

製造業における巡回セールスマン問題の応用

5L-8

味園 真司, 岩野 和生

日本IBM 東京基礎研究所

1 はじめに

我々は計算機科学の理論研究を製造業における様々な実問題に適用し、また実問題から新たな理論の種を見つける課題に取り組んでいる。その最初の成果として、プリント回路基板穴あけ問題に巡回セールスマン問題(TSP)の近似解法を用いることで、ドリル穴あけの作業時間を短縮することが出来た。穴あけ問題を解くにあたり、グラントツアー法というTSPの新たな近似解法を開発した。その性能評価を穴あけの実データに対して行ない、既存の近似解法との比較を行なう。

2 プリント回路基板穴あけ問題

プリント回路基板穴あけ問題とは、プリント回路基板にLSI等の部品の装着用の穴をあける工程において、穴あけ機のドリル部分の総移動時間が最小となるように、穴あけの順序を決定する問題である。一つの基板について約10種類の異なる径の穴をあけるが、同じ径の穴については(長穴と呼ばれる一部の特殊な穴を除いて)原則的にあける順序に制約はない。異なる直径の穴をあける場合にはドリル針を交換する必要があるが、この交換作業は時間がかかる。このためプリント回路基板穴あけ問題はそれぞれの直径の穴について、移動時間を距離とした対称巡回セールスマン問題を解くことと考えることが出来る。

プリント回路基板穴あけ問題では、出来るだけ速くしかも近似度の高い解を求めることの出来る近似解法が望まれている。近似度の高さ、つまり巡回路の長さ(最短路に近い程近似度は高い)は直接穴あけ作業時間を左右するので、高い近似度が望まれるのは当然である。一方、穴あけ機の大半のユーザーはCPU性能の低いパソコンしか所有していない。しかも近年の基板の高密度化に伴い、基板上の穴数は1万点にも達しており、今後とも増加していく傾向にある。つまり1万点程度のサイズの大きなTSPをパソコンで解かなければならないので、速い近似解法が必要になる。

3 巡回路生成法

TSPの近似解法は実に様々なものがありその性能評価も精力的に行なわれている[1, 3]。しかしプリント回路基板穴あけ問題で求められる高速性と解の質の良さをみだすものは限られたものしかない。高速なプリント回路基板穴あけ問題と知られている発見的方法は、巡回路を生成する方法に関するもの(巡回路生成法)と、初期の巡回路に局所的な改善を施していくもの(局所最適化法)の二種類に大別できる。後者の方がより質の良い解を見つけるものの、前者に比べてかなりの時間がかかってしまう。splay treeのようなデータ構造を駆使しても、局所最適化法は巡回路生成法の倍以上の計算時間を必要とする[2]。結局プリント回路基板穴あけ問題では速くて近似度の高い巡回路生成法が望まれる。

Bentelyの性能評価[1]に基づいて、穴あけ機のユーザーのニーズを満たす巡回路生成法を、最近接追加法(NA)、ランダム追加法(RA)、複数断片法(MF)の3つに絞りこんだ。また発見的方法の特性を明らかにするため最近接点法(NN)、最遠点追加法(FA)も加えて実験した。前4者を簡単に説明する。

MF: 1点からなる断片の集合から出発して、距離の短い順に2つの断片を次々つないでいく。この際ある点の次数が2以上になったり、また部分的な巡回路が形成されないような断片のの対を選ぶ。この操作を断片が1つにまとまるまで続ける。この方法が現時点では高速性と解の質において最も良いと考えられている。

NA, RA, FA: この三つは同じ追加法を用いる。一点からなる小巡回路から出発し、次の一点を追加して小巡回路を成長させていく。成長させる際、巡回路長の増加が(近似的に)最小となるように追加点を巡回路に加える。この追加点の選び方に色々なものが考えられる。NA, FAはそれぞれ、小巡回路に最も近い点、最も遠い点を次の追加点とする。RAは追加点をランダムに決める。

巡回路生成法においては、高速性を実現する鍵は点を追加したり、断片をつなぎ合わせたりする際の計算をできるだけ局所的なものに抑えることである。一方解の質を高める鍵は、点の全体的な分布状況に対する大域的な情報を利用することにある。そこで我々は次のような発見的方法、グランドツアー (GT) 法、を考案した。

GT: 全点分布を反映させるべく小数の代表点を選びだし、その代表点だけの小巡回路を形成する。残りの点の分布全域から (動的な意味で) 一様な順序で次の追加点を選びだし、追加法を用いて小巡回路を成長させる。

図1にGT法の動作例を示す。全体で9545個の点分布 (上図) の代表点の小巡回路 (中図) を形成し、残りの点を追加して最終的な巡回路 (下図) ができる。

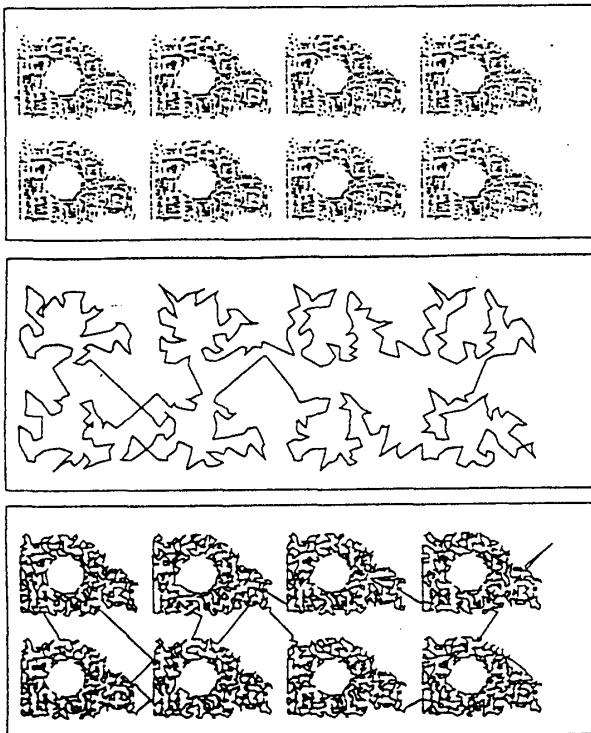


図1: GT法

4 実験

前節で紹介した巡回路生成法の性能評価をプリント回路基板穴あけ問題の実データを用いて行なった。実データとして、IBMの野洲工場で使用されたものと、TSPLIB (TSP研究者の間で共有されている実データ

集) に収録されているものの二種類を用いた。前者のデータに関する結果の一部を表1に示す。ここでRAはランダム性を利用する故、結果のばらつきが大きいので表には載せていない。

		Results		
points		MF	FA	GT
1129	length	100.0	99.8	97.9
	CPU	0.6	1.1	0.4
2113	length	100.0	86.6	86.4
	CPU	0.9	2.4	0.8
6353	length	100.0	98.4	95.5
	CPU	3.7	8.5	2.5
9545	length	100.0	98.6	96.3
	CPU	5.0	12.9	3.5
14881	length	100.0	99.9	100.0
	CPU	9.6	22.5	5.8
avrg.	length	100.0	96.9	95.8
	CPU	100.0	222.9	68.3

表1: IBMデータ

平均するとGT法はMF法に比べて巡回路長で4.2%、計算時間で31.7%勝っていることになる。

5 まとめ

TSPの新しい発見的方法であるGT法を開発・適用することでプリント回路基板穴あけ問題を解き、IBMの野洲工場では穴あけ作業時間を約15%削減することができた。しかしながら穴あけ作業の場合、経路の移動に要する時間が全作業時間の約2割でしかない。移動時間が主になるような場合には、TSPの近似解法の性能差がより明確に現れる。現在我々はそのような例として、チップマウンターの最適化、パンチングプレス機の最適化等に取り組んでいる。

参考文献

- [1] J.L. Bentley, Experiments on traveling salesman heuristics, In *Proc. First Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, San Francisco, CA, 1990, 91-99.
- [2] M.L. Fredman, D.S. Johnson, L.A. McGeoch, and G. Ostheimer, Data Structures for Traveling Salesmen, In *Proc. Fourth ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, 1993, 145-154.
- [3] D.S. Johnson, Local optimization and the traveling salesman problem, In *Proceedings of the Seventeenth Colloquium on Automata, Languages and Programming*, Springer-Verlag, New York, 1990, 446-461.