

文章编号: 1000-2995(2017) ZK-008-0502

智能机器人关键技术重要性评价及聚类分析

袁立科, 尹志欣

(中国科学技术发展战略研究院, 北京 100038)

摘要: 智能机器人技术是 21 世纪具有创新活力、可持续发展的、对国民经济和国家安全具有战略地位的高技术。为进一步了解智能机器人技术对经济、社会发展以及国家安全所起的推动作用, 在以往研究基础上, 以该领域技术预测专家调查数据, 利用层次聚类分析方法, 对不同的技术重要性进行分类评价。通过解析各项关键技术所对应的技术重要性, 辨别选择更能满足需求的关键技术, 可以为有效合理配置有限科技资源、解决针对性需求、发展核心关键技术提供决策参考。

关键词: 智能机器人; 技术重要性; 聚类分析

中图分类号: TP-9

文献标识码: A

1 引言

当前世界正在发生日新月异的变化, 科技创新越来越成为支撑、引领经济发展和人类文明进步的主要动力。作为衡量一个国家科技创新和高端制造水平重要标志的机器人技术(曲道奎, 2015)^[1], 在不久的将来, 会变得和今天的因特网技术一样普遍, 被广泛地应用在制造、服务、医疗保健、国防及航天等各个领域(邓广福等, 2015)^[2]。机器人也已经成为世界各国争相发展的高新技术, 不仅改变我们的制造模式, 也将改变我们的生活方式, 机器人的重要性已经到了无以复加的地步(曲道奎, 2015)^[3]。尤其是, 随着劳动力成本的不断提高, 经济发展模式和制造模式必将进行调整, 必然面临着“机器换人”的智能制造产业升级, 发展以工业机器人为核心的智能制造技术将成为必由之路(吴廖, 2015)^[4]。工业机

器人技术不仅可以带动我国制造业的转型升级, 同时也将形成巨大的新兴产业(刘进长等, 2014; 计时鸣和黄希欢, 2015)^[5-6]。先进机器人技术不仅成为国家工业关键装备的重要支撑技术, 也是国家空间计划、国防装备以及与社会安全紧密相关的核心技术之一, 同时还是国家发展高技术服务业等新经济增长点的关键技术(王田苗, 2007)^[7]。而且, 机器人技术还在环境保护、能源开发、民生保障等方面都有其独特的优势, 为科研、养老、医疗、安全等领域应用提供关键技术手段(刘波等, 2015; 戴瑜和刘少军, 2013; 王田苗等, 2013; 钱善华等, 2006; 杨秀清等, 2008; 刘金国等, 2006)^[8-13]。

但是, 我们也看到, 机器人技术, 尤其是代表未来发展方向的智能机器人技术对经济、社会发展以及国家安全起多大的推动作用, 程度如何, 不同的技术其重要性体现在哪些方面, 这些在以往的研究分析是不够明确的。本研究将在以往研究

收稿日期: 2016-09-28; 修回日期: 2017-01-15。

作者简介: 袁立科(1978-), 男(汉), 浙江富阳人, 中国科学技术发展战略研究院副研究员, 管理学博士, 研究方向: 技术预测与评价。

尹志欣(1989-), 女(汉), 内蒙古赤峰人, 中国科学技术发展战略研究院助理研究员, 管理学博士, 研究方向: 技术预测与人才预测。

基础上,以专家调查打分的方式,针对不同的技术重要性进行分类评价,并找出关键技术所对应的重要性。

2 方法与数据

2.1 聚类分析

聚类分析的实质就是按照距离的远近将数据分为若干个类别,以使得类别内数据的“差异”尽可能小,类别间“差异”尽可能大。本研究使用的是专家打分的形式获得数据,可视为连续性变量,其中最重要的问题就是如何描述“差异”,通常的做法是通过距离或者相似性的方式来描述(张文彤,2004)^[14]。随后按照距离的远近,通过把距离接近的数据一步一步归为一类,直到数据完全归为一个类别位置,或者是首先认为所有的数据都是一个类别,然后通过把距离远的数据一步一步分离开来,直到所有的数据各自成为一类为止,这样就得到了一系列(从被合并为一大类到这n个元素各自被分为一类)可能的聚类结果,最后再利用一些相应的指标来确定聚为积累的结果是最

为合适的。由于这种结果上的层次关系,整个分析过程,特别是每一步中完成的合并或分割都可以用一张二维空间的图形来表示,这种图被称为“树状图”,是层次聚类法结果解释的重要工具。其中,聚类分析的关键步骤之一就是确定聚类的数量,但这一数量的确定并没有绝对标准。根据Demirmen(1972)^[15]提出的分类原则,各类必须在邻近各类中突出,并且各类中包含的元素不宜过多,分类的数量应符合实际应用的目的。一般可以借助展示“距离”和“类别”关系的“碎石图”来辅助判断。

2.2 指标设计

在本次智能机器人领域技术预测调查中,根据先进制造领域专家组对于未来技术、经济、社会发展的重大需求,技术进步对经济社会发展的主要推动力表现在“培育新兴产业、提升传统产业、保护资源环境、改善民生质量、增强国家安全”等五个方面。基于这五个方面的作用表现,设计技术重要性指标,如表1所示。

表1 技术重要性指标设计
Table 1 Design of technological importance indexes

指标	题干	指标设计
培育新兴产业	对培育战略性新兴产业和带动高技术产业发展的作用	A 作用很大 B 作用较大 C 作用一般 D 作用较小 E 没有作用
提升传统产业	对改造和提升传统产业的作用	A 作用很大 B 作用较大 C 作用一般 D 作用较小 E 没有作用
保护资源环境	对资源能源节约和生态环境保护的作用	A 作用很大 B 作用较大 C 作用一般 D 作用较小 E 没有作用
提高民生质量	对改善和提高人民生活水平与质量的作用	A 作用很大 B 作用较大 C 作用一般 D 作用较小 E 没有作用
增强国家安全	对国家和国防安全的作用	A 作用很大 B 作用较大 C 作用一般 D 作用较小 E 没有作用

对于技术重要性指标,本研究采取了指数法的处理形式。针对该技术对各类需求的重要贡献,专家对技术在解决不同需求的作用作出判断,选择“作用很大、作用较大、作用一般、作用较小、没有作用”的人数分别为 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 和 N_5 ,则该指标的指数为:

$$\text{index} = (100 \times N_1 + 75 \times N_2 + 50 \times N_3 + 25 \times N_4 + 0 \times N_5) / (N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5)$$

指数值越大,表明该技术的重要性越明显。

最后,以等权重的形式,对五个技术重要性指标取平均值,最终得到每一项技术的总的技术重要性指数。

2.3 基本统计

2013年国家科技部启动的技术预测工作,分“先摸底、再调查、后选择”三个步骤。在“调查”阶段,按照“领域—子领域—关键技术”的逻辑对我国先进制造技术领域进行了系统梳理,智能机器人作为先进制造领域的子领域,共遴选出28项

关键技术参与技术预测调查。所遴选出的关键技术主要包括领域基础技术和应用关键技术两类，是领域具有广泛带动性、应用前景广阔或是行业/领域卡脖子的技术，能够代表本领域整体技术状况。

由于本次研究主要针对我国智能机器人领域 5 - 10 年的技术前瞻开展的调查，所以遴选的专家主要以一线研发和管理专家为主。参与调查专家主要来自国家 863 计划、支撑计划、国家重大专项项目承担专家，千人计划、高新技术企业研发和管理专家等。在问卷调查过程中，通过电子邮件、电话答疑，校正了一些不清楚的问答，再剔除一些无效问卷后，有效问卷数量达 414 份，平均每项技术约有 15 人次参与调查。

3 技术重要性聚类分析

智能机器人技术对于经济社会可持续发展的推动作用已成为共识，但是如何辨别不同技术对

于支撑经济社会发展的不同方面的作用是不清晰的。而聚类分析可以将变量数据根据自身特征，按照不同技术重要性的亲疏程度进行分类，并通过多个分类结果对数据可以进行深层次的推断分析。

3.1 聚类分析结果

表 2 报告了智能机器人领域技术重要性指标的相关性分析结果，表明各项指标之间存在弱相关，适合做聚类分析。聚类表显示各组间距离较大，组内距离较小，聚类效果比较理想。本研究通过“碎石图”来辅助判断聚类的数量，如图 1 所示，各类别之间的距离随着类别的凝聚和类数的减少而逐渐扩大，但在凝聚成 4 类之前的各类别间的聚类扩大幅度缓慢，之后迅速扩大，据此可以判断聚类数目确定为 3 - 5 类较为合适。类别确定后，即可对智能机器人领域关键技术所属类别作出判断。图 2 的聚类树状图更是清晰直观地表现了该子领域关键技术的聚类过程及结果。

表 2 技术重要性指标相关性分析

Table 2 Correlation analysis of technological importance indexes

		培育新兴产业	提升传统产业	保护资源环境	提高民生质量	增强国家安全
培育新兴产业	Pearson 相关性	1	0.531 **	0.139	0.164	0.136
	显著性(双侧)		0.004	0.482	0.403	0.490
	N	28	28	28	28	28
提升传统产业	Pearson 相关性	0.531 **	1	0.186	0.120	0.489 **
	显著性(双侧)	0.004		0.345	0.544	0.008
	N	28	28	28	28	28
保护资源环境	Pearson 相关性	0.139	0.186	1	-0.054	0.108
	显著性(双侧)	0.482	0.345		0.785	0.584
	N	28	28	28	28	28
提高民生质量	Pearson 相关性	0.164	0.120	-0.054	1	-0.050
	显著性(双侧)	0.403	0.544	0.785		0.799
	N	28	28	28	28	28
增强国家安全	Pearson 相关性	0.136	0.489 **	0.108	-0.050	1
	显著性(双侧)	0.490	0.008	0.584	0.799	
	N	28	28	28	28	28

注: ** . 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

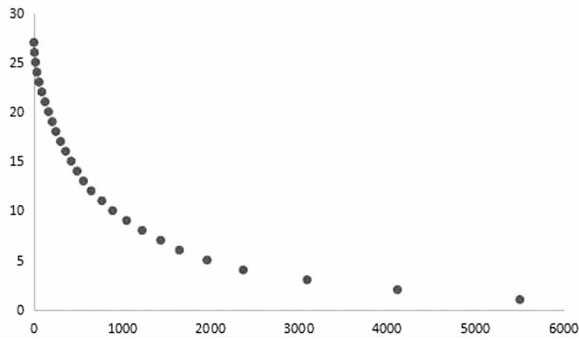


图1 技术重要性聚类分析“碎石图”

Figure 1 Scree plot for cluster analysis of technological importance

根据碎石图的判断,我们重点考察分成4类后的聚类结果。观察图2的聚类过程不难发现,工业机器人技术、专业服务机器人技术等13项技术构成一类;家庭服务机器人技术、机器人安全技术等2项手机号构成第二类别技术群;机器人机构与传动技术、机器人控制技术、机器人驱动技术等9项关键技术构成了第三类别技术群;机器人生机电融合技术、发育和自适应技术、机器人导航技术等6项关键技术即构成了第四类别技术群。

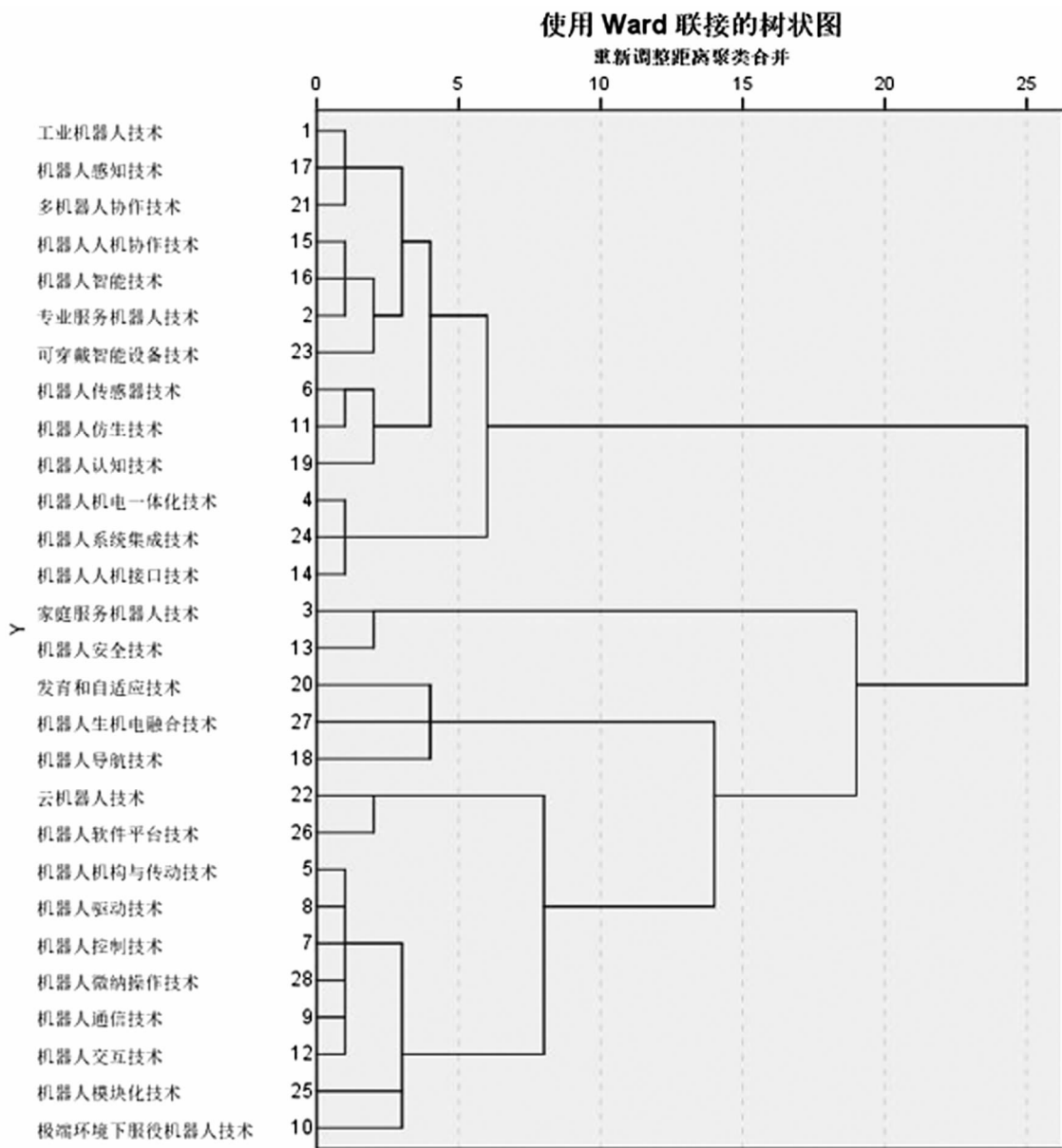


图2 技术重要性聚类分析树状图

Figure 2 Dendrogram for cluster analysis of technological importance

3.2 不同重要性的比较分析

以上分析解决了智能机器人技术领域的类型归属问题,在此基础上,我们可以通过分析各类别之间在不同重要性变量上的表现差异,进一步提取关于技术重要性的信息。

第一类别关键技术群对于培育战略性新兴产业和发展高新技术产业、改造和提升传统产业的作用非常明显,同时,该类技术能有效促进资源能源节约、生态环境保护,而且对于增强国家和国防安全的作用也是所有类别关键技术中最高的。该类别技术群中,如机器人机电一体化技术、机器人人机接口技术以及多机器人协作技术不仅在培育新兴产业和发展高技术产业方面,还在改造和提

升传统产业方面,其技术重要性得到调查专家的高度认同,都认为是作用非常大。其他如可穿戴智能设备技术、多机器人协作技术等分别对于提高人民生活水平质量、增强国家和国防安全等方面的技术重要性也是专家形成高度共识的。

第二类别关键技术群仅有两项,分别是家庭服务机器人技术和机器人安全技术。相对而言,这里两类技术对于改造和提升传统产业、以及增强国家安全等方面的技术重要性是较弱的。其中家庭服务机器人技术,是面向个人或者家庭提供家政、教育娱乐、安全健康、个人辅助、助老助残等服务的机器人,对于提高人民生活水平和质量有较好的贡献。

表 3 第一类别技术重要性指标比较

Table 3 Comparison of first type of technological importance indexes

编号	技术名称	培育新兴产业	提升传统产业	保护资源环境	提高民生质量	增强国家安全
1	工业机器人技术	97.8	97.8	85.9	90.2	95.1
2	专业服务机器人技术	95.8	92.7	83.3	91.7	90.6
4	机器人机电一体化技术	100.0	100.0	82.4	85.3	86.8
6	机器人传感器技术	96.7	98.3	76.7	86.7	96.7
11	机器人仿生技术	97.7	93.2	79.5	92.0	96.6
14	机器人人机接口技术	100.0	100.0	83.3	95.8	83.3
15	机器人人机协作技术	95.0	97.5	82.5	97.5	90.0
16	机器人智能技术	94.2	96.2	84.6	94.2	92.3
17	机器人感知技术	97.5	96.3	86.3	91.3	96.3
19	机器人认知技术	97.7	86.4	72.7	93.2	97.7
21	多机器人协作技术	100.0	100.0	88.6	95.5	100.0
23	可穿戴智能设备技术	98.1	96.2	78.8	100.0	96.2
24	机器人系统集成技术	98.3	96.7	88.3	90.0	85.0
	均值	97.6	96.2	82.5	92.6	92.8

表 4 第二类别技术重要性指标比较

Table 4 Comparison of second type of technological importance indexes

编号	技术名称	培育新兴产业	提升传统产业	保护资源环境	提高民生质量	增强国家安全
3	家庭服务机器人技术	94.2	84.2	75.8	98.3	61.7
13	机器人安全技术	95.8	83.3	79.2	91.7	70.8
	均值	95.0	83.8	77.5	95.0	66.3

第三类别关键技术群对于培育战略性新兴产业和发展高技术产业有较好的技术支撑作用,但对于促进资源能源节约,保护生态环境方面的技术重要性偏弱。其中机器人模块化技术,将机器人的各个组成部分分离开来进行研究,可以降低机器人研发的复杂度,使设计、制作、调试和维护过程简单化、经济化、高效化,对于培育新兴产业和提升传统产业方面的技术重要性得到多数专家

的较好的评价。如极端环境下服役机器人技术,是指在人无法作业的物理场或环境下(如放射性、生化、高低温等),或人不易到达的环境下(如极地、深海、微纳尺寸等),代替人执行危险、复杂、或是精细作业的机器人技术,对我国能源安全、灾害救援、重大事故应急、微纳医疗及特殊地域的前瞻性开发具有重大战略意义。

表5 第三类别技术重要性指标比较

Table 5 Comparison of third type of technological importance indexes

编号	技术名称	培育新兴产业	提升传统产业	保护资源环境	提高民生质量	增强国家安全
5	机器人机构与传动技术	92.1	90.8	75.0	80.3	88.2
7	机器人控制技术	95.8	93.8	78.1	83.3	88.5
8	机器人驱动技术	91.7	89.6	75.0	83.3	89.6
9	机器人通信技术	91.7	87.5	79.2	87.5	91.7
10	极端环境下服役机器人技术	91.2	89.7	82.4	76.5	97.1
12	机器人交互技术	94.4	88.9	77.8	86.1	83.3
22	云机器人技术	83.3	87.5	87.5	87.5	83.3
25	机器人模块化技术	97.5	97.5	77.5	77.5	82.5
26	机器人软件平台技术	90.0	85.0	90.0	80.0	80.0
28	机器人微纳操作技术	92.9	96.4	75.0	85.7	89.3
	均值	92.1	90.7	79.7	82.8	87.3

第四类别关键技术群有三项,分别是机器人导航技术、发育和自适应技术和机器人生机电融合技术。该类别关键技术群对于培育新兴产业和保护资源环境方面的技术重要性是所有类别中相对而言最弱的。如发育和自适应技术得分仅为83.3,也是所有智能机器人领域关键技术中对于培育新兴产业方面的技术重要性评价最低的,但该技术突破能帮助提高机器人的智能性和环境与

作业的自适应能力,降低机器人使用者的专业门槛,对于提高民生质量具有很好的应用前景。同样,机器人生机电融合技术将生物组织、机电功能单元、脑肌信号等有机融合,为恢复、保持及提高人体行为机能,治疗缺失类疾病开辟新的途径,与民生紧密相关,其对改善民生方面的技术重要性得到专家的一致认可。

表6 第四类别技术重要性指标比较

Table 6 Comparison of fourth type of technological importance indexes

编号	技术名称	培育新兴产业	提升传统产业	保护资源环境	提高民生质量	增强国家安全
18	机器人导航技术	91.7	93.8	60.4	87.5	89.6
20	发育和自适应技术	83.3	91.7	75.0	100.0	91.7
27	机器人生机电融合技术	95.8	91.7	68.8	100.0	79.2
	均值	90.3	92.4	68.1	95.8	86.8

4 主要研究结论与启示

经过聚类分析,我们可以发现,在培育战略性新兴产业和发展高技术产业方面,智能机器人子领域的多机器人协作技术、机器人机电一体化技术、机器人人机接口技术、工业机器人技术、可穿戴智能设备技术等具有较好的技术重要性表现。在改造和提升传统产业方面,智能机器人子领域的机器人机电一体化技术、机器人人机接口技术、多机器人协作技术、工业机器人技术、机器人传感器技术等关键技术群的技术重要性较高。在资源能源节约和生态环境保护方面,技术重要性比较突出的技术包括智能机器人子领域的多机器人协作技术、机器人感知技术、工业机器人技术、机器人智能技术等;在改善和提高人们生活水平与质量的作用方面,智能机器人子领域的发育和自适应技术、机器人机电一体化融合技术等关键技术群的技术重要性较为突出。最后,在增强国家和国防安全方面的作用体现比较突出的技术包括,智能机器人子领域的多机器人协作技术、机器人认知技术、机器人传感器技术、机器人仿生技术等关键技术群。

同时,本研究也为我们提出了一些思考与启示。在科技与经济紧密结合,技术优势日益成为竞争焦点的今天,科技管理强调集中资源、重点发展、供需结合。在制定科技规划和计划项目时,需要综合考虑未来技术的发展趋势、社会经济对科技的需求等。这些都需要以技术预测为依据。因此,将智能机器人专家判断的结果,通过聚类分析找出不同技术重要性所对应的关键技术,有助目标战略规划更加明确,尽可能减少在技术路径选择上的失误,集中有限资源完成有限目标,这个可以作为资源分配的重要参考。

参考文献:

- [1] 曲道奎. 机遇与挑战 - 中国机器人产业发展的深度思考[J]. 科技导报, 2015(33): 31 - 34.
Qu Daokui. Opportunities and challenges: Deep thinking on the development of China's robot industry[J]. Science & Technology Review, 2015(33): 31 - 34.
- [2] 邓广福,王效,刘鹏. 机器人技术的国内外发展现状探索[J]. 装备制造技术, 2015(4): 237 - 239.
Deng Guangfu, Wang Xiao, Liu Peng. The developing situation of domestic and foreign research of robot technology[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2015(4): 237 - 239.
- [3] 曲道奎. 中国机器人产业发展的机遇与挑战[J]. 科协论坛, 2015(12): 15 - 18.
Qu Daokui. Opportunities and challenges on the development of China's robot industry[J]. Science & Technology Association Forum, 2015(12): 15 - 18.
- [4] 吴廖. “机器换人”未来不是梦[J]. 科学新闻, 2015(6): 50 - 51.
Wu Liao. “Machine Substitutions” it's not a dream[J]. Science News, 2015(6): 50 - 51.
- [5] 刘进长,王伟,区和坚. 市场“井喷”带来的机遇与挑战 - 我国工业机器人发展的思考与建议[J]. 机器人技术与应用, 2014(1): 14 - 18.
Liu Jinchang, Wang Wei, Ou Hejian. Opportunities and challenges of the market “blowout” - Thoughts and suggestions on the development of industrial robots in China[J]. Robot Technique and Application, 2014(1): 14 - 18.
- [6] 计时鸣,黄希欢. 工业机器人技术的发展与应用综述[J]. 机电工程, 2015(1): 1 - 13.
Ji Shiming, Chang Xihuan. Review of development and application of industrial robot technology[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015(1): 1 - 13.
- [7] 王田苗. 全力推进我国机器人技术[J]. 机器人技术与应用, 2007(3): 17 - 23.
Wang Tianmiao. Promote the robot technology in our country[J]. Robot Technique and Application, 2007(3): 17 - 23.
- [8] 刘波,王欣,吴王锁等. 机器人核与辐射事故应急中的应用展望[J]. 工业安全与环保, 2015(5): 62 - 64.
Liu Bo, et al. The application prospect of robot in the nuclear and radiation emergency[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2015(5): 62 - 64.
- [9] 戴瑜,刘少军. 深海采矿机器人研究: 现状与发展[J]. 机器人, 2013(3): 363 - 375.
Dai Yu, Liu Shaojun. Researches on deep ocean mining robots: Status and development[J]. Robot, 2013(3): 363 - 375.
- [10] 王田苗,张韬懿,梁建宏,陈蛟. 基于再生能源的极地漫游机器人研究及现场试验[J]. 机械工程学报, 2013(19): 21 - 30.
Wang Tianmiao, Zhang Taoyi, Liang Jianhong, Chen Jiao. Design and field test of a rover robot for antarctic based on renewable energy[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013(19): 21 - 30.

- [11] 钱善华,葛世荣,王永胜,王勇,柳昌庆. 救灾机器人的研究现状与煤矿救灾的应用[J]. 机器人, 2006(3): 350-354.
Qian Shanhua, Ge Shirong, Wang Yongsheng, Wang Yong, Liu Changqin. Research status of disaster rescue robot and its applications to the mine rescue [J]. Robot, 2006(3): 350-354.
- [12] 杨秀清, 骆敏舟, 梅涛. 核环境下的机器人研究现状与发展趋势[J]. 机器人技术与应用, 2008(1): 31-39.
Yang Xiuqing, Luo Minzhou, Mei Tao. Current situation and development trend of robot research in nuclear environment [J], Robot Technique and Application 2008(1): 31-39.
- [13] 刘金国, 王越超, 李斌, 马书根. 灾难救援机器人研究现状、关键性能及展望[J]. 机械工程学报, 2006(12): 1-12.
Liu Jinguo, Wang Yuechao, Li Bin, Ma Shugen. Research status, key performance and prospect of disaster rescue robot [J] Journal of Mechanical Engineering 2006(12): 1-12.
- [14] 张文彤. SPSS 统计分析高级教程[M]. 高等教育出版社, 北京, 2004(1): 335-336.
Zhang Wentong. Advanced statistical analysis of SPSS [M], Higher Education Press, Beijing, 2004(1): 335-336.
- [15] Demirmen, F., Mathematical search procedures in facies modeling in sedimentary rocks [M]. in Mathematical models of sedimentary processes: Plenum Press, New York, 1972, 81-114.

An evaluation of the importance of intelligent robot technology and cluster analysis

Yuan Like, Yin Zhixin

(Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038, China)

Abstract: Intelligent robot technology is a hi-tech new technology with vitality and sustainability, which has a strategic position in national economy and national security. To further understand the role of intelligent robot technology for economic and social development, this article analyses different aspects of importance of the technology using hierarchical cluster analysis method based on expert survey data. The results provides decision-making reference for reasonable and effective allocation of limited resources of science and technology through analysis of corresponding technological importance related to technical requirement resolutions and key technology development.

Keywords: intelligent robot technology; importance of technology; cluster analysis