

## V-DMC におけるサブメッシュ境界情報のインター符号化に関する検討 A Study on Inter Coding of Submesh Border Information in V-DMC

岸本 広輝<sup>†</sup>      河村 圭<sup>†</sup>      加藤 晴久<sup>†</sup>  
Koki Kishimoto   Kei Kawamura   Haruhisa Kato

### 1. はじめに

動的メッシュ符号化技術 (V-DMC) の国際標準化が MPEG で 2022 年から進められている。現在検討されている V-DMC では、動的メッシュをメッシュの一領域 (サブメッシュ) ごとに符号化し、サブメッシュ境界に発生する穴を境界情報に基づき補正する。しかしながら、V-DMC では境界情報をもつフレーム間の相関を利用しないため、境界情報の符号化効率は低い。この問題を解決するために、参照フレームの境界情報を利用したサブメッシュ境界情報のインター符号化手法を提案する。実験では、MPEG におけるデータセットを用い、従来手法と比較して符号化効率の向上を確認した。

### 2. 従来手法

動的メッシュ符号化技術 (V-DMC) の参照ソフトウェア [1] では、はじめにメッシュに対して前処理を行い、並列処理単位であるサブメッシュを生成する。前処理では、簡素化処理、細分割フィッティング処理、分割処理の 3 処理を行う。簡素化処理では、メッシュの情報を削減するために頂点、辺、面の数を削減する。細分割フィッティングでは簡素化処理で失われた座標情報を補完するためにサブメッシュを細分割して細分割サブメッシュを生成し、頂点ごとに変位量と呼ばれるメッシュの細かい座標情報を表すベクトルを符号化する。メッシュの大まかな構造をサブメッシュで、細かい構造を変位量で表すことで、効率的に動的メッシュの座標情報を符号化する。分割処理では、入力されたメッシュを等分してサブメッシュを生成する。図 1 に生成したサブメッシュの例を示す。生成したサブメッシュのトポロジ情報が参照フレームのトポロジ情報と異なる場合は、サブメッシュは Edgebreaker [2] によって圧縮される。トポロジ情報が同じ場合は、参照フレームからの差分を動きベクトルとして符号化する。変位量は頂点の隣接情報に基づき変位量符号化によって符号化されるが、この処理によってサブメッシュ境界に誤差が発生し、復号メッシュに穴が空いてしまう。サブメッシュ境界部分に発生する穴を補正するために、エンコーダでどの補正対象の頂点を表すサブメッシュ境界情報を符号化し、デコーダでサブメッシュ境界情報が示す補正対象頂点の座標をその平均値で補正する。

生成したサブメッシュが参照フレームのサブメッシュとトポロジ情報が同じ場合、サブメッシュ境界情報も参照フレームと同じであるため、本来は符号化する必要はない。しかしながら、参照ソフトウェアでは、すべてのフレーム



図 1 V-DMC のサブメッシュ生成例

に対してサブメッシュ境界情報を符号化しているため、冗長である。

### 3. 提案手法

本稿では、サブメッシュ境界情報のインター符号化を提案する。提案手法では、参照フレームのサブメッシュ境界情報を利用することで、効率的にサブメッシュ境界情報を符号化し、サブメッシュ境界情報のビット量を削減する。

提案手法では、エンコーダで補正対象の頂点を表すサブメッシュ境界情報を符号化する。サブメッシュ境界情報  $\mathcal{X}_l$  は、細分割サブメッシュ  $\mathcal{M}_{l,m}$  の補正対象の境界頂点のペアとして計算される。サブメッシュ境界情報  $\mathcal{X}_l$  は、補正対象の頂点のペアとして表され、 $\mathcal{X}_l = \{(v_i^{l,m_1}, v_j^{l,m_2}) \mid 1 \leq m_1, m_2 \leq M\}$  となる。ここで、 $M$  はサブメッシュの数、 $l$  はフレーム番号、 $m$  はサブメッシュ番号を表す。細分割サブメッシュ  $\mathcal{M}_{l,m}$  は頂点座標  $\mathcal{P}_{l,m}$  とトポロジ  $\mathcal{K}_{l,m}$  を用いて、 $\mathcal{M}_{l,m} = \{\mathcal{P}_{l,m}, \mathcal{K}_{l,m}\}$  で表される。トポロジ  $\mathcal{K}_{l,m}$  は頂点の集合  $\mathcal{V}_{l,m}$ 、面の集合  $\mathcal{F}_{l,m}$ 、辺の集合  $\mathcal{E}_{l,m}$  を用いて  $\mathcal{K}_l = \{\mathcal{V}_{l,m}, \mathcal{E}_{l,m}, \mathcal{F}_{l,m}\}$  のように表される。 $\mathcal{V}_{l,m}, \mathcal{E}_{l,m}, \mathcal{F}_{l,m}$  はそれぞれ次のように表される。

$$\begin{aligned} \mathcal{V}_{l,m} &= \{v_0^{l,m}, v_1^{l,m}, \dots, v_N^{l,m}\} \\ \mathcal{E}_{l,m} &= \{(v_i^{l,m}, v_j^{l,m}) \mid v_i^{l,m}, v_j^{l,m} \in \mathcal{V}_{l,m}\} \\ \mathcal{F}_{l,m} &= \{(v_i^{l,m}, v_j^{l,m}, v_k^{l,m}) \mid v_i^{l,m}, v_j^{l,m}, v_k^{l,m} \in \mathcal{V}_{l,m}\} \end{aligned}$$

頂点情報  $\mathcal{P}_{l,m}$  は  $N$  個の頂点座標の集合として表される。

$$\mathcal{P}_{l,m} = \{p_0^{l,m}, \dots, p_N^{l,m}\},$$
$$p_i^{l,m} = \mathbf{p}(v_i^{l,m}) = (x_i^{l,m}, y_i^{l,m}, z_i^{l,m}) \in \mathbf{R}^3$$
提案手法では、細分割サブメッシュ  $\mathcal{M}_{l,m}$  のトポロジ情報が参照フレームと現在のフレーム同じかどうかで、サブメッシュ境界情報の符号化方式を変える。

<sup>†</sup> KDDI 総合研究所 KDDI Research, Inc.

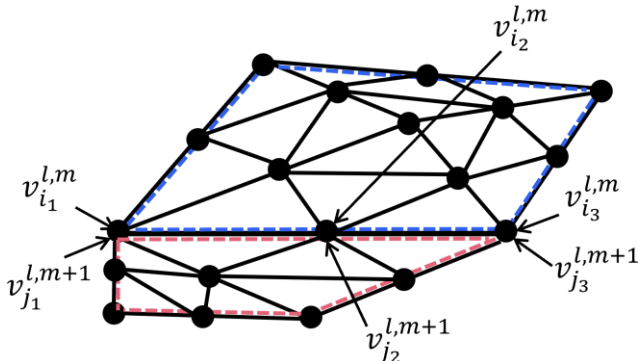


図 2 サブメッシュ境界情報

まず、細分割サブメッシュのトポロジ情報 $\mathcal{K}_{l,m}$ が参照フレームと現在のフレームで同じ場合を考える。この場合、フレームごとに頂点座標は異なるが、サブメッシュの境界の頂点のインデックスに関しては変化しないため、サブメッシュ境界情報に関しては参照フレームと同様である。したがって、サブメッシュ境界情報は、

$$\mathcal{X}_l = \mathcal{X}_{l-1} \quad (1)$$

となるため、現在のフレームの境界情報の符号化は行わない。

次に、細分割サブメッシュのトポロジ情報 $\mathcal{K}_{l,m}$ が参照フレームと現在のフレームで異なる場合を考える。トポロジ $\mathcal{K}_{l,m}$ が異なる場合はサブメッシュ境界に存在する頂点もフレーム間で異なるため、参照フレームのサブメッシュ境界情報は使用できず、フレームごとにサブメッシュ境界情報を求める必要がある。サブメッシュ境界に存在する頂点のうち最短距離に存在する 2 頂点を補正対象頂点のペアとして、サブメッシュ境界情報を算出する。図 2 では、サブメッシュ境界情報は

$$\mathcal{X}_l = \{\{v_{i_1}^{l,m}, v_{j_1}^{l,m+1}\}, \{v_{i_2}^{l,m}, v_{j_2}^{l,m+1}\}, \{v_{i_3}^{l,m}, v_{j_3}^{l,m+1}\}\}$$

となり、これらの情報を符号化して、サブメッシュ境界情報ビットストリームに格納する。

最後にデコーダにおける境界補正処理について説明する。デコーダでは、サブメッシュ境界情報ビットストリームに格納されている情報に基づき、サブメッシュ境界情報 $\mathcal{X}_l$ を復号する。該当フレームのサブメッシュ境界情報が存在しないとき、式(1)より、参照フレームの境界情報を用いてサブメッシュ境界情報を $\mathcal{X}_l = \mathcal{X}_{l-1}$ として復号する。サブメッシュ境界情報に含まれるすべての頂点 $v_i^{l,m_1}, v_j^{l,m_2} \in \mathcal{X}_l$ の座標を下記の式で補正する。

$$p(\overline{v_i^{l,m_1}}) = p(\overline{v_j^{l,m_2}}) = \frac{p(v_i^{l,m_1}) + p(v_j^{l,m_2})}{2}$$

#### 4. 実験結果

提案手法の効果を評価するために、提案手法を V-DMC 参照ソフトウェアに実装し、MPEG-3DGH の共通テスト条件 (CTC) [3] のランダムアクセス (RA) 設定で実験を行った。オールイントラ (AI) 設定においては、参照ソフトウェアと提案手法は完全に同じ手法となるため、実験を行わない。評価尺度として Bjøntegaard-Delta Rate (BD-Rate) を利用した。BD-Rate の負の値は、コーディング性能が改善していることを示す。BD-Rate は、ピーク信号対雑音比 (PSNR) を用いて、座標と属性 (Luma および Chroma 成分) において客観的品質が同一であるときの 2 つの手法の

表 1 参照ソフトウェアに対する提案手法の符号化性能

	RA (random access)						
	Point-based BD-rate[%]					Image-based BD-rate[%]	
	D1	D2	Y	Cb	Cr	Geom	Y
Soldier	-1.9	-1.9	-1.7	-1.6	-1.6	-1.9	-1.8
Levi	-0.5	-0.5	-0.7	-0.6	-0.7	-0.8	-0.7
Mitch	-4.7	-4.7	-4.8	-4.8	-4.8	-4.8	-4.8
Thomas	-5.1	-5.1	-5.1	-5.2	-5.2	-5.1	-5.1
Enc. Time	100%						
Dec. Time	100%						

ビットレートの差を定量化している。CTC に従い、Point-based BD-Rate (D1, D2, Y, Cb, Cr) および Image-based BD-Rate (Geom および Y) で符号化性能を評価した。CTC では 8 つのメッシュデータが使用されるが、提案手法が適用可能なフレーム間でトポロジが変化しないフレームを含むデータはそのうちの 4 つ (Soldier, Levi, Mitch, Thomas) しかないため、今回はこの 4 シーケンスで実験を行った。さらに、提案手法の複雑さを評価するために、エンコード実行時間 (Enc. Time) とデコード実行時間 (Dec. Time) の V-DMC 参照ソフトウェアに対する比率を評価した。

表 1 に参照ソフトウェアと提案手法の比較を示す。提案手法は性能を落とさずに境界情報のビット量を削減することで、すべての条件において、BD-Rate が改善することを確認した。また、エンコード実行時間、デコード実行時間ともに 100% となっており、提案手法と参照ソフトウェアで実行時間に変化は見られなかった。提案手法はサブメッシュ符号化や変位量符号化などの複雑な処理と比較して処理時間が短いため、ほとんど全体の処理時間が変化しなかったと考えられる。

#### 5. おわりに

本論文では、サブメッシュ境界情報のインター符号化を提案した。サブメッシュ境界情報のインター符号化では、境界補正に必要な冗長な境界情報を削減することで、ビット量を削減することに成功した。MPEG のデータセットを用いた実験結果によって、従来手法と比較して客観性能を改善することを示した。

#### 謝辞

本研究開発は総務省 SCOPE (国際標準獲得型) JPJ000595 の委託を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] "V-mesh test model v1," ISO/IEC JTC1/SC29/WG7 n00404, 2022
- [2] J. Rossignac, "3d compression made simple: Edgebreaker with zipandwrap on a corner-table," in Proceedings International Conference on Shape Modeling and Applications. IEEE, 2001, pp. 278–283.
- [3] "Common Test Conditions for V3C and V-DMC," Mar. 2023.