

用于协作搬运的全方位移动式多 AGV 系统

曹其新 杜建军 冷春涛 朱笑笑

(上海交通大学机械与动力学院, 上海 200240)

摘要 提出了一种基于麦卡纳姆轮的用于协作搬运的全方位移动式多自动导引车(AGV)系统, 该系统中单个 AGV 可以实现全方位运动, 通过激光及加速度计的信息融合定位后, 多台 AGV 可以任意角度组成编队组合在一起运动, 在狭小的空间中实现大型复杂零部件的搬运与装配, 实验验证了该系统的可行性。

关键词 自动导引车; 麦卡纳姆轮; 全方位移动; 协作搬运

中图分类号 TP242 **文献标志码** A **文章编号** 1671-4512(2013)S1-0241-04

Omnidirectional moving multi-AGVs system for cooperation transport

Cao Qixin Du Jianjun Leng Chuntao Zhu Xiaoxiao

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract An omnidirectional moving multi-AGV (automated guided vehicle) system for cooperation transport based on mecanum wheels was presented. The single AGV of this system could move omnidirectionally, and several AGVs like this could be united as one system at any angle and move omnidirectionally after achieving localization by fusing information of laser and accelerometer sensors. This system could be used to transport and assemble large and complex parts in the limited working space. Finally, experiments were carried out to verify the feasibility of this multi-AGV system.

Key words AGV; mecanum wheels; omnidirectional moving; cooperation transport

传统的 AGV 大多采用双轮差速的移动方式, AGV 可以实现直线及曲线运动, 但不能侧向移动^[1-3]; 而基于全方位轮的 AGV 有效避免了普通轮子不能侧滑带来的非完整性约束, 使 AGV 具有平面运动的全部 3 个自由度, 理论上可以在 AGV 所处平面上沿任意方向移动, 以任意半径旋转, 实现二维平面上从当前位置向任意方向运动而不必改变车体姿态, 非常适合工作在空间狭窄、对 AGV 的机动性要求高的场合中。同时在须要精确定位和高精度轨迹跟踪的时候, 全方位移动机构可以对自己的位置进行细微的调整^[4-5]。

进一步地, 若想用传统的非全方位移动的 AGV 进行协作搬运, 则只能进行前后或横向并列编队运行, 即使如此, 这样组成的 AGV 系统仍不能横向运动, 以及不能在不改变姿态的情况下按

任意角度移动和按任意半径转动, 这就不适应某些大型复杂零部件(如飞机零部件)的搬运装配的需要, 因此, 用具有全方位移动的多 AGV 按任意角度组成编队协作运动, 对大型重物或复杂零部件的搬运与装配有着非常独特的优势, 而这是其他非全方位移动 AGV 无法做到的。

针对商用飞机大型部件的数字化装配过程的需求^[6], 本研究提出了一种基于麦卡纳姆轮的按任意角度组成编队协作搬运的全方位移动 AGV 系统, 该系统单个 AGV 可以实现全方位运动, 在视觉导引下能实现自动跟踪行走, 前后两台激光的扫描检测实现全方位避障。通过激光及加速度计的信息融合定位, 多台 AGV 可以任意角度组成编队, 实现在狭小的空间中大型复杂零部件的搬运与装配。

收稿日期 2013-07-10.

作者简介 曹其新(1960-), 男, 教授, E-mail: qxcao@sjtu.edu.cn.

基金项目 国家商用飞机制造工程技术研究中心创新基金资助项目(SAMC12-JS-15-014); 国家高技术研究发展计划资助项目(2012AA041403); 上海市科委科技攻关重点资助项目(12111101002).

1 系统介绍

AGV 外形尺寸为 $1\,200\text{ mm} \times 7\,200\text{ mm} \times 280\text{ mm}$, 自重 100 kg , 载重大于 200 kg . 最大运行速度 3.6 km/h , 最大加速度为 0.5 m/s^2 , 定停精度 $\pm 20\text{ mm}$. 四个麦卡纳姆轮, 每轮载重约 100 kg . 传感器由摄像机 cognex in-sight 7402、两台 SICK LMS151 激光扫描测量仪、一台姿态方位参考系统(包括三轴加速度传感器、三轴陀螺仪) ARHS100 组成. 采用研华工控机 ARK-3399 作为系统控制器.

该 AGV 采用四个麦卡纳姆轮实现全方位运动, 四轮布置见图 1, 各轮由各自的直流电机驱动. 由于是四轮驱动配置, 为适应路面的不平设计了双滑动轴浮动支撑机构以使四轮同时触地, 此机构中的两个矩形弹簧在不同压力下实现上下浮动, 而横向布置的两对导向轴、轴承实现上下滑动导向.

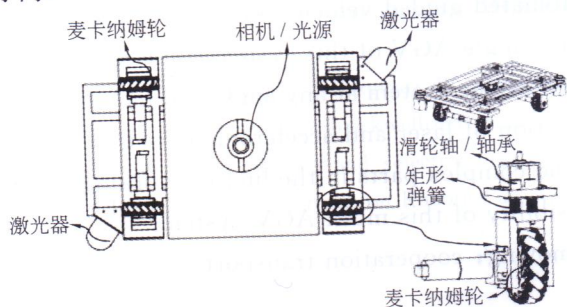


图 1 AGV 结构图

导引用相机安装在整机的中心点上方(见图 2), 垂直于地面安装, 使得运动控制中心点在相机视野内, 且视野开阔. 由于相机装在整车内, 由独立光源提供照明, 这样就不受外界的光线的干扰, 以保证视觉信息的准确. 车的前后各安装一个激光器, 且以与车前进方向成 45° 的对角安装, 以实现激光器 360° 全方位定位.

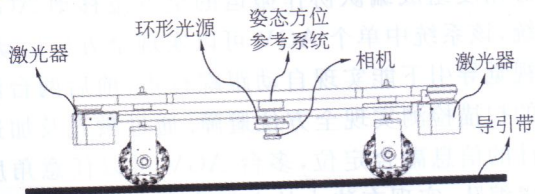


图 2 激光器、相机及姿态方位参考系统

AGV 车载系统主要由主控制器、视觉导引模块、避障定位模块、运动控制模块、无线传输模块组成. 控制系统框图如图 3 所示. 运动控制模块由四个电机, 每个电机由驱动器和相应控制器控制驱动, 四个电机之间通过 CAN 总线连接, 从而组

成运动控制模块; 避障定位模块主要由前后两个激光、姿态方位参考系统等组成, 实现避障定位等功能; 监测遥控系统主要用于控制及监测 AGV 的运行状态.

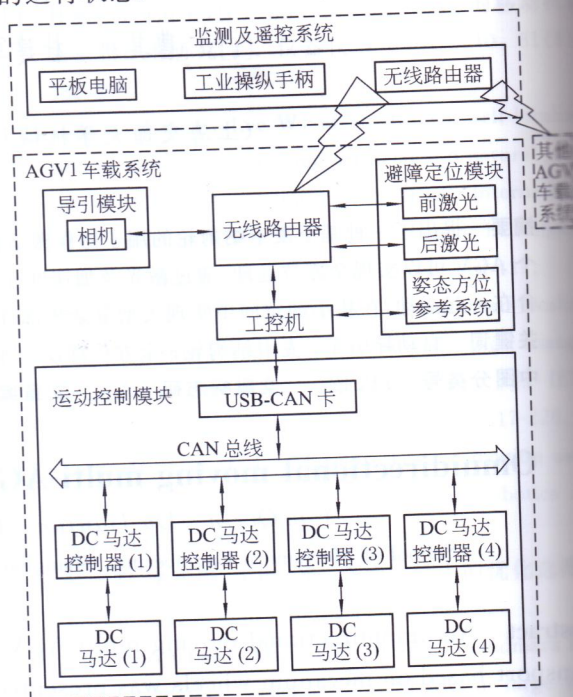


图 3 控制系统框图

2 AGV 的运动分析

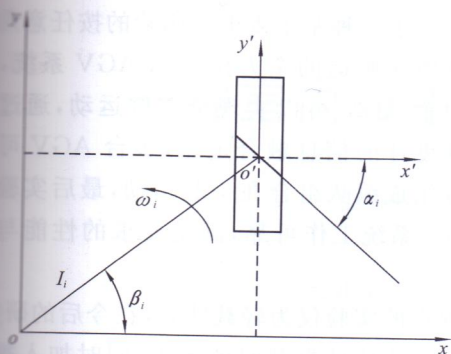
为使系统运行平稳及经济合理, 一般采用相同参数值的四轮结构, 典型的全方位轮移动机器人有六种典型四轮布局^[7], 采用其中最优的结构布局(图 1). 如图 4 所示, 图中: oxy 为固联于机身的坐标系; $o'x'y'$ 是固联于轮毂中心 o' 的坐标系. (l_i, θ_i) 表示 $o'x'y'$ 对 oxy 的位姿; r_i, α_i 分别表示轮 i 轮毂半径及辊子偏置角; $\mathbf{V}_i$ 表示轮 i 着地辊子中心速度矢量; β_i 表示轮 i 的安装角度; ω_i 表示轮 i 的旋转速度, 可求得系统逆运动学方程^[7]为

$$[\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4]^T = (1/r) \mathbf{B}(\mathbf{V}_x, \mathbf{V}_y, \omega)^T, \quad (1)$$

式中

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{\cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} & \frac{-\sin \alpha_1}{\sin \alpha_1} & \frac{-l_1 \sin(\alpha_1 + \beta_1)}{\sin \alpha_1} \\ \frac{\cos \alpha_2}{\sin \alpha_2} & \frac{-\sin \alpha_2}{\sin \alpha_2} & \frac{-l_2 \sin(\alpha_2 + \beta_2)}{\sin \alpha_2} \\ \frac{\cos \alpha_3}{\sin \alpha_3} & \frac{-\sin \alpha_3}{\sin \alpha_3} & \frac{-l_3 \sin(\alpha_3 + \beta_3)}{\sin \alpha_3} \\ \frac{\cos \alpha_4}{\sin \alpha_4} & \frac{-\sin \alpha_4}{\sin \alpha_4} & \frac{-l_4 \sin(\alpha_4 + \beta_4)}{\sin \alpha_4} \end{bmatrix} \quad (2)$$

系统中轮的辊子偏置角取 $\alpha = 45^\circ$, 四轮安装角之

图 4 轮 i 在机身坐标系中的位姿

的关系 $\beta_3 = 180^\circ + \beta_1$, $\beta_4 = 180^\circ + \beta_2$. 因此可以求得系统逆雅可比矩阵. 这样, 已知机器人整体的速度就可以求出四个轮子的速度. 已知机器人在二维平面上的速度, 就可以得到四个轮子的轮速. 因此, 精确调整四个轮子的转速, 就可以实现 AGV 的全方位运动(前后、左右、任意角度斜走、任意半径转动).

3 多 AGV 的协作搬运

由于单台 AGV 可以实现全方位运动, 多台(两台以上)AGV 按任意角度组合形成一个整体, 可以实现全方位移动搬运、装配.

将每台 AGV 上的四个码盘测得的电机的速度通过式(1)和(2)转换为 AGV 的 x 和 y 方向的速度 V_x 和 V_y 及角速度 ω , 求得速度后, 可求出每台 AGV 行走的 x 和 y 方向的距离及方位角信息, 然后算出两台之间的 x 和 y 方向的距离及方位角偏差. 将每台 AGV 上姿态方位参考系统测得的 x 和 y 方向加速度及角速度测得的数据两次积分, 求出距离及方位角信息, 再计算出两台之间的 x 和 y 方向的距离及方位角偏差.

如图 5 所示, 每台 AGV 车上的前后激光器通过扫描测得的相对的 AGV 车轮廓的点的距离及对应的角度, 根据 AGV 的外壳特征进行特征匹配, 算出两台 AGV 的 x 和 y 方向的距离及方位角偏差. 再将此 x 和 y 方向的距离及方位角偏差与前面的加速度/角速度、码盘的信息算出来的距离及方位角信息融合算出两 AGV 的 x 和 y 方向的距离及方位角偏差^[8-9].

如图 6 所示, 通过平板电脑遥控将多台 AGV 组成一个系统, 各 AGV 采取一主多从的控制结构形式, 主 AGV 根据不同的任务协调各机器人的运动, 各从 AGV 根据这个要求以及上面算出的各 AGV 之间的相互距离偏差以及方位角偏差作为反馈量, 根据各 AGV 车体运动关系确定各

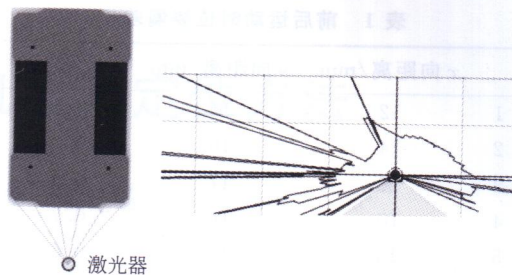


图 5 两台 AGV 间的激光扫描检测

交叉耦合增益, 并作为补偿量分配到各 AGV, 从而调整各 AGV 的运动输入量, 建立多 AGV 协调控制系统, 减小系统轮廓误差, 用适合全方位移动方式的 AGV 姿态优先的交叉耦合控制方法^[10]实现多目标约束下的合作控制.

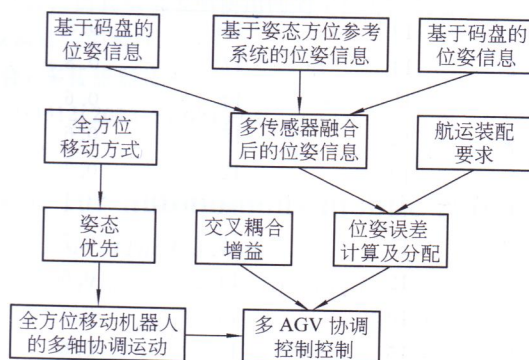


图 6 多 AGV 协作搬运控制框图

4 实验验证

如图 7 所示, 两台 AGV 以 90° 度组合(此种组合运动误差最大), 用皮尺测量两台 AGV 之间



图 7 多 AGV 协作搬运实验测量

的位姿偏差, 然后进行全方位运动(前后、左右、转动、任意角度斜走), 到达目标位置后通过平板电脑遥控停止机器人, 再用皮尺测量此时两台 AGV 之间的位姿偏差. 将这两个值进行比较, 验证所述协作搬运的性能.

实验中以 500 mm/s 速度运动, 针对前后、左右、转动、任意角度斜走 4 种情况分别测量了 10 组数据(如表 1~4 所示), 从数据中可以看出协作运动时的位置误差为 20 mm , 方位角误差为 1° .

表1 前后运动时位姿偏差

	x 向距离/mm	y 向距离/mm	方位角/(°)
1	12	15	0.6
2	14	16	0.7
3	16	17	0.6
4	10	16	0.7
5	13	14	0.5
6	13	13	0.4
7	15	15	0.6
8	18	14	0.5
9	9	18	0.4
10	12	17	0.8

表2 左右运动时位姿偏差

	x 向距离/mm	y 向距离/mm	方位角/(°)
1	13	16	0.5
2	14	17	0.8
3	15	14	0.6
4	12	15	0.6
5	13	12	0.7
6	15	10	0.4
7	17	16	0.7
8	12	14	0.6
9	10	13	0.7
10	16	15	0.6

表3 转动时位姿偏差

	x 向距离/mm	y 向距离/mm	方位角/(°)
1	14	16	0.4
2	15	15	0.8
3	16	18	0.7
4	15	13	0.6
5	16	15	0.6
6	17	14	0.5
7	18	16	0.7
8	16	18	0.6
9	15	17	0.6
10	14	16	0.8

表4 任意角度斜走时位姿偏差

	x 向距离/mm	y 向距离/mm	方位角/(°)
1	17	13	0.7
2	15	15	0.7
3	13	18	0.4
4	12	15	0.7
5	14	13	0.5
6	16	14	0.6
7	14	16	0.8
8	16	14	0.6
9	18	17	0.7
10	13	15	0.7

提出了一种基于麦卡纳姆轮的按任意角度组成编队协作搬运的全方位移动 AGV 系统,该系统中单个 AGV 可以实现全方位运动,通过激光及加速度计的信息融合定位,多台 AGV 可以任意角度组成编队组合在一起运动,最后实验验证了 AGV 系统工作可靠,满足要求的性能与精度要求。

现在的实验仅为轻载状态,在今后的研究中,需要进一步验证重载时的效果,同时加入智能算法优化控制精度等。

参 考 文 献

- [1] Guy C, Georges B. Structural properties and classification of kinematics and dynamic models of wheeled mobile robots[J]. Robotics and Automation, 1996, 12(1): 47-62.
- [2] Song J B, Byun K S. Design and control of a four-Wheeled omnidirectional mobile robot with steerable omnidirectional wheels[J]. Robotic Systems, 2004, 21(4): 193-208.
- [3] 李艳,林廷圻,高峰. 一种 3 自由度自动导引车的运动学建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2003, 4(S1): 479-481.
- [4] 廖华丽,李波,赵俊. 轮式移动机器人的全方位运动分析[J]. 机电一体化, 2009, 15(5): 61-64.
- [5] 冷春涛,曹其新,黄彦文,等. 基于 SoC 的全方位移动机器人运动控制系统设计与实现[C]//2005 年中国智能自动化会议论文集. 北京:中国自动化学会, 2005: 324-328.
- [6] 许国康. 大型飞机自动化装配技术[J]. 航空学报, 2008, 29(3): 734-740.
- [7] 王一治,常德功. Mecanum 四轮全方位系统的运动性能分析及结构形式优选[J]. 机械工程学报, 2008, 45(5): 307-316.
- [8] Fan Kun, Yang Qiang, Yan Wenjun, et al. Fuzzy-PID based deviation-correcting control system for laser guided AGV[C]//Proceedings of 2012 International Conference on Modelling, Identification and Control. Wuhan: IEEE, 2012: 472-477.
- [9] 王远,徐华,贾培发. 多机器人系统中的信息融合技术综述[J]. 微电子学与计算机, 2007(12): 150-152.
- [10] 沈冬燕,曹其新. 基于速度交叉耦合的三轮全方位移动机器人多轴协调运动[J]. 机电一体化, 2010, 16(1): 50-52.