

完备与不完备背景关系中蕴含的系统功能结构分析

崔铁军^{1,2,3} 李莎莎^{1,2} 王来贵⁴

(辽宁工程技术大学安全科学与工程学院 阜新 123000)¹

(矿山热动力灾害与防治教育部重点实验室 阜新 123000)²

(大连交通大学辽宁省隧道与地下结构工程技术研究中心 大连 116028)³

(辽宁工程技术大学力学与工程学院 阜新 123000)⁴

摘要 考虑完备或不完备背景关系中蕴含的元件与系统功能结构关系,提出了基于因素空间理论中因素逻辑的系统功能结构分析法,给出了该方法的严谨的数学定义系统及分析过程的逻辑数学描述。对完备和不完备两个例子进行分析后得到了两个不同的系统功能结构表达式,说明完备背景关系可得到唯一确定的系统功能结构,不完备背景关系可以得到一族确定的系统功能结构。如果不完备背景关系是完备背景关系的子集,那么在不完备背景关系中一定能找到功能之间的线性关系,以补充不完备背景关系。该方法是严谨的逻辑数学推理,可用于广泛领域类似问题的分析。

关键词 因素空间,因素逻辑,空间故障树,系统功能结构,背景关系

中图分类号 N94, TP18 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.03.055

System Function Structure Analysis in Complete and Incomplete Background Relationship

CUI Tie-jun^{1,2,3} LI Sha-sha^{1,2} WANG Lai-gui⁴

(College of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)¹

(Key Laboratory of Mine Thermodynamic Disasters and Control of Ministry of Education, Fuxin 123000, China)²

(Tunnel & Underground Structure Engineering Center of Liaoning, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)³

(School of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)⁴

Abstract Considering complete or incomplete background relationship contains the function structure relations between components and system, the system function structure analysis was proposed based on the theory of factors space factors. Rigorous mathematical definition of the system of the method and the analysis process of logic mathematical description were given. Two examples of complete and incomplete information were analyzed to get the system function structure of two different expressions. Complete background relationship can obtain only certain system function structure and incomplete background relationship can obtain a family of certain system function. If incomplete background relationship is a subset of the complete background relationship, incomplete background relationship must be able to find the linear relationship between the functions, and supplement the incomplete background. This method is rigorous logic and mathematical reasoning, and similar problem analysis can be used in wide fields.

Keywords Factors space, Factors logic, Space fault tree, System function structure, Background relationships

1 引言

系统结构分析是一个复杂的数学过程。对于安全系统工程中的系统可靠性分析而言,最简单的情况为元件失效与有效二值逻辑及系统整体失效和有效的影响分析。其问题的实质是元件可靠性的改变如何影响系统可靠性的改变。系统中所有元件失效或有效状态的组合都对应着系统的失效或有效状态,那么系统的可靠性结构就是通过所有元件的不同失效

或有效状态组合与系统失效或有效状态的对应关系确定的,通过元件可靠性状态改变与系统可靠性状态改变来推理系统可靠性结构。类似地,可靠性是系统或元件功能的一个特例,功能即为对元件和系统的一种期望行为。系统中存在的元件都是为了实现系统功能而发挥自身功能,所以对于任何系统功能都可以确定系统功能结构,这相当于根据表象对内部结构进行反分析。

对于系统结构分析,目前已进行了一些研究并取得了成

到稿日期:2016-01-31 返修日期:2016-06-27 本文受国家自然科学基金项目(61350003)资助。

崔铁军(1983—),男,博士,讲师,主要研究方向为安全理论、数值模拟和算法, E-mail: ctj_159@163.com(通信作者);李莎莎(1988—),女,博士生,主要研究方向为安全系统工程、系统可靠性;王来贵(1962—),男,博士,教授,主要研究方向为岩石力学系统稳定性理论、环境岩石学, E-mail: wangyande2421@163.com。

果^[1-10]。但这些分析方法一般都针对于某一特定领域,缺乏严格意义的系统数学定义和分析推理过程,不适宜普遍应用。为此在空间故障树研究的3项基本内容中,对确定系统结构的方法进行了改进。运用因素空间理论的因素逻辑构建了系统功能结构分析方法,并对完备和不完备背景集合情况下的确定性系统进行了系统功能结构分析。

2 空间故障树

为了解系统工作环境因素对系统可靠性的影响程度和趋势,文献[11-26]提出了一套空间故障树(Space Fault Tree, SFT)理论,该理论认为系统工作于环境之中,由组成系统的基本事件或物理元件的性质决定了其不同条件下工作的故障发生概率不同。SFT包括连续型空间故障树(Continuous Space Fault Tree, CSFT)、离散型空间故障树(Discrete Space Fault Tree, DSFT)和系统结构反分析(Inward Analysis of Structural Systems, IASS)。CSFT是一种知道系统内部构造和元件性质后研究系统在外界作用下响应行为的“白盒”方法,即先研究系统内部再研究系统对外部响应的方法。相应地,DSFT不需要了解系统内部构造和元件性质,研究基础是系统对外界环境变化所进行的响应特征,相当于“黑盒”方法,数据来源是实际的监测数据(如安全检查、设备维护记录、事故调查)。在不清楚系统内部具体构造的情况下,通过系统对外界环境因素变化的响应来剖析和窥探系统内部结构,即系统结构反分析 IASS,其包括系统元件结构反分析和系统因素结构反分析。主要方法为逐条分析法(Item by Item Analyses, IIA)和分类推理法(Classification Reasoning Method, CRM)。

从另一个角度划分空间故障树理论,包括空间故障树所分析系统的结构、基础数据的处理和具体的系统可靠性分析方法,具体详见文献[11-26],其中系统结构分析即为本文所要研究的内容。空间故障树理论的分析基础之一就是系统结构的确定,所谓系统结构就是系统中元件或子系统与系统整体在某一功能上的响应关系。比如系统可靠性结构,元件功能的失效和有效变化影响着子系统可靠性变化,子系统的失效与有效影响着系统的可靠性变化。这说明一组特定的各元件失效和有效状态组合就可以唯一确定系统可靠性状态。如果使用最简单的元件可靠性状态,即失效和有效,可以得到一个二值的元件状态与系统状态的对应关系,这就是空间故障树中系统结构确定的思想。其实现首先要求具有充足的对应关系集合。最朴素的思想即每个元件具有两种可靠性状态,那么 n 个元件的状态关系共有 2^n 条。如果实际可得到元件与系统的 2^n 条可靠性对应关系,且没有错误和冗余,那么就可以唯一确定元件之间的连接拓扑结构,即系统可靠性的功能结构。这是最理想的信息完备情况下的系统结构分析,如果不考虑信息错误,实际可能出现下列几种情况:1) 所得信息条数少于 2^n (不完备信息),这种情况也分为两类,一类是所有信息条目非线性关系,是单纯缺乏信息条目的不确定性分析;另一类是存在线性关系,即某元件可以被其他元件代替,可得到一族确定的系统结构,是确定性分析。2) 所得信息条数为 2^n , 一是非线性关系,可得到唯一确定的系统结构(完备

信息);二是有线性关系,可得到一族确定的系统结构(不完备信息),是确定性分析。3) 所得信息条数大于 2^n , 那么其中 2^n 条为线性关系,其余为冗余关系,可得到唯一确定的系统结构(完备信息),是确定性分析。对信息有错误的系统结构进行分析是一种不确定性的分析,本文暂不做讨论。

通过上述分析可知,空间故障树的系统结构分析是一个逻辑推理过程。空间故障树用于安全系统工程中系统的可靠性分析。更广泛地,可靠性可认为是元件或系统的一种功能,系统结构就是为实现某种功能而将元件组成系统的连接方式。所以无论是空间故障树的结构分析还是其他领域的类似问题,都需要一个在数学严谨的系统结构中分析推理程序。因素空间理论及因素逻辑为该分析推理程序的构建提供了基础。

3 因素空间与因素逻辑

因素空间理论^[27-35]为系统的功能结构分析提供了一个简捷的平台。其特点就是先确定因素,把影响功能的各种因素找到,设为 f_1, \dots, f_n , 叫作(结构与环境)条件因素,功能本身也是一个因素 g , 叫作结果因素。有了这两组因素就可构成一个能进行功能结构分析的因素空间,记为 $(U; F = \{f_1, \dots, f_n\}; g)$, 其中 U 是论域,是系统的变化域。如果系统被指定为某一个矿,地点虽不变但其内容随时在变, U 就是该矿在各个不同时刻的状况所组成的集合。时间是连续变化的,但只需作离散观测;记录系统对各个条件因素的属性观测值,形成因素空间的一组样本点。如果考虑的是不同地方的某一类矿,这时 U 就是这一类矿的变化域,它由各个不同地域不同时刻的状况所组成。因素空间理论只需确立论域及对条件、结果等因素的观测手段,得到一组样本点,形成一张因素分析表,就可以进行功能结构分析。这个表与粗糙集中的信息系统决策表在形式上是相同的,但涵义不尽相同,分析方法也不同。

定义1 给定因素空间 $(U; F = \{f_1, \dots, f_n\})$, 记 $B = F(U) = \{x \in f_1(X) \times \dots \times f_n(X) \mid \exists u \in U; F(u) = x\}$ 叫作因素 f_1, \dots, f_n 之间的背景关系,也称为各因素相空间的实际笛卡尔乘积。

定义2 一个因素空间 $(U, F = \{f_1, \dots, f_n\}, g)$ 叫作一个功能结构分析空间,如果 g 是一个功能因素,它具有描述功能的相集 $X(g) = \{y_1, \dots, y_k\}$; f_j 是系统内部影响功能的结构因素,具有相集 $X(f_j) = \{a_{1j}, \dots, a_{mj}\} (j=1, \dots, n)$ 。功能结构分析的一个样本点是指向量 $(u_i; f_1(u_i), \dots, f_n(u_i); g(u_i))$ 。由 m 个样本点所组成的矩阵称为一张 m 行的功能结构数据表。

定义3 给定一张功能结构数据表,对每一结构因素 f_j 及该因素所取的一个相 a , 记 $[a] = f_j^{-1}(a) = \{u \in U \mid f_j(u) = a\}$, 如果 $[a]$ 中的所有对象 u 都具有相同的结果 $g(u) = y_k \in X(g)$, 则称 $[a]$ 是因素 f_j 的一个决定类。因素 f_j 的所有决定类的并集称为它对功能的决定域。因素 f_j 的决定域所占行数 h 与表的行数(即全体对象个数) m 之比称为它对结果的决定度,记作 $d = h/m$ 。

定义4 设 $[a]$ 是因素 f_j 的一个决定类,称推理句“若结构因素 f_j 呈相 a , 则功能为 y ”是该决定类的功能分析句,将决定类中的行足码从所考虑的剩余表中去掉,以换取功能分

在 F 的字组中出现, 记下 x_1x_2 , 它是 T 的又一个素蕴涵式。再把 $T = \{x_1x_2x_3x_4x_5\}$ 中蕴涵二字组 x_1x_2 的 5 字组删去得 $T = \emptyset$ 。

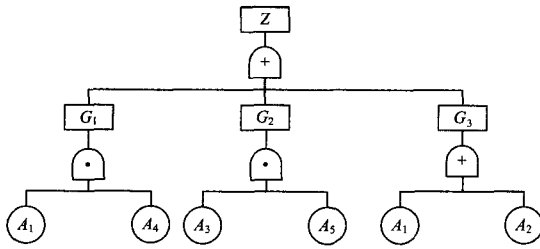


图3 系统元件功能结构

此时停止推理, 将已经得到的 T 的素蕴涵式加在一起, 得到 T 的最小属性析取式 $T = x_1x_4 + x_3x_5 + x_1x_2$, 系统元件结构 $Z = A_1A_4 + A_3A_5 + A_1A_2$, 如图3所示。

进一步讨论, 例2中背景集合属于例1中的背景集合, 那么从两个例子中得到的最小属性析取式必定存在关系。由于两个例子中的背景集合中相集均无错误, 因此通过分析例1得到唯一确定的系统功能结构; 通过分析例2得到一族确定的系统结构。又因例2中背景集合属于例1中的背景集合, 元件功能变化与系统功能变化的对应关系相同, 那么例2中必定存在一些元件功能线性相关的情况。这些隐含的关系补充了例2背景集合的不足, 使两例中所得系统结构关系等价, 即 $T = x_1x_4 + x_3x_5 + x_1x_2x_3 = x_1x_4 + x_3x_5 + x_1x_2 \Rightarrow x_1x_2x_3 = x_1x_2 \Rightarrow x_3 = ax_1 + bx_2$, 即 $T = x_1x_4 + x_3x_5 + x_1x_2$ 只是例2背景关系的一种系统功能结构表示。这说明功能 x_3 可以由功能 x_1 和 x_2 通过线性关系进行表示, 如果5种元件都必须存在, 则 $a \neq 0$ 且 $b \neq 0$ 。

完备与不完备背景关系中都存在确定性和不确定性分析。确定性的系统结构分析可以得到唯一确定的系统结构或一族系统结构, 不确定性的系统结构分析可以得到以概率形式表示的系统结构。可通过因素逻辑的系统结构分析方法得到确定性情况下的系统结构, 不确定性情况下的系统结构分析问题待进一步研究。

因素逻辑的系统结构分析是建立在因素空间理论基础上的严谨的逻辑数学推理方法。其不仅可作为空间故障树的系统结构分析方法以用于系统可靠性分析, 也可应用于广泛领域类似问题的分析。

结束语 运用因素空间理论的因素逻辑构建了系统功能结构分析方法。该方法可以得到完备与不完备背景关系情况下的系统功能结构, 其中完备的系统背景关系可以得到唯一确定的系统功能结构; 不完备的系统背景关系可得到一族确定的系统功能结构。

如果不完备背景关系属于完备背景关系, 且都能得到系统结构, 那么不完备背景关系中一定可以找到功能之间的线性关系, 这个关系补充了不完备背景关系, 进而系统功能结构才可确定。

因素逻辑的系统结构分析是建立在因素空间理论基础上的严谨的逻辑数学推理方法, 可应用于广泛领域类似问题的分析。

参考文献

- [1] TAO H Q, HAN G J, ZOU M. The System Analysis of Solar Inverter Based on Network Controlling[C]//Int Conf on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering. Wuhan: CPS, 2010: 243-246.
- [2] TOLONE WILLIAM J, JOHNSON E W, LEE S W. Enabling System of Systems Analysis of Critical Infrastructure Behaviors [C]//The 3rd Int Workshop on Critical Information Infrastructures Security. Rome: Springer-Verlag, 2009: 24-35.
- [3] DANG Y Z. A Transfer Expansion Method for Structural Modeling in Systems Analysis [J]. Trans of System Engineering, 1998, 13(1): 66-74.
- [4] LU Z, YU Y, WOODMAN N J, et al. A Theory of Structural Vulnerability[J]. The Structural Engineer, 1999, 77(18): 17-24.
- [5] AGARWAL J, BLOCKLEY D I, WOODMAN N J. Vulnerability of 3D trusses[J]. Structural Safety, 2001, 23(3): 203-220.
- [6] BU W S, ZU C L, LU C X. Decoupling Control Strategy of Bearingless Induction Motor under the Conditions of Considering Current Dynamic Characteristics [J/OL]. <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1240.TP.20150115.1603.016.html>. (in Chinese)
卜文绍, 祖从林, 路春晓. 考虑电流动态的无轴承异步电机解耦控制策略 [J/OL]. <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1240.TP.20150115.1603.016.html>.
- [7] LI Y L, MA F, GENG X G. Effect of Annular Clearance inside the Double Damping Chamber on the Dynamic Characteristics of a Rock Drill Damping System [J/OL]. <http://www.cnki.net/kcms/detail/j.issn1001-053x.2014.12.015.html>. (in Chinese)
李叶林, 马飞, 耿晓光. 双缓冲腔环形间隙对凿岩机缓冲系统动态特性的影响 [J/OL]. <http://www.cnki.net/kcms/detail/j.issn1001-053x.2014.12.015.html>.
- [8] LI M H, XIA J B, CHEN C Q, et al. A New System Structure Analysis Arithmetic with Reachable Effect Factor[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2012, 32(2): 135-140. (in Chinese)
李明辉, 夏靖波, 陈才强, 等. 一种新的含可达影响因子的系统结构分析算法[J]. 北京理工大学学报, 2012, 32(2): 135-140.
- [9] LI M H, XIA J B, CHEN C Q, et al. System Structural Analysis of Communication Networks[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2012, 35(3): 38-41. (in Chinese)
李明辉, 夏靖波, 陈才强, 等. 通信网络系统结构分析[J]. 北京邮电大学学报, 2012, 35(3): 38-41.
- [10] WANG H, XIAO J. Structure Identification in Fuzzy System Based on Multi-resolution Analysis[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(8): 1630-1632. (in Chinese)
王辉, 肖建. 基于多分辨率分析的模糊系统结构辨识算法[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(8): 1630-1632.
- [11] CUI T J, MA Y D. Research on Multi-dimensional Space Fault Tree Construction and Application [J]. China Safety Science Journal, 2013, 23(4): 32-37. (in Chinese)
崔铁军, 马云东. 多维空间故障树构建及应用研究[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(4): 32-37.
- [12] CUI T J, MA Y D. Definition and Understand on Size Set Do-

- main and Cut Set Domain Based on Multi-Dimensional Space Fault Tree[J]. *China Safety Science Journal*, 2014, 24(4): 27-32. (in Chinese)
- 崔铁军,马云东. 空间故障树的径集域与割集域的定义与认识[J]. *中国安全科学学报*, 2014, 24(4): 27-32.
- [13] CUI T J, MA Y D. Research on the Maintenance Method of System Reliability Based on Multi-dimensional Space Fault Tree[J]. *Journal of Systems Science and Mathematical Sciences*, 2014, 34(6): 682-692. (in Chinese)
- 崔铁军,马云东. 基于多维空间事故树的维持系统可靠性方法研究[J]. *系统科学与数学*, 2014, 34(6): 682-692.
- [14] CUI T J, MA Y D. System Security Classification Decision Rules Considering the Scope Attribute[J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2014, 10(11): 6-9. (in Chinese)
- 崔铁军,马云东. 考虑范围属性的系统安全分类决策规则研究[J]. *中国安全生产科学技术*, 2014, 10(11): 6-9.
- [15] CUI T J, MA Y D. Research on the Importance Element in the System under the Influence of The Macro Factors[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2014, 44(18): 124-131. (in Chinese)
- 崔铁军,马云东. 宏观因素影响下的系统中元件重要性研究[J]. *数学的实践与认识*, 2014, 44(18): 124-131.
- [16] CUI T J, WANG P Z, MA Y D. Structured Representation methods for 01 Space Fault Tree[J]. *Journal of Dalian Jiaotong University*, 2016, 37(1): 82-87. (in Chinese)
- 崔铁军,汪培庄,马云东. 01 型空间故障树的结构化表示方法[J]. *大连交通大学学报*, 2016, 37(1): 82-87.
- [17] CUI T J, MA Y D. Research on the Classification Method about Coal Mine Safety Situation based on the Factor Space[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2015, 35(11): 2891-2897. (in Chinese)
- 崔铁军,马云东. 基于因素空间的情况区分方法的研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(11): 2891-2897.
- [18] CUI T J, MA Y D. Research on the Method of System Fault Location based on Space Fault Tree[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2015, 45(21): 135-142. (in Chinese)
- 崔铁军,马云东. 基于空间故障树理论的系统故障定位方法研究[J]. *数学的实践与认识*, 2015, 45(21): 135-142.
- [19] CUI T J, MA Y D. Determine the System Repair Rate and Optimization based on SFT and DFT [J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2015, 45(22): 140-150. (in Chinese)
- 崔铁军,马云东. 基于 SFT 和 DFT 的系统维修率确定及优化[J]. *数学的实践与认识*, 2015, 45(22): 140-150.
- [20] CUI T J, MA Y D. Definition of the Attribute Circle in Factors Space and Its Application in Object Classification[J]. *Computer Engineering & Science*, 2015, 37(11): 2170-2174. (in Chinese)
- 崔铁军,马云东. 因素空间的属性圆定义及其在对象分类中的应用[J]. *计算机工程与科学*, 2015, 37(11): 2170-2174.
- [21] LI S S, CUI T J, MA Y D, et al. Research on the Cloud Fault Probability Distribution Trend in SFT[J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2015, 11(11): 18-24. (in Chinese)
- 李莎莎,崔铁军,马云东,等. SFT 下的云化故障概率分布变化趋势研究[J]. *中国安全生产科学技术*, 2015, 11(11): 18-24.
- [22] CUI T J, MA Y D. SFT Concept Reconstruction and Its Significance based on Fuzzy Structured Element[J]. *Application Research of Computers*, 2016, 33(7): 1957-1960. (in Chinese)
- 崔铁军,马云东. 基于模糊结构元的 SFT 概念重构及其意义[J]. *计算机应用研究*, 2016, 33(7): 1957-1960.
- [23] WANG F, CUI T J. Inward Analysis of System Factor Structure based on Item by Item Analysis in 01SFT Theory[J]. *China Safety Science Journal*, 2015, 25(6): 51-56. (in Chinese)
- 王峰,崔铁军. 01SFT 中逐条分析法的系统因素结构反分析[J]. *中国安全科学学报*, 2015, 25(6): 51-56.
- [24] LI S S, CUI T J, MA Y D. System Reliability Assessment Method Based on Space Fault Tree[J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2015, 11(6): 68-74. (in Chinese)
- 李莎莎,崔铁军,马云东. 基于空间故障树理论的系统可靠性评估方法研究[J]. *中国安全生产科学技术*, 2015, 11(6): 68-74.
- [25] CUI T J, MA Y D. The Definition and Cognition of the Factor Importance Distribution in Continuous Space Fault Tree[J]. *China Safety Science Journal*, 2015, 25(3): 24-28. (in Chinese)
- 崔铁军,马云东. 连续型空间故障树中因素重要度分布的定义与认知[J]. *中国安全科学学报*, 2015, 25(3): 24-28.
- [26] CUI T J, MA Y D. The Method Research on Decision Criterion Discovery of System Reliability[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2015(12): 3120-3216. (in Chinese)
- 崔铁军,马云东. 系统可靠性决策规则发掘方法研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2015(12): 3120-3216.
- [27] WANG P Z, SUGENO M. The Factors Field and Background Structure for Fuzzy Subsets[J]. *Fuzzy Mathematics*, 1992(2): 45-54. (in Chinese)
- 汪培庄, Sugeno M. 因素场与模糊集的背景结构[J]. *模糊数学*, 1992(2): 45-54.
- [28] WANG P Z. Factor Space And Description of Concepts [J]. *Journal of Software*, 1992(1): 30-40. (in Chinese)
- 汪培庄. 因素空间与概念描述[J]. *软件学报*, 1992(1): 30-40.
- [29] 汪培庄,李洪兴. 知识表示的数学理论[M]. 天津:天津科技出版社, 1994.
- [30] WANG P Z. Factor Spaces and Factor Data-bases[J]. *Journal of Liaoning Technical University(Natural Science)*, 2013, 32(10): 1-8. (in Chinese)
- 汪培庄. 因素空间与因素库[J]. *辽宁工程技术大学学报(自然科学版)*, 2013, 32(10): 1-8.
- [31] WANG H D, WANG P Z, GUO S C. Improved Factor Analysis on Factor Spaces[J]. *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science)*, 2015, 34(4): 539-544. (in Chinese)
- 汪华东,汪培庄,郭嗣琮. 因素空间中改进的因素分析法[J]. *辽宁工程技术大学学报(自然科学版)*, 2015, 34(4): 539-544.
- [32] WANG P Z. Factor Spaces and Data Science [J]. *Journal of Liaoning Technical University(Natural Science)*, 2015, 34(2): 273-280. (in Chinese)
- 汪培庄. 因素空间与数据科学[J]. *辽宁工程技术大学学报(自然科学版)*, 2015, 34(2): 273-280.
- [33] WANG H D, GUO S Z. Feedback Extension-enveloping in Factor Spaces and Its Improvements[J]. *Fuzzy Systems and Mathematics*, 2015, 29(1): 83-90. (in Chinese)
- 汪华东,郭嗣琮. 因素空间反馈外延包络及其改善[J]. *模糊系统与数学*, 2015, 29(1): 83-90.

位移;在 me 图像序列中的 282-301 帧和 760-788 帧,跟踪目标被完全遮挡,而本文 HL-L1 跟踪算法依然能很准确地跟踪目标。

综上所述,本文改进的算法将算法完备基中正负小模板由单个像素替换为像素块,减少了目标模板个数,从而大幅提高了 L1-跟踪算法的效率;同时,利用目标模板实时更新策略解决了目标跟踪中遮挡、相似物体干扰等问题,保证了算法的鲁棒性。

结束语 本文在 L1 跟踪算法框架的基础上对过完备基构造和模板更新两方面进行了改进,提出的 HL-L1 算法大幅提高了 L1-跟踪算法的跟踪效率,能满足实际应用中的实时性要求,同时对目标物遮挡、形变、环境场景、光照变化等问题具有很强的处理能力。如果目标很小(几个像素),那么本文算法与 APG-L1 跟踪算法的效率基本上差不多。本文所提算法存在一个待改进的问题:在背景颜色与目标颜色基本相似的情况下,本文算法处理能力相对较弱,在适当增加样本模板的情况下其能得到相对改善,这也是我们下一步研究的方向。

参考文献

- [1] MEI X, LING H B. Robust visual tracking using ℓ_1 minimization [C]// 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision. IEEE, 2009: 1436-1443.
- [2] WRIGHT J, YANG A Y, GANESH A, et al. Robust Face Recognition via Sparse Representation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2009, 31(2): 210-227.
- [3] ARULAMPALAM M S, MASKELL S, GORDON N, et al. A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-Gaussian Bayesian tracking [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 50(2): 174-188.
- [4] CANDÈS E J, WAKIN M B. An Introduction To Compressive Sampling [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2008, 25(2): 21-30.
- [5] MIE X, LING H B, WU Y, et al. Minimum error bounded efficient ℓ_1 tracker with occlusion detection [C]// 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE, 2011: 1257-1264.
- [6] BAO C L, WU Y, LING H B, et al. Real time robust L1 tracker using accelerated proximal gradient approach [C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2012: 1830-1837.
- [7] JIA X, LU H C, YANG M H. Visual tracking via adaptive structural local sparse appearance model [C]// IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Recognition. 2012: 1822-1829.
- [8] ZHONG W, LU H C, YANG M H. Robust object tracking via sparsity-based collaborative model [C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2012: 1838-1845.
- [9] WANG D, LU H C, YANG M H. Online object tracking with sparse prototypes [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(1): 314-25.
- [10] WANG Q, CHEN F, XU W L, et al. Online discriminative object tracking with local sparse representation [C]// IEEE Workshop on the Applications of Computer Vision. IEEE Computer Society, 2012: 425-432.
- [11] BABENKO B, YANG M H, BELONGIE S. Robust Object Tracking with Online Multiple Instance Learning [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2011, 33(8): 1619-1632.
- [12] PAPAGEORGIOU C P, OREN M, POGGIO T. A General framework for object detection [C]// International Conference on Computer Vision. 1998: 555-562.
- [13] WU G X, ZHAO C X, LU W J, et al. Efficient structured ℓ_1 tracker based on laplacian error distribution [J]. International Journal of Machine Learning and Cybernetics August, 2015, 6(4): 581-595.
- [14] WANG X Y, WANG Y, WAN W G, et al. Object tracking with sparse representation and annealed particle filter [J]. Signal Image and Video Processing, 2014, 8(6): 1053-1068.
- [15] VIOLA P, JONES M. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features [C]// CVPR 2001. 2001: 1-511-1-518.
- [16] ZHOU F, JIANG W, LI S Q, et al. Moving Target Localization and Tracking Algorithms: A Particle Filter Based Method [J]. Journal of Software, 2014, 24(9): 2196-2213. (in Chinese)
周帆, 江维, 李树全, 等. 基于粒子滤波的移动物体定位和跟踪算法 [J]. 软件学报, 2013, 24(9): 2196-2213.
- [17] TSENG P. Approximation accuracy, gradient methods, and error bound for structured convex optimization [J]. Mathematical Programming, 2010, 125(2): 263-295.
- [18] ZHANG K, ZHANG L, YANG M H. Real-Time Compressive Tracking [C]// European Conference on Computer Vision. Springer-Verlag, 2012: 864-877.
- [19] YILMAZ A, JAVED O, SHAH M. Object tracking: A survey [J]. ACM Computing Surveys, 2006, 38(4): 81-93.
- [20] MEI X, LING H B, WU Y, et al. Efficient minimum error bounded particle resampling L1 tracker with occlusion detection [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(7): 2661-2675.
- [34] BAO Y K, RU H Y, JIN S J. A New Algorithm of Knowledge Mining in Factor Space [J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2014, 33(8): 1141-1144. (in Chinese)
包研科, 茹慧英, 金圣军. 因素空间中知识挖掘的一种新算法 [J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2014, 33(8): 1141-1144.
- [35] WANG P Z, GUO S C, BAO Y K, et al. Factorial analysis in factor space [J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2014(7): 865-870. (in Chinese)
汪培庄, 郭嗣琮, 包研科, 等. 因素空间中的因素分析 [J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2014(7): 865-870.

(上接第 273 页)