

## 時間オートマトンによるフェースディスプレイの 上位設計とゲームニクス理論に基づく拡張

田 川 聖 治<sup>†1</sup>

フェースディスプレイとは、人間とコンピュータのインタラクションを円滑にすることを目的として、様々なアプリケーションに「顔」を与えるものであり、アプリケーションの状態に応じた表情アニメーションをリアルタイムで実行する。本稿では、教育支援システム「ロボット TA」を対象として、時間オートマトンを用いたフェースディスプレイの上位設計法を紹介する。さらに、ゲームニクス理論に基づき、テレビゲームの技法を取り入れることで、フェースディスプレイの機能を拡張する。

### High-level Design of Face Display Using Timed Automata and Its Extension based on Gamunics Theory

KIYOHARU TAGAWA<sup>†1</sup>

For achieving the smooth interaction between humans and computers, the face display gives a face to an arbitrary application. Exactly speaking, the face display performs the animation of human's faces synchronizing with various states of the application. This paper presents a face display designed for a computer-aided education system called robot TA. First of all, a high-level design method of the face display that uses timed automata is described. Then, in accordance with Gamunics theory, the function of the above face display is extended by importing some techniques from popular video games.

### 1. はじめに

表情は重要な非言語コミュニケーションの手段であり、認知科学の分野では古くから研究されている<sup>1),2)</sup>。また、情報工学の分野においても、表情を含む「顔」に関連する研究は活発に行われている<sup>3)</sup>。ここで、情報工学における「顔」の研究は、認識技術と合成技術に大別される。さらに、顔の合成技術の応用研究として、人と機械のコミュニケーション支援を目的としたヒューマンインタフェースがあり、様々な事例が報告されている<sup>4)-6)</sup>。

著者らは、時間オートマトンを用いたフェースディスプレイの上位設計と形式的検証の手法を提案している<sup>7)</sup>。まず、フェースディスプレイとは、様々なアプリケーションに「顔」を与えるものであり、その状態に応じた表情アニメーションをリアルタイムで実行する。また、フェースディスプレイのモデルを時間オートマトンで構築し、上位設計と形式的検証を行うことで、設計の後戻りが少なくなり、開発後の保守や拡張も容易となる<sup>8)</sup>。

本稿では、著者が開発した教育支援システム「ロボット TA」を実例として、時間オートマトンを用いたフェースディスプレイの上位設計と形式的検証の手法を紹介する。まず、ロボット TA とは、学生が作成した画像処理プログラムの可否を判定するアプリケーションである。ここで、フェースディスプレイに期待される効果は、ロボット TA を使用する学生の学習意欲を高めることである。一般的に、大学におけるプログラミングの教育では、指導者の人数に比べて学生数が圧倒的に多い。そこで、適当な教育支援システムを利用することで、学生が作成したプログラムの評価などを自動化し、授業や演習の効率化を図ることが有効である。また、教育支援システムは学生にとっても自分のペースで学習を進められるというメリットがある。一方、学生は自分自身で教育支援システムを操作し、自主的に学習を進めることが求められるため、学生の学習意欲を持続させる工夫が必要となる。

ロボット TA のフェースディスプレイには、CG で合成された「顔」を持つ多くの擬人化エージェントのように、学生に対して親しみやすさを演出するだけでなく、人間の表情が持つ感情の同調性の効果も期待している。すなわち、ロボット TA による可否判定の結果に応じた適切な表情アニメーションを学生に見せることで、人間の意欲の根源である感情を刺激できれば、学生がやる気を起こし、学習内容に興味を持つ可能性がある。さらに、本稿では、ゲームニクス理論<sup>9)</sup>に基づき、テレビゲームの技法をフェースディスプレイに取り入れることで、学生をロボット TA に飽きさせないための仕組みを追加する。

<sup>†1</sup> 近畿大学  
Kinki University

## 2. ロボット TA

著者が開発したロボット TA (Teaching Assistant) は教育支援システムの一つであり、毎年、画像処理のプログラミング実習において、実際に 100 名以上の学生が使用している。ロボット TA はスタンドアロンのアプリケーションであり、学生達は授業の Web ページから各人のノートパソコンにロボット TA をダウンロードして使用する。

ロボット TA における処理の流れを図 1 に示す。まず、学生は課題の画像処理プログラムを作成した後、与えられたサンプル画像を入力画像「img1」とし、自らの画像処理プログラムを用いて出力画像「img2」を生成する。次に、学生はロボット TA を起動し、入力画像と出力画像を読み込ませる。さらに、ロボット TA で課題の番号を選択した後、テスト・ボタンをクリックする。ロボット TA は課題ごと正解の画像処理プログラムを内蔵しており、入力画像から選択された課題の正解画像「img3」を生成して表示する。また、出力画像と正解画像をピクセル単位で比較し、両者に差異がない場合は「合格」と判定する。一方、両者が異なる場合は「不合格」と判定するとともに、出力画像の誤り箇所を示した添削画像「img4」を生成する。ロボット TA による画像表示の様子を図 2 に示す。

## 3. フェースディスプレイ

### 3.1 表情アニメーションの基本構造

フェースディスプレイの設計では、表情アニメーションに含まれる複数の顔画像をまとめ

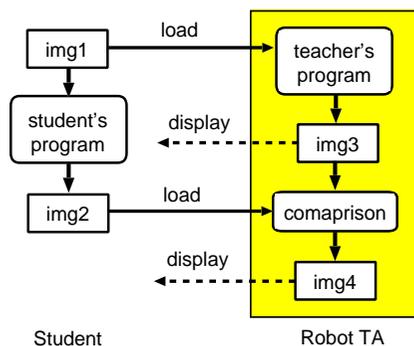


図 1 ロボット TA の機能  
Fig.1 Function of robot TA



図 2 ロボット TA による画像表示  
Fig.2 Display of image files on robot TA



図 3 フロー型ショット「Happy」  
Fig.3 Flow type shot (Happy)



図 4 フロー型ショット「Sad」  
Fig.4 Flow type shot (Sad)



図 5 ループ型ショット「Idle」  
Fig.5 Loop type shot (Idle)

て構造化する。まず、幾つかの顔画像を時系列に並べてショットとする。ショットはフロー型とループ型に大別され、フロー型ショットは一連の顔画像を表示して終了するが、ループ型ショットはロボット TA がイベントを発生するまで一連の顔画像を繰り返し表示する。例えば、ロボットが学生の出力画像を合格と判定した場合、フェースディスプレイは図 3 の顔画像を含むフロー型ショット「Happy」を表示する。また、ロボットが学生の出力画像を不合格と判定した場合、フェースディスプレイは図 4 の顔画像を含むフロー型ショット「Sad」を表示する。さらに、ロボット TA が合否判定の処理を行っていないとき、フェースディス

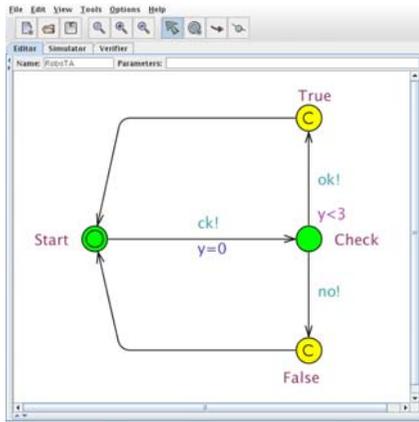


図 6 ロボット TA のモデル (roboTA)  
 Fig. 6 Model of robot TA (roboTA)

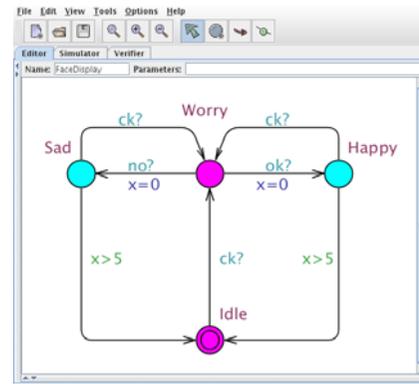


図 7 フェースディスプレイのモデル (faceDisplay)  
 Fig. 7 Model of face display (faceDisplay)

プレイは図 5 の顔画像を含むループ型ショット「Idle」を繰り返し表示する。

### 3.2 時間オートマトンによる上位設計

フェースディスプレイの上位設計では、フェースディスプレイとロボット TA をそれぞれ時間オートマトン<sup>10)</sup>によりモデル化する。まず、ロボット TA の時間オートマトンによるモデルを図 6 に示す。図 6 の二重円は初期ロケーション「Start」である。学生が入出力画像をロボット TA に読み込ませた後、テスト・ボタンをクリックすると、ロボット TA はイベント「ck」を発信して Start からロケーション「Check」に推移する。Check では正解画像の生成と出力画像の合否判定に 3 単位時間以内に完了する。その結果、出力画像が合格の場合はイベント「ok」を発信し、ロケーション「True」を経て Start に戻る。一方、不合格の場合はイベント「no」を発信し、ロケーション「False」を経て Start に戻る。

次に、フェースディスプレイの時間オートマトンによるモデルを図 7 に示す。図 7 の各ロケーションはフロー型、または、ループ型のショットである。二重円は初期ロケーション「Idle」であり、ロボット TA からイベント「ck」を受信するまで、フェースディスプレイは図 5 に示したループ型ショット「Idle」を繰り返し表示する。ここで、イベント「ck」を受信すると Idle からロケーション「Worry」に遷移し、不安な表情のループ型ショット「Worry」を繰り返し表示する。さらに、イベント「ok」を受信すると Worry からロケーション「Happy」に遷移し、図 3 に示したフロー型ショット「Happy」を最長 5 単位時間

まで表示して Idle に戻る。同様に、イベント「no」を受信すると Worry からロケーション「Sad」に遷移し、図 4 に示したフロー型ショット「Sad」を表示して Idle に戻る。

### 3.3 時相理論による形式的検証

時間オートマトンのモデル検証ツールである Uppaal<sup>11)</sup> は、グラフィカルなエディタによるモデルの記述、シミュレーション、および、CTL (Computation Tree Logic) 時相理論に基づくモデル検証が行える総合開発環境である。Uppaal によれば、図 6 に示したロボット TA の時間オートマトンと、図 7 に示したフェースディスプレイの時間オートマトンを並列統合したシステム全体に対して、下記のような論理式を検証することができる。

- (1)  $E \diamond \text{faceDisplay.Happy}$
- (2)  $A \square \text{not (roboTA.True \&\& faceDisplay.Sad)}$
- (3)  $A \square \text{not deadlock}$
- (4)  $\text{roboTA.False} \rightarrow \text{faceDisplay.Sad}$

論理式 (1) は到達可能性と呼ばれ、いつかはフェースディスプレイが表情アニメーションのショット「Happy」を実行することを検証する。また、論理式 (2) は安全性と呼ばれ、システム全体がどの様に振る舞ったとしても、ロボット TA が「合格」と判定し、かつ、フェースディスプレイがショット「Sad」を実行する状況には至らないことを検証する。論理式 (3) も安全性の一種であり、システム全体が絶対にデッドロックには陥らないことを検証する。さらに、論理式 (4) は活性と呼ばれ、ロボット TA が「不合格」と判定すれば、必ずいつかはフェースディスプレイがショット「Sad」を実行することを検証する。

## 4. ゲームニクス理論に基づく拡張

テレビゲームは「プレイヤーを褒めるメディア」である<sup>9)</sup>。ロボット TA のフェースディスプレイも、学生が作成した出力画像が合格すると、ショット「Happy」を実行して学生を褒める。しかし、それだけでは学生はロボット TA に飽きてしまう。そこで、ゲームニクス理論<sup>9)</sup>に基づき、テレビゲームで使われている「はまる演出」の 1 つである段階的な目標設定を行う。まず、学生にとっての大目標はロボット TA が判定する 10 問程度の全課題に合格することである。また、学生にとっての小目標は個々の課題に合格することである。ここで、学生を飽きさせないための工夫として、新たに中目標を設定する必要がある。

本稿では、学生の中目標として、テレビゲームで広く使われているスコアとレベルを導入する。学生が 1 問合格するごとにスコア 1 点を与え、スコアが増えて上限  $U$  に達すると、学生は上位のレベルに昇格できる。逆に、学生が 1 問不合格となるごとにスコア 1 点を奪

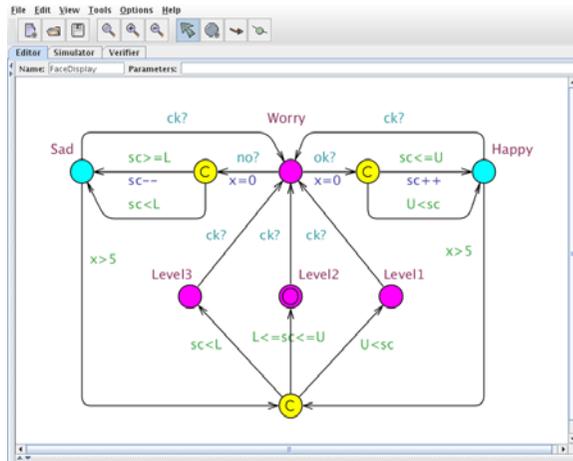


図 8 拡張したファースディスプレイのモデル  
 Fig. 8 Model of extended face display

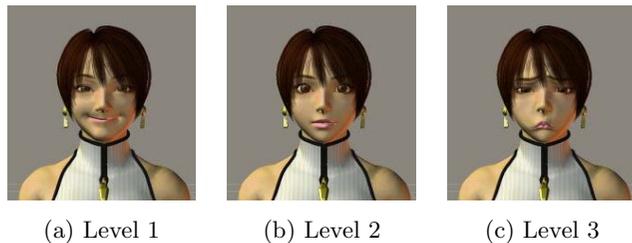


図 9 各レベルにおける代表的な表情  
 Fig. 9 Major faces of respective levels

い、スコアが減って下限  $L$  に達すると、学生は下位のレベルに降格する。また、学生の到達レベルの違いは、フェイスディスプレイの表情の違いによって表現する。

スコアとレベルを導入して拡張したフェイスディスプレイのモデルを図 8 に示す。図 8 には 3 つのレベルが存在し、「Level1」、「Level2」、「Level3」に相当する。3 つのレベルのロケーションでは、図 6 のロボット TA からイベント「ck」を受信するまで、それぞれ異なるループ型ショットを実行する。フェイスディスプレイの各レベルにおけるループ型ショットの代表的な表情の顔画像を図 9 に示す。また、初期ロケーションは Level2 である。

次に、図 8 のフェイスディスプレイでは、イベント「ok」を受信するとスコア  $sc$  を 1 点増やし、「no」を受信するとスコア  $sc$  を 1 点減らす。その結果、スコアが  $sc < L$  であれば Level3,  $L \leq sc \leq U$  であれば Level2,  $U < sc$  であれば Level1 に遷移する。

## 5. おわりに

本稿では、時間オートマトンを用いてロボット TA に対するフェイスディスプレイの上位設計を行うとともに、ゲームニクス理論に基づき、テレビゲームの技法を導入することで、学生をロボット TA に飽きさせないための工夫を施した。また、設計したフェイスディスプレイについては、ロボット TA とともに Java 言語によって実装している。ただし、新たに開発したフェイスディスプレイの教育上の効果の検証は、今後の課題とする。

謝辞 今回実装したフェイスディスプレイのために、表情豊かな多くの顔画像を作成してくれた近畿大学理工学部情報学科・卒業生の塚崎壮一氏に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) P. エクマン, W.V. フリーゼン (工藤力訳編): 表情分析入門, 誠信書房 (1987).
- 2) 吉川左紀子, 益谷 真, 中村 真: 顔と心: 顔の心理学入門, サイエンス社 (1993).
- 3) 長谷川修, 森島繁生, 金子正秀: 「顔」の情報処理, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J80-D-II, No.8, pp.2047-2065 (1997).
- 4) Chernoff, H.: The use of faces to represent points in  $k$ -dimensional space graphically, *Journal of the American Statistical Association*, Vol.68, No.342, pp.361-368 (1973).
- 5) 野口典正, 安居院猛, 中島正之: 表情アニメーションによる多変量データ表示システム, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J70-D, No.11, pp.2177-2181 (1987).
- 6) 児玉哲彦, 安村通晃: 表情を表現を含む手話アニメーションの試作, 情報処理学会研究速報, 2003-HI-103, Vol.2003, No.47, pp.23-29 (2003).
- 7) 田川聖治, 高橋佑輔, 加藤 暢: 時間オートマトンによるフェイスディスプレイの上位設計と形式的検証, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用, Vol.3, No.3, pp.44-53 (2010).
- 8) 岡野浩三: 上位設計におけるシステムの振り舞い検証技術, システム/制御/情報, Vol.52, No.9, pp.328-333 (2008).
- 9) サイトウアキヒロ: ゲームニクスとは何か, 幻冬舎新書 (2007).
- 10) Alur, R. and Dill, D.L.: A theory of timed automata, *Journal of Theoretical Computer Science*, Vol.126, No.2, pp.183-235 (1994).
- 11) Behrmann, G., David, A. and Larsen, K. G.: A tutorial on uppaal, <http://www.uppaal.com> (2004).