

## インターネットを活用した遠隔監視制御システムの構築 —カメラ画像クリック位置指定方式によるロボット遠隔制御—

中道智之<sup>†</sup> 外山政文<sup>‡</sup>

京都産業大学工学部情報通信工学科

### 1. はじめに

インターネットブラウザを用いて、遠隔地から現場の状況を監視し必要に応じてロボット等を制御する遠隔監視・制御システムを構築した。本開発システムの特徴は、画像処理センシングと画像通信のみを用いて遠隔制御システムを構築しているところにある。本稿では、特に画像通信において生じる通信遅延時間による誤制御を排除する目的で開発したカメラ画像クリック位置指定方式によるロボット遠隔制御システムを中心に解説する。

近年、仮想計測・制御システム開発用プログラミング言語である LabVIEW [1] をベースにした Virtual Instrumentation (VI) テクノロジーがインターネットや各種通信技術と融合し発展しつつある。本開発システムは、この LabVIEW プログラミングをベースにした VI テクノロジーの応用研究である。

### 2. インターネットを活用した遠隔監視制御システム

本稿では、紙面の制約上、本開発システムの一部である、「移動型ロボットカメラ画像マウス・クリック位置指定方式遠隔制御」、および「ロボットアームカメラ画像マウス・クリック位置指定方式遠隔制御」のみについて述べる。また、ファイルサイズの制限により、開発 VI の実際画像の添付が不可能なため、本稿では実際の開発 VI については記載せず、遠隔制御アルゴリズムの概略の解説のみに留める。

#### 2.1 「移動型ロボットカメラ画像マウス・クリック位置指定方式遠隔制御」

図1に本システムの遠隔制御の概要を示す。ここで、制御対象は試用ロボット系としてのラジコン戦車である。従って、この制御対象自体には一切認識・判断能力はなく完全に無線操縦により制御される。この原始的なロボットを実験室固定カメラ又はロボット搭載無線カメラからの画像情報のみで遠隔制御する。ここで、本システムの目的は、遠隔地からインターネットを通じてこのラジコン・ロボットを画像通信や通信距離などに起因する通信遅延時間による誤制御を排除して制御することである。その一つの方法として、遠隔地のブラウザ上にマウントされたカメラ画像をマウス・クリックすることにより、現場のロボットを視覚的に制御する方式を開発した。

本システムの制御方式は以下の通りである。図1のように、遠隔地のブラウザ上に現場のロボット画像をマウントする。そのカメラ画像上でロボット本体の姿勢を表すベクトル  $a$  とロボットの中心から移動目的地に向

けたベクトル  $b$  を入力する。ベクトル  $a, b$  は、実験室固定型カメラの場合は、図1のようにマウスによる3点クリックで決定される。一方、ロボット搭載型カメラの場合は、目的地点の1点のみをクリックすればよい。この場合、カメラがロボットの前方に設定されていることが前提条件となるが、カメラ画像がロボットの姿勢・位置情報と一対一に対応するのでマウス・クリックすることなくベクトル  $a$  を決定できる。このベクトル  $a, b$  の情報が遠隔サーバー上の制御 VI に引き渡される。制御 VI では、ベクトル  $a, b$  の情報を入力としてベクトル積  $c = a \times b$  を評価する。 $c$  の  $z$  成分（紙面に垂直成分）の正・負を評価することにより右回転か左回転かを決定でき、 $|c|$  を評価することにより回転角を決定できる。本方式により、例えば遠隔地のブラウザ上にマウントされた制御ボタン等で遠隔制御した場合に生じる通信遅延時間による誤制御を排除することができる。

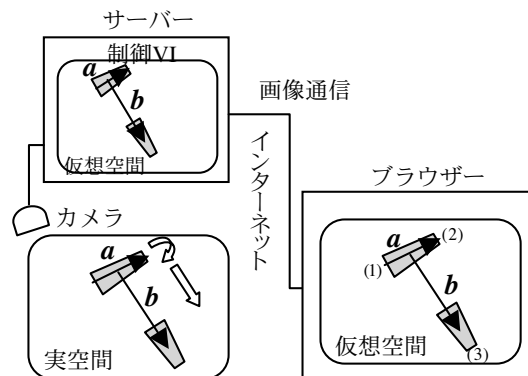


図1 移動型ロボットカメラ画像マウス・クリック位置指定方式制御 VI による遠隔制御。(1), (2), (3)をマウス・クリック。

#### 2.2 「ロボットアームカメラ画像マウス・クリック位置指定方式遠隔制御」

図2に本システムの遠隔制御の概要を示す。制御対象のロボットアームは、試用ロボット系としての原始的ロボットアームである。間接は4ヶ所あるが、先端部のつまみ部分を除いて一切センサーがない。つまみ制御については、遠隔地のカメラ画像上から視覚的につまみ状態を判断するのが困難であるので、圧力センサーを用いて制御する。また第一アームは水平回転のみ行う。この条件の下に、前項の移動ロボットの場合と同様に、遠隔地のブラウザ上にマウントしたロボットアームの画像をマウス・クリックすることにより自動制御する。その制御アルゴリズムの概略を以下に記す。

まず図2の様に、現場のサーバー上の制御 VI に、ロボットアームの画像を直角に設置した2つのカメラから取

<sup>†</sup> Tomoyuki Nakamichi (Under Graduate Course, Senior Student)

<sup>‡</sup> Masafumi Toyama (Department of Information and Communication Sciences)

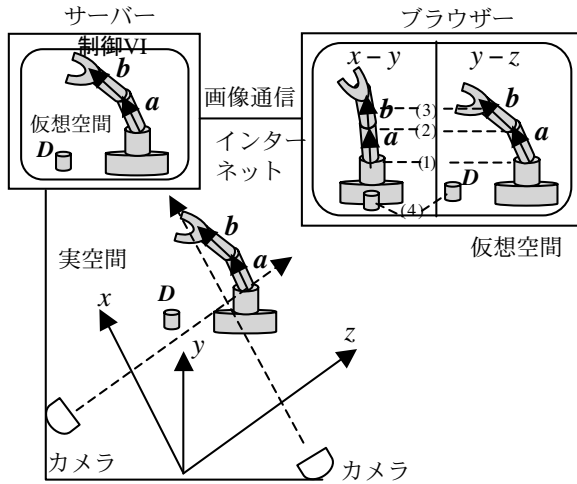


図2 固定型ロボットアームのカメラ画像マウス・クリック位置指定方式遠隔制御 VI による制御。(1),(2),(3),(4)をマウス・クリック。

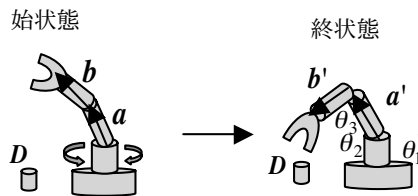


図3 サーバー上の制御 VI で、始状態  $\{a, b\}$  から終状態  $\{a', b'\}$  が非線形連立方程式を解いて決定され、且つ制御命令が決定される。

り込む。その2つの画像を遠隔地のブラウザー上にマウントし、ロボットアームの間接の位置と目的物の位置の合計(2画面の)8点をマウス・クリックする。これにより、ロボットアームと目的物が3次元的に把握され、ロボットアームの現在の状態(始状態ベクトル)  $\{a, b\}$  と目的物の位置ベクトル  $D$  の情報が遠隔サーバー上の制御 VI に引き渡される。サーバー上の制御 VI では、先ずこの始状態ベクトル  $\{a, b\}$  と目的物の位置ベクトル  $D$  を入力として制御の終状態ベクトル  $\{a', b'\}$  が次式により決定される(図3)。

$$|a'| = |a|, |b'| = |b|, a' + b' = D, a' \times b' \Big|_y = 0.$$

これは、終状態ベクトル  $\{a', b'\}$  の各成分に対する非線形連立方程式である。終状態  $\{a', b'\}$  が決定されると、続いてその終状態を実現するための制御パラメータが決定される。制御パラメータは3個あり、それらは  $\theta_1$  (第1アームの水平回転角)、 $\theta_2$  (第2アームの上下回転角)、 $\theta_3$  (第3アームの上下回転角)である。これらは、次式により決定される、

$$\theta_1 = M(a_z) I(S_{xz}(a), i), a_1 = R_y(\theta_1) a, b_1 = R_y(\theta_1) b, \\ a'_1 = R_y(\theta_1) a', b'_1 = R_y(\theta_1) b'$$

$$\theta'_1 = M(a_{1z}) I(S_{xz}(a_1), S_{xz}(a'_1))$$

$$a_2 = R_y(\theta_1) a_1, \theta_2 = M(a_{2y} - a'_{1y}) I(a_2, a'_1),$$

$$b_2 = R_z(\theta_2) R_y(\theta_1) b_1, \theta_3 = M(b_{2y} - b'_{1y}) I(b_2, b'_1),$$

ここで、 $R_y(\theta)$ 、 $R_z(\theta)$ はそれぞれy軸、z軸の周りの角度  $\theta$  の回転行列、 $i \equiv (1, 0, 0)$ である。また、関数  $I(p, q) \equiv \cos^{-1}(p \cdot q / |p||q|)$ 、 $M(x) \equiv x / |x|$ 、 $S_{xz}(p) \equiv \sqrt{p_x^2 + p_z^2}$ を定義した。

遠隔地のブラウザー上のロボットアームのカメラ画像上のマウス・クリックにより、現場のサーバー上の制御 VI は、これらの一連の制御を自動的に行う。

### 3. まとめ

画像センシングによる情報のみで、インターネットを介して、遠隔地から現場のロボット系を視覚的に制御する方式を実現した。本開発システムでは、遠隔地のブラウザー上にマウントされた現場のロボット系のカメラ画像をマウスで位置クリックすることによりロボット系を制御するのが特徴である。従って、例えば、遠隔地のブラウザー上にマウントされたカメラ画像をモニターしながら制御ボタンなどを用いて遠隔制御する方式に比して、画像通信や通信距離などに起因する通信遅延時間による誤制御を排除できる。

本開発システムの中核は、サーバー上に構築した監視・制御 VI である。我々は、この VI を LabVIEW を用いて開発した。本システムで開発した VI は、試用品としての原始的ロボット系に対するものである。しかしながら、LabVIEW プログラミングにより、実用的な制御対象に応じた VI を比較的容易に構築できる。その意味で、本システムは汎用的拡張性のあるシステムである。

本稿では紙面の都合上、移動ロボットと固定ロボットアームの遠隔制御システムの紹介のみに留めた。この他に、画像センシングによる、遠隔自動監視警告 VI、動体自動追跡カメラ VI や、ブラウザーによる音声通信 VI、携帯電話からの遠隔監視・制御、など様々な VI を統合した遠隔監視・制御システムを構築した。

本開発システムをより実用的なものにするには、システムのコンパクト化が鍵となる。現在、リアルタイム OS を搭載した Compact Vision System (CVS) [2]を用い、PC サーバー上で開発したシステムのコンパクト化に取り組んでいる。リアルタイム OS 上ではマウス・クリックによるイベント駆動型の命令は拒否されるため、本開発システムをそのまま CVS に移植できない。現在、その対応策として、遠隔地のユーザーインターフェイスとしてブラウザーではなく LabVIEW の EXE ファイルを用いる方法を検討している。

### 参考文献

- [1] ロバート・H・ビショップ (日本ナショナルインスツルメンツ K.K. 監訳、尾花健一郎 訳)、LabVIEW プログラミングガイド、ASCII 出版、2004。
- [2] ナショナルインスツルメンツ社の製品。The Measurement and Automation Catalog 2004-2005。