
JPEG2000用コードLSI開発事例

Implementation of encode and decode LSI for JPEG2000

門脇 幸男* 佐藤 豊* 岩崎 敬一* 安井 隆*
Yukio Kadowaki Yutaka Sato Keiichi Iwasaki Takashi Yasui

要 旨

新しい画像圧縮伸張の規格であるJPEG2000をすべて1チップで実現できるLSIを開発した。このLSIではRCT変換、DCレベルシフト、R5:3フィルタ、ビットプレーン分割、算術符号化（MQコード）、パケットヘッダ生成と符号形成（エンコード）、パケットヘッダ解析（デコード）をすべてハードで実現している。JPEG2000コードLSIと同時にラスタータイル変換を行うLSIも同時に開発した。JPEG2000の処理をハード化することとラスタータイル変換LSI開発によって、600DPIのモノクロA3画像を60PPMで処理するのに匹敵する能力を実現できた。これは、720x480の画像を30フレーム/秒で処理する性能に相当する。

ABSTRACT

We have implemented a LSI of JPEG2000 which is a new international standard of the image compression and decompression. All function of JPEG2000 has designed by hardwired logic, which are DC level shift, multiple component, R5:3 discrete wavelet transform, coefficient bit modeling, arithmetic entropy coding, encode and decode the packet header and create and parse the codestream syntax. We also implemented an interface chip that transform the raster image to the tile image. The chip set of these LSI is able to encode or decode the VGA size image data up to 30frame/s.

* 電子デバイスカンパニー 画像LSI開発センター
Imaging System LSI Development Center, Electronic Devices Company

1. 概要

新しい画像圧縮フォーマットであるJPEG2000が国際標準化された。JPEG2000は従来のJPEGと比べ、高圧縮率での画質向上が特徴であるが、符号量制御が容易で、また、符号データ上での編集が可能になるなど、非常に機能性が高くなっている。これは、ウェーブレット係数を算術符号化した後、符号形成段階で圧縮処理を行う方式を採用しているからである。さらに、周波数変換にウェーブレット変換を採用しているため、段階的に解像度を变化させるデコードを選択することが可能となり、また、ビットプレーン分割を行った後で、符号化を行うので、段階的濃度変化を持たせたデコードにも対応できる。

このように、従来のJPEGに比べ機能性を向上させているが、そのために、ウェーブレット変換、算術符号化などの難易度の高い技術を導入している。さらに、ビットプレーン処理なども、多くのワークメモリーを必要とする。そして符号形成においては、すべてのパケットにヘッダが付くため、極限までヘッダを小さくしているため非常に複雑な手続きを採用している。

このように、期待も大きい実現も困難なJPEG2000をLSI化 (RJ2K) したのでその内容を紹介します。

2. LSIの概要説明

2-1 LSIの特徴

今回開発したLSI (RJ2K) の仕様を以下に述べる。

- ・タイルサイズ128x128
- ・入力8, 10, 12ビット
- ・R5:3フィルタ
- ・レゾリューションレベル3
- ・コンポーネント数3
- ・レイヤー数最大16
- ・コードブロックサイズ64x64
- ・外部入力クロック最大33MHz, 内部66MHz
- ・処理速度 最大16Msample/sec
- ・0.18 μ プロセスを使用し、ロジック190万ゲート、メモリー8Mbitを1チップ化した(Fig.1)

これらの仕様は32x32のコードブロックをサポートしていない点を除いてJPEG2000標準のPart1, Profile0に準拠している。

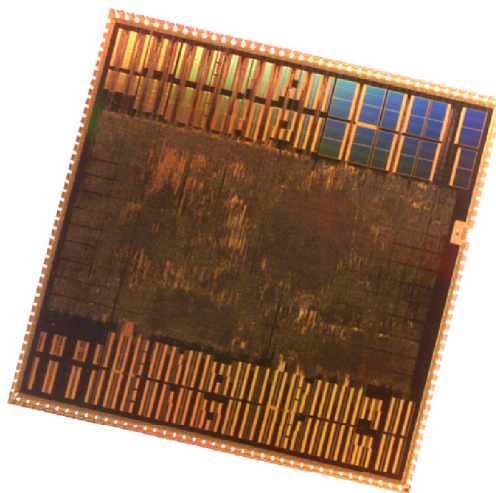


Fig.1 今回開発したLSI (RJ2K) のチップ写真

2-2 ブロック図

今回開発したLSIのブロック図をFig.2に示す。

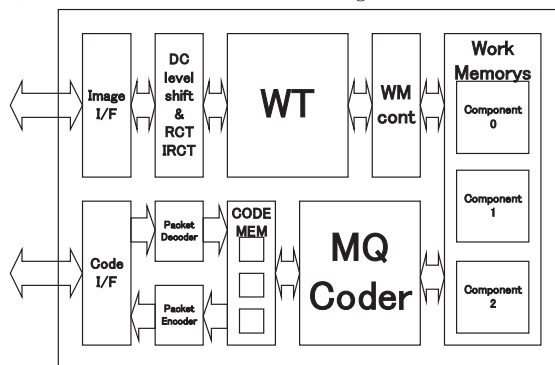


Fig.2 JPEG20001チップLSIのブロック図

エンコード時はイメージI/Fから画像データを入力し、RGT, DCレベルシフト, ウェーブレット変換を行いワークメモリーにウェーブレット係数を格納する。ワークメモリーからコードブロックデータを取り出し、ビットプレーン分割し、コーディングパス抽出を行い算術符号化 (MQコード) を行う。コード化された符号データはいったん符号メモリーに格納され、その後でパケットヘッダ生成を行い、最後に符号形成を行い符号I/Fから符号データを出力する。デコードの場合は入力された符号データを符号解析、パケットヘッダ解析を行うパス以外はすべてエンコードの流れを逆順して処

理される。各ブロックの動作を簡単に紹介する。

2-2-1 Image I/F

JPEG2000は2001年1月に国際標準になったが、その後、実用に際して不都合のある部分を修正している。最初の規格ではJPEG2000が扱うイメージデータはRGBのみであった。ウェーブレット以降の処理はすべてYCbCrで処理されるため、RGBをYCbCrに変換する。しかし、実際の画像処理ではRGBデータが扱われることはまれで、多くはYCbCrの4:2:2フォーマットが使用されている。このため、JPEG2000Part1でもYCbCrのデータを直接扱うことができるように標準を修正している(AMD2)。RJ2Kでは最初から、RGBの入力の他にYCbCrの4:2:2や4:1:1のフォーマットでも扱えるようなI/Fを準備している。

2-2-2 DC Level shift & RCT

ここでは入力画像がRGBの場合にYCbCrへの変換を行っている。使用するウェーブレットフィルタはR5:3のみであるのでRCT変換のみサポートしている。DCレベルシフトはウェーブレット処理するデータをすべて2の補数にするための処理である。

2-2-3 ウェーブレット処理

RJ2KではR5:3フィルタを採用している。R5:3フィルタはロスレス変換ができるのが最大の特徴である。ウェーブレット処理はリフティングと言う技術を使用し、演算量を削減している。R5:3フィルタの演算式をFig.3に示す。

RJ2Kでのハード構成をFig4に示す。RJ2Kではエンコードとデコードを同じハードで行うことでハード量の削減を行っている。タイルサイズが128x128なのでレベル1, 2, 3に対して128, 64, 32ワードのラインバッファをそれぞれ3組持っている。さらに3つのコンポーネント処理を並列に行い高速動作を実現している。

順変換

$$Y(2n+1) = X(2n+1) - \left\lfloor \frac{X(2n) + X(2n+2)}{2} \right\rfloor \quad [\text{step 1}]$$

$$Y(2n) = X(2n) + \left\lfloor \frac{Y(2n-1) + Y(2n+1) + 2}{4} \right\rfloor \quad [\text{step 2}]$$

逆変換

$$X(2n) = Y(2n) - \left\lfloor \frac{Y(2n-1) + Y(2n+1) + 2}{4} \right\rfloor \quad [\text{step 1}]$$

$$X(2n+1) = Y(2n+1) + \left\lfloor \frac{X(2n) + X(2n+2)}{2} \right\rfloor \quad [\text{step 2}]$$

$\lfloor a \rfloor$ floor関数: aを上回らない最大整数値

Fig.3 R5:3ウェーブレットフィルタ

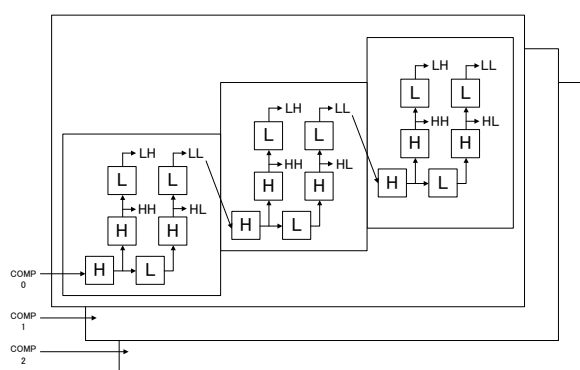


Fig.4 R5:3ウェーブレット変換回路

2-2-4 ワークメモリー制御

JPEG2000ではウェーブレット係数をMQコードによって符号化する際に、ウェーブレット係数をビットプレーンに分割し、ビットプレーン単位でアクセスする必要がある(Fig.5(a))。さらに、ビットプレーン上を4ビット単位でラスタスキャンする必要がある(Fig.5(b))。

このようにウェーブレット係数をビットプレーン単位で取り出して、ビットプレーン上でランダムにアクセスする必要があるため、このLSIではウェーブレット係数をワークメモリーに格納するときにあらかじめビットプレーン単位でランダムアクセスが容易なフォーマットに変換して格納している。

デコードの場合は、MQコードでデコードされたウェーブレット係数がビットプレーン単位でワークメモリーに格納されているものを、ウェーブレット係数に戻してウェーブレットフィルタに供給している。

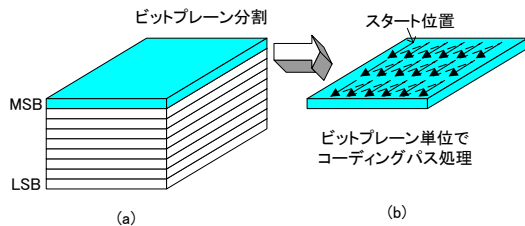


Fig.5 ビットプレーン分割処理

2-2-5 ワークメモリー

ワークメモリーは通常のSRAMを使用している。タイルサイズを128x128にすることによりワークメモリーをオンチップすることが可能になっている。YCbCrの3つのコンポーネントをレベル3まで処理するのに必要な容量のメモリーを格納している。

2-2-6 算術符号化 (MQコード)

算術符号化部ではビットプレーンデータから3種類のコーディングパスによりデータをスキャンし、コンテキストを抽出しMQコードに供給することで符号化を行っている。デコードの場合はこの逆の処理を行っている。MQコードはコンテキストモデルを使用した確率に基づいて圧縮を行っている。処理フローの中にはフィードバックパスが多く存在するため、パイプライン制御の適応が困難で高速化が課題となっている。

2-2-7 符号メモリー

JPEG2000では、MQコードによる符号化を行った後で符号形成を行い、下位ビットプレーンの符号データを破棄することで符号量を調節している。この特徴を利用することで今までの画像圧縮処理では不可能であった1パスでの符号量制御が可能になっている。また、プログレッシブオーダを可変にできるようにするためにも符号データはロスレスの状態ですぐに一時メモリーに保存しておく必要がある。このために符号メモリーを使用している。

2-2-8 パケットヘッダ生成

JPEG2000では機能性を高めるためとエラー耐性を向上させるために、サブバンド内の符号データがコードブロックごとに分割され、さらにコードブロック内でもいくつかのコー

ディングパス単位でレイヤー分割を行い、レイヤー単位で符号データを分割できるようになっている。このように細かく分割された符号単位をパケットと呼びすべてのパケットにはパケットヘッダが付加されている。このため、できるだけパケットヘッダのサイズが小さくなるようにさまざまな工夫が施されている。しかし、この工夫は、パケットヘッダの生成や解析をハードウェアで実現する場合に非常に大きな障壁となっている。RJ2Kでは最初、パケットヘッダはオフチップ化し、外部のCPUを使用してソフト対応することを考えていた。しかし、ユーザーの意見をヒアリングした結果、パケットヘッダ処理をハードウェア化しなければJPEG2000の実用化は困難であることがわかったので、これを実現した。

2-2-9 符号I/F

符号I/FはローカルバスI/Fと専用同期バスを選択できるようにしている。今回のLSIは動画処理もできるようにしているが、動画処理を行う場合はロスレスなど圧縮率が低い場合に符号量が大きくなることから同期バスを採用した。デジタルカメラなどの静止画処理で処理時間に余裕がある場合はローカルバスを使用することで既存のシステムに容易にI/Fできることを想定している。

3. ラスタータイル変換LSI (RM2K)

3-1 ラスタータイル変換

今回開発したJPEG2000コードLSIは128x128のタイルデータを処理できるようになっている。VGAの画像などは720x480の画像サイズを持っているので、コードLSIを使用するためにはフレームデータをタイルデータに分割してコードLSIに供給する機能が必要になる。また、動画処理においては、エンコードの場合、SYNC信号に同期して入力される偶数フィールドと奇数フィールドから構成される一つのフレームデータ（インタレース画像）を合成する機能が必要である。デコードの場合はフレームデータがコードLSIから供給されると、これを偶数/奇数フィールドに分解し、VSYNC,HSYNCに同期してビデオデータを出力する機能が必要になる。この機能を実現するためにラスタータイル変換LSIを同時に開発した (RM2K)。さらに、コードLSIの符号

データをPCIバスI/Fに変換する機能もこのLSIに持たせた。また、この変換LSIは最大4個のJPEG2000コーデックLSIと接続することでハイビジョンなどの大画面データの処理も行えるようにしている。

3-2 システム構成例

ラスター変換LSI (RM2K) とJPEG2000コーデックLSI (RJ2K) の組み合わせ例をFig.6に示す。

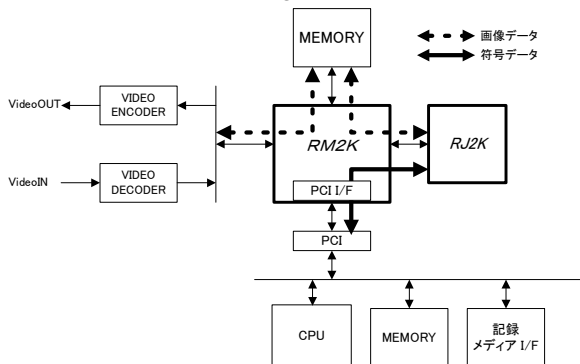


Fig.6 ビットプレーン分割処理

RM2Kは外部ビデオデータ（NTSCまたはPAL）をVSYNC・HSYNCに同期してメモリー（SDRAM）に保存し、インタレース画像をフレームに合成した後、タイルデータに分割してRJ2Kにタイルデータを供給する。RJ2Kはエンコード処理を行いJPEG2000符号データをRM2Kに出力する。RM2Kは符号データをPCIバス経由でCPU(PC)に転送する。デコードの場合はこの逆の動作を行う。Fig.7に評価用ボードの写真を示す。RICOHの文字がかかっているのがRJ2Kでボード上には最大4個配置できるようにしている。金属の蓋部分がRM2Kである。

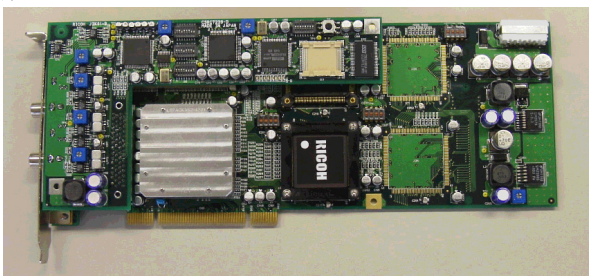


Fig.7 開発したJPEG2000評価ボード

4. 評価結果

今回開発したRJ2KとRM2Kを用いてPCをファイルサー

バーとして動画評価を行った。一般のTVコンポジット信号（NTSC）をリアルタイムでエンコードし、PC上に符号データを格納し、その後で、TV画面にリアルタイムでデコード画像を出力することができた。PC上の割り込み処理などリアルタイム制御の問題等があり、今回は約10秒程度の処理のみの評価となったが、結果として720x480の画像サイズを30フレーム/秒でエンコードとデコードができていることを確認した。圧縮も、ロスレスから1/120までの圧縮画像のエンコード/デコードが正常にできることを確認した。

5. 今後の予定

今回開発したLSIをもとにして、モノクロコピー用のASICの開発を行っている。また、タイルサイズを拡張して1タイルでVGAサイズの画像を高速処理できるLSIを開発予定している。これらの量産用LSIでは試作版LSI開発で見つかったJPEG2000特有のさまざまな問題点を解決させている。例えば、JPEG2000の特徴である高圧縮率での高画質、符号データ上での高機能性を十分発揮できるようにしている点などである。

謝辞

最後に、今回の試作LSI開発にかかわった方々、特に、JPEG2000ソフト開発を行いハードの期待値作成を行っていただいた方々、ボード開発とアプリソフトの開発を行っていただいた皆さん、JPEG2000の標準化委員の立場で助言をいただいた方々に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 野水泰之：次世代画像符号化方式、トリケップス(2001)
- 2) Ricoh Technical Report, No.27, “JPEG2000標準化動向”、P122-127
- 3) ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1890 “JPEG2000 Part1 Final Draft International Standard”, Sep.2000