

手書きした磁力線を自動採点するシステムの開発とその教育評価

Automatic Scoring System for Lines of Magnetic Force

Written by a Learner's Hand

研究代表者 香川高等専門学校 準教授 天造秀樹

Hideki Tenzou

The purpose of this study was to develop a prototype of an automatic scoring system for handwritten lines of magnetic field. It's difficult to score automatically for handwritten lines by image recognition method. In this paper, a new method was proposed to score handwritten lines generated by the virtual magnetic source attached on a paper. It's effective educational method for learners to be assessed for their handwritten lines generated by some magnetic sources at any points on the paper. It is, however, labor works for their teacher of his class to score with accuracy within the class constrained by time. The new system can compare a tangential line of handwritten lines with calculated lines. The system needs a conventional Windows PC, a white paper, and small circle seals. As the first step, the learner attaches some seals with two types of color on a white paper. The seals indicate two kinds of virtual point magnetic charges on the paper. As the second step, the learner imagines the lines of magnetic force on the paper and draws the lines by using his black pencil. After the handwritten paper is scanned by using scanner, the positions of the magnetic charges are searched by image recognition and calculated the two dimensional distribution of magnetic field. Finally, the tangible line was compared for each pixel point on the line and the degree of coincidence with ideal tangential lines at each pixel was calculated to score the lines written by the learner.

As a result, it was confirmed that the system can automatically create a graphic composite image proportional to the score on each hand writing lines based on scanned original paper image for the case of dipole field.

要旨

本研究の目的は、学習者によって描かれた磁力線を自動採点するシステムの試作開発である。手書き線を画像認識を用いて、自動採点することは難しい。本論文では、A4用紙に学習者が任意で貼った丸シールを仮想磁気源と仮定し、その仮想磁気源によって発生する磁力線を学習自ら手書きで描き自動採点する新しい方法を提案する。

学習者が実際に磁場を想像し自身の手によって磁力線を描くことは、電磁気学への理解を深めることにつながるため教育的に非常に効果的である。そのため、学校の授業で磁力線を生徒が描く機会があるが、各生徒が描いた磁力線を限られた授業という時間の中で先生が正確に採点し、生徒たちが本当に理解できているかどうか把握することは困難だ。私たちが提案するシステムでは、生徒たちが描いた磁力線の接線と専用プログラムによって計算された理想的な磁力線とを比較し正確に採点することができる。

本システムは、従来のWINDOWS PC、スキャナ、A4用紙、小さな丸シール、黒の鉛筆で構成される。まず、学習者は白のA4用紙上に青色と

赤色の2種類の丸シールを任意で貼り付ける。この丸シールが仮想点磁荷を表している。次に、任意で貼った仮想点磁荷である丸シールによって発生する磁場での磁力線を想像し、黒の鉛筆を使って線を描く。スキャナを用いて磁力線が描かれたA4用紙をスキャンした後、画像認識プログラムによって仮想点磁荷である丸シールの各位置情報を取得し、磁界の2次元分布を算出する。最後に、学習者によって描かれた磁力線の各ピクセルと、各ピクセルにおける理想接線との一致度を算出して採点する。結果として、スキャンされた双極子場の場合のオリジナル画像をもとに、各手書き線上の点数に比例したグラフィック合成画像を自動的に生成されることが確認できた。

1. まえがき

磁力線の概念は、よく磁荷によって生成される磁場上でどのように力が作用するかを説明するために用いられる。目に見えない物理現象を理解しようとする初心者にとって、点磁荷の周りで発生する磁力線を正確に描くことは電磁気学への理解を深めるた

めに重要な技術として、複雑な磁場においても正確な磁力線を計算し描画することのできるいくつかのシミュレーションツールや実際に磁石と砂鉄を用いて実験を行う方法⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾がある。学習者はこれらのシミュレーションツールや実験を通して、正確な磁力線を確認することができる。しかし、これらの方法では学習者の理解度を客観的に評価することはできない。教育の有効性を最大限に高める観点から、計算や実験結果を観察する前に学習者自ら作成した様々な磁場において、発生する磁力線を想像し何度も描く必要がある。そこで、本研究では学習者の理解度を評価するために、学習者によって描かれた磁力線を採点する新しい評価アルゴリズムに基づく自動採点システムを試作することを目的とする。本論文では、磁気双極子の場合での磁力線である手書き線のサンプルについて、新しい評価アルゴリズムを提案し、実証した。

2. 自動採点システム

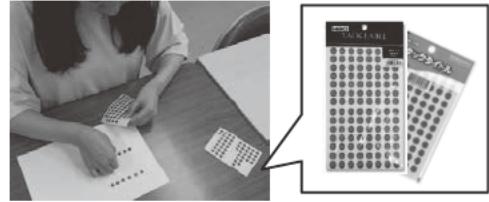
2.1 システム概要

新しい評価アルゴリズムを検証するために、試作システムを開発した。図1は、自動採点システムのシステム概要である。図2は、手書きの線を評価するための新しいアルゴリズムである。このシステムは以下のように使用される。

最初に学習者はA4紙の任意点に円型シールを貼付する。赤と青のシールはそれぞれN極とS極の磁性体を表している。試作システムでは、画像認識の手順が複雑になるのを避けるために、各シールの重複は考慮しない。第二段階として、学習者は鉛筆を使ってシールを貼った紙に磁力線を描く。第三段階では、記入した用紙を300dpiのJPEGとして保存する。最後に、スキャンしたファイルのノイズを除去し、イメージファイル上の各シールの中央と手書き線のピクセル情報を画像認識技術により取得する。このシステムでは各シールの中央を仮想磁性体としている。ピクセルの位置(i, j)における磁力は式(1)に従って計算する。

$$H(i, j) = \frac{1}{4\pi\mu_0} \sum_{n=1}^N \frac{m_n}{((i - i_{cn})^2 + (j - j_{cn})^2)^{\frac{3}{2}}} (i - i_{cn}, j - j_{cn}) \quad (1)$$

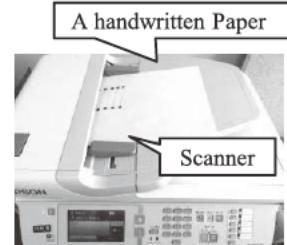
N は点磁荷の数を、 (i_{cn}, j_{cn}) はn番目の点磁荷を示す。磁界を計算した後、式(2)に従い、学習者にとって模範解答となる磁力線を計算して表示する。



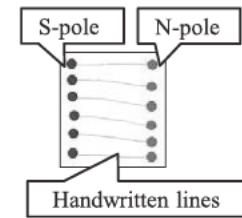
Step 1. A learner put circled seals on a paper. Red and blue seals are N-pole of magnet charge and S-pole, respectively.



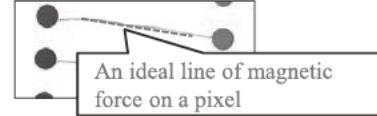
Step 2. The learner uses a black pencil to draw lines of magnetic force.



Step 3. The paper is scanned and saved as a JPEG file.



Step 4. Magnetic charges and lines are recognized by image processing.



Step 5. Assessment for handwritten lines of magnetic lines by comparison with the tangent line of ideal line on each pixel.

図. 1 システム概要

$$(i_{k+1}, j_{k+1}) = (i_k, j_k) + \frac{\mathbf{H}(i_k, j_k)}{|\mathbf{H}(i_k, j_k)|} ds \quad (2)$$

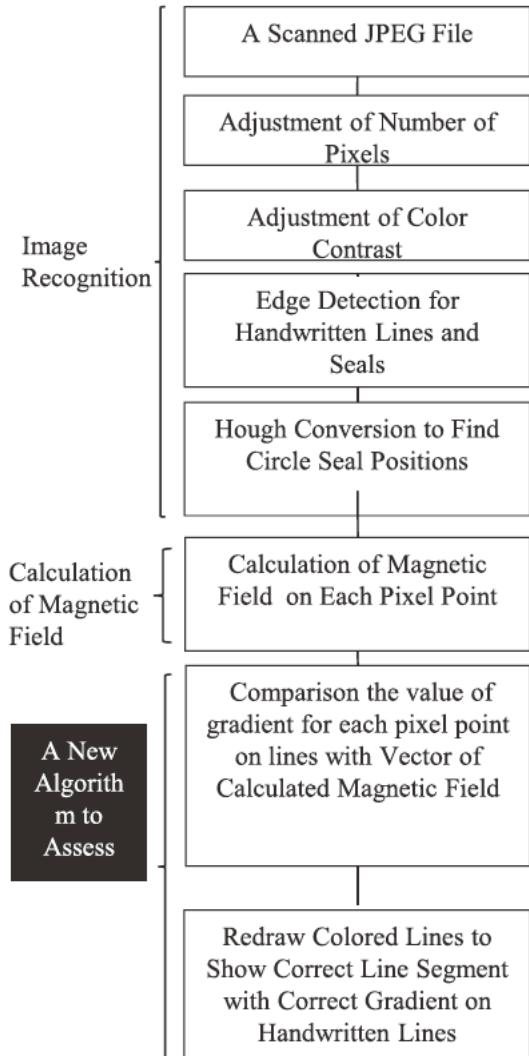


図. 2 手書きの磁力線を評価する新しいアルゴリズム

二次元ピクセルが (i_k, j_k) に連携している場所が k th の計算段階での磁力線上の位置であり、 (i_{k+1}, j_{k+1}) が磁力線に沿って次の ds 移動後における位置である。線は (i_k, j_k) における磁力の単位ベクトルに対する微少長さ ds を起源とする連続した計算結果により得られる。始める位置は等方的に各シールの半径に設定される。計算後、磁力の手書き線は新しい評価アルゴリズムによって、スコア化される。

2. 2 手書き線を評価するための新しいアルゴリズム

図3は手書きされた磁力線を評価する手順である。黒い丸は学習者が描いた黒い線上のピクセルを示している。赤い丸は評価の対象となるピクセル (i, j) である。鉛筆で描かれた黒い線は対象範囲における評価するピクセルの計算された磁力ベクトルからのそれぞれの距離 L_{mn} の合計が評価するピクセル (i, j) におけるエラーに比例しているとするために一定の太さである。対象範囲中の黒いピクセル (m, n) と $H(i, j)$ からの距離である L_{mn} [pixel]は式(3)に従って計算される。

Black Circles Mean the Pixel on a Line Written by Learner's Hand

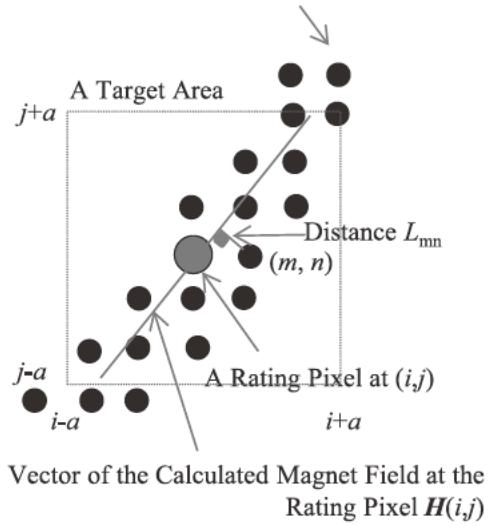


図. 3 新しい成績計算方法

$$L_{mn} = \frac{|H_y(i, j) \cdot (m - i) - H_x(i, j) \cdot (n - j)|}{|\mathbf{H}(i, j)|} \quad (3)$$

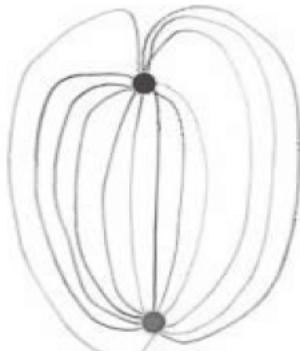
対象範囲における黒い丸の内側の L_{mn} の合計は式(4)に従い D_{ij} [pixel]と定義される。 D_{ij} は手書きした磁力線のスコア化に良いパラメーターであると言える。

$$D_{ij} = \sum_{m=i-a}^{i+a} \sum_{n=j-a}^{j+a} L_{mn} \quad (4)$$

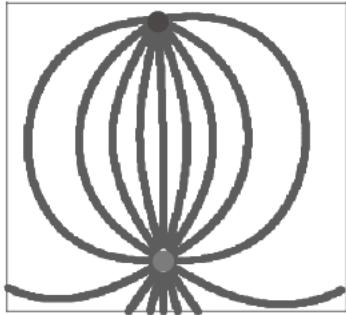
3. 検証

新しい評価方法の効果を検証するために図4—

(a)の画像を用意した。赤と青のシールの一組をA 4の用紙に貼った。それぞれのシールはN極とS極の点磁荷を示している。画像認識の後、理想の磁力線が算出され、図4-(b)に示した通り、システムがグラフィックファイルを作成する。典型的な磁気双極子の16本の線が認められる。 D_{ij} は用紙上の各黒いピクセルに対して計算される。 D_{ij} が50以下、100以下、400以下となるピクセルの位置をそれぞれ図5-(a), (b), (c)に示した通り出力した。識別パラメーター D_{ij} は理想的な磁力線からのズレの程度をあらわしていると推測できる。図6に示した通り、手書き線における D_{ij} 値の二次元分布図が作成された。図4-(b)との比較により、理想的な磁力線と似たピクセルは赤い線としてよく現れるということも分かった。赤または青のシールの内側にある線は手書き線を評価するのに排除している範囲なので、低いスコアになるようだ。

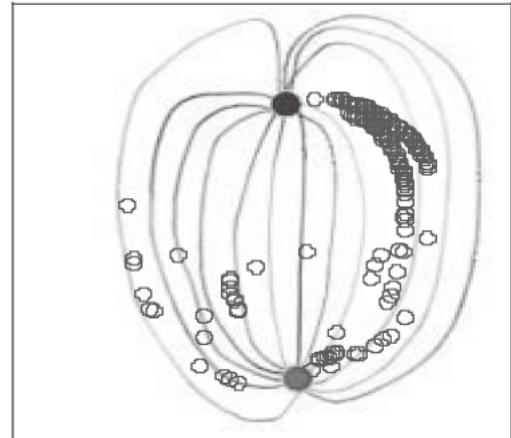


(a) An scanned original image

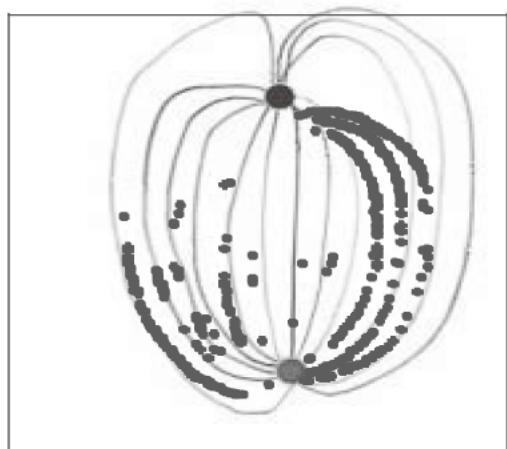


(b) Ideal lines of magnetic force (green lines)

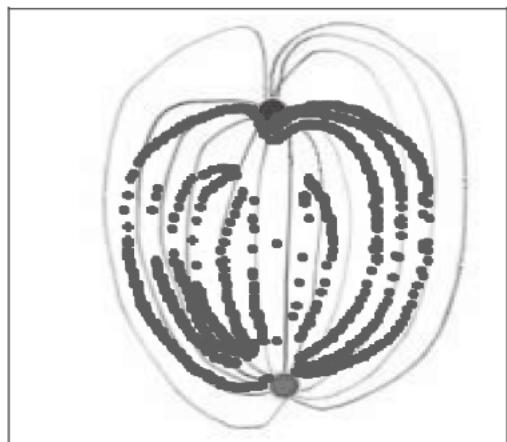
図. 4 式(2)を用いて計算した結果



(a) $D_{ij} < 50$



(b) $D_{ij} < 100$



(c) $D_{ij} < 400$

図. 5 スキャンした画像サンプルに対して自動採点した結果（灰色の線が手書き部分）



図. 6 手書きの磁力線上の D_{ij} の値の2次元分布図

本研究成果は2017年9月7日から12日にアメリカ、ハワイで開催された画像処理に関する国際学会 The 5th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2017(ICISIP2017)にて口頭発表を行い、Best Presentation Awardを受賞した。図7に賞状を記す。



図. 7 ICISIP2017にてBest Presentation Award(ベストプレゼンテーション賞)

4. 結論

本研究の目的は、学習者の手書きによる磁力線の自動採点システムを開発することであった。本論文では、A4紙に貼付された仮想磁力源から生じる手書きの磁力線を採点するための新しい方法を提案した。私たちの新しい方法は手書き線の接線と算出された磁力線を比較することが出来る。

学習者は紙上の磁力線を想像することができ、精

密な計算結果と比較する前に鉛筆で線を引く。結果として、双極場の場合には、スキャンした元の画像を基に各手書き線におけるスコアに応じたグラフィック画像を作成することを確認した。今後は、手書き線の対称性の評価を視野に入れていきたい。

発表論文

- [1] Ayumi Nagoshi, Hideki Tenzou, Tatsuhiko Miyatake, Junya Kuroda, and Yusuke Kunimi, "Automatic Scoring System for Lines of Magnetic Force Written by a Learner's Hand", The 5th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2017 (ICISIP2017), pp. 461–464, The Institute of Industrial Applications Engineers (IIAE), Hilton Waikiki Beach Hotel, Waikiki, Hawaii, USA, 2017年9月, Best Presentation Awardを受賞

参考文献

- (1) E. Okayama, V. Cingoski, S. Noguchi, K. Kaneda, and H. Yamashita : "Interactive Visualization System for Education and Design in Electromagnetics," IEEE Trans. Magn., vol. 36, no. 4, pp. 995–999, 2000.
- (2) J. Lu : "High Performance Computation and Interactive Visualization of Electromagnetics for Engineering Education Programs," IEEE Trans. Magn., vol. 48, no. 2, pp. 299–302, 2012.
- (3) M. Hafner, M. Schöning, M. Antczak, A. Demenko, and K. Hameyer : "Methods for Computation and Visualization of Magnetic Flux Lines in 3-D," IEEE Trans. Magn., vol. 46, no. 8, pp. 3349–3352, 2010.
- (4) D. Buendgens, A. Hamacher, M. Hafner, T. Kuhlen, and K. Hameyer : "Bidirectional Coupling Between 3-D Field Simulation and Immersive Visualization Systems," IEEE Trans. Magn., vol. 48, no. 2, pp. 547–550, 2012.
- (5) Shinya Matsutomo, Kenta Mitsufuji, Yuta Hiasa, and So Noguchi : "Real Time Simulation Method of Magnetic Field for Visualization System With Augmented Reality Technology", IEEE Transactions On Magnetics, 49(5): 1665–1668, 2013