

# 重み係数を補助情報に適用した ハイパースペクトル画像の DVC 圧縮符号化

佐藤和也<sup>†</sup> 上倉一人<sup>†</sup>

**概要:** 近年、ハイパースペクトル画像の圧縮符号化に対する要求が増している。本研究では、ハイパースペクトル画像に対する低演算高効率圧縮符号化を実現するため、分散映像符号化(DVC: Distributed Video Coding)技術に着目した。DVCでは、誤り訂正符号を用いることで補助情報(SI: Side Information)から原画像を復元する。本研究では、線形補間によるバンド間補間法に対し、重み付き予測に用いられるパラメータによって SI を生成することで、SI の画質を改善する。ハミング符号(15,11)、キーバンド間隔 5 の実験において、従来手法の PSNR が約 42.87dB、提案手法の PSNR が約 46.02dB となり、提案手法によって 3dB 以上の画質改善がされた。

**キーワード:** ハイパースペクトル画像, Distributed Video Coding, 重み付き予測, 圧縮符号化

## DVC Video Coding using Weighted Prediction for Side Information

KAZUYA SATO<sup>†</sup> KAZUTO KAMIKURA<sup>†</sup>

**Keywords:** Hyperspectral Image, Distributed Video Coding, Weighted Prediction, Image Compression

### 1. はじめに

センシングデバイス的一种であるハイパースペクトルカメラは、高いスペクトル分解能で対象を撮影することが可能で、赤外光から紫外光までの数百スペクトルの強度を二次元情報として取得できる。ハイパースペクトル画像はその性質上データ量が膨大であり、効率的な圧縮符号化方式が要求されている。応用目的により物質の分類や特徴抽出などの処理を行うことから、有益な情報を保持するためにロスレス圧縮であることが望ましい。しかし、ロスレス圧縮の圧縮比は 2:1 程度であるため、僅かな品質ロスで高い圧縮率を実現するニアロスレス圧縮[1]が望ましい。また、リモートセンシング分野では、ハイパースペクトルカメラをドローンや超小型衛星などに搭載して利用するため、エンコーダは低演算量、低消費電力である必要がある。

本研究では、低演算量のエンコーダを実現する技術として、分散映像符号化(DVC: Distributed Video Coding)[2]に着目する。DVCにおける補助情報(SI: Side Information)に重み付き予測[3]のパラメータを適用することで SI の画質を改善し、効率的な圧縮符号化を目指す。

### 2. DVC(Distributed Video Coding)

DVC は、分散情報源符号化(DSC: Distributed Source Coding)定理の代表的な応用例である。従来の映像圧縮符号化とは異なり、フレーム間の差分を誤りとして訂正する圧縮符号化方式である。DVCでは、入力信号を数フレーム周期でフレーム内符号化する。これをキーフレームと呼ぶ。

それ以外のフレームでは、エンコーダで付加的情報(組織符号においてはパリティ)を生成する。これを WZ(Wyner-Ziv)フレームと呼ぶ。デコーダ側では、まずキーフレームを復号し、それらのフレーム間補間を行う。それを SI とし、受信した付加的情報を用いて誤り訂正する。ロッシェン圧縮の場合、エンコーダでは量子化・冗長削減処理、デコーダでは逆量子化・冗長復元処理が行われる。

### 3. 提案システム

ハイパースペクトル画像に対する重み付き予測の適用に関する先行研究[4]から、重み付き予測はバンド間の強度変化の近似に有効と考えられる。そこで本提案システムでは図1に示すように、重み係数を SI の生成に利用する。提案システムでは、WZ バンドと補間画像から重み係数を算出し、デコーダ側で算出した重み係数と補間画像 SI を生成する。以下、図1の各要素について説明する。

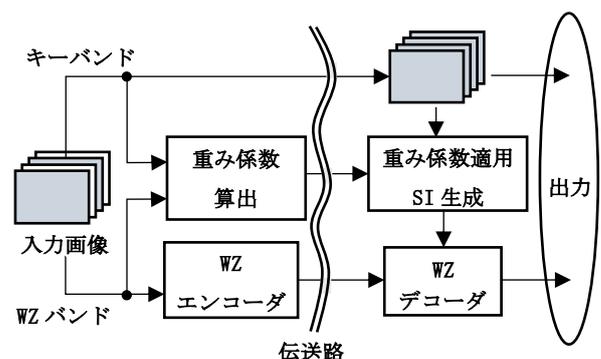


図1 提案システム

<sup>†</sup>1 東京工芸大学  
Tokyo Polytechnic University

### 3.1 キーバンド

キーバンドとは、通常のビデオ符号化におけるフレーム内符号化画像に相当するバンドで、そのバンド内の情報のみで復号することが可能である。本研究では、キーバンド周期をパラメータ  $kp$  として設定する。キーバンドを  $K$ 、 $WZ$  バンドを  $W$  とすると、例えば  $kp=2$  の場合、 $K$  と  $W$  が交互に設定される符号化構造となるため、 $KWKW\dots$  となる。 $kp=3$  の場合は、 $KWWKWW\dots$  となる。本提案手法のデータサイズの削減量は  $kp$ 、 $WZ$  エンコーダの符号化率、付加される重み係数の情報量により定まる。

### 3.2 重み付き係数の算出

キーバンドから生成される補間画像と  $WZ$  バンドに対し、 $N \times N$  画素のブロック毎に重み係数を算出する。キーバンドからの補間画像を  $I$ 、 $WZ$  バンドを  $W$  とした場合の重み係数の算出について考える。画像位置  $(x,y)$  において補間画像の画素値  $L(x,y,I)$  が式(1)に示す一次式に従って  $W$  の画素値  $L(x,y,W)$  に変化すると仮定する。

$$L(x,y,W) = c \cdot L(x,y,I) + d \quad (1)$$

ここで  $c$  および  $d$  は重み係数である。これらの係数を最小二乗法によって求めると、式(2)および式(3)となる。

$$c = \frac{N^2 \cdot S - O \cdot Q}{N^2 \cdot T - O^2} \quad (2)$$

$$d = \frac{T \cdot Q - O \cdot S}{N^2 \cdot T - O^2} \quad (3)$$

ここで、

$$O = \sum_{x,y \in R} L(x,y,I) \quad (4)$$

$$Q = \sum_{x,y \in R} L(x,y,W) \quad (5)$$

$$S = \sum_{x,y \in R} (L(x,y,W) \cdot L(x,y,I)) \quad (6)$$

$$T = \sum_{x,y \in R} L^2(x,y,I) \quad (7)$$

である。 $R$  は処理対象のブロック領域である。

上述したように、一般的な重み付き予測は  $c$  と  $d$  の2つのパラメータを用いる。しかし、ブロックサイズ ( $N \times N$  画素) が小さい場合には、オフセット値である  $d$  を用いずに、係数  $c$  のみで補間画像と  $WZ$  バンドの輝度変化を近似できると考えられる。これにより、本来付加される  $d$  の情報量が無くなり、重み係数による付加情報量の増大が軽減される。その時の  $c$  の算出について考える。画像位置  $(x,y)$  において補間画像の画素値  $L(x,y,I)$  が式(8)に示す一次式に従って

$W$  の画素値  $L(x,y,W)$  に変化すると仮定する。

$$L(x,y,W) = c \cdot L(x,y,I) \quad (8)$$

$c$  を最小二乗法によって求めると式(9)となる。

$$c = \frac{S}{T} \quad (9)$$

### 3.3 適応可変長符号

重み係数の付加情報量を削減するため、本研究では適応可変長符号を採用している[5]。文献[5]では、予測誤差の状態数を縮退によって減らしているが、本研究では縮退は行わずに差分値を符号化する。符号化対象は、 $c$  を量子化して前バンドとの差分を求めた値である。すなわち、 $c$  の差分値を符号化するために、あらかじめ用意された複数種類の変長符号テーブルからバンド毎に最適な符号テーブルを選択する。表1に予め用意する可変長符号テーブルの例を示す。 $i$  は符号化テーブルの番号を表し、差分値が 11bit 精度の場合は  $i=0 \sim 10$  の 11 種類の符号化テーブルが用意される。 $i=0$  の符号化テーブルは最も可変長の度合いが大きい符号から成る。 $i$  の値が大きくなるにしたがって可変長の度合いが小さくなり、 $i=10$  の符号化テーブルは全てが 11bit の等長符号から成る。これにより、差分値のエントロピーが増大するバンドでも、平均符号長が最小となる符号化テーブルが選択され、効率的な符号化が可能となる。

表 1 可変長符号化テーブル

	i=0	i=1	i=2	i=3	...
0	0	00	000	0000	...
1	10	01	001	0001	...
-1	110	100	010	0010	...
2	1110	101	011	0011	...
-2	11110	1100	1000	0100	...
3	111110	1101	1001	0101	...
-3	1111110	11100	1010	0110	...
4	11111110	11101	1011	0111	...
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

### 3.4 WZ エンコーダ

本研究では、WZ エンコーダにハミング符号(15,11)を採用している。ハミング符号は送信符号中に情報ビットとパリティビットを含む組織符号であるが、DVCにおいては情報ビットを転送せず、パリティビットのみを転送する。ハミング符号は誤り訂正能力が1であるため、エラー符号と転送符号のハミング距離が2以上の場合は訂正することができない。そのため、提案システムではSI値と情報ビットのハミング距離が1になるように情報ビットの一部を反転させる操作を行う。すなわち、エンコーダにてSI値を算出し、情報ビットとのハミング距離を求め、ハミング距離が2以上であれば情報ビットの一部を反転させる。

### 3.5 重み係数を適用したSI生成

デコーダ側のSI生成部では、3.2で述べたように、まず受信したキーバンドから補間画像Iを生成し、重み係数を適用することでSIを生成する。

## 4. 実験

NASAが提供しているAVIRISデータ「Moffett Field」を用いて実験を行った。画像は753×1924画素、1~100バンドのハイパースペクトル画像である。本稿の実験では、4×4の小ブロックで処理を行うため重み係数はcのみを用い、cを10bit精度に量子化した場合の実験を行った。また従来手法として、線形補間法を用いて補助情報SIを生成した方法についても実験を行った。

### 4.1 重み係数による画質向上

提案手法によって生成したSIと従来手法で生成したSIの平均PSNRを表2に示す。表2から分かるように、提案手法は従来手法に対して全ての平均PSNRが高い。例えば、kp=4~7で2.0dB以上高く、特にkpが大きい場合に効果的な画質改善がされている。

表2 SIの画質

kp	PSNR[dB]	
	proposal	reference
2	49.00	48.06
3	47.14	45.48
4	45.84	43.55
5	44.59	41.76
6	43.96	40.49
7	42.67	38.60

### 4.2 圧縮符号化性能

復元画像の平均PSNRを表3に示し、ビットレートを表4に示す。また、表3と表4の関係を図2に示す。ビットレートには、キーフレーム、パリティビット、可変長符号の情報量が含まれている。表2と表3を比較すると、誤り訂正によって平均PSNRが向上していることが分かる。例えばkp=3では、誤り訂正前に比べて平均PSNRが1.6dB高い。また表3から、提案手法は従来手法に対して全てのkpで1dB以上の画質改善がされているおり、kp=5のPSNRが約3.2dB、kp=7のPSNRが4.5dB向上している。また図3から、提案手法は比較手法に対して6.2Mbit/bandでPSNRが約2dB高いことが分かる。圧縮比はkp=7で約2:1、平均PSNRは43.88dBである。実験結果より、本提案手法による補助情報SIの生成は、従来手法によって生成されたSIよりも品質が高く、重み係数の付加情報量を考慮しても画質改善効果が高いことが確認できた。

表3 復元画像の画質

kp	PSNR[dB]	
	proposal	reference
2	50.55	49.46
3	48.74	46.85
4	47.34	44.78
5	46.02	42.87
6	45.32	41.49
7	43.88	39.38

表4 ビットレート

kp	bit rate[Mbit/band]	
	proposal	reference
2	7.93	7.90
3	6.77	6.72
4	6.11	6.05
5	5.75	5.68
6	5.53	5.46
7	5.39	5.32

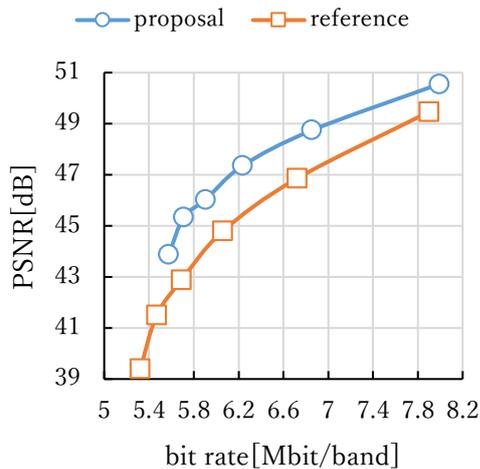


図 2 SI の符号化特性(誤り訂正後)

### 4.3 画質劣化に関する考察

復元画像の劣化を観察したところ、画像中のエッジ部分にブロック状のノイズが生じていたことが分かった。今回の実験では  $4 \times 4$  のブロック毎に重み係数を求めたが、このような小さいブロックでも、ブロック内でエッジがある場合には、重み係数によって輝度変化を効率よく近似出来ないことが分かった。図 3 は、復元画像のバンドの中でも、特に PSNR が低かったバンドの画像と、原画像である。同図(a)と同図(b)の右部分を観察すると、エッジに沿ってブロック状の劣化が生じていることが確認できる。この劣化を改善する方法として、エッジ部分に沿ったブロック分割を行い、可変ブロック構造で重み係数を算出することが考えられる。



(a) 原画像



(b) 復元画像

図 3 復元画像に生じる劣化

## 5. おわりに

重み付き予測の係数を適用した SI の生成により、ハイパースペクトル画像に対する効率的な DVC 圧縮符号化を実現する手法を提案した。提案手法によって生成された SI と、通常の内挿・外挿によって生成された SI との符号化特性を比較することによって、本提案手法が高品質な SI の生成に効果的であることが確認された。今後は、高い誤り訂正能力を持つ LDPC 符号やターボ符号等を、WZ エンコーダに採用することで更に効率的な圧縮符号化を実現できると考えられる。また、キーバンドに対するバンド内符号化を行うことで、更に圧縮効率を上げることが出来ると考える。

- [1] SANJITH S, GANESAN R: "A Review on Hyperspectral Image Compression," 2014 International Conf. on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT), pp.1159-1163 (2014).
- [2] 仲池孝之, "分散情報源定理とメディア処理への応用", 信学技法, pp.241-246 (2013).
- [3] K. Kamikura, H. Watanabe, H. Jozawa, H. Kotera, S. Ichinose: "Global brightness-variation compensation for video coding," IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology, Vol. 8, No.8, pp. 988-100 (1998).
- [4] 上倉一人, 清水淳 "ハイパースペクトル画像の圧縮符号化における重み付き予測の適用", 映像学技報, Vol.39, No.42, ME2015-114, pp.47-50, (2015).
- [5] 斎藤隆弘, 原島博, 宮川洋 "適応可変長符号を用いる画像信号の可逆予測符号化方式", テレビジョン学会技術報告, 6, 11, pp.1-8, (1982).