

視覚を有するマルチアームロボットシステムの研究

Research on multi-arm robot with visual system

○上村馨子, 那須康雄, 水戸部和久, 山野光裕, 秋山文男

Kyoko Kamimura, Yasuo Nasu, Kazuhisa Mitobe, Mituhiro Yamano, Fumio Akiyama

山形大学工学部

Yamagata University

キーワード 自動縫製システム(Automated sewing system),
把持(Clip), 視覚 (Visual)

連絡先: 〒992 - 8510 山形県米沢市城南 4 3 16

山形大学理工学研究科機械システム工学専攻 那須研究室

TEL:(0238)26-3237 Fax:(0238)26-3237

E-mail:kyoko@mnasu2.yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

現在,産業用ロボットはあらゆる生産現場で適用されており,ロボットの研究がさかに行われている.作業対象物の多くが,金属のような剛体であるが,近年は柔軟物を作業対象物とした研究も行われてきている.しかし,まだ十分なものとは言えず,縫製作業等においては熟練技能者に頼っているのが現状である.

本研究室では,人の作業と類似した形での縫製作業の自動化を目的とし,研究を行ってきた.これまで,マシンと2台のロボットを協調制御するマルチロボットコントローラ

(MRC)^[1],ロボットの据え付け誤差等から生じる縫製軌道の目標経路からの逸脱を補正するため,ビジュアルサーボを用いた視覚システム^[2]の開発を行い,その有効性を確認してきた.しかし,これまでのロボットハンドは布把持機構を持たないため,縫製作業は1枚の布に限定されていた.そこで,重ね合わせた布の縫製作業を行うために布把持機構を有するハンドを製作した.さらに,正確な把持を行うため,作業台上にある布の場所を認識する布位置認識システムの開発をした.今回は,新たに開発した把持機構を有するハンドと布位置認識システムについて報告する.

2. システム

複腕ロボットシステムの概観を Figure.1 に示す .

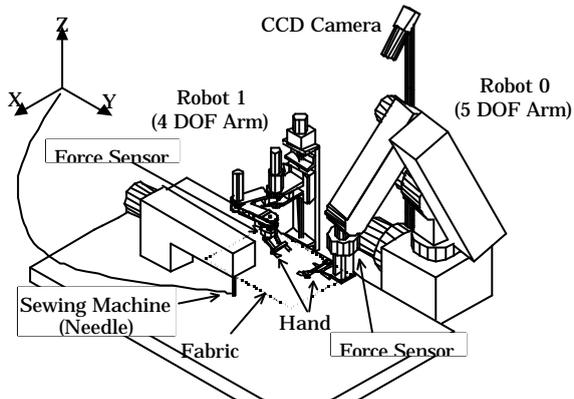


Figure.1 Automated Sewing System

複腕ロボットシステムは、5 軸垂直多関節形ロボット(Robot 0)、4 軸水平多関節形ロボット(Robot 1)、および CCD カメラで構成されており、いずれも人間が作業するときと同様にミシン手前側に設置している。各ロボットの手首には、力検出のために、歪ゲージを用いたクロスビームタイプの 3 軸力センサを備え付けてある。使用ミシンは工業用ミシンであり、外部からミシンの縫製速度及び布押さえの上げ下げ等の基本動作の制御が可能である。また、ロボットとミシンの制御は 1 台のホストコンピュータで行い、目標軌道追従制御の画像処理はこれとは別のコンピュータで実行する。ここで、図に示した座標系は針点座標系であり、各作業点はこの座標系で記述する。

全体のハードウェアシステムを Figure.2 に示す。

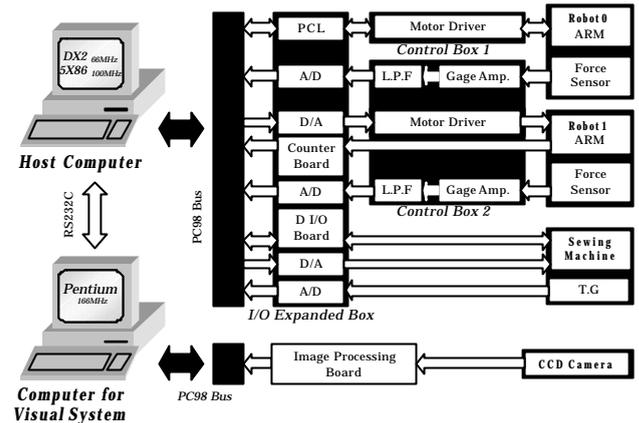


Figure.2 System Structure of Automated Sewing System

3.MRC システムの概要

マルチロボットコントローラ (MRC) の概念図を Figure.3 に示す。

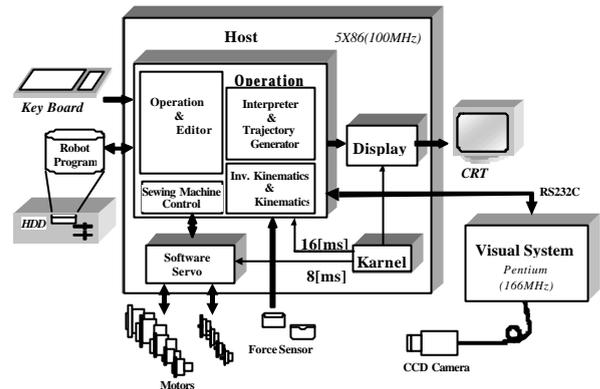


Figure.3 Block diagram of The Control System

ソフトウェアサーボ部は、ロボットの関節ごとの位置フィードバック制御を8[ms]のサンプリングタイムで実行している。操作部はシステムの操作、ロボット言語プログラムの解釈、軌道生成などの操作全般の処理を16[ms]のサンプリングタイムで実行している。また、3DワイヤーフレームなどのCRTに対する表示関係の処理は、上記タスクの空き時間で不定周期に実行される。また、ビジュアルサーボのサンプリングタイムは67[ms]であり、

同周期で画像処理結果がホストコンピュータに送られる．なお，MRCの操作部は汎用性，拡張性を考慮し，各腕ごとのロボット言語プログラムを解釈するマルチインタプリタ形式をとっている．

4. 制御法

対象物をロボットで操作し作業を行う再の目標経路の記述は，手先効果器先端位置ではなく，対象物上の任意の点で表している．そこで手先効果器の先端から対象物の任意の点へ仮想ステッキを定義し，これを座標変換行列 $R_{virtual}$ と表す．またステッキ先端の点を参照点 ${}^i\hat{p}=(\hat{x},\hat{y},\hat{z},\hat{a},\hat{b},\hat{c})$ と定義し，この点を別の位置姿勢 ${}^i p^{ref}=(x,y,z,a,b,c)$ に移動させることにより，ロボットの操作を実現させる．概略をFigure. 4 に示す．

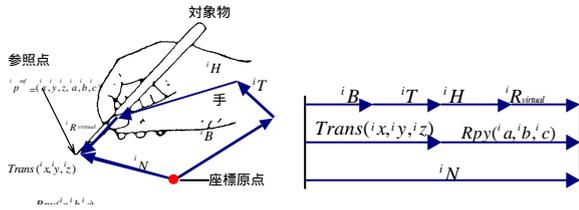


Figure.4 Virtual Stick and Transform Graph

図中の iB ， iT ， iH ， ${}^iR_{virtual}$ および iN は，それぞれロボット $i(i=0,1)$ のワールド座標系からベース座標系，ベース座標系から手首座標系，手首座標系から手先座標系，手先座標系から参照点およびワールド座標系から参照点への座標変換行列である．

参照点が定義されると，式(1)によって ${}^iR_{virtual}$ が求まる．以降，参照点が更新されるごとに式(2)～(4)の演算を繰り返して各関節角 i を算出し，両腕の制御系におくることにより，ロボットの操作を実現している．

$${}^iR_{virtual} = {}^iH^{-1}{}^iT^{-1}{}^iB^{-1}Trans(\hat{x},\hat{y},\hat{z}) \cdot Rpy(\hat{a},\hat{b},\hat{c}) \quad (1)$$

$${}^iB^T{}^iH^iR_{virtual} = Trans(x,y,z) \cdot Rpy(a,b,c) \quad (2)$$

$${}^iT = {}^iB^{-1}({}^iB^T{}^iH^iR)^iR_{virtual}^{-1}{}^iH^{-1} \quad (3)$$

$$i = SOLVE(T) \quad (4)$$

二腕で一つの対象物を操るとき，二つの腕を協調させる必要があるため，両腕の制御系に対して同一の参照点 ${}^0p^{ref}$ を与えることで二腕協調を実現させている．さらに時々刻々の目標軌道に合わせた指令をロボットとマシンに送ることにより，互いの軌道を同期させている．その概略をFigure.5 に示す．

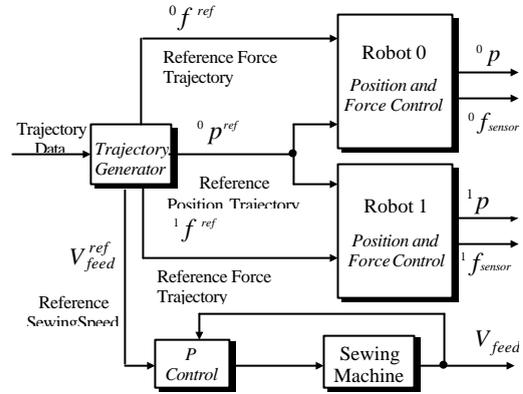


Figure. 5 Coordinated Position Control

布のたわみは縫製作業上好ましくないため，布に張力(内力)を持たせ，布の変形を防ぐ．張力発生方向の力センサ値の平均値 $\hat{f}_{tension}$ と目標内力値 $f_{tension}^{ref}$ との差にゲイン $G_{tension}$ をかけ，その出力を両腕の手先座標系への変換行列 ${}^iR_{virtual}$ に加算する処理を行う．その概略をFigure. 6 に示す．

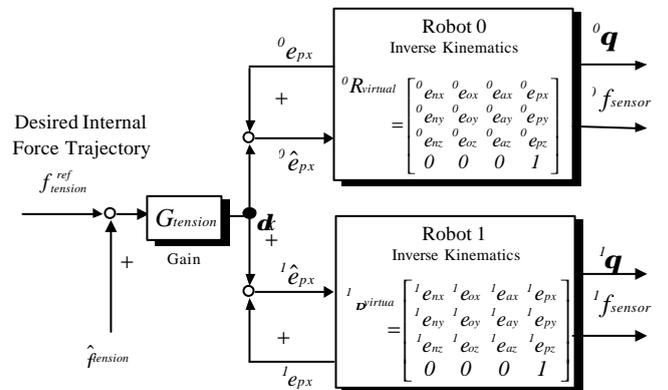


Figure. 6 Coordinated Force Control

また、ロボットの据え付け誤差等から生じる縫製軌道の目標経路からの逸脱を補正するため、視覚システムを用いる。CCDカメラから得た情報(Figure. 7)をもとに最小二乗法により直線近似し、次式によって算出した値(式(5))をホストコンピュータ側に送る。

$$w = K_d d + K_a a \quad (5)$$

K_d , K_a はゲインであり、それぞれ送り速度、曲率半径によって変化する。ゲインの値はそれぞれ実験から求めた。 d [pixel]は近似式と針内点間の距離、[rad]は近似式と布送り方向間の傾きである。またホストコンピュータは受け取った値を式(6),(7)を用い、針点Z軸まわりに参照点を回転させることにより縫製軌道の補正を実現している。

$${}^i R_{virtual} = ({}^i B^i T^i H)^{-1} Rot(Z, \Delta q) {}^i N \quad (6)$$

$$\Delta q \approx w \Delta t \quad (7)$$

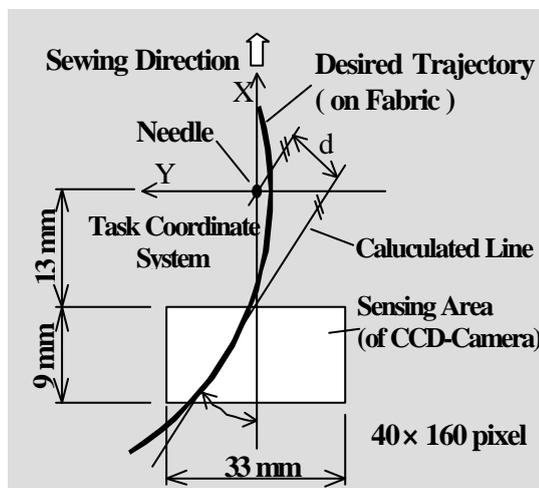


Figure. 7 Sensing Zone by CCD Camera

5. 把持機構を有するハンド

複数枚の布把持のために新たに開発したハンドを Figure.8 に示す。

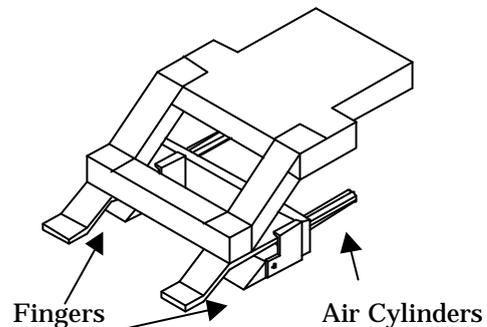


Figure.8 Hand

ハンドは、布把持用の指を 2 本持ち、両ロボットの手先に装着した。各指の開閉はエアシリンダを制御することで行う。指先にはゴム製のシートを貼付し、指と布との滑りを軽減している。さらに、ハンド先端は平らになっており、従来のような布を上から押さえつける縫製作業も可能である。

6. 布把持による縫製実験結果

今回製作した把持機構を有するハンドを用いて、布の重ね合わせ縫製作業の実験を行った。片側だけを折った布を用いて直線縫製を行った。折ってある側を把持し、その反対側は上から押さえるという形態で、目標の値をそれぞれ、内力 1.5[N]、布押さえ力 1.5[N]、縫製速度 10[mm/s]として直線 100[mm]の縫製実験を行った。実験結果を Figure. 9 に示す。(a)は実際の縫製結果、(b)、(c)はそれぞれ内力、布押さえ力のグラフで、縦軸が内力、布押さえ力、横軸が時間である。共に、目標値に追従していることが分かる。

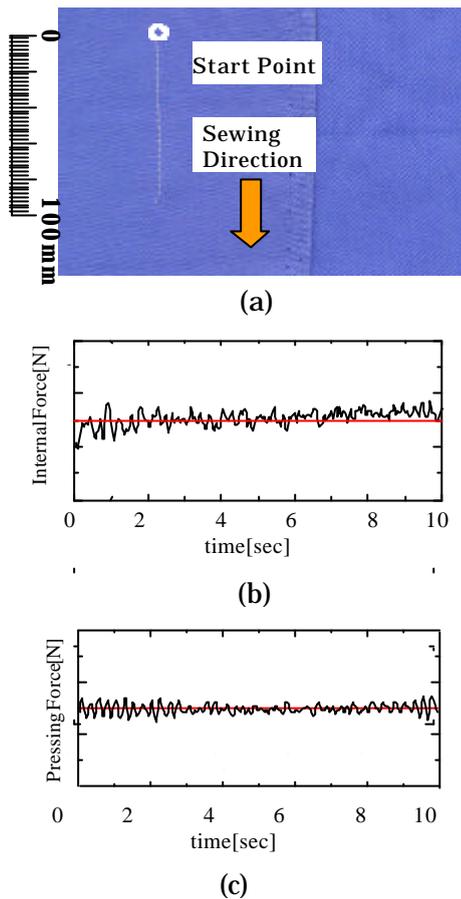


Figure. 9 Experimental Results (straight line sewing)

次に曲線縫製を行った。目標曲率半径を20[mm]きざみで120[mm]から60[mm]までとし、布押え力1.5[N]、内力1.0[N]、送り速度10[mm]として実験を行った。Figure. 10に曲線縫製の実験結果を示す。実験結果より、目標経路幅 ± 0.5 [mm]以内に縫製軌道が在ることを確認した。

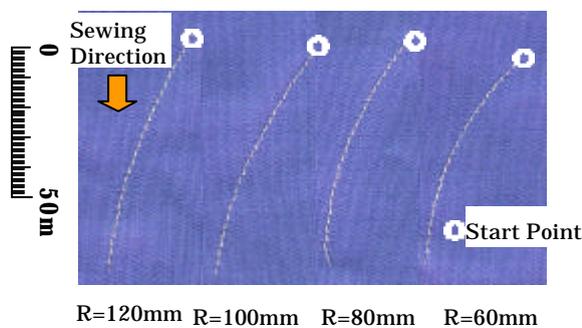


Figure. 10 Experimental Results (curve sewing)

次に、ビジュアルサーボを用いて曲線の軌道追従縫製実験を行った。R=60mmの型紙を布上に張り付け、布と型紙の境目の情報によって軌道追従縫製を行う。型紙を縫わないように境目から1[mm]離れた所を縫うように設定した。実験結果より、型紙から1[mm]の所に縫製軌道が収まる事を確認した。実験結果をFigure.11示す。

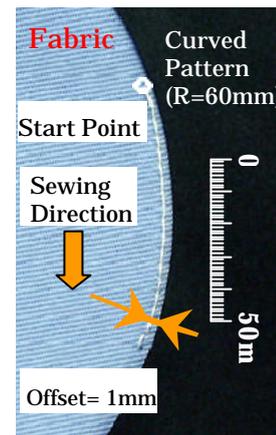


Figure.11 Experimental Results (curved pattern sewing)

以上の実験結果から、重ね合わせ縫製作業が正確に行えることを確認した。

7. 布位置認識システム

画像処理コンピュータでは、ホストコンピュータから指令が下ると、送られてきた手先の位置データ (O_x, O_y) ()から、目標位置直線()を算出する。次に、CCDカメラから得た情報をもとに、布位置近似直線()を求め、ロボット目標位置直線との交点 $N(N_x, N_y)$ ()を算出する。^[3,4,5]ここで求めた交点 $N()$ 、布位置近似直線()の傾きをそれぞれロボットの目標位置座標、傾き(Roll)とし、処理結果をホストコンピュータに送信する。算出手順をFigure.12に示す。ロボットはデータ受信後、移動を開始し、与えた指

令値に従い布を把持した後、縫製作業を行う。

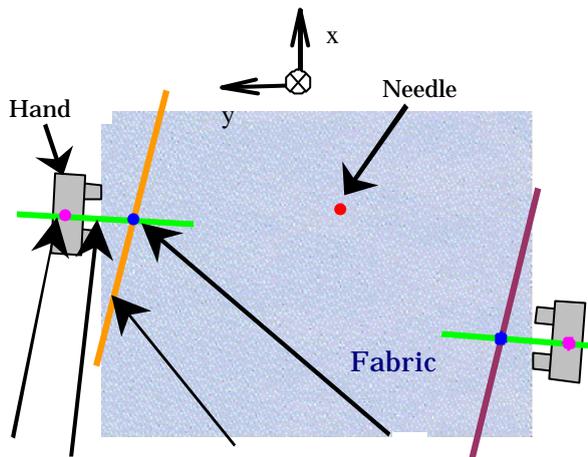


Figure.12 Selection of cloth position

次に布位置近似直線は次の手順で求める。

- 1) CCDカメラによって画像データを取得し、二値化処理を行う。
- 2) 二値化されたデータを以下の条件で分類・選別する。

分類法

- ・ 2 値化されたデータが白 黒,黒 白と変化した部分の位置データを別々に保存する。
- ・ y方向（カメラ処理座標系において）の変化率 y を求め、 y が変化した点を基準に、グループに分ける。

選別条件

- ・ 針点付近の値をとるグループではない。
- ・ 求めたい直線同士の傾きの符号が同じである。

- 3) 選択したグループのデータを最小二乗法処理し、布位置近似直線を算出する。

8 . 布位置認識による縫製実験結果

布はカメラの認識範囲内で、針点付近の任意の位置にセットする。認識処理を行い、把持した後に直線縫製、曲線縫製、ビジュアルサーボを用いた縫製の実験をそれぞれ行った。作業台上にある布を正確に認識することで、確実な把持が行えるようになったことを確認した。

9 . おわりに

把持機構を有するハンドを開発したことにより、従来の縫製作業に加え、複数枚の布の重ね合わせ縫製作業等ができるようになったことを確認した。さらに、新たに開発した布位置認識システムの有効性を確認した。

参考文献

- 1) M.Kudo, Y. Nasu, K.Mitobe, B.Borovac : Multi-arm robot control system for manipulation of flexible materials in sewing operation, Mechatronics 10, 371/402, (200)
- 2) 工藤, 那須, 水戸部, 太田 : 自動縫製のための複腕ロボットシステム, 日本機械学会第 75 期通常総会講演会論文集 115/116, (1998)
- 3) 名取亮, 長谷川秀彦他著: 数値計算法, 50/57, コロナ社, (1998)
- 4) 酒井幸市著: デジタル画像処理入門, 39/56, コロナ社, (1999)
- 5) 三浦宏文監修: メカトロニクス, 356/361, オーム社, (1996)