高密度プリント基板自動配線の汎用化の一手法

鈴木康晴　石橋昌明　上田勤
（沖電気工業株式会社）

1、まえがき

プリント基板の自動配線技術は、Design Automation分野（DA）では1960年代に着手・開発され、現在は実用化・改良のフェーズに達している。

一方、プリント基板の製造技術は高密度化への技術革新が続けられ、近年では"超高密度"とも言うべき配線仕様として、ICピン間3～4本、微小（ランドレス）Via、多層化等の製造技術も確立されつつある。

筆者らは、1974年頃から開発着手したプリント基板自動設計の基本システムに、前記技術動向への対応として各種新手法を付加し、実用レベルへの技術を確立した。今回、プリント基板自動設計システムのうち、自動配線に関する配線アルゴリズムの概要とその性能評価としての各種実験結果・考察について報告する。

2、開発目的及び特徴

(1) 開発目的

自動配線アルゴリズムの開発目的をつぎのように設定した。

> プリント基板の高密度化・大型化・多層化等の技術革新及び、多様化に対し、配線アルゴリズムの共通化を図ること。

(2) 特徴

今回開発した配線アルゴリズムの特徴をつぎに示す。

(a) 格子間（例えば2.54mmピッチ）トラック数（最大5）が異なるプリント基板に対して同一アルゴリズムが適用できること。

(b) 経路探索時に、結線済パターンのトラック位置を固定化せず、浮動化（フローティング）させることにより、高い配線率が得られること。

(c) パターン幅、ランド径の物理的寸法と導体間隙を認識して経路決定できること。

3. アルゴリズム

本配線アルゴリズムの基本はラインサーチ法であり，以下の2つの手法を折込み，汎用化を図った。

①トラックフローティング手法
- 各種基板仕様に対して、配線トラック数に依存しないアルゴリズム。
- 経路探索時の結線済パターンの浮動化。

②導体間隙認識配線手法
- パターン幅，ランド径を認識した経路探索。

以下に，各手法の詳細について格子間トラック本数が3本の例について説明する。

(1) トラックフローティング手法

一般的に，格子間トラック数2以上の自動配線において，結線済パターン（以下，パターンと略す）を固定した場合，配線率向上の点で問題となる。

本手法は，経路探索中においてパターンを格子内（G_1～G_2）に限りダイナミックに移動させる配線手法である。

図3－1に，トラックフローティング手法の概念を示す。

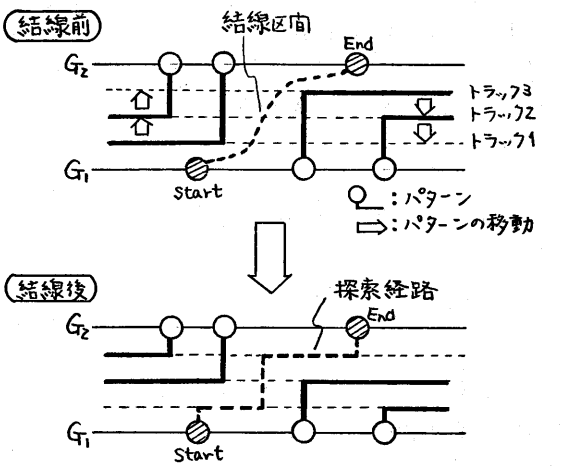


図3－1 トラックフローティングの概念

図3－2に，トラックフローティング手法の処理フローを示す。

以降，「障害物の設定」，「脱／脱群の作成」を中心に述べる。

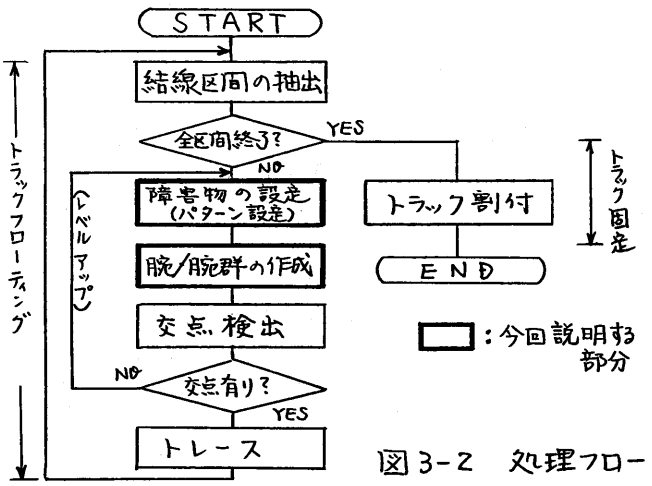


図3-2 処理フロー

〈用語の定義〉

着目点 ---- 経路探索中に線分を伸す点で結線区間の両端点及びVia候補点。

着目格子 ---- 着目点を含む格子。

（a）パターンタイプ

障害物となるパターンは、図3－3の4種のいずれかのパターンタイプとして記憶し、トラック位置（座標）を記憶しないため、パターンの浮動化が容易となる。

〈パターンの記憶〉

①パターンタイプ
②始終点格子座標
③始点座標
④終点座標
⑤格子座標との相対位置
（Up, Down, Left, Right）

図3－4に、パターンの記憶方法例を示す。

（b）蛇行探索

Via数の削減 及び配線率向上に対し、着目格子の両サイドを同時に経路探索方式を導入した。

図3－5に、蛇行探索を示す。

（c）腕／腕群 （図3－6,7参照）

格子間トラック本数の増加に伴う経路探索時間の増大を抑制するため、腕群の概念を導入した。

〈腕〉 ----着目点から着目格子の両サイドに伸びた線分（$a_1 \sim a_5$）

〈腕群〉----着目格子に属する腕の集合

腕発生時のレベルアップ及び交点検出は、腕群ごとに行ない、交点検出後のトレース時に最適な腕を選択することにより、経路決定の高速化が可能となる。

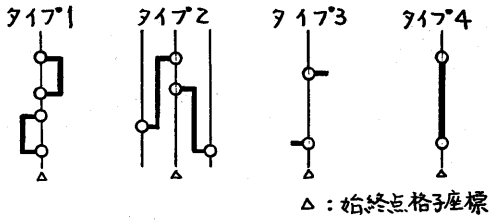
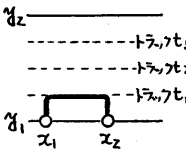


図3－3 パターンタイプの種類



タイプ	始終点格子座標	始点座標	終点座標	相対位置
1	y_1	x_1	x_2	Up
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

(注) トラック位置 $t_1 \sim 3$ は記憶しない

図3－4 パターンの記憶方法例

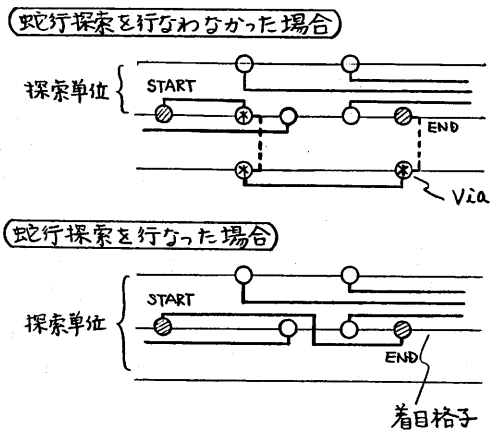
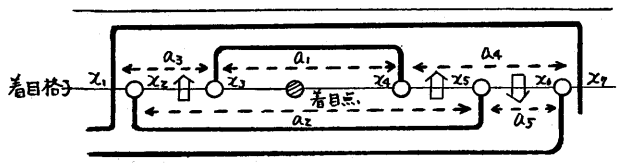


図3－5 蛇行探索



腕 ：$a_1 - x_3 \sim x_4$, $a_2 - x_2 \sim x_5$, $a_3 - x_1 \sim x_3$
$a_4 - x_4 \sim x_7$, $a_5 - x_5 \sim x_6$

腕群：$\bigcup_{i=1}^{5} a_i$ ⇨：腕の蛇行

図3－6 腕／腕群

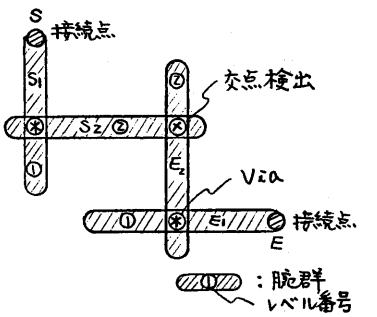
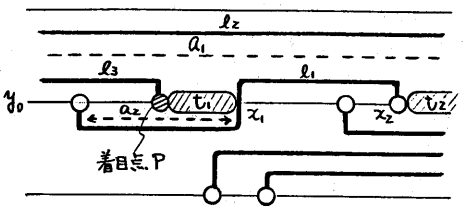


図3－7 レベルアップ及び交点検出

（d）有効スルーホール区間

格子間トラック数が2本以上になるとレベルアップ及び交点検出時のVia選択に際し再度，パターン位置関係の認識処理が必要となるため，得策ではない。

例ば，図3－8に示す腕a_1からのレベルアップに関し，(x_1, y_0)～(x_2, y_0)の間のViaを選択対象外としなければならない。そのため本手法では，着目点Pからの腕作成時にパターン$l_{1\sim3}$を認識し，腕a_1の有効スルーホール区間としてt_1,t_2を設定している。



a_1, a_2 ： 腕
t_1, t_2 ： 腕a_1の有効スルーホール区間

図3－8　有効スルーホール区間

（2）導体間隙認識配線手法

基板内の電源・アースパターン（太幅パターン）や特殊部品の大形ランド等との間隙を認識しながら経路探索を行なう配線手法である。従って，自動配線前処理としてのプリセットパターンデータの人手入力が不要となる。

本手法は，トラックフローティング手法を基本として，次の操作を行なっている。

① 導体幅（パターン，ランド）の物理的寸法に，最少導体間隙を加算し，トラックの物理的ピッチから占有トラック数を換算する。

② 腕／腕群作成時に，上記①の占有トラック数に対応する架空障害物（パターン）を設定する。　（図3－9 参照）

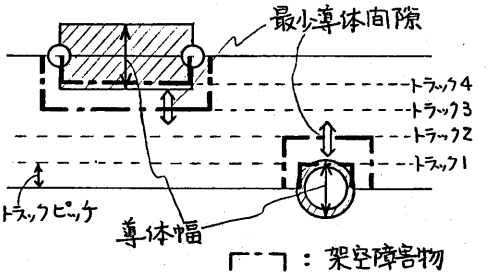


図3－9　架空障物

（3）その他

〈微小Viaを用いた配線〉

近年，基板の高密度化に伴い，微小（ランドレス）Viaの接続技術が出現し始め，配線技術の多様化が要求されつつある。この要求に答えるため，前記フローティング手法の後処理として，微小Viaを用いた配線手法も準備している。

図3－10に，微小Viaの設定位置例を示す。

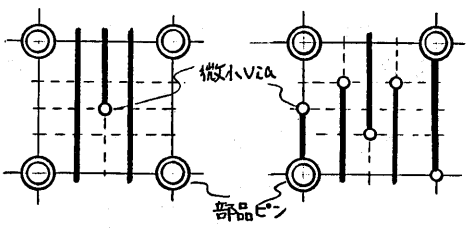


図3－10　微小Viaの設定位置例

4. 適用範囲

表4－1に、本アルゴリズムを組込んだ配線プログラムの仕様を示す。

表4－1　配線プログラムの仕様

項　目	配線仕様
基板の種類	2 ～ 10 層のプリント基板
自動配線領域	500mm × 500mm
格子間トラック数	1本 ～ 5本
最大部品実装数	500 個
最大ネット数	1500 ネット
配線経路	・T分岐経路 ・一筆書き経路

5. 性能評価

配線プログラムの各種性能評価について，以下に報告する。
（配線結果は表5-1に示す）

〈性能評価対象基板仕様〉

	配線領域 (mm)	基板層数	信号層数	ネット数	配線区間数	配線経路	全ピン数 (含コネクタ)	部品搭載密度 ($inch^2$/IC)
PKG1	195×185	4	2	396	697	T分岐	1266	0.62
PKG2	195×185	4	2	374	721	T分岐	1270	0.62
PKG3	195×185	4	2	320	692	T分岐	1274	0.62

なお，使用コンピュータは UNIVAC－1100／42 システムである。
（注）部品搭載密度＝配線領域(インチ換算)／（全ピン数／14）

(1) トラックフローティング手法の評価

(a) 格子間トラック数の増加について

図5-1に示すように，格子間トラック数が増加しても，処理時間減少(2本：4本≒2：1)の結果を得た。

(b) IC ピン間3本配線について

図5-2に示すような配線仕様

① 1本/1.27mmの場合。
(-2.54mm格子点+α Via可
-トラックフローティング手法の適用不可)

② 3本/2.54mmの場合。
(-2.54mm格子点のみ Via可
-トラックフローティング手法の適用)

の比較をした結果，図5-3に示すように，①は②に比べ

未結線数： 14～39本 減
Via数： 5～15% 減

の効果が得られ，トラックフローティング手法の有効性を見ることができる。
また，①，②の処理時間(CPU時間)については，殆んど差はなく約20分であった。

(c) 蛇行探索

図5-4に示すように，3本/2.54mmについて蛇行探索を適用すると，

Via数： 9～10% 減

の効果が得られ，有効性を見ることができる。 配線率については，殆んど差がなかった。(蛇行探索なしの場合は，Viaをより多く使用して配線率を上げたと推定される。)

(d) IC ピン間4本配線について

① 2本/1.27mmの場合。
(-2.54mm格子点+α(1.27mm対角線上)Via可
-トラックフローティング手法の適用)

② 4本/2.54mmの場合。
(-2.54mm格子点のみVia可
-トラックフローティング手法の適用)

について評価した結果，総合的に見て①②は同程度の性能と思われる。(表5-1参照)

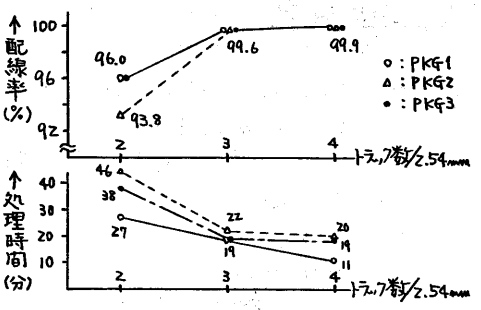


図5-1 格子間トラック数の増加

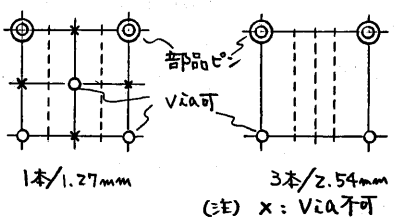


図5-2 配線仕様

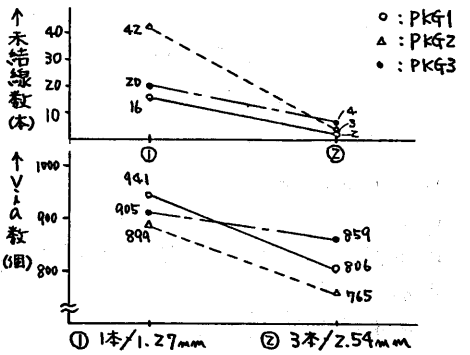


図5-3 IC ピン間3本配線

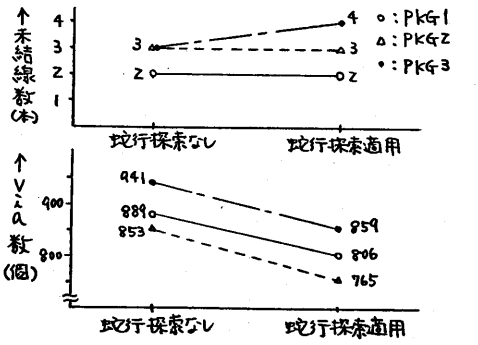


図5-4 蛇行探索配線

（2）導体間隙認識配線手法の評価

本配線手法の応用例として，ICピン間2本，格子間（2.54mm）4本かつ，微小Viaの配線仕様が適用可能となる。（図5－5参照）

前記配線仕様とICピン間2本，格子間2本に比べ，（図5－6参照）

未結線数：22～45本　減

Via数：3～10％　減

の効果が得られたが，

処理時間：5～40％　増

になった。処理時間の増加は，腕／腕群作成時での，架空障害物の設定時間と推定される。

（3）微小Viaを用いた配線の評価

ICピン間2本，格子間2本において微小Viaの位置を2.54mm格子上のみと，任意のトラック位置に設定可能にした場合の比較を図5－7に示す。

未結線数：13～21本　減

の効果が得られた。

Via数：9～18％　増

微小Viaの増加分は，トラックフローティングの後処理としての付加配線（任意位置Via）時におけるViaの使用個数である。（処理時間の増加についても同様）

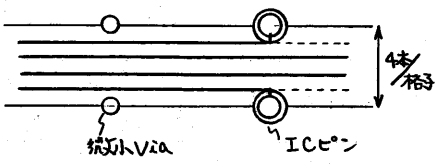


図5－5　ICピン間2本，格子間4本

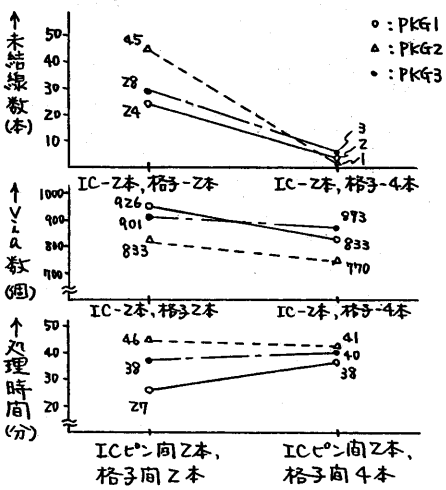


図5－6　導体間隙認識配線

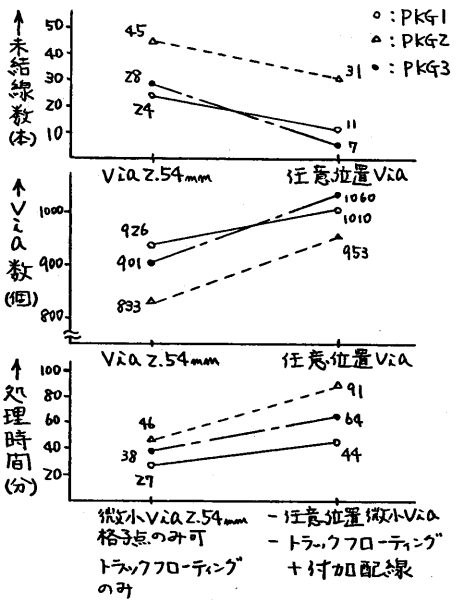


図5－7　微小Via配線

表5-1 配線結果

配線仕様		PKG1			PKG2			PKG3		
		未結線数	Via数	処理時間	未結線数	Via数	処理時間	未結線数	Via数	処理時間
トラックフローティング手法 (Via位置 2.54mm格子点)	2本/2.54mm	24	926	27 (分)	45	833	46 (分)	28	901	38 (分)
	3本/2.54mm	2	806	19	3	765	22	4	859	19
	4本/2.54mm	1	764	11	0	697	20	3	824	19
	1本/1.27mm (Via 1.27mm格 3点も可)	16	941	17	42	899	22	20	905	16
	*2本/1.27mm (Via 1.27mm格 3点も可)	3	672	19	4	713	21	4	692	19
	3本/2.54mm (蛇行探索なし)	2	899	19	3	853	23	3	941	21
導体間隙認識配線手法 (ICピン間2本, 格3間4本 微小Via 2.54mm格3点)		2	833	38	1	770	41	3	873	40
微小Viaを用いた配線 2本/2.54mm 任意位置 微小Via		11	1010	44	31	953	91	7	1060	64

(注) *--- 配線トラック数は 4本/2.54mm

6. まとめ

以上、本配線アルゴリズムの概要およびそれぞれの性能評価について述べてきた。現在、本配線アルゴリズムは迷路法と組合せ、自動配線システムとして、実用化している。

本配線アルゴリズムの初期開発目標については、実験結果に示すように達成できたと思うが、さらに、今後の課題として、汎用化によるオーバーヘッドの減少(高速化)を図っていきたい。

尚、本配線アルゴリズムの本体は、

プログラム規模: 約15Kステップ
プログラム言語: フォートラン

である。

参考文献

(1) 三上、他: IC計算機用プリント板の自動設計方式
通信学会大会誌, S52-4, 1968

(2) 上田、石橋: 多層プリント板自動設計システム
沖電気研究開発103, VOL.43 NO.2 1977