

拘束条件の内部生成による協調的荷物運搬にむけて

向山 弘樹* 三宅 美博
(金沢工業大学) (東京工業大学)

Towards cooperative load carrying by internal generation of constraints

Hiroki Mukaiyama (Kanazawa Institute of Technology)
Yoshihiro Miyake (Tokyo Institute of Technology)

Abstract

We constructed robots based on internal generation of constraints. We considered physical and representative systems as a structure of the model. And we made them to carry load. In this paper, we show that the function adaptable to unpredictable environment was generated by information circulation between the two systems.

キーワード：協調的荷物運搬、場
(cooperative load carrying, ba)

1. はじめに

従来の知識をベースとした工学システムの設計方法は、システムと環境とを分離して考え、環境をあらかじめモデル化することによって設計されている。しかし、このような設計方法は、設計者が環境に対する知識を完全にもち、完全な環境のモデル化が可能であるという前提のうえでの設計方法となっている。当然、設計者となる人間は環境の完全な知識をもち得ないことは自明であり、モデル化されない状況が不可避免的に生じてしまい、そのような環境には適応できないシステムとなってしまっている。

一方、生命システムは環境の不完全な情報しかもたないにもかかわらず、無限とも思える環境変動に適応していくことができる。このとき、生命システムが環境と全く独立に存在しているのであれば、確率的な動作に頼る以外に方法はない。しかし、生命システムは環境と独立に存在しているのではなく、身体を通して環境に積極的にはたらきかけ、環境との間に相互依存的な関係を生成することができる。そして、システム自身の内側からの視点だけでは避けられない不完結性を、環境に開かれた身体を通して環境と相互作用を行なうことで限定し、環境のモデルを内側から生成する。

本研究では、生命システムが予測不可能な環境に対処するうえで不可欠である「身体」の重要性に着目し、モデル化されない環境に対処可能なシステムの構築を目指している¹⁾²⁾。

2. 拘束条件の内部生成モデル

我々は、環境のモデルをあらかじめ与えずに、システム自身が環境のモデルを生成していくことを考える。このシステムの内部に生成する環境のモデルを内的イメージと呼び、この内的イメージを生成する部分としての表象系を設ける。しかし、システム自身の内側からの視点では、環境のモデルとしての妥当性を判断することはできない。よって、生成された内的イメージに基づき、環境と相互作用を行ない、その結果環境との間にコンシステントな関係が自己組織されたかどうかで判断する必要がある。よって、表象系に加えて、コンシステントな関係が自己組織されたかどうかを評価する身体系を設ける。我々は、身体と環境との間において自己組織されるコンシステントな関係を「場」と呼んでいる。

モデル化されない環境に対処していくシステムは、Fig.1のように表象系と身体系からなる。本モデルでは、表象系において生成された内的イメージを拘束条件として、身体系において環境と相互作用を行なう。その結果コンシステントな関係が生成されれば、その内的イメージは環境のモデルとして妥当性をもつことになる。コンシステントな関係が生成されない場合には、身体系において生成される場を拘束条件として、新たな内的イメージが再生成されることになる。これら2つの系が相互に拘束をかけあうことによって、環境に適応していく。

具体的に我々は、この拘束条件の内部生成モデルに基づくシステムが柔軟な環境適応性をもつことを示す方法として、このモデルに基づくロボットを構築し、それらが複数

で協力して荷物運搬を行うシミュレーションを行った。

3. マルチロボットシステムによる荷物運搬

シミュレートしたマルチロボットシステム全体としては Fig.2 のようになる。ここで、ロボットの身体系に対応する部分として、多賀らにより提案されている二足歩行ロボット⁹⁾を使用した。多賀らの提案した二足歩行ロボットは拘束条件としての定常入力を変えることにより、多様な歩行パターンを生成する。我々はこの多賀らのロボットに内的イメージを生成する表象系を設けたものを個々のロボットに対応付けた。

また、身体的相互作用として、各ロボットは荷物と力学的にリンクされている他、隣接するロボットの足の接地タイミングをパルスとして入力している。このロボット間、荷物との相互作用を通して、場が自己組織される。

4. 拘束条件生成ルールの規定

上述したロボットにおいて、身体系と表象系に対する相互の拘束条件の生成の仕方を規定する必要がある。よって、下式のように表象系への拘束条件生成ルール f 、身体系への拘束条件生成ルール g を規定した (Fig.3)。

$$i = f(b)$$

$$c = g(i)$$

i : 内的イメージ

b : 場の情報

c : 定常入力

f : 表象系への拘束条件生成ルール

g : 身体系への拘束条件生成ルール

4.1 表象系への拘束条件生成ルール

表象系への拘束条件生成ルール f について考える。各ロボットは荷物を安定に運ぶために、システム全体の安定性をリアルタイムに知る必要がある。また、協調的な機能分散を実現するために、各ロボットがシステム全体に対する自分の相対位置を内的イメージとしてもつ必要がある。今回我々は身体系における場の情報として、それぞれの腰の角度振動 θ の周期、ロボットの腰の上下振動 y の波形に着目し、内的イメージを生成するための拘束条件生成ルール f_1 、 f_2 を規定した。

$$i_1 = f_1(\theta)$$

$$i_2 = f_2(y)$$

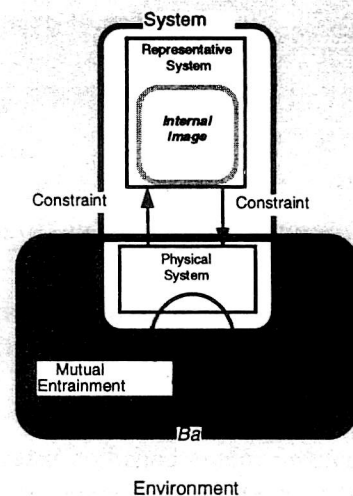


Fig.1 拘束条件の内部生成モデル

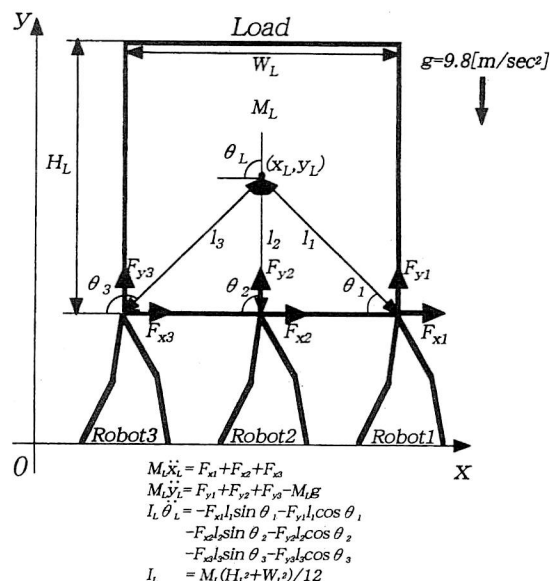


Fig.2 荷物運搬モデル

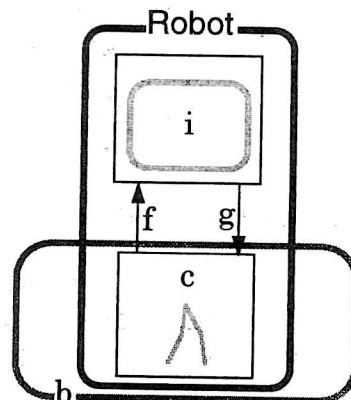


Fig.3 拘束条件生成ルールの規定

4.1.1 安定性の情報

Fig.4は90kgの重さの荷物を運搬している途中で、荷物の重さを105kgに変化させたときのロボット1の腰の角度振動 θ_1 の時間変化を示している。この角度振動はすべてのロボットで同じ値をとるため、ロボット1のみについて示している。この図より、荷物の重さを重くした後に、角度振動の周期が変化していることがわかる。また、荷物の重さが重くなった後の周期の部分ではわずかな揺らぎでも転倒するような不安定な状態であることがわかっている。Fig.5は荷物の重さを様々に変化させたときの周期の変化を示しており、荷物の重さに対して先のような周期変化が不連続に起こっていることがわかる。そして、このような周期変化はロボットが運搬可能な荷物の重さの限界前に起こることから、腰の角度振動の周期を安定性の情報として用いることとした。そこで、 f_1 は下式のように規定した。

$$i_1 = \begin{cases} \text{Unstable} & \text{for period} > T \\ \text{Stable} & \text{otherwise} \end{cases}$$

4.1.2 位置の情報

個々のロボットの腰の上下振動 y の波形から、位相相対値 γ をFig.6のように定義した。Fig.7はロボット的位置に対する γ の値をとったものであるが、この図より個々のロボット的位置に応じて、 γ はほぼ一定の値をとっていることがわかる。このことから、この位相相対値 γ を位置の情報として用いることとし、 f_2 を下式のように規定した。

$$i_2 = \begin{cases} \text{Rear} & \text{for } \gamma > \Phi \\ \text{Front} & \text{otherwise} \end{cases}$$

4.2 身体系への拘束条件生成ルール

以上述べたルールによって生成する内的イメージが逆に身体系への拘束条件となり、歩行パターンを変えるための定常入力値を変更する。そのときの拘束条件生成ルール g を規定するために、定常入力値を変更したとき、安定性がどう変化をするのかを調べた。Fig.8は定常入力をすべてのロボットで均質にした場合、不均質にした場合の、荷物の重さに対する腰の角度の周期変化を表している。この図から、それぞれ荷物の重さが重くなるにつれて周期が不連続に変化し、限界に達し倒れていることがわかる。ここで、後部に定常入力異なるロボットを配置したパターンが最も重い荷物を運んでいることから、下式のように、後部に位置するロボットが定常入力を変化させ、歩行パターンを変えることを拘束条件生成ルールとして規定した。

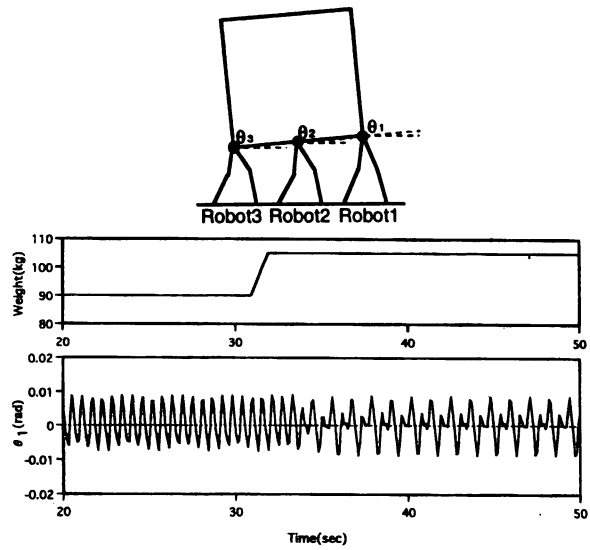


Fig.4 荷物の角度振動の周期変化

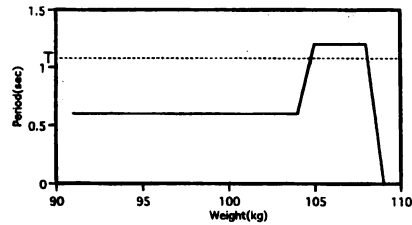


Fig.5 荷物の重さに対する角度振動の周期変化

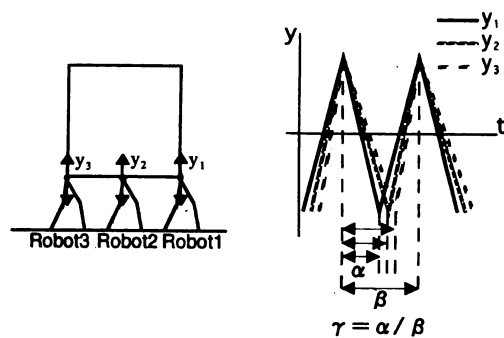


Fig.6 位相相対値の定義

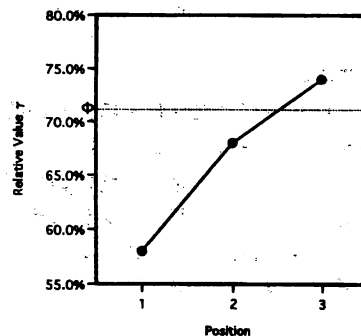


Fig.7 ロボットの位置に対する位相相対値

$$c = \begin{cases} C_1 & \text{for } i_1 = \text{Unstable}, i_2 = \text{Rear} \\ C_2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$C_2 > C_1$$

5 環境変動に対する柔軟性

上述したルールを用いて、荷重変動、ロボットの除去といった環境変動を与えるシミュレーションを行った。

5.1 荷重変動

荷重変動は、荷物運搬途中において、荷物の形状を不変のまま重さのみを90kgから105kgに変化させた(Fig.9)。変化のさせ方は1秒間に目的とする重さになるように設定した。Fig.10にその結果を示す。横軸に時間、縦軸に上から、荷重変化、場の情報としての荷物の角度変化、腰の上下動変化、拘束条件としての定常入力の変化を表している。荷重変動は31秒後に行っている。この図より、荷物の重さが増えた後に場の情報としての腰の角度振動の周期が変化していることがわかる。そして生成された内的イメージに基づき各ロボットはそれぞれ、拘束条件としての定常入力を変化させている。結果として、システム全体として安定な荷物運搬を継続していることがわかる。

5.2 ロボットの除去

次に、環境変動として、途中で両端のロボットの除去を行った(Fig.11)。Fig.12はその結果を示している。↓の地点でロボットを除去している。図より、ロボットを途中で除去したことで、荷重変動をしたときと同様に、角度振動、及び腰の波形から、先と同様のルールに基づき、内的イメージを生成し、定常入力値を変化させ、結果として安定な状態で荷物運搬を続けていることがわかる。

5.3 コンシステントな関係を生成できない場合

以上の結果は、環境との間に引き込みが生じコンシステントな関係が生成された場合を示している。しかし、途中で重くなる荷物の重さを変えた場合に、身体系においてコンシステントな関係が生成されずに、最終的には転倒してしまう場合もある。その結果をFig.13に示す。図より、荷物の重さが増えた後、腰の角度振動が変化をうけるが、先の結果のように環境との間にコンシステントな関係を生成することができないために、拘束条件を生成するルールがはたらかず、最後には転倒してしまっていることがわかる。

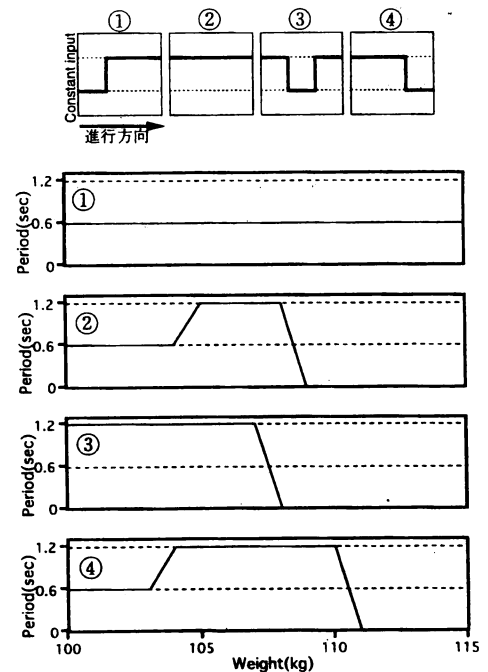


Fig.8 異なる定常入力に対する角度振動の周期変化

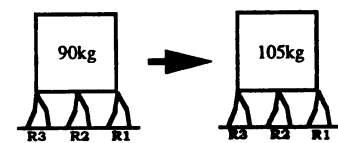


Fig.9 荷重の変動方法

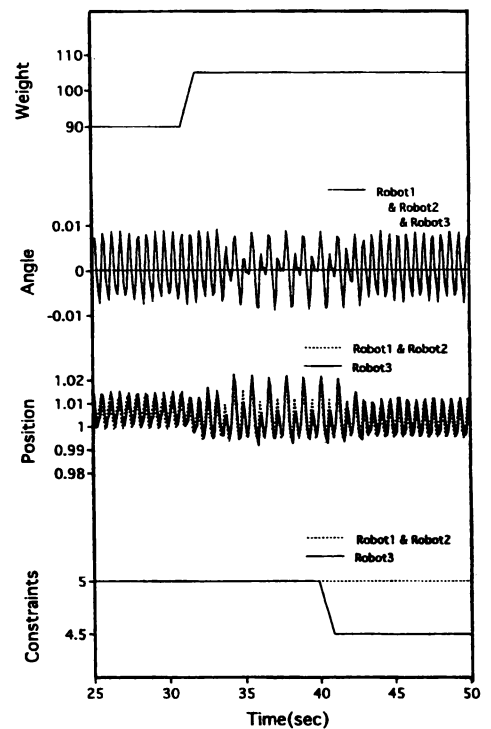


Fig.10 荷重変動時における拘束条件の生成過程

6 まとめ

本研究ではあらかじめモデル化されない環境変動に対処できるシステムとして、拘束条件の内部生成モデルに基づくロボットを構成し、それらが協力して荷物運搬をするシミュレーションを行った。そして、身体系において環境との間にコンシステントな関係としての場を生成し、それに基づいて自らの拘束条件を生成させることで、モデル化されない環境変動に対処可能であることを示した。しかし、本システムでは、身体系においてコンシステントな関係が生成できない場合もあることを示し、このことが、身体系の評価系としての重要性を示し、さらに新しいルールを生成していくことを可能とする枠組みを与えていることを示した。

参考文献

- 1) 三宅美博、鈴木清晴、清水博: リズムの相互引き込みを用いた「場」的制御、日本ロボット学会 第13回学術講演会予稿集、No1. pp. 431-432(1995).
- 2) 守田泰史、向山弘樹、三宅美博: マルチロボットシステムにおける「場」的制御、日本ロボット学会 第14回学術講演会予稿集、No3. pp.1063-1064(1996).
- 3) 向山弘樹、守田泰史、三宅美博: 拘束条件の内部生成による協調的機能分散にむけて、第9回自律分散システム・シンポジウム資料、pp.9-13(1997).
- 4) G. Taga, Y. Yamaguchi, H. Shimizu: Self-organized control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment, Biol Cybern, 65, 147-159(1991).

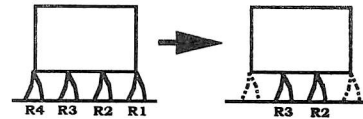


Fig.11 ロボットの除去方法

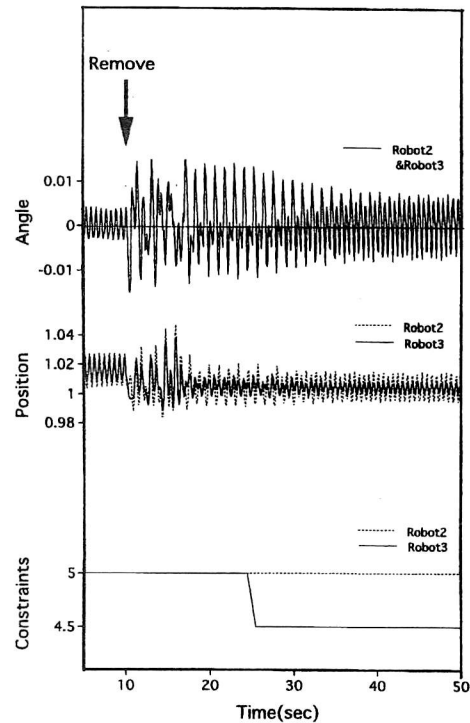


Fig.12 ロボット除去時における拘束条件の生成過程

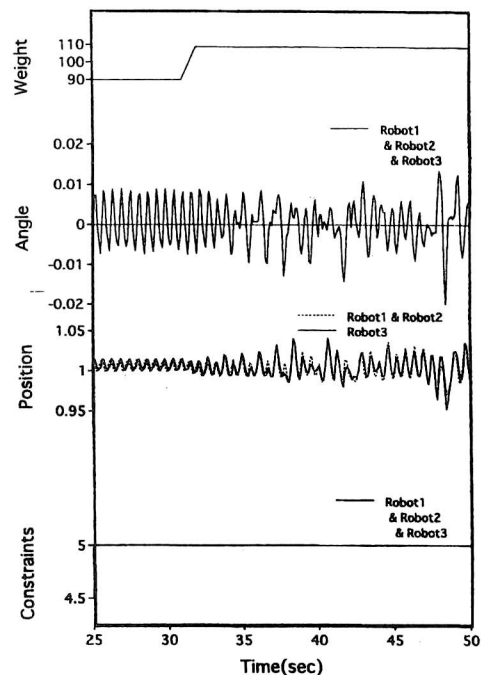


Fig.13 コンシステントな関係が生成されない場合

原稿受付日

平成9年2月17日