

動的再構成可能ロボットシステムに関する研究*
(第14報, 視覚と力のアクティブセンシングを用いた
自己組織化マニピュレータの組立作業誤差修正)

福田敏男*¹, 薛国慶*², 新井史人*¹, 小菅一弘*¹
浅間一*³, 大森弘享*³, 遠藤 勲*³, 嘉悦早人*³

A Study on a Dynamically Reconfigurable Robotic System
(14th Report, Error Recovery in Assembly of Self-Organizing Manipulator
Using Active Visual and Force Sensing)

Toshio FUKUDA, Guo-qing XUE, Fumihito ARAI, Kazuhiro KOSUGE,
Hajime ASAMA, Hiomichi OMORI, Isao ENDO and Hayato KAETSU

In this report, the method of active sensing is applied to assembly work of a self-organizing manipulator which we introduced in previous research. We placed a 6 axis force/torque sensor in the wrist of the manipulator and a CCD camera into the hand of another manipulator. With cooperation of hand and eye, human beings can perform a variety of versatile tasks. The eyes guide the motion of the hand, while the hand moves to make the object more easily seen. We attempt to construct a system which works in the same way as a human being. In assembly work, many types of contact status of cells are analyzed. The scene simplification is based on the cooperative motion of the camera and manipulator. We integrate a vision system, a manipulator, and force/torque in to a hand-eye working system. The method of average visible rate is proposed to evaluate the viewpoint of the camera. A strategy for planning the assembly work is presented for the cellular type of self-organizing manipulator system. The efficiency of the proposed system is shown by experiments.

Key Words: Active Sensing, Vision, Force Sensing, Assembly, Cellular Robotics, Hand, Eye, Average Visible Rate, Viewpoint, Planning

1. はじめに

近年, ロボットシステムを機能ごとの基本パーツ(セル)に分割し, そのパーツを組換えることにより環境, タスクに柔軟に適応することが可能なロボットシステムとして, セル構造化ロボット(CEBOT)の研究が行われている⁽¹⁾⁻⁽³⁾. 著者らは, そのCEBOTの一形態である自己組織化マニピュレータを提案した⁽⁴⁾. また, この自己組織化マニピュレータの構造生成と複数のマニピュレータを用いた協調作業によるセル組立作業のオフラインプランニングの研究を行ってきた⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

自己組織化マニピュレータは, そのシステム内の他のマニピュレータにより組立てられ, 必要に応じて作業に適するさまざまな異なる形態のマニピュレータを構成し, 各種作業を行うことができる⁽⁴⁾. 図1に自己組織化マニピュレータの概念図を示す. 図2に試作したマニピュレータセルを示す.

マニピュレータの自己組織化を行うにはセル同士の

結合が必要である. セルとセルの結合を行うにはめ合い制御を行う必要がある. このはめ合い問題は自己組織化マニピュレータだけでなく, すべての知能ロボットシステムにとっても非常に重要であるといえる.

ロボットを用いたはめ合い作業に関しては多くの研究がなされてきた. 物体の接触状態を中心に, 力センサのデータに基づいて力の情報を解釈し, 接触状態を遷移させ, 組立作業を計画する研究がある⁽⁹⁾⁻⁽¹²⁾. また, スキルという新しい概念に基づいたマニピュレーションも提案されている⁽¹⁰⁾. はめあい等の作業を行うには, 視覚の利用が不可欠で, 視覚の利用する研究もいろいろと行われており, カメラをマニピュレータの先端に

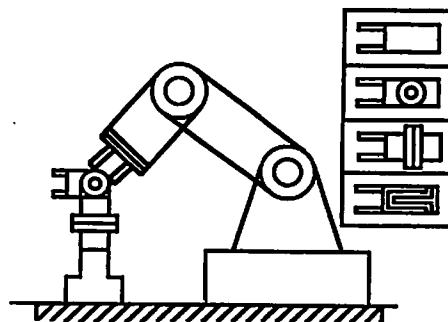


図1 自己組織化マニピュレータの概念

* 原稿受付 平成4年8月26日.

¹ 正員, 名古屋大学工学部(〒464-01 名古屋市千種区不老町1).

² 名古屋大学大学院.

³ 正員, 理化学研究所(〒351-01 和光市項広沢2-1).

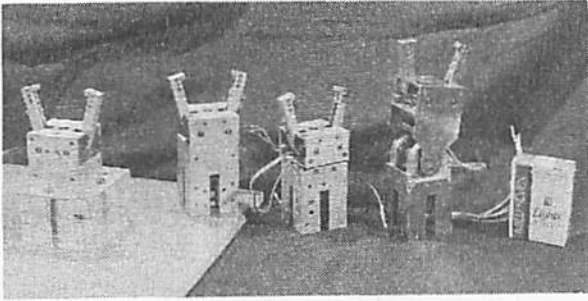


図2 マニピュレータセル

装着し、人間の目の行動を模倣するハンドアイシステムにおける視覚センサのオクルージョン回避、照明設定プランニングなどの研究がなされている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。最近ではアクティブセンシング、視覚と力覚のセンサフュージョンによりロボットのマニピュレーションに関する提案と研究が盛んになっており^{(8)~(14)(20)}、注目を集めている。また国外では未知対象物のヒープを移動ビジョンとロボットハンドのマニピュレーションにより分類と簡略化する研究や⁽¹⁵⁾、カメラのモーションを利用し、部品のマニピュレーションのためのレンジ計測研究⁽¹⁶⁾、センサの信頼性を確率論の方法を用いて、モデル化し、タスクに適するセンサ配置を理論的に解析する研究⁽¹⁷⁾も行われている。

しかし、これらの研究は力情報、あるいはビジョン情報の一方だけを用いたものがほとんどであるが、実際の作業を人間のように柔軟にこなすにはその両方のどちらも欠かすことができない。

本研究は人間の目の手の協調を参考とし、「手のための目」と「目のための手」の観点からはめ合い作業中の力覚情報と視覚情報の関係を理論的に考察しそれを実験により検証した。人間の見やすさ、測定しやすさを「幾何学上の可視性」として数学的に表現し、人間の組立に関する直感的考えをはめ合い作業の計画のストラテジとして取入れた。

本研究では、接触している対象物の見え具合を表す最大平均可視率を定義し、これを評価に用いることにより、オブジェクトの結合状態を計測するための最適視点を選択し、トルク・力センサの力感覚を利用するマニピュレーションとカメラのモーションにより最適視点での画像計測を行い、セルの結合をオンラインでガイドする一方法を提案する。これをセルーマニピュレータの組立実験に応用し、その有効性を示す。図3に力情報、視覚情報とマニピュレータの移動の関係を示す。

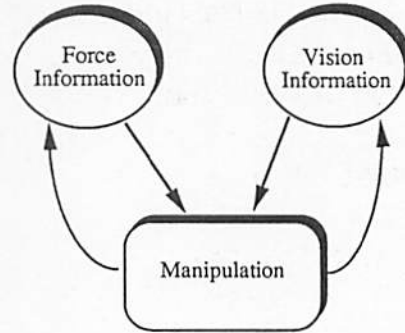


図3 力情報、視覚情報とマニピュレーション

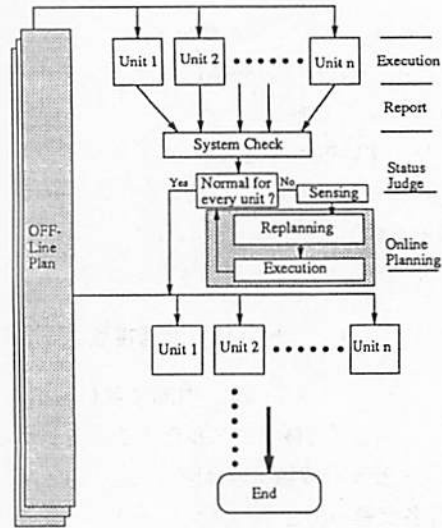


図4 オンラインとオフラインプランニング

2. オフラインプランニングとオンラインプランニング

前報⁽⁴⁾では、モデルに基づき、センサデータを考慮しない場合のオフラインプランニングについて報告した。実際の作業環境では、すべての環境データをモデルで正確に表すのは非常に困難であるし、外乱による環境の変化も考えられるので、システムのオンラインのリプランニング機能を備えなければならない。図4にはオンラインとオフラインプランニングの関係を示す。本報では、マニピュレータの手首につけている力・トルクセンサと別のマニピュレータの先端に装着している CCD カメラを利用し、セルの結合のオンラインプランニングについて検討したので、その結果を報告する。

3. 手と目の役割とお互いの協調

われわれ人間は一つの部品をはめ合いするとき、手と目の協調がなくてはならない。目がなければ、もちろん、位置の判断が難しくなる。手がなければ、力の感

覚がなくなり、はめ合い作業も困難である。両方がお互いに協力することにより、さまざまな巧みな動作が可能になる。目は手のために働き、手も目のために働く。人間にとって、「手のための目」と「目のための手」は同様に重要であるともいえる。

本システムにおいて、手(マニピュレータとカセンサ)の役割は以下のようである：

1. セルをつかんで移動する。
2. セルの結合時の接触状態の推測。
3. 目が見やすくなるように接触状態を変化させる。
4. 目の測定値に従い、動かす。

目(マニピュレータの先端につけているカメラ)の役割は以下のようである：

1. 見やすい視点を選択し、計測を行う。
2. いくつかの方向から見た結果を分析し、セルの結合誤差を検出する。
3. マニピュレータの動きを指示する。

4. 接触状態と最適視点

セルは図2に示すように、内部に可動機構を擁するが、ここでは、長方体でモデル化することにする。すると、セルとセルの接触状態は図5に示すように6種類がある。各状態の力とモーメントの分析を表1に示す。

ここで、接触状態の安定性というのは、一つの接触状態で、接触力を維持する前提で、任意の方向に微小移動しても、接触状態が変化しない場合、この接触状態は安定接触状態と定義する(例えば、点と面の接触、面と面の接触)。逆に少し移動すれば、すぐ他の状態になる接触状態は、不安定接触状態と定義する(例えば

点と点の接触、点と線の接触)。安定と不安定は、接触両方の幾何学性質より以下の式(1)で決めることができる。

$$\Gamma = N_1 + N_2 \begin{cases} < 4 & \text{Unstable} \\ \leq 4 & \text{Stable} \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 N_1, N_2 は接触両方の元数で以下のように定義する。

点—>1, 線—>2, 面—>3.

カセンサのデータを用いて接触状態をある程度の解析ができるが、角度と位置のずれを計測するには不十分である。カメラを使って、位置の計測は可能であるが、処理の難易さと結果の正確さはカメラの視点により大きく違ってくる。人間の作業を思い出すと我々人間は一つの視点から見た結果を頭の中で計算するより、見やすく、すぐわかる所に視点を変えて見るのは自然である。カメラの視点に関しては、松下ら⁽²⁰⁾は光切断法により稜に対にする評価に基づき視点の選択の研究を行った。本研究では物体の面を注目しての最適視点について考察してみる。

一つの対象物を認識するとき、見える面の数が多ければ多いほど認識しやすいという見方が一般的である⁽¹⁹⁾。しかし、既知の対象物を計測する場合我々人間は、わざといくつかの面を見えなくなるようにして、エッジに沿って見ることがよくある。これは計測する部分に注目し、単純化するためである。したがって、カメラで撮ったシーンに現れている面の数を少なくすることにより、画像の理解と計測を単純化することは可能である。次に注目点に対しての見える面の「平均可視率」を考察してみる。

定義1 グローバル視野とローカル視野

表1 力とモーメントの分析

Contact Status	Stability	Force Analysis
I Point · Point	1+1=2<4 Unstable	The direction of resultant force cannot be determined, the direction of cell cannot be suggested.
II Point · Line	1+2=3<4 Unstable	
III (1) Point · Surface	1+3=4 Stable	The resultant force has the same direction as the direction of above cell, there exist the moment in two direction
III (2) Point · Surface	1+3=4 Stable	The resultant force has the same direction as the direction of base cell, there exist the moment in two direction
IV (1) Line · Line	2+2=4 Stable	The direction of resultant force is vertical to two edge lines
IV (2) Line · Line	2+2=4 Stable	The direction of resultant force is vertical to two edge lines
V (1) Line · Surface	2+3=5>4 Stable	The direction of resultant force is same to above cell, there exist not moment
V (2) Line · Surface	2+3=5>4 Stable	The direction of resultant force is same to base cell, there exist not moment
VI Surface · Surface	3+3=6>4 Stable	There exist force only in the direction of Z-axis, no moment

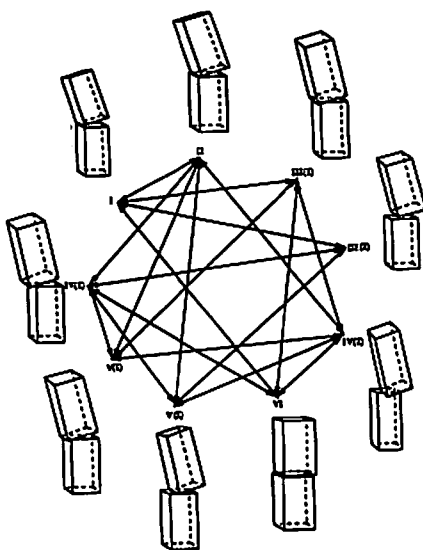


図5 接触状態の種類

図6(a)に示すように物体の大きさが物体とカメラ間の距離と比べて非常に小さい場合、物体は完全にカメラの視野に入っている。この場合のカメラの視野はグローバル視野と称する。逆に物体とカメラ間の距離が非常に近い場合、カメラの視野に物体の一部しか入れない。この場合のカメラの視野はローカル視野と称することにする。

本研究では近い距離での計測を目的とするため、主にローカル視野について考察していく。

定義2 一つの視点 θ_i から視野の中に見える一つの面の垂直面積とその面の最大に見える可能な面積との比をこの面の視点 θ_i における「可視率」と定義する。視点 θ_i から視野のすべての見える面の可視率の平均数は視点 θ_i の「平均可視率」 ω と称する。

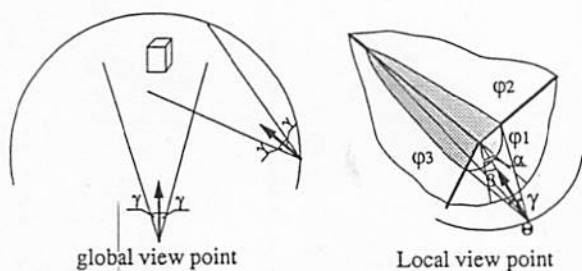
$$\omega = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{S_z(i)}{S(i)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 N は見える面の数。グローバル視野かローカル視野かにより N が違う。図6(a)のように、一つの物体に対して、カメラが注目点を中心とした球面移動の場合。

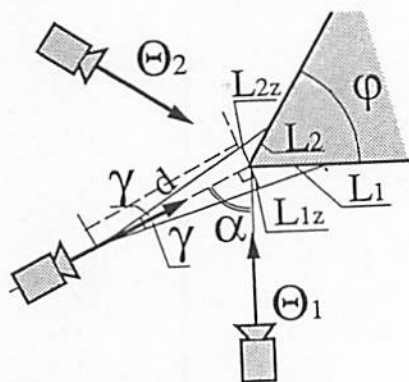
グローバル視野の場合

$$N = \begin{cases} 1 & \alpha=0, \beta=0 \\ 2 & \alpha \neq 0 \text{ or } \beta \neq 0 \\ 3 & \alpha \neq 0 \text{ and } \beta \neq 0 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ローカル視野の場合



(a) グローバル視野とローカル視野



(b) 二次元の場合

図6 視野の区別および二次元の例

$$N = \begin{cases} 1 & \alpha \leq 0, \beta \leq 0 \\ 2 & \alpha \leq 0, \beta > 0 \\ 2 & \alpha > 0, \beta \leq 0 \\ 3 & \alpha > 0, \beta > 0 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$S_z(i)$ はこの視点において第 i 番目の垂直に見える面積

$S(i)$ は第 i 番目面に見える可能な最大面積、すなわち、真正面から見た場合の面積。

平均可視率は、物の見え具合を現している。明らかに、注目する部分の可視率を最大化することは計測を行うには有利である。

図6(b)に示した二次元の場合平均可視率は次のように表される。

$$\omega_1 = \frac{L_{z1}}{L_1}, \omega_2 = \frac{L_{z2}}{L_2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\omega = \begin{cases} \frac{|\cos(\alpha+\gamma)|}{|\cos(\gamma)|} & \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \varphi \\ \frac{|\cos(\alpha+\gamma)| + |\cos(\alpha+\varphi+\gamma)|}{2|\cos(\gamma)|} & \frac{\pi}{2} \geq \alpha > \frac{\pi}{2} - \varphi \\ \frac{|\cos(\alpha+\varphi-\gamma)|}{|\cos(\gamma)|} & \alpha > \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 γ はカメラの視角、

φ はオブジェクトの角度 ($0 < \varphi < \pi$),

α はカメラの光軸とオブジェクトの角度、

L_1, L_2 はオブジェクトの実際に見える長さ、

L_{1z}, L_{2z} はそれぞれの垂直に見える長さ、

図7に計算結果を示す。 $\alpha=0$ と $\alpha=\pi-\varphi$ の点で $\omega=1$ [図6(b)の中の θ_1, θ_2]。これは人間の見やすさと一致することがわかる。逆に $\alpha=\pi/2-\varphi$ で平均可視率が急激に下落、この場合は見える面の数は1から2まで変更するところである。この点を過ぎたら、両面同時に見える。この点の近辺で一つの面は少ししか見えないため、見にくく、最も厄介な視点となる(画像処理においてはエッジがぼけることになる)。

次はカメラの三次元球面運動する場合について考察する。図8(a)に示した対象物に対し、各面の方向ベ

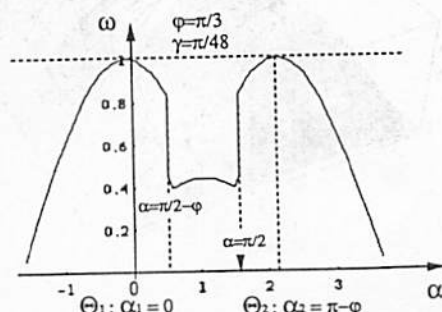


図7 二次元の場合の計算結果

クトルと視点の方向ベクトルを式(7)のように表すと、面と視点の方向と成す角度は式(8)のようになる。

$$\vec{S}_1, \vec{S}_2, \dots, \vec{S}_n, \vec{S}_o \dots \dots \dots (7)$$

$$\theta_i = \cos^{-1} \left(\frac{|\vec{S}_i \cdot \vec{S}_o|}{|\vec{S}_i| |\vec{S}_o|} \right) \dots \dots \dots (8)$$

一つの面が見えるかどうかは式(9)により判断し、見える面の数 N は式(10)になる。

$$C_i = \begin{cases} 1 & \frac{\pi}{2} \leq \theta_i \leq \frac{3\pi}{2} \\ 0 & \frac{\pi}{2} \leq \theta_i \leq \frac{\pi}{2} \end{cases} \dots \dots \dots (9)$$

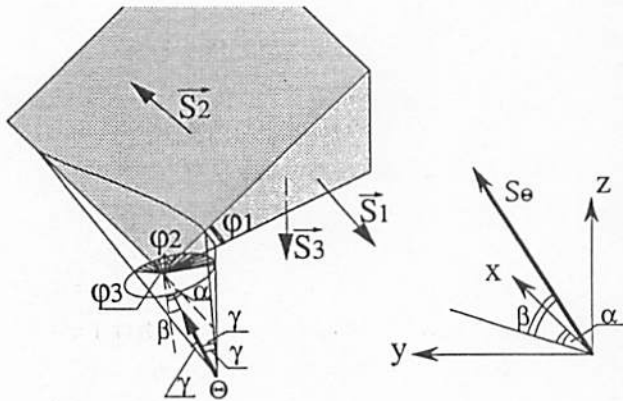
$$N = \sum C_i \dots \dots \dots (10)$$

各面の可視率と平均可視率はそれぞれ式(11), (12)になる。

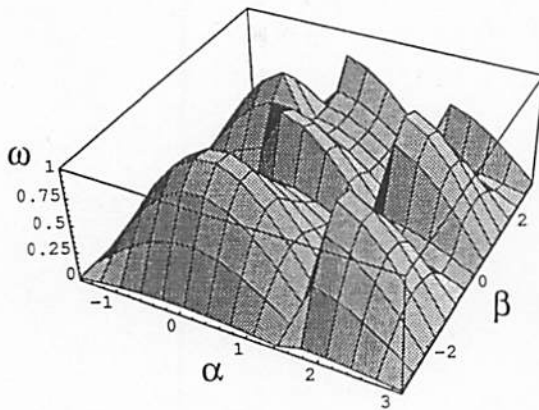
$$\omega = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n C_i \cdot \omega_i \dots \dots \dots (11)$$

$$\omega_i = \frac{\cos(\theta_i + \gamma)}{\cos(\gamma)} \dots \dots \dots (12)$$

以上に基づいて、図8(a)の対象物に対して、平均可視率の計算結果は図8(b)に示す。この結果で $\alpha =$



(a) 三角柱対象物の平均可視率の計算



(b) 計算結果

図8 三次元の例と計算結果

$0, \beta=0$ と $\alpha=0, \beta=-\pi/2$ および $\alpha=\pi/2, \beta=\pi/2 - \phi$ の場合 $\omega=1$, つまり最大平均可視率の視点である。これは、人間の見やすい感覚と一致することがわかる。この場合は、測定に必要な情報を最大限にとり、不必要な情報をなくしたという理想状態でもある。同じように、図9にほかの各種対象物の最大可視率の視点を示す。それらも、人間の最適視点と一致としている。

以上をまとめると、カメラの視点の評価として見える面の数 N を最小に、 ω を最大にすれば最適であると考えられる。

5. 見やすさと接触状態の遷移

複数の物体が接触している場合、接触状態により、平均可視率が1である視点が取れない場合がある。図10のAに示すような点面接触状態では、どの視点からも平均可視率は1にならない。 $\omega=1$ の視点を取るには、マニピュレーションによる状態遷移を起こす必要になってくる。

図10のAの場合(点面接触)から、Bの状態(線面接触)に遷移すれば視点 p (見える面二つ、両面とともに垂直する)では、平均可視率が1になる。すなわち、見やすい視点が取れることになる。図11に点面接触から線面接触までの状態遷移するときの力の変化を示す。その時のトルクは式(13)になる。

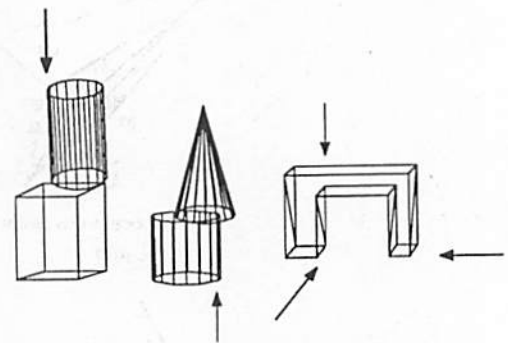


図9 各種対象物の最大平均可視率をもつ視点

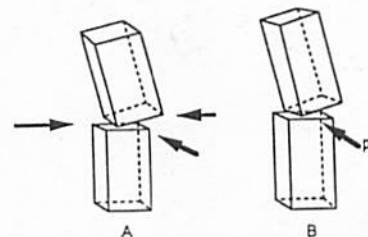


図10 最適視点が取れない場合の状態

$$M_x = \begin{cases} Fz \cdot \sqrt{bl^2 + hl^2} \cdot \sin \theta & \theta < \theta' \\ 0 & \theta = \theta' \\ Fz \cdot \sqrt{(b-bl)^2 + hl^2} \cdot \sin(\theta - \theta'') & \theta > \theta' \end{cases} \dots\dots\dots(13)$$

したがって、接触点を中心とし、上のセルを一定の力

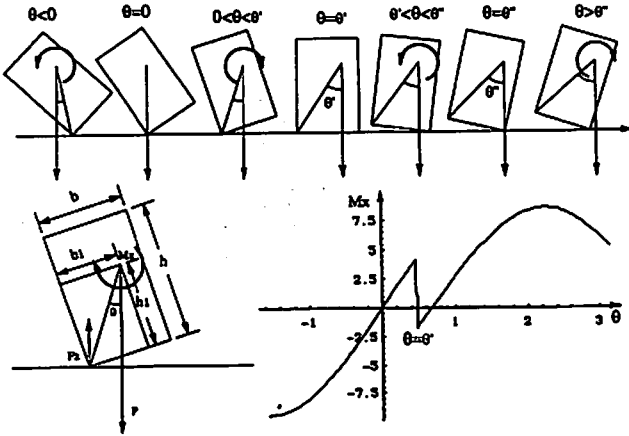


図 11 状態遷移に伴う力の変化

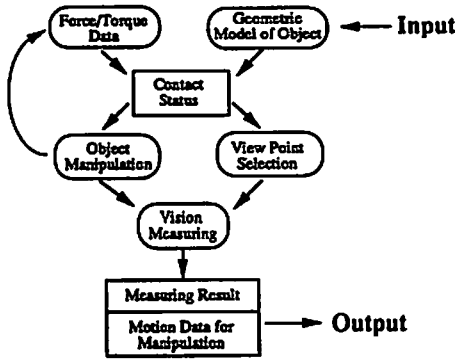


図 12 協調のプランニング

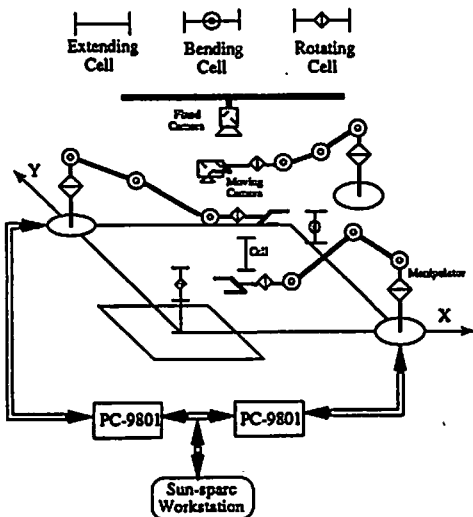


図 13 システムモデル

で押付けながら回転させ、回転軸方向のトルクが急激な変化が生じる時点(接触点が変わる所、図中の $\theta = \theta'$)で回転を止めれば、線面接触状態になる。このように、従来のビジョン情報を利用してマニピュレーションを行うだけでなく、マニピュレーションもビジョン情報を得るための手段として使う。力情報と面像情報を総合補完することにより、組立作業を行う。図 12 にこのフローチャートを示す。

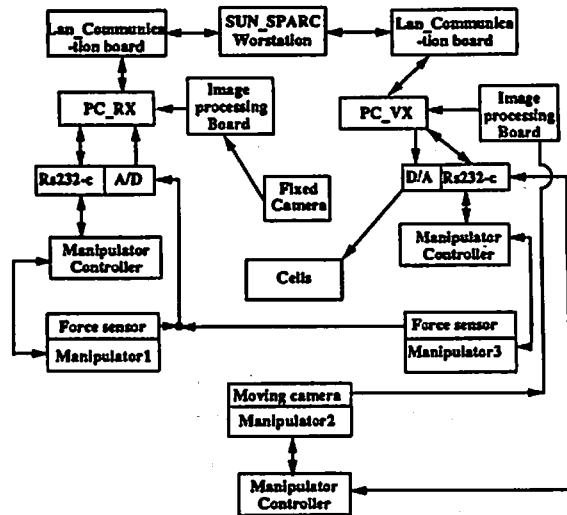


図 14 制御システム図

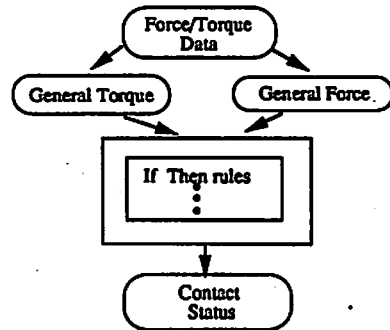


図 15 接触状態の判断

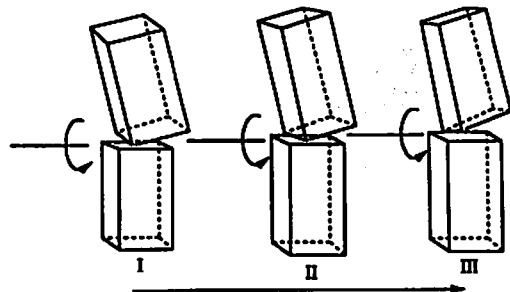


図 16 接触状態の遷移

6. 実験結果

6.1 実験システムの構成 図13にシステムのハードウェアモデルを示す。制御システム図は図14に示す。

6.2 接触状態の推測 接触状態の判断は表1に従い、図15に示すフローチャートのように行い、力センサのデータで判断することができる。

6.3 接触状態の遷移 図16に示すようなマニピュレーションに対して、そのときの力センサの実験データは図17に示す。図からもわかるように、 x 軸のモーメントがプラスからマイナスに急激に変化するとき、セルとセルの線の面あるいは面と面がちょうど合せた状態でもあり、図11の結果とほぼ一致する。した

がって、 x 軸のモーメントの方向でセルのの回転方向を決め、 x 軸のモーメントが零になったとき、回転を止めれば、線と面あるいは面と面接触の状態に変換できる。[図5に示したIII(1)→V(1),あるいは、III(2)→V(2)の状態遷移]

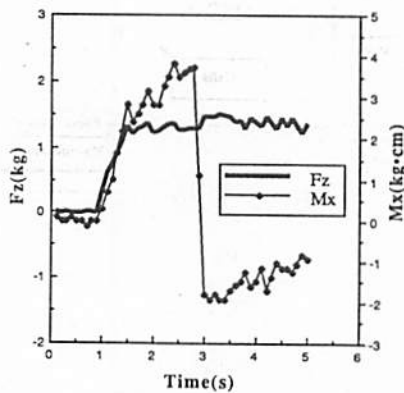


図17 カセンサの実験データ

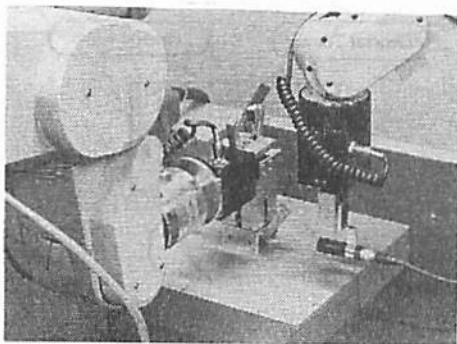


図18 セルの結合実験

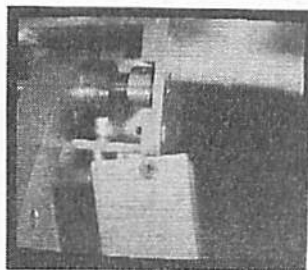
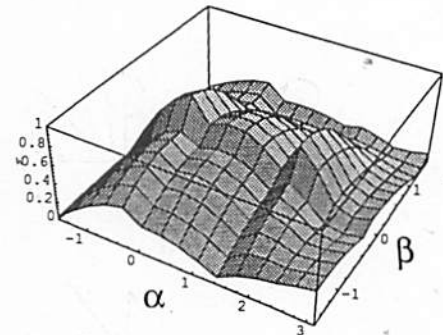
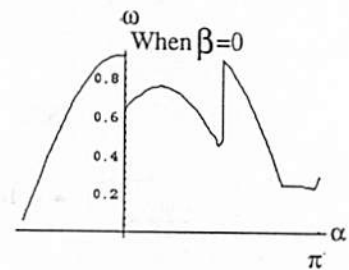


図19 状態遷移する前の画像

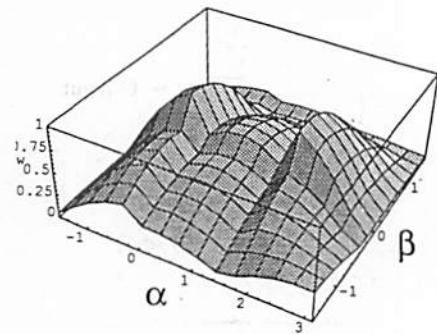


(a) 状態遷移する前の平均可視率

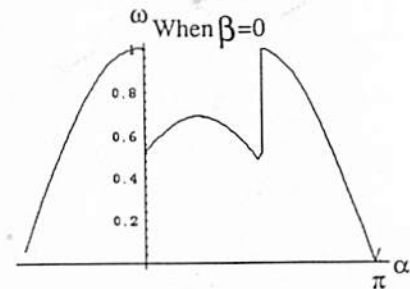


(b) (a)の $\beta=0$ 断面

図20 状態遷移する前の平均可視率



(a) 状態遷移した後の平均可視率



(b) (a)の $\beta=0$ 断面

図21 状態遷移した後の平均可視率

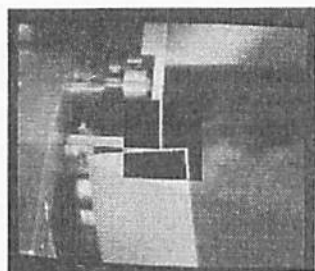


図 22 最適視点での画像と処理結果

6.4 移動カメラの画像処理による結合誤差の検出

実験の全体図を図 18 に示す。図 19 には、接触状態遷移を行う前の画像を示すが、二つの接触しているオブジェクトが斜交しているため、すべての見える面を垂直で見る視点は取れない。このときの平均可視率の計算結果は図 20 のようになっている。平均可視率 $\omega = 1$ の視点は存在しない ($\omega_{\max} = 0.87$)。状態遷移した後の平均可視率の計算結果は図 21 に示している。ここで、視点を $\alpha = 0, \beta = 0$ と設定すれば、平均可視率は 1 となり、最適視点での画像計測ができる。図 22 にはこの視点からの画像と処理結果を示す。この実験では、レーザスポットなどの特殊装置を必要とせずに、計測精度は 0.1 mm に達しており、セルの結合の精度に十分に満たすことができた。

7. 結 論

本研究では、自己組織化マニピュレータシステムの知能化を図るために、6 軸力トルクセンサとカメラを用い、目と手の協調の考え方から、アクティブセンシング方法を利用し、セル間のはめ合いに関するオンラインプランニングについて研究を行い、以下の結果が得られた。

(1) 視点の平均可視率という概念を提案し、それを用いて視点を評価することにより、見やすい視点を選び、画像処理の負担を軽減した。

(2) 移動カメラを利用し、最適視点を取ることで、複雑な三次元計測を二次元計測に変換した。

(3) 能動的な接触状態の遷移によりカメラのセンシング条件を改善した。

(4) 実験により、アクティブセンシングの一方法の検証を行った。

今後はもっと広い意味でオンラインプランニングにより、システムの全体の自律化と知能化を実現する必要があると考えられる。

文 献

- (1) 福田・中川, セル構造を有する自己組織化ロボット—その基本概念とセル間の粗接近制御及び形態決定法について—, 電学論, 107-11(1987), 1019-1026.
- (2) 福田・小野・ほか 6 名, 動的再構成可能ロボットシステムに関する研究(第 5 報, ロボットの自己組織化エンドエフェクタの概念とその機構と制御に関する研究), 機論, 57-536, C(1991), 228-235.
- (3) 福田・薛, 動的再構成可能ロボットシステムに関する研究(第 28 報, ロボットマニピュレータによるエンドエフェクタセルの組立, 分解と再構成), 第 8 回日本ロボット学会学術講演会, (1990), 903-904.
- (4) Fukuda, T. and Xue, G., A Study on Dynamically Reconfigurable Robotic Systems (Assembling, Disassembling and Reconfiguration of Cellular Manipulator by Cooperation of Two Robot Manipulators), *IEEE/RSJ Int. Works hop on Intelligent Robots and Systems IROS'91*, (1991-11), 1184-1189, Osaka, Japan.
- (5) 福田・薛・ほか 5 名, 動的再構成可能ロボットシステムに関する研究(第 41 報, 作業環境の認識に基づくセルの組立作業), 第 9 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, (1991), 215-216.
- (6) 坂根・ほか 2 名, ハンドアイ行動シミュレータ: HEVEN システムに基づく視覚センサのオクルージョン回避, 日本ロボット学会誌, 4-4(1986), 44-54.
- (7) 坂根・佐藤・ほか 3 名, 環境モデルに基づくハンドアイシステムの照明設定プランニング, 日本ロボット学会誌, 7-3(1989), 130-141.
- (8) 坂根・佐藤・ほか 3 名, 視覚と力覚のセンサフュージョンシステム—把持物体の接触位置の推定—, ロボット学会第 9 回学術講演会予稿集, (1991), 875-876.
- (9) 北垣・小笠原・ほか 1 名, 力覚センシングによる接触状態検出—辺合わせ動作の実現—, ロボット・メカトロニクス講演会 91', A(1991), 45-48.
- (10) 島地・能登谷, 組立作業の方策に関する一考察, ロボット・メカトロニクス講演会 91', A(1991), 129-134.
- (11) 平井・岩田, 幾何モデルを基にした力情報の解釈, ロボット・メカトロニクス講演会 91', A(1991), 129-134.
- (12) 吉川・横小路・ほか 1 名, 拘束状態遷移難度に基づくロボットによる組立作業の計画法, 第 9 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, (1991), 237-240.
- (13) 遠藤・稲葉・井上, ポテンシャル法による対象の見え方の制御, 第 9 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, (1991), 573-574.
- (14) 稲葉, インテリジェント機械システムミニ特集: ハンド・アイ, 計測と制御, 29-3(1990), 232-236.
- (15) Tsikos, C. J. and Bajcsy, R. K., Segmentation via Manipulation, *IEEE Trans. Robotics and Auto.*, 7-3(1991), 306-319.
- (16) Vernon, D. and Tistarelli, M., Using Camera Motion to Estimate Range for Robotic Parts Manipulation, *IEEE Trans. Robotics and Auto.*, 6-5(1990), 509-521.
- (17) Hager, G. and Mintz, M., Computational Methods for Task-directed Sensor Data Fusion and Sensor Planning, *Int. J. Robotics Research*, 10-4(1991), 285-313.
- (18) 高瀬, スキルに基づくマニピュレーションシステム, 日本ロボット学会誌, 8-1(1990), 101-102.
- (19) 谷内田, ロボットビジョン, 人工知能シリーズ 11 (1990), 149, 昭晃堂.
- (20) 松下・佐藤・ほか 1 名, ハンドアイシステムのための能動的な視覚計測の計画機能, 日本ロボット学会誌, 10-2(1992), 235-243.