

## 動力学計算を用いた森林伐採機械シミュレータ (2)

3 A A - 1 2

### - 衝突検出と動力学計算 -

林美奈子<sup>†</sup> 森川自<sup>‡</sup> 平池龍一<sup>†</sup> 高梨伸彰<sup>‡</sup> 根本啓次<sup>†</sup>NEC ヒューマンメディア研究所<sup>†</sup> 機能エレクトロニクス研究所<sup>‡</sup>

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

### 1. はじめに

森林伐採機械シミュレータでは、車体の先端に取り付けられた伐採装置(=ヘッド)を樹木の根元付近に固定させて木を切り倒した後、枝の除去および幹の切断により一定長の丸太を作るといった作業の訓練を行う。このようなシミュレータでは、伐採時における樹木同士の接触や、地面の凹凸あるいは掘込している樹木の重量に応じた車体の姿勢変化など、複雑な動きを再現する必要がある。

そこで、物体(樹木、地面、機械)間の衝突を検出し、衝突の度合から物体の動きを求め、動力学計算に基づくシミュレータを開発した。この際、衝突検出対象の階層化による処理の高速化や、物体の位置と速度を共に考慮して衝突反力を生成するなどの工夫により、実時間での運動生成を実現した。

本稿では、衝突検出処理の高速化と動力学計算処理における衝突反力の算出方法を中心に運動生成方式について述べる。

### 2. 運動生成方式

運動生成は、衝突検出処理と動力学計算処理の二つの処理からなる。衝突検出処理では、物体間の衝突を検出し、衝突が検出された場合、衝突ベクトルを計算する。動力学処理では、衝突ベクトル等を考慮して運動学計算および動力学計算を行う。

#### 2.1. 衝突検出処理

一般に、衝突検出では、処理を高速に行うために本来の形状を近似するような球、円柱、多面体などの簡易な形状(=バウンディング・ボリウム)を用いる[1]。本方式では、物体を地面、樹木、伐採機械の部品の3種類にわけ、樹木と伐採機械の部品は円柱の集合で、地面を平面パッチで表している。バウンディング・ボリウムとして円柱を用いると、樹木の形状を近似しやすいだけでなく、凸多面体を用いた場合に比べ、衝突ベクトルを容易に計算できる。

#### 衝突検出の階層化

本方式では、バウンディング・ボリウムを階層化することにより高速な処理を実現している。

例えば、樹木およびヘッドに対しては、以下のよう

に階層化を行った。

樹木

第1階層：樹木全体

第2階層：幹全体および枝全体

第3階層：枝および幹(表示形状とほぼ一致)

A Forestry Machine Simulator Using Dynamics Model  
-Collision Detection and Dynamics Simulation-

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

ヘッド

第1階層：ヘッド全体

第2階層：個々の部品

衝突検出処理は、概略検出と詳細検出の二つの処理からなる。

● **概略検出**：二つの物体の少なくとも一方が速度を持つとき、第1階層同士で行う。

● **詳細検出**：概略検出で衝突ありと判定された場合にのみ行う。階層の組合せは物体により異なる。

樹木と樹木の場合→第2階層同士

ヘッドと樹木の場合→ヘッドの第2階層と

樹木の第3階層

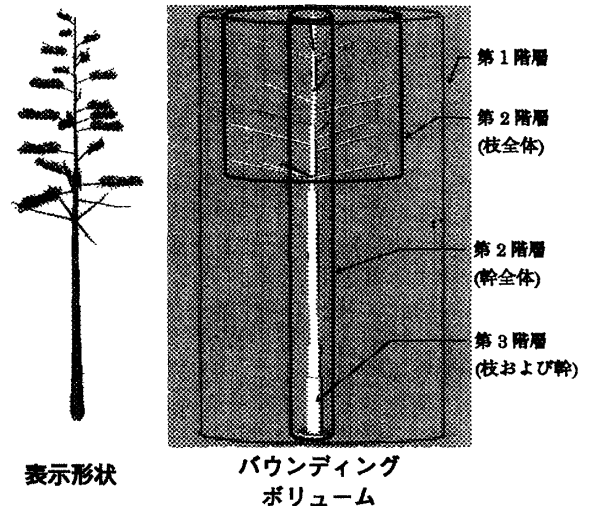


図1 表示形状とバウンディング・ボリウム

#### 衝突ベクトルの算出

詳細検出で、衝突ありと判定された場合、衝突ベクトルを計算する(図2)。衝突ベクトルの計算では、各バウンディング・ボリウムに一つの衝突点を算出し、この衝突点間の距離を衝突ベクトルの大きさと定義する。衝突ベクトルの方向の算出では、衝突点の位置に基づいて算出する方法(=位置法)と衝突物体の相対速度に基づいて算出する方法(=速度法)の2種類を併用する。具体的には衝突点を  $C_i (i=1,2)$ 、衝突点での速度を  $v_i (i=1,2)$  とするとき、衝突ベクトル  $\Delta x$  を式(1)に示すように定義する。

$$\text{大きさ} \quad |\Delta x| = \overline{C_1 C_2} \quad \text{式(1)}$$

方向

$$\text{位置法} \quad \frac{\Delta x}{|\Delta x|} = \frac{\overline{C_1 C_2}}{|C_1 C_2|}$$

$$\text{速度法} \quad \frac{\Delta x}{|\Delta x|} = \frac{v_1 - v_2}{|v_1 - v_2|}$$

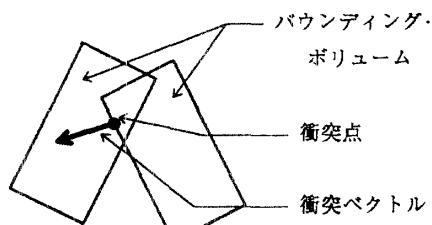


図2 バウンディング・ボリュームと衝突ベクトル

## 2.2. 動力学計算処理

### リンクの構造と運動学計算

動力学計算処理では、伐採機械を個別の部品に分解し、回転型または直動型のジョイントで結合される機構としてモデル化し、運動学計算および動力学計算を行う。具体的には、伐採機械を図2に示すようなシリアルリンク部とヘッドから分岐した部品で構成されるサブリンク部との2つの部分にわけて扱う。なお、把持した樹木はシリアルリンク部の一部として扱う。サブリンク部の質量はシリアルリンク部の質量に比べると非常に小さいため、サブリンク部が動力学計算全体に与える影響は小さいとみなせる。そこで、シリアルリンク部では、運動学計算と動力学計算の両方を行い、サブリンク部では運動学計算のみとして計算量を削減した。

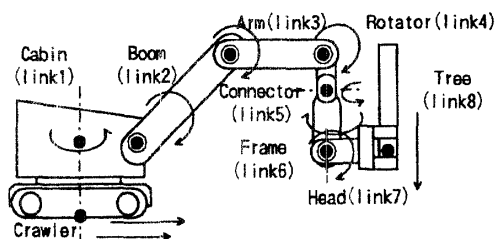


図3 伐採機械のリンク構造

### シリアルリンク部での動力学計算

シリアルリンク部では、衝突反力、摩擦力、慣性力等を考慮した運動方程式を立て、各物体の運動後の座標を求める[3]。なお、衝突反力はばねとダンパを用いてモデル化する。具体的には、 $N$ 箇所での衝突が検出されたとき、 $i(i=1, N)$ 箇所目での衝突ベクトルを $\Delta x_i$ 、衝突点での速度を $\dot{x}_i$ 、表面でのばね係数を $K_s$ 、表面での粘性係数を $B_s$ とすると、衝突反力 $f$ を式(2)に示すように定義する。

$$f = \sum_{i=1}^N (-K_s \Delta x_i + B_s \dot{x}_i) \quad \text{式(2)}$$

なお、衝突相手により、衝突反力の大きさに重みづけし、急激に大きな衝突ベクトルが発生する場合は

最大値を制約した。

## 3. 実験

これらを森林伐採機械のシミュレータの運動生成部として実装し[2]、物体数の変化と運動生成に要する時間を計測する実験を R10000 (200MHz)の計算機上で行った。計測の結果、運動生成の処理時間は1サイクルあたり平均約 18ms、1秒間あたりの処理回数は約 50回であった(図3)。内訳は、衝突検出処理(CD)に約 9ms、動力学計算処理(KD)に約 8ms、その他の処理に約 1msである。

また、物体数は、計測開始時には、物体総数 24個、バウンディング・ボリューム総数約 100個であったが、計測終了時には物体総数 206個、バウンディング・ボリューム総数約 500個まで増加した。特に、枝払いの直後、物体数が著しく増加するために衝突検出の処理時間は平均約 2ms 増加するが、すぐに収束する(図3の円内)。このように提案方式では物体数が著しく増加した場合でも、高速に運動を生成できる方式であることが確認された。

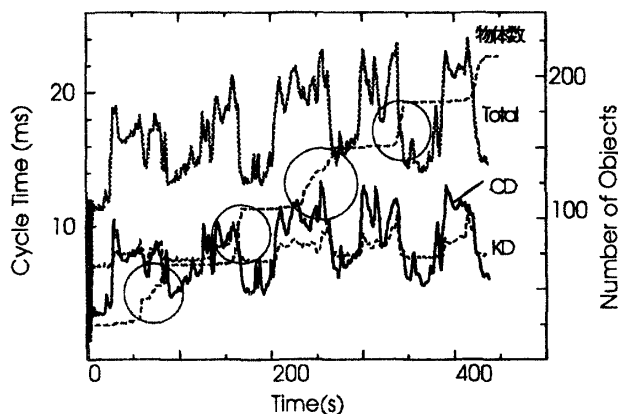


図4 処理時間と物体数の変動

## 4. おわりに

状況に適応して動力学計算処理の簡略化を行う運動生成方式を開発し、森林伐採機械シミュレータの運動生成部として実装した。実験の結果、実時間での運動生成が可能であると共に物体数の増加の影響を受けにくいことを確認した。

## 参考文献

- [1] オフラインロボット教示における高速干渉チェックの一方式, 小沢他, p79-87, 4巻2号, 日本ロボット学会誌, 1986
- [2] 動力学計算を用いた森林機械伐採シミュレータ(1)-システム全体-, 平池他, 第55回情処全大予稿集, 1997
- [3] 林業機械操作訓練を事例とした実時間動力学シミュレータ, 森川他, 日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1997