

画像のエッジ保存を考慮した適応KLT変換に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は画像に含まれるエッジ保存を目的とする適応 Karhunen-Loeve 変換 (以下KLTと略記) の導出法とその画像復元, 画像符号化への適用法に関する研究とをまとめたものである。

KLTは, 信号ベクトルの共分散行列を対角化する直交行列を用いた, 直交変換として定義される。直交変換はユークリッドノルムを保存するという基本的性質を有する。同ノルムの自乗を用いて電力評価を行えば, 信号電力, 雑音電力の双方が直交変換を通じて保存されるため, 変換領域において信号処理を行う際の, 信号対雑音比の管理が容易である。

KLTの定義に際して信号の共分散行列を用いるということに呼応して, 同変換を用いた信号処理においては信号電力, 雑音電力ともに集合平均によって評価される。なお, 以下の説明では雑音電力の平均値をMSEと略記する。

線形予測理論はMSEを誤差尺度として用いる。この理論に基づく雑音除去をKLT領域において実施する場合は, 雑音除去は信号ベクトルの要素単位の処理によって実現できる。また, アナログ信号を符号化する際にも, KLTはその威力を発揮する。KLT領域では信号ベクトルをその要素単位で量子化及び符号化することが効率的符号化につながる。勿論, MSEによって量子化誤差を評価することがその前提である。

最近のデジタルカメラの普及は目覚ましい。これは静止画の記録に用いられ, その内部ではDCTと呼ばれる直交変換が用いられている。また, DCTは動画の記録・伝送にも実用されている。DCTは多種多様な画像を母集団とする場合のKLTの近似形であって, KLTに準じた特性を有し, KLTの実用上の重要性を示す好例といえる。

しかし, 一般のKLTには画像に含まれる輪郭成分(以下エッジとよぶ)に対する特性が必ずしも十分ではないという問題がある。これは誤差尺度としてのMSEにも起因するものである。画像中のエッジは多くの場合, 画像構成要素を区別する上で重要な意味をもつ。人間の視覚にもエッジを見極めようとする特性があり, エッジが明瞭に表現されていない画像に対する主観評価は厳しいのが通例である。一方, エッジの出現確率は必ずしも高くはない。エッジは物体, 又は, せいぜい物体の構成要素間の境界としてのみ現れ, 本質的に線であり, 画像全体は面であるからである。従って, エッジ表現誤差がたとえ大きくとも, そのMSEへの寄与は小さい。

本論文においては上記の問題を克服する手段として、エッジをその重要性に照らし正当に扱うことのできるKLTを導出する。まず、多くの画像を分割して得られる小画像の集合をエッジの有無、エッジの方向性という観点から部分集合に分割する。その上で、それぞれの部分集合毎にKLTを導出する。エッジを必ず含む母集団に対して得られるKLTはエッジを効果的に表現することは言うまでもない。こうして得られた複数のKLTの一つが、個々の信号ベクトルが与えられる度に適応的に選択される。これが適応KLTである。なお、変換の選択は信号処理の目的別に工夫することが求められる。

具体的な適用例として、画像に重畳された雑音除去を行うことを目的とするウィナーフィルタリングをKLT領域で実施する方法を導く。ここではエッジの有無に対応する個々のKLTを雑音の存在下で適応的に選択する必要がある。雑音在りの前提のもとで、信号を類別することは一般には容易ではない。本論文においては、KLTが個々の信号集合の固有モードに対応するという観点から類別する方法を提案し、その有効性を示す。使用すべきKLTが決定されれば、フィルタリングそのものは標準的な線形予測理論に準拠して行うことができる。結果として得られる適応ウィナーフィルタは優れたエッジの復元性を有することを示す。

続いて適応KLTを画像符号化に適用する方法を導く。符号化においては画像を低周波成分と高周波成分とに分割した上で、高周波成分から適応KLTを導く。こうすることによって、エッジの存在がより明確にエッジ対応の母集団に現れるからである。具体的な符号量の配分法を提案し、同一MSEを設定した場合、適応KLT符号化がエッジの再現性にすぐれていること、又、少ない符号量で画像を符号化できることを示す。

以上を要約すると、本論文は画像集合をエッジの有無、エッジの方向性から部分集合に分類した上で、部分集合毎にKLTを導出し、結果として得られる複数のKLTを適応的に選択する方法を画像の復元、符号化というKLTの主要な応用分野双方に適用し、エッジ保存可能な結果が得られることを示している。

学位論文審査の要旨

主査	教授	北島秀夫
副査	教授	小川吉彦
副査	教授	栃内香次
副査	教授	青木由直
副査	助教授	長谷山美紀

学位論文題名

画像のエッジ保存を考慮した適応KL変換に関する研究

本論文は、画像に含まれるエッジ保存を目的とする適応 Karhunen-Loeve 変換（以下 KLT と略記）の導出法と、その画像復元、画像符号化への適用法とを論じている。

KLT は、ランダム信号の共分散行列を対角化する直交行列を用いた直交変換として定義される。直交変換は、ユークリッドノルムを保存するという基本的性質を有している。同ノルムの自乗を用いて電力評価を行うことにより、信号電力、雑音電力の双方が直交変換を通じて保存されるため、変換領域において信号処理を行なう際の、信号対雑音比の管理が容易であるという観点にたつて議論が展開されている。

線形予測理論に基づく雑音除去は、KLT 領域において実施するのが理想的といえる。また、アナログ信号を符号化する際にも、KLT は有効な手段となる。KLT 領域では、変換係数の次数毎に量子化及び符号化することが効率的符号化に結び付く。勿論、MSE により量子化誤差を評価することがその前提となる。これらのことから KLT を研究対象と選ぶことに意義があると認められる。最近のデジタルカメラの普及は目覚ましい。これは静止画の記録に用いられ、その内部では離散コサイン変換（以下 DCT と略記）と呼ばれる直交変換が用いられている。また、DCT は動画の記録・伝送にも実用されている。DCT は多種多様な画像を母集団とする場合の KLT の近似形であり、KLT に準じた変換特性を有し、KLT の実用上の重要性を示す好例といえる。

本論文において、従来の KLT には画像に含まれる輪郭成分（以下エッジとよぶ）に対する特性が必ずしも十分ではないという問題があることが指摘されている。これは、誤差尺度としての MSE にも起因するものである。画像中のエッジは、多くの場合、画像構成要素を区別する上で重要な意味を持つ。人間の視覚にもエッジを見極めようとする特性があり、エッジが明瞭に表現されていない画像に対する主観評価は厳しいのが通例である。一方、エッジの出現確率は必ずしも高くはない。エッジは物体、又は、せいぜい物体の構成要素間の境界としてのみ現れ、本質的に線であり、画像全体は大部分が面で構成されているからである。従って、エッジの表現誤差が大きくとも、画像全体の MSE への寄与は小さいものとなる。

本論文では、上記の問題を克服する手段として、エッジをその重要性に照らし正当に扱うことのできる KLT を導出している。まず、多くの画像を分割して得られる小

画像の集合をエッジの有無，エッジの方向性という観点から部分集合に分割する。その上で，それぞれの部分集合毎に KLT を導出する。エッジを必ず含む母集団に対して導出される KLT は，エッジを効果的に表現することが可能となる。こうして得られた複数の KLT の一つが，個々の信号が与えられる度に適応的に選択される。これら複数の KLT が，適応 KLT である。なお，変換の選択は信号処理の目的別に工夫することが要求されるが，本論文ではその具体的方法が述べられている。

本論文の第 4 章では，具体的な適用例として，画像に重畳された雑音除去を行うことを目的とするウィナー フィルタリングを KLT 領域で実施する方法を導いている。ここでは，エッジの有無に対応する個々の KLT を，雑音の存在下で適応的に選択する必要がある。雑音存在下において，信号を類別することは一般には容易ではない。そこで，KLT が個々の信号集合の固有モードに対応するという観点から類別する方法を提案し，その有効性を示している。適用すべき KLT が決定されれば，フィルタリングそのものは標準的な線形予測理論に準拠して行うことが可能である。計算機実験により，結果として得られる適応ウィナーフィルタは優れたエッジの復元性を有することが明らかにされている。

続いて，本論文の第 5 章では，適応 KLT を画像符号化に適応する方法が導かれている。この符号化においては，画像を低周波成分と高周波成分とに分割した上で，高周波成分から適応 KLT が導出されている。こうすることで，エッジの存在がより明確にエッジ対応の母集団に現れる。計算機実験では，具体的な符号量の配分法を提案し，同一 MSE を設定した場合に適応 KLT 符号化がエッジの再現性に優れていること，又，少ない符号量で画像を符号化できることが示されている。

これを要するに，著者は，画像のエッジ保存を考慮した適応 KL 変換の導出法ならびに画像復元，符号化双方へのその適用法に関して有益な新知見を得ており，画像工学の分野に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。