

数学理解を支援する Web 上の数式画像の提示

Presenting Mathematical Expression Images on Web to Support Mathematics Understanding

山田 奉子*¹ 上田 洋*² 村上 晴美*³ 岡 育生*¹
 Kuniko Yamada Hiroshi Ueda Harumi Murakami Ikuo Oka

*¹ 大阪市立大学大学院工学研究科
 Graduate School of Engineering, Osaka City University

*² 株式会社 ATR Creative
 ATR Creative Inc.

*³ 大阪市立大学大学院創造都市研究科
 Graduate School for Creative Cities, Osaka City University

Since a mathematical expression cannot be replaced with words, we cannot use ordinary search systems to obtain mathematical expressions. Our research uses an ordinary text search and presents mathematical expression images. We classify these images based on its features that are unique to mathematical expression images and present suitable mathematical expression images related to an input keyword. We also explain this keyword by extracting sentences from Wikipedia.

1. はじめに

Web 上の数式, 特に画像形式の数式を, 通常の検索システムで効率よく検索することは難しい. 本研究は数学用語をキーワードとしてテキスト検索を行い, 得られた Web ページから数式画像を抽出し, キーワードに対応する概要説明, 数式画像, 及び画像周辺情報を表示し, 利用者の数学理解を助けることを目的とする. 数式画像が持つ他の画像とは異なる特徴量に着目し, 併せて画像の出現位置, 周辺のテキスト情報などを手がかりとして, 正解数式画像がランクの上位に来るようにし, 提示する.

2. 提案手法

2.1 Web 上の数式表現

一般的に数式の表現は次の特徴を持つ. (1) 変数等は行内で文字扱いだが, 数学用フォントは特殊であり, 画像として表現される. (2) 重要な定理・公式は文の途中でも改行され, 独立行となる. (3) 定理の導出等では長く繋がった式となる.

2.2 概要

図 1 に沿って説明する.

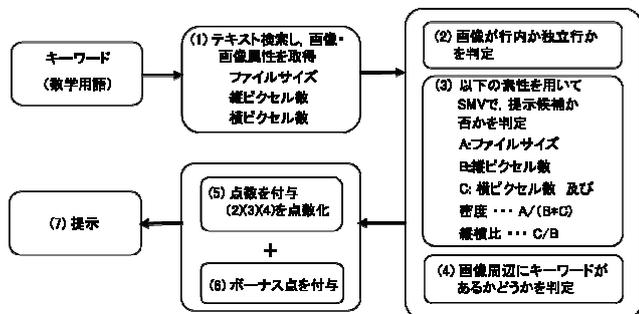


図 1: 概要

連絡先: 山田 奉子, 大阪市立大学, 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138, d07tb553@ex.media.osaka-cu.ac.jp

(1) 画像の取得

HTML ソースから画像情報を抽出し, 画像, ファイルサイズ, 拡張子, 縦ピクセル数, 横ピクセル数を得る. 画像と画像の間にテキストがなければ, 繋げて1つの画像とみなす.

(2) 画像の位置

画像が行内か, 独立行かを判定する. img タグの前後にテキストがなく,
<p><tr></br></p></tr>などがあれば独立行とみなす. それ以外を行内とする.

(3) SVM での判定

キーワードに対応した正解画像候補とそれ以外を SVM で判別する. 使用する素性は, 「ファイルサイズ」「縦ピクセル数」「横ピクセル数」「密度」「縦横比」である. 表 1 に画像例を示す. a は正解候補, b, c, d は縦横比が小, e は縦横比が大, の不正解例である. これらの素性の違いを利用して, 判別する.

表 1: 画像例

	画像	ファイルサイズ	縦ピクセル数	横ピクセル数	密度	縦横比
a	$Y(\theta, \phi) = \Theta(\theta)\Phi(\phi)$	783B	19	150	0.27	7.89
b	$f(x)$	280B	17	29	0.56	1.71
c		551B	72	135	0.06	1.88
d	$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega x} d\omega = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{e^{i\omega x}}{i\omega} \right]_{-\infty}^{\infty}$ $= \frac{1}{2\pi i} (e^{i\omega x} - e^{-i\omega x})$ $= \frac{1}{2\pi i} (2i) \sin(\omega x)$ $= \frac{\sin(\omega x)}{\pi x}$	2561B	170	292	0.05	1.72
e	$e^{i\omega x} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} (i\omega x)^n = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{(2n)!} (i\omega x)^{2n} + i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{(2n+1)!} (i\omega x)^{2n+1}$	3262B	50	622	0.10	12.44

(4) 画像周辺のテキスト

行内の画像はテキスト1字分とし, キーワードの 80 字以内にある一番近い画像にキーワード点を付与する. 但し, 句点と句点の間にキーワードと画像があれば, その画像に点を付与する.

(5) 点数の付与

独立行, SVM の出力, キーワード, という 3 観点を点数化する. 先行研究 [山田 14] より, 次の式を用いる, ここで *points* は獲得点数, *image* は各画像である.

$$points = \sum_{k=1}^3 \delta_k(image)$$

$k=1,2$ の時
 $k=1$ は画像が独立行にあるのが正解
 $k=2$ は SVM 出力
 $k=3$ はキーワードを持つのが正解

$$\delta_k(image) = \begin{cases} 1 & (image: correct) \\ -1 & (image: incorrect) \end{cases}$$

$k=3$ の時
 $\delta_k(image) = \begin{cases} 1 & (image: correct) \\ 0 & (image: incorrect) \end{cases}$

この式を用いて各画像に点数を与え, 点数順にキーワード毎の順位を付けると, 1 位に 3 点取得画像が多く並ぶ結果となる. その同点 1 位集合中の正解画像数の適合率は 56.4%, 再現率は 71.0%, F 値は 62.9% であった.

(6) ボーナス点の付与

ここまでで, ある程度正解画像を 1 位集合に集めることができたが, この集合内の並び順は. もとのテキスト検索の出力順, 及び画像の名前順を反映している. その結果, テキスト検索で上位に出力された Web ページで不正解画像が満点を取っても, 並び順はそのまま上位にある. 上位 3 件又は 5 件を取得したい場合, このままでは使えない.

この問題を解決するために, 「重要な事柄は Web ページ内で最初の方に出現することが多い」ことに着目し, ボーナス点を導入する. これは各 Web ページ中の出現位置順で最初に満点となった画像に 1 点加点するものである. こうすれば, 各 Web ページの良い正解画像が, 1 位集合の中で上位に来る可能性が高まると考えられる.

(7) 提示

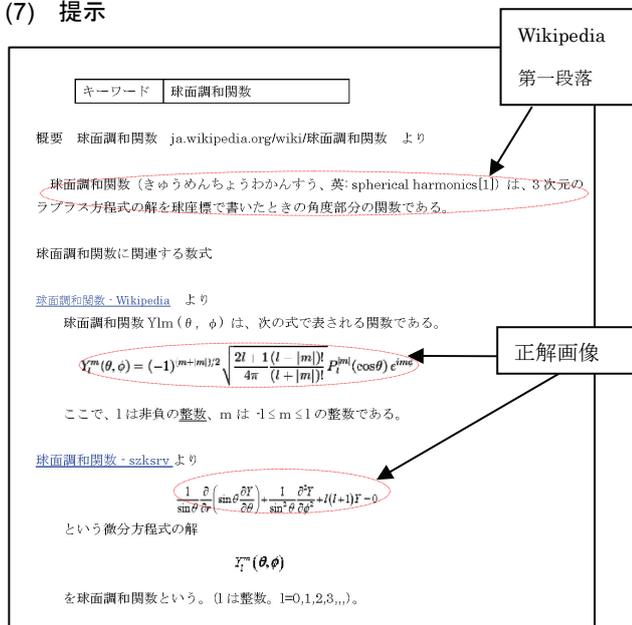


図 2: キーワードを球面調和関数とした画面表示例 (部分)

画面表示例を, 図 2 に示す. 概要説明は, キーワードに合致した Wikipedia の第一段落を抽出して作成し, 数式画像上位 3 件を, 画像周辺のテキストと共に表示する. 周辺情報を付加することによって, 数式についての付帯条件も示すことができる.

3. 実験

3.1 方法

大阪市立大学理工系の Web シラバスから, 21 キーワードを抽出し, 各キーワード毎に 5 個の Web ページ (HTML) を取得, 計 105 Web ページ, 計 3,262 個の画像を得た. その内, 8 キーワード分を SVM の学習データとし, 残り 13 キーワード分を評価用データとした. 各画像について, キーワードに対して適切かどうかを人手により判定し, 実験をした.

3.2 結果と考察

図 3 に結果を示す. ボーナス点の付与の有効性を「無」「有」で比較すると, 「有」の結果が概ね「無」を上回った. 特にキーワード 3 「ガウスの法則」では, 上位 3 件で正解数が 0 から 2 となった. 提案手法全体については, 「有」の上位 3 件の平均正解率が 79.5% であり, 最低でも 3 件中 2 件は正解を含めることができた. この数値が 5 件より良いので 3 件を表示件数とした.

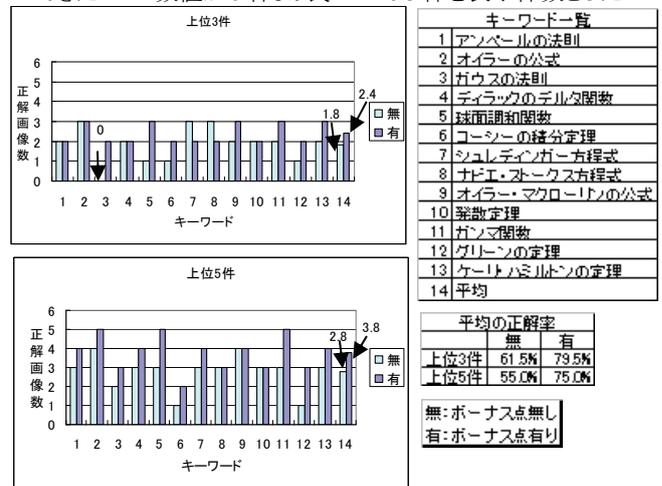


図 3: ボーナス点有無の比較 上位 3 件及び 5 件

4. 関連研究

数式画像についての研究は少ないが, 例えば [Shirmenbaatar 12] は, 数式画像をクエリとする類似数式検索システムを提案し, 数式画像中の一番高さが高い記号に着目している.

5. おわりに

本研究は, 画像の特徴量等に注目して, テキスト検索の結果から, キーワードに適合した数式画像を抽出し, キーワードの概要説明と, 上位 3 件の数式画像を, 画像周辺のテキストと共に表示することによって, 利用者の数式理解を支援するものである. 出力結果の向上を目的としてボーナス点を導入し, 実験の結果, その有効性を確かめることができた. 今後, 評価データを増やし, 上位 3 件が妥当かどうかさらに検証した上で, 被験者による評価実験も必要であると考えられる.

参考文献

[山田 14] 山田 奉子, 上田 洋, 村上 晴美, 岡 育生: 数学理解を支援する Web 上の数式画像の検索, 第 28 回人工知能学会全国大会, 211-3, 2014

[Shirmenbaatar 12] Shirmenbaatar M, 古賀 久志, 渡辺 俊典: 数式画像をクエリとする類似数式検索システム, 第 4 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2012), 2012.