

## 図形の干渉と場の理解の自動化に関する一考察\*

正会員 長谷川 和 彦\*\*, 学生会員 服 部 真 人\*\*\*

### An Approach to Visual Information and Space Understanding for Automatic Layout (VISUAL)

By Kazuhiko HASEGAWA (Member) and Mato HATTORI (Member)

Handling of visual information is one of the most human-oriented problems. Though people can easily do it without any measurement or calculation, it is generally very difficult to treat it in computer application. In our previous studies<sup>2),3)</sup>, we have developed a method to perceive picture interference, and showed its applications. This method can be applicable to various automatic layout systems, in which a rule such as "set the object to an appropriate place without interfering other objects" is included. We have also proposed a concept of "spatial distance" for more human-like handling of visual information.

In the present study, we have utilized the concept of "spatial distance" and proposed a method to understand the most "wide" place in the limited area. This method is applied to a case where three polygons are already placed in a given area. The system finds out the most suitable place for the fourth polygon to be placed without any instructions from human operator. After setting the polygon to the recommended place, the system again checks the "spatial distance" between the newest polygon and already-set polygons, and suggests to adjust the position of the newest polygon so as to be equally apart from other adjacent polygons.

#### 1. 緒 言

船舶は多数の機器を高度に集積した一つの巨大な機械である。一つ一つの機器がその機能を支障なく発揮できるよう、その配置位置は設計の段階で十分検討される。そういった複数の機器を限られた領域内に配置する配置設計の問題は、船舶に限らずあらゆる分野で専門家を必要とする仕事である。例えば電子回路のプリント配線基板の設計、機械類の操作パネルのデザイン、住宅の間取り計画など、それぞれの対象によって独特のノウハウがあり対象に関する専門的な知識が存在する。

さらに、例えば船舶の甲板上の機器の配置設計では数十から数百もの機器の位置を決めねばならず、しかも個々の機器の位置には自由度があるので、考えられる組合せは無限とってよい。もちろんその中には二つの機器が物理的に干渉してしまう場合や機能的な条件を満足しな

いものもあるから、そういった誤りの場合を取り除いてもなお残った正しい解は複数考えられる。複数の解は比較すれば当然良し悪しが生じる。だから配置設計では広い問題空間の中から解を見つけ、過去に見つかった解と比較し良い解だけを残し、段階的に徐々に解の質を向上させていく。つまり、配置設計には時間と労力をかけた試行錯誤が必要なのである。その試行錯誤の回数を減らし、短い時間と少ない労力で質のよい解を得るために、専門家は独特のノウハウを駆使するわけである。

このように、時間と労力のかかる配置設計の問題をコンピュータで自動化あるいは支援することは最早時代の要求であろう。著者らは、ここ数年エキスパートシステムを用いた配置設計の自動化に関する研究に取り組んできた<sup>1)2)</sup>。その結果、配置問題においても専門家の知識をif-then形式のルールで記述したエキスパートシステムが有効であり、最終的にはまだ専門家の判断に頼らざるを得ないものの、仮設計あるいは見積段階での利用には十分実用的であることがわかった。しかしながら、むしろシステム化のポイントは専門家からの知識獲得ではルールとして表現できない、いわゆる深層知識であり、

\* 平成2年度5月15日 関西造船協会春季講演会において講演、原稿受付 平成2年3月24日

\*\* 大阪大学工学部

\*\*\* NKK(研究当時 大阪大学大学院在学)

それらをどうエキスパートシステムの中で表現するか、ということが重要であるとわかった。そして、オブジェクト（配置対象物）の階層化及び図形の干渉の理解法の二点について提案を行なった。

本論においては、その図形の干渉の理解の一つとして提案した Spatial Distance（空間的距離）という概念をさらに発展させて、場（広さ）の理解を試みた。

## 2. エキスパートシステム

造船会社勤続何十年のエキスパートは誰よりも船舶の甲板機器の配置設計をうまく行うことができる。がしかしプリント基板の設計は専門外で知識がないからできない。逆にプリント基板設計の専門家は、船のことは知らないから甲板機器の配置設計などとてもできない。配置設計という同じタスクでも対象とするドメインによって固有の知識が必要なのである。配置設計の自動化を目指すときまず第一に必要なものは対象となるドメインに関する専門知識である。

今、扱おうとしている領域や分野に固有の専門知識は、その分野に関する専門家からインタビュー（知識獲得）によって聞き出すことができる。それをルールとしてデータベースに蓄え、コンピュータを介して利用し、専門知識を持たない素人があたかもその分野の専門家のような仕事をすることができる。これがエキスパートシステムと総称されるものである (Fig. 1)。

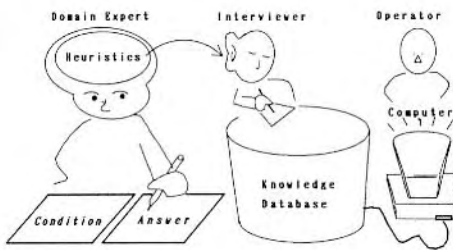
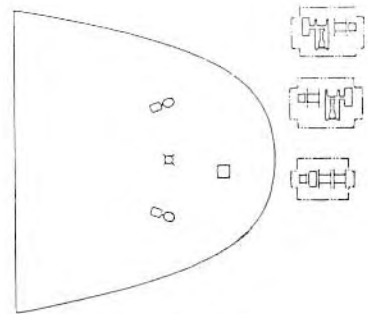


Fig. 1 Implementation of an expert system

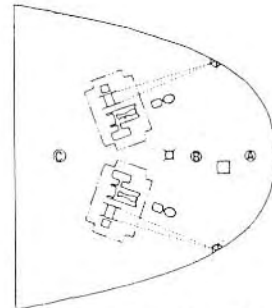
エキスパートシステムについて考察するとその要件は、専門知識をどうやって聞き出すか、聞き出した専門知識をどういう形でデータベースに蓄えるか、そしてデータベースに蓄えられた専門知識をどうやって利用するか、つまりルールの記述とその利用方法である。

一般にルールは条件部とその条件が満たされたときになされるべき実行部の二つを合わせたものである。こういったルールを多数記述し、どのルールの条件部が満足されているか探し出し、そのルールの実行部を実行に移す。実行部を実行したことでデータに変更がなされ、また別のルールの条件部を満足するようになる。複数のルールが互いに連鎖して実行されることによって入力データを加工していく。この認知実行サイクルがエキスパート

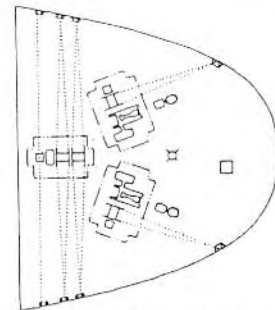
システムの本質である。したがって当然のことながら、ルールに記述されていることは確実に実行してくれるが、ルールに記述されていないことまで実行することはでき



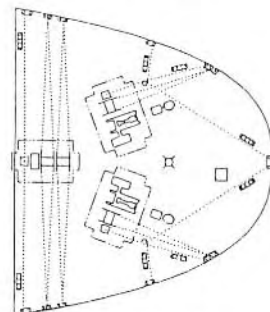
a. Input



b. Set windlasses at first



c. Set next object



d. Output

Fig. 2 System flow of ESSEL

ない。つまりルールの記述が全てを左右するのである。

ルールの記述を方法論的に考察するとき、コンピュータ上の記述言語に負うところも少なからずあるが、それ以上に、専門家から専門知識を聞き出すことがルールの記述に直接つながるのだから、インタビューの過程が重要である。専門家からその知識をインタビューによって聞き出そうとすると、そのインタビューを受けた専門家は自身の持つ知識を意識して表現する必要がある。表現するということは、コンピュータ上の記述言語でないにしろ、日本語あるいは英語といった文法体系のある言語にすることにはかわりはない。日頃意識せずに使っている知識を整理して、なんらかの文法に乗っ取って言語化することは非常に難しいことである。必ず、整理しきれない、頭の奥底に潜む深層知識が存在し、それこそ自動化のために必要な知識なのである。

### 3. ESSEL<sup>1)2)</sup>

配置設計の自動化を目指して、エキスパートシステムの有効性を検証するために、1987年度にESSELというシステムを構築した。ESSELとExpert System for Shipboard Equipments Layoutの略称で、その名の通り船舶の甲板上の機器を配置設計するエキスパートシステムである。ここでその動作の概略を紹介する。

Fig. 2 aに示すように、船首部フォクスルデッキの形状とその中に配置すべき機器ともう既に決まっているホースパイプなどの位置と形状が前提条件である。それら前提条件を入力データとして与えた後は、自動的に数分後にはその前提条件のもとでの完成予想図が出力される(Fig. 2 d)。このとき、なるべく物理的干渉が起こらな

いよう配置していくのだが、優先されるべきルールがあると物理的干渉を回避できず、その場所と理由を提示しオペレータの指示を仰ぐことになる。

この係船機器配置設計システムを実際に構築していく上で必要だったことは、物理的干渉状態をどうやって検出するか、ということであった。多数の機器の配置位置を一つずつ決めていくうちに二つの機器が互いに干渉してしまうことがある。これは物理的に許されないことであって、システム内でそれを検出して避けなければならない。図形間の物理的な干渉については文献<sup>2)4)</sup>を参照されたい。

また、本論の趣旨からはずれるので詳しく述べないが、ESSELをさらに発展させ、係船機器の仕様決定から概略配置の検討までを仮説推論を用いて自動化したシステムVESSEL<sup>3)</sup>を1988年度に作成した。Fig. 3はその出力の例である<sup>3)</sup>。

本論で問題にしたいのはESSELの入力から出力に至る過程である。専門家からのインタビューによって得られた専門知識によると、まず最初にウィンドラスをホースパイプの後方 $k$ メートルに配置する(Fig. 2 b)。ここで $k$ とはアンカーチェーンの径とチェーンストッパーの型式によって一意に決まる定数である。そしてもう一台のウィンチは、ウィンドラスを配置した後、領域内の全体を見渡しながらかんターライン上なるべくバランスよく配置する(Fig. 2 c)。つまり、最も優先されるべき機器を最初に配置し、その後で次の機器を空いている所へ配置するのである。空いている所とはどうやって見つければよいのだろうか？ Fig. 2 bでA点やB点よりもC点の方が空いていると感じるのはなぜであろうか？

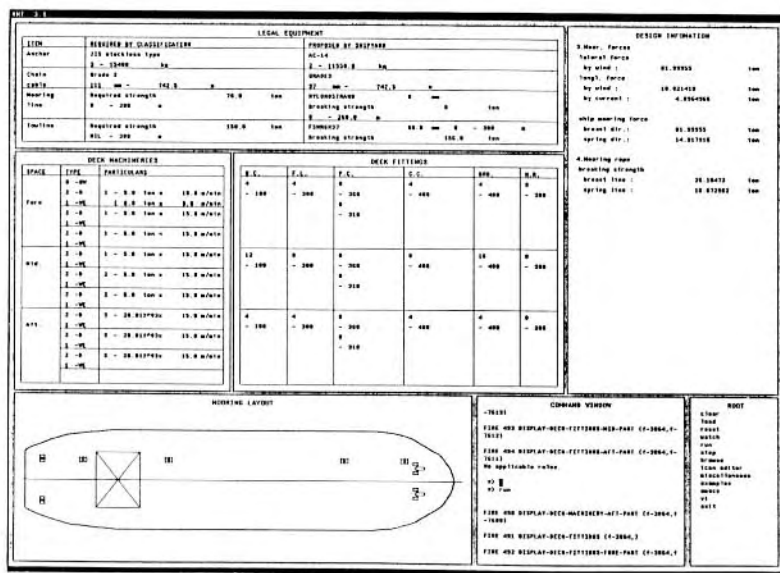


Fig. 3 An example of VESSEL

「空いている」「窮屈である」といった視覚的な感覚は、我々専門知識を持たない素人でもすぐわかることであるのに、コンピュータは全く無力である。ESSELではこの問題を解決するために、まずなるべく前の方へ置いてみて物理的な干渉が検出されれば少しずつ後方へずらす、という幼稚な方法で逃げている。

次節以降で、まず二つの多角形間の視覚的な距離感覚について考察し、その人間的な感覚をうまく表現することのできるパラメータ Spatial Distance を提案する。さらにその Spatial Distance を用いて、二次元の広がりの中で「広い所」を見つける方法、WIDENESS というコンセプトを紹介する。

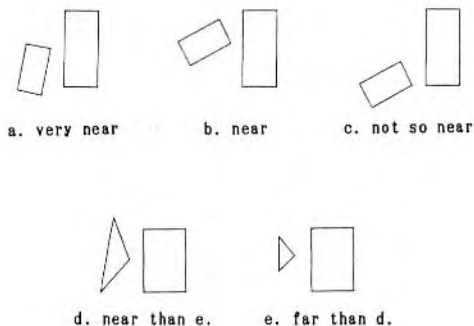


Fig. 4 Feeling of distance

#### 4. Spatial Distance<sup>2)4)</sup>

まず、Fig. 4 a, b, c のような干渉していない二つの四角形を見せられると、我々人間は、4 a が最も接近していて、ついで近いのは 4 b, 4 c が最も離れていると感じるのではないだろうか。また、Fig. 4 d, e のように同じくらいの距離隔てていても、その大きさによってかなり違った感じを受けることもわかる。4 d よりも 4 e のほうが間の距離が遠く感じられるのではないだろうか。さらに Fig. 4 e では、小さい三角形にとっては大きな四角形は遠く感じられ、逆に四角形にとっては三角形は近く感じられるのではないだろうか。つまり、大きいものにとっては近い距離も小さいものにとっては遠いのである。このように一つ一つの対象物にその大きさに基づく主観を持たせることは、複数の対象物がひしめき合う限られた領域を全体的に眺めようとするときに必要なことと思われる。

こういった二つの対象物間の遠さ、近さの感覚を表わすパラメータをコンピュータによって計算することを考える。対象物は多角形で表現でき、多角形はコンピュータ上ではその頂点の座標の数値列として表現される。多角形の輪郭としての辺の情報や辺に囲まれた多角形内部の面の情報などは、すべて頂点の座標から展開できるのだから、多くとも頂点の情報をもとに計算する方法を考

えればよい。例えば、今主体と考える多角形 A から見た相手の多角形 B の遠さ、近さを表わすパラメータを計算する方法として、具体的には以下のような方法が考えられる。

- ① 多角形 A の一頂点と多角形 B の一頂点の考えられる全ての組み合わせのうち、その間の距離の最短のもの。
- ② 多角形 A の一頂点と多角形 B の一頂点の考えられる全ての組み合わせについて、その間の距離の平均値。
- ③ 多角形 A の一頂点と多角形 B の一辺の考えられる全ての組み合わせのうち、その間の距離の最短のもの。
- ④ 多角形 A の一頂点と多角形 B の一辺の考えられる全ての組み合わせについて、その間の距離の平均値。
- ⑤ 多角形 A の重心と多角形 B の重心の間の距離。

Table 1 Examples of the calculated parameter

		①	②	③	④	⑤	Spatial Distance
a.	→	0.370	1.220	0.050	0.410	0.900	0.180
	←	0.244	0.970	0.050	0.190	0.570	0.210
b.	→	0.325	1.140	0.050	0.100	0.900	0.200
	←	0.311	1.095	0.050	0.160	0.570	0.250
c.	→	0.190	1.365	0.050	0.490	1.170	0.450
	←	0.125	0.910	0.050	0.270	0.780	0.180
d.	→	0.455	0.920	0.045	0.290	0.700	0.335
	←	0.450	0.900	0.040	0.220	0.700	0.350
e.	→	0.940	1.820	0.231	0.800	1.510	0.920
	←	0.430	0.830	0.075	0.200	0.700	0.430

実際に Fig. 4 に対して上記の計算方法を適用した結果を Table 1 に示す。Table 1 では Fig. 4 a, b, c, d, e の五つの状態にある二つの多角形について、あらかじめそのものの大きさを表わす代表長さとして対角線に当たる長さのうち最大のものを与え、上記①②③④⑤の五つの方法で求めた長さを、→の欄は左にあるものの代表長さで無次元化したもの、←の欄は右にあるものの代表長さで無次元化したもの、を示している。代表長さで無次元化することで、そのものの大きさに基づく主観を表わそうとしたものである。このことから、頂点の座標を用いた考えやすい普通の方法では遠い、近いといった直感的、視覚的な感覚を表現するパラメータを計算できないことがわかる。

もちろん、頂点にこだわらず他の適当な情報を与えることも可能だろうが、頂点の座標という一般的で扱いやすい情報を捨てることはできれば避けたい。以下、頂点の座標だけを用いて、二つの多角形間の距離のフィーリングをうまく表現することのできるパラメータ Spatial Distance を提案し、Fig. 5 を引用しながらその算出方法を説明する。

まず、多角形 V の一辺 AB について、その延長が最

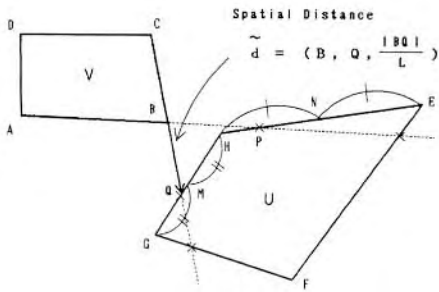


Fig. 5 Calculation of the spatial distance

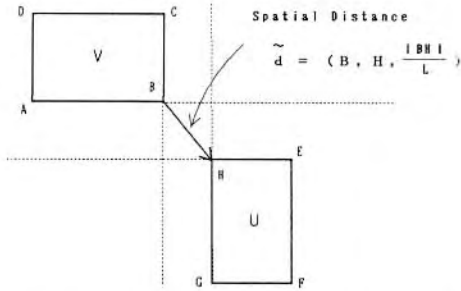


Fig. 6 Special situation of the spatial distance

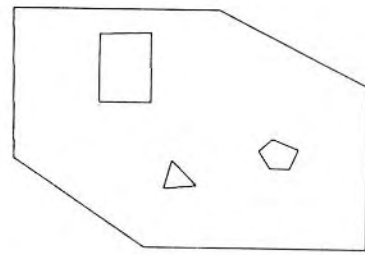
初に相手の多角形Uとぶつかる点Pを見つける。同様に辺BCについても多角形Uと最初にぶつかる点Qを取り出す。多角形Vの全ての辺について同様な点を見つけたし、見つけた交点のうち、それを作る多角形Uの辺の中点に近い方の点の一つを選びだす。Fig. 5の場合、点Pと辺EHの中点Nの間の距離|PN|と辺EHの長さとの比|PN|/|EH|よりも、点Qと辺GHの中点Mの間の距離|QM|と辺GHの長さとの比|QM|/|GH|の方が小さいので、点Qが選び出される。そして、その選び出された交点の座標と、それを作った多角形Vの辺の近い方の点、Fig. 5の場合点Bの座標と、それと交点の間の距離|QB|あらかじめ多角形Vに与えられた代表長さLで無次元化した値|QB|/Lと、三つの成分を持つベクトルをもってSpatial Distance  $\tilde{d}$ と定義する。つまり、各辺の延長線が相手の最も中央を横切っているような距離をパラメータにしよう、というのである。

ただし、Fig. 6に示すような特別な場合、多角形Vのどの辺を延長しても交点が見つからないので、このような場合は頂点間の距離のうち最短となるものの組み合わせで代用する。

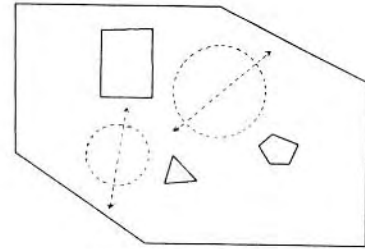
この計算方法によって得られたパラメータを用いると、Table 1の右端欄のように二つの多角形間の距離の視覚的、直感的な人間らしい感覚をうまく表わすことができる。

## 5. WIDENESS<sup>3)</sup>

二つの物の間の視覚的な効果も含めた距離感を表現す



a. The problem



b. may be we consider...

Fig. 7 Where is wide enough?

ることができるようになったので、それを使って複数の物がひしめき合う限られた領域の中で「広い所」を見つける方法、WIDENESSと名付けたコンセプトを紹介する。

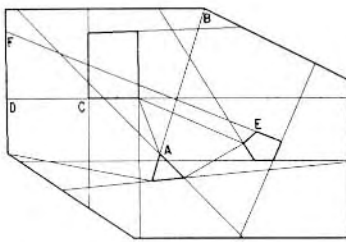
Fig. 7 aのような六角形の領域の中に三角、四角、五角の三つの物がある場合、広い所を見つけなさいと言われるれば、我々はFig. 7 bの点線で示したような線分の長さを見て、他と比べて特に長そうだと感じ、およそ円で示したような所が広いと思うのではないだろうか。この我々人間が行う思考手順と同じように判断する計算方法を前述のSpatial Distanceを用いて行う。

まず第一に領域を区切る六角形の一つ一つの辺を二角形と考え、中にあるもの三つと併せて合計九つの物についてSpatial Distance  $\tilde{d}$ を計算する。ただし、領域の辺となる二角形同士の間及び自分自身の $\tilde{d}$ は無用なのでそれを除くと、この場合 $3 \times 8 = 24$ 個の $\tilde{d}$ が計算されることになる。それら24個の $\tilde{d}$ をTable 2とFig. 8 a

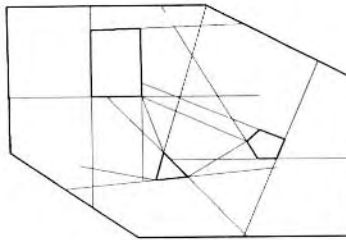
Table 2 Calculated  $\tilde{d}$

start point	end point	weight
(399.0 356.0)	(272.0 227.0)	2.306
(399.0 356.0)	(70.0 21.0)	5.982
A(399.0 356.0)	B(503.0 21.0)	4.469
(454.0 432.0)	(832.0 376.0)	4.838
(454.0 432.0)	(591.0 551.0)	2.486
(381.0 419.0)	(172.0 439.0)	2.675
(381.0 419.0)	(46.0 354.0)	4.348
(454.0 432.0)	(592.0 332.0)	2.032
(357.0 372.0)	(399.0 356.0)	0.715
(627.0 372.0)	(415.0 372.0)	7.379
(622.0 305.0)	(351.0 196.0)	3.354
(592.0 332.0)	(398.0 21.0)	4.209
(679.0 328.0)	(757.0 147.0)	2.263
(660.0 372.0)	(832.0 372.0)	1.975
(660.0 372.0)	(582.0 552.0)	2.252
(637.0 372.0)	(79.0 372.0)	6.246
E(622.0 305.0)	F(43.0 71.0)	7.171
(351.0 227.0)	(592.0 332.0)	1.366
C(236.0 227.0)	D(44.0 227.0)	0.998
(236.0 227.0)	(236.0 482.0)	1.325
(351.0 227.0)	(353.0 552.0)	1.689
(351.0 227.0)	(833.0 227.0)	2.505
(350.0 72.0)	(589.0 64.0)	1.243
(236.0 76.0)	(236.0 21.0)	0.286





a. First phase



b. Second phase

Fig. 8 Calculation of  $\bar{d}$  among objects

に示す。ただし表中の座標は左上を原点に右方に  $x$  の正、下方に  $y$  の正をとった座標系での値である。これらによって  $A$  点と  $B$  点の間には  $4.47$  の広さがあり、 $C$  点と  $D$  点の間には  $1.00$  だけの広さしかない、などということがわかった。

ところがそれと同時に  $E$  点と  $F$  点の間には、それらの間には四角形があるにもかかわらず、 $7.17$  もの大きな広さがあることも含まれている。つまり二つの物に対して考えられるパラメータをいきなり三つ以上の物に適用したため、なんらかの知識が欠落しているわけである。

そこで、以下のようなルールを付け加えた。

- ① ある多角形  $A$  からみた多角形  $B$  の  $\bar{d}$  の第 1 成分と第 2 成分を結んだ線分が第三の多角形  $C$  を横切っていたら、その  $\bar{d}$  を削除し考慮からはずす。(Fig. 9 a)
- ② ある多角形  $A$  からみた多角形  $B$  の  $\bar{d}$  の第 1 成分と第 2 成分を結んだ線分に第三の多角形  $C$  の頂点から下ろした垂線の脚がその線分の上に乗っていて、かつ、その垂線の長さが多角形  $C$  の代表長さより短かったら、その  $\bar{d}$  を垂線の脚で二つに分割し二つの  $\bar{d}$  と定義し直す。(Fig. 9 b)

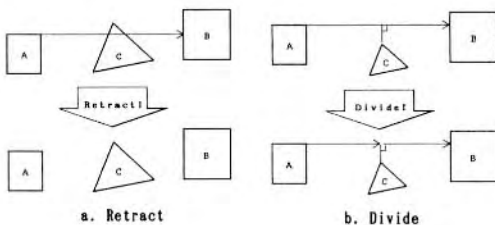


Fig. 9 Rules to reject non-effective  $\bar{d}$

これによって Fig. 8 b に示すように本当に有効な  $\bar{d}$  だけを抽出することができた。

次に第二のステップとして、これら多数の  $\bar{d}$  の中から他に比べて特に大きい広さを表わすものだけを抽出する。つまり、広さの度合を表わす  $\bar{d}$  の第 3 成分について、大きな物ばかりを集めたグループ、小さな物ばかりを集めたグループ、中程度の物を集めたグループ、の三つに分類するのである。ただし、上からいくつを大きな物のグループ、下からいくつを小さな物のグループ、としきい値を決めて分類したのでは、一つだけ飛び抜けて大きく他は皆小さいというような片寄った分布の集団をうまく分類することはできない。

そこで 3-means 法による Clustering 手法<sup>6)</sup>を用いた。以下にそのアルゴリズムを紹介する。

- ① まずそれぞれのクラスタの仮の平均値を適当な値で初期化する。
- ② データ一つ一つを最も近い平均値を持つクラスタに登録する。
- ③ 全てのデータを分類し終わったら、各クラスタに登録されたデータから真の平均値を計算する。
- ④ 計算した真の平均値を仮の平均値に置き換え、②に戻って繰り返す。
- ⑤ 真の平均値と仮の平均値の間に変化がなくなれば Clustering 終了である。

どんな片寄った分布をしていてもそれなりに分類することのできるこの手法は、他のアプリケーションにも利用可能で、ここでは三つに分類するのだから三つの平均値 (means) を用いたが、 $N$  個の平均値を用いれば  $N$  個のグループに分類することができる。

Clustering によって三つに分類し、大きな物ばかりを集めたグループに着目すると、Fig. 10 a に太線で示すように、特に広いと思われる所を抽出することができた。さらにこれらの特に大きな重みを持つ  $\bar{d}$  を、その第 1 成分と第 2 成分を結んだ線分の midpoint に第 3 成分 (重み) の重さを持つ質点と考え (Fig. 10 b)、今度は位置について Clustering する。つまり近付いているものは合わせ、離れているものは別に分類するのである。そして分類した後、同じグループに属するもの同士のもーメント重心を求めることによって広い所を数点、重み付きで見出すことができた (Fig. 10 c)。

まとめると、まず二つの物の考えられる全ての組合せについて Spatial Distance を計算し、その中から有効なものだけを取り出した。そして Clustering によって特に広いと思われる所を抽出した。これが WIDENESS というコンセプトである。

## 6. WIDENESS の利用法

広い所がどういふ所か、それを発見するとき人間はど

して意味を成すのである。本論では、計算機自身に視覚情報を理解させるために、第一歩として、多角形の頂点の座標という具体的な意味を個々に持つ図形データを入力とする処理方法を提案した。

以上、本論で得られた主な結論をまとめる。

- ① インタビューによって聞き出すことのできない深層知識の必要性を述べた。
- ② 配置設計というタスクに介在する深層知識の一つとして、二つの物の間の遠さ近さといった感覚をうまく表現できるパラメータ Spatial Distance を定義した。
- ③ Spatial Distance 使って、複数の物が散らばった二次元の領域の中で広い所を見つける方法 WIDENESS を提案した。
- ④ WINDNESS の利用方法の一例を紹介し、その有効性を示した。

### 参 考 文 献

- 1) 服部真人：係船機器配置設計エキスパートシステムの開発に関する研究，大阪大学工学部造船学科昭和62年度卒業論文，昭和63年3月。
- 2) K. Hasegawa, M. Hattori, T. Uemura and T.

Tanabe : Perception of Picture Interference and its Application to Expert System for Shipboard Equipments Layout (ESSEL), 関西造船協会誌, 第212号, 平成元年9月。

- 3) K. Hasegawa, T. Uemura, T. Tanabe and M. Hattori : A New Approach of Ship Design Automation : Vertex Expert System for Shipboard Equipments Layout, IFAC Workshop CAMS'89 "Expert Systems and Signal Processing in Marine Automation", Lyngby, Denmark, Aug. 28-30, 1989.
- 4) 長谷川和彦, 服部真人：図形データを用いた視覚情報の知識表現, 日本計測自動制御学会 関西支部シンポジウム「知的システム構築の実践と将来」, 平成元年10月。
- 5) 服部真人：配置設計の自動化に関する研究, 大阪大学大学院工学研究科平成元年度修士論文, 平成2年3月。
- 6) John A. Hartigan 著 西田晴彦, 吉田光雄, 平松闊, 田中邦夫訳：クラスター分析, マイクロソフトウェア, 1983年刊。