

1-2-2019

Optimization of Scheduling Rule of Unidirectional Material Handling System with Short-cut

Juntao Li

1.College of Engineering Science and Technology, Shanghai Ocean University Shanghai, 201306, China; ;

Kun Xia

1.College of Engineering Science and Technology, Shanghai Ocean University Shanghai, 201306, China; ;

Kise Hiroshi

2.Kyoto Institute of technology/Kyoto 601-8585, Japan;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Optimization of Scheduling Rule of Unidirectional Material Handling System with Short-cut

Abstract

Abstract: *To decrease the interference and improve the performance of a unidirectional circulation-type material handling system on a single loop with a shortcut, the interference and scheduling problem between AGVs are studied. According to the actual situation of material handling system, the interferences of two scheduling rules (random rule and order rule) are analyzed. An optimal scheduling rule under the interference case—*exchange order rule* is proposed. Different scheduling rules have an influence on the interference between AGVs and then have an important effect on the efficiency of the whole system. Experiment results show that *the exchange order (E-Order) rule is better than the random rule and the order rule, which can decrease congestion (interference time), improve the handling efficiency and achieve the optimal performance.**

Keywords

material handling system, scheduling, short-cut, optimization

Recommended Citation

Li Juntao, Xia Kun, Kise Hiroshi. Optimization of Scheduling Rule of Unidirectional Material Handling System with Short-cut[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(2): 707-713.

交叉环单向循环搬运系统最优调度算法的研究

李军涛¹, 夏琨¹, 木濑洋²

(1. 上海海洋大学工程学院, 上海 201306; 2. 京都工艺纤维大学, 日本 京都 601-8585)

摘要: 为了减少交叉环单向循环搬运系统的干涉并提高系统效率, 着重研究了交叉环单向循环搬运系统中小车间干涉及调度优化问题, 对两种基本调度算法(随机调度、顺序调度)进行干涉分析, 提出了干涉发生情况下车辆调度的最优调度算法—交换顺序调度算法。不同的调度算法影响着小车间的干涉情况, 进而影响了整个柔性制造系统的搬运效率。实验显示: 交换顺序调度算法优于随机调度算法和顺序调度算法, 既能减少了系统的干涉又提高了系统搬运效率, 实现系统优化。

关键词: 物料搬运系统; 调度; 交叉环; 优化

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 02-0707-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201802041

Optimization of Scheduling Rule of Unidirectional Material Handling System with Short-cut

Li Juntao¹, Xia Kun¹, Kise Hiroshi²

(1. College of Engineering Science and Technology, Shanghai Ocean University Shanghai, 201306, China;

2. Kyoto Institute of technology/Kyoto 601-8585, Japan)

Abstract: To decrease the interference and improve the performance of a unidirectional circulation-type material handling system on a single loop with a shortcut, the interference and scheduling problem between AGVs are studied. According to the actual situation of material handling system, the interferences of two scheduling rules (random rule and order rule) are analyzed. An optimal scheduling rule under the interference case—exchange order rule is proposed. Different scheduling rules have an influence on the interference between AGVs and then have an important effect on the efficiency of the whole system. Experiment results show that the exchange order (E-Order) rule is better than the random rule and the order rule, which can decrease congestion (interference time), improve the handling efficiency and achieve the optimal performance.

Keywords: material handling system; scheduling; short-cut; optimization

引言

半导体晶圆制造系统(Semiconductor Wafer Fabrication System, 简称 SWFS)是半导体制造过程



收稿日期: 2016-01-13 修回日期: 2016-04-08;
基金项目: 上海市教委重点创新项目基金(12ZZ167),
教育部留学归国基金(D-8002-13-0343-2);
作者简介: 李军涛(1974-), 男, 湖北荆门, 博士, 副教授, 研究方向为物流搬运系统优化与仿真。

中最为复杂和昂贵的环节, 先进的 SWFS 生产调度技术对于半导体制造业所产生的经济效益尤为重要, 在制品水平每降低 1%将减少数百万元的成本, 而制造周期每缩短 1%将增加数千万元的产出^[1]。在半导体晶圆制造系统中, 为提高搬运效率、减少人工搬运等而应运而生的自动化物料搬运系统(Automated Material Handling System, 简称 AMHS)扮演着重要的角色^[2]。AMHS 系统不仅可以有效地利用有限的洁净室生产空间, 还可以提高生产设备

<http://www.china-simulation.com>

的利用率,减少在制品量,缩短周期时间等。

单环单向循环搬运系统不仅是半导体晶圆制造自动化物料搬运系统的典型和基本环节,而且是自动化集成系统中从装卸点到立体仓库出库点、入库点的重要衔接子系统,在日本工厂自动化集成系统中得到广泛运用,国外学者 Sandor Markon 和 Hiroshi Kise^[3]等对其进行了许多理论研究,在这样的系统中,一系列小车沿着一个单环单向循环运行,装载货物送往路径上设置的处理站点,处理完毕后沿最短路径将货物送到卸货点。小车不断循环往复直到所有货物都被处理完成,由于车辆间不能超越,所以很难避免小车之间干涉情况的发生^[4-5]。在单环单向搬运系统中增加交叉环,可以避免小车间不必要的等待时间,为单环单向搬运系统提供捷径^[6]。在带有交叉环的单向循环搬运系统中,对其车辆调度进行优化,可提高搬运效率,消除浪费、降低生产成本,对实现企业降低成本,提高效率有着重要的意义。

鉴于交叉环单向循环搬运系统的复杂性,涉及到此系统的研究较少,和本文相关方面的研究主要是从车辆路径优化、设施布局优化和车辆调度对柔性制造系统或半导体晶圆制造系统进行研究。

国外学者 Che-Fu Hsueh^[7]等对搬运系统路径的优化做了研究,曹平方等^[8]用分支界定法对车辆路径问题进行算法优化。针对设施布局优化问题, Pierpaolo Caricato^[9]和 Mahdi Hamzeel^[10]等对最优装卸货点的定位问题进行了研究; Ying-Chin Ho^[11]等人提出动态区域策略来优化 AGV 系统。对于半导体晶圆制造系统调度问题的研究, Wei Qin 等^[12]提出了综合调度算法结合遗传算法,增加了半导体晶圆的单位时间生产量并减少了处理循环时间; 郑雯^[13]、周炳海^[14-15]等为半导体晶圆制造系统中解决高空提升运输(OHT)防死锁问题,结合匈牙利算法提出了最优调度方法。廖伟志^[16]和刘晓斌^[17]等结合 Petri 网模型和免疫算法来有效地实现柔性制造系统调度优化。但以上研究基本都针对柔性制造系统或单环系统运用人工智能方法来解决车辆路

径及其调度问题,其计算时间长、回避了干涉问题且运用起来比较困难、复杂。本文从物料搬运系统的实际情况出发,着重研究交叉环单向循环搬运系统中小车间干涉及调度优化问题,为了增加系统单位时间搬运量,减少系统干涉时间,利用调度算法和数学建模等作为指导,对现有的调度算法进行分析,得到适合干涉情况下小车调度算法的最优化方法,调度算法方法简单易行,计算量小,为实际生产调度提供了理论指导。

1 问题描述

如图 1 所示,交叉环单向循环搬运系统由长度为 L 的总环线以及长度为 L_b 的支线, n_v 辆小车(AGV), n_s 个具有相同功能的处理站点(用于自动化立体仓库出入库站点存取货物处理或平行机器的加工处理)和装卸点 I/O (含一个装货站点 S_0 和一个卸货站点 S_{n_s+1})构成。 n_v 辆 AGV 的集合为 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_{n_v}\}$, n_s 个处理站的集合为 $S^P = \{S_1, S_2, \dots, S_{n_s}\}$ 。

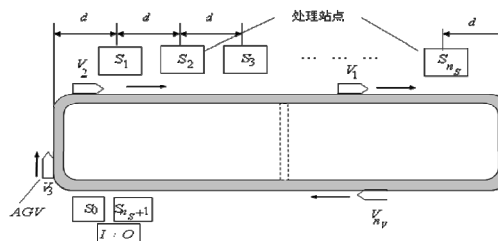


图 1 交叉环单向循环搬运系统模型
Fig. 1 Layout of unidirectional circulation-type material handling system

在这个系统中, n_j 个作业(或是工件)的集合 $J = \{J_1, J_2, \dots, J_{n_j}\}$ 按照 S_0 的出发顺序来进行编码,每个作业 J_i (其中: $1 \leq i \leq n_j$) 在 S_0 的位置被装载,再由车辆搬运到某个处理站点 S_m (其中: $1 \leq m \leq n_s$) 并进行处理(或存储);在处理站点被处理(或拣选)完成后运送到 S_{n_s+1} 进行卸载。作业 J_i 在 S_m 站点的处理时间称为 $P_m(i)$ 。车辆在搬运的过程中,除在交叉汇合点外,不能被超越,所以会产生前一辆车在处理站点上进行处理的同时后一辆

车被迫等待的情况, 即发生干涉, 产生一定的干涉时间, 影响系统的搬运效率。

假设所有的处理站(不包括装载和卸载站)都拥有同样的功能, 这种情况下每个作业的处理过程都是相同的。一般来说, 这个平行系统, 可以提供最高的系统效率和最高的系统可靠性。尤其当假设处理时间 $P_m(i)$ 不依赖于站点 S_m 和作业 J_i , 换言之, 如果作业 J_i 在 S_m 被处理, 则 $P_m(i)=P_p$ (常数), 不然 $P_m(i)=0$ 。根据实际生产, 在卸货点的卸货时间 $P_{n_s+1}(i) = P_{n_s+1} < P_p$, 则在装载点和卸载点之间永远不出现瓶颈现象, 不失一般性, 设 $P_o(i)=0$, 此情况适用于每个作业只做货物出库工作时。

2 干涉机制分析

本文假设车辆的加速度和减速度是无限的, 并且任意两点之间的距离由一辆持续运行的小车所需的时间单位来衡量。假设每辆车以相同恒定不变的速度运行着, 采用区域控制策略, 保持两个相邻车辆间至少 d_B 的距离避免碰撞, 并假设当车辆在第一个圈离开 I/O 站点时, 每两个相邻车辆之间的距离是 d_B (即为最小发车间隔)。

如图 2 所示, 设 $S_{m(k)}$ 为车辆 V_k 运载货物的处理站点, 若 $m(k)=m(k+1)$, 则 V_k 和 V_{k+1} 两车之间的干涉称为串行干涉; 若 $m(k)>m(k+1)$, 则两车之间的干涉称为平行干涉; 若 $m(k)<m(k+1)$, 则两车之间的干涉称为非平行干涉。注意在 I/O 站点, 每辆车之间发生的干涉为串行干涉。在交叉环单向循环搬运系统的运行过程中, 小车间还会在交叉汇合点发生干涉, 称为交叉汇合点干涉。

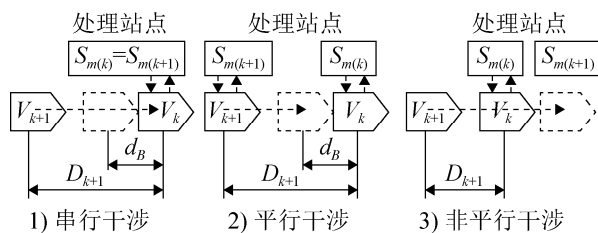


图 2 干涉类型图
Fig.2 Interference type

3 调度算法方法

3.1 随机调度算法

以相同的概率($1/n_s$)随机分配一个作业到任何一个处理站点的这种车辆调度原则被称为随机调度算法(Random rule)。随机调度算法下, 干涉可能会发生在任何一个处理站点^[18]。

3.2 顺序调度算法

如果分配作业 J_i 至站点 $S_{m(i)}$, 满足条件:

$$m(i) = n_s + 1 - i + \lfloor (i - 1) / n_s \rfloor n_s \quad (1)$$

$\lfloor x \rfloor$ 表示不超过 x 的最大整数, 这种车辆调度原则被称为顺序调度算法(Order rule), 即以 $S_{n_s}, S_{n_s-1}, \dots, S_1$ 的顺序重复分配作业 J_1, J_2, \dots, J_{n_j} 至各个站点, 直到所有作业分配完成。顺序调度算法可使作业按处理站点顺序依次进行处理, 在处理时间相同的情况下不会发生串行干涉和平行干涉, 非平行干涉只会发生在第一个处理站点 S_1 , 和随机调度算法在任何一个处理站点都存在干涉发生可能性相比, 可减少作业处理时车辆间不必要的等待时间。以车辆数 $n_v=4$, 处理站点 $n_s=6$, 货物数 $n_j=12$, 处理时间相等的条件为例, 顺序调度作业处理分配方式如图 3 所示: 第一圈四辆小车依次至 S_6, S_5, S_4, S_3 站点处理, 处理时间相同时不会发生串行和平行干涉; 第二圈小车 V_1, V_2 至 S_2, S_1 站点处理, 此时小车 V_3, V_4 被迫等待产生非平行干涉, 待小车 V_1, V_2 处理完成后, V_3, V_4 再至 S_6, S_5 站点处理; 第三圈继续按顺序分配小车至站点处理, 任何一个处理站点不存在干涉, 依次循环直至所有作业完成处理^[18]。

3.3 交换顺序调度算法

为了减少顺序调度算法在 S_1 处理站点所产生的非平行干涉, 本文在上述顺序调度的基础上改变发生非平行干涉作业的处理站点顺序, 提出一种当干涉发生情况下小车新的最优调度算法—交换顺序调度算法(Exchange-order rule, 简称 E-order 调度算法)。

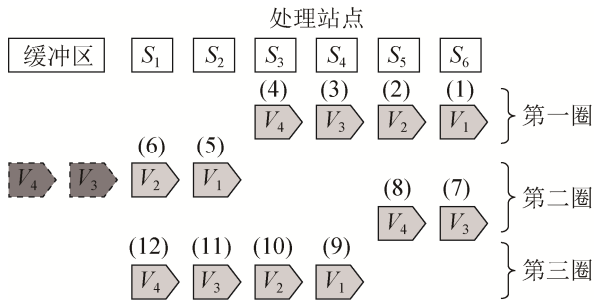


图3 顺序调度算法处理分配图($n_s=6, n_v=4, n_f=12$)
Fig.3 Distribution of order scheduling algorithm
($n_s = 6, n_v = 4, n_f = 12$)

以车辆数 $n_v=4$, 处理站点 $n_s=6$, 货物数 $n_f=12$ 为例, E-order 作业处理分配方式如图 4 所示: 第一圈四辆小车按照顺序调度算法依次至 S_6, S_5, S_4, S_3 站点处理; 与顺序调度不同的是, 第二圈小车 V_1, V_2 和小车 V_3, V_4 交换顺序, 小车 V_1, V_2 至 S_6, S_5 站点处理, 小车 V_3, V_4 至 S_2, S_1 站点处理, 这样即可避免在站点 S_1 处产生非平行干涉; 第三圈继续按顺序调度算法分配小车至站点处理, 依次循环直至所有作业完成处理。

为尽可能减少处理站点 S_1 处产生非平行干涉, 保持各处理站点负载均衡性, 在顺序调度算法的基础上调整车辆的调度顺序, 获得新的最优调度算法 E-order。

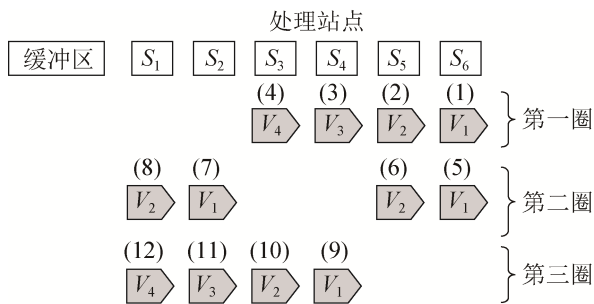


图4 交换顺序调度算法处理分配图($n_s=6, n_v=4, n_f=12$)
Fig.4 Distribution of e-order scheduling algorithm
($n_s = 6, n_v = 4, n_f = 12$)

在 E-order 调度算法中, 小车在装载点装载货物后, 第一圈按顺序调度算法在交叉环上运行。从第二圈开始, 货物 $J_{(l-1)n_v}$ 由小车 V_{n_v} 装载后送至处理站点 S_{u+1} 上处理, 则其中,

$$u = \left\lfloor \frac{(l-1)n_v - 1}{n_s} \right\rfloor + 1 \} n_s - (l-1)n_v \quad (2)$$

由公式 1 推导所得。第 $l(l \geq 2)$ 圈循环时, 第一辆小车 V_1 在处理站 S_u 上处理, 后续装载着货物的小车按顺序调度算法依次顺序排列, V_{n_v} 排至处理站 S_w 上处理, 其中,

$$\omega = \left\lfloor \frac{(ln_v - 1)}{n_s} \right\rfloor + 1 \} n_s + 1 - ln_v \quad (3)$$

为了减少干涉, 同时保持每个处理站点负载的均衡性, E-order 是基于 Order 调度算法进行调整得来的。E-order 调度算法从圈数($l=1$)开始执行, 小车在接下来的第 l 圈中使用下文介绍的两种子规则(变化规则和不规则)。为了保持和顺序调度同样的负载平衡, 设立了以下三个专用条件:

(1) $u < w-1$: 分配给工作站点 $S_m(m=u+1, u+2, \dots, w-1)$ 的车辆数目比给每个剩余工作站的车辆数目少 1 辆。

(2) $u = w-1$: 每个工作站点都分配有相同数目的小车(当 n_v 是 n_s 的倍数)。

(3) $u > w-1$: 分配给工作站点 $S_m(m=w, w+1, \dots, u)$ 的车辆数目比给每个剩余工作站的车辆数目多 1 辆。

变化规则: 从站点 S_{n_s} 开始, n_v 辆车的子集应用顺序调度算法。变化规则对于此子集是最优的, 因为它除了不可避免的干涉(例如, 若 $n_v > n_s$, 在任何规则下($n_v - n_s$)辆小车被堵塞在 S_1 后)不产生其它干涉。

不变规则: 从站点 S_u 开始, n_v 辆车的子集应用顺序调度算法。如果 u 不小于在此子集里的车辆数, 不变规则是最优的, 因为它没有干涉发生, 且若 $u = n_s$, 则退化成变化规则。

E-order 调度算法的使用基于以下两种规则。

(4) $u \leq w-1$: 前 $(n_v - u)$ 辆车, $V_1, V_2, \dots, V_{n_v - u}$, 应用变化规则; 后 u 辆车, $V_{n_v - u + 1}, \dots, V_{n_v}$ 应用不变规则。可以看出, 车辆 $V_{n_v - u}$ 在 S_w 上处理而车辆 $V_{n_v - u + 1}$ 在 S_u 上处理, 因此满足上述条件(1)和(2)。

(5) $u > w-1$: 前 $(n_v - u + w - 1)$ 辆车, $V_1, V_2, \dots, V_{n_v - u + w - 1}$ 应用变化规则; 后 $(u - w + 1)$ 辆车, $V_{n_v - u + w}, \dots, V_{n_v}$, 应用不变规则。其中,

$$n_V - u + \omega - 1 \equiv \left\{ \left[(l^{n_V} - 1) / n_S \right] - \left[((l-1)n_V - 1) / n_S \right] \right\} n_S \quad (4)$$

为 n_S 的倍数。即每站由前 $(n_V - u + w - 1)$ 辆车处理相同数目的货物并且从 S_u 出发的后 $(u - w + 1)$ 辆车的调度满足条件(3), 因此 E-order 调度算法保持如 Order 调度算法一样的负载平衡。E-order 调度算法流程如图 5 所示。

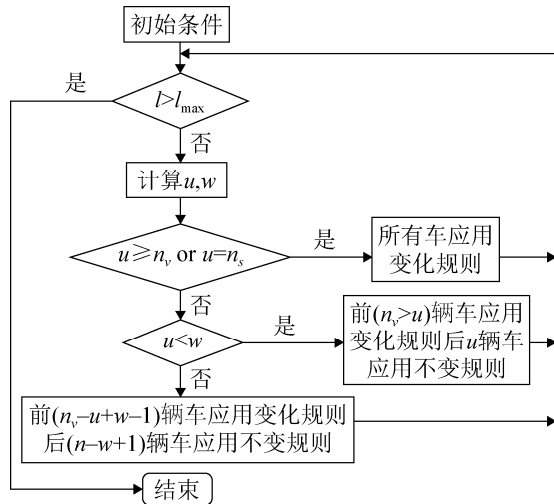


图 5 E-order 调度算法流程图
Fig.5 Algorithm flow chart of e-order rule

4 实验

4.1 实验衡量指标:

物流搬运系统中最重要绩效指标之一是单位时间搬运量(T_p), 这是由单位时间内从装货点搬运到处理站点的货物数或从处理站点搬运到卸货点的货物数决定的。设 F_{max} 为完成处理 n_j 个货物的总完工时间, 则单位时间搬运量被定义为

$$T_p \equiv n_j / F_{max} \quad (5)$$

另一个重要的指标是系统总干涉时间(Total Interference Time, 简称 TIT), 系统干涉时间为系统中除小车正常搬运(不被干涉)的运行时间外所产生的干涉时间总和。

基于以上两个衡量指标, 本研究采用 C 语言实现本文所提调度算法, 对不同调度算法下的交叉环单向循环搬运系统运行机制进行实验。实验条件和结果如下:

4.2 实验条件:

- (1) 系统货物数 n_j : 600;
- (2) 处理站点数 n_s : 6;
- (3) AGV 小车每次装载货物数: 1;
- (4) 卸载货物时间 P_{n_s+1} : 1 s;
- (5) AGV 车速: 1 m/s; 加速度/减速度: ∞ ;
- (6) 货物处理加工时间 P_p : 50 s.
- (7) 车辆数 n_v : 2-12

4.3 实验结果

根据上述实验条件, 通过建立交叉环单向循环搬运系统的数学模型, 计算分析得出不同调度算法下车辆数与单位时间搬运量之间的关系如图 6 所示。

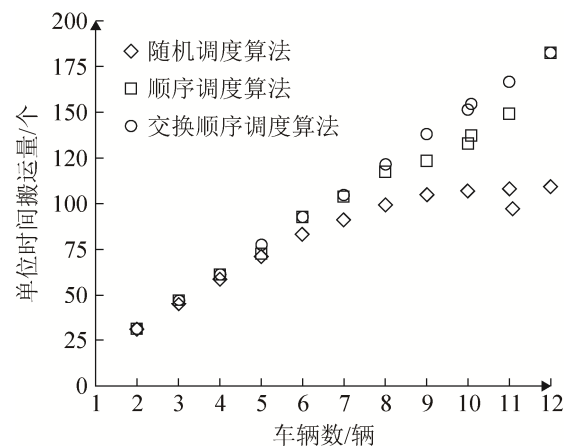


图 6 不同调度算法下系统单位时间搬运量关系图
Fig.6 Relationship between vehicles number and throughput per unit time under different scheduling rule

可以看出: 在 Random 调度算法下, 随着车辆数的增多, 单位时间搬运量逐渐增加, 但由于干涉会发生在任何一个处理站点, 车辆数达到 $n_v=8$ 左右时, 单位时间搬运量基本不再增加; Order 调度算法中, 处理时间相等情况下只有 S_1 处理站点存在发生干涉的可能性, 系统单位时间的搬运量随着车辆数的增加处于整体上升趋势, 存在一定的波动性, 但整体明显优于 Random 调度算法; 而 E-order 调度算法中单位时间搬运量随车辆数的增加接近线性关系递增, 在 3 种算法中最优。

尽管随着车辆数的增加,系统单位时间的搬运量随之增加,但是车辆数的增多会加剧车辆间产生的干涉情况,系统干涉时间也随之增大。3种调度算法下的车辆数与系统总干涉时间关系如图7所示。

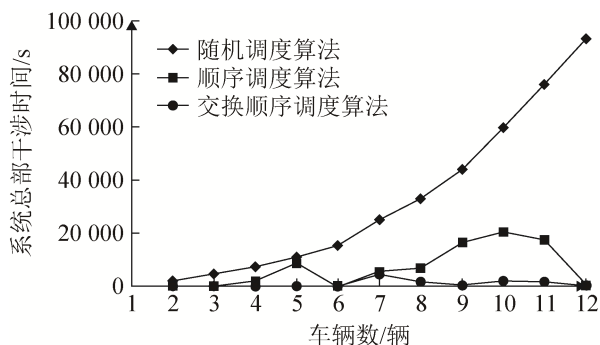


图7 不同调度算法下系统干涉时间关系图
Fig.7 Relationship between vehicles number and interference time under different scheduling rule

从实验结果中可以看出:在 Random 调度算法下,随着车辆数的增加,干涉时间呈指数型在不断增加;在 Order 调度中,随着车辆数的增加系统总干涉也在增加,出现了一定的波动性,但整体优于 Random 调度算法;在 E-order 调度算法中,干涉时间随着车辆数的增加而增加缓慢,干涉时间明显小于 Random 调度算法和 Order 调度算法下的干涉时间。从总体上看, E-order 调度下的单位时间搬运量最大,干涉时间最小, Order 调度次之, Random 调度下不仅单位时间搬运量少且干涉时间最大。在系统中,单位时间搬运量越大,干涉时间越小,系统的运行效率越高。 E-order 交换顺序调度算法优于 Random 随机调度算法和 Order 顺序调度算法,既提高了系统单位时间搬运量,又减少了干涉,提高了系统效率。

5 结论

交叉环单向循环搬运系统广泛地运用于柔性制造系统以及半导体晶圆制造系统中。为了减少搬运系统的干涉时间,提高系统效率,本文分析了其搬运系统的干涉机理,建立了搬运系统的数学模

型,并基于两种基本调度算法(Random 随机调度算法和 Order 顺序调度算法)进行了分析研究,提出了干涉发生情况下车辆调度的最优调度算法—交换顺序调度 E-order 算法,并通过实验进行了优化研究。在处理时间相同情况下, E-order 交换顺序调度算法明显优于 Random 随机调度算法和 Order 顺序调度算法,不仅使单位时间搬运量增加,而且使整个搬运系统干涉时间降低,实现了提高系统效率的目的。该算法的提出对交叉环单向循环搬运系统的实际生产调度具有一定的理论指导作用。

参考文献:

- [1] 郭乘涛. 基于问题分解与蚁群算法的半导体晶圆制造系统调度方法的研究[D]. 上海: 上海交通大学机械与动力工程学院, 2012: 1-9.
GUO Cheng-tao. The reearch on scheduling of wafer fabrication system based on decomposition method and ant colony optimization algorithm[D]. Shanghai: School of Mechanical Engineering of Shanghai Jiao Tong University, 2012: 1-9.
- [2] WU L H, MOK P Y, ZHANG J. An adaptive multi-parameter based dispatching strategy for single-loop interbay material handling systems[J]. Computer in Industry (S0166-3615), 2011, 62(2): 175-186.
- [3] MARKON S, KISE H, KITA H, et al. Control of Traffic Systems in Buildings[M]. Springer London, 2006: 1-10.
- [4] LI J T A Study on Scheduling Problems for Robotic Systems[D]. Kyoto, Japan: Kyoto Institute of Technology, 2006: 1-20.
- [5] Hamed Ghasemzadeh, Ehsan Behrangi, Mohammad Abdollahi Azgomi. Conflict-free scheduling and routing of automated guided vehicles in mesh topologies[J], Robotics and Autonomous Systems (S0921-8890), 2009, 57(6): 738-748.
- [6] 夏琨, 李军涛, 陈淑侠, 等. 交叉环单向循环搬运系统中交叉环位置的优化[J]. 包装工程, 2016, 37(1): 89-93.
XIA Kun, LI Jun-tao, CHEN Shu-xia, et al. Optimization on Locations of Shortcut in a Unidirectional Circulation-type Material Handling System [J]. Packaging Engineering, 2016, 37(1): 89-93.
- [7] HSUEH C F. A simulation study of a bi-directional load-exchangeable automated guided vehicle system[J].

- Computers & Industrial Engineering (S0360-8352), 2010, 58(4): 594-601.
- [8] 曹平方, 李灵, 李诗珍. 基于分枝界定的 VRP 模型精确算法研究及应用[J]. 包装工程, 2014, 35(17): 97-101. CAO Ping-fang, LI Ling, LI Shi-zhen. Research and Application of the Accurate Algorithm of VRP Model Based on Branch and Bound Method[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(17):97-101.
- [9] CARICATO P, GHIANI G, GRIECO A. Improved formulation, branch-and-cut and tabu search heuristic for single loop material flow system design[J]. European Journal of Operational Research (S0377-2217), 2007, 178(1): 85-91.
- [10] Mahdi Hamzeei, Reza Zanjirani Farahani, Hannaneh Rashidi-Bejgan. An exact and a simulated annealing algorithm for simultaneously determining flow path and the location of P/D stations in bidirectional path[J]. Journal of Manufacturing Systems (S0278-6125), 2013, 32(4): 648-654.
- [11] HO Y C, LIAO T W. Zone design and control for vehicle collision prevention and load balancing in a zone control AGV system[J]. Computers & Industrial Engineering (S0360-8352), 2009, 56(1): 417-432.
- [12] QIN W, ZHANG J, SUN Y B. Multiple-objective scheduling for interbay AMHS by using genetic-programming-based composite dispatching rules generator[J]. Computers in Industry (S0166-3615), 2013, 64(6): 694-707.
- [13] 郑雯, 周炳海. 基于事件驱动的高架提升传输小车派工与路径调度算法[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(1): 75-82. ZHENG Wen, ZHOU Binghai. OHT dispatching and routing scheduling algorithm based on events-driven[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(1): 75-82.
- [14] 周炳海, 周琪, 王腾. 基于滚动时域的整体式自动物料搬运系统避碰调度方法[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(7): 1691-1699. ZHOU Bing-hai, ZHOU Qi, WANG Teng. Conflict-free Scheduling For United AMHS Based on Rolling Horizen[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(7): 1691-1699.
- [15] 周炳海, 胡新宇. 孙超基于改进型多目标粒子群算法的晶圆制造系统瓶颈工作站调度[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2014, 35(1): 63-68. ZHOU Bing-hai, HU Xin-yu, SUN Chao. Scheduling of bottleneck workstation in wafer fabrication system s based on improved multi-objective particle swarm optimization algorithm[J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2014, 35(1): 63-68.
- [16] 廖伟志, 古天龙, 王汝凉, 等. 基于混杂 Petri 网的柔性制造系统免疫调度算法[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(1): 205-209. Liao Weizhi, Gu Tianlong, Wang Ruliang, et al. Immune Scheduling Algorithm for FMS Based on Hybrid Petri Nets[J]. Journal of System Simulation, 2010, 22(1): 205-209.
- [17] 刘晓斌, 周炳海. 基于 Petri 网的 OHT 搬运系统防死锁调度方法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(11): 4745-4752. LIU Xiaobin, ZHOU Binghai. Deadlock-free scheduling of OHT transport systems based on Petri nets[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44(11): 4745-4752.
- [18] LI Juntao, KUWATA Joe, LU Mingzhe, et al. Analysis and Optimization for Automated vehicle Routing on a single loop[J]. Journal of the operation Research society of Japan (S0453-4514), 2006, 49(4), 202-221.