

# 基于交通组织的物流园区功能区块布局

孙 焰, 高源发

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

**摘要:** 将物流园区内部交通网络和货车行驶时间引入布局模型中, 并考虑货车通过交叉口的时间, 构建了基于交通组织的物流园区功能区块布局模型. 设计遗传算法, 在染色体转化为布局方案后, 抽象出内部交通网络, 在全有全无交通组织的基础上计算车辆行驶时间, 所得到的结果更符合实际要求. 结果表明, 相比现有模型, 按该布局车辆行驶时间平均可以减少 9.5%.

**关键词:** 物流园区; 功能区块布局; 遗传算法; 交通组织; 货车行驶时间

中图分类号: U492

文献标志码: A

## Traffic Organization-based Layout of Function Area in Logistics Park

SUN Yan, GAO Yuanfa

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** A new functional areas layout model was proposed, in which the traffic network in logistics park and travel time of trucks were involved. Meanwhile, the travel time in the intersection was also considered. Then genetic algorithm was designed to solve the model. With the chromosome-based layout transformation and in accordance with the model, the traffic network was built so as to calculate the travel time of truck by all-or-nothing assignment. In this way, the result will meet the actual demand. The case study results indicate that the total truck travel time can be reduced by 9.5% on average in comparison with those acquired by the existing models.

**Key words:** logistics park; function area layout; genetic algorithm; traffic organization; truck travel time

过去缺少相关的理论方法做指导, 有许多建成的物流园区在实际运营过程中出现了难以克服的布局不合理问题, 这很大程度上抑制了物流园区的顺利发展.

所谓物流园区内部功能区块的优化布局问题, 在理论上属二维平面布局设计问题, 是一类特殊的设施布置问题(Facility Layout Problem, FLP). FLP 问题的研究成果, 按照研究内容来分主要包含以下三个方面: 第一类为基本 FLP 问题的求解算法<sup>[1]</sup>, 即把各功能单位合理地安排在待布局的区域内; 第二类为基本 FLP 问题的延伸, 主要源自于现实情况的应用, 从而在 FLP 问题的基础上考虑了更多的因素, 例如动态设施布局问题<sup>[2]</sup>、多目标优化问题<sup>[3]</sup>等; 第三类为具有特殊结构的 FLP 问题, 该类问题主要是由于功能单位摆放位置的约束, 例如单线设施布置问题要求把所有的设施布置成一条直线<sup>[4]</sup>. 对于 FLP 问题而言, 其优化目标通常有两种: 一种是求所有相邻设施的关系值总和最大; 另一种为求内部总搬运费用最小. 在求解算法方面, 主要包含精确算法<sup>[5-6]</sup>和启发式算法<sup>[7-8]</sup>两种类型. 基于 FLP 问题的模型和求解算法, 许多学者将其应用到物流园区功能区块布局问题上, 较为常见的模型便是 Armour 和 Buffa 提出的不等面积分离式与多行布局模型<sup>[9]</sup>, 较为常见的求解算法便是系统布置设计(SLP)法<sup>[10]</sup>. 但是与 FLP 问题不同的是, 物流园区功能区块布局具有一定的特殊性, 主要表现在以下两个方面: 第一是物流园区占地规模大, 内部功能设施多, 而 FLP 针对的问题规模较小; 第二是物流园区内部交通流量较大, 在设计的过程中必须考虑物流园区内部交通组织与功能区块布局之间的相互关系和内部交通网络的运营情况, 所以物流园区功能区块的布局不仅仅是一类设施布置问题, 也是一类

在物流园区的规划和建设过程中, 内部交通组织是物流园区功能区块布局的重要影响因素. 由于

收稿日期: 2016-02-12

第一作者: 孙焰(1959—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为物流系统规划与设计. E-mail: sunyan@tongji.edu.cn.

通讯作者: 高源发(1992—), 男, 博士生, 主要研究方向为物流系统规划与设计. E-mail: 1992gaoyuanfa@tongji.edu.cn.

交通设计问题. 因此在直接把 FLP 问题的模型和方法应用到物流园区功能区块布局的过程中存在以下两方面的缺陷:

(1) 现有模型以物流成本最小为目标函数缺乏合理性. 在实际行驶过程中, 大型货车在交叉口处的转弯会影响货车行驶的时间, 因此以物流成本最小为目标函数不能反映出交叉口对货车行驶的影响.

(2) 现有模型缺乏考虑物流园区功能区块布局与内部交通组织的相互影响. 现有模型在计算货车行驶距离时, 是以折线距离或者直线距离来进行度量的, 而不是基于实际道路网络采用交通组织的方法得到. 因此很多研究者都是先基于该模型得到物流园区的布局, 然后再根据得到的布局进行交通组织方案的确定, 两者是孤立的.

通过以上分析可以看出, 对于物流园区功能区块布局的研究, 目前绝大多数的学者都是直接借鉴了 FLP 问题的研究方法, 因此许多研究在解决物流园区功能区块布局问题时没有考虑物流园区的特殊性, 忽略了内部交通组织和物流园区布局之间的相互关系, 只是对布局方案分析了其交通组织或交通环境影响, 未针对交通组织效果对布局方案做进一

步的优化研究. 本文综合考虑物流园区功能区块的布局和内部交通组织之间的相互影响, 利用车辆行驶时间代替了车辆行驶距离作为目标函数, 并通过物流园区内部交通网络的构建把功能区块的布局 and 交通组织紧密地结合到一起, 构建了基于交通组织的布局模型. 同时设计了求解算法, 在求解过程中加入了交通网络的构建和内部货车的交通组织, 实现了定量的方法求解物流园区的布局 and 交通组织方案, 使得到的结果更加符合实际需求.

## 1 基于交通组织的布局模型

通过对现有研究的分析, 得到现有模型构建的思路, 如图 1a 所示, 从图 1a 可以明显看出物流园区布局 and 交通组织是分离开的, 物流园区的布局结果作为内部交通组织的输入, 但是内部交通组织的结果不能够反过来影响布局形式的产生, 因此需要对其进行修正, 使得交通组织作为一个重要的因素影响布局形式的产生, 本文模型构建思路如图 1b 所示.

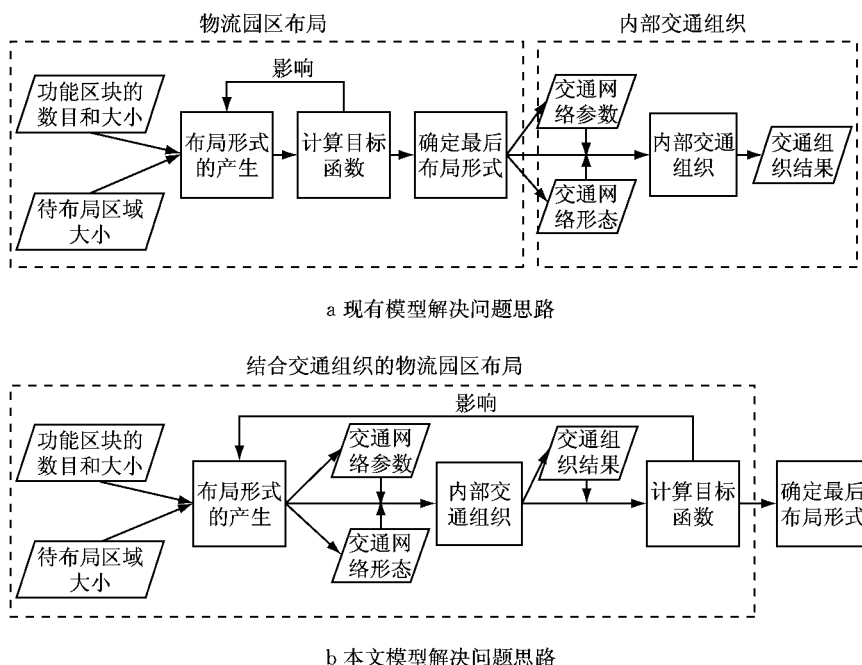


图 1 现有模型与本文模型构建思路对比

Fig. 1 The idea comparison of existing model and the proposed model

物流园区作为货物流通的集散点, 会吸引大量货运车辆往来于此, 主要以大型货车为主. 而大型货车在经过交叉口时, 车辆行驶速度变化幅度大, 相比于直行, 左转与右转时车速变化幅度更大. 因此交叉

口处的转弯会影响货车行驶时间, 从而影响物流园区内交通网络的效率, 而简单以货车行驶距离作为目标函数并不能很好地体现物流园区内交通的特性. 本文综合考虑货车车辆在园区内路段的行驶时

间和交叉口的行驶时间,以物流园区车辆总行驶时间最小为目标函数。

考虑到本文模型的目标函数为车辆行驶的总时间最小,因此除了考虑路段上的行驶时间外,还需要

考虑交叉口的行驶时间.需要对交叉口的节点进行扩展,如图 2 所示.交叉口的转弯时间主要与进口道和出口道的道路等级和转向有关,因此不同类型的交叉口的转弯时间以固定参数作为模型的输入。

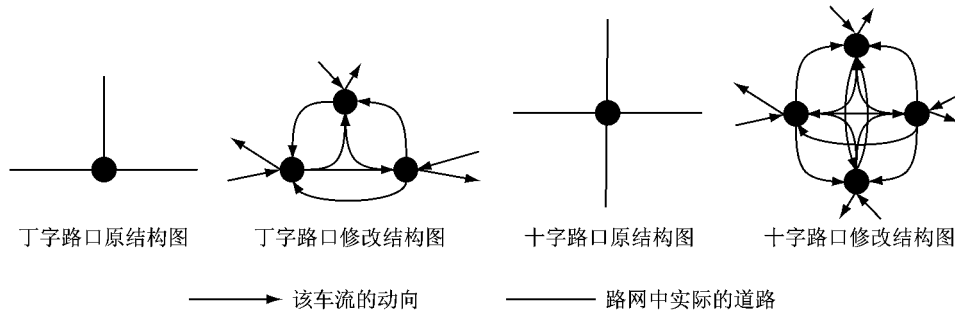


图 2 交叉口节点扩展示意图

Fig.2 Sketch map of intersection node extension

该模型建立的基本假设有以下几点:

- (1) 把各个功能区块假设为一个交通小区,小区的物流量由小区质心产生;
- (2) 各个小区的物流量可以通过上、下、左、右四个方向的出入口连接到物流园区的路网上,并且每个功能区块周围的 8 个节点的编号顺序按照顺时针方向递增,如图 3 所示。
- (3) 为方便园区内部交通管理,每一支相同起讫点的货运车流在园区内部选择的走行路径相同。

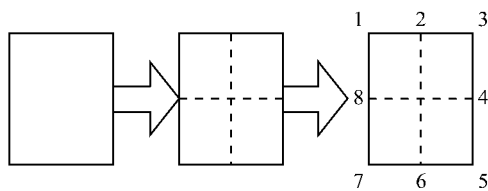


图 3 功能区块出入口的设置和各个节点编号的规则

Fig.3 Entrance setting of functional areas and the rule for each node number

定义  $N$  为功能区块的数目,  $x_i (i \in 1, 2, \dots, N)$  为区块  $i$  的质心的横坐标;  $y_i (i \in 1, 2, \dots, N)$  为区块  $i$  的质心的纵坐标;  $w_i$  为区块  $i$  的长度,  $h_i$  为区块  $i$  的宽度;  $W$  为布局区域的长度;  $H$  为布局区域的宽度为便于计算车辆行驶时间,物流园区的道路网络简化为一个有向图  $G=(V,A)$ ,其中  $V$  为路网中各个节点的集合,包括功能区块的质心和周围节点,对于功能区块  $i$  周围的 8 个节点,用  $i_j (i \in 1, 2, \dots, N, j \in [1, 8])$  来表示;定义 0~1 变量  $e_{uv} (u, v \in V)$  为节点  $u$  到节点  $v$  的边是否存在,如果存在,则  $e_{uv}=1$ ,

否则,  $e_{uv}=0$ ,  $d_{uv}$  为该边的距离,  $S_{uv}$  为该边的行驶速度,因此,所有  $e_{uv}=1$  的边就构成了有向图的  $A$ .  $t_{uv}$  为流量从节点  $u$  到节点  $v$  所需要的交叉口转弯时间,左转时间为  $M_1$ ,直行时间为  $M_2$ ,右转时间为  $M_3$ .  $c_{ij} (i, j \in 1, 2, \dots, N)$  表示从功能区块  $i$  到功能区块  $j$  的流量,  $T_{ij} (i, j \in 1, 2, \dots, N)$  表示单位流量从功能区块  $i$  到功能区块  $j$  的时间;定义 0~1 变量  $X_{ij}^{uv}$  为流量  $c_{ij}$  是否选择节点  $u$  到节点  $v$  的边,如果选择,那么  $X_{ij}^{uv}=1$ ,否则  $X_{ij}^{uv}=0$ . 因此该模型如下:

$$\min Z = \sum_{i,j \in [1,N]} c_{ij} T_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } |y_i - y_j| \geq \frac{h_i + h_j}{2}, \forall i, j \in 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$|x_i - x_j| \geq \frac{w_i + w_j}{2}, \forall i, j \in 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$\frac{w_i}{2} \leq x_i \leq W - \frac{w_i}{2}, \forall i \in 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$\frac{h_i}{2} \leq y_i \leq H - \frac{h_i}{2}, \forall i \in 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

$$x_{i_1} = x_{i_7} = x_{i_8} = x_i - \frac{w_i}{2}, \forall i \in 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

$$x_{i_3} = x_{i_4} = x_{i_5} = x_i + \frac{w_i}{2}, \forall i \in 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

$$x_{i_2} = x_{i_6} = x_i, \forall i \in 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

$$y_{i_1} = y_{i_2} = y_{i_3} = y_i + \frac{h_i}{2}, \forall i \in 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

$$y_{i_5} = y_{i_6} = y_{i_7} = y_i - \frac{h_i}{2}, \forall i \in 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

$$y_{i_4} = y_{i_8} = y_i, \forall i \in 1, 2, \dots, N \quad (11)$$

$$e_{uv} = \begin{cases} 1 & x_u = x_v, y_u = y_v \\ 1 & x_u = x_v, y_u = \max\{y_m \mid x_m = x_v, y_m < y_v\} \\ 1 & x_u = x_v, y_u = \min\{y_m \mid x_m = x_v, y_m > y_v\} \\ 1 & y_u = y_v, x_u = \max\{x_m \mid y_m = y_v, x_m < x_v\} \\ 1 & y_u = y_v, x_u = \min\{x_m \mid y_m = y_v, x_m > x_v\} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}, \forall u, v \in V \quad (12)$$

$$d_{uv} = e_{uv} (|x_u - x_v| + |y_u - y_v|), \forall u, v \in V \quad (13)$$

$$t_{uv} = \begin{cases} M_1 & \text{当 } x_u = x_k, (x_u - x_v)(y_u - y_v) < 0 \\ M_1 & \text{当 } y_u = y_k, (x_u - x_v)(y_u - y_v) > 0 \\ M_2 & x_u = x_k = x_v \text{ 或 } y_u = y_k = y_v, \forall u, k, v \in V, e_{uk} = e_{kv} = 1 \\ M_3 & \text{当 } x_u = x_k, (x_u - x_v)(y_u - y_v) > 0 \\ M_3 & \text{当 } y_u = y_k, (x_u - x_v)(y_u - y_v) < 0 \end{cases} \quad (14)$$

$$\sum_{\substack{v \in V \\ e_{iv}=1}} X_{ij}^{iv} = 1, \forall i, j \in 1, 2, \dots, N \quad (15)$$

$$\sum_{\substack{v \in V \\ e_{vj}=1}} X_{ij}^{vj} = 1, \forall i, j \in 1, 2, \dots, N \quad (16)$$

$$\sum_{\substack{v \in V \\ e_{kv}=1}} X_{ij}^{kv} \leq 1, \forall i, j \in 1, 2, \dots, N, k \in V \setminus \{1, 2, \dots, N\} \quad (17)$$

$$\sum_{\substack{v \in V \\ e_{jk}=1}} X_{ij}^{jk} \leq 1, \forall i, j \in 1, 2, \dots, N, k \in V \setminus \{1, 2, \dots, N\} \quad (18)$$

$$\sum_{\substack{v \in V \\ e_{kv}=1}} X_{ij}^{kv} - \sum_{\substack{v \in V \\ e_{vk}=1}} X_{ij}^{vk} = 0, \forall i, j \in 1, 2, \dots, N, k \in V \setminus \{1, 2, \dots, N\} \quad (19)$$

$$T_{ij} = \sum_{\substack{u, v \in V \\ e_{uv}=1}} d_{uv} X_{ij}^{uv} / S_{uv} + \sum_{\substack{u, k, v \in V \\ e_{uk}=e_{kv}=1}} X_{ij}^{uk} X_{ij}^{kv} t_{uv}, \forall i, j \in 1, 2, \dots, N \quad (20)$$

$$e_{uv}, X_{ij}^{uv} \in \{0, 1\}, \forall i, j \in 1, 2, \dots, N, \forall u, v \in V \quad (21)$$

在这个模型中,目标函数是内部功能区块之间车辆行驶的时间之和最小,使得物流园区内部交通网络的运营效率最高,这主要是考虑到物流园区内部货车运行的特点。

式(2)一式(5)用于确定布局的可行性,这与不等面积分离式与多行布局模型保持一致。其中式(2)一式(3)保证在布局的时候各个功能区块不能相互重叠;式(4)一式(5)保证所有的功能区块不能超出布局的区域。

随后式(6)一式(14)用于确定交通网络的形态,即确定有向图  $G$  的顶点和边。对于顶点而言,由模型的假设条件可以知道,每个功能区块周围都会存在 8 个顶点,因此基于功能区块质心的坐标  $(x_i, y_i)$  和功能区块的长度  $w_i$  和宽度  $h_i$ ,式(6)一式(11)便可以确定出周围 8 个顶点的坐标;根据各个节点的坐标,式(12)一式(13)可以确定出有向图的边和它们的距离;式(14)可以实现交叉口节点的扩展,确定交叉口的转弯时间,从而可确定物流园区内部的交通网络。

基于物流园区内部的交通网络,式(15)一式(19)便可以实现物流园区内部的交通组织。其中式(15)一式(16)为了保证每一个 OD 之间的流量是不可分的,从而保证了每一支相同起讫点的货运车流在园区内部选择的走行路径相同;式(17)一式(19)保证每支车流途经各个中间节点时均无车流量变化。最后式(20)实现了各个功能区块之间行驶时间的计算,包括路段的行驶时间和交叉口的行驶时间。

基于以上的模型,可以明显地看出,该模型利用物流园区交通网络把物流园区的布局和内部交通组织很好地结合到一起,并且内部交通组织的结果可以作为一个影响因素影响布局形式的产生。因此该模型可以很好地避免现有模型将物流园区内部功能区块布局和内部交通组织分离开来的缺陷。在应用遗传算法求解时,该模型在布局产生后进行交通网络的构建,并确定交通组织方案,进而计算出各个功能区块之间的货车行驶时间。

## 2 基于交通组织的布局模型算法设计

根据以上的模型,本文所设计的算法主要分成三个阶段:① 根据功能区块的面积以及待布局区域的大小,进行功能区块的布局;② 在功能区块布局的基础上,抽象出物流园区的交通网络,确定内部交通组织方案,交通组织的结果会作为模型的目标函数,从而影响布局的形式;③ 根据最后得到的布局结果,进行内部交通设计,确定出道路的等级,并最终确定物流园区内车辆行驶的时间。

对于功能区块的布局而言,虽然已经存在一些求 FLP 最优解的精确算法,但现有算法都局限于解决小规模布局问题,而物流园区内部功能设施较多,

精确算法不能在有限时间内得到物流园区内部布局设计问题的结果,因此,选择遗传算法<sup>[11]</sup>来进行求解。

### 2.1 染色体的编码<sup>[11]</sup>

在应用遗传算法求解模型时,需要构建染色体编码同实际布局之间的一一对应关系.采用三段编码来组成染色体编码.这三段编码分别为设施编码、切割方式编码和切割顺序编码.设施编码用于平面切割时确定设施的相对位置;切割方式编码用于确定切割的方式,主要分为水平切割和垂直切割,水平切割用 1 进行表示,垂直切割用 0 进行表示;切割顺序编码用于确定切割的相应顺序,如图 4 所示.根据这一染色体编码,便可以顺利的转化成物流园区的功能区块布局图,如图 5 所示。

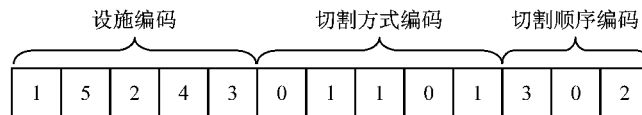


图 4 染色体编码方式

Fig.4 Constitution of chromosome encoding

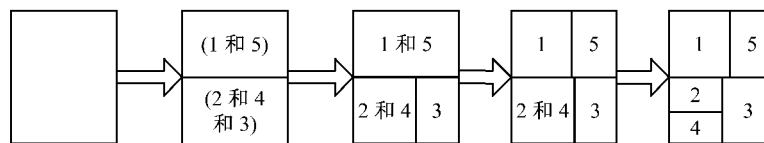


图 5 根据染色体进行布局的转化

Fig.5 Layout transformation based on the chromosome

### 2.2 交叉算子、变异算子

根据染色体的编码方式,选择的交叉算子和变异算子分别为单点交叉算子和基本点位变异算子.同时,因为染色体编码一共分成三段,所以在交叉和

变异时需要对每一段分别进行操作.对于变异算子而言,不会产生不可行解,而交叉的过程可能会产生不可行解,需要进行调整,如图 6 所示。

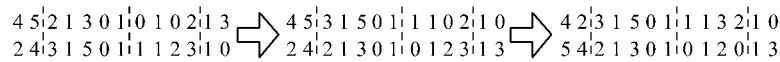


图 6 交叉过程中对不可行解的调整

Fig.6 Infeasible solutions adjustment in the process of crossover

### 2.3 交通组织算法的选择

在得到实际布局后,可以利用模型确定出物流园区内部的交通网络,并进行内部的交通组织,从而确定出模型的目标函数.结合物流园区内部功能区块的求解算法,发现每一条染色体转化为实际的功能区块布局后,都需要利用交通组织的算法去求解模型的目标函数值.因此,物流园区内部交通组织算法的时间是决定整个模型求解速度的关键。

郑文家<sup>[12]</sup>提出了利用遗传算法求解物流园区交通组织的方法,在求解含有 12 个功能区块的物流园

区交通组织问题时,遗传算法的计算时间在 2 min 以内.基于这个计算速度,结合物流园区内部功能区块布局算法,可以假设,如果遗传算法的一个种群里包含 100 个染色体,需要进化 80 代,那么模型需要的求解时间需要超过 266 h.

因此,根据全有全无分配原则,决定利用最短路算法来求解车辆在物流园区内的行驶时间.对于最短路算法而言,目前已经存在许多成熟的算法,并且计算速度较快,因而求解速度会有很大提高.在求解时,需要注意的是,此时车辆不能从其他功能区块中

心穿过。

### 2.4 内部道路等级的确定

在得到最终的布局后,可以根据所得到的交通组织方案,进行内部交通设计,确定物流园区内部道路的等级,并计算货车实际的行驶时间。而物流园区交通网络的参数设定,需要满足物流园区内部交通服务水平的需要。基于所得到的交通组织方案,可以得到该布局下路网的流量分布情况,对于流量较大的路段,将会被设定为园区内的一级路;其他流量较

小的路段,将会被设定为二级路,从而保证交通服务水平能够满足日常运作的需求。具体的步骤如下:

(1) 根据交通组织的结果确定路网上各个路段的交通流量,并识别出流量较大的路段;

(2) 根据这些路段找到其所在的道路,这些道路会被定为一级路。

### 2.5 模型求解流程

图 7 为问题解决方法的流程图。

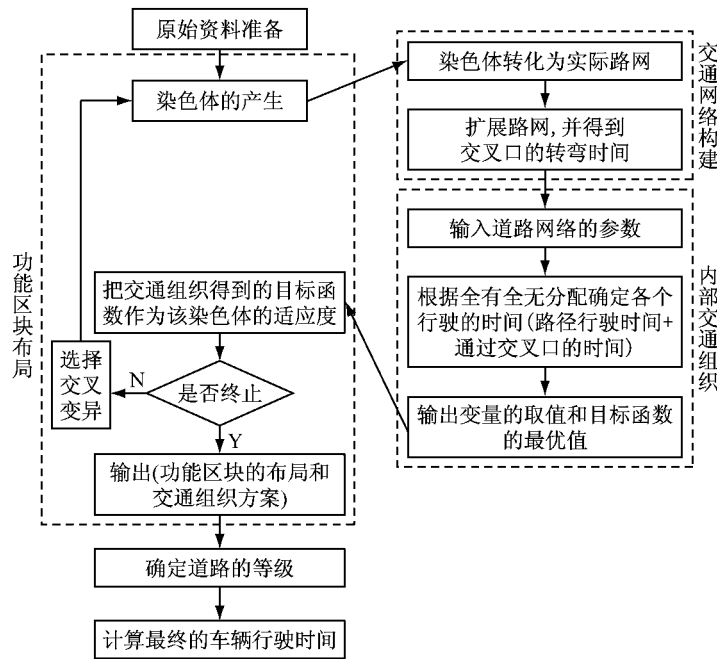


图 7 模型求解流程图

Fig.7 Flow chart of model solution

各个功能区块之间的货物流量如表 2 所示。

## 3 案例分析

基于 C# 开发了求解物流园区内部功能区块布局和交通组织的软件。为了验证所提出的模型和算法的可行性,选择参考文献[13]中的数据为例进行模型求解。

连云港港口物流园区一共包含 12 个功能区块,如表 1 所示。

表 1 连云港港口物流园区功能区块  
Tab.1 Functional area of Lianyungang port logistics park

功能区名称	面积/km <sup>2</sup>	功能区名称	面积/km <sup>2</sup>
1 集装箱堆场	0.69	7 综合管理区	0.07
2 保税仓库	0.58	8 综合商贸区	0.47
3 普通仓库	0.93	9 城市配送区	0.20
4 散货堆场	0.51	10 海河联运区	0.25
5 临港工业区	0.51	11 铁路换装区	0.35
6 特色加工区	0.21	12 生活服务区	0.09

表 2 功能区块之间的货物流量

Tab.2 The freight volume between the functional areas

	areas (pcu · h <sup>-1</sup> )											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	24	4	3	6	3	0	6	5
2	0	0	0	0	18	43	6	5	3	4	35	11
3	0	0	0	0	62	10	13	15	8	23	134	26
4	0	0	0	0	95	16	29	23	11	25	393	57
5	21	26	54	83	0	0	22	19	7	20	208	44
6	5	13	13	19	0	0	4	3	1	3	21	8
7	4	4	10	16	18	6	0	5	3	6	46	0
8	8	0	18	29	21	5	5	0	3	2	14	10
9	3	0	6	10	7	3	3	3	0	1	9	5
10	0	16	17	78	45	8	14	9	3	0	90	27
11	25	25	87	82	71	12	18	15	5	24	0	35
12	7	8	20	31	35	11	0	10	5	11	91	0

在本案例中,规定一级路限速为 40 km · h<sup>-1</sup>,二级路限速为 30 km · h<sup>-1</sup>,路段上的行驶时间用路

段距离除上限制速度再乘上一个修正系数来计算,即对速度进行修正,该修正系数是根据 VC 比来确定的;不同类型的交叉口的转弯时间如表 3 所示,其数值是通过求对应车流的平均通过时间得到的.由于在进行遗传算法计算时,物流园区内的道路等级还无法确定,因此,设定其内部全部为二级路.在得到最终布局后,根据交通组织的结果,再去确定内部道路的等级,从而修正车辆的行驶时间.

利用编写的软件,可以得到该物流园区的布局结果,如图 8 所示.从图中的收敛曲线可以看出,提出的求解方法在 30 代后便可以收敛,且收敛速度较

表 3 不同类型的交叉口的转弯时间

Tab.3 Turning time of different types intersections

$t_{uv}$	转弯时间/s		
	左转 1	直行	右转
一级路到一级路	10	6	10
一级路到二级路	18	8	20
二级路到一级路	18	8	22
二级路到二级路	22	10	25

快.目标函数的值为 733 443 s.同时,从图 8 中可以识别出流量较大的道路,这三条道路将设置为一级路,其他道路为二级路,根据该路网参数,物流园区内车辆行驶时间为 538 230 s.

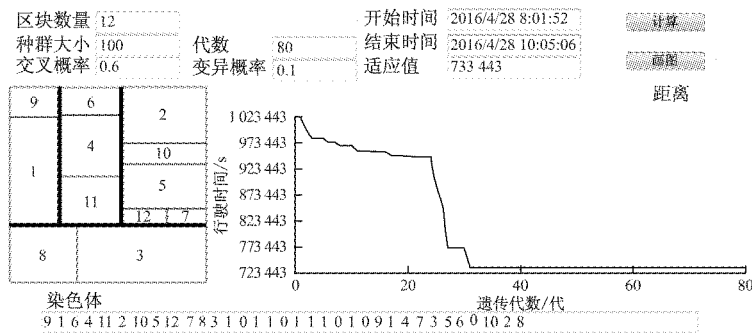


图 8 基于交通组织的物流园区布局结果

Fig.8 Layout result based on traffic organization

在交通效率方面,根据参考文献[13]中两种不同布局方法所得到的结果,按照交通网络构建方式和交通组织方法,确定道路等级并计算货车行驶时间,与本文结果进行比较.参考文献[13]中根据布局与折线距离结合的方法所得到的布局结果,车辆行驶的时间为 582 445 s,参考文献[13]中根据 SLP 的方法所得到的布局结果,车辆行驶的时间为 656 440 s.通过对比可以看出,利用本文算法进行计算,结果优于原文的计算结果,相比于参考文献[13]中的 SLP 布局方法,所提出的方法可以节省 118 210 s,降低了 22%;相比于参考文献[13]中布局与折线距离结合的布局方法,所提出的方法可以节省 44 215 s,降低了 8.2%.

为了评价三种布局方案的优劣性,根据各个布局方案中各个 OD 流量所行驶的时间,以 10 为长度,求其时间的平均值,绘制了物流—时间图,如图 9 所示.由于模型的目标函数是车辆行驶的时间最短,因此在布局时,当流量较大时,时间应该尽可能短,当流量较小时,时间可以长一些,所以流量和时间这两者遵循反比定律.从图 9 中也可以看出,3 个布局形式都遵循这一规律.对比这三种布局方法,可以拟合出三条趋势线,其中布局 1 的趋势线为 L1,布局 2

的趋势线为 L2,布局 3 的趋势线为 L3,趋势线同坐标轴围成的区域面积可以反映出本文的目标函数.从三条趋势线中可以看出,布局 3 的方案的趋势线 L3 明显的远离原点,导致了目标函数较大,而比较布局 1 和布局 2 的方案,可以看到,布局 1 的趋势线与坐标轴围成区域面积更小,因此也说明了布局 1 优于布局 2.

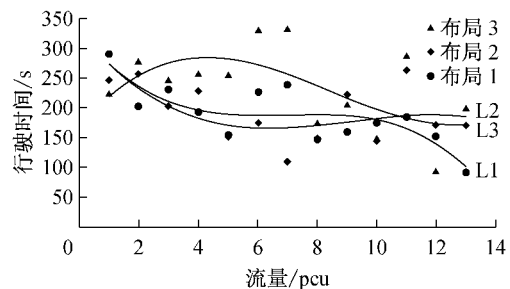


图 9 三个布局结果的物流—时间曲线比较

Fig.9 Comparison of volume-time chart for different layout form

为了验证所提出的模型和算法具有普遍适用性,把该模型应用于其他 5 个算例中,得出结果见表 4.可以看出,两个布局方法车辆的行驶距离相差不多,但在车辆的行驶时间方面,提出的方法更优,平均可以减少 9.5%.

表 4 5 个算例的结果对比

Tab. 4 Performance comparison for five experiments

序号	行驶距离/km		相差的百分比/%	行驶时间/s		相差的百分比/%
	布局与折线距离结合	布局与交通组织结合		布局与折线距离结合	布局与交通组织结合	
1	3 659	3 778	3.3	659 693	616 502	7.0
2	3 091	3 203	3.6	614 144	543 809	12.9
3	4 018	4 250	5.8	791 569	734 323	7.8
4	3 858	3 866	0.2	711 134	649 219	9.5
5	3 451	3 504	1.5	656 507	596 895	10.0

综上所述,提出的基于物流园区内部交通组织的布局方法优于现有布局方法,该方法同时考虑了物流园区内部的交通效率,不仅仅计算了路段上的时间,也计算了交叉口的时间,所以更符合实际要求。

## 4 结论

在物流园区的规划设计过程中,物流园区内部功能区块的布局和内部交通设计是相互影响的,综合考虑两者之间的关系,有助于提高物流园区布局的合理性。通过研究结合物流园区交通组织的物流园区功能区块布局,构建了基于物流园区交通组织的功能区块布局模型。本文以交通效率代替了现有模型的物流成本最小为目标函数,所提出的模型增加了交通网络的构建,并利用交通组织的方法确定各支车流的走行路径,而不是直接以折线距离进行计算,更加符合实际作业的要求。求解算法上选择遗传算法进行模型的求解,与现有的遗传算法不同的是,在染色体转化为布局后再构建路网,并且对交叉口的节点进行扩展,同时考虑了车辆在路段上的行驶时间和交叉口的行驶时间,使卡车行驶时间的计算更符合实际情况。最后,利用连云港港口物流园区为案例验证了模型和算法的可行性,并通过物流一时间曲线分析了布局形式的好坏。提出的模型和算法具有良好的普遍适用性,应用于其他 5 个物流园区布局时,相比于现有的模型,车辆行驶距离相差不大,而车辆行驶时间平均可以减少 9.5%,能够很好地把物流园区功能区块的布局和内部交通组织结合起来进行定量分析,内部交通组织因而作为一个重要因素对布局形式产生了很大的影响,具有较强的现实意义和创新性。

## 参考文献:

[1] Bozer Y A, Wang C T. A graph-pair representation and MIP-

model-based heuristic for the unequal-area facility layout problem[J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 218(2):382.

[2] Rosenblatt M J. The dynamics of plant layout[J]. *Management Science*, 1986, 32(1):76.

[3] Matai R. Solving multi objective facility layout problem by modified simulated annealing [J]. *Applied Mathematics & Computation*, 2015, 261:302.

[4] Datta D, Amaral A R S, Figueira J R. Single row facility layout problem using a permutation-based genetic algorithm [J]. *European Journal of Operational Research*, 2011, 213(2):388.

[5] Amaral A R S. A new lower bound for the single row facility layout problem[J]. *Discrete Applied Mathematics*, 2009, 157(1):183.

[6] Meller R D, Chen W, Sherali H D. Applying the sequence-pair representation to optimal facility layout designs. [J]. *Operations Research Letters*, 2007, 35(5):651.

[7] Garcia-Hernandez L, Pierreval H, Salas-Morera L, et al. Handling qualitative aspects in unequal area facility layout problem: an interactive genetic algorithm[J]. *Applied Soft Computing*, 2013, 13(4):1718.

[8] Kulturel-Konak S. A linear programming embedded probabilistic tabu search for the unequal-area facility layout problem with flexible bays[J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 223(3):614.

[9] Armour G C, Buffa E S. A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities[J]. *Management Science*, 1963, 9(2):294.

[10] Muther R. *Systematic layout planning* [M]. Boston: Industrial Education Institute, 1961.

[11] GAO Y F, SUN Y, ZHENG W J. Genetic algorithm for optimizing the layout of logistics park based on shortest path and elitist strategy [J]. *Journal of Information and Computational Science*, 2015, 12(10): 3765.

[12] ZHENG W J, GAO Y F. Traffic impact analysis on interior logistics hub based on genetic algorithm of operation sequencing [J]. *Journal of Information and Computational Science*, 2015, 12(13):5197.

[13] 郝红艳. 基于遗传算法的物流园区功能区布局方法研究[D]. 北京:北京交通大学,2007.

HAO H Y. Working-area Layout Method Study in Logistics Park Based on Genetic Algorithm [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007.