

動画像符号化のための高能率固定長符号化手法 High efficiency fixed length coding for video compression

服部 亮史[†]杉本 和夫[†]山田 悦久[†]関口 俊一[†]

Ryoji Hattori

Kazuo Sugimoto

Yoshihisa Yamada

Shun-ichi Sekiguchi

1. はじめに

MPEG-4 AVC/H.264 で用いられているエントロピー符号化手法である CABAC (Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding)[1]は、2 値化と算術符号化を用いることで理論上の限界値に近い符号化効率を実現している。一方、CABAC には高い処理負荷という課題がある。高い処理負荷の一因としては並列処理が困難である点が挙げられる。動画像の復号処理においては、高速化が困難な CABAC によるエントロピー復号処理がボトルネックになる場合が多い[2]。

次期動画像符号化標準化プロジェクト HEVC (High Efficiency Video Coding) [3]にて、CABAC の符号化効率を損ねず、かつ復号処理で並列処理が可能なエントロピー符号化手法として PIPE(Probability Interval Partitioning Entropy Codes)[4]が提案されている。これは、複数のハフマン符号化器を 2 値シンボル単位に切り替えることで高効率の符号化を行う技術である。

本稿では、PIPE で用いるハフマン符号化器を全て V2F (variable-length to fixed-length) 符号化器とすることで処理負荷を低減させた技術である PIPE/V2F を提案する。

2. 高能率固定長符号化手法 –PIPE/V2F–

2.1 PIPE 概要

PIPE の概略を図 1 に示す。PIPE は CABAC と同様に 2 値シンボル(bin)毎に符号化を行う符号化手法である。同図に示される符号化器、復号器は、bin b ごとに求められた MPS (Most Probability Symbol) 生起確率 p を用いて、1bin ずつ符号化、復号を行う。

PIPE 符号化器は複数の V2V(variable-length to variable-length) ハフマン符号化器を備えており、入力された bin b は自身の MPS 生起確率に基づいて選択された V2V 符号化器 p に入力される。よって各 V2V 符号化器には特定の範囲の MPS 生起確率を持つ bin のみが入力される。各 V2V 符号化器は入力される bin 系列に対して高効率な符号化が行えるように設計されるため、あらゆる bin に対して CABAC と同等の高い符号化効率を実現される。

PIPE の V2V 符号化器は可変長の符号語セット C_I を可変長の符号語セット C_O に変換する符号化器である。各符号化器の bin バッファに格納された bin 系列が C_I に含まれる符号語のいずれかに一致した場合、対応する C_O の符号語を出力し、ビットストリームに多重化する。復号器側も符号化側の V2V 符号化器にそれぞれ対応する複数の V2V 復号器を備えており、ビットストリームに多重化された C_O の符号語を C_I の符号語に変換する。

ここで、多重化された C_O の符号語のビットストリーム内での位置が復号器側で既知だった場合、 C_O を C_I に復号する処理を各 V2V 復号器で並列的に行うことができる。

上述のとおり、PIPE は CABAC と同等の符号化効率を持ちながら、復号において並列処理を行うことが可能である一方、可変長復号解析処理による復号の演算量が大きいという課題がある。

2.2 V2F 符号化による復号の処理負荷の低減

本稿では、上述の PIPE が備える V2V 符号化器を全て V2F(variable-length to fixed-length)符号化器に置き換えた PIPE/V2F を提案する。V2F 符号化器を用いることで、復号側が受け取る符号語が固定長となり、少ない演算量で復号処理を行うことが可能となる。例えばビットストリームの先頭の固定長 bit 系列をレジスタに読み込むだけで、レジスタの値がそのままハフマン符号テーブルのインデックスとなるように復号器を構成することができる。

今回は、全ての符号化器が出力する符号語の長さを、4bit に固定することを検討した。4bit という値は、計算機上で扱う上で有利な 2 の冪乗の値のうち、符号化効率とメモリ使用量の観点から決定した。図 2 は、設計された PIPE/V2F の圧縮性能を示すグラフである。グラフの横軸は bin の MPS 生起確率に生起確率、縦軸は圧縮後の 1bin 当たりの bit 量を示している。また V2F 符号化器の数は 12 である。グラフより、V2F 符号化のみを用いるという制約のため、圧縮性能が V2V 符号化を用いた PIPE (PIPE/V2V) よりも低下することが分かる。

3. 符号化シミュレーション

上述の、4bit 固定長 V2F 符号化器を 12 個用いる PIPE/V2F を、HEVC 標準化で定められたテストモデルで

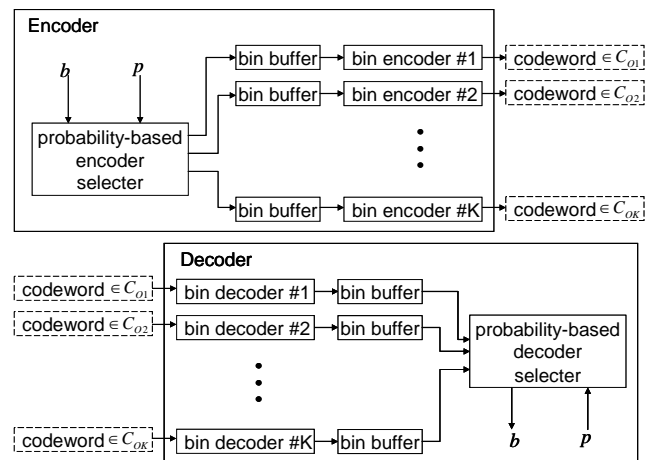


図 1. PIPE 概略図

[†]三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura.

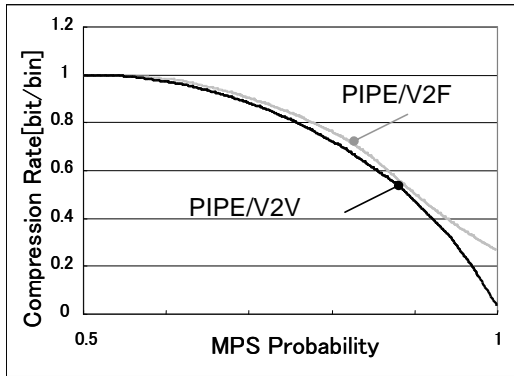


図2. bin 圧縮率の特性および確率区間分割

ある TMuC0.9[5]に実装し、符号化および復号のシミュレーションを行った。復号のシミュレータは、符号語が固定長であることに加えて符号語長が 2 の冪乗であることを利用して高速に処理を行える実装とした。シミュレーションは以下の条件で行い、符号化効率および復号の処理時間を計測した。

- 符号化条件：TMuC0.9 の共通符号化条件 2 種[6]
 - All Intra_Low Complexity (AI-LC)
 - Random Access_Low Complexity (RA-LC)
- テストシーケンス：HEVC 標準化テストシーケンス (解像度別に A~E にクラス分け) [7]
- 符号化効率評価尺度：BD rate [8]

表 1 は、PIPE/V2F の輝度信号の符号化効率を、CABAC および PIPE/V2V と比較した結果である。それぞれ、符号化条件およびテストシーケンスのクラス別に分類して示している。PIPE/V2F は、CABAC および PIPE/V2V に対して 5~6% ほどの符号化効率の損失がある。この損失は図 2 に示される圧縮性能の差によるものである。またシーケンスのクラスによって符号化効率の差が異なっているが、これは図 2 に示されるように、PIPE/V2V と PIPE/V2F の圧縮性能の差は MPS 生起確率によって異なっており、シーケンスによって bin が持つ MPS 生起確率の分布が異なるためである。

表 2 は、PIPE/V2F の復号処理時間を、CABAC および PIPE/V2V との比較した結果である。表中の T_{whole} は復号処理をシーケンシャルに行った場合の全体の処理時間比、 T_{ent} はエントロピー復号処理全体の処理時間比、 T_{bit_read} は bit 読み込みおよび符号語解析の処理時間比、 $T_{ent-para}$ は PIPE/V2F および PIPE/V2V において 2 章で述べた符号語解析の並列処理を行った場合のエントロピー復号処理全体の処理時間比を示している。

表 2 より、PIPE/V2F の復号処理時間は、CABAC および PIPE/V2V と比較して低減されていることが分かる。表 2 の 2, 3 列目に示す CABAC との比較結果からは、符号化処理全体の速度 T_{whole} は大きく変化してはいないが、 T_{ent} は 5%~9% 程度処理時間が削減されていることが分かる。並列化を行った場合は約 18% 程度の処理時間削減となっている。 T_{bit_read} は CABAC から比較して 30%~40% 程度削減されており、bit 読み込みおよび符号解析のモジュールでの処理量削減効果が大きいことが分かる。PIPE/V2V は CABAC よりも復号の処理時間が大きいため、表 2 の 4, 5 列目に示す PIPE/V2V との比較結果は、2, 3 列目の結果よ

表 1. CABAC に対する PIPE/V2F の符号化効率

	against CABAC		against PIPE/V2V	
	AI_LC	RA_LC	AI_LC	RA_LC
A	4.4	4.4	4.4	4.2
B	6.1	7.0	6.1	6.7
C	4.4	4.9	4.4	4.7
D	3.9	4.4	3.9	4.1
E	5.3		5.3	
All	4.9	5.4	4.9	5.2

表 2. CABAC に対する PIPE/V2F の処理時間比

	against CABAC		against PIPE/V2V	
	AI-LC	RA-LC	AI-LC	RA-LC
T_{whole}	99.76%	99.84%	94.96%	97.42%
T_{ent}	91.28%	94.63%	71.30%	72.63%
T_{bit_read}	60.09%	67.10%	37.37%	37.89%
$T_{ent-para}$	81.60%	83.78%	79.87%	81.51%

りも小さな値となっているが、同様の傾向を示している。

4. まとめ

動画像符号化のためのエントロピー符号化手法として PIPE/V2F を考案し、復号処理の高速化を検討した。S/W シミュレーションにより、本手法はエントロピー復号処理を、CABAC から 18% 程度下回る時間で実行可能であることが確認された。ただし符号化効率が 6% 程度悪化するため、符号化効率の向上が今後の検討課題となる。例えば V2F 符号化器の固定長符号長を増加させるなどの改善により符号化効率の向上を検討する。

参考文献

- [1] D. Marpe, H. Schwarz, and T. Wiegand, "Context-adaptive binary arithmetic coding in the H.264/AVC video compression standard", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 13, pp. 620-636 (2003).
- [2] V. Sze, A. P. Chandrakasan, "A Highly Parallel and Scalable CABAC Decoder for Next-Generation Video Coding", IEEE International Conference on Solid-State Circuits (ISSCC), pp. 126-127 (2011).
- [3] Gary J. Sullivan, Jens-Rainer Ohm, "Meeting report of the first meeting of the Joint Collaborative Team on Video Coding (JCTVC)", JCTVC-A200 (2010).
- [4] D. Marpe, H. Schwarz, and T. Wiegand, "Entropy coding in video compression using probability interval partitioning", 28th Picture Coding Symposium, pp. 66-69 (Dec. 2010).
- [5] "Test Model under Consideration (TMuC)", JCTVC-B205 (2010)
- [6] "Common test conditions and software reference configurations", JCTVC-C500 (2010)
- [7] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Joint Call for Proposals on Video Compression Technology", MPEG Document N11113 (2010).
- [8] G. Bjontegaard: "Calculation of average PSNR differences between RD-curves", VCEG-M33 (2001).