

移动机器人履行系统（RMFS）及其几项新进展

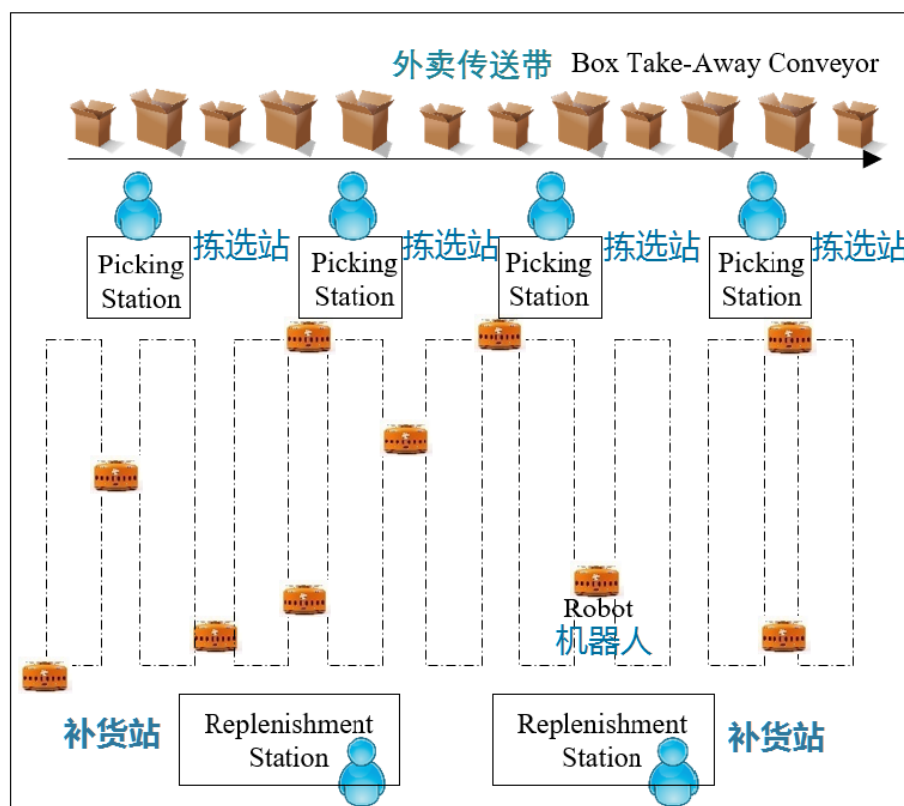
临菲歌

使用自主移动机器人是智能仓储特别是大型电子商务仓库的必然趋势。移动机器人履行系统（RMFS）控制这些机器人以及仓库中的其他资源和任务。

本文简要介绍 RMFS 的构成以及几项新进展。

机器人移动履行系统，Robotic Mobile Fulfillment Systems, RMFS, 中文习惯称为“移动机器人履行系统”，也有人称之为“移动机器人**订单**履行系统”。最后这个说法多了“订单”两个字。

移动机器人履行系统（RMFS）是一种新型的自动化仓储拣选系统，特别适用于需求剧烈波动和商品种类繁多的电子商务配送中心。

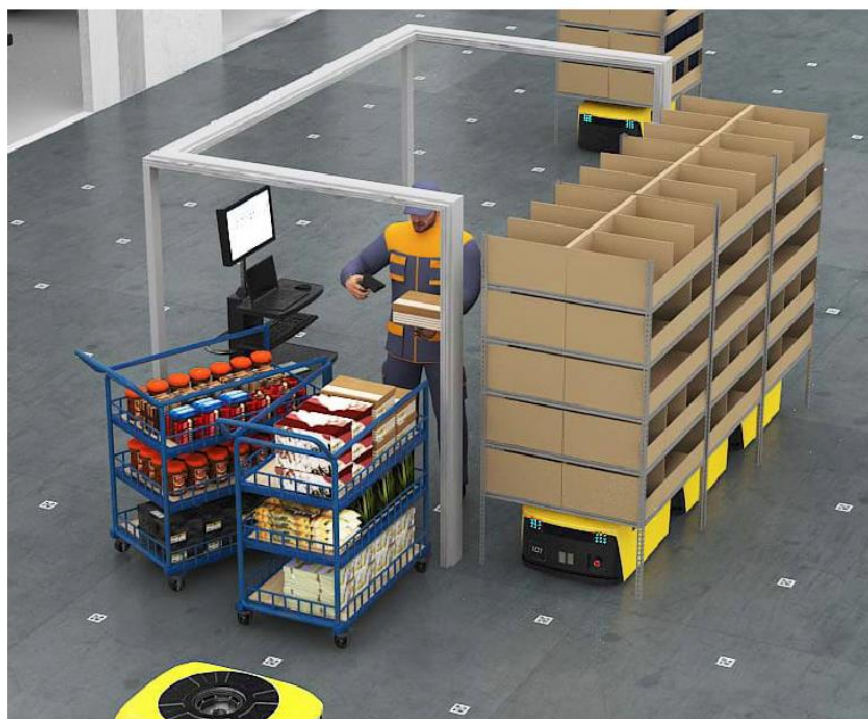


RMFS 示意图[1]

RMFS 一般由拣选站、移动机器人、移动式货架（也称为吊舱，Pod）以及补货站等组成。在 RMFS 中，移动式货架由移动机器人运送到拣选站，消除了传统仓库模式中拣选人员不必要的行走时间，从而提高了拣选效率，同时也降低了误操作概率。

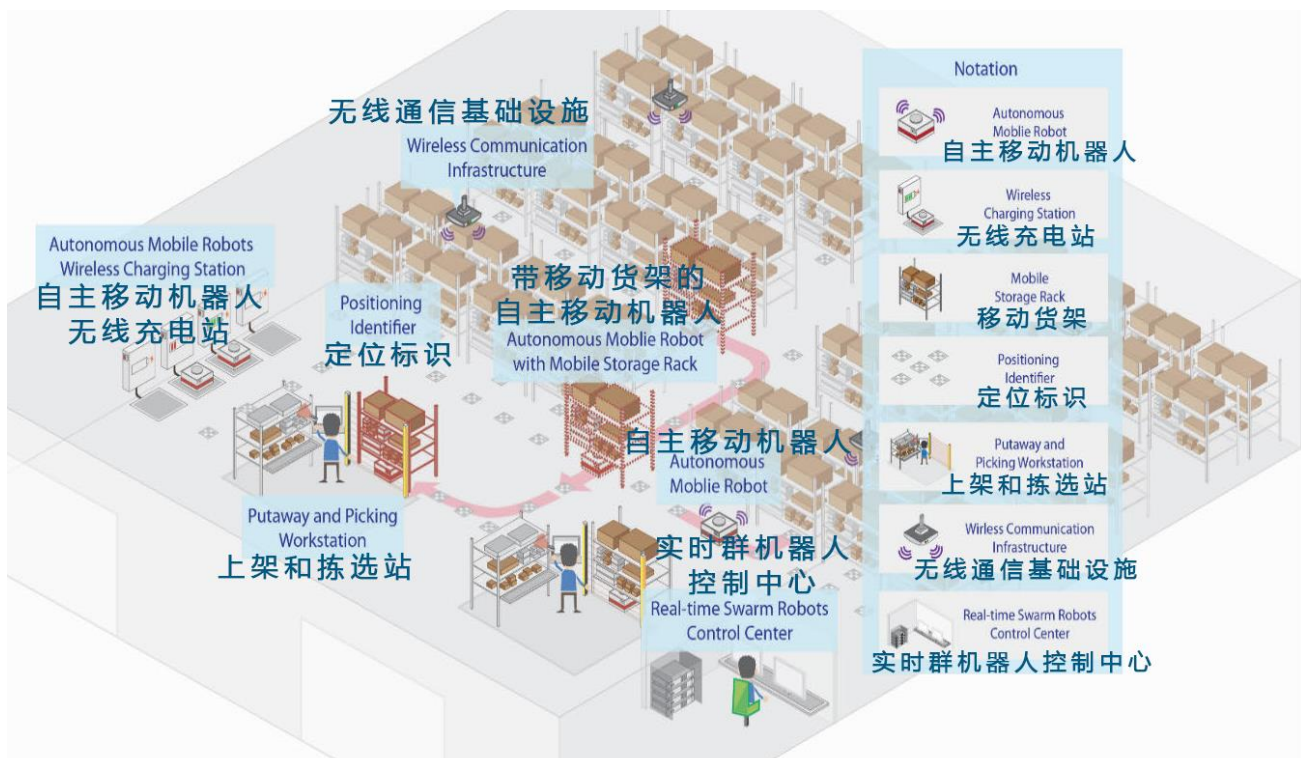


拣选站[5]



补货站[5]

下图是一个涵盖了基础设施的 RMFS 构成示意图。



RMFS 构成示意图[2]

RMFS 的先驱是亚马逊（Amazon）的 KIVA 系统。2012 年，亚马逊以 7.75 亿美金收购 KIVA 系统[3]，并逐渐应用到物流仓储业务当中，使得亚马逊当时普通订单的交付成本下降了 20% 至 40%。



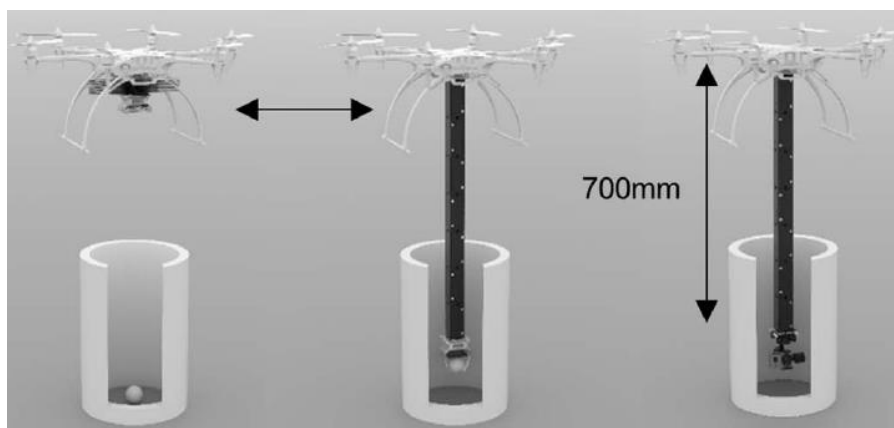
Kiva 驱动器单元和储物箱[3]



一个由 Kiva 机器人携带的库存舱[4]

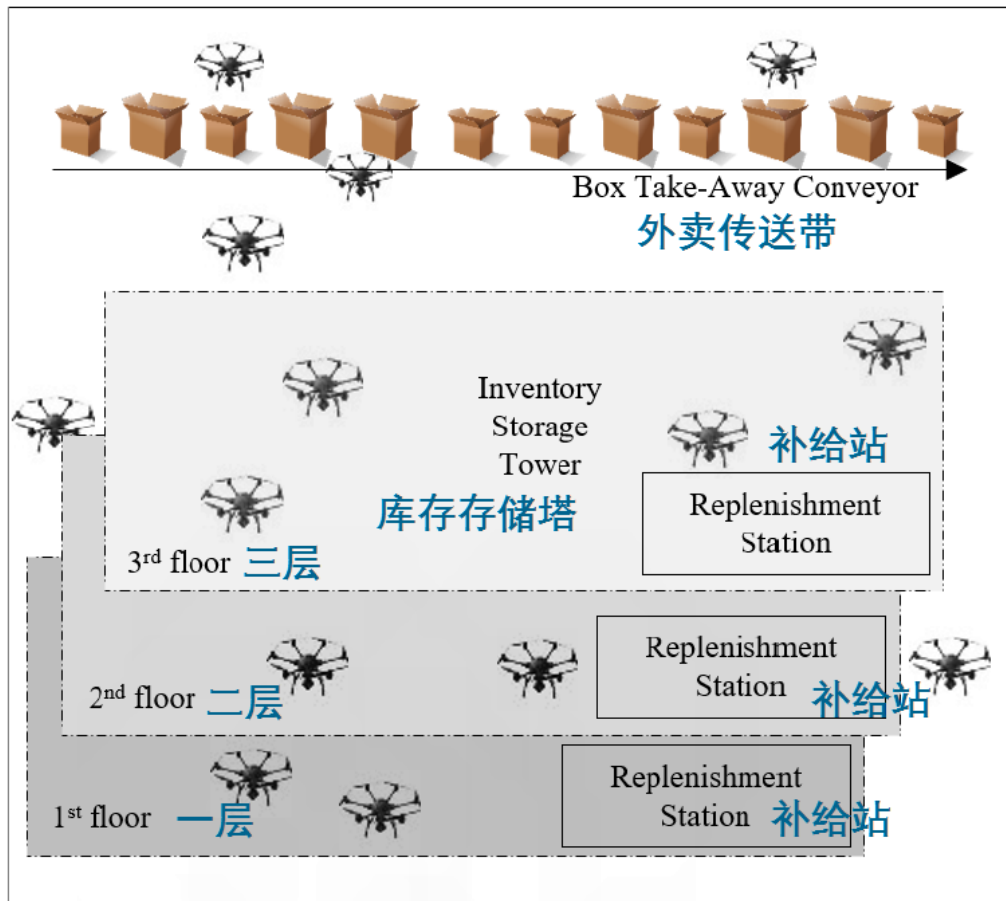
有人把无人机用在了 RMFS。在仓库中使用无人机作为运送机器人的好处，主要是可以提高速度和降低成本。无人机不仅速度快，而且，通常的 RMFS 在拣选后要将货架送回库存区，但用了无人机后就没有这项任务了，因为无人机不移动货架，而只是转移货架上的特定物品。此外，一架无人机比几个低姿态的移动机器人可能完成更多的运送请求。这些都将导致成本降低。

韩国的一个研究团队将折叠臂和无人机技术结合在一起，研发了一种可以收集物体的装置。这种可折叠臂解决了无人机进入受限空间的问题。折纸设计的灵感使得折叠式结构在保持其运动特性的同时，具有轻巧、紧凑和可伸缩性。配备适当末端执行器的手臂可以抓起物体或在狭窄的空间内进行巡查。



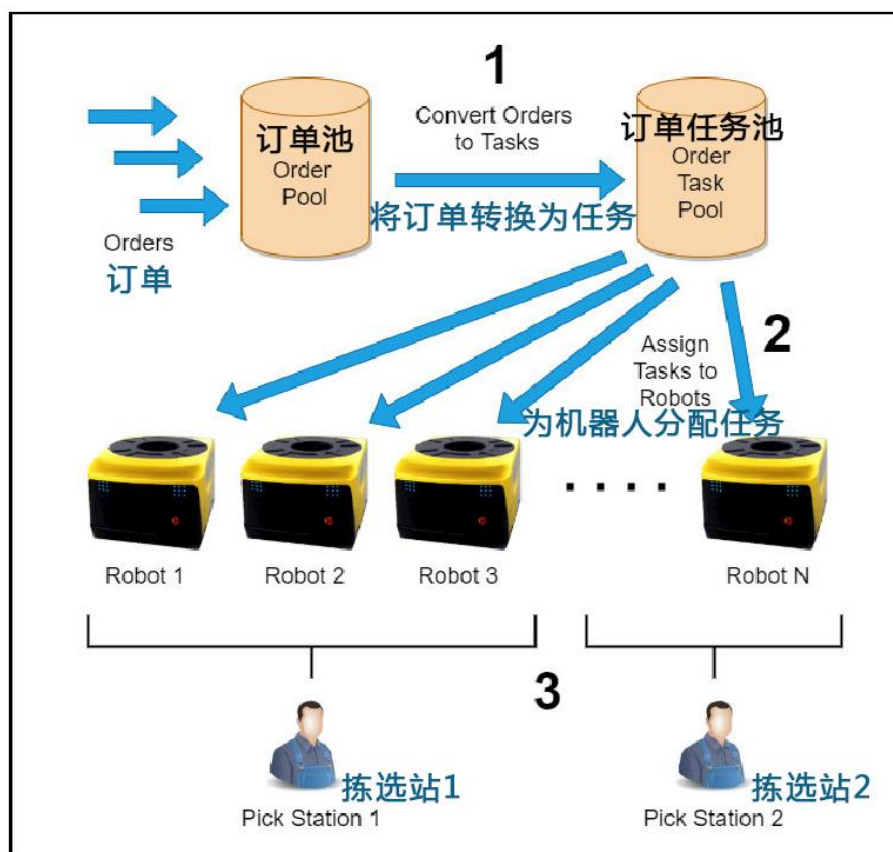
韩国一个研究团队研发的折叠臂无人机[1]

为了最大化存储空间，系统采用库存存储塔。塔的每一层都是装满了货物箱，特殊的设计方便无人机的接近。无人机在塔中航行，从箱中取出一份特定的物件，并将其直接送到外卖传送带的装运箱中，无需人工干预。见下图。

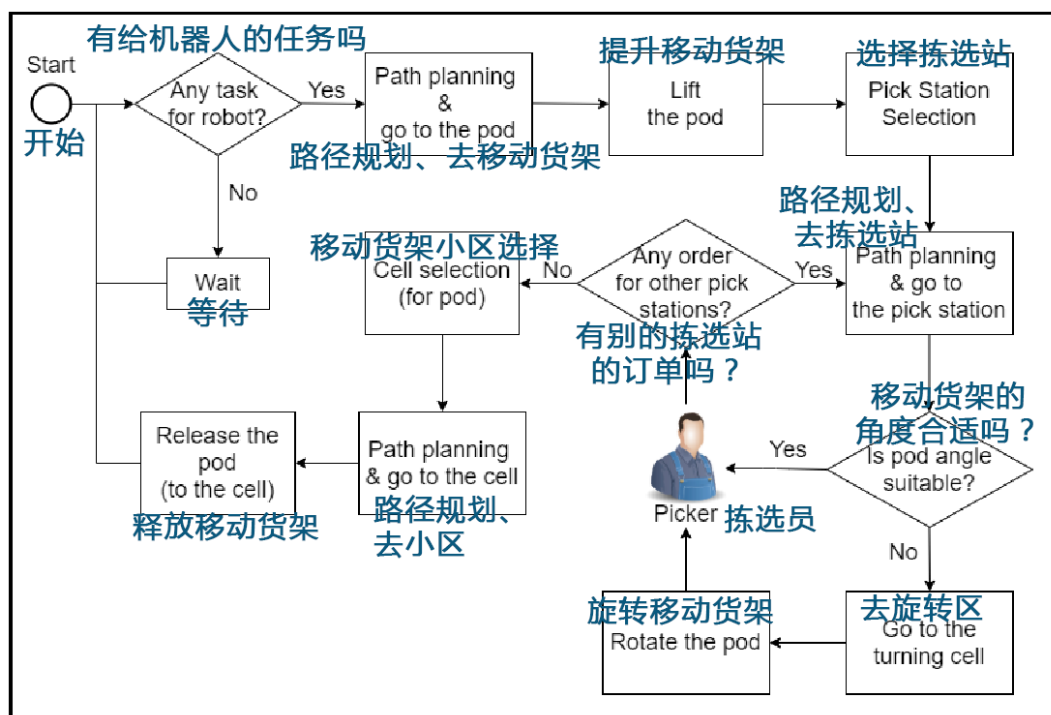


使用无人机的 RMFS[1]

自适应任务规划。由于系统的高动态性，基于 RMFS 的智能仓库的管理面临着挑战。有限的资源，如机器人、工作站、手提袋和物品空间，应在持续跟踪其状态后进行有效管理。[5] 提出了一种多机器人智能仓库自适应任务规划方法。结果表明，即使在库存单元 (SKU) 较多的情况下，所提出的任务规划方法也能显著缩短订单完成时间。该研究对如何设计高效的智能仓库系统具有一定的指导意义。



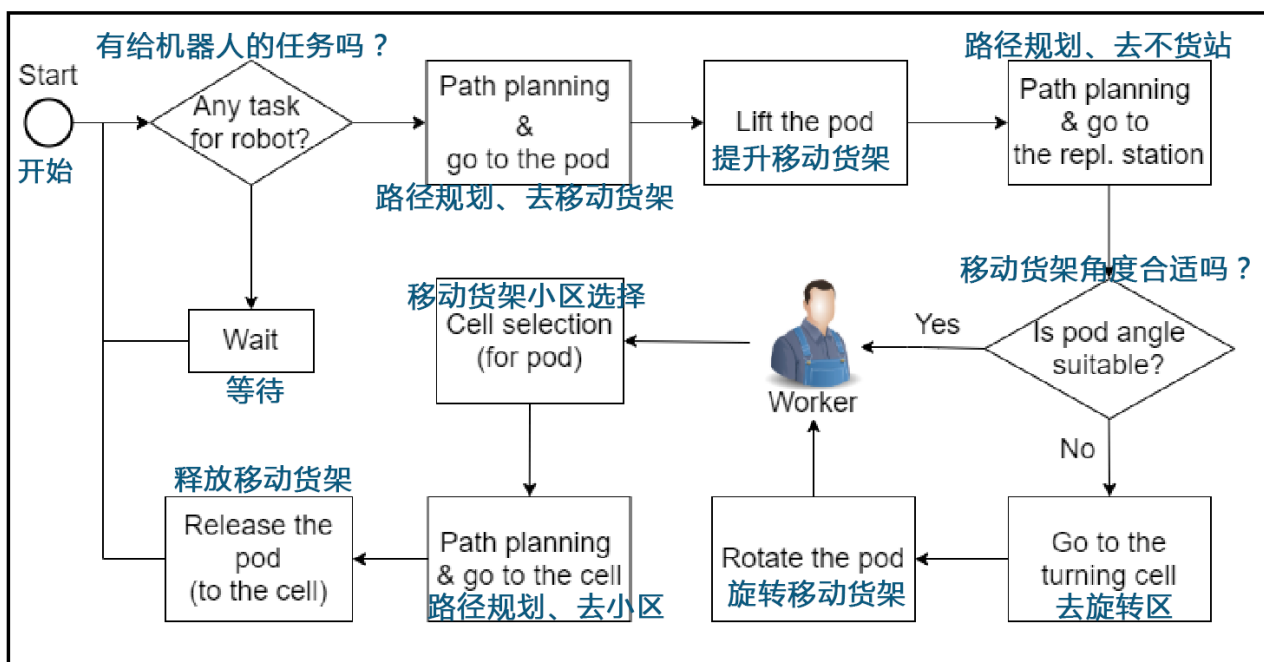
订单任务流程[5]



机器人订单任务执行流程图[5]



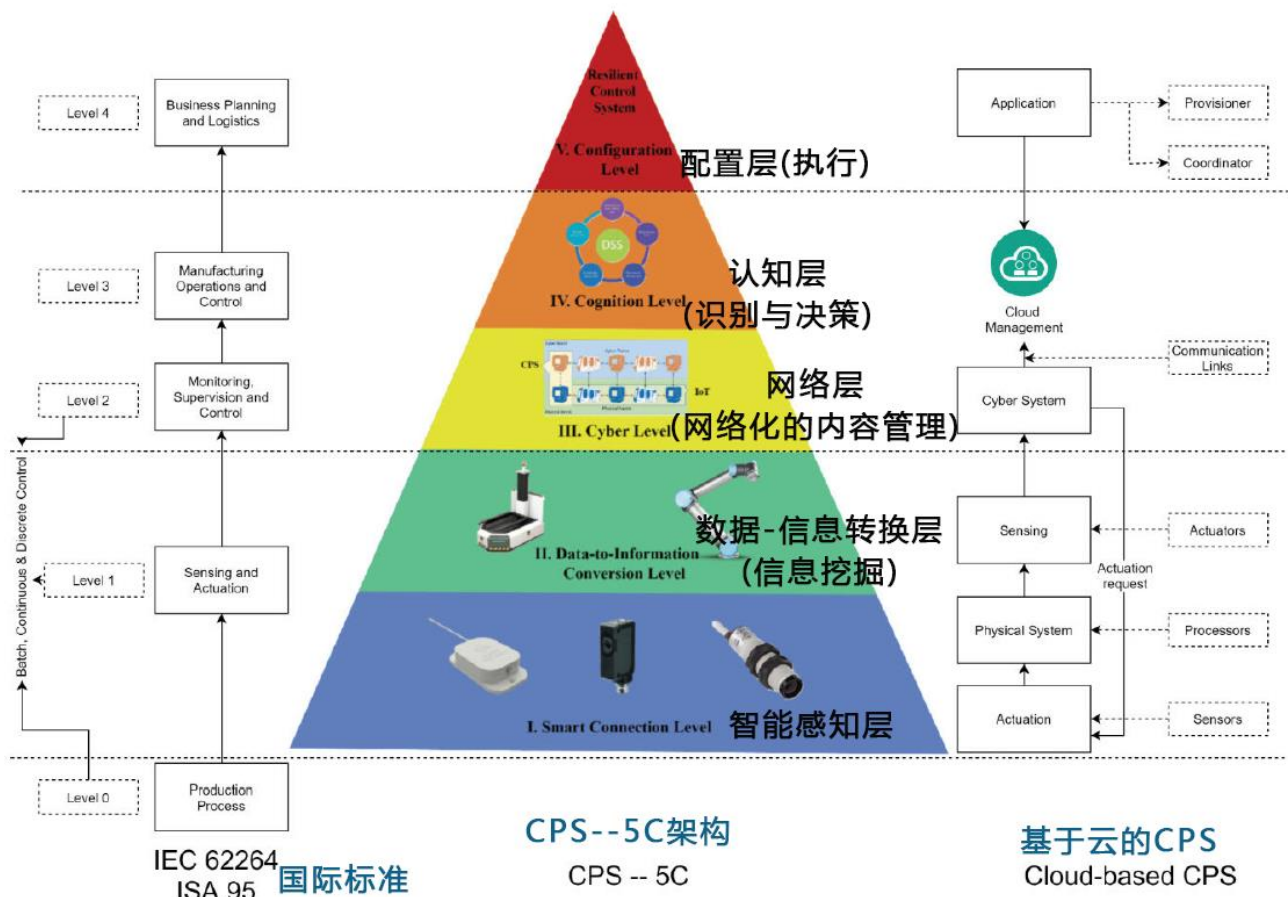
补货任务流程[5]



机器人补货任务执行流程图[5]

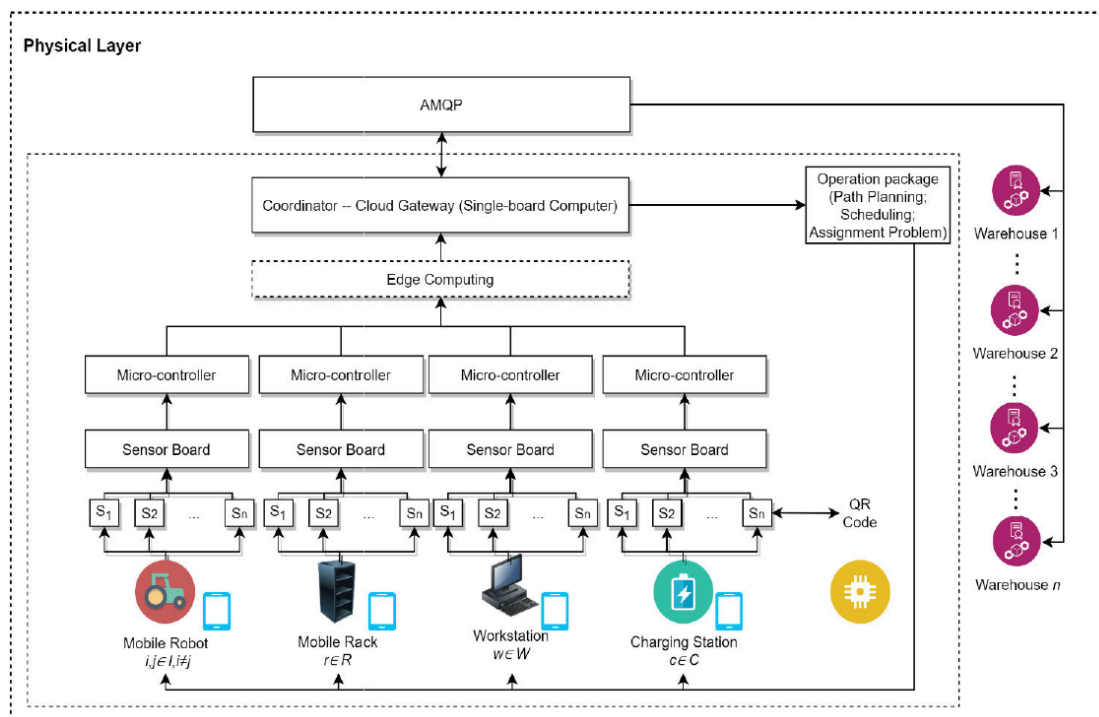
基于云的 RMFS。 香港理工大学和新加坡南洋理工大学研究了基于云的 RMFS[6]。他们致力于在 RMFS 中利用基于云的信息物理系统（Cyber-Physical Systems, CPS）创造价值。通过

提供对云服务和物联网增强的分析，整合了云、CPS、IEC 62264 和 ISA95 中的相关概念，以构建提供更好订单状态的 RMFS，特别是如何在运营效率和系统可靠性方面获得收益。他们提出了一种基于云的 CPS 架构，从而提供了对多层多深度仓库布局中的避免冲突策略的全面理解。这项研究提出了 RMFS 中的六个冲突分类，并提供了现实生活中的一个研究案例。

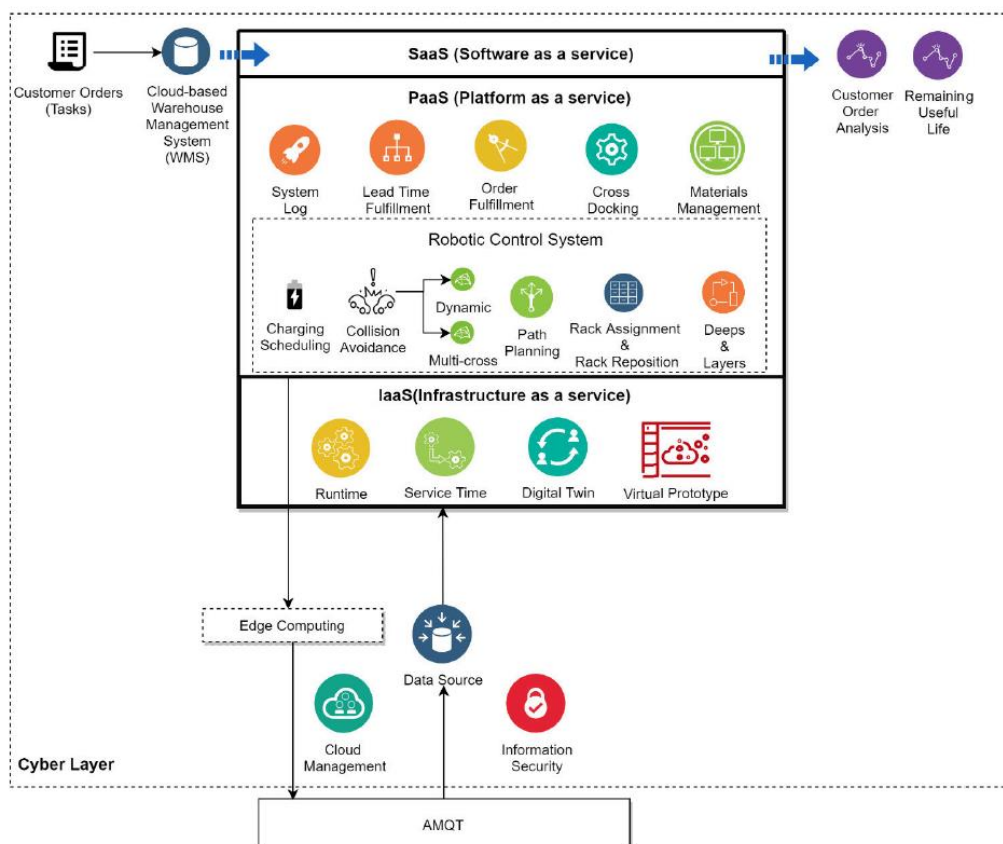


CPS、基于云的 CPS 和 IEC62264/ISA95 的概念架构[2]

IEC 62264 和 ISA95 这两个国际标准都定义了制造运营管理模型，其中包括生产控制、调度、维护管理或质量控制。



RMFS 中基于云的 CPS 的物理层



RMFS 中基于云的 CPS 的物理层

国内在 RMFS 方面具有突出的成就。除了企业从应用角度的产品开发外，RMFS 技术研究也颇受重视。

文献[6]研究了模块化 RMFS 系统的设计。提出了一种面向中小型物流仓库的模块化机器人系统。

文献[7]针对 RMFS 与传统仓库在设备特点及订单履行流程等方面的不同，研究了系统的订单处理问题。在利用启发式算法实现共享储位指派优化的基础上，针对 RMFS 的动态拣选场景提出求解货架调度次数最少的混合算法。该算法在小规模问题中能减少 47% 的货架调度次数，有效提高了订单的履行效率。

参考文献

- [1] Andy Ham, Drone-Based Material Transfer System in a Robotic Mobile Fulfillment Center, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Volume: 17, Issue: 2, April 2020
- [2] K. L. Keung, et al., Cloud-Based Cyber-Physical Robotic Mobile Fulfillment Systems: A Case Study of Collision Avoidance, IEEE Access, Vol.8, 2020.
- [3] P. R. Wurman, et al., Coordinating hundreds of cooperative, autonomous vehicles in warehouses," AI Mag., Vol. 29, No. 1, 2008.
- [4] J. J. Enright and P. R. Wurman, "Optimization and coordinated autonomy in mobile fulfillment systems," in Proc. 9th AAAI Conf. Automated Action Planning Auton. Mobile Robots, Aug. 2011
- [5] Ali Bolu, et al., Adaptive Task Planning for Multi-Robot Smart Warehouse, IEEE Access, Vol.9, 2021
- [6] Wei Wang, et al., A Comprehensive Framework for the Design of Modular Robotic Mobile Fulfillment Systems, IEEE Access, Vol. 8, 2020
- [7] 冯爱兰等, 移动机器人履行系统的订单处理研究, 计算机工程与应用, 2020, 56 (20)

临菲学堂课程推荐：

- [人工智能与人脸识别](#)



临菲信息技术港



临菲信息技术港公众号



临菲学堂



临菲少年