新しいスペクトル分解法とその応用

RA 室谷浩平

情報理工学系研究科数理情報学専攻

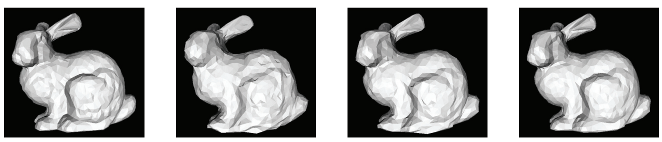
概 要

フーリエ解析やウェーブレット解析では扱えなかった多次元のデータに対する新しいスペクトル解析の手法「拡張 SSA」を提案した．拡張 SSA とは，時系列データをスペクトル分解するための手法である基本 SSA アルゴリズムを，一般のモデルにも適用できるような形に拡張した手法である．この拡張 SSA は，従来の解析手法では解析が困難であったデータに対して適用できる新たな解析手法であるので，様々な応用が期待される．そして，現在のところ 5 つの分野への応用に成功している．

1　はじめに

フーリエ解析やウェーブレット解析では扱えなかった多次元のデータに対する新しいスペクトル解析の手法「拡張 SSA」を提案した．フーリエ解析やウェーブレット解析は，ある基底関数による分解であるので，その関数のパラメータを定義するための座標軸が必要になる．1 次元の系列や 1 次元系列のテンソル積をなすデータに対しては，フーリエ解析やウェーブレット解析をそのまま用いることができる．しかし，解析したいデータがパラメータ化できない場合には，フーリエ解析やウェーブレット解析をそのまま用いることができない．例えば，球と同相な 2 次元多様体の全体を 2 つのパラメータで表現することはできない（緯度と経度でパラメータ化しても南極と北極に特異点ができてしまう）．このような場合，球面調和関数などの別の基底関数を用いて，スペクトル分解を行うことができるが，3 次元多角形メッシュなどの区分線形曲面をスペクトル分解するときは，非常に多くの項が必要になる．このように，従来の関数系によるスペクトル分解法では，3 次元多角形メッシュをスペクトル分解するには限界があるため，新たな分解手法が必要とされていた．この問題を解決するために，拡張 SSA を提案した．拡張 SSA とは，時系列データをスペクトル分解するための手法である基本 SSA アルゴリズムを，一般のモデルにも適用できるような形に拡張した手法である．この拡張 SSA は，従来の解析手法では解析が困難であったデータに対して適用できる新たな解析手法であるので，様々な応用が期待される．そして，現在のところ 5 つの分野への応用に成功している．

図 1 は，3 次元多角形メッシュを拡張 SSA を用いてスペクトル分解して，周波数が低い順に足し合わせた様子である．



(a) Original　(b) $\hat{d} = 3$　(c) $\hat{d} = 5$　(d) $\hat{d} = 8$

図 1: スペクトル分解された兎のモデル．周波数が低い順に $\hat{d}$ 成分足し合わせたもの．

2　応用 1 — 電子透かしへの応用

1 つ目の応用例は，3 次元多角形メッシュへの電子透かしを埋め込みである．電子透かしの埋め込みとは，対象となるデータに電子透かしと呼ばれ

る秘密情報を付加する技術のことである．電子透かしは，著作権の保護や個人認証などを目的に使われる．我々の電子透かし埋め込み方法は，メッシュのスペクトル空間に埋め込む方法である．図2にその概要が示されている．本提案手法は，相似変換やランダムなノイズに対して耐久性があるように工夫されており，更には，従来の同程度の性能を持つ電子透かし埋め込みの手法よりも計算コストが少ない．図3の (a) は，オリジナルメッシュであり，(b) は透かし入りメッシュである．両者に見た目の違いは感じ取れないが，45bit の秘密情報が埋め込まれている．本手法では，最大で“頂点数 ×3” の秘密情報を埋め込むことができる．

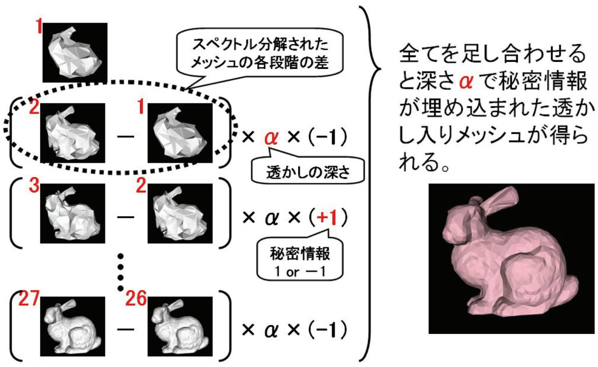
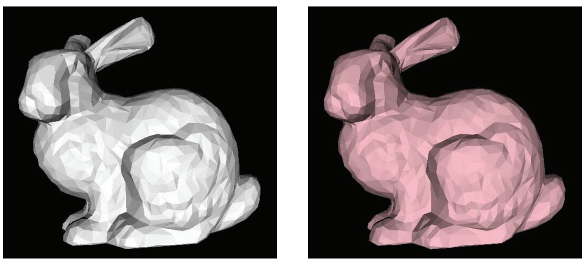


図 2: 電子透かし埋め込みの概要.

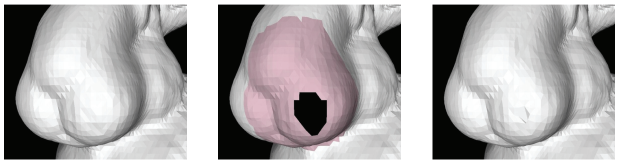


(a) Original　(b) 透かし入りメッシュ

図 3: 兎モデルの透かし入りメッシュ.

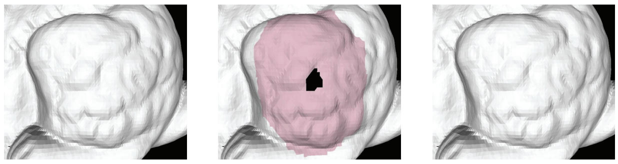
3　応用 2 — 欠損データの補間への応用

2つ目の応用例は，穴の開いたメッシュ，あるいは，頂点データが欠損した場合に，補間頂点を求めるアルゴリズムの提案である．図4と図5の (a) はオリジナルメッシュであり，(b) は (a) のメッシュで幾つかの頂点が失われたメッシュである．(b) のピンクの領域のデータを拡張 SSA に当てはめると，(c) のように頂点を推定することができる．



(a) Original　(b) 欠損データ　(c) 補間後

図 4: 兎モデルの鼻の部分の欠損データの補間.



(a) Original　(b) 欠損データ　(c) 補間後

図 5: 兎モデルの足の部分の欠損データの補間.

4　応用 3 — 3 次元多角形メッシュの領域分割への応用

3つ目の応用例は，3次元多角形メッシュ上の領域を形状の特徴ごとに分割する手法である．拡張 SSA 用いて抽出される特徴量に従って，形状の似ている領域を連結していく．

5　応用 4 — 空間 2 次元，時間 1 次元のデータの類似性検出への応用

4つ目の応用例は，従来から存在する時系列に対する変化点検出の多次元版のアルゴリズムの構築である．時間方向1次元と空間方向2次元のデータに対して類似性検を行うことに成功している．