

A New File Standard to Represent Folded Structures

Erik D. Demaine* Jason S. Ku* Robert J. Lang+

要約

計算折り紙は急速に成長している研究分野である。毎年、折りたたみ関連の問題を解決する新たなアルゴリズムやソフトウェアが開発されているが、そのどれもが「同一平面のファセットレイヤーの順序」をサポートしていない。

折りたたみ関連ソフト間のデータ相互運用性を促進するため、オープンソースのJSON形式上に、折り紙リストデータ構造である（FOLD）形式を導入する。この形式を採用する利点の一つは、JSONパーサーがすでに多くの言語で利用可能であることだ。

FOLD形式は、OBJ形式と同様に、一つ以上のフレームを表す。これは、配列のフラットなリストで折りたたまれたレイヤージオメトリを説明するリンクされた幾何情報を含む。JSON構造は、配列または辞書に値を格納する。すべてのFOLDファイルの最上位には、折りたたみ構造のジオメトリデータ（フレームプロパティ）またはファイル自体に関するメタデータ（メタデータプロパティ）につながる辞書を含む必要がある。

すべてのプロパティにAB命名規則がある。Aは暗黙のオブジェクト、BはAのプロパティである。このようなフラットな表現は、オブジェクトツリーの深さが減り、既存のオブジェクトにカスタムデータを簡単に追加できる。

FOLD形式の標準メタデータプロパティは、ファイルバージョン、ファイル作成元ソフトウェア、ファイル著者、ファイルクラス（そのファイルの内容の主観的な解釈）が含まれる。標準クラスには、creasePattern、foldedForm、foldingMotionがある。

FOLD形式のフレームプロパティには、頂点座標、辺の頂点、辺の割り当て、面の頂点、面の順番に加えて、フレームのタイトル、作成者、属性などのメタデータが含まれる。

プロパティフレームのタイトルとフレームの作成者は、フレームで表現される折りたたみ構造のタイトルと作成者を保持する。フレーム属性は、プロパティを説明する属性の配列を格納する。標準のフレーム属性の例としては、2D、3D、manifold、nonManifold、selfIntersecting、nonSelfIntersectingがある。

頂点座標は、折りたたみ構造の各頂点を示す。座標配列は、頂点の座標を表すが、すべて座標は同じ次元である必要がある。リーダーは提供された座標にゼロを埋め込むことで、高次元空間の座標を解釈する。頂点座標を含め、プロパティは必須ではないことに注意すること。プロパティがある/ない場合、フレームは埋め込み/埋め込みでない折りたたみ構造を示す。

エッジ頂点プロパティは、折りたたみ構造の各エッジに一つある、頂点インデックスのペアである。したがって、無向ペア[1, 3]は、2番目と4番目の頂点間のエッジを表す。このプロパティは、折りたたみ構造の個々の折り目、または一般に、頂点の抽象セットの任意の有向グラフを参照す

るために使用できる。エッジの割り当ては、折りたたみ構造の各エッジに一つある、セット{V, M, F, U, B}からの文字ラベルの配列である。ラベルはそれぞれ、谷折り(V)、山折り(M)、フラット(F)、不明(U)、境界(B)であるエッジに対応する。

面の頂点プロパティは、折りたたみ構造の各面に一つある、頂点インデックスリストの配列である。面に方向がある場合、慣例では、面の方向に対し頂点を反時計回りにリストする。

面の順番プロパティは、3つの値（トリプル）からなる配列である。各トリプル[i, j, k]は、2面間のレイヤーの順序に関する条件を表す。iとjは、2つの方向付け可能な面のインデックスを表す。kは、[1]のように、面iの方向に対する面jの方向に基づいて、セット{-1, 0, 1, null}から取得される。面iの向きに対して面jが面iの上にある場合、k=1であるが、面jが面iの下にある場合、k=-1を設定する。他の全てのインスタンスには、k=0が付与される。推移性の仮定の下、すべてのペアワイズの面の順序を定義して、折りたたまれた状態を一意に識別する必要はない。ジオメトリと特定の面順序の部分セットによって暗示される場合、リーダーは一意的合計面順序を推測する必要がある。FOLD形式の単一フレーム折り形式の例を図1に示す。

```
{
  "file_version": 1,
  "file_creator": "A text editor",
  "file_author": "Jason Ku",
  "file_class": "foldedForm",
  "frame_title": "Three fold 3D example",
  "vertices_coords": [
    [0, 1, 0],
    [0, 0, 1],
    [0, -1, 0],
    [1, 0, 0],
    [0, 0, -1],
    [0, 0, -1]
  ],
  "faces_vertices": [
    [0,1,2],
    [0,2,3],
    [0,4,1],
    [1,5,2]
  ],
  "edges_vertices": [
    [0,2],
    [0,1],
    [1,2],
    [2,3],
    [0,3],
    [1,4],
    [1,5],
    [0,4],
    [2,5]
  ],
  "edges_assignment": [
    "V",
    "M",
    "M",
    "E",
    "E",
    "E",
    "E",
    "E",
    "E"
  ],
  "faceOrders": [
    [0,2,-1],
    [2,0,-1],
    [0,3,-1],
    [3,0,-1]
  ]
}
```

図1：FOLD形式で表現した単純な折りたたみ構造の例。

追加のファイルレベルプロパティのフレームは、同じファイル内の追加の折りたたみ構造フレームの配列を格納できる。フレームは、別のフレームインデックスを格納するためにフレームの親プロパティは使用して、親ポインタを介して関連づけることができる。フレームは互いに独立しても良いし、フレームのbooleanプロパティをtrueに設定することで、親からプロパティを継承してもよい。これにより、FOLDファイル形式は、折りたたみシーケンス、または折りたたみ動作のキーフレームを保存できる。

さらに、折りたたみ構造のFOLDファイルタイプを表示するオンラインWebツールを作成した。図2を参照する。これは、CoffeeScriptで記述され、オブジェクトの回転を許可し、ブラウザでジオメトリをSVGとしてレンダリングし、カメラの方向を基準に動的にレイヤーの順序を計算し、リアルタイムで面を並べ替える。

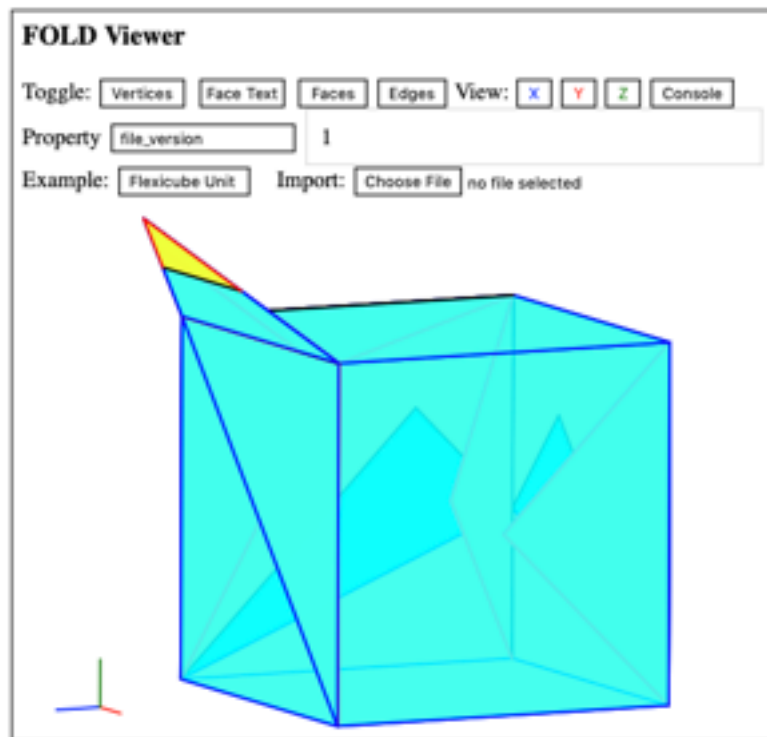


図2：FOLDファイルを見るためのWebツール。