

多区域协调调度架构下的农机服务资源优化配置方法

马军岩¹ 袁逸萍^{1*} 任年鲁¹ 郭宇² 刘湘¹

(1. 新疆大学 机械工程学院, 乌鲁木齐 830049;
2. 南京航空航天大学 机电学院, 南京 210016)

摘要 针对多区域互联农机服务资源分配不合理所导致的区域整体经济效益低下的问题,采用数学建模与智能优化算法相结合的仿真方法,对多区互联农机服务资源配置进行研究。结合智慧农业发展现状和多区域互联农机服务调度特点,构建多区域协调调度架构,获取全局农机服务资源状况;建立价值可变的背包型农机服务调度模型,设计改进模拟退火和粒子群优化的混合智能算法求解调度模型;通过实例分析本研究设计的协调调度方法与传统分散调度方法的区域总效益、订单响应率和农机效用比的差异性以及对农田面积对调度方法的影响。仿真结果表明,当订单数量 <375 时,2种调度方法所产生的效果相同;当订单数量 ≥ 375 时,协调调度方法所得农机效用比高于传统分散调度方法2.74%,当订单数量 ≥ 625 时,协调调度方法所得区域总效益和订单响应率比传统分散调度方法分别高10.65%和14.88%。

关键词 智慧农业; 协调调度; 模拟退火和粒子群优化混合算法; 资源优化配置

中图分类号 S231 **文章编号** 1007-4333(2020)04-0113-10 **文献标志码** A

Optimal allocation of agricultural machinery service resources under multi-regional coordinated scheduling architecture

MA Junyan¹, YUAN Yiping^{1*}, REN Nianlu¹, GUO Yu², LIU Xiang¹

(1. College of Mechanical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830049, China;
2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract Aiming at the problem of low overall regional economic benefit caused by unreasonable allocation of agricultural machinery service resources in multi-region interconnection, a simulation method combining mathematical modeling and intelligent optimization algorithm were used to study the allocation of agricultural machinery service resources in multi-region interconnection. According to the development status of intelligent agriculture and the characteristics of multi-regional interconnected agricultural machinery service scheduling, a multi-regional coordination scheduling architecture was constructed to obtain the overall situation of agricultural machinery service resources. A multi-knapsack agricultural machinery service scheduling model with variable value was established, and a hybrid intelligent algorithm based on simulated annealing and particle swarm optimization was designed to solve the scheduling model. An example was given to analyze the difference between the coordinated dispatching method and the traditional decentralized dispatching method in terms of regional total benefit, order response rate and agricultural machinery utility ratio, and the influence of farmland area on the dispatching method. The simulation results showed that when the number of orders was less than 375, the effect of the two scheduling methods was the same; When the number of

收稿日期: 2019-08-15

基金项目: 科技援疆项目(2019E0213)

第一作者: 马军岩, 博士研究生, E-mail: majunyanbyr@163.com

通讯作者: 袁逸萍, 教授, 博士生导师, 主要从事物联网与智能调度研究, E-mail: 13999888736@163.com

orders was more than 375, the utility ratio of agricultural machinery obtained by the coordinated scheduling method was 2.74% higher than that of the traditional decentralized scheduling method; When the number of orders was more than 625, the total regional benefit and order response rate of the coordinated scheduling method were respectively 10.65% and 14.88% higher than those of the traditional decentralized scheduling method.

Keywords intelligent agriculture; coordinated scheduling; hybrid algorithm of simulated annealing and particle swarm optimization; optimal allocation of resources

近年来,随着大数据、物联网、移动互联网和云计算等技术日渐成熟,集现代信息技术为一体的智慧农业进入高速发展阶段。我国是农业大国,智慧农业作为智慧经济的主要组成部分是我国的民生之本,发展智慧农业成为必然选择^[1]。智慧农业数据中心解决了农业生产中的信息孤岛问题,为优化农业资源配置、服务“三农”奠定了良好基础^[2]。随着智慧农业发展规模不断壮大,传统意义上以农机服务组织为单位的农机分散调度模式由于缺乏全局性已不再适用于当前农业的快速发展,农机服务行业在一定程度上出现“重视机主收益,轻视农户损失”的现象,呈现出“有机没活干,有活没农机”的资源格局^[3-4]。如何提升农机服务调度水平从而确保各地区“双抢”、“三夏”及“三秋”农忙时节粮食颗粒归仓成为制约现代大农业发展的关键问题。因此,在当前形势下,迫切需要以“分散资源集中使用、集中资源分散服务”的思想为指导,研究基于智慧农业的多区互联式农机调度新模式,为提升区域内农机服务调度整体水平提供行之有效的方法。

传统的农机分散调度模式通常以各农机服务组织为单位对农机资源进行自治管理,以降低调度成本或提高机主收益等为目标进行服务调度。已有研究对农机调度机制提出多种模型和算法:1)以最小化完工时间为目标建立农机调度模型^[5-6];2)两阶段的农机调度模型^[7];3)有容量限制的车辆调度模型^[8-10];4)以最短距离为调度规则的路径规划模型^[11];5)基于机主选择的农机调配模式建立运筹学模型^[12-13];6)基于时间窗的农机资源时空调度数学模型,并用启发式算法对模型进行求解^[14-15];7)绿色收割农机调度模型,并采用整数规划的分支定界算法成功求解该模型^[16];8)农机应急调度和跨区作业模型^[17-18]。上述农机分散调度方法在解决相关问题方面已取得一定成效,但主要从局部优化角度进行农机调度研究,统筹各区域农户损失和机手收益问题仍存在薄弱环节。在此基础上,部分已有研究尝

试从全局角度分析农机调度问题,实现基于GIS、GPRS及GPS等技术的农机监控调度管理系统设计与开发^[19-23],但对于如何综合考虑各区域机主收益和农户收益,在系统架构基础上开发适用于多区互联的农机调度模型和全局优化智能调度算法,仍然是亟待解决的问题。针对上述研究中存在的问题,本研究拟构建一种适用于智慧农业发展的多区域协调调度架构,建立多区互联的农机调度模型和智能优化调度算法,旨在从区域总效益、订单响应率和农机效用比等角度研究农机调度方法以及农田面积对调度效果的影响,从全局角度优化农机资源配置,实现资源合理利用,提高区域农业经济总效益。

1 多区域协调调度架构

本研究构建多区域协调调度架构见图1。该架构适用于包含多个调度中心的智慧农机调度问题。协调”是指上级农机管理部门从全局视角对各子区域之间进行统筹协调调度,各下级农机服务组织互相合作安排调度计划以保证整个互联区域的总体效益最大化。

农业生产现场:包括农机信息、农田信息、气象信息、市场调研信息及供求信息等。信息感知层:采用信息传输设备实时采集农业生产现场数据信息,通过通讯模块将信息传输至物联网智能网关。信息交互层:智能网关将底层数据传输至数据中心,实现现场数据与上层调度决策实时准确地传输与交互。分散调度层:各农机合作组织根据任务特点选派相应型号的农机,联系机手进行作业,并将作业进度汇报至上层调度中心。协调调度层:上级农机管理部门整合各子区域农机资源,以全局收益最大化为目标进行任务排程决策,从而确定各农机服务组织的作业任务。供需服务层:农户利用计算机或智能手机app发送农机服务请求,经过云端服务器自动生成线上订单,并将订单信息反馈至农户。

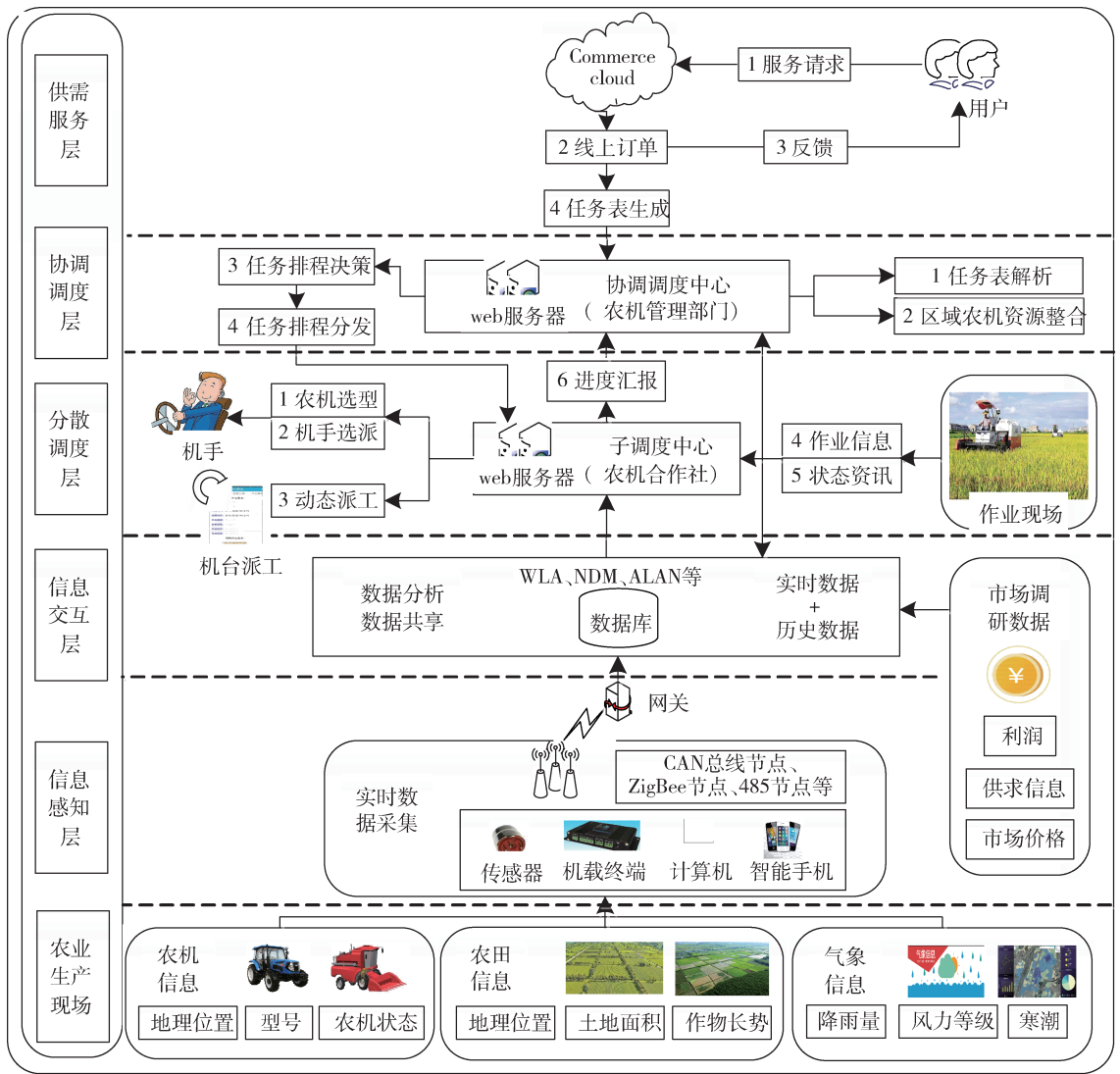


图 1 多区域协调调度架构

Fig. 1 Multi-regional coordinated scheduling architecture

2 多区域互联农机服务资源协调调度模型与算法

2.1 多区域互联农机服务资源协调调度问题假设

有 N 个分布在不同子区域的农机点, 每个农机点有 M 种类型农机, 各农机点的农机可跨区域调度。多个分布在不同区域的农田点 q 为待作业点, 每个区域有 R 种待收割农作物。如何在综合考虑各子区域内各类农作物信息和各农机点农机资源信息的条件下, 按时收割各类农作物且确保机手收益, 使得区域总效益最大化为本研究的主要目标。区域总效益是指所有农户总收益和所有机手总收益之和, 具体指整个区域内所有农户收割所有农作物所

得利益与所有机手完成任务订单后的收益之和。基于智慧农业平台, 农户和农机点提前签订用机协议, 当订单任务产生时存在以下假设:

- 1) 各订单中的农田作业点的位置、作业面积、作业时间窗、所需机型已知。
- 2) 不同类型作物在同一区域内的适宜收获时间范围不相同。
- 3) 订单任务不可分割, 即 1 个订单仅由 1 个农机点完成。

2.2 改进的多背包农机调度模型

将多区互联农机服务资源协调调度问题转化为多背包问题。在 1 次调度决策阶段中, 将 N 个农机点视为 N 个背包, 每个农机点所拥有的农机资源数

量 O_n 等价于背包容量,将 Q 个农田作业点任务分配给各个农机点。则农机调度问题等价于在农机资源数量和时间窗限制范围内,决策如何将整个区域中所有农作物按照收割时间窗将任务订单分配给各个农机点,使得区域内所有农户和机手收益总和最大化。

考虑到不同农机点完成同一订单的作业成本 C 不同将导致总体效益不同。本研究对传统多背包模型进行改进,建立价值可变的背包农机服务调度模型。具体可表示为:

$$\begin{cases} \max \sum_{n=1}^N \sum_{q=1}^Q x_{n,q} [G + (W - C - H_q)] \\ \text{s. t} \sum_{q=1}^Q x_{n,q} \omega_q \leq O_q, n = 1, 2, \dots, N \\ \sum_{n=1}^N E(TE - TS)x_{n,q} \leq S, q = 1, 2, \dots, Q \end{cases} \quad (1)$$

式(1)为改进的价值可变的背包农机调度模型,调度目标为最大化整个区域总效益。式中: N 为农机点总数量; Q 为农田点总数量; $x_{n,q} = 1$ 表示将农田作业点 q 的作业任务分配给第 n 个农机点,否则为 0; W 为农机作业价格; C 为作业成本; H_q 为农田点 q 的惩罚成本; ω_q 表示农田作业点 q 所需要的农机数量; O_q 为农机点 q 的农机保有量; E 为所有农机的总作业能力; TE 为作业时间窗结束时刻, TS 为作业时间窗开始时刻; S 为农田总面积; G 为农户收益:

$$G = A \times S \quad (2)$$

式中 A 为各类农作物单位面积的收益。作业成本 C 表示为:

$$C = C_1 \cdot d_{q,m} + C_2 \cdot \frac{S_q}{E_m} + C_3 \cdot (f_{q,m} - r_{q,m}) \quad (3)$$

式中: C_1 为单位距离农机行驶油耗成本; $d_{q,m}$ 为农机 m 和农田点 q 之间的距离; C_2 为单位面积农机作业油耗成本, S_q 为农田点 q 的面积, E_m 为农机 m 的作业能力; $f_{q,m}$ 为农机 m 离开农田点 q 的时刻; $r_{q,m}$ 为农机 m 到达农田点 q 的时刻。惩罚成本函数 $H_q(r_{q,m})$ 表示为:

$$H_q(r_{q,m}) = \begin{cases} y_1(TS - r_{q,m}), r_{q,m} < TS \\ 0, TS \leq r_{q,m} \leq TE \\ y_2(r_{q,m} - TE), r_{q,m} > TE \end{cases} \quad (4)$$

式中: y_1 和 y_2 分别表示农机在作业时间窗开始前和结束后到达农田的惩罚系数。

2.3 全局优化的农机调度算法设计

结合多区互联农机服务资源调度的特点,对原

始粒子群算法进行改进,引入模拟退火过程,构建改进的模拟退火粒子群算法(MSA-PSO),提高算法的全局搜索能力。其基本思想为:第一层用粒子群优化各农机服务组织的作业任务分配;第二层用模拟退火算法优化农机作业路径。种群初始温度计算如式(5)所示,温度退化计算如式(6)所示:

$$t_0 = f(p_g) / \ln 5 \quad (5)$$

式中: t_0 为粒子群的初始温度; p_g 表示最优粒子 g 的适应值。粒子群降温公式为:

$$t_{k+1} = \lambda t_k \quad (6)$$

式中: λ 为退温系数; t_{k+1} 为第 $k+1$ 个粒子的当前温度, t_k 为第 k 个粒子的当前温度。

改进的速度更新公式为:

$$\begin{aligned} v_{i,j}(t+1) = & \left(\omega_{\max} - \frac{b(\omega_{\max} - \omega_{\min})}{B} \right) v_{i,j}(t) + \\ & \frac{c_{\max}}{b^2} \times r_1 [p_{g,j}(t) - x_{i,j}(t)] + \\ & c_{\min} \times b^2 \times r_2 [p_{i,j} - x_{i,j}(t)] \end{aligned} \quad (7)$$

式中: $v_{i,j}(t+1)$ 和 $v_{i,j}(t)$ 分别表示在 $t+1$ 时刻和 t 时刻,第 i 维粒子在第 j 维的速度; ω 为惯性权重; b 为当前迭代次数; B 为最大迭代次数; c 为学习因子; r_1 和 r_2 为 $0 \sim 1$ 之间均匀分布的随机数; $p_{i,j}$ 为第 i 维粒子在第 j 维的历史最优位置; $p_{g,j}$ 为全局最优粒子 g 在第 j 维的最优位置。位置更新公式为:

$$x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1) \quad (8)$$

式中: $x_{i,j}(t+1)$ 和 $x_{i,j}(t)$ 分别表示 $(t+1)$ 和 t 时刻,第 i 维粒子在第 j 维的位置。MSA-PSO 算法流程如下:

- 1) 随机初始化种群中各微粒的位置和速度;
- 2) 评价每个微粒的适应度,将当前各微粒的位置和适应值存储在 p_i 中,将所有粒子群中适应值最优的个体位置和适应值存储在 p_g 中;
- 3) 根据式(5)确定种群初始温度;
- 4) 根据式(9)确定当前温度下各粒子的 p_i 适配值:

$$TF(p_i) = \frac{e^{-(f(p_i) - f(p_g))/t}}{\sum_{i=1}^N e^{-(f(p_i) - f(p_g))/t}} \quad (9)$$

- 5) 采用轮盘赌策略从所有 p_i 中确定全局最优的替代值 p_g , 然后根据式(7)和式(8)更新各微粒的速度和位置;

- 6) 更新权重和更新学习因子;

- 7) 计算各微粒新的目标值,更新各微粒的 p_i 值及群体的 p_g 值;

8)根据式(6)进行退温操作;
9)若满足停止条件,搜索停止并输出结果,否则执行4)。

3 实例分析

为验证本研究设计的农机协调调度方法的有效

性,选取新疆沙湾县各乡镇农田点和农机点为研究对象,分析不同订单数量下的农机服务资源调度情况。依据新疆各县市农田面积和农用机械拥有量统计年鉴数据^[24-25]和GPS定位数据,得到沙湾县农田和农机信息见表1~表4。各乡镇中所包括的村庄农田信息较多,由于篇幅限制,不在本文中列出。

表1 各子区域农田基本信息

Table 1 Basic information of farmland in each sub-region

区域编号 Subarea number	子区域名称 Subregion name	东经/ (°) East longitude	北纬/ (°) North latitude	作物面积/hm ² Crop area			收割时间窗(月-日) Harvest time window		
				棉花 Cotton	玉米 Corn	小麦 Wheat	棉花 Cotton	玉米 Cotton	小麦 Cotton
F ₁	四道河子镇	85.71	44.69	20 713.33	3 633.33	1 686.67	[09-15,09-21]	[07-10,07-18]	[07-20,07-25]
F ₂	老沙湾镇	85.78	44.64	13 426.67	2 183.18	949.93	[09-18,09-22]	[07-12,07-16]	[07-21,07-26]
F ₃	乌兰乌苏镇	85.87	44.30	7 006.67	1 103.59	743.21	[09-16,09-19]	[07-16,07-19]	[07-24,07-27]
F ₄	安集海镇	85.35	44.36	8 760.00	1 551.71	726.93	[09-20,09-25]	[07-21,07-25]	[07-25,07-28]
F ₅	东湾镇	85.80	44.06	14 193.33	2 350.57	1 016.92	[09-22,09-27]	[07-25,07-29]	[07-27,07-30]
F ₆	西戈壁镇	85.52	44.06	10 700.00	1 882.09	1 069.63	[09-24,09-28]	[07-26,07-30]	[07-29,08-03]
F ₇	柳毛湾镇	85.92	44.63	7 758.80	1 108.40	738.93	[09-25,09-30]	[07-28,08-02]	[08-04,08-09]
F ₈	金沟河镇	85.68	44.31	7 700.00	1 103.91	730.60	[09-28,10-03]	[08-01,08-04]	[08-06,08-10]
F ₉	商户地乡	85.89	44.56	8 293.33	1 439.68	725.55	[10-01,10-05]	[08-02,08-06]	[08-09,08-13]
F ₁₀	大泉乡	85.61	44.37	7 446.67	1 163.30	766.01	[10-06,10-10]	[08-05,08-08]	[08-14,08-18]
F ₁₁	博尔通古乡	85.38	44.05	6 113.33	1 104.65	713.44	[10-10,10-15]	[08-06,08-10]	[08-15,08-20]

表2 各子区域之间的距离

Table 2 The distance between the subregions

区域编号 Subarea number	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	F ₁₁
F ₁	0	10.36	46.51	54.05	70.72	73.65	24.08	41.96	25.24	36.84	79.98
F ₂	10.36	0	38.24	57.18	64.07	71.13	14.75	37.68	14.89	35.00	79.36
F ₃	46.51	38.24	0	57.56	27.80	47.51	37.25	20.33	28.28	29.06	61.29
F ₄	54.05	57.18	57.56	0	60.12	38.50	69.90	37.27	63.85	29.23	34.24
F ₅	70.72	64.07	27.80	60.12	0	31.68	64.96	31.02	55.9	40.44	47.54
F ₆	73.65	71.13	47.51	38.50	31.68	0	78.15	34.09	69.42	36.80	15.86
F ₇	24.08	14.75	37.25	69.90	64.96	78.15	0	44.09	9.14	44.52	88.40
F ₈	41.96	37.68	20.33	37.27	31.02	34.09	44.09	0	35.49	10.12	44.94
F ₉	25.24	14.89	28.28	63.85	55.90	69.42	9.144	35.49	0	36.96	80.17
F ₁₀	36.84	35.00	29.06	29.23	40.44	36.80	44.52	10.12	36.96	0	44.40
F ₁₁	79.98	79.36	61.29	34.24	47.54	15.86	88.40	44.94	80.17	44.40	0

表3 各子区域棉花、玉米及小麦联合收割机保有量

Table 3 The number of combine harvester of cotton, corn and wheat in each sub-region

台

区域编号 Subarea number	子区域名称 Subregion name	M_1	M_2	M_3	区域编号 Subarea number	子区域名称 Subregion name	M_1	M_2	M_3
F_1	四道河子镇	57	10	5	F_7	柳毛湾镇	21	3	2
F_2	老沙湾镇	37	6	3	F_8	金沟河镇	21	3	2
F_3	乌兰乌苏镇	19	3	2	F_9	商户地乡	23	4	2
F_4	安集海镇	24	4	2	F_{10}	大泉乡	20	3	2
F_5	东湾镇	38	6	3	F_{11}	博尔通古乡	17	3	2
F_6	西戈壁镇	30	5	3					

注: M_1 , M_2 和 M_3 分别为棉花、玉米和小麦联合收割机保有量。

Note: M_1 , M_2 , M_3 are respectively the number of cotton, corn and wheat combine harvesters.

表4 联合收割机的性能参数

Table 4 Performance parameter of combine harvester

联合收割机类型 Type of combine harvester	型号 Model	功率/ kW Power	行驶速度/ (km/h) Travel speed	行驶油耗/ (L/km) Oil consumption in travel	作业速度/ (km/h) Working speed	作业油耗/ (L/h) Oil consumption in operation	作业能力/ (hm^2/h) Operation ability
棉花联合收割机 Cotton combine harvester	4MC-24 4MZ-3A 4MZ-6	118.00 176.00 247.00	30.00 30.00 30.00	0.20 0.20 0.20	5.00 5.00 5.00	18.70 28.00 42.00	0.53 0.80 1.07
玉米联合收割机 Corn combine harvester	4YZT-5 4YZT-8 4YZT-10	118.00 129.00 162.00	30.00 30.00 30.00	0.20 0.20 0.20	6.00 6.00 6.00	18.40 24.50 27.60	0.80 1.07 1.20
小麦联合收割机 Wheat combine harvester	4LZ-8E2 4LZ-8F2 4LZ-8M6	186.00 260.00 298.00	20.00 20.00 20.00	0.30 0.30 0.30	6.00 6.00 6.00	43.50 60.50 67.70	1.20 1.67 1.87

基于上述实例的基本数据,将沙湾县的11个乡镇农机点抽象为11个背包。整个沙湾县农作物收获时间窗如下:棉花收获时间为9月15日—10月15日;玉米收获时间为7月10日—8月10日;小麦收获时间为7月20日—8月20日。依据区域农田总面积,设置订单数量范围为 $[0, 1\ 000]$,仿真3种农作物收获时的联合收割机调度过程。表5为棉花、玉米及小麦联合收割机

仿真参数。

3.1 区域总效益与订单数量的关系

仿真得到区域总效益与订单数量的关系见图2。可见当订单数量增加到一定数量时,各农机点均出现农机资源不足的情况,区域总效益增长幅度趋于平缓,协调调度方法下的区域总效益比文献[17]中分散调度方法的区域总效益平均高出10.65%。

表 5 棉花、玉米及小麦联合收割机的仿真参数

Table 5 Simulated parameter table for scheduling of cotton, corn and wheat combine harvesters

参数名称 Parameter name	参数值 Parameter value	参数名称 Parameter name	参数值 Parameter value
农作物类型 R /种 Crop type	3	最大惯性权重系数 ω_{\max} Maximum inertial weight coefficient	0.9
农机类型 M /种 Agricultural machinery type	3	最小惯性权重系数 ω_{\min} Minimum inertial weight coefficient	0.4
农机点数量 N /个 Number of agricultural machinery stations	11	最大学习因子 c_{\max} Maximum learning factor	0.25
农机资源数量 O_q /台 Number of agricultural machinery	22~72	最小学习因子 c_{\min} Minimum learning factor	0.05
农田面积 S /万 hm^2 Farmland area	14	惩罚系数 y_1 /(元/h) Penalty coefficient	20
最大迭代次数 B /次 Maximum number of iterations	1 000	惩罚系数 y_2 /(元/h) Penalty coefficient	30

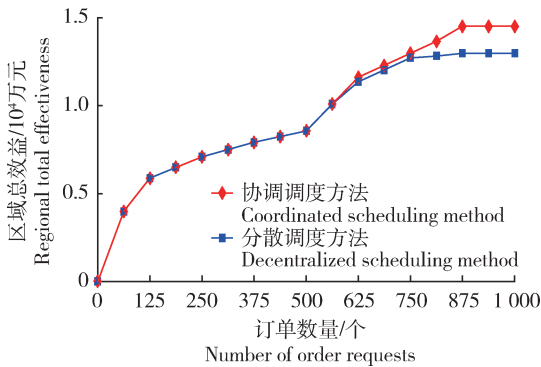


图 2 区域总效益与订单数量的关系

Fig. 2 Relationship between the total regional efficiency and the number of service requests

3.2 订单响应率与订单数量的关系

图 3 示出本研究提出的农机协调调度方法和文献[17]中分散调度方法的任务订单响应率与订单数量的关系比较。当订单数量增加到 625 时,2 种调度方法均出现订单响应率降低的现象,由曲线的平均斜率可得下降率分别为 32.39%和 47.27%,协调调度方法比分散调度方法的订单响应率高出 14.88%。由于本研究调度方法基于多背包模型和

MSA-PSO 算法进行全局搜索,农机资源利用率较高。因此在农机资源一定的情况下,农机协调调度方法的订单响应率明显高于分散调度方法的订单响应率。

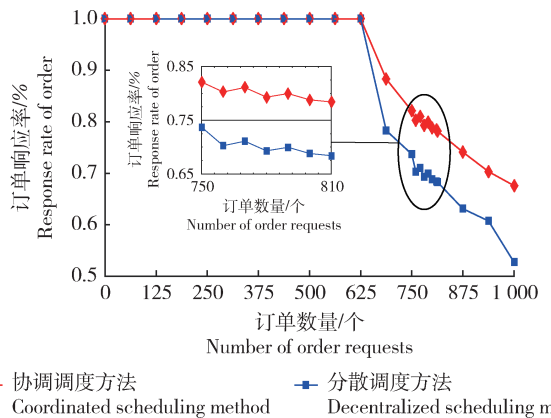


图 3 订单响应率与订单数量的关系

Fig. 3 Relationship between the service response rate and the number of service requests

3.3 农机效用比与订单数量的关系

农机效用比是指区域总效益与农机资源成本之比,反映了单元农机资源的效益情况。仿真得到农

机效用比与订单数量的关系见图4。可见农机效用比随着订单数量的增加不断增大,当请求数量增加到375个时,2种调度方法的农机效用比增长幅度均减缓。由于本研究设计的协调调度方法依据多背包模型进行调度,提高了区域总效益并降低农机资

源成本,农机协调调度方法比分散调度方法的农机效用比平均高出2.74%。当个别农机发生随机故障时,农机效用比均发生微小波动,但协调调度方法的订单响应率仍然高于分散调度方法的订单响应率,确保了机主收益。

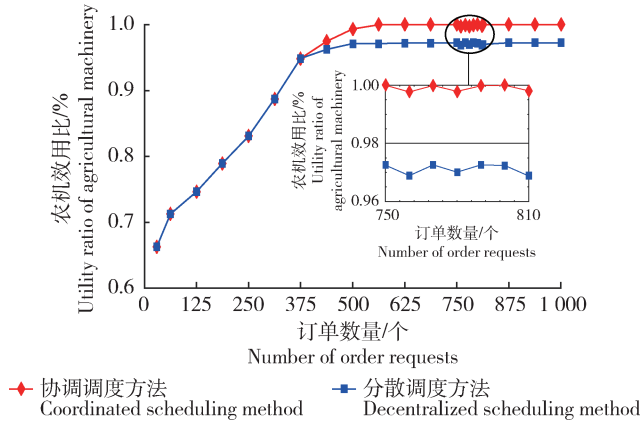


图4 农机效用比与订单数量的关系

Fig. 4 Relationship between the utility ratio of farm machinery and the number of service requests

3.4 农田面积对农机调度方法的影响

农田面积对任务订单响应率与农机效用比的影响见图5。利用rand()函数按实际区域地理位置信息随机生成农田面积信息。在农作物类型数量和农机总数一定时,农田面积增大(14万、20万和27万hm²),订单数量增加,订单响应率随之降低,部分农田得不到服务,导致农机效用比减小。当农田面积和农机资源总量一定时,随着作业类

型的增加,每类农机数量和农作物面积减小,订单响应率的下降率分别约为4.31%,6.8%,10.89%,农机效用比的下降率分别约为1.41%,10.8%,18.89%。当农田面积过多(27万hm²)时,下降趋势最为明显;因此,当区域中种植适当面积的农作物(14万hm²)时,能够降低作业类型数量变化带来的影响,使得订单响应率和农机效用比之间达到平衡。

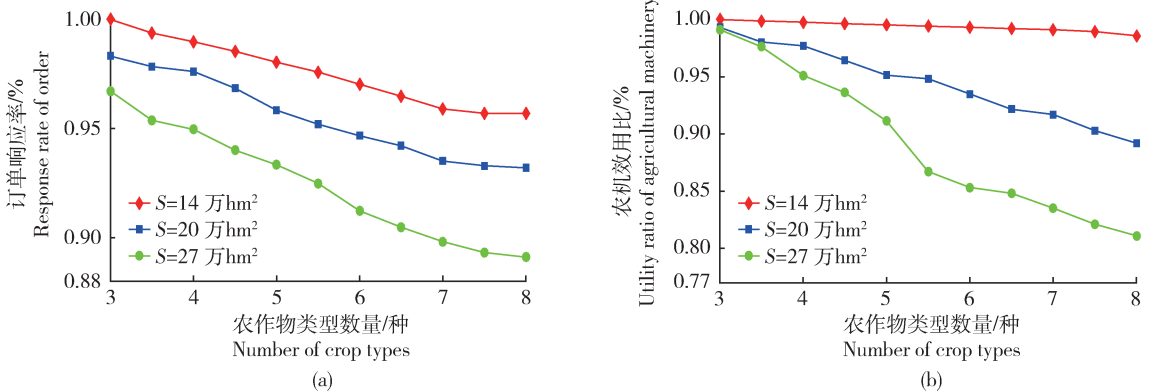


图5 农田面积S对任务订单响应率(a)和农机效用比的影响(b)

Fig. 5 Effect of farmland area S on service request response rate (a) and utility ratio of farm machinery (b)

4 结论

本研究根据智慧农业的发展特点,设计了多区

域协调调度架构,构建价值可变的多背包农机服务调度模型和智能优化算法,对多区域的棉花、玉米及小麦联合收割机的作业调度进行模拟,模拟结果表

明,本研究设计的调度方法提高了区域总效益,订单响应率及农机效用比。在农田面积和农作物种类变化时,订单响应率和农机效用比随之发生变化,由变化趋势可确定区域适宜种植的农田面积及农作物种类。多区域协调调度架构更加切合现代大农业多区互联的发展要求,适用范围比较广泛,有效改善农户服务体验和机主收益。同时也对发展智慧服务具有一定的指导意义。

参考文献 References

- [1] 周斌. 我国智慧农业的发展现状、问题及战略对策[J]. 农业经济, 2018(1): 6-8
Zhou B. Development status, problems and strategic countermeasures of intelligent agriculture in China [J]. *Agricultural Economy*, 2018(1): 6-8
- [2] 孙忠富, 褚金翔, 马浚诚, 杜克明, 郑飞翔. 大数据服务三农的初步分析与探索[J]. 大数据, 2017(3): 33-43
Sun Z F, Chu J X, Ma J C, Du K M, Zheng F X. Preliminary analysis and exploration of big data service for agriculture, countryside and farmers[J]. *Big Data Research*, 2017(3): 33-43 (in Chinese)
- [3] 董洁芳, 李斯华. 我国农机作业服务主体发展现状及趋势分析[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(6): 308-314
Dong J F, Li S H. Analysis of status and developing trend for service principal of agricultural machinery operations in China [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2015, 36(6): 308-314 (in Chinese)
- [4] 冯双林, 靳继红. 农机部件数字化新产品开发关键技术研究: 基于云制造服务平台[J]. 农机化研究, 2018, 40(2): 231-235
Feng S L, Jin J H. Research on key technologies of digital new product development for agricultural machinery parts: Based on the cloud manufacturing service platform[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2018, 40(2): 231-235 (in Chinese)
- [5] Foulds L R. Hay harvesting operations scheduling subject to probabilistic activity duration and machine failure[J]. *Journal of Agricultural Studies*, 2004, 19(3): 11-20
- [6] Basnet C B, Foulds L R, Wilson J M. Scheduling contractors' farm-to-farm crop harvesting operations [J]. *International Transactions in Operational Research*, 2006, 13(1): 1-15
- [7] Guan S L, Nakamura M, Shikanai T, Okazaki T. Resource assignment and scheduling based on a two-phase metaheuristic for cropping system [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009, 66(2): 181-190
- [8] Ali O, Verlinden B, Van Oudheusden D. Infield logistics planning for crop-harvesting operations [J]. *Engineering Optimization*, 2009, 41(2): 183-197
- [9] Jensen M A F, Bochtis D, Sørensen C G, Blas M R, Lykkegaard K L. In-field and inter-field path planning for agricultural transport units [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2012, 63(4): 1054-1061
- [10] Seyyedhasani H, Dvorak J S. Reducing field work time using fleet routing optimization[J]. *Biosystems Engineering*, 2018(169): 1-10
- [11] Edwards G T C, Hinge J, Skou-Nielsen N, Villa-Henriksen A, Sørensen C A G, Green O. Route planning evaluation of a prototype optimised infield route planner for neutral material flow agricultural operations[J]. *Biosystems Engineering*, 2017(153): 149-157
- [12] Orfanou A, Busato P, Bochtis D D, Edwards G, Pavlou D, Sørensen C G, Berruto R. Scheduling for machinery fleets in biomass multiple-field operations [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013(94): 12-19
- [13] 张璠, 滕桂法, 马建斌, 常淑惠. 基于启发式优先级规则的农机调配算法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 78-85
Zhang F, Teng G F, Ma J B, Chang S H. Farm machinery scheduling and allocating based on heuristic priority rules[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(10): 78-85 (in Chinese)
- [14] 吴才聪, 蔡亚平, 罗梦佳, 苏怀洪, 丁连军. 基于时间窗的农机资源时空调度模型[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 237-241, 231
Wu C C, Cai Y P, Luo M J, Su H H, Ding L J. Time-windows based temporal and spatial scheduling model for agricultural machinery resources [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(5): 237-241, 231 (in Chinese)
- [15] 王雪阳, 苑侗侗, 苑迎春, 周利亚. 带时间窗的农机调度方法研究[J]. 河北农业大学学报, 2016, 39(6): 117-123
Wang X Y, Yuan T T, Yuan Y C, Zhou L Y. A Study on method of agricultural scheduling with time-window [J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2016, 39(6): 117-123 (in Chinese)
- [16] 胡志文. 绿色收割农机调度模型[J]. 上海农业学报, 2014, 30(6): 133-135
Hu Z W. A green reaping farm machine scheduling model[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2014, 30(6): 133-135 (in Chinese)
- [17] 张璠, 滕桂法, 苑迎春, 王克俭, 范铁钢, 张昱婷. 农机跨区作业紧急调配算法适宜性选择[J]. 农业工程学报, 2018, 34(5): 47-53
Zhang F, Teng G F, Yuan Y C, Wang K J, Fan T G, Zhang

- Y T. Suitability selection of emergency scheduling and allocating algorithm of agricultural machinery[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(5): 47-53 (in Chinese)
- [18] 吴利华, 刘占良, 王辉. 农业机械跨区作业距离模型研究[J]. *中国农机化学报*, 2015, 36(1): 316-318
- Wu L H, Liu Z L, Wang H. Study on the model of agricultural machinery cross regional operation distance[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2015, 36(1): 316-318 (in Chinese)
- [19] 李小龙, 李治国, 陈华. 北京市农机作业调度管理与精准作业系统[J]. *农业工程*, 2013, 3(S2): 44-48, 50
- Li X L, Li Z G, Chen H. Agricultural machinery scheduling management and precise operation system in Beijing [J]. *Agricultural Engineering*, 2013, 3 (S2): 44-48, 50 (in Chinese)
- [20] 刘振宇, 梁建平. 基于BDS的农机精确调度和高效作业平台设计与应用[J]. *中国农机化学报*, 2018, 39(10): 97-102
- Liu Z Y, Liang J P. Design and application of precision scheduling and efficient operation platform for agricultural machinery based on BDS[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2018, 39(10): 97-102 (in Chinese)
- [21] 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): 232-237
- Wang Z, Chen L P, Liu Y S. Design and implementation of agricultural machinery monitoring and scheduling system[J]. *Computer Engineering*, 2010, 36(11): 232-237 (in Chinese)
- [22] 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(S2): 119-122
- Li H, Yao G Q, Chen L P. Farm machinery monitoring and scheduling system based on GPS, GPRS and GIS [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(S2): 119-122 (in Chinese)
- [23] 王春山, 张璠, 滕桂法, Taylor M E, 王克俭, 王斌. 智慧农机调配管理平台设计与实现[J]. *中国农机化学报*, 2018, 39(1): 61-68
- Wang C S, Zhang F, Teng G F, Taylor M E, Wang K J, Wang B. Design and implementation of smart agricultural machinery platform [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2018, 39(1): 61-68 (in Chinese)
- [24] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018
- Statistics Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region. *Xinjiang Statistical Yearbook 2018* [M]. Beijing: China Statistical Press, 2018
- [25] 伊犁哈萨克自治州统计局. 伊犁哈萨克自治州统计年鉴2017年[M]. 乌鲁木齐: 新疆统计印刷厂, 2018
- Statistical Bureau of Ili Kazakh Autonomous Prefecture. *Statistical Yearbook of Ili Kazakh Autonomous Prefecture 2017*[M]. Urumqi: Xinjiang Statistical Publishing Factory, 2018

责任编辑: 刘迎春