

[招待講演]V-PCC エンコーダにおけるテクスチャ画像の パッチ間平滑化に関する一検討

足立 翔平[†] 木谷 佳隆[‡] 河村 圭[‡] 渡辺 裕[†]

[†] 早稲田大学 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

[‡] 株式会社 KDDI 総合研究所 〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原 2-1-15

E-mail: [†] alice-fr@asagi.waseda.jp, hiroshi.watanabe@waseda.jp, [‡] {yo-kidani, ki-kawamura}@kddi.com

あらまし 人物などを対象とした高密度 3D 点群の符号化方式として、Video-based point cloud compression (V-PCC) が MPEG によって 2020 年に標準化されている。V-PCC は 3D 点群を 2D 平面上に射影し、既存の 2D 動画像符号化方式によって 3D 点群を符号化する。MPEG が公開している V-PCC 準拠の参照ソフトウェア (TMC2) は、符号化性能を最大化する規範で設計されているため、符号化処理量が膨大であり、V-PCC の実用化には符号化処理量の削減が必要である。そこで、我々は TMC2 の符号化処理量の削減を目的とし、TMC2 エンコーダに入力するテクスチャ画像のパッチ間平滑化における、2D 動画像符号化の特徴に基づく拡張平滑化方式を提案する。本論文では、提案手法の有効性評価として、提案手法を実装した TMC2 によるシミュレーション実験結果を報告する。

キーワード 3次元点群, 動画像符号化, V-PCC, TMC2

1. はじめに

Video-based point cloud compression (V-PCC) は 2020 年に Moving Picture Expert Group (MPEG) で標準化された高密度な 3D 点群を対象とした動画像ベースの符号化方式である。MPEG が開発した V-PCC 対応の参照ソフトウェアエンコーダ (TMC2-ENC) は符号化性能を最大化する規範で設計されているため、符号化処理量が膨大である。本稿では、V-PCC の符号化処理量の削減を目的とした、V-PCC 符号化ツールの一つであるテクスチャ画像のパッチ間平滑化において、動画像符号化の特徴を考慮した適応的な平滑化方式を提案する。

2. 従来手法

TMC2-ENC は入力 3D 点群を平面に射影し、射影点群をパッチとして黒色の 2D 画像に配置する。この際パッチを図 1(a)のように上部に詰めて配置するため、画像上部はパッチが密、下部はパッチが疎になる。TMC2-ENC はパッチ画像を基に占有情報、幾何情報、テクスチャ情報を示す 3 種類の 2D 画像を生成し、既存の動画像符号化技術を用いて 3D 点群を符号化する。TMC2-ENC では動画像符号化の前段で、符号化性能改善のために、図 1(a)の非平滑化方式 (Non-filling) に加え、後述する 2 種類のパッチ間平滑化方式が選択できる。

Smoothed Push-Pull (SPP) 方式は段階的にテクスチャ画像を縮小し、拡大する (周辺画素を畳み込む) ことで、図 1(b)のようにパッチ間を平滑化する。この平滑化によりパッチ間の符号化性能が改善するが、周辺画素の畳み込みは符号化処理量を増大させる。また、パッチ密度が疎な画像下部領域は平滑化前の黒色画素が残りやすい。

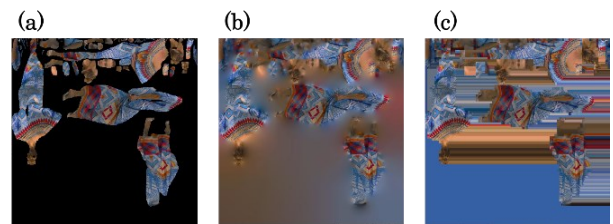


図 1. (a)パッチ配置(Non-filling), (b)SPP, (c)EdgeEx

Patch-Edge Extension (EdgeEx) 方式はパッチのエッジ画素を右方向に伸長しパッチ間を平滑化する。テクスチャ画像の左端画素は左方向にパッチ画像がないため、一つ上の画素 (上方向にあるパッチのエッジ画素) を伸長する。このように、EdgeEx 方式は畳み込みがないため SPP 方式よりも符号化処理量が小さい一方で、下記 2 点の特徴により符号化性能が低下する。第 1 に、図 1(c)に示す通り、パッチ配置が密な上部において上下左右方向の色変化が急峻になりやすい。第 2 に、テクスチャ画像左端の画素値がパッチのエッジ画素値に依存するため、フレーム間でエッジ画素の伸長画素に色変化が生じて、動画像符号化の Intra 予測が適用されやすい。

3. 提案手法

3.1. Edge Extension with Black Filling

EdgeEx におけるテクスチャ画像左端のパッチ画素の伸長を黒色画素の伸長に置換する EdgeBK 方式を提案する。これにより、フレーム間での伸長画素の色変化が抑制され、Intra 予測ではなく Inter 予測が適用されやすくなるため、符号化性能の改善並びに符号化処理量の削減が期待できる。

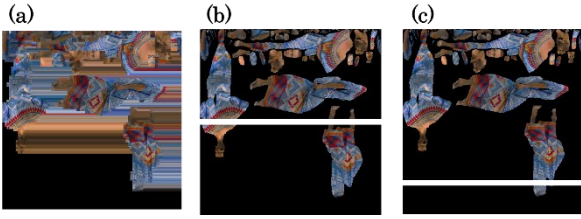


図 2. (a)EdgeBK, (b)上下二等分, (c)適応的な分割(90%)

3.2. 適応的な平滑化方式適用

テクスチャ画像を上下に分割し、適応的に異なる平滑化方式を適用する、適応的な平滑化適用方式を提案する。分割手法として、図 2(b)に示すテクスチャ画像中心点での上下 2 等分と、図 2(c)に示す疎密に基づく適応的な分割位置判定による上下 2 分割の 2 方式を提案する。後者の分割方式は、テクスチャ画像の横 1 ラインにおける黒色画素の割合で分割位置を閾値判定する。これにより、パッチが密な上部には SPP を、疎な下部には EdgeEx, EdgeBK または Non-filling を適用できるため、符号化性能を維持しつつ符号化処理量の削減が期待できる。

4. シミュレーション実験

4.1. 実験条件

シミュレーション実験により提案手法の有効性を評価した。TMC2 v8.0[3]に提案手法を実装し、TMC2 の動画画像符号化には HEVC 参照ソフトウェアである HM-16.20[4]を使用した。評価データとして MPEG の 80 万点かつ 30fps の longdress, redandblack, loot[5]を用いた。提案手法の符号化性能と符号化処理量を Non-filling に対して比較した、テクスチャ画像の BD-rate, HM 実行時間を含む TMC2-ENC 全体の符号化処理時間の比率 (EncT ALL), 及び式(1)で示す、トレードオフ関係にある符号化性能と符号化処理量のバランス (実行効率) の評価指標 θ で評価した。ここで、BD-rate は同一客観画質で比較した際の符号化割合の比率を表し、負値が符号化性能の改善を示す。また、 θ は負値かつ絶対値が大きい程、実行効率が高い。

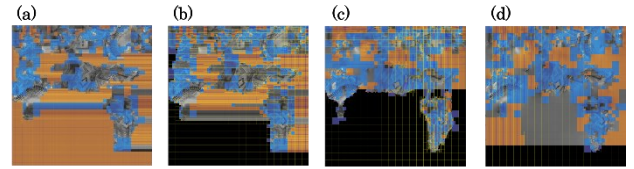
$$\theta = \arctan\left(\frac{BD - rate}{EncT - 100\%}\right) \quad (1)$$

4.2. 実験結果

従来手法と提案手法の BD-rate, EncT, 及び θ を表 1 に示す。EdgeEx と比較して、EdgeBK は符号化性能を -0.47% 向上させ、かつ符号化処理量を 2.24% 削減するため、実行効率が高い。これは、EdgeBK によりフレーム間の色変化が抑制され、Inter 予測が適用されたことに起因する。図 3(a), (b) はそれぞれ EdgeEx と EdgeBK の予測ブロックの適用図である。EdgeEx では画像左下の広範囲で Intra 予測ブロックが適用されている一方で、EdgeBK では Inter 予測 (skip モード) ブロックが適用されている。

表 1. 従来手法と提案手法の比較

Method	BD-rate [%]	EncT [%]			θ
		ALL	TMC2	HM	
SPP	-34.42	104.99	101.30	106.43	-1.43
EdgeEx	-23.22	105.77	100.13	107.93	-1.33
EdgeBK	-23.69	103.53	99.94	104.91	-1.42
SPP/Non-filling	-27.02	101.46	100.40	101.83	-1.52
SPP/Non-filling (60%)	-27.68	101.08	100.33	101.37	-1.53
SPP/Non-filling (90%)	-34.36	102.99	100.58	103.90	-1.48



橙: Intra 予測 青: Inter 予測 透明: Inter 予測(skipモード)

図 3. ブロック分割図:(a)EdgeEx, (b)EdgeBK,

(c)SPP/Non-filling(60%), (d)SPP/Non-filling(90%)

SPP と比較して、SPP/Non-filling は符号化処理量を 3.53% 削減させるため、実行効率が高い。これは、符号化処理量の多い SPP の適用範囲を上半分に限定したことと起因する。

SPP/Non-filling に適応的な分割位置判定を追加した SPP/Non-filling (60%) と SPP/Non-filling (90%) の BD-rate, EncT, θ を表 1 に示す。SPP/Non-filling (60%) の実行効率は、全手法の中で最大である。また、符号化性能が最大である SPP と比較して、SPP/Non-filling (90%) は符号化性能の劣化を 0.06% に抑えつつ、符号化処理量を 2.00% 削減する。これは、パッチの粗密に基づき適応的な分割位置を判定したことと起因する。図 3(c), (d) に SPP/Non-filling (60%) と SPP/Non-filling (90%) の予測ブロックの適用図を示す。図 3(c)における特に密な領域を除く広範囲、並びに図 3(d)における特に疎な領域への Non-filling 適用と、これによる Inter 予測 (skip モード) の適用が確認できる。

5. まとめ

本稿では V-PCC エンコーダのテクスチャ画像のパッチ間平滑化に関して、符号化性能を維持しつつ符号化処理量を削減するためのパッチ配置に基づく適応的な平滑化を提案した。実験結果は提案手法が既存手法を符号化性能と符号化処理量のバランスで上回ることを示した。

文献

- [1] Text of ISO/IEC FDIS 23090-5 Visual Volumetric Video-based Coding and Video-based Point Cloud Compression, 2020.
- [2] ISO/IEC JTC 1/SC29/WG11 N19526: V-PCC codec description, 2020.
- [3] MPEG 3DG, V-PCC Test Model v8, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N18884, 2019.
- [4] K. Suehring and K. Sharman, HM HEVC reference software v16.20, 2019, [online] Available: <https://vcgit.hhi.fraunhofer.de/jct-vc/HM>.
- [5] ISO/IEC JTC 1/SC29/WG11 N19518: Common Test Conditions for V3C and V-PCC, 2020.