

装备使用与保障研究数据的生成方法研究

李俊¹, 马凌¹, 张立新¹, 张宝升²

(1. 第二炮兵装备研究院, 北京 100085; 2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100070)

摘要: 装备使用与保障数据是开展装备科学研究的重要依据, 但由于管理不善、保密、样本过少等原因常常导致相关数据缺少应有的积累, 无法满足实际研究的需要; 为了克服这一困难, 文章提出通过算法生成数据予以解决; 首先根据数据的应用特性, 将装备使用与保障数据看作简单数据、规律已知数据和规律未知数据三类, 分别制定生成策略; 对于简单数据和规律已知数据, 通过已有的商用软件或简单的自定义方法生成; 对于规律未知数据, 采用模式注入或特性继承的方法生成; 在某大型装备管理综合信息系统的设计开发中, 对这些生成方法进行了工程实践, 结果表明了方法的正确性和可行性。

关键词: 装备; 使用与保障; 模式注入; 特性继承; 数据生成

Study on Data Generation Methods of Equipment Operation and Support

Li Jun¹, Ma Ling¹, Zhang Lixin¹, Zhang Baosheng²

(1. Second Artillery Equipment Research Institute, Beijing 100085, China;

2. Beijing Aerospace Measurement & Control Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: The data of operation and support of equipment are important basis of carrying out equipment scientific research. However, the related data are often lack of proper accumulation because of ill management, secret and too small sample. So the data are unable to meet the needs of actual research. In order to overcome the difficulty, methods of data generation are proposed. First, the data of operation and support of equipment will be divided into three categories on application characteristic: the simple data, the known rules data and the unknown rules data. Second, different generation strategies are applied to these three data categories. For the simple data and the known rules data, some commercial software or simple custom algorithms can be used for data generation; for the unknown rules data, mode injection or characteristic inheritance algorithms can be used. These data generation methods were practiced in one large design and development of equipment management information system, and the result shows availability and correctness of the methods.

Keywords: equipment; operation and support; mode injection; characteristic inheritance; data generation

0 引言

使用与保障阶段是武器装备系统寿命周期中时间跨度长, 作用因素复杂, 装备发挥作用的重要阶段。该阶段的主要活动是装备的使用、维修和保障, 以及根据使用、维修中出现的问题, 对装备系统进行科学、准确的评价, 提出更改意见^[1]。在这些活动中, 针对装备开展各类专题研究是非常普遍的事, 但在科研中通常碰到的一个难题是研究所需数据的缺失, 形成“巧妇难为无米之炊”的尴尬状况, 同装备使用保障的实际要求形成尖锐矛盾。造成这一现象的原因是多样的, 比较典型的有 4 种: 1) 历史数据积累少, 多是由于管理原因造成; 2) 装备样本少, 如导弹武器系统, 预警机系统等; 3) 安全保密控制导致数据难获取; 4) 已有数据无法利用, 如装备产生的数据仅能自己使用, 不提供外部解析。

为了解决这一矛盾, 根据数据特性和应用目的的不同, 结合工程实践经验, 尝试利用多种数值计算方法自动生成装备使用与保障中的数据, 用于实现系统测试、装备评估等科研目的。

1 生成方法

生成装备使用与保障数据的目的是为了具体应用, 因此生

成方法应根据数据自身特性和应用目的具有针对性。由于实际中的具体应用千差万别, 我们尝试从数据的特性入手, 研究各类方法。显然, 生成的数据必须符合实际, 才能供研究使用, 得出可供参考的合理结果。这里将数据分为简单数据、规律已知数据和规律未知数据 3 类。

1.1 简单数据

我们将装备使用与保障中一些纯记录性的, 对当前应用明显不具备知识发掘性的数据称之为简单数据。简单数据是相对的, 如对一个应用是简单的, 而对另一个应用则可能需要深刻研究的。例如装备使用与保障过程中有关人员的信息, 在对装备自身做性能评估时可以认为是简单数据, 而在做装备管理能力评估时就不能被当作简单数据。对于简单数据, 我们的生成要求比较简单:

- 1) 满足数据的基本类型要求, 如数值型(包括整型, 浮点型), 文本型, 日期型, 引用型, 二进制型等;
- 2) 满足简单逻辑, 如时间先后, 因果关系等;
- 3) 满足现实约束, 如省份、城市、邮编、姓名长度等。

目前一些商业的建模工具或数据库工具都提供了简单数据的生成功能, 有名的如 Sybase 公司的 PowerDesigner 通用建模工具, Allround Automations 公司的 PL/SQL Developer 等。基本的实现方法有:

- 1) 简单字符。如无规律的字母、数字、汉字等, 通过选定的字符集随机组合生成。在装备使用与保障数据中可应用到人员名称、模拟实力数的生成等。

收稿日期: 2014-09-22; 修回日期: 2014-12-16。

作者简介: 李俊(1978-), 男, 陕西安康人, 工程师, 主要从事装备信息工程方向的研究。

2) 枚举型数据。装备使用与保障数据中大量存在一些只能从特定的数据集中取值的标准化数据,如国家、城市、邮编,业务规定的标准术语等。这些数据在系统中通常都建立了标准化的字典表,数据的生成又转化成了简单字符的生成,即以字典表的主键为数据集,从中随机选取。

3) 简单规律型数据。具有简单规律的数据也是装备使用与保障过程中的常见的数据类型,如一些计算字段,日期,等比、等差数列,通过自定义简单函数,通过数学运算生成数据。

1.2 规律已知数据

我们将装备使用与保障中一些对当前应用显著存在知识发掘性,且经过长期理论探索及实践检验变化、分布规律已知的数据称之为规律已知数据。装备使用管理中比较常见的是是一些元器件参数及环境参数变化量等,典型例子如下^[2]。

1) 电子产品性能参数:

很多电子产品的电流、电压、电阻等性能参数都存在恒定的退化率,可通过形式明确的线性模型描述。

2) 金属件性能参数:

对于金属件应力松弛、疲劳等造成的参数退化量常分为两个阶段,第一阶段持续时间较短,退化量随时间增加而急剧下降,第二阶段持续时间很长,退化量随时间增加而缓慢降低,这时可通过对数模型和双对数模型描述。

3) 放射性元素衰变:

放射性监测数据是装备使用与保障中的一类重要数据,在放射源明确的情形下变化规律通常是已知的,如衰变量服从指数规律。

4) 环境应力:

一些环境应力,如良好保养状况下的装备贮存温、湿度常常比较稳定,在统计上服从显著规律。

对于规律已知数据的生成,研究人员可以自行定制算法实现,也可通过目前一些商业化软件及数据库管理系统提供的工具实现,如 PL/SQL Developer、Matlab、MCNP 等专业软件,Oracle、SQL Server 等主流数据库管理系统都有一定的内置函数或软件包可以按指定规律生成数据。但无论如何,生成过程都离不开针对具体情况的人工分析,主要工作步骤是:

- 1) 整理收集供参考的历史数据;
- 2) 理清变量关系,确定数学模型形式;
- 3) 通过历史数据确定模型待定参数或进行参数估计;
- 4) 建立数学描述模型;
- 5) 依据数学描述模型,通过预测方式生成数据。

1.3 规律未知数据

在具体应用研究中,除了简单数据和规律已知数据,更普遍面对的是根据已有知识,无法判断数据对研究的意义,更不能明确数据蕴含知识的数据集,我们将这类数据称之为规律未知数据。通过少量历史数据,生成研究使用的这类数据,是应用中的重点和难点,有模式注入和特性继承两种解决思路。

1.3.1 模式注入

模式注入的数据生成基本思想是化规律未知为已知,然后通过规律已知数据类似的方式生成数据。在操作步骤上,首先利用数据挖掘算法对已拥有的少量真实数据进行模式探索,然后将探索得到的数据模式以一定的规范语言描述出来^[3-7],如 PMML (predictive model markup language);然后将数据模式

产生的数据约束关系转换为数据生成工具的规范化语言描述,如 SDDL (synthetic data definition language),供数据生成工具使用。

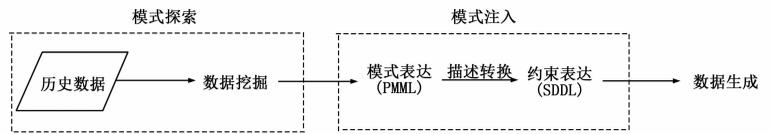


图1 模式注入数据生成主要流程示意图

PMML 是由数据挖掘协会 (the data mining group, DMG) 组织开发的,主要目的是形成一种通用标准,允许应用程序和联机分析处理 (OLAP) 工具能从数据挖掘系统获得模型,而不用独自开发数据挖掘模块,为模型的跨平台、跨系统共享提供一种快速且简单的方式。同时,PMML 还提供灵活的机制支持多个预言模型的选择和平衡,非常适合于全部学习,部分学习,分布式学习等多种应用场景。PMML 基于 XML 格式,目前已发展到 4.2 版本,包括标题 (header)、数据字典 (data dictionary)、数据流 (data flow)、挖掘模式 (mining schema)、数据转换 (transformations)、预测模型、模型组合定义 (ensembles of models)、异常处理规则 (rules for exception handling) 等内容。数据生成主要用到两个重要组成:其一是数据字典,遵循一个或多个挖掘模型,包括 name (描述数据集字段名), Otype (字段可操作类型), dataType attributes (重用 W3C XML schema atomic types 中的名称和语法) 等元素,描述字段类型、操作方式、数据范围等内容,不依赖于具体的挖掘模型;其二是挖掘模式 (Mining schema),储存字段的值分布规律等特殊信息,根据具体挖掘模型的不同存在区别。目前 PMML 标准支持决策树、关联规则、聚集、回归、naive 贝叶斯、神经网络、规则集、序列、文本模型、支持向量机等挖掘模型。按照 PMML 标准,决策树挖掘模式以 XML 表示为 (“+”在这里表示省略了细节):

```

<? xml version="1.0" encoding="UTF-8"? >
<DecisionTree ...>
  <Extensionvalue="String" name="String" extender="String">
text</Extension>
  +<Output>
  +<ModelStats>
  +<Targets>
  +<LocalTransformations>
  +<ResultFieldvalue="String" name="String" feature="warn-
ing" dataType="boolean" otype="continuous" displayName="
String">
  <Node defaultChild="String" recordCount="3.14" score="
String" id="String">
  <Extensionvalue="String" name="String" extender="String">
text</Extension>
  +<SimplePredicatevalue="String" field="String" operator="
notEqual">
  +<Partitionname="String" size="3.14">
  <ScoreDistributionvalue="String" recordCount="3.14" probab-
ility="0.0" confidence="0.0">
  <Extensionvalue="String" name="String" extender="String">
text</Extension>
  
```

```
</ScoreDistribution>
</Node>
</DecisionTree>
```

通过模式探索获得 PMML 描述的数据模式后, 经过描述转换形成能够为数据生成工具直接使用的 SDDL 文档。SDDL 同样基于 XML 文档格式, 能够表达出最大/最小约束、分布约束、公式约束、字典约束、查询数据约束、迭代/重复约束等。这些约束间还能够通过组合形成比较复杂的约束, 如迭代/重复约束可以和其它约束组合。下面的 XML 为这种约束的一个典型的示例:

```
<? xml version="1.0" encoding="UTF-8"? >
<database>
  <! -- 字典池 -->
  <pool name="city">
    <choice name="BeiJing"/>
    <choice name="ShangHai"/>
    <choice name="ShenZhen"/>
  </pool>
  <table name="Tb1" length="5">
    <! -- 最小/最大约束 -->
    <field name="F1" type="int">
      <min>1</min>
      <max>50</max>
    </field>
    <! -- 分布约束 -->
    <field name="F2" type="int">
      <dist>
        <tier prob="0.8" min="20" max="30"/>
      </dist>
    </field>
  </table>
</database>
```

数据生成工具按照 SDDL 表达的约束条件实现大量数据的生成。

1.3.2 特性继承

特性继承的数据生成基本思想是不依赖先验知识, 通过一定的算法实现已有历史数据内在规律特性在生成数据中的“传承”。因此, 寻找这种具有数据内在规律特性“传承”能力的算法成为关键^[8-16]。在直观的类比下, 智能计算中的遗传算法成为这种算法的一个自然选择。

遗传算法模拟自然界生物“物竞天择, 适者生存”的进化过程, 目前已在基本算法的基础上发展出众多的改进算法。遗传算法的实现过程类似自然界的进化过程, 通常包括以下几个必要步骤:

1) 编码。遗传算法不直接应用于问题域, 必须先寻找一种对问题潜在解进行“数字化”编码的方案, 实现问题表象和“基因型”的映射。

2) 初始化。确定群体规模 N , 进化过程中基因交叉概率 P_c 、变异概率 P_m , 和终止进化条件。并构造出最开始的生物种群, 作为进化的基础。

3) 个体评价。通过适应度函数计算评估各个体的适应度。

4) 种群进化。包括 4 个主要步骤:

选择母体。通过选择算子根据适应度高低选择出 $M/2$ 对母体, $M \geq N$ 。

交叉。对选择的 $M/2$ 对母体以概率 P_c 执行交叉, 形成 M 个中间个体。

变异。对 M 个中间个体分别独立以概率 P_m 执行变异, 形成 M 个候选个体。

选择子代。从 M 个候选个体依据适应度选择出 N 个个体组成新一代种群 $\vec{A}(t+1)$ 。

5) 进化终止检验。判断是否满足终止准则, 如满足, 则输出种群中适应度最高的个体作为解, 如不满足, 则种群继续进化, 即转到步骤 3)。

遗传算法是一种全局寻找最优解的算法, 直接借用传统遗传算法只能得到一个最优解, 显然不能达到扩大数据集的目的。文献 [11] 提出了一种算法, 先通过交叉和变异实现原始数据的群体性扩充, 然后将扩充的群体分组, 并通过一个基于熵的群体相似性函数判断各个扩充群组同原始群组的相似度, 如果得到的相似度最高的候选群组满足终止扩充条件, 那么将候选群组作为结果群体, 执行解码, 形成扩充数据集; 否则, 将该候选群体作为下一次待扩充群体, 返回执行交叉和变异扩充步骤。设原始群体为 P_0 , 得到的扩充群体分组之一为 P_E , 基于熵的群体相似性函数可表示为:

$$f(P_0, P_E) = f_I(P_0, P_E) + f_M(P_0, P_E) + f_H(P_0, P_E)$$

其中: $f_I(P_0, P_E)$ 为两个群体之间各个位置取值相似性的信息熵度量, $f_M(P_0, P_E)$ 为两个群体之间内部任意两个位置取值的互信息熵度量, $f_H(P_0, P_E)$ 为两个群体对应位置上取值的相对熵度量。 $f(P_0, P_E)$ 越趋近 0, 两个群组越相似, 等于 0 则两个群组等价。

文献 [11] 没有给出明确的分组方式, 群组划分存在偶然性和不稳定性, 在实际操作中我们对分组方法进行了改进。首先对编码后的初始群体进行通常的聚类操作, 得出一个大概的分类准则和比例关系, 然后按照分类准则和比例关系对扩展群体进行分组, 最后按照公式 (1) 计算群组相似性, 寻找最优群体作为输出, 解码后作为扩展数据。在编码技术上, 由于实数编码无须编码解码, 贴近问题实际且容易与其它搜索技术结合, 在数据生成中十分适合。

实数编码采用的交叉算子分为算术交叉和启发式交叉^[14], 如式 (2):

$$\begin{cases} x = \lambda \times x_1 + (1 - \lambda) \times x_2 \\ x = x_1 + \lambda(x_1 - x_2) \end{cases}$$

如定义函数:

$$\Delta(t, y) = y \times \lambda \times (1 - t/T)^b$$

实数编码采用的变异算子也可分为均匀变异算子及非均匀变异算子, 分别如式 (4), 式 (5) 所示:

$$\begin{aligned} x_j &= x_{L,j} + \lambda \times (x_{U,j} - x_{L,j}) \\ x_j &= x_j + \Delta(t, (x_{U,j} - x_j)), \lambda > 0.5 \\ x_j &= x_j - \Delta(t, (x_j - x_{L,j})), \lambda < 0.5 \end{aligned}$$

其中: $x_{L,j}, x_{U,j}$ 为 x_L, x_U 的第 j 个分量, b 为形参, 其值预先确定, 一般取 2 ~ 5 的整数, T 为进化总代数, t 为进化代数, λ 为 $[0, 1]$ 的整数。

1.3.3 两种方法的优缺点分析

规律未知数据的两种生成方法都存在着一定的优点和不足。对于模式注入生成, 由于在数据生成前进行了模式探索, 能够形成清晰的知识表达, 生成的数据规律明确, 符合模式探索的“预期”。然而模式探索也带来了缺陷, 首先对历史数据有较高要求, 需要能够满足数据挖掘算法的要求, 其次存在模式探测错误, 丢失其它潜在模式规律的风险。对于特性继承生成方式, 优点是不需要做事前假设, 对历史数据要求较低, 丢失潜在规律风险小。其存在的缺点是在理论上还缺乏足够的支

撑,用于问题域表象和继承算法间的映射方法存在困难,对应用范围造成了限制。在工程实践中,可以根据应用场景将两种方法作为互补手段。

2 工程实践

某部队装备管理综合信息系统是一个涉及业务广,功能十分复杂的大型信息系统。系统不仅管理装备终端自动采集数据、业务流转数据,还需要通过对这些数据的分析,为业务机关提供决策支持。在系统正式上线前,必须利用尽量真实的数据对系统进行充分的测试。基于上述数据生成思想,我们在该系统中对几类数据生成方法进行了工程实践,取得了很好的应用效果。

2.1 主要步骤

主要步骤如下:

1) 数据定义分析。根据数据模型分析该系统数据定义,确定数据生成的表范围。按照寿命周期等客观属性,该系统的数据库表大致可分为基础数据、业务数据、自动采集数据等大类。其中基础数据主要包括单位、装备、器材等目录代码及一系列的枚举型应用字典,业务数据主要包括各类计划、业务流转过程数据等,自动采集数据主要包括装备、器材自动化测试、环境监控等终端采集的数据。该系统数据划分及部分表示例如图 2 所示。

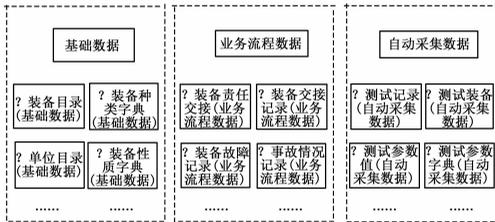


图 2 某装备管理综合信息系统数据划分及表示例

2) 准备真实历史数据。将能够得到的真实数据经预处理后加载到对应的数据表中,作为必要的基础。基础数据变化慢,寿命周期长,有少量的真实数据;业务流程数据变化快,历史积累多,有较多真实数据;自动采集数据同具体对象相关,重点装备及配备量大的装备数据多,一般装备及配备量小的数据少。

3) 确定数据生成策略。具体分析数据表,在总体上确定各表数据生成的顺序(被引用父表必须在子表数据生成之前生成),确定单表数据生成方式,并通过规范化语言描述,供数据生成工具使用。基础数据被业务数据引用,需最先生成,且大多可用简单数据生成方法;业务数据总体上具有较强的逻辑,大部分适用简单数据和规律已知数据生成方法;自动采集数据数值型居多,场景不同,3种数据生成方法都可能适用。

4) 按策略描述生成数据。数据生成工具按照规范化语言描述策略生成数据。简单数据的代表如人员名单,规律已知数据的代表如坑道辐射监测,规律未知数据的代表如部分装备的测试数据。

2.2 效果分析

由于长期处于贮存状态,某型导弹组件的测试数据历史积累少,难以支撑系统分析测试要求,我们采用了特性继承的方法进行数据生成。该关键件测试数据参数项分为 4 组 22 个,其中第一组为 P₀,第二组为 P₁₀~P₁₆,第三组为 P₂₀~P₂₆,第四组为 P₃₀~P₃₆,如表 1:

表 1 某导弹关键件测试数据参数项

Table with 10 columns: P0, P10, ..., P16, P20, ..., P26, P30, ..., P36. Each column contains a list of parameter values.

原始数据仅有 168 条,经过特性继承的方法生成得到 798 条。原始数据和生成数据在分类及统计特性上具有很好的相似性。

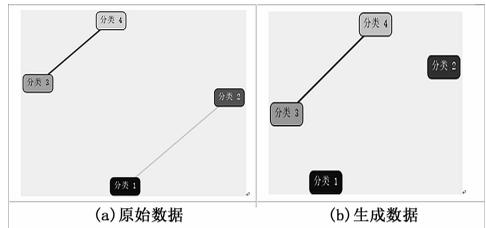


图 3 分类关系对比图

Table (a) 原始数据: 包含 22 个参数项 (P0-P36) 的统计分布表,列出了平均值、标准差、最大值、最小值等。

(a) 原始数据

Table (b) 生成数据: 包含 22 个参数项 (P0-P36) 的统计分布表,列出了平均值、标准差、最大值、最小值等。

(b) 生成数据

图 4 分类剖面对比图

由对比分析可见,通过上述方法生成的装备数据同真实数据具有很大的统计相似性,为某部队装备管理综合信息系统的用户试用和质量评测提供了很大帮助。

3 结束语

文章中的理论方法和工程实践都表明,通过数据生成能够较好的解决装备使用与保障研究中数据缺少的问题,在一定的场景下具备替换真实数据的能力。目前存在的不足是,在支撑数据生成的相关基础理论方面还需要突破,在工程应用上也缺少通用的集成框架,实践中需要较多的定制工作。随着理论和工程实践的发展,数据生成,特别是规律未知数据的生成理论方法可能会在装备的各类数据分析研究中产生广阔的应用前景,甚至扩展到其它应用领域,如装备的加速试验。

参考文献:

[1] 王汉功,甘茂治,陈学楚,等. 装备全系统全寿命管理 [M]. 北京:国防工业出版社,2003.

[2] 邓爱民. 高可靠长寿命产品可靠性技术研究 [D]. 长沙:国防科技大学,2006.

[3] White J., American Data Set Generation Program: Creation, Applications, and significance [D]. Computer Science and Computer Engineering Dept., Univ. of Arkansas, 2005.

[4] Hoag J. and Thompson C., A Parallel General-purpose Synthetic Data Generator [J]. ACM SIGMOD Record, 2007 (36): 19-24.

[5] Hoag J., Synthetic Data Generation [D]. Computer Science and Computer Engineering Dept., Univ. of Arkansas, 2008.

[6] Eno J. Generation of Synthetic Data to Conform to Constraints Derived from Data Mining Applications [D]. master's thesis,

Computer Science and Computer Engineering Dept., Univ. of Arkansas, 2007.

[7] Eno J, Craig W. Thompson, Generating Synthetic Data to Match Data Mining Patterns [J]. IEEE Internet Computing, May/June 2008; 78-82.

[8] 程 焯. 遗传算法在路径覆盖测试数据生成中的研究与应用 [D]. 上海:上海师范大学,2006.

[9] 朱 灿. 实数编码遗传算法机理分析及算法改进研究 [D]. 长沙:中南大学,2009.

[10] 黎方正,罗大庸,谢 东. 一种海量数据生成方法 [J]. 小型微型计算机系统, 2009 (12): 2420-2423.

[11] 魏伟杰,张 斌,王 波,等. 一种用于数据挖掘算法的数据生成方法 [J]. 东北大学学报(自然科学版), 2008 (3): 328-331.

[12] 王 杰,周 婕,慕晓冬. 测试数据生成技术在软件故障诊断中的应用 [J]. 计算机技术与发展, 2006 (9): 91-92.

[13] 李培志,樊 丁. 基于实数编码的改进遗传算法研究 [J]. 宇航计测技术, 2008 (1): 54-57.

[14] 管小艳. 实数编码下遗传算法的改进及其应用 [D]. 重庆:重庆大学,2012.

[15] 叶晨洲,杨 杰,黄 欣,等. 实数编码遗传算法的缺陷分析及其改进 [J]. 计算机集成制造系统-CIMS, 2001 (5): 28-32.

[16] 杜 鹞,李德毅. 一种测试数据挖掘算法的数据源生成方法 [J]. 计算机研究与发展, 2000 (7): 776-782.

(上接第 2469 页)

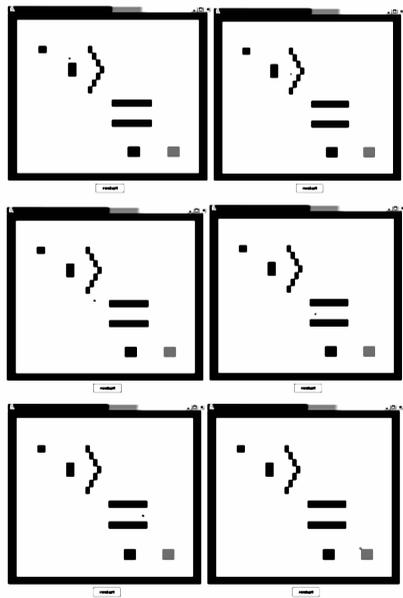


图 5 无人船自动避障轨迹图

目标的最短路径,并将其嵌入安全目标追踪算法,使得无人船自动避障更加高效,并通过 Lyapunov 函数证明了该控制算法的渐近稳定性。

参考文献:

[1] 蔡自兴,周 翔,李梅毅,等. 基于功能/行为集成的自主式移动

机器人进化控制体系结构 [J]. 机器人, 2000, 22 (3): 169-175.

[2] 张聪彪. 基于类前馈解耦的双模糊控制在电站锅炉燃烧系统的仿真研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (9): 2784-2788.

[3] 石辛民. 模糊控制及其 MATLAB 仿真 [M]. 北京,清华大学出版社,2008.

[4] Khatib O. Real-time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots [J]. Robotics Research, 1986, 5 (1): 90-98.

[5] 李保国,张春熹. 双轮移动机器人安全目标追踪与自动避障算法 [J]. 控制理论与应用, 2007, 24 (4): 535-540.

[6] Yue Y, Gong J. A n efficient implementation of shortest path algorithm based on Dijkstra algorithm [J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1999, 24 (3): 209-212.

[7] 李 伟. 在未知环境中基于模糊逻辑的移动机器人行为控制 [J]. 控制理论与应用, 1996 (2). 153-162.

[8] 张国忠. 智能控制系统及应用 [M]. 北京:中国电力出版社,2007

[9] 王小平. 非介入式智能超声波测量计 [J]. 半导体技术, 2000 (5): 50-52.

[10] 朱 俊,王宇俊,续 芳. 自调整模糊控制在移动机器人路径规划中的应用 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32 (5): 135-139.

[11] 张 跃. 模糊数学方法及其应用 [M]. 北京:煤炭工业出版社,1992

[12] Bimbo A D, Pernici F. Distant targets identification as an on-line dynamic vehicle routing problem using an active-zooming camera [A]. Proc. of second Joint IEEE International Workshop on VS-PETS [C]. Beijing, 2005: 97-104