

マルチクラス K-SVD 画像圧縮におけるスパース係数の エントロピー符号化

An Efficient Entropy Coding Method for Sparse Coefficients of Multi-class K-SVD-based Image Compression

王 冀[†] 八島 由幸[†]
Ji WANG[†] and Yoshiyuki YASHIMA[†]

[†] 千葉工業大学大学院情報科学研究科

[†] Graduate School of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology

Abstract Recently, a dictionary design method based on multi-class K-SVD has been studied for application in highly efficient image coding. In this research, we analyze statistical distribution of sparse coefficients theoretically and experimentally, and newly propose an adaptive entropy coding method for the sparse coefficients' position and magnitude based on the number of non-zero coefficients of the block to be coded.

1. はじめに

DCT に代わる基底としてスパースコーディングを利用した画像圧縮符号化の検討が進められている．筆者らは、これまでに、局所特微量に応じてブロックをクラスタリングし、各クラスで設計された複数の辞書を符号化に用いる手法を提案してきた[1]．効率的な符号化を行うためには、スパースな非ゼロ係数の位置およびレベルをどのようにエントロピー符号化するかを検討が重要となる．たとえば文献[2]では、その発生位置は一様ランダム、レベルはラプラス分布で近似できることが実験的に報告されている．本研究では、ブロックの非ゼロ係数の個数に注目し、理論的および実験的観点から非ゼロ係数の統計的性質を解析し、解析に基づくエントロピー符号化方式を提案する．

2. スパース係数の統計的性質

2.1. スパース係数位置の解析

いま、基底表現の単位となるブロックの大きさを $\sqrt{N} \times \sqrt{N}$ 、基底の総数を $\sqrt{L} \times \sqrt{L}$ （オーバーコンプリート基底のような場合は $L \geq N$ ）、符号化の際のスパース性縛りを T_0 （非ゼロ係数の個数が T_0 以下という拘束条件で符号化）とする．このとき、スパース表現を用いた画像圧縮では、 L 個の基底に対する重み係数を符号化する．スパース表現されている場合には、多くの係数がゼロとなる．いま、 L 個の係数のうち非ゼロ係数の個数を k とする．符号化の条件から、 $1 \leq k \leq T_0$ である．符号化すべきデータは、非ゼロ係数の位置および係数値（レベル）となる．

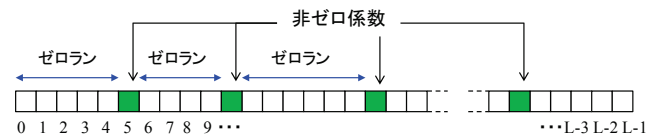


図1 ゼロラン長と非ゼロ係数レベルによる係数表現

非ゼロ係数位置を表現するために、非ゼロ係数に先行するゼロ係数の数（ゼロラン長）を利用する．図1に示すように、 L 個の基底を k 個の非ゼロ係数で分割した場合のゼロラン長の統計量を解析する．文献[2]に基づいて非ゼロ係数がランダムな位置に発生すると仮定すれば、この問題は、理論的には、線分をランダムな点で区切った場合の区間の長さの確率分布に関する分析（Broken stick 問題[3]）に帰着できる．[3]によれば、長さ 1 の線分を k 個の一様ランダムな点によって分けた際の、分割された任意の区間の長さ r ($0 \leq r \leq 1$) の確率密度関数は、

$$g(r) = k(1-r)^{k-1} \quad (1)$$

で与えられる．各区間の長さが $[r_0, r_0 + \epsilon)$ となる確率 $P(r_0)$ は、これを積分して、

$$P(r_0) = (1-r_0)^k - (1-(r_0+\epsilon))^k \quad (2)$$

となる． L 個の基底中に k 個の非ゼロ係数が存在する場合のゼロラン長 r_0 の発生確率は、(2)式において、線分の長さを L に拡張し、 $r_0 = 1, 2, \dots, \epsilon = 1$ とする．この場合の $P(r_0)$ を図2に示す． $P(r_0)$ はスパース係数の個数によって形状の異なる指数分布となることがわかる．

図3はゼロラン長の分布を実験的に検証したものである．スパース性拘束を T_0 として設計したマルチクラス辞書[1]を用い、実験画像を符号化する．ブロックを表現する非ゼロ係数の個数 k によってブロックを分類

表 1 実験結果

T_0		情報量(bit/pel)(QP=25)			BD-rate	
		文献[2]	k 統合	k 分離	k 統合	k 分離
画像 1	3	0.382	0.377	0.323	-0.48	-7.55
	5	0.532	0.511	0.375	-1.61	-15.72
	7	0.646	0.603	0.405	-2.94	-21.14
	9	0.760	0.694	0.445	-4.05	-24.3
画像 2	3	0.435	0.429	0.360	-1.02	-11.02
	5	0.648	0.617	0.437	-2.71	-21.85
	7	0.824	0.760	0.488	-4.49	-28.72
	9	1.000	0.899	0.549	-5.95	-32.6
画像 3	3	0.572	0.563	0.444	-0.91	-13.79
	5	0.938	0.881	0.559	-3.26	-28.17
	7	1.265	1.142	0.648	-5.49	-36.67
	9	1.588	1.389	0.745	-7.45	-41.91

し、各カテゴリ内でのゼロラン長の発生確率を測定したものである。図 2 に示す理論値を反映していることが確認できる。

2.2. スパース係数レベルの解析

非ゼロ係数のレベルについては、実験的に検証した。非ゼロ係数の個数 k によってブロックを分類し、各カテゴリに含まれるブロックでの非ゼロ係数レベルの確率ヒストグラムを測定したものを図 4 に示す。係数レベルは (0 を除く) ラプラス分布となり k が大きくなると分布は緩やかに広がることわかる。また、先行するゼロラン長には依存せず、量子化幅 QP には依存する。

3. 実験と考察

文献[1]によって設計されたマルチクラス辞書を利用して、2 章の分析に基づいた情報源設定によりエントロピー符号化実験を行った。スパース性縛りを $T_0(=3,5,7,9)$ としてスパース係数を求め、量子化幅 QP(=25,37,43,46) で量子化した。ブロックごとの非ゼロ係数の個数によって決定される指数ゴロム符号をそのブロックのゼロラン長に割り当てるとともに、QP で決定される指数ゴロム符号を量子化レベル番号に割り当てて符号量を計算する。

実験結果を表 1 に示す。表 1 には比較のため、 k による情報源分離を行わない場合、および文献[2]に記載の手法 (非ゼロ係数位置を固定長符号化、非ゼロ係数レベルを指数ゴロム符号化) の結果も示した。この結果より、係数の位置情報を非ゼロ係数の個数で分類することで情報量を大きく削減することができ、特に非ゼロ係数が多い場合に有効であることが確認できた。

4. おわりに

本研究では、スパースコーディングを利用した画像圧縮符号化について、非ゼロ係数の個数に基づいて、理論的および実験的観点から非ゼロ係数の統計的性質を解析し、解析に基づくエントロピー符号化方式を提案し有効性を示した。今後は、基底の特徴による情報源分離や、クラス依存性等を検討する予定である。

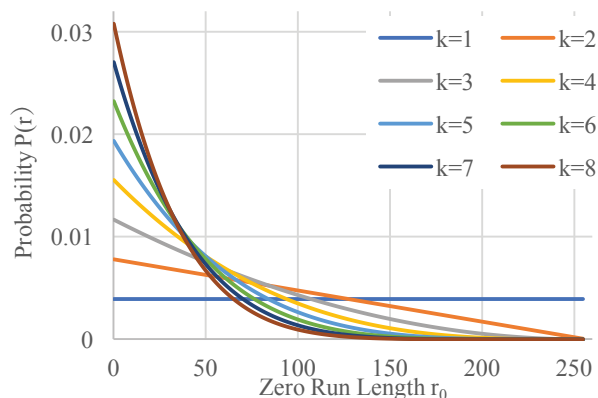


図 2 ゼロラン長の発生確率 (理論値)

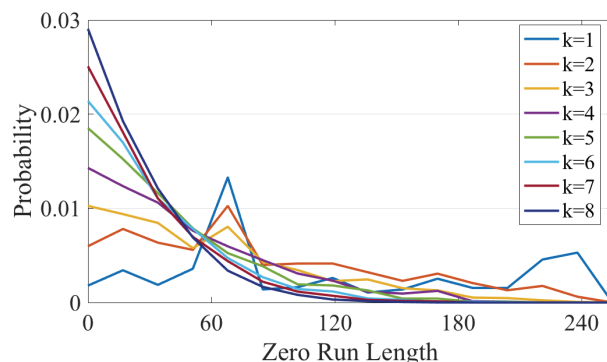


図 3 ゼロラン長の分布例 (実測値)

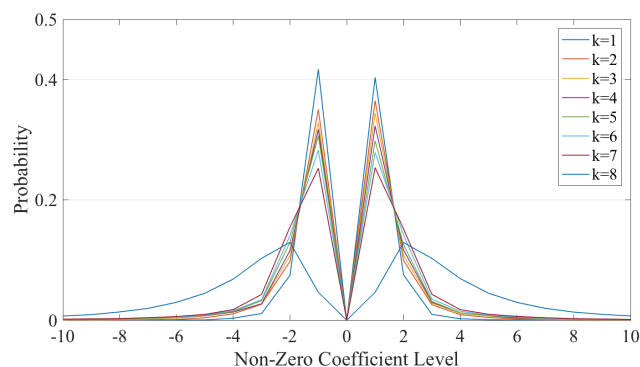


図 4 非ゼロ係数レベルの分布

文 献

- [1] 王冀, 八島由幸, 坂東幸浩, 清水淳, “マルチクラス K-SVD によるスパース基底設計と画像符号化への応用,” 2016 年画像符号化/映像処理シンポジウム, P-5-06, 2016.
- [2] J.W.Kang, M.Gabbouj and C.C.J.Kuo, “Sparse/DCT (S/DCT) two-layered representation of prediction residuals for video coding,” IEEE Trans. Image Process., vol.22, no.7, pp.2711-2722, July 2013.
- [3] D.J. Webb, “The statistics of relative abundance and diversity,” Elsevier, Journal of Theoretical Biology, vol.43, issue 2, pp.277-291, Feb., 1974.

† 千葉工業大学大学院 情報科学研究科情報科学専攻

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

TEL. 047-478-0281 E-mail: s1489501mp@s.chibakoudai.jp