

(論文内容の要旨)

近年、固定端末向けブロードバンドの普及に加え、携帯端末向けネットワークの高速化が著しい。静止画像・動画像データをネットワーク上で扱う機会は増加の一途を辿り、画像の利用環境はますます多様化してきている。ここで画像符号化方式に目を向けると、現在普及している JPEG は圧縮率や機能面での不満がある。そのため、高圧縮率、高階調、高いスケーラビリティ性能などの特徴をもつ画像符号化方式 JPEG2000 が 2001 年 1 月に国際標準化された。しかしながら JPEG2000 は、符号化・復号化に要する計算量、メモリの使用量が大きいというシステム構成上の問題があり、回路規模や消費電力要求の厳しい携帯機器などへの搭載は難しかった。本論文では、計算量やメモリ使用量の削減などにより JPEG2000 処理システムを効率的に構成する方法を提案している。その際、JPEG2000 で特徴的な処理である、超高精細画像の符号化/復号化・レート制御・プログレッシブ復号の 3 項目をターゲットとし、それぞれに焦点を絞った技術を提案している。

JPEG2000 では、計算の複雑さ及びメモリ使用量を抑えるために、 128×128 ピクセル程度のタイルと呼ばれる矩形領域に分割して処理を行うことが可能である。しかし、タイル分割を行うと、低ビットレート時にタイル境界でのノイズが発生し、主観画質低下を招く。そのため、本論文では、タイル分割無しのシングルタイルでの JPEG2000 コーデックのシステム構成を提案している。シングルタイルで符号化・復号化する場合、対象画像の解像度が小さければ余り問題にならないが、解像度が大きい場合は、メモリ使用量若しくは入出力データ量が極めて大きくなる。そのため、各種要素技術を用いて、メモリ使用量と入出力データ量のバランスの良いシステム構成を提案している。まず、ある一定の幅で画像を短冊状に分割し、境界についてはオーバーラップ処理を行う。そして、JPEG2000 での変換処理である離散ウェーブレット変換は、ラインベースと呼ばれる、縦方向・横方向のフィルタ処理を連続して実現できる手法を採用している。このとき、短冊状の分割幅、ラインベースのチップ内での繰り返し回数、離散ウェーブレット変換の結果をチップ内メモリで保持するか否かをパラメータとして変更することにより、状況に応じた最適なシステム構成としている。また、提案システム構成を実際にチップに実装した例を示し、ワンチップで $8,192 \times 8,192$ の画像をシングルタイルで符号化/復号化できることを示している。

また、さまざまな利用環境に対応するには、伝送路特性に応じた符号量の制御、即ちレート制御が重要な技術の一つとなる。本論文では、組込み向けに計算量及びメモリ使用量が少ない JPEG2000 向けレート制御手法を提案している。従来の RD-Optimization と呼ばれる最適化手法では、最初に全データ片を符号化し、その後、画質への寄与度の低いデータ片を切り捨てる。この手法では、精密なレート制御が可能である反面、計算量及びメモリ使用量に大きな無駄がある。そこで、データ片の切り捨て位置をあらかじめ予測することにより従来手法では無駄になることがあったエントロピー符号化の処理を省略することにより、処理量の削減を図る手法を提案している。前もって典型的な画像の特質を分析し、周波数成分毎の画質への寄与度の高いデータ片の割合を予測するという方法で実験し、RD-Optimization と比較して、若干の画質の低下があるが、計算量と必要メモリ量が大きく削減されることを示している。

画像データの受信に伴い、徐々に低階調な画像から高階調な画像に変換する処理は SN 比プログレッシブ復号と呼ばれてる。本論文では、JPEG2000 の SN 比プログレッシブ復号を高速化する手法を提案している。従来は、データを受信する度に最初からエントロピー復号を行う必要があった。提案手法では、中間データを効率的に保持することにより、エントロピー復号を繰り返し行うことを避け、高速化を実現している。また、累積データに対してではなく、差分データに対して逆離散ウェーブレット変換を行うことで、DWT 係数と呼ばれるデータを全画面分保持する必要がなくなり、メモリ使用量の増加を大幅に抑えている。

(論文審査の結果の要旨)

論文は、高圧縮率，高階調，高いスケーラビリティ性能などの特徴をもつ画像符号化方式 JPEG2000 に着目している．JPEG2000 には符号化・復号化に要する計算量，メモリの使用量が極めて大きいという課題があり，それ解決するため，効率的な処理システムの構成法についてさまざまな提案を行い，その有効性を検証している．本論文で得られた成果は以下の通りである．

1. JPEG2000 は符号化時にタイル分割処理が可能であるが，タイル分割を行うと境界の歪みにより主観画質が低下してしまう．しかし，タイル分割を行わないと入出力データ量やチップ内メモリ量が莫大となってしまう．そのため，タイル分割を行わない，シングルタイルでの JPEG2000 符号化・復号化を従来の方式と比較してバランスの良い入出力データ量とチップ内メモリ量で実現するシステム構成を提案した．また，提案されたシステム構成での LSI が実際に製品化されていることを示した．
2. JPEG2000 の符号量制御，即ちレート制御では，データ片を符号化した後に画質寄与度の低いものを捨てることによりきめ細かな制御が可能である．しかし最終的に不要なデータまで符号化するため計算量が多いという問題がある．そのため，符号化する前に，最終的に残すデータ片を予測し，不要な符号化を排除することにより計算量を削減する手法を提案した．この手法により計算量とメモリ量を大幅に削減できることを示した．
3. 受信画像を徐々に復号する JPEG2000 のプログレッシブ復号において，従来は追加データを受信する度に復号をやり直す必要があり計算量が多かった．それに対し，効率的な中間データ保持と，差分データによる逆離散ウェーブレット変換を行うことにより，画質の劣化無く計算量を削減する手法を提案し，効果を示した．

以上、本論文は JPEG2000 の符号化・復号化におけるシステム構成上の問題に対して、解決方法を提案するとともに、その有効性を実証している。本論文の内容は、学術上、応用上ともに寄与するところが少なくない。よって本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものとして認める。また平成21年3月2日に実施した公聴会とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。