

3DCG における節足動物の動的物体上における自動歩容生成

磯部 俊行¹ 河口 洋一郎²

概要: 近年物理シミュレーションを用いてリアルタイムにアニメーションを生成する手法が盛んに研究されており、複雑な関節構造をもつ節足動物に関しても同様である。しかしそのほとんどは静的な地面や壁面を歩行するものであり、自重によって引っ張られる布やしなる枝のような動的な物体上におけるものは少ない。本研究は動力学モデルと運動学モデルを組み合わせることで、前述の状況における節足動物の自動歩容生成を実現した。

Gait Generation for Arthropods on Dynamic Objects

ISOBE TOSHIYUKI¹ KAWAGUCHI YOICHIRO²

Abstract: Many methods for generating real-time animation using physical simulation are studied, and those of arthropods which have the articulated structure is the same. Although the locomotion of arthropods on a plain surface such as the ground and the wall have been studied, to the best of our knowledge, there has been few attempts to simulate the locomotion on dynamic objects such as a branch and cloth which is bent by the locomotion on it. We described a system for such a situation by overlapping a dynamic model and a kinematic model.

1. はじめに

近年、CPU や GPU の性能の向上、メモリ容量の増大など、ハードウェアの進歩によってマシンパワーが向上し、ゲーム等の CG コンテンツにおいてもその表現の可能性は増大している。そのような中で、キャラクタのモーションにおいてもより現実に近い、複雑な仮想環境中におけるシミュレーションが求められており、人の手による入力では対応しきれない状況が増えてきた。しかしながら、これまで多く使われていたあらかじめ用意しておいたデータを用いるアニメーションの手法では、動的な環境の変化に適応してアニメーションを変化させていくことは容易ではないため、数多くの動的な環境変化に対応させるアニメーションの研究が行われてきた。

その中の一つに、物理シミュレーションを用いたアニメーション生成がある。リアルタイムに物理計算を行い、挙動を生成していくことのできる物理シミュレーションで

は、このような複雑で動的な環境に合わせてキャラクタを動かすのに適していると言える。

複雑な環境でのシミュレーションが求められ、且つ物理シミュレーションが非常に有効なキャラクタに節足動物があげられる。節足動物は動物界最大数の種を誇る分類群として知られている。連続した関節によって身体が構成される体節構造をとっており、6本から数十本に及ぶ脚を用いて、海中のような水の中から砂漠といった砂地、森林などの様々な環境に適応して生息している。節足動物のシミュレーションは様々な環境において求められる上、ヒトの場合と異なり、機材を身体にとりつけてその挙動を取得するというようなことが困難である。

本研究では、物理シミュレーションを用いた節足動物のシミュレーションを行った。特に、動的に変化する環境の一つとして、生物の質量によって動的に動きの変化する足場における挙動の生成を目的とした。これによって、糸や木の枝、布などの、生物の脚の動きによって変化する足場上で自由に歩行させることが可能となり、節足動物のシミュレーションの発展に貢献すると考えられる。

¹ 東京大学大学院学際情報学府

The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-0033, Japan

² 東京大学大学院情報学環

The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-0033, Japan

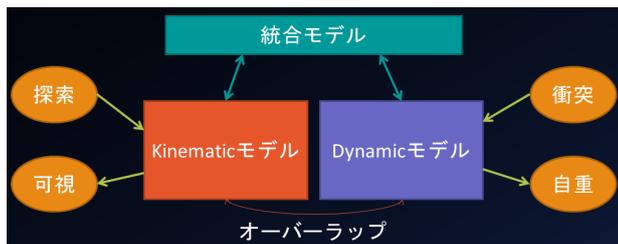


図 1 Dynamic-Kinematic 混合モデル
Fig. 1 Dynamic-Kinematic Hybrid Model.

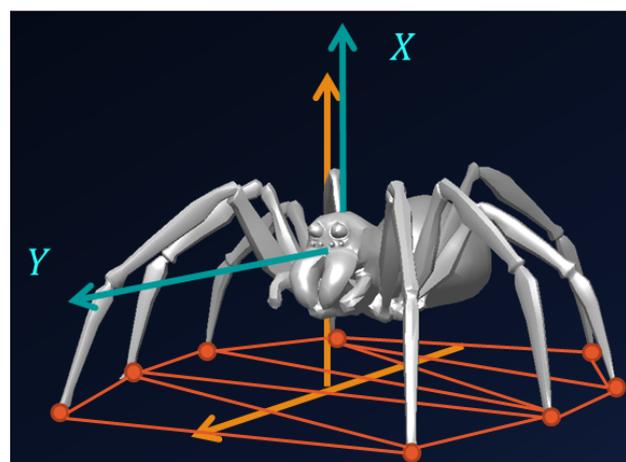
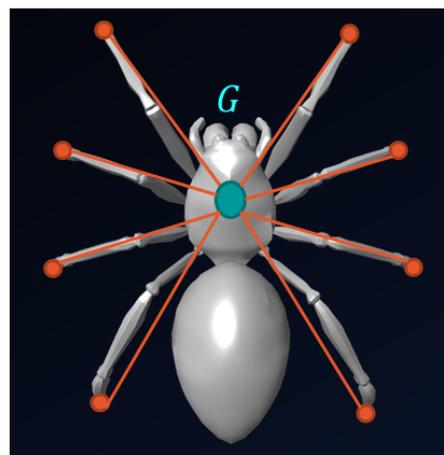


図 2 キネマティックモデルの姿勢制御
Fig. 2 Control posture of a kinematic model.

2. 関連研究

節足動物のシミュレーションに関わる研究として、まず節足動物を生物学的観点から研究したものがあげられる。サソリのような地上を歩くクモ形綱の歩行に関する研究 [2] や、ゴキブリを例として昆虫の歩行モデルについて研究したもの [4]、綱渡りをする昆虫の足の動きに関するもの [6]、素早く走る昆虫等の動力学に関するもの [8] などがある。

また CG におけるキャラクターアニメーションの研究として、予め用意しておいたデータから状況に応じて関節を駆動するヒトの動きの研究 [5] や、逆運動学により関節の回転角を算出する手法を用いて、プロシージャルにヒトの歩行運動を生成するもの [12] などがある。物理シミュレーションを用いたものとしては、動力学に従って力によって制御されるダイナミックモデルと、運動学に従って位置や速度によって制御されるキネマティックモデルを状況に応じて切り替えることで、環境に柔軟に対応するヒトの動きを生成する研究 [10] などがある。

挙動に関する研究はヒトを対象としたものが多いが、節足動物に関するものもある。ゴキブリの全身運動をシミュレーションしたもの [9]、ニューラルネットワークを用いて 6 本脚の制御を行ったもの [3] などがある。また、クモをモデルとして頭胸部を操作し、ダイナミックモデルとして脚の動きを追従させ、歩容の生成を行ったもの [1] は、本研究に最も関連した研究である。

3. 提案手法

本研究では実際に網の上など動的な物体上にいることの多いクモをモデル生物とした。また本研究のシミュレーションは描画ライブラリとして Open Graphics Library [7]、物理演算エンジンとしてオープンソースの Bullet Physics Library [11] を用いた。

3.1 Dynamic-Kinematic 混合モデル

本研究では、動力学に従うダイナミックモデルと運動学

によって制御するキネマティックモデルを同時に生成し、それらを常にオーバーラップさせることで足場となる物体との相互作用を実現する (図 1)。キネマティックモデルは行列による直接の制御によってコントロールされ、環境中の物体との衝突判定や、実際に CG として表示するモデルとして用いられる。ダイナミックモデルはキネマティックモデルに常にオーバーラップした状態で存在し、外部オブジェクトとの衝突の影響やモデル自体の質量といった環境中の物体との力学的な相互作用を担う。

3.2 モデルの姿勢制御

本研究のモデルでは頭胸部等を入力によって操作するのではなく、脚を先に動かし、その脚の動きに従って身体の姿勢が決定される。

キネマティックモデルでは、脚先の平均位置を頭胸部の中心の目標位置とし、モデルの正面向きのベクトルと上向きのベクトルのそれぞれを、対になる脚先を結んだ中点を通るベクトルと脚先によって構成される三角形平面の法線の平均を目標ベクトルとする (図 2)。またこれらの制御

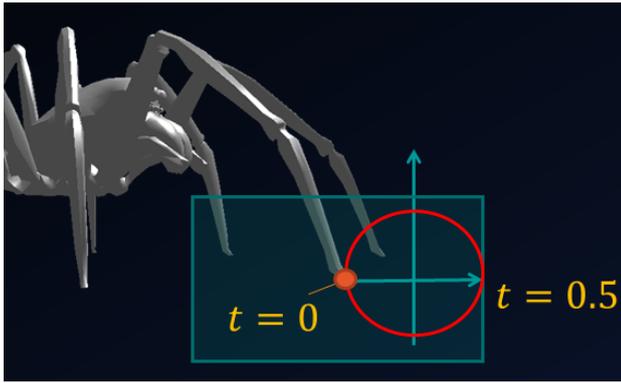


図 3 歩行時における脚先のパス

Fig. 3 Stepping path of forward locomotion.

は、脚先がオブジェクトに接触して拘束が生成されるときなどに滑らかな挙動になるよう指数移動平均によるローパスフィルタを適用している。

ダイナミックモデルは、基本的には物理シミュレーションの中で拘束関係によって姿勢が決定されるが、位置のみキネマティックモデルとオーバーラップさせるために力による制御を行う。目標位置をキネマティックモデルの現在位置として、現在の位置との偏差からPID制御で操作量を求める。ただし、頭胸部の上下方向の制御を入れてしまうと、モデル自体の質量による影響が考慮されなくなってしまうため、ダイナミックモデルに加える力は上下方向を法線とする平面上の成分とする。

3.3 衝突判定と拘束条件

モデルが歩行する上で、脚先と環境中のオブジェクトとの衝突は、安定した挙動の得られるキネマティックモデルにおいて検知し、その位置にダイナミックモデルの脚先との拘束を生成する。脚が接地状態へ移行した場合、キネマティックモデルは逆運動学を用いてその位置を指すように関節を制御する。本研究のモデルでは、IKソルバとして実装が容易であるCyclic Coordinate Descent Method[13]を用いている。

3.4 歩容生成

本研究では関連研究[1]の手法を参考に、それぞれの脚の先端が動く楕円パスを算出し、逆運動学によってパス上を動くように関節を制御している(図3)。算出された関節の角度に対して、キネマティックモデルの場合は姿勢行列によって直接モデルを操作し、ダイナミックモデルの場合はPID制御によって操作している。

4. 結果と考察

本研究では自重の影響が分かるよう、複数の板を繋いだ足場を中空に接地し、その上でモデルの歩容生成を行った

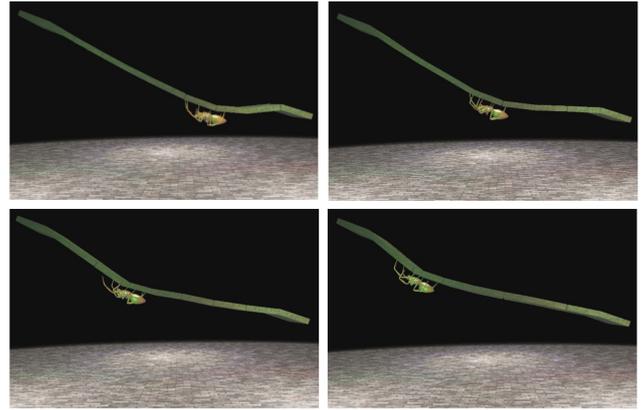


図 4 モデルの挙動により、足場がたわむ様子を横から見た図

Fig. 4 Side view of bent scaffolds by the locomotion of the model.

(図4)。モデルの質量と動きに合わせて、モデルの接地している部分の足場が動き、相互に影響を及ぼし合っている様子が見られた。本研究のモデルはキネマティックモデルの直接の制御が挙動の基本となっているため、全てをダイナミックモデルで構成したときのように複雑なパラメータを設定する必要がなく、容易に動的な足場と相互作用可能な節足動物の挙動を実現することができた。

5. 今後の課題

現在のモデルでは単純な前進運動と足場との相互作用のみを実現したが、現実の節足動物をシミュレートするためには脚先のパスの設定によって任意の方向に進行可能な手法が必須である。また今回は簡単な連続した板の上における挙動生成を行ったが、本モデルの有効性を検証するためには筒状や糸状のような足場の狭い物体上、あるいは現実世界に見られる草原など、オブジェクトが複雑に入り組んだ環境での挙動生成が必要となってくる。加えて本モデルは他の節足動物にも適用可能と考えられるため、他の生物モデルへ適用した場合の有効性を検証する必要がある。

参考文献

- [1] Llyr ap Cenydd and Bill Teahan. An embodied approach to arthropod animation. *Computer Animation and Virtual Worlds*, Vol. 24, , 2013.
- [2] Robert F Bowerman. The control of walking in the scorpion. *Journal of comparative physiology*, Vol. 100, No. 3, pp. 197–209, 1975.
- [3] H Cruse, T Kindermann, M Schumm, J Dean, and J Schmitz. Walknet a biologically inspired network to control six-legged walking. 1998.
- [4] F Delcomyn and PNR Usherwood. Walking in the american cockroach: the timing of motor activity in the legs during straight walking. *Biological Cybernetics*, Vol. 60, No. 5, 1989.
- [5] Anthony C Fang and Nancy S Pollard. Efficient synthesis of physically valid human motion. Vol. 22, No. 3, pp. 417–426, 2003.

- [6] L. Frantsevich, P. Mokrushov, I. Shumakova, and S. Gorb. Insect rope-walkers: kinematics of walking on thin rods in a bug, *graphosoma italicum* (Heteroptera, pentatomidae). *Journal of Zoology*, Vol. 238, , 1996.
- [7] Khronos Group. Open graphics library. <http://www.opengl.org/>.
- [8] Koditschek D Guckenheimer J Holmes P, Full RJ. The dynamics of legged locomotion: Models, analyses, and challenges. *SIAM Review*, Vol. 48, No. 2, 2006.
- [9] McKenna, M and D Zeltzer. Dynamic simulation of autonomous legged locomotion. 1990.
- [10] A Shapiro, F Pighin, and P Faloutsos. Hybrid control for interactive character animation. 2003.
- [11] Real-Time Physics Simulation. Bullet physics library. <http://bulletphysics.org/wordpress/>.
- [12] BJH van, SA Stüvel, and A Egges. A hybrid interpolation scheme for footprint-driven walking synthesis. 2011.
- [13] C Welman. Inverse kinematics and geometric constraints for articulated figure manipulation. 1993.