

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.041

基于时间窗的农机资源时空调度模型*

吴才聪¹ 蔡亚平² 罗梦佳² 苏怀洪² 丁连军²

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871)

摘要: 针对农田与农机资源的匹配与调度应用需求,抽象出基于时间窗的农机资源时空调度数学模型,以动态规划的思想逐步分解决策过程,完成每个决策的最优解算,并进行模型寻优分析和复杂度分析。基于 GIS 等技术,开发了农机资源时空调度原型系统,可实现数据录入、模型运算、调度指令生成以及中心自动导航等功能。结合北京市某农机协会,开展了初步的应用试验。试验表明,模型可实现农机的快速、自动调度,有利于提高大型农机组织的农机管理和利用率。

关键词: 农机组织 调度模型 时间窗 中心导航 原型系统

中图分类号: S126; S232.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)05-0237-05

Time-windows Based Temporal and Spatial Scheduling
Model for Agricultural Machinery Resources

Wu Caicong¹ Cai Yaping² Luo Mengjia² Su Huaihong² Ding Lianjun²

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: To meet the scheduling demands of dispatching the agricultural machinery to the reasonable farmlands, time-windows based temporal and spatial scheduling model for agricultural machinery resources was built, which serialized decision-making processes and got optimal solutions for each process. The prototype system was developed, which realized functions like data input, model computing, dispatching command generation, center navigation and so on. Cooperating with an agricultural association in Beijing, the system was tested in practice. The experiment results showed that the model could perform well in practice, which improved the management and working efficiency of the agricultural association.

Key words: Agricultural association Scheduling model Time-windows Center navigation Prototype system

引言

随着我国土地流转政策的实施,农业机械化 and 农业现代化进程的持续推进,农机合作组织、农机专业服务组织、农机行业协会等组织形式不断涌现,并逐渐发展壮大。由于农业生产具有较强的时效性和连贯性,对于大范围的农业生产作业,需要对农机资源进行合理配置和有效调度,以按时完成农业生产

任务,提高农机利用率,避免农作物损失和农机资源浪费,最终提高农户、机手和农机组织的收益。

农机监控是农机调度的基础。当前,农机监控可以通过引入 3S 技术和无线通信技术得以解决。而在农机调度方面,则仍限于传统手段。随着农机组织作业范围的扩大、农机数量的增长、农机与农田配置复杂度的增加,通过人工分配、语音通话等传统的农机调度方式已完全不能适应新形势的要求。农

收稿日期: 2012-05-01 修回日期: 2012-08-15
* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA101302)和土壤植物机器系统技术国家重点实验室资助项目
作者简介: 吴才聪,副教授,主要从事导航与位置服务技术研究,E-mail: wucc@pku.edu.cn

机调度问题如得不到科学解决,不仅将降低农机作业组织的工作效率,也将影响我国农机化的整体发展。

农机调度的本质是农机与农田的资源调度问题。资源调度问题涉及到生产生活的各个方面,所涉及到的研究领域也十分广泛,例如应急资源调度模型、机场调度模型、物流调度模型、列车调度模型、生产调度模型、驳船运输调度模型、水源调度模型等^[1-13]。在以上资源调度模型中,时间变量通常不出现或者仅以目标变量的形式出现。因此,处理这类模型,只要找到目标变量和约束变量,就可以相对简单地列出需要求解的算式,进而通过遗传算法^[6-7]、蚁群算法^[8]、线性规划^[14]等求解出最优解或者近似最优解。

在农机作业中,时间因素和空间因素均是约束条件,而且以时间段(时间窗)和网络拓扑的约束形式出现,这为农机调度模型的建立和解算增加了难度。李洪等^[15]采用图形转换法将农机调度问题转化为带时间窗的多旅行商问题进行求解的策略,实现了初步的农机调度,但未能充分考虑农场与收割点的空间拓扑关系,尤其是针对作业面积较小时,农机转移时间与成本往往不能忽略。王壮等^[16]采用 A-Star 算法进行农机最优路径规划,但仅限于被指派的农机,未能解决全局最优调度。为此,本文在分析相关资源调度模型思想和方法的基础上,面向单一农机作业环节,以动态规划的思想逐步分解决策过程,建立农机时空调度模型,给出农机调度的全局解算方法,并基于 3S 技术开发原型系统,以实现农机的科学调度。

1 模型建立

农机、农田规划分配问题反映在现实中可以表现出多种形式。就数量比例而言,农田与农机的比例可以是一对多、多对一、多对多;就作业内容而言,可以是播种、施肥、喷药、收获等。从本质上分析,可以将此类问题划归为农机时空调度问题,即在规定的时间内、区域内以最高的效率(最少的耗费)完成给定的任务。根据实际的资源调度需求,结合应用中存在的调度和作业问题,抽象出基于时间窗的资源调度数学描述如下:

在某个时间段 $T_1 \sim T_2$ ($T_1 < T_2$) 内,某区域中分布着 m 个农田(消费者)存在农机作业需求:农田 X_i ; 作业面积 A_i (单位: hm^2); 计划作业时间 $O_i \sim C_i$; 实际作业时间 $S_i \sim E_i$ 。 $i = 1, 2, \dots, m$ 。

同时,在该区域中分布着 n 台农机(生产者)可用于农机作业,特性为:农机 Y_j ; 作业能力 B_j (单位:

hm^2/h); 农机 j 在农田 i 的作业起始时间为 U_{ij} 和 V_{ij} 。 $j = 1, 2, \dots, n$ 。

模型的约束条件为

$$\begin{cases} A_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} B_j T_{ij} \\ T_{ij} = V_{ij} - U_{ij} \\ S_i \geq O_i \\ S_i = \min \{ U_{ij} \} \\ E_i = \max \{ V_{ij} \} \\ R_i = \begin{cases} 0 & (E_i > C_i) \\ 1 & (E_i \leq C_i) \end{cases} \\ L_i = \begin{cases} 0 & (S_i = O_i) \\ S_i - O_i & (S_i > O_i) \end{cases} \\ Q_i = \begin{cases} 0 & (E_i \leq C_i) \\ E_i - C_i & (E_i > C_i) \end{cases} \\ Z_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} H_{ij} \\ W_{ij} = \begin{cases} 0 & (\text{农机 } j \text{ 未在农田 } i \text{ 作业}) \\ 1 & (\text{农机 } j \text{ 在农田 } i \text{ 作业}) \end{cases} \\ H_{ij} = \min \{ P_{ij} K_{ij} \} \\ (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (1)$$

以上约束条件中,式(1)的第 1 式限定了农田作业必须被完成,其中, W_{ij} 标识农机 j 是否在农田 i 进行作业, T_{ij} 为农机 j 在农田 i 作业时间,即完成时间与起始时间之差。式(1)第 6~8 式中, R_i 记录农田 i 的作业是否超时, L_i 记录农田 i 的作业开始延误时间, Q_i 表征农田 i 的作业结束拖延时间。式(1)第 9 式中 Z_i 定义了完成农田 i 作业的成本,其中, H_{ij} 为农机 j 到农田 i 的最小成本,即最优路径 P_{ij} 与其权重 K_{ij} 乘积的最小值。

模型的目标函数为

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^m Z_i \\ \min \{ L_i \} \\ \min \{ Q_i \} \\ \max \sum_{i=1}^m R_i \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式(2)目标函数中,主要包含 4 个方面内容,依次为:最小化农田作业成本、起始时间延迟、终止时间延迟以及最大化按时完成作业的农田个数。模型解算的目标是:在限定的时间内,考虑农田的作业时间要求和农田与农机的相对空间位置关系,通过调度农机资源,满足农田的作业需求。模型中,假定 n 个生产者都是同质的,即单位时间内的作业能力相同。

生产者同质具有一定的现实意义,比如同种或相近型号的机器,其作业能力的差异基本可以忽略。在时间轴上的任意点上做断点,可以看到 m 个消费者和 n 个生产者的分布状态和需求完成情况,任意 2 个生产者之间可以交换分布位置,那么决策调度中考虑因素仅与生产者分布位置有关而与生产者本身无关。

2 模型解算

2.1 基本原理

由于农机资源调度问题难于直接列出求解的线性方程组,因此不能使用线性规划的相关方法求解最优解。在模型解算过程中,如果首先弱化时间约束,对整体进行调度求解,将很难满足时间窗的约束条件。因此,本文先考虑时间约束,在时间约束下完成有限次的调度决策,即在作业期间内,将整体起始时间切割成有限个时间段,在每一个时间段中根据当前状态完成一次调度决策,依此类推(图 1),最终完成整个调度运算,获得完整的调度方案。

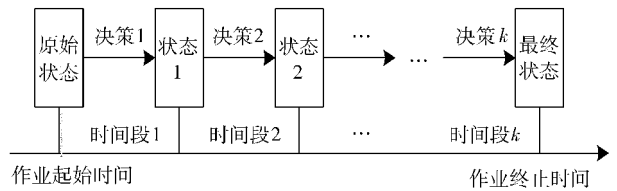


图 1 农机调度决策流程图

Fig. 1 Sketch map of decision making for agriculture machinery scheduling

以时间段为决策的分割依据,按照时间顺序依次完成各个时间点的调度决策,最终完成整个模型的调度,从而顺利解决时间窗的问题。此方法包含了运筹学中动态规划的思想,但不同的是,此处运用动态规划的思想解决了静态规划问题。

2.2 解算过程

在每一个决策阶段,实际参与调度的是生产者和消费者。为了优化计算过程,采用以下解算步骤:

- (1)从生产者角度出发,若生产者已经开始生产,则检查消费者的需求是否已经得到满足;若消费者的需求没有得到满足,则令其在此决策点继续生产,而不参与到调度运算中。
- (2)从消费者角度出发,筛选出需要参与调度的消费者,可分两种情况:需要分配生产者的消费者和需要加派生产者的消费者。
- (3)综合各个成本因素,如空间距离、阻力因素、内外因素等,设计出成本矩阵,将待调度生产者和消费者按照 0-1 指派问题的解决方法完成最优解算,得到 W_{ij} 。成本矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \cdots & H_{1m'} \\ H_{21} & H_{22} & \cdots & H_{2m'} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ H_{m'1} & H_{m'2} & \cdots & H_{m'm'} \end{bmatrix}$$

通过控制参与调度的农机与农田,总可以使农机数等于农田数,不妨设为 m' ($m' \leq m$ 且 $m' \leq n$)。

2.3 模型寻优

在生产者同质的前提下,在时间轴上的任意点做断点,此时空间中分布着 m 个消费者和 n 个生产者。依据阶段性的决策结果,若此时生产者 Y_a 需要从消费者 X_i 处调度到消费者 X_j 处,本文以反证法,针对该行为进行最优分析。

假设:存在一种比从 X_i 直接调度到 X_j 更好的调度方案,即从 X_k 调度到 X_j ,而且调度到 X_k 之前的成本与 X_k 至 X_j 的成本之和更小。若假设成立,说明消费者 X_i 的任务与 X_k 的任务将同时开始和结束,则将存在其他一个或多个生产者优于 Y_a 被调度到 X_k 处。假定存在这样的生产者 Y_b ,则 Y_b 将优于 Y_a 被调度到 X_i 并被调度到消费者 X_j 处。实际上,根据决策规则与过程可知,对于 Y_a 并不存在一种比其更优的调度,即假设不可能成立。因此,模型解算过程,将确保所有生产者达到最优调度,从而使整体达到最优。

2.4 复杂度分析

农机调度模型需要依靠计算机辅助实现,为此对模型解算方法的复杂度进行分析。

(1)空间复杂度

模型的空间复杂度 C_s 在生成成本矩阵的时候将达到最大,但是由于并非所有生产者同时参与调度,因此模型的空间复杂度 $C_s = O(n^2)$ 。

(2)时间复杂度

模型的时间复杂度 C_T 分为两部分:①在时间轴上, C_T 是一个常量,仅与所有消费者的最小起始时间 $T_{\min} = \min \{ T_{1s}, T_{2s}, \cdots, T_{(m-1)s}, T_{ms} \}$ 和最大终止时间 $T_{\max} = \max \{ T_{1e}, T_{2e}, \cdots, T_{(m-1)e}, T_{me} \}$ 有关。设单位时间段为 t_p ,则时间复杂度 $C_{T1} = (T_{\max} - T_{\min}) / t_p$ 。②在时间点上,复杂度主要来源于指派问题,同样 $C_{T2} = O(n^2)$ 。因此模型的时间复杂度 $C_T = O(n^2)$ 。

综合以上空间复杂度和时间复杂度的分析可知,模型的解算方法是可行的。

3 模型试验与应用

结合北京市某农机协会的春耕作业,开展模型的试验和应用。具体步骤如下:

(1)示范区道路空间拓扑关系建立

在现有示范区电子地图的基础上,结合实际道路通达情况,进行数据更新和拓扑关系建立,作为模

型运算的基础空间数据。为简化模型,在模型运算过程中,运输成本仅反映在农机到待作业田块的距离上。

(2) 农田专题数据库建设与专题图制作

基于作业订单,录入农田信息,建设农田专题数据库,制作农田专题地图。农田信息主要包括农田属性、农田位置、作业要求等。

(3) 农机专题数据库建设与监控

基于农机合作协议提供的订单信息,录入农机信息,建立农机专题数据库。应用 GD300 型通信导航仪对农机进行卫星定位和中心自动导航。

(4) 原型系统开发

在 VS2008 平台上,运用 C#语言从底层搭建,结合农机调度模型,开发农机时空调度原型系统,如图 2 所示。系统主要功能包括:数据录入、模型运算、调度指令生成以及中心自动导航。其中,模型运算中动态规划的某阶段决策流程图如图 3 所示。

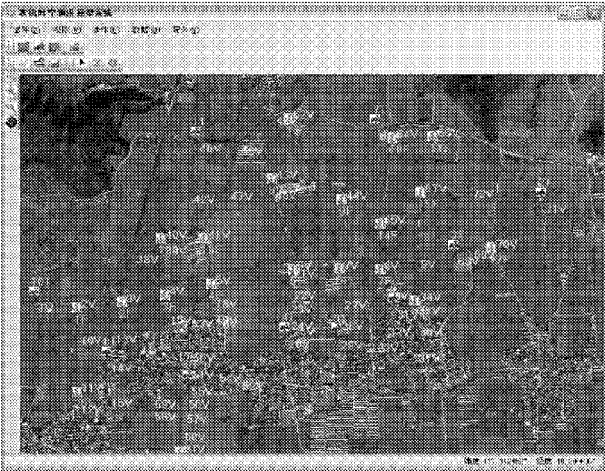


图2 农机时空调度原型系统

Fig.2 Prototype of temporal and spatial dispatch system for agricultural machinery

(5) 试验安排

以 20 块农田和 10 台拖拉机为例,进行农机调度试验,作为实际作业的参考。农田与农机分布如图 2,调度结果如图 4 所示。图 4a 为农机作业甘特图,表示农机按时间顺序分配至相应的农田。图 4b 为农机前往农田的最优路线引导图。模型运算获得调度方案后,系统将把农田作为目的地发给安装在农机上的 GD300 型通信导航仪,由该导航仪自动计算农机的行驶路线。

4 讨论

(1) 在建模过程中,为简化计算过程,对部分变量进行了简化和假设,如农机的同质性、转移成本、转移时间等。这种简化和假设,有可能会降低模型

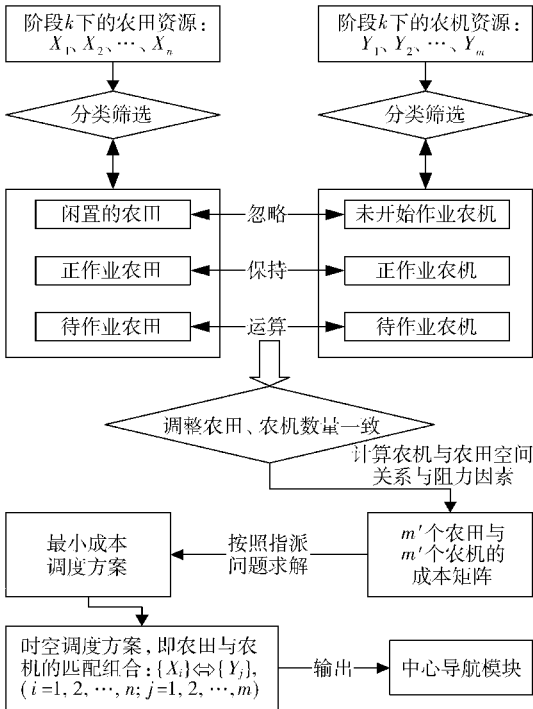


图3 动态规划某阶段决策计算机实现流程图

Fig.3 Flowchart of a stage for dynamic programming decision-making

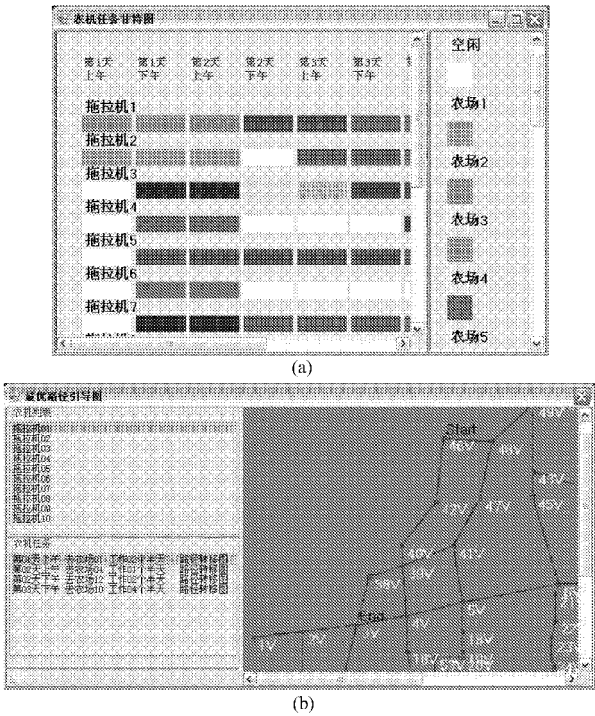


图4 模型输出结果

Fig.4 Outputs of model

(a) 农机作业甘特图 (b) 农机最优路线引导图

的计算精度。例如,在同一类型的农机方面,尽管有些制造商占据主体或垄断地位,比如我国约 80% 小麦联合收获机大部分是福田雷沃生产的,但也存在其他制造商的产品,例如约翰迪尔、沃得等,不同品牌的收获机在作业能力方面存在一定的差异。而

且,即使同一个品牌,由于驾驶员的驾驶技能、农机的使用年限不同,也会造成农机的非同质性问题普遍存在。

(2)详尽的路网拓扑关系是模型应用的基础,但在现实应用中,城市电子地图已有较好的基础,但广袤的农村尚缺乏这些基础数据。如何全面、快速、准确地更新电子地图,显得异常重要。与相关WebGIS 运营商进行合作开发,是一个值得探讨的方案。

(3)在某一个时间段,农业作业往往包含多个作业环节,例如玉米秋收后,紧接着进行撒肥、犁地和旋耕等,不同作业环节可能需要使用不同的农机和农具,例如玉米收获需要使用玉米收获机,而后续环节则需要使用大功率拖拉机和相应的农具。由此可见,在实际应用中,农机调度往往涉及多个作业环节、多种农机的连续调度问题。为了发挥最大的

效益,需要开展多环节农机调度模型的研究工作。

5 结论

(1)针对农田与农机资源的匹配与调度应用需求,抽象出基于时间窗的资源调度数学描述,给出了模型解算方法,以动态规划的思想逐步分解决策过程,完成每个决策的最优解解算,并进行了模型寻优分析和复杂度分析。

(2)在建模的基础上,基于GIS、数据库等技术,开发了农机时空调度原型系统。系统可实现数据录入、模型运算、调度指令生成以及中心自动导航等功能。

(3)结合北京市某农机协会,开展了初步的应用试验。试验表明,模型可实现农机的快速、自动调度,有利于提高大型农机协会、农机合作社等农机组织的作业计划效率。

参 考 文 献

- 1 李进,张江华,朱道立. 灾害链中多资源应急调度模型与算法[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(3):488~495.
Li Jin, Zhang Jianghua, Zhu DaoLi. Multi-resource emergency scheduling model and algorithm in disaster chain[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2011, 31(3):488~495. (in Chinese)
- 2 赵惠良,刘建平,刘向东. 城市交通非常规突发事件的应急资源调度最优路径研究[J]. 北京理工大学学报:社会科学版, 2010, 12(6):65~68.
Zhao Huiliang, Liu Jianping, Liu Xiangdong. Study on the optimal path of resource attemperment for urban transportation emergency events[J]. Journal of Beijing Institute of Technology: Social Sciences Edition, 2010, 12(6):65~68. (in Chinese)
- 3 耿泽飞,胡飞虎,陈慧敏,等. 多灾害点应急资源调度研究与实现[J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(2):63~66.
Geng Zefei, Hu Feihu, Chen Huimin, et al. On multiple disaster places emergency resource scheduling and ITS implementation [J]. Computer Applications and Software, 2010, 27(2):63~66. (in Chinese)
- 4 张杰,王志勇,徐维胜,等. 面向突发事件的应急资源调度模型的构建和求解[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(31):220~223.
Zhang Jie, Wang Zhiyong, Xu Weisheng, et al. A scheduling modal and solution of relief resources for emergencies[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(31):220~223. (in Chinese)
- 5 程昭. 应急资源调度的补货策略问题研究[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(3):826~830.
Cheng Zhao. Research on replenishment strategy in emergency resource allocation[J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(3):826~830. (in Chinese)
- 6 李永丽,张海龙,刘衍珩. 基于共生遗传算法求解应急资源调度[J]. 吉林大学学报:工学版, 2011, 41(2):442~446.
Li Yongli, Zhang Hailong, Liu Yanheng. Emergency resources distribution model based on symbiotic genetic algorithm[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2011, 41(2):442~446. (in Chinese)
- 7 苏於梁,褚学宁,孙习武,等. 基于改进遗传算法的车削加工中心工步排序与优化[J]. 农业机械学报, 2010, 41(8):216~222.
Su Yuliang, Chu Xuening, Sun Xiwu, et al. Worksteps sequencing and optimization of mill/turn machining center based on improved genetic algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8):216~222. (in Chinese)
- 8 丁建立,李晓丽,李全福. 面向场面滑行的机场关键资源蚁群调度模型[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(4):1 279~1 281.
Ding Jianli, Li Xiaoli, Li Quanfu. Ant scheduling model for critical resources based on airport taxi[J]. Application Research of Computers, 2011, 28(4):1 279~1 281. (in Chinese)
- 9 刘明周,张明伟,蒋增强,等. 基于混合粒子群算法的多目标柔性 Job-shop 调度方法[J]. 农业机械学报, 2008, 39(5):122~127.
Liu Mingzhou, Zhang Mingwei, Jiang Zengqiang, et al. Multi-objective and flexible Job-shop problems study based on hybrid particle swarm optimization[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5):122~127. (in Chinese)

- Kuang Zhaomin, Zhu Weijun, Ding Meihua, et al. Application of multi-source satellite data in monitoring sugarcane droughts [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2007,28(1):93~96. (in Chinese)
- 19 谭宗琨,吴良林,丁美花,等. EOS/MODIS 数据在广西甘蔗种植信息提取及面积估算的应用[J]. 气象,2007,33(11):76~81. Tan Zongkun, Wu Lianglin, Ding Meihua, et al. Study on the extraction of sugarcane planting areas from EOS/MODIS data[J]. Meteorological Monthly, 2007,33(11):76~81. (in Chinese)
- 20 郭琳,裴志远,张松龄,等. 基于环境星 CCD 图像的甘蔗叶面积指数反演方法[J]. 农业工程学报,2010,26(10):201~205. Guo Lin, Pei Zhiyuan, Zhang Songling, et al. Estimation method of sugarcane leaf area index using HJ CCD images[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(10): 201~205. (in Chinese)
- 21 Lin Hui, Chen Jinsong, Pei Zhiyuan, et al. Monitoring sugarcane growth using ENVISAT ASAR data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009,47(8): 2 572~2 580.
- 22 谭宗琨,何燕,黄中艳,等. 云南气候对甘蔗产量和蔗糖分的影响分析[J]. 甘蔗糖业,2008(1):15~21.
- 23 陆中华. 甘蔗产量构成因素与产量的关系[J]. 种子,2002(3):38~39.
- 24 谢名洋,黄永春. GM(1,1)模型在预测甘蔗单产中的应用[J]. 中国糖料,2001(4):1~4. Xie Mingyang, Huang Yongchun. Application of GM(1,1) to the prediction of sugarbeet yield[J]. Sugar Crops of China, 2001(4):1~4. (in Chinese)
- 25 程三友,李英杰. SPOT 系列卫星的特点与应用[J]. 地质学刊,2010,34(4):400~405. Cheng Sanyou, Li Yingjie. Characteristics and application of SPOT satellites[J]. Journal of Geology, 2010,34(4):400~405. (in Chinese)
- 26 刘宇光,金明,冯钟葵,等. SPOT 数据反演地物辐射亮度和反射率的基础研究[J]. 地球信息科学,2005,7(2):111~115. Liu Yuguang, Jin Ming, Feng Zhongkui, et al. Study on inversion of radiance and reflectivity with SPOT data[J]. Geo-Information Science, 2005, 7(2): 111~115. (in Chinese)
- 27 惠凤鸣,田庆久,金震宇,等. 植被指数与叶面积指数关系研究及量化分析[J]. 遥感信息,2003(2):10~13. Hui Fengming, Tian Qingjiu, Jin Zhenyu, et al. Research and quantitative analysis of the correlation between vegetation index and leaf area index[J]. Remote Sensing Information, 2003(2):10~13. (in Chinese)
- 28 Rouse J W, Haas R H, Schell J A, et al. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation [R]. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, USA, 1974: 235~243.
- 29 黄家雍,唐仕云,李翔,等. 高产栽培模式中能源甘蔗的光合能力和叶面积指数比较分析[J]. 南方农业学报,2011,42(1):22~25. Huang Jiayong, Tang Shiyun, Li Xiang, et al. Comparative analysis of energy sugarcane varieties for photosynthetic capacity and leaf area index in high yield cultivation model[J]. Journal of Southern Agriculture, 2011,42(1):22~25. (in Chinese)
-

(上接第 241 页)

- 10 翦象慧,王如龙. 现代物流配送系统中优化调度模型的研究[J]. 物流工程与管理, 2011, 33(3):96~98. Jian Xianghui, Wang Rulong. The research of the modern logistics distribution system optimization scheduling model[J]. Logistics Engineering and Management, 2011, 33(3):96~98. (in Chinese)
- 11 孙淑芹,刘家彬,姚洪. 基于最大匹配算法的列车调度模型[J]. 通化师范学院学报, 2011, 32(2):12~15. Sun Shuqin, Liu Jiabin, Yao Hong. Maximum matching algorithm based on model trains[J]. Journal of Tonghua Teachers College, 2011, 32(2):12~15. (in Chinese)
- 12 刘巍巍,刘晓冰,李忠凯,等. 一种推拉结合的生产计划于调度模型[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(4):1 385~1 388. Liu Weiwei, Liu Xiaobing, Li Zhongkai, et al. Push-pull model for production planning and scheduling[J]. Application Research of Computers, 2011, 28(4):1 385~1 388. (in Chinese)
- 13 王建华,李南,郭慧. 基于时间槽的敏捷供应链集成调度模型及优化[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(2):283~290. Wang Jianhua, Li Nan, Guo Hui. Integrated scheduling model and its optimization for agile supply chain based on time slots[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2011, 31(2):283~290. (in Chinese)
- 14 甘应爱,田丰,李维铮,等. 运筹学[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- 15 李洪,姚光强,陈立平. 基于 GPS、GPRS 和 GIS 的农机监控调度系统[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊2):119~112. Li Hong, Yao Guangqiang, Chen Liping. Farm machinery monitoring and scheduling system based on GPS, GPRS and GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(Supp. 2):119~122. (in Chinese)
- 16 王壮,陈立平,刘永生. 农机监控调度系统的设计与实现[J]. 计算机工程,2010, 36(11):232~234,237. Wang Zhuang, Chen Liping, Liu Yongsheng. Design and implementation of agricultural machinery monitoring and scheduling system [J]. Computer Engineering,2010, 36(11):232~234,237. (in Chinese)