

段階的な診断を行う拡張現実感を用いたスケッチ学習支援環境の構築

Development of Sketch Learning Support Environment
Using Augmented Reality and Step-by-Step Drawing稲留 太郎^{*1}
Taro Inadome曾我 真人^{*2}
Masato Soga瀧 寛和^{*2}
Hirokazu Taki^{*1} 和歌山大学大学院システム工学研究科^{*2} 和歌山大学システム工学部^{*1} Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University^{*2} Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

We developed a new sketch learning support environment. The new system inherited the feature of free composition by a learner with use augmented reality. Furthermore, new system considered step-by-step drawing. Thereby new system can offer three kinds of information, region, direction, and size of an error. Moreover, the new system supports new interface for operation.

1. はじめに

1.1 プロジェクト発足の背景

スケッチ学習を行うためには、どのような手段が考えられるだろうか。現在の環境から思いつくのは、絵画教室に通うこと、インターネットを利用して通信教育を受けること、そして書籍を購入し独学することという3つの手段が考えられる。

しかし、これら従来の学習方法はいずれも金銭的な問題や学習効果という点での問題を抱えていた。そこで我々の研究グループは、今からおよそ10年ほど前に、初心者者のスケッチ学習を絵画教師に代わって支援するコンピュータシステムの構築を目的としたスケッチ学習支援システムプロジェクトを発足した。本プロジェクトが目指したものは、絵画初心者者が「設定した構図に対し忠実に輪郭線を描画できる」スキルを高めることのできるシステムを構築することである。

1.2 先行研究

現在、PCを用いて仮想のキャンバスにスケッチや絵画の描画を行うための道具には様々なものがある。Bill Baxterらは力覚提示装置 Phantomを用いてスタイラスペンを絵筆に見立てて操作することによって仮想空間内の絵筆を操作し、仮想のキャンバスに絵を描くことのできるシステムを開発している[Baxter 2001]。このシステムは従来のペイント系ツールの最高峰にあるシステムとして位置付けることができる。しかし、このシステムであっても絵を描くための道具に留まっており、スケッチ学習を支援するための情報提示は行わない。

我々の研究グループは、スケッチ学習を支援するシステムを様々なアプローチから開発しており、これらは他に類を見ないものとして評価されてきた。そこで、本プロジェクトが残した先行研究について紹介する。

最も初期に構築されたシステムは、学習者が描いた絵に対して診断を行い、その結果から誤りから改善のアドバイスを提示するものであった。学習者は椅子に座り、机の上から目の位置までの高さを計測してシステムに入力すると、システムが視点から見えるモチーフの見え方を計算で求め、正解となるデッサン画のモデルを作成する。そして、正解と学習者が描いたデッサン画のずれに応じて最適なアドバイスをデータベースから引き

出して学習者に提示するものであった[曾我 2005][高木 2003]。

このシステムは評価実験を通して有効性が確認されたが、欠点があった。スケッチが終了してからアドバイスを提供するため、誤りがあった場合ははじめから描き直さなければならず、学習者のモチベーション低下を招いていた。

そこで、次にスケッチを行う際に診断とアドバイスをを行うシステムが開発された。これは、ペンタブレット上に画用紙を固定し、付属のタブレットペンの先に鉛筆の芯を取り付けたペンを使用してスケッチ画を描くというものであった。このシステムは、描画途中にアドバイスをを行うため、学習者が構図などで大きな誤りを犯すのを未然に防ぐことができた[曾我 2008]。

このシステムの問題点は、学習者にはじめからモチーフの輪郭線を描かせることであった。絵画初心者にはじめからモチーフの輪郭線を描かせるも、全体の構図を認識しつつ、モチーフ間の位置関係や大きさの関係を考慮しながら均整の取れた絵を描くスキルを向上させるのは困難であると判断された。

この問題を受けて、次のシステムでは概略形状から詳細形状への描画誘導が考慮された。このシステムでは、まず学習者にモチーフ全体の外接長方形を描かせる。その後、その長方形に対するアドバイスを提示し必要に応じて修正させる。そして、各モチーフの輪郭線を描かせるというように、概略形状から詳細形状への描画を誘導した[Kuriyama 2009][栗山 2009]。

ここまでのシステムには共通した問題があった。それは、スケッチを行うモチーフの皿とコップの配置がが予め決められた有限個数のパターンからしか選択できないという問題を引き起こしていた。さらに、学習者の視点の位置も決められていた。これは、学習支援情報の提供には入力画と正解画との比較が不可欠であり、正解画をシステムが求めるには描くべき構図をシステムが計算できなければならないためである。そのため、システムを運用する環境(モチーフと椅子の位置、机と椅子の高さなど)を学習者の座高に合わせて詳細に調整しなければならなかった。また、使用できるモチーフも皿とコップだけに限定されていた。

そこで、次のシステムには拡張現実感(Augmented Reality)が利用された。ARによってモチーフを現実のものから仮想のものに置きかえることで、モチーフの種類や配置、学習者の視点に関わらずコンピュータで正解画を計算できるようになった。システムに拡張現実感を利用したことで、学習者が決定できる構図の自由度は飛躍的に向上した[SHIROUCHI 2011][城内 2010]。

連絡先: 稲留太郎, 和歌山大学大学院システム工学研究科,
和歌山県和歌山市栄谷 930, 073-457-7007

1.3 先行研究の問題点と改善の提案

本研究が掲げる新たな目標は「拡張現実感の利用と段階的な描画誘導の双方をどちらも実装すること」「部位・方向・誤差の情報を全て含んだサポート情報の提供」「操作性の向上」である。

概略形状から詳細形状への描画誘導を考慮した過去のシステムでは、拡張現実感を利用していないため利用できる構図に限られる。拡張現実感を利用した過去のシステムでは、概略形状から詳細形状への描画誘導が考慮されていないため学習者が全体的に均整の取れた絵を描くスキルの向上が難しい。そこで、過去のシステムがそれぞれ持っていた長所を全て受け継ぐよう、システムを新たに構築し直した。学習者が段階的な描画を自然に身に付けることができるようにするため、システムを4つのモード(状態)に分割して操作できるようにした。

過去のシステムでは、学習者の入力に対し、学習支援のためのサポート情報として以下のようなアドバイス文を生成していた。

【そこは、コップの側面です。】

このアドバイス文は、学習者の入力がどのモチーフのどこに最も近かったのかという「部位」の情報を含んでいる。しかし、このアドバイス文からは、学習者が今入力した点が表示される部位から見てどの方向にずれていたのか、どれぐらいずれていたのか全く分からない。また「側面」という表現だけではそれが右側の側面なのか左側の側面なのかということも判断するのは不可能である。

本システムは、入力した箇所に最も差異が小さかったのはどこかという誤りの「部位」、その部位からみてどちらに最も大きくずれているかという誤りの「方向」、そしてその方向にどれぐらいずれていたのかという誤りの「大きさ」(誤差)の3つの情報を詳細に求めることができる。そのため、本システムが生成するアドバイス文は例えば以下ようになる。

【コップの側面の右端です。左に4ミリずれています】

このアドバイス文は誤りの「部位」「方向」「大きさ」の3つの情報を全て含んでいる。

また、先代のシステムは操作のインターフェースにキーボードを用いていたが、これは操作を行いつづらぬものであるとして不評であった。そこで、本システムは操作を全て Wii リモコンでも行えるようにしており、より直感的に学習者が操作できるよう改善されている。

2. 機能

2.1 描画誘導機能

概略形状から詳細形状への段階的な描画誘導を考慮するため、システムを以下の4つの段階に分割した。

1. 初期状態
2. 全体の外接長方形表示モード
3. 各モチーフの外接長方形表示モード
4. 各モチーフの輪郭線表示モード

学習者はこの順番に従って描画作業を行う。システムを起動した直後は「初期状態」である。学習者が任意の視点で構図を決定すると、システムは「全体の外接長方形表示モード」に移行する。この順番に従って描画を行うことで、学習者は最終的にモチーフの輪郭線が描画できるようになっており、自然に段階的な描画を身に付けることができる。各モードへの移行は、学習者が任意のタイミングで行える。

2.2 アドバイス情報の提供

システムは以下のサポート情報を、いずれも描画中リアルタイムに提示できる。

- 現在描画すべき輪郭線
- 学習者がペンタブレットに入力した位置
- 学習者の入力と正解画のずれ

まず、システムは「初期状態」を除く各モードに対応した各種輪郭線を赤色の線によって表示する。これが、現在学習者が描画すべき輪郭線を表している。例えば、各モチーフの外接長方形表示モードでは、図1のように輪郭線が表示される。

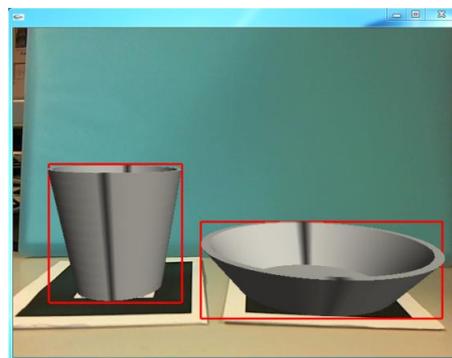


図1 各モチーフの外接長方形表示モード

次に、システムは学習者がペンタブレットに入力を行った際、入力がどの位置であったかをディスプレイ上に水色の点で表示する。これと前述した輪郭線表示の機能により、学習者は自分が入力した点と正解の輪郭線とのずれがどれぐらいであったかを、視覚的に把握することができる。

そして、システムは学習者の入力した点と、構図を決定した際に計算で求めた特徴点(ここではモチーフの輪郭線を構成する点のこと)から、そのずれの度合いを表すアドバイス文を生成することができる。前述したように、このアドバイス文には学習者にとって必要な「部位」「方向」「誤差」の情報を全て含んでいる。生成されたアドバイス文は、文字と、音声読み上げソフト LaLaVoice による音声の2通りで出力する。これによって学習者は自分の入力と正解画とのずれを視覚と聴覚の両面から把握することができる。また、サポート情報の表示の有無は、学習者が任意に切り替えることができる。これにより、描画スキルの向上に応じてサポート情報の提示をなるべく非表示にして、描画の練習を行うことにより、より効率的に学習できる。

3. システム構成と処理の流れ

3.1 システム構成

システムは、PC、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)、Webカメラ、ペンタブレット、Wiiリモコンを図2のように組み合わせて使用する。

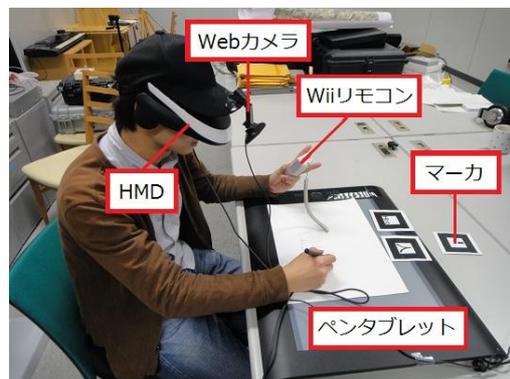


図2 システム構成

3.2 座標の抽出

システムは、Metasequoia で生成されたモチーフを持つ頂点の情報を、起動時に自動で抽出することができる。このとき重要なのは、頂点を抽出すると同時に特徴点を求めなければならないということである。輪郭線は特徴点の集合によって表現されるためである。これを実現するため、本研究では以下の2つの概念を用いてモチーフを構成する頂点とオブジェクトをタイプ分けする。

- EDGEタイプ
- SURFACEタイプ

EDGEタイプとは、2つの面が角を作り出し、輪郭線として描かれるべき部分のことである。SURFACEタイプとは、連続した面の一部が、視点によって輪郭線として現れる部分のことである。

2つのタイプ分けを、コップを例に挙げて説明する。図3の左の図のように、コップの淵と底の部分は、周囲の2面が角を作り出し、輪郭線として描かれるためEDGEタイプとなる。それに対しコップの側面部分は、連続した面の一部が視点によって輪郭線として現れるためSURFACEタイプとなる。図3の右側はコップの展開図である。EDGEタイプは展開図においても淵の部分になっているのに対し、SURFACEタイプは面として現れる。

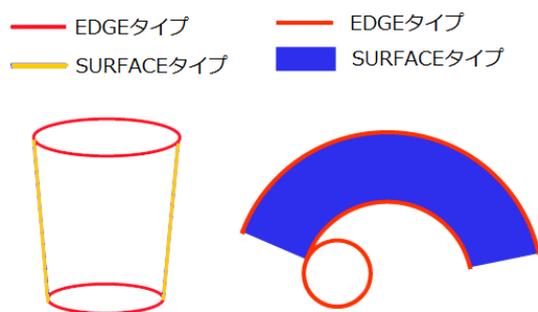


図3 輪郭線のタイプ

このような定義によって頂点をEDGEタイプとSURFACEタイプに分類した後、SURFACEタイプの頂点のみにY座標が等しいもの同士でグルーピング処理を施す。すなわち、モチーフの側面部分にあたる部分の頂点を、高さが等しいもの同士でまとめる。

なぜこのような処理を行うのかという理由の説明については3.4節に譲るが、ともかくこのような処理を経て各頂点は、そのタイプや自身が属するオブジェクトの名称、座標値や点の総数など、以降の処理に必要な様々な情報をモチーフデータから抽出し格納していく。

3.3 座標変換

学習者が構図を決定した際にシステムが行うことは大きく「座標値の変換」と「特徴点の抽出」の2つがある。特徴点の抽出は、座標値の変換によって変換された座標値を用いて計算する。そして、座標値の変換は起動時に抽出した頂点の情報を用いて計算する。

Metasequoia で生成したデータから学習者に表示するデータに座標値を変換するために、以下の5つの座標系に分類し、段階を分けて座標変換を行う。

1. モチーフ座標系
2. マーカ座標系
3. カメラ座標系

4. デッサンスケール座標系
5. スクリーン座標系

「モチーフ座標系」はMetasequoiaでのモチーフを扱う座標系であり、抽出した座標ははじめこの座標系で表される。「スクリーン座標系」は学習者に表示されるディスプレイ上の座標系でありペンタブレットの入力座標とも一致する。座標変換処理は、最終的にこの座標系に変換することを目的とする。

(1) モチーフ → マーカ座標系

Metasequoiaの座標系は高さ成分をY軸としたXYZの3軸で表現されており、pixel単位である。それに対し、ARの仮想空間はマーカを水平に置いたときの鉛直上方向をZ軸としたミリ単位の3軸である。そこで、頂点情報のY座標値とZ座標値を入れ替え、全ての値をミリ単位に変換する。

pixelからミリ単位への変換定数は、データ上のピクセルサイズが72dpiで表現されており、1インチが25.4ミリであることから、後者を前者で割ることで求められる。

(2) マーカ → カメラ座標系

システムは、カメラ映像内のマーカの移り方から、原点〜マーカの位置までの幾何変換行列をフレームごとに求めている。この変換行列を座標値に掛け合わせることで座標を変換する。

(3) カメラ → デッサンスケール座標系

デッサンスケールを通して見えるモチーフの形状を求めるため、カメラ座標系で表された座標値をデッサンスケール平面について透視変換する。デッサンスケールまでの距離とモチーフまでの距離の割合を求め、その値を掛け合わせる。この処理によって、デッサンスケールの中央を原点とした2次元座標に変換される。

(4) デッサンスケール → スクリーン座標系

スクリーン座標系は、表示されるウィンドウの左下を原点とし、右方向をX、上方向をYとする座標系である。デッサンスケールの枠の大きさと、ウィンドウの大きさの比を掛け合わせ、原点との差分を足し合わせることで変換する。

3.4 特徴点の抽出

スクリーン座標系に変換した座標値を用いて、頂点のタイプごとに異なる方法で特徴点を抽出する。

EDGEタイプの頂点は、輪郭線に現れる可能性が高いため、その全てを特徴点とする。

SURFACEタイプの頂点は、輪郭線として現れるのは右端と左端の部分だけであるため、全てを特徴点として扱うわけにはいかない。そこで、グルーピングされたSURFACEタイプの頂点情報を用いる。

Y座標が等しいもの同士でグルーピングされた頂点のうち、X座標がグループ内で最大・最小となるもののみを特徴点として抽出する。グループ内でX座標が最大の頂点は右端、最小の頂点は左端として輪郭線に現れる。

このようにして、まず「各モチーフの輪郭線」が抽出される。これをもとに「全体の外接長方形」と「各モチーフの外接長方形」を生成する。全体の外接長方形なら全てのモチーフの、各モチーフの外接長方形なら各モチーフの、それぞれ特徴点の中でXY座標が最大・最小となる頂点を抽出する。これを四隅の頂点とし線で結ぶことで外接長方形が生成される。

3.5 アドバイス文の生成

アドバイス文の生成手法について解説する。システムは、アドバイス文を生成するために「システムの状態」「学習者が決定した構図」「学習者の入力」という 3 つの情報を用いて計算を行う。

学習者の入力(描画)を受け付けたら、システムは現在のモードに応じて検索すべき特徴点の群を判断する。検索できる群は「全体の外接長方形」「各モチーフの外接長方形」「各モチーフの輪郭線」の 3 つである。

システムは、検索すべき特徴点の群を判断した後、入力点と各特徴点を比較し、ピタゴラスの定理によって最も距離の小さい特徴点を見つけ出す。

各特徴点は、それぞれ自身が属する部分の名称の情報を有している。これは、「全体の外接長方形」「各モチーフの外接長方形」を構成する頂点ならばモチーフに関わらず必ず「上辺」「下辺」「左辺」「右辺」のいずれか、「各モチーフの輪郭線」を構成する頂点ならばオブジェクト名(「コップの淵」など)である。この最も入力点に近い特徴点の属する部分が、アドバイス文を構成する「部位」の部分となる。

最も近い特徴点の探索が終わったら、次にシステムは入力点の特徴点から見てどの方向にずれているのかを求める。まず入力点が上下と左右のそれぞれどちらにずれているかを、入力点と特徴点の上下なら Y 座標、左右なら X 座標の値を比較することによって求める。さらに上下方向と左右方向のずれの値を比較する。そのどちらが大きいかによって、部位から最も大きくずれている「方向」を判断する。

方向を判断したら、その方向同士の座標のずれを求め、これを入力点と正解画の「誤差」とする。ただし、この時点でずれの情報は浮動小数まで求めた pixel 単位のものであり、アドバイス文としてそのまま用いるには初心者に分かりづらいため、小数点以下を切り捨てミリ単位に直したものを誤差とする。

以上の方法によって「部位」「方向」「誤差」の情報を求めた後、これらを以下のように組み合わせてアドバイス文を生成する。

【そこは[部位]です。[方向]に[誤差]ミリずれています】

4. 評価実験

4.1 実験と分析の流れ

本システムの有用性を確かめるため、24 人の被験者を募り実験群と統制群の 12 人ずつのグループに分けて評価実験を行った。被験者が学習によってどれだけ上達したかを確かめるため「皿の外接長方形の横幅」や「コップの外接長方形の重心距離」などの 8 つの評価項目を設けて「上達の度合い」を示す独自のパラメータを作成した。

実験は練習を挟んで前後に 1 回ずつのスケッチを行い、分析画像を作成して 8 つの評価項目においてそれぞれ誤差を求めた。この誤差が小さいほど上手く描けたと判断され、練習後の誤差が練習前の誤差より小さかった場合に「上達した」と判断される。この値を上達の度合いとして、被験者がどれだけ上達したかを計るパラメータとした。

4.2 分析結果

表 1 と表 2 はそれぞれ実験群と統制群の皿とコップの項目ごとの上達の度合いを表している。実験の結果、8 つの項目全てにおいてシステムを利用した被験者の上達の度合いが、書籍による独学を行った被験者の上達の度合いを上回った。しかし、t 検定による母平均の差は見られなかった。

表 1 皿の上達の度合いの平均値

	横幅	縦幅	淵幅	距離
実験群	1.16	0.18	0.18	0.73
統制群	0.46	-0.89	-0.63	0.43

表 2 コップの上達の度合いの平均値

	横幅	縦幅	淵幅	距離
実験群	0.03	0.01	-0.08	1.18
統制群	-0.17	-0.45	-0.57	-0.28

また、被験者にアンケートを実施し、システムに対して 5 段階で評価を行ってもらった。アンケートではシステムの主要な機能に対し 4 点以上の高評価を得た。SUS によるユーザビリティ評価では 100 点満点のうち平均 68.55 点を獲得した。システムに対する不満点としては、HMD や Web カメラなどの機材を頭に装着する必要があるため、利用しているあいだ負担になってしまふという意見が最も多く聞かれた。

5. まとめ

評価実験を通して、開発したシステムによるスケッチ学習は、従来の学習方法と同等以上の効果があることが確認された。また、システムのユーザビリティ向上のため、機材による負荷を取り除く必要があることが判明した。

参考文献

- [Baxter 2001] William V. Baxter, Vincent Scheib: "Interactive Haptic Painting with 3D Virtual Brushes", Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.461-468 (2001)
- [曾我 2005] 曾我真人、瀧寛和、松田憲幸、高木佐恵子、吉本富士市: "スキルの学習支援と学習支援環境", 人工知能学会誌 Vol.20 No.5, pp.553-540 (2005)
- [高木 2003] 高木佐恵子、松田憲幸、曾我真人、瀧寛和、志摩隆、吉本富士市: "初心者のための基礎的鉛筆デッサン学習支援システム", 画像電子学会誌, 第 32 巻第 4 号 pp386-396 (2003.8)
- [曾我 2008] 曾我真人、松田憲幸、瀧寛和: "デッサン描画中に描画領域に依存したアドバイスを提供するデッサン学習支援環境", 人工知能学会論文誌, Vol.23, No.3, pp.96-104 (2008.3)
- [Kuriyama 2009] Kuriyama Shota, Masato Soga, Hirokazu Taki: "Sketch Learning Environment with Diagnosis and Drawing Guidance from Rough Form to Detailed Contour Form", TRANSACTIONS ON EDUCATION III, Lecture Notes in Computer Science, pp.129-140, Springer (2009)
- [栗山 2009] 栗山翔太、曾我真人、床井浩平、松田憲幸、瀧寛和: "スケッチ学習における概略形状から詳細形状への描画誘導と診断助言機能の構築と学習支援効果の検証", 第 23 回人工知能学会全国大会, 1K1-OS8-11 (2009)
- [SHISHOUCHI 2011] Kazuya SHIROUCHI, Masato SOGA, Hirokazu TAKI: "AR-supported sketch learning environment by drawing from learner-selectable viewpoint", ICCE2010, pp.533-542 (2010,11)
- [城内 2010] 城内和也、曾我真人、瀧寛和: AR で自由に決定した視点位置でのスケッチ描画を支援する学習支援環境, 情報処理学会インタラクション 2010, CD-ROM (2010)