

計算機支援システムの技術的課題

小畑 秀文

東京農工大学大学院 生物システム応用科学研究科

Unsolved Problems in CAD Technology

Hidefumi Kobatake

Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering
Tokyo University of Agriculture and Technology

1. はじめに

計算機支援診断(CADと略記する)に関する研究が非常に活発になってきている。一つの象徴がR2 Technology社の“Image Checker”であろう。1998年に米国FDAの認可を受け、マンモグラムの診断において、専門医に“第二の意見”を提供する実用化システムとして市場に出された。CADシステムが実用期に入ったわけである。現時点ではCADの実用化システムは他に見当たらないものの、すぐにも実用になるレベルの研究もあり、それらの実用化は近いと考えて良い。一般的な技術の動向としては、実用化が始まると技術は急速に進歩するものである。CAD技術については、実用化に象徴される技術レベルの高さと共に、医療サイドからの需要の強さも一つの大きな力となっている。それはマルチスライスCTの登場である。ほぼ等方性のある三次元ボクセルデータが高分解能で得られるようになり、従来は不可能であったごく初期の異常まで“見える”ようになってきている。その反面、膨大な枚数のスライス画像を通常の診断ルーチンの中で逐一チェックすることが現実的には難しく、ここにCADシステムへの強い期待が生れてきている。

CAD技術の現状についてのサーベイは文献[1], [2], [3]などに詳しい。本稿では実用になっている、あるいは実用に近いレベルにあるCAD技術がより進化するために必要な解決すべき技術的課題について私見を述べることにする。

2. CADシステムの構成

一般的なCADシステムはFig. 1に示す構成になっている。ここで示す各処理ステップが一部一体化し

ている場合もあるが、標準的な構成と考えてよい。この構成を前提に、そこに内在する問題点や課題について述べよう。

3. CADシステムにおける技術的課題

3.1 セグメンテーション

セグメンテーションは画像処理の中で最も基本的な処理の一つである。注目する領域の範囲を決定することであり、CADシステムにおいては、臓器や異常陰影の場所を特定し、その輪郭を抽出することである。異なる臓器間では画素の値に平均的に差のあることが期待され、それを最も有力な手掛かりとするのは自然なことである。しかし、医用画像においては、その輪郭が非常に不明瞭であることが少なくない。輪郭が不明瞭であることが悪性腫瘍の一つの特徴となっているほどである。輪郭が不鮮明であるとき、真の輪郭の特定にはその対象領域が何であり、それが一般的にどのような形状をしているものであるかという知識を要求される。したがって、セグメンテーションは理想的には次のようなものでなければならない。

対象領域はもとより、その周辺領域を理解することが必要

ここでいう“理解”では実は判断までも含み、異常性の判定をも伴うこと

実際のCADシステムの構成では、まず異常陰影の候補領域を抽出し、それが本当に異常陰影であるか否かを判断する手順を踏むことが多い。理想的なセグメンテーションとは大きなギャップが存在することになる。現状を打破し、一つのブレークスルーを実現するには、正常な臓器に関する知識を持ち、それとの対応で領域確定と同時に診断までも行う手法

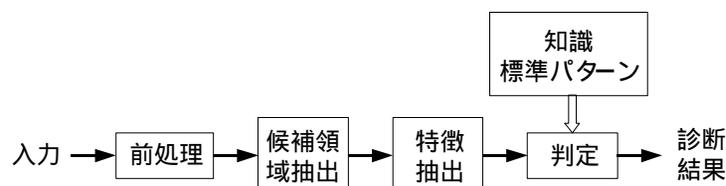


Fig. 1 標準的なCADシステムの構成

へと進化することが要求される。

上記のような理想的なセグメンテーションは将来の課題としても、それに向けた方向性を持つ手法による取り組みが期待される。現状のセグメンテーションは領域境界でコントラストに十分な差があることを前提に、空間微分の値を主なよりどころとした手法が主流である。ただし、微分値が必ずしも大きいところが境界とはかぎらないところに問題の困難さがある。その問題の解決法として期待されるのが対象領域のモデルに基づく手法であり、特に一定の制限範囲内でモデルを変形しながら画像との適合度の大きなところを探す deformable model 法は有力な手法と考えられる（文献は多数あり、特に示さない）。対象領域の平均的形状だけでなく、多様性を統計的な知識として付加すると効果のあることも報告されている[4]。このアプローチは対象領域についての一般的な知識を活用するもので、画像理解に根ざす方向性を持った手法とあってよく、この方向での一層の進展が期待されることである。対象領域だけでなく、それに隣接する臓器のモデルをも併用すれば、周辺領域をも理解したものに近づき、より効果的なセグメンテーションが期待できよう。

3.2 モデリングにおける課題

CADシステム構築において、アルゴリズム化で最も苦心を要するところの一つは異常な部分が画像上でどのような様相を呈するのかということである。その部分は医師の専権事項とあってよい。専門医にとっては、画像上の異常陰影はほぼ瞬時に検出できるもので、ある種の診断アルゴリズムに基づいた手順をほとんど意識しない、いわば“直感”に近いものと推測される。アルゴリズム化をはかる工学サイドの者は専門医から直感に近い診断のプロセスを言葉の形（言語的モデルと呼ぶ）で受け取ることになる。この医師による言葉で表現されたものと、画像上のパターンとの間にはきわめて大きなギャップがある。言葉で表現された内容から原画像が再現されるわけではなく、一つの側面を“特徴”として表現したものにすぎない。その言葉による“特徴”を画像処理の手法によって取り出す過程でさらに一つの変換が行われる。この変換の過程でも重要なものが

失われる可能性がある。医師の直感の裏にあるものと言語的モデル、および後述の三次元定量化モデルとの関係を Fig. 2 に示す。言語的モデルを補うものが豊富な症例であるが、これについては別途記述する。

セグメンテーションおよび特徴抽出に直結するモデルとしては三次元定量化モデルが望ましい。それは臓器の形態の多様性や物性的な情報と、それらと各種モダリティとの関係をも網羅している必要がある。人体の三次元構造をパラメトリックに表現し、物理的・工学的性状を付加し、空間分解能も細胞レベル（顕微鏡画像を対象）、sub-mm オーダーからcm オーダーまで、用途別に用意すべきであろう。性別・年齢層別であることが望ましい。これらの整備には多くの専門医や工学者の参加が必要であり、ある種の国家事業として取り組む必要があろう[5]。

3.3 特徴抽出

セグメンテーションが完全であれば、正しい領域から抽出される特徴量はそれ以外の領域の影響を受けないことになり、信頼性の高い特徴量となろう。しかし、現状はそうではなく、推定領域に誤差が含まれ、対象領域以外の領域の特性も一部含まれたものが抽出されていると考えてよい。一方、thin slice のCT像のように臓器同士の重なりの影響が非常に少ない場合以外は、三次元物体が二次元平面に投影されることによる臓器の重なりの影響は無視できない。画像上でその重なりを分離抽出することは困難であり、現状ではその重なりのあるパターンから特徴抽出がなされている。いずれの場合でも異常化した可能性のある対象臓器の陰影と正常な他臓器とが重なったまま特徴量に変換されることになる。他臓器が特徴量に及ぼす影響の程度を評価した研究例は筆者の知る範囲では無いようである。その影響は勿論一定値であるわけではなく、場所や個人差に影響されるものであり、ことは簡単ではないが、臓器の重なりの影響を除去することにより、高精度化が期待できることは疑いなく、その影響の除去・軽減を正面に据えた取り組みも今後の課題の一つであろう。音声認識の分野では雑音環境下での認識のために、雑音のモデルを用意し、観測信号が音声と雑音の和

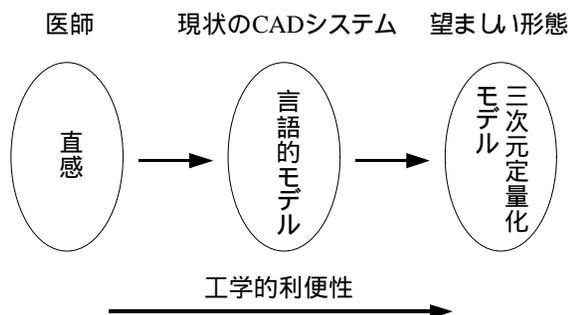


Fig. 2 モデルの形態

として表現することにより、雑音が加わった音声を表現する手法の検討が進んでいる。この種のアプローチは期待の持てるものといってよく、CAD システムにおいてもそれに近いアプローチの検討が開始されており、今後の発展が期待される[6]。

3.4 判別分析

診断に有効な特注量の発掘には今後も大いに努力を傾ける必要がある。一方では、CAD システムで用いられる特徴量としては現在までかなりの数の提案がなされている。その中で何が最も有効な特徴量であるのか、その厳密な比較等を行った研究は、一部の特徴量に限定した場合を除くと無いといってよい。研究の蓄積が学問の進歩となるためには、これらの特徴量の比較を組織的に行い、どのような組み合わせが有効であるのかを明らかにする時期にあるのではないであろうか。また、有効な特徴量の組み合わせだけでどの程度のレベルのシステムが構築できるのか、検討に値するものと思われる。

3.5 データベースの整備

CAD システムの高度化が進み、それをさらに一層進んだものにするためには、これまで述べてきた課題の克服に加え、その環境整備が不可欠である。すなわち、十分な症例を含む画像データベースの整備である。現時点では共通に利用できる画像データベースは非常に少ない。ほとんどの研究グループはそれぞれ独自に収集したデータベースを利用してシステム開発を進めているのが現状である。しかも CAD システムの性能が高まり、その一層の性能向上にはこれまで以上の膨大なデータベースを必要とする。しかも研究動向としては、対象部位は全身におよぶことを考慮すると、全身像を大量に収集すること自体、個々の研究グループには不可能といってよい。共通に利用できる良質な画像データベースが整備されれば、それが研究の推進に大きな力となることは明らかである。同一の画像データベースに基づき比較することにより、技術的な比較が可能になり、そのフィードバックにより、さらに一層の技術の進歩を促進できるようになる。それは個々の研究グループが特に連携して進めた研究でなくとも、総体としては一つの組織的取り組みに近い効果が発揮されるものである。手書き文字認識や音声認識の分野では共通に利用できる膨大な数のデータベースが整備されている。CAD システムの開発も実用期を迎え、本格的なデータベースの整備に取り組む必要がある。

3.6 その他の課題

CAD の対象は全身に及びつつある。一方では映像化技術の進歩が急であり、空間分解能の向上、撮影時間の短縮、新しいモダリティの出現などがあり、これらにまともに影響を受けることになる。対象範囲が拡大し、高度な機能を求められるようになる。研究をより発展させるためには、実用化を広く進めることである。その中で直面する課題を一つ一つ解決していくことで着実な前進が達成されるものと思われる。経時差分や複数モダリティの融合を用いた診断支援は CAD 技術の性能向上に寄与するアプ

ロチと考えられる。また、仮想化内視鏡に代表される仮想化された人体を利用する技術は、個別 CAD システムとは異なり、総合化が要求され、そこに新しい技術の展開も考えられる。

4. おわりに

マンモグラフィーでは診断支援システムが実用期に入り、X 線 CT 像を用いた肺がん検診の支援システムも実用期は間近にある。他のパターン認識の分野で実用期に入ってから技術の進歩を見ると、誤認識の克服のためのアルゴリズムの改良・更新の積み重ねが技術の急速な進歩を促し、より一層の適用範囲の拡大に寄与してきている。医用画像の分野においても同様な経過が期待されようが、CAD システムの開発には他のパターン認識の場合とは異なる特殊な事情があるといってよい。それは、アルゴリズム開発に直接携わる技術者が実は認識対象である医用画像の理解能力に限界がある、ということである。これは通常のパターン認識の問題とは異なる事情といってよい。本稿で述べた諸課題は、本質的には画像上のパターンを解剖学的に理解するシステムとすることで本質的な解決をみるものであり、それによって最大限の効果が期待できるものといってよい。そこにはパターン認識に共通する難問が横たわっている。ゴールを目指すには専門医と工学サイドとの密な連携が必須であり、学会こそその役割を果たす中心となるべきであろう。その上での今後の CAD の発展に期待したい。

本研究の一部は文部省科学研究費補助金および厚生省がん研究助成金の援助による。

参考文献

- [1] 鳥脇純一郎：画像パターン認識と画像生成による診断治療支援、コンピュータ支援画像診断学会論文誌、vol. 41, pp.1-16, 1997.
- [2] 小畑秀文：医用画像の計算機支援診断 現状と今後の動向、電子情報通信学会技術研究報告 (パターン認識・メディア理解)、Vol. 99, No. 48, pp.47-54, 1999.
- [3] Doi K, MacMahon H, et al.: Computer-aided diagnosis in radiology: Potential and pitfalls, European J. of Radiology, Vol. 31, pp.97-109, 1999.
- [4] ツアガン バイガルマ, 半沢充則, 清水昭伸, 他:三次元 Deformable モデルを用いた三次元腹部 CT 像のセグメンテーション手法の開発, コンピュータ支援画像診断学会第 10 回学術講演論文集, pp.157-158, 2000.
- [5] 小畑秀文: 人体の三次元モデリングと医用画像情報センター, つくばシンポジウム論文集, 1997.
- [6] 滝沢穂高, 深野元太郎, 山本慎司, 他: 3次元マルコフ確率場モデルを用いた胸部 X 線 CT 画像からの結節認識, 電子情報通信学会技術研究報告 (医用画像) Vol. 100, No. 597, pp.145-150, 2001.