

基于内部可行域的住区建筑物自动布局算法

凌玲, 王晓博, 李成刚

(华中科技大学机械科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为了实现住区建筑物自动布局设计, 文中根据住区建筑物布局设计时需要考虑的日照、消防等约束, 构造了建筑物布局的数学模型, 借鉴正交矩形布局问题的相关算法和临界多边形的计算方法, 实现了单类型建筑物的行列式和周边式自动快速布局方法。文中提出了建筑物实际占地区域相对于规划建筑用地的内部可行域算法, 结合内部可行域方法得出边界条件, 采用砌砖式算法进行快速行列式布局, 由内部可行域边界组成布局路径, 进行快速周边式布局。文中最后通过算例展示了方法的实现结果, 验证了该方法的可行性。

关键词: 布局问题; 内部可行域; 行列式布局; 周边式布局

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)08-0001-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.08.001

An Automatic Building-layout Algorithm Based on Inner Available Region

LING Ling, WANG Xiao-bo, LI Cheng-gang

(College of Mechanical Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to implement the automation in the building-layout, an efficient method for automatic layout of buildings in the planned area has been proposed, which takes sunshine time and the fire space between buildings into account. It could arrange buildings on the style of determinant arrangement and peripheral arrangement, referring to the algorithms for the orthogonal rectangular packing problem and the algorithms for the no-fit polygon. Proposed an algorithm of calculating the inner available region for one polygon which stands for the building-covered region with respect to another polygon which stands for the planned area. Then, the determinant arrangement buildings were arranged by the bricklaying algorithm in the inner available region and the peripheral arrangement buildings were arranged along the boundary of the inner available region. At the end, some examples were presented to verify the method.

Key words: layout problem; inner available region; determinant arrangement; peripheral arrangement

0 引言

住区建筑物布局是根据地块的特点和住区建筑物的需求, 通过分析各种约束条件^[1], 使住区建筑物快速地布局在地块中。目前专门针对住区建筑物自动布局应用的文献资料极为少见, 其原因有诸多方面, 例如建筑物布局应当是结合建筑师的设计理念, 其个性化比较强; 住区建筑物布局需要考虑中间间隔的预留, 来保证日照^[2]、消防^[3]等基本需求。因此住区建筑物自动布局的实现具有一定的难度。

文中主要对两种常见的住区建筑物布局类型——

行列式和围合式的自动布局进行了深入的分析 and 讨论。

建筑物布局问题类似于矩形 Packing 问题, 许多学者都对矩形 Packing 问题做了很多研究, 并提出了不同的求解算法^[4,5]。文中在行列式自动布局时借鉴了砌砖式启发算法^[6], 并结合建筑物布局的特点进行了适当的改进。同时, 文中借鉴 Packing 问题中提到的临界多边形概念与计算方法^[7-11], 构造了内部可行域的计算方法, 在周边式自动布局的算法中得到了很好的应用。

收稿日期: 2012-11-09

修回日期: 2013-02-20

网络出版时间: 2013-04-22

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2011QN126)

作者简介: 凌玲(1975-), 女, 江苏建湖人, 讲师, 博士, 主要研究方向为知识工程、本体论工程、智能设计; 王晓博(1988-), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机图形学、优化布局。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130422.1553.003.html>

1 住区建筑物布局模型的数学描述

1.1 住区建筑物布局的约束因素

在住区建筑物进行开发之前,需要对详细规划编制、城市设计、建筑设计涉及的建筑高度、建筑间距、建筑退让、设计标高和日照等建筑内容进行说明,以便获取地方相关部门的审批。文中为了实现住区建筑物的自动布局,简化了住区建筑物的布局模型,主要考虑建筑退让要求、建筑物的日照间距要求和建筑物之间的消防通道要求三个主要方面。

1.2 住区建筑物布局模型

在住区建筑物布局中,需要考虑住区建筑物本身的几何尺寸、位置约束和周边建筑物的关系,文中用下式来描述住区建筑物,其中 B 表示住区建筑物。

$$B = \{L, W, LD, RD, SD, x, y, LR, RR, WR, LS, RS\}$$

符号的含义在图 1(a)中已标出,具体说明如下:

L, W 是指整体建筑物实际占地的平面几何尺寸,即建筑物的面宽和进深。

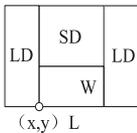
$\{LD, RD\}$ 是指左右消防间距的设定,参照国家和地区相应标准来进行设定。

$\{SD\}$ 是指根据建筑物的高度来计算得到的日照遮挡距离,为了简化计算,文中根据相关规定应用固定日照间距来进行设计。

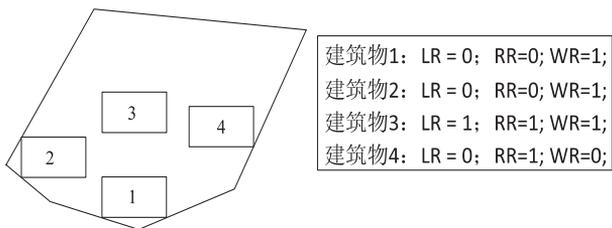
$\{x, y\}$ 是指该建筑物左下角点的坐标。

$\{LR, RR, WR\}$ 是指当前建筑物周围建筑物的具体情况。其中 LR 值是用来记录其左侧是否有建筑物,当没有建筑物时设定为 0,否则设定为 1; RR 值与 LR 值设定类同,记录右侧是否有建筑物; WR 值是记录其上侧或下侧有无建筑物。如图 1(b)所示的四个建筑物。

$\{LS, RS\}$ 是指当建筑物左或右没有建筑物时,记录其与地块相邻边界线段。同时保证建筑物在地块内部,不能超出规划用地的建筑退界。



(a) 建筑物布局模型



(b) 简单布局示例

图 1 住区建筑物布局模型示意图

在住区建筑物自动布局中,除了考虑建筑物之间

的相互尺寸,还应考虑建筑物是否在地块边界上。区别主要体现在地块边界的建筑物不用预留与地块边界相邻的消防间距或日照间距,而在中间布局的建筑物必须考虑与相邻建筑物的消防间距和日照间距。

对于建筑物 B_i , 当满足条件

$$LR_i \cdot RR_i + RR_i \cdot WR_i + LR_i \cdot WR_i = 0$$

时,该建筑物属于占角建筑物;当满足条件

$$\begin{cases} LR_i \cdot RR_i + RR_i \cdot WR_i + LR_i \cdot WR_i \neq 0 \\ LR_i \cdot RR_i \cdot WR_i = 0 \end{cases}$$

时,该建筑物属于占边建筑物;当满足条件

$$LR_i \cdot RR_i \cdot WR_i \neq 0$$

时,该建筑物属于中间布局建筑物。

1.3 两种典型布局类型模型的约束

对于常见的两种住区建筑物布局类型行列式和周边式布局,可以通过另外一种角度来归类,行列式可以归类在局部的区域内进行布局建筑物之中;周边式可以归在围绕某一个区域边界布局建筑物之中。下面讨论等间距行列布局和沿多边形周边进行布局两种情况的约束条件。

1.3.1 等间距行列式布局

对于每一排建筑物,若该排建筑物有 n 栋,那么应满足条件:

$$x_{i+1} - x_i = x_i - x_{i-1} \quad (2 \leq i \leq n - 1)$$

即建筑物横向间距应一致,一般与消防间距等宽。

1.3.2 周边式布局

周边式布局要求待布局的建筑物依次放置在边界上,直至边界上无法再布局建筑物。由建筑布局约束可知,这些建筑物位置还必须满足以下条件之一:

$$\begin{cases} (x_i, y_i) \in LS_i \\ (x_i, y_i + W_i) \in LS_i \\ (x_i + L_i, y_i + W_i) \in RS_i \\ (x_i + L_i, y_i) \in RS_i \end{cases} \quad (1 \leq i \leq n)$$

即建筑物的四个顶点中间至少有一个顶点在地块边界上。

2 自动布局算法

文中借鉴排样算法中的临界多边形算法和内部可行域的相关原理,将其应用于等间距行列式和周边式布局的住区建筑物自动布局方法中。

布局可行域是指布局物体所有可行的放置位置,即保证布局物体不与布局空间和其他布局物体发生干涉的位置。在布局过程中,可行域的形状位置与布局空间、布局物体的参考点有关。在地块中布局建筑物时,建筑物左下角点可行域的解释如图 2 所示,图 2(a)为地块的平面几何图形,图 2(b)为建筑物的平面

几何图形,图2(c)中黑圆点所围成的区域即为建筑物左下角点相对于该地块的可行域。

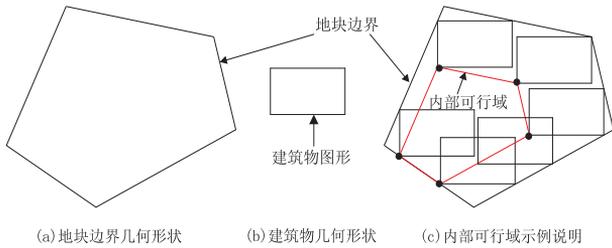


图2 可行域说明示意图

鉴于建筑物布局需要将建筑布局在地块内部,即一个多边形应包含于另外一个多边形内部。文中借鉴文献[6]中计算临界多边形的斜率法,改变了两个多边形各边向量的指向和筛选向量的方法,能够快速计算出建筑物相对于地块的可行域边界,即内部可行域算法。文中采用斜率法计算内部可行域。

对于等间距行列式布局建筑物来说,运用上述方法计算出可行域边界后,利用上述建筑物布局模型和砌砖式启发式算法特点,快速布局出第一排建筑物,然后根据第一排建筑物依次并排放置。

对于周边式布局建筑物来说,运用上述方法计算出可行域边界后,沿着可行域边界,逐边放置建筑物即可。

2.1 用斜率法计算内部可行域

临界多边形计算,即 the no-fit-polygon,是自动排样算法中的关键技术^[5],它有效地解决了多边形紧密放置并且不重叠的关键问题。上述临界多边形计算是针对一个多边形沿着另一个多边形外侧进行移动而形成的一个轨迹,对于建筑物布局来说需要建筑布局在地块内部,则需要求出一个矩形沿着另一个多边形内侧进行移动而形成的一个轨迹,但是这两种类型都是沿着多边形的边界移动形成的轨迹,因此算法具有一定的相通性。

斜率法计算临界多边形的方法在文献[6]、文献[7]等诸多相关文献中已经提到,并得到了广泛的讨论和应用,其主要用于讨论排样问题^[8-10]中。很少有文献研究应用斜率法来计算内部可行域问题。文中通过研究提出了利用斜率法计算矩形在多边形内部的可行域计算步骤,并通过程序验证其可行性。

算法步骤如下:

1) 先依次顺针对所有边的方向进行标定并将其平移使起点与原点重合;

2) 分别求平移各有向线段的斜率并按斜率大小进行排序;

3) 按多边形边的顺序依次将各多边形的有向线段首尾相连,当两个边顺时针经过矩形有向线段时,连接该有向线段的反向向量;当两个边顺时针经过矩形

有向线段时,连接该有向线段的正向向量;最后计算出矩形有向线段相关联的两个多边形的有向线段的交点,并顺次连接有向线段的端点和交点;

4) 最终求得的图形就是矩形左下角点在多边形中的可行域。

图3简单描述了矩形相对于凸多边形地块计算布局可行域的方法。其中图3(a)将地块图形从最低点沿顺时针标记了各边的向量方向,图3(b)将建筑物图形从左下角点开始顺时针标记了各边的向量方向,图3(c)将地块和建筑物各边向量移动至二维坐标原点,图3(d)从向量 a_1 开始依次转向地块多边形各边并进行向量相加,中间顺时针经过建筑物图形的边向量时,与建筑物图形边向量反向相加,最后求得交点后依次连接即得布局可行域。

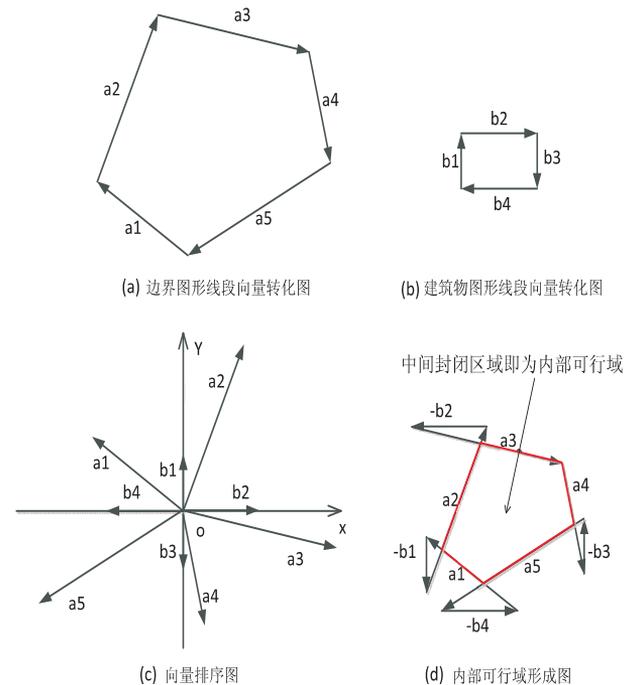


图3 内部可行域结果示意图

2.2 等间距行列式布局算法

文献[5]提出了基于最低水平线的算法,它能够快速地插入一个建筑物,但是其插入建筑物时只比较了该水平线的宽度与建筑物的宽度,插入之后再判断是否与地块边界有干涉,这样布局每个建筑物都需要进行干涉判断,运算效率较低。文中提出的基于内部可行域的算法简化了干涉判断环节,提高了布局效率,流程图如图4所示。

2.3 周边式布局算法

对于周边式布局建筑物来说,文中利用上述住区建筑物布局模型的特点,通过内部可行域的计算,从可行域的某一个顶点开始,沿着边界,逐边判断并放置建筑物,直至全部建筑物放置完成。具体的流程图如图5所示。

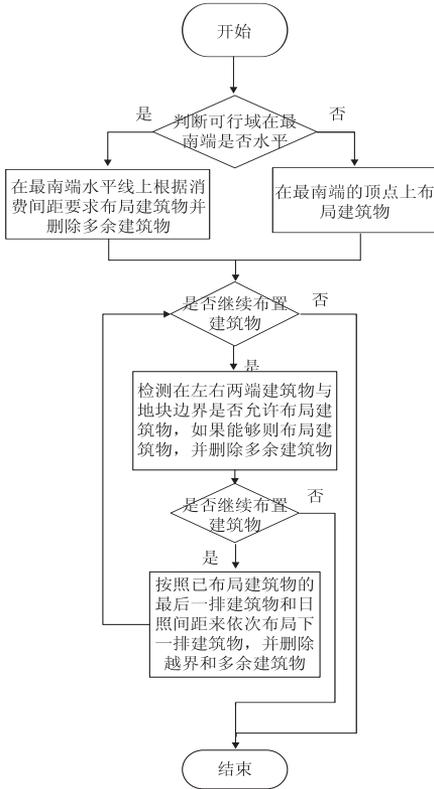


图 4 等间距行列式布局计算流程图

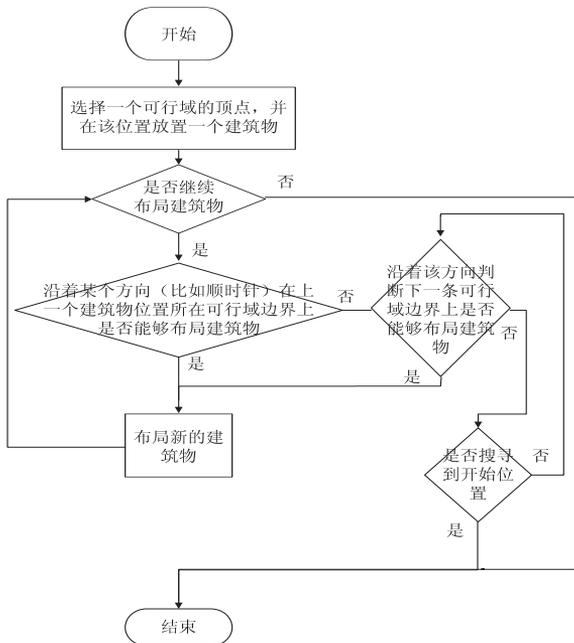


图 5 周边式布局计算流程图

2.4 算法小结

文中的可行域算法为住区建筑物的行列式和周边式布局构造了有效的布局区域,使得布局时不需要反复检测建筑物是否超出地块边界。之后,根据行列式和周边式布局各自的特点,构造了相应的布局算法。

3 算例

为了验证该算法的可行性,文中最后通过实例展

示算法的运行结果。在图 6 中,外部多边形代表地块的区域,中间矩形代表建筑物实际占地面积,建筑物的面宽和进深分别为 20m 和 10m,层高为 3m,层数为 12,根据相关规定,其左右消防间距均取 13m,日照间距系数取 1.2。文中行列式布局和周边式布局算法的运行效果如下:图 6(a)展示了等间距行列式布局的效果,如图所示,建筑物从南至北排列,地块南端水平,而且地块面积大,行列式布局后,建筑物排列整齐,有利于小区内道路设计。图 6(b)展示了周边式布局的效果,如图所示,建筑物从地块最南端的顶点开始沿着顺时针方向进行周边式布局,该布局主要用于横行或纵向跨度较小的地块,在周边布局后,可以在内部区域进行景观、道路等规划。

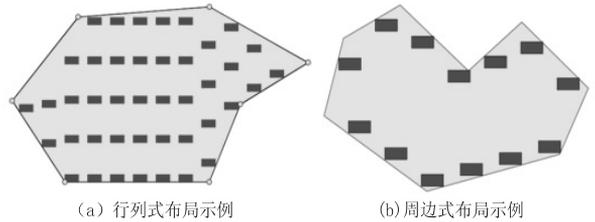


图 6 布局效果示例

4 结束语

文中详细介绍了住区建筑物布局时存在的诸多约束问题,构造了一个住区建筑物布局的数学模型,针对住区建筑物布局中两种常用的布局,类型行列式布局和周边式布局,提出了有效的算法,实现了这两种基本类型的自动布局,提高了住区建筑物布局设计的效率。文中最后通过算例展示了算法的实现结果,同时也验证了该分析方法的可行性。

对于住区建筑物布局来说还有很多其他类型,比如中轴式布局、紧凑型布局等,可以参照文中的一些思路进行改进,也可以对已有地块进行分块后进行行列式和周边式布局,来实现复杂类型的自动布局。

对于不同建筑物类型的混合布局问题,也借鉴正交 Packing 问题的相关算法进行适当改进,来满足建筑物布局的特殊要求。

参考文献:

- [1] 翁奕城. 上海城市生态型住区建设的规划对策与实施机制研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [2] 李成刚, 朱小红, 凌玲, 等. 面向住区规划设计的日照分析研究[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(8): 43-46.
- [3] 黄进达, 杨义. 防火间距的性能化设计探讨[J]. 山西建筑, 2005, 31(22): 47-48.
- [4] 王石. 一种解决矩形布局问题的启发式快速算法[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(3): 36-39.

$\forall G_i, 1 < i < n, G_i \in \text{GOAL}, \exists T_1 \in \text{TASK}, \text{ACHIEVE}(T_1, G_i) \wedge \exists T_2 \in \text{TASK}, \text{ACHIEVE}(T_2, G_i) \rightarrow T_1 = T_2$

规则 3 (角色单一化规则): 任何一个具体的需求任务只能由唯一一个角色承担, 即

$\forall T_i, 1 < i < n, T_i \in \text{TASK}, \exists R_1 \in \text{ROLE}, \text{UNDERTAKE}(T_i, R_1) \wedge \exists R_2 \in \text{ROLE}, \text{UNDERTAKE}(T_i, R_2) \rightarrow R_1 = R_2$

规则 1 使得操作化目标和角色之间为一一对应关系, 规则 2 使得操作化目标和需求任务之间为一一对应关系, 规则 3 使得需求任务和角色之间为一一对应关系。3 个单一化规则可以避免操作化目标、角色和具体的需求任务之间的冲突。

4.2 GRT 映射函数

在建模过程中, 首先对软件系统高层目标进行分解生成目标分解树, 将目标分解树的树叶节点即操作化目标分配给相应的角色作为角色目标, 然后, 用具体的需求任务实现角色目标。函数 G_Assign 和 $G_Achieve$ 定义如下:

$G_Assign: \text{GOAL} \rightarrow \text{ROLE}$. R_Goal

$G_Achieve: \text{ROLE} \cdot R_Goal \rightarrow \text{TASK}$

函数 $G_Assign(G_i)$ 返回与角色 R_i 相关的角色目标 $R_i \cdot R_Goal$, 函数 $G_Achieve(R_i \cdot R_Goal)$ 返回与角色 R_i 的目标相关的具体的需求任务 T_i , 而复合函数 $G_Achieve(G_Assign(G_i))$ 则返回操作化目标 G_i 所对应的具体的需求任务 T_i , 将操作化目标与具体的需求任务直接相关联, 使软件系统目标与需求工程过程紧密结合, 通过聚集需求过程任务实现软件系统高层目标。

5 结束语

面向过程的需求建模, 将软件系统高层目标层层分解、精化成操作化目标, 分配给角色作为角色目标, 然后, 用具体的需求任务实现角色目标。通过角色、需求任务、需求任务功能建立与操作化目标之间的映射关系, 定义了单一化规则和 GRT 映射函数, 将操作化

目标与具体的需求任务直接相关联, 使软件系统目标与需求工程过程紧密结合, 聚集需求过程任务实现软件系统高层目标, GRT 建模方法将目标、角色、需求任务组合, 可以更加直观、形象、准确地对软件系统需求建模。

参考文献:

- [1] 张国生. 需求演化过程建模[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(5): 54-57.
- [2] Dardenne A, Lamsweerde A V, Fickas S. Goal-directed Requirements Acquisition [J]. Science of Computer Programming, 1993, 20(1-2): 3-50.
- [3] Chung L, Nixon B A, Yu E, et al. Non-functional Requirements in Software Engineering[M]. [s. l.]: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [4] Feather M S, Fickas S. A Framework for Distributed System Designs[C]//Proc. of Knowledge-based Software Engineering Conference. Monterey: [s. n.], 1994: 6-13.
- [5] Popova V, Sharpanskykh A. A Formal Framework for Modeling and Analysis of Organizations[J]. IFIP International Federation for Information Processing, 2007, 244: 343-358.
- [6] Brooks F P. No Silver Bullet: Essence and Accidents of Software Engineering[J]. IEEE Computer, 1987, 20(4): 10-19.
- [7] 张国生. 敏捷需求过程建模[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(2): 27-30.
- [8] 赵欣培, 李明树, 王青, 等. 一种基于 Agent 的自适应软件过程模型[J]. 软件学报, 2004, 15(3): 348-359.
- [9] 金芝, 刘璘, 金英. 软件需求工程: 原理和方法[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [10] Lamsweerde A V. Goal-oriented Requirements Engineering: A Guided Tour[C]//Proc. of Fifth IEEE International Symposium on Requirements Engineering. Toronto: [s. n.], 2001: 249-263.
- [11] Xu H, Zhang X. A Methodology for Role-based Modeling of Open Multi-agent Software Systems[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2005). Miami, Florida: [s. n.], 2005: 246-253.
- [12] 张国生. 基于层次着色 Petri 网的需求工程过程框架[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(8): 17-19.

(上接第 4 页)

- [5] 凌玲, 卢文, 胡于进. 不规则区域矩形件排样的一种改进算法[J]. 微型机与应用, 2011, 28(9): 112-115.
- [6] 张德富, 韩水华, 叶卫国. 求解矩形 Packing 问题的砌墙式启发式算法[J]. 计算机学报, 2008, 31(3): 509-515.
- [7] 刘嘉敏, 佟德刚, 黄有群. 临界多边形生成算法的改进[J]. 沈阳工业大学学报, 2005, 27(5): 567-570.
- [8] 黎自强, 滕弘飞. 一种新的凸多边形不干涉算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(1): 11-13.
- [9] Dowsland K A, Vaid S, Dowsland W B. An algorithm for poly-

- gon placement using a bottom-left strategy [J]. European Journal of Operational Research, 2002, 141(2): 371-381.
- [10] Bennell J A, Dowsland K A, Dowsland W B. The irregular cutting-stock problem—a new procedure for deriving the no-fit polygon[J]. Computers & Operations Research, 2001, 28(3): 271-287.
- [11] Liu D, Teng H. An improved BL-algorithm for genetic algorithm of the orthogonal packing of rectangles [J]. European Journal of Operational Research, 1999, 112(2): 413-420.

基于内部可行域的住区建筑物自动布局算法

作者: [凌玲](#), [王晓博](#), [李成刚](#), [LING Ling](#), [WANG Xiao-bo](#), [LI Cheng-gang](#)
作者单位: [华中科技大学 机械科学与工程学院, 湖北 武汉, 430074](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)


英文刊名: [Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期): 2013(8)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201308001.aspx