

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：17501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21650227

研究課題名（和文） 数学図形の非視覚的情報交換のための情報構造解析

研究課題名（英文） Structure analysis of information in mathematical figures for non-visual communication.

研究代表者

福田亮治（FUKUDA RYOJI）

大分大学・工学部・准教授

研究者番号：70238492

研究成果の概要（和文）：

図形情報の非視覚化に関わる研究として、伝達手段を実現するソフトウェアの開発とこれに必要な評価手法に関わる研究を並行して行った。ソフトウェアとしては、高校数学で用いる基本的なグラフに対して手描き入力し、曲線の種類を認識したうえで、点図モニタに出力するシステムを開発した。図形情報として伝えるべき情報は概形のほかに、曲線の各種パラメータもあり認識時にそれらも取得することができる。このようなシステムの開発に必要な評価手法として、評価のためのショケ積分の一般化と順位情報に基づく評価関数の推定に関する研究を行った。

研究成果の概要（英文）：

We studied both on creating a software system for outputting graphs on a tactile display, and improvements of estimation methods used in this software.

This software is a handwriting input system for graphs in high school mathematics. Handwritten curves are recognized their curve types and curve parameters are given at the same time. After that, these graphs are send to tactile display. We use estimation methods using generalized Choquet integral and a rank-based estimation method. We also have improved these estimation methods.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,400,000	0	1,400,000
2010 年度	1,400,000	0	1,400,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	150,000	3,450,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：e-learning, 視覚障害者支援

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

視覚情報を完全に視覚情報を用いずに伝えるには、言葉で説明してテキスト情報として与える方法や、点字、点図などの触覚情報として伝える方法、音として伝える方法などがある。これらの中で、文字認識およびその延長上にある比較的テキスト化しやすい対象に関する研究は、決して容易な問題ではないが、歴史もあり、数式認識などを中心に現在大きく進歩しつつある。また、触覚情報に変換する研究も、点図ディスプレイや点字(点図)プリンタなどの普及に伴い大きく進歩していると思われる。図形情報を非視覚情報として伝えるという観点では、有効な伝達、表現方法を検討する段階に入ったと位置付けた。

2. 研究の目的

視覚からは一度に多くの情報が得られ、特に図形などのテキスト化しにくい情報には状況に応じて多様な情報が内在する。これらの情報を適切に把握し伝えるためには、様々な判断や認識を機械的に(ソフトウェアとして実現するという意味で)処理するのが望ましい。ソフトウェアは図形情報を中心的に扱うものとし、形状そのものを伝えることほかに、付随する付加的情報も伝える必要がある。このような機能を実現するために、さまざまな場面で人間の感覚にせまる判断をする必要がある。このような判断を機械的に行う場合、適切な定量化が必要となる。人間の感情などの曖昧な対象を定量化するのに有効な手法として、シヨケ積分に代表されるファジィ積分がある。これらの手法を有効に用いることで、図形情報を適切に処理するための手段を確立することがこの研究の目的である。

3. 研究の方法

研究の体制は、大きく分けてソフトウェアの開発と手法の開発に分かれる。このようなソフトウェアは人間の曖昧な判断を再現する必要があるため、様々な状況で定量的な評価を柔軟に行うための手法が必要となる。より使いやすいシステムを目指せば、新たな評価が必要となり、既存の手法でカバーできない場合は手法解析の新たな問題が生まれることになる。

出発時点では、一般化されたシヨケ積分を用いて評価関数を解析する手法を開発するところから始め、その後新たな問題が生まれた時点で、それらも対象に組み込む形とした。シヨケ積分については2加法的測度に限定した解析を検討中(研究開始時点)であり、その一般化に関する評価検討(特にt-ノルムに関

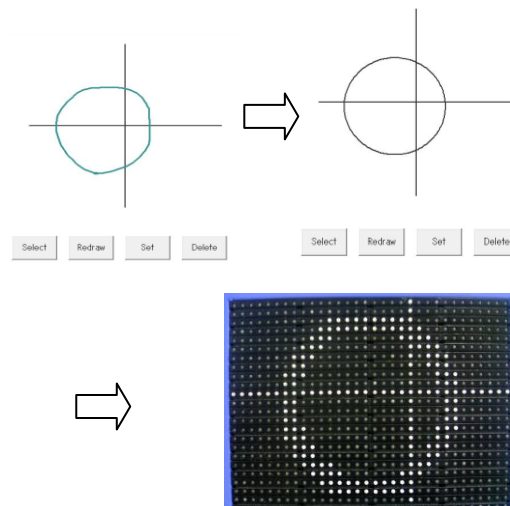
わるの性質を中心に)を初期のテーマとした。

ソフトウェアの開発としては、図形の情報の把握と点図モニタへの出力およびそれらの評価を中心として進め、手法の解析、開発としては、シヨケ積分の一般化からスタートし適宜新たな手法の提案を試みる形で進めた。

4. 研究成果

(1) ソフトウェア

手描き入力による図形の点図表示ソフトウェアの開発を行った。対象は高校数学で用いる関数のグラフ(代表的なもの8種類)で、マウスで手描き入力した後、種類を判定し整形した後に画面上に表示することができる。画面上に表示された曲線は、マウスによる操作により、選択、移動、変形することができ、最終的に必要なものだけを点図モニタに表示させるものである。



認識には t-ノルムを用いた一般化されたシヨケ積分による評価関数を用い、整形には線形、非線形回帰を用いている。

(2) シヨケ積分に関する研究

シヨケ積分はメビウス変換により集合関数の線形和に変形することができるが、一般に全ての部分集合に関する和を考えると、(部分集合の数が一般に大きくなるため)現実的でない計算量になる。そこで測度を2加法的なものに限定した解析を中心に行った。

有限集合 $T = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ に関する、ファジィ測度は一般に加法性を持たない。加法性を持つ集合関数(測度)の場合、 T 上の関数 $f(x)$ に関する積分は、 $\{f(x): x \in T\}$ の線形結合であるが、2加法的測度(加法性がない集合関数)に関するシヨケ積分は

$$\int f(x) d\mu = \sum_{x \in T} f(x) \mu_x + \sum_{x,y \in T} f(x) \wedge f(y) \nu_{x,y}$$

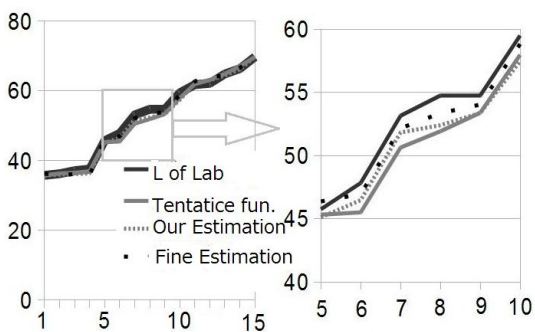
(\wedge は最小値を与える2項演算)

という形で与えられる。さらに、集合関数の線形和の係数の部分を最小値を与える \wedge から一般の t -ノルムに一般化したものを考えている。 t -ノルムは $[0, 1]$ 上の 2 項演算であるため、積分対象となる関数も正規化をする必要がある。この時点で \wedge の返す値の持つ意味が、ファジィ集合の共通部分を表すメンバーシップ関数としての役割を果たすようになり、さらにこの部分を Dombi の t -ノルムなどの値の変化がなめらかな関数(t -ノルム)に変えることで、解析に柔軟性を持たせることを期待した。実際係数($\mu_x, \nu_{x,y}$)の推定時に用いる線形回帰では、行列が退化しにくくなっている。(1),(4)のソフトウェアの中でもこの形でのショック積分を評価関数として用いている。

さらにこれらのショック積分に対して、 t -ノルムの解析と積分値のベクトル化について一般化を試みた。

(3) 並べ替えデータに基づく解析

ある基準により評価された複数の対象が、そこに内在する基準で並べ替えられたものをデータとして与えることがある。この場合並べ替えられたデータが、ある評価関数の値により並べ替えられていると想定することでその評価関数を(現実には存在するかどうかわからない場合でも)推定する手法を開発した。この手法では、データごとの順序の違いを、観測された評価関数に加わった誤差と考えることで、項目間の評価関数の差を推定するものであるが、完全データ(対象全部を並べ替えたもの)と不完全データに対して、それぞれその性能を評価した。

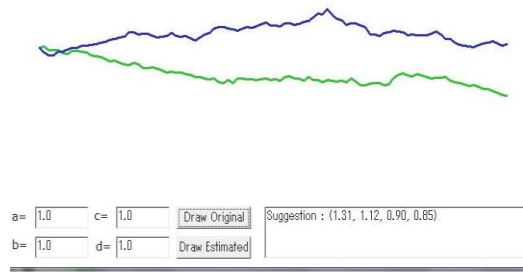


上の図は、画像の明るさの並べ替えデータにもとづく完全データに関する明るさの推定例である。実線黒のグラフが画像の明るさ(LAB 表色系の L)、点線によるグラフが提案手法によるものであり、十分に近似されることが分かる。

(4) (1)のソフトウェア以外への応用

このような評価手法の応用として(現時点では図形情報の非視覚化とは結びついていないが、関連する研究である)、確率微分方程式(線形定係数)のインタラクティブな推定システムと手描き入力曲線の簡略化を行った。いずれも上で述べた評価手法を用いて機能を実現している。

ここで用いられる確率微分方程式は、4 つの実数パラメータにより決定される。与えられた時系列データに対し、これらのパラメータが正確にわかれば同じ法則で変化するその後の変化の統計的な挙動を推測することができ、例えばコンクリートの乾燥収縮の予測などに応用できると考えられる。このシステムではこのパラメータ予測に一般化されたショック積分を用いている。



右上の図は、システムのスクリーンショットであり、乱数を用いて作られた比較対象の曲線に対しパラメータの(初期段階の)予測値が与えられ、これに基づき推定されたパラメータに基づく曲線が表示される。いずれの曲線も確率過程なので、実行するたびに同じ法則に基づく違う曲線が表示される。推定曲線のほうは、何回でも繰り返し表示することができ、その傾向によってはじめに与えられた曲線との比較を行うものである。

システムの目的は、4 つのパラメータの持つ意味をグラフから把握し、インタラクティブにパラメータの修正をすることで近似の改良を測るものである。この試みには図形情報の扱いにくい局面が含まれており、直感的にわかる部分をどうとらえるかということが、情報の非視覚化における問題として残る。具体的にはグラフを比較したときに与える(元となる確率過程のグラフに対して、推定した分布のグラフが複数表示されるとき)違和感に対して、どのような非視覚化が可能かということが現状の最大の問題である。この問題はこの研究の次の段階の問題として継続的に扱うものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

① 福田亮治、岡 薫、複数の順位情報に基づく評価関数の推定、知能と情報(日本知能情報ファジィ学会学会誌)、査読有、22 巻、2011、604-611

② Ryoji Fukuda, Akihiro Miura, Ubiquitous Mathematical Graphic Viewer for Visually Impaired Students, Proceedings of the 16th ATCM, 査読有, 2011, 365-372

③ Ryoji Fukuda, Kaoru Oka, Monte-Carlo Simulation of Error Sort Model, Nonlinear Mathematics for Uncertainty and its Applications, 査読有, 2011, 479-486

④ Masaya Nohmi, Aoi Honda and Yoshiaki Okazaki, On generating functions of two-dimensional T-norms, Nonlinear Mathematics for Uncertainty and its Applications, 査読有, 2011, 727-634

⑤ K. Oka, R. Fukuda, Reducing Points In a Handwritten Curve (Improvement in a Note-taking Tool), Proceedings of the 15th ATCM Conference, 査読有, 2010, 349-356

⑥ 乃美正哉、本田あおい、岡崎悦明、 t -ノルムおよび t -コノルムから導出される行列演算とその応用、日本知能知能と情報(日本知能情報ファジィ学会学会誌)、査読有、2010、66-74

⑦ Ryoji Fukuda, Koji Nii, Handwriting Tool For Note Takers In Mathematics Classes, , Proceedings of the 14 th ATCM, 査読有, 2009 255-26 I

[学会発表] (計 3 件)

① 本田 あおい、Mario Köppen、ファジィ積分による fairness の表現、第 16 回曖昧な気持ちに挑むワークショップ、2011 年 11 月 11 日、専修大学 富士山中湖セミナーハウス

② 福田亮治、数式に対応するグラフ構造の最適化、第 15 回 曖昧な気持ちに挑むワークショップ、2010 年 10 月 23 日、関西大学 飛鳥文化研究所

③ 福田亮治、有向グラフエディタによる図形情報の表現、第 14 回 曖昧な気持ちに挑むワークショップ、2009 年 11 月 6 日、関東学院大学 関内メディアセンター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 亮治 (FUKUDA RYOJI)

大分大学・工学部・准教授

研究者番号：70238492

(2) 研究分担者

岡崎 悦明 (OKAZAKI YOSHIAKI)

九州工業大学大学院・情報工学院・教授

研究者番号：40037297

本田 あおい (HONDA AOI)

九州工業大学大学院・情報工学院・准教授

研究者番号：50271119