

5. 結論

診断支援のためのデジタル X 線画像処理について研究した。画像処理の目的を画像計測と画像再生ととらえて、画像計測に関してはマンモグラム中に発見される石灰化の分類を行った。画像再生(描出)に関しては非常に広く使用されている胸部正面画像を題材にとり、解剖学的情報を使用した描出法の検討を行った。

マンモグラム中に発見される微小石灰化の良性・悪性分類は、現在もおお多くの研究者が取り組んでいる非常に難しい問題である、と同時に今度ますます重要度がますます研究ということが云える。乳癌は先進国病のひとつであり、現在は欧米に発病頻度が多く米国では女性の死亡率のトップを占めており、今後日本を含めたアジア圏でも発生率が上昇することが容易に予想される。乳癌の発生と女性が最初に子どもを産む年齢に相関があると報告されている。

コンピュータを使用した微小石灰化の分類は米国を中心に研究が進められてきたが、いまだ製品化するレベルにないことから非常に大きなシステムを使用したり、単にニューラルネットワーク使用したらうまく行った、と云うような報告が多かった。具体的にどのような特徴量が有効であり、しかもデータベースがどれぐらいの困難度を有しているのかが明確ではなかった。米国ではいろんな研究者が提案している手法のパフォーマンスをコンテストするために、データベースを共有しようとする話もあった。しかし、各大学が所有するデータベースはその大学の資産であり実現には至らなかった。

本研究では大きな次元で分類を行っていた従来手法に対して、特徴量空間を2次元まで落とす手法を提案し、分類の様子を2次元カラーマップとして視覚化することにした。特徴量は先駆者の知恵をベースにしてコントラストに関する特徴量を追加してみた。データベースをブラインドテストしてくれた二人の経験豊富な放射線医の ROC 結果を見れば、使用したデータベースは非常に難しいものであることが分かった。次元を圧縮するために KL 変換を使用して、いろいろな空間で分類を試みたが良性と悪性の分布がオーバーラップすることは避けられなかった。そこで制限付きの EDM を使用して、とりあえず特徴量平面を選択し、そこで分布のトレンドを大胆に学習するニューラルネットワークを提案し、従来法に比べて良い結果を得ることに成功した。

本手法の応用を試す目的で、テストに参加してくれた二人の放射線医の分類結

果からそれぞれ擬似データベースを作成し、今回導入した特徴量、手法を使用して、放射線医の分類判断規準を解析してみることにした。彼らの判断規準の結果は教科書的なものであり、今回の解析手法が正しいものであると確認することが出来た。

X線画像の再生(描出)は筆者が業務としている課題であり、なかでも胸部正面画像は内科、外科を問わず患者の全体的なコンディションを診るために撮影される汎用画像であり、研究の価値は非常に大きい。特に近年のダイナミックレンジの広いデジタル装置が製品化されるに至って必要性が大きくなった分野である。胸部画像撮影の難しさは肺の存在にある。肺は完全空気ではなく、その中に気管、血管が走っているが、首、背骨、腹部から比較するとX線の透過量が一桁以上も違っており、この2者を同時に画像化することは至難の業である。従来のアナログフィルムを使用する撮影においては、首、背骨、腹部にあたる縦隔部は到達X線が少なくフィルムが白くなってほとんど診断できなかつたのが実状である。

工学者にとって医療応用は非常に関心の高い分野でもあり、医用画像再生でも多くの画像処理研究が行われている。解剖学的なセグメンテーション結果を使用して、Nodule(結節)や石灰化を検出する範囲を限定したり、データ量圧縮、ボリューム計測に使用する発想は多くある。しかし、解剖学的なセグメンテーションをベースに画像再生を行うものは例がすくない。それは解剖学的なセグメンテーション結果を2次元パターンとして処理に使用すると、2次元パターンの跡が処理後の画像に残るためである。本研究ではセグメンテーション結果を2次元パターンとして使用するのではなく統計量計算のための領域制限情報として使用する手法を提案した。

画像再生アルゴリズムを自動化されたシステムとして構築するために、最初にセグメンテーション手法を2つ提案した。両手法ともニューラルネットワークを使用しているが、一つは肺野の外形検出であり、他方は肺野のアウトラインの抽出を目的とした。

肺野の外形検出においては、解剖学的な相対アドレスを使用することを特長とした。セグメンテーションを画素単位で行う場合には周辺も含めた濃度情報やテクスチャー情報を使用するのが一般的であり、画素自身に空間的な制限情報を付加するようなことは行われなかつた。本手法では肺野の存在領域を概略指定する空間情報(解剖学的相対アドレス)を前処理により抽出し、これを画素毎に割

り付けて特徴量としたことに新規性がある。他の特徴量としては、肺の空間情報を利用した相対濃度と、肺野のアウトライン情報をつかむためのヒストグラム平滑化エントロピーを使用した。

肺野の外形検出の学習、決定過程には誤差逆伝播アルゴリズムではなく、自己組織化マップをベースにした適応型ハイブリッドニューラルネットワーク(ASH-NN)を使用した。ASH-NNの特徴は問題の複雑度に適応してニューロンが決定される点である。ニューロン数が5000個におよぶ大きなニューラルネットワークとなったが、ニューラルネットワークが出力した画像は従来の手法と異なり後処理を必要としない、高いパフォーマンスを与えるものであった。新しく導入した解剖学的相対アドレスが有効に動作することが確認できた。

肺野のアウトラインの抽出を2つめのセグメンテーション手法として検討した。2次元画像を修理する1次元のプロファイルに分解して処理することはあまり行われていなかった。1次元のニューラルネットワークを使用することのメリットは、ネットワークを小さく構成できる点にある。ここで使用したニューラルネットワークはエッジ抽出を行うシステムとして動作するわけであるが、結果としてエッジ抽出フィルターの自動設計を行ったと考えることも出来る。本システムは先に検討した解剖学的相対アドレスを使用するニューラルネットワークに比べてシステム規模は小さいが、後処理を必要とする点に欠点がある。後処理は人間の経験によりアルゴリズム化された部分であり、システム規模としては小さくなく、パフォーマンスが同等であったとしてもニューラルネットワークの規模だけで優劣を計ることは出来ない。

最後に解剖学的なセグメンテーション結果を使用した画像再生(描出)について検討した。最初に肺野のセグメンテーション結果から脊椎、心臓、横隔膜を含めた縦隔部を定義する簡便な手法を提案した。以上で決定された肺野部、縦隔部の画素値分布を平滑化する解剖学的情報を使用したヒストグラムイコライゼーション(AHEQ)を提案した。

続いて肺野と縦隔部のそれぞれの相関分布を解析し、ワーピング関数を自動決定し、相関分布をワーピングすることにより画素分布のダイナミックレンジを圧縮するADRC法を提案し良好な結果を得た。各部位に対する相関分布を作る際には画素値と周辺平均画素値を使用し、ワーピングラインは直線を選択したが、相関分布を作る際の統計量の選び方によっては異なる効果も導き出せるし、ワーピングラインを曲線にする応用も期待できる。

以上、診断支援のためのデジタル X 線画像処理アルゴリズムに関して研究したが、マンモグラムの石灰化に関する研究では、その分類手法は SPIE Medical Imaging 96で Cum Laude を受賞し、放射線医の診断規準の分析に関する研究では北米放射線学会 (RSNA96) でカテゴリー1ポスター(放射線医の再教育ポスター)に選定された。そして解剖学的情報を使用したダイナミックレンジ圧縮法 (ADRC)は SPIE Medical Imaging 97で Honorable Mention を受賞した。

将来の希望は、以上の技術を診断支援システムとして完成させて製品として世に送り出すことである。最初の目標としてはマススクリーニングでも広く使用されている胸部 X 線画像の診断支援システムである。現在、多く使用されているロールフィルムを使用した健診画像は、診断する枚数が多いことから医師に対する時間的負担が大きく、1 画像当たりの診断時間は 1 秒と言われている。診断時間が診断精度に比例するものではないが、病気の検出率が低い事から胸部 X 線画像が無益であるような報告もされている。健診画像の場合は、ほとんどの画像は疾患がないわけであるから、医師の読影も疾患無しが前提になっても責めることはできない。そこで、医師の読影をサポートする目的で、あやしい画像を予めコンピュータシステムで検出し、その画像に対しては医師に念入りに読影してもらうようなことが考えられる。

診断支援システムの製品化には、有効性の証明が多いな Weight をしめる。医師と競争する製品を創るのではなく、サポートするシステムを作るのであるから、支援システムを使用した場合と使用しない場合の膨大なデータを蓄積することが必要である。「診断支援システムの有無」以外の条件を同じにするために膨大なデータが必要になる。アルゴリズム開発としては、肋骨や血管が発生する影と結節(病気)がつくる影の分類が最大のハードルになると予想される。これらを分類する特徴量や制限情報は医師の援助なくしては開発が不可能であろう。

胸部画像のシステムのほかに乳房画像における診断支援も同様に考えることができる。1998 年、アメリカのベンチャーである R2 テクノロジーが乳癌の検出診断支援システムを製品化した。フィルムスキャナーで画像をデジタル化し、コンピュータ解析により癌に疑わしい領域を CRT 表示する装置であるが、医師はフィルムと CRT を並行して観察できる点が重要である。筆者が属するプロジェクトにおいても乳房画像システムの検討が行われているが、現在は高い分解能(50 μ -100 μ)を必要とされるセンサシステムの開発に注力している。