



基于遗传算法的多移动机器人 协调路径规划¹⁾

孙树栋 林 茂

(西北工业大学制造工程系 西安 710072)

(E-mail: sdsun@nwpu.edu.cn)

摘 要 采用链接图法建立了机器人工作空间模型;应用遗传算法规划多移动机器人运动路径;引入适应值调整矩阵新概念,以达到对多移动机器人运动路径的全局优化;基于面向对象技术,研制成功多移动机器人路径规划动态仿真系统.大量仿真实验结果表明,所提方法可行.

关键词 路径规划,多机器人系统,遗传算法,优化.

PATH PLANNING OF MULTI-MOBILE ROBOTS USING GENETIC ALGORITHMS

SUN Shudong LIN Mao

(Dept. of Aero-Manufacturing Eng., Northwestern Polytechnical Univ., Xi'an 710072)

Abstract The paper presents a strategy for path planning of multi-mobile robots using genetic algorithms (GAs). Obstacles in the 2D workspace of the multi-mobile robots are simplified into convex polygons. The edges of the polygons are enlarged so that the size of the mobile robots can be scaled to points. MAKLINK Graph is used to model the workspace. Sequence numbers mark the cross points on the MAKLINK Graph. The sequence number is also used as a coding method for the chromosomes of GAs. Selecting randomly the cross points that connect the start point and the end one generates the initial population of the GAs. The length of the path is used as the corresponding fitness value of the chromosome. In order to avoid collision of any two mobile robots, a coordination matrix is put forward to decide the fitness values of the offspring. A simulation system is developed based on object-oriented method. Simulation results show that the method is effective in path planning of multi-mobile robots.

1) 国家教委优秀青年教师基金资助项目. 本文曾在第五届 M²VIP 年会(1998年)上宣读.

Key words Path planning, multi-mobile robots, genetic algorithms (GAs), optimization.

1 引言

多移动机器人的运动规划受到普遍重视^[1],文献[2]应用链接图建立工作空间模型,而用动态图处理移动机器人之间的协调,两者结合解决多移动机器人路径规划.文献[3]基于一种相对固定的协调策略,提出了分布式运动规划方法.

机器人路径规划是 NP(Nonlinear Programming) 困难问题,传统的优化算法难以奏效^[4].文献[5,6]分别应用遗传算法规划机器人运动路径取得较好效果.本文对遗传算法适应值计算方法作了改进,从而规划出多移动机器人全局最优的运动路径.

2 模型建立

假设:1)移动机器人在2D空间中运动;2)障碍物可用凸多边形描述;3)把障碍物边界向外扩展机器人本体在长、宽方向上最大尺寸的1/2,机器人可看作质点.

自由空间的构造方法如下^[7]:

1)从一个障碍物顶点到其它障碍物顶点之间的连线或顶点到边界之间的垂线称为链接线,链接线不与任何障碍物相交.设 $P_i(i=1,2,\dots,n)$ 表示障碍物顶点,从 P_1 点开始,依次做 P_i 的链接线;

2)删去多余的链接线,使链接线与边界、障碍物边线围成的每一个自由空间均是凸多边形,且凸多边形面积最大;

3)链接线的中点作为机器人路径点,这些路径点顺序标识为1,2,3,...,n;连接各路径点形成的网络图即为机器人可自由运动的路线,如图1所示.

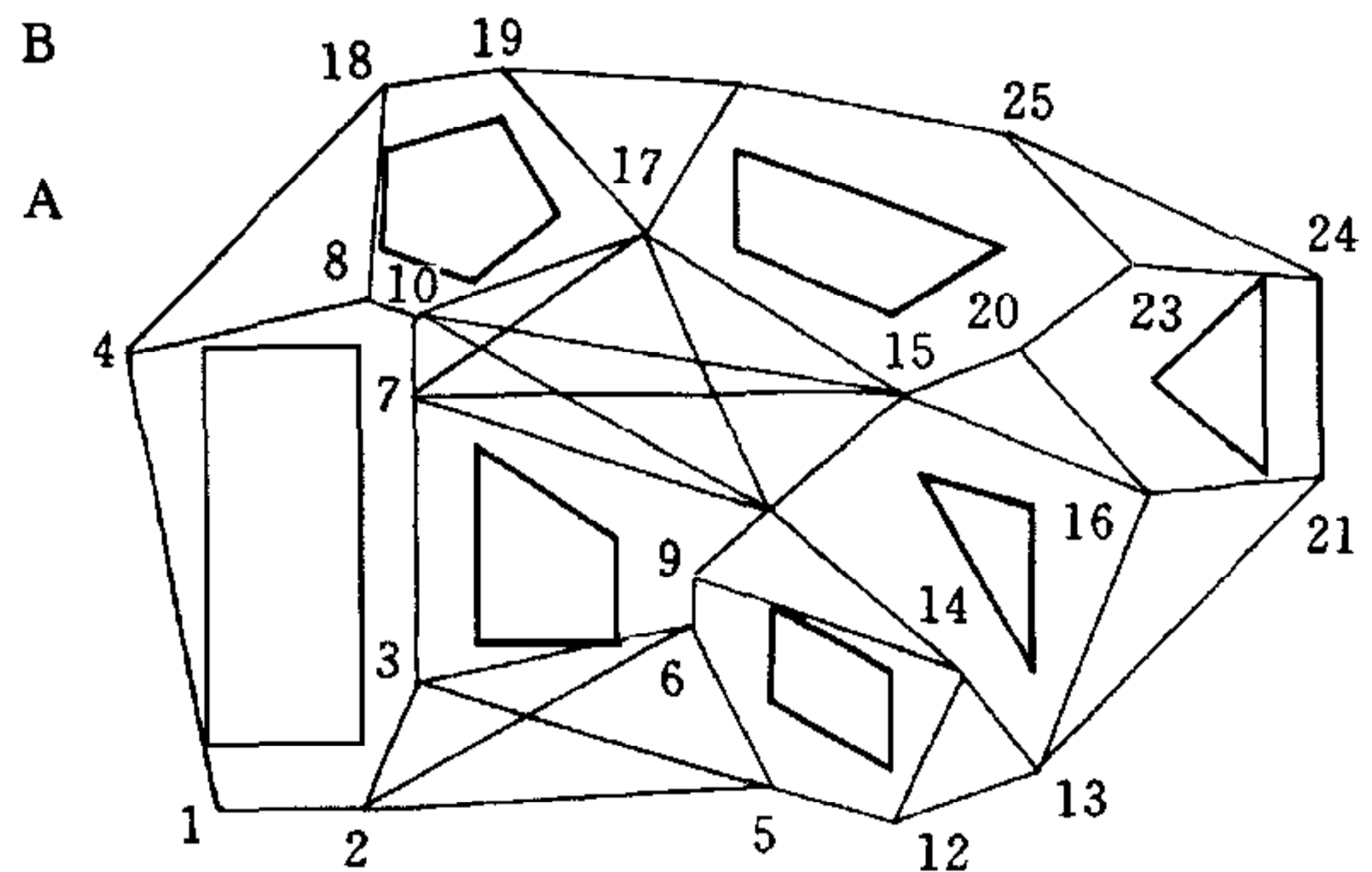


图1 机器人工作空间链接图

3 路径规划算法

3.1 编码方法

取网络图中路径点的标识序列数作为路径编码.若起始点或终止点不在网络图上,则从该点向临近的路径点做链接线,并将该点作为一个新的网络图路径点.

3.2 遗传算法

1) 初始路径集的产生

如图1所示,机器人 A、B 的初始路径产生过程如下:从起始点出发,随机选取与起始点相邻的一个点作为下一路径点,如此反复,直到找到终点为止.在一条路径的产生过程

中,为避免产生重复路径,规定当一个路径点选中以后,随后的随机选点操作将忽略该点,即认为该点与其它点的边长为 ∞ .若选择一点后,尽管该点不是终点,但该点的所有邻接点都已在前面的步骤中选择过,那么该点作为无效点,再退回到前一点,重新选择.

设机器人 A, B 的初始路径集分别表示为:

$$r_A = \{r_{a1}, r_{a2}, \dots, r_{aN}\}, r_B = \{r_{b1}, r_{b2}, \dots, r_{bN}\}. \quad (1), (2)$$

2) 适应值的确定

设 r_A, r_B 中个体 r_{ai}, r_{bj} 的路径长度分别为 $L(r_{ai}), L(r_{bj})$. 对单机器人路径规划,可以将每条路径的长度作为其适应值.但在多机器人系统中,为了避免机器人之间的相互碰撞,还要考虑各移动机器人之间协调问题.

设当一台机器人在两路径点之间的边运动时,另一台机器人不能以相反方向进入该边,而只能在该边的另一端等待,直到先进入该条边的机器人走出该边;若两台机器人同时到达一条边的两端,则按优先级别确定先后顺序.设 r_{ai}, r_{bj} 两条路径协调后,对应 r_{ai} 的等待时间为 t_{aij} ,对应 r_{bj} 的等待时间为 t_{bji} ,相应的距离为

$$w_{aij} = v \cdot t_{aij}, w_{bji} = v \cdot t_{bji}, \quad (3), (4)$$

式中 v 表示机器人运动速度,此处认为机器人的移动速度不变,故路径最短与时间最短等价.从而得到两个适应值调整矩阵 M_a, M_b 为

$$M_a = \begin{bmatrix} w_{a11} & w_{a21} & \dots & w_{aN1} \\ w_{a12} & w_{a22} & \dots & w_{aN2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{a1N} & w_{a2N} & \dots & w_{aNN} \end{bmatrix}, M_b = \begin{bmatrix} w_{b11} & w_{b21} & \dots & w_{bN1} \\ w_{b12} & w_{b22} & \dots & w_{bN2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{b1N} & w_{b2N} & \dots & w_{bNN} \end{bmatrix}. \quad (5), (6)$$

M_a 中第 i 列表示 $r_{bj} (j=1, 2, \dots, N)$ 对 r_{ai} 的影响, M_b 中第 j 列表示 $r_{ai} (i=1, 2, \dots, N)$ 对 r_{bj} 的影响;将各路径长度加到 M_a, M_b 中相应的列,得到局部适应值矩阵 F_a, F_b 如式(7), (8)所示

$$F_a = \begin{bmatrix} L(r_{a1}) + w_{a11} & L(r_{a2}) + w_{a21} & \dots & L(r_{aN}) + w_{aN1} \\ L(r_{a1}) + w_{a12} & L(r_{a2}) + w_{a22} & \dots & L(r_{aN}) + w_{aN2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ L(r_{a1}) + w_{a1N} & L(r_{a2}) + w_{a2N} & \dots & L(r_{aN}) + w_{aNN} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$F_b = \begin{bmatrix} L(r_{b1}) + w_{b11} & L(r_{b2}) + w_{b21} & \dots & L(r_{bN}) + w_{bN1} \\ L(r_{b1}) + w_{b12} & L(r_{b2}) + w_{b22} & \dots & L(r_{bN}) + w_{bN2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ L(r_{b1}) + w_{b1N} & L(r_{b2}) + w_{b2N} & \dots & L(r_{bN}) + w_{bNN} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

若记 F_a, F_b 矩阵中的元素 $L(r_{ai}) + w_{aij} = g_{aij}, L(r_{bi}) + w_{bij} = g_{bij}$,则(7), (8)式可写为

$$H = F_a + F_b^T = \begin{bmatrix} g_{a11} + g_{b11} & g_{a21} + g_{b12} & \dots & g_{aN1} + g_{b1N} \\ g_{a12} + g_{b21} & g_{a22} + g_{b22} & \dots & g_{aN2} + g_{b2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{a1N} + g_{bN1} & g_{a2N} + g_{bN2} & \dots & g_{aNN} + g_{bNN} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

式(9)得到的 H 矩阵是多机器人系统的总体适应值矩阵.矩阵中的元素 $g_{aij} + g_{bji}$ 表示机器人 A 与机器人 B 路径协调后的适应值之和.

多机器人系统的优化是指对其总体进行优化,即总体适应值达到最小

$$(g_a + g_b) = \min\{g_{aij} + g_{bij} | i, j \in (1, 2, \dots, N)\}. \tag{10}$$

r_A 中 r_{ai} 的总体适应值是 H 矩阵中第 i 列中值最小的元素对应的 g_{aij}^{-1} (设该列中最小的元素在第 j 行). r_B 中 r_{bj} 的总体适应值是 H 矩阵中第 j 行中值最小的元素对应的 g_{bji}^{-1} (设该行中最小的元素在第 i 列).

记 $g_{aij}^{-1} = g_{ai}^{-1}, g_{bji}^{-1} = g_{bj}^{-1}$, 得到各路径集分别对应的适应值集合, 集合中每个元素分别对应一条路径的总体适应值

$$g_a = \{g_{a1}^{-1}, g_{a2}^{-1}, \dots, g_{aN}^{-1}\}, g_b = \{g_{b1}^{-1}, g_{b2}^{-1}, \dots, g_{bN}^{-1}\}. \tag{11), (12)}$$

3) 复制操作

r_A, r_B 的适应值分别如式(11), (12)所示. 对于 r_A 中的第 i 条路径 r_{ai} 被选中的概率为

$$p_{ai} = g_{ai}^{-1} / \sum_{i=1}^N g_{ai}^{-1}; \tag{13}$$

对于 r_B 中的第 i 条路径 r_{bi} 被选中的概率为

$$p_{bi} = g_{bi}^{-1} / \sum_{i=1}^N g_{bi}^{-1}. \tag{14}$$

按概率 p_{ai}, p_{bi} 分别对 r_A, r_B 两个路径集进行复制, 生成新的个体集 r'_A, r'_B .

4) 交叉操作

个体集 r'_A, r'_B 进行重合点交叉^[5], 生成新的个体集 r''_A, r''_B .

5) 变异和移民操作

变异和移民操作均以小概率0.1进行, 主要防止提前收敛.

6) 结束条件判断

第5)产生的个体集 r'''_A, r'''_B , 按照与2)相同的方式分别确定它们的总体适应值, 得到下一代优化结果. 若本代优化结果与上一代优化结果相比, 其误差在允许范围之内; 或遗传代数达到预先设定的次数, 则终止遗传操作, 输出最优结果; 否则转步骤3).

4 仿真研究

基于上述方法, 在 Windows95环境下, 应用 VC++4.0开发成功多机器人运动规划仿真系统. 对图1所示的环境条件, 不同情况的优化结果分别如图2和图3所示.

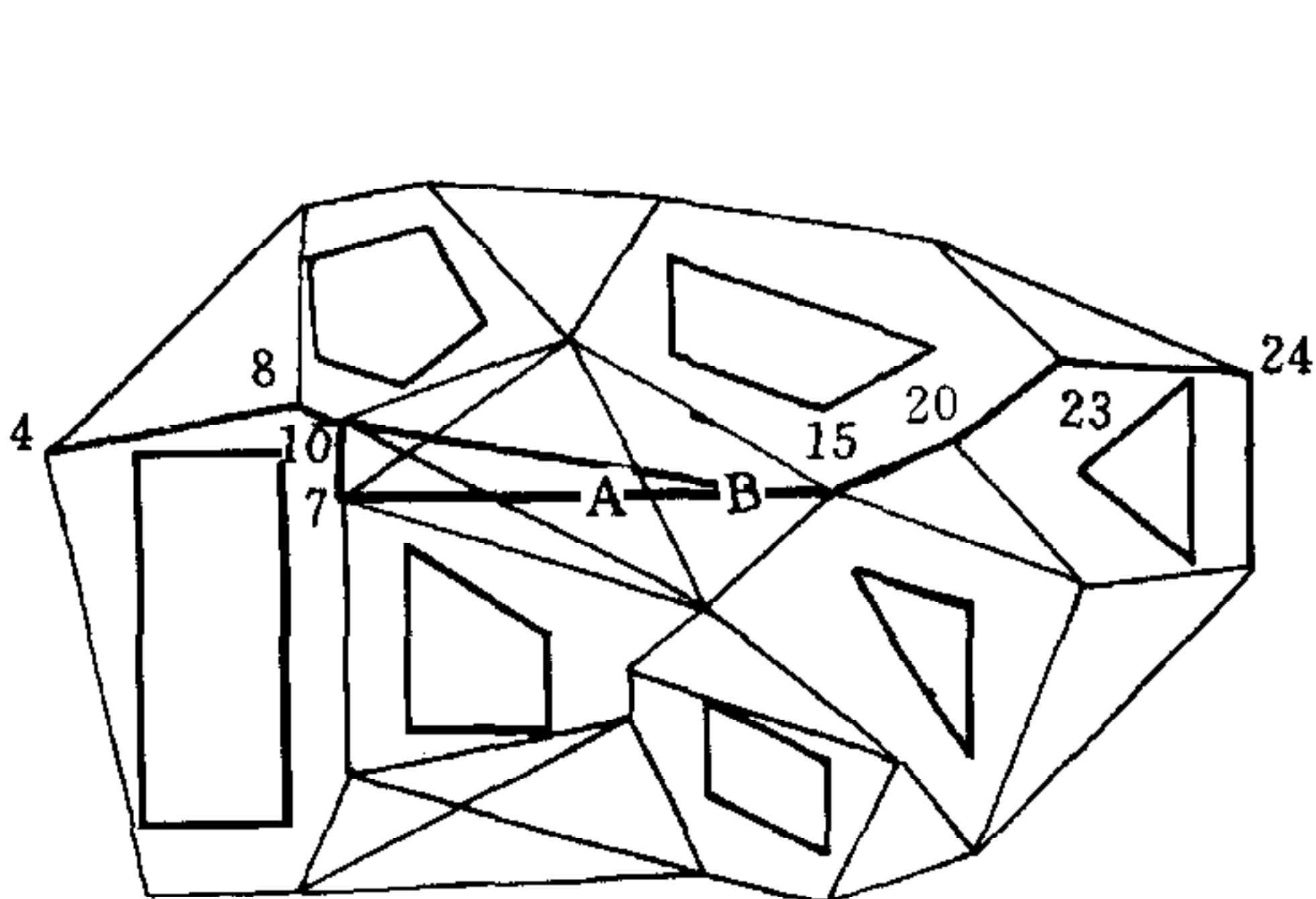


图2 优化仿真结果1

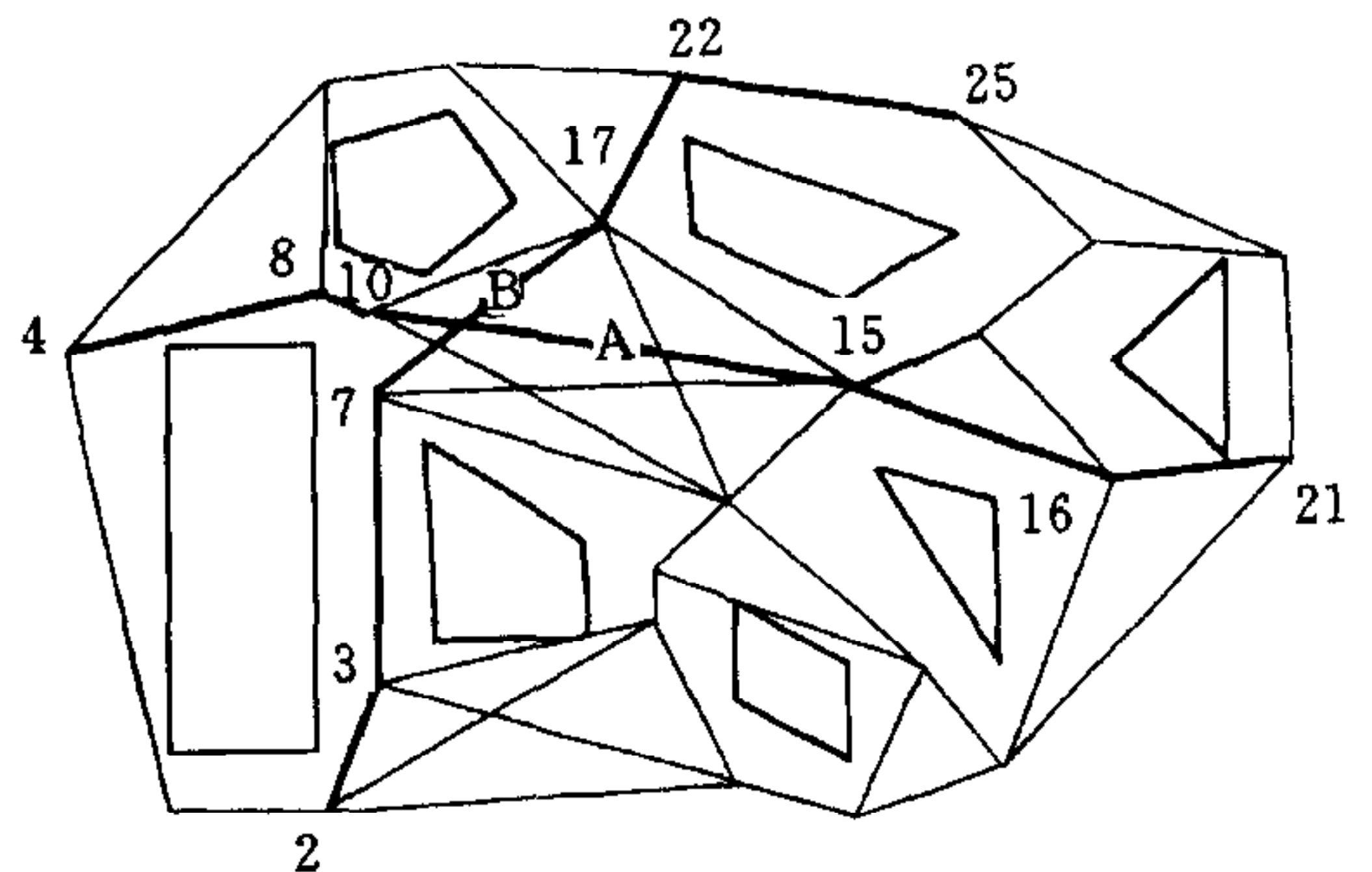


图3 优化仿真结果2

图2中机器人 A,B 的起始点与终止点恰好相反,分别为4,24和24,4.图2中粗线所示即为优化结果,机器人 A 路径为:4-8-10-15-20-23-24,机器人 B 运动路径为24-23-20-15-7-10-8-4.显而易见,从点4到点24的最短路径就是机器人 A 所走路径,机器人 B 为了避免与机器人 A 在10-15路径段相碰,绕道15-7-10,此结果即是给定条件下的最优解.

图3中机器人 A 和 B 的起始点与终止点分别为:4,21和25,2,图中粗线所示即为优化结果.从图中可见,虽然机器人 A 与机器人 B 路径相交,但它们到达相交点的时间不同,所以机器人 A 与 B 的运动路径就是图中最短路径.

5 结 论

1) 本文采用链接图法标识多机器人二维工作空间,简单易行.

2) 以链接图顶点序列号作为机器人路径和遗传算法编码,简化了路径表示方法,便于遗传算子操作.

3) 引入的适应值调整矩阵,较好解决了多机器人路径规划相互避碰问题.仿真结果进一步说明算法的有效性.

参 考 文 献

- 1 Cao Y U, *et al.* Cooperative Mobile Robotics; Antecedents and Directions. In: Proc. IEEE Inter. Conf. on Robotics and Automation, 1995. 226~234
- 2 Shibata T, Fukuda T. Coordination in evolutionary multi-agent robotic system using fuzzy and genetic algorithms. *Control Engineering Practice*, 1994, **2**(1):103~111
- 3 Sugihara K, Suzuki I. Distributed algorithms for formation of geometric patterns with many mobile robots. *J. Robotics System*, 1996, **13**(3):127~139
- 4 Hwang Y, Ahuja N. Gross motion planning—A survey. *ACM Computing Surveys*, 1992, **24**(3):219~289
- 5 孙树栋,曲彦宾. 遗传算法在机器人路径规划中的应用研究. 西北工业大学学报,1998, **16**(1):79~83
- 6 吴晓涛,孙增圻. 用遗传算法进行路径规划. 清华大学学报(自然科学版),1995, **35**(5):14~19
- 7 Habib M K, Asama H. Efficient method to generate collision free paths for autonomous mobile robot based on new free space structuring approach. In: Proc. IEEE/RSJ IROS, 1991. 563~567

孙树栋 1963年生. 博士、教授、博士生导师. 目前主要从事机器人及其智能控制、现代集成制造系统、工业工程等方面的研究工作. 负责并完成各类基金及攻关项目30余项,研究成果获国家科技进步二等奖1项,部级科技进步一、二等奖各1项. 发表学术论文40余篇,专著2部,教材3部.

林 茂 1972年生. 硕士. 主要研究领域包括:机器人控制、计算机应用.