

プリント基板上における部品の概略配置に関する研究

行松 徹* 古橋 武* 内川 嘉樹* 鈴木 啓司**

*名古屋大学 工学部 ** (株) 中部日立エレクトリック

プリント基板CAD/DAの分野において、部品配置の自動化が遅れている。よい配置を実現するためには、回路の構造面だけでなく機能面をも把握し、階層的に配置を決定する必要があると思われる。

本報告では、ファジィ推論を用いてプリント基板上に部品概略配置を行う手法を提案する。本手法ではメインとなる信号の流れにより主要部品とその他の部品を選別、主要部品ごとに部品のブロック化を行い、部品の大きさや信号の流れを考慮しつつ各ブロックを配置する。配置位置の評価には、順序構造モデルによるファジィ推論を用いる。そして、実際のプリント基板を用いて本手法の有効性を検証する。

A Study on Rough Placement of Parts on a Printed Circuit Board

Toru Yukimatsu* Takeshi Furuhashi* Yoshiki Uchikawa* Keiji Suzuki**

*Nagoya University **Chubu Hitachi Electric Co., Ltd.

For computer aided design (CAD) / design automation (DA) for printed circuit board (PCB), automatic placement of parts has been a difficult problem. For realizing good placement, not only the structures but also the functions of the circuit should be grasped and some hierarchical methods for the placement should be done.

This paper describes a method of rough placement on the PCB using fuzzy reasoning. This paper also presents a new representing method of blocks of parts distinguished by signals flowing in the circuit. Rough placement means to assign an area on the board for the placement of each block. The feasibility of the method is verified using an actual PCB.

1 はじめに

プリント基板のCAD/DAの分野では、実装設計(部品配置と配線設計)の自動化が大きな問題となっている。特に、部品配置はほとんど人手によりなされている状態である。年々大規模化・高機能化するプリント基板の設計において、部品配置を自動化できることは実装設計の効率向上に大きく貢献する。

LSIの実装設計においては、ゲートアレイや標準セル方式により自動配置が実現しやすく、企業や大学での研究が進んでいる。しかし、プリント基板上における部品配置問題では、極端に大きさの異なる部品を、さまざまな制約条件を満たしながら配置しなくてはならない。また、配置結果は、基板全体の見通しがよく、その後の配線がうまくいくことなど、定量化の難しいもしくはコストのかかる評価を満足しなくてはならない。このため、LSI設計において開発された階層的配置手法^{[5][6]}や効率的な配置改善手法などをプリント基板の部品配置に適用するのは難しい。

よい配置を実現するためには、回路の構造面だけでなく機能面をも把握し、階層的に配置を決定する必要があると言われている^[4]。本研究では、回路の主要な信号の流れを基に、部品群をブロックに分割し、それぞれのブロックに配置範囲を割り当てる。本手法ではメインとなる信号の流れにより主要部品とその他の部品を選別、主要部品ごとに部品のブロック化を行う。ブロックの配置はこのブロックの大きさや信号の流れを考慮しつつ行う。配置位置の評価には、順序構造モデルによるファジィ推論^{[1][2]}を用いる。概略配置の後、全部品を配置する。実際のプリント基板を用いて本手法の有効性を検証する。

2 専門家の部品配置手法

部品配置の専門家がどのように配置しているかを調査した。その結果をまとめると次のようになる。

- 1) 回路上の論理の流れを把握する。
 - 2) 論理上に主要部品を把握する。
 - 3) 回路を論理ブロックに分割する。
 - 4) ブロック間の論理の流れを掴む。
 - 5) 基板上に各ブロックの位置・範囲を想定する。
 - 6) 主要部品を配置する。
 - 7) 副部品を主要部品の周辺に配置する。
 - 8) その他の部品を配置する。
 - 9) 全体の調和などを見直す。
- つまり、専門家は、回路上の論理の流れを考慮し

つつ、階層的に部品を配置していることが分かる。専門家が部品の具体的な位置を決め始めるのは、上記の6)からであり、5)までは大まかな配置を思い浮かべる段階である。本研究では、この専門家の手法を参考にした部品の配置手法を提案する。まず、回路上の主要な信号の流れを考慮して主要部品とその他の部品を選別し、主要部品ごとにブロック化を行い(1)2)3)参考)、ブロック間の信号の流れとブロックの大きさを考慮して(4)5)参考)配置範囲を割り当てる。信号の流れを考慮することにより、最終的な配置の見通しがよいことを目指している。

3 システムの概略

本研究では、配置する部品の集合をいくつかの部分集合に分割し、その各部分集合に配置場所を割り当てる作業を概略配置と呼ぶ。そして各部品の厳密な配置位置・方向を決定する作業を詳細配置と呼ぶ。Fig.1に本研究の部品配置システムの概略を示す。まず、CADデータから回路上の主要な信号線を抽出し、それを基に主要部品を抽出する。主要部品にその周辺の部品を加えてグループ化することにより、部品ブロックを生成する。こうして生成された部品ブロックに対して、基板上で配置範囲を割り当てる。以上が概略配置である。その後、全部品に対し、詳細な配置位置・方向を決定する。

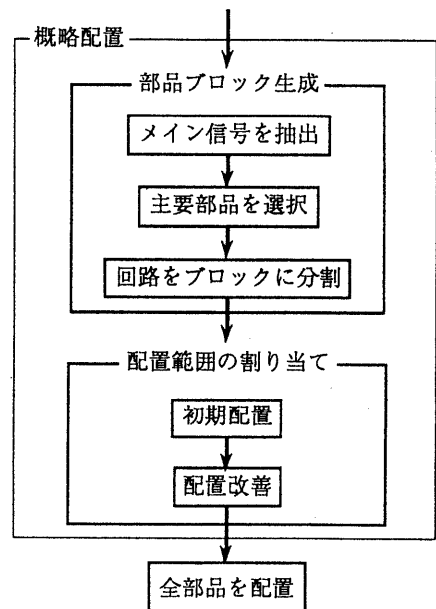


Fig.1 システムの概略

4 部品のブロック化

よい概略配置を行うためには、基板上の主要な信号の流れに着目する必要がある。つまり、対象となる回路のブロック図のようなものを考慮した配置である。もし、ブロック図のデータが回路データや部品データと対応した形でCAD上に存在するならば、それを用いることが可能である。しかし、そのためにはブロック図のデータの作成に新たな労力を必要としてしまう。そこで回路のCADデータから、この信号の流れを抽出することになる。回路のCADデータからメインとなる信号線を抽出し、その信号線の接続状況を考慮することにより、機能ごとのブロックを生成できる。具体的には、CADデータ内の信号線名が類似している信号線を同類の信号線とみなし、同類の信号線が所定の本数以上存在すれば、メインの信号とみなす。本数の基準はCADシステムの使用者によって設定される。メイン信号が接続されている部品を主要部品とし、主要部品ごとにその他の部品をグループ化して、部品ブロックを生成する。今回は、このグループ化に、シミュレーテッドアニリング (SA)¹⁷⁾を用いた。Fig.2のようにブロック間に渡って接続される信号線が最少となるように探索した。Fig.2において信号線の太さは結線数を表している。また、各ブロックは、主要部品とその周辺部品が十分配置できるような面積を持った長方形で表した。

5 部品ブロックの配置

各ブロックの初期配置として、今回は張力モデル¹⁴⁾による配置を行った。その後配置改善には、ファジィ推論による配置の評価手法を導入した。張力モデルでは、主要部品間の結線数をバネの張力とみなして力の釣り合いの方程式を解くことにより各ブロックの配置を決める。この手法は評価が単純すぎるので、これだけでよい配置を実現することは困難である。そこで張力モデルによる配置を行った後、全体の配置を評価しつつ各ブロックを移動・変形させていくことにより、配置を改善することにした。各ブロックの配置の評価にはファジィ推論システムを導入した。今回は、ファジィ推論の入力に、部品間のメイン信号の配線長、メイン信号線同士の交差数、そして、ブロックの重なり度合を用いた。概略配置において信号線の交差が多くなると、基板上の見通しが悪くなり、実際の配線が長くなってしまふ。ブロックの重なり度合は、ブロックの長方形が重なっ

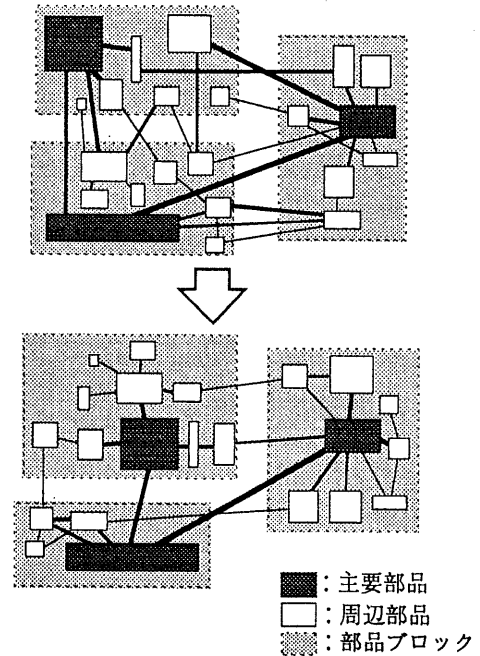


Fig.2 部品のブロック化

た部分の面積を用いた。各入力に対するメンバーシップ関数は、三角型とし、それぞれ3種類を用意した。評価ルールは、(a)配線長が短いほど、(b)配線どうしの交差点数が少ないほど、(c)部品ブロックの重なりが少ないほど評価値が高くなるように設定する。ファジィ推論の手法としては順序構造モデル¹¹⁾¹²⁾を適用した。従来ではファジィ推論規則は、次のように記述されていた。

$$R^i: \text{If } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{i2} \text{ then } y^i \text{ is } B_i \quad (1)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

推論値は例えばモーメント法¹³⁾を用いた場合、

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i c_i S_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i S_i} \quad (2)$$

となる。ここで、 R^i は*i*番目のファジィ推論規則、 A_{i1} , A_{i2} , B_i はファジィ変数、 y^i は*i*番目の推論規則の推論値、 n は推論規則数、 y は推論値、 μ_i は R^i の前提部適合度、 c_i , S_i はそれぞれファジィ変数 B_i に対応するメンバーシップ関数の中心位置および面積である。

この推論方法では、*l*入力のシステムにおいて、入力が*l*次元空間となり、人間が推論規則をイメー

ジすることが困難となり、専門家から推論規則を聞き出すのに多大な労力を要する。

大西の提案した順序構造モデルによるファジィ推論法¹¹⁾では、後件部の重心演算にモーメント法を用いた場合、次のようになる。

$$R^i: \text{If } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ then } y^i \text{ is } B_i$$

$$R^j: \text{If } x_2 \text{ is } A_{j2} \text{ then } y^j \text{ is } B_j$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i \mu_i c_i S_i + \sum_{j=1}^n \omega_j \mu_j c_j S_j}{\sum_{i=1}^n \omega_i \mu_i S_i + \sum_{j=1}^n \omega_j \mu_j S_j} \quad (4)$$

ここで、 R^i は入力 x_1 に対する i 番目のファジィ推論規則、 R^j は入力 x_2 に対する j 番目のファジィ推論規則、 ω_i は R^i の重視度、他の記号は(1)(2)式に準ずる。この推論法では、入力変数の数に関係なく各入力ごとに推論を行い、それらの規則の重視度に従って各推論結果を評価し、全体の推論値が得られる。推論ルールは入力変数ごとに考慮すればよいので、人間が推論規則をイメージすることが容易となる。概略配置においても今後考慮するパラメータが増えた場合にこの推論法が有効である。前述の(a)(b)(c)のルールでは、各パラメータの評価が悪いルールほど

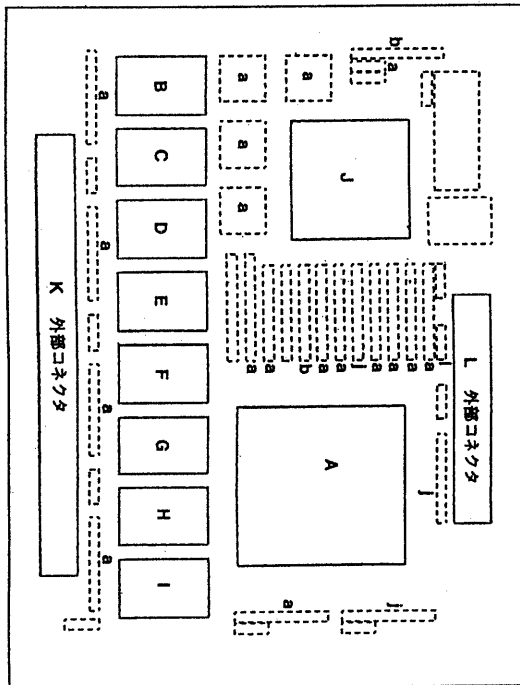


Fig.3 プリント基板の例

重視度 ω を大きくして、パラメータ間の評価のばらつきを押えるようにしている。

6 具体例

実際のプリント基板上の回路に対して、自動概略配置を試みた。Fig.3にそのプリント基板（専門家が配置したもの）を示す。但し、部品総数125個中、大きさを持たない（足が1本の）部品75個は表示していない。

6.1 ブロックの生成

Fig.3の基板の回路のCADデータから、メインの信号線を抽出した。この場合、同類信号線数が8本以上のものをメイン信号線とみなしたところ、データバス、アドレスバスなど、233本中166本15種類の信号線がメイン信号として抽出された。以下、メイン信号をまとめたものをバスと呼ぶ。次にバスが接続されている部品を抽出したところ、Fig.3の実線で描かれた12個の部品（A～L）が抽出され、これらの部品を主要部品とした。次に主要部品以外の部品を各主要部品とともにグループ化し、部品ブロックの形成を行う。4章で述べたように主要部品とその周辺部品をグループ化するが、主要部品B～Iは揃えて並べるべきメモリであるので、あらかじめ同一ブロックとしておく。部品ブロック間に渡っている信号線が最少となるようにシミュレーテッドアニーリングを用いて探索したところ、193本で収束した。結果をFig.3に併せて示す。a,b,j,k,lの記号の部品はそれぞれ主要部品A,B-I,J,K,Lのブロックに属している。いずれの記号も付いてない部品は、信号線が接続されていない部品である。部品ブロック間の信号線が総信号線数の割に多いのは、1本の信号線が、いくつものブロック間にまたがっているからである。また、どちらのブロックに属しても合計の信号線数が変わらない部品がいくつかあるので、探索の結果は一意ではないが、いずれも193本で収束し全体的な傾向に変わりなかった。Fig.3の基板上で各ブロックがかなり入り組んで配置されているのは、この基板の部品密度が比較的低いので、配線長を短くするより、部品を揃えて並べるべきだとするルールが強く働いたためと思われる。

6.2 ブロックの配置

各ブロックの配置では、位置が指定されている外部スロット部品K,Lをまず配置し、他の主要部品を張力モデルにより配置する(Fig.4)。B～Iのメモリは強制的に揃えて並べる。あらかじめ位置の指定されている部品が2個のため、他の部品は中央に集中し

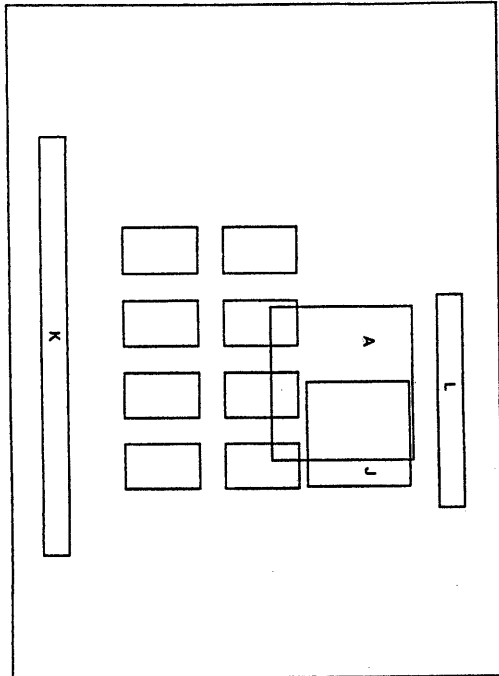


Fig.4 張力モデルによる配置

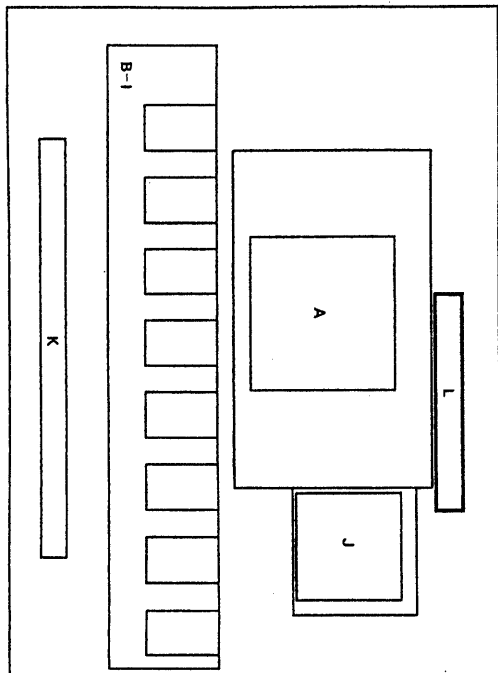


Fig.5 ブロックの配置例

てしまうが、この重なりを解消するために、主要部品の位置・方向、メモリの並べ方、ブロックの範囲を変化させながら配置の評価をし逐次改善していく。改善後の各ブロックの配置結果をFig.5に示す。A,B-I,J,K,Lのブロックに対して、内側の長方形が主要部品、外側の長方形が部品ブロックの領域である。専門家の配置結果と比較的よく似た結果が得られたと思われる。次に主要部品以外の部品を配置してみた。今回は、主要部品を新たに固定部品として部品ブロックを配置したときと同様の手法で配置してみた。結果をFig.6に示す。今後改良（同型部品を揃える、主要部品の補正、など）することにより、専門家の配置とよく似た結果が得られると思われる。

7 まとめと今後の課題

本報告では、ファジィ推論を用いたプリント基板上の部品概略配置の手法を検討した。信号の流れを考慮し、部品の配置面積を確保した概略配置を行うことができた。今後は、配置結果の良否判定方法の詳細な検討を行うと共に、専門家の知識を獲得・実現しやすいシステムに発展させていく予定である。

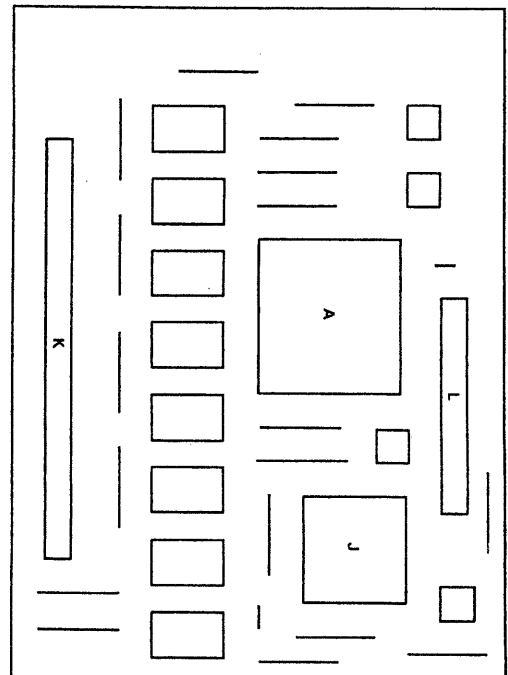


Fig.6 部品の配置例

<参考文献>

- [1]大西：制御規則の順序構造モデルによるファジィ推論方法；日本ファジィ学会誌,Vol.2, No.4, pp.125-132, 1990
- [2]内藤、古橋、内川：可変順序構造モデルによるファジィ推論とその作業着手手順決定への応用；日本ファジィ学会誌, Vol.3, No.4, pp.777-786, 1991
- [3]佐野、川辺：ファジィ制御の高速化とその応用；電機学会産業計測制御；産業システム情報化合同研究会, IIC-90-3, pp.19-27, 1990
- [4]小田原、後藤 監修：最新プリント配線板のCAD；ミマツデータシステム, 1989
- [5]栗島、金子、戸川、佐藤、大附：配置問題に対する分枝限定法の階層的適用とその評価；情報処理学会研究会報告, 92-DA-62, pp.179-184, 1992
- [6]荒川、小川：4分割初期配置手法；情報処理学会研究会報告, 92-DA-62, pp.185-190, 1992
- [7]喜多：Hopfield型ニューラルネットワークとシミュレーテッドアニーリング；人工知能学会誌, Vol.7, No.6, pp.970-979, 1992
- [8]下平、伊藤：回路図の素子の自動再配置手法；情報処理学会研究会報告, 88-DA-42,6, 1988