

深度强化学习：高层建筑群自动布局新途径*

孙澄宇 宋小冬

提 要 高层高密度条件下，建筑群自动布局在城市规划领域具有潜在应用价值，但是若要满足现行建筑日照标准，技术实现难度很大。近年来，人工智能领域出现了深度强化学习方法，为解决这一技术难题提供了新的途径。研究提出了两阶段布局方法，第一阶段基于控规指标产生初始布局，满足城市规划对建筑面积、建筑高度等的基本要求；第二阶段遵从深度强化学习的“一轴、二元、四要素”理论框架，对第一阶段的初始布局在三维空间中进行优化，目标是满足城市规划的其他规定、指标，对于日照，综合考虑待建建筑、既有建筑之间的相互遮挡和叠加，最终布局符合常理。在北京、沈阳、郑州、上海、福州各选一个街坊，基于上述方法，做实验性的计算、求解，初步验证了该方法有效、可靠。

关键词 高层住宅群；设计自动化；深度学习；人工智能；日照约束

Deep Reinforcement Learning: A New Approach to Automatic Planning of Highrise Buildings

SUN Chengyu, SONG Xiaodong

Abstract: In the context of highrise and high-density development, automatic planning of building clusters is a promising area. However, to satisfy the sunlight requirements is still full of difficulties. The latest deep reinforcement learning theories in artificial intelligence provides a new approach to the problem. This study proposes a two-stage approach. Firstly, an initial layout will be generated according to the land development indices including total floor area and building heights. The plan will then be optimized in terms of sunlight and requirements according to a framework of “one axis, dualistic model, and four essential elements”, which is summarized from the theories. After five automation experiments of highrise building planning in Beijing, Shenyang, Zhengzhou, Shanghai, and Fuzhou, the new approach is proved efficient and reliable.

Keywords: highrise residential buildings; design automation; deep learning; artificial intelligence; sunlight constraint

1 建筑群自动布局研究进展

在计算机辅助建筑设计的早期，就有了建筑群自动布局技术和方法的探索。在中国大陆，建筑日照标准很独特，一旦涉及，国外类似研究成果的实用性受到影响，而日照标准和建筑容积率是城市规划管理实践中最常见的矛盾，也成为国内研究建筑群自动布局时不得不考虑的一个重点，因此讨论研究进展时，本文将以国内文献为主，国外文献为辅。

1.1 直接自动布局

2004年开始，国内学者就试图将日照与其他布局约束同时施加在求解过程中，希望能够一次性获得符合所有约束的建筑群自动布局结果，陆续提出了最大包络体法（宋小冬，孙澄宇，2004）、日照间距系数法（凌玲，等，2013；宋小冬，田峰，2009；宋小冬，等，2010）、知识工程法（孙澄宇，等，2016；徐佳楠，等，2018）多种研究思路。受制于算法自身的先天特征，分别在地块规模的适应程度、高层建筑日照方位角的有效利用程度、整体布局的约束响应程度、案例完备程度上，离实践应用存在较大的差距。

近期，由深圳小库科技（2017）发布的“强排”方法及工具，可以说是该领域最

中图分类号 TU984 文献标识码 A
DOI 10.16361/j.upf.201904013
文章编号 1000-3363(2019)04-0102-07

作者简介

孙澄宇，同济大学建筑系，高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室，副教授，ibund@126.com

宋小冬，同济大学城市规划系，高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室，教授，通讯作者，spt@tongji.edu.cn

* 国家重点研发计划“南方地区城镇居住建筑绿色设计新方法与技术协同优化”阶段成果（项目编号：2016YFC0700200）

为接近实践的成果。使用其智能设计云平台 (www.xkool.ai) 可以发现, 它是以“卷积神经网络 (convolutional neural Network, CNN)”、“生成对抗网络 (Generative Adversary Network, GAN)”及“强化学习 (reinforcement learning, RL)”为技术框架, 利用大量“优秀案例”进行训练、学习。如果给定基地、规划设计条件, 可自动、快速产生出一批布局方案。利用多个评估模型对方案打分, 以及各种合规性检查, 筛选出符合各项约束条件的方案 (含基地内建筑日照要求)。这种方法运用了深度学习领域的热点理论, 具有创新性。然而, 其基本原理依赖于典型案例。由于日照约束受到基地周边建筑的影响, 周边建筑的复杂组合条件难以用有限的案例 (样本) 来囊括, 所以当基地内、外建筑在日照上有相互干预, 无法完全响应。

1.2 分阶段自动布局

因发现了直接自动布局在众多约束下同时求解难度巨大, 国内一些学者开始尝试将其分为两个阶段。一般基于各种自动设计技术 (Sönmez, 2018) 先产生出符合部分约束的建筑群作为初始布局, 然后加入日照等其他约束进行优化。这为在下一阶段应用各种面向非确定多项式问题 (non-deterministic polynomial, NP, 无法用多项式形式确切描述求解时间) 的算法开启了方便之门。

目前, 能够产生初始布局的探索与工具有 city engine (Parish, Müller, 2001)、风格化建筑群生成方法 (李飏, 等, 2015)、基于地块主要规划指标的建筑群生成方法 (孙澄宇, 等, 2016; 本文所述方法就是使用了这一方法生成了初始布局)。

有了初始布局, 再优化时, 既有研究较多使用各种传统 NP 类问题算法框架, 如遗传算法 (高菲, 2014; 宋靖华, 胡杨, 2018; 宋小冬, 等, 2010)、自下而上的多代理方法 (张馨元, 等, 2018)。然而, 这些算法受制于自身特点还有局限性, 例如, 在大量由合法基因组合出的非法布局上浪费算力, 影响求解效率, 或者因高层建筑日照影响范

围过大, 引起个体和全局间的利益难以平衡, 等等。

1.3 进一步探索方向

综上所述, 虽然国内在自动布局领域的研究早已起步, 基于传统 NP 算法有了诸多探索, 但在各算法自身的局限下, 尚未能在允许的时间内, 较好解决建筑群自动布局中的日照等约束。当然, 借鉴深度神经网络领域理论成果的做法, 以及对多代理方法的探索都对该领域进一步发展提供了启示, 将深度神经网络的最新进展与单个代理的决策机制相结合很可能是一个突破点。

2 自动布局新途径: 深度强化学习

2.1 深度强化学习理论简介

长期以来, 强化学习 (reinforcement learning, RL) 是人工智能领域的一个重要分支, 它基于马尔科夫过程 (Markov Decision Processes, MDP), 即假设: 系统的下一个状态 S_{t+1} 仅与当前状态 S_t 有关, 而与以前的其他状态无关。整个过程中, 具有感知、决策、行为机制的“代理 (agent)”, 在与“环境 (environment)”的“分步回合式”互动过程中, 一方面感知当前的环境状态 S_t , 另一方面根据以往的行为经验即“状态 S_i 、行为 A_i 、步骤获利 R_i 、目标是否达成 D_i 、新状态 S_{i+1} ”的集合, 预计并实施最佳行动 A_t , 使得代理的累计获利 q 最大化 (Sutton, Barto, 1998)。而当其对以往行为经验的学习, 采用了深度神经网络之后, 就升级为了深度强化学习 (deep reinforcement learning, DRL) 过程, 即目前人工智能领域中十分活跃的深度学习 (Deep Learning, DL) 方向下的一个重要分支。

随着 Mnih 等人 (Mnih, Kavukcuoglu, Silver, et al, 2015) 在 Nature 发表 Deep Q Network (DQN) 算法, 展示了如何使计算机控制的“代理”通过对自身在环境中产生的行为经验进行学习, 实现操控人类经典的 Atari 系列电子游戏, 并取得高分的过程, 深度强化学习受到了学术界的高度关注。在随后的几

年中, 如雨后春笋般发展出了 55 种改进算法 (截至 2018 年详见附录图) (Justesen, Bontrager, Togelius, 等, 2019)。这些算法能够应对的游戏决策问题, 从画面相对固定的单一玩家类型, 到画面极具变化且暗含空间认知需求的第一人称射击类型, 再到多玩家组队配合的类型。其中, Lillicrap 等人 (Lillicrap, Hunt, Pritzel, 等, 2016) 发布的 deep deterministic policy gradient (DDPG) 算法, 可以通过 2.5 万步的训练, 就在所有 Atari 游戏中战胜人类。同样基于类似算法的 AlphaGo Zero 仅通过对围棋基本规则 (而非人类棋谱样本) 的学习, 就快速超越了之前已经能够战胜人类棋手的 AlphaGo Master (要事先收集、整理大量人类棋谱样本)。正因为这类算法在电子竞技中已经展现出了超越人类的决策能力, 所以它正被多个行业争相应用于各种需要人类决策的控制领域。

2.2 应用条件和优势

虽然深度强化学习算法有很多种, 但设计师并不需完全掌握, 而只要理解“一轴、二元、四要素”的应用框架就可以加以利用。具体来讲, 就是将任何设计问题转化为基于一根时间轴的“分步回合式”过程, 设计决策在“代理”与“环境”这二元模型中逐步互动达成, 互动涉及了“代理”感知到的①“环境”前后状态; ②执行的行动; ③获得的利益; ④目标的达成判断这四大要素。

显然, 上述新方法相对目前各种自动布局背后的既有方法具有三个优势:

(1) 上述过程不需要事先人为收集学习的样本 (案例), 靠“代理”与“环境”的互动来产生样本 (案例), 避免收集样本 (案例) 中人为因素的局限性;

(2) 时间轴和环境中的多个代理的存在, 使得一次性难以求解的 NP 问题, 有望在时空维度的加持下得到降维, 从而缩小需要搜索的解空间范围, 提升求解效率;

(3) 决策过程与人类思考过程相似 (设计师往往是从某个草案入手, 凭经验不断修改、优化), 而它仅受到定义好的约束条件制约, 没有思维上的条条

框框，所以它有机会超越人类的思维定势，找到更优秀的布局。期间，城市规划中的日照与建筑间距规定可以以约束条件的形式灵活定义。

深度强化学习方法的实现难度不大。任意问题只要能够用“一轴、二元、四要素”框架“转译”描述，就可以借用互联网上广泛存在的各种开源工具包（Open AI, 2019）予以解决。

3 研究的技术路线

3.1 正确理解自动布局

电竞行业价值倾向简单，规则稳定，比赛过程以胜负而结束，外部干预可忽略。规划、建筑行业也有规则，但是有弹性，使用过程中，已有规则会受到各种外部干预，越重要的项目，越是以各方妥协而结束，难以界定胜负，更不可能存在“常胜将军”。将电竞行业成功的技术、方法移植过来时，必须考虑本行业的特殊性：

其一，个别指标最优的布局方案很可能不实用，也不经济，对此要凭经验事先把握，不宜盲目追求。例如，在日照资源约束下提高建筑容积率，可以在终日阴影区（俗称为日照死角）内增加建筑面积，对住宅建筑来说，会影响到内部功能，增加的面积反而得不到市场回报。如果在建筑面积最大化方面，用计算机战胜人类设计师，软件实现技术上要付出很大代价，得到的方案不一定实用。

其二，规划的规定、指标一旦确定，该范围内的建筑实施方案几乎是无穷的，远远超出电竞领域。规划并非试图限制后续设计师的灵活性、想象力，而是不希望受其控制而产生的建筑方案会对社会、环境、公众有明显的负面影响。如果能利用自动布局来检测负面影响出现的可能性，或者通过大量验证，能保证负面影响出现的概率大大低于预期，同时也给人类设计师留出弹性，所研制的计算机系统就实现了应用价值。

其三，有关规定、指标并非规划管理部门独家决定。常会受到外界的干扰，如来自相邻专业机构：市政、交

通、环保、景观、文化、教育等等，旧区改造会涉及当地居民安置，新区开发会涉及农民征地。另外，土地、房产开发商，上级行政领导也是典型的干扰源。规划不得不在各参与方之间达成妥协，技术指标无法百分百体现。如果在效率、透明、成本上，自动布局能略胜一筹，则便于多方协商妥协，也体现出计算机系统的应用价值。

根据上述思考，本研究对自动布局提出三项补充原则：方案中规中矩，结论可靠可信，运作高效低成本。

所谓中规中矩，其含义是计算机自动产生的布局方案和普通设计师的没有实质区别，虽然没有亮眼之处，但是熟悉专业的人士找不出明显缺点，在多数情况下存在多个布局。

所谓可靠可信，是指规划的参与方都可以使用该系统来做布局，也许具体布局稍有区别，但是肯定满足相关规定、指标，经得起多方检验。

所谓高效低成本，人工样本数据采集成本极低（仅需少量采集当地常见高层住宅单体平面），实际操作过程不复杂。如果规定和指标存在争议需要调整，系统能快速反应，和人工布局相比，大大缩短工作周期，而且项目涉及的地块越多、基地越大，越能体现其并行计算求解的优势。

3.2 分阶段的求解策略

自动布局过程分两个阶段：首先，遵照笔者（孙澄宇，罗启明，宋小冬，等，2017）曾提出的从二维地块规划指标到三维建筑群的生成方法（本文不再赘述），在各种基地退界范围内，以当地典型建筑单体体型为基础，自动生成一个符合规划指标的建筑群初始布局（待布局建筑的单体形态、栋数、层数在这里确定）；然后，再通过对日照约束与建筑各向间距约束，不断综合评价，采用“拟人”的“分步回合式”深度强化学习方法，对同时符合各约束的布局进行求解。即第一阶段是产生初始布局，第二阶段是布局优化，后文将进一步介绍第二阶段。

3.3 技术框架简介

本研究研制的实验性系统框架见图1。涉及的约束条件包含规划约束与形态约束两大类。

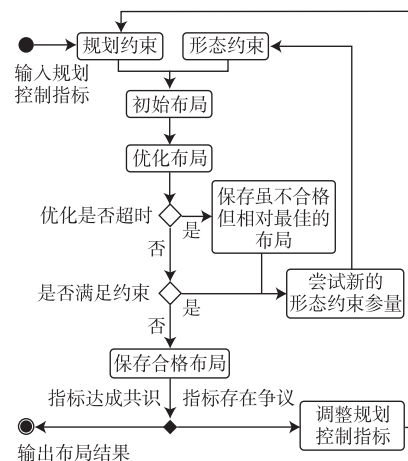


图1 实验性软件的流程框架

Fig.1 Workflow of the prototype system

资料来源：作者自绘。

前者包括：①主要规划指标，即建筑容积率、最大高度、密度；②基地边界及后退规定（可以包含内部需要避让的集中绿地边界）；③周边既有建筑，除了出现在基地周边，也可以人为布置在基地内，包括三维体型轮廓、需要检验日照的窗户位置；④当地各类建筑的各项间距规定；⑤日照要求按基地纬度、当地标准考虑。

后者包括：⑥当地较常见的高层住宅单体平面及其对应的形态参数（建筑宽度、进深、需要检验日照的窗户位置等）；⑦初始行列式的朝向、单体朝向；⑧初始行列式的前后错位程度；⑨建筑高度变化的范围与方向趋势。

第一阶段的初始布局根据上述约束条件①、②、⑥—⑨，遵照笔者（孙澄宇，等，2017）的既有算法生成（约束⑥—⑨在首次生成中使用默认值），第二阶段的优化布局在此基础上，通过调整各单体的位置来满足约束条件②—⑤。两者使用相同的街坊描述数据结构以传递布局方案。当优化布局在约定时间内无法找到合格布局时，将保存迄今最优的不合格布局备查，并尝试新的形态约束参量，产生新的初始布局，重新展开优化。当然，如果找到合

格布局后,使用者可以对其进行判断,通过调整规划控制指标(约束1),探讨对不同情况下的布局方案可行性。

3.4 “一轴、二元、四要素”框架的具体化

3.4.1 一条时间轴:分步回合

假设计师反复移动建筑群中的单体,逐步找到合理布局,和棋类博弈类似。那么,在每一“回合”开始时,都从已有的初始布局出发,按“步骤”这一时间单位来移动建筑单体,改进布局。如果在规定的步骤内未满足预定的约束,则重新开始新的回合。所有回合中的步骤经验都被记忆下来,作为后续步骤的依据。随着回合的增加,棋手面对任一盘面的各种潜在的布局结果,其估计自己获利的能力是不断提升的,也就是说调整布局的盲目性是不断降低的。这一过程,沿“回合”与“步骤”构成的时间轴,来积累经验、从初始布局开始,不断逼近满足各约束的合理布局。

3.4.2 二元模型:待布局建筑与所在街坊互动

布局问题所在街坊基于三维坐标系,承载着各种与布局相关的信息,是描述布局问题的“环境”。每个待布局的建筑单体是能够感知周边条件、作出移动决策并施行的“代理”。

街坊所承载的信息包括固定(既有、既定)建筑、待布局建筑、日照测试点、日照测试方向、日照约束与建筑间距检验规则、基地退界边界等6种三维几何信息。它们描述了实际设计任务中的各种布局问题。

待布局建筑身处街坊中,由一组深度神经网络组成的决策函数控制,具有生成并施行移动矢量、积累移动经验、更新自身决策函数这三项机能。

3.4.3 四要素:状态、行动、获利、达标与否

每个步骤的以下四要素信息,都作为描述当前步骤的经验被储存起来,供“代理”周期性更新决策函数之用。

(1) 描述任一时刻下街坊的整体状态。遵照唯一性以及和获利相关性原则,从每个“代理”的中心向四周发出

多条探测射线,分别计算出与周边移动边界的距离、周边建筑遮挡的高距比信息。

(2) 每个建筑的移动。即生成的移动矢量需在实际移动中经过与周边建筑或边界的碰撞检查,既确保所有单体建筑在理论上能够到达任意位置——布局不会漏解,又确保所有布局都不存在建筑物重叠的情况——避免“非法”布局。

(3) 每个步骤完成后评估街坊获利。分别计算达到日照标准的日照测试点的增减量、街坊内任意两个建筑的间距控制范围重合面积的全局累计值增减量。获利为两者标准值的代数和。

(4) 每个步骤完成后评估当前布局是否已满足各项约束。

4 验证实验

4.1 实验目的

验证上述方法在面对实际城市街坊时,按一定规划指标自动产生合理布局的能力。

4.2 案例选取

在典型城市中寻找典型街坊,满足如下条件:

已经存在高层建筑群,住宅为主体,现状建筑容积率较高,即确保验证实验的用地与规划指标组合下确实存在合理布局,避免当出现无解时难以判断是由方法缺陷造成,还是由指标过高造成;

基地太小,自动布局余地不大,基地太大,约束条件过于宽松,街坊面积大约在4—10hm²之间;

基地内的待建高层住宅和周边既有建筑之间都有遮挡和被遮挡的关系,方位通道必然存在相互交错和叠加的复杂情况。

4.3 资料获取

从互联网地图、卫星影像、房产交易网站获得基地地形条件、现状建筑容积率、建筑层数。

建筑日照、容积率、建筑间距和建筑限高、边界后退均为刚性约束条件。有关规定、指标从当地规划部门的对外

宣传网页获得。

假设基地内部尚未建设,通过自动计算产生布局方案。

为了进一步贴近实际,提高自动布局求解复杂性,一般根据常见设计手法在基地内设置若干既定建筑,需要待布局建筑予以自动应对。

自动局部中可移动的建筑均为住宅,单体平面、体形都来自所在地区的常规高层住宅,层高为3m,层数由初始布局生成程序按容积率等指标在第一阶段自动确定。

基地、建筑物的几何尺寸、既有建筑需要日照的窗户和现状允许有少量误差,但不影响实验过程的可靠性。

4.4 软件研制

根据分阶段自动布局的方法框架,实验软件在Windows 10的64位操作系统上也分为两部分组成。初始布局的生成程序,依然采用2017年发布的基于Rhino建模环境的Python脚本程序。布局优化的求解程序,基于Open AI发布的DDPG算法包,在基于Python的TensorFlow架构上开发完成。未来可以将第一阶段部署在设计人员日常使用的客户端,第二阶段部署在计算能力较强的服务器端。

4.5 北京案例

本研究团队在北京市区选取一个街坊(图2左),可建设的基地面积大约9.1hm²,容积率设为2.5,建筑限高设为55m。基地外北侧设有既有多层住宅,基地内东西沿街高层住宅与底部商业设施设计中的既定建筑。它们对基地内待布局的建筑共同构成了遮挡与被遮挡的设计约束,用灰色表示。日照要求为大寒日2h以上,累计、不连续,有效时间为8:00—16:00,建筑间距也有要求(不详述)。先使用初始布局生成程序得到一个符合上述容积率、限高、当地典型建筑单体类型要求的错位行列式初始布局(图2左),即10栋18层高层住宅建筑,该部分建筑总面积135 360m²。整个环境中设有107个窗户(日照测试点)需要满足日照。使用上述方法、软件,

对初始布局做优化，经22 564个回合，获得结果如图2右所示。

4.6 沈阳案例

第二个案例在沈阳选取（图3左），可建设的基地面积大约4.2hm²，容积率设为3.0，限高设为120m。实验按超高层住宅模式生成初始布局（图3左）。街坊内有10栋待布局的40层超高层住宅（建筑总面积124 800m²）和1栋既定多层社区中心，整个环境有50个窗户（测试点）需要满足大寒日2h日照。使用上述方法、软件，对初始方案做布局优化计算，经3 333个回合，获得结果如图3右所示。此时求解不再收敛，除基地以外西北角上的高层建筑中央位置的一处日照测试点仅达到1h外，其余测试点都满足2h要求。

4.7 郑州、上海、福州案例

依照上述经验，在郑州、上海、福州分别选取案例，进一步实验，主要是验证技术和方法在不同纬度典型城市应用的效率、可靠性。例如，郑州案例的容积率为3.5（偏高），上海案例的日照为冬至日1h，建筑为18层（小高层），福州案例容积率为3.5（也偏高），日照时数定为3h（较严）。计算结果见图4、图5、图6、表1，详细内容不展开。

4.8 实验过程小结

将多代理机制与深度学习结合的深度强化学习框架，为高层建筑群自动布局提供了新的技术途径，本研究选取多个城市，不同的日照要求、建筑容积率指标，初步验证了该途径有效。

实验选用的住宅建筑单体很常见，属中规中矩。初始布局的建筑高度、建筑总面积均接近规划所允许的上限。布局优化则旨在满足各种约束条件，日照资源、建筑间距还有富余，并不寻求建筑总面积（即容积率）的进一步突破。

在有经验的设计人员的配合下，可以通过逐步调节规划指标，逐步逼近容积率的最大值，或者将容积率偏大的“平庸”布局方案交给有经验的设计师

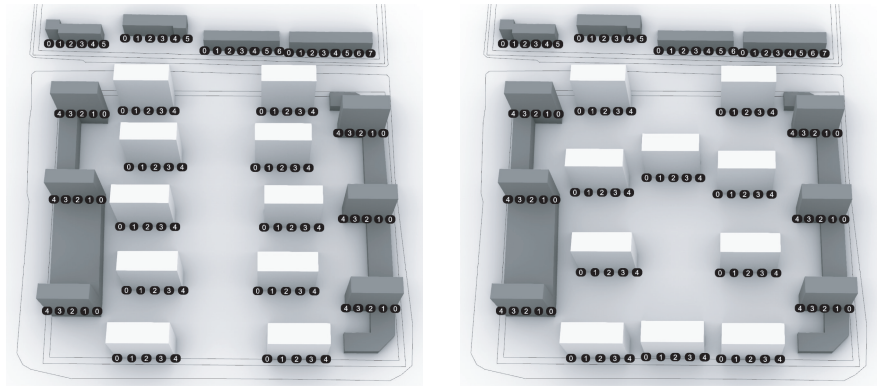


图2 北京市的初始布局（左）与自动布局结果（右）
Fig.2 The initial layout (left) and the optimized layout (right) in Beijing
资料来源：实验软件自动生成。

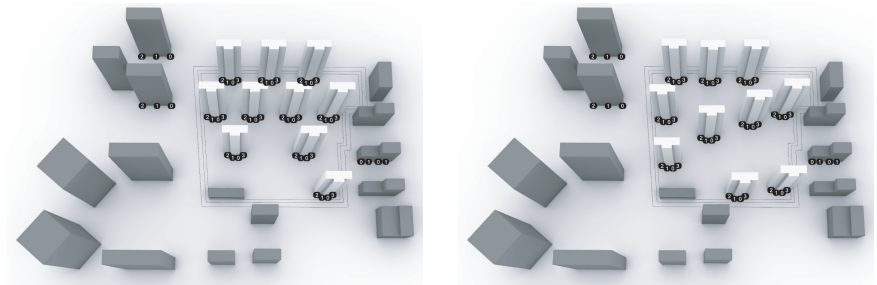


图3 沈阳市的初始布局（左）与自动布局结果（右）
Fig.3 The initial layout (left) and the optimized layout (right) in Shenyang
资料来源：实验软件自动生成。

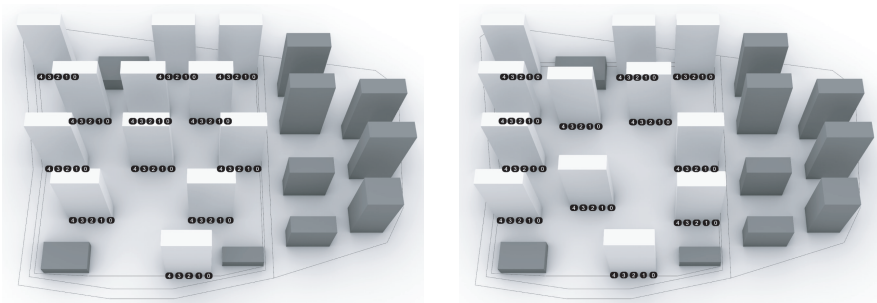


图4 郑州市的初始布局（左）与自动布局结果（右）
Fig.4 The initial layout (left) and the optimized layout (right) in Zhengzhou
资料来源：实验软件自动生成。

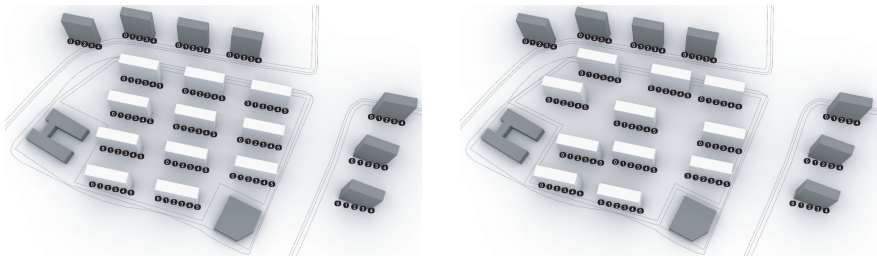


图5 上海市的初始布局（左）与自动布局结果（右）
Fig.5 The initial layout (left) and the optimized layout (right) in Shanghai
资料来源：实验软件自动生成。

再凭经验优化、改进。

经上述实验，也为近期研究指明了

有待改进的三项工作：

其一，丰富初始布局的建筑组成。

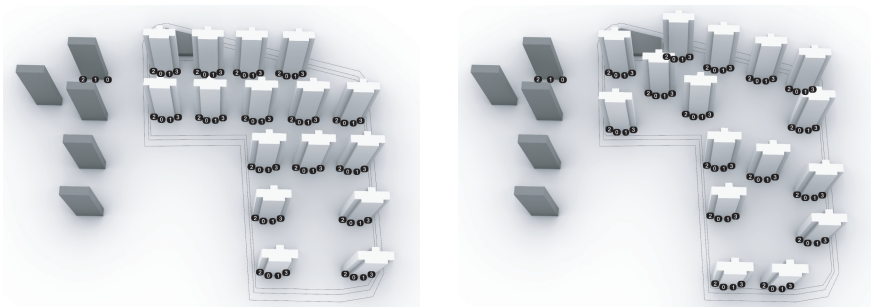


图6 福州市的初始布局（左）与自动布局结果（右）
Fig.6 The initial layout (left) and the optimized layout (right) in Fuzhou
资料来源：实验软件自动生成。

表1 实验城市的计算结果
Tab.1 A summary of the automation experiments

实验城市	北纬 (度)	日照约束	街坊面积 (m ²)	街坊 容积率	布局单体 层数	街坊建筑密 度(%)	首次有解 回合数
北京	39.9	大寒日 2hr	91 443	2.5	18	21.2	22 564
沈阳	41.8	大寒日 2hr	42 043	3.0	40	8.8	3 333
郑州	34.4	大寒日 2hr	82 844	3.5	33	14.4	36 169
上海	31.2	冬至日 1hr	63 512	2.0	18	16.6	101
福州	26.0	大寒日 3hr	85 618	3.5	33	13.4	4 917

资料来源：实验计算。

目前第一阶段的初始布局仅由一种建筑单体组成，下一步计划引入多种单体的混合模式，模拟实际设计中常用到的双拼、方向偏转等布局手法。这将比在布局优化阶段引入拼接、旋转等新的“代理”行动更加简洁而高效。

其二，验证同城成果间的“迁移学习”可能。鉴于深度神经网络训练成果间存在“迁移学习”现象，如果将一个街坊的求解副产品（决策网络）在同一城市（具有相同的日照、间距等约束）的其他街坊中，作为决策网络训练的起始状态，即可验证后者能否利用前者既已习得的单体移动经验，大大减少首次成功求解的回合数。

其三，实施并行计算。和其他既有的、能够同时计算地块内外日照约束的方法相比，本研究使用的方法求解效率较高（普通笔记本计算机上耗时在小时数量级），但实验中为了尽快搭建原型程序，对具有天然并行计算条件、每两次训练间可以独立积累经验的回合进程，依然采用了单核串行执行模式。如果利用十分普遍的多核、甚至分布式计算资源，可以提升求解速度，完全有望降至分钟数量级。

5 自动布局和一般控制性详细规划的关系

本研究仅针对住宅用地，对规划中的商业、办公建筑，只能人为纳入既有建筑。

该自动布局方法与一般控制性详细规划之间有两种应用模式（见图1底部）。

（1）规划控制指标容易达成共识。可以检验控制性详规中的常用指标是否适用，如：建筑的容积率、高度、最小间距、密度、后退红线，不需要人工布局就可保证基地内、外的日照要求。绿地率暂时不涉及，按经验，满足了建筑密度，一般可以满足绿地率。可以再在基地内人为布置集中绿地，保证其面积、位置要求。停车位涉及地下空间的设计，未纳入本系统，只能按经验考虑。

（2）规划控制指标敏感而存在争议。当外部条件比较苛刻，某些规划指标很敏感，容易产生争议时，可以将指标设定在敏感性的边缘（如：容积率偏高、建筑密度偏低、建筑高度偏低或偏高），利用本系统检验指标是否可行，对其他指标有什么影响。还可以不断调

整指标，产生多种布局，探索在什么条件下可突破经验值，接近极限值，这种策略近似于指标反推。

需要特别指出，本方法的结果不是完整的设计方案，而是可行的布局，供有经验的规划设计人员决策参考，进一步深化、完善，不鼓励无经验的技术人员用本方法去“充当”设计，甚或“战胜”有经验的设计者。

6 应用前景

尽管中央领导和学界都不鼓励高层、高密度开发，但是土地资源的紧约束处在更重要的地位，高层建筑群越来越多是迫不得已而为之。

城市规划各种技术性的规定会更多、更严、更复杂，节能、环保、节地、舒适、美观各种要求会接踵而来，很容易演变为用高层建筑群来应对。

鼓励多方参与规划，强化管理的法制，减弱行政领导个人意志干预，这会促使城市规划更加重视技术性的规定、指标。

上述三个背景条件会使高层建筑群及其相关技术规定、指标越来越多、越细。城市规划势必要经常调整、改进各种规定、指标，并且做谨慎的论证。传统途径是使用典型案例来对照、或者试做布局方案来检验。前一种途径，存在既有案例不对应、难寻找、量太少的局限；后一种途径，存在过程长、成本高，容易挂一漏万的局限。由基于自动布局方法的计算机来试做方案可看成是第三种途径，至少有三个优点：

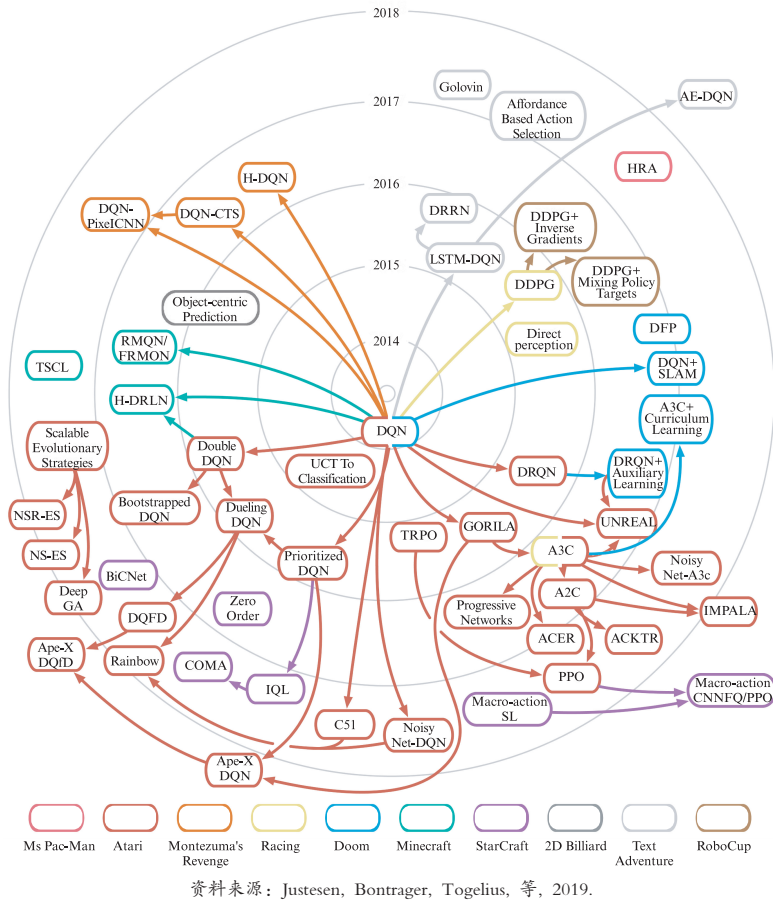
（1）不同规定、指标可以反复调整、尝试，包括外部条件的变化，最大程度防止挂一漏万。

（2）技术流程透明，允许相关利益方同时、同步参与，防止一言堂、弄虚作假。

（3）硬件、软件系统一旦成熟，技术门槛低会迅速降低，反复使用成本低，投入人力少，运作周期短。

笔者认为，在新型城镇化大趋势下，借助信息技术、人工智能的不断演进，高层建筑自动布局方法有望在城市规划领域得到推广应用。

附图： 深度强化学习算法群及攻克游戏的发展历程示意图
The history of deep reinforcement learning algorithms conquering games



资料来源：Justesen, Bontrager, Togelius, 等, 2019.

参考文献 (References)

[1] 高菲. 基于日照影响的高层住宅自动布局[D]. 南京大学硕士学位论文, 2014. (GAO Fei. High-rise residential automatic layout based on sunshine effect [D]. The Dissertation for Master Degree of Nanjing University, 2014.)

[2] JUSTESEN N, BONTRAGER P, TOGELIUS J, et al. Deep learning for video game playing [EB/OL]. arXiv:1708.07902v3 [cs.AI] 2019-02-18.

[3] LILLICRAP T P, HUNT J J, PRITZEL A, et al. Continuous control with deep reinforcement learning[EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/1509.02971>, 2016-02-29.

[4] 李飏, 郭梓峰, 季云竹. 生成设计思维模型与实现——以“赋值际村”为例[J]. 建筑学报, 2015(5): 94-98. (LI Biao, GUO Zifeng, JI Yun-zhu. Modeling and realizing generative design, a case study of the assignment of Ji village [J]. Architectural Journal, 2015(5): 94-98.)

[5] 凌玲, 王晓博, 李成刚. 基于内部可行域的住区建筑物自动布局算法[J]. 计算机技术与发展, 2013(8): 1-4. (LING Ling, WANG Xiaobo, LI Chenggang. An automatic building-layout algorithm based on inner available region[J]. Computer Technology and Development, 2013(8): 1-4.)

[6] MNIH V, KAVUKCUOGLU K, SILVER D, et al. Human level control through deep reinforce-

ment learning[J]. Nature, 2015, 518(7540): 529-533.

[7] Open AI. Baselines [EB/OL]. <https://github.com/openai/baselines>, 2019-01-01.

[8] PARISH Y I, MÜLLER P. Procedural modeling of cities[C]. Proceedings of the 28th Annual Conference On Computer Graphics and Interactive Techniques, 2001: 301-8.

[9] SUTTON R S, BARTO A G. Reinforcement learning: an introduction [M]. Cambridge, MA, MIT Press, 1998.

[10] SÖNMEZ N O. A review of the use of examples for automating architectural design tasks [J]. Computer-aided design, 2018, 96: 13-30.

[11] 宋靖华, 胡杨. 基于生成式设计的居住区生成强排方案研究[C]//全国高等学校建筑学专业教育指导委员会建筑数字技术教学工作委员会. 数字技术·建筑全生命周期——2018年全国建筑院系建筑数字技术教学与研究学术研讨会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018-09: 160-165. (SONG Jinghua, HU Yang. Study on automated layout of residential street blocks with generative design methods[C]//Proceedings of 2018 National Conference on Architecture's Digital Technologies in Education & Research, Digital Technology Building Life-Cycle. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018. 9: 160-165.)

[12] 宋小冬, 孙澄宇. 日照标准约束下的建筑容积

率估算方法探讨[J]. 城市规划汇刊, 2004(6): 70-73. (SONG Xiaodong, SUN Chengyu, An exploration on the FAR estimate approach under sunlight codes' limitation[J]. Urban Planning Forum, 2004(6): 70-73.)

[13] 宋小冬, 鹿磊, 孙澄宇. 住宅地块容积率估算方法再探[J]. 城市规划学刊, 2010(2): 57-63. (SONG Xiaodong, PANG Lei, SUN Chengyu, Re-exploration on the FAR estimation method for residential parcels[J]. Urban Planning Forum, 2010(2): 57-63.)

[14] 宋小冬, 田峰. 现行日照标准下高层建筑宽度和侧向间距的控制与协调[J]. 城市规划学刊, 2009(4): 82-85. (SONG Xiaodong, TIAN Feng. Width and lateral spacing of control and coordinating to skyscrapers under current national sunlight standard[J]. Urban Planning Forum, 2009(4): 82-85.)

[15] 孙澄宇, 罗启明, 涂鹏, 等. 街坊尺度下建筑群体三维体量的自动生成方法初探[J]. 城市建筑, 2016(1): 114-117. (SUN Chengyu, LUO Qiming, TU Peng, et al. Study on generation method of 3D building forms for street blocks in urban design applications[J]. Urbanism and Architecture, 2016(1): 114-117.)

[16] 孙澄宇, 罗启明, 宋小冬, 等. 面向实践的城市三维模型自动生成方法——以北海市强度分区规划为例[J]. 建筑学报, 2017(8): 77-81. (SUN Chengyu, LUO Qiming, SONG Xiaodong, et al. A practical approach to generating 3D city models, a case study of the density zoning project in Beihai[J]. Architectural Journal, 2017(8): 77-81.)

[17] 小库科技. AI变革百年汽车产业? 千年建筑行业也需要拯救[EB/OL]. <http://mp.weixin.qq.com/s/8XKKyxjgBU8AkZk-kD5iMQA>, 2017-12-27. (Xkool Technology: AI revolutiones the centurial mobile industry? millennium building industry also requires rescue[EB/OL]. <http://mp.weixin.qq.com/s/8XKKyxjg-BUSAkZkkD5iMQA>, 2017-12-27.)

[18] 徐佳楠, 李鸿渐, 李颢. 城市更新中的实例辅助方法探索[J]. 新建筑, 2018(4): 19-23. (XU Jianan, LI Hongjian, LI Biao. Searching for case-based approaches to assist urban renewal[J]. New Architecture, 2018(4): 19-23.)

[20] 张馨元, 陈中高, 吉国华. 基于多智能体系统的建筑自动排布工具原型研究[C]//数字技术·建筑全生命周期——2018年全国建筑院系建筑数字技术教学与研究学术研讨会论文集. 全国高等学校建筑学专业指导委员会建筑数字技术教学工作委员会, 中国建筑学会建筑师分会数字建筑设计专业委员会, 全国高校建筑学学科专业指导委员会建筑数字技术教学工作委员会. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018-09: 212-215. (ZHANG Xinyuan, CHEN Zhonggao, JI Guohua. Study on an automated layout tool based on the multi agent system framework[C]//Proceedings of 2018 National Conference on Architecture's Digital Technologies in Education & Research, Digital Technology Building Life-Cycle. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018-09: 212-215.)

修回: 2019-06