

■2 群 (画像・音・言語) -5 編 (画像符号化)

2 章 映像符号化処理の基本

(執筆者：八島由幸) [2013 年 4 月 受領]

■概要■

圧縮符号化とは画素値から構成される画像信号を最終的には「0」と「1」からなる 2 進符号 (圧縮データ) に変換する処理であり、様々なアルゴリズムを組み合わせることで高い圧縮率を達成することができる。画像符号化には様々な方式が研究されているが、JPEG や MPEG に代表される国際標準方式には H.261 の時代から続く典型的な処理の流れがある。処理の流れは以下の三つのステップからなる。まず一つ目は画像信号のもつ冗長性を除去する処理である。画像信号の冗長性除去では、いわゆる「MC+DCT」といわれる、動き補償 (MC : Motion Compensation) と離散コサイン変換 (DCT : Discrete Cosine Transform) を組み合わせたハイブリッド方式が著名である。二つ目は、人間の視覚特性を利用して代表値のみで表現する量子化処理である。量子化はデータ圧縮率と画質のバランスを制御する重要な処理であるとともに、符号化システム設計者の自由度が高く様々な工夫の余地が存在する部分である。最後に三つ目は符号理論に基づき符号割り当てを行う処理である。符号割り当ては、符号化すべきデータ (シンボル) を 2 進符号として表現する際のビット列を規定する箇所であり、シンボルの発生確率に基づいた処理が施される。2 進符号は定められた並び順 (符号化シンタクス) に従ってビット列として構成されて最終的な圧縮データ (ビットストリーム) となり、伝送・蓄積される。相互接続性のためには、この符号化シンタクス及びそれから画像を再構成するための復号アルゴリズムが規定されていなければならない。以上三つの処理ステップのほかにも、入力画像の雑音除去などを行う符号化前処理、復号画像を見やすく整形する符号化後処理と呼ばれる処理が存在し、実際の製品開発などにおいては差異化のための重要な部分に位置づけられる。

【本章の構成】

本章では、2-1 節で画像符号化の基本的な構成を説明したのち、2-2 節において符号化処理の流れに沿って、符号化前処理、予測処理、変換処理、量子化処理、符号割り当て処理について各処理ブロックの概要を述べ、2-3 節では画像符号化のカテゴリとして、可逆符号化と非可逆符号化について説明する。また 2-4 節では、MPEG など動画画像符号化処理の典型的な処理構成を説明し、2-5 節において、符号化処理単位及び圧縮符号化データのシンタクスについて述べる。

■2 群 - 5 編 - 2 章

2-1 画像符号化処理の基本構成

(執筆者：八島由幸) [2013年4月 受領]

図 2・1 に画像圧縮符号化の基本的な流れを示す。符号化側においては、まず入力画像を前処理によって、画像圧縮に適した形に整える。前処理に含まれる要素として代表的なものは、色変換・雑音除去・帯域制限・画像解析などがある。次に、予測処理及び変換処理によって画素間相関を取り除いた後に量子化し、量子化された信号値に「0」と「1」からなる符号を割り当てて圧縮符号列（ビットストリーム）として伝送・蓄積する。一方、復号側では圧縮符号列を解読して量子化値を復号した後、逆変換、予測復号して、必要であれば画像整形などの後処理を施して最終的な復号画像を得る。

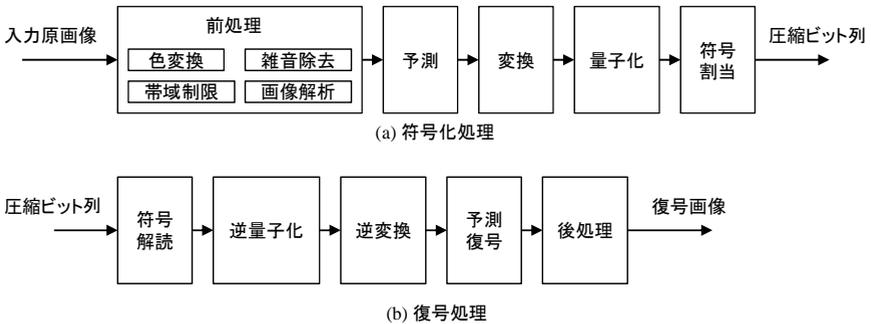


図 2・1 画像符号化処理の基本的な流れ

■2 群 - 5 編 - 2 章

2-2 符号化処理の流れ

(執筆者：八島由幸) [2013年4月 受領]

色変換は、様々なフォーマットで入力された画像信号を後続する符号化処理に適した色空間に変換する。JPEG や MPEG では圧縮に適した効率的な帯域表現として輝度信号 (Y) と色差信号 (U, V) 形式に変換されることが多い。また、適用するアプリケーションによって、色差信号 U, V の画素数は、Y 信号と同じ形にする 444 形式、水平方向だけを半分にする 422 形式、水平方向・垂直方向ともに半分にする 420 形式などに変換する。

雑音除去も前処理の重要な役割となる。カメラなどから入力された画像信号にはランダムノイズやフリッカなどの雑音信号が含まれる。これらの信号は、通常高い周波数成分を含んでいる。雑音であるがゆえにそもそも符号化伝送する必要のない信号であるばかりか、画像圧縮処理を行う際に大きな情報を発生させる。これらの雑音を、原画像がぼけたりしないように工夫しつつフィルタ処理で除去する。

帯域制限処理は、画像の高周波成分を抑圧して平滑化するもので、圧縮率がそれほど高くない場合には必ずしも必要はない。本処理を行うと視覚的にぼけた印象を与えるので注意が必要であるが、例えば、ターゲットとするビットレートが非常に低く、非常に高い圧縮率が要求される場合には、入力信号を多少ぼかした方がブロック雑音などの符号化雑音が少なくなつて自然な復号画像が得られるという効果がある。帯域制限処理が施された画像信号はそのカットオフ周波数に応じて画素数を減らすことが可能であり、高い圧縮率が求められる場合には帯域制限と画素間引きにより画像サイズを 1/2 や 1/4 にしてから符号化し、復号側で補間により元の画像サイズに戻す処理が行われる場合もある。

前処理の最後として画像解析処理がある。画像解析処理は、エッジ検出やテクスチャ解析、動き解析などにより画像の時空間の局所的な性質を数値化して、予測処理モードや量子化パラメータの設定に対してフィードフォワード制御して用いる。

予測処理は符号化しようとする画素を時空間近傍画素から予測してその差分信号を得る処理である。時空間近傍画素間の相関は高いので差分信号のエントロピーは一般的に原画像信号よりも小さくなる。静止画においては空間的近傍画素のみから予測を行う。これに対して動画では時間的な近傍画素、すなわち近傍フレームからの予測も可能となり、MPEG では近傍フレームからの予測の際に動きを考慮して予測を行う「動き補償フレーム間予測」が使われる。

変換処理は原画像を構成する画素値列を別の数値列 (変換係数) に変換するもので、変換の方法により様々な処理が可能で、原信号を周波数表現する手法が採用されることが多い。周波数変換の代表的なものにフーリエ変換があるが、画像信号の場合には変換後の係数のエネルギーコンパクト性の観点から、JPEG や MPEG では離散コサイン変換 (DCT) が、JPEG 2000 ではウェーブレット変換が用いられる。画像は低周波数成分を多く含んでいるため、このような変換を行うことで原信号を表現するための係数値に偏りをもたせ、情報圧縮に適した信号分布にすることができる。

量子化は、予測誤差や変換係数を決められた数の代表値で近似する処理である。代表値のみが後段の符号割り当て対象シンボルとなるためエントロピーが小さくなり大幅な情報圧縮

が可能となるが、丸め処理となるため逆量子化した際の値は原画素値と一致せず、画質劣化が生じる要因となる。量子化処理をとる符号化は非可逆符号化となり、原画像を完全に再現することはできないため、人間の視覚特性を考慮した量子化手法が重要となる。また、圧縮データを一定の情報量以下にしたいような場合には、量子化幅を調整することで制御することができる。

符号割り当て処理はエントロピー符号化とも呼ばれ、符号化対象シンボルに「1」と「0」からなる2進符号を割り当てる。符号割り当てテーブルは符号化対象シンボルの発生確率分布を考慮して定められ、ハフマン符号、ランレングス符号、算術符号などが用いられる。ここで生成されたビット列が圧縮データとして伝送・蓄積される。

■2 群 - 5 編 - 2 章

2-3 可逆符号化と非可逆符号化

(執筆者：八島由幸) [2013年4月 受領]

画像圧縮システムにおいては、前節で述べた前処理・予測・変換・量子化・符号割り当てのすべての処理を含む必要は必ずしもない。例えば、JPEG ロスレスモードでは「予測」＋「符号割り当て」、JPEG ベースラインでは「変換」＋「量子化」＋「符号割り当て」、MPEG-2 や H.264/AVC では「予測」＋「変換」＋「量子化」＋「符号割り当て」で構成されている。

符号化手順に量子化処理を含む場合には、復号画像は原画像と全く同じものにならない。このような圧縮方式を非可逆符号化（ロッキー符号化）と呼んでいる。一方、予測処理や一部の変換処理、符号割り当てに関しては基本的に可逆処理であり、これらのみから構成される圧縮方式を可逆符号化（ロスレス符号化）と呼ぶ。可逆符号化では原画像と 1 ビットも相違ない復号画像を生成することが可能であるが、圧縮率はそれほど高くできず 1/2～1/3 にとどまる。非可逆符号化では量子化の細かさを制御することで圧縮率を数十分の一から数百分の一にできるが、原画像と全く同じ復号画像を生成することはできず、圧縮率が高くなるに従って復号画像の画質は低下する。

■2群 - 5編 - 2章

2-4 動画像符号化の構成例

(執筆者：八島由幸) [2013年4月 受領]

動画像符号化・復号の典型的な処理ブロック構成を図2・2に示す。まず、処理対象画素と同じフレームの画素から予測するフレーム内予測、及び異なるフレームの画素から予測するフレーム間予測により予測誤差を生成する。フレーム間予測では動きの大きさと方向(動きベクトル)を考慮して予測を行う「動き補償予測」を用いる。このためフレーム間予測の前提として動きベクトル算出を行う。生成された予測誤差を 8×8 などの大きさの小ブロックとしてまとめて離散コサイン変換(DCT)を施し変換係数を得る。変換係数を量子化し、量子化された変換係数に符号を割り当てて圧縮データ(ビットストリーム)を得る。図2・2の点線で囲まれた部分は局所復号(ローカルデコード)処理と呼ばれ、復号側と同じ処理を行うことにより符号化側においても復号画像を生成する箇所である。ローカルデコード画像の必要性は、予測符号化においては符号化側と復号側で同じ参照データを用いる必要があるという理由による。

復号処理では、ビットストリームを解読して量子化DCT係数を得たのち、逆DCTを行うことで予測誤差を復元する。予測誤差を予測参照画素と加算することで復号画像が得られる。動き補償予測が使われている場合には予測参照画素を決める際に動きベクトルのデータが必要であるが、動きベクトル情報はビットストリームの一部として含まれているのでそれをデコードして用いる。

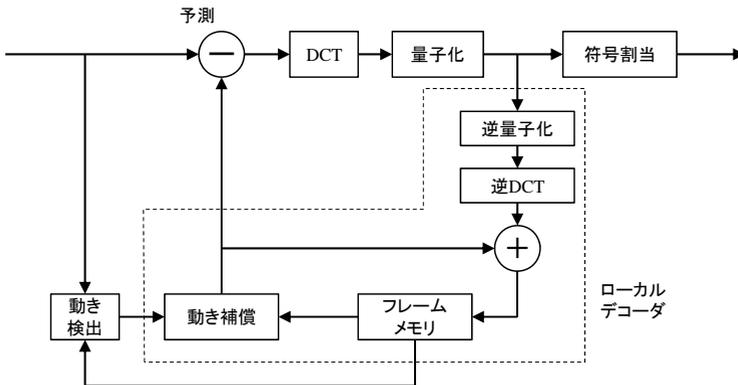


図2・2 動画像符号化の典型的なブロック構成

■2 群 - 5 編 - 2 章

2-5 符号化シンタクス

(執筆者：八島由幸) [2013 年 4 月 受領]

JPEG や MPEG においては、符号化によって生成された圧縮データにおいては、どのようなデータをどういう順序で並べるかがあらかじめ決められている。圧縮データにおけるビット列の並び方の取り決めを符号化シンタクスと呼び、JPEG や MPEG-2、H.264/AVC などの国際標準方式では符号化シンタクス、及び、ビット列から復号画像を得る手順が規格化される。

典型的な符号化処理の単位と符号化シンタクスの例を図 2・3、図 2・4 に示す。画像データは、シーケンス、GOP (グループオブピクチャ)、ピクチャ、スライス、マクロブロック、ブロックの形に階層化されて処理され、各階層において求められた符号化データがあらかじめ定められた順序で並べられる。ブロックは DCT などの変換処理の単位、マクロブロックは量子化や動き補償などの符号化処理の単位、スライスはマクロブロックを複数個並べたもので、予測切り替え、エラー回復処理や並列化処理などの単位となる。また、ピクチャはフレーム内予測/前方向予測/両方向予測切り替えや量子化マトリクスなど大きい枠組みでの符号化パラメータを定める単位となる。各処理単位には「ヘッダ」が付加され、ヘッダにはその処理単位で用いられる各種符号化パラメータや同期信号などが含まれている。

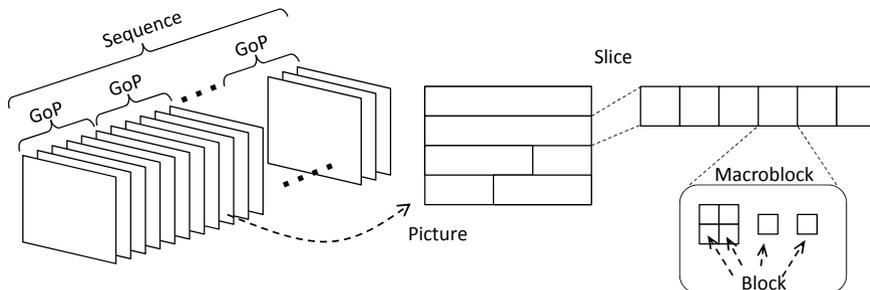


図 2・3 符号化処理単位

BD: ブロックの符号化情報, MBH: マクロブロックヘッダ
 MBD: マクロブロックの符号化情報, SLH: スライスヘッダ
 SLD: スライスの符号化情報, PH: ピクチャヘッダ
 PD: ピクチャの符号化情報, GoPH: GoPヘッダ
 GoPD: GoPの符号化情報, SQH: シーケンスヘッダ

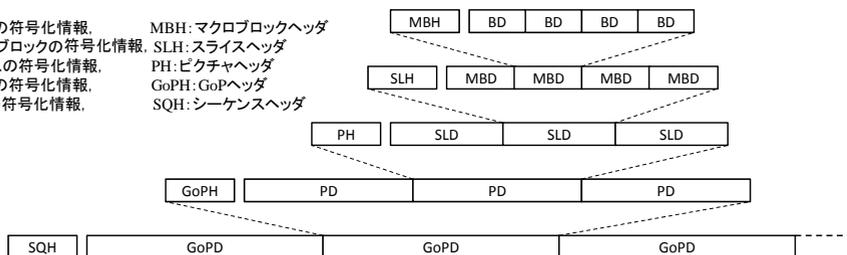


図 2・4 符号化シンタクスの概念

符号化シンタクスは相互接続に必要な復号手順を示すものであり、シンタクスに定められ

た変数に入れる数値そのものを規定するものではない。例えば、動きベクトル情報を入れる場所は決められているが、どのようなベクトル情報を入れるかは設計者の自由にまかされているし、量子化幅情報を入れる場所は決められているがそこに入れる量子化幅そのものの数値は一意に決められていない。更に、前述した前処理や後処理のように相互接続に関係しない部分が符号化シンタクスに影響を与えることはない。このように、符号化側の処理は設計者の自由にまかされている箇所が多く、画質の制御などに様々な工夫が可能な構成になっている。