

# Simulation and Analysis of SMT Production Line Based on Plant Simulation

Feng Zhang<sup>1</sup>, Yihui Guan<sup>1</sup>, Honghui Zhan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao Shandong

<sup>2</sup>HUST-Wuxi Research Institute, Wuxi Jiangsu

Email: China\_ml@163.com

Received: Dec. 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: Dec. 20<sup>th</sup>, 2019; published: Dec. 27<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Production line simulation is an effective means of planning and scheduling in the manufacturing workshop. In this paper, based on the AGV quantity planning and path planning in the AGVS design process of an electronics manufacturing enterprise in rail transportation industry, a production system simulation model based on Plant Simulation is established to minimize the material delivery time, summarize the optimal vehicle configuration and layout scheme, and provide decision support for production logistics solutions in electronics manufacturing plants.

## Keywords

AGV, Simulation, Plant Simulation, Modeling

---

# 基于Plant Simulation的SMT生产线仿真技术研究

张 峰<sup>1</sup>, 管益辉<sup>1</sup>, 湛红晖<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛

<sup>2</sup>华中科技大学无锡研究院, 江苏 无锡

Email: China\_ml@163.com

收稿日期: 2019年12月7日; 录用日期: 2019年12月20日; 发布日期: 2019年12月27日

---

## 摘 要

生产线仿真是对制造车间进行生产规划、调度的有效手段。本文针对某轨道交通装备制造企业SMT车间AGV

调度系统设计过程中AGV数量规划、路径规划等问题,建立了基于Plant Simulation的生产系统仿真模型,以物料配送时间最小化为目标,总结最优车辆配置与布局方案,为车间生产物流方案提供决策支持。

## 关键词

自动导引车, 仿真, Plant Simulation, 建模

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着自动化程度的不断提高, SMT 产线的高度自动化与仓储物料执行的传统手工作业越来越不相协调, 劳动用工分配不合理[1]。因此, 自动导引车(Automated Guided Vehicle, AGV)逐渐成为生产线自动化物流系统的关键设备, 来实现物料的仓储、分拣、校核、配送的自动化和智能化。由多辆 AGV 组成的自动导引车系统(Automated Guided Vehicle System, AGVS)广泛运用于许多行业的物流自动化中[2]。然而由于 AGVS 属于典型的离散事件动态系统, 在系统分析与优化过程中需要考虑的方面很多, 如: AGV 导引路径网络布局及装卸点位置安排、AGV 配置数量确定、AGVS 任务调度策略, 以及 AGVS 交通管理策略等等[3]。AGV 价格昂贵, 且 AGV 数量过多反而会阻碍其利用率的提升, 造成资源浪费[4]。因此如何根据生产计划配置相应数量的 AGV 并制定合适的调度策略, 使其满足产能需求一直是企业关注的问题。

本文以某公司 SMT 车间为研究对象, 针对车间 AGV 物流系统, 以物料配送时间最小化为目标, 基于 Plant Simulation 仿真软件建立模型, 以改变 AGV 配置数量以及车间单元布局为手段, 总结最优车辆配置与布局方案, 为车间生产物流方案提供决策支持。

## 2. 应用背景

以 AGVS 在某公司 SMT 车间的应用为例, 车间布局如图 1 所示。

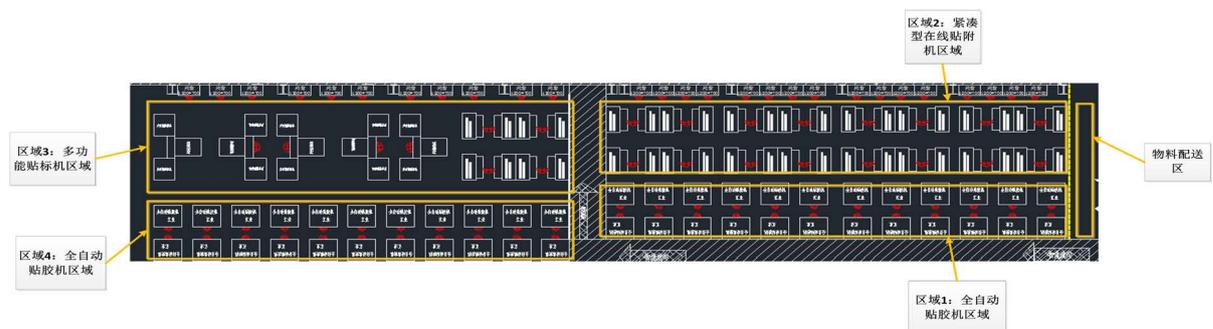


Figure 1. Layout of workshop

图 1. 车间布局示意图

图 1 中车间布局涉及到物料配送区和贴胶工位区。贴胶工位区又可分为四个区域, 包括:

- 区域 1: 全自动贴胶机区域
- 区域 2: 紧凑型在线贴附机区域

- 区域 3: 多功能贴标机区域
- 区域 4: 全自动贴胶机区域

其中, 区域 3 共有工位 24 个, 上下料点 12 个; 区域 2 共有工位 16 个, 上下料点 8 个; 区域 3 共有工位 23 个, 上下料点 5 个; 区域 4 共有 22 个, 上下料点 11 个。全部车间包含两种加工设备: 压敏胶贴合 55 台, 高温胶贴合 46 台。两种设备所用物料与物料配比均相同, 仅生产节拍不同。

### 3. 仿真建模

生产物流系统属于典型的离散事件系统, 离散事件系统仿真的一般步骤包括: 系统建模、确定仿真算法、建立仿真模型、设计仿真试验、运行仿真实验以及输出仿真结果分析数据[5]。

#### 3.1. 仿真软件选择

目前应用于生产线仿真的软件有 Plant Simulation、Flexsim、Witness 等, 都采用了面向对象的虚拟仿真技术, 并可以对模型系统进行模型规划和数据统计等操作。Plant Simulation 原名 em-plant, 是以色列 Tecnomatix 开发的软件工具, 被西门子公司收购后改名。

#### 3.2. 生产系统建模

根据上文描述, 贴胶工位涉及到的设备包括: 压敏胶贴合 55 台, 高温胶贴合 46 台, 并且两种设备所用物料与物料配比均相同, 仅生产节拍不同, 因此在本次仿真中采用相同的模型。通过设置相应的节拍时间以区别两种设备。

#### 3.3. AGV 系统建模

##### 3.3.1. 轨道模型

在 Plant Simulation 中, AGV 运行轨道用 Track 对象实现, 采用单向单通道的方法, AGV 在轨道上只能按照规定的方法依次通过。在装卸站点附近时, 当 AGV 执行装卸作业时, 该轨道仍将被占用, 后续车辆不得通过。

每段线路根据其长度与 AGV 长度, 限制了其可容纳车辆数量, 因此当车辆进入各轨道前, 设置传感器触发检测路段容量程序, 程序由 Method 对象中编程语言实现。

在轨道的交汇点, 通过设置 sensor 对象, 控制车辆遵循先到先行的原则。

##### 3.3.2. 车辆模型

AGVS 由 AGV、导引路径网络以及 AGVS 控制系统组成, 在 Plant Simulation 仿真软件中, AGV 和导引路径可分别用 Transporter 和 Track 等对象来表示。AGVS 控制系统可以分为 AGVS 中央决策层与 AGV 执行层。其中, 中央决策层负责接受来自 MES 系统的物料配送指令, 然后发布出库、备料、AGV 调度等控制指令, 并反馈执行信息给 MES 系统。物料配送流程如图 2 所示。

AGV 每次只能搬运一个托盘, AGV 运行速度为 1 m/s, 装卸载时间为 25 s。AGV 蓄电池充电特性为: 每工作 4 h 需充电 1 h。

##### 3.3.3. 交通管理

每台 AGV 的工作均在上位机系统监控下运行, AGV 随时向系统汇报自身工作状态, 等待系统给出下一步将要经过的线路指令[6]。当多辆 AGV 运行于同一个路径系统中时, 不可避免地会存在相互干涉、冲突的现象。在单向路径网络中, AGV 运行过程中常见的干涉如图 3 所示。

AGV 运行过程中常见的干涉如图 3 所示。

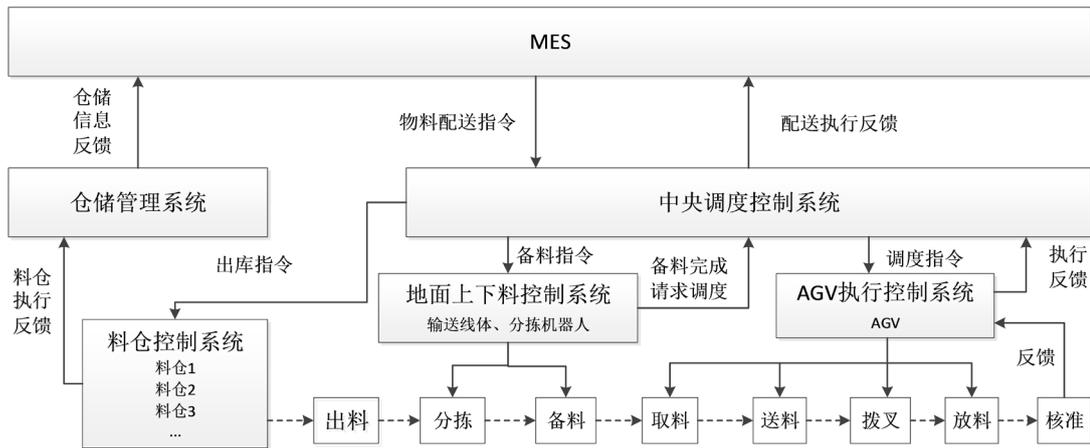


Figure 2. The material feeding process  
图 2. 物料配送流程

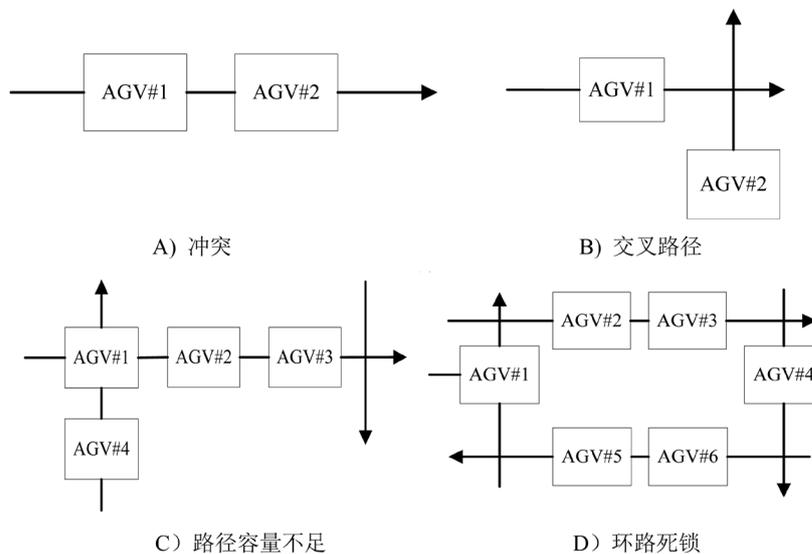


Figure 3. The common interference during AGV operation  
图 3. AGV 运行过程中常见的干涉现象

本次仿真由于车间轨道布局原因，采用等待规则，即若下一路段已被其他车辆占用，则车辆不能通行，必须等待系统许可后，继续前行。

### 3.3.4. 调度及路径规划

搬运任务分配及 AGV 调度可理解为当系统中存在多个搬运任务和空闲 AGV 时，确定搬运任务和 AGV 的分配关系。针对本文所研究的系统，采用先到先服务的策略，在 Plant Simulation 中，可以通过 Table 对象记录新的搬运任务及其产生的时刻，当系统中产生一辆空闲 AGV 时，立即执行 Table 对象中最先记录的搬运任务。

由于本文所研究的 AGVS 均是基于单向路径网络，AGV 在每条路径段上允许的运行方向预先确定且在运行过程中不变，这就使得 AGV 自主路径规划成为可能，各 AGV 均存有地图(路径网络)，各 AGV 一旦获得目标工位点，即可通过 Dijkstra 算法规划一条从自身位置到目标节点的最短有向路径。

按照上述信息，结合本文研究对象实际背景构建仿真模型如图 4。

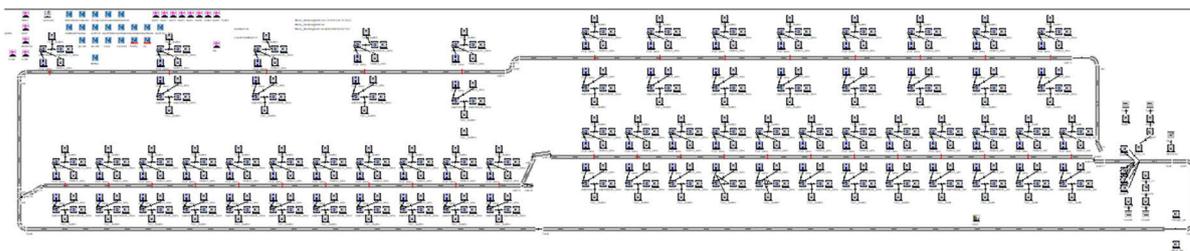


Figure 4. The equipments layout in simulation software interface

图 4. 车间设备布局仿真界面

#### 4. 仿真模型的应用

根据该车间生产实际情况，随机生成多份模拟订单待完成；AGV 中央系统获得订单后，将待加工原材料储存于物料柜，并开始发布任务。AGV 每次运载柔性电路板原料 12 套或贴纸 5 份，其中每份贴纸可供生产 10 套电路板。AGV 运行速度为 1 m/s，原料取料及卸料时间均为 30 s。

该生产车间为 71 个加工工位，根据本项目所设计物流方案，每两个工位公用一个送料点与一个回收点，生产节拍均假设为 1 min/套。工位上料阈值为 2 套，即当线边暂存区库存低于 2 套时，向上位机系统发布上料请求。

##### 4.1. 基于 AGV 配置数量的仿真

由于 AGV 成本昂贵，AGV 数量过多，不仅会造成资源浪费，也容易引起 AGV 之间的干涉和冲突，造成堵塞，增加调度的难度。反之，若 AGV 数量不足，将无法完成生产需求，造成设备等待和停机，影响车间的经济效益。

为此，本项目首先基于系统仿真模型和上述的参数设置，评估保证生产车间满负荷运行、稳定运行所需要的 AGV 数量，在此基础上制定 AGV 调度策略。仿真时，将系统中所需 AGV 数量作为可变参数，逐渐增加模型中的 AGV 数量。在每一班开始工作前，需 AGV 提前配送各工位所需物料，在每一种 AGV 数量下，记录 AGV 完成全部工位上料的准备时间作为评价指标。仿真结果如图 5 所示。

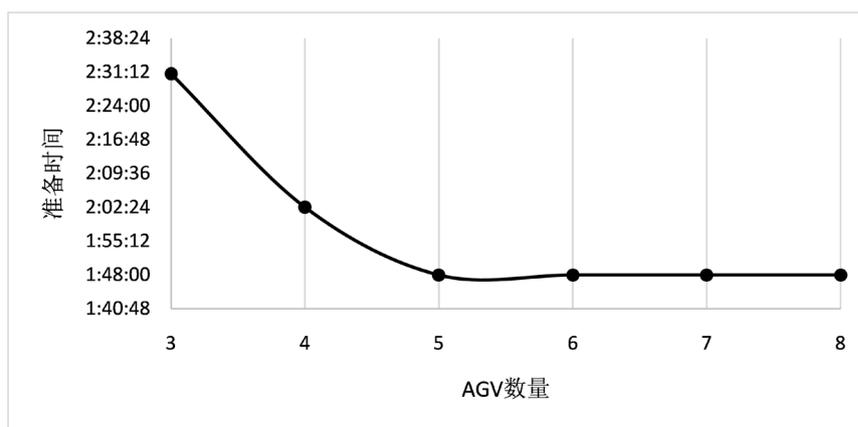


Figure 5. The relationship between AGV's quantity and set-up time

图 5. AGV 数量与准备时间之间关系

从图中可以得出如下结论：

- 1) 当 AGV 数量低于 5 辆时，增加 AGV 数量可以有效提高物料配送效率，减少生产前的准备时间。

例如，当配置三辆 AGV 时，AGV 完成全部工位上料任务所需时间为 2.52 h，而当 AGV 数量为 5 辆，AGV 完成全部工位上料任务所需时间为 1.8 h；

2) AGV 数量的增加与准备时间的缩短不完全成反比关系。随着车辆数量的增加，准备时间减少趋于不明显。尤其，当 AGV 数量达到 5 辆以后原因在于：多辆 AGV 同时作业时，需共用同一取料点，当前序车辆在取料点取料时，后续车辆不得通过或同时进行取料作业，造成堵塞。

另外，本项目所设计的轨道布局较为简单，任意两点之间路径均为唯一的，当车辆的行驶路段上，有其余车辆正在进行卸料或取料回库作业，同样会造成车辆堵塞，降低物流效率。

因此当 AGV 数量超过五辆后，单纯地增加车辆数量已毫无意义。

3) 在现有参数下，五辆 AGV 已足以将准备时间缩短至最小。考虑在满足生产实际需要的同时，需留有一定的余裕，因此配置六辆 AGV 是较为理想的方案。

## 4.2. 基于取料点设置的仿真

根据上述结论，当前方案所设计的单一取料点，在 AGV 数量增加的情况下，容易造成堵塞，不能满足物料配送需求，因此设计仿真试验，改变取料点数量，分析其与生产物流系统性能之间的关系，为确定 AGV 最佳停靠点设置提供合理依据。仿真方案及主要性能指标比较见图 6。

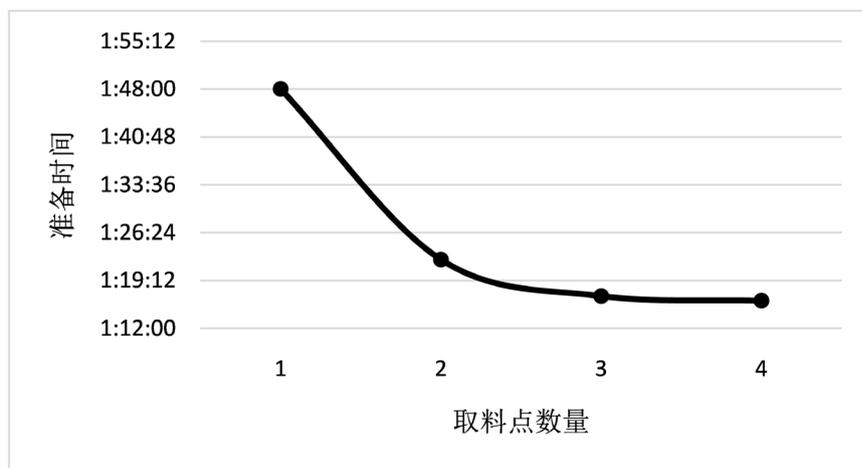


Figure 6. The relationship between material handover point's quantity and set-up time  
图 6. 取料点数量与准备时间之间关系

由图中可以看出，增加取料点可以实现多台 AGV 同时取料，提高 AGV 取料效率，从而降低取料点堵塞程度，缩短准备时间。但是当取料点超过 3 以后，取料点数量对缩短准备时间的作用趋于不显著。原因在于：本仿真试验中 AGV 数量为固定值，当仿真运行时，很少存在过多 AGV 同时等待取料的现象，此时继续增加取料点数量则不能发挥相应的作用。

## 5. 结论

本文以 Plant Simulation 仿真软件为工具，以某轨道交通企业电子器件 SMT 生产车间为研究对象，建立了系统仿真模型并完成一系列仿真实验，得到系统在各种参数配置和调度策略下系统的性能指标，详细分析了 AGV 数量、停靠点设置与生产准备时间、加工设备利用率之间的对应关系。在此基础上得出结论：同时也验证了本项目所设计的 AGV 智能调度算法相较于简单调度策略的合理性与可行性，有效地提高了 AGV 服务能力。

---

## 参考文献

- [1] SMT 专用 AGV 组成的 SMT 自动化生产线[EB/OL]. <https://www.sohu.com/a/229378865-208207>, 2018-04-25.
- [2] 肖海宁, 楼佩煌, 满增光, 等. 自动导引车系统实时多属性任务调度方法[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(10): 2224-2230.
- [3] 刘建, 黄奇峰, 王忠东, 等. 基于 Plant Simulation 的 AGV 输送系统仿真分析及其应用[J]. 现代制造工程, 2013(11): 13-15.
- [4] 张远春, 范秀敏, 驹田邦久. 基于仿真优化的多种类型 AGV 数量配置优化方法[J]. 中国机械工程, 2011, 22(14): 1680-1685.
- [5] 马继东. 离散事件系统仿真中加工问题的程序设计[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2003.
- [6] 肖江波. 基于 FLEXSIM 的配送中心系统仿真与优化[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2008.