4ZJ-08

ボールが転がる3Dアニメーションを用いたプログラムの実行状況の可視化システムの開発

Development of Visualization System of Program Execution Based on 3D Rolling Ball Model

吉良 卓敏† Kira Takuto
六沢 一昭‡ Rokusawa Kazuaki

1 はじめに

プログラムの実行状況を人間が直接目視することは難しい．もし，プログラムの実行状況を可視化できれば，プログラムの構造の理解やデバッグが容易になると考えられる．このようなプログラムの可視化については，これまで様々な研究が行われてきた [1][2] ．

本研究の目的は，プログラムの実行状況を，ボールが転がる３Ｄアニメーションを用いて可視化するシステムの開発である．

本システムは玉転がしの玩具の仕掛けから着想を得たものである．玉転がしの玩具には，同じコース上を繰り返し転がす仕掛けや，ボールの経路を分岐させる仕掛けがある．本研究ではこれらの仕掛けと，プログラムの制御構造との類似点に着目した．プログラムの全体を玉転がしのコースに，実行の流れをボールの流れに置き換えた３Ｄアニメーションによって，プログラムの実行状況を表現する．

2 玉転がしの仕掛け

2.1 実際の玉転がしの仕掛けとプログラムの対応

表 1: プログラムの制御構造と玉転がしの仕掛けの対応

プログラムの制御構造	玉転がしの仕掛け
分岐構造	分岐路
ループ構造	ジャンプ台
関数	サブコース
関数呼び出し/return	トンネル

玉転がしのコースを構成する仕掛けの中には，ボールを麓から上部まで持ち上げ，同じ場所を何度も転がらせるジャンプ台や，仕切りによってボールを誘導する分岐路が存在する．これらとプログラムの制御構造を比較すると，ジャンプ台はプログラムのループ構造に，分岐路はプログラムの分岐構造に類似している．

このような類似点から，プログラムの実行の流れをボールの流れに，プログラム全体をボールが転がるコースに当てはめることで，プログラムの実行状況を玉転がしのアニメーションで表現できると考えられる．

以上のことから，本研究ではプログラムの制御構造と実際の玉転がしの仕掛けの対応を表１のように定めた．

†千葉工業大学大学院　情報科学研究科　情報科学専攻
‡千葉工業大学　情報科学部　情報工学科

2.2 分岐路

if，switch といった分岐構造は，分岐路のパーツで表現する (図 1(a))．左右の道はプログラムの分岐構造の then/else を表現しており，右側が then 節に，左側が else 節に対応する．アニメーション中では，分岐判定に応じて中央の仕切りが可動し，ボールを対応する道に振り分ける．

2.3 ジャンプ台

for，while，do while といったループ構造は，ジャンプ台のパーツで表現する (図 1(b))．始点と終点に分かれていて，終点の発射装置によってボールを始点まで跳ね上げることでループを表現する。繰り返しの判定場所によってループの脱出経路が異なる．後判定の場合仕切りが可動して後続コースに抜けるが，前判定の場合迂回路でコース下部から飛び出すように脱出する．

2.4 トンネル，サブコース

関数とその呼び出しは，トンネル (図 1(c)) と，メインのコースから独立したサブコースによって表現される．サブコースは，関数の中身を表現している点以外はメインのコースと同様である．ボールがトンネルに入ると，ボールがサブコースの入り口から出現し，サブコース内を転がり始める．サブコース出口のトンネルは return を表現しており，ボールが入ると元のコースの，呼び出し時に入ったトンネルから出現する．

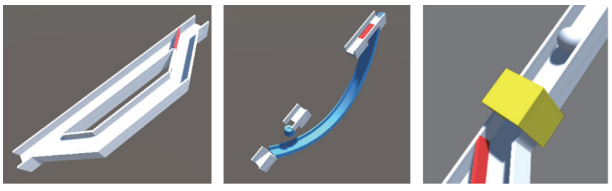

図 1: 分岐路とジャンプ台とトンネルのパーツ

3 可視化システム

本システムでは可視化対象のプログラムから分岐構造及びループ構造，関数の宣言及び呼び出しを抽出して玉転がしのコースを生成する．そして，そのコース上をボールが転がっていくアニメーションによって可

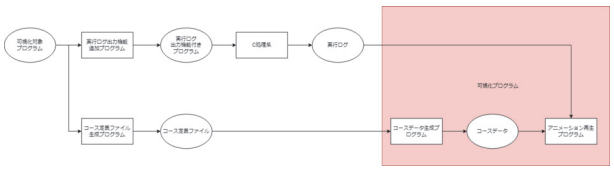

図 2: システムの流れ

視化を行う．なお本システムは，C 言語プログラムを対象に可視化を行うものである．

システム全体の構成と処理の流れを図 2 に示す．また，可視化処理の流れは以下のとおりである．

1. 実行ログ出力機能追加プログラムに可視化対象プログラムを入力し，実行ログ出力機能付きプログラムを得る．
2. 実行ログ出力機能付きプログラムを C 処理系で実行し，実行ログを得る．
3. コース定義ファイル生成プログラムに可視化対象プログラムを入力し，コース定義ファイルを得る．
4. 可視化プログラムに実行ログとコース定義ファイルを入力すると，玉転がしのアニメーションが表示される．

4 システムの機能

可視化対象のプログラムが複雑な場合，アニメーションでボールが転がるコースも相応に大きなものとなり，単一の視点ではプログラム全体を把握しにくくなってしまう．そこで本システムでは，アニメーション再生中に同時に複数の視点からボールを観察できる機能を持たせた．アニメーションは３つのウィンドウの中に表示され，それぞれが以下のような固有の視点と対応している．

1. ボールを背後から追跡する視点
2. ボールを鳥瞰で追跡する視点
3. コース全体を俯瞰する視点

また，各ウィンドウに対しては以下の操作を行うことができる．

移動，拡大縮小　ウィンドウをドラッグすると，画面上を移動する．また，縦横の端をドラッグすると，マウスの動きに応じてサイズが拡大縮小される．さらにウィンドウ右上の四角マークのボタンをクリックすると，ウィンドウが画面いっぱいまで拡大される．

格納　ウィンドウ右上の横棒マークのボタンをクリックすると，ウィンドウが一時的に非表示になる．画面左下のボタンを押すことで再び表示される．

カメラ距離調整　この操作は１，２のウィンドウでのみ可能である．ウィンドウ上でホイールスクロールすると，カメラのボールまでの距離が変化する．

速度変更　矢印キーの左右を押すと，アニメーションの再生速度を早送りや低速化できる．

5 実行例

図 3(a) のプログラムから生成されたアニメーションの一場面を図 3(b) に示す

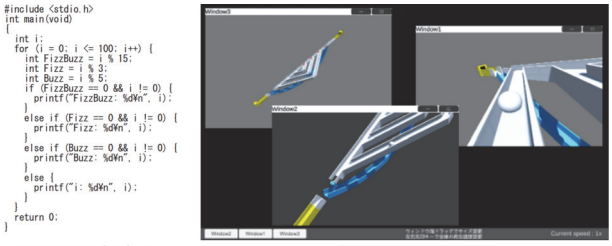

図 3: 可視化例

6 考察

本システムでは，プログラムの実行という抽象的な動作を，ボールが転がる３ D のアニメーションという現実の物理法則に基づいた視覚的な表現に落とし込んでいるため，利用者がプログラムの構造をイメージする助けになると考えられる．

また，玉転がしはもともとボールの動きを観察して楽しむ玩具であるため，本システムで生成したアニメーションも同じ性質を持っていると考えられる．これにより，アニメーションを鑑賞しながらデバッグする，あるいは望んだアニメーションの生成を目的にプログラムを書くといった，プログラミングへの娯楽性の付与も期待できる．

7 まとめ

ボールが転がる３ D アニメーションによって，C 言語プログラムの実行状況を可視化するシステムを開発した．本システムでは，プログラムの実行という抽象的な動作を，玩具を模した３ D アニメーションによって楽しく具体的に表現できるため，プログラミングへの娯楽性の付与が期待できる．

参考文献

[1] 古宮 誠一, 今泉 俊幸, 橋浦 弘明, 松浦 佐江子, “ プログラミング学習支援環境 AZUR–ブロック構造と関数動作の可視化による支援 ”, 情報処理学会研究報告, ソフトウェア工学研究会報告, Vol.2014 , No.5, pp.1-8 (2014).

[2] 小山 秀明, 山田 俊行, “ 変数の値の変化の可視化によるプログラム理解支援 ”, 情報処理学会論文誌プログラミング（PRO）, Vol.10, No.4, 1-11(2017).