

オブジェクト指向シミュレータのためのクラス群の開発

瀧川具弘^{1*}・今泉 創²

¹筑波大学大農林技術センター,
305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

²キューピーマヨネーズ

要 旨

農業機械学教育において欠くことのできない、農業用車両の運動に関する知識を視覚的に表現する手段として、3次元グラフィックスソフト OpenGL を用いたシミュレータ（アニメーション）を製作した。シミュレーションプログラムは、C++言語のクラスライブラリーとして構成した。開発したシミュレータにより車両運動の視覚的表現が可能となったが、実用に供するには、運動方程式とその解法とアニメーションとをより明確に結合した教材とする必要があった。

キーワード：アニメーション，3次元グラフィックス，シミュレータ，車両力学

緒 言

農業機械化において、トラクタ等の車両が果たす役割には大きいものがある。農業機械の原動力であるトラクタの働きを理解することは、農業機械学学習に欠かせない。トラクタの運動を理解するには、エンジンからクラッチ，トランスミッション（歯車列），ディファレンシャルギア（差動装置），最終減速装置を經由して車輪を駆動する動力伝達系，車輪と路面（多くの場合は土壌）との作用機構，そして操舵された車両の運動を学ぶ必要がある。機械の運動の学習では，機構学や機械運動学等の基礎知識を前提として，車両の運動式を導出して検討する。しかし，運動方程式の解をグラフ等で表わすだけでは，結果を直感的に理解することは難しい。そこで，本報告では OpenGL を用いた 3次元グラフィックを用いて視覚的に車両の運動を表現して，車両運動学習に役立てる試みについて紹介する。

なお，本試みは，車両の誘導制御研究を進める中で，酒井（2000）による OpenGL を用いたアニメーション作成に関する著書を知ったことで始めたものである。このため，3次元表現の多くは酒井の著書によるものであることを明記しておきたい。

* Corresponding Author: tobora@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

オブジェクト指向プログラミングと OpenGL

1 オブジェクト指向

IT 革命による情報化社会の形成に合わせ、パソコンなどのハードウェアの高性能化、低価格化が起り、コンピュータによる表現力が向上してきた。ハードウェアの進化は現在も続いており、その結果として、一般家庭にまでも高度な3D グラフィックスに耐えうる性能のハードウェアが普及し、3D グラフィックスを多用したゲーム、研究機関では現象のシミュレーション、社会では巨大システムの運用などに利用されるようになって久しい。一方、高性能のハードウェアの普及により、ソフトウェアの重要性がより一層高まっている。さらに、ソフトウェア開発の分野においては、巨大なシステムの開発や、ソフトウェア開発の高速化が求められ、オブジェクト指向プログラミングやオブジェクト指向モデリングなどのオブジェクト指向技術が伝統的なプログラミング技術に取って代わり、一般化しつつある。本試みでは、車両運動の視覚的な理解を助けるための OpenGL による描画機能と車両運動の計算機能をクラスライブラリとして整備した。OpenGL 以外の3D グラフィックプログラムには、DirectX や Web ベースで使用される VRML がある。VRML (Virtual Reality Modeling Language) は、インターネット上で3D グラフィックスをサポートし、Web ページ上に3次元の仮想世界を構築できる。DirectX は Microsoft 社が Windows シリーズのために提供している拡張 API 群である。DirectX は3次元グラフィックスを多用したゲーム開発に利用されることが多い。農業分野での応用例には、本條らによる、樹木を有する擬似庭園内を散策可能なシステムの開発がある。このシステムは、景観計画、設計の際での代替案検討に有用であったと報告されている(本條ら1999)。米川ら(2002)は、シミュレーションではないが3D グラフィックスによる農用車両の安全運転講習用教材を作成した³⁾。OpenGL の特徴は移植性の高さにあり、GLUT などのユーティリティを使えば、ほとんど同じソースで様々な環境でプログラムを動作させることができる。なお、OpenGL に相当する機能を持つ Open Source ライブラリとして MESA がある。以上の理由から、本研究では、3D グラフィックライブラリの中から OpenGL を利用して、シミュレーションの3次元表示を行うことにした。

2 オブジェクト指向モデリング

オブジェクト指向のモデリングでは、対象世界をオブジェクトの集まりと捉える。オブジェクトは、対象世界に存在する「もの」を抽象化したものである。つまり、オブジェクトを要素とする自律分散協調ネットワークで対象世界を構成するというモデルを前提としている。オブジェクトは、外部から情報を受け取り、内部で情報を加工し変換して外部へ情報を送り出すことができる。対象世界をオブジェクトの組み合わせだけで表現し、それ以外のものを排除することで、モデルの単純化を図ることができる。したがって、オブジェクト指向モデリングでは、改良が容易に行える。こうした特徴から、実世界に対して自然なモデリングが可能となる。近年、ソフトウェア開発や保守・改良などの生産性をあげることが大きな課題であるため、オブジェクト指向モデリングが一般化しつつある。

3 農業用車両走行のモデル

開発したシミュレータは、階層構造を持ったクラスの集合で構成される。ただし、ここでの

階層は、オブジェクト指向特有の「継承」によって行われる。継承は、親となるクラスから、新たな機能を追加した子クラスを作成することである。子クラスは、親クラスの機能を引き継いでいる。こうした「継承」を実現することで、モデリングを非常に単純化、効率化できる。たとえば、車両としての共通機能をもつクラスを作成し、これを基本クラスとして、対象とする車両に固有な機能や性質を追加することで、トラクタ、トレーラ、ワゴンといった個別の特徴を持ったクラスを作成できる。本モデリングでのクラスの継承の関係を図1に示した。3次元の描画のための基本図形描画機能と影描画機能を持つクラスを基本クラスとして定義した。なお、前述のとおり、本クラス群の基本クラス（図中ではボールドで示した）の一部は著者らによって追加されたものであるが、ほとんどは酒井の著作とその付属CDのソースコードによるところが多い。

3次元の図形を描画する必要のあるクラスはすべて Primitive クラスから派生した。Primitive クラスから派生して、Vehicle クラスを定義した。Vehicle クラスは車両の基本機能を持つクラスである。個別の機能を持った車両クラスは、Vehicle クラスから派生させた。本研究では、トラクタとトレーラを定義した。また、作業機として働く機器のクラスを Implement クラスとして定義した。作業機の機能とは、トラクタに装着されて、トラクタの運動に合わせて動作し、作業することである。作業機クラスはすべて Implement クラスから派生させた。Vehicle クラスを継承して Tractor クラスを、Implement クラスを継承して Broadcaster クラスを定義した。トレーラは車両の要素と作業機の要素の両方をもつので、Vehicle クラスと Implement クラスを多重継承して Trailer クラスを定義した。車両の運転を行うクラスとして、Operator クラスを定義した。また、シミュレーションを観察するカメラの機能をもつクラスとして、Camera クラスを定義した。

4 情報交換

C++でのクラス定義では、オブジェクトの内部の情報をオブジェクトのユーザーから遮蔽し、オブジェクト操作のインターフェイスのみを見えるようにする。このような技法をクラスカプセル化と呼び、公開されたインターフェイスを通じてしかオブジェクト情報にアクセスで

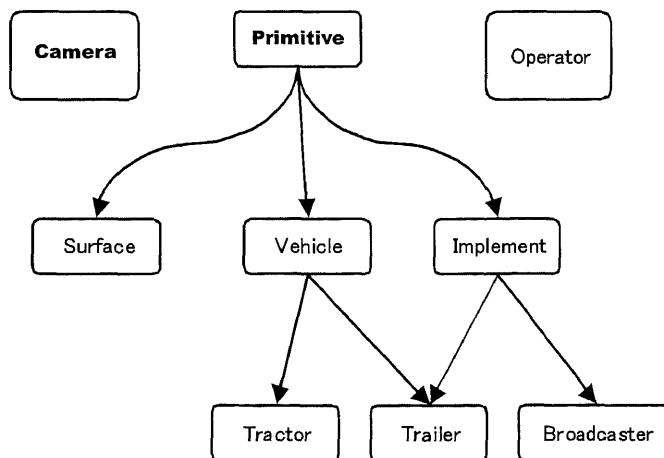


図1 クラスの継承関係。

きないことが保障される。クラス間の情報のやり取りは、オブジェクトのインターフェイスを通じて行われる。例えば、TractorクラスとOperatorクラス間では、TractorクラスがOperatorに位置情報、現在の車両状態情報を与え、OperatorクラスはTractorクラスに操舵角度と速度の指令を与える。このことでトラクタが移動する。TractorクラスとImplementクラスの情報のやり取りは、TractorクラスはImplementクラスに牽引点の位置情報を与え、それに従い作業機が移動する。また、SurfaceクラスはVehicleクラスとTrailerクラスに地表面の情報を与え、それに従い、車両、トレーラの姿勢が変化する。このようなオブジェクト間の通信モデルをまとめると図2のようになる。なお、コンパイラには Borland C++ Builder6.0を使用した。

シミュレーション

1 運動方程式

トラクタの運動は、低速度では車輪での横滑りを考えないモデルを用い、速度が一定以上では、旋回時に作用する遠心力による車輪の横滑りを考慮するモデルを用いる。なお、農用車両の教育では、傾斜地や牽引作業中での車輪分担荷重の変化、それに伴うけん引力の変化などが重要であるが、こうした計算結果は2次元での表現が用いられるので本取り組みでは対象としなかった。

地面に固定された直交座標系 (x, y) において低速度域でのトラクタ運動は、次のように表現できる (Lilik, et al., 2002)。

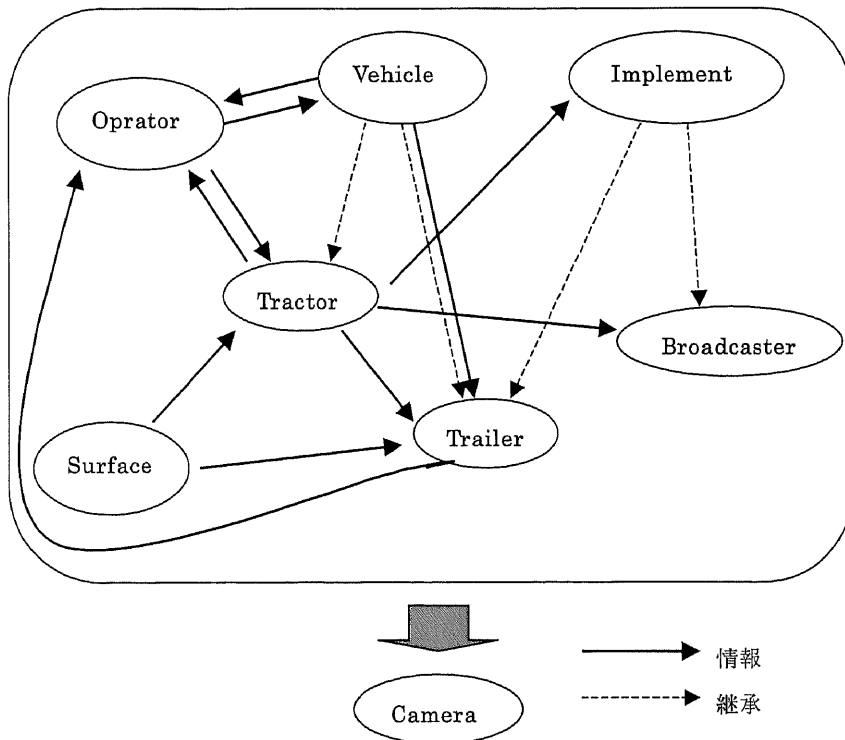


図2 クラスの情報通信モデル。

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= V \cos \theta \\ \frac{dy}{dt} &= V \sin \theta \\ \frac{d\phi}{dt} &= \frac{V \tan \alpha}{l}\end{aligned}\tag{1}$$

ここで、 l は車両のホイールベース、 V は走行速度、 (x, y) は車両の後車軸中心の座標、 α は操舵角度、 ϕ は車両の姿勢角度である。

車両の誘導では、車両は出発点と到達目標点を結ぶ、次式のような多項式で表される曲線状を走行するとした。

$$y = \pi^2 y_f \left\{ 1 - \cos \left(\frac{\pi x}{x_f} \right) \right\} + \frac{ax^2}{x_f^2} + \frac{bx^3}{x_f^3} + \frac{cx^4}{x_f^4} + \frac{dx^5}{x_f^5}\tag{2}$$

ここで、車両は直交座標の原点を出発し、座標 (x_f, y_f) まで走行する。この曲線の係数 a, b, c, d は、車両の出発点と目標点での位置、姿勢角度、操舵角度が与えられた場合、次のように求められる。添字 i は出発点を、 f は到着点を示す。

$$\begin{aligned}a &= \frac{x_f \tan \alpha_i - \pi^2 y_f}{2l} \\ b &= \frac{x_f^2}{2l} \left(\frac{\tan \alpha_f}{\cos^3 \phi_f} - 3 \tan \alpha_i \right) - 4x_f \tan \phi_f + \pi^2 y_f \\ c &= \frac{x_f^2}{2l} \left(3 \tan \alpha_i - \frac{2 \tan \alpha_f}{\cos^3 \phi_f} \right) + 7x_f \tan \phi_f - \frac{5\pi^2 y_f}{4} \\ d &= \frac{x_f^2}{2l} \left(\frac{\tan \alpha_f}{\cos^3 \phi_f} - \tan \alpha_i \right) - 3x_f \tan \phi_f + \frac{\pi^2 y_f}{2}\end{aligned}\tag{3}$$

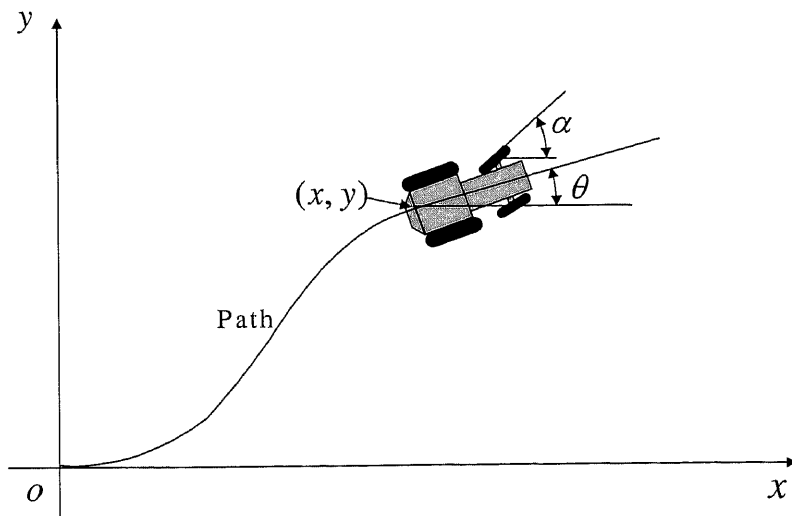


図3 車両の軌跡追従モデル。

一度曲線が設計できれば、必要な操舵角度は次式で求められる。

$$\tan \alpha = l \cos^3 \phi \left(\frac{\pi^2 y_f \cos\left(\frac{\pi x}{x_f}\right)}{2x_f^2} + \frac{2a}{x_f^2} + \frac{6bx}{x_f^3} + \frac{12cx^2}{x_f^4} + \frac{20dx^3}{x_f^5} \right) \quad (4)$$

2 シミュレーションの表示例

試作した教育用シミュレーションから例を紹介する。低速度での車両を定点へ誘導するための上記の操舵制御である。トラクタの概観は、生研センターによる型式検査データに基づいて決定した。

この制御を、オペレータクラスに実装した。シミュレーション結果のアニメーション例を図4に示した。

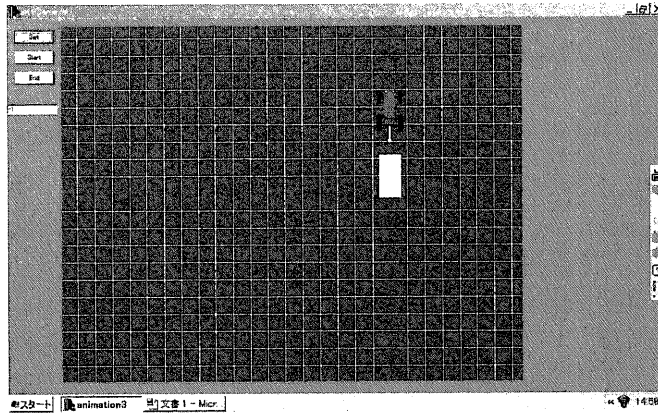


図4-1 トラクタとトレーラの走行制御のシミュレーション画面1 (上方からの視点).

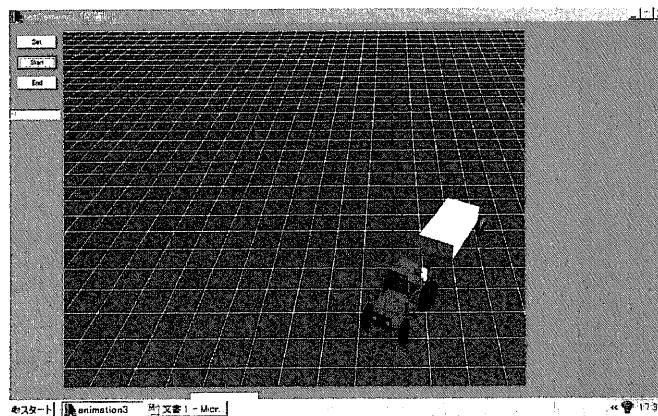


図4-2 トラクタとトレーラの走行制御のシミュレーション画面2 (斜め上からの視点).

考 察

本報告では、OpenGLを用いることで車両の運動を視覚的に表現し、車両運動の学習を深めるための試みについて報告した。図4に示したように、3次元表現によって車両の運動を視覚的に理解しやすくなった。実際に講義で試用した範囲では、受講生からは理解が容易になるとの評価を得ることができた。しかしながら、次のような問題点も存在している。

- 1) 農業機械学で扱われてきた課題は、傾斜地での走行時やけん引負荷時の荷重配分変化などを扱っているために、3次元表現の長所が生かし切れない。
- 2) 一方、傾斜地での凹凸などによる転倒のシミュレーションでは、路面とタイヤとの相互作用の計算が複雑となってしまうこと。
- 3) 受講生にとって、運動そのものは理解しやすくなったものの、方程式及びその解と運動との関係は明確とはならないこと。

以上の問題点を解決するには、3次元表現のみならず、方程式の導出、計算、視覚表現を一

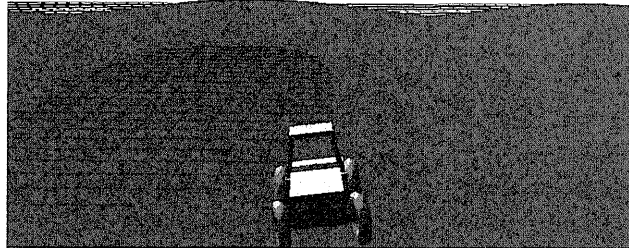


図4-3 傾斜地での走行シミュレーション画面。

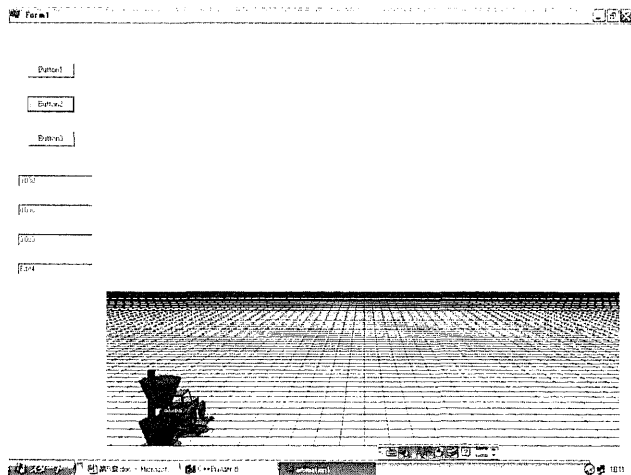


図4-4 トラクタのホoppaへの接近制御のシミュレーション画面。

体的に教示する方法を必要であると考えており、今後は、このような機能を組み込んだプログラムへと発展させる努力を重ねていく予定である。

引用文献

- 本條 毅・林 恩美・丸田頼一 1999. VRMLによる景観可視化. ランドスケープ研究. 62(5) : 665-668.
- 酒井幸市 2000. OpenGL3Dプログラミング-3DCGの基礎から制御系アニメーションへの応用まで. CQ出版. 東京.
- Sutiarso, L., H. Kurosaki, T. Takigawa, M. Koike, O. Yukumoto and H. Hasegawa 2002. Trajectory Control and Its Application to Approach a Target Part I, Transactions of ASAE, 45 (4), 1191-1197.
- 米川智司・久保田浩史・山崎千夏 2002. 農作業安全教育シミュレータ用CGの製作, 農作業研究. 37 (別1) : 43-44

Development of Class Libraries for Object Oriented Simulator

Tomohiro TAKIGAWA*¹ and Soh IMAIZUMI*²

¹ Biosphere Resource Science and Technology, Graduate School of Life and Environmental Sciences (Agricultural and Forestry Research Center), University of Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan

² Q.P. Corporation, Tokyo, 183-0034, Japan

Abstract

As visual presentation of vehicle movement necessary in agricultural machinery education, a 3 dimensional graphic vehicle movement simulator was developed by using OpenGL. The simulator is composed of class libraries coded in C++ language. Although the developed simulator enabled graphical representation, it was not easy for students to understand the relationship between solution of the equations and vehicle's motion. Hence, for practical educational application the software should show such relationship clearly.

Keyword: Animation, Simulator, Three dimensional graphics, Vehicle dynamics

* Corresponding Author: tobora@sakura.cc.tsukuba.ac.jp