

## 地面搜索最短耗时的计算

摘要：

本文解决了制定搜索队伍的行进路线，合理调配人员及对预定区域进行快速的全面搜索的问题。

在具体求解中，我们将题中搜索区转化成平面网格图，可简化分析和计算。同时还采用了反证法，数据具有较好的可视性和可读性。模型的主要结果如下：

1. 按照我们的方法得搜索完整个区域耗时最短为 49.46 小时。
2. 在 48 小时内无法完成搜救任务要想完成需增加 3 人。
4. 将 50 人分成 20、20、10 人三组，完成任务耗时 20.57 小时。

关键字：快速搜索 平面图解

The Arithmetic of the Best Times about Searching Land

Lu Cong Tong Huan Liu Xinlei

(Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China )

Abstract: This paper solves the Search Party's channel of advance, adjusting personnel rationally, and search scheduled section fleetly and roundly. On solving concretely, it transforms the searching land into Ichnography-Gridding, which can predigests analysis and account. Simultaneity, it adopts reduction to absurdity, the data haves readability and creditability. The result s of the model:

1. Depending on the arithmetic, the Best Times about Searching Land is 49.46 hours.
2. In 48 hours it can't finish the task except adding another 3 personnel.
3. Divide 50 persons into three terms 20, 20, 10. Finish the task will cost 20.57 hours.

Key words: search fleetly, Ichnography-Gridding

### 一、 问题重述

5.12 救汶川大地震使震区地面交通和通讯系统严重瘫痪。灾指挥部紧急派出多支小分队，到各个指定区域执行搜索任务，以确定需要救助的人员的准确位置。在这种紧急情况下需要解决的重要问题之一是：制定搜索队伍的行进路线，对预定区域进行快速的全面搜索

下面是一个简化的搜索问题。有一个平地矩形目标区域，大小为 11200 米×7200 米，需要进行全境搜索。假设：出发点在区域中心；搜索完成后需在左侧短边中点集合；每个人搜索时的可探测半径为 20 米，且平均速度为 0.6 米/秒；不需搜索时，平均速度为 1.2 米/秒。每个人带有 GPS 定位仪、步话机，步话机通讯半径为 1000 米。搜索队伍若干人为一组，有一个组长，组长还拥

有卫星电话。每个人搜索到目标，需要用步话机及时向组长报告，组长用卫星电话向指挥部报告搜索的最新结果。

根据上述条件解决下列问题：

1. 假定有一支 20 人一组的搜索队伍，拥有 1 台卫星电话。请设计一种你认为耗时最短的搜索方式。按照你的方式，搜索完整个区域的时间是多少？能否在 48 小时内完成搜索任务？如果不能完成，需要增加到多少人才可以完成。

2. 为了加快速度，搜索队伍有 50 人，拥有 3 台卫星电话，分成 3 组进行搜索。每组可独立将搜索情况报告给指挥部门。请设计一种你认为耗时最短的搜索方式。按照你的搜索方式，搜索完整个区域的时间是多少？

## 二、模型假设

在紧急搜救的情况下对问题进行假设：

1. 从开始搜救时计时。
2. 在搜救到受难者时向组长报告不浪费时间。
3. 搜救员在搜救活动中不休息，饮食不停留且不会因故退出。
4. 在搜救过程中各种仪器工作正常。
5. 在拐弯时搜救员转身的的时间忽略不计。

## 三、符号说明

$T_z$ : 总时间

$T_s$ : 搜索所需时间 ( $T_{si}$ : 第  $i$  个队搜索时间)

$T_f$ : 只行进时的时间 ( $T_{fi}$ : 第  $i$  个队只行进的时间)

$V_s$ : 搜索时行进速度

$V_f$ : 只行进时的速度

$S_s$ : 搜索的总路程 ( $S_{si}$ : 第  $i$  个队搜索所走的路程)

$S_f$ : 只行进的总路程 ( $S_{fi}$ : 第  $i$  个队只行进所走的路程)

$S_z$ : 一个纵队所能搜索的宽度 (队伍拐弯时各个人所走的路程)

$L_c$ : 矩形的长边长度

$L_d$ : 矩形的短边的边长

## 四、模型的分析、建立与求解

4.1 因最佳搜救时机要在三天内，所以快速搜救是必要的。在搜救人力、资源、时间有限时，须对搜救地点的优先级进行选择，可采用分小组划分区域搜索和集中一组按规律搜索两种方法。因分小组搜索时队员超出通话限制的可能性比较大，所以采用集中一组按规律搜索。

4.1.1 根据题目条件，在保证方便通信的条件下，将 20 人排成一排，两人间隔 40 米。那么一排人所搜索的最大宽度是

$S_z$ ，由每人可探测半径为 20 米，得  $S_z = 20 * 2 * 20 = 800$  米。

4.1.2 由于区域面积一定，因此搜索所形成的长方形区域面积是一定的，搜索时走长方形长边。因此搜索所走的路程是一定的，要想耗时最短，就要使重复和拐弯的次数最少。

4.1.3 将此矩形区域等分划分，横 9 行，竖 14 列。队员在搜索时从方格一边缘走到拐弯的方格边缘，形成长方形的搜索区域。同时在拐弯时采取整体推进法，且只行进不搜索，即在到达边缘时整队人一起向左（右）转身，然后一起向前走  $S_z$ ，然后再一起向左（右）转身。所以每拐一次弯要行进  $S_z$ ，使拐弯最少，才可以减少只行进的路程，又因按划分好的长方形区走，竖着走要比横走拐的弯多，因此横向搜索。搜索图如（4-1-1）。一共拐 9 次弯，即行进了  $9*S_z$ 。

4.1.4 在搜索过程中有一段重复走的区域，为了减少路程节约时间，根据三角形特性采取整体斜着前移（走矩形对角线）所走的行进区域形成一个平行四边形。如图（4-1-2）

$$\text{一共行进了 } \sqrt{800^2 + (6*800)^2} = 800 * \sqrt{37} \approx 4866.21 \text{ 米}$$

如上所述易得：总时间（ $T_z$ ）=搜索所需的时间（ $T_s$ ）+行进的时间（ $T_f$ ）

$$\text{搜索的时间 } (T_s) = \frac{\text{搜索所走的路程 } (S_s)}{\text{搜索的速度 } (V_s)}$$

$$\text{行进的时间 } (T_f) = \frac{\text{行进的路程 } (S_f)}{\text{行进的速度 } (V_f)}$$

$$\text{搜索所走的路程 } (S_s) = 9 * \text{矩形的长边 } (L_c)$$

$$\text{行进的路程 } (S_f) = 9*S_z + 4866.21 \text{ (米)}$$

根据上述计算式得：

$$T_z = \frac{S_s}{V_s} + \frac{S_f}{V_f} = \frac{9*L_c}{0.6*3600} + \frac{9*S_z + 4866.21}{1.2*3600} = \frac{9*11200}{0.6*3600} + \frac{9*800 + 4866.21}{1.2*3600} \approx 49.46 \text{ (小时)}$$

4.2 根据我们所设计的搜救方案在 48 小时内是不能完成搜救任务的，可采用反证法证明 48 内不能完成任务。

4.2.1 假设：48 小时内能完成任务。

如图（4-2）所示，每格长度为 800 米。不计算拐弯和重复距离时，所需搜索距离为  $9*11200=100800$  米。按搜索速度  $V_s$  所需时间为  $\frac{100800}{0.6*3600} \approx 46.67$ （小时）。

所剩时间为  $48-46.67=1.33$ （小时）。最少拐弯数为 8，拐弯所需行进距为

$$8*800=6400 \text{ (米)} \text{ 则在规定时间内完成任务的所需速度为 } \frac{6400}{1.33*3600} \approx 1.34 \text{ (米/秒)}$$

大于 1.2（米/秒）。与已知不符，所以假设不成立。



4.3 因搜救任务紧急，要 48 小时内完成搜救任务。得加人，按照第一方案的方法，增加一个和两个人都要来回 9 次才能搜救完，而且搜救要走的路程一样，且拐一次要走  $800+n*40$  ( $n$  为增加的人数)，所以时间不能减少反而会增加。因此最佳的方案是加 3 人，这样就只需来回 8 次，有利于节约时间。

4.3.1 所走路线如图 (4-3) 所示，一共拐了 9 次，拐一次行进的距离是  $800+40*3=920$  (米)，重复走了  $11200/2=5600$  (米)。搜索所走路程是  $8*11200$  (米)。因此所需时间是  $\frac{9*920+5600}{1.2*3600} + \frac{8*11200}{0.6*3600} \approx 44.69$ (小时)

4.3.2 因此再增加 3 人后可在 48 小时内完成搜索任务，最短耗时是 44.69 小时。

4.4 为了加快速度，搜索队伍有 50 人，拥有 3 台卫星电话，分成 3 组分区进行搜索，为了节约时间，三队应同时出发，且尽可能在同一时间到达终点，或时间相差不大。利用 4.1.3 的方法将 50 人分成了 20、20、10 三队，并编号为第一、二、三队。我们将整块区域按照队员数的比例 2：2：1 分为上中下三部分，并计算出一、二队要走  $\frac{9}{2+2+1}*2=3.6$  行，三队要走 1.8 行，为了节约行进的时间，三个队所走的路线分别如图 4-4-1，

图 4-4-2 是第三队返回时只行进的路线。路程为  $\sqrt{800^2+(7*800)^2} = \sqrt{800^2*50} = 5*800*\sqrt{2}$  米

根据表格可计算出各队所需的时间：

	拐弯 次数	拐一次所要行 进的路程	搜索所走的路程(米)	重复行进的路 程 (米)
第一队 (20 人)	4	800 米	$3.5*11200+800+0.5*800$	0
第二队 (20 人)	4	800 米	$3.5*11200+800+0.5*800$	0
第三队 (10 人)	8	400 米	$2*0.5*11200+6*6*800$	$5*800*\sqrt{2}$

设 $T_{zi}$ 为第 $i$ 个队所需的总时间:

$$T_{zi} = T_{si} + T_{fi};$$

$$\text{由图表可知 } T_{z1} = T_{z2} = \frac{S_{s1}}{V_s} + \frac{S_{f1}}{V_f} = \frac{3.5 \times 11200 + 800 + 0.5 \times 800}{0.6 \times 3600} + \frac{800 \times 4}{1.2 \times 3600} \approx 19.44(\text{小时})$$

$$T_{z3} = \frac{S_{s3}}{V_s} + \frac{S_{f3}}{V_f} = \frac{2 \times 5600 + 6 \times 6 \times 800}{0.6 \times 3600} + \frac{8 \times 400 + 5 \times 800 \times \sqrt{2}}{1.2 \times 3600} \approx 20.57(\text{小时})$$

因此, 搜索完整个区域所需时间是 20.57 小时。

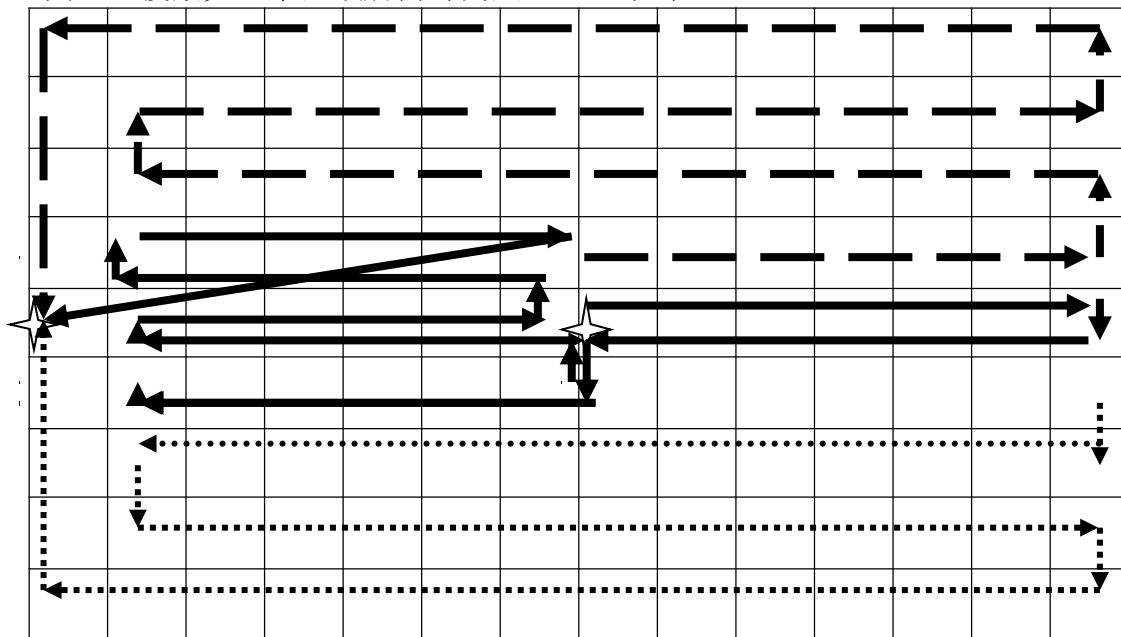


图 4-4-1

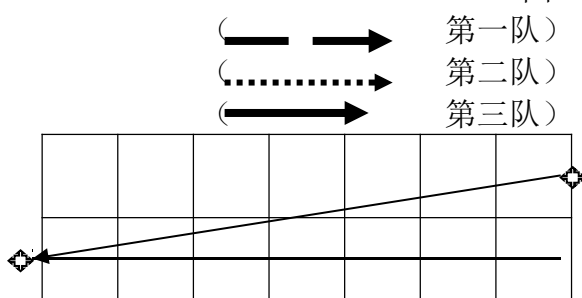


图 4-2-2

## 五、模型的检验与推广

本模型在一些方面进行了适当的简化, 例如在对搜索员的身体需求方面做了理想化的假设, 在实际中很难达到。本模型可用于多种平面、平地等地区的搜索。例如, 扫雷等排险工作, 也可用于农作物的快速播种。

## 六、模型评价

模型优点: 1. 充分考虑了个限制数据。

2. 采用作图法使模型更明了。

3. 求最短耗时时采用较完善的计算方法。

4. 采用反证法避难从易。

模型缺点：

1. 在求解最短耗时量时没有考虑细节误差给模型带来的影响。
2. 在对人员的身体需求方面考虑欠佳。

## 七、参考文献

[1] 地震搜救手册

<http://blog.163.com/eva8711@126/blog/static/10293524200841894647448/>

2008. 09. 21

[2] 地震搜救必读手册

<http://www.niwota.com/submsg/4486293>

2008. 09. 21

