

報告番号 ※ 甲第 899 号

# 主論文の要旨

題名

胸部X線写真のパターン認識  
に関する研究

氏名 末永康仁

# 胸部X線写真のパターン認識に関する研究

末 永 康 仁

# はじめに

本論文は、電子計算機による画像処理の手法とその胸部X線写真のパターン認識への応用例について述べたものである。

本論文の内容は、(1)図形パターン認識の一般論(第1章)、(2)画像のパターン認識のための2次元フィルタに関する基礎的検討(第2～第5章)、(3)胸部X線写真のパターン認識システムの研究(第6、7章)から成っている。

以下に、各章の内容を簡単に説明しておこう。

最初に、第1章では、パターン認識に関する解説を行い、その一分野である図形パターン認識と、それに伴う画像処理の問題について、筆者の考え方を述べる。

最初に、近年非常に多くの分野できわめて多彩な意味に用いられるようになってきているパターン認識の概念について簡単な解説を行う。次に、パターン認識の代表的な一分野である図形パターン認識について述べ、一般に画像処理と呼ばれている分野との関連を述べる。ここでは画像処理のために用いられるいくつかの基本的手法を簡単に紹介し、図形パターン認識のために用いられる手法と合わせて、少し系統的な整理を行うことを試みる。さらに、図形パターン認識および画像処理の分野における最近の動向をながめ、本論文の第2章～第7章で述べる図形パターン認識の研究の成果と位置づけについて簡単な考察を行なう。

次に、第2～5章では画像処理の基本的手法の中でも最も代表的な手段である2次元フィルタについて、筆者の研究結果を詳細に述べる。

まず、第2章では、2次元フィルタ(2次元デジタルフィルタ)の定義と分類を行い、画像処理の基本的手段としての2次元フィルタの一般的性質を述べる。ここでは、本論文で扱う標本化画像と点 $(i, j)$ の近傍領域および2次元フィルタの定義を行い、2次元フィルタの種類、2次元フィルタによる画像の特徴抽出について考察を行う。また、2次元フィルタの中でも特に重要な位置を占める線形フィルタの性質についてやや詳しい考察を行う。さらに、フィルタの合成と分解の概念について述べ、現在までに考案されている各種2次元フィルタの大部分は、約30種類の基本的な2次元フィルタの合成によって表現できることを示す。

続いて、第3章では、画像から、線状図形、塊状図形などを抽出するための手段としての差分型線形フィルタ(*Difference Linear Filter-DLP*)を1つの形式で整理

し、その能力を理論的に解析する。 $DLF$ は図形の特徴抽出能力が非常に高く、しかもきわめて簡単な構造をもっているために、ソフトウェアによる計算、もしくはハードウェアによる実現が容易である等いくつかの利点をもつフィルタである。従って従来からの使用例も非常に多く、各種の名称で呼ばれる重要な図形処理用フィルタの大部分が基本的には $DLF$ に属している程である。しかし、フィルタの構造が一見簡単に見えるためか、 $DLF$ の理論的能力評価はこれまでほとんど行われていなかった。そこで第3章では「線」、「縁」、「塊」などの入力図形の一方の断面を1つの数字模型によって表現し、それに対する $DLF$ の出力を調べることによって、その能力を詳細に検討する。また、入力パターンに加法的ガウス雑音が含まれていると仮定した場合の $DLF$ の出力の確率分布を調べることにより、確率的立場からも $DLF$ の能力を評価する。

その結果、入力図形の性質（大きさ、方向など）が知られている場合には、 $DLF$ はきわめてすぐれた特徴抽出手段であること、また $DLF$ には、入力図形の大きさと、フィルタの大きさの両方の要因によって定まる2種類の動作モード（Ⅰ型、Ⅱ型）があることが導かれる。図形の特徴抽出のためにフィルタリングが続いて行われる後段の処理の内容は、抽出すべき特徴の性質と、フィルタの動作モードとの両方を考慮して決める必要があることは $DLF$ に限らず、一般に2次元フィルタを用いて図形の特徴抽出を行う際に必ず注意すべき重要な事項である。上の解析によって、従来図形の特徴抽出に用いられてきたフィルタの動作モードはほとんどすべてⅠ型に限られていたこと、一方、Ⅱ型の動作モードを用いても同じように有効な特徴抽出が可能であること、またある場合にはⅡ型を用いる方がむしろすぐれていることなどが導かれ、特に“線”、“縁”、“塊”の抽出に関して、従来よりもかなり厳密な考察が行われる。

次に、第4章では、図形の局所的な濃度変化を検出するための新しいフィルタである *Range Filter* ( $RF$ ) について述べる。 $RF$ は、統計量「標本範囲」 (*sample range*) にもとづく、非線形かつ原則として無方向性のフィルタであり、線状図形抽出手段としてのみならず、織目パターン (*Texture*) の検出など、領域をもつ図形の処理にも用いることができる。 $RF$ は入力図形の局所的濃度変化の検出能力がきわめて高く、しかも構造が簡単でソフトウェアあるいはハードウェアによる実現が容易であるため、 $DLF$ とならんで重要なフィルタである。ここでは、まず、非線形フィルタ $RF$ の三種類の解釈 (a) *Max. Filter* と *Min. Filter* の差、(b) 多数個の $DLF$ 出力の最大値演算による結合、(c) ある点の近傍領域内の濃度値が一定であるか否かの統計的仮説検定) について述べる。つづいて、入力パターンとして、加法的ガウ

ス雑音を伴うパターンを仮定した場合のRF出力の確率分布の評価、および正規乱数を用いた人工図形に対するシミュレーションを通してRFの線状図形検出能力は、無方向性の輪郭線検出用フィルタとしてこれまでよく知られているLaplacian型の線形フィルタよりも、かなりすぐれていることを示す。さらに、塊状図形に対する応用例として、織目パターン(Texture)検出の例を示し、最後に、拡張されたRF(Extended Range Filter-Ex. RF)の考え方について述べる。

続いて第5章では、2次元フィルタリングの操作を、統計的標本にもとづく決定であるとみなし、統計的決定方式から導かれる2次元フィルタを少し一般的な形で整理することを試みる。その結果、第3章の差分型線形フィルタ、第4章のRange Filterをはじめ、適合線形フィルタ、平均パターンマッチング用線形フィルタ、および2次元フィルタ、分散フィルタ、K-Sフィルタなどの代表的な図形処理用2次元フィルタはほとんどすべて、入力パターンの濃度値を統計的標本とみなした場合の統計的決定の形で定式化されることが知られ、それらの関係が明らかにされる。

次に、第6章では、第1章～第5章で述べる画像処理の手法の適用対象となる複雑な画像の一例として、胸部X線写真を取りあげ、その濃度分布の性質、および特徴抽出の方法について詳しく検討する。いうまでもなくこれらは第7章で述べる胸部X線写真の自動読影システム(Automatic Interpretation System of Chest Roentgenograms Version 2-AISCR-V2)の基礎検討であり、第6章における検討結果のいくつかは、AISCR-V2の構成に大きな役割を果たしている。

まず6.1～6.3では胸部X線写真について簡単な紹介を行い、続いてこれをデジタル電子計算機で扱うためにその濃度値を測定、標本化する手順について述べる。また、以後の説明を簡潔かつ明確にするために、胸部X線写真の各部の名称と、AISCR-V2で扱う各種の略号の説明を行った後、胸部X線写真の標本化画像の濃度分布の性質について詳しく検討する。ここでは、写真の濃度分布の概要、肺領域内の大局的濃度変化、肋骨像、血管影、異常陰影等の成分図形の濃度分布、雑音成分の濃度分布の性質、濃度値の相関の各々について、定量的および定性的な評価を行う。

次に、6.4では、胸部X線写真に対して各種の2次元フィルタを適用し、どのような処理を施せば、胸部X線写真の自動診断に有効な特徴が抽出されるかの基礎的調査を行う。ここでは主として第3章で述べる差分型線形フィルタ(DLF)による処理結果が詳細に検討され、肺領

域の境界線，肋骨像，異常陰影等を検出するためにそれぞれ最も有効と考えられる手段の探索が行われる。ここでの検討結果は，第7章で述べる胸部X線写真の自動読影システムの構成に大きな影響を与えている。

第7章では，複雑な構造をもつ画像の処理システムの一例である胸部X線写真の自動読影システム (*Automatic Interpretation System of Chest Roentgenograms Version 2 - AISCR-V2*) の構成と，実際の間接撮影胸部X線写真に対する実験例について述べる。*AISCR-V2* は，胸部X線写真という複雑な構造を有する画像の全体を対象として総合自動診断を行う世界でも最初のシステムであり，図形パターン認識の観点からも，また医学上の観点からも興味深いシステムである。

*AISCR-V2* は筆者が属していた名古屋大学工学部福村研究室のパターン認識グループにより開発されたものであるが，筆者はその主要な部分，すなわちシステム構成の基本的検討，肋骨像識別システムおよび異常陰影識別システムの開発を担当した。そして，第1章～第6章で述べた各種の図形処理の手法，および胸部X線写真の濃度分布に関する基礎検討の結果を利用して，有効なシステムを構成することができた。まず，7.1で第7章の紹介を行った後，7.2では*AISCR-V2* が作成されるまでの歴史的背景，すなわち，胸部X線写真の処理を試みた世界最初の研究である，*AISCR-V1* (*Automatic Interpretation System of Chest Roentgenograms Version 1*) と，その問題点，および，それらをどのような形で克服して*AISCR-V2* が作成されたかについて述べ，*AISCR-V2* の構成の概要，および処理の流れについて簡単な説明を行う。次の4節，すなわち，7.3～7.6では，*AISCR-V2* を構成する4つの主要なサブシステムであるサブシステム0（前処理システム），サブシステムⅠ（心陰影処理システム），サブシステムⅡ（肋骨像処理システム），サブシステムⅢ（異常陰影処理システム）の内容および実際の間接撮影胸部X線写真に対する識別実験の結果について詳しく述べる。

さらに，7.7で，これらの結果をまとめ，*AISCR-V2* に残された問題点を検討する。

本論文は以上の内容から成る。ここで得られた結果は20世紀の科学における最も野心的な試みの1つといわれているパターン認識，あるいは近年注目を集め始めている画像処理の研究原野の広大さからみれば非常にわずかなものである。しかし，胸部X線写真の特徴抽出を目的として開発された差分型線形フィルタ（第3章），および *Range Filter*（第4章）という2つの強力なフィルタは，胸部X線写真に限らず，一般に，ほとんどあらゆる種類の画像の特徴抽出手段

として最も重要となるものであり，第2章における2次元フィルタの一般論，第5章における統計的2次元フィルタの考え方と共に，今後の画像処理の手法としてきわめて重要なものになると考えられる。また従来不可能に近いと考えられていた胸部X線写真というかなり複雑な画像の特徴抽出および自動診断を，差分型線形フィルタ，線図形の処理，面図形の処理，曲線の多項式近似と特徴空間における処理，統計的数学モデルに基づく濃度値の検定などの基本的な手法を有効に組み合わせることにより実現した世界最初のシステムとして，本文で述べた *AISC R-12* の意義は大きいと思われる。この意味で，本文の研究は，今後ますます発展が予想される図形パターン認識，画像処理の研究分野に，きわめてわずかではあるが1つの着実な進歩の材料を与えたことを確信する。