

プリント基板配線の電気検査順序に対する先行順序制約を考慮した 2-opt 法に基づく解法

A Solution Method Based on 2-opt Method Considering Precedence Constraints for Electrical Inspection Order of Printed Circuit Boards

藤井 時男 奥村 昇平 加藤 浩介
Tokio Fujii Shohei Okumura Kosuke Kato

広島工業大学情報学部情報工学科
{b111103, b110036, k.katoh.me}@cc.it-hiroshima.ac.jp

片桐 英樹

Hideki Katagiri

広島大学大学院工学研究院
katagiri-h@hiroshima-u.ac.jp

羽森 寛

Hiroshi Hamori

ホ・エイ・ティ株式会社
hi_hamori@ohtinc.jp

Abstract—In recent years, electrical inspections of wirings on printed circuit boards have been important since pattern pitches have decreased with rapid downsizing of electronic devices. Because a typical electric inspection is carried out every wiring pattern on a printed circuit board, the optimization of the inspection order draws attention for the improvement of production efficiency. In this research, we formulate an inspection order optimization problem for inspection of wiring patterns on printed circuit boards as a traveling salesman problem with precedence constraints and propose a solution method based on 2-opt method.

I. はじめに

プリント基板は樹脂などでできた板状の部品で、電子部品や集積回路(IC)、それらをつなぐ金属配線などを高密度に実装したものであり、コンピュータや電子機器の心臓部となる重要な部品の一つである。

プリント基板では、素子のはんだ付けなどで表面に固定されるとともに、素子間が配線でつながれることで電子回路が形成される。近年の電子機器の小型化により、内蔵される基板及びそれに搭載される部品の小型化が急速に進んでいる。それに伴って、基板配線のピッチが狭くなり、配線の良否を判断する電気検査が不可欠となっている。電気検査はプリント基板上の配線パターン 1 本 1 本に対して行われるので検査順序の最適化が生産効率の向上のために注目されてきている。本研究では、プリント基板配線の検査順序の最適化について考察する。

II. プリント基板配線の検査

プリント基板配線の電気検査方法の一つである接触検査では、プローブユニットと呼ばれる検査治具を用いて検査を行う。そのプローブユニットの上面から出ている小さなピンプローブをコンタクトパッドと呼ばれるプリント基板の配線の膨らんだ部分に接触させて電流を流し、

配線の良否を判断する。本研究で対象とするプリント基板配線検査システムにおいては、カメラとプローブユニット（検査ユニット）が一体となっている（図 1）。

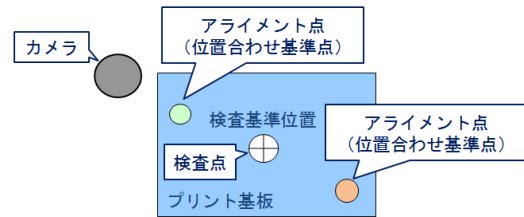


図 1. アライメント点と検査点

いま、プリント基板には複数の配線パターンがあるものとする。各配線パターンを検査する際には、まずカメラを移動させてアライメント点（位置合わせ基準点）を撮影・認識した後、プローブユニットを検査点（検査基準位置）に移動し、検査を行う必要がある（図 1）。すなわち、各配線パターンの検査においてはアライメント点への移動が検査点への移動に対して順序において先行しなければならないという先行順序制約と呼ばれる制約が存在することになる。

現状では、左上から順にカメラを移動させて各配線パターンのアライメント点を撮影・認識した後、その場所から逆に検査点に対してプローブユニットを移動させて検査を行うという方法が採用されており、全体的に無駄な動きが含まれている（図 2）。

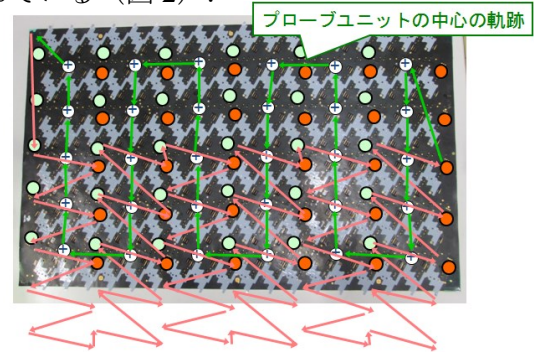


図 2. 従来の検査順序による検査の様子

したがって、生産効率の向上のためには、検査順序を最適化することが望ましい。

III. プリント基板配線の検査順序の最適化

前節で述べたプリント基板配線の検査順序の最適化問題に関して、片桐らは巡回セールスマン問題[1]の一つである先行順序制約付き巡回セールスマン問題に帰着されることを示すとともに、線形混合 0-1 計画問題として定式化し、求解を試みてきている[2]。パターン数の増加とともに厳密解法による求解は計算時間が急激に増大するので、現実的ではない。本研究では、大規模な問題に対しても、実用時間内に高精度な近似解を求めることを目指し、巡回セールスマン問題の最も基本的な近似解法の一つである 2-opt 法に基づく解法を提案する。2-opt 法[1]は、巡回路中の隣り合わない 2 辺の組 (2 辺を(a, b), (c, d)で表す) を選び、これを(a, c), (b, d)のようにつなぎ換えてできる巡回路の長さが元の巡回路の長さより短くなるならば、つなぎ換えを行うことを繰り返して巡回路を改善していく方法である (図 3)。

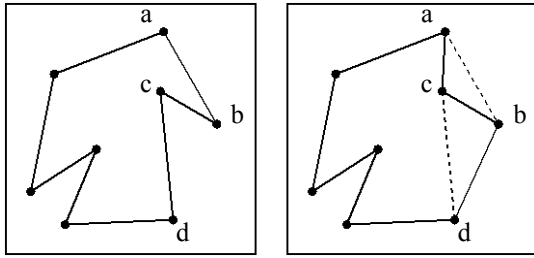


図 3. 2-opt 法

本研究では、考察の対象としている検査順序最適化問題に対して、先行順序を考慮した次のような修正 2-opt 法の適用を試みる。ここで、都市数 (ノード数) を n とし、都市は a, b, c などの英小文字で表す。

[修正 2-opt 法の手順]

- 手順 1 初期の巡回路を S とする。
- 手順 2 現在の巡回路 S とし、 S を構成する n 個の辺から、隣り合わない 2 辺の組 (2 辺を(a, b), (c, d)で表す) すべてについて、現在の巡回路 S から 2 辺 (a, b), (c, d) を取り除き、新たな 2 辺 (a, c), (b, d) を加えてできる巡回路 S' を考えて、 b と c の間に先行順序制約がなく、かつ、元の巡回路 S の長さに対して新たな巡回路 S' の長さが最も短くなる (改善される) 2 辺の組を見つける。もし元の巡回路 S よりも短くなる (改善される) 巡回路 S' がなければ、現在の巡回路 S を (局所的) 最良解として終了。そうでなければ、手順 3 へ進む。
- 手順 3 手順 2 で見つけた 2 辺の組について、新たな巡回路 S' を生成し、 $S := S'$ として手順 2 に戻る。

IV. 実問題への適用

前節で提案した修正 2-opt 法を、現実のプリント基板配線の検査順序最適化問題 (検査パターン 30) に適用した。初期巡回路を従来の検査順序に従った巡回路 (巡回路長 7427.551, 図 4)

とし、提案手法により得られた最良巡回路 (巡回路長 4589.541) を図 5 に示す。提案手法により、巡回路長が大幅に改善されることがわかる。計算時間は 0.25 秒であった。

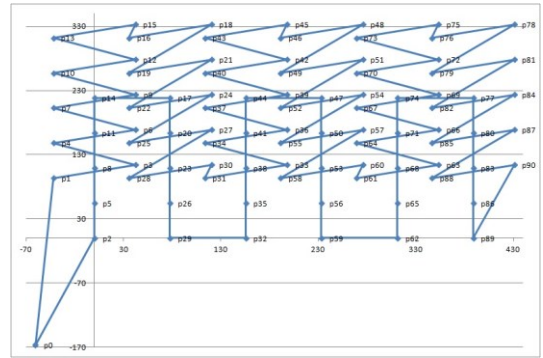


図 4. 初期巡回路 (従来の検査順序)

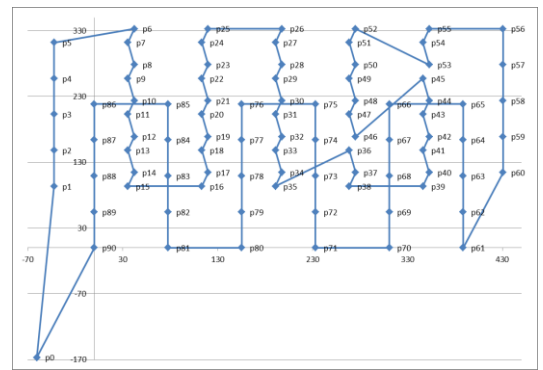


図 5. 提案手法により得られた最良巡回路

V. おわりに

本研究では、プリント基板配線の検査順序の最適化に焦点をあて、現実規模の検査順序最適化問題に対する実用的な解法として 2-opt 法に基づく解法を提案した。さらに、提案手法を現実のプリント基板配線の検査順序最適化問題に対して適用し、その有用性を検証した。

参考文献

- [1] 久保幹雄, J. P. ペドロソ, 「メタヒューリスティクスの数理」, 共立出版, 2009.
- [2] 片桐英樹, 呉宏偉, 羽森寛, 加藤浩介, 「プリント基板検査におけるアライメントを考慮した検査経路最適化」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2014 年春季研究発表会アブストラクト集, pp. 38-39, 2014.

問い合わせ先

〒731-5193

広島市佐伯区三宅 2-1-1

広島工業大学情報学部情報工学科

藤井 時男