

自动导引车系统避免死锁的多属性任务调度方法

管贤平 戴先中
东南大学,南京,210096

摘要:为了提高 AGV 系统的效率,提出一种能避免死锁、权值可动态调整的多属性任务调度方法(AWMA)。根据效率和避免死锁的要求,选择 AGV 到任务起始点的距离、输入输出缓冲区状态作为任务调度的属性指标,根据系统的加工负载和搬运负载状况,确定各个属性的权值。为了保证不发生死锁,在调度过程中采用了基于剩余容量的死锁避免策略。为了验证提出方法的有效性,对三种常用的调度方法与 AWMA 方法进行了对比仿真实验。实验结果表明:采用死锁避免策略可以避免死锁;在资源缺乏的情况下,AWMA 方法优于其他方法,从而证明了 AWMA 方法是有效的。

关键词:自动导引车;多属性调度;死锁避免;剩余容量
中图分类号:TP273 **文章编号:**1004—132X(2009)19—2337—06

Multi—attribute Dispatching Method with Deadlock Avoidance for AGV Systems

Guan Xianping Dai Xianzhong
Southeast University, Nanjing, 210096

Abstract:To improve the efficiency of AGV systems, a deadlock—free multi—attribute dispatching method with dynamic adjustable weights (AWMA) was proposed. Distance, input and output buffer status were selected as dispatching attributes according to the efficiency and deadlock avoidance requirements. The weight for each attribute was determined depending on the processing and transportation loads of the system. To guarantee deadlock free, a deadlock avoidance policy based on remaining capacity was integrated into the dispatching procedure. To validate the effectiveness of method proposed, simulation experiments were conducted to compare three commonly used dispatching methods with the proposed AWMA method. The simulation results show that the deadlock avoidance policy guarantees the system to be deadlock—free and the AWMA method is better than other methods when resources are scarce. This indicates that the proposed method is effective.

Key words:automated guided vehicle(AGV); multi—attribute dispatching; deadlock avoidance; remaining capacity

0 引言

AGV 系统是一种灵活的物流系统,在制造系统、仓储配送系统、转运系统等领域得到了广泛的应用^[1-2]。本文主要考虑制造系统环境下 AGV 系统的任务调度问题。根据属性指标数量的不同,任务调度可以分为单属性指标和多属性指标。Egbelu 等^[3]提出了多种可供选择的单项指标,如 AGV 到任务起始工作台的距离、AGV 的空闲时间、AGV 的使用率、输出缓冲区数量、输出缓冲区剩余数量、任务到达时间等。为了综合考虑系统各方面的因素,可以采用多属性结合的指标^[4-6]。如何确定各个属性指标的权值是个难点。Jeong 等^[4]采用神经网络学习的方法选择不同属性的权值。Naso 等^[5]采用遗传算法来调整权值。这些方法只能离线学习,在实际中,由于系统环境和任

务的动态改变,离线训练的权值常常与实际情况不相符,而且离线学习的样本数据不容易获得。文献^[6]提出的根据系统加工和搬运负载动态调整权值的多属性调度方法,虽然考虑了避免死锁方面的要求,但是仍然不能确保系统无死锁。死锁或阻塞会严重影响系统的性能,Qiu 等^[2]分析了系统中几种阻塞和死锁的情况,主要考虑的是由路径约束引起的碰撞、拥挤、活锁和死锁。Liu 等^[7]分析了产生死锁的条件,列出了加工系统中两种死锁的情形:工件缓冲区不足引起的死锁、多 AGV 路径冲突引起的死锁。路径冲突引起的死锁一般采用区域控制的方法避免^[8]。本文主要考虑缓冲区不足引起的死锁。Liu 等^[7]根据系统的缓冲区状态提出了一种无死锁的调度方法,但是该方法只能适用于有单环回路的路径网络。Lehmann 等^[9]采用资源分配矩阵来检测死锁情况,通过改变不同实体的调度来解决不同程度的死锁,但是这种方法难以处理缓冲区数量不同的

收稿日期:2008—12—08
基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目
(2002CB312204)

运任务。参与的搬运任务为：在输入工作台到达的未分配的任务，或者其他工作台已加工完输出到输出缓冲区中未分配的任务，而参与的 AGV 为空载 AGV。调度主要是为了合理分配利用系统的资源。为此要选择一些属性指标，用来计算搬运任务和 AGV 之间的效用值，用于确定任务分配。综合考虑加工和搬运资源，选择 AGV 到任务起点的距离 f_D 、任务起始工作台的输出缓冲区状态 f_O 、目标工作台的输入缓冲区状态 F_I 作为调度属性指标，根据各属性指标及相应的权值 W_D 、 W_O 、 W_I 来确定搬运任务与 AGV 之间的效用值 f ， $f = W_D f_D + W_O f_O + W_I f_I$ 。由于系统的加工负载是影响缓冲区大小的主要因素，而搬运负载主要影响距离的权重，所以采用根据系统加工负载和搬运负载情况实时更新权重的多属性方法来适应系统状态的动态变化。

为了叙述方便，将搬运任务表示为 $T_i, T_i = (M_p, M_d)$ ，其中 M_p, M_d 分别为搬运任务的起始工作台、目标工作台。工作台 m 的输入缓冲区、输出缓冲区状态分别为 $W_{in}(m), W_{out}(m)$ ， $W_{in}(m) = \frac{c_1(m)}{C_1(m)}, W_{out}(m) = \frac{c_O(m)}{C_O(m)}$ ，其中 $c_1(m), c_O(m)$ 分别为当前工作台 m 输入缓冲区、输出缓冲区的工件数量。为了避免死锁，对以下两种搬运任务赋予较大的权重：① 其起始工作台的输出缓冲区已满；② 其目标工作台输入缓冲区没有工件。则调整后的输入缓冲区状态为

$$f_I = \begin{cases} F_I(1 - W_{in}(M_d)) & c_1(M_d) = 0 \\ 1 - W_{in}(M_d) & \text{其他} \end{cases}$$

输出缓冲区状态为

$$f_O = \begin{cases} F_O(W_{out}(M_p)) & c_O(M_p) = C_O(M_p) \\ W_{out}(M_p) & \text{其他} \end{cases}$$

其中， F_i, F_o 为大于 1 的常数，一般取 $F_o > F_i$ ，可以根据仿真结果，选取合适的值。任务 T_i 对某个待分配的 AGV R_j 的距离值 f_D 由接收任务的 AGV 所在位置 p_R 到任务起始工作台 M_p 的加载点距离确定，即 $f_D = \frac{B - S(p_R, p_{M_p})}{B}$ 。其中， $B = \max(S(i, j))$ ，为 AGV 经过路径网络中相距最远的两个点之间的距离。根据系统的不同加工负载和搬运负载情况确定各个权值：距离权值为 W'_D ， $W_D = L_T$ ；输入缓冲区权值为 W'_I ， $W_I = L_P$ ；输出缓冲区权值为 W'_O ， $W_O = L_P$ 。进行归一化后，有

$$W_D = \frac{W'_D}{W'_D + W'_I + W'_O}$$
$$W_I = \frac{W'_I}{W'_D + W'_I + W'_O}$$

$$W_O = \frac{W'_O}{W'_D + W'_I + W'_O}$$

考虑各个工作台的负载系数 K_m ，则任务 T_i 相对于 AGV R_j 的效用值 $f(i, j)$ 可以表示为

$$f(i, j) = W_I f_I K_{M_d} + W_O f_O K_{M_p} + W_D f_D$$

2.2 避免死锁的任务调度过程

死锁会严重影响系统的性能，使系统陷入停顿，所以要避免死锁，这里只处理因缓冲区容量有限引起的死锁。为了确保不产生死锁，需要对任务调度过程进行一些处理。

当工作台输入缓冲区满，加工设备中有工件，输出缓冲区也满，而且没有其他 AGV 加载输出任务时，等待卸载的 AGV 无法获得输入空间，只能一直等待，这种状态被称为阻塞。如果所有的 AGV 都处于阻塞状态，则系统无法腾出输入空间，所有的 AGV 都无法卸载，这种状态被称为死锁。为了确定 AGV 的阻塞状态，需要知道工作台的剩余容量。工作台 m 剩余容量 $U(m) = C_1(m) + C_O(m) + 1 - c_1(m) - c_O(m) - z(m) - L_1(m) + L_O(m)$ ，其中， $z(m)$ 为 m 当前正在加工的工件数量， $L_1(m)$ 为已分配任务且任务目标工作台为 m 的 AGV 数量， $L_O(m)$ 为已分配任务且任务起始工作台为 m 的 AGV 数量。

当剩余容量小于 0 时，表示该工作台需要其他 AGV 搬运输出任务，则阻塞 AGV 可以定义为：已接受任务且任务目标工作台的剩余容量 $U(m) \leq 0$ 的 AGV。将非阻塞的 AGV 称为活动 AGV。系统中阻塞 AGV 的数量为 N_B 。系统死锁的条件为：系统中所有 AGV 都处于阻塞状态。

避免死锁的策略：当系统中只有一个活动 AGV 时，禁止那些起始工作台没有输入 AGV，而且目标工作台剩余容量小于等于 0 的搬运任务。

假设当前待分配的任务集为 $Y_T, Y_T = \{T_i \mid i = 1, 2, \dots, N_t\}$ ， N_t 为待分配的任务数量；可分配的 AGV 集为 $Y_R, Y_R = \{R_j \mid j = 1, 2, \dots, N_r\}$ ， N_r 为可分配的 AGV 数量。则根据避免死锁的策略，设计避免死锁的调度步骤如下：

Procedure 1: Dispatching($Y_T, Y_R, N_B, U, L_O, L_I$)

(1) 初始化。根据式 (1) 计算 $f(i, j), T_i \in Y_T, R_j \in Y_R$ ；设置 A 的每个元素 $a(i, j) = 0$ 。

(2) 确定可分配的任务集 Y_A 。若 $N_B = N_R - 1$ ，则 $Y_F = \{T_i \mid L_1(T_i(p)) = 0, U(T_i(d)) \leq 0, T_i \in Y_T\}$ ，否则 $Y_F = \emptyset; Y_A = Y_T / Y_F$ 。

(3) 任务分配。若 $Y_A = \emptyset$ 且 $Y_R \neq \emptyset$ ，则 $(k, r) = \arg \max f(i, j), T_i \in Y_A, R_j \in Y_R$ ；令 $a(k, r) = 1; L_O(T_k(p)) = L_O(T_k(p)) + 1$ ；若

$U(T_k(p)) < 0$, 则 $N_B = N_B - 1$; $U(T_k(p)) = U(T_k(p)) + 1$; $L_1(T_k(d)) = L_1(T_k(d)) + 1$; $U(T_k(d)) = U(T_k(d)) - 1$; 若 $U(T_k(d)) < 0$, 则 $N_B = N_B + 1$; $Y_T = Y_T / \{T_k\}$, $Y_R = Y_R / \{R_r\}$; 若 $N_B = N_R - 1$, 则 $Y_F = \{T_i \mid L_1(T_i(p)) = 0, U(T_i(d)) \leq 0, T_i \in Y_T\}$, 否则 $Y_F = \emptyset$; $Y_A = Y_T / Y_F$.

(4) 若 $Y_A \neq \emptyset \ \& \ Y_R \neq \emptyset$, 则返回步骤(3), 否则进行步骤(5)。

(5) 返回 $(A, Y_T, Y_R, N_B, U, L_O, L_1)$

定理 1 在本文假设条件下, 当 $N_R > 1$ 时, 避免死锁的调度过程 Procedure 1 无死锁。

证明 由于所有 AGV 阻塞必然导致系统死锁, 且采用禁止任务的方式, 那么可以分以下两点来证明:

(1) 至少有一个 AGV 不阻塞, 即 $N_B < N_R$ 。当系统中有多个活动 AGV 时, 显然 $N_B < N_R$, 所以只考虑系统中只有一个活动 AGV 的情况。假设活动 AGV 为 R_j , 则对于任意任务 $T_i = (M_p, M_d)$, 根据 $L_1(M_p)$ 和 $U(M_d)$ 的值, 有四种可能情况: ① $L_1(M_p) > 0$ 且 $U(M_d) > 0$; ② $L_1(M_p) > 0$ 且 $U(M_d) \leq 0$; ③ $L_1(M_p) = 0$ 且 $U(M_d) > 0$; ④ $L_1(M_p) = 0$ 且 $U(M_d) \leq 0$ 。在第 ①、③ 种情况下, 目标工作台剩余容量大于零, 如果 T_i 分配给 R_j , R_j 不阻塞, 则系统中阻塞 AGV 数量不变, $N_B = N_R - 1 < N_R$ 。在第 ② 种情况下, 如果 T_i 分配给 R_j , R_j 将阻塞, 但是由于源工作台有输入 AGV, R_j 加载任务 T_i 后将释放源工作台的一个阻塞 AGV, 这样系统中仍然有一个活动 AGV, 即 $N_B = N_R - 1 < N_R$ 成立。在第 ④ 种情况下, 如果 T_i 分配给 R_j , R_j 阻塞, 不能释放其他 AGV, 则所有 AGV 阻塞, 系统死锁, 但是在避免死锁的调度策略下, 禁止了这种情况下的任务分配, 所以能保证 $N_B < N_R$ 。

(2) 不会出现所有的任务一直禁止的情况。当 $N_R > 1$ 时, 如果系统中活动 AGV 数量大于 1, 则不会禁止任务, 所以只考虑只有一个活动 AGV 的情况。由于 $N_R > 1$, 则至少有一个阻塞 AGV, 根据前面分析, 该阻塞 AGV 所在工作台的任务情况为①或者②, 其输出任务不会被禁止, 所以不会出现所有任务都被禁止的情况。

3 仿真实验与分析

为了验证所提出方法的有效性, 设计了一个虚拟的多 AGV 搬运系统, 布局如图 1 所示。加载时间和卸载时间设定为 $t_l = t_u = 30s$ 。各加工工

作台缓冲区容量如表 1 所示。输入输出工作台的缓冲区容量假设为无限。在不同设置条件下, 比较本文所提出的 AWMA 方法和 3 种常用调度方法的效果。3 种常用方法为: ①最短距离优先方法 STTF; ②最大输出缓冲区工件数量优先方法 MOQF; ③固定权值的多属性调度方法 FWMA。其中 STTF 方法为单属性方法; 对 MOQF 方法进行调整, 采用的是以输出缓冲区工件数为主, 在相同输出缓冲区工件数量情况下, 采用最短距离优先的方法; FWMA 方法中, 采用了输入、输出缓冲区工件数量、距离三个属性, 各属性权值皆为 1/3; 而 AWMA 方法如前所述, 其中一些参数选择为 $K_R = 1.6, F_o = 3, F_i = 2$ 。设定两种工件集, 工件集 1 的加工信息如表 2 所示。工件集 2 的工序与工件集 1 相同, 但是加工时间增加一半。6 种不同参数设置实例, 如表 3 所示。设定仿真时间 $t = 48h$, 设置每组进行 20 次仿真。

表 1 各个工作台的缓冲区容量

工作台编号	输入缓冲区容量 C_i	输出缓冲区容量 C_o
WS1	3	3
WS2	3	3
WS3	3	4
WS4	4	3
WS5	3	3
WS6	4	4
WS7	3	4
WS8	4	3

表 2 工件集 1 的加工信息

工件类型 j	各工序对应的工作台 M_{jk} 和加工时间 t_{pjk} (s)	混合比 (%)
A	1(180), 5(120), 4(240), 6(180), 2(240), 7(180)	20
B	7(180), 5(240), 4(120), 8(180), 6(180), 2(120)	20
C	3(120), 2(240), 5(180), 6(120), 8(120)	20
D	4(180), 3(240), 8(120), 5(120), 1(180)	20
E	3(180), 1(240), 5(120), 6(240), 7(180)	20

表 3 各种仿真实例的参数设置

序号	工件集	工件到达率 λ (h^{-1})	AGV 数量 N_R	AGV 速率 v (m/s)
1	1	120	10	7
2	2	100	9	6
3	1	12	7	1
4	1	16	8	1
5	2	12	6	1
6	2	16	8	1

首先比较在无死锁避免策略情况下, 各种方法的仿真结果。各种方法完成的平均工件数量 Q 如图 2 所示, 死锁次数 Z 如图 3 所示。可见, 在没有死锁避免策略时, 所有方法都可能死锁, 所以死锁避免策略是必要的。AWMA 方法只在序号 1、序号 2 中死锁, 总体上 AWMA 完成的工件数量更多, 而 STTF 方法较易死锁。

然后比较在采用死锁避免策略情况下, 各种

方法的仿真结果。各种方法完成的平均工件数量 Q 如图 4 所示。采用死锁避免策略,各种方法都没有死锁,说明死锁避免策略是有效的。AWMA 方法在系统资源较少的情况下,完成的工件数量更多,这说明 AWMA 方法能有效利用系统资源。

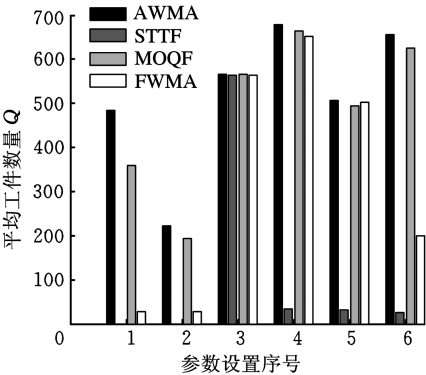


图 2 无死锁避免策略时各种方法完成的平均工件数量

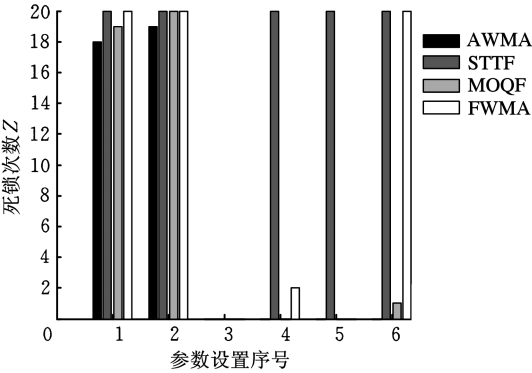


图 3 无死锁避免策略时各种方法的死锁次数

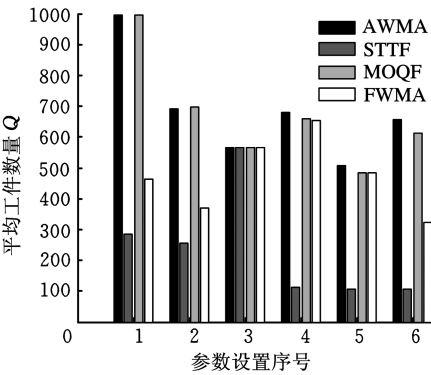


图 4 有死锁避免策略时各种方法完成的平均工件数量

从两次仿真结果可见,所提出的死锁避免策略能确保无死锁,AWMA 方法能有效利用系统资源,这说明了所提出的方法是有效的。

4 结束语

本文根据制造系统多 AGV 搬运任务的要求,提出一种能避免死锁、可根据系统资源负载情况,动态调整权值的多属性调度方法。通过多属性指标的综合,可以适应系统状态和任务的动态

变化。根据系统资源负载状态设定权值,可以更真实反映系统的状态,在加工负载和搬运负载之间平衡。为了避免死锁,对输出缓冲区满,或者输入缓冲区空的任务赋予更大的权值。而且在任务调度时,根据系统的状态,采用死锁避免策略,能确保系统无死锁。针对一个假设的多 AGV 搬运系统进行仿真实验,对几种常用调度方法以及本文所提出的方法进行比较,仿真结果表明:所采用的死锁避免策略能确保系统无死锁,在系统资源缺乏时,所提出的 AWMA 方法效果比其他方法的效果更好。

在本文中,未考虑由共享路径网络产生的阻塞和死锁,在以后工作中需要综合考虑缓冲区有限和路径冲突这两种死锁情形,将调度方法扩展到双向路径以及自由路径的多 AGV 系统中。

参考文献:

[1] Le-Anh T, de Koster M B M. A Review of Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 171(1): 1-23.

[2] Qiu L, Hsu W J, Huang S Y, et al. Scheduling and Routing Algorithms for AGVs: a Survey[J]. International Journal of Production Research, 2002, 40 (3): 745-760.

[3] Egbelu P J, Tanchoco J M. Characterization of Automatic Guided Vehicle Dispatching Rules[J]. International Journal of Production Research, 1984, 22(3): 359-374.

[4] Jeong B H, Randhawa S U. A Multi-attribute Dispatching Rule for Automated Guided Vehicle Systems[J]. International Journal of Production Research, 2001, 39(13): 2817-2832.

[5] Naso D, Turchiano B. Multicriteria Meta-heuristics for AGV Dispatching Control Based on Computational Intelligence[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics, 2005, 35(2): 208-226.

[6] Guan Xianping, Dai Xianzhong. Multi-attribute Dispatching Method with Dynamically Adjustable Weights for Multirobot Transportation Systems [C]//Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Information and Automation. Zhangjiajie, 2008; 1368-1373.

[7] Liu F H, Hung P C. Control Strategy for Dispatching Multi-load Automated Guided Vehicles in a Deadlock-free Environment[J]. Journal of Mathematical Modelling and Algorithms, 2002, 1(2): 117-134.

混流装配线平衡问题的多目标优化方法研究

苏 平 于兆勤

广东工业大学, 广州, 510006

摘要:针对混流装配线上由于不同品种产品在作业时间上存在差异而导致装配线瞬时负荷不平衡的问题,研究了混流装配线平衡问题的多目标优化方法,提出了均衡各工作站的加权平均负荷、最小化装配线实际节拍和最小化工作站的空闲时间三个优化目标,建立了多目标优化模型,并采用遗传算法对多目标优化模型进行求解。通过多目标优化方法,可提高混流装配线的利用率和平衡率,达到加权平均负荷与瞬时负荷同时平衡的目的。算例分析验证了所提出方法的有效性。

关键词:混流装配线;平衡;多目标优化;遗传算法

中图分类号:F273

文章编号:1004—132X(2009)19—2342—06

Multi-objective Optimization for Balancing Problem of Mixed Model Assembly Line

Su Ping Yu Zhaoqin

Guangdong University of Technology, Guangzhou, 510006

Abstract: In mixed-model assembly lines, the workload assigned to a workstation may vary among the different models because each task processing time may vary among the different models. To balance instantaneous workload among workstations, multi-objective optimization for the mixed model assembly line balance problem was studied. Three objectives, such as balancing weighted average workload, minimize cycle time of assembly line and minimize idle time of workstation, were proposed. A mathematical programming model was built, and a genetic algorithm was used to solve the mathematical programming model. By multi-objective optimization, high line usage rate and line efficiency can be perceived and weighted average workload and instantaneous workload among workstations can be balanced. An example was given to show the efficiency of the approach.

Key words: mixed-model assembly line; balancing; multi-objective optimization; genetic algorithm

0 引言

混流装配线可在同一条装配线上混合连续地装配结构相似、工艺接近的不同品种的产品。无论是单一品种装配线还是混流装配线,装配线平衡问题都有两种表达形式,一种是对给定的装配流水线节拍,求出所需工作站数最少的方案;另一种是对确定的工作站数量,求出使装配流水线节拍最短的配置方案^[1-2]。这两种表达方式都

要通过作业任务在装配线上各个工作站中的合理分配,使各工作站的单件产品作业时间尽可能接近生产节拍,从而达到工作站的利用率最大化,提高生产效率。

混流装配线平衡问题不仅要考虑装配作业任务先后顺序的约束,而且要考虑不同品种产品所包含的作业任务在作业时间上的差异(如果某种产品不包含其中某项作业任务,则视该项作业任务的作业时间为零),以及不同品种产品之间的平衡,因此混流装配线平衡问题与单一品种装配线平衡问题相比要复杂很多。

收稿日期:2008—11—26

基金项目:广东省科技计划资助项目(2006B12601002)

- [8] Fanti M P. Event-based Controller to Avoid Deadlock and Collisions in Zone-control AGVS[J]. International Journal of Production Research, 2002, 40(6): 1453-1478.
- [9] Lehmann M, Grunow M, Gunther H O. Deadlock Handling for Real-time Control of AGVs at Automated Container Terminals [J]. OR Spectrum, 2006, 28(4): 631-657.
- [10] Wu N, Zhou M. Modeling and Deadlock Avoid-

ance of Automated Manufacturing Systems With Multiple Automated Guided Vehicles [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics, 2005, 35(6): 1193-1202.

(编辑 王艳丽)

作者简介:管贤平,男,1978年生。东南大学自动化学院博士研究生。研究方向为AGV系统设计与调度。发表论文3篇。
戴先中,男,1954年生。东南大学自动化学院教授、博士研究生导师。