

# 4G 用户感知的测试与分析

涂鸿渐<sup>1</sup>, 宋燕辉<sup>2</sup>, 全力<sup>1</sup>, 吴曙辉<sup>1</sup>

(1. 中国移动通信集团湖南有限公司, 湖南长沙 410000;

2. 湖南邮电职业技术学院, 湖南长沙 410015)

**【摘要】**移动用户感知备受关注,评价和提升用户感知需要综合研究网络、业务、终端、用户行为等多维度的用户体验。基于安装客户端软件的方式,在 4G 网络条件下,通过对多款终端和不同业务的用户体验测试分析,从前、后台的视角观察和总结了影响用户感知的若干因素。

**【关键词】**用户感知;网络;终端;测试分析;客户端;后台系统

**【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2021.02.003】**

**【中图分类号】**TN929.5

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**2095-7661(2021)02-0008-05

## Test and Analysis of 4G User Perception

TU Hong-jian<sup>1</sup>, SONG Yan-hui<sup>2</sup>, QUAN Li<sup>1</sup>, WU Shu-hui<sup>1</sup>

(1. China Mobile Communications Group Hunan Co., Ltd., Changsha, Hunan, China 410000;

2. Hunan Post and Telecommunication College, Changsha, Hunan, China 410015)

**Abstract:** Mobile user perception has attracted much attention. To evaluate and enhance user perception, it is necessary to comprehensively study the multi-dimensional user experience of network, business, terminal and user behavior. Based on the way of installing client software, under the condition of 4G network and through the user experience test and analysis of different terminals and different services, several factors that affect user perception are observed and summarized from the perspective of client and server.

**Keywords:** user perception; network; terminal; test and analysis; client; background system

随着移动通信网络的日益完善,运营商更加重视包括网络、业务、终端在内的客户感知。而单纯的业绩数据往往难以直接反映用户感知问题,有必要全方位地深入研究视频、上网、语音等业务感知,及其与网络、业务应用提供商、终端、应用软件、用户行为之间的关系<sup>[1-7]</sup>,进而在网络、终端、应用等方面实行改进和策略调整,以提升用户感知与满意度。

为了从用户的角度来探究影响 4G 用户感知的主要因素,通过终端客户端的常用业务测试,结合后台系统日志进行用户体验的前、后台指标对照分析,呈现了网络、终端、用户行为给用户感知所带来的影响,为网络分析与优化、投诉处理、终端分析、业务运营等移动客户服务工作提供了参考,有助于全方位提升用户感知。

## 1 测试分析工具与条件

### 1.1 用户感知的测试分析工具

用户感知的测试分析工具包括前、后台系统。前台测试工具包括客户端 App、第三方智能手机性能测评 App。

终端客户端 App 能准确、定量地反映用户的网络状况、业务体验等客观指标,是直接而真实的用户体验。其测试内容及顺序为:下行速率 DL\_RATE、上行速率 UL\_RATE、视频播放流畅度 VIDEO\_FLOW、VoLTE 方式拨打 10086、网页打开时延 WEB\_TIME。其中,视频播放采用主流的边缓存边播放的方式,平均播放速率 2 Mbps,网页打开测试测量的是首屏显示时延(即用户看到并可操作的时延)。

第三方手机测评 App 是一款对手机进行性能评测、跑分的软件,使用该软件可对终端的性能、体验、HTML5 分别进行测评,分数越高越好。其中“体验评

[收稿日期] 2021-04-08

[作者简介] 涂鸿渐(1979-),男,湖南长沙人,中国移动湖南分公司高级工程师,硕士,研究方向:移动通信网络规划建设、网络优化。

测”包括 App 使用、网页内容加载与滑动,其“网页内容加载与滑动”中的“解析耗时”“加载耗时”等单项与上网直接相关。“HTML5 测试”表现的是内置浏览器的性能和兼容程度,它的成绩能够反映出浏览器在运行视频、游戏、图片、文字浏览的渲染流畅程度。

后台分析系统则包括客户端 App 的后台、网管后台。

### 1.2 测试终端

使用三款不同型号的安卓手机,安装同一版本客户端 App 进行测试。终端 1:品牌 A 的 128 G(测试前、后期分别安装安卓版本 9、10)。终端 2:品牌 A 的 64 G(安卓版本 9)。终端 3:品牌 B 的 64 G 版本(安卓版本 5.1.1)。三台终端剩余内存占比依次为 67%、15%、34%,均为正常水平。

### 1.3 测试环境和分析条件

测试地点涉及 3 处不同位置点,测试时间分布在不同时段内,三款终端在同一地点、时间、网络条件下连续进行 3 轮测试。由于测试地点网络纯净,所有终端均占用同一基站小区,并且下行网络信号质量正常,因而大部分时候下行覆盖和干扰不是此次测试中业务感知的瓶颈或主要影响因素。此外,考虑到用户感知和测试时小区负荷情况,通过后台统计测试时段基站的上下行 PRB 利用率,发现除了晚忙时超过了 75%以外,其余测试时间段的小区负荷情况均正常,故非必要不作提及与分析。

在进行数据统计时,主要采用各终端同时连续进行 3 轮测试取均值的方法,减少了指标的随机波动性,保障数据可靠。

## 2 终端客户端多维度测试分析

### 2.1 网络限速对感知的影响

终端 1 于计费系统后台在达量限速 1 Mbps 条件下的 11 次测试结果表明:所测得速率围绕 1 Mbps 波动,均值 0.973 Mbps。如图 1 所示。

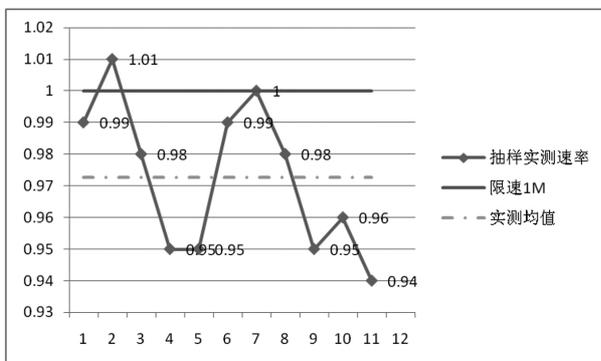


图 1 限速条件下的用户速率(Mbps)

其中两次测试结果举例见表 1,此时网络质量(下行速率)显著影响视频业务质量。网络限速在一定程度上也可以视为网络负荷高时的用户业务体验。

图 1 限速条件下的用户速率

终端 1	网页打开时延 (ms)	视频流畅度 (%)	语音拨打成功率 (%)	下载速率 (Mbps)
第一次	1432	63.12%	100%	0.94
第二次	1741	57.19%	100%	0.96

### 2.2 不同终端的感知对比

在同一地点、时间、相同网络条件下,进行不同终端的多项业务对比测试。

#### 2.2.1 多终端多业务测试

各终端的网络、业务感知测试数据取均值如图 2 所示(不含限速 1 Mbps 场景)。终端 1:上下下载速率值、视频流畅度、网页打开时延均最优。终端 2:上下下载速率值、视频流畅度均最低,但网页打开时延第二。终端 3:上下下载速率值、视频流畅度均居中,但网页打开时延最长,是其他终端的近 3 倍,网页打开感知差距明显。

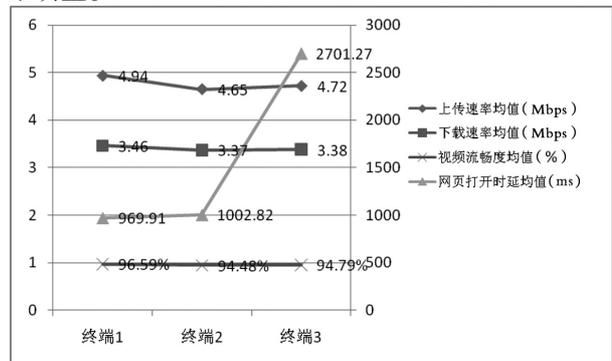


图 2 多终端多业务测试结果图

#### 2.2.2 不同终端的感知与性能关联性

结合各终端安装同一版本测评 App 后的跑分结果,综合比较见表 2。根据体验评测分及 HTML5 评测分,总体性能上从高到低依次为终端 1、终端 2、终端 3。而不同终端的这种性能差异,与客户端 App 测试得出的视频播放及网页打开等业务指标具有较强的—致性。

表 2 各终端 App 测评结果

	客户端 App 测试		手机性能测评 App	
	网页打开时延 (ms)	视频流畅度 (%)	体验评测分	HTML5 评测分
终端 1	969.91	96.59%	153.9	43382
终端 2	1002.82	94.48%	136.25	43591.5
终端 3	2701.27	94.79%	131.48	33657

### 2.3 用户行为对感知的影响

#### 2.3.1 VoLTE 通话对网页打开体验的影响

测试期间,终端 1 进行了手机操作系统的版本升级,有 19 次为升级前测试,20 次为升级后测试。结合是否限速,共有 4 种状态。状态 1:终端处于网络限速 1 Mbps 状态,网页测试时无 VoLTE 语音通话,终端操

作系统未升级。状态 2:终端未限速,网页测试时无 VoLTE 语音通话,终端操作系统未升级。状态 3:终端未限速,网页测试过程中已进行 VoLTE 语音通话,终端操作系统已更新升级。状态 4:终端未限速,网页测试时无 VoLTE 语音通话,终端操作系统已更新升级。终端 1 在各种状态下的业务表现如图 3 所示。

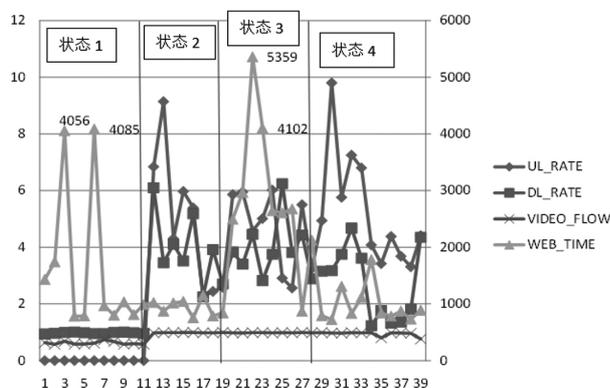


图 3 终端 1 的多状态感知测试结果图

与均无通话行为的状态 2、4 形成鲜明对比的是,在状态 3 时,终端 1 的 VoLTE 语音通话贯穿于网页打开测试始终,结果表明网页打开时延显著劣化。相关数据见表 3。

表 3 终端 1 在多状态下的业务均值

终端 1	网页打开时延均值 (ms)	上行速率均值 (Mbps)	下行速率均值 (Mbps)
状态 1 (限速 1 M、无通话)	1589.73	未测试	0.97
状态 2 (未限速、无通话)	936.88	4.87	3.9
状态 1、2 之均值	1314.84	4.87	2.21
状态 3 (未限速、有通话)	2871.67	4.63	3.96
状态 4 (未限速、无通话)	969.91	5.26	2.74

当 4G 空口承载 VoLTE 和上网并发业务时,不同业务共享信道资源。而即使 3 个 VoLTE 连接占用,带

宽也不超过 100 kHz,即 0.1 MHz。如此低的带宽占用,不足以严重影响网页打开性能,因此推论终端对 VoLTE 通话的维持,消耗了其本可用于网页打开的部分本机资源 (CPU、内存等),即此时的 (用户拨打 VoLTE 电话)行为是导致网页打开慢的主要因素。

### 2.3.2 VoLTE 通话对视频业务体验的影响

为进一步验证 VoLTE 拨打通话的影响,通过人工使用终端拨号盘主动拨打 10086,与此同时进行客户端的视频单项测试,得出一致的结论。终端 1 分别在未拨打电话和拨打电话且不挂断时的视频测试结果表明:两种状态下的视频业务流畅度分别是 98.46%和 64.58%。

可见,拨打 VoLTE 并保持接通状态的用户行为,给视频播放流畅性带来不利影响。

## 2.4 影响感知的多因素归纳

首先以终端 1 为例说明速率、用户行为、负荷等因素的影响,见表 4。表格数据按下行速率 DL\_RATE 为基准,以 1 Mbps 为增量步长进行分段统计呈现。为排除网络高负荷影响,指标统计中(前 5 条)剔除了晚忙时的数据并单列靠后。为排除业务并发影响,剔除了时延测试时存在 VoLTE 通话的数据并单列靠后。

表 4 中,下行速率 <2 Mbps 时,无论上网还是播放视频的感知均受到严重不良影响。当网络负荷和用户行为正常时,随着下行速率的提升,终端的网页打开时延不断缩短,而视频播放流畅性逐步增强。业务并发显著影响了网页时延,由于视频测试时无业务并发,因此视频播放良好;晚忙时则对视频类大包业务冲击较大,对小包类上网业务影响很小。

再以终端 3 为例,说明速率、负荷、终端性能等因素的影响,见表 5。类似的,可见网络负荷和下行速率对终端 3 的网页打开时延、视频播放流畅性均有不同程度影响。另外不可忽视的是,由于终端原因所致,终端 3 的业务指标普遍劣于终端 1。

表 4 终端 1 的业务感知数据均值

终端 1 指标均值	上行速率均值 (Mbps)	下行速率均值 (Mbps)	网页打开时延均值 (ms)	视频播放流畅度 (%)	信号接收功率 (dbm)	信噪比
限速 1 Mbps	未测试	0.97	1589.73	62.07%	-97.95	6.11
1 Mbps<下行速率<2 Mbps	3.96	1.44	1135.00	91.97%	-106.22	4.99
2 Mbps<下行速率<3 Mbps	2.42	2.48	998.50	98.34%	-102.72	6.74
3 Mbps<下行速率<4 Mbps	6.41	3.51	949.14	97.85%	-97.40	6.04
4 Mbps<下行速率	5.95	5.01	906.25	98.41%	-94.60	5.66
业务并发	4.63	3.96	2871.67	98.20%	-98.63	6.44
晚忙时 20 点	3.80	2.51	831.00	89.86%	-99.06	7.11

表 5 终端 3 的业务感知数据均值表

终端 3 指标均值	上行速率 (Mbps)	下行速率 (Mbps)	网页打开时延 (ms)	视频播放流畅度 (%)
1 Mbps<下行速率<2 Mbps	4.12	1.48	4027.13	92.92%
2 Mbps<下行速率<3 Mbps	3.42	2.68	3056.67	94.76%
3 Mbps<下行速率<4 Mbps	4.81	3.53	2200.10	95.50%
4 Mbps<下行速率<5 Mbps	5.59	4.32	2649.17	96.64%
5 Mbps<下行速率	6.40	6.56	2602.33	95.84%
晚忙时 20 点	3.75	2.20	2514.67	91.95%

### 3 后台系统的感知关联分析

#### 3.1 网页打开时延

智能手机打开网页从加载到渲染分为两个阶段：获取数据、渲染页面。首屏内容展示时间的快慢，很大程度上影响着用户的使用满意度。

一般可分阶段统计浏览网页时延<sup>④</sup>。时延指标 1 是网页首包时延，时延指标 2 是网页打开时延，时延指标 3 是网页首屏时延，统计的是手机发送第 1 个 DNS 查询请求消息到手机收到 SP 下发完网页首屏资源的时间差。

上述三个时延类指标为层层递进包含关系，即时延指标 1<时延指标 2<时延指标 3。从终端用户角度出发，“首屏时间”即时延指标 3，此时网页内容完全展现出来。另外，网页首屏时延也受到手机屏幕大小的影响，此次测试终端的屏幕大小相同或相近。

#### 3.2 网页打开时延的关联分析

##### 3.2.1 网页测试概述

客户端 App 的网页测试项目为打开同一手机主页的时间，所测试主页内容的大小约为 300 KB。按照测试期间三台终端平均 2.92 Mbps 的下行速率，主页内容下载约需时间 822 毫秒。

##### 3.2.2 联合分析

1) 网管后台同期统计结果见表 6。终端 2 和 3 之

间的“页面响应时延”未见明显差异。而“页面响应时延”、TCP 无线、核心网时延等不能完整反映出网页首屏时延的全貌，它们更多地反映出网络侧性能。

基于前、后台指标，近似测算测试主页的 SP 处理时延  $\delta$  (终端侧) = 首屏打开时间 - 页面响应时延 - 首屏资源的下载时间。 $\delta$  因终端而异，也与页面内容大小有关。以终端 3 为例，客户端的网页首屏时延实测值为 2515 ms，终端的下载速率 DL\_RATE 为 2.2 Mbps，则主页资源的下载时间(不考虑 TCP 重传) =  $300 \text{ KB} \times 8 / 2.2 \text{ Mbps} = 1090.91 \text{ ms}$ ，计入 TCP 重传时间 =  $1091 \times (1 + 4.71\%) = 1142.29 \text{ ms}$ ，故页面响应时延 + 资源下载时间 =  $142.66 + 1142.29 = 1284.95 \text{ ms}$ 。因此终端侧的 SP 处理时延  $\delta$  约为  $2515 - 1285 = 1230 \text{ ms}$ 。

再结合表 4、表 5 可知：终端 1 的网页渲染处理时间一般低于 300 ms，而终端 3 的处理时间达到 1~2 s，性能差距悬殊。

2) 第三方 App 测评。选取与网页打开强相关的测评项目得分，统计见表 7。

无论是体验评测，还是 HTML5 评测得分，终端 3 均落后于终端 1、终端 2。这解释了终端间 WEB\_TIME 的结果及其异同性，即终端 1、2 之间的 WEB\_TIME 相近，但与终端 3 存在显著差异的终端原因。

表 6 各终端的网络侧时延(网管后台)

终端	TCP 核心网时延 (ms)	TCP 无线时延 (ms)	TCP 时延 (ms)	TCP 重传率 (%)	HTTP 响应成功率 (%)	HTTP 首包时延 (ms)	页面响应时延 (ms)
终端 1	23.09	70.64	93.73	2.12	100.00	91.36	90.87
终端 2	23.60	105.10	128.7	5.35	98.18	61.97	142.66
终端 3	46.71	46.55	93.26	4.71	100.00	38.65	137.59

表 7 各终端的网页相关性能测评(第三方 App)

终端	体验评测分数			HTML5 评测分数				
	网页内容加载与滑动-解析耗时	网页内容加载与滑动-加载耗时	体验评测多项小计	HTML5-数据吞吐率	HTML5-文本排版引擎	HTML5-JavaScript 引擎 (Sun)	HTML5-JavaScript 引擎 (V8)	HTML5 评测多项小计
终端 1	5.96	5.58	18.97	7500	4500	4050	10000	26050
终端 2	5.07	5	17.24	7500	4625	3964	10000	26089
终端 3	5.47	5.38	15.59	2965	1375	3191	5387	12918

3.3 视频播放流畅度

视频播放流畅度 VIDEO\_FLOW=(视频时间 / 播放时间)\*100%。当零卡顿占比达到 95%时,能满足视

频精品网的感知需求<sup>[2]</sup>。将视频播放关联分析的前后台数据进行对比,如表 8 所示。

表 8 终端 1、2 的视频播放感知数据(前、后台)

时间	终端	网管后台				客户端 App			
		TCP 核心网时延 (ms)	TCP 无线时延 (ms)	TCP 重传率 (%)	下行 PRB 利用率 (%)	上行速率 (Mbps)	下行速率 (Mbps)	网页打开时延 (ms)	视频播放流畅度 (%)
时间 1 (14 点)	终端 1 (计费限速 1 M)	123.06	45.18	3.81	71.54%	未测试	0.96	1951.33	67.44%
时间 2 (19 点)	终端 1	23.75	35.21	1.86	71.12%	3.96	1.44	1135.00	91.97%
时间 3 (20 点)	终端 1	23.09	70.64	2.12	80.43%	3.80	2.51	831.00	89.86%
时间 3 (20 点)	终端 2	23.60	105.1	5.35	80.43%	4.61	2.70	978.67	89.02%

终端 1 在限速 1 Mbps 条件下的 TCP 核心网时延为 123.06 ms,大大超过了未限速条件下的时间 2、3 的均值 23.42 ms。即此处 TCP 核心网时延大,对应着计费系统对终端 1 的后台限速 1 Mbps 状态。

终端 1 在时间 1 下载速率慢、视频播放差:判断终端本身原因或计费限速可能(有达量限速 1 M 短信为证)。

终端 2 在时间 3 视频播放卡顿:考虑到此次视频播放测试时间为晚忙时 20-21 点期间,综合可推测为该时段网络业务繁忙、为容量受限原因导致下行速率较慢、视频卡顿。网管后台同期数据验证该时段基站的下行 PRB 利用率达 80.43%,这同样解释了终端 1 在时间 3 的视频表现。

4 4G 用户感知测试分析主要结论

根据此次多终端、多业务、多状态下大量的横向、纵向对比测试,以及多系统的前后台分析,关于 4G 用户感知的结论如下:

结论一:视频播放流畅度与上下下载速率特别是下行速率正相关,在因限速或网络高负荷导致未达到所需基本速率条件下,视频播放流畅度差(播放延时长、画面停顿等),此时网络质量(速率、容量负荷)显著影响业务质量。当基本速率条件满足时,视频播放效果比较稳定。其他影响因素还有终端侧操作等用户行为(如边通电话边看视频)。

结论二:影响网页打开时延的因素较多,有上下下载速率的相关性、终端的网页方面的性能(由手机硬件、软件等决定)、终端操作等用户行为(如边打电话边浏览网页)。在相同时间、位置、网络(基站)、SP 网站条件下,不同终端的网页打开时延快慢,不一定接近、甚至相差悬殊,与终端性能相关性强。

结论三:借助客户端 App 准确直观地反映出用

户的网络、业务、终端等性能,经多终端、多轮次在不同时间、位置的大量测试统计结果表明:用户各项业务体验客观上与网络质量(如速率、负荷水平)、终端性能(初始或老化版本等)、用户行为(如业务并发)、运营策略(如达量限速 1 Mbps 或 2 Mbps)等密切相关,影响程度因条件不同而相异。

结论四:后台系统在用户时延感知方面,虽然无法完整统计或还原包含用户终端处理耗时在内的全过程网页打开时间,但由于其更擅长网络侧 KQI、KPI 分析统计,在此次测试中主要发挥前后台互补优势,帮助更好更快地分析问题。

5 结束语

用户感知涵盖了网络、终端、用户行为等因素的综合影响,本文期待为 4G 用户感知的评价与提升、5G 业务的感知分析支撑及运营带来一定启示。客户端 App 统计发现,即使处于同一位置,终端 1 的 RSRP 均值优于终端 2 约一个 dB,其 SINR 均值优于终端 2 约半个 dB。未来可继续深入探究这种差异性与终端性能(含版本)、健康度(含机龄)的相关性。

关于 5G 用户的业务感知,以 NSA 为例,若不考虑 DNS 查询、业务端服务器处理等环节,其控制面和用户面整体时延可达到 600 ms 以下<sup>[9]</sup>,因而 5G 终端侧的业务处理性能更显重要。而且,还可以研究 5G 条件下,关于语音和视频通话的感知评估,如 VoNR 通话 MOS 值、视频电话 VMOS 值与网络、非网络因素之间的关系。目前,运营商对 5G 终端通信性能评测进行了有益研究,未来可进一步深入研究<sup>[10]</sup>。

【参考文献】

[1]李言兵.VoLTE 视频感知优化方法研究[J].电信技术,2019 (3):9-11,15. (下转第 35 页)

### 3 市场应用前景

本产品的推广应用具有明显的社会效益。在当今快节奏的年代,人们追求的是方便快捷,健康检查亦是如此。视力问题是近几年越发严重的问题,人们对视力的随时检测也越来越重视,而该款视力检测仪可以为视力测量用户提供方便,无需过多的操作就能检测到自己的视力情况。远程 IO 视力检测仪不仅使用方便,而且应用范围广泛,例如医院、工厂、福利机构等,特别是一些人员密集、体检人流量多的场所。科技让大家的的生活更加便捷,远程 IO 视力检测仪是顺应这个时代的产物,响应人们对健康的需求,如投入市场,会得到快速推广。

### 4 结论

远程 IO 视力仪是结合“互联网 + 技术”、智能控制技术、步进驱动技术于一体,具有全自动视力测试功能,并可随意根据用户情况进行 PLC 或单片机程序下载、上传与监控、升级。视力被测人员只需扫手机 App 进入远程控制云平台便可连接远程服务器进行视标自动检测,医护工作者也可通过手机连接云平台监视测试过程,及时获知被测者的测试级别结果。

### 【参考文献】

- [1]吴永强,王希娟,高海燕,花建新.分布式远程 I/O 通信在大型矿用磨机上的应用[J].矿山机械,2015(1):134-137.
- [2]菲尼克斯.PLCnext 与菲尼克斯 IO 的“完美关系”[J].今日制造与升级,2020(4):28-29.
- [3]刘雄飞,陈浩,聂伟,赖思敏.基于 MT7623A 的远程室内环境监测系统设计[J].传感器与微系统,2018(8):79-81.
- [4]吴程浩.基于 MQTT 及云平台的 PLC 远程监控系统[J].工业控制计算机,2019(11):39-40,42.
- [5]霍寅龙,周复.基于鲁棒滤波的细分驱动步进电机速度估计[J].微型电脑应用,2021(1):103-106.
- [6]王德民,严云帆,方程.船舶智能 IO 设备的模数转换设计[J].机电设备,2018(1):30-33.
- [7]李喜文,韩高翔,吴永强,郭庶,孔自亮.基于远程 I/O 的立磨控制系统设计[J].矿山机械,2020(4):37-41.
- [8]刘雄飞,陈浩,聂伟,赖思敏.基于 MT7623A 的远程室内环境监测系统设计[J].传感器与微系统,2018(8):79-81.
- [9]马林联,马铭泽.基于 PLC 和组态软件的沸腾锅炉监控系统设计[J].电气传动,2021(2):58-61.
- [10]车健生.PLC 教学中组态软件编程模拟梯形图方法探析[J].数字技术与应用,2020(12):16-19.

(上接第 3 页)

- [2]赵鸿,曹正元,顾绍德.光纤传感器在土木工程中的应用研究[J].激光与光电子学进展,2000(6):21-24.
- [3]郭芳,闫光等.基于光纤光栅传感器的海水入侵温度测量系统[J].激光与红外,2019(11):1357-1362.
- [4]常莹.航天液体发动机光纤应变测量技术应用研究[J].中国计量,2019(6):70-75.
- [5]高红春,唐才杰,蓝天,王学锋.高温光纤法珀压力传感器研究进展[J].仪表技术与传感器,2020(12):26-31.
- [6]Kim D-H, Koo B-Y, Kim C-G, Hong C-S. Damage detection of composite structures using a stabilized extrinsic Fabry Perot interferometric sensor system [J].Smart Materials and Structures,2004(13): 593-598.

- [7]赵煜,朱志成等.光纤传感技术在流量检测方面的应用研究[J].光通信技术,2019(5):9-12.
- [8]姚军,朱涛等.基于大偏置熔接的全光纤法布里珀罗湿度传感器[J].中国激光,2012(6):407-411.
- [9]Bao M.Analysis and design principles of MEMS devices [M]. The Netherlands: Elsevier, 2005.
- [10]Wang F, Shao Z, et al. Extrinsic Fabry-Perot underwater acoustic sensor based on microma-chined center embossed diaphragm [J].Journal of Lightwave Technology,2014 (32): 4026-4034.

(上接第 12 页)

- [2]郑正广,赵明月,许建新.4G 网络视频业务感知保障策略分析[J].电信技术,2018(2):85-88.
- [3]刘毅,肖涛,郭宝,张阳.提升 VoLTE 用户感知的保障策略研究[J].移动通信,2017(18):6-10.
- [4]林浩凌,吴奕生,郑伟旭,刘昕.基于移动互联网应用的感知评估体系研究[J].电信科学,2014(S1):1-5.
- [5]黄昭文.VoLTE 端到端客户感知评估方法的研究[J].移动通信,2017(21):64-69.
- [6]严斌峰,董慧,侯玉华.基于终端的感知技术浅析[J].电信科学,2015(3):8-14.

- [7]杨辉宇,郑浩彬,李金生,吕汉鑫.智能终端网络性能与问题定位方法研究及应用[J].电信科学,2014(1):110-115.
- [8]李钟瑞,戴明珠.移动用户业务感知时延类 KQI 优化[J].软件导刊,2019(2):169-173.
- [9]张丹,王磊,王晓琦,席思雨.5G 网络中 NSA 控制面和用户面时延性能分析[J].电信科学,2020(9):141-147.
- [10]中国移动终端实验室.中国移动 2020 年智能硬件质量报告(第一期)[EB/OL].[https://www.sohu.com/a/428199320\\_354883](https://www.sohu.com/a/428199320_354883),2020-10-29.