

学位論文題名

A Study on Autonomous Image Recognition
Based on Local Features

(局所的特徴に基づく自律的画像認識に関する研究)

学位論文内容の要旨

最近、計算機にとって不得意な分野のひとつとして知られている画像認識問題領域で、ニューラルネットワークなどを導入してより柔軟に認識を実現することを目指した並列分散処理に基づく活発な展開がある。実問題における画像認識では、与えられる問題領域の中で陽に利用できる知識は少なく、また問題領域の設定自体も困難な場合が多いことが指摘されている。このような困難な点を解決すべく、問題に陰に含まれる知識を自律的学習により獲得、利用できるようなより柔軟性の高い画像認識システムの開発は大きな意義を持つ。

一方、これを可能とする画像認識システムは、マンマシンインタフェースの立場からはエキスパートの持つ先見的知識の利用、問題の表現方法、評価関数の設定法など、対象とする問題の性質に強く依存して構築される必要がある。以上の認識の下に本研究では、並列分散処理すなわち局所的特徴抽出に基づいた画像認識システムの理論構築を試みている。一般に、画像認識問題領域の代表的なクラスとして形状認識問題とテキスト認識問題が挙げられる。ここでは各々の局所的特徴に関する議論の上で、その局所的特徴抽出の学習と階層構造に基づくアーキテクチャを示し、各々のクラスにおける問題の解決を試みている。さらに、実問題として頭部X線CT画像の認識を取り上げ、その診断支援システムの構築を試みている。

形状認識問題領域では、英数文字、幾何的形狀の線画を対象として位置、歪み、ノイズに影響されない認識能力を持つシステムの構築を行なっている。このような能力を実現するシステムとして、局所的特徴抽出と階層型ネットワークからなるネオコグニトロンが知られているが、ここでは従来の局所的特徴抽出の数値モデルの性能と学習性についての議論を通して、その能力を向上させる数値モデルと学習メカニズムを提案している。さらにネットワークの階層構造の拡張により、画像中の複数形状を一度のフィードフォワード処理で認識できる拡張型ネオコグニトロンを提案している。

テキスト認識問題領域では、境界があいまいな複数の領域から構成される濃淡画像を対象とした新しいセグメンテーション手法を提案している。このクラスにおける問題点は第一に、識別対象が全体的な構造でとらえられないこと、第二に、適切な境界の決定が困難という点にある。これらの問題点に対し、局所的特徴の適応度に応じた動的な領域決定メカニズムを実現するために、生命現象を模倣した細胞分割モデルを提案し、細胞コロニーの形成過程を通して領域認識システムの構築を行っている。

最後に具体的応用問題として画像領域のあいまいさと各領域の複雑な構造から困難な認識課題として知られている頭部X線CT画像認識問題を取り上げ、解剖学的・病理学的考

察を通して頭部内部の各主要血管に着目した局所的セグメンテーションの方法を提案している。本手法が医師の教示により次第に認識能力を向上していく実用的な画像診断支援システムとして構築されていることが実脳画像への適用を通して明らかにされている。

本論は以下の6章から構成されている。

第一章では、本論の概要を述べている。

第二章では、「自律的画像認識」と題して、近年の情報処理分野に見られる自律的システムの背景と基本的メカニズムについて概観し、自律的システムとしての性質を議論したうえで、特に画像認識システムに求められる自律性について考察し、本論文で行なう画像認識へのアプローチの目的とその位置付けを示している。

第三章では、「拡張型ネオコグニトロン」と題し、まず、従来の関連研究を概観し、及び提案する拡張型ネオコグニトロンの位置付けを行なっている。次に、形状に対する局所の特徴抽出関数であるS細胞についてその識別能力と学習の特性が、S細胞のモデルパラメータ及び学習対象パターンの性質に強く影響され、強いてはシステム全体の認識能力を低下させている事実を明らかにしている。この問題点を解決するために、数理モデルにおけるバイアス項の影響を明らかにし、新たに高感度S細胞を提案している。さらに、従来の競合に基づく教師なし学習に代わり、相互抑制型アルゴリズムを導入し、より詳細な特徴の学習を可能とする改良型競合学習を提案している。以上を導入した拡張型ネオコグニトロンについて従来型との比較実験を行ない数字文字識別を例としてその有効性を検証している。また、従来型ネオコグニトロンにおける位置非依存性の能力の限界を指摘し、特徴統合の能力拡大によりこれを克服できることを議論している。この結果、提案する拡張型ネオコグニトロンでは複数形状の入力に対する識別が可能となることを理論展開している。最後に、工学的応用としてロボットビジョンのシミュレーションを行ない、本システムが複数の物体の中から目的とする物体を抽出する画像認識能力を有していることを示している。

第四章では、「コロニー形成モデル」と題して、テクスチャ認識に対する新しい手法を提案している。これは、競合する多種の細胞の適応性と繁殖のメカニズムのモデル化において、濃淡画像領域を細胞が置かれた環境とすることで、領域認識に応用する手法である。個々の細胞は、細胞核を中心とした物質濃度の拡散過程の仮定に基づき、これを表現するポテンシャル場を定義することで表現されている。次に、細胞の成長過程をエネルギー場の設定と細胞膜領域における細胞核方向へのエネルギー運搬により表現する数理モデルを展開している。さらに、細胞にとっての環境を、画像の領域的特徴に応じたエネルギー吸収率で定義することで細胞の適応性を定義している。以上により、異なる性質を持つ細胞が各々の性質に合致する画像中のテクスチャ領域へ接近し、その領域中で繁殖していくメカニズムを実現している。本論文では、提案した多種の細胞の適応と繁殖によるコロニー形成がセグメンテーションと等価であることを示している。また、テクスチャの分類をコロニー形成の反復的試行により行なう手法を考察し議論している。最後に頭部X線CT画像の実データに基づいた実験により本手法の有効性を検証している。

第五章では、「頭部X線CT画像のコンピュータ支援診断」と題して、まず、医用画像処理の必要性と重要性について議論し、本論文で提案する頭部X線CT画像のコンピュータ支援診断システムの目的と位置付けを行い、CT値の特性と脳の解剖学的構造の議論及び各種の実験から解剖学的構造の切り出しが必要であることを明らかにしている。次に、局所的な組織構造、病変部分の切り出しを目的として以下の点、すなわち解剖学的に重要な部位には血管が通っていること、及び血流の異常により病変が現われることに着目し、血管を基準点(Blood Vessel Probe; BVP)とした局所的セグメンテーション手法を提案している。具体的にBVPはCT値の高・低吸収域の二種に分類することができ、局所的セグメンテーションを段階的に行うことによって、効率的な病変部抽出を可能としている。最

後に、実データに基づいた実験を通して頭部 X 線 CT 画像の診断支援のための本手法の有効性が示されている。

第六章では、本論文全体の総括を述べ、以上開発した理論と提案した手法が対象問題の各クラスで有用であることが示されている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 嘉 数 侑 昇
副 査 教 授 岸 浪 建 史
副 査 教 授 青 木 由 直
副 査 教 授 大 内 東

学位論文題名

A Study on Autonomous Image Recognition Based on Local Features

(局所的特徴に基づく自律的画像認識に関する研究)

画像認識システムの構築が実問題に対して行なわれる場合、エキスパートの先見的知識の利用、問題の表現方法、評価関数の設定法など、対象とする問題の性質に強く依存する必要がある。対象問題に陰に含まれる知識を自律的に学習、利用できるような画像認識システムの開発が望まれている。

本論文では、識別対象の局所的特徴を学習し、さらにこれらを基底ベクトルとして特徴空間を適応的に形成する自律的画像認識システムの理論構築を行っている。具体的には画像データの特性に応じた2種の問題領域、すなわち形状認識問題領域とテクスチャ認識問題領域に対する方法論を提案している。最後に応用問題として画像領域のあいまいさと各領域の複雑な構造から困難な認識課題として知られている頭部X線CT画像認識問題を取り上げ、実用的な画像診断支援システム例が示されている。

形状認識問題において、対象形状に対して適応的にネットワークサイズを獲得する能力、複数の形状を一度のフィードフォワード処理で識別する能力を持つ拡張型ネオコグニトロンを提案している。従来のネオコグニトロンはネットワーク構造が識別対象に強く依存し、教師あり学習により設定されていた。これに対し、局所的特徴抽出素子であるS細胞の適応的な獲得機構を提案し、ネットワークサイズを教師なし学習により設定できることを示している。さらに、競合学習の改良を行ない、S細胞の適応的獲得の上で必要な学習能力の向上を得ている。また、ロボットビジョンなどの実問題では対象物検出の処理の高速性が求められているが、これに対し、複数対象物の認識を目的とした新しい局所的特徴の統合方法を提案している。以上、本システムの工学的応用として、複数物体からの画像抽出能力をロボットビジョンシミュレーションによりその有効性を明らかにしている。

テクスチャ認識問題領域では、あいまいな複数の領域を境界として持つ濃淡画像を対象とした新しいセグメンテーション手法を提案している。従来のセグメンテーション手法は部分領域の分割と統合を基本的方法論としているが、分割・統合の判断基準のトップダウン的な設定が領域分割結果を大きく左右してしまう問題点が挙げられる。これに対し、生命現象に見られる細胞の増殖と適応のメカニズムをモデル化し、細胞活動の柔軟性を利用したセグメンテーション手法を提案している。本論文では、生理化学的知見を考慮したうえで細胞分割の現象をモデル化し、つぎに細胞単位による局所的特徴抽出に基づき、細胞が同一の領域的特徴に群を形成するコロニー形成モデルを構築している。さらに、この細胞のコロニー形成過程がセグメンテーションと等価であることを示し、テクスチャの分類をコロニー形成の反復的試行により行なう新しい手法を考案している。その結果、各コロニーが領域決定の判断基準であるテクスチャ特徴を適応的に獲得可能となることを示し、頭部X線CT画像の実データに基づいた実験により本手法の有効性を検証している。具体的な応用問題として頭部X線CT画像認識問題を取り上げ、解剖学的・病理学的考察を通し

て頭部内部の各主要血管に着目した局所的セグメンテーションの方法を提案している。
以上で得られた諸手法を用いてCT画像から病変部の検出を行なう診断支援システムの構築を行っている。まず、CT値の特性と脳の解剖学的構造の議論及び各種の実験から解剖学的構造の切り出しが必要であることを明らかにし、つぎに局所的な組織構造、病変部分の切り出しを目的として、解剖学的に血管が重要な役割を担っていることに着目して、血管を基準点(BVP)とした局所的セグメンテーション手法を開発している。検証を目的として専門医師の協力の下に実データに基づいた実験を行い、頭部X線CT画像の診断支援のための本手法の有用性を明らかにしている。

これを要するに、本論文は、学習・自律機能を持つ画像認識システムを実現するための有益な新しい知見を得ており、情報工学、画像処理工学の進歩に寄与するところ大である。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。