

基于模拟退火算法在建筑智能化中的应用研究

杨跃

西安医学院信息化处, 陕西 西安 710021

摘 要 : 本文探讨了模拟退火算法在建筑智能化中的应用, 详细阐述了模拟退火算法的原理与数学基础, 分析了建筑智能化涉及的各个方面, 并探讨了如何将模拟退火算法运用到建筑智能化设计过程中。通过具体实例和案例分析, 本文评估了基于模拟退火算法的建筑智能化在节能、环保及舒适度等方面的效果改善程度, 并与其他优化算法进行了比较。文章旨在为建筑智能化的发展提供新的视角和工具, 推动相关技术的持续发展和应用普及。

关 键 词 : 模拟退火算法; 建筑智能化; 应用研究

Research On The Application Of Simulated Annealing Algorithm In Building Intelligence

Yang Yue

Information Department of Xi 'an Medical College, Xi 'an , Shaanxi 710021

Abstract : This paper discusses the application of simulated annealing algorithm in building intelligence, elaborates the principle and mathematical basis of simulated annealing algorithm, analyzes all aspects of building intelligence, and discusses how to apply the simulated annealing algorithm to the process of building intelligent design. Through specific examples and case analysis, this paper evaluates the effect improvement degree of building intelligence based on simulated annealing algorithm in energy saving, environmental protection and comfort, and compares it with other optimization algorithms. The article aims to provide a new perspective and tools for the development of building intelligence, and promote the sustainable development and application popularization of related technologies.

Keywords : simulated annealing algorithm; building intelligence; application research

一、引言

随着信息技术的迅猛进步, 现代建筑的一个重要发展方向已经转向建筑智能化, 这一趋势正逐渐塑造着建筑行业的未来。建筑智能化通过集成各种先进的信息技术和计算机技术, 实现对建筑环境、设备、能源等的智能化管理和控制, 以提高建筑的使用效率、降低能源消耗、提升居住体验^[2]。然而, 在建筑智能化设计过程中, 往往会遇到大量的优化问题, 如设备布局、能源分配、温度控制等^[3]。这些问题通常需要考虑多个因素和约束条件, 求解过程复杂且难以直接求解。

模拟退火算法作为一种有效的优化算法, 在解决这类问题上具有独特的优势。模拟退火算法是基于固体退火原理发展而来的一种优化算法, 通过模拟固体物质在加热和冷却过程中的能量变化, 以一定的概率接受较差的解, 从而避免陷入局部最优解, 实现全局最优解的搜索^[1]。因此, 本文将探讨模拟退火算法在建筑智能化中的应用, 以期能为建筑智能化的发展提供新的视角和工具。

二、国内外研究

(一) 国外

在国外, 模拟退火算法在建筑智能化领域的应用研究起步较

早, 并且已经取得了显著的成果。研究主要集中在建筑节能、建筑环境控制、建筑设备优化等方面。例如, 研究者将模拟退火算法应用于建筑能耗预测和优化中, 通过构建能耗模型, 实现建筑能耗的精确计算和有效控制。此外, 还有研究者将模拟退火算法应用于建筑设备调度和优化中, 提高设备的运行效率和使用寿命。

(二) 国内

近年来, 国内学者对模拟退火算法在建筑智能化领域的应用也进行了广泛的研究^[3]。研究内容主要涉及建筑照明优化、室内环境控制、建筑能源管理系统等方面。例如, 有学者利用模拟退火算法对建筑照明系统进行优化, 通过调整灯具的布局和亮度, 实现照明系统的节能和舒适性的提升。同时, 还有研究者将模拟退火算法应用于室内环境控制中, 通过调节空调系统的温度和湿度, 改善室内环境质量。

三、模拟退火算法原理与数学基础

(一) 模拟退火算法

模拟退火算法(SA)借鉴了固体力学的退火过程, 该算法以概率为基础, 其核心思想是在一个高的初始温度下, 使问题解的空间分布达到高度无序状态, 然后逐渐降温, 使得空间中的粒子

作者简介: 杨跃(1992-2), 男, 汉族, 陕西西安人, 硕士, 助理工程师
研究方向: 网络安全、人工智能、数据挖掘与分析, 邮箱: 12979579391@qq.com

逐步趋向有序，以寻找目标函数的全局最优解^[4]。

在固体退火的过程中，首先需要将固体加热至高温状态，这一过程中，固体内部的粒子因温度的升高而运动加剧，导致内能增加，从而使材料结构变得不稳定，粒子呈现无序状态。紧接着，固体经历一个缓慢的冷却过程，在这个过程中，粒子开始逐渐有序排列，内能随之降低，直至材料结构达到稳定状态。在这一过程中，固体在每一个温度点都达到一种能量平衡状态，最终在常温下达到能量最低的基态。

模拟退火算法模仿这一过程，从高温出发，允许在较高的温度下进行大范围搜索，利用概率跳跃特性以避免陷入局部最优。随着温度的逐步下降，算法的搜索行为也逐渐从广泛的探索转向精细的开发，以期找到一个优良的（或全局最优的）解决方案。这种方法通过在搜索过程中引入随时间逐渐减少的概率跳跃，有效避免了在优化过程中陷入局部极小值，并最终趋近于全局最优解。

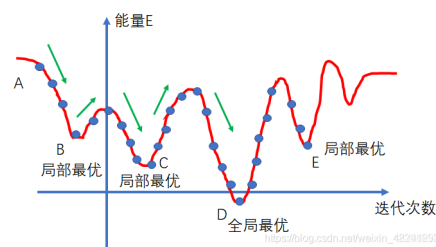
（二）模拟退火算法原理

模拟退火算法结合了 Metropolis 算法和退火过程，其中 Metropolis 算法负责内循环，而退火过程则构成外循环。在外循环，也就是退火过程中，算法首先将固体加热至初始高温 $T(0)$ ，在模拟退火算法中，模拟退火算法起始时以降温系数 α 作为指导，逐渐降低系统的温度，此降温过程会不断继续直至系统达到预设的终止温度 T_f ，此时标志着退火过程的结束。在退火过程中的内循环，即应用 Metropolis 算法的阶段，算法会在每个当前的温度级别上进行 L 次迭代。这些迭代的目的在于在当前温度条件下搜索并找到能量的最小值，从而确定对应的最优解。通过这样的迭代过程，算法在逐步降温的同时逐步优化解的质量。

四、算例分析

（一）模拟退火算法

为了验证模拟退火算法在建筑智能化中的应用效果，本文选取了一个具体的建筑智能化设计案例进行分析。在该案例中，需要优化建筑内部的能源分配和温度控制。通过将问题抽象为目标函数和约束条件，并使用模拟退火算法进行求解，得到了最优的能源分配和温度控制方案。与其他优化算法（如遗传算法、粒子群优化等）相比，模拟退火算法在求解过程中表现出了更好的全局搜索能力和收敛速度^[9]。如图1所展示的是一次温度下，经过迭代 L 次，固体能量的变化情况。在这个过程中，温度保持恒定，而能量则经历变化。当前状态 $x(n)$ 的能量高于下一个状态 $x(n+1)$ 的能量时，意味着状态 $x(n)$ 的解不如状态 $x(n+1)$ 的解优秀，因此接受状态 $x(n+1)$ 。然而，当算法遇到一个比当前状态能量更高的下一状态时，为了维持搜索的多样性和避免过早陷入局部最优，我们需要引入一个接受概率 P 来决定是否接受这一能量更高的状态作为新的当前解。具体来说，如果下一状态的能量高于前一个状态的能量，则接受这一更差解作为新当前状态的概率被设定为 P 。接下来，我将详细解释如何根据这个概率 P 来决定是否接受下一个状态。



> 图1 模拟退火算法

Metropolis 算法是模拟退火过程中的关键部分，它能够使局部最优解有机会跳出当前状态，如图1中的 B、C、E 所示。算法的基础是 Metropolis 在1953年提出的 importance sampling 方法，该方法通过概率来决定是否接受新状态，而非依赖于完全确定的规则。这种方法被称为 Metropolis 准则，并且由于其相对较低的计算量和有效性，被广泛地应用于各种优化和搜索问题中。

在 Metropolis 算法中，假设初始状态位于 A 点，经过多次迭代后，可能会达到一个局部最优解 B。如果在到达 B 点时，能量 $E(n)$ 比初始状态 A 的能量要低，这表明算法正在接近最优解，因此会毫无条件地接受状态转移，即百分百转移至状态 B。然而，如果在状态 B 下一步的能量 $E(n+1)$ 上升了，即情况变得更糟，传统梯度下降方法会禁止这种状态的转移。但在 Metropolis 算法中，新状态仍然有可能以一定的概率被接受^[9]。这个接受概率 P 取决于当前状态和能量等因素，是算法设计中的一个重要参数。

从数学的角度出发，我们假设系统的上一个状态为 $x(n)$ ，而系统依据某一指标（如梯度下降或能量）转移到下一个状态 $x(n+1)$ 时，对应的能量也从 $E(n)$ 变为 $E(n+1)$ 。在这样的转移过程中，系统从状态 $x(n)$ 迁移到状态 $x(n+1)$ 的接受概率 P 可以定义为：

$$P = \begin{cases} 1, E(n+1) < E(n) \\ e^{\frac{E(n+1) - E(n)}{T}}, E(n+1) \geq E(n) \end{cases}$$

在模拟退火算法中，能量的减小指示着系统朝着更优的状态转移，因此这种转移会被无条件接受。相反，如果能量增大，表明系统可能正在偏离全局最优值，算法不会立即拒绝这样的转移，而是通过概率操作来决定。具体而言，模拟退火算法会在 $[0, 1]$ 区间内生成一个均匀分布的随机数 ϵ 。接着，算法会评估该随机数与预设的接受概率 P 的大小关系：如果 ϵ 小于 P ，那么系统当前的状态转移将被接受；反之，如果 ϵ 大于 P ，则状态转移将被拒绝，算法将进行下一轮迭代以寻找新的状态转移。值得注意的是，接受概率 P 并不是一个固定的值，它依赖于能量变化量和当前温度 T ，因此随着算法的进行， P 的值会动态地变化。

通过将固体退火过程的原理应用于组合优化问题，我们可以得到模拟退火算法来求解组合优化问题。在该算法中，内能 E 被视作目标函数值 f ，而温度 T 则被转换为控制参数 t 。算法从一个初始解 i 和控制参数 t 的初值开始，通过迭代执行“生成新解、计算目标函数差、决定接受或舍弃新解”的过程，并随着算法的进行逐步减少 t 的值。这一过程受到一个精心设计的冷却进度表的控制，该表详尽地规定了控制参数 t 的初始值、每次迭代的衰减因子 Δt 、每个 t 值下需执行的迭代次数 L ，以及算法终止的停止条件 T_f 。在每个温度级别，算法会进行 L 次迭代，旨在寻找当前温度

下的最优解。温度在此处用于计算转移概率 P ，随着温度的每次下降，转移概率 P 也会相应减小。这意味着在不同温度下的迭代过程会呈现出不同的结果。当算法达到终止温度 T_f 时，转移概率 P 趋近于 0，此时算法停止迭代，当前的解被视为近似最优解。整个退火过程通过这种方式逐步逼近最优解，实现了在组合优化问题中的有效应用^[10]。

(二) 退火过程中参数控制

(1) 为了保障模拟退火算法在解空间中的有效探索，我们需要将初始温度 $T(0)$ 设定为足够高的水平，以确保在算法初期所有可能的状态转移都能被接受。较高的初始温度不仅有助于算法在更广泛的解空间中进行搜索，进而提高找到高质量解的概率，但同时也需要注意，它也可能带来算法运行时间的增加。因此，在设定初始温度时，需要权衡解的质量和算法的效率。

(2) 模拟退火算法的退火速率，也就是温度的下降方式，最简单的做法是采用指数式下降：

$$T(n) = \alpha T(n), n = 1, 2, 3, \dots$$

在模拟退火算法中，为了确保在每一温度水平上都进行足够的转移尝试以充分探索解空间，温度的下降通常采用指数式的方式。这里， α 是一个小于 1 的正数，其取值范围通常在 0.8 到 0.99 之间。然而，这种指数式下降的方式虽然确保了算法在搜索过程中拥有足够的探索能力，但同时也带来了收敛速度相对较慢的问题，因为它以逐步、平稳的方式降低温度。

(3) 终止温度如果温度下降到终止温度或者达到用户设定的阈值，则退火完成。

(三) 算法步骤

(1) 初始化：初始温度 T （充分大），初始解状态 S （是算法迭代的起点），每个 T 值的迭代次数 L 。

(2) 对 $k=1, \dots, L$ 做第 (3) 至第 6 步：

(3) 产生新解 S' 。

(4) 计算增量 $\Delta T = C(S') - C(S)$ ，其中 $C(S)$ 为目标函数， $C(S)$ 相当于能量。

(5) 若 $\Delta T < 0$ 则接受 S' 作为新的当前解，否则以概率 $\exp(-\Delta T/T)$ 接受 S' 作为新的当前解。

(6) 如果满足终止条件则输出当前解作为最优解，结束程序。

(7) T 逐渐减少，且 T_0 ，然后转第 2 步。

此外，本文还通过对比分析的方式评估了基于模拟退火算法的建筑智能化在节能、环保及舒适度等方面的效果改善程度。结果表明，基于模拟退火算法的建筑智能化设计方案能够显著降低能源消耗、提高室内环境舒适度，并减少对环境的影响。

(四) 算法分析

$$f_7(X) = 4x_1^2 - 2.1x_1^4 + \frac{x_1^6}{3} + x_1x_2 - 4x_2^2 + 4x_2^4, |x_i| \leq 5$$

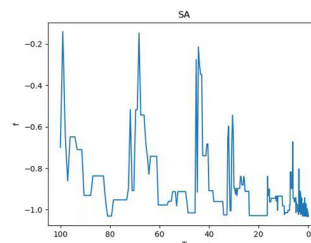
其最优状态和最优值为

$$\min(f_7(X^*)) = f_7(0.08983, -0.7126) = f_7(-0.08983, 0.7126) = -1.0316285$$

本实例中的目标是寻找目标函数 $f(x)$ 的最小值，该函数代表能量。为了实现这一目标，我们设定一个控制参数 t ，即温度。我

们旨在找到使目标函数 $f(x)$ 达到最小值的最优状态，具体而言，就是要确定 x_1 和 x_2 的值，使得在 -5 到 5 的范围内，目标函数 $f(x)$ 取得最小值。在每次迭代过程中， x_1 和 x_2 可以在 -5 到 5 的区间内任意取值。

首先设置初始温度为 $T_0 = 100$ ，降温系数为 $\alpha = 0.99$ ，终止温度为 $T_f = 0.01$ ，内循环迭代次数 $iter = 100$ 。结果如图 2 所示：



> 图 2 实验结果

通过实验结果可以看出通过对模拟退火算法原理的阐述、建筑智能化优化问题的分析以及算法在实际案例中的应用效果评估，证明了模拟退火算法在解决建筑智能化中的优化问题方面具有独特优势和广泛应用前景。

五、结论

本文探讨了模拟退火算法在建筑智能化中的应用，并通过具体实例和案例分析验证了其有效性。研究表明，模拟退火算法在解决建筑智能化中的优化问题方面具有独特的优势，能够显著提高建筑的使用效率、降低能源消耗、提升居住体验。因此，建议在未来的建筑智能化设计中推广使用模拟退火算法等相关优化技术。同时，本文也指出了目前研究存在的一些问题和不足之处，如算法参数设置、收敛速度等。为了进一步提高模拟退火算法在建筑智能化中的应用效果，需要进一步研究和改进算法的性能和参数。

参考文献：

- [1] 李俊峰，施鹏飞，高虎. 中国风电发展报告 [R]. 海口：海南出版社，2010：1-30.
- [2] 张三峰，吴国新. P2P 网络非对称 DHT 方法及负载均衡技术研究 [J]. 通信学报，2007(09)：60-67.
- [3] 谭胜兰. 模拟退火遗传算法在网络负载均衡中应用研究 [D]. 东莞：东莞理工学院，2011：111-114.
- [4] 赵东来，牛东晓，杨尚东. 基于改进遗传算法的海上风电场消纳拓扑结构优化模型 [J]. 中南大学学报，2019(04)：1100-1001.
- [5] 孙莹，刘焱佐，武晓晓. 2023. 基于大规模邻域搜索的模拟退火算法求解 TSP. 计算机仿真，40(6)：415-420.
- [6] 白爱丽. 建筑电气智能化设计对智能建筑发展的影响分析 [J]. 电子乐园，2022(2)：1-3.
- [7] 李俊洁. 关于智能化建筑电气节能优化设计的策略研究 [J]. 河南建材，2022(11)：83-85.
- [8] 陈婷婷，牛美霞. 基于模拟退火算法的通讯网络优化设计 [J]. 工程技术研究，2020,2(8)：155-156.
- [9] 刘娜，谭亦曼，莫伟强，等. 基于模拟退火算法的 Halbach 直线发电机优化设计 [J]. 电工技术学报，2021,36(6)：1210-1218.
- [10] 陈哲明，庄威洋，陶军. 基于模拟退火算法优化增益的车辆传动比算法设计 [J]. 汽车实用技术，2023,48(1)：31-37.