時間遅れビデオシステム DVS の開発とその応用

木 村 広* 射手矢 岬**

1. DVS の目的

パフォーマンスレベルの高い競技者ほど自己の運動に関する鮮明なイメージを持っている。そして、自分のフォームをチェックしたいという欲求は強い。一方、一般の、とくに学習初期の運動学習者の運動イメージは自己の運動を反映していないことが多い。学習者に正しい運動のイメージを持たせることはスポーツを指導する上で重要な第一歩である。程度の差、目的の違いはあるものの、運動フォームを客観的に確認できる意義は大きい。

現在でもフォームのチェック、指導にビデオカメラが利用されることは少なくない^{2,3,6,7,12)}。しかし、カメラの録画を停止し、テープを望みの場面まで正確に巻き戻し、すばやく再生という作業を、競技中あるいはトレーニング中におこなうことは必ずしも簡単ではない。運動の短期記憶という点から考えると、必要な情報は数秒以内に競技者あるいは学習者にフィードバックすることが望ましいのだが^{6,7,10)}、従来型のビデオカメラを利用する場合、カメラの操作(撮影・巻き戻し・再生)に時間がかかるため、目的のビデオが再生されるよりも前に、運動者の短期記憶に保持された肝心の筋感覚が消滅し、フィードバックの効果が低減するおそれがある。

そこで、ビデオカメラとパソコンとを組み合わせ、ビデオカメラで撮影した過去の画像を、テープを巻き戻すことなく、パソコンのディスプレイ上に連続的に表示するシステム、Delayed Video System (DVS)を開発した。DVS は数秒前に撮影した映像を自動で延々と表示できる。競技者や指導者の手を煩わさず、有効な時間内に運動の映像情報をフィードバックすることが可

能である。さらに、DVS は撮影した映像をコンピュータにエンドトリガーで記録する機能を持っている。即ち、時間遅れの運動パフォーマンスの映像が終了した後に選択的に映像をコンピュータに蓄積することができる。このシステムは、一般のビデオカメラとパソコンを流用するため、そのコストは非常に低い。これまでに時間遅れで映像を再生するという類似品(例えば、フレームレコーダ・株式会社朋栄)はあるが、DVS はこの他にこれまでにない独自の機能を備えている。それは運動学習において効果的に VTR を呈示する機能で、例えば 2 画面の比較、映像の鏡像化、エンドトリガー録画、そしてコンピュータへの映像の蓄積などである。これらの機能は、これまでの先行研究において指摘されてきた運動学習における効果的な VTR の呈示の仕方^{6,7,11)}を実現できるものである。以上のことから、本研究の新規性は DVS を安価で構成したこと、その中に運動学習を効率よく行うための独自の機能を組み入れたことの二点である。

2. DVS の構成

ビデオカメラで撮影した映像信号を、まず、パソコン上に設けたバッファに入力する。この映像信号は、新しい映像信号がカメラで撮影され、バッファに入力される直前に、バッファの出口方向へひとつづつシフトする。バッファの出口に到達した映像信号は順番にディスプレイに出力される。映像信号がバッファ内を入口から出口まで移動するに要した時間がビデオカメラで撮った映像とディスプレイに表示される映像との時間差となる(図 1)。

図 1 ビデオ信号の流れ：ビデオ信号はいったんコンピュータのメモリにバッファリングされたあと、ディスプレイに表示される。

Fig.1 The flow of video signal: Video images are buffered on personal computer's RAM. They are sent to a display with a constant delay.

DVSにはビデオカメラからの映像信号をパソコンに入力するための機材が必須である。本研究では ArgoCraft 社製のビデオキャプチャボード(注 1)を採用した。このボードは比較的安価ながら、解像度 320pixel × 240pixel, 1pixel あたり 16 ビットカラーの映像を、毎秒 30 フレームの速度でパソコンに取り込む性能がある。さらに、このボードはドライバのプログラムも公開されており、開発用としても好適であった。

DVSでは映像の入出力をバッファの両端で同時に行わなけれ

1999 年 11 月 16 日受付 2000 年 5 月 8 日受理

*九州工業大学 工学部

〒804-0015 北九州市戸畑区仙水町 1-1

E-mail: hkim@melt.kyutech.ac.jp

**東京学芸大学 健康・スポーツ科学学科

E-mail: iteya@u-gakugei.ac.jp

キーワード：時間遅れビデオ、ビジュアルフィードバック、運動学習

ばならない。システムに要求されるデータ転送の速度は、

$$320(\text{pixel/line}) \times 240(\text{line}) \\ \times 16(\text{bit/pixel}) \times 30(\text{/s}) \times 2 = 70.135\text{Mbit/s}$$

となる。このデータ転送速度を一般的なパソコンの二次記憶装置で実現することは難しい。

画像をリアルタイムに圧縮するビデオアクセラレータや専用の二次記憶装置を用意する解決策もある。しかし、そのようなハードウェアは高価で、まだ一般的ではない。さいわい、RAM (Random Access Memory) の価格が近年爆発的に低下しているので、その RAM をバッファに使うことにする。RAM のデータ転送速度は上の数字よりもはるかに速い。320 × 240, 16bit カラーの画像を 1 秒あたり 30 フレーム、10 秒分をキューするためのバッファのサイズは 46MB になるため、試作機(DOS/V, Pentium200MHz)には 64MB の RAM を搭載した。さらに長い時間遅れが必要な場合は、画像の解像度やフレームレートを落とすか、搭載する RAM の容量を増やせばよい。試作機にはフレームレートを 15 フレーム/秒に落として、20 秒ディレイを可能にする機能も付加した。短期記憶の観点からすると、これ以上のディレイは不必要であろう。

DVS には、ビデオカメラとパソコンが必要である。DVS の構築にあらたに必要となる機材はビデオキャプチャボードと設定したいディレイに相応する RAM であり、それらの価格はあわせて数万円でしかない。DVS は非常に低いコストで実現できる。

3. DVS の機能

DVS は従来型のビデオカメラに以下の機能を付加する。

3.1 映像のリアルタイム加工

バッファ中の映像は比較的自由に加工できる。映像の左右を反転し、鏡像を作るなどはその好例である。例えば柔道では右技を即座に左技に加工できる。これを使えば、右組と左組の区別なしに、録画した映像を技の指導に利用できる。さらに、フォースプレートからのデータなどをスーパーインポーズし、客観的なデータを付加したビデオをリアルタイムに表示することも可能である。

映像の加工についてまとめると以下ようになる。

- (a) 即時再生および繰り返し再生
- (b) 学習者の良いケースと悪いケースの 2 画面の比較
- (c) 良い手本(モデル)と学習者自身のフォームの 2 画面の比較
- (d) 映像の鏡像化(左右逆転)
- (e) 画面の静止、順/逆スロー再生、順/逆コマ送り再生
- (f) 外部データ同期表示

杉原、石井¹¹⁾は、VTR によるモデル呈示の効果的な行い方について、(1) どこを見ればよいのかを明確に指示すること、(2) 見せたいポイントをよく見える位置・角度から見せること、(3) 速い動きはゆっくり見せること、(4) よい動きとよくない動きを対比させてみせること、(5) 一回だけでなく、何回も見せること、(6) 動きを言葉で説明しながら見せることの 6 つのポイントを挙げている。本研究の DVS の機能を用いれば、杉原らの示した 6 つのポイントを踏まえ、学習者に効果的にビデオフィードバック情報を与えることができる。但し、(1)と(6)については、指導者の助言も必要である。特に、従来の製品では(4)のよい動きとよくない動きを対比させてみせることが困難であったが、DVS では一つの画面の中に 2 つの映像を対比して見せることができる(図 2)。

図2 二映像の対比：模範映像(モデル)と学習者の映像を対比できる。

Fig.2 Contrast with two video images: learner can contrast between a model and his/her performance.

また、工藤^{6,7)}は運動技能学習における効果的な VTR の使用法に関して、2つのポイントを指摘している。1つは見るべきポイントを限定して観察させる必要があること、もう1つは即時再生の機能を生かすことである。そして、運動指導場面においては、前者は考慮されているが、後者に関してはまだ実用化には至っていないと述べている。これまでに運動指導場面で弱点とされていた2つめのポイント(即時再生の機能)についても、DVSにより克服可能である(これについては次節 3.2 を参照)。この様に、DVS は従来の製品の機能に無い、新しい機能を備えている。

3.2 時間遅れ表示(即時再生機能)

パソコンに搭載する RAM の容量に応じた時間遅れ映像を表示できる。10 秒程度の時間遅れを設定すれば、直前の運動フォームを運動の生々しい筋感覚が残っている時間内に確認することができる。時間遅れ表示は、指導者が競技者の意識とフォームとのずれを練習の流れを止めずに矯正したい場合、あるいは、ある程度運動フォームに関する知識をもった競技者が反復練習で自分のフォームをチェックしたい場合などに有効と考えている。

3.3 エンドトリガー録画

映像をバッファリングすることで新しい録画の手法が可能になる。従来のビデオカメラは録画したい場面より時間的に前に録画の操作をし、録画したい現象が起こるのを待つ。一方、DVS は目的の現象が発生し、その映像をディスプレイで確認した後、録画の操作が可能である。当然のことだが、時間遅れ録画は映像がバッファに残っている間に限る(図 3)。時間遅れ録画を利

用すれば、スポーツでは試技が終わった直後、またはディスプレイでその試技を確認した後に、その試技の運動フォームを選択的に録画することができる。

たとえば、ゴルフのドライバーショットでボールが真っすぐ、遠くに飛んだ時のフォームは、手元に残して何度も確認したいだろうし、柔道で相手を上手く投げた時のフォームの映像は何冊もの技術書よりも学習者にとって効果が大であろう。

3.4 プログラマブルビデオ

「5 秒録画して、そのスロー再生を 2 度、そのあと 3 秒待つて録画を繰り返す」というような、一連の操作を自由にプログラムできる。

3.5 リモート観察

これは DVS そのものによってもたらされる特徴ではなく、コンピュータを利用することによって派生する利点だが、ビデオを入力する装置とそれをディスプレイに表示する装置とをコンピュータネットワークでつながった任意の場所に設置できる柔軟性がある。

従来のリモートビデオシステムはそれ専用のケーブルを敷設しなければならず、ビデオを収録できる場所、およびそれをリアルタイムに観察できる場所は固定されている。また、専用ケーブルであっても信号の減衰を考えると、ケーブルの延長距離は数百メートルが限度であろう。一方、DVS の映像はコンピュータネットワークにそのまま流すことができ、比較的自由に利く場所でビデオの収録とリアルタイムにビデオの観察ができる。筆者の利用するネットワーク(100Mbps, switched)では 500m 程度離れた端末間でも動画の品質が落ちることはまったく無い。

4. DVS の有用性

これまでに、ビデオテープフィードバック(VTBF)はスポーツやリハビリテーションで運動技能習得に有効であると報告されている^{1-3, 5, 9, 12)}。そこで、筆者らは DVS を用いて女子柔道部員 3 名(すべて全国大会出場経験者で有段者)に大外刈の指導を行った。大外刈の評価基準は 6 項目(腕の抱え方、胸の密着、踏み込み時の軸足の位置、相手の崩れ、刈る時のバランス、全体のスピード)とし、各項目を 5 段階で評価した。1 回 20 分の指導を週 2 回行ったところ、7 回の指導で、被検者の技能得点は 16.8 ± 2.75 から 25.0 ± 3.50 まで上昇した(図 4)。独立変数を指導回数、従属変数を大外刈の技能得点として、一元配置の分散分析を行なったところ、指導回数の要因が有意であった($F(6, 14) = 3.82, p < 0.05$)。Fisher's PLSD を用いた多重比較では、初期の得点と 6 から 7 回目の得点の差に有意差がみとめられた。これは技術得点が 6 回目以降に伸びたことを示しており、被験者の大外刈の技能が向上したことを意味する。一般に、経験を積んだ者ほど、そのフォームを変えることは難しいと考えられる。この点から技能が向上したことは特筆すべき効果である。しかし、本実験のみでは客観性が不十分であるため、今回は指導現場における DVS 活用の一つの事例として記載した。また、

図 3 エンドトリガー録画：従来型のビデオでは記録したい場面よりも時間的に前に録画操作をする。DVS では撮りたい場面を画面で確認したあと、録画操作ができる。

Fig.3 End triggered recording: With normal video cameras, recording operations should proceed to events that we want to record (above). In DVS, after ensuring the occurrence of events, we can do the recording operation (below).

図4 DVSを用いた場合の大外刈の得点推移: DVSを用いた大外刈の指導では, 指導6回目以降に大外刈の著しい上達が見られた。

Fig.4 The scores of Osotogari with DVS: By coaching Osotogari with DVS, the significant improvement of its skill was occurred after 6th teaching.

図4にみられる技能得点の初期の停滞はスポーツ技術の学習課程におけるプラトー(高原)という現象によくあてはまる^{4,8)}。これは個人技能の学習において, 部分学習から全体学習へ移行する際にみられる現象であるが, ここではフォーム改善のための必要な期間であると考えられる。

有用性の今後の課題としては, 小型化, そして軽量化による持ち運びの容易さという点が挙げられる。現在の DVS 装置はデスクトップ型のコンピュータで構成されているが, ノート型コンピュータ, ビデオキャプチャー用 PCMCIA カード, そして超小型 CCD カメラを使用することで, 小型化・軽量化の可能性は十分ある(現在開発中)。

参考文献

- 1) Cooper, L. k., and Rothstein, A. L.: Videotape reply and the learning of skills in open and closed environments. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 52, p.191-199 (1981)
- 2) Hebert, E., Menickelli, J., Grisham, W., and Landin, D.: Video-taped Feedback and Skilled Performance, Symposium: in AAHPERD National Convention and Exposition, Boston, Massachusetts, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, March, Supplement, p.A64-A65, (1999)

- 3) 石村宇佐一, 佐野新一, 野田政弘, 青木隆: バスケットボールの基本技術における視覚フィードバックの効果 — 小学6年生の場合 —, 金沢大学教育学部紀要人文・社会・教育科学編, p.101-107, (1999)
- 4) 勝部篤美, 糸野 豊: コーチのためのスポーツ人間学, 40-45, 大修館書店, (1981)
- 5) Kernodle, M. W. and Carlton, L. G.: Information feedback and the learning of multiple degree of freedom activities. *Journal of Motor Behavior*, 24-2, p.187-196, (1992)
- 6) 工藤孝幾: 運動学習における効果的なフィードバックの活用 1, 学校体育, 41(10), p.144-149, (1988)
- 7) 工藤孝幾: 運動学習における効果的なフィードバックの活用 2, 学校体育, 41(11), p.154-159, (1988)
- 8) 松田岩男: 現代スポーツ心理学, 120-125, 日本体育社, (1975)
- 9) Rothstein, A. L., and Arnold, R. K.: Bridging the gap: Application of research on video-tape feedback and bowling. *Motor Skills: Theory into Practice*, 1, p.35-62, (1976)
- 10) Schmidt, R.A.: *Motor Control and Learning*, 93-97, Human Kinetics Publishers, (1988)
- 11) 杉原 隆, 石井美子: 示範(モデル呈示)はどのように行えば効果的か, 学校体育, 46, 7, p.68-71, (1993)
- 12) Tham, K., and Tegner, R.: Video Feedback in the rehabilitation of patients with unilateral neglect, *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, 78, April, p.410-413, (1997)

注 1) <http://www.argocraft.co.jp/vcb/doc/acvc.html> に詳しい説明がある。

木村 広(きむら ひろし)

筑波大学大学院修士課程体育研究科修了。認知科学から, 運動学習, 数式処理システムをベースとしたアプリケーションの開発まで, 幅広い分野に興味を持っている。所属学会は日本バイオメカニクス学会, 人間工学会。

Development of a Delayed Video System

Hiroshi Kimura* and Misaki Iteya**

*Department of Engineering, Kyushu Institute of Technology
1-1, Sensui, Tobata, Kitakyushu, Fukuoka, 804-0015

**Department of Health and Sports Science, Tokyo Gakugei University

Abstract

In this short paper, a DVS (Delayed Video System) using a video camera and a personal computer is introduced. Using the personal computer's RAM as a frame buffer, DVS displays video images that were taken a few second before on the computer's display continuously. DVS could be useful for sports coaching or self training situations since it can provide visual feedback within a few seconds. DVS also provides a new function, post triggered recording, which allows an event to be recorded after it has occurred.

Keywords: delayed video, visual feedback, motor learning