近似形状と関数展開を用いた食品形状のモデリング

Modeling of Food Shapes via Approximated Shapes and Functional Expansions

西田 賢生 (立命大)　正　王 忠奎（立命大）　○正　平井 慎一（立命大）

Kensyo Nishida, Ritsumeikan Univ.,　Zhongkui Wang, Ritsumeikan Univ.

Shinichi Hirai, Ritsumeikan Univ., hirai@se.ritsumei.ac.jp

This manuscript focuses on modeling of two-dimensional food shapes. Foods have much variation in their shapes. This paper presents a method to describe two-dimensional food shapes with variations based on approximated shapes and functional expansions.

Key Words: food, shape, modeling, variation

1　緒言

食品のマニピュレーションを実現するためには，食品形状のモデリングが必要である．食品の形状は多様であり，同じ食品における個体差が大きい．したがって，様々な形状に対応することが可能で，個体差を表現することができるモデリング手法が望まれる．それぞれの食品，たとえばエビフライやドーナツにおいては，概形を想定することができる．また，食品の表面形状は複雑である一方，それぞれの食品に特徴的である．たとえば，フライの表面形状と唐揚げの表面形状は異なる．したがって，食品の形状は，全体的な概形と表面形状を用いて表すことが可能であると考える．これまでに，形状を近似形状と残差で表す手法を提案した [1]．本報告では，概形を表す近似形状と表面形状を表す関数展開を用いて，ばらつきを有する食品形状を表現する手法を提案する．近似形状と表面形状を有限個のパラメータで表し，パラメータの分布で形状のばらつきを表す．本報告では，二次元形状を対象とする．

2　二次元形状の計測

食品の形状はばらつきを有する．本報告では冷凍フライを対象とする．図 1 にフライを上面から撮影した結果を示す．画像の中心に座標原点 O を置き，水平方向に x 軸，鉛直方向に y 軸を取る．食品と背景が分離できるように，背景の色を選ぶ．二値化により食品と背景を分離し，食品の二次元形状を得る．

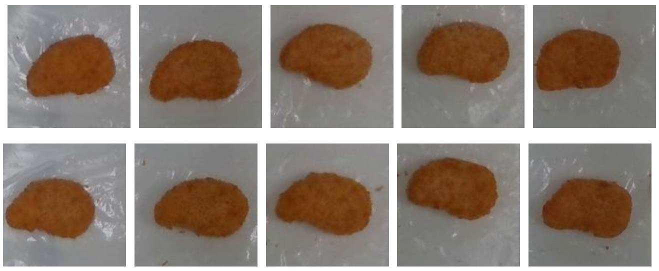


Fig.1 Photos of fries

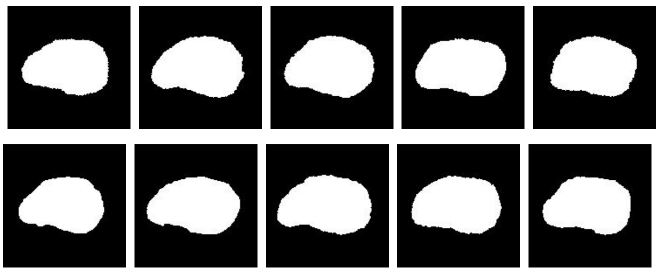


Fig.2 Extracted shapes of fries

二次元形状の位置と姿勢の影響を除去するために，二値画像の 0 次モーメント，1 次モーメント，2 次モーメントを計算する．二値画像のモーメントから，画像重心 $[x_o, y_o]^{\rm T}$，長軸と x 軸が成す角 θ_o を求める．画像を $-[x_o, y_o]^{\rm T}$ 平行移動させ，さらに原点周りに $-\theta_o$ 回転させる．このとき，食品形状の画像重心は座標原点に一致し，楕円の長軸の方向は x 軸に一致する．図 2 にフライの形状を求めた結果を示す．

3　近似形状

食品の概形を表す近似形状は，それぞれの食品に関して定める必要がある．フライにおいては近似形状を楕円とする．フライの二次元形状を表すために，極座標系 O–$r\theta$ を導入する．二次元形状の輪郭を求め，輪郭点を極座標で表す．輪郭を関数 $r_{\rm measured}(\theta)$ で表す．二値画像のモーメントから得た楕円の長軸の長さを $2a$，短軸の長さを $2b$ で表す．この楕円を極座標で表すと，関数

$$r_{\rm ellipse}(\theta) = \left\{ \frac{\cos^2\theta}{a^2} + \frac{\sin^2\theta}{b^2} \right\}^{-1/2} \tag{1}$$

を得る．このとき，二次元形状と楕円の差は

$$d_0(\theta) = r_{\rm measured}(\theta) - r_{\rm ellipse}(\theta) \tag{2}$$

と表される．ただし，差 $d_0(\theta)$ の平均は 0 とは限らない．表面形状を表す関数は，平均が 0 であることが望ましい．そこで，差の平均が 0 となるように，楕円を拡大/縮小する．楕円の拡大率を α で表す．二次元形状と拡大/縮小した楕円の差の平均が 0 であるためには

$$\int_0^{2\pi} \{ r_{\rm measured}(\theta) - \alpha\, r_{\rm ellipse}(\theta) \}\, {\rm d}\theta = 0 \tag{3}$$

が成り立たなくてはならない．これより拡大率

$$\alpha = \frac{\displaystyle\int_0^{2\pi} r_{\rm measured}(\theta)\,{\rm d}\theta}{\displaystyle\int_0^{2\pi} r_{\rm ellipse}(\theta)\,{\rm d}\theta} \tag{4}$$

を得る．したがって，近似楕円は $\alpha\, r_{\rm ellipse}(\theta)$ で与えられる．

結局，二次元形状と近似楕円の差は

$$d(\theta) = r_{\rm measured}(\theta) - \alpha\, r_{\rm ellipse}(\theta) \tag{5}$$

と表される．関数 $d(\theta)$ の平均は 0 である．近似楕円の長軸の長さは $2\alpha a$，短軸の長さは $2\alpha b$ である．

4　関数展開

表面形状を表す関数 $d(\theta)$ を有限個のパラメータで表すために，関数 $d(\theta)$ の関数展開を求める．関数 $d(\theta)$ は周期 2π の周期関数であるので，本報告ではフーリエ級数を用いる．関数 $d(\theta)$ の平

Table 1 Computed shape parameters of fries

	$2\alpha a$	$2\alpha b$	a_1	b_1	a_2	b_2
#01	29.1	18.2	0.558	−0.266	−1.92	0.844
#02	30.7	19.6	0.874	−0.413	−1.88	1.56
#03	29.8	19.8	−1.22	1.31	−0.639	0.208
#04	30.2	18.3	−1.15	0.879	−0.682	−0.351
#05	29.0	19.6	−0.554	1.29	−0.445	−0.272
#06	28.2	18.2	0.556	−0.347	−1.78	1.41
#07	30.1	18.0	0.0341	0.778	1.79	−0.748
#08	30.9	18.5	−1.32	1.61	−1.16	0.527
#09	30.1	18.6	0.546	−0.271	−1.24	1.03
#10	29.5	18.5	0.543	−0.201	−1.14	1.74

均は 0 であるので，フーリエ級数の定数項 a_0 の値は 0 である．したがって，関数 $d(\theta)$ のフーリエ級数は

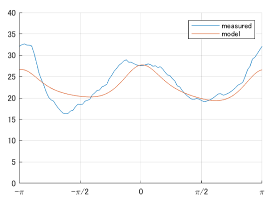
$$d(\theta) = \sum_k \{a_k \cos k\theta + b_k \sin k\theta\} \tag{6}$$

となる．たとえば，2 周期までの項を用いると

$$d(\theta) = a_1 \cos\theta + b_1 \sin\theta + a_2 \cos 2\theta + b_2 \sin 2\theta \tag{7}$$

となり，関数 $d(\theta)$ を 4 個のパラメータ a_1, b_1, a_2, b_2 で近似することができる．このとき，形状を表すパラメータはまとめて，$\boldsymbol{p} = [2\alpha a,\ 2\alpha b,\ a_1,\ b_1,\ a_2,\ b_2]^{\mathrm{T}}$ となる．

図 2 に示すフライの形状に対して，形状パラメータを計算した結果を表 1 に示す．得られた形状パラメータもとに形状を求めた結果を図 4 に示す．単位はすべて mm である．異なる形状が得られており，形状のバラツキを表すことはできた．一方，元の形状（図 2）とは，凹凸の場所が異なっている．特に，凹んでいる部分が表現されていない．図 3 に，元の形状における輪郭の極座標表現，求めた形状における輪郭の極座標表現を示す．凹凸の大きい箇所で，違いが大きいなっていることがわかる．これはフーリエ級数の項数が少ないためである．少ないパラメータで形状を再現するためには，フーリエ級数の項数を増やしてフーリエ係数を計算し，主成分分析を用いてパラメータの個数を圧縮する手法が有効であると考えられる．また，フーリエ級数以外の関数展開を用いる手法も考えられる．



(a) #01　　(b) #03

Fig.3 Calculated contour functions

6 個の形状パラメータ $\boldsymbol{p} = [2\alpha a,\ 2\alpha b,\ a_1,\ b_1,\ a_2,\ b_2]^{\mathrm{T}}$ の相関係数を計算すると

$$\begin{bmatrix} 1.00 & 0.146 & -0.304 & 0.299 & 0.171 & -0.144 \\ 0.146 & 1.00 & -0.209 & 0.263 & -0.171 & 0.0414 \\ -0.304 & -0.209 & 1.00 & -0.934 & -0.313 & 0.650 \\ 0.299 & 0.263 & -0.934 & 1.00 & 0.501 & -0.744 \\ 0.171 & -0.171 & -0.313 & 0.501 & 1.00 & -0.785 \\ -0.144 & 0.0414 & 0.650 & -0.744 & -0.785 & 1.00 \end{bmatrix}$$

を得る．長軸の長さ $2\alpha a$ と短軸の長さ $2\alpha b$ の相互相関係数は，$(1, 2)$ 要素であり，その値は 0.146 である．したがって，近似楕円の長軸の長さと近似楕円の短軸の長さは，ほとんど関連がないことがわかる．また，a_1 と b_1 の相関係数（$(3, 4)$ 要素）の値は -0.934，a_2 と b_2 の相関係数（$(5, 6)$ 要素）の値は -0.785 であり，絶対値が大きい．係数 a_1 と b_1 の関係を調べるために，$r_1 = (a_1^2 + b_1^2)^{1/2}$ と $\theta_1 = \mathrm{atan2}\,(b_1, a_1)$ を計算し，r_1 と θ_1 の対をプロットした結果を図 5(a) に示す．角度 θ_1 の特定の値，すなわち 0.74π と -0.14π 付近に対応する r_1 の値が多いことがわかる．同様に，係数 a_2 と b_2 に対して，$r_2 = (a_2^2 + b_2^2)^{1/2}$ と $\theta_2 = \mathrm{atan2}\,(b_2, a_2)$ を計算し，r_2 と θ_2 の対をプロットした結果を図 5(b) に示す．角度 θ_2 の特定の値，すなわち 0.85π 付近に対応する r_1 の値が多いことがわかる．ただし，これらの結果がフライの形状の特徴を表しているのか，あるいはフーリエ級数の項数が少ないことによるアーティファクトであるかを検証する必要がある．

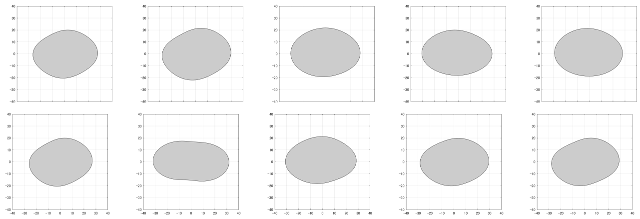
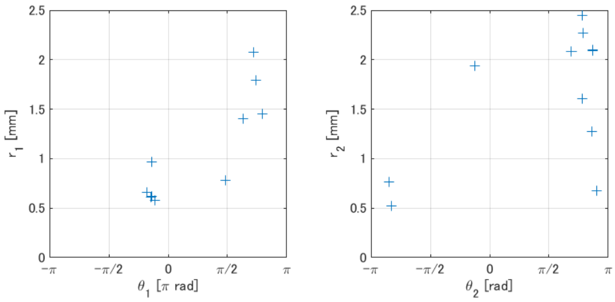


Fig.4 Calculated shapes



(a) r_1, θ_1　　(b) r_2, θ_2

Fig.5 Relationships between Fourier coefficients

5　結言

本報告では，概形を表す近似形状と表面形状を表す関数展開を用いて，ばらつきを有する食品形状を表現する手法を提案した．近似形状として楕円，関数展開としてフーリエ級数を選び，冷凍フライの二次元形状を対象として形状パラメータを求めた．本報告の手法により，それぞれのフライに対して異なる形状パラメータが得られた．しかしながら，元の形状とは異なる部分が多く，特に凹んでいる部分が表現されていないという短所がわかった．今後は，フーリエ級数の項数を増やしてフーリエ係数を計算し，主成分分析を用いてパラメータの個数を圧縮する手法を試みる．また，輪郭を極座標に関する関数で表すことができない形状に対しては，高次の座標変換を適用することを試みる．

謝辞

本研究は，内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 2 期／フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」（管理法人：NEDO）による支援を受けた．

参考文献

[1] 西田 賢生, 平井 慎一, 王 忠奎, ばらつきを考慮した食品形状のモデリング, 第 39 回日本ロボット学会学術講演会（RSJ2021）, オンライン, Sept. 8–11, 2021