

配电网网络重构的现状和发展

刘莉^{1,2}, 陈学允², 郭志忠^{1,2}

(1. 许继集团北京许继电气有限公司, 北京, 100085; 2. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨, 150001)

摘要: 配电网网络重构是配电自动化的重要组成部分, 是系统安全经济运行的重要举措。回顾了配电网网络重构的历史和发展现状, 对各种重构方法进行了详细评述, 分析了各算法的特点、存在的问题, 以促进该研究领域的进一步发展。

关键词: 配电网; 重构; 启发式算法; 最优流模式法; 遗传算法; 模拟退火法

中图分类号: TM727.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)06-0021-05

1 引言

配电网优化是配电自动化的重要组成部分, 是国家投巨资进行的城乡电网改造工程的重要软件。在当前经济迅猛发展、供电日趋紧张的情况下, 通过配电网网络重构, 充分发挥配电网的潜力, 提高系统的安全性和经济性, 具有很大的经济效益和社会效益。

任何一个配电网, 理论上都存在一个最优的网络结构, 在这个最优结构下, 各负荷点的运行电压、网络损耗和负荷平衡的协调优于其它可能方案。当负荷变化时, 这个最优结构也随之变化, 计算出这个最优结构, 使网络运行于最优状态, 这就是配电网网络重构研究的主要内容。

配电网网络重构又称配电网组态, 或配电网馈线组态、配电网馈线重构。配电网网络重构就是通过改变分段开关、联络开关的组合状态, 即选择用户的供电路径, 达到降低网损、消除过载、平衡负荷、提高电压质量的目的。

配电网网络重构是高维数非线性组合优化问题。自 A. Merlin^[1] 在 1975 年首次提出以来, 受到电力科学工作者的广泛重视, 现正成为一个国际热门课题。目前配电网网络重构研究方法很多, 大致分为两类:

- (1) 启发式算法、最优流模式法及其结合方法;
- (2) 现代优化计算方法, 包括人工神经网络、模拟退火法、遗传算法等。

2 启发式算法、最优流模式法及其结合方法

1975 年 A. Merlin^[1] 采用启发式规则及分支定界策略确定具有最小网损的网络结构。该方法首先将所有的联络开关都闭合, 将辐射网变成弱环网, 然

后采用启发式规则逐一打开开关, 直至所形成的新辐射网的网损不能再减少为止。该方法的优点是最终的网络结构独立于初始开关状态, 可寻到最优解或次最优解。缺点是没有考虑网络约束, 并且负荷以恒定的有功功率电流源表示。

1988 年 D. Shirmohammadi^[2] 对文献 [1] 的方法做了重大改进, 提出最优流模式法 (OFP—Optimal Flow Pattern)。最优流模式是指在弱环网中能产生最小网络损耗的分支中的电流分布, 是在满足负荷需求的前提下以网损最小为目标函数推导出来的。推导的结果是: 将网环中支路的阻抗换成电阻, 在满足 KCL 和 KVL 的条件下, 网环支路中的电流分布能产生最小的网损。该方法确定一个开关操作需要两次潮流计算, 一是用补偿法算出弱环阻抗网的潮流, 将负荷转换为等值节点注入电流; 二是固定节点注入电流, 求解电阻网的潮流, 即最优流。打开流过的最优流为最小的一个开关, 解开一个环, 过程重复进行, 直至打开全部环, 网络恢复成辐射网为止。应该说文献 [2] 对配电网网络重构研究的影响是巨大的, 作者以优化理论为依据, 把开关操作的组合问题变成了开关的启发式单开问题, 将复杂问题简单化了。后续文献大多以此为基础。其缺点在于: 初始时闭合所有开关使网络中同时存在多个环网, 求解最优流时, 各环网相互影响, 打开开关的先后次序对结果有很大影响。1992 年 S. K. Goswami^[3] 在文献 [2] 的基础上做了改进, 每次只闭合一个联络开关, 这时网络中仅有一个环存在, 然后计算最优流, 在电流最小处将环打开, 形成新的辐射网。如此重复进行直至网损不能再减少为止。文献 [3] 确定一个开关操作需要一次辐射网潮流和两次单环网潮流, 计算量大减少, 但在选择开关的闭合顺序方面没有理论依

据,显然开关的闭合顺序会影响算法的速度。

与最优流模式法几乎同时问世的另外一种重要方法是基于网损估算公式的启发式算法(Heuristic Method)。1988年S. Civanlar^[4]等推导出—组负荷从—条馈线转移到另一条馈线时网损变化的估计公式,指出只有当负荷从电势低的点转移到电势高的点,而且这两点间电势差足够大时才有可能引起网损下降。利用这一结论可以消除不必要的开关操作,从而大大降低了计算量。但算法在推导过程中将负荷处理成恒定电流,用重构前的潮流分布进行网损估计,由于重构可能引起较大的负荷转移及电压变化,因此,网损估计有一定误差。M. E. Baran和F. F. Wu^[5]延用了文献[4]的思路,用—组简单潮流方程,快速计算了负荷在两变电站间或两馈线间转移前后的功率分布,从而计算出开关操作前后的网损下降量,并将其作为搜索判据。显然,文献[5]对网络下降量的计算比文献[4]精确,但计算时间要长—些。

邓佑满^[6]提出改进最优流模式法,采纳了文献[3]提出的一次只闭合—个联络开关的思想,并将文献[4]的网损估算公式引入算法中。考虑了负荷的电压静特性,用启发式规则确定联络开关的闭合顺序。利用网损估算公式估算打开环路各分段开关后对应的网损变化,选择网损增量为最小、同时又满足过载约束的支路打开。每一对开关操作都对应网损变化量,按网损下降量降序排列,选择使网损下降最大的开关操作,来满足开关操作次数约束。改进最优流模式法有很好的鲁棒性,计算量小,有在线应用潜力。

杜鹏等^[7]对单环网从电流模值最小处开环的方法从理论上进行了论证和分析,并根据配电网的特点对最优流模式法进行了改进,引入了运行约束,取得了很好的效果。冯伟江^[8]从安全约束角度做了很多的工作。

赵军^[9]提出了配电网重构的均衡算法。其基本思想是通过开关操作将负荷较重分支的负荷转移给负荷较轻的分支,使之达到均衡效果。指出开关两端电压差越大,说明开关两端负荷越不平衡,也就越须平衡,故先闭合两端电压差最大的开关。这与文献[4]提出闭合两端电压差最大的开关可获得最大的网损下降—致的。在确定单环网内打开何处开关时,文献[9]选择环内电压最低点和次最低点之间的支路开断。该算法快速有效,但没有说明如何推广到多电源间的重构问题。

T. P. Wagner^[10]通过实例对线性规划法、最优流模式法,以网损估算公式为基础的启发式算法进行了分析比较。该实例包括—个44kV的大型配电网,研究表明,线性规划法不适于网络重构的实时进行,而后两种算法,尽管寻优结果可能是次最优解,但却可以实时进行。

从目标函数来看,大多网络重构方面的文献以网损最小为目标函数,—部分文献兼顾网损最小和负荷平衡^[5,12]。K. Aoki^[12]从日本电网的实际出发,采用实用的近似的分支交换法求解,考虑了变压器容量和馈线容量约束。算法既可用于正常运行状态也可用于事故状态。I. Roytelman^[13]提出多目标重构。I. Roytelman指出:由于不同的电力公司所属的配电网性质不同,追求的目标也不同。同—电力公司也可以在不同的季节同时或分别有几个目标函数。故—个通用的重构算法中包括几个目标函数是必要的,也是可行的。整个算法分两阶段进行。第—阶段将所有开关都闭合,对弱环网应用特殊潮流分析得出次最优解;在第二阶段,用支路交换法不断地修正该结果。为加速收敛,引入了特殊的拓扑模型。Zhou Qin^[14]从实时运行出发,提出以运行费用最小为目标函数,运行费用包括开合开关操作费用以及指定时间内降低网损所产生的经济效益的代数和。G. J. Peponis^[15]考虑了继电保护、可靠性及电压约束,提出进行重构以确保最优运行。此外,—些文献^[16~19]考虑了故障时的重构问题,提出以断电恢复和负荷平衡为重构的目标函数。Vesna Borozan^[20]探讨了配电网重构在自动化程度低的电网的应用情况。

从时间来看,大多文献把网络重构问题的解决局限在某一运行点上,Rubin Taleski^[21]将其扩展到—段时间内,以能量损耗最小为目标函数,根据负荷曲线估算出某—时间段内能量损耗最小的开关,将其打开。

另外,还有一些文献^[22~24]论述了三相不对称配电网重构问题。王守相^[22]通过对网络中的联络开关按其单独闭合后形成的环路之间的联系进行分类,并辩明目标函数的极小点与系统基本邻域的对应关系,提出—种新的三相不对称配电网重构的解法,可求得全局最优或近似最优解。文献[23~24]解法与前述三相对称问题的解法基本—致,此不赘述。

3 现代优化算法

现代优化算法是—种智能技术,包括禁忌搜索

(TS—Tabu Search)、模拟退火(SA—Simulated Annealing)、遗传算法(GA—Genetic Algorithm)、人工神经网络(ANN—Artificial Neural Networks)等。这些算法涉及生物进化、人工智能、数学和物理科学、神经系统等概念,是以一定的直观基础而构造的算法。

现代优化算法兴起于20世纪80年代初期。当人们不满足常规算法求解复杂问题时,现代优化算法开始体现其作用。正是因为很多实际优化问题的难解性,以及现代优化算法在一些优化问题中的成功应用,使得现代优化算法成为解决优化问题的一种有利工具。

3.1 模拟退火法

在现代优化算法中,SA最早被引入求解配电网网络重构问题^[24~27]。SA是从熔融金属的物理退火过程与优化过程的相似性推导而来的。SA的性能很大程度上依赖于退火方案的选择,初始结构与初始温度 T_0 的选择将影响全局最优的搜索。 T_0 选择得越高,搜索到最优解的可能性越大,但这要以花费计算时间为代价;反之,节省时间却不能保证全局最优。

Hsiao - Dong Chiang^[24~25]等人用改进的SA和-约束法分两阶段求解网络重构问题,考虑了负荷约束和运行约束。胡敏优^[27]在改进SA基础上又做了进一步改进,提出将当前最优解作为当前控制温度下的初始当前解,从而构造出一个单调递减的初始当前序列,这一改进减小了算法对控制参数的依赖性,且进一步减少了计算量。

3.2 遗传算法

遗传算法是一种基于自然选择和自然遗传学机理的迭代自适应概率性搜索方法。所有的自然种类都是适应环境而得以生存,这一自然适应性是GA的主旋律。GA搜索结合了达尔文适者生存和随机信息交换,前者消除了解中不适应因素,后者利用了原有解中已有的知识,从而有力地加快了搜索过程。从理论上讲,GA能以概率1收敛到全局最优点,它对初始条件与目标函数无任何要求。缺点是寻优时间长,有时会陷入局部最小点。文献[28~31]用遗传算法解决配电网网络重构问题。Koichi Nara^[28]用实例证明GA的计算速度要好于SA。对106个开关的网络,使用GA用时45.2min,用SA耗时301.2min。可见,无论GA还是SA,如想投入在线使用,必须在提高寻优速度上想办法。

需要指出的是,在文献[28]中,为避免形成环网,每个控制变量都由两部分组成:开关在环中的位

置及环中打开的开关号。而配电网中一些开关有可能同时属于两个甚至多个环网,如果事先规定了每个开关所在的环,就会遗失一些组合,有可能遗失最优结构。同时这种方案用二进制表示时个体位串很长,降低了计算效率。刘莉^[31]针对上述问题做了一定的改进,采用直接编码方案,并提出用模糊遗传算法求解,提高了计算速度。

Y. H. Song^[32]用进化规划法解配电网网络重构问题。陈星莺^[33]将模拟退火法和遗传算法结合起来充分发挥各自的优点。作者认为GA在搜索的初始阶段搜索效率是非常高的,但在接近这最优解附近时,搜索速度开始变慢,近乎漫步状态,从而使搜索到全局最优解花费漫长的时间,而SA过分依赖于初始温度的选择。所以作者先用遗传算法确定模拟退火法的初始结构与初始温度,然后采用模拟退火法搜索全局最优解。

3.3 专家系统和神经网络

Kyung - Hee Jung^[34]用专家系统解决主变或馈线超载及约束越界问题,通过开闭联络开关和分段开关实现网络重构,用一部分开关动作来达到主变和馈线平衡。该文认为在实际系统中开关动作并不引起较大的电压变化,没有计算潮流而是用近似的方法检查电压是否越限。为了减小搜索空间,采用基于启发规则的专家系统,该系统以搜索树技术为基础。

Y. Hayashi^[35]用Hopfield神经网络模型进行网络重构。将Hopfield模型与工程实际经验相结合,以使变电站发生事故时得到一个更实用的网络结构。该文提出两个目标函数,第一目标是使所有变电站的目标值与实际带载值之差的绝对值的和为最小;第二目标是确保实际带载值不超过目标值。Hoyong Kim^[36]利用ANN求解重构问题。

由于ANN技术需要大量的训练样本,并且当网络结构变化时,又需重新训练,这不满足配电网的要求。对于经常变化的配电网,ANN的实用性受到约束。

4 结论

启发式算法、最优流模式法及其结合方法的优点是计算速度快,但大多方法按照某种指标将联络开关排队,一次只合上一个联络开关,形成一个单环网,再利用某种规则确定要打开的开关,重复进行,直到开关状态的改变不能使目标函数减小(对于最小值优化问题)为止。这一过程实质是支路交换过

程,所得的结果可能是局部最优解。因为算法只选择使目标函数减小的开关状态交换,而实际中可能存在这样一种情况:某一状态交换使目标函数上升,但却使另一状态交换获得更大的目标函数下降,从而使结果跳出局部最优解的圈子,获得全局最优解^[6]。另外,对于一个复杂网络,一个开关有可能同时属于多个网环,每次合上一个开关再打开另一个开关的寻优过程,有可能漏掉最优解。

配电网重构是寻找一种最优的网络结构,如果想得到最优解,必须从全局的角度来分析解决问题。遗传算法、模拟退火法可以求得很好的解,却由于计算时间过长而限制了其应用。目前不少研究人员致力于研究如何提高算法速度,取得了一定成效,但离实用还有一定的距离。

如何解决算法的精度和计算速度之间的矛盾,仍是值得关注的课题。

抛开重构算法本身,配电网的网架结构、通讯设施以及开关功能是制约配电网重构发展的关键。配电网规模大,参数繁杂,真正地实现实时重构是很困难的^[38]。它需要精确庞大的数据采集系统,并能迅速准确地实现信息的传递和接收;需要快速潮流计算,实时分析网络拓扑结构;需要密切网络联系,并能够自动投切众多联络性断路器;需要灵敏、可靠、安全进而可以自动修改的继电保护,等等。到目前为止,配电网重构还是离线应用。随着配电网的发展,其对电能可靠性的要求,即故障后快速重构,最大限度地恢复用户的继续供电,必然地促使配电网内更完善更紧密的联系,且这种联系将逐渐实现自动、实时,所有这些方面的发展,又为网络重构提供了可能,并推动其发展。

参考文献:

- [1] Merlin A, Back H. Search for a Minimal - Loss Operating Spanning Tree for an Urban Power Distribution System[C]. Proceedings of Fifth Power System Computation Conference. Cambridge. 1975 :2 ~ 6.
- [2] Shirmohammadi D, Hong H W. Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Line Loss Reduction[J]. IEEE Trans on PWRD, 1989, 4(2) :1492 ~ 1498.
- [3] Gswami S K, Basu S K. A New Algorithm for the Reconfiguration of Distribution Feeders for Loss Reduction[J]. IEEE Trans on PWRS, 1992, 7(3) : 1484 ~ 1491.
- [4] Civanlar S, Grainger J J, Yin H, Lee S S H. Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction[J]. IEEE Trans on PWRD, 1988, 3(3) : 1217 ~ 1223.
- [5] Baran M E, Wu F F. Networks Reconfiguration in Distribution System for Loss Reduction and Load Balancing [J]. IEEE Trans on PWRD, 1989, 4(2) : 1401 ~ 1407.
- [6] 邓佑满,张伯明,相年德. 配电网重构的改进最优流模式法[J]. 电网技术,1995,19(7) : 47 ~ 50.
- [7] 杜鹏,王主丁,刘多,徐国禹. 配电网最优流模式算法的研究. 全国高等学校电力系统及其自动化专业第十二届学术年会论文集[C]. 保定,1996 : 624 ~ 629.
- [8] 冯伟江,胡敏优. 考虑安全约束的配电系统最优网络重构[J]. 电力系统自动化, 1993,17(4) :11 ~ 16.
- [9] 赵军,郭志忠. 配电网重构的平衡算法[C]. 全国高等学校电力系统及其自动化专业第十一届学术年会论文集. 成都 :1995. 283 ~ 287.
- [10] Wagner T P, Chikhani A Y, Hackam R. Feeder Reconfiguration for Loss Reduction: An Application of Distribution Automation[J]. IEEE Trans on PWRD, 1991, 6(4) : 1922 ~ 1933.
- [11] Sarfi R J, Salama M M A, Chikhani A Y. Distribution System Reconfiguration for Loss Reduction: An Algorithm Based on Network Partitioning Theory[J]. IEEE Trans on PWRS, 1996,11(1) : 504 ~ 510.
- [12] Aoki A, Kuwabara H, Satoh T, Kanezashi M. An Efficient Algorithm for Load Balancing of Transformers and Feeders by Switch Operation in Large Scale Distribution Systems [J]. IEEE Trans on PWRD, 1988,3(4) : 1865 ~ 1872.
- [13] Roytelman I, Melnik V, Lee S S H, Lugtu R L. Multi - objective Feeder Reconfiguration by Distribution Management System[J]. IEEE Trans on PWRS, 1996,11(2) :661 ~ 667.
- [14] Zhou Qin, Shirmohammadi D. Distribution Feeder Reconfiguration for Operation Cost Reduction [J]. IEEE Trans on PWRS, 1997,12(2) : 730 ~ 735.
- [15] Peponis GJ, Papadopoulos M P, Hatziaargyriou N D. Optimal Operation of Distribution Networks [J]. IEEE Trans on PWRS, 1996, 11(1) :59 ~ 67.
- [16] Zhou Qin, Shirmohammadi D, Edwin Liu W H. Distribution Feeder Reconfiguration for Service Restoration and Load Balancing[J]. IEEE Trans on PWRS, 1997,12(2) : 724 ~ 729.
- [17] Lin M L, Chin H C. New Approach of Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction and Service Restoration [J]. IEEE Trans on PWRD, 1998, 13(3) : 870 ~ 875.
- [18] Cocic S, Ozerven C S, Lo K L. Computer - based Strategy for the Restoration Problem in Electric Power Distribution Systems[J]. IEE Proc - Gener Transm Distrib, 1997, 144 (5) : 389 ~ 398.
- [19] McDermott T E, Drezga I, Broadwater R P. A Heuristic Nonlinear Constructive Method for Distribution System Reconfiguration[J]. IEEE Trans on PWRD, 1999, 12 (4) :478 ~ 483.
- [20] Vesna Borozan, Nikola Rajakovic. Application Assessments

- of Distribution Network Minimum Loss Reconfiguration [J]. IEEE Trans on PWRD, 1997, 12 (4) :1786 ~ 1792.
- [21] Rubin Taleski, Dragoslav Rajcic. Distribution Network Reconfiguration for Energy Loss Reduction [J]. IEEE Trans on PWRD, 1997, 12(1) : 398 ~ 406.
- [22] 王守相, 王成山. 一种隐含并行的大规模三相不平衡配电网重构新方法[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(19) :34 ~ 38.
- [23] Vesna Borozan, Rajcic Dragoslav. Minimum Loss Reconfiguration of Unbalanced Distribution Networks [J]. IEEE Trans on PWRD, 1997, 12(1) : 435 ~ 441.
- [24] Jin - Cheng Wang, Hsiao - Dong Chiang, Gary R. Daring, An Efficient Algorithm for Real - time Network Reconfiguration in Large Scale Unbalanced Distribution Systems[J]. IEEE Trans on PWRD, 1996, 11(1) : 511 ~ 517.
- [25] Hsiao - Dong Chiang, Rene Jean - Jumeau. Optimal Network Reconfigurations in Distribution Systems : A New Formulation and A Solution Methodology[J]. IEEE Trans on PWRD, 1990, 5(4) : 1902 ~ 1909.
- [26] Hsiao - Dong Chiang, Rene Jean - Jumeau. Optimal Network Reconfigurations in Distribution Systems : Part : Solution Algorithms and Numerical Results[J]. IEEE Trans on PWRD, 1990, 5(3) : 1568 ~ 1574.
- [27] Hong - Chan Chang, Cheng - Chien Kuo. Network Reconfiguration in Distribution Systems Using Simulated Annealing[J]. Electric Power Systems Research, 1994, 29(3) : 227 ~ 238.
- [28] 胡敏优, 陈元. 配电系统最优网络重构的模拟退火法[J]. 电力系统自动化, 1994, 18(2) : 24 ~ 28.
- [29] Koichi Nara, Atsushi Shiose, Minro Kitaga. Implementation of Genetic Algorithm for Distribution Systems Loss Minimum Reconfiguration [J]. IEEE Trans on PWRD, 1992, 7(3) : 1044 ~ 1049.
- [30] Gregory Levitin, Shmuel Mazal Tov, David Elmakis. Genetic Algorithm for Optimal Sectionalizing in Radial Distribution Systems with Alternative Supply [J]. Electric Power Systems Research, 1995, 35(3) : 149 ~ 155.
- [31] Dai - Seub Choi, Chang - Suk Kim, Jun Hasegawa. Application of Genetic Algorithms to the Network Reconfiguration in Distribution for Loss Minimization and Load Balancing Problem[C]. Proceedings of the International Conference on Energy Management and Power. 1995, 1: 376 ~ 381.
- [32] 刘莉, 陈学允. 基于模糊遗传算法的配电网重构[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(2) :66 ~ 69.
- [33] Song Y H, Wang G S, Johns A T, Wang P Y. Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction Using Fuzzy Controlled Evolutionary Programming [J]. IEE Proc. - Gener Transm Distrib, 1997, 144(4) : 345 ~ 350.
- [34] 陈星莺, 向兵, 单渊达. 基于遗传退火法的配电网重构技术[C]. 全国高等学校电力系统及其自动化专业第十四届学术年会论文集. 哈尔滨: 1998. 695 ~ 700.
- [35] Kyung - Hee Jung, Hoyong Kim, Yunseok Ko. Network Reconfiguration Algorithms for Automated Distribution Systems Based on Artificial Intelligence Approach [J]. IEEE Trans on PWRD, 1993, 8(4) :1933 ~ 1941.
- [36] Hayashi Y, Iwamoto S. Efficient Determination of Optimal Radial Power System Structure Using Hopfield Neural Network with Constrained Noise [J]. IEEE Trans on PWRD, 1996, 11(3) :1529 ~ 1525.
- [37] Hoyong Kim, Yunseok Ko, Kyung - Hee Jung. Artificial Neural Network Based feeder Reconfiguration for Loss Reduction in Distribution Systems [J]. IEEE Trans on PWRD, 1993, 8(3) :1356 ~ 1366.
- [38] 关志坚. 配电网重构[J]. 电气时代, 1995, (12) :2.

收稿日期: 2002-01-28

作者简介: 刘莉(1963 -),女,副教授,博士后,从事智能技术在电力系统中的应用等方面的研究; 陈学允(1934 -),男,教授,博士生导师,中国电机工程学会理事,从事电力系统分析与控制、智能技术在电力系统中的应用等方面的研究; 郭志忠(1961 -),男,教授,博士生导师,从事电力系统分析与控制、智能技术在电力系统中的应用、光学电流互感器等方面的研究。

Review of network reconfiguration in distribution system

LIU Li^{1,2}, CHEN Xue-yun², GUO Zhi-zhong^{1,2}

(1. Beijing XUJI Electric Corporation Limited, Beijing 100085; 2. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Network reconfiguration in distribution system is the important measure of distribution automation, and it is the core software of the urban and suburban network reconstruction, which is invested heavily by the government now. By distribution network reconfiguration, the economy and security of the system can be improved greatly, which may bring out great benefit both in economy and in society. The corresponding methods for network reconfiguration in the literature are reviewed. Their features and main problems are discussed for further research and development.

Keywords: distribution network; reconfiguration; heuristic method; optimal flow pattern; genetic algorithms; simulated annealing