

## 動力学計算を用いた森林伐採機械シミュレータ (1)

3 A A - 1 1

### - システム全体 -

平池龍一† 林美奈子† 森川自‡ 高梨伸彰‡ 根本啓次†

NEC † ヒューマンメディア研究所 ‡ 機能エレクトロニクス研究所

E-mail: hiraike@HML.CL.nec.co.jp

#### 1 はじめに

著者らはこれまでにネットワーク上の複数のユーザが同一の仮想世界の中で物体に触れながら協同作業を行うことを可能とするシステム(ネットワークVR)[1]や、重心移動や指先の血流量変化といった生体情報を計測することでスキースキーの訓練を支援するシステム(VRスキー)[2]を開発してきた。

これらのシステム開発を通して、仮想空間共有のための世界情報交換方式、共有空間一貫性維持のための排他制御方式、様々な処理モジュールを独立に実行させてVR環境を実現する分散VR方式などの研究を行っている。

我々は、これらの研究を統合した応用システムとして、森林伐採機械の操作訓練シミュレータを開発した。この際、分散VR方式を拡充することで、物理法則(動力学計算)に基づくリアルな運動の実時間生成を、比較的小規模なシステム構成で実現した。本稿では、ハードウェアおよびソフトウェアの構成を中心にシステム全体について述べる。

#### 2 森林伐採機械シミュレータ

森林伐採機械は、樹木の切り倒し、枝の除去、指定長での幹の切断といった林業作業を行うための機械である。作業地は局所的に急傾斜を伴う山の斜面であり、操作を誤ると転倒するなど危険な場所での作業が基本である。また、伐採可能な樹木には本数に限りがある。このように様々な制約を伴う実世界(実機)での訓練を、安全かつ効率良く行わせるために、仮想世界(VR)を利用して実現したシステムが本シミュレータである(図1)。

訓練シミュレータとして実用に耐えるものとするためには、あたかも実世界で作業をしているような臨場感を創り出すこと、具体的には本物そっくりのCG映像や音響を生成すること、また仮想物体(仮想世界の中の機械や樹木など)の動きを可能な限り本物の動きに近付けることが重要である。

これらを実現するためには、膨大な量の計算処理を限られた時間内で行う必要である。しかし、このような処理を十分なCPU性能に加えてCG機能や



図1: システム概観

音響機能をも備えた1台の計算機で実現しようとする、一般に高価なシステムになってしまう。そこで、シミュレータを実現するために必要な処理を複数のモジュールに分割し、その種の処理を得意とする異なる計算機上で各処理モジュールを実行させ、ネットワークを介して処理結果を相互に通信することで協調動作をさせる分散VR方式に基づくシステムを構築した。

このようにしてシステムを構築することにより、1) 要求する機能を備えた比較的安価な計算機の組合せで、総合的に処理能力の高いシステムを実現可能である、2) 計算機やネットワークのリプレース等、システム構成の変更が容易となる。また、各処理がモジュールとして独立しているため、3) システム開発を行いやすい、という利点がある。

#### 3 システム構成

本シミュレータのシステム構成を図2に示す。

##### 3.1 ハードウェア

本システムは4台(GWS:2台,WS:1台,PC:1台)の計算機をLAN(イーサネット)で結合した構成になっている。

一方のGWSはCG映像および音響の生成用であり、縦2面の大型スクリーン(約160インチ相当)にCG映像を投影するための2台のプロジェクタと、スピーカとが接続されている。また、PCにはI/Fユニットを介して実物の運転台が接続されている。

A Forestry Machine Simulator Using Dynamics Model  
- Overview -

Ryuichi Hiraike, Minako Hayashi, Hajime Morikawa,  
Nobuaki Takanashi and Keiji Nemoto  
NEC Corporation

もう一方の GWS はシステム制御用であり、シミュレータの起動 / 停止やデータベースの管理を行う。WS は動力学演算専用の計算機として割り当て、物体間の衝突の検出と物理法則に基づく運動の生成を実時間で行う。

### 3.2 ソフトウェア

本システムは以下の処理モジュールで構成される。

**CG 映像生成** 森林内の訓練環境および伐採機械を3次元CGで表示する[図3]。具体的には、解像度1024x768の立体視画像を2画面分生成している。この際、伐採の対象となる樹木は枝の部分に至るまでポリゴンの集合で表現した詳細な表示モデルを用いるが、通常の樹木の枝葉は1枚の板にテクスチャを張り付けただけのものを使用するなど、臨場感の高い映像を少ない処理量で生成するための工夫を施している。

**音響生成** 樹木、機械、地面が互いに衝突する時に発生する音や、伐採機械のエンジン音あるいはチェーンソーの音などを効果音響として生成する。具体的には、予め作成しておいたWAVE形式の音をCG映像に同期させて再生することで実現している。この際、衝突の度合やエンジンの負荷に応じて音量や音程を変化させることにより、臨場感を高めている。

**運動生成** 物体間の衝突の検出、衝突量の算出、干渉反力の生成といった処理を経て、物理法則(動力学モデル)に基づき運動生成を行う。この際、物体を包含する簡易形状を利用した衝突検出、簡易形状の階層化、検出対象物体の事前絞り込みなどを行うことで処理時間を削減している。また、物体の状態や属性に応じて、力や運動の生成方式を適応的に変化させることにより、実世界での動きに近い運動を高速に生成している。[別稿(2)参照]

**システム制御** シミュレータの起動 / 停止、訓練シーンの設定 / 変更、訓練履歴データベースの管



図3: CG映像の例

理などを行う。システム管理者は、グラフィカル・ユーザインタフェースを通して、これらの操作を行うことができる。

**運転台インタフェース** 運転台装置に取り付けられた各種センサからI/Fユニットを介して送られてくる操縦データを、正規化などの処理を施した後、通信管理モジュールに転送する。また、操縦状況をリアルタイムでモニタに表示する。

**通信管理** 全ての処理モジュール間の通信を一括管理する。具体的には、本モジュールをサーバ、他のモジュールをクライアントとするサーバ・クライアント方式に基づき、サーバ内に確保した共有領域を介してデータ交換を行う。通信部分は、ソケットを用いたUDP/IP通信として実装した。

各処理モジュールの計算機への割り当ては図2に示す通りであるが、これは一例である。例えば、映像音響生成用のGWSがマルチCPU計算機といった処理能力の高いものであれば、運動生成モジュールもその計算機上で実行させるなど、システム構成を容易に変更することが可能である。

CG映像生成および運動生成の各処理モジュールについて、1秒間あたりの処理繰り返し回数を測定した結果、各々15-25回および30-50回であった。

### 4 おわりに

森林伐採機械の操作訓練シミュレータを開発した。各処理モジュールをネットワーク上の異なる計算機で実行する分散VRシステムとして構築することで、実時間動力学計算に基づくシミュレータを、一般的なWSやPCを利用した比較的小規模なシステムとして実現することができた。

### 参考文献

- [1] Nakamura: Distributed Virtual Environment System for Cooperative Work, Networked Reality '94, 1994.
- [2] 篠原 他: 生体情報を利用した人工現実感スキーシステム, 第49回情処全大, 1994.

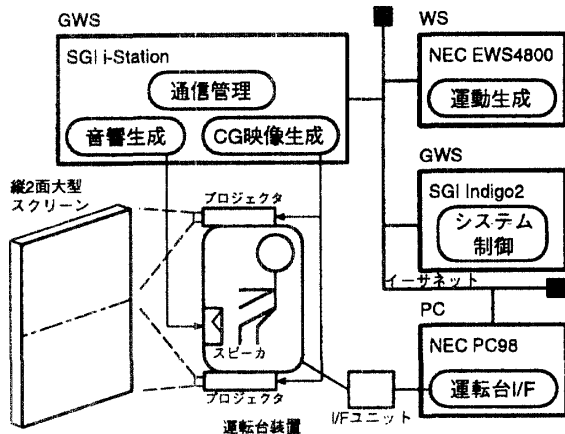


図2: システム構成