

# 自动化码头AGV充电与作业的集成调度研究

张亚琦, 杨 斌, 胡志华, 田茂金

ZHANG Yaqi, YANG Bin, HU Zhihua, TIAN Maojin

上海海事大学 物流研究中心, 上海 201306

Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China

ZHANG Yaqi, YANG Bin, HU Zhihua, et al. Research of AGV charging and job integrated scheduling at automated container terminal. *Computer Engineering and Applications*, 2017, 53(18): 257-262.

**Abstract:** In order to improve operation efficiency of AGV in automated container terminals, this paper has established a scheduling model that gives consideration to the automated terminal AGV job in the process of charging with genetic algorithm under constraint conditions of post-charging cruising capacity of AGV. Scheduling model is established upon charging need of electricity-driven AGV job and characteristics of transportation process while taking impact of vertical layout of container yards and AGV charging process on actual operation. It aims at maximizing AGV charging utility rate and minimizing the task completion time as well as AGV no-load time. Through analysis of examples, this paper has compared the solution effects of genetic algorithm and mixed integer programming algorithm, analyzed the impact of AGV quantity that is involved in transportation on transportation time and verified the credibility of the scheduling plan attained with genetic algorithm. Finally, a conclusion is drawn: as with this problem, genetic algorithm can work out a reliable AGV scheduling plan quickly and effectively.

**Key words:** automated container terminal; AGV scheduling policy; mixed-integer programming; genetic algorithm; electric vehicle

**摘 要:** 为了提高自动化集装箱码头AGV(Automated Guided Vehicle)的作业效率,根据采用电力驱动的AGV作业时的充电需求和运输过程的特性,考虑了垂岸式集装箱堆场布局和AGV充电过程对实际作业的影响,以最大化AGV充电利用率、最小化最末任务完成时间、最小化AGV空载时间为目标,以AGV充电后的续航能力等为约束条件,以遗传算法为研究方法,构建了考虑充电过程的自动化码头AGV作业的调度模型。通过算例分析,对比了遗传算法与混合整数规划算法的求解效果,分析了参与运输的AGV数量对运输时间的影响,也验证了遗传算法给出的调度方案的可靠性。最后得出结论:针对该问题,遗传算法可以快速、高效地给出值得信赖的AGV调度方案。

**关键词:** 自动化集装箱码头; AGV调度; 混合整数规划; 遗传算法; 电动汽车

**文献标志码:** A **中图分类号:** U691.3 **doi:** 10.3778/j.issn.1002-8331.1605-0003

## 1 引言

AGV(Automated Guided Vehicle)是一种自动化集装箱码头的水平作业设备。和码头传统运输工具的燃油车相比,采用纯电力驱动的AGV具有节能减排、无人驾驶、智能导航及路径优化等特点。随着码头传统水平运输工具的燃油车(如集卡)带来的环境污染、效率低下

等问题越来越突出,采用电力驱动的AGV正逐渐成为新一代自动化码头内的主要水平运输工具,AGV作业调度问题也成为了研究的热点。

在自动化码头AGV的研究领域中,AGV的充电过程始终是一个被遗漏的研究主题,对AGV作业过程的大多数研究都是在仿真环境中进行的,即认为AGV在

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目(No.71471109);上海市曙光计划项目(No.13SG48);上海市教委科研创新项目(No.14YZ100);交通运输部科技计划应用基础研究项目(No.2015329810260);上海海事大学研究生创新基金资助项目(No.2015ycx006)。

**作者简介:** 张亚琦(1987—),男,硕士研究生,研究领域为自动化集装箱码头运作优化;杨斌(1977—),男,博士,教授,研究领域为航运物流系统规划和管理, E-mail: binyang@shmtu.edu.cn。

**收稿日期:** 2016-05-04 **修回日期:** 2016-06-07 **文章编号:** 1002-8331(2017)18-0257-06

**CNKI网络优先出版:** 2016-08-22, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20160822.1010.026.html>

作业过程中不会因为停电而无法工作。但电力驱动的AGV本质上是电动汽车,在实际作业中,电池直接影响AGV的续航能力,电池的利用率也影响着AGV的作业时间。自动化码头面积较大,电池充电或者更换只能在特定的充电区域进行。由于电池完全充电时间过长,电动汽车往往采用快充和多次充电的方式,AGV需在电量耗尽前到达充电区,在充电过程中车辆暂时不可用,需要增加额外的空载或等待时间,每次充电结束后才能重新驶入作业区域,因此充电过程对AGV的实际作业影响较大。McHaney<sup>[1]</sup>提出如果AGV采用纯电力驱动,在实际作业中应该考虑频繁的充电问题,充电过程影响着AGV的数量规划、作业时间和调度优化等。Ebben<sup>[2]</sup>提出了几条考虑充电限制的AGV控制策略,并且认为充电站的位置和容量也需要考虑。

国外学者对自动化码头AGV作业的研究大多数集中在传统的调度问题,很少考虑充电过程。Chin等<sup>[3]</sup>研究了自动化码头的AGV调度问题,为了求出AGVS调度的最优解采用了贪婪算法,同时给出了一种启发式算法来求解多台岸桥情况下,最后在仿真环境下利用模型验证了算法的有效性。Fazlollahtabar等<sup>[4]</sup>为了缩短自动化集装箱码头上AGV提前到达与延迟到达的时间,提出了两阶段优化算法,并指出可以用混合整数规划方法求解小规模问题,用启发式算法求解大规模问题。Homayouni等<sup>[5]</sup>提出用遗传算法求解自动化集装箱码头上岸桥、车辆和存储平台的综合优化问题,并考虑了包含不确定性的规模规划问题的求解。Luo<sup>[6]</sup>提出了一种求解自动化集装箱码头上的集装箱存储和车辆规划问题的双回路策略。Kim等<sup>[7]</sup>针对AGV调度问题采用了事件发生时间的方法,采用启发式算法和整数规划并以船舶延误时间和AGV消耗时间最小为优化目标来分配车辆。Angeloudis<sup>[8]</sup>提出了适用于AGV实时控制的调度方法,得出了优于启发式算法的实验结果。Vis<sup>[9]</sup>为了确定AGV的实际需求数量,在动态作业分配为基础构建一种最大流启发式算法。Skinner<sup>[10]</sup>针对自动化码头的优化问题,提出了一种基于改进型遗传算法的优化策略。Liu<sup>[11-12]</sup>提出了一种可以同时求解装载调度和负载选择的多属性算法。Cao<sup>[13]</sup>针对集装箱码头在堆场卡车和堆场桥吊的装载作业的调度问题,建立混合整数规划模型。

目前国内对自动化集装箱码头的建设刚处于起步阶段,因此针对集装箱码头AGV相关作业的研究比较少,主要研究还是集中在传统的单挂集卡上。黎广宇<sup>[14]</sup>针对AGV在集装箱码头应用中的路径选择问题,建立了以Dijkstra算法为基础的最优路径选择模型,并提出了相应的路径选择的算法。马再洲等<sup>[15]</sup>提出了适用于自动化集装箱码头的集中式调度算法,并用案例验证了算法的可行性与有效性。赵悦琼<sup>[16]</sup>等提出了改变调度

计划内集卡配备的数量,计算卸载船舶停留和集卡使用的最小总成本的数学模型,并在仿真环境下使用蒙特卡洛算法和穷举法进行分析。杨静蕾<sup>[17]</sup>以码头的集卡行驶路径最短为优化目标,建立了码头物流作业系统路径优化模型并进行了算例分析。温智民<sup>[18]</sup>以自动化集装箱码头中间运输系统为对象,并利用仿真方法优化搜索AGV的优化调度方案。

## 2 问题描述

针对自动化集装箱码头水平运输问题,大多数学者还是把AGV看作集卡,从研究路径规划和调度作业入手,通过优化车辆的调度和路径方案来提升作业效率。现在新一代的自动化码头作业的AGV大多采用纯电力驱动,这时AGV车辆的本质是电动汽车,这点和集卡不同。电动汽车电池具有完全充电时间长、运行时间短的特点,因此大部分电动汽车采取快充和频繁充电的策略。集装箱码头实际面积较大,电动汽车的电池无法保证长时间连续作业,车辆需要在电量耗尽前驶入充电区进行电量补充或者更换电池,否则将无法工作。由于AGV大多是无人驾驶,电池耗尽造成的停工会增加大量的人工和时间成本,造成作业效率大幅度下降,因此AGV充电过程对实际调度作业的影响不可忽略。

在传统的仿真环境下,大多数AGV调度问题目标是 최소화作业时间或 최소화作业费用,可以比较容易地找出优化方案。但是对于考虑充电过程的AGV调度问题,复杂性就增加了,AGV不及时充电无法正常运行,会影响整个系统的运行效率。因此在调度中除了需要给每辆AGV分配运输任务,而且需要考虑AGV的电池续航能力。

图1为垂岸式集装箱堆场布局的自动化集装箱码头的俯瞰图,在装船或卸船中,AGV一旦收到运输请求后开始执行本时段的所有运输任务。当AGV电量不足时,会触发充电请求,系统会给AGV分配充电任务,AGV接到充电任务即进入充电状态。此时AGV会沿着充电路径到达充电站进行充电,充电完成后,AGV从充电状态回到作业状态。图2给出了具有两个运输任务的考虑充电过程的AGV调度方案,完成充电后的AGV收到运输请求后,立即从充电站出发,开始执行运输。在完成运输任务C1后,系统检查是否还有运输任务亟待运输,以及如果AGV去执行下个运输任务,电量是否足以返回充电站,如果电量充足,则去执行任务C2,如果电量不足以完成C2并返回充电站,则立即返回充电站,假设电量充足,则调度过程如图2所示。

## 3 模型

### 3.1 符号说明

下面建立AGV充电和作业的集成调度模型,相关





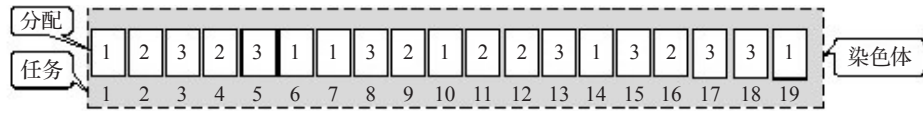


图3 染色体编码示意图

### 3.3 多目标模型

基于基本模型[M1],建立多目标优化模型[M2],并以最小化最末任务完成时间、最小化AGV空载时间,最大化AGV充电利用率为最终目标。并且最末任务完成时间、空载时间与充电利用率的数量级不同,因此可以构造式(16);AGV空载时间计算公式如式(17);式(18)给出了每辆AGV行驶最远路程的计算公式;式(19)给出了充电利用率的计算公式。

$$[M2] \min f^{\text{all}} = f + f_{\text{empty}} - [f/100] \times 100 \times r \quad (16)$$

s.t. 公式(1)~(13)

$$f_{\text{empty}} = \sum_{v \in V, i \in I^+, j \in I^+} x_{ijv} T_{ij} \quad (17)$$

$$R_v = \max(y_{iv} g_{i,v} + L_{i,N+2}), \forall i \in I, v \in V \quad (18)$$

$$r = (\sum_v R_v) / (\sum_v G_v), v \in V \quad (19)$$

## 4 遗传算法

### 4.1 编码

本文采用将运输任务分配给相应AGV的方式进行编码,如果第*i*个位置的编码为*v*,则表示第*i*个任务由AGV*v*进行运输,因此染色体可由*N*个1到NVAR之间整数的排列表示,其中,*N*表示总任务数,NVAR表示AGV的数量,图3就是一条长度为19,并且共有3辆AGV参与运输的染色体编码。

### 4.2 解码

解码是整个遗传算法中至关重要的一个环节,本文首先将*N*个运输任务分给|*V*|辆AGV,然后按照每辆AGV分到的运输任务的不同进行解码,可以轻松得出每个运输任务开始执行的时间 $z_i, i \in I$ 与AGV*v*完成任务*i*后已行驶的距离 $g_{i,v}, i \in I, v \in V$ 。令 $f = \max(z_i + T_i), i \in I$ ,并且令 $z_i = z_{\text{分配到的上一个任务}} + T_{\text{分配到的上一个任务}}$ ,伴随着每个运输任务开始执行的时间 $z_i, i \in I$ 的求出, $f$ 与 $f^{\text{all}}$ 都可以得出,见图4。

### 4.3 交叉

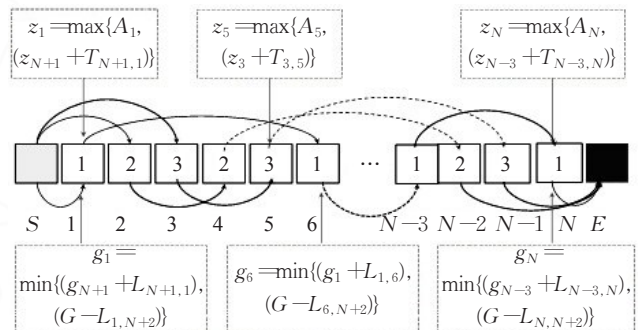
本文采用1990年Syswerda提出的基于位置的交叉方法(Position-based Crossover, PX),这种交叉方法尤其适用于排列形式的染色体,具体过程如下所示:

输入 两个父代染色体 $P_1, P_2$

输出 子代染色体 $child$

步骤1 从父代染色体 $P_1$ 中随机的选择一些位置。

步骤2 通过复制 $P_1$ 所选位置的上的基因生成一个

图4 分给第*i*辆AGV的染色体片段的解码过程

子代染色体原型。

步骤3 删除染色体 $P_2$ 上选定位置的基因,剩下的部分就是子代染色体 $child$ 需要的。

步骤4 将 $P_2$ 上的基因从左到右依次放入子代染色体 $child$ 上未确定基因的位置上,这样就成功地生成了一个子代染色体。

### 4.4 变异

本文中的变异方法采用倒置变异,也就是在染色体上随机选择两个位置,然后颠倒两个位置间的基因序列,如图5所示。

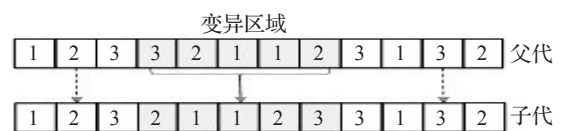


图5 倒置变异示意图

## 5 数学实验

### 5.1 实验设置

将从自动化集装箱码头收集到的实验数据存放于特定的Excel表格中,令充电AGV的行驶速度为5 km/h,且令作业点总个数为100。为了评估遗传算法的性能,用MATLAB编写该遗传算法,并用其求解一系列自动化码头上的真实问题。在当AGV由于电量问题需要返回停靠站时,会有另一辆AGV提前从停靠站出发,去完成返回停靠站的AGV没有执行完的运输任务,并且为了方便计算,不考虑更换AGV带来的时间差异。

### 5.2 性能指标

实验中,共引入四个性能指标:(1)最优性。小规模问题用MILP求出问题最优解的下界,大规模问题用重复实验求出问题最优解的上下界;(2)计算时间。现实问题对实时性的要求较高,对计算时间有硬性要求,所以在这里把计算时间作为算法性能的一个指标;(3)空

表1 实验场景设置

序号	实验目的	实验设置
1	对比 MILP 与遗传算法的求解效率	按照实验设置,重复实验; 限定遗传算法迭代次数 $n_{\text{gen}}=100$ ; $N_{\text{pop}}=40, r_c=0.7, r_m=0.3, r_{\text{pareto}}=0.75$
2	验证参与运输 AGV 数量对运输时间的影响	令参与运输的 AGV 数 $n=2, 3, 4, 5, 6, 7$ ; 令总运输任务数为 20; 其他设置与实验 1 相同;
3	验证目标函数改变对调度方案的影响	运行遗传算法,求出不同 AGV 数对应的实验结果 令目标函数等于 $f$ 与 $f^{\text{all}}$ ,其他设置与实验 1 相同; 分别求出不同目标函数对应的调度方案
4	验证遗传算法所得结果的可靠性	设置交叉概率与变异概率为最优交叉概率与最优变异概率; 重复实验,求出最短作业时间与平均误差率 ( $Dev$ );平均误差率计算公式如下: $Dev = \left( \sum_{i=1}^N ((V_i - V_{\min}) / V_{\min}) / N \right) \times 100\%$ ,其中 $V_i$ 是第 $i$ 次实验得到的结果, $V_{\min}$ 表示 $N$ 次实验中的最小实验结果

表2 求解效率对比表

求解策略	统计类别	任务量/个						
		5	7	8	9	10	12	16
MILP	运输时间/s	931	1 313	1 984	2 067	2 292	2 520	3 097
	计算时间/s	0.07	0.09	2.57	23.37	184.13	361.31	521.04
GA	运输时间/s	931	1 313	1 984	2 067	2 292	2 520	3 118
	计算时间/s	12.98	13.11	13.76	13.52	13.23	13.67	13.84

载时间和空载时间在一定程度上反应了AGV的利用率情况;(4)充电利用率。该论文考虑了AGV的充电问题,充电利用率也能够反映AGV的利用率。

### 5.3 实验场景

在本文算例分析部分共做四组实验,具体场景设置如表1所示。

## 5.4 实验结果

**实验1** 分别用混合整数规划算法和遗传算法求解该考虑充电过程的AGV调度模型(表2),容易得出:随着任务规模的增加,混合整数规划算法的求解时间成指数增加,而遗传算法的求解时间稳定在13 s左右。并且遗传算法求解出的近似最优解与混合整数规划算法求解出的精确解相差不大。另外,考虑到自动化集装箱码头对效率要求较高,所以遗传算法更适用于自动化集装箱码头AGV调度问题的求解。

**实验2** 用不同规模的AGV作业流运输相同规模的运输任务(表3),显然参与运输的AGV越多,运输任务完成得越快,而且空载时间主要和运输任务有关,参与运输的AGV数量对AGV空载时间之和几乎没有影响,

表3 对比分析表

统计类别	参与运输的 AGV 数量/辆					
	2	3	4	5	6	7
完成时间/s	1 523	1 249	857	674	498	349
空载时间和/s	2 743	2 751	2 747	2 744	2 749	2 742
充电利用率	0.87	0.83	0.77	0.69	0.54	0.45

并且参与约束的AGV越多,AGV的充电利用率越低。

**实验3** 自动化集装箱码头不可能一味地追求效率,而不考虑成本、费用等其他问题,仅仅根据作业时间最短来安排调度方案未必可行,所以根据实际情况改变了优化目标,来研究该考虑充电过程的自动化集装箱码头AGV调度问题,见图6、图7。

#### 实验4 通过重复实验的方法,找出该遗传算法对应

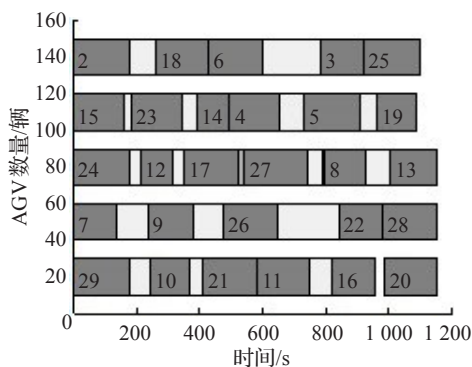


图6 只考虑最短作业时间的调度方案

的最优交叉概率与变异概率组合,然后设置该遗传算法交叉概率与变异概率为最优交叉概率与最优变异,再用该遗传算法求解一批任务数为40的运输任务,重复实验40次并分析这40组实验结果,可以得出:完成该批任务的最短时间为6 505 s。并且利用该遗传算法求解出的调度方案的平均误差率 $Dev$ 可以根据式(16)得出,其中 $Dev=5.37\%$ ,显然误差率较小,该遗传算法给出的方

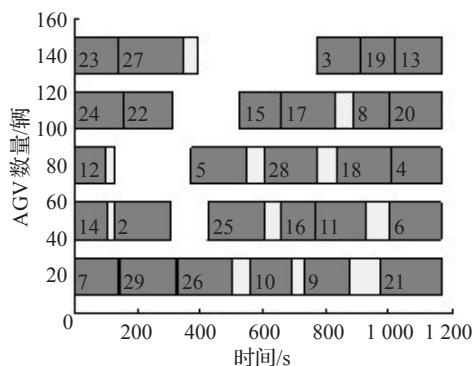


图7 综合考虑的调度方案

案值得信赖。

$$Dev = \left( \sum_{i=1}^{40} ((V_i - V_{\min}) / V_{\min}) / 40 \right) \times 100\% \quad (20)$$

## 5.5 实验总结

通过上述4组实验,不难看出:

(1)该调度问题属于NP-hard问题,问题规模较小时,可以用混合整数规划算法求出精确解,问题规模较大时,已经超出了混合整数规划算法的求解能力,必须用遗传算法等智能算法求解了。

(2)参加运输的AGV数越多,运输任务的完成时间就越早,但是空载时间主要和任务的装载点和交付点位置有关,所以参与运输的AGV数量对空载时间几乎没有影响,但是参与运输AGV越多,AGV的利用率就越低,不利于合理配置。

(3)自动化集装箱码头不可能一味追求效率,而不顾现实因素和实际情况,所以有必要改善模型的优化目标,加深模型的贴近实际性,该组实验反映了优化目标改变对调度方案的影响。

(4)遗传算法求解出来的是近似最优解,具体方案可信性如何有待进一步分析,于是在案例分析部分,增加了这样一组实验,通过对40组实验结果的分析,可以得出:遗传算法给出的考虑充电过程的AGV集成调度模型的调度方案可信性较高,值得信赖。

## 6 结束语

为了进一步提升自动化集装箱码头AGV的作业效率、减轻码头吞吐量增大带来的交通负担与降低AGV空载率,本文从自动化码头采用电力驱动的AGV作业的实际情况出发,考虑了AGV在码头作业的充电过程,给出了AGV作业和充电集成调度问题的混合整数规划模型。显然,该AGV集成调度问题属于NP-hard问题,混合整数规划算法只能用来验证模型的正确性与小规模问题的求解,对于中等规模与大规模的调度问题,需要用遗传算法等智能算法求解。进行多组实验后,得出结论:考虑充电过程的AGV作业调度模型在应用中能

够提升自动化集装箱码头的作业效率,减轻交通拥堵负担,具有一定的现实意义,并且遗传算法能够快速高效地给出可信度高的AGV调度方案。实际上,在自动化集装箱码头,AGV充电站的位置、规划和容量问题对调度作业也有一定影响,而文中缺乏对该影响的考虑,因此,AGV充电站的规划配置问题值得进一步研究。

## 参考文献:

- [1] McHaney R. Modelling battery constraints in discrete event automated guided vehicle systems[J]. International Journal of Production Research, 1995, 33(11): 3023-3040.
- [2] Ebben M J R. Logistic control in automated transportation networks[J]. Production Engineering, 2001, 5(4): 373-382.
- [3] Liu C I, Loannou P A. A comparison of different AGV dispatching rules in an automated container terminal[C]// IEEE International Conference on Intelligent Transportation, 2002(9): 880-885.
- [4] Fazlollahtabar H, Saidi-Mehrabad M, Balakrishnan J. Mathematical optimization for earliness/tardiness minimization in a multiple automated guided vehicle manufacturing system via integrated heuristic algorithms[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2015, 72: 131-138.
- [5] Homayouni S M, Tang S H, Motlagh O. A genetic algorithm for optimization of integrated scheduling of cranes, vehicles, and storage platforms at automated container terminals[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2014, 270: 545-556.
- [6] Luo J B, Wu J. Modelling of dual-cycle strategy for container storage and vehicle scheduling problems at automated container terminals[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2015, 79: 49-64.
- [7] Kim K H, Bae J W. A Look-Ahead dispatching method for automated guided vehicles in automated port container terminals[J]. Transportation Science, 2004, 38(2): 224-234.
- [8] Angeloudis P, Bell M G H. An uncertainty-aware AGV assignment algorithm for automated container terminals[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2010, 46(3): 354-366.
- [9] Vis I F A, Koster R D, Roodbergen K J, et al. Determination of the number of automated guided vehicles required at a semi-automated container terminal[J]. Journal of the Operational Research Society, 2001, 65(52): 409-417.
- [10] Skinner B, Bott A, Pagac D, et al. Optimisation for job scheduling at automated container terminals using genetic algorithm[J]. Computers & Industrial Engineering, 2013, 64(1): 511-523.

(下转270页)



- 价方法[J]. 系统工程, 2009, 27(3): 73-78.
- [6] 易平涛, 李伟伟, 郭亚军. 二元语义密度算子及其在多属性决策中的应用[J]. 控制与决策, 2012, 27(5): 757-760.
- [7] 刘金培, 林盛, 陈友华. 二元语义 Bonferroni 集成算子及其在多属性群决策中的应用[J]. 运筹与管理, 2013, 22(5): 122-127.
- [8] 李朝玲, 高齐圣. 基于层次分析法和二元语义的供应商评价研究[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(21): 238-240.
- [9] Fan Z. P.A method for group decision making based on multi-granularity uncertain linguistic information[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(5): 4000-4008.
- [10] 余高峰, 刘文奇, 石梦婷. 二元语义粗算子及其语言多属性决策中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(9): 249-253.
- [11] 徐天应, 干晓蓉. 基于二元语义与粗糙集的多属性决策方法[J]. 统计与决策, 2014(1): 27-29.
- [12] 韩二东, 郭鹏, 赵静. 二元语义处理不同偏好评价信息的群决策方法[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(4): 35-40.
- [13] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 101-138.
- [14] 郭亚军, 马凤妹, 董庆兴. 无量纲化方法对拉开档次法的影响分析[J]. 管理科学学报, 2011, 14(5): 19-28.
- [15] 张发明. 基于交互密度算子的交互式群体评价信息集结方法及其应用[J]. 中国管理科学, 2014(12): 142-148.
- [16] 张震, 郭崇慧. 一种基于二元语义信息处理的多属性群决策方法[J]. 控制与决策, 2011, 26(2): 1881-1885.
- [17] Herrera F. A model based on linguistic 2-tuple for dealing with multi-granularity hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making[J]. IEEE Transactions on System Man and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2001, 31(2): 227-234.
- [18] 刘春龙, 廖朝辉, 郑义平. 基于二元语义多属性综合决策方法研究与应用[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(6): 1669-1672.
- [19] 马赞福, 郭亚军, 张发明. 一种基于增益水平激励的动态综合评价方法[J]. 系统工程学报, 2009, 24(2): 243-247.
- [20] 郭亚军, 姚远, 易平涛. 一种动态综合评价方法及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2007(10): 154-158.
- [21] 姜艳萍, 樊治平. 二元语义信息集结算子的性质分析[J]. 控制与决策, 2003, 18(6): 754-757.

(上接148页)

- [17] Arendarenko E, Kakkonen T. Ontology-based information and event extraction for business intelligence[C]// International Conference on Artificial Intelligence: Methodology, Systems, and Applications, 2012: 89-102.
- [18] Maheshwari S, Sainani A, Krishna Reddy P. An approach to extract special skills to improve the performance of resume selection[C]// Proceedings of the 6th International Conference on Databases in Networked Information Systems, Aizu-Wakamatsu, Japan, March 29-31, 2010.
- [19] Çelik D, Elçi A. An ontology-based information extraction approach for résumés[C]// Proceedings of the 2012 International Conference on Pervasive Computing and the Networked World, Istanbul, Turkey, November 28-30, 2012: 165-179.
- [20] Sainani A, Reddy P K, Maheshwari S. Mining special features to improve the performance of e-commerce product selection and resume processing[J]. International Journal of Computational Science and Engineering, 2012, 7(1): 82-95.
- [21] Singh A, Rose C, Visweswariah K, et al. Prospect: A system for screening candidates for recruitment[C]// Proceedings of the 19th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, Toronto, ON, Canada, October 26-30, 2010.
- [22] Tang Jie, Yao Limin, Zhang Duo, et al. A combination approach to Web user profiling[J]. ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD), 2010, 5(1): 1-44.

(上接262页)

- [11] Ho Y C, Liu H C, Yih Y A. A multiple-attribute method for concurrently solving the pickup-dispatching problem and the load-selection problem of multiple-load AGVs[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2012, 31(3): 288-300.
- [12] Ho Y C, Liu H C. The performance of load-selection rules and pickup-dispatching rules for multiple-load AGVs[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2009, 28(1): 1-10.
- [13] Cao J X, Lee D H, Chen J H, et al. The integrated yard truck and yard crane scheduling problem: Benders' decomposition-based methods[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2010, 46(3): 344-353.
- [14] 黎广宇, 顾群. 集装箱码头自动导引车路径选择模型研究[J]. 水运科学研究, 2010(2): 31-34.
- [15] 马再洲, 王玉立. 实时集中式调度算法在自动化码头的应用[J]. 中国高新技术企业, 2010, 17(22): 47-50.
- [16] 赵悦琼, Kaiser E I. 集装箱码头集卡的一种调度模型及仿真[J]. 物流工程与管理, 2014, 36(9): 108-109.
- [17] 杨静蕾. 集装箱码头物流路径优化研究[J]. 水运工程, 2006, 34(1): 32-35.
- [18] 温智民, 陆志强, 孙小明. 自动化集装箱码头运输系统配置的仿真优化[J]. 工业工程与管理, 2009, 36(1): 36-39.