バーチャルリアリティを用いた書道習得のための 教育的応用システムの構築

非会員 吉 田 知 史 (関西大)

正 員 村 中 徳 明 (関西大)

正 員 今 西 茂 (関西大)

A Construction of Educational Application System for Calligraphy Master
based on Virtual Reality

Tomofumi YOSHIDA, Non-member, Noriaki MURANAKA, Member, Shigeru IMANISHI, Member
(Kansai University)

Technique of virtual reality has been becoming popular in various fields including education because of its remarkable technique progress. There are the three useful elements of "presence", "interaction" and "autonomy" in realizing the virtual reality. Here, we are focusing on the "presence" in constructing a simple supporting system for calligraphy education. We take advantage of the virtual image with reality to use as an educational interface because the virtual image and the real image are overlapped by showing the visual scene in the system.

It is general that the unity of the virtual image and the real image has been processed as the stationary pictures by using "See-through HMD" and so on. In this paper, by using half mirror in stead of using the HMD with restraint, we are released from its restrainable sense. The virtual image and the real image are laid to overlap as the mobile pictures. The virtual hand replays the character inputted on the tablet by the excellent calligrapher. A calligraphic trainee is practicing overlapping the virtual hand which is reflected at the half mirror, while the trainee is doing the character on the tablet in the handwriting. The trainee is repeatedly practicing with feedback and is getting better in handwriting the character. It is shown in the good experimental results that the system has a proven effectiveness.

キーワード：書道， 仮想像と実像の融合， ハーフミラー， タブレット

1. はじめに

近年、バーチャルリアリティ(VirtualReality：以下、VR)技術が進歩して様々な分野で利用されるようになってきた。そのひとつとして、教育の分野でも VR 技術の可能性が議論されている⁽¹⁾。我々は、VR 技術の三つの要素⁽²⁾である "presence"(現実感)、"interaction"(対話的)、"autonomy"(自律的)の中の一つである "presence"に着目し、視覚情報を表示することにより、リアリティのある仮想世界を簡易なピアノ教育支援システム(以下、ピアノシステム)に応用し、その有効性を報告した⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。ここでは、さらに動作範囲の広い書道習得を支援する教育システムの構築を検討している⁷⁾。

本書道システムとピアノシステムとの相違点は、ハードウェア的には、本システムが入力装置として MIDI 鍵盤の代わりにタブレットを用いている点であり、ソフトウェア的には、ピアノシステムが鍵盤を押すか押さないかのディ

ジタル的表現に対して、本システムは、筆への力加減・筆の移動速度等のより細いアナログ的表現が必要であるという点である。

ここでも、HMD(Head Mounted Display)などに代表される液晶プロジェクターを頭部に装着しないで、仮想世界と実世界が時間的かつ空間的に融合するシステムの実現を目的とする。すなわち、VR 実現システムの VR 画像表現部にハーフミラーを用いることにより、HMD やデータグローブに代表される VR 機器を使用することにより生じる束縛感がない自然な姿勢での練習を可能にしている。

本来、書道の練習者は、書道上級者が書いた手本を横に置いて書いたり、あるいは下敷きとの間に挟んでなぞり書きをしたりする。しかし、ここで問題となることは、練習者は書道の結果だけを見ており、途中の筆の運び、および加重・脱重などの毛筆独特の書法が理解しにくい、という点である。書道教室などでは、この問題を解決するために、先生自らが練習者と一緒に筆を持って教える、といった方

法での習得の指導が行われている。

本システムを体験する者は、コンピュータによる仮想の書道手本画像に、自身の手を重ね合わせることによって、手本の文字と手本の書法を同時にしながら効率よく練習することが出来ると考えられる。仮想側では、コンピュータによって作り出された VR 動画をハーフミラー上に表示させる。現実側では、練習者がハーフミラー下に見える自身の手でタブレットペンを持ち、仮想像に合せてタブレットに入力を行う。

2. システム構成

<2・1>システムの全体構成

図1に本システムの構成を示す。手本となる書道の動作データは、練習者が目標とする指導者、あるいは上級者がタブレットペンをを用いて、タブレットから入力する。このデータから、VR 動画を作成するフレーム画像の選択、および出力位置の座標を自動作成し、ファイルにする。このファイルに基づいた VR 書道映像をフレーム画像表示用コンピュータで作成する。ここで作成された動画は、液晶プロジェクターから半透明スクリーンに投影され、ハーフミラーを用いた仮想像と実像の融合システムで、練習の手本となる。練習者はタブレットペンを持ち、タブレット上で

図1 システム構成図

Fig.1. A Diagram of this system.

図2 システムの外観

Fig.2. The appearance of the system.

練習を行う。練習者のデータはタブレットから読み込まれ、手本データにどれだけ近づいたかの判定に用いられる。図2に本システムの外観を示す。

<2・2>仮想像と実像との融合システム

図3に示すように、フレーム制御用コンピュータから投影された VR 動画は、半透明スクリーンとタブレットの双方に対して 45 度の角度に設置されたハーフミラー上に鏡像として映る。従って、練習者の視点からは、仮想像としてタブレットの上に手本の手があるように見える。練習者は、この仮想像に重ね合わせるようにしてハーフミラーを通して見える自身の手を用いてタブレットペンを持ち、練習する(実像)。

図3 仮想像と実像の融合システム

Fig.3. The unity system of the virtual image and the real image.

図4に、実際に練習者の視点から本システムを見た映像を示す。

図4 ハーフミラーに映った仮想像

Fig.4. The virtual image on the half mirror.

3. VR動画の作成

<3・1>フレーム画像の作成とGRCG法を用いた表示

リアリティ性を向上させるために、CG などによる作成画像ではなく、書道上級者が実際に書いている実像をビデオカメラから得て、本システムで使えるようフレーム画像としてコンピュータ内に保存する。また、フレーム画像の連続描画による動画の認識のためには、高速に描画する必要があり、フレーム画像を、モノクロ 16 色の画像にしてファイルサイズを小さくする。

更に、高価な市販のグラフィックハードウェアを使わずに、パーソナルコンピュータ上で実現させるため、コンピュータのメインバッファを拡大し、数多くのフレーム画像をそのメインバッファに格納する。データ化された書道上級者の手本から、随時必要画像を呼び出してきて、直接フレームメモリに書き出す GRCG（グラフィックチャージャ）法で描画及び表示を行う⁽⁴⁾。図 5 にその様子を示す。

図 5 画像の格納及び描画方法

Fig.5. The way of storage and the showing of the pictures.

フレーム画像描画方法の採用により、大幅な画像削減が可能になっている。手法が重複する字を練習する際、同じ画像を再度用いて表現できる。例えば、「土」という漢字を練習する場合、横画・縦画・横画と書いていくが、2 回目の横画の画像は、新たに用意する必要はない。これは、1 回目と 2 回目の横画用画像の出力位置（パケットデータ<4・1> X・Y 座標により決まる）および出力枚数（手本データの入力時間に比例）は全く異なり、墨画像（<3・2> 参照）が X・Y 座標、筆圧から決定されるので、異なった画像となる。つまり、同じ画像を使っているにもかかわらずその出力位置および出力枚数により、文字の大きさ・微妙な形の違いが表現できる。従って、本システムで最小限必要な画像は、書道の手法をすべて表現できる画像だけでよいことになる。

図 6 は、実際に使用している 16 色モノクロのビットマップ保存形式のフレーム画像である。画像サイズは、縦横 100 × 128[dot]としている⁽⁵⁾。この画像を 1 枚出力するのに要する時間は、Pentium 166MHz のコンピュータで約

50msec である。よってわずか 5 秒の VR 書道動画を表現するだけでも画像枚数は 100 枚になるため、全体として膨大な枚数が必要となる。そこで、連続画像の前後で、横画での単に横方向に移動していくところの、さほど変化して

[dot]

図 6 フレーム画像

Fig.6. The frame picture.

いないところや、特に書道において詳しく表現する必要のないところを間引くことによって、画像枚数を減らして、パーソナルコンピュータで実現できるようにしている。この結果、間引いた画像での VR 動画の劣化は、それほど見られない。現在、横画や縦画を表現するのに、30 ~ 35 枚程度の画像で行っている。

<3・2>墨画像の作成

手本の手画像のみの動画では、書道の動作をリアルに表現しても、筆先が紙面に触れているかどうかの判断や、どのような字をどのような感じで書いているのかを視覚的に認識しにくい。一般の書道の練習で、手本を横に置いたり下敷きに敷いたりするのは字の形を視覚的に認識するためである。

そこで、本システムでは、どのような字を練習しているのかを表現するために、墨画像を表示している。毛筆の筆跡を表現する事が難しく、現在は手本データ内の筆圧を読み込み、筆の動きに合せた幾つかの黒色塗りつぶし図形の重ね合せによって表現している。当然ながら、この方法では不完全で、筆のかすれや滑らかな表示をするように今後改良する必要がある。しかしながら、この墨画像表現でも、どのような字を練習しているかを、練習者に示すには十分である。図 7 は、「木」という漢字の筆跡を、本システムを用いてディスプレイ上で再生したものである。

図 7 仮想筆跡（墨画像）

Fig.7. The virtual handwriting.

<3・3>表裏VRAMを用いた表現

ちらつきの少ないスムーズな動画を実現するために、表裏 2 枚ある VRAM（ビデオ RAM）を用いる。片方の VRAM にアクセスして手画像・墨画像を描いている間に、もう一方の VRAM を表示させて、描画作業を見せないよ

うにしている。この様子を図8に示す。

CPUが表(裏)VRAMにアクセスしているとき、裏(表)VRAMをディスプレイに表示する

表(裏)VRAM: フレーム画像を描画した後、墨を描画

図8 画像出力順序

Fig.8. The output order of the pictures.

4. 練習用画像ファイルの自動作成

<4・1>パケットデータ

表1 パケットデータ

Table 1. Packet data.

全データ数:702											
X座標	Y座標	筆圧	方位	角度							
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6735	6688	0	1414	836	...	5525	6298	50	1432	852	...
6708	6731	0	1464	828	...	5525	6236	50	1432	852	...
6670	6778	0	1504	820	...	5522	6196	49	1350	856	...
5250	8252	0	1672	724	...	5520	6137	48	1268	852	...
5311	8190	0	1466	756	...	5520	6096	46	1268	852	...
5311	8190	182	1500	764	...	5516	6035	45	1268	852	...
5307	8191	172	1500	764	...	5510	5970	42	1210	840	...
5305	8192	166	1500	764	...	5506	5926	40	1210	840	...
5305	8190	165	1500	764	...	5501	5862	39	1210	840	...
5308	8185	165	1500	764	...	5498	5819	39	1210	840	...
5314	8175	166	1500	764	...	5489	5753	39	1210	840	...
5317	8167	166	1500	764	...	5484	5710	39	1118	848	...
5323	8151	167	1536	768	...	5480	5666	40	1118	848	...
5329	8136	167	1536	768	...	5473	5603	39	1118	848	...
5333	8125	167	1516	776	...	5468	5560	40	1118	848	...
5340	8109	167	1516	776	...	5460	5498	40	1118	848	...
5348	8090	167	1516	776	...	5455	5455	41	1118	848	...
5358	8071	168	1516	776	...	5448	5394	40	1118	848	...
5365	8060	169	1516	776	...	5443	5353	40	1118	848	...
5373	8050	169	1492	784	...	5436	5294	40	994	840	...
5380	8039	169	1492	784	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

手本動作データに対応したタブレットから送られてくるパケットデータのファイルを表1に示す。このデータは練習に用いた「木」の縦画部である。パケットデータには、タブレット上のペン先の X・Y 座標(0-10,000)、筆圧(0-255)、およびペンの方位(0-3,600)、角度(0-900)を含んでいる。なお、タブレットは静電誘導方式のものを使用し、パケットデータは約 10msec 間隔で送られる。

<4・2>手本動作の分解法

一般に、漢字をパーツに分解するとは、幾つかの手法に分類できる。主な手法を幾つかあげると、「横画」、「縦画」、「右払い」、「左払い」などがある。これらの動作は、入筆から脱筆まで一定速度の筆運びをしていることはなく、「た

め」、「とめ」、「はね」などの動作が、それぞれの手法の最初と最後に必ずある。従って、手本動作データを細かく分解すると図9のようなになる。ここで必要なのは、分解されたパーツがどの手法に当てはまるかということであり、主な4手法を判別するには、その筆運びの方位を考慮すればよい。すなわち、パケットデータの X・Y 座標の移動方向が横画は右、縦画は下、左払いは左下、右払いは右下方向であるかをそれぞれ調べればよい。ただし、「ため」や「とめ」辺りのデータはあまり移動していなかったり、手法に反する移動をしている場合が多いので、どの手法においても「始め」、「中間」、「終わり」の移動距離が小・大・小という順になっていることが多い。従って、「中間」のデータを分析すれば、ほとんどそのパーツがどの手法なのか判別できる。

図9 手本データからの手法の分解

Fig.9. The resolution of the technique from the model data.

図10 縦画

Fig.10. The vertical book method.

ここで縦画の手法について、更に詳しく調べると、「終わり」の部分が図10のように「とめ」、「払い」、「右はね」および「左はね」になっている。他の手法についても、同様な終わり方があり、その数は手法によって異なる。すなわち、ここでは「終わり」のデータを更に分析する必要がある。幸い本システムで使用しているタブレットは、ペンが面から離れていても、約 5mm の距離まで感知できるので、脱筆の前後のデータの方位を調べることで、終わり方

を判別できる。

<4・3>メインバッファの画像割り当て

手本動作のパケットデータが 10msec 毎、VR 画像 1 枚の出力が 50msec/枚であるので、まず、パケットデータを 1/5 に間引く必要がある。<4・2>の分解法に従って、このパケットデータからメインバッファの画像格納ナンバーを決定する。例えば、表 1 のデータを変換すると、メインバッファの画像格納ナンバーは表 2 のようになる。ここで、表 1 と表 2 の X・Y 座標と筆圧が異なるのは、VR 動画を出力するディスプレイの解像度が 640 × 480[dot]であるので、パケットデータを縮小変換する必要があるからである。

表 2 メインバッファの画像格納ナンバー

Table 2. The picture storage number in the main buffer.

全データ数:274				
格納Number	X座標	Y座標	筆圧	
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
0	198	200	0	28
0	199	202	0	28
0	199	207	0	28
26	199	206	1	29
26	199	206	3	29
26	198	205	5	30
26	198	205	9	30
26	198	205	19	30
26	198	205	19	30
26	197	204	19	30
27	197	203	19	31
27	196	202	19	31
27	196	201	19	31
27	195	201	19	31

5. 練習結果

<5・1>練習手順

システムを用いた効果を調べるために、特に書道経験のほとんど無い初心者 10 人にそれぞれ、次の練習段階を踏んでもらった。

- ①手本のみで 10 回練習
- ②本システムの動画を見る
- ③システムを用いて 10 回練習
- ④手本のみで練習

この手本は、上級者が手本データ入力時に使用したのと同じ物を用いた。

<5・2>練習結果

手本データの筆圧レベルの時間的変化を図 1 1 に示す。「木」という漢字の 4 字画入力データであるため、4 領域の波形は順に、横画→縦画→左払い→右払いとなる。システム使用前の練習データの筆圧レベルの時間的変化は、図 1 2 (a) のようになり、筆圧レベルは、書き始めから書き終わりまで同一の値で変化が見られない。これに対し、システム使用後の練習データの筆圧レベルの時間的変化は、

図 1 2 (b) のようになり、筆圧レベルの値に、顕著に変化が見られ、図 1 1 に近づいている。

図 1 1 手本データ (筆圧)

Fig.11. The model data (Strength of brushstroke).

(a)システム使用前

(b)システム使用後

図 1 2 練習データ (筆圧)

Fig.12. The practice data (Strength of brushstroke).

6. 考察

<5・2>から、筆圧データのみを比較してシステムの効果を調べた結果、書道における筆の加重・脱重の理解を視

覚的表現のみで練習者に促すことができた。よって、VRを用いた本システムは書道習得に充分効果があると言える。今後筆圧データだけのみならず、筆の移動量・速度、ペン方位・傾きのデータも手本データと比較して評価を行い、教育的指導を行うことができるように改善していく必要がある。

練習用画像ファイルの自動作成については、パケットデータからVR画像の画像格納ナンバーと出力位置は自動的に求まるが、墨画像作成用の表2の筆圧データを一部手作業で改善している。しかし、これらは完全手作業に比べて、充分作業が軽減されているので、実用範囲である。今後、ペンの方位と傾きのデータを分析して動画用ファイルの改良を行う予定である。また、＜4・2＞の手法以外の「点画」や「はね」などの手法は、「始め」や「終わり」の画像の重複利用によって表現可能であると考えられるので、より多くの手法への対応を検討したい。

より効果を上げるため、再練習のためのフィードバックの方法を検討する必要がある。音声による指示を付け加えることにより、聴覚的な面からも練習効果の促進が図れると考えられる。視覚的には更に筆圧の強弱を画像で表現できれば、より効果が得られると考えられる。

また、ペン入力機能付き液晶パネル⁹⁾等が実用化され、本システムに導入すれば、実像側で実現されていなかった練習者自身の筆跡を表示することができ、より有効性が高まるであろう。

7. むすび

仮想像と実像の重ね合せについての研究は、多方面で行われているが、ある程度の動きを持ったものはほとんど行われていない。著者らは、動きのあるもので、かつ教育的にも有効であると考えられるテーマとして書道を選んでいく。そして、VRを用いた書道習得のための教育的応用システムの構築を試みた結果、書道見本（筆跡）だけを見て練習する場合、習得できない筆運び（筆順、筆速度）および筆圧などを仮想空間に表現し、練習者に手本動作に合わせて模倣させることにより、書道の細かい技術が習得できる可能性が充分あることが分かった。

本システムのような研究が、多様なVR技術応用システムの発展に役立つものとする。

（平成9年2月28日受付、平成9年6月30日再受付）

文 献

- (1)廣瀬通孝：“人工現実感の教育応用”，計測と制御，Vol.31, No.12(1992-12)
- (2)廣瀬通孝：“バーチャル・リアリティ”，産業図書，(1993)
- (3)大塚元太，椿野禎三，村中徳明，今西茂：“バーチャル・リアリティを用いたピアノ教育支援システムの一考察”，

電気関係学会関西支部連合大会，G10-16(1994)

- (4)大塚元太，椿野禎三，村中徳明，今西茂：“VRを用いたピアノ教育支援システムの構築Ⅱ”，信学会春季大会，A-266(1995)
- (5)大塚元太，袖山和久，吉田知史，村中徳明，今西茂：“VRを用いたピアノ教育支援システムの構築Ⅲ”，電気関係学会関西支部連合大会，G12-60(1995)
- (6)大塚元太，袖山和久，吉田知史，村中徳明，今西茂：“VRを用いたピアノ教育支援システムの構築”，電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌)，Vol.116-C, No.11(1996-11)
- (7)吉田知史，田中俊一，村中徳明，今西茂：“バーチャル・リアリティを用いた書道習得のための教育的応用システムの構築”，電気関係学会関西支部連大，G12-13(1996)
- (8)廣あきら：“PC-98系グラフィックハードウェア活用”，C Magazine, pp37-46(1994-1)
- (9)田川孝生：“液晶ディスプレイの最先端”，液晶若手研究会，シグマ出版(1996)

吉田 知史（非会員）1974年3月4日生まれ。1996年3月関西大学工学部電子工学科卒業。同年4月同大学大学院博士課程前期課程電子工学専攻に進学。現在在学中。主として、VR技術の応用について研究中。電子情報通信学会会員。

村中 徳明（正員）1949年12月17日生まれ。1972年3月関西大学工学部電子工学科卒業。1974年3月同大学大学院修士課程修了。同年同大学工学部助手。専任講師を経て、現在同助教授。主として、三値論理回路、ファジィ論理回路に関する研究に従事。電子情報通信学会，情報処理学会，システム制御情報学会，日本ファジィ学会，IEEE各会員。

今西 茂（正員）1934年4月22日生まれ。1958年3月大阪市立大学理工学部電気工学科卒業。同年関西大学工学部助手。専任講師および助教授を経て、現在教授。工学博士。主として、論理回路，符号化回路，マルチマイクロプロセッサシステムなどの研究に従事。著書「電子計算機基礎論」，「マイコンインターフェースのための電子回路」・訳書「ディジタル回路入門」：（以上分担）。電子情報通信学会，情報処理学会，システム制御情報学会，IEEE各会員。