

LLP スーパーバイザと状態ネットに基づくロボットの行動実現 第1報 モジュラ状態ネットを用いた行動制御

○ 高橋 秀行* 仲谷 篤人* 小林 啓吾* 潮 俊光*

* 大阪大学 大学院基礎工学研究科

Motion Realization of Humanoid Robots Based on LLP Supervisory Control and State Nets (1) – Motion Control Using Modular State Nets –

○ Hideyuki Takahashi* Atsuhito Nakatani* Keigo Kobayashi* Toshimitsu Ushio*

* Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Abstract: In this report, we propose a supervisory control system for motion planning of humanoid robots. The proposed system is hierarchically structured into two levels. The upper system takes charge of the motion planning, and the lower system controls and monitors the motion. In this first report, we explain the lower system. The lower level controls and monitors the robots using modular state nets.

1 はじめに

ヒューマノイドロボットに対して、ロボットの行動をネットワーク内の状態遷移として制御する手法として、状態ネットアーキテクチャが Kanehiro らにより提案されている^[1]。このアーキテクチャでは、ロボットの行動空間がセンサ空間内に組み込まれた状態遷移グラフとして表されている。しかし一般にヒューマノイドロボットには多くのセンサが取り付けられているため、その状態空間の次元が大きくなってしまふ。それゆえ、取り扱いが困難になってくる。そこで、ロボットの腕、脚などといった各要素ごとの動作を表現するモジュラ状態ネットを構築し、ロボット全身の動作は、その各パーツに対するモジュラ状態ネットの組み合わせによって表現する。しかし、組み合わせによっては動作が干渉するという問題も生じるので、ロボット全身の実行可能な動作を得るため、上位層として全モジュラ状態を抽象モデル化した時間付きペトリネットを導入し、離散事象システム理論によって最適規範に基づくスーパーバイザ制御を行う^[2]。本報告ではモジュラ状態ネットを用いた行動実現と、提案するシステムを用いた、干渉回避の例を示す。

2 ステートネット

ヒューマノイドロボットの行動制御の手法として状態ネットアーキテクチャが、Fig. 1 に示すようなセンサ空間内に組み込まれた状態遷移グラフとして提案されている^[1]。センサ空間内の点 p は各関節角のセンサ情報 s_i を用いて、座標 $p = [s_1 s_2 \dots s_N]$ で表される。状態ネットにおいてノードは、ヒューマノイドロボットが静止している状態を表している。一方、行動している状態はセンサ空間内における時間付き軌道 $p(t)$ として定義され、あるノード

から始まり別のノードへ至って終わるものとする。状態ネットアーキテクチャでは、新しいノードまたはアークを付け加えることによりネットワークを更新することができる。また現在のセンサ情報と実行中の行動状態に対する座標を比較することにより、障害の発生を検知することができる。

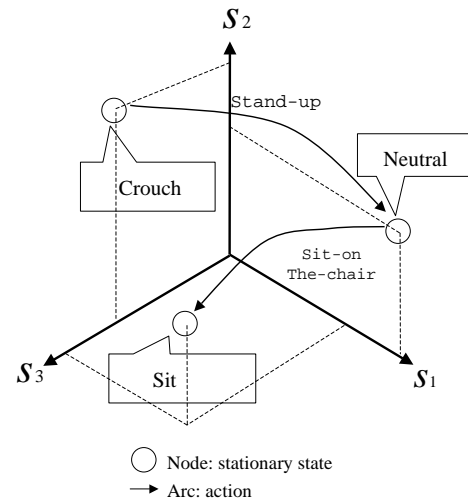


Fig. 1: StateNet

3 モジュラ状態ネット

従来の状態ネットではロボット全体に対し定義しているため、体の一部の状態が異なただけの場合でも別状態とみなされる。このため、ヒューマノイドロボットのように多くのセンサが取り付けられていると、次元が大きくなり、多様な運動を与えるために十分な行動をあらかじめ準備することが難しくなる。そこで、状態ベクトル $p = [s_1 s_2 \dots s_N]$ を $p = [p_1 p_2 \dots p_M] =$

$\{s_1 \dots s_{i_1}\} \{s_{i_1+1} \dots s_{i_2}\} \dots \{s_{i_{M-1}+1} \dots s_N\}$ というサブベクトルに分割することを考える．ここで各サブベクトル p_j はそれぞれが腕，脚などといったヒューマノイドロボットの体の各部分を表すように設計する．各部分空間に対して状態ネットを導入し，それをモジュラ状態ネットと呼ぶ．

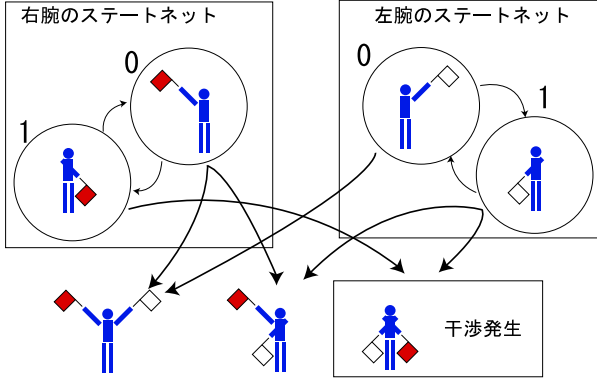


Fig. 2: Modular StateNet

Fig. 2 に示すように，モジュラ状態ネットアーキテクチャでは，ヒューマノイドロボットの動作が各パーツごと個別に設計され，ロボット全身の動作はそれらのモジュラ状態ネットの行動の組み合わせによって与えられる．組み合わせの数は大きいので，従来の状態ネットより様々な行動を生み出すことが期待できる．しかし，組み合わせによっては動作の幾何学的干渉を引き起こすものや，動的な拘束を満たさないものがあり得るため，全ての組み合わせが必ずしも実行可能とは限らない．例えば，Fig. 2 に示すように，右腕を状態 0 から状態 1 に，左腕を状態 0 から状態 1 に遷移させる場合を考えると，それぞれの状態ネット上では実現可能な動作でも，両腕では前方で互いに衝突してしまい，正常に動作できない．そこで実行可能な経路を見つけるため，全モジュラ状態ネットの集合を抽象化した離散モデルを導入し，上位層によって最適な行動計画を行う．なお，全体のシステム構成の詳細と，上位層での行動計画については第 2 報で示す．

4 干渉回避

提案システムによる干渉回避の例を示す．今回は手旗信号を例とし，任意の初期状態から任意の目標状態に対し最適な経路を検索し，得られた軌道に沿って行動制御を行った．まず初めに，両腕のモジュラ状態ネットを作成した．Fig. 3 に一部を示す．右腕は状態 s_0^r から s_7^r ，左腕は s_0^l から s_8^l をそれぞれ持ち，状態 s_i^r から状態 s_j^r へのアークを a_{ij}^r のように定めた．また，状態 s_i^r から状態 s_j^r への遷移はトランジション t_{sij}^r が送られることにより開始し，トランジション t_{eij}^r が送られると，状態 s_i^r か

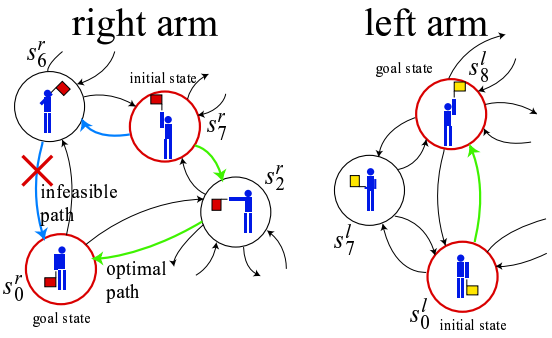


Fig. 3: Optimal path

ら状態 s_j^r に遷移が完了するまで待機を行う．

ここでは初期状態を (s_7^r, s_0^l) とし，目標状態を (s_0^r, s_8^l) とした．まず，上位層による行動計画によって $t_{s76}^r, t_{s08}^l, t_{e76}^r, t_{s60}^r, t_{e08}^l, t_{e60}^r$ が最適な軌道として得られた．しかし，この行動計画は t_{s60}^r と t_{e08}^l の間で衝突が検出され，実行可能でない軌道であったため，次に最適な経路を再検索すると，実行可能な経路 $t_{s72}^r, t_{s08}^l, t_{e72}^r, t_{s20}^r, t_{e08}^l, t_{e20}^r$ が得られた．この最適経路のトランジション列は各部の **modular state net** に一つずつ送られ，ロボットの行動制御と監視が行われる．

5 おわりに

本報告ではヒューマノイドロボットに対して，動作単位を組み合わせる多彩な動きを実現する手法の基礎として，モジュラ状態ネットを用いた行動実現と，提案システムによる干渉回避の実例を示した．今後の課題としては動力学による制限や転倒回避，予期せぬ状態になった場合からの回復などの点が挙げられる．

謝辞

本研究は科学事業振興事業団戦略的基礎研究推進事業 (CREST) 領域「脳を創る」の補助を受けた．また多くの有益な助言をいただいた中村仁彦先生 (東京大学) に謝意を表す．

参考文献

- [1] F. Kanehiro, M. Inaba, H. Inoue, and S. Hirai: Developmental Realization of Whole-Body Humanoid Behaviors Based on StateNet Architecture Containing Error Recovery Functions; *Proc. of the First IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, (2000)
- [2] 仲谷篤人, 高橋秀行, 小林啓吾, 潮俊光: "LLP スーパーバイザと状態ネットに基づくロボットの行動実現 第 2 報 時間付きベトリネットを用いた行動計画", 第 3 回 システムインテグレーション部門講演会 2002 (2002)