

学位論文の要旨	
氏名	三原 義樹
学位論文題目	画像復元に用いるニューラルネットワークと偏微分方程式に関する理論的研究
<p>本論文では、画像復元に用いるニューラルネットワークと偏微分方程式に対して理論的側面からの研究についてまとめた。</p> <p>第1章では、画像からノイズを除去するという画像復元問題に対して、ウィーナフィルタ、一般逆フィルタおよび制限付き最小2乗フィルタ、射影フィルタを題材に抽象的表現を用いてまとめた。</p> <p>第2章では、ニューラルネットワークについて、その基本となるニューロンからモデリングを行い、その接続構造によって、学習などに利用される階層型ニューラルネットワークと最適解探索問題に利用される相互連結型ニューラルネットワークに分類されることを概説し、相互連結型ニューラルネットワークに分類される Hopfield ニューラルネットワークについて説明した。さらに、Hopfield ニューラルネットワークの解の平衡点の存在性、一意性、および安定性を保証するいくつかの条件についてまとめた。</p> <p>第3章では、画像における1画素を1ニューロンと見立て、そのニューロンが相互連結しているような Hopfield ニューラルネットワークとして考え、ベイズ推定を基本に具体的な力学系を導出した。そしてその力学系の解の平衡点への収束率を与える定理についてまとめた。しかしながら、その定理が与える収束率は、$n \times n$の画素数のとき$n^2 \times n^2$の行列が半正定であることが条件であり、画素数が多い場合に半正定性を確認するためには非常に大規模な演算が必要となってしまうため、収束率を求めることは現実的ではなくなる。そこで、画素数が多い場合には、拡散方程式に対応させ収束率を近似する評価式を導出した。この評価式により近似された収束率と、定理により与えられた収束率についての整合性を確認する数値実験も行い、画素数が比較的少ない場合でも、評価式を用いて近似した収束率は定理により与えられる収束率と矛盾ない値を示したため、収束率を近似する評価式が非常に有用であることが明らかになった。</p>	

第4章では、画像におけるノイズの除去を行う偏微分方程式についてまとめた。まず、偏微分方程式を導出する際に基盤となる評価関数についていくつかの事例を紹介した上で、新規に評価関数を与え、4階偏微分方程式を導出した。この式は、1つのパラメータを有しており、既存の4階偏微分方程式を包含するような一般化された式となっている。そして適切なパラメータの値を選択することにより、信号対雑音比(SNR)の数値とその反復演算回数から判断して、既存の結果よりもより効率的で最適な解が得られる場合があることを数値実験によって明らかにした。

第5章では、ニューラルネットワークと第4章で導出した偏微分方程式との関連性について述べ、画像のノイズ除去問題についての包括的な議論ができることをまとめた。

第6章では、現存する問題点の抽出と本論文の総括を行った。

論文審査の要旨

報告番号	理工論 第 51 号		氏名	三原 義樹
審査委員	主査	佐野 英樹		
	副査	高田 等		黒川 隆英
<p>学位論文題目 画像復元に用いるニューラルネットワークと偏微分方程式に関する理論的研究 (Theoretical Study on Neural Networks and Partial Differential Equations for Image Restoration)</p> <p>審査要旨</p> <p>提出された学位論文及び論文目録等を基に学位論文審査を実施した。本論文は、画像復元用のニューラルネットワークと偏微分方程式について理論的側面からの研究をまとめたもので、全文6章より構成されている。</p> <p>第1章では画像復元問題について、画像処理の分野でよく使われているフィルタによる手法を取りあげ、大域的視点から説明している。</p> <p>第2章ではホップフィールド型ニューラルネットワークに対して、平衡点の存在・一意性について説明している。</p> <p>第3章では集中定数系からのアプローチにより画像復元用のニューラルネットワークを導出し、平衡点である復元画像に収束する速さについて検討している。はじめに、一つの画素の近傍を上下左右および斜め方向の八つと定義したときの、濃淡画像に適用できるホップフィールド型ニューラルネットワークを導出している。そして、平衡点までの収束率を画素数が少ない場合と多い場合に分けてそれぞれ評価し、両者の間に矛盾がないことを数値実験を通して検証している。</p> <p>第4章では分布定数系からのアプローチにより画像復元用の偏微分方程式を導き、それを用いたノイズ除去について検討している。はじめに、ノイズの入り方が一定という仮定の下で、濃淡分布を表す状態変数の空間変数に関する2階偏微分および調整可能なパラメータが含まれる評価関数を最小にする力学系を導出している。この力学系は時間発展を有する4階非線形偏微分方程式に状態フィードバックが組み込まれた構造になっている。代わりに、1階偏微分が含まれる評価関数を用いた場合には、対応する力学系は状態フィードバックが組み込まれた2階非線形偏微分方程式になる。ここで、4階非線形偏微分方程式を用いた場合に対して数値実験を行い、調整可能なパラメータの値を試行錯誤的に選択することにより、画像の種類によってはLysakerらの結果 (IEEE Transactions on Image Processing, Vol.12, No.12, pp.1579-1590, 2003) よりも、良い復元画像が得られることを確認している。</p> <p>第5章では第4章で得られた2階非線形偏微分方程式において、フィードバックループを取り除いて調整可能なパラメータにある値を与え、空間変数に関して差分化したものが、第3章で得られた画像復元用ニューラルネットワークになることを明らかにしている。</p> <p>第6章では全体をまとめ、今後の課題について述べている。</p> <p>以上本論文は、画像復元用のニューラルネットワークと偏微分方程式を、それぞれ集中定数系からのアプローチ、分布定数系からのアプローチによって導出しているが、平衡点までの収束率の評価やノイズ除去に対する有効性について検討しているのみならず、これらの力学系の関連性を明らかにしており、学術的に高く評価できる。</p> <p>よって、審査委員会は博士（理学）の学位論文として合格と判定する。</p>				

学力確認結果の要旨

報告番号	理工論 第51号	氏名	三原 義樹
審査委員	主査	佐野 英樹	
	副査	高田 等	黒川 隆英

平成20年2月7日15時から行われた学位論文発表会において、1時間の発表後に1時間の質疑応答を行った。以下に質疑応答の主要なものを示す。

〔質問1〕第4章で導出された画像復元用の偏微分方程式では、良い復元結果を得るために試行錯誤的に正のパラメータ p の値を選んでいる。最適な p の値を決定するためのアルゴリズムを現在考えているか。あるいは将来考える予定はあるのか。

〔回答〕効率よくノイズを除去するためには解決しなければならない問題であり、現在検討中である。

〔質問2〕第3章の画像復元用ニューラルネットワークでは、正のパラメータ α_1 、 α_2 、 β が含まれているが、これらの値と復元後の画像との関係を説明して欲しい。

〔回答〕パラメータ α_1 、 α_2 の値を大きくすると面性が大きくなる。それに対して、パラメータ β の値を大きくするとノイズが除去されにくくなる。

〔質問3〕第3章の画像復元用ニューラルネットワークは線形方程式であるが、常に対応するエネルギー関数の大域的最小値を与える点を求めることは可能か。

〔回答〕画像復元用ニューラルネットワークは勾配法によって導出されたものであるので、エネルギー関数が時間に関して非増加になることしか保証しない。そのため、定理2の十分条件が満たされない場合には、必ずしもエネルギー関数の大域的最小値を与える点が求まる訳ではない。

〔質問4〕第3章の画像復元用ニューラルネットワークは、ある画素の上下左右と斜め方向の画素に基づいて導出されているが、もう一周り外側にある上下左右の画素を付け加えた場合には、どのような力学系が得られることが予想されるか。

〔回答〕既に導出している画像復元用ニューラルネットワークに、追加した分の画素に対応する、面性の影響を考慮した修正項を付け加えた形の力学系が得られることが予想される。ただし、その導出には多くの計算が必要になると思われる。

〔質問5〕説明によると、第3章の定理2の十分条件は常に満たされているように見える。すなわち、定理2が提出済の学位論文より改良されているように見えるが、この点はどうか。

〔回答〕常に満たされている訳ではない。すなわち、改良されてはいない。ただし、画素数が多い場合には対応する偏微分方程式との関係から必ず満たされることが予想される。

〔質問6〕第3章の画像復元用ニューラルネットワークでは、状態変数がオーバーシュートする恐れはないか。

〔回答〕数値実験では白を -1 、黒を $+1$ としている。数値実験では状態変数の時間発展に注目していなかったためデータに基づいたことは言えないが、画素数が多い場合にはニューラルネットワークが拡散方程式で近似されるので画像が平滑化される。そのため、状態変数が区間 $[-1, +1]$ を超える振る舞いをする可能性はあるが、極端なオーバーシュートは起こらないものと考えられる。

上記の質問およびそれ以外の質問に対して、ほぼ適切な回答がなされた。なお、語学力については専門に関する文献の英文和訳の課題を与え、適切な和訳がなされていることを確認した。

以上の結果から、3名の審査委員は申請者が博士(理学)の学位を与えるに十分な学力と見識を有するものと判定した。