

基于 GPS/GIS 协同的动态车辆调度和路径规划问题研究

冯亮 梁工谦

(西北工业大学管理学院 西安 710072)

摘要 从物流行业信息化和智能化发展的需求出发,利用以物联网为代表的现代信息和通信技术,设计了 GPS/GIS 协同下的智能车辆监控和调度系统。同时,基于该调度系统具有的信息实时获取和智能处理能力,考虑配送车辆及客户需求等相关实时信息对车辆调度和路径规划的影响,构建了基于实时信息且带时间窗的动态车辆路径问题(DVRPTW)混合整数规划(MIP)模型。结合模拟实验,通过混合遗传算法寻优对车辆配送路径进行动态调整和优化,为物流行业降低企业运营成本、提高物流配送效率、改善物流服务质量提供借鉴和参考。

关键词 物联网,物流配送系统,智慧物流,车辆调度,路径规划

中图分类号 TP391 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.09.051

Real-time Dynamic Vehicle Scheduling and Vehicle Routing Problem Based on GPS & GIS Collaboration

FENG Liang LIANG Gong-qian

(School of Management, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract From the logistics industry information and intelligent development, we designed a GPS/GIS collaborative intelligent vehicle monitoring and scheduling system by using the modern information and communication technologies represented by the Internet of things. And we constructed the real-time dynamic vehicle routing problem (DVRP) MIP model based on the ability of information real-time acquisition and intelligent processing and the effect of the real-time information of vehicles and customers on the vehicle scheduling and path planning, which provides a basis and reference for the logistics industry to reduce the business operating costs, improve the logistics and distribution efficiency and the logistics services quality.

Keywords Internet of things, Logistics and distribution system, Intelligent logistics, Vehicle scheduling, Route plan

现代物流业的发展目标是以现代制造业和服务业为基础,以现代运输业为重点,利用现代信息和通信技术来实现物流配送服务的标准化、信息化和智能化,其中智能化是现代物流发展的核心^[1]。随着“互联网+”战略的实施和电子商务的快速发展,具有服务更加迅捷、精准和个性化等特点和优势的智慧物流将会发展成为支撑互联网经济、促进产业转型升级的先导行业^[2]。

为了应对和解决我国物流业存在的短板,有效提高物流配送系统的运作效率和服务品质,降低物流配送服务的运营成本 and 物流损失,充分利用和发挥现代信息通信技术的功能和优势,建立基于车联网(Internet of Vehicle, IOV)的智慧物流配送车辆监控和调度系统,对物流配送过程实施实时监控、路径优化和智能调度,成为了智慧物流建设中紧迫且重要的目标和任务。

目前针对车辆调度系统的相关研究主要集中在两个方面:1)基于 GPS/GIS 技术的车辆定位和监控系统的设计与构建^[3-7];2)基于数学模型的车辆路径规划和优化^[8-14]。其中基于 GPS/GIS 的相关研究主要集中在实时定位、轨迹回溯以及运行数据统计等功能的实现;车辆路径规划和优化方面的研究也都着重于数据模型的构建和算法的探讨。而在利用和挖

掘物流配送车辆定位和监控系统所获取的历史数据及实时数据,并融合相关规划和决策模型实现物流配送车辆路径优化和动态调度方面的研究相对不足。

为了更好地满足现代物流企业实施信息化和智能化管理的应用需求,本文运用物联网、云计算和大数据等现代信息和通信技术,设计了基于 GPS/GIS 协同的物流配送车辆监控和调度系统,对车辆路径规划决策所需的相关数据类型、内容、来源和决策流程进行梳理和分析;同时,基于该系统实时获取的配送车辆、运行环境及客户需求等相关信息对车辆调度和路径规划的影响,构建了带时间窗的动态车辆路径问题(Dynamic Vehicle Routing Problem with Time Windows, DVRPTW)混合整数规划(Mixed Integer Programming, MIP)模型,并采用混合遗传算法,结合模拟实验,对利用该系统模型实施动态调整和优化过程及结果进行验证,为物流企业提高车辆运行效率、改善物流服务质量、降低企业运营成本提供借鉴和参考,具有积极的现实意义。

1 基于 GPS/GIS 协同的智能车辆调度系统

在车联网环境下,全球定位系统(GPS)具备车辆定位与车辆跟踪功能,而地理信息系统(GIS)作为基础信息平台可

到稿日期:2016-10-17 返修日期:2017-03-06 本文受国家自然科学基金资助项目(U1404702)资助。

冯亮(1970—),男,博士生,主要研究方向为计算机应用与物联网;梁工谦(1957—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为设备管理、质量管理。

以实现交通路线、车辆位置和运行轨迹等信息的可视化,通过GPS和GIS的有机融合,能够建立面向各种不同元素的、具备时间基准、坐标系、标识、寻址功能的人/车/货定位协作体系,对承担产品配送任务的交通运输工具的运行轨迹和物流配送人员的活动情况进行定位和监控^[15],从而实现物流配送运营全过程的透明化和可视化管理。

基于GPS/GIS协同的车辆监控和调度系统如图1所示。从硬件构成角度分析,其主要包括前端感知控制单元、无线通信网络以及后台控制中心3个部分^[16];从系统功能角度分析,其主要由车辆实时监控、配送方案优化和车辆实时调度3个模块构成^[17]。

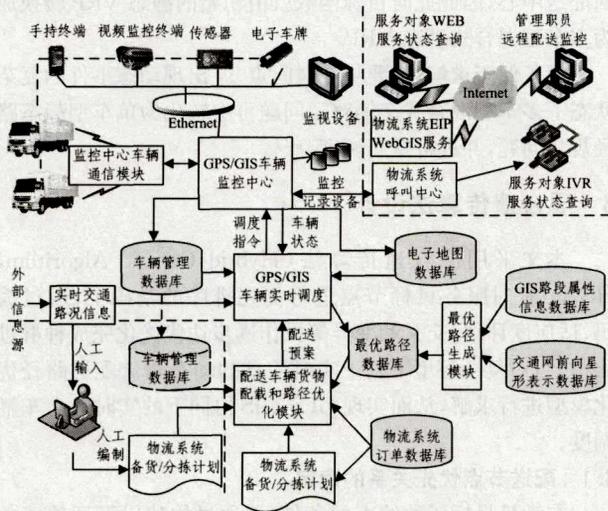


图1 基于GPS/GIS协同的车辆监控和调度系统

基于GPS/GIS协同的物流配送车辆监控和调度系统的工作流程是:通过全球定位系统(GPS)或北斗卫星导航系统(BDS)、道路交通监视识别装置和安装在物流配送车辆上的各种嵌入式传感装置,实时采集车辆及货物运行的精确位置、速度、车辆操控、路况信息和外部环境等基本信息,然后将获取的实时信息转化为适合网络传输的数据格式,通过无线通信网络及时传输给数据处理中心。数据处理中心结合来自物流服务中心的客户需求信息,利用云计算和大数据处理等相关技术对基于GPS、GIS和RS技术融合所获取的实时海量数据和信息进行综合分析和挖掘处理^[18],针对物流配送企业提高服务效率和控制运营成本等具体的需求和目标,科学合理地调用企业配送的资源,对可调用车辆的配送方案和运行路径进行实时更新和优化,及时调度指挥车辆执行新的指令。同时,通过GPS/GIS车辆调度中心将配送车辆路径规划方案和调度结果及时推送到系统终端或显示窗口,从而方便管理者、司机或客户监控配送车辆运行状态,查询配送车辆运行轨迹,掌握配送服务准确时间,并获得其他相关增值服务。

物流配送车辆监控和调度系统在GPS、BDS、GIS、Google earth等系统及相关技术的支持下,可以实时获取物流配送车辆的位置、速度、载货量和到达及离开各配送节点的时间,与客户需求相关的需求量、服务时间和客户位置坐标,以及对物流配送车辆运行产生直接影响的路况、环境等多源海量信息,利用数据挖掘和信息汇聚等数据处理技术对其进行集成和整合,并通过相关数据模型和算法自动生成动态的车辆配载、路

径规划等优化方案,从而实现物流配送服务过程的信息化、透明化和智能化。

2 基于实时信息的动态车辆路径规划

本文设计了基于GPS/GIS协同的物流配送车辆监控和调度系统,主要目的是利用现代信息和通信技术,实时准确地获得客户需求、配送节点、车辆动态和实际路况等方面的信息和数据,并通过构建带时间窗的动态车辆路径问题(DVRPTW)混合整数规划(MILP)模型^[19-20],实现对物流配送过程和车辆运行路径的动态调整和优化。

2.1 问题描述

在配送周期内,针对已知配送客户的配送量、时间窗和服务时间等需求,结合配送节点分布、配送车辆状况等信息制定初始配送方案。在执行配送任务过程中,基于反映客户需求、车辆及道路等变化情况的实时信息,对车辆运行路径重新进行设计和优化,形成新的调度方案并安排执行。

本文研究的系统状态如图2所示,优化目标为以最短路径完成配送任务,并实现物流配送总成本最小。规划模型需满足以下相关约束条件:1)每台车辆在执行配送任务时配送量不超过其最大载重量。2)对每个节点客户只服务一次,即只能被分配在一条路径上。3)配送车辆均由配送中心出发,在完成配送任务后均返回配送中心;所有路径上每个节点的进入车辆数量和离开车辆的数量必须相等。4)配送车辆行驶路径必须为简单圈,避免产生子回路;正在执行配送任务的车辆在动态事件情况下必须优先执行新增收集客户的配送任务,并将配送路径重新转化为简单圈。5)所配送货物完全同质,在数量相同的情况下满足客户需求的程度是相同的。

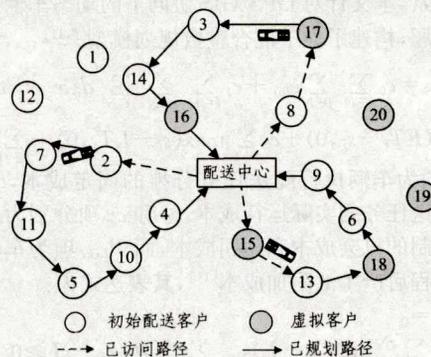


图2 DVRPTW问题描述

假设配送中心拥有的配送车辆数量为 h ,每辆车所载重量为 Q ,平均运行速度为 V ,单位车次分摊的固定成本为 c_0 ,单位公里的运输成本为 c_1 ,单日运行的最大距离为 L 。若在配送过程中出现实际运行里程超过最大行驶距离的情况,则会产生附加成本 c_4 ;若配送服务违反客户时间窗要求,则会产生惩罚性成本 c_2 和 c_3 ^[9-14]。

在配送周期 T 内,配送目标区域的初始目标客户集合为 $I = \{1, 2, \dots, n\}$,初始目标客户分布的节点集合为 $N = \{0, 1, 2, \dots, n\}$,其中客户 i 的货物配送量为 q_i ,最满意的时间窗为 $[ET_i, LT_i]$,客户可接受的收货时间区间不得超出 $[a_i, b_i]$;所有执行任务的车辆集合 $H = \{1, 2, \dots, h\}$ 。配送中心定义为0,任意节点 i 和 j ($i, j \in N$)之间的距离为 d_{ij} ,当节点 i 和 j 之间的道路交通中断时, $d_{ij} = \infty$ 。

假设在执行配送任务过程中发生动态事件的时间点为

T_i , 此时存在已完成配送服务的客户集合 $I_1 = \{1, 2, \dots, i-1\}$ 、尚未服务的客户集合 $I_2 = \{i, i+1, i+2, \dots, n\}$ 以及配送过程中临时增加的新配送客户(收集型客户) $I_3 = \{n+1, n+2, \dots, n+h\}$, 而 I_2 和 I_3 共同组成动态事件时间点 T_i 的客户集合 $I' = \{i, i+1, i+2, \dots, n, \dots, n+h\}$ 。

在动态事件时间点 T_i , 若安排正在执行配送任务的车辆为新增的收集型客户提供配送服务, 则该部分车辆集合仍为 $H' = \{1, 2, \dots, h'\}$, 此时已完成配送任务的节点集合为 $N' = \{0, 1, 2, \dots, n'\}$, 待完成任务的节点集合为 $N'' = \{n'+1, n'+2, \dots, n\}$ ($N', N'' \in N$), 其中车辆 k ($k \in H$) 在执行后续任务的过程中的行驶里程 L_k 和已完成配送量 Q_k 分别服从以下条件: $L_k = L - d_{ij} \sum_{j \in N'} \sum_{i \in N'} x_{ijk}$, $Q_k = Q - q_i \sum_{i \in N'} v_{ik}$, 如需配送中心重新安排车辆, 则新派出的配送车辆集合为 $H'' \in H - H'$ 。

决策变量 x_{ijk} 表示车辆 k 经过路径 (i, j) 和客户节点 i 的情况, v_{0ij} 表示配送中心派出车辆的情况, 则有:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } k \text{ 通行经过路径 } (i, j) \\ 0, & \text{否则} \end{cases}, k \in H$$

$$v_{0ij} = \begin{cases} 1, & \text{车辆经过客户节点 } i \text{ 或者 } j \\ 0, & \text{否则} \end{cases}, i, j \in N$$

假设配送周期 T 内配送服务的起始时间为 t_0 , 配送车辆到达节点 i 的时刻为 t_i , 实际服务时间为 s_i , 车辆由节点 i 行驶到节点 j 所用的时间为 t_{ij} , 当 $x_{ijk} = 1$ 时存在 $t_i + s_i + t_{ij} = s_j$ ($i, j = 0, 1, \dots, n; i \neq j$)。

2.2 数学模型

把以最短路径并满足所有配送节点客户的服务需求, 且实现配送车辆运行总成本最小作为优化目标, 考虑客户的节点分布、服务时间窗、车辆最大运距和最大运量以及实时信息等影响因素, 本文针对 GPS/GIS 协同下的动态车辆调度和路径优化问题, 构建了如下混合整数规划模型^[9,11]:

$$\min z = c_0 \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} v_{0ij} + c_1 \sum_{k \in H} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ijk} + c_2 \sum_{j=1}^n \max (ET_j - s_j, 0) + c_3 \sum_{j=1}^n \max (s_j - LT_j, 0) + \sum_{k \in H} P_{L(k)} \quad (1)$$

其中, c_0 项为车辆执行配送任务分摊的固定成本, c_1 项为车辆执行配送任务的实际运行成本, c_2 和 c_3 项分别为违反客户时间窗限制的机会成本和惩罚成本, 而 $P_{L(k)}$ 项为车辆行驶超出最大里程后产生的附加成本^[11], 其表达式为:

$$P_{L(k)} = \begin{cases} p_l (\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ijk} - L), & \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ijk} - L \geq 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

该规划模型的约束条件如下:

1) 时间窗约束

$$\begin{cases} t_j = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ijk} \cdot (t_i + s_i + \frac{d_{ij}}{V} + (ET_i - a_i)^+), \\ t_i \geq a_i, \end{cases} \quad \begin{matrix} k \in H \\ \forall i \in \{N - (0)\} \end{matrix} \quad (3)$$

2) 车辆约束

$$\begin{cases} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} q_i x_{ijk} \leq Q, & k \in H \\ \sum_{k \in H} \sum_{j \in N} x_{ijk} = \sum_{k \in H} \sum_{i \in N} x_{ijk} = 1, & i, j \in N \\ \sum_{k \in H} \sum_{j \in N, j \neq 0} x_{0jk} = \sum_{k \in H} \sum_{i \in N, i \neq 0} x_{i0k} = h \\ x_{0jk} = x_{i0k} = 1, & n+1 \leq j \leq n+h, k \in H \\ \prod_{i \in P_k} x_{0jk} O_{(i+1)k} = 1, & k \in H \end{cases} \quad (4)$$

3) 需求量约束

$$x_{ijk} \cdot (Q_k - q_j) = x_{ikj} \cdot Q_{kj} \quad (5)$$

该模型的初始配送方案基于配送任务执行之前的已知信息按照静态 VRP 方法求解, 若在配送任务开始执行后的某一时间点 T_i 发生动态事件, 则会触发规划方案的变化和更新, 此时存在已完成服务的客户 $\{1, 2, \dots, i'\}$ 、正在服务或正在前往的客户 i 、尚未完成服务的客户 $\{i+1, i+2, \dots, n\}$ 和配送过程中新增收集客户 $\{n+1, n+2, \dots, h\}$ 共 4 类客户。与初始方案不同, 在时间点 T_i 可供调度的车辆分为两种: 新增车辆和在途执行任务的车辆, 前者从配送中心出发, 而后者则需将 T_i 时所在位置视为始发点, 所有车辆完成配送任务后均须返回配送中心, 因此此时目标函数就由初始的静态 VRP 转换为多车型混合式动态 VRP。

为了便于求解, 需要在时间点 T_i 出现动态事件的复杂状态下多车型混合式车辆路径问题再次转化为单车型静态路径规划问题, 并进行重新调度^[9,11]。

3 混合遗传算法设计

本文采用混合遗传算法 (Hybrid Genetic Algorithm, HGA), 在对服务目标节点进行优先排序的基础上, 通过编码、适应度评估、交叉和变异等操作逐步迭代优化完成种群进化^[11-12], 对复杂环境下基于实时信息的动态物流配送路径优化模型进行求解, 从而实现 GPS/GIS 协同下的实时动态车辆调度。

3.1 配送节点优先关系的确定

在满足目标函数约束的条件下, 通过构建以下评价函数来确定服务目标区域内各配送节点的优先顺序。

$$p_j = \omega_1 \frac{|t_{0j} - a_j|}{|b_j - a_j|} + \omega_2 \frac{|t_{0j} - b_j|}{|b_j - a_j|} + \omega_3 \frac{c_{0j}}{\max_{1 \leq k \leq m} c_{0k}} \quad (6)$$

$$0 \leq \omega_1, \omega_2, \omega_3 \leq 1, \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$$

其中, ω_1 和 ω_2 为时间窗权重系数, ω_3 为配送中心到各配送节点的距离的权重系数, t_{0j} 为车辆从配送中心到达节点 j 的时间, c_{0j} 为车辆从配送中心到达节点 j 的距离, $\frac{|t_{0j} - a_j|}{|b_j - a_j|}$ 和

$\frac{|t_{0j} - b_j|}{|b_j - a_j|}$ 分别表示车辆到达节点 j 的实际时刻 t_{0j} 与该节点客户时间窗起始时点 a_j 和截止时点 b_j 的绝对差同该客户时间窗宽度之间的比值。当 $t_{0j} \in [a_j, b_j]$ 时, $\frac{|t_{0j} - a_j|}{|b_j - a_j|} \leq 1$ 和 $\frac{|t_{0j} - b_j|}{|b_j - a_j|} \leq 1$ 同时成立; 当 $t_{0j} \notin [a_j, b_j]$ 时, $\frac{|t_{0j} - a_j|}{|b_j - a_j|}$ 和 $\frac{|t_{0j} - b_j|}{|b_j - a_j|}$ 二者中至少有一项大于 1, 第三项为车辆服务距离

评价因素, 存在 $\frac{c_{0j}}{\max_{1 \leq k \leq m} c_{0k}} \leq 1$ 。若 DVRPTW 模型仅考虑距离因素, 则设定评价函数中 $\omega_1 = \omega_2 = 0, \omega_3 = 1$; 反之, 若只考虑时间窗因素, 则设定 $\omega_1 \neq 0, \omega_2 \neq 0, \omega_3 = 0$ 。

根据该评价函数计算各目标节点的函数值, 并按照从小到大的顺序进行排序, 即可得到各个节点被服务的优先顺序。

3.2 个体编码过程

根据优先关系评价函数对目标服务客户优先级的评价结

果,对所有客户进行排序,并通过自然数编码实现个体的编码操作。把每一个配送节点看作一个独立元素(基因) g_i ($i=1, 2, \dots, n$),用矢量 (g_1, g_2, \dots, g_n) 表示染色体 C ,其中 g_i 为互不重复的自然数,通过随机排列可产生一个染色体 C_h ($h=1, 2, \dots, k$),其中 k 为一代种群中的个体数, C_h 各不相同,构成初始种群。种群染色体采取整数串编码,整数的排列顺序表示车辆拜访顾客的顺序。

3.3 适应度函数的建立

在混合遗传算法的选择操作中,种群内每个染色体代表一条配送路径,该个体的适应度决定其对应的配送路径的优劣。

本文通过目标函数界限的保守预估值塑造方法^[12]构建 DVRPTW 模型的适应度函数,其表达式为:

$$Fit(f(Z)) = \frac{1}{1+c'-f(Z)} \quad (7)$$

其中, c' 是目标函数界限的保守预估值, $f(Z)$ 是目标函数,则有 $c' \geq 0, c' - f(Z) \geq 0$ 。

在计算 $f(Z)$ 函数值的过程中,存在某条染色体因为无法满足目标函数约束条件而对应不可行解的情况,需要对其进行变量惩罚处理,其表达式为:

$$f(Z) = F(Z) - M \sum_{i=1}^p W_i \quad (8)$$

其中, $F(Z)$ 是原 VRPTW 问题的目标函数值, M 是与进化代数相关的惩罚因子, W_i 是与约束条件 i 相关的违约值, $i=1, 2, \dots, p$ 。

3.4 遗传操作过程

(1)选择算子。在混合遗传算法的选择操作中,个体适应度的大小决定其被选中用于交叉操作的概率。设置种群的规模是 pop ,染色体 C_i 的适应度是 f_i ,其选择概率 P_i 由其适应度占种群所有个体适应度总和的比例确定,表达式为:

$$P_i = f_i / \sum_{i=1}^{pop} f_i \quad (9)$$

混合遗传算法采用简单的轮盘赌选择方式与精英保留策略相结合的方法,首先选择适应度最高的染色体,直接复制进入下一代;再采用轮盘赌法产生下一代种群,从而保证最优个体继续生存,也避免了因个体适应度差异造成进化机会悬殊的情况。

(2)交叉运算。基因的交叉(Crossover)运算是根据参数 p_c 随机不重复地选择两个父代个体,并将其进行交叉配对和替换重组,从而得到新个体的处理过程,

本文通过中间交叉方案处理遗传算法的交叉操作。设存在两父代染色体 C_1 和 C_2 ,通过中间交叉形成子代染色体 $C_1' = \lambda C_1 + (1-\lambda)C_2$ 和 $C_2' = \lambda C_2 + (1-\lambda)C_1$,其中 λ 是随机分布于区间 $[0, 1]$ 中的一个常数。

(3)变异运算。基因的突变(Mutation)指根据参数 p_m 在基因值域范围内随机融入新基因,将原基因值转变为其他值,进而提高种群的多样性^[8],防止寻优过程中陷入局部最优而出现过早收敛的问题。

在染色体 C 中存在基因(元素) g_i ($i=1, 2, \dots, n$)按照概率 p_m 选择基因 g_k 进行变异,设其定义域为 $(g_{k,\min}, g_{k,\max})$,通过变异得到新的基因 g_k' ,进而形成新的染色体 C' 和新的子

代种群 A' 。 g_k' 的表达式为:

$$g_k' = \begin{cases} g_k + \text{Rand}(g_{k,\max} - g_k), & \text{if } \text{rand}(2) = 1 \\ g_k + \text{Rand}(g_k - g_{k,\min}), & \text{if } \text{rand}(2) = 2 \end{cases} \quad (10)$$

其中, rand 是随机分布于区间 $[0, 1]$ 内的常数, $\text{rand}(\mu)$ 是用于描述最大值为正整数 μ 的函数。

在混合遗传算法运算过程中,对染色体和种群逐代地进行交叉、变异和寻优操作,在模型中更新并记录各代中适应度函数最优的染色体所对应的路径方案,在根据给定参数完成迭代过程后,获得最优解。

3.5 目标函数最优解的改进和判定

在混合遗传算法中通过引入种群海明距离(Hamming Distance)来判断遗传操作是否充分^[18]。

假设在种群 A 中存在染色体 C_i 和 C_j ,该对个体之间的海明距离为: $D_{ij} = \sum_{h=1}^l |b_{ih} - b_{jh}|$,其中, l 为染色体整数串的编码长度, b_{ih} 和 b_{jh} 分别为染色体 C_i 和 C_j 在第 h 位的元素(基因)值。进而可以得到该对染色体所在种群 A 的海明距离为:

$$D(\alpha) = \sum_i \sum_{j \neq i} D_{ij} / 2 \quad (11)$$

遗传算法研究和计算实践表明,当种群的海明距离 $D(\alpha)$ 下降到一定值时,群体进化被束缚在一个较小的搜索范围内,进化结果因为不能得到改进而很容易出现早熟。为应对遗传算法的这一缺陷,需要通过禁忌搜索(Taboo Search, TS)并采用两元素优化(2-optimization, 2-opt)实施邻域操作,随机选择解中的两个元素并交换其值,对遗传算法得到的局部早熟解进行改进。

由于可能出现由禁忌搜索得到的最优解不一定优于遗传算法得到的最优解的情况,因此需要对遗传算法得到的 Z_0 和在禁忌搜索结束时记录的当前最优解 Z_1 进行比较,若 Z_1 优于 Z_0 ,则 Z_1 为最优解;否则 Z_0 为最优解。

4 实验仿真与结果分析

4.1 算例设计

本文根据混合遗传算法,采用 Matlab6.0 设计数据仿真实验,对基于实时信息的动态 VPRTW 规划模型优化效果进行验证。实验设定遗传算法基因数 M 分别取值为 25, 50, 100, 150 和 200,单点交叉概率 p_c 和基本位变异概率 p_m 分别为 0.75 和 0.05,最大迭代次数 $T=100$,禁忌搜索的最大迭代次数为 1000,邻域长度为 5,禁忌表长度为 5。

假定物流企业 B 拥有足够多的配送车辆为客户提供配送服务,经测算配送过程中每辆车的平均车速 $V=30$,最大载货量 $Q=10$,日最大行驶里程 $L=300$,单位公里运输成本 $c_1=2$,单位车次固定成本 $c_0=100$ 。

当配送车辆实际行驶里程超过日最大行驶里程时,需附加支付司机费用 $p_L=1$;客户接受服务的平均时间 $s=20$,客户可接受的收货时间阈值为 $[ET_i - 2, LT_i + 2]$,违反时间窗限制所产生的单位时间机会成本和单位惩罚成本分别为 $c_2=10, c_3=20$ 。

实验中目标客户(节点)的位置随机分布在目标区域电子地图中,通过 GIS 系统自动生成位置坐标及距离信息;在满

足目标客户服务时间窗的宽度为 30 的条件下, $[ET_i, LT_i]$ 分别在 $[0, 720]$ 内随机取值, 其中 0 代表时刻 08:00, 720 代表时刻 20:00; 目标客户的配送需求量 q_i 在 $[0, 10]$ 内随机生成。

为了验证 DVRPTW 规划模型的优化效果, 本文在外部环境及物流企业配送资源、成本等条件完全相同的情况下, 将在配送服务过程中增加 2 个、4 个和 6 个收集客户的事件作为 3 个动态事件, 分别设计配送节点数量(基因规模)为 25, 50, 100, 150 和 200 的仿真实验并进行比较。

4.2 实验结果

为了体现基于实时信息的动态路径规划模型的优化效果, 本文选择与在相同条件下传统的静态情境下的调度方法^[11]的实验结果进行对比分析。

假设本文设计的 DVRPTW 规划模型仿真实验为 E , 配送服务执行过程中出现新增客户为动态事件 DE , 实验中基于实时信息的配送车辆动态路径规划方案为 $Z(E')$, 相同条件下采用传统的静态路径规划方法得到的配送方案为 $Z(E^*)$ 。

基于不同节点数量和动态事件对初始配送方案的影响, 结合该时间点的客户需求、位置分布、车辆状况等信息对配送路径进行调整和优化, 所得到的配送车辆路径规划方案 $Z(E')$ 和 $Z(E^*)$ 的实验结果如表 1 所列。

表 1 DVRPTW 规划模型的实验结果

| M | DE ₁ =2 | | DE ₂ =4 | | DE ₃ =6 | |
|-----|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | Z(E') | Z(E*) | Z(E') | Z(E*) | Z(E') | Z(E*) |
| 25 | 4673 | 4932 | 5160 | 5314 | 5982 | 6031 |
| 50 | 9134 | 10125 | 9661 | 10386 | 11362 | 11690 |
| 100 | 16378 | 18239 | 21246 | 23875 | 25379 | 28031 |
| 150 | 24683 | 26861 | 29746 | 33295 | 33960 | 38175 |
| 200 | 31965 | 33793 | 34572 | 37832 | 38653 | 42974 |

4.3 比较分析

为了直观地反映表 1 中实验结果的优化效果, 本文采用公式 $R = (1 - \frac{Z(E')}{Z(E^*)}) \times 100\%$, 并通过参数 R 来描述基于实时信息的动态 DVRPTW 规划模型对配送车辆路径进行优化的有效性。 R 值越大, 说明动态 DVRPTW 规划模型优化的有效性越高。不同节点数量和动态事件影响下的模型优化效果如表 2 所列。

表 2 DVRPTW 规划模型动态优化效果分析/%

| M | R | | |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| | DE ₁ =2 | DE ₂ =4 | DE ₃ =6 |
| 25 | 5.25 | 2.90 | 0.81 |
| 50 | 9.79 | 6.98 | 2.81 |
| 100 | 10.20 | 11.01 | 9.46 |
| 150 | 8.11 | 10.66 | 11.04 |
| 200 | 5.41 | 8.62 | 10.05 |
| AVG | 7.75 | 8.03 | 6.83 |

通过表 2 的比较分析可以发现, 在不同节点数量和动态事件的影响下 DVRPTW 模型的优化效果评价参数 R 的平均值超过 7%, 某些条件下 R 值甚至超过 10%, 因此基于实时信息的动态车辆调度方案与传统的静态调度方案相比具有显著的优化效果。

同时, 通过比较分析发现, 本文设计的 DVRPTW 规划模型的优化结果也表现出以下两个方面的特征: 1) 在同一动态事件下, 随着配送服务的目标客户(节点)规模的不断扩大, 优

化效果更加显著; 而当动态事件中新增节点数量较目标节点总规模相对太小时, 优化效果出现下降, 说明在这种情况下局部的优化对系统全局的优化作用在递减。2) 在配送服务目标客户(节点)规模相对较小($M < 100$)的情况下, 随着动态事件中新增节点数量的增加, 模型的优化效果出现递减, 说明在物流配送过程中不确定因素的增加会影响并降低动态模型优化的有效性。上述两方面的特征与实际情况相符。

总体而言, 本文针对物联网环境下基于 GPS/GIS 协同的车辆调度和路径规划问题而设计的 DVRPTW 混合整数规划模型, 考虑了复杂环境下客户需求、配送节点和车辆运量变化等各种实时信息的影响, 对配送车辆运行路径进行了动态调整和优化, 从而实现了降低物流配送的运营成本、改善企业的服务质量的目标。

结束语 本文从物流配送行业信息化和智能化的发展需求出发, 运用以物联网、云计算为代表的现代信息和通信技术, 设计了车联网环境下基于 GPS/GIS 协同的物流配送车辆监控和调度系统, 并结合该系统具有的信息实时获取和智能处理的能力, 针对复杂环境下的车辆实时调度和路径动态规划问题, 考虑运行过程中客户需求量、服务时间窗、车辆运量以及配送节点分布等因素的变化影响, 以实现物流配送运营总成本最小化为目标, 构建了带时间窗的动态车辆路径问题(DVRPTW)混合整数规划模型, 并在模拟实验中运用混合遗传算法(HGA)获得最优解。

通过仿真实验和对比分析, 验证了车联网环境下基于 GPS/GIS 协同的智能车辆监控调度系统能够通过通过对物流配送车辆和运行环境等信息的实时感知、数据集成共享和智能优化处理, 实现对物流配送过程和车辆运行路径的动态调整和优化, 从而降低物流运营成本, 提升服务品质, 增强企业核心竞争力, 为推动“互联网+”背景下的“智慧物流”建设提供解决方案和理论参考, 具有一定的实用性与参考性。

参考文献

- [1] LIU Z M, ZHANG L T. Ternet of Things application in the field of Logistics Informatization[J]. Journal of Chinese Management Informatization, 2014, 17(8): 48-49. (in Chinese)
刘仲民, 张丽婷. 物联网在物流信息化中的应用[J]. 中国管理信息化, 2014, 17(8): 48-49.
- [2] LIU J P. The analysis of research status and development trend of Chinese logistics informatization[J]. Journal of Logistics Technology, 2015, 34(1): 270-271, 293. (in Chinese)
刘继萍. 中国物流信息化研究现状及其发展趋势分析[J]. 物流技术, 2015, 34(1): 270-271, 293.
- [3] YANG Y P, LIU X H. Design of large scale congestion vehicle scheduling system based on Internet of things[J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(4): 1359-1361. (in Chinese)
杨艳燕, 刘晓慧. 基于物联网视觉的大型拥堵车辆调度系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(4): 1359-1361.
- [4] CAO W J, XUE S L. Urban road condition monitoring system based on Internet of things[J]. Computer & Digital Engineering, 2016, 44(8): 325-424. (in Chinese)

- day?: Planning Touristic Tours with Tripbuilder[C]// CIKM. 2013:757-762.
- [24] JOSEPH R. Real-time Trip Planning with the Crowd[J]. CHI Extended Abstracts, 2013:2743-2748.
- [25] ZHU C, XU J, LIU C, et al. Efficient Trip Planning for Maximizing User Satisfaction [C] // 20th International Conference (DASFAA 2015). Hanoi, Vietnam, Part 1, 2015:260-276.
- [26] BORIS C. Improved Trip Planning by Learning from Travelers' Choices[C] // ICML Workshop Mining Urban Mobiltiy. At Lille, France, July, 2015:17-26.
- [27] POPESCU A, GREFENSTETTE G. Deducing Trip Related Information from Flickr[J]. International Conference on World Wide Web, 2009, 25(1):1183-1184.
- [28] TAO Y, PAPADIAS D, SHEN Q. Continuous Nearest Neighbor Search[C] // Proceedings of 28th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB). 2002:287-298.
- (上接第276页)
- 曹文君,薛善良. 基于物联网的城市路况监测系统[J]. 计算机与数字工程, 2016, 44(8):325-424.
- [5] LIU Y, LIN Y, JIANG S, et al. Highway management information system based on Internet of Things[J]. Microelectronics & Computer, 2015, 32(1):165-168. (in Chinese)
- 刘永,林鹰,蒋山,等. 基于物联网的高速公路运行管理系统[J]. 微电子学与计算机, 2015, 32(1):165-168.
- [6] CHAKRABORTY P S, TIWARI A, SINHA R. Adaptive and Optimized Emergency Vehicle Dispatching Algorithm for Intelligent Traffic Management System[J]. Procedia Computer Science, 2015, 57(9):1384-1393.
- [7] ZHU X W, MENG X F. Optimizing Departure Interval for Bus Dispatching System Based on Comprehensive Objective Model [C]// Cota International Conference of Transportation Professionals. 2015:1259-1268.
- [8] TANG J, SHI W Z, MENG L K. Time-Dependent Dynamic Vehicle Routing Based on Genetic Algorithm[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(8):875-879. (in Chinese)
- 唐健,史文中,孟令奎. 基于遗传的算法的时相关动态车辆路径规划模型[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(8):875-879.
- [9] WANG J Q, ZHANG X. Modeling and Solving of Dynamic Vehicle Routing Problem in Complex Environment[J]. Journal of Wuhan University(Natural Science Edition), 2010, 56(4):462-466. (in Chinese)
- 王江晴,张潇. 复杂环境下动态车辆路径问题的建模与求解[J]. 武汉大学学报(理学版), 2010, 56(4):462-466.
- [10] LIU F H, ZHAO J M, ZHU X Z. Research of Optimizing Physical Distribution Routing Based on Improved Genetic Algorithm [J]. Journal of Computer Technology and Development, 2016(3):503-512. (in Chinese)
- 刘芳华,赵建民,朱信忠. 基于改进遗传算法的物流配送路径优化研究[J]. 计算机技术与发展, 2016(3):503-512.
- [11] ZHANG T, LAI P Z, HE Q F, et al. Optimization of Dynamic Vehicle Routing of Urban Distribution Based on the Real-time Information[J]. Journal of Systems Engineering, 2015, 33(7):58-64. (in Chinese)
- 张婷,赖平忠,何琴飞,等. 基于实时信息的城市配送车辆动态路径优化[J]. 系统工程学报, 2015, 33(7):58-64.
- [12] FENG L. Virtualization Scheduling Method for the Process of Coal Mining Equipment in Underground Coal Mine[J]. Computer Simulation, 2015, 32(4):419-423. (in Chinese)
- 冯亮. 煤矿井下采煤设备工序虚拟化调度方法[J]. 计算机仿真, 2015, 32(4):419-423.
- [13] ZHAO R, HU X, HE H D. E-commerce logistics distribution routing optimization considering customer satisfaction[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2015, 36(3):64-70.
- [14] LI Z P, WU Z G. Study on the inventory routing problem of refined oil distribution based on working time equilibrium[J]. American Journal of Operations Research, 2016, 6(1):17-24.
- [15] WANG S, BEI J. Real-time kinematic positioning algorithm of GPS/BDS[J]. Journal of Clinical Pathology, 2014, 63(2):156-164.
- [16] ZHOU Y. Research on multi dimensional collaborative logistics management under the environment of Internet of things[D]. Changsha: Hunan University, 2013. (in Chinese)
- 周扬. 物联网环境下多维度协同物流管理研究[D]. 长沙:湖南大学, 2013.
- [17] FENG L. Intelligent Logistics and Distribution System Based on Internet of Things[C]// IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC 2016). Xi'an, China, 2016.
- [18] ZHANG J Q, FANG W G. Improved Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Window[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(32):228-231, 240. (in Chinese)
- 张建强,方卫国. 有时间窗约束车辆路径问题的改进遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(32):228-231, 240.
- [19] MAHMOUDI M, ZHOU X. Finding optimal solutions for vehicle routing problem with pickup and delivery services with time windows[J]. Transportation Research Part B Methodological, 2016, 89(2):19-42.
- [20] YANG Z W, VAN OSTA J P, VAN VEEN B. Dynamic vehicle routing with time windows in theory and practice[J]. Natural Computing, 2017, 16(1):119-134.