

无线信道的多参量自动化测量 系统设计与实现

许拓, 刘成国, 王晶, 丁肇宇, 唐晓, 张经纬, 吴志鹏

(湖北省射频微波应用工程技术研究中心, 武汉 430070)

摘要: 基于 LabVIEW 虚拟仪器开发平台, 设计了一套 28 GHz 毫米波在无线信道环境下的多参量自动化测量系统, 并且在系统中加入了温湿压传感模块; 硬件系统采用 Keysight 公司的矢量信号发生器 E8267D 和信号分析仪 N9010A, 通过通用接口总线 (General-Purpose Interface Bus, GPIB) 转通用串口总线 (Universal Serial Bus, USB), 与笔记本电脑连接, LabVIEW 编写仪器支持的标准命令语言 (Standard Commands for Programmable Instruments, SCPI) 控制仪器, 实现测量系统自动化测量; 实际测量结果表明系统运作良好, 敏感度高, 自动化获取测量信道环境温湿压数据、实时显示波形曲线、自动保存数据; 该系统实现了对无线信道环境的实时监控及无线信道多参量的统计, 具有很好的实际应用价值。

关键词: 毫米波; 测量系统; 通用接口总线; 监控

Design and Realization of Multi-Parameter Automatic Measurement System of Wireless Channel

Xu Tuo, Liu Chengguo, Wang Jing, Ding Zhaoyu, Tang Xiao, Zhang Jingwei, Wu Zipeng

(Hubei Engineering Research Center of RF-Microwave Technology and Application,

School of Science, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Based on the LabVIEW virtual instrument development platform, a set of multi-parameter automatic measurement system was designed for 28 GHz millimeter wave wireless channel, and the temperature and humidity pressure sensing module was added to the system. The hardware system adopts vector signal generator E8267D and signal analyzer N9010A of the Keysight, through GPIB to USB cable connected to the notebook computer, then LabVIEW programming the Standard command of language SCPI to control the instruments, and realize the system automatic measurement. The actual measurement results show that the system is in good operation with high sensitivity, and it automatically obtains the temperature and humidity pressure data of the measured channel environment, displays the waveform curve in real time, and automatically stores the datas. The system realizes the real-time monitoring of the wireless channel environment and the big data statistics of the channel characteristics, and has good practical application value.

Keywords: millimeter wave; measurement system; GPIB; monitoring

0 引言

21 世纪, 随着互联网技术不断进步, 我们逐渐进入了万物互联的物联网时代。各种移动设备的问世, 导致了数据流量急剧增加^[1], 为了满足如此大数据流量的需求, 第五代移动通信的研究引入了毫米波段, 提供高速率、高宽带、低时延的通信服务^[2-3]。国内外各大运营商、企业、研究团队早就开始了毫米波段在各种热点场景下的无线通信测量^[4-5]。从网络覆盖率、资金、物力等方面考虑, 信

道的测量对于移动蜂窝网络构建的具有重要意义^[6]。无线信道的测量需要对不同信道环境, 积累大量的信道参量并进行分析, 如果仅靠人力和传统的测量记录手段非常耗时耗力。现代通信技术与计算机技术的有机结合^[7], 保证了测量技术的飞跃发展。目前的信道测量系统包括时域测量系统和频域测量系统, 测量用仪器具有一定的存储功能, 可以直接将数据存储, 测量结束后将数据导出到笔记本电脑, 进行数据后处理和分析。现在大部分的研究主要是假设了测量信道环境为准静态的非时变信道^[8], 然而, 对于热点场景, 必然存在人员的流动以及环境温湿压的变化等造成信道的变化, 因此, 对于信道环境的实时监控以及信道多参量的获取是非常重要的。针对 28 GHz 毫米波的无线信道测量需求, 探索出了一种基于 LabVIEW 平台^[9-10]的, 通过 GPIB (General-Purpose Interface Bus) 接口建立与

收稿日期: 2018-03-07; 修回日期: 2018-03-30。

基金项目: 自然科学基金国际合作重大项目(61320106004); 湖北省技术创新项目重大专项(2016AAA007)。

作者简介: 许拓(1992-), 男, 硕士, 主要从事 5G 毫米波电波室内传播特性研究及信道建模、5G 微带贴片天线方向的研究。

上位机的数据交互, 编写 VI (Virtual Instrument) 控制程序来控制仪器、自动化测量、数据采集和保存、波形曲线以及环境实时监控系统, 通过测量得到了信号通过无线信道环境后的功率大小, 并且开展了人体对信号的遮挡损耗研究^[11], 验证了测量系统的敏感度较高。

1 测量系统结构及原理

无线信道自动化测量系统由硬件系统和软件系统组成, 其设计结构框架如图 1 所示。硬件部分主要包括 Keysight 公司的信号发生器和信号接收仪 N9010A 以及一对喇叭天线, 软件部分主要是基于 LabVIEW 平台设计的大气环境监控与仪器控制、自动化测量为一体的高效率系统。在笔记本电脑上用标准命令语言 (SCPI) 编写系统程序, 号发生器 E8267D 和信号分析仪 N9010A 通过 GPIB 转 USB (Universal Serial Bus) 数据线与笔记本电脑连接, 上位机控制信号发生器产生特定信号通过天线发射出去, 信号接收仪通过接收天线接收信号, 然后模拟信号实时显示在信号接收仪上, 同时, 上位机前端面板也会实时显示数据波形曲线。温湿压传感器由内置传感装置测量大气环境中温度、湿度和压强, 上位机编写发送指令通过 433 无线收发模块发送给温湿压传感器, 接收到指令后, 回传与指令对应的信息。

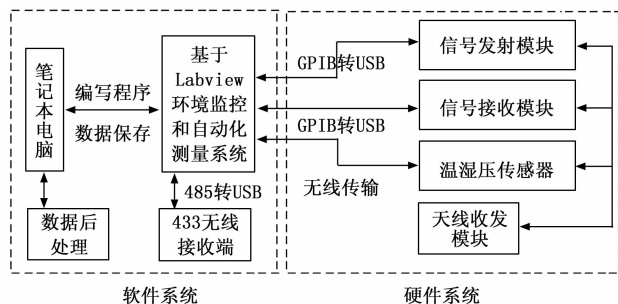


图 1 无线信道测量系统结构框图

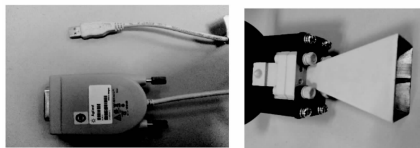
2 硬件系统搭建

2.1 硬件平台组成

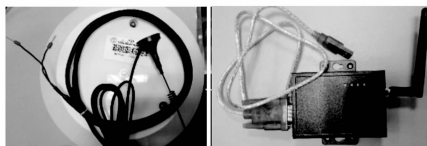
如图 2 所示, 硬件系统的组成主要包括矢量信号发生器 E8267D、信号分析仪 N9010 A、喇叭天线、温湿压传感装置等。E8267D 的发射频率范围为 250 kHz~31.8 GHz 之间, 发射功率最大为 21 dBm, 高达 4 GHz 带宽能够仿真复杂的电磁环境。信号分析仪 N9010 A 能够接收的信号频率范围为 10 Hz~44 GHz 之间, 为毫米波测量提供经济高效的分析。利用 GPIB 转 USB 数据线, 通过仪器后面板的 GPIB 接口与上位机连接实现数据交互。再将仪器的前面板输入、输出接口分别接上高增益喇叭天线, 通过低损耗传输线连接。如图 2 所示, 温湿压传感器装置主要包括温湿压传感器模块和无线接收器以及连接接收器与笔记本电脑的 485 转 USB 转化器, 系统的各个参数设置为表 1 所示。



(a) 信号发生器和信号分析仪



(b) GPIB转USB数据线和喇叭天线



(c) 温湿压传感装置

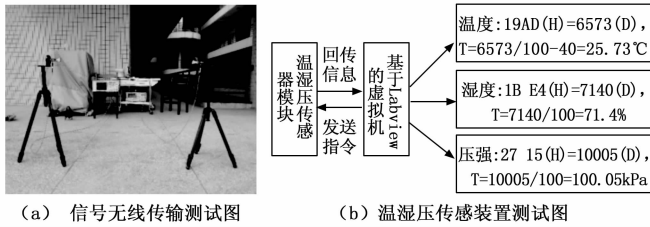
图 2 硬件系统装置图

表 1 硬件系统参数

类型	参数值
发射频率	28/GHz
发射功率	20/dBm
信号波形	连续波
天线类型	喇叭天线
天线高度	1.3/m
天线极化	垂直极化

2.2 硬件系统测试及方法

在进行信道环境测量和软件系统控制之前, 需要对硬件系统进行测试, 判定硬件系统本身的可靠性。首先, 用传输线连接信号发生器和分析仪, 保证信号从发生器发射出来后, 能在传输线中正常的传输并且被分析仪接收, 同时测量传输线对信号的损耗情况; 然后, 如图 3 (a) 所示, 将信号分析仪信号输入端与信号发生器的信号输出端用低损耗传输线连接, 打开信号发生器的射频 (Radio Frequency, RF) 开关, 手动设置发射信号的频率和发射功率, 这样不仅检测了传输线在特定频率下的信号传输损耗, 也可以保证射频通信的可靠性。然后将仪器的信号输出端和输入端接口分别通过传输线连接上喇叭天线, 在喇叭天线相距 1 m, 离水平面 1.3 m 距离, 以垂直极化方式水平对准的情况下, 测试了信号在无线信道中传输可靠性。最后, 通过串口助手软件测试了温湿压传感装置的可靠性, 将温湿压传感装置与 PC 端连接, 设置好串口助手上串口地址为 COM3, 波特率为 9600 b/s, 数据位为 8, 停止位为 1, 其中流控和校验位默认为 None, 并且在 Hex 模式下发送 16 进制数, 如图 3 (b) 所示, 发送指令: FF 0300 0000 03 10 15, 接收到回传信息为: FF 03 06 19 AD 1B E4 27 15 79FA, 经过指定通信协议计算得到十进制表示温度、湿度和压强数值。



(a) 信号无线传输测试图 (b) 温湿度压传感装置测试图

图 3 硬件系统测试

3 软件系统设计

3.1 SCPI 命令

SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) 是可编程仪器标准命令语言, 最初的 SCPI 命令与 IEEE 488.2 协议是一起被应用于仪器命令。对于不同类别的仪器, 其规定的命令格式是一致的, 但是具体的命令指令是不同的。一般 SCPI 命令可以分为两组: 常用命令和子系统命令。图 4 为 SCPI 两个命令组分类, 常用命令用于管理宏、状态寄存器, 同步和数据存储, 一般这种命令形式是以星号 (*) 开头的。例如, “* IDN?”、“* OPC”、“* RST” 是常见的命令。常见的命令不包括在任何子系统中。子系统命令一般是以冒号 (;) 开头的, 而且每一个子系统有包括一套功能模块的命令。以信号发生器为例, 能量子系统 (; POWER) 包括能量产生命令, 状态子系统 (; STATus) 包括控制状态寄存器的命令, 一般可以省略命令中的小写字母。如 (; POWER) 可以简化为 (; POW)。SCPI 命令一般具有两种功能, 一种是改变仪器的运行状态的设置操作, 一种是询问仪器状态查询操作, 一般以问号 (?) 结尾表示, 也有少部分命令是设置和查询功能为一体。

这里的子系统命令与文件系统命令一样, 具有树结构的特性, 如图 4 所示, 其中 AA 相当于关键字, BB 和 CC 相当于参数形式, DD、EE 和 FF 相当于注释, 三部分组成了 SCPI 的命令语法。对于每一个子系统命令, 会形成固定的树结构, 机器如果要执行来自上位机的 SCPI 命令, 就会按照一定的规则去在这个树结构中寻找命令对应的信息。当上位机发送 SCPI 命令通过 GPIB 总线传入机器, 机器内置的固件会通过解析器解码命令传递的信息, 解析器将信息分解成组件命令, 使用一组规则来确定所使用的命令树路径。解析器跟踪当前的路径 (树命令中的级别) 以及它期望找到下一个命令语句的位置, 寻找到了树的顶端, 停止寻找当前路径, 对于一些程序语言而言, 一般会设置返回消息中断的指令。因为相同的關鍵字可能出现在不同的路径中, 特定路径由命令语句中的一个或者多个关键字决定, 因此跟踪寻找程序是很重要的步骤。

3.2 软件系统和关键点设计

要实现仪器的自动化测量, 需要在仪器和上位机之间构建数据链路, 通过标准命令语言对仪器进行控制, 第一

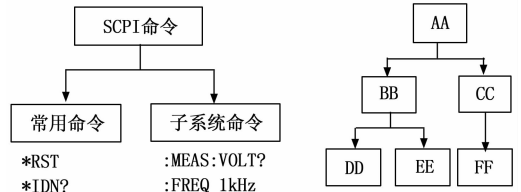


图 4 SCPI 命令分组和树结构

步便是寻找仪器的物理地址。如下图 7 为软件系统的设计程序框图。当仪器通过 GPIB 转 USB 数据线连接后, 可以用 I/O 软件检测到已经连接到的仪器, 将识别到的仪器物理地址作为 VISA 控件写入缓存, 实现了对仪器的寻址。只有当仪器与上位机之间实现了数据链路才能够继续写入 SCPI 命令以及对温湿度压传感装置的指令, 即信号发射频率、功率、数据采集个数等。在程序执行串行命令时, 对于温湿度压传感装置, 接收到指令, 会将相应的信息通过代码回传, 与笔记本连接的 433 无线接收端收到回传信息, 根据数据类型可知, 回传的代码是十六进制, 通过该温湿度压传感装置通信协议, 数据经过指定的规则计算后, 将分别代表温度、湿度、压强的十进制数据存储到数组中。对于信号发生器输入的信号信息, 首先要经过计数点判断, 当信号每发送一次出去, 计数器就会计数一次, 当信号发送次数达到预定的值, 就会停止发送信号, 这时, 波形显示和数据存储都会停止。如果想要大量记录数据, 可以增大计数点数值。

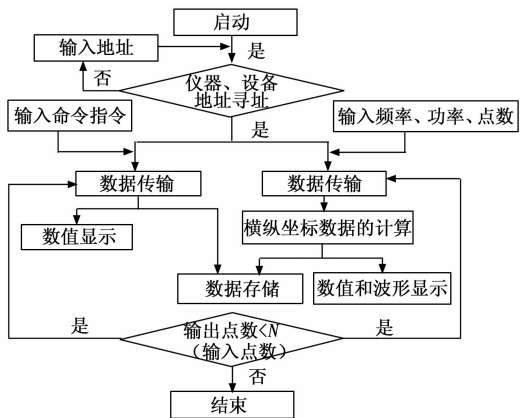


图 5 软件系统程序框图

软件系统的关键模块包括控制面板、寻址和输入命令模块、波形和数据存储模块、计数点模块和温湿度压模块。图 6 给出了程序的可视化操作界面, 实现物理地址输入, 信号输入, 接收信号的和波形实时显示。

3.2.1 软件控制面板

软件系统的控制面板, 包括仪器物理地址、发射信号属性、计数点等参数的输入, 接收数据实时数显以及波形曲线图动态显示。当软件系统在运行过程中出现错误, 会在面板右端显示错误代码, 可以根据错误代码的具体含义

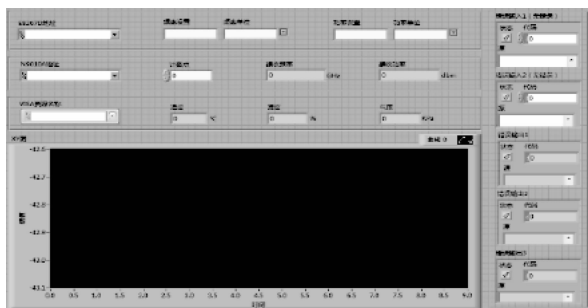


图 6 控制面板模块

寻找产生运行错误原因; 对整个系统命令的打开、写入、读取、清零都使用 VISA 控件完成。

3.2.2 寻址与输入命令模块

信号发生器 E8267D 和温湿压传感装置做出的命令程序模块, 通过 VISA 的写入和读取控件完成寻址和信号属性命令编写, 首先是对仪器物理地址寻址, 当地址正确, 在执行 SCPI 命令 “* RST” 对仪器进行初始化, 然后执行 “: POW” 命令, 输入发射信号频率、功率以及单位设置, 其中 SCPI 命令 “: FREQ: MODE SWE” 和 “: FREQ: STAR” 表示设置信号发生器工作模式为扫频模式以及设置开始频率, 再用 “: OUTP ON” 命令开始执行射频开关为开启状态, 将信号通过天线发送到无线信道中。可以通过前面板界面输入不同的数值, 只要在仪器允许的范围内, 均可以进行测量。

3.2.3 波形曲线图

为了更加直观地观察接收到的信号随着时间和无线信道环境的变化数值变化, 最为有效的方式便是将每一次接收到的信号功率值以曲线动态形势表现出来。不仅在软件系统程序中加入了数据的存储模块, 而且加入了接收功率随测量点变化的波形曲线显示模块。其中, SCPI 命令 “: CALC: MARK1: X?” 和 “: CALC: MARK1: Y?” 查询波形曲线坐标中的 X 和 Y 轴对应值, 其中 X 轴表示记录次数, Y 轴表示接收到的信号功率, 单位为 dBm。接收到的信号数据被实时存储到数组中, 并存放放到笔记本电脑本的指定路径中。

3.2.4 计数点程序模块

计数点程序模块是在自动化测量过程中, 需要暂停或者记录某一时段数据, 可以通过修改计数点个数来控制。该循环程序设置与信号发送与信号接收之间, 当信号每被接收一次, 该循环程序就运行一次, 同时在上一次的计数点基础上减去 1, 直到接收到的信号次数等于设定的计数点, 软件系统停止工作, 软件程序不再发送命令给仪器, 信号发生器和信号分析仪接也会停止工作。

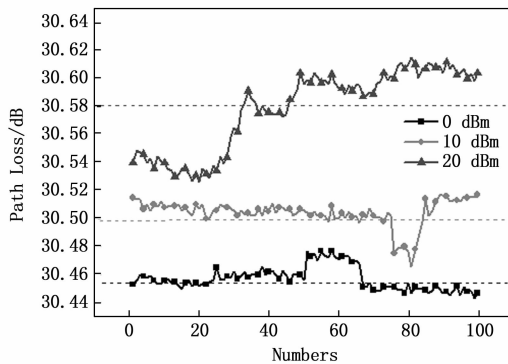
3.2.5 温湿压传感模块

因为温湿压传感装置只需要发送固定的指令, 获取大气环境的温度、湿度和压强三种数据信息, 因此在寻址到传感器装置后, 可以将指令直接写入软件系统程序中, 不

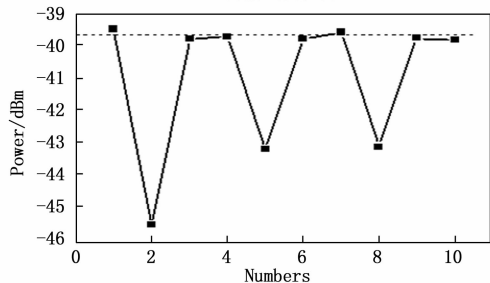
需要在前面板输入指令, 当软件系统开始执行命令的时, 对于温湿压传感器的固定指令 “FF 03 00 00 00 03 10 15” 就会不断发送, 上位机也会不断收到回传信息, 回传信息为一串十六进制代码, 经过软件程序按照该传感器指定通信协议计算后, 会在前面板实时显示十进制的数值, 并且存储在数组中。如图 3 (b) 中收到的回传信息 “FF 03 06 19 AD 1B E4 27 15 79 FA”, 则代码 “19 AD (H)” 表示温度值, “1B E4 (H)” 表示湿度值, “27 15 (H)” 表示压强值, 通过 16 进制转 10 进制数值协议, 则本次得到温湿压数值分别为: 温度 = 6573 (D) / 100 - 40 = 25.74℃, 湿度 = 7140 (D) / 100 = 71.4%, 压强 = 10005 (D) / 100 = 100.05 kPa。需要注意的是, 在传感器接收到指令与无线接收器的接收过程中存在时延, 在软件程序的指令发送到信息接收之间需要设置一个延时。

4 测量结果与分析

对两根 6 m 长传输线损耗测量, 可得下图 7 (a) 所示损耗随自动测量点数变化情况, 横坐标表示自动测量的 100 个数据点数, 纵坐标表示对 100 个自动测量的接收功率值计算得到的对应传输线损耗值。由图可知, 自动化测量系统自动获取了 100 个数据点数据, 对于静态工作状态下, 测量结果表现出了一定波动, 在研究允许范围内; 三个不同发射功率测量得到的损耗值可知, 随着发射功率从 0 dBm 增大 20 dBm, 传输线的损耗仅仅增加了 0.12 dB, 表现出较稳定的特性。



(a) 传输线损耗测量



(b) 人体遮挡对信号损耗影响曲线图

图 7 自动化测量结果与测量点数关系曲线图

对接收信号功率的统计分析可以反映无线信道环境的大尺度衰落情况, 对于 28 GHz 毫米波频段而言, 其无线传

播损耗非常大,为了测试系统的可靠性能,选定了室内复杂的实验室环境作为测量场地,天线之间相距 5 m,通过水平仪对准两个喇叭天线并且保持在同一水平面上。

表 2 给出了从测量中节选出的连续 10 组数据,分别给出了连续 10 组数据中的接收功率、频率、温度、湿度和压强五个数据。由表 2 可以看出在这 10 组数据中,温度和压强没有变化,湿度也只有 0.2% 波动,对于 10 组连续的数据来说,在一个准静态无线信道环境,短时间内,温湿压数值基本不会发生变化;在信号无线传播过程中会发生多径效应,因此接收频率会略大于发射频率 28 GHz。图 7 (b) 给出了 10 组数据中接收功率的变化曲线图,由图可以明显的观察到有三个点的数值小于其他数值。为了测量系统的敏感性以及为了测量人体对信号强度的遮挡效果,这三个数据是人体位于两个天线中间,离信号发射天线不同距离情况下测量,因此,测量到的数值会小于信号没有遮挡的情况,而且当人体接近发射天线时,接收到的信号功率更小,说明信号衰减更大,如图中第二个测量点对应的就是当人体靠近发射天线所对应的测量结果,第五个和第八个测量点分别是人体位于收发天线之间相当距离情况下的测量结果;可知人体在收发天线之间遮挡带来了额外的 3 dB 损耗,当人体靠近发射天线,造成的额外损耗接近 6 dB。这样的测量手段常常用在研究人体身体遮挡或者人员的走动对信号造成损耗等。

表 2 数据接收统计

接收功率/dBm	接收频率/GHz	温度/°C	湿度/%	压强/kPa
-39.483	28.0079	22	31.1	102.4
-45.488	28.0094	22	31.1	102.4
-39.782	28.0091	22	31	102.4
-39.718	28.1192	22	30.9	102.4
-43.161	28.0094	22	30.9	102.4
-39.777	28.0092	22	31	102.4
-39.576	28.0092	22	31	102.4
-43.09	28.0092	22	31.1	102.4
-39.752	28.0093	22	31.1	102.4
-39.814	28.0091	22	31.1	102.4

以上数据以及曲线图表明,该套系统实现了自动化测量并且保存数据的功能,相比于传统的人工记录测量实验数据,需要多人协同合作,一人负责信号发生器的控制,一人负责信号分析仪上数据记录,不仅节约了大量时间,而且还节省了人力。同时,该系统监控信道环境中温湿压实时变化,对于研究大气环境对信号的影响有一定的研究意义。并且该系统的敏感性较强,对于研究无线信道环境中的变化具有很好的实用性。而且对于以后研究信道的时变特性具有很好的研究价值。

5 结束语

基于 LabVIEW 虚拟仪器图形化编程平台,编写了一套

基于 SCPI 命令的软件系统与信号收发装置以及温湿压传感装置为一体的无线信道的多参量自动化测量系统。经过对硬件和软件系统的测试,表明可以正常的运作。在室内复杂环境下测量了环境温湿压的变化以及信号接收功率的变化情况,通过人体遮挡测试了系统的敏感度较强,同时,研究了人体对信号的遮挡衰减。该系统具备高效率、高智能的自动化测量工作,对于无线信道环境的监控以及信道自动化测量具有很好的适用性。该系统可以在软件系统程序中加入更多的 SCPI 命令获取更多无线信道参数,在信道的小尺度衰落方面可以作进一步研究。

参考文献:

- [1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016 - 2021 White Paper [EB/OL]. Cisco: Cisco, Inc. 2017 [2017 - 03 - 28]. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni.html>
- [2] Agiwal M, Roy A, Saxena N. Next generation 5G wireless networks: a comprehensive survey [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 18 (3): 1617 - 1655.
- [3] Rappaport T S, Sun S, Mayzus R, et al. Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work! [J]. IEEE Access, 2013, 1 (1): 335 - 349.
- [4] Maccartney G R, Rappaport T S, Sun S, et al. Indoor office wideband millimeter - wave propagation measurements and channel models at 28 and 73 GHz for Ultra - Dense 5G Wireless Networks [J]. IEEE Access, 2015, 3: 2388 - 2424.
- [5] Kim M D, Liang J, Kwon H K, et al. Directional delay spread characteristics based on indoor channel measurements at 28GHz [A]. IEEE, International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications [C]. IEEE, 2015: 403 - 407.
- [6] 刘忠玉. 室内外场景下基于射线跟踪算法的无线信道预测研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [7] 杨晓东, 马 闯, 刘成国, 等. 通用电子测量仪器自动测量系统的实现 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (5): 42 - 43.
- [8] Geng S, Kivinen J, Zhao X, et al. Millimeter - Wave Propagation Channel Characterization for Short - Range Wireless Communications [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58 (1): 3 - 13.
- [9] 郑 锐, 付雷杰, 刘振涛, 等. 基于 LabVIEW 的多数据采集器自动监控软件设计与开发 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (6): 107 - 111.
- [10] 张晓朋. 基于 485 总线和虚拟仪器的智能农业监控系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (2): 23.
- [11] 耿绥燕, 李 杏, 王 琦, 等. 26 GHz 室内毫米波人体阻挡衰减特性研究 [J]. 通信学报, 2016, 37 (11): 68 - 73.