

生体情報を利用した人工現実感スキーシステム (4)

－ 仮想ゲレンデでの運動推定 －

7E-6

剣持聡久 福住伸一 根本啓次 金子朝男 篠原克也

NEC 情報メディア研究所

E-mail: kenmochi@JOKE.CL.nec.co.jp

1 はじめに

生体情報を利用した人工現実感 (VR) スキーシステムは、仮想ゲレンデにおけるスキーヤーの滑走速度に従ってCG映像を生成し表示する。筆者らはこれまでに、荷重情報を用いた滑走速度の算出を実現していたが [1]、体重移動の訓練用としていたため、実行できるスキー動作が限定されていた。

今回、エッジングや角付けを反映させるための計測系、運動推定系および制動系を構築した。これにより、パラレルターン、斜滑降等より多くのスキー動作が可能なシステムを実現することができた。

本稿では、各系の構成および機能を述べる。

2 計測系

本システムでは、市販のスキートレーニングマシンに改造を施し、計測系を構築した。

利用したトレーニングマシンは、利用者が乗る足台が左右それぞれ回転可能であり、スキー板の方向を軸とした傾きを表現できるようになっている。また、足台部分全体が主軸を中心として左右に可動となっており、ターンにおけるスキーの方向付けおよび踏み込みの動作が行えるようになっている。これに、以下の改造を行った。

- 利用者が乗る左右の足台に荷重センサを3個ずつ設置
- 左右の足台の回転軸および主軸にロータリエンコーダを設置

図1に示すように、荷重センサの出力をアンプで増幅した後、A/D変換ボードを介してPCに取り込むことにより、荷重が計測できる。また、ロータリエンコーダの出力をパルスカウンタボードを介してPCに取り込むことにより、スキー板の傾きおよび方向が計測できる。

このようにして計測された荷重、傾きおよび方向から、滑走速度および仮想ゲレンデにおける位置を推定することができる。

A Virtual Reality Skiing System using Physiological Data - Simulation of Skier's Motion on Virtual Slope -  
Akihisa KENMOCHI, Shin'ich FUKUZUMI, Keiji NEMOTO, Asao KANEKO, Katsuya SHINOHARA  
Information Technology Research Labs., NEC

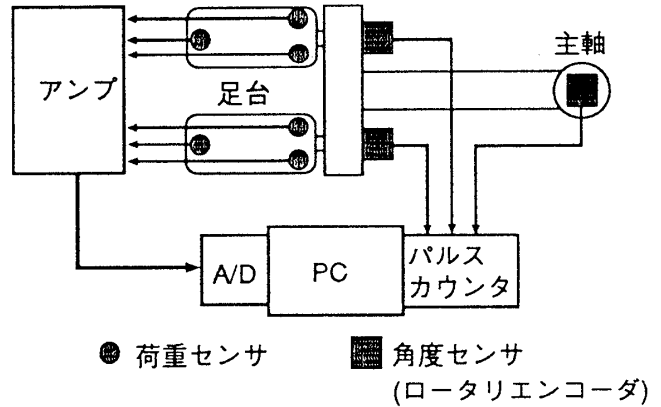


図1: 計測系の構成

3 運動推定系

計測系によって得られる各足の荷重および傾き、スキーの方向付けに相当する主軸の回転角、さらに、斜度、動摩擦係数および除雪抵抗から成る斜面情報を用いて、ある時刻における滑走速度および仮想ゲレンデにおける位置を推定する。

推定する滑走速度および位置は、仮想ゲレンデに沿って設定された斜面座標系  $uvh$  で表現する。斜面座標系  $uvh$  では、 $v$  軸はフォールライン (斜面に沿って斜度が最大になる方向) の方向、 $u$  軸は斜面に沿って  $v$  軸と直交する方向、 $h$  軸は斜面からの高さ方向を表現する。

3.1 推定ルールの設定

滑走に関して以下の推定ルールを設定した。

1. スキーヤーは常に斜面上を滑走する。よって、 $h$  方向に関しては常に  $h = 0$  とし、滑走速度および位置は  $uv$  成分のみ推定する。
2. 山側に上ることはなく、転倒時を除いては停止しない。よって、 $v$  方向の速度  $v_v \geq v_{base}$  (既定値  $> 0$ ) とする。
3. 足台が中央付近にあるときは、フォールラインに沿って滑降する姿勢になるので、 $u$  軸方向の速度  $v_u$  について、主軸回転角に応じた除雪抵抗を設ける。

### 3.2 滑走に關する力

本システムにおいて、斜面座標の  $u$  軸および  $v$  軸方向に作用する力は、図2のようになる。

実際のスキーにおいて、滑走およびターンに關する力は、重力、摩擦、除雪抵抗、空気抵抗、遠心力(の反力)である。このうち空気抵抗は、滑走速度が秒速  $10\text{m/sec}$  のとき約  $2\text{kg}$  と小さいので [3] ここでは無視する。重力、摩擦および除雪抵抗については、斜面情報から得ることができる。利用者自身は接線方向の速度を持たないので、ターン動作を行うときの荷重量を遠心力の反力とみなすこととした。

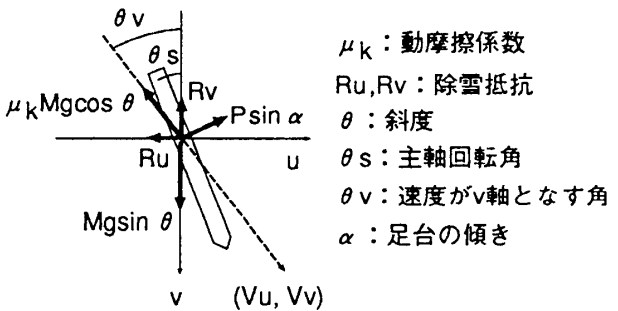


図2: 滑走に關する力(上:  $uv$  平面、下: 雪面)

### 3.3 滑走速度および位置の推定

図2より、 $u$  軸および  $v$  軸方向について、以下の運動方程式が成り立つ。

$$M \frac{dv_u}{dt} = P \sin \alpha \cos \theta_s - \mu_k Mg \cos \theta \sin \theta_v - R_u$$

$$M \frac{dv_v}{dt} = Mg(\sin \theta - \mu_k \cos \theta \cos \theta_v) - R_v - P \sin \alpha \sin \theta_s$$

ただし、 $v_u$ 、 $v_v$  はそれぞれ  $u$  軸、 $v$  軸方向の速度、 $M$  は人間と用具全体の質量、 $g$  は重力加速度、 $\theta$  は斜面、 $\mu_k$  は滑走面と雪面間の動摩擦係数、 $R_u$ 、 $R_v$  は  $u$  軸、 $v$  軸方向の除雪抵抗である。 $R_u$ 、 $R_v$  は、前述のルール3から、 $\theta_s$  を主軸回転角として以下のように設定した。

$$R_u = \mu_k Mg(v_u \cos \theta_s - v_v \sin \theta_s) \cos \theta_s$$

$$R_v = \mu_k Mg(v_u \cos \theta_s - v_v \sin \theta_s) \sin \theta_s$$

時刻  $t + \Delta t$  における速度および時刻  $t + 2\Delta t$  における位置は、前述の運動方程式を差分表現した次式

より算出できる(例として  $v$  方向のみ示す)。

$$v_v(t + \Delta t) = v_v(t) + (g \sin \theta - \mu_k g \cos \theta - \frac{R_v}{M}) \Delta t$$

$$v_v(t + 2\Delta t) = v_v(t) + v_v(t + \Delta t) \Delta t$$

運動推定系は、これらの滑走速度および位置の他、加速度、荷重、エッジングを運動情報として出力する。

### 4 制動系

利用したトレーニングマシンでは、主軸の回転角に応じてバネによる復元力が生じる。このため、スキーの方向をある角度で維持する動作が行えず、斜滑降や大きなターン動作を行えない点が問題となった。

斜滑降や大きなターン動作、エッジングの反力を再現するため、スキー板の方向付け、すなわち主軸の回転に対する制動系を構築した。その構成を図3に示す。制動部分には電磁式ディスクブレーキを用い、可変定電圧電源から供給する電圧を制御することにより、制動力を制御する。可変定電圧電源の制御は、PCからI/O出力ボードを介して行う。

主軸回転角の大きさ及び時間変化、荷重の大きさおよび時間変化等に応じて制動を行うことにより、斜滑降や大きなターン動作、エッジングの反力の再現を可能にした。

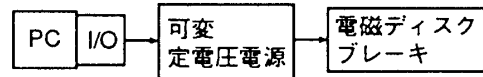


図3: 制動系の構成

### 5 おわりに

生体情報を利用した人工現実感スキーシステムの新たな計測系、運動推定系及び制動系を構築した。これにより、エッジングや角付けを反映でき、パラレルターン、斜滑降等より多くのスキー動作が可能なシステムを実現した。

今後、制動系の細かな制御を行い、一層の滑走感の向上に取り組む。

### 参考文献

[1] K.Kamijo, A.Kenmochi: A Virtual Reality System using Physiological Data - Application to Virtual Sports CAI -, Proceedings of HCI International'93, Vol.2, pp.675-680(1993).

[2] 柵橋: "スキー滑走のメカニズム - 材料と振動の摩擦への寄与 -", 日本機械学会誌, Vol.95, No.888, pp.1001-1004(1992).

[3] 奥田: スキー上達の科学, p36, 講談社(1986).