Title: ICA-DCT ハイブリッド符号化における，選出基底と適用領域の最適化

Abstract: JPEGに採用されている離散コサイン変換（DCT）は汎用的な基底により画像が必要とする統計的な特徴を抽出と保存できるが、ビットレートが低くなると視覚的な歪みが発生するため、人の視覚を考慮されていないと言える．そこで、人の視覚が扱う特徴を抽出と保存できる独立成分分析（ICA）と併用することで画像と人の両方が必要とする特徴の保存を目的としたDCT-ICAハイブリッド手法が提案されている．DCTとICAを併用するためには，ICA基底の適用領域を最適化する必要があり，付加情報によりエントロピーが増加する課題もある．本論文では，それらを解決することで30～50[dB]の実用的なビットレートにおいてDCT単独から符号化性能を向上できることを示す．

1. Introduction

国際的な画像符号化方式であるJPEGなどに採用されている離散コサイン変換（DCT）は，エネルギー圧縮を伴う直行変換に基づいた有効な方式の1つである．[1]どのような画像に対しても同一のDCT基底が適用され，Qテーブルにより高周波情報が削除される。そのため，画像が必要とする統計的な特徴を持つ領域の保存に有効である．しかし，低ビットレートではモスキートノイズやブロックノイズなどの視覚的な歪みが問題となることが知られている。ノイズが発生するということは、視覚的に必要となる情報が不足するためであり、DCTにより必要な情報までもが削除されていると考えられる．一方で，人間の初期視覚系をモデル化したスパースコーディングは，係数のスパース性に着目することでわずかな基底でブロック内の特徴を保存できる．[2,3] スパースコーディングの仲間である独立成分分析（ICA）を画像に適用することで，ガボール関数に似た基底関数を求めることができるため，人の視覚が扱う特徴を抽出できることが示唆されている．[4,5]　したがって、DCTとICAでは、画像から抽出する特徴が異なる。そこで、DCTでは保持できない、人の視覚が必要とする情報をICAにより保存することで、画像と人間の両方が必要とする情報の保存を目的としたDCT-ICAハイブリッド符号化が提案されている．[6~8]　DCTとICAを併用するためには適用領域の最適化やICAを適用する場合の使用基底の最適化を行う必要がある。また、ICAにより求められる基底群は入力画像毎に異なるため、送信側と受信側で共有することが想定される。そのため、ICA基底を共有するための付加情報により符号化性能が劣化する課題も残されている．従来手法[6,7]では、それらの課題の解決が行われたが、符号化性能を向上できるビットレートが実用的でないことや、エントロピーの比較が適切でないなどの課題が残されている。本論文では、従来手法の課題を分析し、DCT-ICAハイブリッド手法の改題を解決により適した処理を提案する。

2．

2.1　ICAのやつ

図、DCT基底、ICA基底

係数を減らしたやつ

2.2　従来手法

2.1節で述べたように，局所的な特徴を持つブロックの信号はICA係数がスパースとなるため，ICAを適用することでエントロピーの削減が期待できる。一方，平坦な特徴や規則的な特徴を持つ領域はICA係数がスパース性を満たさないため、DCTを適用させたほうが有効である．そこで、入力画像の各ブロックをDCTまたはICAで保存することで画像全体のエントロピーを低減することができる。ここで，DCTとICAの符号化処理を1つのブロック内で併用することができないため，画像内の各ブロックをDCTまたはICAのどちらを適用させるかについて分類する必要がある．また，ICAの量子化は， Qテーブルのような汎用的に画質を制御する量子化法ではなく，対象のビットレートにおける最適なICA係数を選択し，それ以外の係数を0とすることでエントロピーの削減が行われる．ハイブリッド符号化では各ブロックで使用される基底の個数はDCT符号化を参照しているため、選択するICA係数の最適化を行う必要がある．また、ICAにより求められる基底群は入力画像毎に異なるため、送信側と受信側で共有することが想定される。共有するための付加情報は画像全体で使用するICA基底の種類に比例して増加する。これを考慮せずに2つの最適化を行った場合、ICA基底の付加情報が多くなってしまい、符号化性能が劣化することになる。そのため、2つの最適化に加えて、画像全体で使用するICA基底の種類を少数個に制限する必要がある。 [6,7]はMP法[10]に基づいてブロックとICA基底との類似度により係数を選択するための優先度を決定している。また、各ICA基底が改善可能な画質を評価することで適用領域の課題を解決している．その結果，DCTを用いた場合と同等の画質を保持するために必要なICA基底のエントロピーを80%以上削減できることが示されている。[6] また、20dB前後の超低ビットレートにおいて、付加情報を考慮した上で符号化性能を向上できることが示されている。[7]しかし、これら従来のハイブリッド符号化には課題が残されている。ICAの量子化において一つの係数でDCTと同等の画質を保てるブロックは限られているため、複数個の係数を残す必要がある。ｍｐ法により求められた優先度は、基底間の組み合わせが考慮されていないため、適切な優先度とは言えない。また、ブロックの画質を最適にできるICA基底以外にも有効な基底は存在している[8]。Sec3では、上記の課題を解決し、実用的な符号化レートにおいてDCT-ICAハイブリッド符号化の符号化性能を向上させるための新たな手法を提案する。

3提案手法

提案するDCT-ICAハイブリッド符号化の構成を図3に示す。図3において、まず入力画像を（8×8）画素の一様なブロックに分割し、各ブロックに対してDCTとICAを適用してDCT係数とICA係数をそれぞれ求め、ICA基底を得る。提案手法では，DCTはJPEGベースの量子化テーブルにより量子化され，ICAは提案する優先度によりDCTの品質と同等になるように不要な係数の削減により量子化される．上記の処理だけでは、sec.22で述べたように画像全体で使用するICA基底の種類が多くなるため、大量の付加情報により符号化性能が劣化してしまう。画像全体で使用するICA基底の種類を制限するために、各ICA基底の評価を行う。そして、画像全体のエントロピーにICA基底の付加情報を加えたものとDCTエントロピーを比較する。

3.1係数選択のための優先度

画質評価はPSNRとSSIMで行うため，係数を選択するための優先度もMSEをベースにしている．ICA係数は疎であるが、画質を保持するために複数種類のICA基底を同時に使用することが多い。[8] ブロックの保存に適した係数の選択には全探索を用いるべきだが、すべてのブロックにおいて求めることは計算量の観点で現実的ではない。そこで、少ない計算量で全探索と同等の優先度を求めることのできる手法の提案により、係数選択のための優先度の課題を解決する。入力画像の各ブロックに対して、MSEが最小となるICA基底ᵃ(𝑖 = 1,2, ⋯ ,64)を求め、そのブロックに対してᵃを1st基底とする。次に、1stを使用する条件で、併用した場合にMSEを最小化できる他のICA基底ᵃ(𝑛 = 1,2, ⋯ ,64, where 𝑛 ≠ 𝑖)をそのブロックの2nd基底とする。この処理を優先度64thが決定されるまで続け、すべてのブロックについて係数を選択するための優先度を求める。これにより、DCT符号化においてブロックで使用される基底の数が決定した時、待たずに最適なICA係数を選択することができる。表1に全探索と比較した場合の提案手法の画質劣化を示す。表1では1stまたは1st and 2nd，1st and 2nd, 3rdの係数を選択する場合に全探索と比較して画質がどれくらい劣化するのかを表している．図？を見ると従来手法は全探索と比較して大幅に画質が劣化していることが分かる。それに対して、提案手法は全探索とほぼ同じ画質であることが分かる。この結果から、提案する優先度は従来の手法よりも適切な係数を選択できる。

図、優先度の画質比較

3.2　ICA基底を評価する

本項ではICA基底の評価することで、画像全体で使用するICA基底の種類を少数に限定し、付加情報を含めた全体のエントロピーを抑制する。低ビットレートではICA基底2つ程度のエントロピーを付加しても符号化性能が向上することが示されている。[6,7]そのため、提案手法はすべてのビットレートで最大3個までのICA基底を使用することとした。｛ai｝によるブロックの画質の向上を（式）とすると、｛ai｝による画像全体の画質の向上は（式）となる。ここで、｛ai｝により画質が低下する場合は適用ブロックから除外するため、画質が向上するブロックのみに着目している。以上の処理により、画像全体で使用するICA基底の種類を制限する場合でも画質を最大に出来る基底を選択することができる。

3.3　使用する基底と適用するブロックの決定

Sec.2.2で述べたようにICA基底は送信側と受信側で共有することが想定されるため、ICA係数と付加情報を合わせたエントロピーを算出する必要がある。提案手法は係数のエントロピーと付加情報のエントロピーを合わせたエントロピーを求め、DCTのエントロピーと比較する。3.2で求めた評価において画質を最も向上できるものから順にエントロピーを比較し、一番初めにDCTのエントロピーを下回ったものを最終的に使用する基底に決定する。また、それらの適用ブロックを最終的な適用ブロックに決定する。

4.実験結果

256×256画素の画像「飛行機」、「バーバラ」、「カメラマン」、「マンドリル」に対して提案手法を適用し、PSNRとエントロピーの比較を行った結果を図4に示します。また、SSIMとエントロピーの比較を行った結果を図5に示します。図4、5では、DCTと提案手法の結果を比較しています。図4、5を見ると高ビットレートではエントロピーの大きな削減が見られ、低ビットレートでは画質の大きな向上が見られる。これは、少ないエントロピーで画質を保持できるというICAの性質が反映されているためであり、提案手法の特性ともいえる。30～50[dB]の実用的なビットレートおいて，エントロピーを最大で0.08[pit/pel]も削減でき、PSNRを最大で0.1[dB]も向上できることが分かった。

次に、画像「飛行機」に対して提案手法を適用して得られた、ICA基底とそれらの適用ブロックを図6に示す。図6は、ICAの適用ブロックを原画で、DCTの適用ブロックを黒で示しています。Fig6を見ると、実用的なビットレートにおいてICA基底が3個使用されています。これは提案手法における最大であり、提案手法の適用により多くのエントロピーを削減できているためである。また、将来的に4個以上のICA基底を使用できると考えられるため、更なる符号化性能の向上が見込まれる。

図、基底と適用ブロック（提案）

PSNRとSSIM（Airplane、Barbara、Cameraman、Mandrill）

5.まとめ

DCT-ICAハイブリッド符号化は画像と人間の視覚が必要とする両方の情報を保存できるというメリットがある一方で、使用するICA基底とその適用ブロックの最適化問題に加えて、ICA基底を共有するための付加情報により十分な符号化性能を得られない課題があった。本論文では、この課題を解決するために、ブロックの係数を選択するための優先度に対して全探索と遜色ない処理を提案した。また、画像全体で使用するICA基底の種類を最大3個に制限し、すべてのパターンで得られる画質を比較することで、付加情報の削減を行った。さらに、画質を最大にできるパターンから順に付加情報を含めたエントロピーを比較することで、DCTからエントロピーを削減でき、画質を最大にできるICA基底を決定することができた。これらの提案の結果、付加情報を加えてもDCT単独から符号化性能を向上でき、従来のDCT-ICAハイブリッド符号化の課題を解決することができた。

図6のビットレートごとに使用されているICA基底は異なっているため、ビットレートごとに着目している特徴が異なっていると考えられる。そのため、ICAがビットレートごとに着目している特徴を明らかにすることが、我々の今後の課題である。

[1] W.B. Pennebaker, J.L. Mitchell, JPEG still image data compression standard, Van Nostrand Reinhold (1993).

[2]スパース表現の数理とその応用

[3]a survey of sparse representation: algorithms and application

[4]独立成分分析 村田

[5] 陳延偉

[6]亀田、川村

[7]富樫

[8]中田

[9] a class of neural networks for “”Kullback-Leibler””

[10] Matching pursuits with time fre…