多通道模拟功能配置两个通道的相关系数，其他参数保持初始默认值，运行信道模拟器；
- 开启示波器双通道，将窗口时间横轴缩放至合适大小，利用 Save 或 Storage 功能多次导出双通道波形数据，提取各自波形的幅值包络，根据式(3)计算两个通道的实测相关系数；
- 切换其他任意两个不同通道重复步骤 b) – d)，获取不同通道的信道衰落相关性。

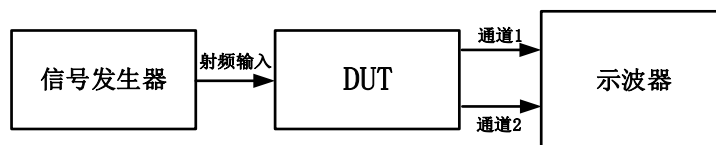


图 4 测试连接图

5.1.8.3 测试记录

将不同通道衰落相关性预设值、测试值和误差记录在附录 A 的衰落相关性测试记录表格中。

5.1.9 信道噪声

5.1.9.1 测试目的

验证无线信道模拟设备叠加信道噪声输出的信噪比是否与预设值一致。

5.1.9.2 测试步骤

采用图 1 所示装置连接关系测试输出信道的信噪比，测试步骤如下：

- a) 根据测试连接图连接好测试装置，启动无线信道模拟设备热机 5 min；
- b) 设置信号发生器中心频率为 f_c ，配置输出信号为单音信号；
- c) 被测无线信道模拟设备中心频率设为 f_c ，开启某通道一条路径，选用常量信道模拟功能，路径时延及功率值均设为 0，同时启用加性高斯白噪声模拟功能，信噪比设为待测值，设置合适的噪声带宽 B_N （需小于最大模拟带宽），运行信道模拟器；打开频谱仪的 ACPR 功能，将 main channel 和 adj channel 值均设为噪声带宽 B_N ，设置适当的 channel space 值，可直接读取 Lower ACPR 和 Upper ACPR，二者取平均得到测试信噪比。以 -15 dB 信噪比为例，频谱仪测试示例如附录 B 的图 B. 3 所示；

$$SNR = \frac{\text{Lower ACPR} + \text{Upper ACPR}}{2} \dots\dots\dots(7)$$

式中：

SNR ——待测信噪比；

Lower ACPR ——频谱仪读取的 ACPR 低位值；

Upper ACPR ——频谱仪读取的 ACPR 高位值。

- d) 多通道无线信道模拟设备可启用不同通道重复步骤 b)–d)，获取不同通道的信噪比测试值。

5.1.9.3 测试记录

将不同通道的信噪比预设值、时域波形截图、信噪比测试值和误差值在附录 A 的输出信噪比测试记录表格中。

5.2 功能指标测试

5.2.1 信道衰落类型

5.2.1.1 测试目的

验证无线信道模拟设备支持模拟信道衰落的类型，以及形状是否与典型值一致。

5.2.1.2 测试步骤

采用图 2 所示装置连接关系测试信道衰落类型，测试步骤如下：

- a) 根据测试连接图连接好测试装置，启动无线信道模拟设备热机 5 min；
- b) 设置信号发生器中心频率为 f_c ，配置输出功率合适的单音信号；
- c) 被测无线信道模拟设备中心频率设为 f_c ，开启某通道一条路径，配置待测的衰落类型，设置合适的多普勒功率谱形状、多普勒频率/运动速度，其他路径参数保持默认，

运行信道模拟器；

- d) 将输出信号连接至示波器，利用截图功能记录时域波形，与典型值进行比对。以瑞利衰落为例，其输出时域波形如附录 B 的图 B. 4 测试示例所示；
- e) 多通道无线信道模拟设备可启用不同通道重复步骤 b)–d)，测试不同通道的信道衰落类型。

5.2.1.3 测试记录

将不同通道的待测衰落类型、时域波形截图和功能符合性情况在附录 A 的信道衰落类型测试记录表格中。

5.2.2 多普勒谱形状

5.2.2.1 测试目的

验证无线信道模拟设备支持模拟信道的 DPSD 种类，以及形状是否与典型值一致。

5.2.2.2 测试步骤

采用图 1 所示装置连接关系测试模拟信道的 DPSD 种类，测试步骤如下：

- a) 根据测试连接图连接好测试装置，启动无线信道模拟设备热机 5 min；
- b) 设置信号发生器中心频率为 f_c ，配置输出功率合适的单音信号；
- c) 被测无线信道模拟设备中心频率设为 f_c ，开启某通道一条路径，配置待测的衰落类型及多普勒功率谱形状，设置合适的多普勒频率/运动速度，其他路径参数保持默认，运行信道模拟器；
- d) 设置频谱分析仪中心频率为 f_c ，设置适当的参考电平、垂直分辨率、分辨率带宽和扫描带宽等，利用截图功能记录频谱形状。以 jakes 经典谱形状的瑞利衰落为例，如附录 B 的图 B. 5 测试示例所示；
- e) 多通道无线信道模拟设备可启用不同通道重复步骤 b)–d)，测试其他通道的 DPSD 种类。

5.2.2.3 测试记录

将不同通道的待测 DPSD 类型、频谱形状截图和功能符合性情况在附录 A 的多普勒谱形状测试记录表格中。

5.2.3 动态场景模拟

5.2.3.1 测试目的

验证无线信道模拟设备支持动态场景非平稳信道的模拟功能以及信道状态的更新速率。

5.2.3.2 测试步骤

采用图 5 图 1 所示装置连接关系测试信道模拟设备的 DEE 功能，测试步骤如下：

- a) 根据测试连接图连接好测试装置，启动无线信道模拟设备热机 5 min；
- b) 设置信号发生器中心频率为 f_c （需满足 $2f_c$ 不大于示波器工作带宽），配置输出信号为脉冲信号，需保证脉冲信号的发射周期大于最大的路径时延；

- c) 被测无线信道模拟设备中心频率设为 f_c ，开启某通道 N 条路径，启用动态场景模拟功能，配置各条路径的动态时变时延值，需满足各路径时延值变化范围不超过相邻路径的时间间隔，其他路径参数保持初始默认值，运行信道模拟器；
- d) 将示波器窗口时间横轴缩放至合适大小保证能同时显示所有信道多径，开启余晖功能，设置合适的余晖时间，可观测动态 CIR 变化过程，利用截图功能记录动态 CIR 波形，如附录 B 的图 B.6 测试示例所示；
- e) 再设置信号发生器中心频率为 f_c ，配置输出功率合适的单音信号；
- f) 被测无线信道模拟设备启用动态场景模拟功能，配置动态时变多普勒频率或时变运动速度，设置待测的信道状态更新速率；
- g) 设置频谱分析仪中心频率为 f_c ，扫描带宽设为最大多普勒频率的 3-4 倍，打开频谱分析仪的瀑布图 (spectrum) 功能，配置合适的 sweep 时间使得纵坐标分辨率与信道状态更新速率一致，可观测多普勒功率谱动态变化过程并利用截图功能记录动态 DPSD，如附录 B 的图 B.7 测试示例所示，根据瀑布图总时长和状态数获取实测信道状态更新速率；
- h) 多通道无线信道模拟设备可启用不同通道重复步骤 b)–g)，测试其他通道的 DEE 功能。

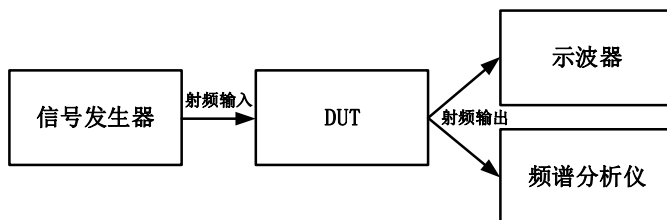


图 5 测试连接图

5.2.3.3 测试记录

将不同通道的动态 CIR 截图、动态 DPSD 截图、信道更新速率预设值及测试值和功能符合性情况在附录 A 的动态场景模拟测试记录表格中。

附录 A

(资料性附录)

测试记录表格

测试项目和测试方法中的性能指标测试结果记录表见表 A. 1~表 A. 9，功能指标测试结果记录表见表 A. 10~表 A. 12。每个测试记录表仅提供基本形式，可根据实际通道数和测试数量进行扩展。

表 A. 1 频率范围和带宽测试记录

通道索引值	衰落带宽 / MHz		
	指标值	测量值	误差

表 A. 2 多径数目测试记录

通道索引值	多径数目		
	预设值	测量值	误差

表 A. 3 路径时延测试记录

通道索引值	路径时延 / ns			时延分辨率 / ns		
	预设值	测量值	误差	指标值	测量值	误差

表 A. 4 路径损耗测试记录

通道索引值	路径损耗 / dB			路径损耗分辨率 / dB		
	预设值	测量值	误差	指标值	测量值	误差

表 A.5 多普勒频率测试记录

通道索引值	多普勒频率 / Hz			多普勒频率分辨率 / Hz		
	预设值	测量值	误差	指标值	测量值	误差

表 A.6 衰落失真度测试记录

通道索引值	理论与实测 PDF 对比图	最大失真度

表 A.7 衰落深度测试记录

通道索引值	衰落深度指标值	衰落深度测试值	误差

表 A.8 衰落相关性测试记录

通道索引值	衰落相关性预设值	衰落相关性测试值	误差

表 A.9 信道噪声测试记录

通道索引值	信噪比预设值/dB	测试界面记录图	信噪比测试值/dB	误差

表 A. 10 信道衰落类型测试记录

通道索引值	待测衰落类型	测试结果图	功能符合性
	常数（无衰落）		
	瑞利衰落		
	莱斯衰落		
	Nakagami 衰落		
	对数正态衰落		
	Suzuki 衰落		
注：功能符合性填写“符合”或“不符合”。			

表 A. 11 多普勒谱形状测试记录

通道索引值	待测多普勒谱形状	测试结果图	功能符合性
	纯多普勒（无形状）		
	平坦		
	圆形		
	高斯		
	Jakes（U 型）		
	巴特沃斯（Butterworth）		
注：功能符合性填写“符合”或“不符合”。			

表 A. 12 动态场景模拟测试记录

通道索引值	动态 CIR 图	动态 DPSD 图	信道更新速率 预设值	信道更新速率 测试值	误差

附录 B

(资料性附录)

测试示例图

测试项目和测试方法中部分性能指标测试项目的典型测试示例图见图 B. 1~图 B. 3，功能指标测试项目的典型测试示例图见图 B. 4~图 B. 7。

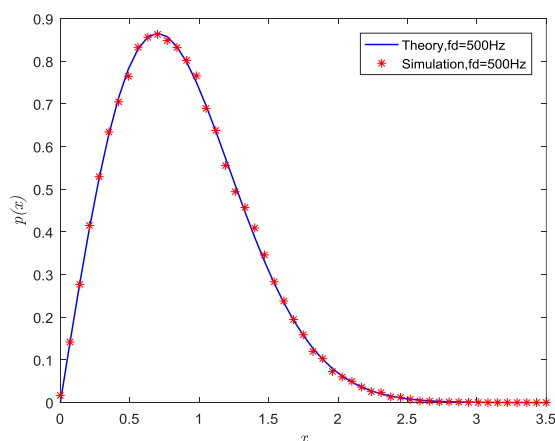


图 B. 1 瑞利衰落情况实测 PDF 和理论 PDF 测试示例

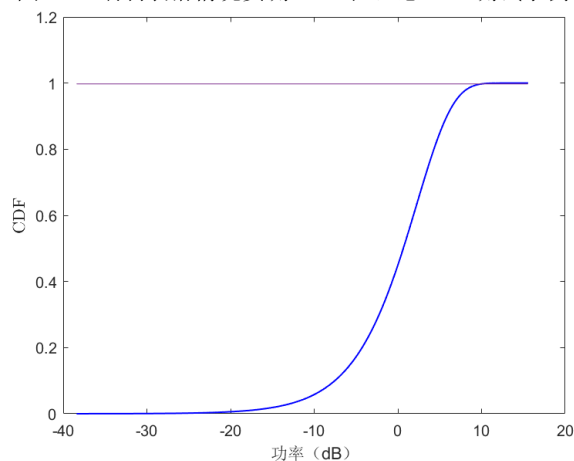


图 B. 2 瑞利衰落情况 CDF 测试示例

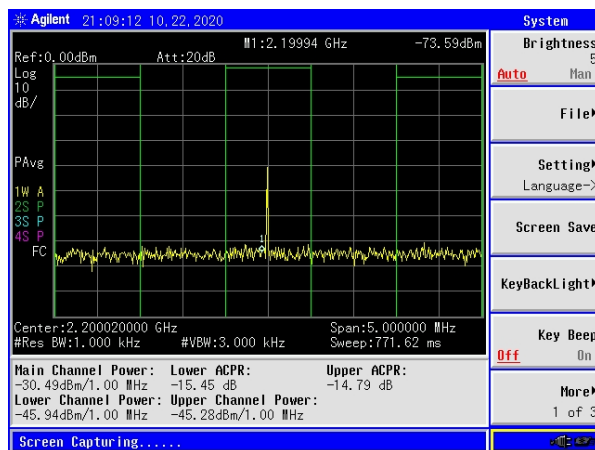


图 B. 3 信噪比为-15 dB 的测试界面示例

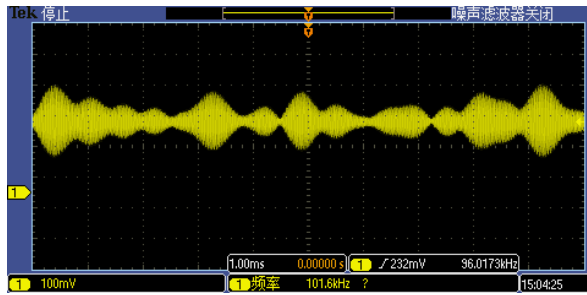


图 B.4 瑞利衰落时域波形示例

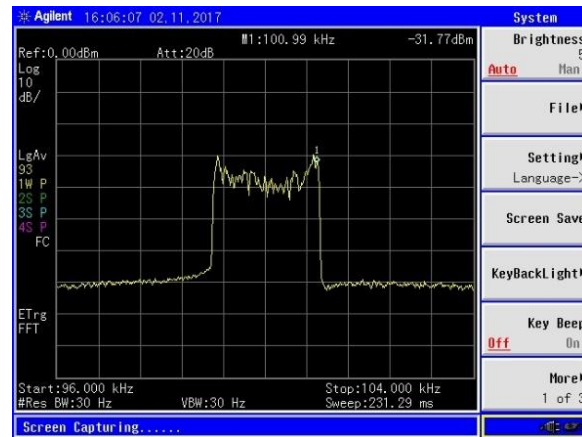


图 B.5 Jakes (U 型) 功率谱形状示例



图 B.6 动态场景时变 CIR 示例

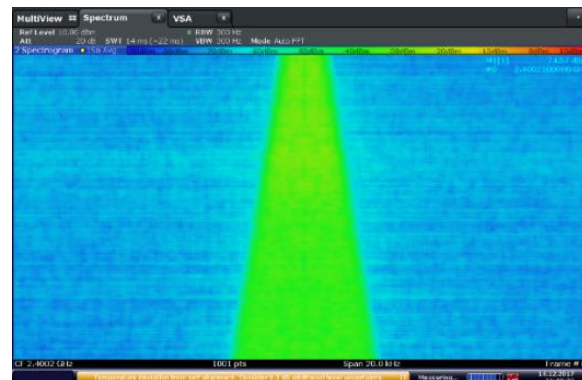


图 B.7 动态场景时变 DPSD 示例