モーション／コントローラ データベースに基づく ヒューマノイドの遷移動作の生成

Generation of Transitional Motions for Humanoid Robots from Motion and Con troller Databases

○ 鈴木 一郎 (東大)　山根 克 (東大)　稲邑 哲也 (JST/東大)　正 中村 仁彦 (東大)
Ichiro SUZUKI, Katsu YAMANE, Tetsunari INAMURA and Yoshihiko NAKAMURA
University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656 Japan

Abstract— Although generating primitive motions for humanoid robots is well studied, generating transitional motions from one primitive motion to another still remains an open research issue. In this paper, we propose new methods for synthesizing motions and controllers to realize a smooth transition from one motioin to another. Motions are interpolated on the basis of the "objectives" of the original primitive motions. We enable the synthesis of controllers by constructing a controller from a member of primitive controllers.

Key W ords Generating Transitional Motion, Motion Synthesis, Controller Synthesis.

1 はじめに

ヒューマノイドの分野において，多様な運動の実現や人間らしい動きによる社会への親和性の向上といった要求から運動生成技術の進歩が期待されている．歩行運動を中心として個々の動作の生成に関する研究 [1] が盛んになされているが，ある動作から別の動作への遷移運動を効率的に生成する技術が今後必要とされる．そこで本研究ではヒューマノイドの遷移動作の生成法の開発を行なう．特に "人間らしさ，多様性，効率性" などを運動生成システムに要求する．

人間らしい動きの源としてモーションデータベースを活用する．これは，人間の運動データ (関節角の時系列データ) をモーションキャプチャによって取得・蓄積したものである．また，多様な運動データを効率的に生成する方法として，複数の運動データを補間してその中間の動きを生成するモーション合成技術が有効である．コントローラについても，基本的な機能を有する基本コントローラのデータベースとそれらの合成によって多様化が図れれば，コントローラ設計労力の面での効率的である．従って本研究では，モーション合成とコントローラ合成を用いたヒューマノイドの遷移動作の生成法を提案し，動力学シミュレータを用いてその有効性を検証する．

2 データベースと合成に基づく運動生成法

運動生成処理の流れを以下に示す (Fig.1)．モーション合成に用いる運動データは，モーションキャプチャによって予め取得・蓄積しておく (Fig.1.a)．ユーザからの入力は，歩くであれば腰の移動速度，ものを拾うであれば手先の軌道，といった様な運動個別の "目的" に関する情報である (Fig.1.b)．運動データを合成することによって，ユーザが与えた "目的" を満たすヒューマノイドの参照運動データを生成する (Fig.1.c)．予めコントローラデータベース (Fig.1.d) に基本コントローラを設計・蓄積しておき，それらを機能的に合成することによって (Fig.1.e)，ヒューマノイドの運動を安定化する．

本研究では多様な行動の基本動作となる歩行運動及び走行運動を扱う．いずれも腰の移動速度を "目的" 表現とする二足移動の形態である．目的の移動速度を徐々に増加させることによって，歩行から走行への滑らかな遷移運動を生成する，動力学シミュレータ OpenHRP[2][3] を用いて運動生成法の検証を行なう (Fig.1.f)．

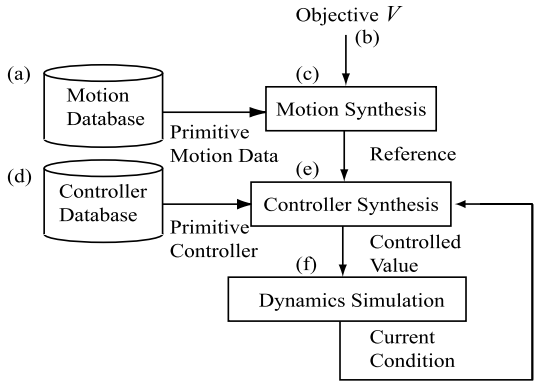

Fig.1: Flow Chart of Motion Generatoin

3 モーション合成

モーション合成を用いれば，異なる複数の運動についてそれらの中間の動きを生成できるため，合成比を滑らかに変化させることによって異なる運動間をスムーズに遷移する運動データを得ることが出来る．歩行から走行への遷移運動においては，いくつかの代表的な移動速度における運動データをデータベースに登録しておき，それらの中間の移動速度の運動データを合成によって生成する．

遷移中の時刻 t における移動速度 $V(t)$ の運動データ $\theta(t)$ は，以下の合成側によって生成される．

- 合成に使用する運動データの選択
  $V(t)$ に最も近接した移動速度を持つ運動データ 2 つ $\Theta_1(\tau), \Theta_2(\tau)$ を選択する．但しそれぞれの固有の移動速度 V_1,V_2 は $V_1 > V(t) > V_2$ を満たす．モーションデータベースの運動データは，各動作の周期が等しくなるように時間軸方向に正規化されている．τ は正規化された時間であり，実時間 t，運動の周期 $T(t)$ との関係は次式で与えられる．

$$\tau = \int_0^t \frac{1}{T(t)} dt \qquad (1)$$

- モーション合成比の決定
  運動の周期性に注目して，時間軸方向に正規化された関節空間でモーション合成を行なう (式 (2))．このとき，V_1 と V_2 の 2 点を $V(t)$ が内分する比率 $r_1(t)$, $r_2(t)$ を合成比とする (式 (3))．

$$\Theta(\tau) = r_1(t)\Theta_1(\tau) + r_2(t)\Theta_2(\tau) \qquad (2)$$

$$r_2(t) = \frac{V_1 - V(t)}{V_1 - V_2},\ r_2(t) = 1 - r_1(t) \qquad (3)$$

- 時間軸スケールを元に戻す
  合成後のモーションの移動速度 $V(t)$，歩幅 $L(t)$，運動の周期 $T(t)$ の間に式 (4) の関係式が成り立つ．従って，合成前の各モーションの歩幅 L_1, L_2 及び式 (3) の合成比から合成後の歩幅 (式 (5)) を決めると，合成後の運動の周期が一意に決まり，式 (1) を用いることで時間軸方向に正規化された運動データ $\Theta(\tau)$ を実時間運動データ $\theta(t)$ に変換できる．

$$T(t) = \frac{2L(t)}{V(t)} \qquad (4)$$

$$L(t) = r_1(t)L_1 + r_2(t)L_2 \qquad (5)$$

以上の合成側に基づいてオンライン合成ルーチンを実装し，インタラクティブに速度可変なモーション合成エンジンを開発した．Fig.2 は，モーション合成エンジンを用いて $V = 0.35[m/s]$ から $V = 0.6[m/s]$ までの遷移運動を生成した結果である．

また，モーションデータベースの構築においては，モーションキャプチャデータからの一周期分の関節角時系列データの切り出し，時間軸方向に関する正規化，位相の同調，サイクル化，移動速度及び歩幅の抽出などの処理が必要となり，それらの過程を自動化した．

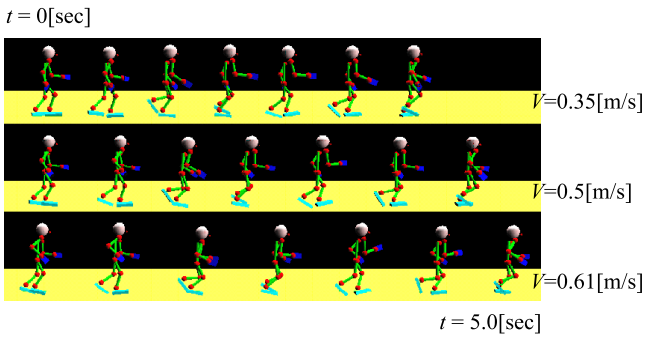

Fig.2: Motion Generation using Motion Syn thesis

4 コントローラ合成

運動の安定化に必要とされるコントローラの機能を細分化し，基本的な機能を有する基本コントローラの集合体としてコントローラを設計する．設計したコントローラはコントローラデーターベースとして蓄積する．そうすることで，新たな別の運動を対象としたときにも，共通に必要とされるコントローラの機能についてはデータベースの基本コントローラを再利用し，機能的な差分についてのみ新しいコントローラを設計してやれば良く，コントローラ設計の面で効率的である．また，全身関節を各基本コントローラに振り分け，出来るだけ独立した関節を制御するように基本コントローラを構成をすることで，コントローラを組み合わせて使用する “合成” を実現する．

本研究においてはコントローラ合成の有効性の検証に向けて，歩行コントローラとして以下の基本コントローラ群を設計した．

- PD トルク制御
  PD 制御によってリファレンスに追従させる．
- 足裏面接地制御 [1]
  路面に足裏がぴったり接地する様に，足首の参照関節角を修正する．
- ZMP バランス制御
  転倒モーメントを実測 ZMP から検知し，足首で踏ん張りトルクを出力する．
- ボディー重心位置制御
  目標重心位置からの重心のずれを補償するように上半身を移動・回転する．
- 着地タイミング制御 [1]
  着地位置を上下方向に修正することによって，着地タイミングを補償する．
- 着地位置制御
  目標重心位置からの重心のずれを補償するように着地位置を水平方向に修正する．
- 立脚制御
  立脚の足首関節トルクによって，前のめりでの転倒や反り返りによる後方転倒を抑制する．

現在，動力学シミュレータを用いた基本コントローラの性能試験段階にある．ボディー重心位置制御及び ZMP バランス制御を用いた傾斜面 (傾斜角 8 度) における直立維持の様子を Fig.3 に示す．

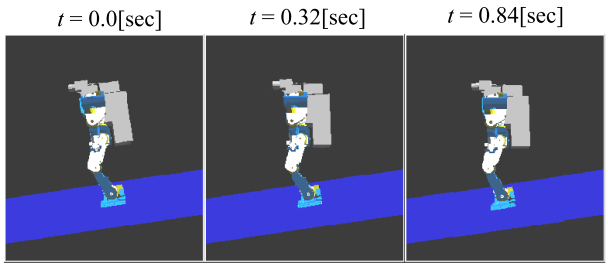

Fig.3: Dynamics Simulation

5 おわりに

本研究を総括する．腰の移動速度を目的情報としたモーション合成則を示し，歩行から走行まで滑らかに遷移する参照運動データを生成した．コントローラ合成なる概念に関して，コントローラを基本コントローラの集合として構築するアプローチを提案し，歩行・走行運動のための基本コントローラ群を設計した．それぞれの基本コントローラの改良による性能のステップアップと，基本コントローラの追加が，安定化に向けての課題である．

なお，本研究は科学技術振興事業団 CREST「自律的行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」の支援を受けた．

参考文献

[1] Qiang Huang, et al.: Balance Control of a Biped Robot Combining Off-line Pattern with Real-time Modification, Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.3346-3352,(2000).

[2] Y.Nakamura and K.Yamane: Dynamics Computation of Structure-Varying Kinematic Chains and Its Application to Human Figures, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol.16, no.2, pp.124-134, (2000).

[3] 比留川博久, 小原一太朗, 河村進: HRP 仮想プラットフォームにおける幾何計算サーバ, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’99 講演論文集, 2P2-78-094, (1999).