

文章编号: 2095-2163(2022)08-0114-05

中图分类号: TN929

文献标志码: A

室内走廊无线信号传播性能分析

陈明, 杨另, 徐冉, 王霞, 黎翱, 左志涛

(毕节高新技术产业开发区 国家能源大规模物理储能技术研发中心, 贵州 毕节 551712)

摘要: 为能更加准确有效地解决室内走廊中无线传感器网络节点部署、定位等问题。在楼道中对 2.4 GHz 无线信号的 50 帧数据进行传输, 测试不同的发射高度、不同接收距离、不同的接收位置的数据接收情况。测试结果表明, 在视距情况下, 随着收发天线高度逐渐增加, 无线信号的传输数据失真减少。当天线高度 $h = 0$ m 时, 数据失真严重, 有效距离最短; 当天线高度 $h = 1.6$ m 时, 数据基本无失真, 尤其是在中间和左边位置, 在整个 50 m 的楼道内都能进行有效传输。

关键词: 无线传感器网络; 2.4 GHz 无线信号; 50 帧数据; 有效传输距离

Analysis of wireless signal propagation performance in indoor corridor

CHEN Ming, YANG Ling, XU Ran, WANG Xia, LI Ao, ZUO Zhitao

(National Energy Large-Scale Physical Energy Storage Technology R&D Center of Bijie High-tech Industrial Development, Bijie Guizhou 551712, China)

[Abstract] In order to more accurately and effectively solve the problems of wireless sensor network node deployment and positioning in indoor corridors. The 2.4 GHz wireless signal is transmitted in 50 frames of data in the corridor, and the data reception conditions of different transmitting heights, different receiving distances, and different receiving positions are tested. The test results show that in the case of line-of-sight, as the height of the transmitting and receiving antenna increases gradually, the transmission data distortion of the wireless signal decreases. When the antenna height is $h = 0$ m, the data distortion is serious and the effective distance is the shortest. When the antenna height is $h = 1.6$ m, the data is basically not distorted, especially in the middle and left positions, it can be effectively transmitted in the entire 50 m corridor. The transmission distance in the case of non-line-of-sight is shorter than that in the case of line-of-sight. When the antenna height is $h = 1.6$ m, the effective transmission distance is around 20 m.

[Key words] wireless sensor network; 2.4 GHz wireless signal; 50 frames of data; effective transmission distance

0 引言

无线传感器网络因其自组织能力强、功耗低等特点, 在交通控制、智能家居等领域应用广泛^[1]。当无线传感器网络应用于室内场景时, 可实现楼道监控、无线定位等^[2]。因无线传感器网络中网络节点的通信容易受到环境的影响^[3], 因此在特定环境下研究无线传感器网络的传播特性是无线传感器网络设计的基础^[4]。

当前, 研究人员对室内无线信号的传播特性开展了很多有意义的研究。如: 文献[5-8]中主要依赖于接收信号强度指数(RSSI)来计算节点的距离, 从而达到定位的目的。文献[9]针对办公室中

长 6 m、宽 3 m 范围内的无线信号的衰落模型进行了研究。文献[10]研究了室内走廊中固定的收发天线高度为 1.2 m 时的无线信号的衰减情况。文献[11]对收发天线高度为 1.5 m 时, 且长为 10.76 m、宽为 6.72 m 的办公室内的 6 种频率下无线信号进行分析, 并得出了在不同频率下无线信号相应的路径损耗因子。文献[12]研究了室内走廊不同的发射天线角度以及不同的天线接收高度下的路径损耗模型, 并得出当天线角度与水平空间的夹角为 90° 时路径损耗最低, 在天线高度 $h = 1.5$ m 时路径损耗最小。文献[13]研究了室内环境中 ZigBee 无线网

基金项目: 贵州省科学技术基金(黔科合基础[2019]1442号); 贵州省科技支撑项目(黔科合支撑[2020]2Y064号); 贵州省平台及人才团队建设计划项目(黔科合平台人才[2017]5308); 贵州省大规模物理储能工程研究中心(黔发改高技[2017]951号); 大规模物理储能国家地方联合工程研究中心(发改办高技[2019]180号); 博士后工作站(黔科合平台人才[2019]5622)。

作者简介: 陈明(1992-), 男, 硕士, 主要研究方向: 控制科学与工程; 杨另(1995-), 男, 硕士, 主要研究方向: 控制科学与工程; 徐冉(1991-), 男, 硕士, 主要研究方向: 动力机械及工程; 王霞(1995-), 男, 硕士, 主要研究方向: 动力工程及工程热物理; 黎翱(1993-), 男, 硕士, 主要研究方向: 检测技术与自动化装置; 左志涛(1985-), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 动力机械及工程、物理储能及叶轮机械等。

通讯作者: 左志涛 Email: 2873546749@qq.com

收稿日期: 2022-01-13

络在不同的收发天线高度、天线的接收方向、接收端是否被人体遮挡、接收端的移动方向等4个不同的因素变动条件下,对信号RSSI的影响情况。提出了在典型情况下,没有遮挡时无线信号的传输模型,求得了更加准确的传输距离和信号强度间的关系,也提高了室内ZigBee无线网络的测距和定位精度。

文献[14]通过实验室与走廊之间的链路测试,分别对走廊到实验室之间的非视距链路传输、走廊到实验室之间的视距链路传输、走廊到走廊之间的链路传输进行测试。研究了墙体对无线信号链路造成的衰减特性,同时在多墙体环境下,对多墙体进行穿透测试,并在基于Lee模型中添加了墙体损耗因子,而且也还分析了楼梯场景中视距和非视距两种情况下的传播特点。实验结果表明,在拐角处路径损耗会发生明显变化,同时路径损耗并不是简单的线性变化。

综上所述,当前都是基于路径损耗进行的研究,并没有考虑节点的有效传输距离。由此可见,在传输一定距离以后,虽然能通过频谱仪接收信号,但是这些信号会存在一定程度的失真,从而导致测试结果不可靠等情况。此外,在测试过程中并没有考虑在不同的接收位置对无线信号的影响。因此,本文针对室内走廊中无线信号在不同高度、不同接收位置、不同收发距离情况下的数据传输进行研究,并对测试结果进行分析,为无线传感器网络在室内走廊中的部署提供了理论依据。

1 方案描述

1.1 测试环境

由于环境原因,如室内走廊中的墙壁、天花板、地板、以及走廊中的盆栽植物等因素,使得无线信号在传播过程中存在直射、绕射、反射等多种方式的传播路径,对无线信号的传输造成一定影响。无线信号的传播特性与频率和波长有关,无线信号的波长和频率将影响其穿透能力和绕射能力。当无线信号的频率越低时,信号的穿透能力就越弱,但无线信号的波长就会越长,其相应的反射能力以及绕射能力就会越强。反之,当无线信号的频率越高时,信号的穿透能力就越强,但无线信号的波长就会越短,其相应的反射能力以及绕射能力就会越弱。综前分析可知,当无线信号在室内走廊中传播时,环境因素会影响到无线信号的传播能力。因此,在特定场景下研究无线信号的传播特性是必要的。

1.2 测试方法

随着无线信号的不断应用和普及,为了能使无

线信号实现有效覆盖,而在楼道中合理部署节点,确保通过无线信号传输的信息完整、可靠、不失真,同时为了使实验场地更加接近于实际使用环境,实验地点选取位于贵州大学新校区(西校区)教学楼5楼楼道内。教学楼走廊长为50 m、宽为2.78 m、高度为2.6 m。考虑到应用时节点可能会位于不同位置,为了使实验环境能更加地接近于实际应用场景,在视距(收发端均位于楼道中)和非视距(发送端位于楼道的拐角附近,接收端位于楼道内)两种情况下进行实验。实验场景如图1所示。



(a) 视距环境

(b) 非视距环境

图1 视距和非视距的实测场景

Fig. 1 Field measurement of line-of-sight and non-line-of-sight scenes

为了完成测试,选用CC2530F256作为核心板,2根3 dB的全向天线,2个可升降三脚架(最高可升至1.6 m)以及笔记本电脑等辅助设备。

为了测试不同的收发天线高度对无线信号传输性能的影响,发射端天线与接收端天线均以0 m为起始高度,分别以0.4 m为步长逐渐升高到1.6 m。收发天线分别固定在高度可调节的三脚架上,以发射的一端作为参考,接收端分别位于发射端正前方左、中、右三个不同位置,用以测试无线信号的传输性能。当测试不同距离下无线信号的传输性能时,将发射端固定在楼道一端的中间位置,接收端以1 m为步长,逐次测量距离发射端不同距离时相对于发射端左、中、右三个不同位置下的数据失真情况。测试时,收发节点的部署位置如图2(a)所示;当测试非视距情况下的无线信号数据失真情况时,测试节点的部署如图2(b)所示。

具体测试步骤如下:

(1)将发射端高度调整为0 m,并将其部署在楼道一端中间位置。

(2)将接收端高度调整为0 m,与发射端位于距地同一高度。

(3)调整接收天线和发射天线之间的水平距离,并以中间作为基准,使收发天线间的水平距离为

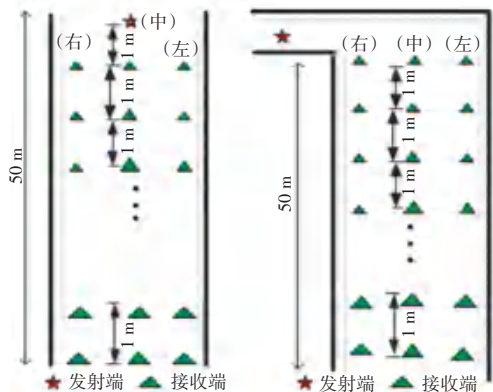
1 m。

(4)从发射端发射 50 帧数据,测试接收端接收到的数据。

(5)以中间位置作为基准,依次分别向左、右两边平移,并测试左、右两边接收到的数据。

(6)以 1 m 为步长,按照步骤(4)~(5)完成样本数据的测量。

(7)以 0.4 m 为步长,调整收发天线三脚架高度,重复步骤(3)~(6),完成所有样本点数据采集。



(a) 视距样本点示意图 (b) 非视距样本点示意图

图2 样本测试分布图

Fig. 2 Samples test distribution

2 测试结果分析

2.1 收发天线高度对传输性能的影响

当收发全向天线对地角度为 90° 时,测试收发天线间的水平距离、以及收发天线间的相对位置对无线信号传输的影响。结果如图 3、图 4 所示。

由图 3 可知,随着收发天线间的距离增加,无线信号的传输大致可以分为 3 部分:一部分是可靠传输距离。在这个距离以内,无线信号不出现失真,能够进行可靠传输;第二部分是不可靠传输距离。在这一段距离内,无线信号能进行传输,但传输的信号会存在不同程度的失真;第三部分是不能传输距离。在这段距离中,接收端天线基本无法接收到发射端天线发出的信号。无论接收天线位于哪个位置上,随着天线高度的增加,收发天线间的可靠传输距离随之增加。当天线高度 $h = 0$ m 时,由于无线信号主要受到地面的影响,数据失真较为严重,可靠传输距离较短;当天线高度 $0 \text{ m} < h < 1.2$ m 时,随着天线高度的增加,受地面的影响逐渐减小,无线信号的可靠传输距离增加;当天线高度 $1.2 \text{ m} < h < 1.6$ m 时,有效传输距离较长;当 $h = 1.6$ m 时,信号失真最少,传输距离最远,在整个楼道内都能进行有效传输。

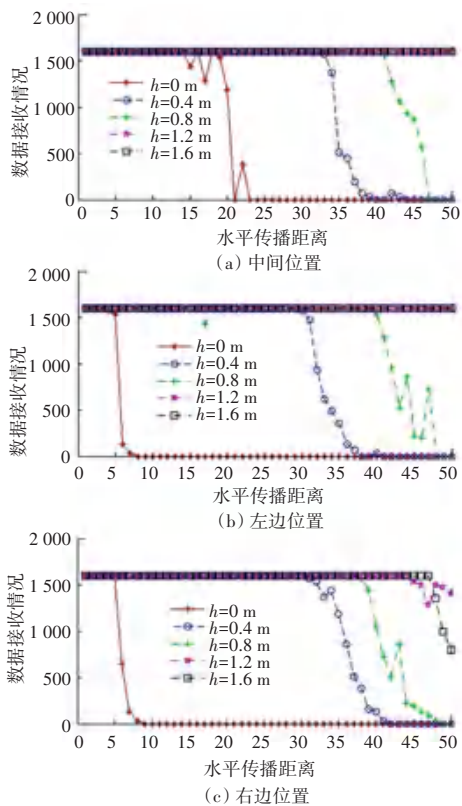


图3 视距条件下不同天线高度和接收位置数据接收情况

Fig. 3 Data receiving at different antenna heights and receiving positions under line-of-sight conditions

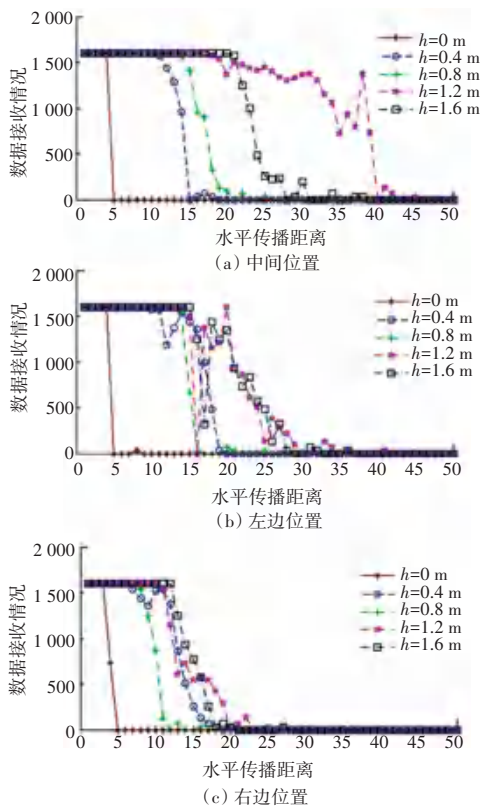


图4 非视距条件下不同天线高度和接收位置数据接收情况

Fig. 4 Data receiving at different antenna heights and receiving positions under non-line-of-sight conditions

由图 4 可知,当无线信号在非视距条件下传播时,由于受到楼道墙体影响较为严重,在楼道内只能接收到少部分信号。当天线高度 $h = 1.6\text{ m}$ 时,可靠传输距离只在 20 m 左右,相对于在视距条件下,非视距情况下的有效传输距离较短。

2.2 接收位置对传输性能的影响

为了测试接收天线相对于发射天线间相对位置对无线信号传输的影响,对不同高度下无线信号收发天线间传输性能进行测试,结果如图 5、图 6 所示。

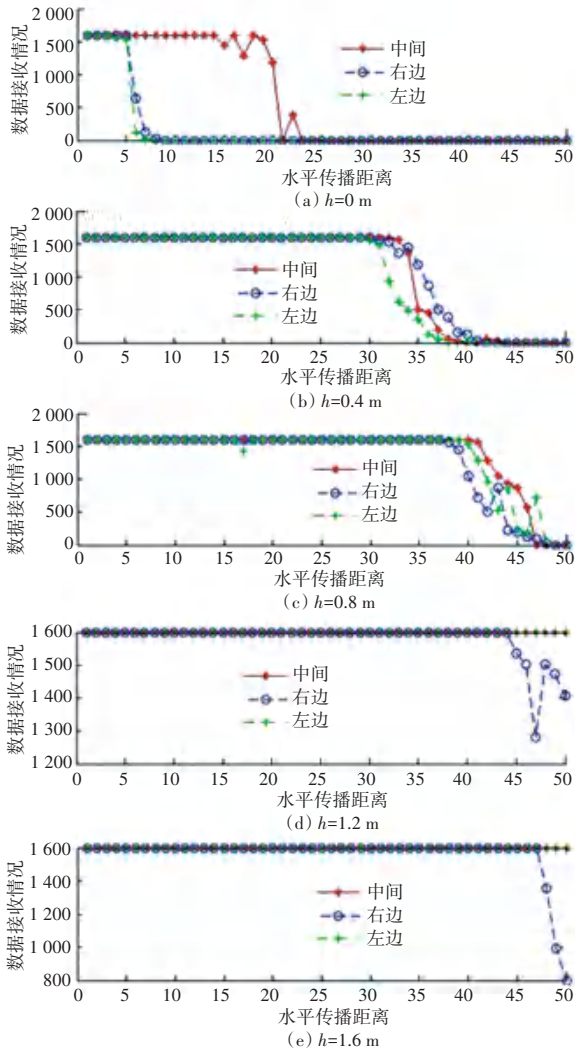


图 5 视距情况下不同接收位置无线信号传输情况

Fig. 5 Wireless signal transmission at different receiving positions under line-of-sight conditions

由图 5 可知,在视距条件下,无论收发天线位于左、中、右三种相对位置,均呈现出随着天线高度增加、数据的失帧减少趋势。当收发天线高度 $h = 0\text{ m}$ 时,主要受到地面的影响,无论接收天线位于何种位置,其有效传输距离都会较短。在中间位置的传输距离大于左、右两边传输距离,主要是因为此时中间位置受到两边墙壁的影响小,而左、右两边由于受到

墙体的影响严重,数据失真严重,使得有效传输距离也会较短。当收发天线高度 $0.4\text{ m} < h < 0.8\text{ m}$ 时,随着天线高度的增加,受地面影响逐渐减小,有效传输距离逐渐增加。当天线高度 $1.2\text{ m} < h < 1.6\text{ m}$ 时,左边和中间位置较右边接收位置的有效传输距离较远,在整个楼道内都能实现有效传输。在右边楼道主要是墙体有多扇门,墙体上有多处凸出的竖直墙体部分,导致无线信号在传输过程中出现失真,故而有效传输距离较中间位置和左边位置都要短。

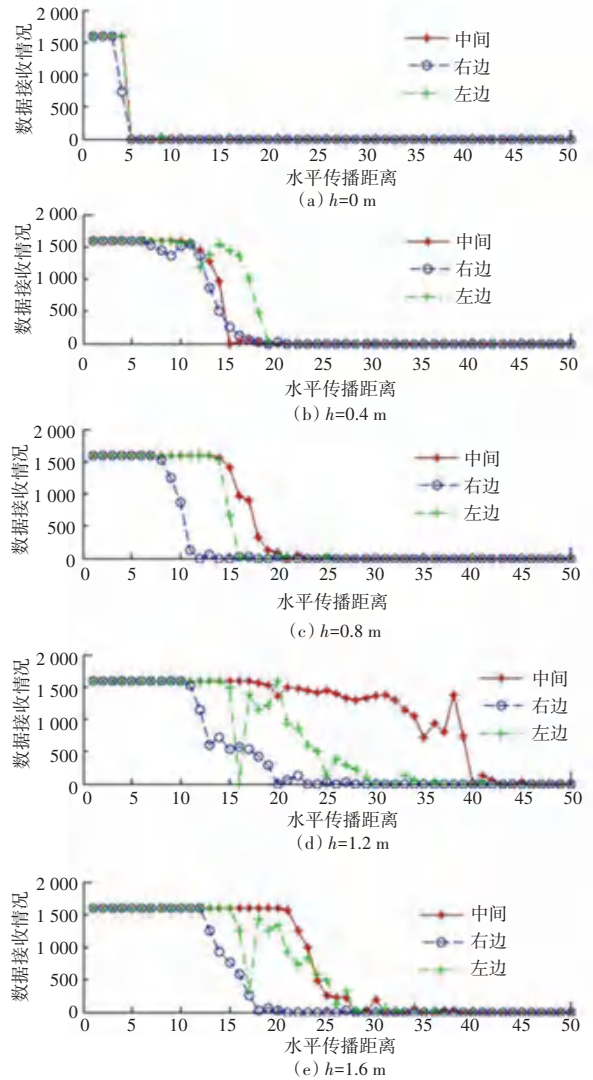


图 6 非视距情况下不同接收位置无线信号传输情况

Fig. 6 Wireless signal transmission at different receiving positions under non-line-of-sight conditions

由图 6 可知,右边的有效传输距离均较左边及中间位置的传输距离短,主要是因为非视距情况下,右边受墙体阻挡严重,导致右边相对于中间和左边有效传输距离较短。当天线高度 $h = 0\text{ m}$ 时,有效传输距离较短。当天线高度 $h = 1.6\text{ m}$ 时,有效传输距离较长,在 23 m 附近。

3 结束语

本文研究了 2.4 GHz 无线信号在室内楼道的传输性能,分析了接收角度和接收高度对无线信号传输性能的影响,并对视距和非视距情况下无线信号的传输性能进行了讨论,其结论如下:

(1)在视距情况下,随着天线高度的增加,无线信号的传输性能逐渐变好,当天线高度 $h = 1.6 \text{ m}$ 时,在整个 50 m 楼道内均能进行有效传输。

(2)在非视距情况下,由于受到墙体的影响,有效传输距离较短,当天线高度 $h = 1.6 \text{ m}$ 时,有效传输距离较长,有效传输距离在 20 m 附近。

参考文献

- [1] LU Jing, LU Dianjie, HUANG Xiaoxia. Channel model for wireless sensor networks in forest scenario [C]//Proceedings of the 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2010: 476-479.
- [2] LIU Yunyao, CHEN Lei, PEI Jian, et al. Mining frequent trajectory patterns for activity monitoring using radio frequency tag arrays [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. Washington D. C, USA: IEEE Press, 2007: 37-46.
- [3] 卢书海, 刘帅, 李建军, 等. 物联网关键技术及其在林业中的应用[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(11): 181-185.
- [4] HAN Jiawei, PEI Jian, YIN Yiwen. Mining frequent patterns

- without candidate generation [C]//Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. New York, USA: ACM Press, 2000: 1-12.
- [5] ZANELLA A. Best practice in RSS measurements and ranging [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 18(4): 2662-2686.
- [6] SADOWSKI S, SPACHOS P. RSSI-based indoor localization with the internet of things [J]. IEEE Access, 2018, 6: 30149-30161.
- [7] 王敏. 基于 Zig Bee 技术的无线定位系统研究与设计 [D]. 大连: 大连理工大学, 2019.
- [8] DIENG N A, CHARBIT M, CHAUDET C, et al. A multi-path data exclusion model for RSSI-based indoor localization [C]// Proceedings of the 15th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications. Taipei, Taiwan, China: IEEE, 2012. 336-360.
- [9] YAO H, HAMILTON H J, BUTZ C J. A foundational approach to mining itemset utilities from databases [EB/OL]. [2017-07-05] <http://www2.cs.uregina.ca/~butz/publications/siam04.pdf>.
- [10] LIN Chunwei, HONG T P, LU W H. An effective tree structure for mining high utility itemsets [J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(6): 7419-7424.
- [11] WU C W, SHIE B E, TSENG V S, et al. Mining top-K high utility itemsets [C]// Proceedings of ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York, USA: ACM Press, 2012: 78-86.
- [12] 张恒, 王霄, 曲行达, 等. 无线信号在室内走廊中的传播特性分析 [J]. 计算机工程, 2018, 44(10): 154-159, 174.
- [13] 李鹏斐, 王伟, 刘炳楠, 等. 室内环境对 ZigBee 无线网络信号传输强度的影响 [J]. 兵工学报, 2020, 41(S2): 275-279.
- [14] 张耀坤. 室内场景下无线传播模型的研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2021.

(上接第 113 页)

参考文献

- [1] 田春娜. 复杂背景下多视角人脸检测与识别 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
- [2] 张志伟. 可变光照条件下的人脸识别技术研究 [D]. 天津: 河北工业大学, 2012.
- [3] 苏岑, 金瑜成, 孙凯悦, 等. 基于 Gabor 小波和主成分分析的人脸表情识别 [J]. 台州学院学报, 2018, 40(06): 15-20.
- [4] CHANG Tianyuan, WEN Guihua, HU Yang, et al. Facial expression recognition based on complexity perception classification algorithm [J]. arXiv preprint arXiv: 1803.00185, 2018.
- [5] LOPES A T, AGUIAR E D, SOUZA A F D, et al. Facial expression recognition with Convolutional Neural Networks: Coping with few data and the training sample order [J]. Pattern Recognition, 2017, 61: 610-628.
- [6] PONS G, MASIP D. Supervised committee of Convolutional Neural Networks in automated facial expression analysis [J]. IEEE Transactions on Affective Computing, 2018, 9(3): 343-350.
- [7] KIM B K, LEE H, ROH J, et al. Hierarchical committee of deep CNNs with exponentially-weighted decision fusion for static facial

- expression recognition [C]// Proceedings of the 2015 ACM on International Conference on Multimodal Interaction. New York: ACM Press, 2015: 427-434.
- [8] 李江, 冉君军, 张克非. 一种基于降噪自编码器的人脸表情识别方法 [J]. 计算机应用研究, 2016, 33(12): 3843-3846.
- [9] WEN Yandong, ZHANG Kaipeng, LI Zhifeng, et al. A discriminative feature learning approach for deep face recognition [M]//LEIBE B, MATAS J, SEBE N, et al. Computer Vision-ECCV 2016. ECCV 2016. Lecture Notes in Computer Science(). Cham: Springer, 2016, 9911: 499-515.
- [10] WANG H, LI Z, JI X, et al. Face R-CNN [J]. arXiv preprint arXiv: 1706.01061, 2017.
- [11] 肖俊杰. 基于 YOLOv3 和 YCrCb 的人脸口罩检测与规范佩戴识别 [J]. 软件, 2020, 41(7): 164-169.
- [12] 邓黄潇. 基于迁移学习与 RetinaNet 的口罩佩戴检测的方法 [J]. 电子技术与软件工程, 2020, (5): 209-211.
- [13] 牛作东, 覃涛, 李捍东, 等. 改进 RetinaFace 的自然场景口罩佩戴检测算法 [J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(12): 1-7.
- [14] 方雅媚, 王红军, 黄矿裕, 等. 复杂背景下目标三维重构的图像预处理方法 [J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(13): 118-126.