



アルゴリズムアニメーション

解説

榎原博之 中野秀男 中西義郎

榎原博之, 中野秀男, 中西義郎: 正員
大阪大学工学部通信工学科

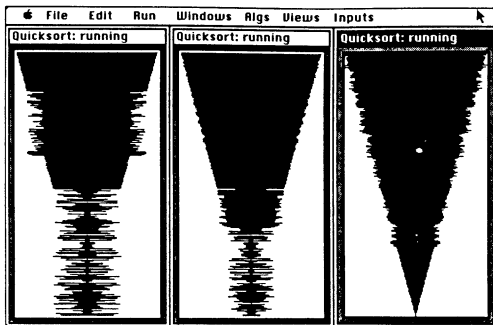
Algorithm Animation. By Hiroyuki EBARA, Hideo NAKANO and Yoshiro NAKANISHI, Members
(Faculty of Engineering, Osaka University, Suitashi 〒565).

1. アルゴリズムアニメーションとは

アルゴリズムアニメーション (Algorithm Animation) とは, 紙面に記述された形態ではアルゴリズムの振舞いの全体的な流れを把握するのが容易ではないことに対する一つの対策であり, アルゴリズムによって, 問題が解かれる過程を逐次ディスプレイ画面上に表示し, アルゴリズムの振舞いを動画として見せる技法である。

図1にブラウン大学のBALSAシステム⁽⁴⁾によるソーティングアルゴリズムのアニメーション画面を示す。配列の要素はその大きさを長さに対応させた横棒, または縦棒で表示され, アニメーションはこのような画面パターンでのソーティングの進行に伴う変化を表示する。

時間的に状態が変化する現象を動画の形態で視覚に訴えることは, 全体的な変化の流れを理解し把握する上で極めて自然でありかつ有効で



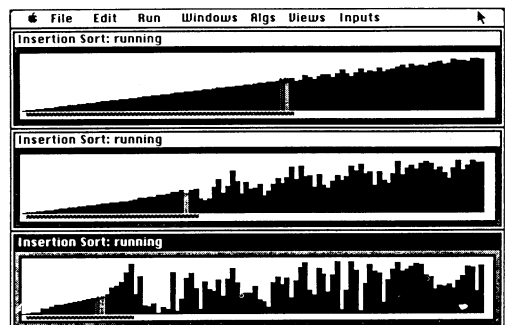
(i) (ii) (iii)

(a) クイックソートアルゴリズムのアニメーション画面

図面は, 同一入力データに対し, 同一時間経過後の, 以下の三つのアルゴリズムを実行して得られた表示画面である。(ii)のアルゴリズムが最も速く終了する。

- (i) 一般のクイックソート
- (ii) クイックソートで, 要素数が7以下になると, インサージョンソートに変更
- (iii) クイックソートで, 要素数が25以下になると, インサージョンソートに変更

ここで, 配列の要素はその大きさに対応する長さを持った横棒で表示されている。



(b) インサージョンソートアルゴリズムのアニメーション画面

図面は, 入力データの違いによるある時点で得られる表示画面である。ほとんどソートされた状態の入力データ(上図)に対して, 進行が速いことがわかる。ここで, 配列の要素はその大きさに対応する長さを持った縦棒で表示されている。

図1 BALSAシステムの画面表示例

ある。アルゴリズムの振舞いも状態の変化する現象であり、紙面に記述された形態では容易ではないアルゴリズムの振舞いを視覚によってより把握しやすくしようとする試みが出てきてもむしろ当然といえよう。アルゴリズムアニメーションは、このようなイメージのもとで注目されてきたアルゴリズムの教育、研究、開発を支援する技法である。

アルゴリズムアニメーション技法の持つ意義が見い出されるには、それなりのコンピュータ技術環境が必要である。事実、この技法の始まりは1970年代半ばのトロント大学のBaeckerらによるとされている⁽¹⁾が、その当時はまだ技術環境が不十分で、支援技法として十分なレベルに到達させるに至らなかった。1980年代に入って、パーソナルコンピュータ、ワークステーションの高性能化（マルチウィンドウ、マルチタスク技術）、ディスプレイ技術の進展（高精細度のビットマップディスプレイ）がアニメーション技法のレベルアップを促進させた。また、これらのハードウェアの低価格化も大きな要因になっている。

ここで指摘しておくが、アルゴリズムアニメーションとアルゴリズムムービーとの区別は重要である。アルゴリズムのアニメーションがビデオテープに撮られていて、単にこれを見るあるいは見せられるというような形態がアルゴリズムムービーである。これに対して、アニメーションをユーザの意図する画面配置やスピードで見ることができ、かつ自由に停止、続行できるようにしているのが、いまいわれているアルゴリズムアニメーションである。この意味でも、それが可能な技術環境が必要であったわけである。

2. アルゴリズムアニメーションシステム

アルゴリズムアニメーションシステムは、適当なコンピュータ（パーソナルコンピュータ、ワークステーション）に対して、アルゴリズムの実行過程をユーザの意図どおりに動画画面としてディスプレイに表示できるソフトウェアを

装備したものである。

以下、これまでに発表されているシステムを列挙しておく（システムの詳細は文献に依りたい）。

BrownとSedgewick（ブラウン大学）のBALSAシステム^{(4)~(6)} このシステムは、パーソナルコンピュータ（Macintosh）上でPascal言語で記述されており、1983年からブラウン大学のアルゴリズムの教育に実際に使われている。ディスプレイは白黒であるが、マルチウィンドウであり、同時に複数のアルゴリズムのアニメーションが可能である。このシステムの最も優れた点は、Smalltalkを範にしたユーザインタフェース環境であるといえよう。

BentleyとKernighan（AT&T Bell Laboratories）のシステム^{(2),(3)} このシステムは、UNIX上で実現されており、だれもが簡単にアルゴリズムアニメーションを作成できることを目的として、多くのアルゴリズムアニメーション作成用ツールを用意している。

LondonとDuisberg（Tektronix社）のシステム⁽⁸⁾ このシステムは、Smalltalk環境のもとでSmalltalkのツールを使って開発されている。更に最近、Duisbergはこのシステムを発展させたANIMUSシステム⁽⁷⁾を開発している。

MelamedとMorris（AT&T Bell Laboratories）のシステム⁽⁹⁾ このシステムは、ワークステーション上でキューイングネットワークのシミュレーションの視覚化を試みている。

都倉（大阪大学）のシステム⁽¹⁰⁾ このシステムは、分散アルゴリズムに対するもので、パーソナルコンピュータ（PC-9801）上で実現されている。このシステムは、実際に分散アルゴリズムの正当性の確認に利用されており、分散アルゴリズムのデバッグ的な役割を果たしている。

筆者らのシステム^{(11),(12)} このシステムは、並列アルゴリズムアニメーションに対するもので、UNIXワークステーション（NEWS）上でXウィンドウシステムを用いて実現されている。ここで、“並列アルゴリズムアニメーション”

とは、並列アルゴリズムの振舞いの過程を逐次画面上に視覚化するだけではなく、並列計算機のアーキテクチャやプロセッサ間の通信状態等も図的に表示し、把握できるようにしたものである。

3. アルゴリズムアニメーション技法の今後

これまでに前項で述べたようなアルゴリズムアニメーションシステムが手掛けられてきているが、まだプロトタイプ段階にあるといえよう。アルゴリズムアニメーション技法がアルゴリズムの研究、開発の重要なツールとして実用化されるには、更に高度化が必要である。

(1) 描画に関して

限られた大きさの画面にアルゴリズムやデータ構造の振舞いを描画することは容易なことではない。まず、データ量が多くなった場合が問題である。上述の大部分のシステムでは、人間が把握できるデータ量には限界があると考え、大量のデータに対しては考慮していない。また、高次元配列のような複雑な図形の描画に対してもあまり考察されていない。

上述のシステムのほとんどで、アニメーション例はソーティングのような簡単なアルゴリズムに対してであり、そのため、複雑なアルゴリズムやデータ構造の描画に対しては深い考察はなされていない。

今後、複雑なアルゴリズムやデータ構造を対象にして、それらを視覚で把握できる描画手法が工夫されなければならない。方向としては、アルゴリズムやデータ構造ごとの工夫開発ということになるであろう。

(2) プログラム化に関して

アルゴリズムの移植性については各システムが独自にいろいろと工夫しているが、完全と思われるものはない。特に、描画の部分が問題である。描画の記述方法にはいろいろ考えられる(例えば、簡易記述言語を使用する方法、たくさんの描画モデルを用意する方法など)が、ユーザの持っているアルゴリズムに対するイ

メージにあった描画が簡便にできるようにすることが必要である。このためには、十分な種類のアルゴリズムやデータ構造の描画モデルを用意し、それを簡単に変更したり、新たに作成したりするためのツールを用意することが理想的であると思われる。

(3) ユーザインタフェースに関して

アルゴリズムアニメーションにとって、ユーザインタフェースは極めて重要である。教育用のユーザインタフェースに関しては、BALSAシステムが示すようにかなり優れたものになっている。しかし、アルゴリズムの設計や研究用としては更に高度化が必要であり、これにはデバッガ等の機能を参考にした工夫が有効であろう。

但し、並列アルゴリズムを対象にした場合、並列アルゴリズムに対するデバッガ自体が確立されておらず、必要な機能すら定まっていないのが現状であることからみて、今後の課題になる。

代わりに、本解説では取り上げなかったが、アルゴリズムアニメーションによく似た技法にプログラムの視覚化(program visualization)があることを指摘しておく。この技法は、プログラムの制御の流れを図的に表示し、プログラムの開発やデバッグに利用しようとするものであるが、技法としてかなりの進展をみせているようである。

文 献

- (1) R.M. Baecker: "Two System Which Produce Animated Representations of the Execution of Computer Programs", ACM SIGCSE Bulletin, 7, 1, pp.158-167 (Feb.1975).
- (2) J.L. Bentley: "Simple System for Algorithm Animation", Abstracts of JAPAN-U.S.A. Joint Seminar on Discrete Algorithms and Complexity Theory (June 1986).
- (3) J.L. Bentley and B.W. Kernighan: "A System for Algorithm Animation: Tutorial and User Manual", Computer Science Technical Report No.132, AT&T Bell Laboratories, Murray Hill, NJ (Jan.1987).
- (4) M.H. Brown: "Exploring Algorithms Using Balsa-II", IEEE Computer, 21, 5, pp.14-36 (May 1988).
- (5) M.H. Brown: "Algorithm Animation", The MIT Press (1988).

- (6) M.H. Brown and R. Sedgewick : "Techniques for Algorithm Animation", IEEE Software, 2, 1, pp.28-39 (Jan.1985).
- (7) R.A. Duisberg : "Constraint-Based Animation : Temporal Constraints in the Animus System", Ph. D. Thesis, Computer Science Department, University of Washington, Seattle, WA (1986).
- (8) R.L. London and R.A. Duisberg : "Animating Programs Using Smalltalk", IEEE Computer, 18, 8, pp.61-71 (Aug.1985).
- (9) B.Melamed and R.J.T. Morris : "Visual Simulation : The Performance Analysis Workstation", IEEE Computer, 18, 8, pp.87-94 (Aug.1985).
- (10) 都倉信樹 : "分散アルゴリズムについて—そのシミュレータの試み—", Technical Report, 大阪大学基礎工学部 (1988).
- (11) 油川, 榎原, 中野, 中西 : "並列アルゴリズムに対するアルゴリズム・アニメーション", 情処学アルゴリズム研資, 88-AL-3-1 (1988-09).
- (12) 油川, 榎原, 中野, 中西 : "アルゴリズム・アニメーション", JISA/SEA Software Symposium '89 (June 1989).



榎原 博之 (正 員)

昭57 阪大・工・通信卒. 昭62 同大学院博士(通信)課程了. 同年阪大通信工学科助手となり現在に至る. 組合せ最適化問題, 計算幾何学, 並列アルゴリズム等の研究に従事. 工博. 情報処理学会会員.



中野 秀男 (正 員)

昭45 阪大・工・通信卒. 昭50 同大学院博士(通信)課程了. 同年阪大通信工学科助手となり現在に至る. 離散最適化問題の近似解法の評価, ソフトウェア工学等の研究に従事. 工博. 情報処理学会, IEEE, ACM 各会員.



中西 義郎 (正 員)

昭27 阪大・工・通信卒. 昭37 阪大助教授. 昭47 同教授となり現在に至る. システム工学, ソフトウェア工学に関心を持ち, 組合せ最適化問題, システム故障診断, プログラムテスト等の研究に従事. 工博. IEEE 会員.

