

刘太敏, 唐乾, 周继松, 等. 基于自适应精英保留遗传算法的物资保障优化方法[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(10): 54-59. DOI:10.20169/j.issn.2095-2163.25061101

基于自适应精英保留遗传算法的物资保障优化方法

刘太敏, 唐乾, 周继松, 潘雪刚

(南京电子工程研究所, 南京 210023)

摘要: 物资保障是国家安全体系的重要一环, 其核心挑战在于资源约束下的高效分配。针对多物资点对多保障点的物资保障优化问题, 本文提出了一种基于自适应精英保留遗传算法的物资保障优化方法。针对物资保障问题模型, 设计了2种优化目标的适应度函数—距离优先和运力优先, 并融合轮盘赌选择与自适应精英保留策略, 构建了物资保障优化方法。实验通过对比本文方法与GA、NSGA II、GA-SA等同类方法在2种优化目标和2种数据场景下的最优优化值、收敛速度、算法鲁棒性等表现, 证明了本方法在物资保障优化方面的优越性。

关键词: 自适应精英保留; 遗传算法; 运力优先; 距离优先; 物资保障

中图分类号: TP181

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2025)10-0054-06

Adaptive Elitist Genetic Algorithm-based Material Support Optimization method

LIU Taimin, TANG Qian, ZHOU Jisong, PAN Xuegang

(Nanjing Research Institute of Electronic Engineering, Nanjing 210023, China)

Abstract: Material support is an important part of the national security system, with its core challenge lying in efficient allocation under resource constraints. To address the material support optimization problem involving multiple supply points and multiple demand points, this paper proposes an Adaptive Elitist Genetic Algorithm-Based Material Support Optimization Method (AEGA-MSO). For the material support problem model, two fitness functions with distinct optimization objectives—distance priority and transport capacity priority—are designed. By integrating roulette wheel selection with an adaptive elitist retention strategy, a material support optimization method is constructed. Experiments comparing the proposed method with GA, NSGA-II, and GA-SA approaches demonstrate its superiority in material support optimization, as evidenced by performance metrics including optimal values, convergence speed, and algorithmic robustness under both optimization objectives and two data scenarios.

Key words: adaptive elitist preservation; Genetic Algorithm; capacity-first; distance-first; material support

0 引言

物资保障是军事与民用领域确保组织目标实现和社会稳定的核心环节。其效能对行动成功与社会秩序具有决定性影响。

在军事领域, 物资保障是军事行动成功的关键支撑。保障机构需确保为作战单位提供及时、精准的物资支援, 这要求对保障物资的数量、储备位置等关键要素进行系统评估与科学管理。在民用领域, 物资保障同样发挥着基础性作用。以突发公共卫生事件期间的生活保障为例, 高效精准的物资保障是满足居民基本生活需求、维护社会稳定的基石。基

于此, 制定合理的物资保障方案, 不仅能优化资源利用效率, 也可为居民提供必要的生活支持。

在时间资源与运力资源双重约束下, 物资保障面临复杂的分配问题。资源的有限性要求保障机构必须在多个需求主体间进行物资的合理分配与运输调度。此过程对保障机构的管理效能与决策能力构成严峻挑战。

随着信息化水平提升, 学者们广泛开展了资源约束下的物资分配问题研究。李一凡^[1]提出了一种基于优先级的物资需求匹配算法, 依据需求紧急程度进行排序与分配。然而, 该方法采用面向过程的设计思路, 在复杂场景下难以获取全局或局部最

作者简介: 刘太敏(1992—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 数据工程。Email: liu_taimin@foxmail.com; 唐乾(1989—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 数据工程; 周继松(1991—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 业务系统; 潘雪刚(1993—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 人工智能。

收稿日期: 2025-06-11

哈尔滨工业大学主办 ◆ 学术研究与应用

优解。张旭等学者^[2]针对需求不确定性下的物资分配问题,设计了基于随机采样的改进自适应遗传算法,但其研究却未深入分析物资保障中至关重要的资源匹配度、距离匹配度及时间匹配度等定向优化问题。夏倩雯等学者^[3]针对长距离、大量物资分配场景下物资分配问题提出了以物资分配时间最短、公平性最大、成本最小为目标的优化模型,但实验数据场景单一,未充分验证不同数量量级下的算法有效性。张圣忠等学者^[4]针对多种类物资,结合物资需求与供应的周期性,兼顾时效性、公平性与经济性,构建了多物资集散中心、多物资配送点、多受灾点、多周期的多种类应急物资分配优化模型,但对照实验不足。武龙飞等学者^[5]将物资紧急度作为权重,构建出主次目标分别为物资加权需求满足率最大化和物资装运时间最小化的应急物资公平配送模型。另外,还有很多研究者对物资保障与资源分配优化问题进行了研究^[6-19],限于篇幅不再赘述。

1 自适应精英保留遗传算法设计

1.1 问题模型

假设针对某种物资,现在有 M 个物资点可以提供保障,一共需要考虑 N 个保障点,均可以向任意保障点运送物资,每个物资点的物资储存量是固定的,用 MAT_i 来表示,其中 $1 \leq i \leq M$; 每个保障点的物资需求量为 DEM_j , 其中 $1 \leq j \leq N$; 第 i 个物资点与第 j 个保障点之间的距离表示为 DIS_{ij} 。当 M 个物资点同时保障 N 个保障点时,可在时间限制、运力限制等条件下,优化保障方案,保障方案可抽象为一个矩阵表示。其数学公式如下:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中, a_{ij} 表示第 i 个物资点向第 j 个保障点提供的物资量。

另外,物资点和保障点之间的距离表示如下:

$$DIS = \begin{pmatrix} DIS_{11} & \cdots & DIS_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ DIS_{m1} & \cdots & DIS_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

1.2 约束条件设计

在以上问题模型中,为框定解空间的范围,设置相关约束条件。

(1) 条件 1: 每个物资点向外提供的物资总量不能超过物资点本身的物资储存量。可用下式来表示:

$$\sum_{1 \leq j \leq n} a_{ij} \leq MAT_i \quad (3)$$

(2) 条件 2: 每个保障点获取的所有保障物资总和不超过保障点本身物资需求量。可用下式来表示:

$$\sum_{1 \leq i \leq m} a_{ij} \leq DEM_j \quad (4)$$

(3) 条件 3: 保障方案中物资点对保障点的物资运送总量应该不高于所有物资点物资总量和所有保障点物资需求总量之间较小者。可用下式来表示:

$$\sum_{1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m} a_{ij} \leq \min\left(\sum_{1 \leq i \leq n} MAT_i, \sum_{1 \leq j \leq n} DEM_j\right) \quad (5)$$

1.3 适应度函数设计

本文讨论的物资分配问题在不同的评价准则要求下,分配方案优化方向会有所区别。这里提出 2 种评价准则: 时间优先和运力优先。

1.3.1 距离优先

距离优先是指在按照保障方案完成保障后,保障点和物资点之间的运输距离之和最小。为确保保障及时性,这里假设单个保障点和物资点之间物资运送需单独运输,不同物资点之间不共用运输工具,且一个保障点和一个物资点之间单次运输即可满足物资需求。因此,第 i 个物资点向第 j 个保障点运输物资的实际距离为:

$$TRA_{ij} = \begin{cases} DIS_{ij}, & a_{ij} > 0 \\ 0, & a_{ij} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

在距离优先目标前提下,适应度函数为运输方案中所有保障点和物资点之间实际运输距离之和,即:

$$ALL_TRA_{ij} = \sum_{0 \leq i \leq m, 0 \leq j \leq n} TRA_{ij} \quad (7)$$

为求所有保障点和物资点之间的最小运输距离,要求:

$$\min(ALL_TRA_{ij}) \quad (8)$$

1.3.2 运力优先

运力优先是指按照保障方案完成物资运输后,所有保障点和物资点之间的运输次数最少。为确保保障及时性,这里假设单个保障点和物资点之间物资运送需单独运输,不同物资点之间不共用运输工具,且一个保障点和一个物资点之间单次运输即可满足物资需求。

因此,一次运输方案中第 i 个物资点向第 j 个保障点运输物资的实际运输次数为:

$$NUM_{ij} = \begin{cases} 1, & a_{ij} > 0 \\ 0, & a_{ij} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

在运力优先目标前提下,适应度函数为运输方

案中所有保障点和物资点间实际运输次数之和,即:

$$ALL_NUM_{ij} = \sum_{0 \leq i \leq m, 0 \leq j \leq n} NUM_{ij} \quad (10)$$

为求所有保障点和物资点之间的最小运输次数,要求:

$$\text{Min}(ALL_NUM_{ij}) \quad (11)$$

1.4 自适应精英保留算子设计

轮盘赌选择适应度函数值越高,个体被选中的概率也越高,但随着进化次数增加,个体之间的适应度函数值差距减小,可能会淘汰优秀个体。精英保留选择将优秀基因个体复制进入下一代,但缺点是陷入局部最优,可能降低算法的全局搜索能力。

为提升遗传算法的问题求解能力,本文对轮盘赌与精英保留两种策略进行融合。算法迭代初期,种群中高质量个体数量有限,此时适度降低精英保留的比例,主要依赖轮盘赌筛选优秀个体。随着迭代的推进,种群内优秀个体逐渐增多,则逐步提高精英保留的比例,剩余个体将继续通过轮盘赌方式进行优选。具体操作如下。

(1) 参数设定:设每次迭代选择个体的数量为 $SNUM$,其中精英保留个体数量为 $ENUM$,占种群总数的比例为 P ,剩余利用轮盘赌方式选择的个体数量为 $RNUM$ 。计算公式为:

$$ENUM = \begin{cases} \text{floor}(SNUM^{\frac{g}{G}} \times P), & g \leq \frac{G}{2} \\ SNUM \times P, & g > \frac{G}{2} \end{cases} \quad (12)$$

其中, floor 表示取整函数; g 表示种群当前进化次数; G 表示种群进化总次数。

(2) 适应度值计算:计算个体的适应度函数值,并从大到小进行排序。

(3) 精英个体复制保留:每次种群进化后,选择适应度值最高的 $ENUM$ 个个体作为精英个体,直接复制保留到下一代种群中。

(4) 轮盘赌选择父代个体:完成精英个体复制保留后,剩余的待选择个体按照轮盘赌的方式进行选择,并作为父代个体,数量为:

$$RNUM = SNUM - ENUM \quad (13)$$

1.5 交叉和变异算法设计

本文的交叉算法采用均匀交叉,变异算法采用均匀变异,这里不再赘述。

2 算法求解

2.1 种群初始化

这里设置种群的大小为 POP_NUM ,当前进化

次数为 g ,最大进化次数为 G ,选择个体数量为 $SNUM$,精英保留个体数量为 $ENUM$,占种群总数的比例为 P ,轮盘赌方式选择的个体数量为 $RNUM$,交叉概率为 P_c ,变异概率为 P_v ,种群中一个染色体为 A ,距离矩阵为 DIS ,均采用随机初始化方式对 A 和 DIS 进行初始化。

2.2 适应度值计算

分别按照距离优先和运力优先计算种群所有染色体的适应度值,并按照适应度值从大到小进行排序。

2.3 精英个体保留

按照式(12)计算需要精英保留的个体数量 $ENUM$,并按照适应度值计算结果,优选前 $ENUM$ 个个体作为精英个体直接进入下一代种群。

2.4 轮盘赌个体选择

剩余所有个体数量为 $(POP_NUM - ENUM)$,计算总适应度值以及每个个体被选中的概率,在 $(0, 1)$ 概率范围随机生成一个数字,依次减去个体的被选中概率,直到减去某概率的差为负,则该个体被选中,一共选择 $RNUM$ 个。

2.5 交叉和变异操作

对进入父代种群中个体进行均匀交叉和均匀变异操作,生成 $(POP_NUM - ENUM)$ 个个体。

2.6 产生下一代种群

综合通过精英保留策略优选的 $ENUM$ 个个体,以及通过轮盘赌、交叉、变异操作等步骤生成的 $POP_NUM - ENUM$ 个个体,生成数量为 POP_NUM 的下一代种群。

2.7 判断是否继续进化

每完成一次进化,判断 g 是否大于等于 G ,是,则停止进化,否,则重复以上步骤,流程如图1所示。

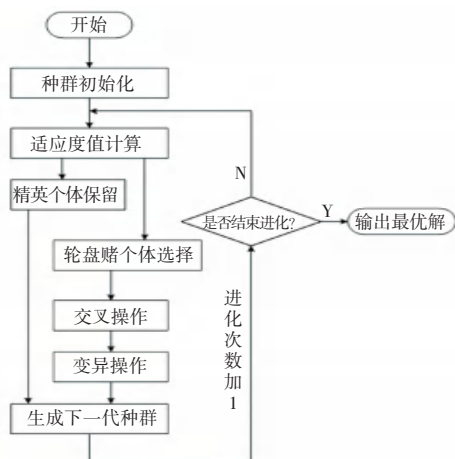


图1 算法求解流程

Fig. 1 Process of algorithm solution

3 实验分析

3.1 实验环境准备

本文实验环境配置见表 1。

表 1 实验环境
Table 1 Experimental setup

序号	项目	配置参数
1	CPU	Intel Core(TM) i7-12700K
2	操作系统	Windows10
3	RAM	32 GB
4	ROM	500 GB
5	运行环境	Python 3. 12. 3

3.2 实验数据准备

为充分验证方法,按照设置样本量的大小设置 2 种场景。

(1)场景 1:物资点数量和保障点数量均较少,其中设置 M 为 3, N 为 4。

(2)场景 2:物资点数量和保障点数量均较多,其中设置 M 为 10, N 为 12。

另外, DIS 距离矩阵均按随机方式生成,种群数 POP_NUM 设置为 50,最大进化次数 (G) 设置为

500,交叉概率 (P_c) 设置为 0. 6,变异概率 (P_v) 设置为 0. 05。

3.3 实验评价标准

为验证本文方法(AEGA-MSO)的有效性,选择领域内相关方法进行对照实验。

(1)GA^[20]。源于生物进化机制的计算建模,作为一种优化算法,其核心机制在于模拟自然选择与遗传变异过程。该算法通过种群个体的随机选择、基因重组和变异操作等迭代演化策略,实现解空间的全局探索,最终驱动种群向近似最优解收敛。

(2)NSGA II^[21]。是一种基于 Pareto 最优概念的遗传算法。运用遗传算法进行种群更新,并采用非支配排序方法对种群进行分层,从而实现个体的选择,并获取 Pareto 解集。

(3)GA-SA^[22]。是一种融合遗传算法(GA)全局搜索能力与模拟退火(SA)局部突跳特性的混合优化框架,通过种群进化与概率性劣解接受机制的协同,高效求解复杂多峰优化问题。

分别以运力优先和距离优先为优化目标,针对优化结果,主要对比分析不同方法之间的最优优化值、收敛速度和算法鲁棒性。评价标准见表 2。

表 2 评价标准
Table 2 Evaluation criteria

序号	评价标准	计算方式
1	最优优化值	运力优先为运输次数,距离优先为运输距离
2	收敛速度	达到最优优化值进化次数
3	算法鲁棒性	针对 3 种数据场景下的最优优化值和收敛速度的综合效率进行方法鲁棒性排名

3.4 实验结果分析

3.4.1 运力优先

运力优先为目标,分别针对场景 1 和场景 2 进

行优化计算,实验结果见表 3,优化过程如图 2、图 3 所示。

表 3 运力优先规则下实验结果
Table 3 Experimental results under transport capacity priority rule

算法	场景 1		场景 2		算法鲁棒性
	最优优化值	收敛速度	最优优化值	收敛速度	
GA	4	53	22	203	3
NSGSII	4	49	23	190	4
GA-SA	4	36	21	174	2
AEGA-MSO	4	30	21	124	1

3.4.2 距离优先

距离优先为目标,分别针对场景 1 和场景 2 进

行优化计算,实验结果见表 4,优化过程如图 4、图 5 所示。

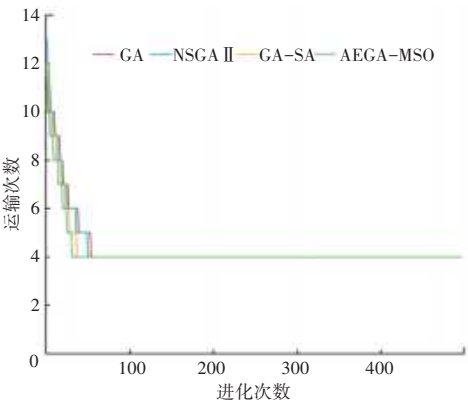


图 2 运力优先规则下场景 1 各方法对比

Fig. 2 Performance comparison of methods in scenario 1 under transport capacity priority rule

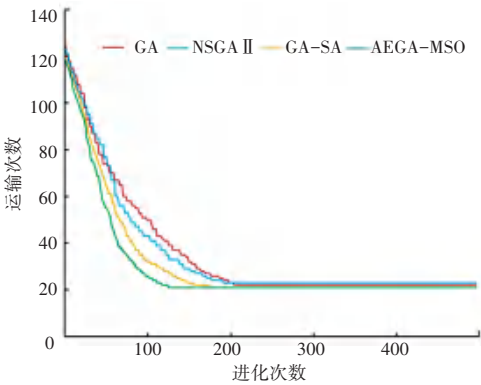


图 3 运力优先规则下场景 2 各方法对比

Fig. 3 Performance comparison of methods in scenario 2 under transport capacity priority rule

表 4 运力优先规则下实验结果

Table 4 Experimental results under transport capacity priority rule

算法	场景 1		场景 2		算法鲁棒性
	最优优化值	收敛速度	最优优化值	收敛速度	
GA	21.3	68	130.5	237	3
NSGS II	21.3	52	117.8	192	4
GA-SA	21.3	41	148.4	187	1
AEGA-MSO	21.3	33	117.8	145	2

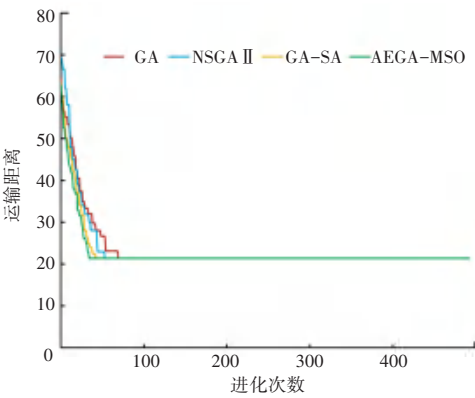


图 4 距离优先规则下场景 1 各方法对比

Fig. 4 Performance comparison of methods in scenario 1 under distance priority rule

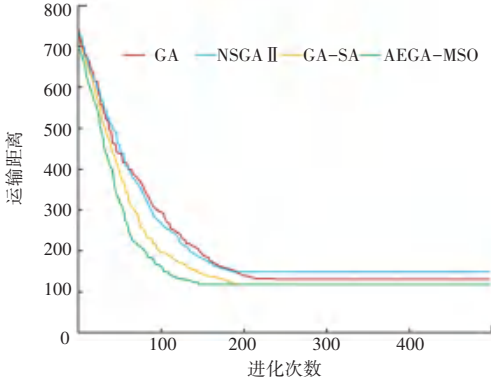


图 5 距离优先规则下场景 2 各方法对比

Fig. 5 Performance comparison of methods in scenario 2 under distance priority rule

4 结束语

本文针对多物资点对多保障点的复杂物资分配问题,提出了一种自适应精英保留策略的遗传算法,建立了以距离优先和运力优先为目标的优化模型,并设计了具有约束感知能力的适应度函数。

实验验证表明,在 2 类场景中,AEGA-MSO 算法相较于 GA、NSGA II、GA-SA 等同类方法表现出优势:

(1)优化值最优。在运力优先规则下的运输次

数和在距离优先规则下的运输距离均为最低。

(2)收敛速度最快。相比同类算法,AEGA-MSO 算法在场景 1 和场景 2 下均最先达到收敛状态。

(3)算法鲁棒性增强。自适应机制有效抑制了局部最优陷阱,尤其在场景规模较大时更为突出。

下一步,将在此基础上继续探索多物资种类协同分配与需求紧急性分级响应机制、时变运输网络中的动态路径规划、极端资源约束下的鲁棒优化模

型构建等问题,进一步丰富复杂物资保障条件下的优化解决方案。

参考文献

[1] 李一凡. 基于区块链和智能合约的需求匹配算法研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2021.

[2] 张旭,张海燕,袁旭梅. 不确定需求下基于匹配度的应急物资分配区间鲁棒优化[J]. 系统工程,2023,41(1):83-92.

[3] 夏倩雯,陈斯伊,陈磊. 强约束条件下应急物资分配多目标优化模型与算法研究[J]. 电脑与信息技术,2025,33(2):23-26.

[4] 张圣忠,尹寄繁,孙荣庭. 考虑时效、公平与经济的多周期多种类应急物资分配优化研究[J]. 综合运输,2025,47(3):15-22.

[5] 武龙飞,姜华. 自然灾害下应急物资公平分配研究[J]. 物流科技,2025,48(12):26-30.

[6] 脱蕊,刘舰. 突发公共卫生事件下区域多阶段应急物资分配研究[J]. 中国储运,2025(5):184-185.

[7] 张建军,杨云丹,周一卓. 基于强化学习的人道主义应急物资分配优化研究[J]. 上海管理科学,2025,47(2):109-117.

[8] 刘长石,万城,王凤,等. 洪涝灾害下考虑受灾点差异的应急物资分配-配送优化[J]. 交通运输系统工程与信息, 2025 ,25(3):335-345.

[9] 李岩,袁弘宇,于佳乔,等. 遗传算法在优化问题中的应用综述[J]. 山东工业技术,2019(12):242-243.

[10] 吴鹏,韦嘉豪,王琦,等. 兼顾公平与效率的灾后应急设施选址与物资分配优化[J/OL]. 工业工程. (2025-06-17). [https://](https://link.cnki.net/urlid/44.1429.TH.20250616.1656.002)

link.cnki.net/urlid/44.1429.TH.20250616.1656.002.

[11] 童研,于汐,唐彦东,等. 考虑心理成本的避难场所应急物资分配研究[J]. 灾害学,2025,40(4):210-216.

[12] 宋晗,崔娜,张艳萍. 考虑时间窗与公平性的应急物资调配多目标动态规划模型[J]. 中国安全科学学报,2025,35(3):242-252.

[13] 雷云,雷波,詹静. 基于机器学习的多目标优化应急物资分配模型研究[J]. 安全与健康,2025(2):67-72.

[14] 李茂林. 不确定条件下跨区域应急物资调度优化研究[D]. 兰州:兰州交通大学, 2024.

[15] 霍良安,苏子雯. 突发公共卫生事件中应急医疗物资分配策略研究[J]. 物流科技,2024,47(11):1-7.

[16] 赵志龙. 突发公共卫生事件下应急物资多层次供应保障模型及分配机制研究[D]. 成都:西南财经大学,2024.

[17] 閻俊威. 面向应急项目管理的物资公平配送优化模型研究[D]. 长春:吉林大学,2024.

[18] 竺宜颖,何胜学. 基于超级时空网络的共享仓储资源分配策略研究[J]. 智能计算机与应用,2023,13(11):256-263.

[19] 仲舒琳,倪静. 考虑紧迫度的应急物资轴辐供需网络优化研究[J]. 智能计算机与应用,2023,13(6):57-66.

[20] 雷云,雷波,詹静. 基于机器学习的多目标优化应急物资分配模型研究[J]. 安全与健康,2025(2):67-72.

[21] 黄何列,黄戈文,姚祖发. 多重约束下的受灾点应急物资智能优化调度策略[J]. 嘉应学院学报,2024,42(3):19-27.

[22] 脱蕊. 面向突发公共卫生事件下区域应急物资分配研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2024.