



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

摘要

2017 年的飓风给波多黎各带来了许多人员伤亡以及重大的经济和财产损失。我们设计了一个灾难响应系统，该系统使用无人机运送医疗包裹并进行道路视频检查。

我们将将指定比例的三种类型的医疗用品包装装入 ISO 容器的问题转换为三维包装中的组合优化问题。为了保持内容的稳定性，必须完全支持每个装入的物品。为便于装卸，每个物品应完全由垂直或水平平面隔开。我们建立了一个单一的目标规划模型，并使用改进的 3D-RSO 算法求解该模型。

为了确定 ISO 集装箱的数量和位置，我们建立了两个目标的编程模型，旨在实现最短的运输时间和最长的道路总侦察。我们发现，要满足五家医院的日常需求，至少需要三个容器。对于医疗用品交付和视频侦察，我们首先确定无人机的数量，然后使用装载模型将其放入 ISO 容器中。无人机的路线和时间表是通过对所有道路的遍历计算来计算的。最后，我们给出运输计划并确定可以测量的道路长度。容器的最佳位置（在经度和纬度坐标中）是（18.3805， -66.5109），（18.3490， -66.2830）和（18.2191， -65.8241）。

我们给出详细的每日运输计划。每天的医疗用品交付可以在 39 分钟内完成；可以检查的道路总长度为 722 公里，超过 12 小时。容器 1 包含 53 个 B 型无人机，1 个 T 系绳 H 和 700 个 MED1、350 个 MED2 和 350 个 MED3 封装，空间利用率为 89%。容器 2 包含 54 架无人机 B，1 根系绳 H，684 MED1、342 MED2，342 MED3，空间利用率为 89%。集装箱 3 装有 53 架无人机 B1 系绳 H，809 MED1、0 MED2 和 539 MED3，空间利用率为 91%。

最后，我们进行敏感性分析并扩展模型。



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

介绍

背景

美国领土波多黎各 (Puerto Rico) 在 2017 年遭受最严重的飓风袭击, 对该造成了严重破坏, 造成 2900 多人丧生。飓风破坏了波多黎各约 80% 的电线杆和所有输电线路, 使整个岛屿失去了电力。风暴还破坏了该岛的大部分蜂窝通信网络。随着时间的流逝, 医院和非政府组织的救生设备和医疗用品短缺。

一个非政府组织 HELP, Inc. 正在尝试使用一种名为 “DroneGo” 的便携式灾难响应系统来提供医疗用品, 并在灾区提供高分辨率的空中视频侦察。

重述问题

- 一队无人机和一套医疗包裹将被发送到波多黎各: 设计最多三个 ISO 货柜的包装配置, 以将货物运送到波多黎各。
- 确定要运送一到三个集装箱的位置, 以便最好地进行医疗物资运输和道路网络的视频侦察。
- 对于每种无人机:
 - 提供有效载荷包装配置 (即包装到无人机货舱中的医疗包装), 运送路线和时间表, 以满足紧急医疗包裹运送要求。
 - 提供一项飞行计划, 使无人机机队能够使用机载摄像头评估公路和高速公路的状况。

问题分析

开发 DroneGo 灾难响应系统可以分为三个子问题 (参见图 1):

问题一:

最佳装载 ISO 容器。使用无人机, 医疗包装和 ISO 容器的指定尺寸, 确定 ISO 容器的负载。目标不仅是节省空间, 而且要易于装卸。希望的使者 337

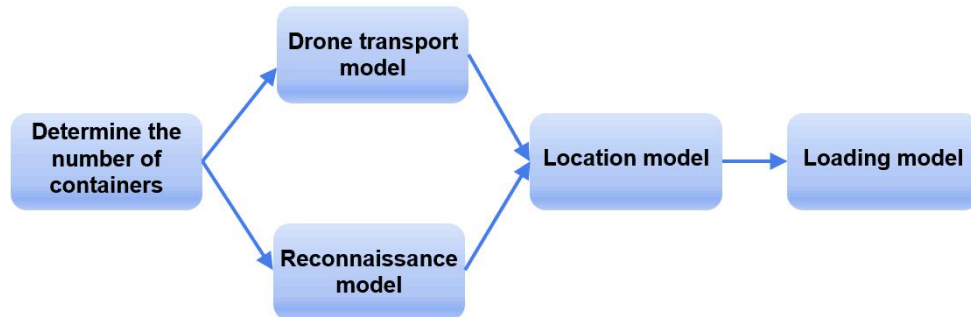


图 1 解决方案计划图

问题 2:

确定 ISO 集装箱的数量和位置, 以最大程度地减少交货时间并最大程度地进行道路侦察。为此, 需要考虑五家医院的位置以及每种无人机的性能, 并将五家医院分配到容器中。

每个 ISO 容器的具体装载方案, 要考虑不同医院所需的医疗包装的类型和数量。

问题 3:

确定无人机交付的路线和时间表。然后找到无人驾驶飞机监视道路, 确定所有可以检查的道路并计算其总长度的最佳方法。



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

简化假设：

- 无人机的最大飞行时间将因医疗用品的重量而减少，并且与重量成反比例关系。
 - 我们忽略了风和天气对无人机飞行和道路状况的影响。
 - ISO 容器应靠近城市，高速公路或道路。
 - 无人机必须在 ISO 容器的位置进行充电。
 - 集装箱被运送到波多黎各的港口或机场。
- 医疗用品的交付和视频侦察应每天完成。

表格 1 使用的符号

| Symbol | Description |
|--------------------|---|
| α | Longitude |
| β | Latitude |
| θ | Angle between two places and the center of the Earth |
| Dis | The straight distance between two places |
| R_{Earth} | Radius of the Earth |
| C | A rectangular container |
| L | Length of container C |
| W | Width of container C |
| H | Height of container C |
| B | Set of different kinds of boxes |
| i | Type index variable |
| b_i | The i th type of box |
| l_i | Length of the i th box |
| w_i | Width of the i th box |
| h_i | Height of the i th box |
| r | Whether the i th box can be fitted in (boolean) |
| Q | Number of each kind of box |
| f | Number of layers of boxes in a container |
| k | Position occupied by the k th box, which is called a <i>region</i> |
| $S^{(f,k)}$ | The top area of the k th box |
| $A^{(f,k)}$ | The total bottom area of the boxes stacked on the f -layer k region |
| q_i | Number of boxes of type i |

数据处理

根据经度和纬度坐标计算地球上任何两个位置之间的距离 [Liu and Wei 2018]。令 (α_1, β_1) 为地点 1 的坐标，而 (α_2, β_2) 为地点 2 的坐标。令它们与地球中心之间的角度为 θ ，以度为单位。

然后

$$\theta = \arccos[\cos(90^\circ - \alpha_1) \cdot \cos(90^\circ - \alpha_2) + \sin(90^\circ - \alpha_1) \cdot \sin(90^\circ - \alpha_2) \cdot \cos(\beta_1 - \beta_2)].$$

可以使用 arclength 公式计算两个位置之间的距离：

$$Dis = \pi \cdot \frac{\theta}{180^\circ} \cdot R_{\text{Earth}}.$$

三维加载模型

将尽可能多的无人机和紧急医疗包裹装载到货物集装箱中是一个典型的三维包装问题，以及组合优化问题。我们将不同大小的小矩形固体放入一个大的矩形固体（货物容器）中，旨在最大程度地放入 [Shang 等. 2018]（见图 2）。



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

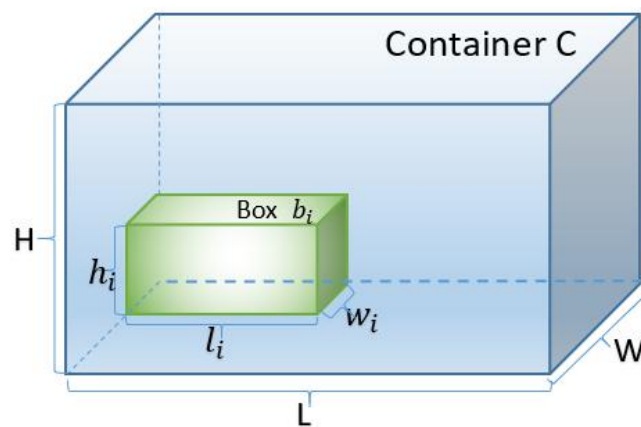


图 2. 加载关系示意图

表 1（续）使用的符号。

| Symbol | Description |
|------------------|---|
| $q_i^{(f,k)}$ | Number of boxes of type i on the f -layer in region k |
| F | Set of all boxes that have been put into container C |
| V_F | Total volume of all boxes that have been put into container C |
| n | Number of the cargo container, $n = 1, 2, 3$ |
| d | Serial number of cargo container, $d = 1, 2, 3$ |
| C_d | The location of the d th cargo container |
| j | Hospital index variable, $j = 1, 2, \dots, 5$ |
| D_j | Location of j th hospital |
| $N_d^{(i_1)}$ | The d th container contains this many type i_1 medical packages |
| $N_j^{(i_1)}$ | Number of type i_1 packages required for the j hospital |
| $N_d^{(i_2)}$ | The d th container contains this number of type i_2 drone |
| $N_j^{(i_2)}$ | Number of type i_2 drone to the j hospital |
| $N^{(i_2, i_1)}$ | Number of type i_1 medical packages carried by type i_2 drone |
| $x_{dj}^{(i_2)}$ | Number of i_2 droned from container dt to hospital j |
| $V^{(i_1)}$ | Volume of type i_1 medical packages |
| $V^{(i_2)}$ | Limited volume of type i_2 drone |
| $G^{(i_1)}$ | Weight of type i_1 medical packages |
| $G^{(i_2)}$ | Limited weight of type i_2 drone |
| μ | Ratio of the drone flight time to the time without load |
| $t^{(i_2)}$ | No-load limit flight time of type i_2 drone |
| $v^{(i_2)}$ | Flight speed of type i_2 drone |
| $L^{(i_2)}$ | No-load limit flight distance of type i_2 drone |
| ϕ_1, ϕ_2 | Relative importance weights for medical supply vs. reconnaissance |

令矩形容容器 C 的长度，宽度和高度 L ， W 和 H ，令 B 为一组不同种类的盒子：

$$B = \{b_i\}, \quad i = 1, 2, \dots, n;$$

$$b_i = (l_i, w_i, h_i, rl_i, rw_i, rh_i),$$

其中 l_i ， w_i 和 h_i 是长度，宽度和高度框 i ，而 rl_i ， rw_i 和 rh_i 是 0 - 1 变量，表示是否第 i th 个盒子可以绕其长度，宽度和高度旋转，以便放置在容器中。例如， $rl_i = 0$ 表示无论如何围绕其长度旋转盒子 i 都不能将其放入容器中。当容器中的剩余空间受到限制或第 i 个盒子的放置方式不符合图 3 所示的限制时，就会发生这种情况。

放入容器 C 的一组盒子 F 的总体积为



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

$$V_F = \sum_{b_i \in F} l_i \cdot w_i \cdot h_i.$$

每种包装盒的编号由一个集合 Q 表示:

$$Q = \{q_1, \dots, q_n\}.$$

我们让

- $S^{(f,k)}$ 是第 k 个框的顶部区域,
- f 是一个容器中盒子的层数,
- k 是第 k 个框 (我们称为区域) 所占据的位置。在盒子的同一层中, 每个盒子的顶部区域是该区域。
- $A^{(f,k)}$ 是堆叠在区域 k 的 f 层上的盒子的总底部面积。

$$A^{(f,k)} = \sum_{i=1}^n q_i^{(f,k)} \cdot S_i^{(f,k)}$$

我们将 $q_i^{(f,k)}$ (区域 k 的 f 层上类型为 i 的盒子数) 作为决策变量。

约束如下

堆叠在第 f 层第 k 个区域顶部的盒子底部的总面积应小于或等于该层的面积 (底层是容器的底部)。此限制允许通过叉车分批装卸箱子。图 3 显示了两种不满足约束条件的加载模式。

$$\begin{cases} A^{(1,k)} \leq L \cdot W, & f = 1; \\ A^{(f,k)} \leq S_i^{(f,k)}, & f \geq 2. \end{cases}$$

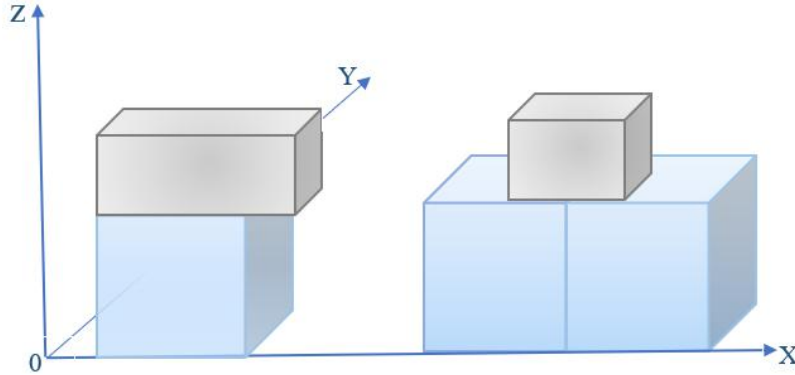


图 3. 两种不满足约束条件的加载模式。

- 所有层和所有区域中类型为 i 的所有框的总数至少等于所需总数:

$$\sum_f \sum_k q_i^{(f,k)} \geq q_i.$$

• 我们提供三种医疗包 ($i=1, 2, 3$) 和八种无人机 A 至 H ($i=4, \dots, 11$)。因此, 对于我们的情况, $n=11$ 。

• 根据指定的医疗套餐需求, 五家医院对 MED1, MED2 和 MED3 套餐的每日需求为 7、2 和 4。因此, 所需药盒数量的比例应为 7: 2: 4:

$$q_1 : q_2 : q_3 = 7 : 2 : 4.$$

为了充分利用容器中的空间并加载更多的盒子, 我们在限制的情况下最大化了容器的空间利用率 Z :



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

$$\max Z = \frac{V_F}{L \cdot W \cdot H}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} A^{(f,k)} = \sum_{i=1}^{11} q_i^{(f,k)} \cdot S_i^{(f,k)}; \\ A^{(1,k)} \leq L \cdot W, & f = 1; \\ A^{(f,k)} \leq S_i^{(f,k)}, & f \geq 2; \\ \sum_f \sum_k q_i^{(f,k)} = q_i; \\ q_1 : q_2 : q_3 = 7 : 2 : 4. \end{cases}$$

加载模型算法

3D-RSO 算法是一种启发式残差空间优化算法，具有求解效率方面的优势[Shang 等。2018]（见图 4）。

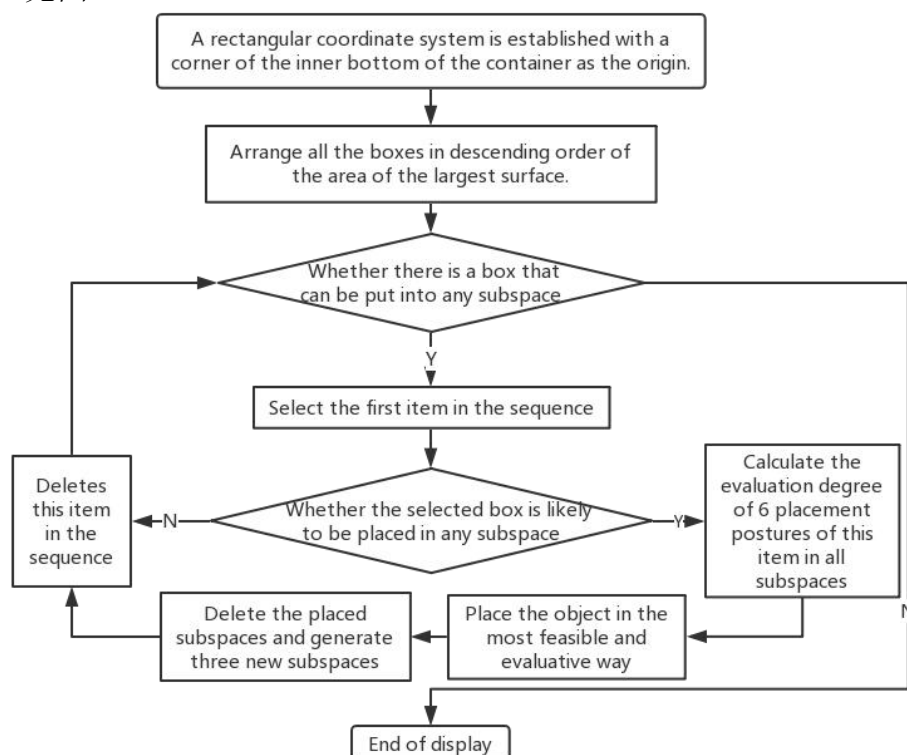


图 4. 3D-RSO 算法流程图[Shang 等。2018]。

集装箱对路网的定位和侦察

确定货柜的数量

1. 一个容器怎么样？波多黎各儿童医院和帕维亚·阿雷西博医院之间的距离为 61 公里。B 型无人驾驶飞机是最长的单机无人驾驶飞机，但一次最多只能飞行 53 公里。由于无人机必须返回，因此即使将容器放置在两家医院之间的中间位置，也无法运输医疗包。因此，用于波多黎各儿童医院和帕维亚·阿雷西博医院的药品运输无人机必须来自两个不同的货柜地点。

2. 两个容器够了吗？波多黎各儿童医院是距离帕维亚·阿雷西博医院最近的医院。结果，对于两个货运集装箱，一个只能为帕维亚·阿雷西博医院提供药品，而另一个必须为其他四家医院提供药品。

以这四家医院为顶点，构建一个四边形。遍历四边形中的每个坐标点，并计算



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

每个点与四家医院之间的距离。但是，没有满足条件的点。换句话说，两个容器能完成运输任务。

3. 三个容器是最佳选择。因为必须从两个不同的位置为波多黎各儿童医院和维亚阿雷西博医院提供药品，所以应该在波多黎各儿童医院和帕维亚阿雷西博医院之间放置容器 1 和 2。HIMA 医院被科迪勒拉中央山脉和 El Yunque 山脉所环绕，无人机无法穿越它们。因此，需要将 3 号集装箱放在加勒比医疗中心和 HIMA 医院之间的路上。其余的 Pavia Santurce 医院由 2 号集装箱提供服务。

无人机运输模型

实际上，只能通过港口或机场将集装箱运输到波多黎各，然后在未损坏的道路上通过车辆运输。因此，只能将集装箱放置在道路附近，并且由于受灾地区的复杂情况，集装箱应尽可能靠近港口或机场，以避免长途运输。

由于攀爬能力有限，无人机无法直接在山区运输医疗包裹。向 Pavia Arecibo 医院提供药品的容器无法直接向其他医院提供药品。但是，帕维亚·阿雷西博医院对药品的需求非常低（每天仅 1 MED1）。但是，由于继发性灾难可能会导致暂时的药品需求激增，因此，尽管我们也希望避免大量的药品库存，但应尽可能平衡药品容器以应对这种情况。因此，我们考虑将供应 Pavia Arecibo 医院的容器中的某些药物转移到其他容器中，以避免长时间存储大量药物。

约束如下：

- 所有容器中的医疗包装数量等于最合理的装载量：

$$\sum_{d=1}^n N_d^{(i_1)} = q_{i_1}.$$

- 所有集装箱中的无人机数量等于最合理的装载量：

$$\sum_{d=1}^n N_d^{(i_2)} = q_{i_2}.$$

各种医疗包应满足每个医院每天所需的医疗包数量：



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

$$\sum_{d=1}^n x_{dj}^{(i_2)} = N_j^{(i_2)}.$$

$$\sum_{d=1}^n \sum_{i_2=4}^{11} N_j^{(i_2)} \cdot N^{(i_2, i_1)} \geq N_j^{(i_1)}.$$

• 无人驾驶飞机用于医疗包装的货物空间有限。货物体积不得超过以下容量:

$$\sum_{i_1=1}^3 N^{(i_2, i_1)} \cdot V^{(i_1)} \leq V^{(i_2)}.$$

同样,重量也有限制:

$$\sum_{i_1=1}^3 N^{(i_2, i_1)} \cdot G^{(i_1)} \leq G^{(i_2)}.$$

我们将 μ 设为无负载的无人机飞行时间与其最大飞行时间之比。空载时, $\mu=1$ (负载对飞行时间没有影响); 满载时, $\mu=\varepsilon$ 。通常,我们有:

$$\mu = 1 - (1 - \varepsilon) \frac{\sum_{i_1=1}^3 N^{(i_2, i_1)} \cdot G^{(i_1)}}{G^{(i_2)}}.$$

无人机可以行进的最大距离是:

$$L^{(i_2)} = v^{(i_2)} \cdot \mu \cdot t^{(i_2)}.$$

无人机的航程也受交货后需要返回的限制: 公式 (22) 的左侧表示

$$v^{(i_2)} \cdot \frac{\mu - 1}{2} \cdot t^{i_2} \geq 2Dis(C_d, D_j).$$

目标功能是最大程度地缩短最长的运输时间:

$$\min T = \max_{d, j, i_2} \frac{Dis(C_d, D_j) \cdot x_{dj}^{(i_2)}}{v^{(i_2)}}.$$

侦察模型

让无人机覆盖的侦察区域为 $S(C_d, \frac{L^{(i_2)}}{2})$ 是指以 C_d 为中心, 半径为 $L^{(i_2)}/2$ (无人机最大飞行距离的一半) 的圆。所以覆盖的面积是

$$S\left(C_d, \frac{L^{(i_2)}}{2}\right) = \pi \cdot \left(\frac{L^{(i_2)}}{2}\right)^2.$$

监控区域内的道路总长度为 $L(C_d, \frac{L^{(i_2)}}{2})$ 。

我们希望优化所检查道路的长度:

$$\max P = L\left(C_d, \frac{L^{(i_2)}}{2}\right).$$



位置模型

定位模型是无人机运输模型的组合以及侦察模型。考虑到最短的运输时间和最长总量检测道路长度，选择目标规划函数最佳容器位置如下，其中 φ_1 和 φ_2 是医疗补给与察重要性的权重：

位置模型算法

我们从 Googlemaps 上的波多黎各地图中提取了道路信息。在满足约束条件的条件下，遍历地图上道路上的所有点，并计算出相应的目标函数，然后选择当前预设参数下的优化结果。

飞行计划

为了监控尽可能长的道路，我们选择了 B 型无人机。它的侦察范围 $L^{(5)}/2$ 为 26 km，在 $F_h=300$ m 的高度飞行，摄像角度为 74° （在普通广角镜范围内）[Li 2009]。图 5 显示了其侦察的示意图。

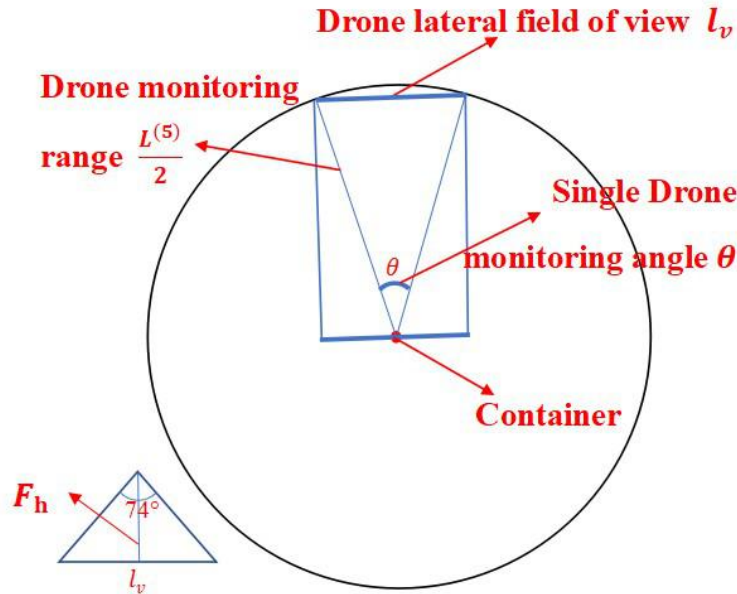


图 5. 无人机侦察示意图

$$l_v = 2F_h \cdot \tan(37^\circ) = 0.452 \text{ km.}$$

$$\theta = \arccos \left[\frac{\left(\frac{L^{(5)}}{2}\right)^2 + \left(\frac{L^{(5)}}{2}\right)^2 - l_v^2}{2\left(\frac{L^{(5)}}{2}\right)^2} \right] = 1^\circ.$$

一架无人机可以侦察超过 1° 。侦察应该在白天进行，因此我们假设总时限为 12 小时。一个完整的 1° 侦察需要 40 分钟。我们需要进行 360° 侦察。使用 B 型无人机并忽略充电时间，

所需的总飞行时间为 360×40 分钟，可用的总日光为 12×60 分钟，因此所需的无人机数量为

$$N_d^5 = \frac{360 \times 40}{12 \times 60} = 20 \text{ drones.}$$

考虑到无人驾驶飞机必须返回到容器位置进行充电和维护，用于侦察的无人驾驶飞机的数量应增加一倍至 40，以便使成对的无人驾驶飞机能够交替工作。这种配



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

对不仅考虑了不可避免的充电情况，还减轻了每架无人机的工作负担和使用频率。

由于无人机的故障不可避免，因此用于侦察的无人机数量应再增加 10 架备用无人机，每个集装箱位置总共需要 50 架。

需要额外的无人机来运送医疗用品。我们发现在容器位置 1、2 和 3 处需要的字分别是 3、4 和 3。

因此，每个 ISO 容器中的无人机总数应为 53、54 和 53。

位置模型的解决方案

容器的位置受以下因素影响：容器中的无人机和医疗包装的数量和类型的配置，包装规则，无人机的性能，每家医院所需的医疗包装的数量以及其他因素。对于表 2 中的位置，我们给出了最佳结果。在 Windows10 平台上使用 2.6 GHz CPU 时，需要 5.5 s 来运行此计算。

表 2 位置模型的解决方案

| Container | Latitude | Longitude | min T (min) | max P (km) |
|-----------|----------|-----------|------------------|-----------------|
| 1 | 18.3805 | -66.5109 | 39 | 313 |
| 2 | 18.3490 | -66.2830 | 38 | 362 |
| 3 | 18.2191 | -65.8241 | 34 | 252 |

以容器 1 为例：将无人机从容器 1 直线运送到距离容器 1 最远的医院最多需要 39 分钟。在集装箱 1 的供应范围内，无人驾驶飞机可以检查的总公路长度为 313 公里。

整个岛屿道路的侦察覆盖率为 44%。

在图 6 中，圆圈的中心是容器的位置。重叠的医院或路段可以通过两个不同容器的无人机提供医疗包装或侦察。特别地，容器 1 和容器 2 的供应范围重叠，这意味着重叠区域中的医院和路段可以从任一位置供应，并且可以在它们之间转移医疗包装。

我们建议将容器运送到：

- 货柜 1：阿雷西博（Arecibo）港口或去安东尼奥（Nery）Juarbe Pol 机场
- 集装箱 2：圣胡安港或费尔南多·里巴斯·多米尼奇机场
- 集装箱 3：塞巴港或何塞·阿蓬特·德拉托雷机场。
-

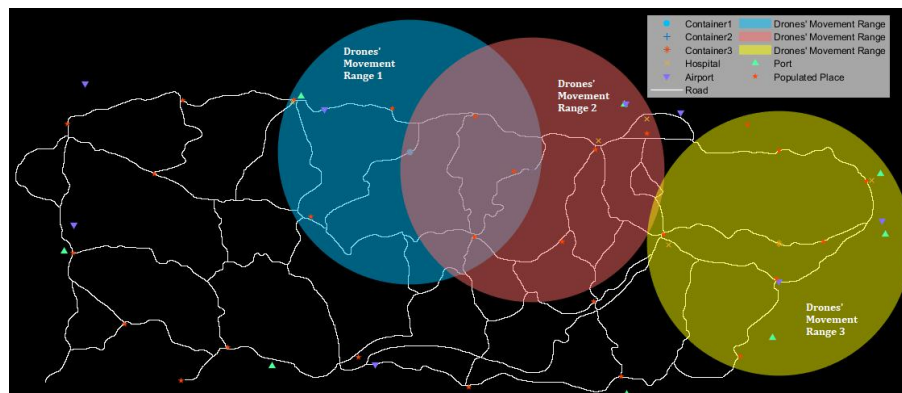


图 6. 容器的位置



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

然后将这些容器通过车辆运输到指定位置。容器 1 和容器 2 的范围重叠的音的最大长度为 177 km，容器 2 和 3 的最大长度为 28 km。

表 3 加载模型的结果。

| 容器 | 无人机 B | 无人机 H | MED1 | MED2 | MED3 | 空间利用 | 天 |
|----|-------|-------|------|------|------|------|-----|
| 1 | 43+10 | 1 | 700 | 350 | 350 | 89% | 350 |
| 2 | 44+10 | 1 | 684 | 342 | 342 | 89% | 342 |
| 3 | 43+10 | 1 | 809 | 0 | 539 | 91% | 269 |

表 3 显示了加载模型的结果。我们以容器 3 为例进行说明：

- 它装有 43+10 架 B 型无人机，其中 43 架为运行无人机，另外 10 架为备用无人机。
- 它配备了 H 型系绳无人机，可以用作信号基站。
- 它包含 809 MED1、0 MED2 和 539 MED3 软件包。
- 它可以支持 269 天服务的医院的药品需求，这是非常好的结果。

在 Windows10 平台上使用 2.6 GHz CPU 时，运行 3D-RSO 算法仅需 0.35 s，产生的结果如图 7 所示。

图 7 显示了每日运输和转运计划。

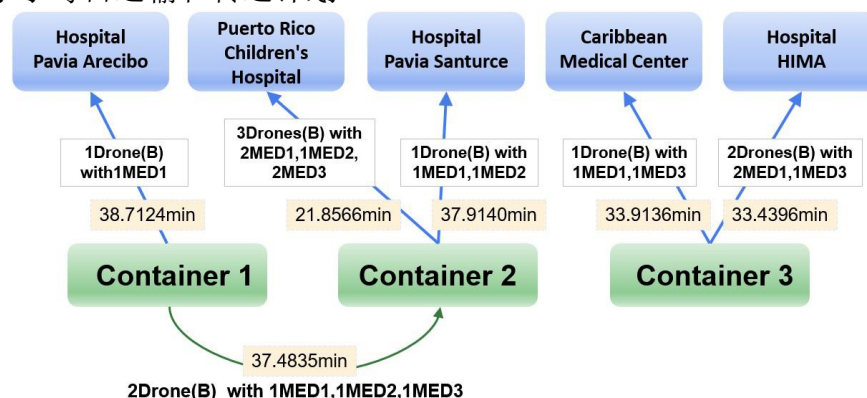


图 7 日常运输和转运计划。

敏感性分析

由于飓风对波多黎各的影响可能会有所不同，因此应面对面的两个目标活动（医疗供应和侦察）的权重 φ_1 和 $\varphi_2 = 1 - \varphi_1$ 不同的情况和实际情况。因此，我们针对 $\varphi = 0.1, 0.2, \dots, 1$ 计算 10 组结果。以测试模型的敏感性和可行性。我们发现 φ_1 对结果的影响不是逐步的；对于容器 1 的时间和范围， $\varphi_1 = 0.1$ 和 $\varphi_1 = 0.2$ 之间有很大的跳跃，对于容器 2 的时间和范围，介于 $\varphi_1 = 0.3$ 和 $\varphi_1 = 0.4$ 之间。当 φ_1 的值接近这些阈值时，灵敏度非常高。但是，当该值远离阈值时，计算结果几乎不受影响。因此， φ_1 应该根据实际情况，尤其是当该值接近阈值时。

模型扩展

以下方案通过牺牲部分医疗救援能力来提高道路检查能力，即 $\varphi_1 = 0$ ， $\varphi_2 = 1$ 。不再考虑集装箱之间的转运；此外，将尽可能多的无人机装到一个容器中以提高效率并扩大侦察范围。

图 8 显示了此计划下的容器位置。集装箱 1 和 2 的供应范围没有交叉点，但集装箱 2 和 3 的供应范围仍然有交叉点。交叉点处的道路总长度为 137 km。



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

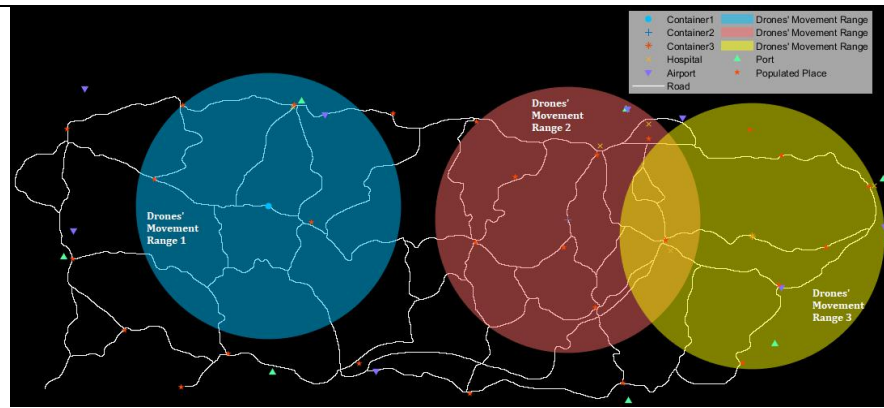


图 8. 便于侦察的容器位置。

随着无人机数量的增加，容器中医疗包装的数量也相应减少（表 4）。明显缩短了容器 2 和 3 中的材料向医院的供应时间。此外，由于容器不能转移物资，因此医疗包装的使用时间会相差很大。该方案的详细每日运输计划如图 9 所示。

表 4 该方案的装载模型的结果有利于侦察

| 容器 | 无人 机 B | 无人 机 H | 1 | MED 2 | MED | MED3 使用率 | 空 | 天 |
|----|-----------|-----------|-----|----------|-----|-------------|----|---|
| 1 | 68 | 1 | 630 | 0 | 350 | 93 | 63 | |
| 2 | 68 | 1 | 321 | 212 | 213 | 91 | 10 | |
| 3 | 68 | 1 | 396 | 0 | 263 | 92 | 13 | |

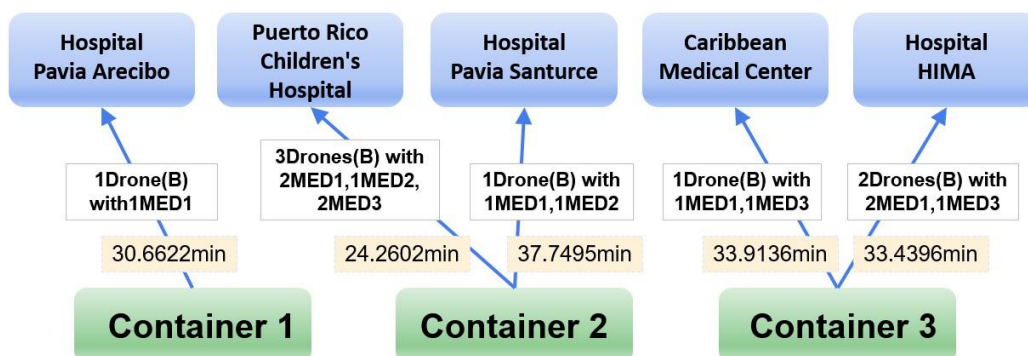


图 9. 有利于侦察的方案的交付方案。

长处和短处

长处

- 在装载容器时，我们采用有序的堆放方法，以使箱子具有整体稳定性，并且便于装卸。
- 考虑到在受灾地区运输集装箱的困难，我们将集装箱运输到港口或机场，然后沿公路放置，这提高了该模型在现实世界中的可行性。
- 改进后的 3D-RSO 算法方便有效地解决了 3D 加载模型，可以在很短的时间内交付结果，非常适合紧急情况下的物料分配，并且具有很高的空间利用率。
- 医疗包的分配是均衡的，这提高了系统抵御可能的二次灾难的能力，并延长了救灾时间。
- 此外，我们提出了一项针对道路侦察的计划。

弱点

- 负载对无人机的影响可以相对简单地建模。



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

- 如果不考虑海拔，风，天气等因素对无人机飞行的影响，该模型缺乏实用性
- 该计划仅满足每个医院的日常需求，导致无人机的利用效率低下。

参考文献

[1] 刘丽蓉和李玮。2018. GPS 坐标与方向和距离相互转换的计算公式的推导。南方农业机械 49（14）：106。

[2] 尚正阳，顾济南，唐世喜和孙晓红。2019. 一种有效的剩余空间优化算法，用于三维集装箱装载问题[中文]。计算机工程与应用 55（5）：44-50。

[3] 李科. 2009. 相机广角镜的简要讨论。太原城市职业技术学院学报 4：122 - 123。