



基于人工智能的基站巡检应用实践

周峰¹, 王兵²

(1. 中国电信股份有限公司上海研究院, 上海 200122;
2. 中国电信集团公司网络运行维护事业部, 北京 100032)

摘要: 运营商传统的通信基站巡检通过人工方式进行, 不仅耗费人力, 还存在安全性不高、结果不可验证、信息不全面等问题。主要介绍人工智能技术在运营商基站日常巡检领域的应用实践及面临的挑战, 包括智能巡检技术及产业发展概况、运营商传统巡检向智能化转化的需求动力、智能巡检解决方案、效果评价与数据分析等。在此基础上, 探讨了电信运营商未来开展 AI 自动巡检的应用场景与服务模式, 提出了智能巡检平台的部署方案建议。

关键词: 人工智能; 基站巡检; 无人机

中图分类号: TP181

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018297

Application practice of base station inspection based on AI

ZHOU Feng¹, WANG Bing²

1. Shanghai Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China
2. Network Operation and Maintenance Department of China Telecom Corporation, Beijing 100032, China

Abstract: Since the traditional base station inspection of telecom operators is enforced manually now, it not only consumes manpower, but also has many problems, such as safety, unverifiable result, and incomplete information and so on. The application practice and challenge of artificial intelligence technology in base station routine inspection of operators was introduced, which included the general situation of intelligent patrol technology and industry development, the demand of traditional patrol to intelligent transformation, intelligent patrol solutions, effect evaluation and data analysis, etc. On this basis, the application scenarios and service modes of future AI automatic patrol for telecom operators were discussed, and the deployment scheme of intelligent patrol platform was proposed.

Key words: artificial intelligence, base station inspection, unmanned aerial vehicle

1 引言

由于通信产业发展对于推动经济增长的贡献, 通信产业一直以来都是世界各国和地区高度重视的产业, 相关政策扶持和资金投入可观。5G、物联网、光网等更是行业中的重点。根据规划,

5G 服务将在 2020 年推出^[1], 国内外多家运营商将加快推出 5G 业务技术。物联网方面, 已经出现比较成熟的商业模式, 包括智能抄表、智能穿戴以及环境监控等。2020 年将有超过 500 亿台机器和设备进行互联, 超过 2 000 亿个联网传感器产生海量数据。联网汽车每天将产生 4 TB 数据, 一个

收稿日期: 2018-10-12; 修回日期: 2018-12-10

联网工厂每天将创造超过 1 PB 的数据。

巨大的市场应用需要强大的网络建设来支撑。2017 年,三大运营商着力提升网络品质,加快光纤网络建设,完善 4G 网络覆盖深度,不断消除覆盖盲点,移动网络服务质量和覆盖范围继续提升。图 1 为三大运营商的通信基站数增长态势,2017 年,全国净增移动通信基站 59.3 万个,总数达 619 万个,是 2012 年的 3 倍。其中 4G 基站净增 65.2 万个,总数达到 328 万个^[2]。

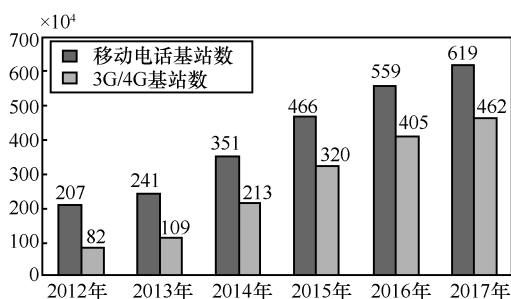


图 1 2012—2017 年三大运营商通信基站数

而规模巨大的通信基站铁塔,每年都需要进行月度巡检、季度巡检、半年度巡检、年度巡检,基站巡检的主要内容包括:移动通信基站主设备、基站传输设备、基站铁塔天馈线及接地系统、基站动力环境等^[3]。表 1 是传统基站巡检需要携带的工具清单,具体维护工作需要专业人员携带工具,前往实地勘测,对人员及工具要求比较高,工作也比较繁琐。

传统巡检方式除了工作复杂繁琐、耗费人力以外,还有如下痛点。

- 信息采集方面,存在基础数据采集的偏差、专业数据采集困难、采集成本高、时间周期长的问题。
- 自动化程度不高,依靠人工排查故障。通过车辆实地巡检采集数据的方式,维护成本大、维护效率低。
- 管理效能上,是否进行了一次巡检无据可查,缺乏巡检档案,无法进行周期性的比较。

表 1 传统基站巡检携带工具清单

序号	名称	最低标准
1	车辆	1 辆
2	笔记本电脑	1 套
3	测试手机	2 部
4	罗盘仪	1 套
5	水平仪	1 套
6	数字万用表	1 只
7	钳形电流表	1 只
8	红外线测温仪	1 套
9	组合工具	1 套
10	望远镜	1 部
11	数码相机	1 套
12	智能终端+蓝牙 GPS (管理 App)	1 套
13	手持 GPS	1 只
14	爬梯	1 部

- 安全方面存在安全风险大、安全监管难以到位的问题。

面对运营商通信基站巨大的市场需求,传统的基站巡检方式已经无法满足对效率、效果的日益增长的需求。在自动化信息采集、全方位大数据分析 & 安全风险管控方面,是否可以由一种新的智能巡检方案来替代或补充,成为一个非常值得研究的课题。

基于上述分析,本文介绍了人工智能技术如何在运营商开展基站日常巡检的应用实践,包括智能巡检技术及产业发展概况、智能巡检解决方案、效果评价与数据分析等。并在此基础上,探讨了电信运营商未来开展 AI 自动巡检的应用场景与服务模式,提出了智能巡检平台的部署方案建议。

2 智能巡检技术及产业发展概况

2.1 AI+传统行业的融合创新,推动社会转型升级

在我国,人工智能的发展可以说集天时、地利、人和,发展势如破竹。目前,大数据、算法、算力的发展为人工智能技术的发展奠定了基础,



人工智能逐渐融入各行各业之中，成为时代不可或缺的一部分。人工智能从个人消费到安防、医疗、交通、家居等众多领域渐次渗透，传统行业的信息化转型热潮也为人工智能技术的嵌入提供了有利基础，在 AI 商业化探索下，AI 逐渐融入传统行业的各个领域，以提升效率的方式赋能行业发展，逐渐成为各行业的基础设施。目前阶段下，人工智能技术发展呈现如下特性。

- 算法程序演进取得了阶段性重大突破。2017 年，人们见证了从 AlphaGo 到 AlphaGoZero^[4]，在所有棋类比赛中都横扫人类冠军。棋士柯洁在听闻“自学成才”的 AlphaGoZero 以 100:0 击败了曾经击败他的 AlphaGo 的时候，在微博上写下了这段话：“对于 AlphaGo 的自我进化来讲……人类太多余了。”
- 人工智能芯片开始呈现“百舸争流”局面。CPU、GPU、TPU、NPU 等在各厂商支持下面向 AI 加快提升性能、促进应用。Research and Markets 和 TechNavio 的分析师预测，全球 AI 芯片市场在 2017–2021 年，年均增速将高达 54%。
- 人工智能的应用持续拓展。斯坦福大学采用深度卷积神经网络，通过大量训练发展出模式识别的 AI，用以分析图片并诊断疾病，使皮肤癌的诊断准确率大幅提高。NASA 利用谷歌开发的 AI 进行分析，找出了 2 545 光年外开普勒-90 恒星的第 8 颗行星。iPhone8 和 iPhoneX 的发布，让人脸识别应用进入一个新的阶段。

2.2 无人机技术发展推动行业应用深入发展

UAV (unmanned aerial vehicle, 无人驾驶飞机) 是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞机^[5]。自诞生至今已经 100 多年，但最近在硬件、软件 and 数据处理方面的突破使得无人机能够成为商用主流。仅在美国，联邦

航空管理局 (FAA) 就预测 2016—2021 年间商用无人机机队将从 42 000 增长至 420 000。欧洲当局预计会有类似增长。所有这些增长的背后，隐藏着巨大的市场，并呈现如下发展趋势。

(1) 行业应用专业化

工业级无人机只有实现用途多领域、性能多样化发展，才能把潜在的需求变为现实的市场。随着对无人机应用价值认知程度的加深，无人机技术的不断创新必将颠覆众多行业的传统作业方式；工业级无人机高效的作业与强大的功能，将进一步推进传统行业变革，以实现产业更新升级。随着其在救灾、警务、环保、监测气候、货物运输等方面应用的扩大，尤其是太阳能无人机的使用场景更加丰富，将使无人机呈现出全领域发展的趋势，无人机的经济效益与社会价值更加凸显。通过实施“无人机+”计划，与传统职业跨界融合，细分出无人机应急救援、无人机公共安全、无人机环境保护、无人机石油巡线等垂直应用领域，将开拓全新的无人机产业民用发展新局面。

(2) 研发升级智能化

智能化趋势下，消费者对于无人机功能性需求提升，复杂的工业应用场景也对无人机提出了更多技术要求与更高的安全要求，需要深入系统的技术研发，从硬件、软件、算法、系统等方面构建起飞行安全体系。先进的机器人技术和算法技术、丰富的传感器和任务设备，可以自动、智能化地完成各项复杂的任务；智能无人机与 VR 技术、大数据、云计算、互联网、物联网相结合，未来将成为具备智能视觉、深度学习的“空中智能机器人”，能够自适应、自诊断、自决策、重规划，完全脱离人机一体的实体操作，可以实现飞行轨迹、操作控制的全过程数字化与自动化以及未来交通管理过程的数字化，这将在普通消费用户市场中获得巨大的应用空间，延续无人机在工作环境中的价值，向人类提供智慧服务。

2.3 AI+无人机巡检，深入垂直行业解决实际问题

电力行业的案例是最为明显的。南方电网公司发文大力发展无人机巡线业务，促进输电线路由传统人工巡检模式向人机协同巡检模式转变^[6]，明确提出政策导向为：大力发展机巡业务、建立“机巡+人巡”的协同巡检模式，承接公司发展规划和电网运营规划要求，实现输电线路运维领域创新驱动发展的重要举措。到 2020 年底，基本实现“机巡为主、人巡为辅”的协同巡检目标，110 kV 及以上线路的机巡覆盖率达 90%，220 kV 及以上线路“I 级、II 级风险管控”的机巡覆盖率为 100%，无人机巡检占比达到 70%。

巡检的缺陷分类见表 2，将线路元件细分为 8 类，需要巡检的内容共计 125 项，包括基础、防雷设施及接地装置、杆塔、导线、地线、接续金具、耐张线夹、链接金具、悬垂线夹、防护金具、绝缘子、通道及保护区、附属设施、接地极线路极址等^[7]。

表 2 智能电力巡检缺陷分类

序号	类别	说明
1	导地线相关缺陷	包括断股、散股、断线等
2	绝缘子缺陷	包括自爆等
3	线夹、均压环相关缺陷	包括损坏、滑移、倾斜等
4	防震锤相关缺陷	包括损坏、滑移、倾斜等
5	细小金具类缺陷	包括螺栓缺销子、螺栓缺螺母等
6	基础类缺陷	包括破损、坍塌、积水、下陷等
7	附属设施相关缺陷	包括各类附属设施损坏
8	异物缺陷	包括异物、鸟巢等

图 2 是电力线绝缘子及风电叶片缺陷，电力线绝缘子是电力线巡检中比较重要的内容，叶片缺陷也是风电装置的重要内容。

传统的叶片表面巡检方式是运维人员通过望远镜观测以及在风机附近仔细聆听叶片是否有刺耳的异常噪音，凭借经验判断。异常噪音通常是

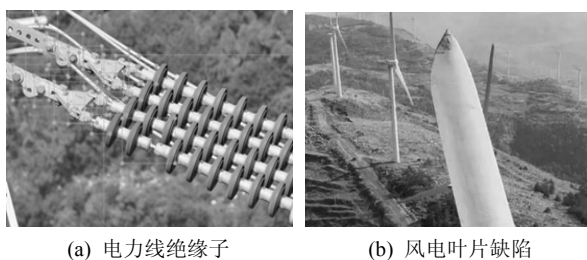


图 2 电力线绝缘子缺陷及风电叶片缺陷

由表面不平整或叶片边缘不平滑造成的，也可能由于叶片内部存在脱落物。传统的叶片巡检有以下缺点：巡检效率低，工人劳动强度大；高空作业，巡检成本高；需停机巡检，巡检时间长，且会造成发电量损失。

使用无人机飞行平台作为载体，搭载高分辨率可见光相机观察记录叶片表面状态同时向运维人员回传图像，当发现可疑点时，远程操作巡检设备进一步详细检查，并采集高清画面作为记录，不漏过每一个细节，为叶片做全方位多角度“体检”。可有效检测的内容包括：雷击损伤、叶片结冰、前缘腐蚀、叶尖排水孔堵塞、边缘开裂、涂层脱落、横向竖向裂纹、砂眼和整体结构失效。通过高清图像回传，可以准确无误地提供现场数据，通过深度学习的方式，在后期进行自动分析和研究。

3 智能基站巡检解决方案

基于人工智能的通信基站巡检，是人工智能技术在运营商基站监控测量领域的应用，采用了专业级高可靠的无人机飞行作业平台及人工智能图像处理系统，包含专业无人机飞行作业平台、人工智能图像处理系统，具备长航时/无监督自动飞行、GPU 图像深度学习、物体自动识别等特点，可自动识别铁塔、基站天线、线缆等设备的运行状态及异常情况，适合在铁塔基站、塔吊、超高灯杆等场景下进行维护检测作业。解决传统人力作业、登高作业危险程度高、管理统计难等问题。

图 3 所示为多站点连续绕点自动飞行实况，



可实现站点的螺旋绕飞摄像、多站点的连续自动飞行、目标图像/缺陷的自动识别等一体化基站巡检功能。



图3 多站点连续绕点自动飞行实况

3.1 智能巡检产品服务领域及内容

表3为智能巡检产品的服务领域及内容，包含建设规划、工程验收、监理、运维巡检等多个领域及项目。

3.2 深度学习算法

首先需要确定深度学习的整体目标，包括以下几个方面。

- 业务需求：首先必须要明确深度学习是要用来解决基站缺陷问题的，通过大量的基站缺陷数据，预测未来的缺陷影像。
- 数据：这个数据就是分析的基础，而且这个数量是庞大的，准备了九大类50 000多个可标注缺陷图像。
- 特征工程（feature engineering）：在明确目标模块中最为重要，包括数据清洗、数据整合、特征提取等几个步骤，根据业务需

求，提取出具有相同特征满足要求的所有数据。数据池中的数据是杂乱无章、参差不齐的，所以要提取出整齐、满足要求的数据，是相对复杂也极为重要的，只有这一步处理好了，下面的训练才能更加准确和高效。

其次是进行模型训练。

- 定义模型：要想通过学习训练得到训练模型，必须要先定义一个模型，明确要得到一个什么样的模型，才能通过大量的数据训练得到较为准确的模型。
- 定义损失函数：通过机器学习预测的结果和真正结果之间的关系。预测的结果肯定不十分准确，需要损失函数来填补二者之间的差距，让最终的预测结果尽可能地准确。
- 优化算法：目的是找到让损失函数取最小值的最优算法。

然后进行模型评估。

- 交叉验证：对预测结果进行验证，利用交叉的方法测试。
- 效果评估：要对这个预测结果的效果进行总体的评估，看是否能满足最初的业务需求，计算准确率，如果不达要求，还要重新前面的步骤，重新提取特征，进行训练，得到新的训练模型。
- 算法分类：缺陷标注属于半监督学习，需要在算法过程中逐渐完善类别、明确类别。

表3 智能巡检产品服务领域及内容

资产管理	建设规划	工程验收、监理	运维巡检
铁塔：资产编号、经纬度、高度、图像照片	三维地理建模	建设交付合规	铁塔：资产编号、高度、倾斜度、腐蚀度、图像照片
天线：数量、归属运营商、图像照片	数字测量	工程监理合规	天线：俯仰角变化、方位角变化、腐蚀度、图像照片
RRU及线缆：数量、长度、图像照片		安全合规	RRU及线缆：异常程度、图像照片
连接件：是否松动、生锈			连接件：是否松动、生锈
时间维度：巡检日期的对比			时间维度：巡检日期的对比

基础硬件为 nVidia Tesla P4(6.1)，采用了 CUDA 的并行计算构架^[8-9]，图 4 所示为使用 TensorFlow 调用底层 nVidia 的 GPU。采用 SSD 技术框架，具有平均准确率 mAP (mean average precision) 较高、速度快、漏检率低的特性。对输入 300 dpi×300 dpi 的图像，能够达到 35 帧/s 和 72.1% 的 mAP。

深度学习算法框架分为 3 部分：卷积层、目标检测层和 NMS 筛选层。卷积层采用了 VGG16 的基础网络，先用一个 CNN 来提取特征，然后再进行后续的目标定位和目标分类识别。目标检测层由 5 个卷积层和一个平均池化层组成。每一个卷积层，都会输出不同大小的特征图 (feature map)。在这些不同尺度的 feature map 上，进行目标位置和类别的训练和预测，从而达到多尺度检测的目的。在每个卷积层上都会进行目标检测和分类，最后由 NMS 进行筛选，输出最终的结果^[10]。多尺度 feature map 上做目标检测，就相当于多了很多宽高比例的边界框 (bounding box)，可以大大提高泛化能力。筛选

层先过滤掉类别概率低于阈值的 default box (默认框)，再采用 NMS 非极大值抑制，筛掉重叠度较高的物体。

3.3 无人机自动飞行数据采集

采用自主研制的无人机飞行平台及规划，自动设置飞行路线、轨迹。可执行的飞行场景包括：区域连续飞行、线状飞行、连续绕点飞行。可覆盖的巡检场景包括：平面场景、高山场景、高铁沿线场景。巡检站型包括：落地单管塔、落地角钢塔、景观塔等。

3.4 缺陷标注

采集与标注数据见表 4，包括接头、标签、走线、固定、防雷、工参、设备、塔身、异物九大类及 56 个小类。

3.5 自动识别

通过无人机飞行图像采集、标注、模型训练、优化等过程后，可以自动实现基站九大类缺陷及工程参数的自动计算，图 5 为飞行过程中动态采集并有效识别基站天线数量、朝向、运营商属性、缺陷、工程问题等。

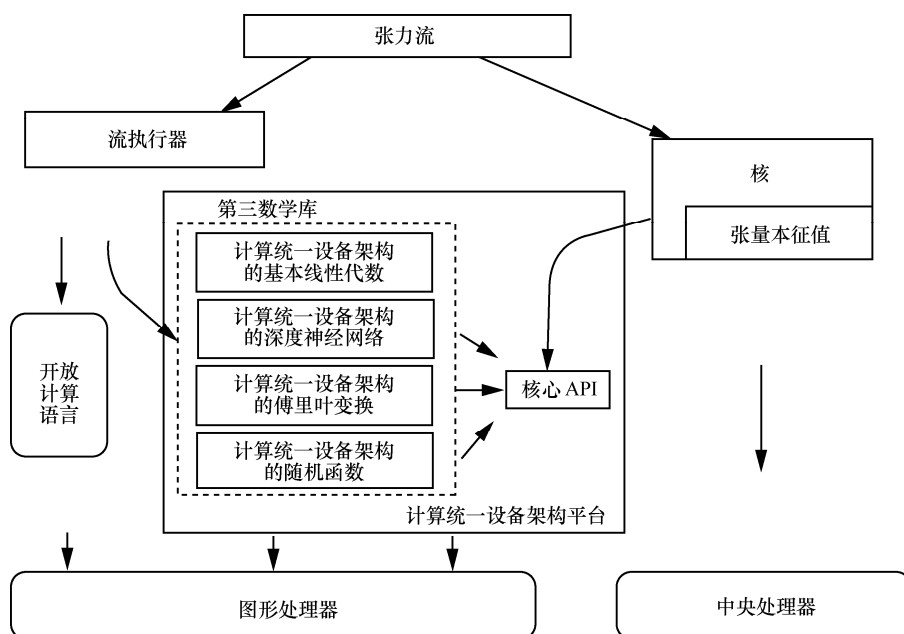


图 4 TensorFlow 调用 GPU 构架



表 4 基站缺陷分类

序号	大类	说明
1	接头缺陷	馈线/尾纤接头是否松动、腐蚀，包裹是否有裂缝
2	标签缺陷	天线、设备标签是否完好
3	走线缺陷	天线与 GPS 馈线、尾纤、电源线走线是否扎好，有无飞线
4	固定缺陷	天线、RRU、GPS 天线等有无松动、坠落危险
5	防雷缺陷	塔上 A 点接地是否正常，设备是否在避雷针 45°范围内
6	工参缺陷	方位角、下倾角是否正确
7	设备缺陷	射频天线、GPS 天线、RRU 等设备是否存在裂缝、破损，RRU 障碍指示灯是否亮起
8	塔身/抱杆缺陷	产权铁塔、抱杆的安全巡检，塔身有无裂缝、是否倾斜
9	异物缺陷	包括异物、鸟巢等



(a) 动态采集

(b) 有效识别

图 5 基站缺陷自动识别

4 效果评价与数据分析

4.1 产品技术优势

产品技术优势如下。

- 功能全，轻松实现基站巡检。自动识别铁塔、基站天线、线缆等设备的运行状态及异常。选配后可进行三维场强动态测定、红外测温、测环境指标。
- 硬件好、算法优、速度快。采用 nVidia Tesla P4(6.1)及对 DL 模型和框架进行优化的算法，mAP、速度明显优于 FRCNN。
- 准确率高，实测大于 95%。对基站的天线、RRU 设备、表面缺陷等情况的识别准确率

高达 95%以上。

- 顽健性好，满足多种环境需求。可识别各种维度，包括：角度（上下左右）、光线环境（反光、逆光、侧光）、天线的正反面等，可区分不同厂商、不同运营商。
- 产品不断更新，极具发展潜力，具有九大类 50 000 多个行业专属特征库。

4.2 应用数据分析

表 5 所示为数据分析结果，产品在上海及周边区域进行了 1 000 多个基站的基站巡检及 10 km 路灯巡检，深度学习模型可完全自主识别目标物体及缺陷，识别率高达 95%以上，取得了良好的目标识别效果。

表 5 应用数据分析

	基站巡检	路灯巡检
应用场所	上海及周边区域	上海浦星公路路灯
技术领域	AI+无人机	AI+无人机
AI 领域	深度学习、图像识别	深度学习、图像识别
应用数量	1 000 个	10 km
准确率	95%	95%
应用效果	接头 1%、标签 9%、固定 1%、 工参 100%、塔身 0、鸟窝 5%	27 个点无光照

4.3 建议

相对电力线巡检，电信运营商的 AI+无人机

巡检起步较晚,随着新技术、产业链的不断成熟及应用推进,采用人工智能方式进行基站巡检将会是一个非常适合的应用场景,是传统人工方式的有益补充。建议如下。

- 初期以技术论证为主,寻找高山、农村、岛屿、海洋、河道、高铁等典型场景,开展 AI 自动巡检的技术服务试点。
- 初步成熟后,制定日常巡检的规范,包括巡检制度、人员、设备、平台,开展规模化的人工智能技术应用,形成与传统人工方式的差异化定位。
- 中后期对标行业发展,进行商业化技术服务运营。

5 结束语

通过对基于人工智能的无人机监测运营产品的无人机图像采集、图像标注、深度学习算法实现及 AI 图像分析等智能巡检技术的应用实践,该产品已满足无人机智能巡检的基本功能,可以通过人工智能的方式实现多个基站的连续巡检、经纬度参数计算、各类异常识别等功能,大大减轻了人工方式的繁重劳动,具有很广阔的市场应用场景。

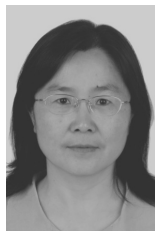
参考文献:

- [1] 工业和信息化部,国家发展和改革委员会. 扩大和升级信息消费三年行动计划(2018-2020年)[R]. 2018.
Ministry of Industry and Information Technology & National Development and Reform Commission. Three-year action plan for expanding and upgrading information consumption (2018-2020)[R]. 2018.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部运行监测协调局. 2017年通信业统计公报[R]. 2018.
Coordinating Bureau of Operation Monitoring of the Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Statistical bulletin of communications industry 2017[R]. 2018.
- [3] 张愿. 基站维护日常巡检作业七步骤[J]. 无线互联科技, 2011(2).
ZHANG Y. Seven steps of daily patrol operation for base station maintenance [J]. Wireless interconnection technology, 2011(2).
- [4] SILVER D, SCHRITTWIESER J. Mastering the game of go without human knowledge[J]. Nature, 2017(10).
- [5] 武晓华, 赵渊, 胡敏. 无人机在基站勘察巡检工作中的应用[J]. 电信工程技术与标准化, 2017(4).
WU X H, ZHAO Y, HU M. Application of UAV in base station survey and inspection [J]. Telecommunication Engineering Technology and Standardization, 2017(4).
- [6] 刘典安. 输电线路无人机巡检作业管理系统[J]. 农村电气化, 2017(8).
LIU D A. Unmanned aerial vehicle patrol operation management system for transmission lines [J]. Rural Electrification, 2017(8).
- [7] 徐云鹏, 毛强, 李庭坚. 输电线路机巡与人巡效果对比及协同巡检建议[J]. 南方电网技术, 2016(2).
XU Y P, MAO Q, LI T J. Comparison of the effect of transmission line machine patrol and human patrol and suggestions for coordinated patrol [J]. South China Power Grid Technology, 2016(2).
- [8] CUDA. Developer guide for optimus platforms[Z]. 2018.
- [9] NVIDIA CUDA. Deep neural network (cuDNN) developer guide[Z]. 2018.
- [10] 李岳平, 许悦雷, 马时平. 深度卷积神经网络的显著性检测[J]. 中国图象图形学报, 2016(1).
LI Y Y, XU Y L, MA S P. Significance detection of deep convolutional neural networks[J]. Chinese Journal of Image and Graphics, 2016(1).

[作者简介]



周峰(1977-),男,中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师,主要研究方向为移动网络、大数据及人工智能。



王兵(1966-),女,博士,中国电信集团公司网络运行维护事业部高级工程师,主要研究方向为无线网络技术、无线网络运维管理系统。