

运输调度专家系统¹⁾

石纯一 王家庆 宋星 万方

(清华大学)

摘 要

本文介绍了用人工智能方法建立的货运汽车调度系统,给出了运输调度的组合图式、局部最优和全局满意求解算法,建立了启发式组合函数以及运输交通图上的最短路径的启发式算法。系统使用过程法表示知识。该系统是用 LISP 和 PASCAL 语言实现的可实用的有明显经济效益和易于推广的程序系统。

一、调度问题的描述

已知所需完成的业务集合为

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}.$$

其中 $A_i = (\text{编号}_i, \text{品名}_i, \text{装点 } a_i, \text{卸点 } b_i, \text{运量 } Q_i, \text{装卸方式}_i, \text{车型}_i, \text{必运量}_i, \text{装点容车数}_i, \dots)$ 。各车场的位置和可供使用的总车数 P 、第 i 个车场 j 型车数 P_{ij} 和装卸力 D 。并需给出运输交通图(地图数据库)以及各种品名业务的装卸时间表、路程运行时间对照表和各种附加时间。

限制条件是每辆车均由一车场出发,完成任务后回原车场;一天的工作时间为 T (允许误差为 Δt);某些业务要求有确定的车型和必须完成的运量;不同的业务 A_i 、 A_j 间因品名和装卸方式的不同直接影响可组合性。

追求的目标是里程利用率 η

$$\eta = (\text{所有车重驶运距之和}) / (\text{所有车重驶与空驶运距之和})$$

运输调度问题要求在满足已知和限制条件的前提下,建立可行的运输过程,以使 η 为最大。

对于这样的调度问题,难以建立最优化方法。本文用人工智能方法给出了满足多种实际条件的可行的求解方法和程序系统,经实际验证结果是满意的。

二、系统的总体结构及组合图式

图1为系统的总体结构图,图中的方框表示程序,圆圈表示数据。

本文于1984年9月27日收到。

1) 此项研究系中国科学院科学基金资助项目。

系统的输入程序是将用户以汉字编码的业务集化为内部编码，以供组合调度程序使用。

单位查询程序是根据业务的发货(装点)和收货(卸点)单位的汉字名称，使用单位数据库查询出在地图数据库相应地理位置上的路号、站号，以便为求解距离程序使用。

求解距离程序是利用地图数据库和规则库的信息，根据启发式算法来计算业务集中各装卸点间和卸装点间的所有最短距离和路径，建立距离矩阵，以便为组合调度程序使用。

组合调度程序是系统的核心。它的作用是根据专家的经验知识，对业务集数据库和距离矩阵进行处理，以实现满足各种限制条件下的满意的调度过程，结果存放于动态数据库中。

系统的输出程序是将动态数据库中的内部编码的调度方案，以所要求的格式用汉字编码输出。

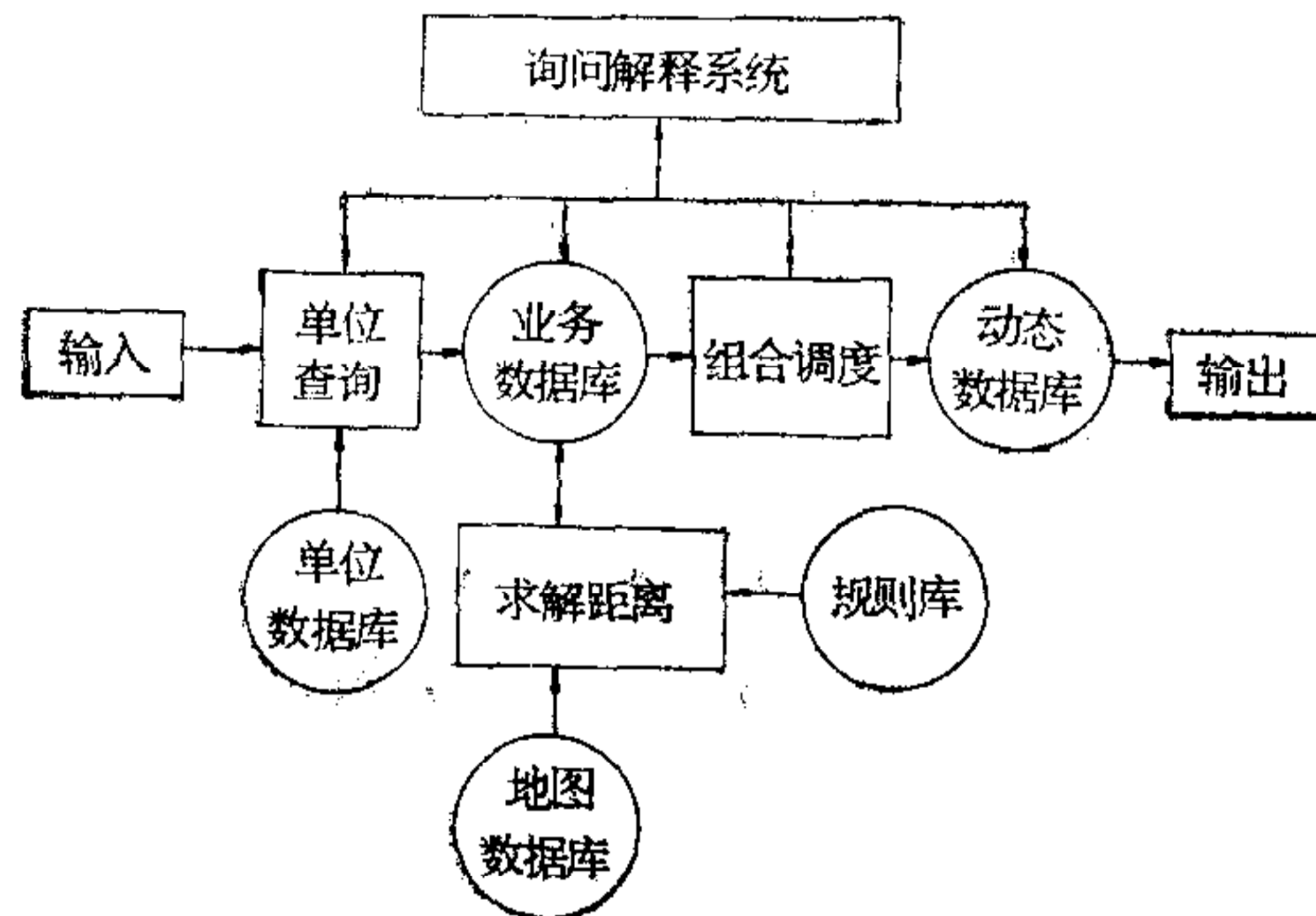


图 1

根据经验知识实现组合调度的过程，是首先从业务集 A 中选取一笔业务为基（如 A_i ），再选取 A_j 和 A_k 构成循环圈，最后根据车场位置选取回场业务 A_l, A_m ，便构成如图 2 所示的组合图式。其中 Δ 表示车场，实线表示重驶，虚线表示空驶，箭头表示运行的方向。

运输过程可形式地描述为

$$((A_i^{k_1}, A_j^{k_2}, A_k^{k_3}), A_l^{k_4}, A_m^{k_5})$$

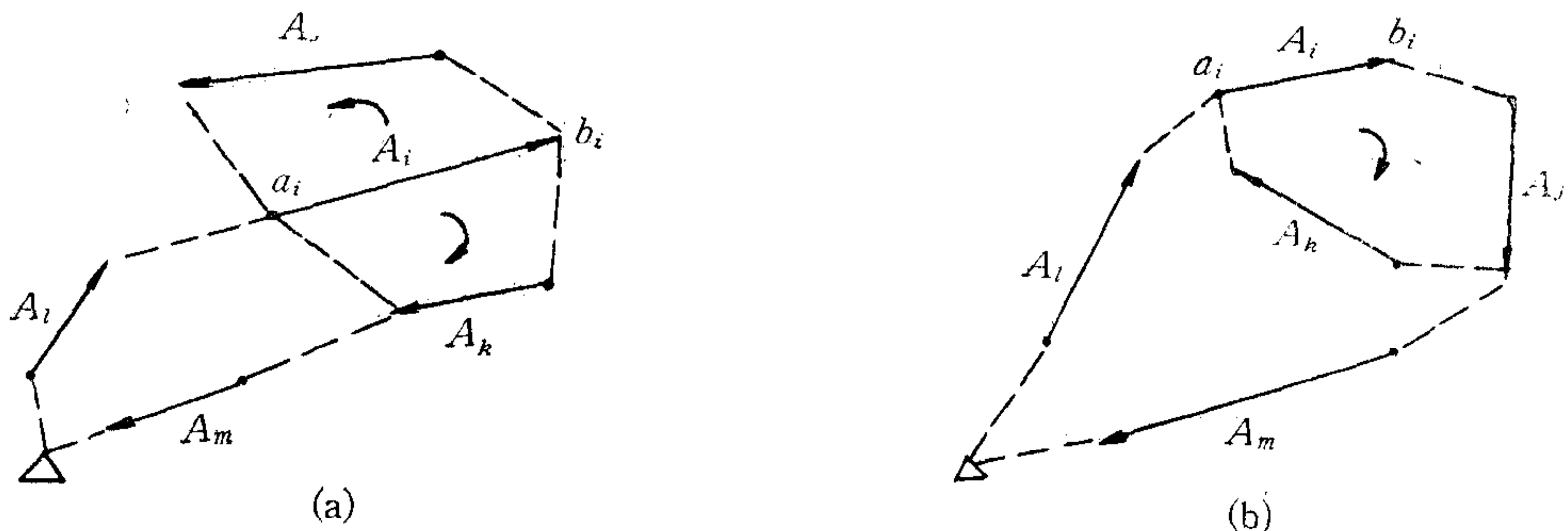


图 2

其中

$$A_i, A_j, A_k, A_l, A_m \in A,$$

而

$$k_1, k_2, k_3 \in \{0, 1, 2, 3, \dots\}$$

$$k_4, k_5 \in \{0, 1\}$$

分别表示 A_i, A_j, A_k, A_l, A_m 的运次。

各种可能的运输过程如图 3 所示。

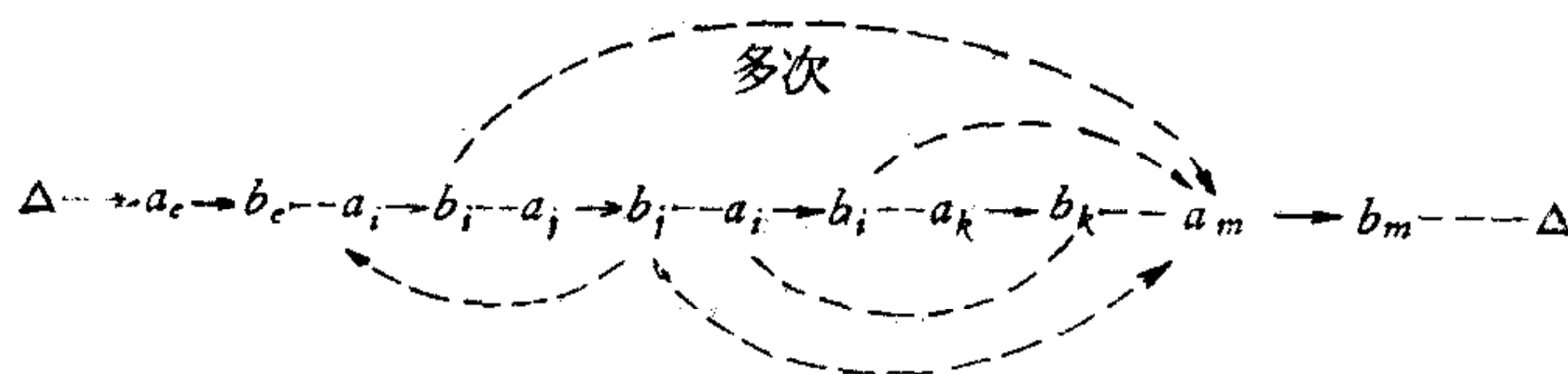


图 3

三、局部最优解和全局满意解算法

因实际的调度因素过于复杂，所以难以建立运输调度的最优化算法。根据经验知识可建立启发式求解方法，据此得到局部小范围的优化解，经调整参数可从大量的局部最优解中求得全局满意解。

在建立求解算法过程中，相互关联的因素 η, T, Q 和可组合条件 C 是使求解的搜索算法复杂化的主要原因。

就近组合、建立循环圈、附加出回场业务、远离车场业务优先以及避免单一业务的多次往返等专家调度知识是下述算法的主要依据。

局部最优解和全局满意解的主要计算步骤如下：

(1) 根据启发式函数 f 和必运量的要求，对业务集 A 排序。

(2) 从 A 中选取序数最高的业务 A_i 作基业务。

(3) 根据 Q, C, P 和车型要求，从 A 中依次选取同 A_i 可组合的业务 A_j 和 A_k 以构成循环圈，使得 $\eta(A_i, A_j), \eta(A_i, A_k)$ 或 $\eta(A_i, A_j, A_k)$ 为最大。

(4) 根据 C 和车型要求，对各车场从 A 中选取回场业务 A_l, A_m ，以使 $\eta((A_i, A_j, A_k), A_l, A_m)$ 为最大，并对所有的 $\eta((A_i, A_j, A_k), A_l, A_m)$ 按大小排序。

(5) 依次对(4)的结果选取 $k_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$ ，当 $t \in (T, T + \Delta t)$ 时，转(6)，否则返回(3)；当对 A_i 不存在满足时间要求的 A_j, A_k 时，记录 A_i ，返回(2)。

(6) 根据 P_{ij} 和 P ，用整数规划方法派定实现一个组合循环圈的车型、车数以及装卸力。

(7) 扣除已实现组合循环圈业务、运量、车数和装卸力。 $D - D^* (\text{已组合装卸力}) \rightarrow D, P_{ij} - P_{ij}^* (i \text{ 场已组合 } j \text{ 型车数}) \rightarrow P_{ij}, P - P_{ij}^* \rightarrow P, Q_i - Q_i^* (\text{已组合运量}) \rightarrow Q_i$ 。如果 $Q_i = 0$ 则 $A - A_i \rightarrow A$ 。

若 $(A = \phi) \vee (P = \phi) \vee (D = \phi)$ 为真时转(8), 否则返回(2)

(8) 得一局部最优解, 并计算 $\eta = \eta_i$.

(9) 改变启发式函数 f 的参数, 如果 $\max_i \eta_i < \eta_0$ (如设 $\eta_0 = 60\%$), 则返回(1).

(10) 得一全局满意解, 并计算 $\eta^* = \max_i \eta_i$.

四、启发式函数的建立

对所建立的启发式函数 f , 若 $f(A_i) \geq f(A_j)$, 则在 A 中的排序 A_i 优于 A_j . f 的确定直接关系到全局满意解的形成, 因此必须对 η , Q 和有关距离作综合的考虑.

定义 $f(A_i) = N_1 \Delta \alpha_i + N_2 \beta_i$, $i = 1, 2, \dots, n$.

(1) 在求解计算前, 对 $A_i \in A (i = 1, 2, \dots, n)$ 确定可组合的有序集合

$$S_i = \{A_i^1, \dots, A_i^q\}.$$

其中 q 按如下方法确定:

若 Q_i, Q_i^1, \dots, Q_i^q 分别是 A_i, A_i^1, \dots, A_i^q 的运量, $\eta_i^1, \dots, \eta_i^q$ 分别是 $(A_i, A_i^1), \dots, (A_i, A_i^q)$ 各循环圈的里程利用率, 且它们是所有 η_i^q 中最大的 q 个, 其中 $A_i^q \in A$, 又要求满足

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{q-1} Q_i^i &\leq p Q_i \leq \sum_{i=1}^q Q_i^i, \\ \eta_i^1 &\geq \eta_i^2 \geq \dots \geq \eta_i^q. \end{aligned}$$

常数 p 决定了 q 的大小(可取 $p = 4$ 或 5).

(2) 确定密度系数 r_i

规定

$$r_i' = \frac{\sum_{j=1}^q Q_i^j \left(\frac{\eta_i^j - 0.5}{\eta_i^1 - 0.5} \right)^\lambda}{Q_i}, \quad \lambda \text{ 为正整数.}$$

而

$$r_i = \begin{cases} 1, & \text{当 } r_i' \leq 1, \\ r_i', & \text{当 } r_i' > 1, \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

有

$$1 \leq r_i \leq p$$

r_i 是相对 A_i 的运量 Q_i 而言, 对可选取的运量 Q_i^1, \dots, Q_i^q 的加权平均, 或说体现了以 A_i 为基做较好组合的可能性. 当 η, Q 均匀分布时, r_i 取最大值. 而 $\eta_i^j \approx 50\% (j = 1, \dots, q)$ 或 Q_i 充分大时, r_i 取最小值.

(3) 里程利用率的期望值 α_i

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^q (\eta_i^j - 0.5) Q_i^j / r_i^j}{p Q_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

对 A_i 有 $S_i = \{A_i^1, \dots, A_i^1, \dots, A_i^q\}$, 而对 A_i^j 有 $S_i^j = \{\dots, A_i, \dots\}$, 这里假定了 $A_i \in$

S_i^j 。当以 A_i^j 为基时可得 r_i^j 。就 A_i 来说, r_i^j 较大时, A_i 被 A_i^j 选中作为组合的可能性反而小, $1/r_i^j$ 体现了 A_i 被 A_i^j 选中作为组合的可能性, 于是对 η_i^j 的加权值可取 Q_i^j/r_i^j , 从而 α_i 是里程利用率的期望值。

(4) 里程利用率的理想值 α_i^*

$$\alpha_i^* = \frac{\sum_{j=1}^h (\eta_i^j - 0.5) Q_i^j}{Q_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

取 h 使

$$\sum_{i=1}^{h-1} Q_i^j \leq Q_i \leq \sum_{i=1}^h Q_i^j$$

成立。这时全部 Q_i 被 Q_i^1, \dots, Q_i^h 作为最合理的组合, 从而 α_i^* 是里程利用率的理想值。

(5) 里程利用率的损失值

$$\Delta\alpha_i = \alpha_i^* - \alpha_i, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

体现了不优先选取 A_i 作基进行组合所带来的里程利用率的损失。

(6) 出回场损失值

$$\beta_i = \frac{\sum_{j=1}^g (d_i^{0j} + d_i^{vj}) Q_i^j}{p Q_i d}.$$

其中 d 表示一天行车公里的平均值, d_i^{0j}, d_i^{vj} 分别表示循环圈 (A_i, A_i^j) 中离车场 Δ 较近的装点和卸点到车场间的直线距离。 β_i 表示找不到出回场业务带来的里程利用率的损失值。

由(1)到(6)可得

$$f(A_i) = N_1 \Delta\alpha_i + N_2 \beta_i, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

其中 N_1, N_2 是可选参数。对每对 (N_1, N_2) 都可用求解算法得到一个局部最优解, 改变 (N_1, N_2) 的值可选得全局满意解。经实际验证, f 的作用是显著的。在求局部最优解过程中, 多次计算 f , 则效果更好。

五、系统的知识表示及最短路经算法

调度系统的特点是处理对象为单一类型的业务, 但数量大, 而且分布状况复杂, 组合算法也复杂。虽然规则数并不多, 但求解搜索空间庞大, 且对计算时间有明显要求, 因而知识表示采用了过程表示法。

在程序的适当部位上安排了有关的知识, 包括利用启发式函数对业务排序的知识、选取和建立组合圈的知识、计算 $t \in (T, T + \Delta t)$ 的知识以及选场选车型车数和装卸力的知识。

函数 f 是调度知识的集中概括, 这是根据专家的经验总结出来的数学函数, 为计算 f 给出了 S_i 网的数据结构和组合圈优化的知识。

交通运输图 G 中任两点 m_0, m_s 间的最短距离和路经计算是调度求解算法中需反复

调用的, 当 n 较大时(如 10^3), 实际调度要求几毫秒内完成一次距离计算, 已有的算法在微机上是难以实现的. 因此, 引入坐标来确定结点的位置和方向, 以加快求得距离的过程.

$$\text{令 } d(m_i, m_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad m_i: (x_i, y_i),$$

$c(m_i, m_j)$ 表示 m_i, m_j 间弧的耗散值, $e(m_i, m_j)$ 表示 m_i, m_j 间最短弧的耗散值. 不妨假设 G 中结点度数均大于二.

G 中任两点 m_i, m_j 间一条路径的求得可采用可回溯的深度优先搜索法, 也可以用距 m_j 最近的结点优先或用所选结点方向与目标方向间夹角最小优先作为控制策略.

若 m_i 到 m_j 的一条路径已求得, 且耗散值为 K , 则有以 m_i, m_j 为焦点, K 为长轴的椭圆, 称之为限制椭圆, 易知 m_i 到 m_j 的最短路径必在限制椭圆内, 于是只需在该椭圆内搜索. 这种方法可称为限制椭圆算法.

目前计算最短路径的较好的方法是 Dijkstra 方法, 其搜索范围为圆内结点, 如图 4 所示. 限制椭圆算法搜索的范围比 Dijkstra 方法小, 而结点是否在椭圆内是容易验证的.

在用限制椭圆算法搜索最短路径时, 同时采用 A^* 算法可进一步减少搜索量. 取 $f_i(m) = h(m) + g(m)$, 其中 $h(m) = d(m, m_v)$, $g(m)$ 表示 m_0 到 m 的路径耗散值,

$$h(m) = d(m, m_v) \leq e(m, m_v) = h^*(m).$$

于是 A^* 算法可使用.

建立递减椭圆序列可进一步减少搜索量.

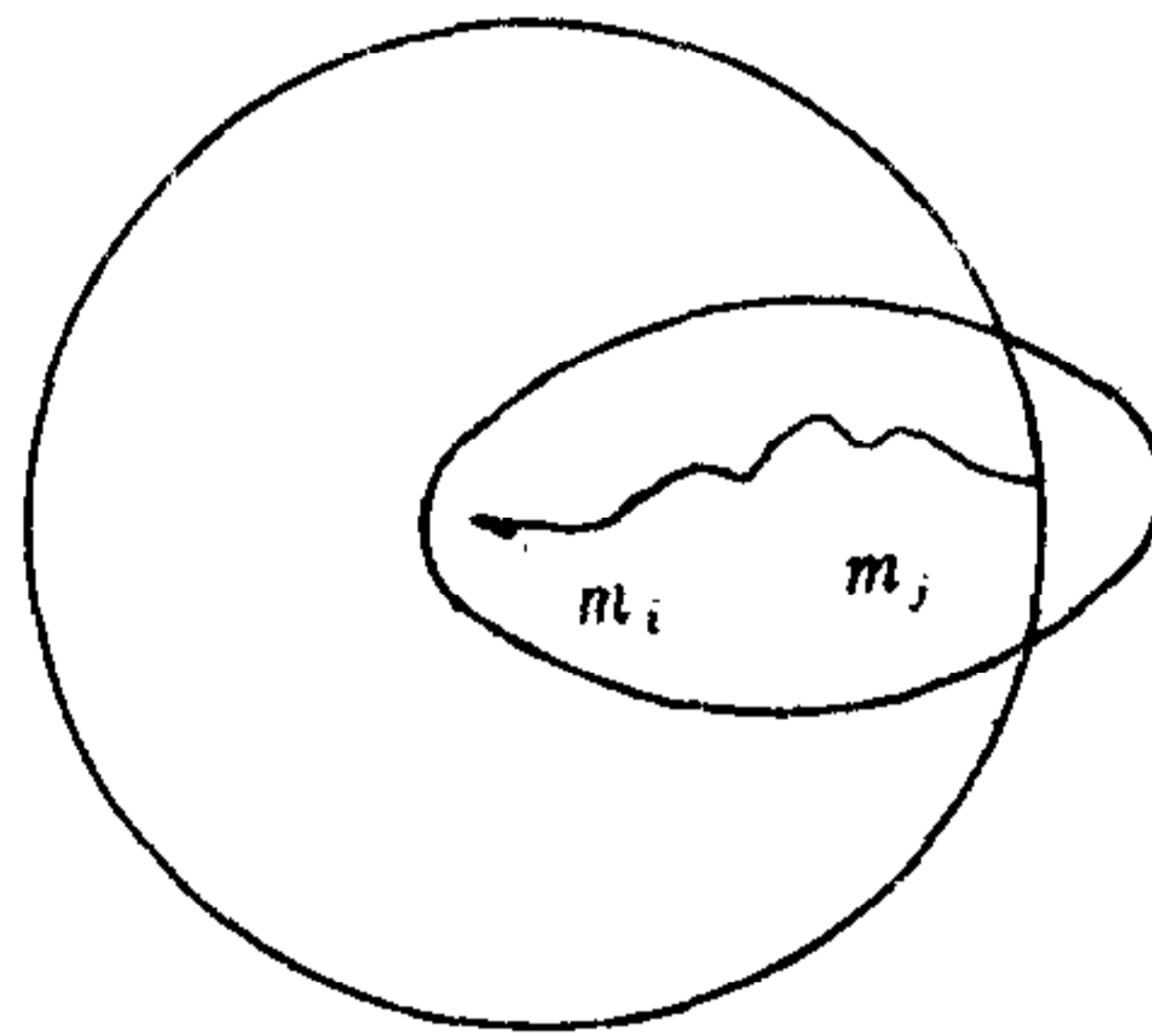


图 4

六、试运行结果

运输调度系统已用 LISP 语言编写的程序在 PDP 11/23 机器上试运行. 用 PASCAL 语言编写的程序在 Dual 68000 机器上实现了实用系统. 试验结果如下:

对三个车场, $n = 67$, 用人工调度时, $\eta = 55.16\%$; 机器调度时, $\eta = 58.06\%$. 里程利用率提高了 2.9% .

对四个车场, $n = 107$, 用人工调度时, $\eta = 55.26\%$; 机器调度时 $\eta = 57.90\%$, 里程利用率提高 2.70% .

对有 2000 多辆车的运输公司来说,其里程利用率每提高 1% 意味着每年可得到百万元利润,建立计算机调度系统的费用当年即可收回。

参 考 文 献

- [1] Winston, P. H., *Artificial Intelligence*, Addison-Wesley, 1977.
- [2] Nilsson, N. J., *Principles of Artificial Intelligence*, Tioga Publishing Co., 1980.
- [3] Barr, R. S., Glover, F. and Klingman, D., A New Optimization Method for Large Scale Fixed Charge Transportation Problems, *Operations Research*, 29(1981), No. 3, 448—463.
- [4] Fisher, M. L. and Jaikumar, R., A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing, *Networks*, 11(1981), 109—124.
- [5] Dijkstra, E. W., A Note on Two Problems in Connection with Graphs, *Numerische Math*, 1 (1959), 269—271.

A TRUCK TRANSPORT DISPATCH EXPERT SYSTEM

SHI CHUNYI WANG JIAQIN SONG XING WAN FANG

(Tsinghua University)

ABSTRACT

In this paper, by use of the AI methods, a combinatorial dispatch graph, an algorithm for locally optimizing solutions, an algorithm for global satisfactory solution, a heuristic method for finding the shortest path on a transportation map, and the system manipulating user files are presented.

The knowledge representation of the system is expressed by procedures. The system is practical and has obvious economical advantage. It is easy to generalize. The a program of the system is written in LISP and PASCAL.