

TSP 冰晶算法

周蓝海, 蔡东风

(沈阳航空工业学院 知识工程中心, 辽宁 沈阳 110034)

摘要: TSP 即旅行商问题, 是一个典型的 NP 困难问题, 随问题规模的增加, 获得最优解的代价呈指数级增长. 受自然智能的启发, 冰晶算法首次模拟湖水降温时, 湖面冰晶的生长过程, 在亚稳态区内维持适宜的饱和度来尝试解决 TSP 问题. 冰晶生长的过程就是 TSP 路径形成的过程, 试验表明, 这是一种快速有效的 TSP 问题近似算法, 可在 $O(kn \log n)$ 时间复杂度下获得可行解, 同时该算法适用于并行计算, 可对开环、动态、大规模的 TSP 问题实时求解.

关键词: 旅行商问题; 冰晶; 树枝晶; 凸壳; 非确定多项式

中图分类号: TP301.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2008)02-0167-06

Solving the TSP problem with a crystal algorithm

ZHOU Lan-hai, CAI Dong-feng

(Knowledge Engineering Research Center, Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang 110034, China)

Abstract: The traveling salesman problem (TSP) is a typical NP problem. The optimal solution can be costly to obtain as computational requirements of the problem increase exponentially with complexity. This paper proposes a new method for solving TSP problems. With this method, we simulated the growth process of crystals on the surface of a lake as the temperature of the water decreased. In the metastable region we maintained an appropriate degree of saturation and found the growth process of the crystals was the same as the process of forming a TSP path. The proposed method is an appropriate algorithm for solving TSP problems quickly and effectively, obtaining feasible solutions under $O(kn \log n)$ complexity. It can also be used in parallel computation, generating real-time solutions for open-looped, dynamic, and large-scale TSP problems.

Keywords: traveling salesman problem; ice crystal; dendrite; convex hull; nondeterministic polynomial

随着网络、通讯、宽带、物流等技术的发展, 网络数据优先, 电网电力调度, 卫星信号中继, 国际物流配送, 多处理器协同等领域, 要求能够快速对目标 TSP 现象进行正确和精确的定位, 及时获得有效的解决途径.

TSP 问题被证明是一个 NP-hard^[1] 问题. 目前解决 TSP 问题有蚂蚁算法^[2]、遗传算法、粒子群算法^[3]及弹性网络等, 在有限的时空复杂度下获得近似解或次(最)优解. 迭代的求解方式, 在大规模有实时性要求的场合, 就显得力不从心, 有待寻求更高效的算法.

晶体生长是一种动态相变过程, 受晶体生长热

力学与动力学等多种因素影响, 是复杂物理现象相互作用的结果. 冰晶现象是描述自然界液态水降温凝固, 结晶长大的过程, 具有能量最小原则的特征, 在过冷却水滴和冰晶共存的水面, 如果存在 $E_i < e < E_s$ (E 表示饱和水汽压, e 表示水汽压, i 表示冰, s 表示过冷却水), 冰晶就会凝结而不断长大, 冰水共存相互渗透. 冰晶算法模拟自然湖面冰晶的生长过程来尝试解决 TSP 问题, 并取得较好的试验结果.

1 试验模型

TSP 冰晶算法的提出是基于以下 3 个假设:

假设 1 元素属性一致的前提下, 系统边界层的元素对系统的干扰很大, 系统内元素只会产生局部扰动, 复杂存在于系统的边缘.

收稿日期: 2007-06-25.

基金项目: 教育部科学技术研究重点资助项目 (207148).

通讯作者: 周蓝海. E-mail: zhlanhai@163.com.

假设 2:晶体形成过程中,晶界微偏聚动力和晶间脆性断裂等现象不会对晶格点阵的整体布局产生蝴蝶效应,忽略该算法在最坏情况下获得可行解的难度.

假设 3:固相的冰晶内不存在扩散现象,忽略凝固界面曲率等因素对凝固前沿的影响,以此来简化冰晶生长所谓的能量函数.

TSP 问题与冰晶现象的相似性分析,如表 1,值得一提的是其中冰晶生长的过程就是 TSP 路径形成的过程.

表 1 特征相似性分析
Table 1 Similarity analysis of the characteristics

序号	冰晶算法	TSP(计算几何)
CF1	湖面	地图(凸壳域)
CF2	湖畔	国界(凸壳边界)
CF3	晶胞	城市(点集)
CF4	冰晶生长	路径形成
CF5	临界冰渣	诱导走向歧途的城市
CF6	微风吹拂湖面	局部约束扰动

1. 1 形成湖畔

1. 1. 1 凸壳定义

平面(E^2)中点集 S 的凸壳^[4]是包含 S 的最小凸集,凸壳是 S 计算几何中最普遍、最基本的一种结构,它不仅有许多自身的特征,还是构造其他几何形体的有效工具. 本文采用 Gramham 扫描算法,如果点集有 n 个点,时空开销主要涉及角度排序,需要 $O(n\log n)$ 时间^[5].

1. 1. 2 围建湖畔

令 $V = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_m)$ 代表由 v 个晶核组成的一个矢量,存储凸壳的顶点并以此为基础形成湖畔,为湖水中晶胞提供一个结冰的容器.

凸壳的抽象形态如图 1,其中每一个圆点表示一个城市,黑色的圆点表示湖畔的晶核,白色的圆点表示湖面游离的晶胞,外围样条虚线表示的人工围建的湖畔,直线段虚线表示点集的凸壳边界.

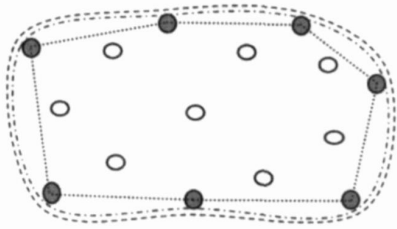


图 1 湖畔模型结构

Fig. 1 Structure of the lakefront model

1. 2 冰晶效应

1. 2. 1 冰晶形成

冰晶是自然界很平常的物理现象. 液体凝固包括晶核的形成和长大,晶核的形成是液体中的一些原子的动能减少到足以使这些原子固定于晶格点阵上时发生的晶体成核现象,如水结冰.

原子的大小、形态及相邻原子间键合的性质,会导致一种最低能量的单晶组态,决定了原子在晶体中规则的周期性排列,温度和压力的不同,会有不同的晶体结构^[6]. 湖面结冰则是以湖畔为依托冰晶不断的向湖中心生长,直到湖面冰封的过程.

1. 2. 2 树枝晶体

湖岸的表面一般都有凹凸部分,水会均匀地浸透湖岸,并吸附着空气和湿气,导致晶胚的活性较大,与水全接触的湖畔的晶核,可以优先生长.

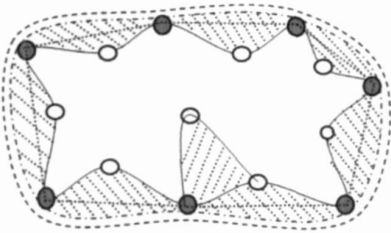


图 2 树枝晶的生长

Fig. 2 Growth of the dendrite

凝固初期,晶粒在生长过程中与相邻晶粒接触形成凝固壳,先沿着湖岸横向生长,形成树枝晶的树干和分支,竞争过程中优先生长的分支在横向又生出子分支形成树枝晶,如图 2 所示,其阴影部分表示已结冰区域.

计算机模拟晶体生长,本文采用距离函数代替能量函数,控制晶体生长的过程,令 $E_{xy}(p_i)$ 为第 i 特征点对应凝固前沿的每条边是否结冰的判定依据,点 x, y 代表该边的 2 个端点. $E_{xy}(p_i) = D_{ix} + D_{iy} - D_{xy} - (d_{fi} + d_{si})$, $p_k = \min\{E_{xy}(p_i)\} (i = 1, 2, \dots, k, \dots, 2k)$. 其中: D_{xy} 表示点 x 和点 y 的距离; d_{fi} 和 d_{si} 分别表示 i 点与其最近点、次近点的距离; $=\{0, 1\}$,取 0 为绝对代价,取 1 为相对代价; p_k 表示获得能量最小值的 i 点,该点可以凝固结冰; k 是一个待定值,指需要计算的每个城市最邻近城市的数目,均匀分布的 TSP 问题取 30~60 就可以,不均匀的分布适当取大一点,要保证在 k 邻图中不会出现孤立的岛. $E_{xy}(p_i)$ 控制树枝晶的生长并进行过程扫描,所得记录即所求 TSP 可行解,晶胞全部结冰后,图 2 所示湖中心未结冰区域的边界就是所求 TSP 问题的可行解路径.

1. 2. 3 局部扰动

初期模型的试验结果表明,在冰晶生长的过程中,单一依靠距离函数的判定,效果不很理想.自然冰晶生长会出现一些临界冰渣,某个区域很难简单判定它是已结冰,还是未结冰,这种混沌现象会影响冰晶的继续生长,并诱导路径的错误走向.无序向有序的转化,本文采用微风吹拂湖面,对可能引导进入歧途的晶胞做局部扰动,扰动后如果小晶胞仍处于结冰状态,就认定它已正常结冰,扰动的时间复杂度为 $O(kn)$.

2 试验设计

本文选取的试验数据是国际 TSPLIB 和台湾某大学提供的参考数据.

冰晶算法框图如图 3.

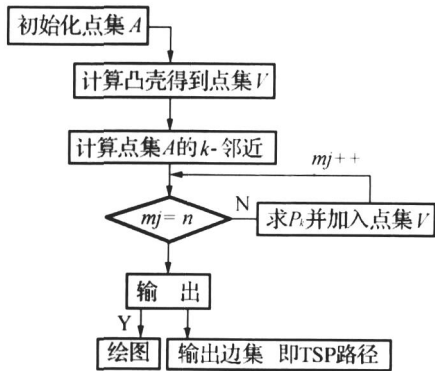


图 3 程序框图

Fig 3 Process diagram

算法实现:

n 表示城市的总数目, m_j 表示当前点集 V 中城市的数目, C 表示动态的凝固边界集.

输入:给定点集 A , 包括 n 个点的坐标 $p_i(x_i, y_i)$ 及各点之间的距离 $D_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n$.

输出:经过 n 个点的一条旅行回路 C 及此回路的长度.

主要步骤为

1) 围建湖岸. 求 n 个点的凸壳. 设 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{m_j}\}$ 是凸壳的顶点集, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{n-m_j}\}$ 是剩余点集, $C = \{v_1 v_2, v_2 v_3, v_3 v_4, \dots, v_{m_j} v_1\}$ 是凝固前沿的动态边界集, 初始值为凸壳的边集, $j = 1, 2, \dots$

- 2) 确定搜索范围. 求 n 个点的 K -邻近.
- 3) 判断是否完全结冰. if $m_j = n$ then C 即所求回路, goto 5); else goto 4).
- 4) 冰晶生长. 根据距离函数 $E_{xy}(p_i)$, 在 K -邻近

范围内求点 P_k , (如果做扰动的话, 在此处加入扰动函数即可), 将 P_k 按照 xy 确定的位置加入点集 V , 删除 P 中该点.

M_j++ , goto 3).

5) 路径输出: 计算回路的长度并输出 C .
算法终止.

时间复杂度: 1) 为 $O(n \log n)$ 时间, 2) 为 $O(kn \log n)$, k 为求 n 个点的前 k 个近邻点的时间开销系数. 3)、4) 共小于 $O(kn \log n)$, 5) 为常数时间, 所以该算法总的时间复杂度为 $O(kn \log n)$ 时间.

3 结果分析

本试验选取国际 TSPLIB 提供的数据^[7]和台湾清华大学咨询工程系的部分测试结果.

为了便于比较, 对一些 TSP 求解的近似算法的效率有一个直观的认识, 表 2 给出台湾清华大学提供的参考数据^[8]. 其中“弹性网络”表示 1987 年由 Durbin 和 Willshaw 提出了算法, 其精髓是: 想象弹性网络是一个橡皮筋, 会自动收缩到最小张力的状态; “蚂蚁”表示“蚂蚁算法”, “基因”表示“基因算法”, “人脑”表示人工一笔画对平面点集求 TSP 路径, 城市数目比较少时, 该算法比较理想. 表中百分比“%”代表试验的结果比参考解高出多少, “-”表示数据空缺, “平均比”表示某算法比参考解高出的百分比的平均值. “蚂蚁”取得了很好的成绩, 平均比为“2.84%”, 2 次获得参考解. 冰晶算法是一个确定性局部算法, 平均比为“1.59%”.

表 2 其他 TSP 模型的试验比较

TSP	试验结果比参考解高出的部分				
	弹性网络	蚂蚁	基因	人脑	冰晶
Att48	5.81	2.86	3.0	4.41	2.19
Berlin52	6.90	1.52	7.4	5.18	2.67
Eil101	9.10	7.64	14.2	8.83	2.18
Eil151	3.37	4.41	4.4	8.98	2.09
St70	4.16	3.42	5.9	7.03	1.47
Ulysses16	1.30	0	-	1.05	0.12
Ulysses22	1.57	0	0.3	-	0.45
平均比	4.60	2.84	5.03	5.91	1.59

试验选取了 TSPLIB 提供的 68 个 TSP 问题, 其中包含了一些有疑问的解, 如 bays29、gr202 等测试数据. 冰晶算法直接计算的结果偏离程度不容乐观, 平均比为 8.006%, 见表 3, 其中“参考解”表示目前 TSPLIB 所提供的最短路径长度. “冰晶”表示在

冰晶计算的过程中添加“扰动”后的计算结果比参考解高出的百分比,所谓的线性扰动,指的是运算代价在时间复杂度小于 $O(kn)$ 的前提下,做一些额外的条件判断来改善冰晶的生长过程,降低路径的长度。“分形”表示对单一冰晶算法的计算结果做简单分形,并做高次扰动后所获得的解。

不难看出,蚂蚁、遗传等算法的平均比一般在 5.00 % 以下,不考虑时间开销因素,迭代次数和迭代群体数目适当增加的话,计算的效果可能更好一点。冰晶算法通过增加线性扰动适当降低与最优值的差距,最终的计算结果平均比为 3.449 %,这样的计算结果有一定的实用意义。高次扰动可以获得更好的结果,但扰动次数增加到一定程度后,时间开销很大,运算结果却基本保持不变,目前主要通过寻找其他的线性扰动快速获取可行解。

天然冰晶的形成过程是复杂的,是一个非平衡态的相变过程,热力环境的不同,生长驱动力的支配,非平衡晶界偏聚^[9]以及降温速率,偏析,反偏析,晶间脆性等现象导致晶体生长形态的多样性,也导致 TSP 可行解的多样性。

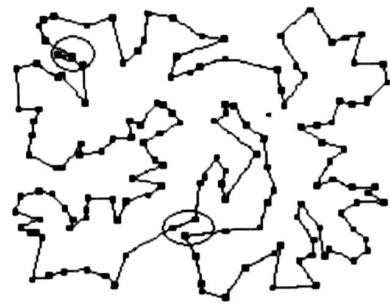


图 4 ch150 无扰动路径
Fig. 4 Undisturbed ch150 routing

计算机模拟的冰晶可以对这些自然现象进行优化,适当的扰动阈值对凝固过程进行枝晶破碎,晶粒细化和晶格重组,理论上获得一定的晶体完整性。跟其他算法相比,冰晶计算结果是值得信赖的,U2319 中对 2 139 个城市进行计算,结果为 3.38 %,其计算过程的高效性、健壮性,为快速解决 TSP 问题提供了一个良好的途径。

下面对 ch150 城市的 TSP 生成的轨迹作一下分析。

图 4 是无扰动的路径,画圆圈处表示存在问题的路径,可以看出,一些路径显然不是很好:如左上角有一个很明显的锯齿,中偏下位置有一个点不是最佳连接。在其他数据的测试过程中,也发现了类似的现象。

图 5 是通过扰动对路径进行了一些线性优化,路径比较平顺饱和,没有剧烈的路径锯齿现象,消除了图 4 中偏下位置不是最佳连接的路,径路径长度由 7 214 缩短为 6 648(最优路径为 6 528),见图 5,简单分形后路径比参考路径长度高出的比例小于 2.00 %。

表 3 冰晶模型扰动前后的试验结果
Table 3 Results of the Crystal model

TSP	冰晶	分形	参考解	TSP	冰晶	分形	参考解
att48	2.24	2.19	33523	Pcb1173	16.08	6.24	56892
A280	11.33	4.87	2586	Pr76	3.43	1.15	108159
Bayg29	1.86	0.22	9074	Pr107	2.56	0.19	44303
Berlin52	6.32	2.68	7544	Pr124	5.03	0.26	59030
Ch130	5.68	1.39	6110	Pr136	4.89	2.19	96772
Ch150	5.19	1.67	6532	Pr144	3.35	1.34	58537
D198	6.23	3.24	15780	Pr152	1.58	1.31	73682
D493	8.79	3.56	35002	Pr226	1.42	0.59	80369
D657	13.19	4.84	48912	Pr264	6.89	0.31	49135
D1291	16.59	5.30	50801	Pr299	9.16	4.73	48191
D1655	11.70	5.15	62128	Pr439	6.82	3.01	107217
D2103	5.97	4.80	80450	Pr1002	12.28	7.05	259066
dantzig42	0.14	0.14	699	Rat99	2.73	0.99	1211
dsj1000	13.86	5.20	18660188	Rat195	8.14	5.42	2323
eil51	10.93	2.09	430	Rat575	11.10	4.99	6773
Eil76	5.87	2.94	545	Rat783	12.50	5.21	8806
Eil101	4.83	2.18	642	Rd100	7.05	3.15	7910
Fl417	6.23	2.54	11861	Rd400	11.69	4.43	15281
Fl1400	6.32	3.02	20127	Rl1304	15.98	9.56	252948
Gl262	9.50	3.24	2378	Rl1889	15.89	8.63	316536
Gr96	5.86	2.54	512	Sr70	4.28	1.47	678
Gr120	4.38	1.98	1666	Tsp225	10.99	5.23	3859
kroA100	5.31	0.04	21285	U159	13.51	7.97	42080
KroA150	7.94	2.71	26524	U574	9.88	4.81	36905
KroA200	4.19	1.66	29368	U724	11.67	5.69	41910
KroB150	3.31	1.17	26130	U1060	12.45	5.72	224094
KroB200	7.82	2.54	29437	U1432	10.99	5.16	152970
kroCl00	2.71	1.31	20750	U1817	12.99	6.21	57201
kroD100	2.73	1.47	21294	U2152	14.16	8.04	64253
kroE100	4.96	2.67	22068	U2319	10.24	3.38	234256
Lin105	4.16	0.54	14382	ulysses16	1.34	0.12	741087
Lin318	9.46	3.73	42029	ulysses22	0.46	0.46	75665
nrv1379	14.31	5.84	56638	vm1084	16.75	7.53	239297
Pcb442	9.58	4.74	50783	Vml748	16.65	7.83	336556

注:“冰晶”的平均比为 8.006 % ,“分形”后为 3.449 %。

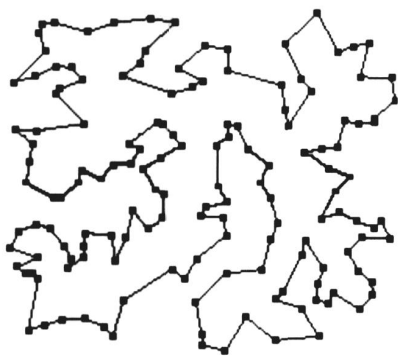
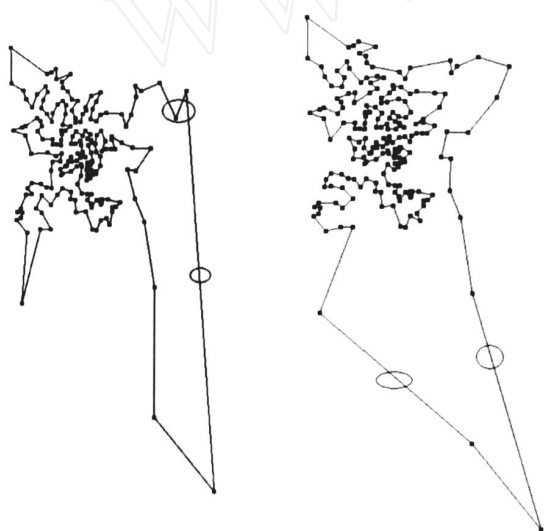


图 5 ch150 简单分形后路径

Fig. 5 Fractal ch150 routing

(a) TSPLIB 提供的
Gr202 参考解

(b) 冰晶算法计算结果

图 6 Gr202 参考路径

Fig. 6 Gr202 referenced routing

对于有疑问的路径,简单分析一下 TSPLIB 提供的 Gr202 参考解,见图 6(a)所示,该路径长度为 550,路径不存在交叉,整体结构紧凑,不存在明显的路径问题,相对比较饱和和光滑,但不足的是路径中保留了一条很长的边,并且由于该边的出现导致路径的右上角出现了一个锯齿,如圆圈标记所示。

冰晶算法的计算结果见图 6(b)所示,跟参考解不同的地方比较明显,主要是保留了 2 条比较长的边,如圆圈标记所示。整体比较光滑,局部存在的路径缺陷人脑比较难识别,路径长度为 495,比 TSPLIB 提供的参考路径短 10%。

通过对 68 个 TSPLIB 不同数据的测试分析,平均比值的分布情况比较均衡,ulysses16 获得了 0.12% 的成绩。随线性约束的增加,计算结果不断降低,采用分形思想来实现对冰晶生长过程的扰动,利

用其轨道行为的不可预测性,对系统初始状态极端敏感的依赖性^[9],来获得具有混沌态特征的 TSP 路径并获得了可信的成绩。很多自然界中的物理明显地是以分形的形式生成的,分支重复地分裂产生更小的分支^[10],特别是最原始的植物,像地衣、苔藓、海藻,看起来都像分形,冰晶生长也是一样的。总的来说,这一方法和试验的结果还是可取的。

4 结束语

针对 TSP 问题,采用冰晶算法进行了路径生成试验,简单分形扰动后试验结果的平均比一般在 4.00% 以下,对 TSP 问题的求解比较有效,并且冰晶算法的较低时间复杂度和计算的可并行性保证了它求解的高效性。

同时也可看出,该算法得到的可行解都具有一个特点:就是路径围出一个单连通区域,实际上 TSP 问题的解显然没有此限制,也就是说该算法在 TSP 问题整个解空间的一个子空间中寻找可行解,而最(次)优解是不是就在这个子空间中有待进一步验证,如果不是,即便加入扰动,也不能从根本上解决该问题,得到的结果只是一般意义上的可行解。

目前还不能证明该算法的有效程度,可以参考的是:支撑树加完美匹配算法是到目前为止所见到的,具有最好性能保证的多项式时间近似算法^[11],其时间复杂度为 $O(n^3)$,其路径长度满足 $STM()$

1.5 OPT(), $STM()$ 表示该算法找到环游的权,OPT() 表示最优环游权。而其他贪婪算法一般时间复杂度为 $O(n^2)$ 所得环游的权不会大于最优环游权的 2 倍。

在时间开销上,这里不做详细比较。在普通的 PC 机上,包含路径图像动态显示的时间开销在内,冰晶算法在小于 1 s 的时间可以轻松地计算 500 个城市的 TSP 问题,而以速度和可靠性著称的弹性网络时间开销接近 120 s。其他算法,如蚂蚁算法就更长一些。

冰晶算法是一种对自然智能简单的模拟,试验数据的有限和单一特征的模拟,使得试验结果存在一定的不足,同时,也看到随着城市数量的增加,计算的结果与参考解的比例有增大的趋向,进一步的实验表明它受线性扰动强度和扰动范围的影响,当城市数量增加后,通过增大线性扰动 $O(kn)$ 中的系数 k 一般可以获得更好的解,“分形”可有效降低该情况下获得可行解的难度。目前,冰晶算法在降低时间开销、降低空间开销、提高准确度所碰到的主要障碍是跟计算几何相关的问题没有得到很好解决,下

一步计划增加试验数据,在结晶的混沌状态中寻找某些确定性因素,来降低与参考解的差距,主要从以下几方面深入研究:1)引入晶界偏聚,晶间脆性约束;2)寻找其他线性扰动提高精确度;3)改善冰晶生长的能量函数;4)TSPLIB参考解验证;5)平面TSP冰晶并行算法。

参考文献:

- [1] GAREY M R, JOHNSON D S. Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness [M]. San Francisco: Freeman W H, 1979.
- [2] DORIGO M, MANIEZZO V, COLORNI A. The ant system: optimization by a colony of cooperating agents [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1996(1):29-41.
- [3] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, 1995: 1942-1948.
- [4] KIRKPATRICK D G, SEIDEL R. The ultimate planar convex hull algorithm [J]. SIAMJ Comput, 1986, 15: 287-299.
- [5] 周培德. 计算几何: 算法分析与设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [6] 徐庭栋. 非平衡晶界偏聚动力学和晶间脆性断裂 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.

- [7] GERHARD R. TSPLIB [EB/OL]. [1997-02-19]. <http://elib.zib.de/pub/mp-testdata/tsp/tsplib/tsplib.html>.
- [8] WU Ruiqian, LIN Huijuan, JIANG Fengyi. Final project for neural Network [EB/OL]. [1997-12-28]. http://wayne.cs.nthu.edu.tw/~roland/nn/report_fc.html.
- [9] PEITGEN H O, RICHTLET P H. The beauty of fractals: images of complex dynamical systems [M]. New York: Springer-Verlag, 1986.
- [10] KENNETH J. 分形几何——数学基础及其应用 [M]. 曾文曲, 译. 沈阳: 东北大学出版社, 1991.
- [11] 陈志平, 徐宗本. 计算机数学——计算复杂性理论与NP、CNP难问题的求解 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.

作者简介:



周蓝海,男,1980年生,硕士研究生,主要研究方向为人工智能、知识工程、机器翻译,发表论文4篇。



蔡东风,男,1958年生,教授,获东京大学工学博士学位,主要研究方向为人工智能、自然语言处理、信息检索。近年来完成科研项目20余项,发表学术论文60余篇。

The Fourth International Conference on Advanced Data Mining and Applications (ADMA 2008) 第四届国际高性能数据挖掘与应用大会

The 4th International Conference on Advanced Data Mining and Applications (ADMA2008) aims at bringing together the experts on data mining in the world, and provides a leading international forum for the dissemination of original research results in data mining, spanning applications, algorithms, software and systems, and different applied disciplines with potential in data mining.

Key Topics:

We invite authors to submit papers on any topics of advanced data mining and applications, including but not limited to:

Advanced Data Mining Topics: 1) Grand challenges of data mining; 2) Parallel and distributed data mining algorithms; 3) Mining on data streams; 4) Graph and subgraph mining; 5) Spatial data mining; 6) Text, video, multimedia data mining; 7) Web mining; 8) High performance data mining algorithms; 9) Correlation mining; 10) Benchmarking and evaluations; 11) Interactive data mining; Data-mining-ready structures and pre-processing; 12) Data mining visualization; 13) Information hiding in data mining; 14) Security and privacy issues; 15) Competitive analysis of mining algorithms.

Data Mining Applications (applied data mining in following listed areas): 1) Database administration, indexing, performance tuning; 2) Grid computing; 3) DNA Sequencing, Bioinformatics, Genomics, and biometrics; 4) Image interpretations; 5) E-commerce and Web services; 6) Medical informatics; 7) Disaster prediction; 8) Remote monitoring; 9) Financial market analysis; 10) Online filtering.

Web site: <http://cs.scu.edu.cn/~adma08>