

学 位 論 文 題 名

ソートを用いた医用画像の階層的可逆符号化に関する研究

学位論文内容の要旨

医療分野においては早くから X 線 CT, MRI などのデジタル画像診断装置が出力する大容量のデジタル画像データを取り扱っていたが、医療分野では診断画像の長期間の保存が法で規定されていること、また診断効率の向上の点からもデジタル画像処理技術や高圧縮な符号化の需要が高い。現在の画像圧縮法では、画像データは 1 枚単位で圧縮されるため、画像数の増加によりその容量は線形に増加していく。

本研究では医用画像の可逆圧縮法として、複数の画像が持つ特徴を異なる画像間で多く利用することにより高圧縮化を達成する手法を提案する。この圧縮法を実現する技術の 1 つである階層型ソート法では、実際にソートを行うためにピクセルを置き換えるテーブル、置換テーブルのサイズを固定としたため、どのような画像データに対しても適用できるように設計されている。これにより多くの画像にこのテーブルを適用し、このテーブルのオーバーヘッドを減らすことで可逆ながら高圧縮なシステムを作成することを目指した。

第 2 章において本論文の根幹を成す階層型ソート法と置換テーブルについて解説し、その構成と設計について検討した。ソートを行うためのオーバーヘッドはソートの精度またはソートする範囲により急激に変化することを指摘し、ソートの効果の高さと保存に必要なビット数について考慮したうえで、置換テーブルのサイズは $4 \times 4 \text{pixel}$ を選ぶことが最も適していることを示した。この固定されたサイズの置換テーブルをテーブルサイズ以上のサイズのブロックに適用した場合、完全なソートは不可能であるが、そのブロックを分割した上で更に同サイズの置換テーブルを適用することにより、ブロック全体にソートの効果が及ぶことを示した。これによりサイズが多い大きなブロックに対してもオーバーヘッドの急激な増加を防ぐソートが可能であることを示した。画像サイズの大きな画像は複数の画像のエッジ部分が最悪でも 4×4 のピクセルサイズのブロックには含まれないように分割可能であることを仮定した。階層型ソート法は、この多くのビットを必要とする置換テーブルを、画像全体には適用せず、画像のエッジ部分のみに適用する手法であり、これにより画像データは複雑な領域と平坦な領域とに分割して、異なる圧縮を行うことを示唆した。階層型ソート法は領域分割と同時にソートを行うことが可能なため、

第 3 章では平坦な領域と複雑な領域とにセグメントされたデータ列は異なる統計的性質をもつことから、平坦な領域では quad tree 分割の各分割階層(分割レベル)毎に走査法に応じて隣接ブロックの値から適した予測値を算出する方式を用いた。複雑な領域においては

階層型ソート法の適用によりブロック内のピクセルは走査方向に対してほぼ単調増加となり、また濃度値の変化も予測しやすい波形となったため、関数近似により得られた値から予測値を得た。

この符号化方式を医用画像データに適用した結果、サイズの小さな画像データの圧縮では階層型ソート法による効果はあまり得られず、他の圧縮法に比べて圧縮率は低くなかったが、 512×512 pixel 以上のサイズの画像データにおいては本手法の特徴が生かされ、圧縮率が高くなることを実証した。これは一度の階層型ソート法で多くのピクセルがソートされることによるところが大きいと考えられる。また、サイズの大きな画像においては置換テーブルが適用されなかったブロックについても中間から高い分割レベルにおいてより隣接ブロックの相関の高さが保たれ、サイズの小さな画像と比較して予測効率が高くなるということが考えられる。更にサイズの大きな画像では同一置換テーブルの存在数が増加するため、1 ブロックあたりの置換テーブルのオーバーヘッドが減ることも圧縮率に貢献していると考えられる。

第4章では、階層型ソート法を用いた単一画像に対しての圧縮を複数の画像に拡張した。階層型ソート法により生成された置換テーブルのサイズが固定であるため、このテーブルを複数の画像データに適用し、更にソートにより生じるオーバーヘッドを減らすことが可能となった。この画像間の置換テーブルの参照は、単一画像で生成されるテーブルの数に依存する。テーブルの数が多ければ複数の画像の多くの位置でそれが参照されることになることから、複数画像の圧縮においてはテーブルが多く生成される Hilbert 走査が有効であることを示した。また、効率的な画像の復元を行うためには圧縮データの構造を見直す必要があり、複数画像の復元に適した圧縮データストリームの記述についても検討した。この手法を実際の医用画像データに適用した結果、多くの画像で圧縮率が向上していることが確認できた。

この手法では MRI 画像、X 線 CT 画像において圧縮率の向上が顕著であった。これは画像において、同じ部分に同じ置換テーブルが多く適用されているためと考えられた。また、実際の画像への適用から、CT や MRI 画像などに比べて画像間に大きな相関がない DR 画像や CR 画像においてもこの置換テーブルは多く参照されていることが確認でき、モダリティを超えた多くの画像に適用しても本手法による圧縮は有効に働くことが確認できた。この手法を用いたことによる圧縮率の向上を JPEG-LS と比較した結果、全てのモダリティの画像データにおいて圧縮率が上回った。このことから、本圧縮法は画像の枚数が多くなればより高圧縮となる新しい手法であることが明らかにされた。

本研究は医用画像の圧縮法において、既存の圧縮法では考慮されなかったモダリティを選ばず多くの画像が同じく持つ特徴を用いた圧縮を行う方法について取り組んだものであり、画像数が増えることでより高圧縮が達成できるということは、大きな成果であると考えている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	山本	強
副査	教授	清水	孝一
副査	教授	北島	秀夫
副査	教授	原口	誠

学位論文題名

ソートを用いた医用画像の階層的可逆符号化に関する研究

近年デジタル画像の可逆圧縮に関する研究が盛んに行われている。しかし、その多くは画像データ値(ピクセルの濃度値)の出現の統計的偏りをできるだけ少ない既知のデータから可能な限り正確に求めることにより予測符号を縮小させることを目的としており、画像のピクセル(又はブロック)を移動させることにより統計的偏りを導き、符号化効率を向上させる手法の開発は未開拓の分野で、今後の解析とその原理の解明が待たれている状況にある。一般にデータのソートは、ソートそれ自体が情報を多く必要とするため、そのまま用いることはデータの圧縮に繋がらないことが多いが、本論文はこのような現況にあるソートと圧縮の関係について、階層型ソート法という画像データの特性を用いた新しいソート法を提案し、少ない情報で画像データの広範囲の領域をソートし、符号化効率を向上させることを可能としたもので、ソートを用いた画像圧縮が有効である一つの例を示したものである。

本論文は5章からなり、第2章において本論文の根幹を成す階層型ソート法と置換テーブルについて解説し、その構成と設計について検討している。ソートを行うためのオーバーヘッドはソートの精度またはソートする範囲により急激に変化することを指摘し、ソートの効果の高さと保存に必要なビット数について考慮したうえで、置換テーブルのサイズは 4×4 pixelを選ぶことが最も適していることを示している。この固定されたサイズの置換テーブルをテーブルサイズ以上のサイズであるブロックに適用した場合、完全なソートは不可能であるが、そのブロックをquad tree 分割した上で更に同一サイズの置換テーブルを適用することにより、ブロック全体にソートの効果が及ぶことを示した。これによりサイズが大きなブロックに対してもオーバーヘッドの急激な増加を防ぐソートを可能としている。階層型ソート法は、比較的多くのビットを必要とする置換テーブルを画像データ全体には適用せず、画像のエッジ部分のみに適用する手法であり、画像データはソートされる複雑な領域とソートされない平坦な領域とに分割され、それぞれの領域では異なる圧縮法を用いることとしている。

第 3 章では平坦な領域と複雑な領域とにセグメントされたデータ列は異なる統計的性質をもつことから、平坦な領域では quad tree 分割の各分割階層(分割レベル)毎に走査法に応じて隣接ブロックの値から適した予測値を算出している。複雑な領域においては階層型ソート法の適用によりブロック内のピクセルは走査方向に対してほぼ単調増加となり、また濃度値の変化も予測しやすい波形となることを利用し、ソート後のデータ列をシグモイド関数近似して予測値とし、小さな予測符号の生成が可能としている。本方式を医用画像データに適用した結果、サイズの小さな画像データの圧縮では階層型ソート法による効果はあまり得られず、他の圧縮法に比べて低圧縮であったが、 512×512 pixel 以上のサイズの画像データにおいては本手法の特徴が生かされ、高圧縮となったことを示している。サイズの大きな画像では同一置換テーブルの存在数が増加するため 1 ブロックあたりの置換テーブルのオーバーヘッドが減ることも高圧縮に貢献したと考察している。

第 4 章では、階層型ソート法を用いた単一画像に対しての圧縮を複数の画像に適用した結果を示している。階層型ソート法により生成された置換テーブルのサイズが固定であるため、このテーブルを複数の画像データに適用し、更にソートにより生じるオーバーヘッドを減らすことを可能としている。この画像間の置換テーブルの参照は、単一画像で生成されるテーブルの数に依存するため、テーブルの数が多ければ複数の画像の多くの位置でそれが参照されることになることから、本手法による複数画像の圧縮は画像間の相関が高いデータに対して有効であることであることを示している。また効率的な画像の復元を行うためには圧縮データの構造を見直す必要があり、複数画像の復元に適した圧縮データストリームの記述についても検討している。この手法を実際の医用画像データに適用した結果、多くの画像データで圧縮率が向上していることが確認できた。

これを要するに著者は、医用画像データの可逆圧縮法についてソートを用いることの有効性の新知見を得たものであり、画像データの可逆圧縮について貢献するところ大なるものがある。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あるものと認める。