

基于模拟退火法和Floyd优化算法的农村应急物流配送路径研究

主国娜, 唐小平

(贵州大学经济学院, 贵州 贵阳 550025)

✉Zhuguona2021@163.com; tomshoping_bio36@whu.edu.cn



摘要: 农村地区自然灾害的频繁发生, 给农民的生产生活带来严重威胁, 因此保障农村居民的生命财产安全显得尤为重要。针对农村应急物流配送路径优化问题, 在算法上采用模拟退火法及Floyd优化算法进行配送路径的优化研究, 同时综合考虑“配送车辆”和“配送车辆+无人机”两种不同的配送方式, 构建解决相关问题的优化模型。结果显示, 文章采用的模型和求解算法能为不同情境下农村应急物流的配送活动选择出最优配送路径, 保证在最短时间内完成应急配送任务, 提高了配送效率。

关键词: 模拟退火法; Floyd优化算法; 最优路径; 农村应急物流

中图分类号: TP312 **文献标识码:** A

Research on Rural Emergency Logistics Distribution Path based on Simulated Annealing Method and Floyd Optimization Algorithm

ZHU Guona, TANG Xiaoping

(School of Economics, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

✉Zhuguona2021@163.com; tomshoping_bio36@whu.edu.cn

Abstract: Frequent occurrence of natural disasters in rural areas poses a serious threat to the production and life of farmers, so it is particularly important to ensure rural residents' lives and property. Aiming at the optimization problem of rural emergency logistics distribution path, simulated annealing method and Floyd optimization algorithm are used to optimize the distribution path. At the same time, two different distribution methods, "distribution vehicle" and "distribution vehicle + UAV", are comprehensively considered to build an optimization model to solve related problems. The results show that the proposed model and algorithm can select the optimal distribution path for rural emergency logistics distribution activities in different situations, and ensure the completion of emergency distribution tasks in the shortest time, which improves the distribution efficiency.

Keywords: simulated annealing method; Floyd optimization algorithm; optimal path; rural emergency logistics

1 引言(Introduction)

2017年, 党的十九大报告首次提出实施乡村振兴战略, 预计到2050年实现乡村全面振兴^[1], 然而乡村振兴的实现不仅依靠社会各阶层的帮助, 还需要稳定和谐的发展环境。我国大部分地区受到季风气候的影响, 并且早期农村居民因农业生产多将村落选在依山傍水的地区。相较于城镇建设, 我国农村地区的基础设施还不够完善, 因此泥石流、洪涝灾害在

农村地区频发, 既带来了农民流离失所问题, 又对农村发展环境造成严重破坏。2020年暴发的新型冠状病毒肺炎疫情, 让人们感受到生命的脆弱, 对那一段物资短缺、物价上涨的日子仍然记忆犹新。郑江淮等人^[2]的研究结果表明, 新型冠状病毒肺炎疫情对我国整体消费冲击较大, 由新型冠状病毒肺炎疫情引发的需求转变将重塑未来的商业模式。由此可见, 人们如何应对突发灾害显得尤为重要。国家如何保障受灾地

$$e^{\frac{E(i)-E(j)}{KT}} \quad (1)$$

式(1)中, K 为物理学中的玻尔兹曼常数; T 为材料温度。

为了找出运输物资最优的路径, 即所需要的时间最短, 将物理学中的模拟退火法的思想应用到物资运输中, 可以得到模拟退火法的最优路径^[7-9]。

考虑到寻找物资运输最优路径的问题: 优化函数为 $f: x \rightarrow R^+$, 其中 $x \in S$, 它表示最优路径的一个可行解, $R^+ = \{y | y \in R, y \geq 0\}$, S 表示函数的定义域。 $N(x) \subseteq S$ 表示 x 的一个邻域集合。

给定一个初始值 T_0 和该优化问题的初始解 $x(0)$, 并由 $x(0)$ 的下一个解 $x' \in N[x(0)]$ 是否接受 x' 作为新的解 $x(1)$ 依赖于如下概率:

$$P(x(0) \rightarrow x') = \begin{cases} 1, & f(x') < f(x(0)) \\ e^{-\frac{f(x')-f(x(0))}{C_0}}, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

总而言之, 如果生成的解 x' 的函数值比前一个解的函数值更小, 则接受 $x(1) = x'$ 作为一个新的解; 否则就会以概率 $e^{-\frac{f(x')-f(x(0))}{C_0}}$ 接受 x' 作为一个新解。

对于某一个控制参数 C_i 和其优化问题的一个解 $x(k)$, 可以生成 x' 。接受 x' 作为下一个新的解 $x(k+1)$ 的概率如下:

$$P(x(k) \rightarrow x') = \begin{cases} 1, & f(x') < f(x(k)) \\ e^{-\frac{f(x')-f(x(k))}{C_i}}, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

在参数 C_i 下, 经历过很多次转移之后, 减小数值, 从而得到 $C_i < C_{i+1}$ 。在 C_{i+1} 的条件下重复以上过程, 即整个过程就是不断地减小数值和寻找新解的相互交替的过程, 最终的解就是车辆运输找到的最优路径。

需要注意的是, 在每一个 C_i 下, 每一次得到新状态的 $x(k+1)$ 都是完全依赖上一个 $x(k)$ 的, 与前面的 $x(0), \dots, x(k-1)$ 都没有关系。在数值 C_i 下的平衡状态分布式如下:

$$P_i(C_i) = \frac{e^{-\frac{f(x_i)}{C_i}}}{\sum_{j \in S} e^{-\frac{f(x_j)}{C_i}}} \quad (4)$$

当数值 C_i 减小到 0 时, x_i 的分布如下:

$$P_i^* = \begin{cases} \frac{1}{|S_{\min}|}, & x_i \in S_{\min} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

并且 $\sum_{x_i \in S_{\min}} P_i^* = 1$ 。

如果每一次的数值减小都很缓慢, 在每一个数值下都有充足的状态转移, 使之在每一个数值到达平衡, 则全局的最优解就会以概率 1 被找出, 所以采用模拟退火法可以找到全局

最优^[10]。应用于整个过程的算法流程图如图 2 所示。

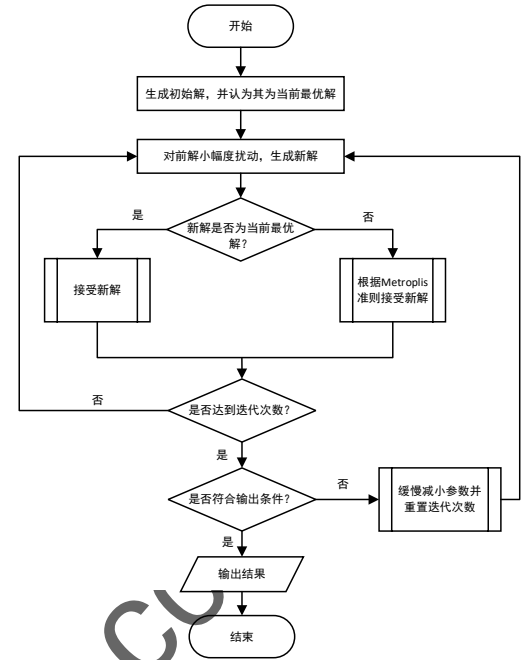


图 2 模拟退火算法流程图

Fig.2 Flow chart of simulated annealing algorithm

3.2.1 无人机与车辆运输物资配送数学模型

当无人机的飞行速度明显优于车辆运输时, 只要满足无人机的配送条件, 就可以直接用无人机进行配送。我们将无人机的飞行路线之间的距离进行矩阵化, 然后针对每一条路线中所需要的物资, 判断无人机可以连续配送多少个地点。无人机配送完成一个地点之后就会达到下一个地点等待车辆, 或运输物资车辆先到就地等待无人机, 同时还需考虑无人机的航程和续航时间, 无人机和运输物资车辆必须都到达地点后才可以转向下一个地点。

使用无人机配送的地点所需要的数学模型如下:

$$\begin{aligned} \sum_{j \in N} x_{j,i} + y_{j,i} &= 1, \quad \forall i \in M \\ \sum_{j \in N} x_{i,j} + y_{i,j} &= 1, \quad \forall i \in M \\ \sum_{j \in N} y_{j,i} &= \sum_{j \in N} y_{i,j}, \quad \forall i \in M \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)中, N 表示所有地点的集合; $x_{i,j}$ 表示车辆是否经过从 i 点到 j 点的路径; $y_{i,j}$ 表示无人机是否从 i 点经过 j 点的路径。

其中, 除去无人机配送的自循环公式如下:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in N} x_{i,i} &= 1 \\ \sum_{j \in N} x_{j,j} &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

判断是否由车辆配送物资的公式如下:

$$s_i = \sum_{j \in N} x_{i,j}, \quad \forall i \in N \setminus O \quad (8)$$

式(8)中, s_i 表示 i 地点是否由车辆配送; O 表示起始地点。

其中, 除去子回路的公式:

$$\sum_{j \in N \setminus \{i\}} a_{i,j} - \sum_{j \in N \setminus \{O,i\}} a_{j,i} = s_i, \forall i \in N \setminus O \quad (9)$$

$$a_{i,j} \leq N \cdot x_{i,j}, \forall i \in N \setminus O$$

无人机配送的流入点和流出点, 要符合车辆路径先后关系的公式:

$$y_{i,j} + y_{j,k} \leq 2 \cdot x_{i,k} + 1, \forall j \in M, \forall i \in N, \forall k \in N \quad (10)$$

式(10)中, M 表示可以用无人机配送物资的地点, k 表示地点。

符合每一辆车只有一个无人机的条件公式:

$$\sum_{j \in N} y_{i,j} \leq 1, \forall i \in N$$

$$\sum_{j \in N} y_{j,i} \leq 1, \forall i \in N \quad (11)$$

最后的目标函数:

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{i,j} \cdot d_{i,j} + y_{i,j} \cdot d_{i,j} \cdot c \quad (12)$$

式(12)中, $d_{i,j}$ 表示地点 i 到地点 j 的距离; c 表示无人机配送的距离成本系数。

3.2.2 模型运行结果

根据上文给出的数学模型及其分析, 得到无人机与车辆运输物资的最优路径如图3所示。从图3可以得出, 车辆运输的最优路径为从第9个地点出发, 先经过第8个地点到第7个地点, 再到第5个地点, 由第5个地点到第2个地点再到第5个地点, 由第5个地点到第6个地点再到第10个地点, 最后回到原点第9个地点, 即地点9→地点8→地点7→地点5→地点2→地点5→地点6→地点10→地点9。同样, 可以得出无人机的路径依次为地点9→地点13→地点8(无人机在该地点更换电池)→地点12→地点7(无人机在该地点更换电池)→地点11→地点1→地点2→地点6→地点3→地点4→地点10(无人机在该地点更换电池)→地点14→地点9。车辆的最优路径总路程为289 km, 整个过程用的最少时间为6.32 h。



图3 模型运行结果的最优路径

Fig.3 Optimal path of model running results

从模型的运行结果可以得出, 最短配送时间为6.28 h。

考虑无人机的续航问题, 对路线进行解读: 无人机单块电池续的最远飞行距离为87.5 km, 所以运输途中需要更换电池, 车辆从地点9→地点8的同时, 无人机从地点9→地点13→地点8, 无人机可以在地点8更换电池; 车辆从地点8→地点7的同时, 无人机从地点8→地点12→地点7, 无人机可以在地点7更换电池; 车辆从地点7→地点5→地点2的同时, 无人机从地点7→地点11→地点1→地点2, 无人机可以在地点2更换电池, 然后车辆载着无人机一起从地点2→地点5→地点6; 车辆从地点6→地点10的同时, 无人机从地点6→地点3→地点4→地点10, 无人机可以在地点10更换电池; 车辆从地点10→地点9的同时, 无人机从地点10→地点14→地点9。

由图4可以非常清楚地看出车辆和无人机运输物资的具体路径, 从而为选择路径最短的配送方案提供支持。

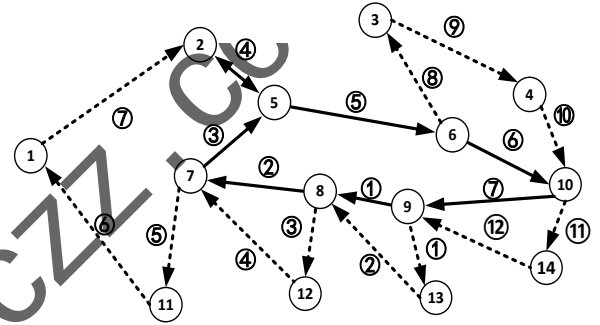


图4 车辆、无人机运输最优路径

Fig.4 Optimal transportation path of delivery vehicle and UAV

4 结论(Conclusion)

在应急的恢复方面, 学术界认为保证物资的供应是关键, 因此当农村地区突发灾害时, 为了保证农村居民的正常生活, 将应急物资及时准确地配送到位尤为重要。随着科学技术的迅猛发展, 无人机的应用越来越广泛, “配送车辆+无人机”的配送模式逐渐成为一种便捷且高效的配送方式。本文旨在通过研究在不同约束条件下“配送车辆+无人机”的组合方案, 侧重考虑物流效率选择最优路径进行应急物资配送, 进一步保障受灾农民的人身、财产安全。

参考文献(References)

- [1] 杜静然, 赛娜. 乡村振兴政策落实跟踪审计研究[J]. 财会月刊, 2021(18):97-101.
- [2] 郑江淮, 付一夫, 陶金. 新冠肺炎疫情对消费经济的影响及对策分析[J]. 消费经济, 2020, 36(02):3-9.
- [3] 田志立, 卢谦, 周海涛. 改进的Flody算法及其在交通分配中的应用[J]. 公路交通科技, 1994(03):27-36.