

模型驱动的装备保障优化决策支持系统^①

江勋林^{1,2}, 陈海松¹, 苏正炼¹, 满 达²

¹(解放军理工大学 野战工程学院, 南京 210007)

²(解放军总参通信训练基地, 张家口 075100)

摘 要: 以数据、模型、用户界面等要素为基础, 提出了以优化模型为驱动的装备保障优化决策支持系统设计思路, 拓展设计了系统总体功能结构. 构建了包含算法库、模型库和应用库的模型库, 引入了脚本模型, 以顺序、选择或循环结构程序组合优化模型, 实现复杂装备保障决策问题的求解和决策. 实例应用表明系统极大地提高了部队装备精确保障能力.

关键词: 模型驱动; 装备保障; 优化决策; 脚本模型

Model-Driven Optimization Decision Support System of Equipment Support

JIANG Xun-Lin^{1,2}, CHEN Hai-Song¹, SU Zheng-Lian¹, Man Da²

¹(College of Field Engineering, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China)

²(Communication Training Base of GSD, Zhangjiakou 075100, China)

Abstract: Based on sets of data, model and user interface, this paper proposed the design ideas of optimization model-driven optimization decision support system of equipment support, and expanded to design the entire functions and structures. The model library is built with algorithm base, model base and application base involved. By introducing script models that procedural combined with optimization models through sequential, optional and circulating structures, the system flexibly adjusted to solving variety complex optimization problems of equipment support and decision making. Application examples showed that it could highly improve the army's capabilities of accurate equipment support.

Key words: model-driven; equipment support; optimization decision making; script model

1 引言

早在 60 年代初, 人们就开始应用计算机来帮助决策^[1], 而对于决策支持系统(DSS)的研究则始于 70 年代^[2], 人们将决策支持系统应用于多个领域、层次, 并且取得了较好的效果^[3]. 随着计算机及网络技术的不断发展, 决策支持系统(DSS)的应用领域不断扩大, 广泛应用于生产作业管理(约 44.16%), 市场、运输、后勤决策(约 17.53%)以及管理信息系统(13.64%)等多个领域, 极大地提高了决策者的效率, 取得了明显地效果^[4]. 在决策支持系统中, 数据、模型以及用户界面是其必须具备的三个基本要素, 其中模型是核心. 决策支持系统的模型最初是以线性及非线性方程组的形式呈现的, 随着决策要求的提高及计算机程序的复杂化,

逐渐形成了计算机模型、模型系统及交互式模型^[5], 由模型驱动的决策支持也越来越受到学者们的关注^[5].

在诸多决策模型中, 优化决策模型逐渐成为学者们研究的热点^[4]. Cheung 等通过两个阶段将优化模型和仿真模型成功应用于网络作业计划问题^[6]. Faisal AI-Qaed 等提出了基于优化模型的自适应决策支持系统应用于 B2C 模式下的电子商务, 并提供了一系列决策工具^[7]. Cai 等提出了应用基于优化模型的决策支持系统来解决不确定区域能源管理问题^[8]. Grasso 等提出了基于海况预测及多目标进化算法的声纳浮标投放决策支持系统^[9]. 雷秀娟等将 Matlab 运用于决策支持系统的设计中, 提出了一种多目标优化经济决策支持系统^[10]. 王勇等借助货郎担模型, 提出了一种物流配送

① 收稿时间:2013-11-07;收到修改稿时间:2013-12-09

车辆调度决策支持系统^[11]。孙从艳等提出了基于数据库、模型库、方法库三库结构的军队卫生装备优化编配决策支持系统的基本构想^[12]。这些优化决策支持系统都在一定程度上提高了决策者的工作效率,然而在装备保障优化决策方面仍然没有好的决策支持工具。

无论是在信息化条件下的局部战争,或是在抗洪抢险、抗震救灾等应急性非战争军事行动中,又或是在平常装备的管、修、供、训等活动中,保障决策既要实现保障资源的合理筹措和分配,又要考虑保障的及时有效性,还要在资源有限的情况下,实现重点保障和集约保障。基于此,本文提出一种由多优化模型、多算法模型构成的装备保障优化决策支持系统,系统能够根据辅助决策者明确决策目标,进行问题识别和构建决策模型,通过计算产生备选方案,并依据决策者的决策偏好对备选方案进行评价和选优,辅助决策者实现对复杂装备保障决策问题的优化决策。

2 装备保障优化决策支持系统设计

一般来说,装备保障优化决策的基本过程是:问题认知→问题分析→数学建模→模型求解→可选方案→决策应用^[13]。而某些复杂的装备保障决策问题,其对应的决策任务可能需分解为多个决策任务,这些决策任务之间可能存在复杂的逻辑关联,需在各决策任务关联分析的基础上实现整个复杂决策问题的求解。装备保障优化决策过程中,要使优化决策系统对决策者提供有效的决策支持,系统必须满足具有良好的人—机交互性、扩展性、自学习性以及决策方案最优性。

2.1 系统总体设计思路

当决策者面临一个新的复杂的装备保障决策问题时,如图 1 所示,系统应辅助决策者完成从问题认知到决策应用的整个过程,具体功能如下:

(1)启发决策者根据问题分析情况将决策问题分解为一个或多个优化决策问题;

(2)若有多个优化决策问题,则需进一步分析各优化决策模型之间的关联,依次对各优化决策模型求解;

(3)各优化决策模型的求解主要分为实际参数录入和基于优化算法求解两部分,系统根据优化决策模型的参数特征启发用户输入实际问题的各项参数,调用不同的优化模型和优化算法求解。针对部分复杂问题,可调用多种优化算法并行计算以优中选优;

(4)若求解结果,当可行方案数量多于 1 个甚至规模较大,系统可基于偏好运用多属性决策方法对可行方案进行排序,给出唯一的最满意方案;

(5)决策者将决策方案运用于实际决策问题;

(6)决策者反馈决策方案的实际应用情况,若决策不成功,需进一步分析建模调整决策模型,反之将问题保存至应用库中,便于决策人员下次对该类问题决策时直接参照求解,解决普通决策者决策分析最困难的一环;同时,已成功求解的装备保障决策问题可以作为历史资料以供查阅和对比分析;

(7)系统将各种最优化决策模型维护在最优化决策模型库中。这些模型是决策问题分解和转换为优化决策模型的依据;

(8)系统将各种优化算法维护于优化算法库;

(9)针对不同的最优化决策问题,系统自动调用或由决策者主动调用相应的优化算法求解,新的求解经验自动维护到算法求解知识库中。

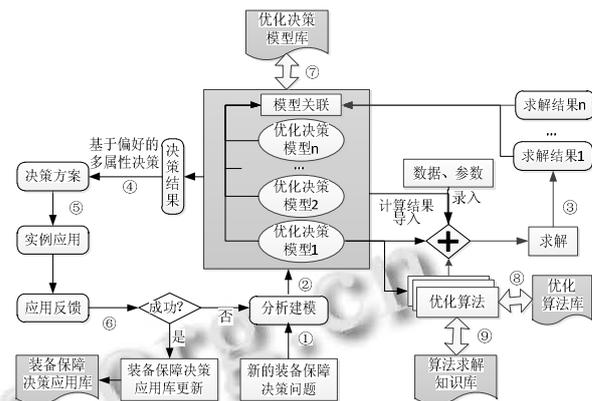


图 1 系统总体设计思路

2.2 总体功能结构设计

通过对数据、模型、用户界面三个基本要素^[5]进行拓展,形成如图 2 所示总体结构。根据各个要素对应的功能结构,可以将系统分为人—机对话子系统、求解子系统、脚本解析子系统、数据库管理子系统、菜单模块管理子系统,模型管理子系统等六个子系统。各子系统的主要功能有:

人—机对话子系统:主要负责与用户对话,提供给决策问题管理、模型管理、功能扩展、菜单管理及用户界面、帮助等功能。按照人正常的操作习惯实现用户与系统之间的信息交互,最终辅助用户完成最优问题的决策。

求解子系统: 为用户提供问题求解功能, 从已持久化的决策应用库中选择模型, 利用脚本解析子系统对决策应用库中的一些脚本进行解析, 从相应的数据库中析取参数, 调用相应函数求解模型。

脚本解析子系统: 主要提供用于数值计算的 m 语言脚本和用于数据库操作的 SQL 脚本的解析、实现功能, 该子系统面向的上层是模型求解及系统的功能扩展模块。

数据库管理子系统: 一方面实现对决策应用库的持久化, 另一方面提供系统与外部数据库的接口, 实现数据析取和结果反馈。

菜单模块管理子系统: 用于对决策应用库分类, 以功能菜单的形式提供给用户操作。

模型管理子系统: 实现对模型库, 包括装备保障决策应用库、优化决策模型库和算法求解知识库的管理, 以窗口界面方式提供决策应用库的新增、修改、删除等功能, 并与数据库管理子系统一起实现可扩展模型的持久化。

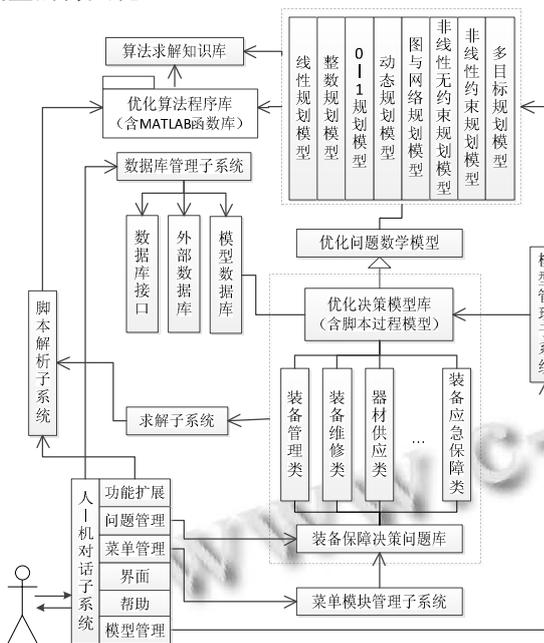


图 2 系统总体结构

2.3 模型库设计

在系统中, 模型以算法模型、优化模型、应用模型等三种形式存在。一个复杂装备保障决策问题是否基于系统自动决策, 关键在于是否能在系统已维护好的优化模型库中找到与该类问题匹配的优化模型, 找

到匹配的优化模型后, 可构建相应的应用模型, 输入参数后运用相应的算法模型求解, 从而实现对保障决策问题的求解和辅助决策。图 3 所示为各模型库的内任关系。

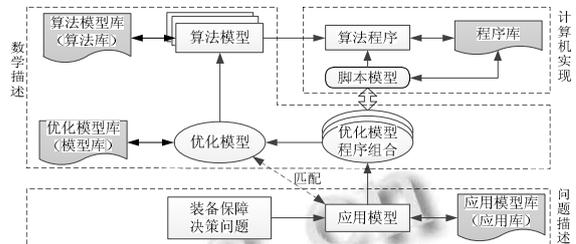


图 3 模型库

模型驱动的装备保障优化决策支持系统中, 优化模型是整个系统的基础和核心, 根据决策变量是否连续、问题是否有约束、是否多目标等构建多个优化模型, 形成优化模型库。

算法模型即是优化问题的求解算法, 包括单纯形法、内点法、分枝界定法、一维搜索算法、遗传算法、粒子群算法等多种算法, 形成算法库。算法须以程序为载体, 形成程序库。

应用模型是实现决策自动化和智能化的关键, 以数据库为载体, 可形成应用模型库(即应用库), 实现应用模型的持久化。已成功决策的同类问题, 系统将自动调用成功决策的优化模型, 并用相应的算法模型在录入问题的实际参数后自动求解。

一般地, 单个优化问题可构建一个或者几个并行的优化模型。但是在面对复杂问题时, 可能需要多个模型进行程序组合才能对问题加以解决。比如某个优化模型需要在其它模型求解的基础上求解, 其求解需要引用其它模型的计算结果。为解决这种复杂关联的模型的求解问题, 系统通过对优化模型进行程序组合, 构建一种脚本过程模型, 进一步提高了决策系统的适应性。脚本过程模型主要采用 m 语言实现, 其程序组合有三种形式, 包括顺序结构、选择结构、循环结构等, 如图 4 所示。

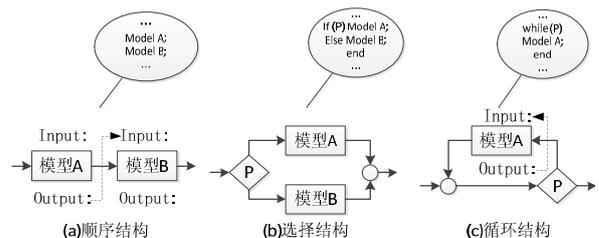


图 4 模型的三种程序组合及其对应的脚本

其中,图中(a)所示模型 A 的输出作为模型 B 的输入,图中(c)所示为模型 A 的输出作为下次模型 A 的输入.

3 装备保障优化决策支持系统应用

优化决策支持系统的开发基于 C/S 架构的开发平台,其开发平台选用微软公司推出的 Visual Studio 2008,优化函数库的开发主要基于 MATLAB 7.8.

3.1 问题描述及求解过程

下面以多目标维修任务分配问题为例给出基于决策支持系统的决策过程.问题假设将 5 种装备分配给 10 个维修机构大修,需要实现三方面的目标:(1)经济性指标,即总费用最小;(2)时效性指标,即总时间最小;(3)修理质量指标.问题存在如下约束:(1)修理任务年度内完成;(2)不超过各维修机构的修理能力;(3)满足各维修机构年度最小修理量;(4)满足各维修机构最少修理经费;(5)满足各维修机构最少修理需求.

问题的求解可选用的算法有 MOPSO 及 NSGAI.根据该问题模型的模型维护,将该类问题作为单个模型并选用 MOPSO 来求解,其求解过程如下:

Step1: 解析目标函数及约束条件中的参数.

Step1.1: 检查参数表达中是否存在 SQL 表达,若不存在,则跳转至 Step1.3.

Step1.2: 调用 DBUtils.GetSingle()方法,获得数值.

Step1.3: 检查参数表达中是否存在 m 语言表达,若不存在,则跳转至 Step2.

Step1.4: 调用 Utilsfens.evalstr()方法,获得数值.

Step2: 校验模型正确性.

Step2.1: 检查下限是否低于上限、初值是否在上、下限之间,若不是,跳转至 Step3.

Step2.2: 调用 Utilsfens.evalstr()方法检查线性约束是否合法,若不是,跳转至 Step3.

Step2.3: 调用 Utilsfens.evalstr()方法检查非线性约束是否合法,若不是,跳转至 Step3.

Step2.3: 调用 Utilsfens.evalstr()方法目标函数能否在可行域内取值,若不是,跳转至 Step3.

Step3: 若模型检验不正确,弹出错误原因,结束.

Step4: 调用 Utilsfens.mopso()方法求解模型.

Step5: 输出结果至列表.

Step6: 调用 Utilsfens.evalstr()实现模型可视化及后续计算.

Step7: 调用 DBUtils.Execute()方法,实现模型在信息系统中的应用.

3.2 参数析取

用户在利用系统对多目标维修任务分配问题求解时,通过系统菜单进入到该问题模型,根据问题的表述和实际的数据对参数值进行修改.假设各种装备需修理的数量为 $REP=\{15, 20, 25, 20, 30\}$.各维修机构对某型装备的大修费用为 $COST = (c_{ij})_{m \times n}$,其中 c_{ij} 为 2~10 之间的随机数;各维修机构对某型装备的修理时间为 $TIME = (t_{ij})_{m \times n}$,其中 t_{ij} 为 5~30 之间的随机数.各维修机构的装备修理质量综合评价向量 $QAL = (q_1, q_2, \dots, q_m)$,其中 q_i 为 0.8~1 之间的随机数.各维修机构年度装备修理数量至少为 2 台($N_{min}=2$),修理费用至少为 10 万元($C_{min}=10$).如图 5 所示.



图 5 多目标维修任务分配参数析取

3.3 问题求解及决策方案可视化

完成参数析后即完成了一类装备保障决策问题的实例化,转换为实际装备保障决策问题,可进入到优化模型计算机求解界面.用户还可根据实际情况对模型进行参数调整,单击“求解”按钮,加载算法程序对模型求解,得到非支配解集及其对应的目标值.调用脚本模型可对决策结果进行可视化分析,便于决策者更加直观地选择决策方案.实现可视化的 m 语言脚本为:

```
[x,y]=meshgrid(min(fv(:,1)):(max(fv(:,1))-min(fv(:,1)))/200:max(fv(:,1)),min(fv(:,2)):(max(fv(:,2))-min(fv(:,2)))/200:max(fv(:,2)));
```

```
[x,y,z]=griddata(fv(:,1),fv(:,2),fv(:,3),x,y,'cubic');
figure;mesh(x,y,z);
```

3.4 决策

针对计算结果为 Pareto 解集的复杂决策问题,决

策者最后的决策有如下几种方法: 直接决策、可视化决策或多属性决策. 针对多目标维修任务分配问题, 运用基于 Vague 的多属性决策后逐步缩减决策方案规模^[14]. 将决策矩阵转换为优属度矩阵 $[u_1, u_2, u_3]$, 计算 Vague 值及排序值, 得到缩减方案如表 1 所示.

表 1 缩减后各方案的 Vague 值及排序值

方案序号	u_1	u_2	u_3	Vague 值	排序值
127	0.009368	0.5	0.979962	[0.55,0.55]	0.55
128	0	1	1	[0.65,0.65]	0.65
145	0.503513	0.1	0	[0,0]	0
147	0.892272	0	0.79984	[0.35,0.45]	0.40
148	1	0	0.00008	[0.35,0.45]	0.40

可以得到最满意方案为方案 128. 图 6 所示为问题求解结果及其可视化和优选满意解.

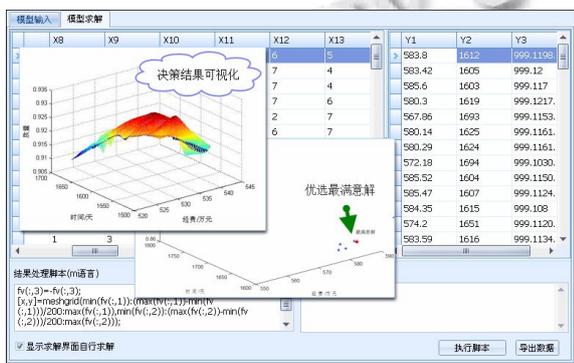


图 6 多目标维修任务分配问题的解集及优选方案

4 结语

以优化模型驱动的装备保障优化决策支持系统可以很好地解决当前装备保障中一些非线性、大规模、目标多元、约束复杂的决策问题, 为实现精确保障提供技术支持. 系统中引入脚本模型的模型库设计方法, 可以更加灵活, 更好地求解部队装备保障领域中由复杂关联的多优化模型组合的问题, 而根据求解结果评价自动维护的模型库解决了问题求解经验的自学习问题, 极大地提高了系统的智能性. 应用结果表明, 装备保障优化决策支持系统可极大地提高了装备保障决策的效率.

参考文献

1 Bonini CP. Simulation of Information and Decision Systems

in the Firm. Prentice Hall: Englewood CLiff, 1963.

2 Morton S. Management decision systems: computer-based support for decision making. Division of Research, Harvard University, Cambridge, MA, 1971.

3 Sprague Jr R. DSS in context. Decision Support Systems, 1987, 3: 197-202.

4 Eom S, Kim E. A survey of decision support system applications (1995-2001). Journal of the Operational Research Society, 2006, 57: 1264-1278.

5 Power D, Sharda R. Model-driven decision support systems Concepts and research directions. Decision Support Systems, 2007, 43: 1044-1061.

6 Cheung W, Leung L, Tam P. An intelligent decision support system for service network planning. Decision Support Systems, 2005,39:415-428.

7 Al-Qaed F, Sutcliffe A. Adaptive decision support system (ADSS) for B2C E-Commerce. ICEC'06. 2006. 492-211.

8 Cai Y, Huang G, Lin Q, et al. An optimization-model-based interactive decision support system for regional energy management systems planning under uncertainty. Expert Systems with Applications, 2009, 36: 3470-3482.

9 Grasso R, Cococcioni M, Mourre B, et al. A decision support system for optimal deployment of sonobuoy networks based on sea current forecasts and multi-objective evolutionary optimization. Expert Systems with Applications, 2013, 40: 3886-3899.

10 雷秀娟, 史忠科, 王来军, 等. 遗传算法多目标优化及其在决策支持系统中的应用. 计算机应用研究, 2006(7):176-179.

11 王勇, 吴志勇, 廖明, 等. 物流配送车辆调度决策支持系统. 重庆大学学报(自然科学版), 2006, 29(9):162-167.

12 孙丛艳, 徐卸古, 张鹭鹭, 等. 军队卫生装备优化编配决策支持系统的研发. 解放军医院管理杂志, 2009, 16(6):548-550.

13 Shim J, Warkentin M, Courtney J, et al. Past, present, and future of decision support technology. Decision Support Systems, 2002, 33: 111-126.

14 Hong D, Choi C. Multicriteria fuzzy decision-making problems based on vague set theory. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 114: 103-113.