



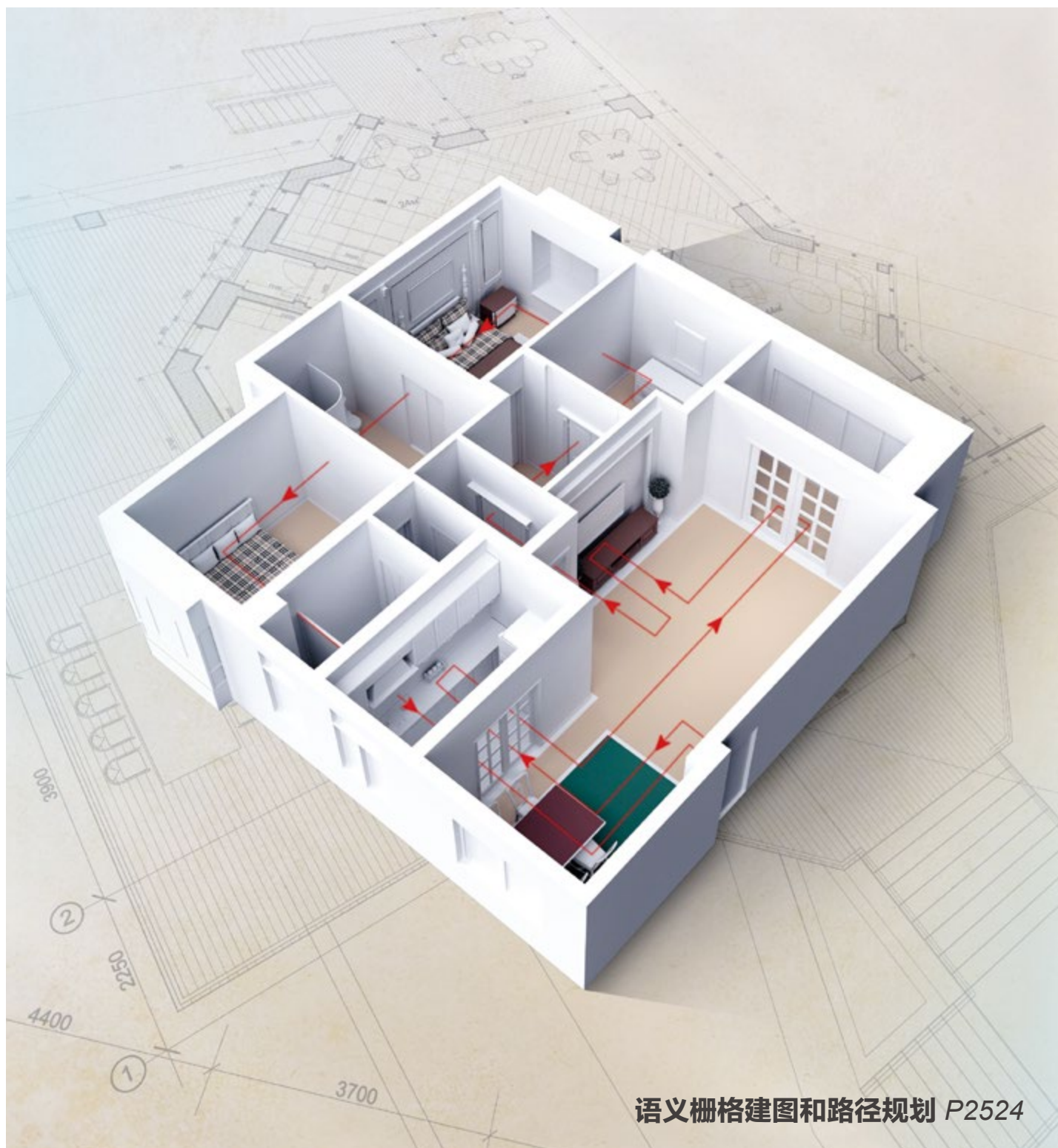
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院空天信息创新研究院
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2021
10
VOL.26

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



语义栅格建图和路径规划 P2524



第26卷第10期（总第306期）
2021年10月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院
主办单位 中国科学院空天信息创新研究院
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 吴一戎
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
通信地址 北京市海淀区北四环西路19号
邮 编 100190
电子信箱 jig@aircas.ac.cn
电 话 010-58887035
网 址 www.cjig.cn

广告发布登记号 京朝工商广登字20170218号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱: 北京399信箱 邮编: 100048)
印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian | Monthly, Started in 1996

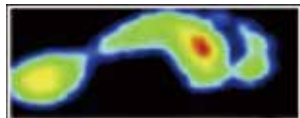
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Aerospace Information Research Institute, CAS
China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief Wu Yirong
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics
Address No. 19, North 4th Ring Road West, Haidian District, Beijing, P. R. China
Zip code 100190
E-mail jig@aircas.ac.cn
Telephone 010-58887035
Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)
Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB
ISSN 1006-8961
CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406
国内邮发代号 82-831
国内定价 60.00元



穿鞋足迹序列的足迹能量图组表达与识别(第2357页)



时空图卷积网络与注意机制的视频目标分割(第2376页)



双光流网络指导的视频目标检测(第2473页)

综述

图像分类的深度卷积神经网络模型综述

张珂, 冯晓晗, 郭玉荣, 苏昱坤, 赵凯, 赵振兵, 马占宇, 丁巧林 2305

中国图像工程25年

章毓晋 2326

数据集论文

FGSC-23: 面向深度学习精细识别的高分辨率光学遥感图像舰船目标数据集

姚力波, 张筱晗, 吕亚飞, 孙炜玮, 李孟洋 2337

图像处理和编码

并行生成网络的红外—可见光图像转换

余佩伦, 施佳, 王晗 2346

图像分析和识别

穿鞋足迹序列的足迹能量图组表达与识别

王新年, 于丹, 张涛 2357

时空图卷积网络与注意机制的视频目标分割

姚睿, 夏士雄, 周勇, 赵佳琦, 胡伏原 2376

多支路协同的RGB-T图像显著性目标检测

蒋亭亭, 刘昱, 马欣, 孙景林 2388

改进R-FCN模型的小尺度行人检测

刘万军, 董利兵, 曲海成 2400

边缘与区域不一致性引导下的图像拼接篡改检测网络

蒋小玉, 刘春晓 2411

图像理解和计算机视觉

各向异性导向滤波的红外与可见光图像融合

刘明威, 王任华, 李静, 焦映臻 2421

卷积稀疏与细节显著图解析的图像融合

杨培, 高雷阜, 訾玲玲 2433

计算机图形学

利用距离与内能极小平滑链接Bézier曲线

李军成, 刘成志, 刘珊君 2450

NCIG 2020

结合置信度加权融合与视觉注意机制的前景检测

成科扬, 孙爽, 王文杉, 师文喜, 李鹏, 詹永照 2462

双光流网络指导的视频目标检测

尉婉青, 禹晶, 史薪琪, 肖创柏 2473

生成对抗网络驱动的图像隐写与水印模型

郑钢, 胡东辉, 戈辉, 郑淑丽 2485

融合语义—表观特征的无监督前景分割

李熹, 马惠敏, 马洪兵, 王弈冬 2503

场景视点偏移的激光雷达点云分割

郑阳, 林春雨, 廖康, 赵耀, 薛松 2514

激光—相机系统语义栅格建图和路径规划

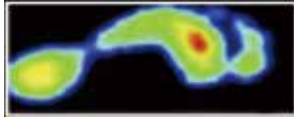
丁梦远, 郭迟, 黄凯 2524

融合词袋连通图的图像检索特征选择

李国祥, 王继军, 马文斌 2533

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Shoeprint sequence representation and recognition using shoeprint energy map set (P2357)



Spatial-temporal video object segmentation with graph convolutional network and attention mechanism(P2376)



Dual optical flow network-guided video object detection(P2473)

Review

Overview of deep convolutional neural networks for image classification

Zhang Ke, Feng Xiaohan, Guo Yurong, Su Yukun, Zhao Kai, Zhao Zhenbing, Ma Zhanyu, Ding Qiaolin 2305

Twenty-five years of image engineering in China

Zhang Yujin 2326

Dataset

FGSC-23: a large-scale dataset of high-resolution optical remote sensing image for deep learning-based fine-grained ship recognition

Yao Libo, Zhang Xiaohan, Lyu Yafei, Sun Weiwei, Li Mengyang 2337

Image Processing and Coding

Infrared-to-visible image translation based on parallel generator network

Yu Peilun, Shi Quan, Wang Han 2346

Image Analysis and Recognition

Shoeprint sequence representation and recognition using shoeprint energy map set

Wang Xinnian, Yu Dan, Zhang Tao 2357

Spatial-temporal video object segmentation with graph convolutional network and attention mechanism

Yao Rui, Xia Shixiong, Zhou Yong, Zhao Jiaqi, Hu Fuyuan 2376

Multi-path collaborative salient object detection based on RGB-T images

Jiang Tingting, Liu Yu, Ma Xin, Sun Jinglin 2388

Small-scale pedestrian detection based on improved R-FCN model

Liu Wanjun, Dong Libing, Qu Haicheng 2400

Edge and region inconsistency-guided image splicing tamper detection network

Jiang Xiaoyu, Liu Chunxiao 2411

Image Understanding and Computer Vision

Infrared and visible image fusion with multi-scale anisotropic guided filtering

Liu Mingwei, Wang Renhua, Li Jing, Jiao Yingzhen 2421

Image fusion method of convolution sparsity and detail saliency map analysis

Yang Pei, Gao Leifu, Zi Lingling 2433

Computer Graphics

Smoothing linked Bézier curves by distance and internal energy minimization

Li Juncheng, Liu Chengzhi, Liu Shanjun 2450

NCIG 2020

Foreground detection via fusing confidence by weight and visual attention mechanism

Cheng Keyang, Sun Shuang, Wang Wenshan, Shi Wenxi, Li Peng, Zhan Yongzhao 2462

Dual optical flow network-guided video object detection

Yu Wanjing, Yu Jing, Shi Xinqi, Xiao Chuangbai 2473

End-to-end image steganography and watermarking driven by generative adversarial networks

Zheng Gang, Hu Donghui, Ge Hui, Zheng Shuli 2485

Semantic-apparent feature-fusion-based unsupervised foreground segmentation method

Li Xi, Ma Huimin, Ma Hongbing, Wang Yidong 2503

LiDAR point cloud segmentation through scene viewpoint offset

Zheng Yang, Lin Chunyu, Liao Kang, Zhao Yao, Xue Song 2514

Semantic grid mapping and path planning combined with laser-camera system

Ding Mengyuan, Guo Chi, Huang Kai 2524

Feature selection method for image retrieval based on connected graphs and bag of words

Li Guoxiang, Wang Jijun, Ma Wenbin 2533

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2021)10-2326-11

论文引用格式: Zhang Y J. 2021. Twenty-five years of image engineering in China. Journal of Image and Graphics, 26(10): 2326-2336(章毓晋. 2021. 中国图像工程 25 年. 中国图象图形学报, 26(10): 2326-2336) [DOI:10.11834/jig.200395]

中国图像工程 25 年

章毓晋*

清华大学电子工程系, 北京 100084

摘要: 本文是对至今已连续发表 25 年的中国图像工程年度文献综述系列的概括回顾。近 25 年来, 为了使国内广大从事图像工程研究和图像技术应用的科技人员能够较全面地了解图像工程研究和发展的现状, 能够有针对性地查询有关文献, 并向期刊编者和作者提供有用的参考, 笔者每年都对上一年度图像工程的相关文献进行统计和分析。25 年间, 该综述系列从国内 15 种有关图像工程重要期刊所发行的共 2 964 期上所发表的 65 040 篇学术研究和应用技术文献中, 选取出 15 856 篇属于图像工程领域的文献, 并根据各文献的主要内容将其分别归入图像处理、图像分析、图像理解、技术应用和综述评论 5 个大类, 然后进一步分入 23 个专业小类, 并在此基础上分别进行各期刊各类文献的统计和分析。此次回顾, 除汇总了 25 年的统计分类情况, 还着重对一些主要的研究方向进行了分析和讨论。这样, 不仅可从中了解最近四分之一世纪图像工程相关文献的发表情况, 还可以提供全面和可信的各研究方向发展趋势的信息。

关键词: 图像工程 (IE); 图像处理 (IP); 图像分析 (IA); 图像理解 (IU); 技术应用 (TA); 文献综述; 文献分类; 文献计量学

Twenty-five years of image engineering in China

Zhang Yujin*

Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: This is an overview of the annual survey series of bibliographies on image engineering in China for the past 25 years. Images are an important medium for human beings to observe the information of the real world around. In its general sense, the word “image” could include all entities that can be visualized by human eyes, such as a still image or picture, a clip of video, as well as graphics, animations, cartoons, charts, drawings, paintings, even also text, etc. Nowadays, with the progress of information science and society, “image” rather than “picture” is used because computers store numerical images of a picture or scene. Image techniques are those techniques that have been invented, designed, implemented, developed, and utilized to treat various types of images for different and specified purposes. They are expanding over wider and wider application areas. They have attracted more and more attention in recent years with the fast advances of mathematic theories and physical principles, as well as the progress of computer and electronic devices, etc. Image engineering (IE) is an integrated discipline/subject comprising the study of all the different branches of image techniques, which has been formally proposed and defined 25 years ago to cover the whole domain. Image engineering, from a perspective more oriented to techniques for treating images, could be referred to as the collection of three related and partially overlapped groups of image techniques, that is, image processing (IP) techniques (in its narrow sense), image analysis (IA) techniques and image understanding (IU) techniques. In a structural sense, IP, IA and IU build up three inter-connected

收稿日期: 2020-12-30; 修回日期: 2021-02-08; 预印本日期: 2021-02-15

* 通信作者: 章毓晋 zhang-yj@tsinghua.edu.cn

layers of IE. The three layers follow a progression of increasing abstractness and of decreasing compactness from IP to IA to IU. Each of them operates on different elements (IP's operand is pixel, IA's operand is object, and IU's operand is symbol) and works with altered semantic levels (from low level for IP, via middle level for IA, and to high level for IU). The evolving of image engineering is very quickly, its advances are closely related to the development of biomedical engineering, office automation, industrial inspection, intelligent transportation, remote sensing, surveying and mapping, and telecommunications, etc. To follow the development and to record the progress of image engineering, a bibliography series have been started since the propose of image engineering 25 years ago, and this work has been made consecutively till this year. With a set of carefully selected journals and the thoroughly reading on the papers published, several hundreds of papers related to image engineering are chosen each year for further classification and statistical analysis. The motivations and purposes for this work are three folds. 1) to enable the vast number of scientific and technical personnel engaged in image engineering research and image technology applications for grasping the current status of image engineering research and development, 2) to help them for searching relevant literature in a targeted manner, 3) to provide useful information for journal editors and authors. Based on these three points, the statistics and analysis of the previous year's literature related to image engineering are carried out in every year. In particular, three works are mainly conducted. 1) Forming a classification scheme for literatures. The coverage of research and technology in image engineering is quite large. For the analysis to be general for the whole domain and specific for particular direction, a classification scheme in two levels for literatures is formed. The top level is for the research domains in general (main-class), and the bottom level is for the specific research directions (sub-class). With the development of technology, the sub-classes have been adjusted and increased, from the initial 18 sub-classes to the current 23 sub-classes. 2) Analyzing the statistics for main classes of literatures. This analysis could provide a general picture over the different research domains along the years. 3) Analyzing the statistics for sub-classes of literatures. This analysis could deliver a specific figure to the different research directions at the current year. In the past 25 years, a total of 2 964 issues of 15 major Chinese journals on image engineering in China have been selected for this annual survey series. From 65 014 academic research and technical application papers published in these issues, 15 850 papers in the field of image engineering have been chosen, and classified according to the contents, into five broad classes: (A) image processing, (B) image analysis, (C) image understanding, (D) technology application and (E) review. Then they are further divided into 23 professional sub-classes, namely in brief: (A1) image capturing; (A2) image reconstruction from projections; (A3) image filtering, transformation, enhancement, restoration; (A4) image and/or video coding; (A5) image safety and security; (A6) image multiple-resolutions; (B1) image segmentation; (B2) representation, description, and measurement of objects; (B3) analysis of color, shape, texture, structure, motion, spatial relation; (B4) object extraction, tracking, and recognition; (B5) human biometrics (face, organ, etc.) identification; (C1) image registration, matching and fusion; (C2) 3-D modeling and real world/scene recovery; (C3) image perception, interpretation and reasoning; (C4) content-based image and video retrieval; (C5) spatial-temporal technology; (D1) system and hardware; (D2) telecommunication application; (D3) document application; (D4) bio-medical imaging and applications; (D5) remote sensing, radar, surveying and mapping; (D6) other application domains; and (E1) cross category summary and survey. In this paper, these classified data for all 25 years are integrated and analyzed. The foremost intention is to show a progression of image engineering, and to provide a vivid current picture of image engineering. An overview of the literature survey series on image engineering made in the last 25 years is supplied. The idea behind as well as a thorough summary of obtained statistics for this survey are illustrated and discussed. Many useful information regarding the tendency of fast progresses of image engineering can be obtained. According to the statistics collected and analyses performed, it is seen that the field of image engineering has changed enormously in recent years. It is seen that techniques for image engineering being developed, implemented and utilized on a large scale no one would have predicted a few years ago. One interesting point should be mentioned here is that the fast growth and relative increase of image analysis publications over image processing publications are clearly observed. This gives an indication of a general tendency for the image engineering toward to higher layer. After image analysis, image understanding will catch up and come from behind. This trend has already made an appearance, for example, in the International Conference on Image Processing (ICIP2017), the new research papers related to topic of "Image & Video Interpretation & Understanding" are much more than those related to

topic of “Image & Video Analysis” (<http://2017.ieeeicip.org/>) . In addition to the statistical information for publication in these 25 years, some main research directions are analyzed and deliberated, especially those in image processing, image analysis and image understanding, to present more comprehensive and credible information on the development trends of each technique class. Some insights from it are also pointed and discussed. It is evident that through the statistical analysis of the published papers in important journals of image engineering, it cannot only help people understand the general situation of researches and applications, but also provide scientific basis for the development of relevant disciplines and research strategies.

Key words: image engineering (IE); image processing (IP); image analysis (IA); image understanding (IU); technique application (TA); literature survey; literature classification; bibliometrics

0 引言

图像工程是一个系统研究各种图像理论,开发各种图像技术和方法,以及研制和使用各种图像设备的综合学科,主要可分成紧密联系又有区别的3个层次:图像处理、图像分析和图像理解(章毓晋,1996a)。

从1996年开始的中国图像工程综述系列已连续进行了25年,共发表了26篇(第1年分两篇发表)统计图像工程研究应用文献的综述性文章(章毓晋,1996a,1996b,1997,1998,1999,2000,2001,2002,2003,2004,2005,2006,2007,2008,2009,2010,2011,2012,2013,2014,2015,2016,2017,2018,2019,2020),每篇综述性文章所涉及的文献均发表在前一年国内的15种中国图像工程重要期刊上(章毓晋,1999)。基于对它们内容的分类和统计,以及对结果的分析 and 讨论,构成了一个已连续25年的中国图像工程的年度文献综述系列。

本文对这25年的中国图像工程年度文献综述系列的总体情况给予一个概况回顾,并结合分类和统计结果,对这些年我国图像工程发展的热点和所展现的趋势进行分析和讨论。

1 综述系列的文献选取

该综述系列的目的从开始时主要有3个:

- 1) 概括我国图像工程发展现状;
- 2) 便利从事图像工程研究和图像技术应用的人员查阅有关文献;
- 3) 提供期刊编者和文献作者有用的参考信息。

该综述系列对期刊选取的原则是:

- 1) 读者较广,均为发行比较广泛的国内中文一次文献期刊;
- 2) 水平较高,主要为国内一级学会的会刊,其余也是相关专业领域中重要的二级学会会刊;
- 3) 信息较多,指期刊内有关图像工程的文献比较集中,一般平均每期多在两篇以上。

根据上述原则选出15种期刊,根据其刊名按所给缩写代号统一按拼音顺序排列如表1。

表1 所选期刊名称和代号
Table 1 Selected journals and their abbreviations (codenames)

序号	代号	期刊名称
1	[CT]	《CT理论与应用研究》
2	[CX]	《测绘学报》
3	[DC]	《电子测量与仪器学报》
4	[DX]	《电子学报》
5	[DxX]	《电子与信息学报》
6	[JX]	《计算机学报》
7	[MR]	《模式识别与人工智能》
8	[SC]	《数据采集与处理》
9	[TX]	《通信学报》
10	[XC]	《信号处理》
11	[YX]	《遥感学报》
12	[ZS]	《中国生物医学工程学报》
13	[ZTi]	《中国体视学与图像分析》
14	[ZTu]	《中国图象图形学报》
15	[ZX]	《自动化学报》

该综述系列对文献选取的原则是:

- 1)以中文发表的(各刊上仅用英文撰写的文献和直接从外文翻译的译文没有考虑,同时有中英文两种版本的仅考虑了中文的)、主要报道国内研究人员工作成果的文獻;
- 2)属于学术论文、研究简报、研究通信、技术应用等介绍图像工程最新研究成果与技术进展的文獻(没有包括诸如科学普及类型和介绍性讲座类型的文獻);
- 3)作为年度综述,每年只选取在上一年出版的期刊(未考虑增刊(章毓晋,1997))上发表的文献。

2 综述系列的文献分类

图像工程文献涉及内容多,覆盖面广,合理的文献分类方案至关重要。该综述系列采用的一贯分类方案是:首先把所有文献分成图像处理、图像分析、图像理解、技术应用和综述评论 5 个大类;然后在每个大类中再根据文献内容的主要技术特点或应用领域进一步分成不同的小类(综述评论大类相关文献较少,目前只定了 1 个小类)。具体对文献的分类情况和各类别所用代号见表 2。

表 2 所选文献分类简表
Table 2 List of classifications for selected literatures

大类	名称	小类	名称和主要内容
A	图像处理	A1	图像获取(包括各种成像方式方法,图像采集、表达及存储,摄像机校准等)
		A2	图像重建(从投影等重建图像、间接成像等)
		A3	图像增强/恢复(包括变换、滤波、复原、修补、置换、校正、视觉质量评价等)
		A4	图像/视频压缩编码(包括算法研究、相关国际标准实现改进等)
		A5	图像信息安全(数字水印,信息隐藏,图像认证取证等)
		A6	图像多分辨率处理(超分辨率重建、图像分解和插值、分辨率转换等)
B	图像分析	B1	图像分割和基元检测(边缘、角点、控制点、感兴趣点等)
		B2	目标表达、描述、测量(包括二值图像形态分析等)
		B3	目标特性提取分析(颜色、纹理、形状、空间、结构、运动、显著性、属性等)
		B4	目标检测和识别(目标 2-D 定位、追踪、提取、鉴别和分类等)
		B5	人体生物特征提取和验证(包括人体、人脸和器官等的检测、定位与识别等)
C	图像理解	C1	图像匹配和融合(包括序列、立体图的配准、镶嵌等)
		C2	场景恢复(3-D 景物表达、建模、重构或重建等)
		C3	图像感知和解释(包括语义描述、场景模型、机器学习、认知推理等)
		C4	基于内容的图像/视频检索(包括相应的标注、分类等)
		C5	时空技术(高维运动分析、目标 3-D 姿态检测、时空跟踪,举止判断和行为理解等)
D	技术应用	D1	硬件,系统设备和快速/并行算法
		D2	通信、视频传输播放(包括电视、网络、广播等)
		D3	文档、文本(包括文字,数字,符号等)
		D4	生物、医学(生理、卫生、健康等)
		D5	遥感、雷达、声呐、测绘等
		D6	其他(没有直接/明确包含在以上各小类的技术应用)
E	综述评论	E1	跨大类综述(同时覆盖图像处理/分析/理解,或涉及综合新技术)

25 年来,这个综述系列的大类没有改变,仍保持了图像工程的整体框架和格局。不过,随着新技术的发展,小类的数量和内容有一些演变。其中,小类 A5, B5, C4 从对 2000 年的综述开始增

设(章毓晋,2001),小类 A6, C5 从对 2005 年的综述开始增设(章毓晋,2006),所以综述系列从 2006 年开始每年都包括 23 个小类(章毓晋,2020)。

3 文献选取和分类结果

表 3 给出从该综述系列开始以来共 25 年间对

15 个期刊每年所有期上(总期数)所登载的所有文献的数量(文献总数)、所选取的图像工程文献的数量(选取总数)和选取率(选取总数除以文献总数)统计得到的结果。

表 3 25 年图像工程文献选取表
Table 3 Selection of image engineering literatures for 25 years

年度	总期数	文献总数	选取总数	选取率/%
1995	67	997	147	14. 74
1996	75	1 205	212	17. 59
1997	85	1 438	280	19. 47
1998	87	1 477	306	20. 72
1999	96	2 048	388	18. 95
2000	96	2 117	464	21. 92
2001	108	2 297	481	20. 94
2002	108	2 426	545	22. 46
2003	108	2 341	577	24. 65
2004	108	2 473	632	25. 60
2005	112	2 734	656	23. 99
2006	112	3 013	711	23. 60
2007	118	3 312	895	27. 02
2008	120	3 359	915	27. 24
2009	134	3 604	1008	27. 97
2010	134	3 251	782	24. 05
2011	134	3 214	797	24. 80
2012	134	3 083	792	25. 69
2013	140	2 986	716	23. 98
2014	148	3 103	822	26. 49
2015	148	2 975	723	24. 30
2016	148	2 938	728	24. 78
2017	148	2 932	771	26. 30
2018	148	2 863	747	26. 09
2019	148	2 854	761	26. 66
总计	2 964	65 040	15 856	—
平均	119	2 602	634	24. 38

表 4 给出从该综述系列开始以来共 25 年期间对所选文献分大类统计得到的结果。其中,各个分类栏中括号内的百分率数据为该大类文

献数量在(当年)总选取文献数量中所占的比例,这也反映了各类在图像工程中的相对关注度。

表4 25年图像工程文献分类统计表

Table 4 Classification of image engineering literatures for 25 years

年度	文献数量(文献数量在当年总选取文献数量中所占的比例/%)				
	图像处理	图像分析	图像理解	技术应用	综述评论
1995	36 (24.5)	51 (34.7)	14 (9.52)	46 (31.3)	—
1996	52 (24.5)	72 (34.0)	30 (14.2)	55 (25.9)	3 (1.42)
1997	104 (37.1)	76 (27.1)	36 (12.9)	60 (21.4)	4 (1.43)
1998	108 (35.3)	96 (31.4)	28 (9.15)	71 (23.2)	3 (0.98)
1999	132 (34.0)	137 (35.3)	42 (10.8)	73 (18.8)	4 (1.03)
2000	165 (35.6)	122 (26.3)	68 (14.7)	103 (22.2)	6 (1.29)
2001	161 (33.5)	123 (25.6)	78 (16.2)	115 (23.9)	4 (0.83)
2002	178 (32.7)	150 (27.5)	77 (14.3)	135 (24.8)	5 (0.92)
2003	194 (33.6)	153 (26.5)	104 (18.0)	119 (20.6)	7 (1.21)
2004	235 (37.2)	176 (27.8)	76 (12.0)	142 (22.5)	3 (0.47)
2005	221 (33.7)	188 (28.7)	112 (17.1)	131 (20.0)	4 (0.61)
2006	239 (33.6)	206 (29.0)	116 (16.3)	143 (20.1)	7 (0.98)
2007	315 (35.2)	237 (26.5)	142 (15.9)	194 (21.7)	7 (0.78)
2008	269 (29.4)	311 (34.0)	130 (14.2)	196 (21.4)	9 (0.98)
2009	312 (31.0)	335 (33.2)	139 (13.8)	214 (21.2)	8 (0.79)
2010	239 (30.6)	257 (32.9)	136 (17.4)	146 (18.7)	4 (0.51)
2011	245 (30.7)	270 (33.9)	118 (14.8)	161 (20.2)	3 (0.38)
2012	249 (31.4)	272 (34.3)	111 (14.0)	151 (19.1)	9 (1.14)
2013	209 (29.2)	232 (32.4)	124 (17.3)	146 (20.4)	5 (0.70)
2014	260 (31.6)	261 (31.8)	121 (17.7)	175 (21.3)	5 (0.61)
2015	199 (27.5)	294 (40.7)	103 (14.2)	119 (16.5)	8 (1.11)
2016	174 (23.9)	266 (36.5)	105 (14.4)	172 (23.6)	11 (1.51)
2017	204 (26.5)	248 (32.2)	127 (16.5)	186 (24.1)	6 (0.78)
2018	206 (27.6)	275 (36.8)	100 (13.4)	155 (20.7)	11 (1.47)
2019	165 (21.7)	272 (35.7)	136 (17.9)	183 (24.0)	5 (6.57)
总计	4 871 (30.72)	5 080 (32.04)	2 373 (14.97)	3 391 (21.39)	141 (0.89)

为了更容易和直观地看出多年来的发展变化情况,图1绘出了这25年来文献选取的情况,即文献总数、选取总数和选取率的曲线,其中横轴指示年度,左边竖轴指示文献数量(文献总数或选取总数),右边竖轴指示文献选取率。图2绘出了这25年文献分类中的图像处理(image processing, IP)、图像分析(image analysis, IA)、图像理解(image understanding, IU)和技术应用(technique application, TA)这4大类文献数量的曲线,其中横轴指示年度,竖轴指示其占(当年)选取文献总数的百分率。

通过对表3的统计数据以及图1的数据曲线的分析可以看出:

1)25年来文献总数前15年快速上升,后10年缓慢下降。分析原因(章毓晋,2016,2017),上升主要由期刊期数增加(季刊转为双月刊,双月刊转为月刊)导致,而下降应是文献平均长度增加(对应文献内容深度的提升)。

2)25年来选取总数也是前15年快速上升,但后10年基本稳定。这个变化与文献总数的变化情况基本一致,也使得选取率总体保持了持续上升的趋势。这种选取率的上升趋势反映了图像工程的研究

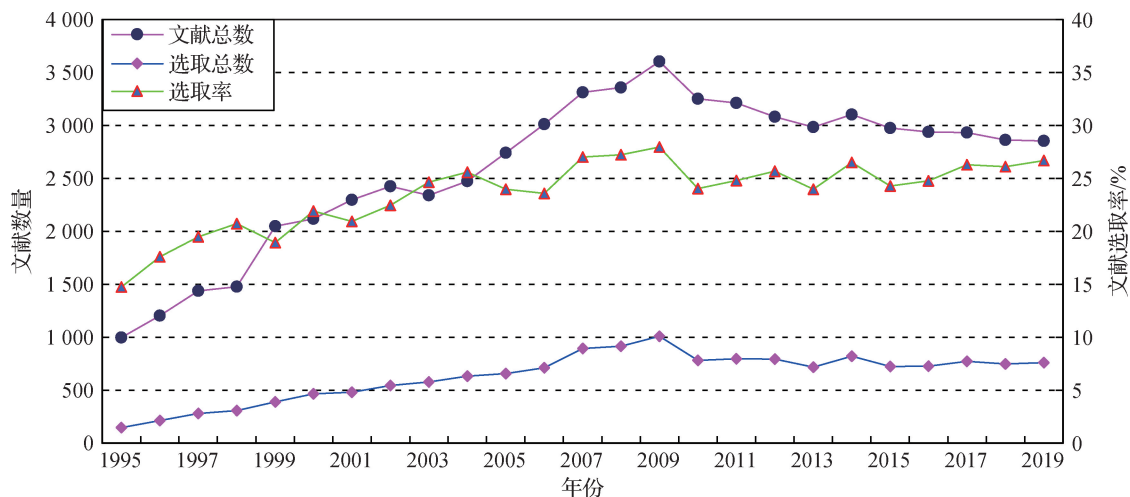


图1 25年图像工程文献选取曲线

Fig. 1 Selection curves for image engineering publications over the last 25 years

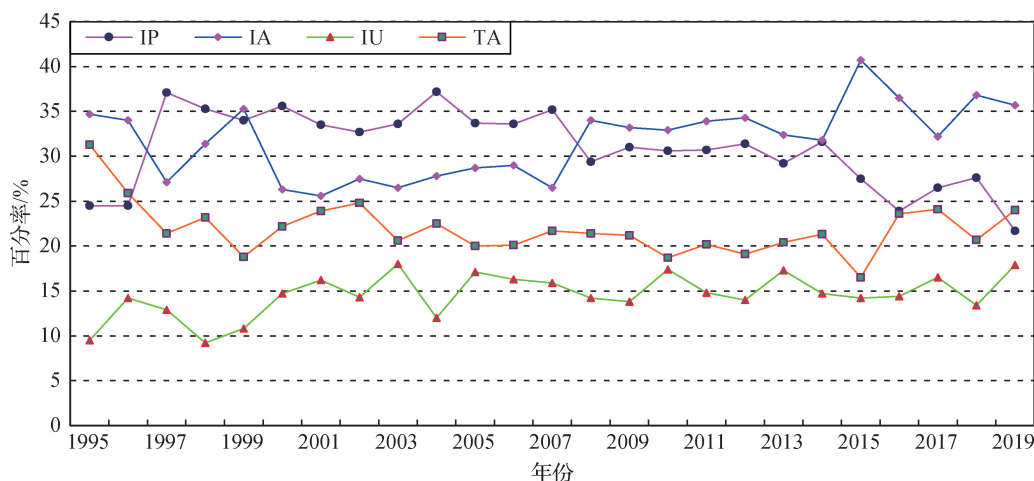


图2 25年图像工程文献分类曲线

Fig. 2 Category curves for image engineering publications over the last 25 years

究一直是相关信息领域中关注得到不断增加的方向和热点。

通过对表4的统计数据以及图2的数据曲线的比较分析可以看出：

1) 图像处理大类和图像分析大类的文献数量合起来超过总数的62%，这两个大类是这些年图像工程发展的主要力量。另外，图像理解大类的文献数量只占了不到15%，表明这方面的工作还有很大潜力。

2) 在这25年的前半段，图像处理大类的文献数量超过了图像分析大类的文献数量；而后半段，图像分析大类的文献数量超过了图像处理大类的文献数量。这反映了图像工程的研究由低层向高层发展的趋势。

4 研究方向讨论

因为不同的小类代表了不同的研究方向，所以各小类文献数量的变化在一定程度上反映了不同研究方向所受到关注程度和研究成果的变化情况。不过，由于按年份考虑各小类文献数量的变化还会受到当年所发表的总文献数量的影响，所以下面分别对4个大类中各3个有特色的小类进行对比分析（其他小类相对来说文献数量比较稳定或近年文献数量已较少，这里限于篇幅就不深入讨论了），特别是25年来相关文献在当年所选图像工程文献中的比例变化情况。顺便指出，国际上针对这些相应方向的研究文献也非常多。随着国际交流合作的开展

和信息网络化的趋势,国内外的研究也有更多的相关性和类似的发展动态。本文试图通过采样统计来反映图像工程大方向的发展态势,对具体研究内容的探讨和分析,还可参见更加专业的专业化综述。下面,仅结合所涉及的研究小类,提供若干国际上的有特色的综述作为参考。

1)在图像处理大类中,选择了小类“A4:图像/视频压缩编码”、“A5:图像信息安全”和“A6:图像多分辨率处理”。这3个小类25年来相关文献数量的变化情况见图3。由图3可见:A4的方向在20世

纪最后几年(以及本世纪初若干年)得到了极大的关注,但其后一路衰减,近年已很少有新的研究成果了;A5方向在本世纪初曾有很多的研究工作,虽然近年比例有所下降,但仍比A4高;A6小类在2005年才设立,这些年来基本稳定,其将来的发展趋势尚不明朗。国际上的相关研究也可参考,例如对“A4:图像/视频压缩编码”可参见 Rahman 等人(2019)的文献,对“A5:图像信息安全”可参见 Singh 等人(2020)的文献,对“A6:图像多分辨率处理”可参见 Anwar 等人的(2020)的文献。

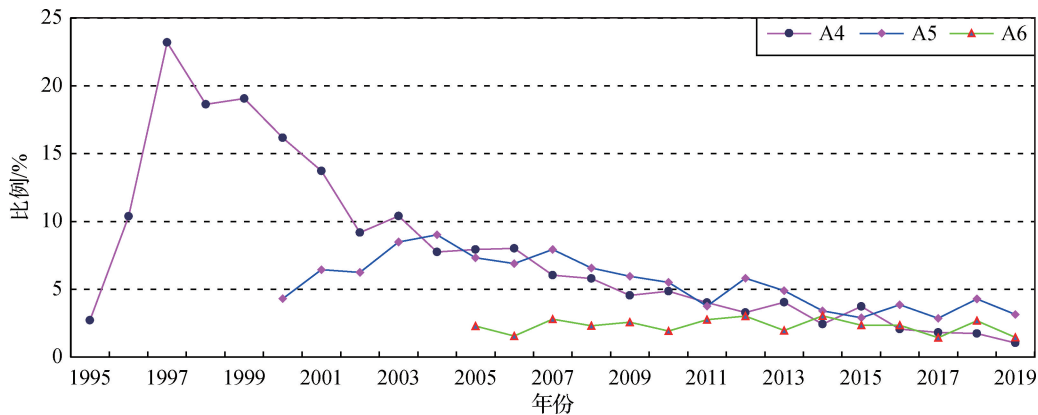


图3 图像处理大类中3个小类文献比例的变化曲线

Fig. 3 Changing curve of the proportion of the three sub-categories in the image processing category

2)在图像分析大类中,选择了小类“B1:图像分割和基元检测”、“B4:目标检测和识别”和“B5:人体生物特征提取和验证”。这3个小类25年来相关文献数量的变化情况见图4。由图4可见:B1的方向在这四分之一世纪中一直持续是研究热点;B4的方向也一直得到较多关注,尤其近年来成果更为突出;B5小类在本世纪才设立,这些年来稳步上升,根据其动态趋势在近期还会在高位运行。

从绝对数量或比例来说,这3个小类占了所有图像工程文献总数的30%以上,也是近年图像分析大类跃居所有大类第一的主力。国际上的相关研究也可参考,例如对“B1:图像分割和基元检测”可参见 Sultana 等人(2020)的文献,对“B4:目标检测和识别”可参见 Banerjee 等人(2020)的文献,对“B5:人体生物特征提取和验证”可参见 Becerra-Riera 等人(2019)的文献。

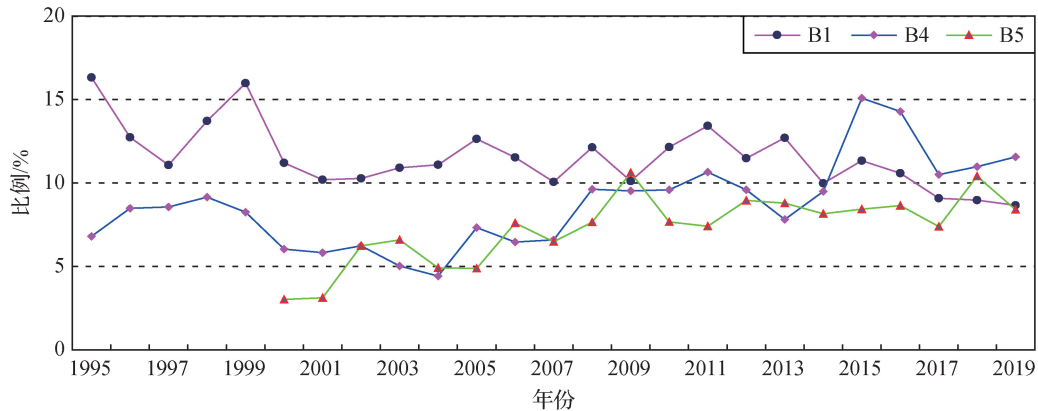


图4 图像分析大类中3个小类文献比例的变化曲线

Fig. 4 Changing curve of the proportion of the three sub-categories in the image analysis category

3)在图像理解大类中,选择了小类“C1:图像匹配和融合”、“C4:基于内容的图像/视频检索”和“C5:时空技术”。这3个小类25年来相关文献数量的变化情况见图5。由图5可见:C1的方向在四分之一世纪中一直是图像理解的最主要分支;C4的工作在本世纪第1个10年比第2个10年要稍突出一些,但总体还是比较平稳的,一直有新的成果涌

现;C5的方向从2005年设立以来一直低位运行,但近几年开始出现了较明显的上升趋势且有望继续。国际上的相关研究也可参考,例如对“C1:图像匹配和融合”可参见 Canalle 等人(2020)的文献,对“C4:基于内容的图像/视频检索”可参见 Rodrigues 等人(2020)的文献,对“C5:时空技术”可参见 Dang 等人(2020)的文献。

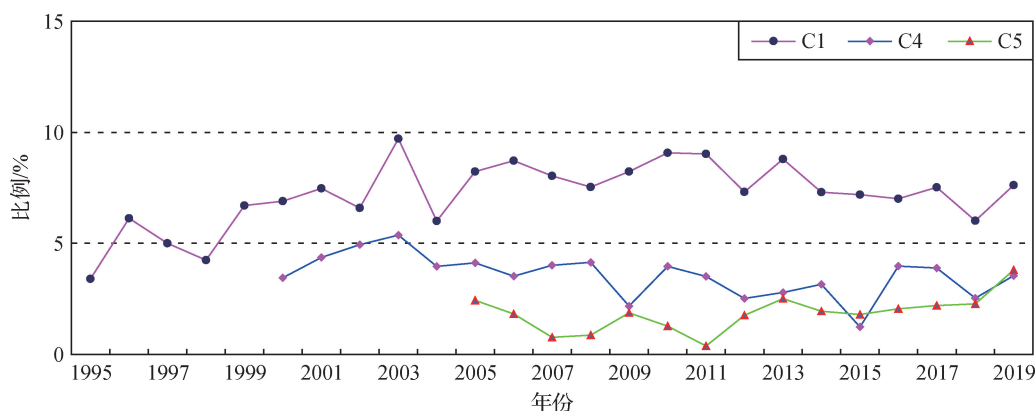


图5 图像理解大类中3个小类文献比例的变化曲线

Fig. 5 Changing curve of the proportion of the three sub-categories in the image understanding category

4)在技术应用大类中,选择了小类“D4:生物、医学”、“D5:遥感、雷达、声呐、测绘等”和“D6:其他技术应用”。这3个小类25年来相关文献数量的变化情况见图6。由图6可见:这3个小类在综述开始的10年中基本上是不分伯仲的,但近15年来,D5方面的

工作持续快速增加,现已成为图像工程最大的应用领域。D4的方向一直得到较多的关注,随着人们对生理卫生健康的更加重视,这种势头应会一直延伸并上升。值得指出,D6的文献数量这两年有了较明显的增加,反映了图像工程的新应用领域正在不断扩展中。

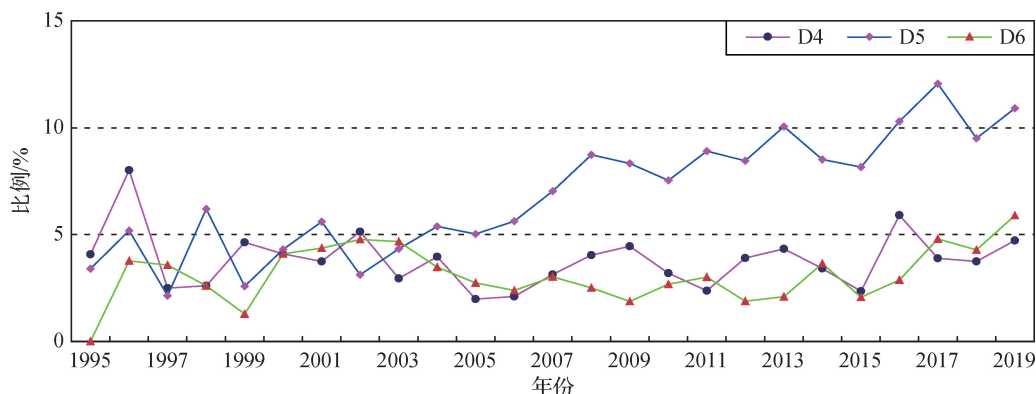


图6 技术应用大类中3个小类文献比例的变化曲线

Fig. 6 Changing curve of the proportion of the three sub-categories in the technique application category

5 结 论

本文借对中国图像工程的年度文献综述开展25年之际,对该综述系列的情况进行了全面概括的

总结和回顾。在这25年中,该综述系列采用了一致的期刊选取原则,选取了相同的15种期刊;对文献的选取也一直遵循相同的准则,且对文献的分类也采用了有延续性的方法,这保证了多年来的统计结果具有较好的可比性和参照性,而且时间越长这些

特点就越明显。这也为更加全面可靠地了解这25年中国图像工程的动态发展情况和今后的发展趋势提供了基础。

具体来说,从总结和回顾中可看出:

1) 图像工程的研究有逐步从低层向高层发展的趋势。从早年主要围绕图像处理到现在图像分析成为主流,可以推断将来对图像理解的重视和工作将会逐步加强。

2) 有些研究方向多年来一直得到持续关注(如B1)。分析表明,首先其重要性很明确,但经过一段研究或者在理论上始终还没有完全成熟,或者在技术上还有难点没有突破,所以持续的工作还是需要的。

3) 有些研究方向会有一个阶段性的快速增长,但其后下降也比较明显(如A4)。分析表明,这往往是与某个新理论的提出或新技术的突破有关,或者有明确的应用领域。一旦理论或技术成熟了或者应用难点克服了,主要工作转到具体实现时研究文献就会减少。

4) 有些研究方向始终不温不火(如A6, C4)。分析表明,这经常是有了新的思路,但与此相关的应用领域还未得到广泛重视。所以,研究和应用都在持续进行,但还期待能有明显的突破。

总体来说,借助该综述系列除了可以了解过去和当前我国图像工程研究和应用的总体情况,也可对未来发展提供一些趋势预测,从而帮助建立对学科的全面认识并找到制定学科发展方向或进一步开展科研工作的一些具体依据。它对揭示我国图像工程科技人员的水平、现状和变化的研究也打下了很好的基础。这样的工作将会持续下去,继续描绘中国图像工程不断发展前进的新“图像”(章毓晋, 2021)。

参考文献 (References)

- Anwar S, Khan S and Barnes N. 2020. A deep journey into super-resolution: a survey. *ACM Computing Surveys*, 53(3): 1-34 [DOI: 10.1145/3390462]
- Banerjee A, Das N and Santosh K C. 2020. Weber local descriptor for image analysis and recognition: a survey. *Visual Computer (Article in Press)* [DOI: 10.1007/s00371-020-02017-x]
- Becerra-Riera F, Morales-Gonzalez A and Mendez-Vazquez H. 2019. A survey on facial soft biometrics for video surveillance and forensic applications. *Artificial Intelligence Review*, 52(2): 1155-1187 [DOI: 10.1007/s10462-019-09689-5]
- Canalle G K, Salgado A C and Loscio B F. 2020. A survey on data fusion: What for? in what form? what is next? *Journal of Intelligent Information Systems*, (2): 1-26 [DOI: 10.1007/s10844-020-00627-4]
- Dang L M, Min K, Wang H, Piran M J, Lee C H and Moon H. 2020. Sensor-based and vision-based human activity recognition: a comprehensive survey. *Pattern Recognition*, #108 [DOI: 10.1016/j.patcog.2020.107561]
- Rahman, M A and Hamada M. 2019. Lossless image compression techniques: a state-of-the-art survey. *Symmetry-Basel*, 11(10): 1274(1-22) [DOI: 10.3390/sym11101274]
- Rodrigues J, Cristo M and Colonna J G. 2020. Deep hashing for multi-label image retrieval: a survey. *Artificial Intelligence Review*, 53(7): 5261-5307 [DOI: 10.1007/s10462-020-09820-x]
- Singh O P, Singh A K, Srivastava G and Kumar N. 2020. Image watermarking using soft computing techniques: a comprehensive survey. *Multimedia Tools and Applications*, 1-32 [DOI: 10.1007/s11042-020-09606-x]
- Sultana F, Sufian A and Dutta P. 2020. Evolution of image segmentation using deep convolutional neural network: a survey. *Knowledge-Based Systems*, 201-202 [DOI: 10.1016/j.knosys.2020.106062]
- Zhang Y J. 1996a. Image engineering in China: 1995. *Journal of Image and Graphics*, 1(1): 78-83 (章毓晋. 1996a. 中国图象工程: 1995. 中国图象图形学报, 1(1): 78-83) [DOI: 10.11834/jig.19960115]
- Zhang Y J. 1996b. Image engineering in China: 1995 (Supplement). *Journal of Image and Graphics*, 1(2): 170-174 (章毓晋. 1996b. 中国图象工程: 1995 (续). 中国图象图形学报, 1(2): 170-174) [DOI: 10.11834/jig.19960241]
- Zhang Y J. 1997. Image engineering in China: 1996. *Journal of Image and Graphics*, 2(5): 336-344 (章毓晋. 1997. 中国图象工程: 1996. 中国图象图形学报, 2(5): 336-344) [DOI: 10.11834/jig.19970599]
- Zhang Y J. 1998. Image engineering in China: 1997. *Journal of Image and Graphics*, 3(5): 404-414 (章毓晋. 1998. 中国图象工程: 1997. 中国图象图形学报, 3(5): 404-414) [DOI: 10.11834/jig.199805123]
- Zhang Y J. 1999. Image engineering in China: 1998. *Journal of Image and Graphics*, 4(5): 427-438 (章毓晋. 1999. 中国图象工程: 1998. 中国图象图形学报, 4(5): 427-438) [DOI: 10.11834/jig.199905100]
- Zhang Y J. 2000. Image engineering in China: 1999. *Journal of Image and Graphics*, 5(5): 359-373 (章毓晋. 2000. 中国图象工程: 1999. 中国图象图形学报, 5(5): 359-373) [DOI: 10.11834/jig.20000501]
- Zhang Y J. 2001. Image engineering in China: 2000. *Journal of Image and Graphics*, 6(5): 409-424 (章毓晋. 2001. 中国图象工程:

2000. 中国图象图形学报, 6(5): 409-424 [DOI: 10.11834/jig.20010596]
- Zhang Y J. 2002. Image engineering in China; 2001. Journal of Image and Graphics, 7(5): 417-433 (章毓晋. 2002. 中国图像工程; 2001. 中国图象图形学报, 7(5): 417-433) [DOI: 10.11834/jig.200205148]
- Zhang Y J. 2003. Image engineering in China; 2002. Journal of Image and Graphics, 8(5): 481-498 (章毓晋. 2003. 中国图像工程; 2002. 中国图象图形学报, 8(5): 481-498) [DOI: 10.11834/jig.200305172]
- Zhang Y J. 2004. Image engineering in China; 2003. Journal of Image and Graphics, 9(5): 513-531 (章毓晋. 2004. 中国图像工程; 2003. 中国图象图形学报, 9(5): 513-531) [DOI: 10.11834/jig.20040597]
- Zhang Y J. 2005. Image engineering in China; 2004. Journal of Image and Graphics, 10(5): 537-560 (章毓晋. 2005. 中国图像工程; 2004. 中国图象图形学报, 10(5): 537-560) [DOI: 10.11834/jig.200505111]
- Zhang Y J. 2006. Image engineering in China; 2005. Journal of Image and Graphics, 11(5): 601-623 (章毓晋. 2006. 中国图像工程; 2005. 中国图象图形学报, 11(5): 601-623) [DOI: 10.11834/jig.200605102]
- Zhang Y J. 2007. Image engineering in China; 2006. Journal of Image and Graphics, 12(5): 753-775 (章毓晋. 2007. 中国图像工程; 2006. 中国图象图形学报, 12(5): 753-775) [DOI: 10.11834/jig.20070501]
- Zhang Y J. 2008. Image engineering in China; 2007. Journal of Image and Graphics, 13(5): 825-852 (章毓晋. 2008. 中国图像工程; 2007. 中国图象图形学报, 13(5): 825-852) [DOI: 10.11834/jig.20080501]
- Zhang Y J. 2009. Image engineering in China; 2008. Journal of Image and Graphics, 14(5): 809-837 (章毓晋. 2009. 中国图像工程; 2008. 中国图象图形学报, 14(5): 809-837) [DOI: 10.11834/jig.20090508]
- Zhang Y J. 2010. Image engineering in China; 2009. Journal of Image and Graphics, 15(5): 689-722 (章毓晋. 2010. 中国图像工程; 2009. 中国图象图形学报, 15(5): 689-722) [DOI: 10.11834/jig.20100501]
- Zhang Y J. 2011. Image engineering in China; 2010. Journal of Image and Graphics, 16(5): 693-702 (章毓晋. 2011. 中国图像工程; 2010. 中国图象图形学报, 16(5): 693-702) [DOI: 10.11834/jig.20110531]
- Zhang Y J. 2012. Image engineering in China; 2011. Journal of Image and Graphics, 17(5): 603-612 (章毓晋. 2012. 中国图像工程; 2011. 中国图象图形学报, 17(5): 603-612) [DOI: 10.11834/jig.20120501]
- Zhang Y J. 2013. Image engineering in China; 2012. Journal of Image and Graphics, 18(5): 483-492 (章毓晋. 2013. 中国图像工程; 2012. 中国图象图形学报, 18(5): 483-492) [DOI: 10.11834/jig.20130501]
- Zhang Y J. 2014. Image engineering in China; 2013. Journal of Image and Graphics, 19(5): 649-658 (章毓晋. 2014. 中国图像工程; 2013. 中国图象图形学报, 19(5): 649-658) [DOI: 10.11834/jig.20140501]
- Zhang Y J. 2015. Image engineering in China; 2014. Journal of Image and Graphics, 20(5): 585-598 (章毓晋. 2015. 中国图像工程; 2014. 中国图象图形学报, 20(5): 585-598) [DOI: 10.11834/jig.20150501]
- Zhang Y J. 2016. Image engineering in China; 2015. Journal of Image and Graphics, 21(5): 533-543 (章毓晋. 2016. 中国图像工程; 2015. 中国图象图形学报, 21(5): 533-543) [DOI: 10.11834/jig.20160501]
- Zhang Y J. 2017. Image engineering in China; 2016. Journal of Image and Graphics, 22(5): 563-574 (章毓晋. 2017. 中国图像工程; 2016. 中国图象图形学报, 22(5): 563-574) [DOI: 10.11834/jig.170115]
- Zhang Y J. 2018. Image engineering in China; 2017. Journal of Image and Graphics, 23(5): 617-628 (章毓晋. 2018. 中国图像工程; 2017. 中国图象图形学报, 23(5): 617-628) [DOI: 10.11834/jig.180121]
- Zhang Y J. 2019. Image engineering in China; 2018. Journal of Image and Graphics, 24(5): 665-676 (章毓晋. 2019. 中国图像工程; 2018. 中国图象图形学报, 24(5): 665-676) [DOI: 10.11834/jig.190074]
- Zhang Y J. 2020. Image engineering in China; 2019. Journal of Image and Graphics, 25(5): 864-878 (章毓晋. 2020. 中国图像工程; 2019. 中国图象图形学报, 25(5): 864-878) [DOI: 10.11834/jig.200102]
- Zhang Y J. 2021. Image engineering in China; 2020. Journal of Image and Graphics, 26(5): 978-990 (章毓晋. 2021. 中国图像工程; 2020. 中国图象图形学报, 26(5): 978-990) [DOI: 10.11834/jig.210233]

作者简介



章毓晋, 1954年生, 男, 教研系列长聘教授, 主要研究方向为图像工程。

E-mail: zhang-yj@tsinghua.edu.cn