

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.02.020

基于 IAPF 与多层 Morphin 搜索树的 移动机器人路径规划*

王 伟 陈跃东 陈孟元

(安徽工程大学 安徽省电气传动与控制重点实验室 芜湖 241000)

摘要:针对传统人工势场法(artificial potential field, APF)的易出现振荡、死区、局部极小值等缺陷。提出一种结合机器人位置、速度、加速度及障碍物位置等信息的改进人工势场法(improved artificial potential field, IAPF)。利用 Morphin 算法计算效率高、易结合全局路径规划算法的优点,提出一种多层 Morphin 搜索树算法。首先,利用改进人工势场法完成路径的全局规划,在此基础上在障碍物附近用多层 Morphin 搜索树算法进行路径规划。利用 MATLAB 仿真测试表明,所提出的改进人工势场法与多层 Morphin 搜索树的混合算法,在移动机器人自主路径规划中,能有效缩短路径长度,提高到达目标点的效率,高效完成路径规划。

关键词:改进人工势场法;多层 Morphin 搜索树算法;路径规划

中图分类号: TP242.6; TN209 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8050

Mobile robot path planning based on IAPF and multilayer Morphin searching tree

Wang Wei Chen Yuedong Chen Mengyuan

(Anhui Polytechnic University, Anhui Key Laboratory of Electric Drive and Control, Wuhu 241000, China)

Abstract: Aiming at the imperfections of traditional artificial potential field (APF) method such as vibration, dead zone, local minimum, improved artificial potential field (IAPF) method with a combination of robot position, speed, accelerated speed, and obstacles' position is presented. Taking advantage of the Morphin algorithm, which is high efficiency and easy to combine the global path planning algorithm, multilayer Morphin search tree algorithm is presented. First, IAPF method is used to complete the path of global planning. On this basis, the multilayer Morphin searching tree algorithm is used for path planning nearby obstacle. MATLAB simulation tests show that the mixed algorithm with IAPF and multilayer Morphin search tree algorithm can effectively shorten the path length and improve the efficiency to reach the target in the autonomous mobile robot path planning, efficiently complete path planning.

Keywords: improved artificial potential Field; multilayer Morphin searching tree; path planning

1 引 言

随着时代的发展,很多工作场所已不适应人类进行工作,如爆炸现场、核辐射区等。机器人替代人类进行某些高危工作的需求越来越高^[1-2]。移动机器人的路径规划是指在存在障碍物、目标点的部分已知环境中,以在线

方式规划一条能够到达终点的无碰撞最优或近似最优的机器人运动轨迹^[3-4]。目前,机器人的避障方法主要有模版匹配法、人工势场法(APF)法和地图构建法等。

文献[5]以栅格法为基础优化动态差分进化算法实现了移动机器人路径优化;文献[6]提出基于CA模型下,结合元胞自动机理论,改进D*算法以实现路径规划;文献[7]提出利用细菌自主觅食现象,设计DBFO算

法,使机器人在动态环境下得到最优路径;文献[8]针对传统 APF 法缺陷,提出在虚拟弹簧模型下,机器人在局部环境中实现路径最优;文献[9]基于粒子群算法,提出一种新型混合离散算法,并用于完成路径规划。

机器人路径规划中采用 APF 最早由 Khatib 提出^[10],是在运动空间中引入一个虚拟场,目标点对机器人表现出引力,引力大小随机器人距目标点距离单调递增,方向为机器人指向目标点;障碍物对机器人表现出斥力,斥力大小随机器人距障碍物距离单调递减,方向为障碍物指向机器人,机器人在斥力与引力的作用下保持运动状态。APF 算法结构简单、容易计算和实现,但它存在一些缺点,比如在狭窄通道等特殊环境中容易出现振荡现象,在 U 字形障碍物中易陷入死区等。

文献[11]中提出的 Morphin 算法最初应用于星球开发的月球车避障环节。其主要利用车体系统状态信息,按照特定规则,产生一组树状路径,对每个路径的参数进行估计,最终获得最优解。此算法计算效率高,能够在环境建模不确定的状况下及时做出反应。

基于以上内容,提出一种结合改进人工势场法(IAPF)与多层 Morphin 搜索树算法的混合算法。该算法主要利用 IAPF 进行路径的全局规划,再针对 APF 的不足,利用多层 Morphin 搜索树算法进行路径的局部规划。该混合算法结构简单,计算效率高,易于实现,对移动机器人实现路径最优更加高效,安全。仿真实验结果表明,该算法具有可操作性,能够获得最优路径,提高了路径搜索效率。

2 改进人工势场法与路径全局规划

运用 APF 对机器人路径规划,没有达到目标点就停止运动的根本原因是,移动机器人在接近目标点的过程中,目标点对机器人的引力逐渐变小,障碍物对机器人的斥力逐渐变大,引力场和斥力场的平衡点不确定,所以机器人不能到达目标点。针对此问题,本文对 APF 做出修改,为了便于分析研究,假设:机器人、目标和障碍物的位置、速率、加速度已知或可以在线测量;且机器人和目标点看作质点。

2.1 修改引力场函数

改进的引力场势函数为^[11-12]:

$$U_{att}(q, v, a) = \xi_q \|q_{goal}(t) - q(t)\|^m + \xi_v \|v_{goal}(t) - v(t)\|^n + \xi_a \|a_{goal}(t) - a(t)\|^l \quad (1)$$

式中: $\|q_{goal}(t) - q(t)\|$ 、 $\|v_{goal}(t) - v(t)\|$ 、 $\|a_{goal}(t) - a(t)\|$ 分别为 t 时刻机器人和目标点间的欧氏距离、相对速率以及相对加速度, ξ_q 、 ξ_v 、 ξ_a 表示引力场正比例增益系数, m 、 n 、 l 为正常数。

对应引力函数为:

$$F_{att}(q, v, a) = -\nabla U_{att}(q, v, a) = -\nabla_q U_{att}(q, v, a) - \nabla_v U_{att}(q, v, a) - \nabla_a U_{att}(q, v, a) \quad (2)$$

若机器人未达到目标点,则 $q \neq q_{goal}$ 、 $v \neq v_{goal}$ 和 $a \neq a_{goal}$ 总有一项成立,将式(1)中相关参数替换为式(2)可得:

$$F_{att}(q, v, a) = F_{qatt}(q) + F_{vatt}(v) + F_{aatt}(a) \quad (3)$$

式中: $F_{qatt}(q) = m\xi_q \|q_{goal}(t) - q(t)\|^{m-1} X_{qrg}$, $F_{vatt}(v) = n\xi_v \|v_{goal}(t) - v(t)\|^{n-1} X_{vrg}$, $F_{aatt}(a) = l\xi_a \|a_{goal}(t) - a(t)\|^{l-1} X_{arg}$, 式(3)中需省去不可微分项。

其中, X_{qrg} 、 X_{vrg} 、 X_{arg} 分别表示机器人相对目标点的位置、速率、加速度的单位向量。

2.2 修改斥力场函数

APF 造成的部分问题部分原因是由斥力场函数只考量机器人和障碍物的相对位置造成,改进的斥力场函数通过引进目标与移动机器人相对距离的因子 $(q - q_{rg})^n$ 、移动机器人和障碍物的相对速度 $v_{ro}(t)$ 和相对加速度 $a_{ro}(t)$,从而达到移动机器人处于目标点的合力为 0。

斥力场势函数可以定义如下^[13]:

$$U_{rep}(q, v, a) = \begin{cases} \frac{\eta_1}{2} \left(\frac{1}{\rho(q) - \rho_{min}} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 (q - q_{rg})^2 + \eta_2 v_{ro}(t) + \eta_3 a_{ro}(t) \\ \rho(q) \leq \rho_0, v_{ro}(t) > 0, a_{ro}(t) > 0 \\ 0, \rho(q) \geq \rho_0 \end{cases} \quad (4)$$

式中:当 $a_{ro}(t) \leq 0$ 时, $\eta_3 a_{ro}(t)$ 省去。其中 η_1 、 η_2 、 η_3 为斥力系数,是正常数, ρ_{min} 、 ρ_0 分别为移动机器人最小避障安全距离和障碍物的最大影响半径。

则斥力函数为:

$$F_{rep}(q, v, a) = F_{q1rep} + F_{q2rep} + F_{vrep} + F_{arep} \quad (5)$$

式中: $F_{q1rep} = \eta_1 \left(\frac{1}{\rho(q) - \rho_{min}} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{(q - q_{rg})}{\rho^2(q)}$; $F_{q2rep} = \frac{\eta_1}{2} \left(\frac{1}{\rho(q) - \rho_{min}} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2$; $F_{vrep} = \eta_2 X_{or}$; $F_{arep} = \eta_3 X_{or}$ 。

当机器人、障碍物、目标点共线时,系统运动状态由等待障碍物或目标点的状态决定;当机器人未到达目标点形成合力为零的情况,则调整引力或斥力函数中的相关参数,使系统运动状态发生改变。

3 多层 Morphin 搜索树与路径局部规划

采用 APF 进行路径规划时,通常将障碍物理想为一个质点,这样在复杂环境中机器人会出现不能越过庞大障碍物或者在小障碍物周围绕路,因此会出现路径规

划失败或不能选择最佳路径^[14]。为解决此问题,本文提出一种结合 IAPF 与多层 Morphine 搜索树算法。

3.1 多层 Morphine 搜索树

传统 Morphine 算法(图 1)每个线路对应一个相对固定角度进行搜索,这样会导致线路过于冗长;多层 Morphine 搜索树算法在每一个搜索线路末端再增加 Morphine 搜索树,这样相当于在一次搜索结束后对未知区域进行预测。相比较传统的 Morphine 算法多层 Morphine (图 2)搜索树增加了对未知环境预测范围,路径的局部规划也更加合理。

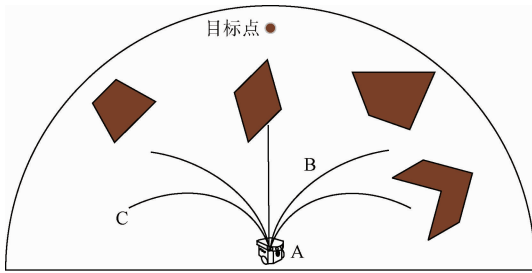


图 1 传统 Morphine 算法

Fig. 1 Traditional Morphine algorithm

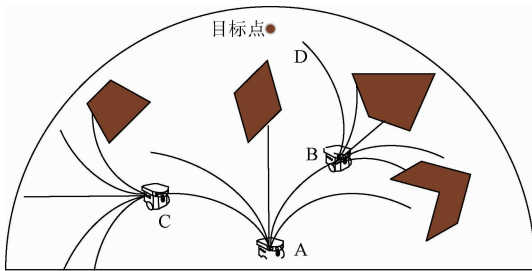


图 2 多层 Morphine 搜索树

Fig. 2 Multilayer Morphine searching tree

由图 1 可以看出传统 Morphine 算法用于机器人获得最佳路径时为了避开障碍物,会选择最小几率接触障碍物的路径,因此选择 AC 路径舍弃 AB,但 AC 路径到达目标点会导致路线繁杂;多层 Morphine 搜索树在设置好搜索路径长度后再次增加 Morphine 搜索树,由此得到路径更加合理,ABD 路线为最优路线^[15]。当机器人在地图中运动时,设速度为 v ,制动距离为 d ,制动最大加速度为 a ,则机器人制动距离为 $d = \frac{v^2}{2a}$ 。因此 Morphine 搜索树的路径长度应满足 $l \leq d$ 。

3.2 路径评估函数

移动机器人路径规划的目标是保证机器人安全高效的穿过障碍物区域,因此路径评估函数应综合考虑这两个方面的影响。安全性函数可以评估路径的安全性,安全性函数是指搜索路径和障碍物距离与最小安全距离之

比;高效性函数可以评估路径的高效性,高效性函数是指搜索路径到目标点的趋向性。

3.2.1 安全性函数

安全性函数表示移动机器人通过搜索路径时的安全程度,障碍物的距离、行走的安全距离是其涉及的两个变量。

基于机器人避障的最小安全距离 ρ_{\min} ,障碍物最大影响半径 ρ_0 与障碍物位置,设立以障碍物为中心安全距离 ρ_{\min} 为半径的区域 A_{\min} 为禁止行走区域,障碍物最大影响半径 ρ_0 为半径的区域 A_0 为危险区域,则机器人在第 i 条路径任一点 q_{ij} 的安全性函数可以表示为^[16]:

$$f_{ij}(q_{ij}) = \begin{cases} 0, & q \in A_{\min} \\ \frac{\rho(q)}{\rho_0}, & q \in A_0 \\ 1, & q \notin A_0 \end{cases} \quad (6)$$

式中: ρ_{\min} 一般取机器人最大宽度, $f_{ij}(q_{ij})$ 的值介于 $[0 \ 1]$ 。数值为 0 表示机器人不能行走此路径,数值为 1 表示此路径是安全路径,否则表示路径有一定危险性。

在 Morphine 搜索树路径长度 $l(q_{ij0}, q_{ij\infty})$ 相同的前提下,整段搜索路径的安全性函数为:

$$f_{sa}(q_{ij0}, q_{ij\infty}) = \frac{\int_{q_{ij0}}^{q_{ij\infty}} f_{ij}(q_{ij}) dq}{l(q_{ij0}, q_{ij\infty})} \quad (7)$$

式中:函数值域为 $[0 \ 1]$,函数值越高,则表示搜索路径安全性越好。

3.2.2 高效性函数

高效性函数表明路径对目标点的趋向性和持续性,涉及到偏转角 θ_{goal} 。

设定机器人起点与目标点连线为横坐标轴,则起点与目标点连线间任意处偏转角为 0° ,偏转角范围为 $(-180^\circ, 180^\circ]$,负数表示路径在连线右侧,正数表示路径在连线左侧。该数据可以从机器人传感器中直接得到。

因此,高效性函数可定义为:

$$f_{ec}(q_{ij0}, q_{ij\infty}) = \frac{|\theta_{\text{goal}}|}{360} \quad (8)$$

式中:函数值介于 $[0 \ 1]$,数值越小表明对目标趋近性越好,高效性越高。

3.2.3 综合评估函数

对多层 Morphine 搜索路径需要对安全性和高效性作出综合评估,每条搜索路径的可以建立如下评估函数:

$$f(q_{ij0}, q_{ij\infty}) = c_1 \times f_{sa}(q_{ij0}, q_{ij\infty}) + c_2 \times f_{ec}(q_{ij0}, q_{ij\infty}) \quad (9)$$

式中: c_1 、 c_2 为加权系数且 $c_1 + c_2 = 1$, c_1 和 c_2 取值的不同,代表了不同的路径模式, c_1 的提高表示选择更安全的

路径, c_2 的提高表示选择更快捷的路径。此函数值越大, 则选取路线更为合理。

在对选择路径评估时, 由于需要考虑远端障碍物对路径的影响。因此对当前路径应从极远端的叶节点开始评估, 在追溯到近端根节点。通过不断更替当前位置, 就可以完成实时路径的更替。

IAPF 和多层 Morphin 搜索树的混合算法路径规划如图 3 所示。

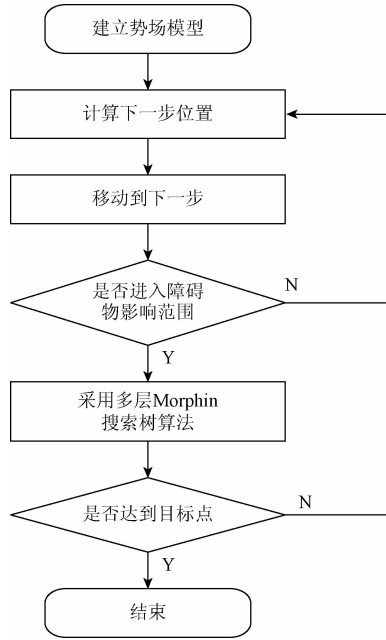


图 3 路径规划

Fig. 3 Block diagram of path planning

4 仿真实验结果及分析

本文针对 APF 的缺陷, 提出了 IAPF 结合多层 Morphin 搜索树的混合算法。基于 MATLAB 仿真平台, 对 APF、IAPF 以及 IAPF 结合多层 Morphin 搜索树的混合算法, 进行仿真比较, 分析仿真结果验证本文所提算法的有效性。

仿真环境设置为 30×30 的自由状态空间, 内设部分障碍物。移动机器人避障的最小安全距离是 0.4、障碍物最大影响半径是 0.5。

4.1 基于 APF 与 IAPF 的路径规划

本节实验仿真的是两种不同的人工势场法在相同的环境下, 机器人的路径规划, 黑色多边形表示障碍物, 蓝色曲线为机器人行走路线。IAPF 以期解决局部最小值和振荡运动。如图 4 所示, 直角形障碍物在机器人与目标点引力的方向上时, 移动机器人采用 APF 进行路径规划, 机器人会陷入“死角”。机器人通过采用 IAPF 获得

最优路径, 可以躲避各种障碍物, 最终达到目标位置, 如图 5 所示。

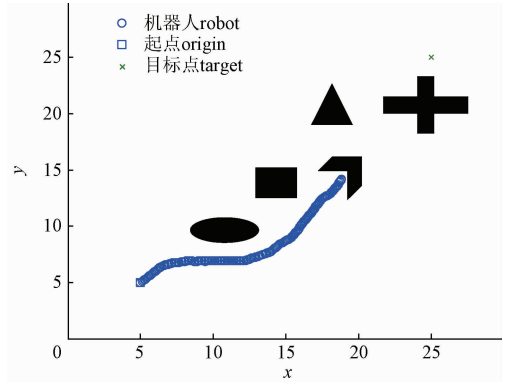


图 4 APF 路径规划仿真

Fig. 4 Simulation diagram of APF path planning

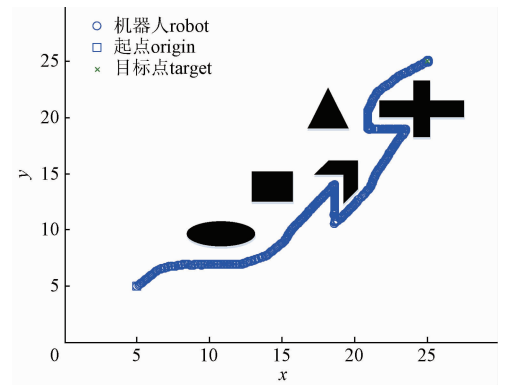


图 5 IAPF 路径规划仿真

Fig. 5 Simulation diagram of IAPF path planning

4.2 改进的优化路径

机器人移动距离是路径评估的重要指标。为了减少机器人获得路线的距离, 本文提出的 IAPF 与 Morphin 算法混合算法, 能有效缩短路径规划距离, 如图 6 所示, 运用混合算法的移动机器人路径相比较 IAPF 路径更加平滑, 且距离更短。

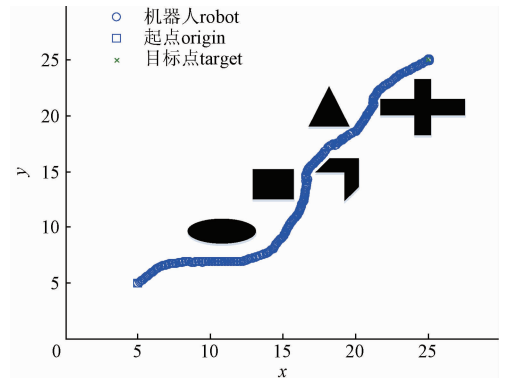


图 6 混合算法路径规划仿真

Fig. 6 Simulation diagram of hybrid algorithm path planning

图 7 所示为混合算法与 IAPF 完成路径规划所行走距离的对比图,图 8 所示为混合算法与 IAPF 完成路径规划所用时间的对比图;由图 7、8 可看出混合算法相比于改进人工势场法完成路径规划行走距离更短,完成路径规划所需要时间更短。

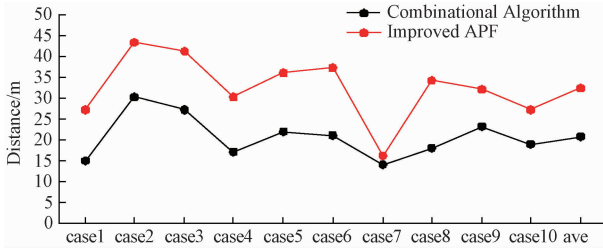


图 7 两种算法完成路径规划距离对比
Fig. 7 Comparison of distances of planned path

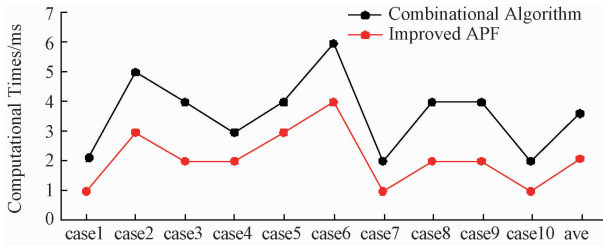


图 8 两种算法完成路径规划时间对比
Fig. 8 Comparison of time of planned path

5 实际验证

为了进一步验证本文提出算法的有效性,将本文提出的算法应用到尺寸为 480 mm × 460 mm × 440 mm 的 Voyager-II 机器人系统上。在 4 m × 4 m 的室外环境中,进行实际路径规划,机器人运动速度限定为 0.3 m/s。机器人路径规划的环境如图 9(a) 所示,起点如图 9(b) 所示,终点如图 9(c) 所示。

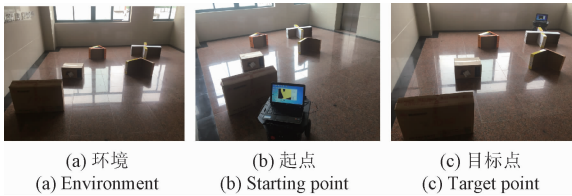


图 9 机器人路径规划环境

Fig. 9 Environment of robot path planning

如图 10 所示,分别将 APF 算法,IAPF 算法以及 IAPF 与 Morphin 算法混合算法分别应用于机器人路径规划中。图 10(a) 为 APF 算法,机器人会进入死角,不能完成路径规划;图 10(b) 为 IAPF 算法,机器人沿着

障碍物边缘运动;图 10(c) 为 IAPF 与 Morphin 算法混合算法,能高效完成路径规划。表 1 所示实验数据表明,无论路径规划长度还是路径规划所需时间,都可得出 IAPF 与 Morphin 算法混合算法在机器人路径规划更具效率。

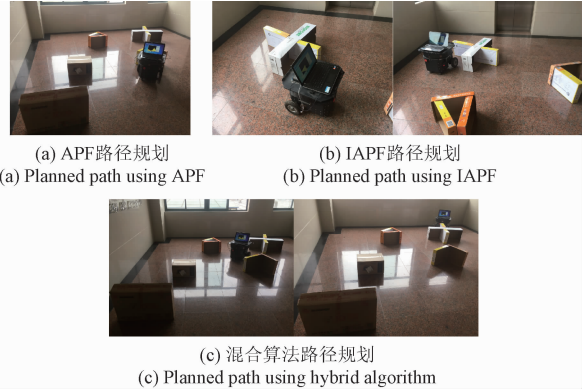


图 10 机器人路径规划
Fig. 10 Robot path planning

表 1 3 种算法验证数据

Table 1 Validation data of 3 algorithms

算法	路径长度/m	执行时间/s
本文算法	4.83	18.9
IAPF 算法	5.37	25.7
APF 算法	-	-

6 结论

路径规划是自主移动机器人完成给定任务的主要环节。本文提出了 IAPF 结合多层 Morphin 搜索树的混合算法,该算法利用 IAPF 进行初步路径规划,在障碍物附近用多层 Morphin 搜索树算法避障。通过两种算法的融合,使得机器人获得最佳行走路程、时间更短,有效的提升了机器人路径规划的工作效率和安全性。在以后的工作中,如何缩短机器人路径规划所需时间以及如何利用本算法在动态环境中快速、安全的完成路径规划将是研究重点。

参考文献

[1] 史恩秀,陈敏敏,李俊,等. 基于蚁群算法的移动机器人全局路径规划方法研究[J]. 农业机械学报,2014, 45(6):53-57.
SHI EN X, CHEN M M, LI J, et al. Research on method of global path-planning for mobile robot based on ant-colony algorithm [J]. Transactions on the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(6):53-57.

- [2] 朱大奇, 颜明重. 移动机器人路径规划技术综述[J]. 控制与决策, 2010, 25(7): 961-967.
ZHU D Q, YAN M ZH. Survey on technology of mobile robot path planning[J]. Control and Decision, 2010, 25(7): 961-967.
- [3] 王强, 张安, 吴志杰. 改进人工势场法与模拟退火算法的无人机航路规划[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(8): 70-73.
WANG Q, ZHANG AN, WU ZH J. UCAV path planning based on improved artificial potential field and simulated annealing[J]. Fire Control & Command Control, 2014, 39(8): 70-73.
- [4] KHENE Z E, PEYRONNET B, MATHIEU R, et al. Analysis of the impact of adherent perirenal fat on perioperative outcomes of robotic partial nephrectomy [J]. World Journal of Urology, 2015, 33(11): 1801-1806.
- [5] 徐雪松, 杨胜杰, 陈荣元. 复杂环境移动群机器人最优路径规划方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(2): 274-282.
XU X S, YAN SH J, CHENG R Y. Dynamic differential evolution algorithm for swarm robots search path planning[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(2): 274-282.
- [6] 史久根, 刘春霞, 席海强. CA 模型下的改进 D* 路径规划算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(1): 30-37.
SHI J G, LIU CH X, XI H Q. Improved D* path planning algorithm based on CA model[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(1): 30-37.
- [7] 梁晓丹, 蔺娜, 陈瀚宁. 基于细菌觅食行为的移动机器人动态路径规划[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(6): 1316-1324.
LIANG X D, LIN N, CHEN H N. Mobile robot dynamic path planning based on bacterial foraging behavior[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(6): 1316-1324.
- [8] 高申勇, 许方镇, 郭鸿杰. 基于弹簧模型的移动机器人路径规划研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(4): 796-803.
GAO SH Y, XU F ZH, GUO H J. Research on mobile robots path planning based on a spring model [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(4): 796-803.
- [9] 梁旭, 刘才慧. 基于混合粒子群算法的在线检测路径规划[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(12): 30-34.
LIANG X, LIU C H. Path planning for on machine verification system based on hybrid particle swarm optimization algorithm [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2016, 37(4): 796-803.
- [10] HIDALGO-PANIAGUA A, VEGA-RODRIGUEZ M A, FERRUZ J. Applying the MOVNS (multi-objective variable neighborhood search) algorithm to solve the path planning problem in mobile robotics[J]. Expert Systems with Applications, 2016, 58(3): 20-35.
- [11] SIMMONS R, KROTKOV E, CHRISMAN L, et al. Experience with rover navigation for lunar-like terrains[C]. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE, 1995: 441-446.
- [12] KOVACS B, SZAYER G, TAJTI F, et al. A novel potential field method for path planning of mobile robots by adapting animal motion attributes[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2016, 82(4): 24-34.
- [13] MONTIEL O, SEPULVEDA R, OROZCO-ROSAS U. Optimal path planning generation for mobile robots using parallel evolutionary artificial potential field[J]. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2015, 79(2): 237-257.
- [14] 崔维, 丁玲. 基于视觉导航和 RBF 的移动采摘机器人路径规划研究[J]. 农机化研究, 2016, 38(11): 234-238.
CUI W, DING L. Research on path planning for mobile picking robot based on visual navigation and RBF[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(11): 234-238.
- [15] 段勇, 王猛, 徐心和. 基于人工免疫与可视图相结合的移动机器人路径规划方法[J]. 高技术通讯, 2014, 23(3): 278-283.
DUAN Y, WANG M, XU X H. A path planning algorithm for mobile robots based on combination of artificial immune and visibility graph[J]. Chinese High Technology Letters, 2014, 23(3): 278-283.
- [16] MONTIEL O, OROZCO-ROSAS U, SEPULVEDA R. Path planning for mobile robots using Bacterial Potential Field for avoiding static and dynamic obstacles [J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(12): 5177-5191.

作者简介



王伟, 1992 年出生, 安徽工程大学硕士研究生, 目前主要研究方向为移动机器人路径规划、智能信息处理等。

E-mail: ahpww1992@sina.com

Wang Wei was born in 1992, M. Sc. candidate in Anhui Polytechnic University. His present research interest includes mobile robot path planning and intelligent information processing and so on.



陈跃东,1956 年出生,毕业于东华大学,现任安徽工程大学教授,硕士生导师,目前主要研究方向为传感器信号处理和微弱信号检测等。

E-mail:ydchen@ahpu.edu.cn

Chen Yuedong was born in 1956, graduated from Donghua University, professor in Anhui Polytechnic University. His present research interests include signal processing and weak signal detection of sensor and so on.



陈孟元,1984 年出生,毕业于安徽工程大学,现任安徽工程大学讲师,目前主要研究方向为嵌入式系统开发、图像处理、传感器信息融合及优化等。

Chen Mengyuan was born in 1984, graduated from Anhui Polytechnic University.

And he is lecturer in Anhui Polytechnic University now. His present research interests include embedded systems development, image processing, and optimization of sensor information fusion and so on.

是德科技推出高性能 PAM4 误码仪及 100 GHz 采样示波器模块

德科技在 2017 年 Design con 展示针对 400G/PAM-4 设计的最新测试和测量技术,包括高度综合的 M8040A 64 Gbaud 高性能比特误码率测试仪、新数据分析软件功能,100 GHz 带宽的采样示波器模块,现这一系列产品已正式推出。

M8040A 高性能 PAM4 误码仪

其中 Keysight M8040A 是一款高度综合的比特误码率测试仪,适用于物理层表征和一致性测试它支持 PAM-4 和 NRZ 信号,数据速率高达 64 GBaud(相当于 128 Gb/s),覆盖 200 和 400 GbE 标准的所有特性。M8040A 比特误码率测试仪提供真正的误码分析、可重复的精确结果,从而可以优化您的 400GbE 设备的性能裕量。

M8040A 可用于许多采用 PAM-4 和 NRZ 数据格式的流行互连标准的接收机(输入)测试,例如:400 GbE、50/100/200 GbE、OIF CEI-56G 和 CEI-112G、64G/112G 光纤通道、Infiniband-HDR,以及用于芯片到芯片、芯片到模块、背板、中继器和有源光纤的专有接口。

N1046 100 GHz 采样示波器模块

七年前,是德科技发布了首款采用公司专有 InP 半导体工艺芯片的示波器,如今,是德科技仍是唯一生产采用 InP 芯片的示波器的公司。对下一代 InP 工艺的投入,让是德科技能够将晶体管切换频率扩展到 300 GHz 以上,使芯片和最终产品的带宽进一步提高。N1046A 采样示波器模块支持三种带宽选项,其中高带宽选项大于 100 GHz,中带宽选项为 85 GHz,低带宽选项为 75 GHz,中带宽和低带宽都可以升级到高带宽选项。模块化平台最多支持 16 通道输入。

关于是德科技

是德科技(NYSE:KEYS)帮助客户将具有突破性的电子产品和系统以更低的成本更快推向市场。从设计到仿真,再到原型设计验证、生产测试以及网络中的优化,是德科技提供全方位的电子信号测试与分析解决方案。我们的客户遍及全球通信、互联网基础设施、航空航天与国防、汽车、半导体和通用电子终端市场。2016 财年,是德科技收入达 29 亿美元。更多信息,请访问 www.keysight.com。