

基于 SAO 结构的知识演化路径分析：以医疗机器人领域为例

雷鸣¹ 孟菊园² 杨雪梅² 汪雪锋²

1. 兰州交通大学交通运输学院 兰州 730070;
2. 北京理工大学管理与经济学院 北京 100081

摘要 知识演化路径分析可以识别出知识演化过程中的关键信息，在识别知识创新趋势和把握知识发展脉络方面具有重要意义。当前知识演化路径的研究主要从主题词的相关关系入手，忽略了主题词间的语义关系和知识发展过程中的演化关系。利用主路径分析中的关键路径（Key-Route）方法，论文将 SAO 结构及其关系引入到演化路径分析中，系统构建了基于 SAO 结构的知识演化路径绘制流程，并在医疗机器人领域进行了探索性研究。研究表明基于 SAO 结构的知识演化路径可以呈现更加丰富的语义信息，帮助科研人员快速识别知识演化的潜在原因及其发展方向。实证表明该方法具有可行性和有效性。

关键词：知识演化路径；SAO 结构；主路径分析；医疗机器人

中图分类号：G301；G302

开放科学（资源服务）标识码（OSID）



Knowledge Evolutionary Path Analysis Based on SAO Structure: Case Study of Medical Robots

LEI Ming¹ MENG Juyuan² YANG Xuemei² WANG Xuefeng²

1. School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;
2. School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

基金项目：国家自然科学基金面上项目（71774012，71373019）。

作者简介：雷鸣（1994-），硕士研究生，研究方向：信息系统，数据挖掘，E-mail: 2769946579@qq.com；孟菊园（1992-），硕士研究生，研究方向：技术创新管理，科学计量学；杨雪梅（1995-），硕士研究生，研究方向：技术创新管理、数据挖掘；汪雪锋（1977-），教授，研究方向：技术创新管理、数据挖掘、科学计量学。

Abstract Knowledge evolutionary path analysis contributes to identify the critical information in the process of evolution, which is significant to recognize the knowledge innovation trend and grasp the knowledge venation. Current methods of tracing knowledge evolutionary path ignore the semantic relationships between these keywords and the evolutive relationships between different topics because they focus on the correlation between keywords. Based on the key-route methods of main path analysis, this paper constructed drawing process of knowledge evolutionary path based on SAO structure and their relationships, and then applied this systematical method to medical robots field. The results illustrated that knowledge evolutionary path based on SAO structure can present abundant semantic information, which is beneficial to identify potential causes and development direction of knowledge evolution effectively for researchers. This case study demonstrates that the feasibility and effectiveness of this method.

Keywords: Knowledge evolutionary path; SAO structure; main path analysis; medical robots

引言

作为知识载体的科技文献，是学术交流活动的媒介，在知识传播过程中起着至关重要的作用。从科技文献入手分析知识演化，不仅可以辅助科研管理机构发现学科前沿、制定相关政策，而且有利于科研人员了解领域的知识基础和知识前沿，从而快速掌握领域知识演化的动向^[1]。知识演化路径是知识演化过程中知识主要流向的路径，其中包含着重要文献和重要学者等信息。分析特定领域的知识演化路径，不仅有助于识别知识演化过程中的重要信息，而且有助于科研人员把握知识发展的脉络，识别知识演化的潜在原因和知识的发展方向。

当前，大部分追溯知识演化的研究主要从基于数学模型的方法、文献计量学、科学图谱等角度分析知识演化路径。基于概率的主题识别方法仅可以识别主题词间的相关关系^[2]，但无法获取主题词间的其他语义关系；采用文献

计量学的共现分析方法可以分析领域知识主题变迁^[3]，但未考虑变迁过程中的知识演化关系；科学图谱以引文网络为基础，利用引文网络提取关键路径^[4]，得到的知识演化路径呈现的信息有限，无法直观地识别演化过程中知识扩散方向。为此，本文提出基于 SAO 结构的知识演化路径分析方法，该方法以主路径分析为基础，引入基于 SAO 结构的语义挖掘方法，并确定 SAO 结构间的知识演化关系，不仅可以识别主题词间的语义关系，消除语义歧义，而且可以帮助分析知识演化过程中潜在的演化原因并识别演化方向。

1 研究方法

1.1 主路径方法

主路径方法是一种基于引文网络的关键路径识别方法。Hummon 和 Doreian (1989) 在探究 DNA 学科发展的主要思想变迁时，首次提出基于引文的主路径分析 (Main Path Analysis)

方法^[5]。他们借用两种搜索算法开发了三种主路径分析方法：节点对投影数（Node Pair Projection Count, NPPC）、搜索路径链接数（Search Path Link Count, SPLC）、搜索路径节点对（Search Path Node Pair, SPNP）并进行了初步尝试^[6]。1991年，Batagelj提出了效果更好的搜索路径数（Search Path Count, SPC）算法，建议作为主路径分析的优选算法^[7]。Hummon在提出主路径分析方法后，将其应用到社交网络分析中。1997年，主路径分析方法全部集成到复杂网络分析软件 Pajek 中，为科研人员提供了快速低成本的关键路径生成手段^[5,8]。主路径方法分为全局主路径和局部主路径，全局主路径关注在网络整体中找到遍历值最大的路径，而局部主路径只关注当前节点的最大遍历值。

当前主路径分析方法的研究主要集中在两个方向：主路径分析方法的改进和主路径分析方法的应用。主路径分析方法的改进是从引入语义结构分析^[9]、结合引文编年图的思想^[10]和生成多条路径的方法^[9]入手，旨在提高主路径分析方法的效果，但相关研究都没有解决主路径呈现信息有限的问题。主路径分析方法应用研究主要是在不同领域开展实证探索，例如识别激光显示领域的演化路径^[11]、运用引文网络对以太网技术的演化加以佐证^[12]、观察结构洞理论在主要学科领域的扩散过程^[13]以及分析网络计量学领域的技术演化路径^[10]等。

1.2 SAO结构分析

基于自然语言处理的文本挖掘包括基于关键词的文本挖掘和基于SAO结构的文本挖掘^[14]。

多数研究采用基于关键词的方法进行文本挖掘，方法虽然简单易用，但忽略了关键词间的关系，而基于SAO结构的文本挖掘方法可以弥补这一不足。SAO是Subject-Action-Object的缩写，即主谓宾结构。最初提出SAO结构是为目标问题寻找解决方案，其中S表示解决方案，AO表示待解决的问题，在确定要解决的问题（AO）后，可以通过寻找主语（S）而找到相应的解决方案^[15]。随着研究的深入，科研人员确定了另外两种SAO结构类型，即技术功能关系和系统组件关系。技术功能类SAO结构中S表示技术或方法，AO表示其具有的功能，该结构表明某个技术或方法能够执行动作或完成任务^[16]。系统组件关系中S和O表示一个系统中的组件，A表示组件之间的关系，组件的关系有包含、对比、排除、相关关系等^[17]。

SAO结构除了能够表示两个关键词间的关系外，还可以消除单个关键词造成的语义歧义。一个单词或词组在不同语义环境下可能代表不同的含义，而SAO结构包含完整句子中最重要的主谓宾结构，在语义内容理解方面具有一定优势。由于SAO结构存在以上优点，因此基于SAO结构的文本挖掘方法得到了广泛应用：将SAO结构引入技术路线图辅助未来路径的选择^[18]，SAO结构分析与社会网络分析相结合来识别技术知识的未来发展趋势^[19]，或结合语义TRIZ的“Reason For Jump”原理识别可进行技术转移的潜力专利^[20]，用于技术研发合作伙伴识别等^[21,22]。

基于上述主路径分析方法的不足以及SAO结构分析的优势，本文创新性地将SAO结构与主路径分析方法相结合，提出基于SAO结构的

知识演化路径构建流程:

1) 数据检索与获取。确定研究的知识领域, 制定相关检索式, 下载数据并剔除不相关的数据。

2) 关键主路径的识别。根据科技文献数据的引用关系构建引文网络, 借助于 Pajek 软件集成的 SPC 算法计算遍历权重, 并利用软件中关键路径 (Key-Route) 方法提取主路径, 从而获得演化过程中的关键信息。

3) 知识演化路径的绘制。从科技文献摘要中提取 SAO 结构, 利用 SAO 结构间的引用关系确定领域知识的演化关系, 在前述主路径的基础上, 引入 SAO 结构和知识演化关系, 即得到知识演化路径。

4) 知识演化路径的分析。利用绘制的知识演化路径, 从 SAO 结构的类型、知识演化关系和 SAO 结构的语义内容角度展开分析, 识别领域的知识演化原因和知识演化方向。

2 案例分析

医疗机器人是新型的交叉研究领域, 涉及医学、机械学、计算机科学等学科, 有着广泛的应用前景, 是目前机器人领域的研究热点^[23]。医疗机器人的研究主要集中在外科手术、康复和医疗服务机器人等方面^[24]。本文以医疗机器人领域为例, 探索该领域的知识演化路径。

2.1 数据检索与获取

由于医疗机器人种类繁多, 为获得更加全面的文献数据, 本文首先在 Web of Science 平台的 SCI-EXPANDED 数据库以检索式 TS=robot*

进行初步检索, 检索时间为 1965—2014 年, 文献类型限定为 article, 共得到 51925 条科技文献数据。利用文本挖掘软件 VantagePoint (<https://www.thevantagepoint.com/>) 合并作者关键词 (Keywords-Author) 和扩展关键词 (Keywords-Plus), 可以得到该领域关键词及其词频。通过“主题词簇”^[25]方法清洗后提取词频大于 20 次的关键词, 进而邀请领域专家筛选与医疗机器人相关的关键词, 排名 top30 关键词列表如表 1 所示。高频关键词主要包括两类, 一类是与医学病症等医学方向相关的关键词, 如 cancer prostate、spinal cord injury、bladder cancer; 一类是与机器人手术和医用机器人技术相关的关键词, 如 robot surgery、laparoscopic surgery、da vinci。利用 VantagePoint 软件提取与上述关键词相关的文献, 共得到 8376 篇科技文献, 其中最早文献的发表时间为 1990 年。

2.2 关键主路径识别

本文更关注知识扩散过程中的整体重要性而非局部重要性, 因而采用全局主路径分析方法。首先, 利用医疗机器人领域科技文献间的引用关系构建引文网络。其次, 利用 Pajek 软件中集成的 SPC 算法计算每个节点的遍历权重, 采用全局搜索 (Global Search) 中的关键路径 (Key-Route) 方法提取领域主路径^[27], 共包括 35 个节点, 即 35 篇文献。最后, 将 35 个节点的标签用文献第一作者和发表时间表征, 得到医疗机器人主路径如图 1 所示。由图可知, Benway, B M、Gettman, M T、Guillonau, B 和 Tewari, A 等人在医疗机器人领域做出较为突出的贡献。

表 1 与医疗机器人相关的高频关键词

序号	关键词	词频	序号	关键词	词频
1	Robot surgery	975	16	prostate neoplasm	154
2	Minimal invasive surgery	509	17	Renal cell carcinoma	151
3	radical prostatectomy	494	18	Transoral robotic surgery	149
4	Cancer prostate	404	19	nephron sparing surgery	145
5	Retropubic prostatectomy	361	20	Squamous cell carcinoma	136
6	Laparoscopic surgery	313	21	bladder cancer	133
7	surgical robot	240	22	Rectal cancer	132
8	spinal cord injury	224	23	Endoscopic surgery	113
9	Rehabilitation robot	215	24	neurorehabilitation	113
10	laparoscopic partial nephrectomy	207	25	telesurgery	105
11	da vinci	185	26	Cervical cancer	104
12	Partial nephrectomy	183	27	Radical nephrectomy	104
13	Robot assisted surgery	169	28	Clinical trial	101
14	Laparoscopic radical prostatectomy	162	29	Computer Assisted Surgery	97
15	Endometrial cancer	157	30	Radical retropubic prostatectomy	95

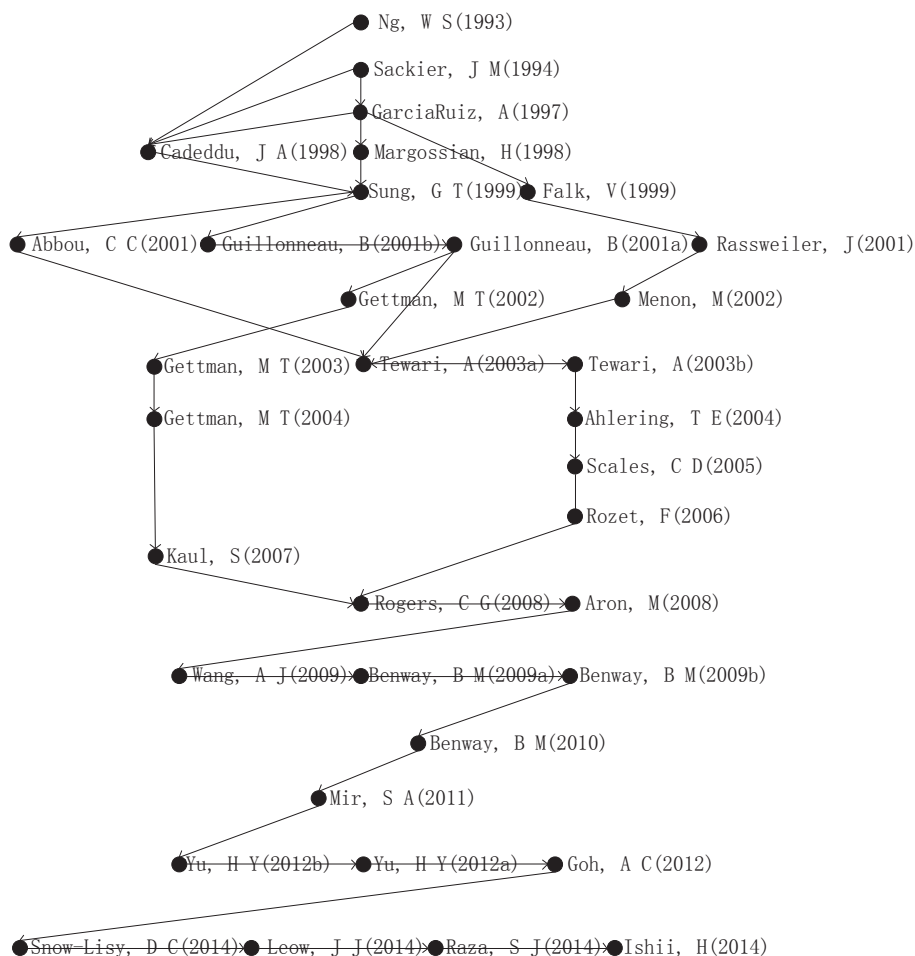


图 1 医疗机器人主路径图

2.3 知识演化路径绘制

医疗机器人领域的知识演化路径绘制主要包括以下三个步骤。

(1) SAO 结构的提取

文献的摘要提供文献内容的梗概,包括研究目的、方法、结果和结论,其中结论部分具有重要的情报价值,代表科技文献最有价值的知识。本文在获取主路径节点后,主要从节点文献摘要的结论部分提取 SAO 结构,以 SAO 结构代表文献的主要知识内容。每篇文献摘要至少提取一个 SAO 结构,部分文献可能包含多个 SAO 结构。本文最终在 35 篇文献中共提取 42 个 SAO 结构,按照划分的 SAO 结构类型,得到 17 个技术功

能类型,8 个系统组件类型,17 个解决问题类型。

(2) 知识演化关系的确定

主路径的文献节点以 SAO 结构呈现,可得到 SAO 结构间的引用关系。SAO 结构间的引用关系代表知识扩散方向,不同类型的 SAO 结构在其潜在的演化动力下进行演化,根据 SAO 结构提供的语义信息及其之间的引用关系确定知识演化关系。为描述知识的演化脉络和内在演化原因,本文将知识演化关系分为三类^[22]: 相关 (relate)、应用 (apply) 和更新 (update),关系说明和对应引用的 SAO 结构类型及相关的实例如表 2 所示。表中,SAO 结构中 S、A、O 之间用斜线 (/) 分割。

表 2 知识演化关系

序号	关系说明	SAO结构类型	实例
1	相关 (relate): 技术或系统组件间存在内在的联系,例如技术关联、比较关系等。	技术功能--技术功能 解决问题--系统组件关系 系统组件关系--系统组件关系 技术功能--系统组件关系 系统组件关系--技术功能	laparoscopic pelvic lymph node dissection / is showed to / technical feasibility of robotic assisted -> robot assisted laparoscopic nephrectomy / is reported / technical feasibility in humans operative parameters for robot assisted partial nephrectomy / is less affected by / tumor complexity -> RAPN / is safe and efficacious approach for / NSS robotic enhancement technology / create / symbiotic relationship between the surgeon and robot -> rapid advances made in telecommunication technology / permit / surgeons to participate in surgery from a remote location RPN / is / technically feasible -> RPN / produce / results comparable to LPN RPN / produce / results comparable to LPN -> RPN technology / provide / efficient and effective repair
2	应用 (apply): 技术或系统组件有实际应用。	技术功能--解决问题 系统组件关系--解决问题	Robotic technology / is used safely in / creating laparoscopic microsurgical anastomoses -> Robotic-assisted laparoscopic pyeloplasty / enhance / surgical dexterity RPN / produce / results comparable to LPN -> RPN technology / contribute to / shorter warm ischemia times
3	更新 (update): 解决方案和问题获取更加全面的信息,如旧方案解决新问题、新方案解决旧问题。	解决问题--技术功能 解决问题--解决问题	Robotic assistance of partial nephrectomy / facilitate / minimally invasive -> RPN / is / technically feasible Robotic-assisted laparoscopic pyeloplasty / enhance / surgical dexterity and precision -> Robotically assisted laparoscopic radical prostatectomy / enhance / surgical dexterity

(3) 知识演化路径的绘制

为更直观地从知识演化路径中获取信息，以生成的主路径为基础，文献节点信息以 SAO 结构呈现，节点间的关系由知识演化关系标注。当一篇文献具有多个相同类型的 SAO 结构时，将多个 SAO 结构作为一个整体，标注整体和其他节点间的关系；当一篇文献具有多个不同类型的 SAO 结构时，分别标注每个 SAO 结构和

其他节点间的关系。为清晰地呈现医疗机器人领域的知识演化路径，本文根据时间区间划分为 1993-2003 年和 2003-2014 年两个时间窗口，其知识演化路径分别如图 2 和图 3 所示。图中横坐标为科技文献的发表年份，纵坐标为 SAO 结构类型的英文缩写，function 代表技术功能，component 代表系统组件，solve problem 代表解决问题。

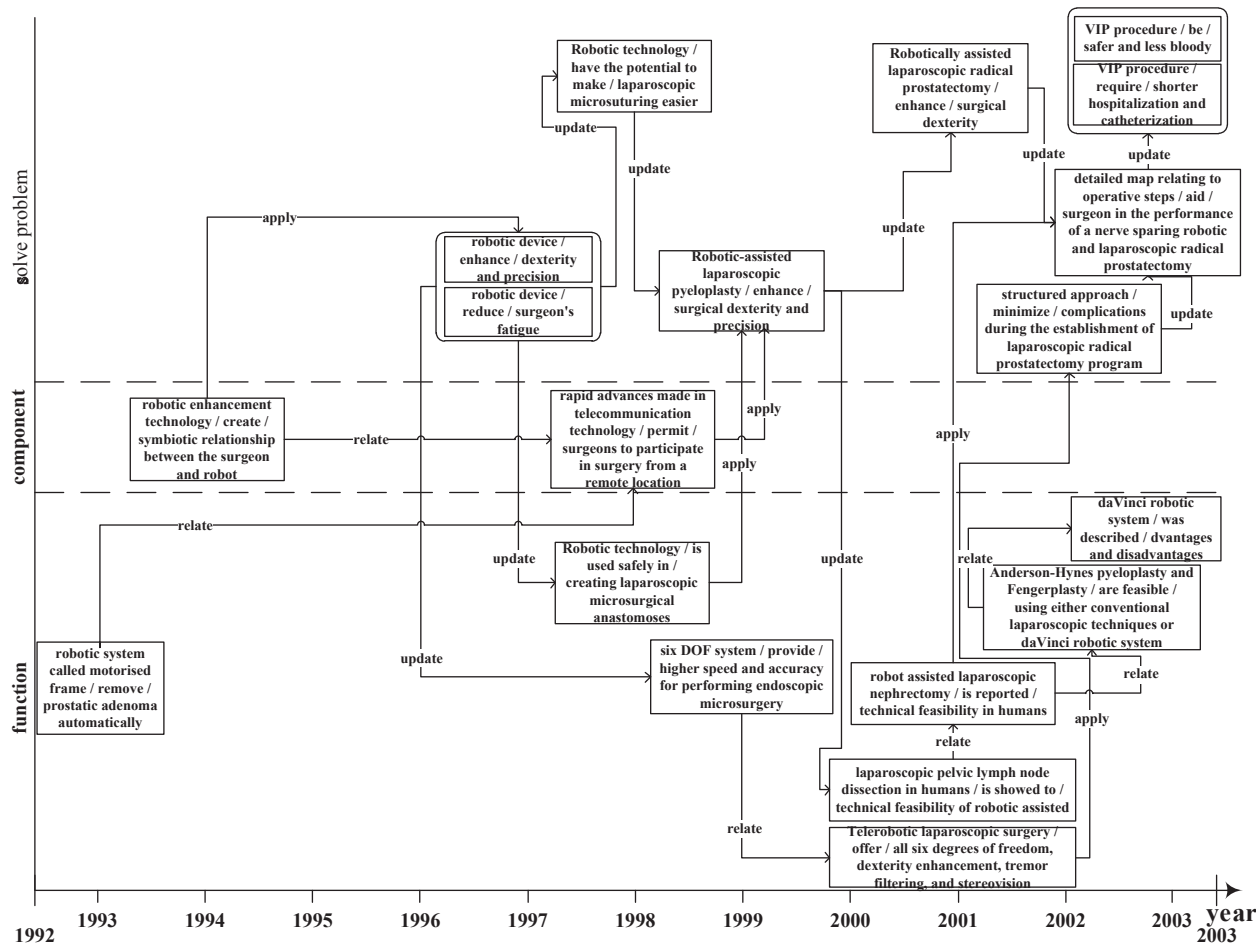


图 2 知识演化路径图 (1993-2003 年)

2.4 知识演化路径分析

由医疗机器人的知识演化路径图可知：技术功能类的 SAO 结构和解决问题类的 SAO 结构多集中在 2001 年 -2012 年期间，说明该

时间段的研究比较关注机器人辅助手术的功能及其问题解决方向上。但两者并不总是同时出现，例如 2006-2008 年，技术功能类的 SAO 结构单独出现；2012 年则仅出现解决问

题类的SAO结构。系统组件类的SAO结构则集中出现在2009-2011年和2014年,说明

与系统组件类相关的研究近年来有明显增加的趋势。

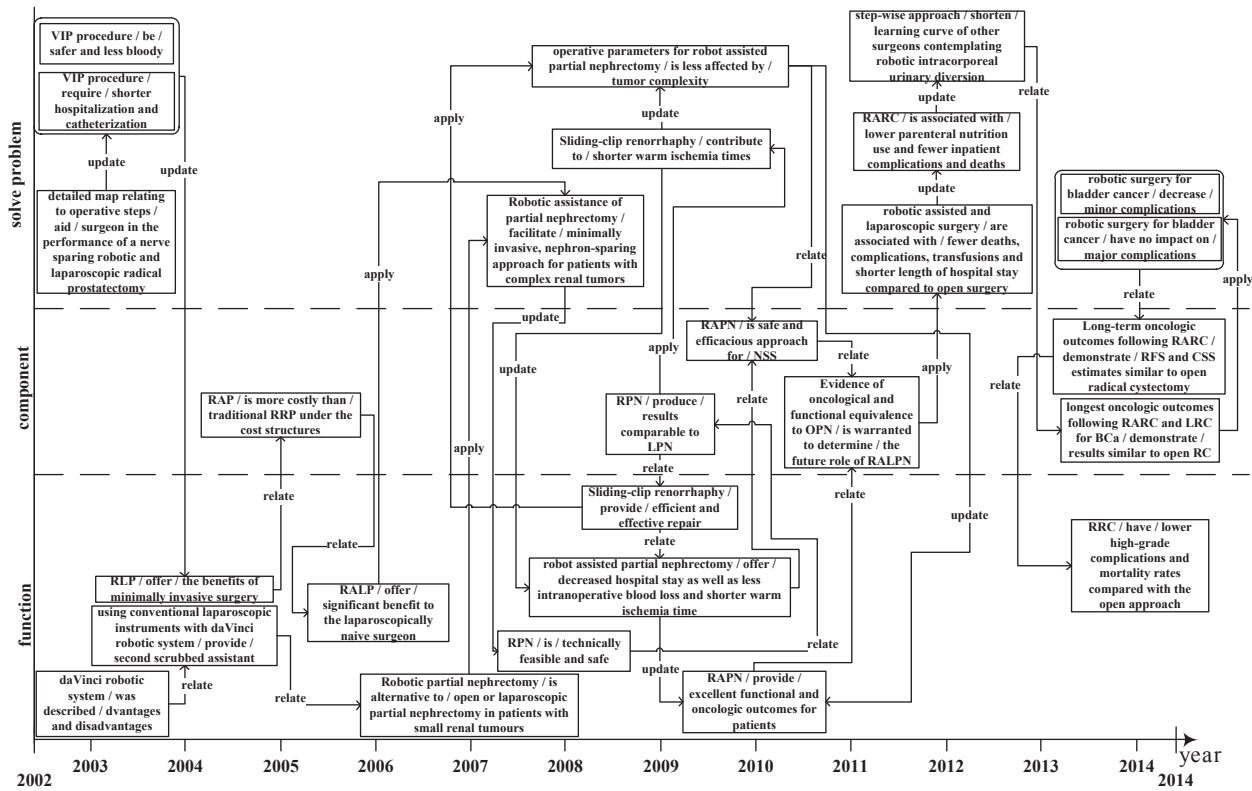


图3 知识演化路径图(2003-2014年)

从知识演化关系的角度来看,从1998年开始,“更新关系”一直持续到2012年,说明该时间段内不断有新解决方案或新技术功能涌现;“应用关系”则断断续续出现,比较集中出现的时间段为2007-2009年,说明该阶段的研究比较侧重于技术的应用。基于“应用关系”,可以看出在“应用关系”前,多数通常为“相关关系”,而在“应用关系”后,多数则表现为“更新关系”,这说明技术应用促进了新问题的发现,进而推动技术进步。

从SAO结构内容的角度来看,2008年前的研究主要集中在3个方向:(1)机器人辅助手

术的可行性论证,着眼于机器人辅助手术的步骤流程和机器人辅助腹腔镜前列腺癌切除术和传统手术的效果比较;(2)达芬奇机器人,不断改进的达芬奇系统提高机器人辅助前列腺切除手术的实际可操作性;(3)远程控制技术,机器人的六自由度系统等基础技术提高了机器人辅助远程控制手术的可行性。但2008年后,医疗机器人进入前列腺癌手术的实证阶段,通过开发新功能和提出新解决方案推进了技术的进一步发展。2014年,机器人辅助手术开始应用于治疗其他癌症。

在医疗机器人领域的知识演化过程中, Benway, B M、Gettman, M T、Guillonneau, B、

Tewari, A 和 Yu, H Y 在各自子领域做出了较大贡献。Benway, B M 致力于研究机器人辅助的部分肾切除术的技术方法；Gettman, M T 在利用达芬奇机器人系统做腹腔镜检查方面开展了大量研究；Guillonau, B 则侧重机器人辅助手术以人类为实验对象的技术可行性研究；Tewari, A 在机器人辅助技术方面做了进一步的说明和研究；Yu, H Y 注重腹腔镜技术和机器人辅助根治性膀胱切除术方面的问题。

医疗机器人领域的知识演化路径基本遵循相关-应用-更新这一基本路径，即知识的演化从相关研究入手，以知识的应用为关键线索，通过不断更新的内容对知识加以补充。医疗机器人领域的知识演化以应用为潜在动力，利用系统组件和技术、解决方案间的相关关系，挖掘系统组件潜在的功能；利用现有的解决方案和既存的问题，解决新问题和寻找新解决方案。在医疗机器人领域的知识演化过程中，Benway, B M 和 Yu, H Y 等两位学者在知识的应用方面做出重要贡献，两人均侧重机器人辅助手术解决实际问题。医疗机器人领域，初始阶段侧重机器人辅助的前列腺癌部分或完全切除手术的技术可行性和手术功能效果研究；2008年后则转向临床试验，获得良好效果；2014年则出现较多有关机器人辅助手术应用到胆囊癌切除术和膀胱癌切除术的研究。由此可以推测出，未来的研究将集中在运用机器人辅助手术治疗其他癌症的切除术方向上。

3 结论

本文将 SAO 结构和主路径分析方法引入到

演化路径分析中，创新性地提出基于 SAO 结构的知识演化路径构建流程，并以医疗机器人领域为例，通过绘制和分析该领域的知识演化路径，证明了该方法的可行性和有效性。基于 SAO 结构的知识演化路径分析有以下三个优点：首先，由于 SAO 结构包含完整句子的基本结构，相比于基于关键词的文本挖掘方法能够提供更为丰富的语义信息并消除语义歧义，在知识演化路径中可以为科研人员直观呈现更为具体的信息内容；其次，利用 SAO 结构间关系确定的知识演化关系，可以帮助科研人员快速识别知识演化的潜在原因，进一步识别其未来的发展方向；再者，演化路径中标注的 SAO 结构类型可以帮助了解某一时间段内的研究方向以及研究类型的时间分布。

由于技术等原因，本文研究还存在一定的局限性。首先，SAO 结构可以利用 Goldfire 和 Stanford parser 等软件辅助提取，但提取效果并不令人满意。为获取更好的效果，需要人工加以修正，在某种程度上降低了 SAO 结构提取的客观性；其次，主路径由一条线性结构的路径表示，或多或少会造成演化细节的缺失^[27]。未来的研究可以在这两方面加以改进。目前部分学者正在开发效果更好的 SAO 结构提取软件，未来可考虑将效果更好的 SAO 结构应用到知识演化路径分析中。

参考文献

- [1] 郝心宁, 孙巍, 张学福. 1995-2012年生物育种领域知识演化分析[J]. 中国农业科技导报, 2014(2): 174-181.
- [2] 王芳, 祝娜. 基于主题关联的知识演化路径识别

- 研究——以3D打印领域为例[J]. 图书情报工作, 2016(5): 1-9.
- [3] 郝心宁. 生物育种领域知识结构与知识演化研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [4] 马费成, 陈潇俊, 刘向. 基于科学知识图谱分析的知识演化研究——以生物医学为例[J]. 情报科学, 2012(1): 1-7+15.
- [5] Lu L Y Y, Liu J S. A novel approach to identify the major research themes and development trajectory: The case of patenting research[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2016(103): 71-82.
- [6] 韩毅. 引文网络主路径的结构洞功能探索——以知识管理领域为例[J]. 图书情报工作, 2012(24): 65-70.
- [7] 韩毅, 金碧辉. 引文网络主路径分析方法的形成与演化[C]. 北京: 第六届中国科技政策与管理学术年会, 2010. 1-10.
- [8] Xiao Y, Lu L Y Y, Liu J S, et al. Knowledge diffusion path analysis of data quality literature: a main path analysis[J]. Journal of Informetrics, 2014, 8(3): 594-605.
- [9] 陈亮, 杨冠灿, 张静, 等. 面向技术演化分析的多主路径方法研究[J]. 图书情报工作, 2015(10): 124-130+15.
- [10] 董克, 刘德洪, 江洪, 等. 基于主路径分析的HistCite结果改进研究[J]. 情报理论与实践, 2011(3): 113-116.
- [11] 彭爱东, 黎欢, 王洋. 基于专利引文网络的技术演进路径研究——以激光显示技术领域为例[J]. 情报理论与实践, 2013(8): 57-61.
- [12] 刘倩楠. 基于专利引文网络的技术演进路径识别研究——以“以太网”技术为例[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [13] 宋歌. 学术创新的扩散过程研究[J]. 中国图书馆学报, 2015(1): 62-75.
- [14] 郭俊芳, 汪雪锋, 李乾瑞, 等. 一种新型的技术形态识别方法——基于SAO语义挖掘方法[J]. 科学学研究, 2016(1): 13-21.
- [15] Choi S, Kang D, Lim J, et al. A fact-oriented ontological approach to SAO-based function modeling of patents for implementing Function-based Technology Database[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(10): 9129-9140.
- [16] 汪雪锋, 邱鹏君, 付芸. 一种新型技术路线图构建研究——基于SAO结构信息[J]. 科学学研究, 2015(8): 1134-1140.
- [17] Park H, Kim K, Choi S, et al. A patent intelligence system for strategic technology planning[J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(7): 2373-90.
- [18] 郭俊芳, 汪雪锋, 邱鹏君, 等. 基于SAO分析的技术路线图构建研究[J]. 科学学研究, 2014(7): 976-981+1002.
- [19] Choi S, Yoon J, Kim K, et al. SAO network analysis of patents for technology trends identification: a case study of polymer electrolyte membrane technology in proton exchange membrane fuel cells[J]. Scientometrics, 2011, 88(3): 863-883.
- [20] Park H, Ree J J, Kim K. Identification of promising patents for technology transfers using TRIZ evolution trends[J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(2): 736-743.
- [21] 温亮, 邱鹏君, 马萍萍, 等. 基于SAO语义分析的潜在技术合作伙伴识别[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2017, 19(4): 91-96.
- [22] 汪雪锋, 付芸, 邱鹏君, 等. 基于SAO分析的R&D合作伙伴识别研究[J]. 科研管理, 2015(10): 19-27.
- [23] 杜志江, 孙立宁, 富历新. 医疗机器人发展概况综述[J]. 机器人, 2003(2): 182-187.
- [24] 张西正, 侍才洪, 李瑞欣, 等. 医疗机器人的研究与进展[J]. 中国医学装备, 2009(1): 7-12.
- [25] 张巍, 汪雪锋, 朱东华, 等. “主题词簇”方法研究——

- 英文科技文献主题词清洗、合并与聚类[J]. 科学学研究, 2013, 31(11): 1615-1622.
- [26] Liu J S, Lu L Y Y. An integrated approach for main path analysis: Development of the Hirsch index as an example[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2012, 63(3): 528-542.
- [27] 韩毅, 金碧辉. 基于连通性的引文网络结构分析新视角: 主路径分析[J]. 科学学研究, 2012(11): 1634-1640.