2017 IEEE。本材料允许个人使用。但在要用于现在或以后媒体必须获得IEEE的许可，包括用于广告或促销目的的重印/重发，创作新的集体作品，向服务器或列表转售或重发，以及在其他作品中重用本作品中任何受版权保护的片段。

汽车式机器人的运动轨迹优化和控制

摘要-本文提出了一种新型基于时间弹带的用于汽车式机器人的高效在线运动规划通用方案。此规划问题是在机器人动力学约束和避障问题的基础上定义的一个有限维的、稀疏的优化问题。控制动作隐含地包含在优化轨迹中。动态环境中的可靠导航是通过利用状态反馈增强内部优化回路来实现的。预测控制方案也是实时的，并且会响应机器人感知到的障碍物。通过向全局规划器请求中间目标，可以以纯跟踪的方式实现在大型复杂场景中的导航。本方案对全局规划器提供的初始路径要求相当宽松，不需要符合机器人运动学约束。通过与Reeds和Shepp曲线的对比和对典型汽车控制方案的研究展现出方案的优势。

1. 概述

轨迹规划和控制构成了像服务机器人或自动运输系统这样的移动机器人应用中的一项基本任务。在线规划方案优于离线方案，因为在运行间整合带状态反馈并响应动态环境来规划是困难的。松紧带方法是众所周知的在线路径调整方法【1】。此方法计算外力来与障碍物保持距离，同时通过预定义的内力收缩路径。然而传统的路径规划并不包含时间约束和动力学约束。【2】中提出了松紧带方法的一种扩展方法，实现了在线的轨迹（而不是路径）形变。离散的轨迹路点被从障碍物附近推开。稍后可以基于动态运动模型来恢复其连通性。Delsart等人将两个步骤合成一个单独的操作【3】。但是，在线轨迹优化方法往往受限于计算能力，只能收敛到实时性约束下可行的最优解。动态窗口法（DWA）这样的基于采样的方法解决了这一问题【4】。基于到目标的剩余路程、当前速度和与障碍物的距离约束，可以生成一个速度搜索空间，连续轨迹被采样并反复置于这个空间中进行评判。Lau等人则优化了由机器人动力学条件约束的轨迹样条。

许多规划器设计者只考虑了差动机器人的非完整约束，然而其中不包含汽车式机器人的最小转弯半径条件。【6】给出了反馈控制技术的概述。Lamiraux等人提出了一种基于可行性梯度的路径变形方法【7】。该方法依赖于光滑的路径表示，并且没有说明速度限制。这阻碍了其在泊车策略中的应用。Vendittelli等人基于著名的Reeds和Shepp曲线（RS），提出了点型机器人的无碰撞路径【8】。RS曲线提供了关于运动学模型的最小时间最优路径问题的解析解【9】。此外，经典的松紧带方法已经在汽车式机器人中得到应用。