

ヒューマノイドロボットの歩行中におけるリーチング戦略

福本康隆 (東京大学) 西脇光一 (東京大学) 稲葉雅幸 (東京大学) 井上博允 (東京大学)

Reaching Strategy of a Walking Humanoid Robot

*Yasutaka FUKUMOTO (The Univ. of Tokyo), Koichi NISHIWAKI (The Univ. of Tokyo), Masayuki INABA (The Univ. of Tokyo), Hirochika INOUE (The Univ. of Tokyo)

Abstract— In this paper, we propose a method of designing the hand trajectories of a walking humanoid robot. The system allows representation of hand velocity in absolute coordinate, and thus realizes the generation of independent hand and torso trajectories. Tackling a complex problem of dynamic reaching with these separate events, it becomes simple enough to handle it just in terms of the hand motion. Such reaching not only provides a quick and smooth action, but also shows an efficient integration of reaching and walking. We demonstrate how a robot can catch an object like a runner going through water supply points.

Key Words: Humanoid Robot, Dynamic Reaching, Motion Trajectory Generation

1. はじめに

ヒューマノイドロボットは、その移動機能を活かしたリーチングを行なうべきである。そこで、本研究では、ロボットが歩きながら物を取るという動作を実現することを目的とする。本稿では、歩行中のリーチング時における手先軌道生成法について論じる。また、その有効性を確かめるために構築した手先操縦システムについて述べる。

2. 歩行とリーチングの統合

従来、対象物体がロボットの到達可能範囲外にある場合は、まずその付近まで車輪や二脚などを使って移動し、体幹部が静止した後に手先を対象物体に近づける、という具合に、ロボットが物体にアクセスするまでを別々のフェーズに分割して研究が進められてきた。しかし、より素早く知的な行動のためには、複数の行動要素が同時発生する「ながら」行動が重要である。

また、これまでリーチングに関する研究は盛んに行なわれてきたが、ほとんどの場合、基礎フレームが環境に固定されているものを対象としていた。このようなものを静的リーチングと定義する。一方で、移動台車に装着されているマニピュレータのように基礎フレームが動く場合のリーチングは動的リーチングと定義できる。近年では、ビジュアルサーボを用いるなどして動的リーチングを実現している産業用マニピュレータ¹⁾もある。一方で、人間型ロボットにおいては、多くの場合、対象物体が到達可能範囲内に存在するという仮定のもとで、多自由度アームによるリーチングの一般化が模索されている。また、手先の操作性を保ちながらも、外力や位置に応じて両脚支持状態と踏み換えを切り替える脚部の制御方法²⁾³⁾も研究されているが、これは手先付近での作業についての議論であり、移動しながら手先を対象へ近づける問題は扱われていない。

3. 歩行移動中のリーチング戦略

ある対象物体にリーチングする際に、ロボットが移動することでアームの基礎フレームも動く。これは様々な作業への適応性や動作の柔軟性を与える。しかし、リーチングを達成するための手先軌道と体幹軌道の組み合

わせが複数存在し、全身の運動計画が複雑になる。そこで、手先軌道 ($\{H\}$) を絶対座標系で表現し、同じく絶対座標系における体幹軌道 ($\{T\}$) とは独立した手先軌道生成機能を実装することで、動的リーチングは静止座標系 ($\{O\}$) での手先軌道計画問題 ($\{H\} \rightarrow \{G\}$) として扱うことができる (Fig.1)。

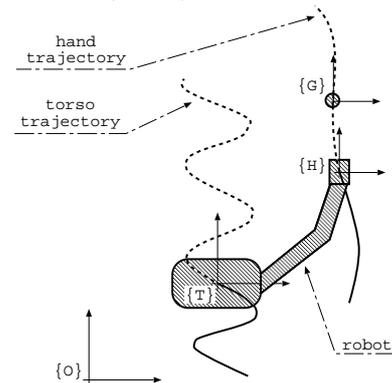


Fig.1 Concept sketch of dynamic reaching.

しかし、その手先軌道に合わせて単純にアームの各関節角度を制御することは歩行運動の安定性を損なう。そこで、手先位置・姿勢の指令値制御周期はシステムの歩行軌道生成周期 (1 歩毎) に合わせ、歩行軌道と手先軌道を同じタイミングで生成することで、アーム運動も含めた全身の動力学を考慮した。このようにして、体幹の運動による手先への影響成分を打ち消しながらも安定な歩行移動を実現するシステムを構築した。

このようなリーチングでは、手先と物体の相対運動を絶対座標系で記述できるため、応用範囲が広い。例えば、ドアを押しながら部屋に入るなど、移動しながら環境に働きかける行動に適している。また、ロボットを操縦する場合、リーチングの操作性に優れている上、歩行とリーチングの二つのフェーズが一体化しているので操縦時間の短縮にも繋がる。

4. 手先のオンライン軌道生成

本研究では、既存の H7 システム⁴⁾ を基に動的リーチングの実現のためのシステム構築を行なっている。

4.1 操縦システム構成

操縦デバイスとして位置 3 自由度と姿勢 3 自由度分の変化量を入力することができる市販の 3 次元マウス“Magellan”を用いて、手先操縦システムを Fig.2 のように構築した。外部 PC に接続されている 3 次元マウスの状態を TCP/IP ソケット通信により受け取り (3D-Mouse Client), 手先の各速度成分 (並進・回転) に変換してアームを自由に操縦できるようになっている (Hand Operation Controller)。

歩行中の手先操縦の場合は、非リアルタイム層から一歩毎の手先と体幹の移動量がリアルタイム層へ渡され、適切な歩容と手先位置・姿勢が計画される (Footprint and Handprint Planner)。そして、性能的、動力学的制約を満たすような次の 1 歩 (実際には安全に歩行を終了するための 3 歩分) の運動軌道が目標 ZMP 追従動作高速生成法に基づいて生成される (Walking and Reaching Pattern Generator)。これが両脚支持期中点で前の 1 歩目の終わりに接続され (Trajectory Manager), 制御されることで歩行とリーチングが同時に実現される (Motor Servo)。

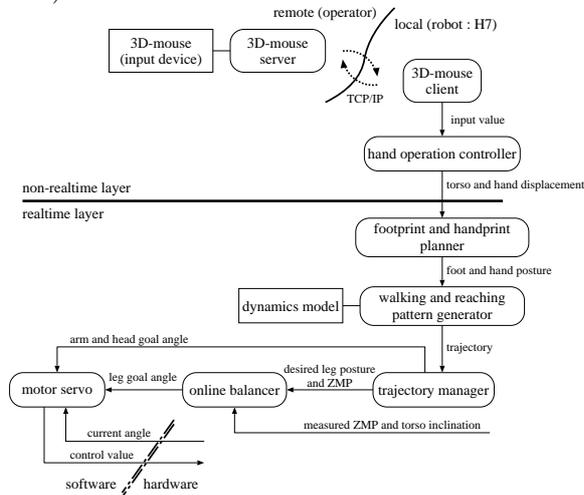


Fig.2 Online walking and reaching control system.

4.2 手先軌道生成アルゴリズム

手先軌道は歩行中にオンラインで以下のように生成される (Walking and Reaching Pattern Generator, Footprint and Handprint Planner)。

1. 目標手先移動量を受け取り、それを前回の絶対座標系における位置・姿勢からの変位とする。
2. 次の軌道端点での手先位置・姿勢における腕の関節角度を、体幹の移動量を差し引いた後に逆運動学により求める。
3. ロボットの幾何モデルから得られる軌道端点での重心投影点を ZMP に近づける。
4. 1 歩間の手先軌道を 3 次スプライン曲線で補間し、体幹軌道生成の離散化時間 (50msec) ごとの手先位置・姿勢を逆運動学で求める。
5. 目標 ZMP 追従のための繰り返し計算⁴⁾内において、毎ループごとに、体幹の水平位置の修正後の手先位置・姿勢を 4. で算出されたものに置き直す。

5. 歩行中のリーチング実験

(A) 右の手先速度成分が全て 0 であり、絶対空間内のある一点に固定されている時の運動の様子を Fig.3

に示す。ここでは Online Balancer を無効にしており、逆運動学の誤差と離散化時間の影響は無視できるほど小さいので、ほぼ一点で止まっている。一方、左の腕部関節角度は一定のままだが、手先が体幹の揺れに伴って動いているのが分かる。

(B) 実際に実機を操縦して、歩きながら物を掴んでいる様子を Fig.4 に示す。Online Balancer によるセンサーフィードバックと歩行中の振動の影響で、手先は多少揺れてしまう。また、ここでは手先と体幹の移動量をほぼ同等にしてあり、手先軌道生成時に逆運動学が解けなくなることはなかったが、より独立した手先軌道生成とそれに応じた体幹軌道設計が、操縦性の向上及びシステムの自律化に必要である。

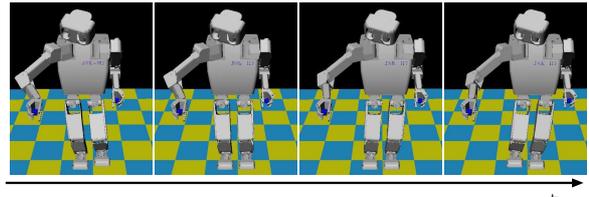


Fig.3 Holding the right hand at the same place.



Fig.4 Catching an object while walking.

6. おわりに

本稿では、歩行中のヒューマノイドロボットによるリーチングにおいて、体幹位置・姿勢とは独立に絶対座標系での手先軌道を設計することで、複雑な運動計画を簡略化できることを示した。実際に 3 次元マウスで操縦することで歩きながら物を取るという動作を実現させたが、動的リーチングを自律化させるためには、一歩毎の手先速度指令の他に、リーチング全体のパスプランニングや手先と物体を正確に近づけるための視覚フィードバック、さらに柔軟なリーチングのためには片脚支持期中の手先軌道の修正も可能にすべきであり、これらを今後の課題とする。

参考文献

- 1) 内藤貴志, 林知三夫, 鋤柄和俊, 野村秀樹: ビジュアルサーボを用いたモービルアーム走行中での実部品把持, 日本ロボット学会創立 20 周年記念学術講演会予稿集, pp. 3M36, 2002.
- 2) 井上健司, 石井晃弘, 大川善邦: 腕で作業をしながら移動する人間型ロボットの実時間制御, 日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 1, pp. 75-86, 2000.
- 3) 西濱祐介, 井上健司, 新井健生, 前泰志: 人間型ロボットの作業移動-腕を用いた手先位置誤差の補正-, 日本ロボット学会創立 20 周年記念学術講演会予稿集, pp. 1D24, 2002.
- 4) Koichi Nishiwaki, Satoshi Kagami, Yasuo Kuniyoshi, Masayuki Inaba, and Hirochika Inoue: Online Generation of Humanoid Walking Motion based on a Fast Generation Method of Motion Pattern that Follows Desired ZMP, Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2684-2689, 2002.