

改进粒子群算法的潜器导航规划

唐小勇, 于 飞, 潘洪悦

(哈尔滨工程大学 理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:针对粒子群算法的寻优搜索能力强和已有的一些导航算法存在收敛速度慢、迭代时间长的缺点,提出一种基于粒子群算法的潜器导航算法。利用群智能理论,对基本粒子群算法进行改进:提出一个含突变因子的可变调的惯性权值策略,从而达到增强粒子群算法局部和全局寻优的调度能力。通过实验仿真验证,证明了改进粒子群算法具有更优的性能。在此基础上,将该算法应用到水下潜器的路径规划中,通过对环境的建模分析进行条件约束,最终将路径规划问题转化为路径点求解的优化问题。实验仿真结果获得了从起点到终点的无碰撞路径,收敛速度也较快,验证了该方法的有效性和可行性。

关键词:潜器导航;路径规划;粒子群算法

中图分类号:TP242.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-4785(2010)05-0443-06

Submersible path-planning based on an improved PSO

TANG Xiao-yong, YU Fei, PAN Hong-yue

(College of Science, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: To overcome the shortcomings in slow convergence speed and long iteration time in the existing algorithms, take advantage of the searching ability of a particle swarm optimization (PSO), a new navigation algorithm was created based on PSO. First, the theory of swarm intelligence was used to improve the basic PSO algorithm: proposing a transformable inertia weight which contains a mutation factor to improve the PSO, and thereby enhancing the local and global optimum capability of PSO. Through experimental simulation and validation, the better performance of the improved PSO (IPSO) was proven. On this basis, the IPSO was used in path planning of an underwater vehicle. By using modeling analysis of space and adding constraint conditions, the path planning problem was converted into an optimization problem concerning solutions of path points. Finally, through experimental simulation, a collision-free path from start to finish was given, proving the validity and feasibility of this method.

Keywords: submarine navigation; path-planning; particle swarm optimization

导航规划是潜器智能化航行的关键技术之一。潜器的导航规划分为静态环境下的导航规划和动态环境下的导航规划。其中,静态环境下的导航规划需要在规划前获得完整的环境信息,目前静态环境下的导航规划有许多解决方法,如人工势场法、可视图法等,这些都得到了广泛应用^[1];而动态规划不仅要事先得知一些情况,还必须要有及时的突发事件处理系统,在理论和计算上相对比较复杂,必须具体问题具体分析,目前成型的算法较少。近年来,随着智能算法的发展,许多智能算法也被应用到潜器的导航规划中,如

遗传算法、神经网络算法等^[2-4],虽然这些算法都有其自身的优点,但同时也存在一定的局限性,因此,根据不同的环境信息和性能指标选取不同的算法是提高导航规划能力的有效途径。另外,在导航规划的建模方面已有很多方法^[5-6],本文在已有建模方法的基础上提出一种更为简捷的导航规划方法,并结合改进的粒子群优化算法,获得全局最优路径。

1 标准粒子群算法及其改进

1.1 标准粒子群算法

粒子群算法(PSO)是由 Eberhart 和 Kennedy 于 1995 年提出的基于群体智能行为的一种进化算法^[7]。在粒子群算法中,每个优化问题的解都是搜

索空间中一个“粒子”,每个粒子都有一个由被优化函数决定的适应值(fitness value),同时还有一个速度决定它们的飞行方向和距离.粒子根据自身及同伴的飞行经验进行动态调整,粒子群算法运行过程中,随机产生一个初始种群并赋予每个粒子一个随机速度,并根据式(1)来更新粒子的速度和位置.

$$\begin{aligned} V_{ij}(t+1) &= \omega V_{ij}(t) + c_1 r_1 (p_{ij} - X_{ij}) + \\ &\quad c_2 r_2 (p_{gj} - X_{ij}), \\ X_{ij}(t+1) &= X_{ij}(t) + V_{ij}(t+1). \end{aligned} \quad (1)$$

式中: V 表示粒子的速度, X 表示粒子的位置, c_1 、 c_2 表示学习因子,通常取 $0 \sim 2$, r_1 、 r_2 服从 $(0,1)$ 中的均匀分布, ω 为惯性权重, p_{ij} 、 p_{gj} 分别为粒子自身和整个种群目前找到的最优位置.

与传统的进化算法相比,粒子群算法具有原理简单,易于实现,需要调节的参数较少等优点,目前广泛应用于函数优化、模式分类、优化神经网络训练等各领域,因此,将粒子群算法引入导航规划问题中必将在控制领域中拥有广阔的前景.

1.2 改进粒子群算法介绍

对于函数优化问题,标准粒子群算法在算法迭代后期通常全局搜索能力不足,收敛速度慢,结果导致找到最优解的精度较差或无法搜寻到最优解,尤其是多峰函数^[8].故针对此问题对粒子群算法进行改进:1)对惯性权重改进以增加算法的搜索能力;2)对PSO的速度更新公式进行重新调整,使优秀粒子的信息能够得到共享.大量文献证明:较大的惯性权重能够加强PSO的全局搜索能力,较小的惯性权重能够加强PSO的局部搜索能力.故在算法优化时,需要尽快地确定最优解的大致位置,然后进行精细的局部搜索,基于上述思想,对惯性权重进行重新构造:

$$\begin{aligned} w(t) &= (w_{\max} - w_{\min})/t^k + w_{\min}, \\ t &\in \{1, 2, \dots\}, k \in (0, 1). \end{aligned}$$

式中: w_{\max} 和 w_{\min} 是最大、最小惯性权值, t 是当前迭代次数.

可以证明:在一定范围内, $w(t) \in (w_{\min}, w_{\max})$,并且满足:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} w(t) = w_{\min}.$$

由于在通常情况下, $w_{\max} = 0.95$, $w_{\min} = 0.3$,在 t 大于一定数时, $w(t)$ 会趋近于 w_{\min} .而粒子群优化算法一般情况下 T_{\max} 都不会很大,因此,应用这种惯性权值的变换方法在理论上具有可行性.其曲线变化图形如图1所示.

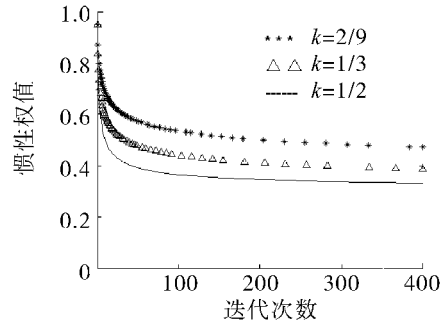


图1 不同 k 值的惯性权值变化曲线

Fig. 1 The variation graph of inertia weight for different k

图1中,可以看出,当 $k \in (0, 1)$, $t \in [1, 100]$ 时,在双曲线函数调整下,惯性权值递减的速度很快,非常适合于模糊的全局搜索或者是不太复杂的问题;同时,还显示出:当 k 越小, $w(t)$ 的变化越缓慢,特别是在后期,速度改变的加速度就越小,这样的变化很适合精细的局部搜索或者是比较复杂的问题.因此在实际中,对于不同的问题,可以适当地选择 k 以适应各种环境问题,或者也可以利用函数的合成形式进行优势组合.如图2所示.

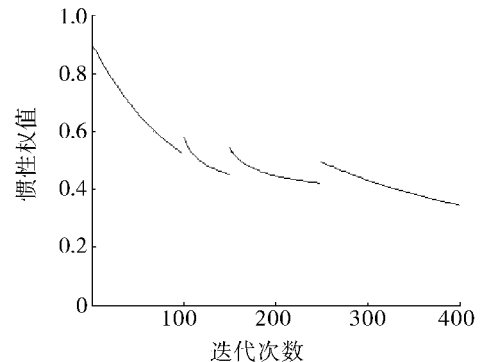


图2 合成函数的惯性权值变化曲线

Fig. 2 The variation graph of inertia weight for blending function

图2是合成函数变化惯性权值的示意图,这里要提出一个突变因子,在满足条件是进行函数转换,定义向上跳变因子 E_G :

$$E_G = \frac{p_{g(t+5)} - p_{g(t)}}{p_{g(t)} - p_{g(t-5)}},$$

平缓突变因子 T_G :

$$T_G = p_{g(t)} - p_{\text{best}}.$$

式中: $p_{g(t)}$ 为第 t 次搜索得到的最优值, p_{best} 为全局最优值.当迭代次数满足事先设定的值时(如 $k = k_1, k_2, \dots, k_s$),通过判断条件 $T_G < \varepsilon$ 和 $1 - \delta < E_G < 1 + \delta$ (其中 ε, δ 为事先设定的比较小的数)的真假,从而达到突变的目的.

2 改进型算法与原算法性能比较

对于改进型算法的优劣性,从收敛速度、最优适应值的变化情况以及达到满足精度要求的粒子数量3个方面来进行比较.试验中所用到的仿真函数为

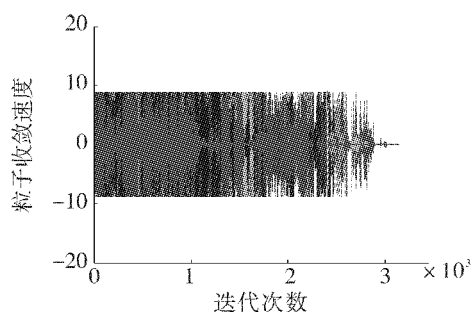
1)单峰函数:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i) + 10);$$

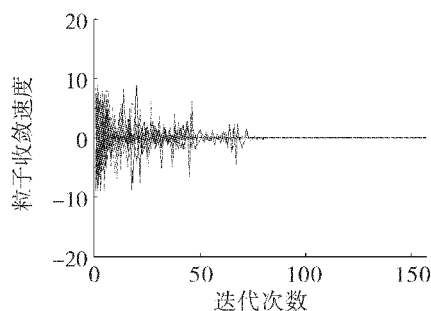
2)多峰函数:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2).$$

图3~4是从迭代收敛速度上进行比较的,可以看出:改进型算法在收敛速度上具有很明显的优势;图5~6是从目标函数的适应值收敛情况来进行分析的,结果可以看出,改进型算法的适应值呈现出严格递减的趋势,这也从侧面反应出了算法的收敛速度快.表1反应的是粒子性能,在一定的精度要求下,查看粒子群体的收敛精度,有数据可以看出改进型算法能满足一定的要求.总之,改进粒子群算法无论是对单极值还是对多极值问题,它的收敛速度都明显高于标准粒子群算法,这就说明改进的粒子群算法与标准粒子群算法相比,具有更优的性能.



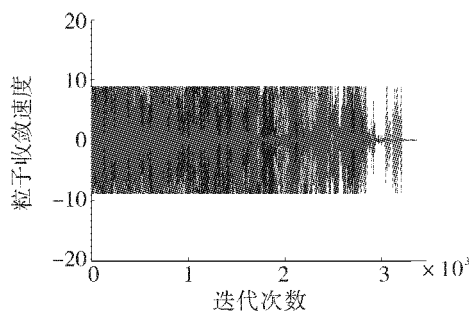
(a)基本算法



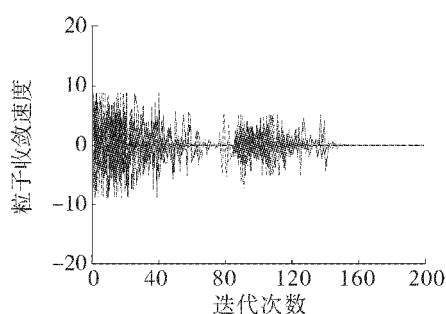
(b)改进型算法

图3 改进型算法在单峰函数上收敛速度比较

Fig.3 The convergence rate comparison on the unimodal function for the improved optimization



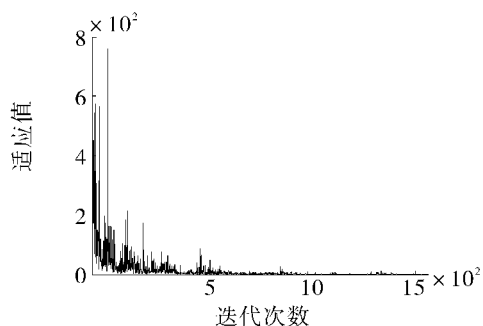
(a)基本算法



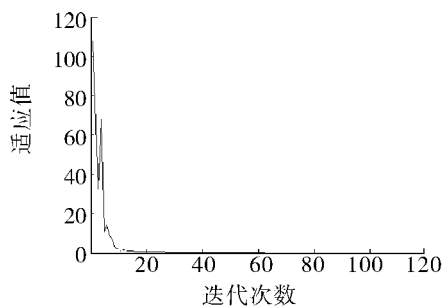
(b)改进型算法

图4 改进型算法在多峰病态函数上收敛速度比较

Fig.4 The convergence rate comparison on the multimodal function for the improved optimization



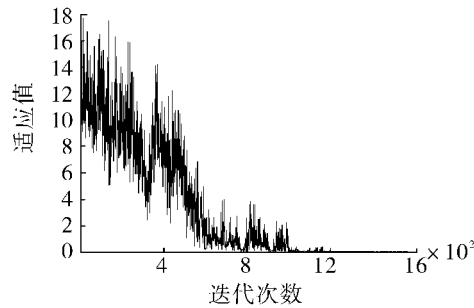
(a)基本算法



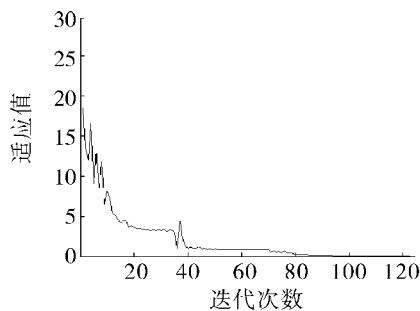
(b)改进型算法

图5 改进型算法在单峰函数上的适应值变化

Fig.5 The adaptive value comparison on the unimodal function for improved optimization



(a) 基本算法



(b) 改进型算法

图6 改进型算法在多峰函数上的适应值变化

Fig. 6 The adaptive value comparison on the multimodal function for improved optimization

表1 实例数据分析

Table 1 Data analysis for example

次数	单峰函数		多峰病态函数	
	基本算法	改进型算法	基本算法	改进型算法
100	2	25	3	27
300	11	30	15	30
1 000	20	30	18	30
3 000	28	30	27	30
6 000	30	30	30	30
全部达到	4 120	112	4 512	96

注:此表中的数据是指在精度0.01时,达到要求的粒子数目。

3 导航规划环境建模方法

3.1 环境建模

为了实现导航规划算法,对障碍物的建模方法应当尽量使其简单、易处理,使其符合时效性的特点。因此,不考虑海洋环境对潜器的影响。为了使其接近水下潜器的工作环境,将障碍物用其外接圆代替:对一个 N 边形的障碍物,将其各顶点连线的最大值作为外接圆的直径,最大连线的中点即为圆心。并且对潜器在空间中运动做如下假设:1)潜器在水下同一深度平面内运动;2)环境空间中分布有限个已知的静态障碍物,且不考虑障碍物的高度信息;

3)将潜器视为质点,障碍物的尺寸作适当拓展^[9]。设 S 为起始点, G 为目标点,每个障碍物在 XY 平面内的圆心、半径已知。若以每个障碍物圆心的横坐标为定值,纵坐标为变量,则可产生如图7中平行于纵轴的虚线。潜器从起始点 S 到目标点 G 的无碰路径即为寻找一个可行点的集合: $P = \{S, P_1, P_2, \dots, P_m, G\}$,其中 P_i 必须满足:1) P_i 为非障碍点;2) P_i 与相邻点的连线必须为可行路径,即2点之间的连线不存在障碍。障碍物建立模型如下:

设起始点 S 和目标点 G 的坐标分别为 (X_0, Y_0) 和 (X_N, Y_N) ,可行点 $P_i = (X_i, Y_i)$,则得到函数:

$$D = D_{SP_1} + \sum_{i=1}^{m-1} D_{P_i P_{i+1}} + D_{P_m G} = \sum_{i=0}^m D_{P_i P_{i+1}}.$$

式中: $D_{P_i P_{i+1}}$ 表示点 P_i 和点 P_{i+1} 之间的距离,以坐标表示:

$$D = \sum_{i=0}^m \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2}.$$

那么,导航规划的最终目标就转化为对该路径函数进行优化求解,即在 $Y_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 的取值空间中寻找一组数值,使得路径最短,其中点 P_i 和点 P_{i+1} 为非障碍点,且其连线不能存在障碍物。

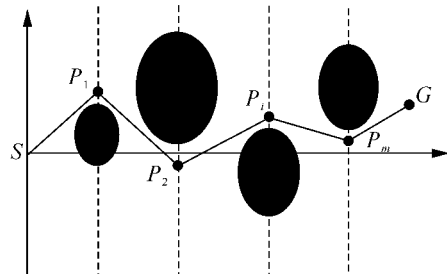


图7 障碍物环境建模示意图

Fig. 7 Modeling of the space

3.2 避碰检测

避碰检测的目的是判断当前的粒子所代表的路径是否为可行路径。由于规划出的路径是由分段子路径组合而成的,且子路径可以用相邻顶点的直线来表示^[10]:

$$L: ax + by + c = 0.$$

式中: $a = y_i - y_{i-1}$, $b = x_{i-1} - x_i$, $c = x_i \cdot y_{i-1} - x_{i-1} \cdot y_i$ 。那么,是否与障碍物相撞就可以依据障碍物的圆心到直线的距离 d 与障碍圆的半径 $r(k)$ 之间的关系来判断:若障碍物满足条件 $d > r(k)$,则此路径为可行路径;若障碍物满足条件 $d \leq r(k)$,则此路径为非可行路径,即潜器与障碍物碰撞。

3.3 导航规划算法的实现流程

- 1) 算法参数设定.
- 2) 出于避障考虑,对障碍物进行适当拓展.
- 3) 随机初始化每维粒子的位置、速度(初始化不仅要考虑边界约束,还要考虑避障),及每维粒子的个体最优位置 P_i 和所有粒子的全局最优位置 P_g .
- 4) 更新粒子的速度,并进行边界约束(若粒子的速度超出 $[-V_{max}, V_{max}]$,则以其边界值代替,更新粒子的位置,约束条件与 3) 类似.
- 5) 避碰检测. 检测粒子每一维 X_{id} 是否落入障碍物中,两相邻顶点的连线是否为可行路径. 若不能满足条件,则令 $X_{id}(t+1) = X_{id}(t)$.
- 6) 对每个粒子 X_i ,求其适应值,更新 P_{ij} 和 P_{gi} .
- 7) 若算法达到最大迭代次数或者满足精度要求,则结束,否则转 4).

4 仿真结果及分析

基于所提出的方法,在 AMD 2.4GHz 双核、1GB 内存的 PC 机上用 Matlab7.0 进行仿真实验. 潜器用一个质点来表示,障碍物按其尺寸大小进行相应扩张. 潜器工作区域为 28×22 的矩形区域. 粒子群维数为 $n=3$,粒子数为 30. 惯性权重 ω 如式(3)所示,随着迭代次数从 0.85 非线性递减到 0.3,迭代次数定为 1 000 次,以从起点到终点的无碰撞路径长度最短为优化目标,仿真结果如图 8 所示. 该方法建模容易,理论简单,可在不同的障碍物环境下得到不同的优化轨迹,在全局路径规划中有一定可行性. 该方法可有效地解决潜器路径规划及避障问题.

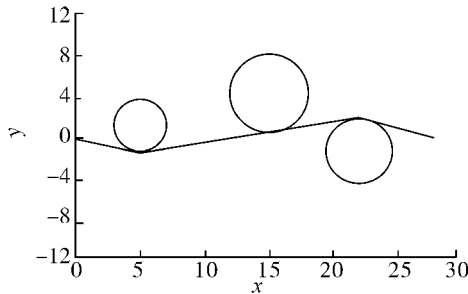


图 8 仿真实验结果

Fig. 8 Simulation results

图 8 反映出改进算法实现了无碰撞距离最短的路径规划. 从表 2 可以看出,经过改进的算法在最优解方面与标准粒子群算法一致,这主要是由被优化函数的极值决定的(对于多峰函数,改进的粒子群算法具有明显的优越性). 最显著的优势是其平均

收敛速度有了明显的提高.

表 2 改进的粒子群算法与标准粒子群算法性能比较

Table 2 The performance comparison of the improved PSO

起始点	终点	算法	平均最优解	平均收敛速度
(0,0)	(28,0)	Bpso	28.607 2	760
(0,0)	(28,0)	Mpso	28.607 2	138
(0,0)	(26,-2)	Bpso	28.160 7	780
(0,0)	(26,-2)	Mpso	28.160 7	68
(0,0)	(26,1)	Bpso	28.408 5	940
(0,0)	(26,1)	Mpso	28.408 5	280

5 结束语

相比于基本粒子群算法,本文对粒子群算法的改进,使得粒子群算法在保持自身优点的情况下,在收敛速度以及种群多样性的增加方面得到了提高. 仿真实验结果获得了从起点到终点的无碰撞路径,证实了该方法的有效性和可行性. 本文仅就静态已知环境下的导航规划进行了建模与仿真,对于动态实时环境以及海底三维环境条件下的导航规划还有待进一步研究.

参考文献:

[1] 肖本贤,李善寿,王晓伟,等. 基于 PSO 和人工势场的机器人路径规划[J]. 合肥工业大学学报, 2007, 30(6): 718-722.
XIAO Benxian, LI Shanshou, WANG Xiaowei, et al. Path planning of mobile robots based on PSO and APF[J]. Journal of Hefei University of Techenology, 2007, 30 (6): 718-722.

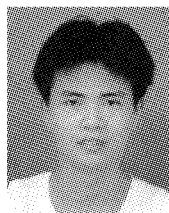
[2] 张帆,周庆敏. 基于遗传算法的移动机器人路径规划仿真[J]. 微计算机信息, 2008, 24(6): 267-268, 284.
ZHANG Fan, ZHOU Qingmin. A method based genetic for path of a mobile robot[J]. Microcomputer Information, 2008, 24(6): 267-268, 284.

[3] SARIMVEISH H, ALEXANDRIDIS A, MAZARAKISS, et al. A new algorithm for developing dynamic radial basis function neural network models based on genetic algorithms [J]. Computers and Chemical Engineering, 2004, 28 (1/2): 209-217.

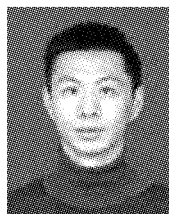
[4] 宋勇,李贻斌,栗春,等. 基于神经网络的移动机器人路径规划方法[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(2): 316-319.
SONG Yong, LI Yibin, LI Chun, et al. Path planning

- methods of mobile robot based on neural network[J]. Systems Engineering and Electronics, 2008, 30(2): 316-319.
- [5] 张建英, 刘瞰. 基于人工势场法的移动机器人最优路径规划[J]. 航空学报, 2007, 8(2): 45-48.
- ZHANG Jianying, LIU Tun. Optimized path planning of mobile robot based on artificial potential field[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2007, 8(2): 45-48.
- [6] 孙波, 陈卫东, 席裕庚. 基于粒子群优化算法的移动机器人全局路径规划[J]. 控制与决策, 2005(9): 1052-1055.
- SUN Bo, CHEN Weidong, XI Yugeng. Particle swarm optimization based global path planning for mobile robots[J]. Control and Decision, 2005(9): 1052-1055.
- [7] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization [C]//IEEE International Conference on Neural Networks. San Diego, USA, 1995: 1942-1948.
- [8] KENNEDY J, MENDES R. Neighborhood topologies in fully informed and best of neighborhood particles swarm [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews, 2006, 36(4): 515-519.
- [9] 郭冰洁, 徐玉如, 李岳明. 水下机器人 S 面控制器的改进粒子群优化[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2008, 29(12): 1277-1281.
- GUO Bingjie, XU Yuru, LI Yueming. S surface controller for underwater vehicles using particle swarm optimization [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2008, 29(12): 1277-1281.
- [10] 毛宇峰, 庞永杰, 李晔, 等. 速度矢量坐标系下水下机器人动态避障方法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2010, 31(2): 159-164.
- MAO Yufeng, PANG Yongjie, LI Ye, et al. Using a velocity vector coordinate method for dynamic obstacle avoidance of autonomous underwater vehicles [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2010, 31(2): 159-164.

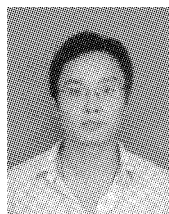
作者简介:



唐小勇, 男, 1985 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为群智能算法。



于 飞, 男, 1974 年生, 教授、博士生导师, 主要研究方向为系统仿真与建模。目前承担国家自然科学基金项目 2 项, 博士后基金项目 1 项, 发表学术论文 10 余篇。



潘洪悦, 男, 1985 年, 硕士研究生, 主要研究方向为粒子群优化算法。

《机器人技术与应用》介绍

《机器人技术与应用》是由国家 863 机器人技术主题专家组和北方科技信息研究所共同主办的一本综合信息类刊物, 是我国惟一一本介绍机器人信息, 传播机器人知识的刊物。本刊为国际机器人联合会(IFR)会员单位, 创刊于 1988 年, 是中国学术期刊(光盘版)与《中国期刊网》全文收录期刊, 在国内自动化领域享有很高的声誉。

《机器人技术与应用》主要报道工业自动化、智能化机械及零部件、数控机床、机器人技术领域所取得的新技术、新成果、科技动态与信息。传播企业信息和市场行情, 交流业内创新成果, 推动行业技术进步。主要栏目有专家访谈、企业家访谈、主题工作动态、产品介绍、机器人比赛及综述等, 涵盖面广, 集知识性与趣味性于一体, 具有很强的技术性和可读性。读者对象主要是从事自动化、工程机械、数控机床、机械等行业的广大管理人员、技术人员、销售人员以及院校师生和机器人爱好者。

希望更多的企业和个人与我们一起发展中国的机器人行业, 提升中国装备制造业的智能化、信息化水平, 使机器人技术能够在我国国家经济建设中发挥更大的作用, 使中国由制造大国迈向制造强国。

国内统一刊号: CN 11-3520/TP, 邮发代号 82-675, 双月刊, 大 16 开本, 48 页。定价 10.00 元/本, 全年定价 60.00 元。

通讯地址: 北京 2413 信箱 41 分箱《机器人技术与应用》杂志社(100089)

电话/传真: (010)68961813

邮 箱: robot@onet.com.cn

网 址: www.rta.org.cn