

# 機能パターン設計システムの一提案\*

宮 崎 敬\*\*

## One Efficient Functional Oriented Pattern Design System

Takashi MIYAZAKI

Recently, in using CAD and CAM, more human friendly graphic system is often required. So it must have a data structure that it is fast to retrieve a plain figure data. We already applied the data management structures, named the layer BD-tree and the unification BD-tree. We examined the efficiency of two data structures, then the former proved to be fast. So this paper proposes one IC-CAD system with it.

### 1. は じ め に

最近、図形処理やコンピュータグラフィック分野の研究が盛んになり、また、高解像度ディスプレイ装置の低価格化、グラフィック関連機器のメモリの増大、そしてマウスやタッチパネル等の対話性の良い座標指示装置の普及等にもない、CAD、地理情報処理および自動図面入力分野で対話性の良いグラフィックシステムが強く求められている。図形データ処理の対話性を向上させるためには、効率の良いデータ管理構造とそのデータ構造上での検索や処理性能が重要となる。すなわち、ある問題に対してデータ構造を検索し検出するのに要する検索時間やデータ管理構造を構成するのに要する前処理時間および動的なデータ環境に対して一つのデータを投入・削除するのに要するデータ構造の更新時間が短いことが必要である。また、データ構造を管理するのに必要なメモリ量が少ないことが必要となる。

また、対話性の良いグラフィックシステムで重要な要素には、ある範囲を指定してその範囲内にある図形データを拡大表示したり、その範囲内の図形データに対して処理を施す機能や、座標指示装置を用いて処理対象の図形データを直接ではなくその近傍点を指し示した確かな所望の対象図形データの指示を高速に行うことができる機能が上げられる。これらの空間的位置関係に基づく検索においては、平面上における図形データと指し示された範囲や点の位置関係が重要となる。このため、対話性の良いグラフィックシステムでは、図形データの空間的位置関係に基づく検索に適したデータ管理構造が必要と考えられる。

従来から、空間的位置関係に基づくデータ管理構造としては、対象平面を縦・横で等間隔に $n$ 等分を行い、近くにある要素をブロック化して2次記憶上に蓄積し管理する方法等が提案されている<sup>(1)(2)</sup>。しかし、図形データの遍在や動的環境下での検索効率の低下が指摘され

\* 昭和61年3月 電子通信学会総合全国大会において一部発表

\*\* 電気工学科 講師

原稿受付 平成3年9月30日

ている。これらの欠点を改良し空間的位置関係に依存した検索に適したデータ管理構造としてBD木構造が提案されている<sup>(3)(4)</sup>。BD木構造では、縦・横という順に2等分割を繰り返して、分割領域を「領域式」と呼ぶ領域表現を用いることにより2分木を構成し管理するデータ管理構造であり、多次元情報管理のために開発されたものである。

本論では、この良好な検索効率をもつBD木構造を図形データ管理に用いたIC-CADシステムについて提案する。

## 2. BD木構造による図形データの管理

### 2-1 図形データの管理

BD木構造には、図形データを一括して一つのBD木構造上で図形データを管理する一括型と、図形の種類や属性をもとに種類毎や属性毎にBD木構造で管理するレイヤー型とがある<sup>(5)</sup>。BD木構造で重畳関係にある多種類の図形データを管理するような場合には、重畳する図形データを分けて管理するレイヤー型の方が有利である<sup>(6)</sup>。従って、今回のIC-CADシステムではICの各層(レイヤー)毎にデータ構造を持つレイヤー型BD木構造を取り入れている。このデータ構造を用いると、数種類のレイヤーの重畳から構成される素子部分などを検索する場合、その使用されているレイヤーの図形データのみ、その重畳関係に基づいた検索を行えば良いことになる。

図形データの最小単位は各部分パターンの多角形としている。木構造の葉ノードで管理する情報としてはこの単位となる図形データの各頂点座標と、この図形データに外接する長方形および長方形の中心座標である。外接長方形の情報については、次節で説明する。木構造の構成には、この外接長方形の中心座標から得られる「領域式」を用いる。また、各ノードには各々の子ノードの外接長方形に外接する長方形の情報を階層的に持たせてある。このため複雑な図形データの領域もその概形が容易に把握できる管理構造となっている。

空間的位置関係による処理対象の検索としては、指定点に最も近い図形データを検出する最近図形検索、ある範囲内の全図形データや特定の図形データを検出する範囲検索、および図形データ間の重畳関係を検出する重畳図形検索がある。

最近図形検索は削除や位置確認のために、範囲検索は複写や拡大・縮小のために、重畳図形検索は重畳パターンの検出のために利用される。最近図形検索では、指定点が含まれる外接長方形を領域式による演算で求め、得られた第一候補との距離を基に範囲検索を行いながら戻るため効率良い検索が行われる。範囲検索は指定された矩形とデータ構造上に持たされた外接長方形との重複検査により、検索が階層的に効率よく進められる。重畳図形検索では、範囲検索の指定された矩形の代わりに図形データの外接長方形を基に範囲検索と同様に効率良い検索が進められる。

### 2-2 データ構造の作成

図1の場合について、どのようにレイヤー型BD木構造が作成されるか説明する。図1はCMOS・NAND回路2個のICパターン図を示したものである。レイヤー型では初めにICパターンの各層をレイヤーとして登録(最大64層まで)しておき、各レイヤーに分離し各レイヤー毎にBD木構造の作成にはいる。図1では(a)メタル層、(b)n+ポリシリコン層、(c)p+拡散層および(d)n+拡散層の4層からなるため4つのBD木構造ができることになる。

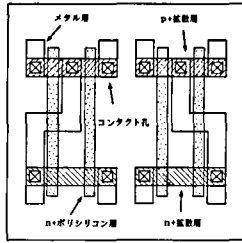


図1 CMOS・NAND回路のICパターン図

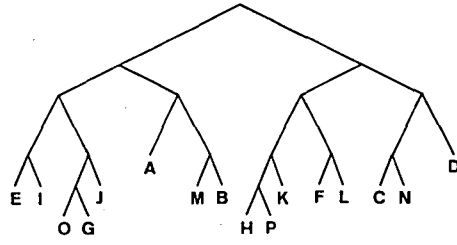
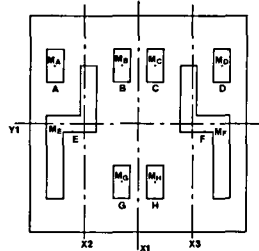


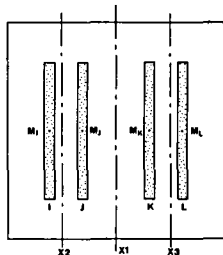
図4 一括型によるBD木構造



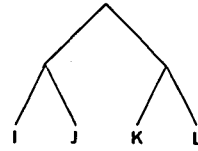
(a) メタル層



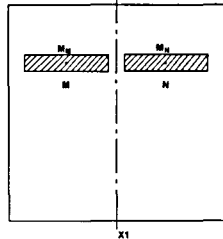
(a) メタル層のBD木構造



(b) n+ポリシリコン層



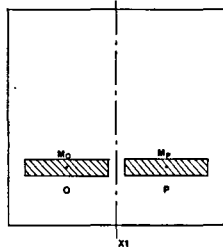
(b) n+ポリシリコン層のBD木構造



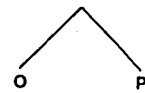
(c) p+拡散層



(c) p+拡散層のBD木構造



(d) n+拡散層



(d) n+拡散層のBD木構造

図2 各層のパターン図

図3 作成された各層のBD木構造

図2の(a)から(d)に各層に分離したパターン図を示す。図2(a)の図形データをAからH, その各図形データの外接長方形の中心座標を $M_A$ から $M_H$ とする。BD木構造における領域分割方法は、まず、対象平面を2分割を行っていく段階で、Y軸およびX軸に平行な軸で2等分割されてできる領域の左側および下側領域を「0」、右側および上側領域を「1」とした2進符号系列表記をしながら分割して行く方法である。そして符号の最後には終了符として「\*」を付けることにしている。従って、(a)の場合にはX1軸で分割が行われ、続いてY1軸、X2軸、そしてX3軸により分割が進められる。最終的に各図形データの中心座標が各領域に一つずつになるまで分割が行われるので、できる分割領域は8個になる。例えば、Aを含む領域はX1軸、Y1軸、そしてX2軸で分割が行われるので「010\*」という符号列で表わされることになる。以上の分割により作成されたBD木構造を図3(a)に示す。

次に、図2(b)の図形データをIからL, 外接長方形の中心座標を $M_I$ から $M_L$ とする。BD木構造作成のための分割はX1軸、X2軸、そしてX3軸で行われる。その結果を図3(b)に示す。

同様に、図2(c)と(d)については、図形データをM, NおよびO, Pとし、その外接長方形の中心座標を $M_M$ ,  $M_N$ および $M_O$ ,  $M_P$ としてBD木構造を求めると、図3(c)および(d)となる。両方とも分割はX1軸による1回だけで終る。

次に各木構造のすべてのノードに対して、各ノードを根とする部分木中に含まれるすべての図形データに外接する長方形を作り、この長方形の位置と大きさの情報を部分木の根ノード(親ノード)に持たせてある。従って、葉ノードにおいては、対象となる1つの図形データの外接長方形の情報がノードに記憶されることになる。また、根ノード(ルート)には木構造に含まれるすべての図形データに対して設定された外接長方形が記憶される。この外接長方形は具体的には外接長方形の対角線の両端点、すなわち左下隅および右上隅の2点の座標で示される。以下にノードのデータ型を示す。

```
struct node {struct node *left, *right; /* 左右子ノードへのポインタ */
            long int reg; /* 領域式 */
            int xs, ys, xe, ye;} /* 外接長方形の座標データ */
```

参考のため、図4には一括型のBD木構造による場合のデータ構造を示しておく。この場合には上記のデータ型にレイヤーの種類まで持たせる必要がある。

### 3. システムの編集機能

図5に本システムの構成を示す。本システムはデータゼネラル社のMV/4000を中心として、マウス操作による編集作業が主体となるシステムである。開発言語はUNIX-OS上のC言語によるものである。また、表示には1024×1024のフルカラーディスプレイを持ち、出力機器としてはMT装置、フロッピー装置、X-Yプロッタおよびプリンタを持つものである。

システムの編集画面を図6に示す。編集作業領域は400万×400万画素で、レイヤー数は最大64個が可能である。編集用のコマンドとしては、大きく分けて次の5種類である。

- ① 作画・修正コマンド：ICパターンの作画、修正、削除および追加等を行う。

- ② 画面変換コマンド：表示されている IC パターンの拡大，縮小および回転操作を行う。
- ③ 確認・解析コマンド：マウскарソルの位置するレイヤーの確認およびレイヤーの重畳関係の確認を行う。
- ④ 入出力コマンド：IC パターン図の MT 装置やフロッピー装置との入出力および X-Y プロッタへの出力
- ⑤ 回路検証コマンド：作成された IC パターン図が禁止項目に該当しないか調べる。

本システムの特徴は，図形データを BD 木構造上で管理することにより処理対象の図形データを高速に検出できたり，直接ではなく近傍を指示するだけで検出できるといった操作性において，マン・マシン・インターフェースを良くした点にある。また，図形データ間の重畳関係により機能素子を表すパターンの検出が容易である点も上げられる。なお，⑤については現在開発中である。

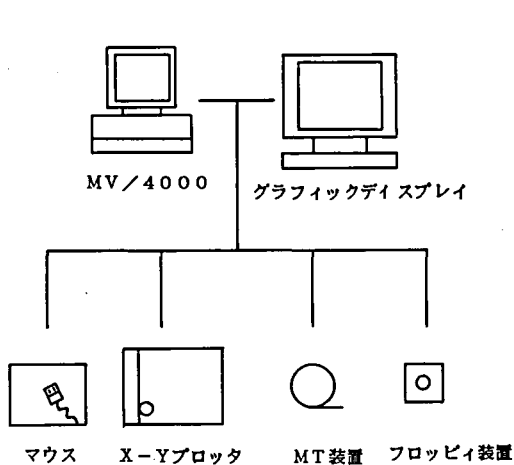


図5 システムの構成

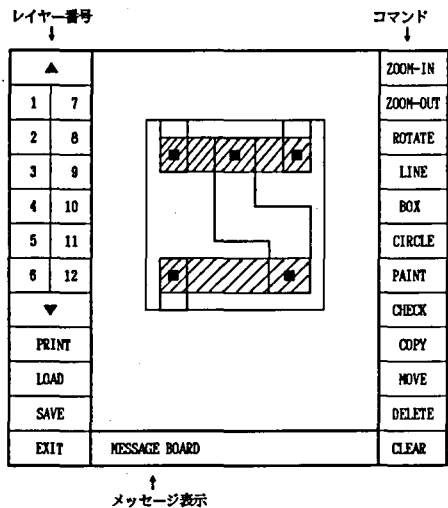


図6 システムの編集画面

#### 4. 検索効率の性能

IC-CAD等で扱う図形データは部分的に非常に大きかったり，広い範囲に複雑にまたがっていたりする特殊な形状のものが含まれる。BD 木構造では外接長方形が図形データの概形を把握するのに利用されているため，これらの図形データが各検索に与える影響は大きいと考えられる。各検索の性能を一括型とレイヤー型とで考えた場合，最近図形検索と範囲検索では現在編集中心か表示されている場合に行うことが多いので，つまり，どのレイヤーか明確なためレイヤー型の方が検索効率が良いと考えられる。しかし，重畳図形検索の場合にはレイヤーが指定されないで検索の必要な場合もある。このためどちらの型が有効か明確でないため，図7の図形データを用いて，各型の効率を次のような測定により評価することにした。

##### 4-1 測定方法

測定に用いる図形データとして図7に示す形状のものを用意し、それぞれI型、L型、Z型およびN型と名付けた。これらの図形データの外接長方形の中心座標を疑似乱数により8000×8000の2次元空間に500個発生させ、また、図形データの種類も疑似乱数により決定した。

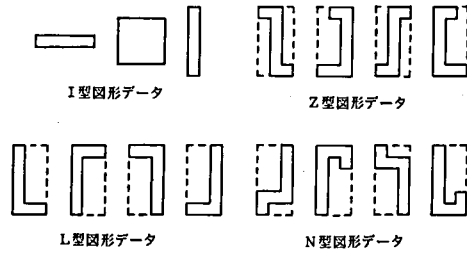


図7 測定に用いた図形データの形状

図形データの大きさは表1に示すようにA

表1 測定に用いた図形データの資料

| 図形データ群                   | A     | B     | C     | D      | E      | F      | G      |
|--------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 図形数                      | 500   | 500   | 500   | 500    | 500    | 500    | 500    |
| 平均図形面積                   | 23176 | 30013 | 39007 | 49978  | 30572  | 70854  | 80962  |
| 平均外接長方形面積                | 45056 | 66816 | 97408 | 137728 | 178688 | 220160 | 262144 |
| 平均フィット率(%) <sup>1)</sup> | 51.40 | 44.94 | 40.02 | 36.30  | 33.91  | 32.19  | 30.88  |
| 図形の重なり度 <sup>2)</sup>    | 0.181 | 0.234 | 0.305 | 0.390  | 0.473  | 0.554  | 0.633  |
| 外接長方形の重なり度 <sup>3)</sup> | 0.352 | 0.522 | 0.761 | 1.076  | 1.396  | 1.720  | 2.048  |

- 1) [フィット率] =  $\frac{[\text{図形面積}]}{[\text{外接長方形面積}]}$       2) [図形の重なり度] =  $\frac{[\text{総図形面積}]}{[\text{全空間面積}]}$   
 3) [外接長方形の重なり度] =  $\frac{[\text{総外接長方形面積}]}{[\text{全空間面積}]}$

からGまでの7段階に変化させた。測定の内容は次に示す。

- ① 1種類の図形データを指定し、木構造よりその図形データすべてを検索したときの検索時間。
- ② 4種類の図形データから2種類を選び（全部で16通りの組合せ）、その重畳関係を持つ図形データの検索したときの検索時間。
- ③ 4種類の図形データから3種類を選び（全部で64通りの組合せ）、その重畳関係を持つ図形データの検索したときの検索時間。

なお、今回の測定にはデータゼネラル社のMV/4000を用い、プログラムはC言語で記述している。

#### 4-2 測定結果と考察

測定結果を図8に示す。図中の①～③は測定項目の番号を表している。①の1種類の図形データを指定した場合、検索時間にほとんど変化はみられない。これは一括型BD木においては全体の木構造を探索し指察された種類の図形データであるかの判断を行うだけであり、レイヤー型BD木においては指定された種類の図形データの木構造を探索するだけであるため、図形データの重なり、外接長方形の重なりおよび図形データのフィット率の影響をまったく受けないためである。

②の2種類の図形データを指定しその重畳関係を持つ図形データを検索する場合、および③の3種類の図形データを指定しその重畳関係を持つ図形データを検索する場合は図形デー

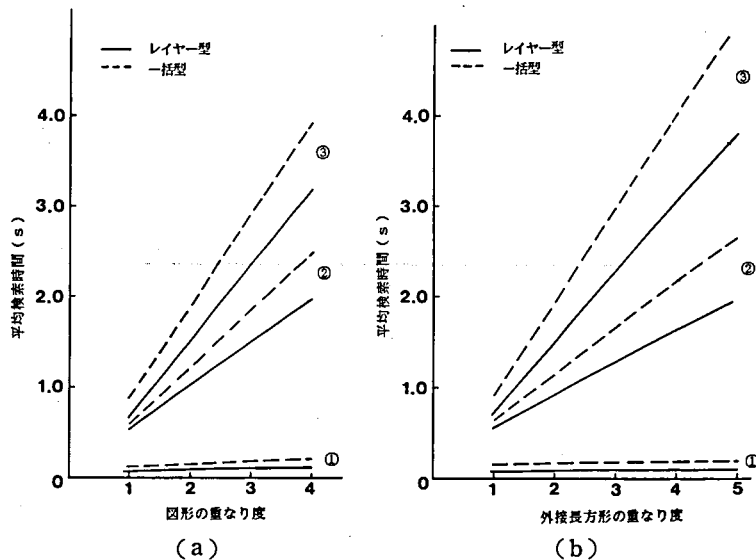


図8 重畳図形検索における性能測定結果

タの重なりが増加する、あるいは外接長方形の重なりが増加するほど検索時間は増加している。また、②より③の方が検索時間の増加する割合が大きい。重畳図形検索では図形の重なり、外接長方形の重なりおよび図形データのフィット率の影響を強く受けることがわかる。これは、重畳図形検索が範囲検索を基礎としている（今回の測定では外接長方形の一辺は対象空間の一辺の2.7%~6.4%に当たる）ためと考えられる。このように重畳図形検索のような狭い範囲での範囲検索を何度も繰り返すような検索の時、外接長方形の重複部分の増加が検索性能の低下を招くことになる。

また、一括型 BD 木構造とレイヤー型木構造を比較すると、一括型の方が検索時間が大きく増加しておりレイヤー型の方の割合が小さい。重畳図形検索においては、一括型木構造よりもレイヤー型木構造の方が、無効な図形データの重なりや外接長方形の重なりの影響を受けにくいいため検索性能が良好であると言える。

## 5. むすび

本研究では、対話性の良いコンピュータグラフィックシステムの構築を目的として、空間的位置関係による効率の良いデータ管理構造として提案されている BD 木構造の導入を試みた。また、BD 木構造では一括型とレイヤー型とがあるが、今回の IC-CAD のように図形データ間の重畳関係が機能を持つような場合にはどちらの方が重畳図形検索において有効かをシミュレーション実験により調べた。その性能測定の結果、レイヤー型の方が有効であることがわかった。また、このデータ構造の導入により各検索において演算コストの高い計算部分を大幅に減少させているため、人間の座標指示に要する時間に比べ検索時間も無視できる程度で、CAD 等のグラフィックシステムへの応用には十分な性能と考えられる。さらに一括型とレイヤー型とそれぞれ長所・短所があるため、用いるグラフィックシステムに合わせて選択することによりより良い性能のグラフィックシステムが構築できると思われる。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり御指導頂きました東京大学生産技術研究所の坂内正夫教授および大沢裕助手（現在埼玉大学助教授）に深く感謝申し上げます。また、実験の際に御協力頂いた信州大学大学院生の松本健志君（現在三洋電気株式会社）に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) 笠原，他：「地理情報システムとその応用」，グラフィックスとCAD シンポジウム予稿集，pp. 59-66, 1983. 12.
- (2) 大金”「公益事業における地理情報データベース」，電気学会情報工学研究会資料，IP-81-4，PP. 33-42, 1981.
- (3) 大沢，坂内：「良好な動特性を持つ多次元点データ管理構造の一提案」，信学論 J66-D, No. 10, 1983. 10.
- (4) 大沢，坂内：「2段階の木構造による領域情報管理方式」，信学論 J67-D, No. 4, 1984. 10.
- (5) 宮崎，大沢，坂内：「多次元パターン管理構造の図形管理への応用」，長野高専紀要，第18号，1987. 1.
- (6) 宮崎：「図形管理における BD 木の性能評価」，長野高専紀要，第19号，1988. 12.