

レーザ溶接ロボットの位置・姿勢制御のための画像計測法

北海道大学システム情報科学専攻 ○山中将裕, 松下昭彦, 金子俊一, 田中孝之
産鋼スチール 大藤仁志, 北見工業大学 田牧純一

Abstract: レーザ溶接ロボットのエンドエフェクターにスリットビーム投光器とカメラを取付け、溶接対象にスリットビームを投影し、カメラで画像を得る。その画像による溶接対象の位置と姿勢の計測技術についての研究。

1. 序論

現代の主要溶接であるアーク溶接の用途は広く、自動車、列車、航空機、建築物、建設機械など、あらゆる金属構造物に一般的に使われている。アーク溶接はエネルギー効率に優れ、コストも安く、溶接範囲が大きいので溶接に正確さがそこまで必要ではない。しかし、溶接範囲が大きいのが故に精密な溶接には向いておらず、また溶接対象への熱影響が大きく、一部分だけ加熱し冷却すると大きく歪んでしまう。溶接の主流はアーク溶接であるが次世代技術として、電子ビーム溶接、レーザ溶接などが研究開発されている。

そこで本稿で取り扱うレーザ溶接はアーク溶接に比べてエネルギー密度が高いほか、制御もしやすく、微少な溶接や精密な溶接に適している。なお、高融点の材料の溶接にも適しているが、材料の表面で反射される場合においては、溶接できない。また、入熱量が少なく、非常に深い溶け込み深さが得られる。しかし精密な溶接ができるがゆえに位置合わせに精度が求められる。

そこで、本研究ではレーザ溶接の中の YAG レーザ溶接のためのロボットについて溶接対象とロボットの位置を把握するためにカメラ・スリットビームを溶接ロボットに装備したシステムを想定し、溶接対象にスリットビームを照射し溶接対象と投影されたスリットビームをカメラ画像として取得、溶接対象の形状・傾きによって映し出されるスリットビームは傾きなどが変わるのでカメラ画像のスリットビームの幾何学的解析を行うことにより、ロボットの溶接対象に対する位置・姿勢を制御することを目指す。本稿ではその準備段階として幾何学的解析のためのスリットビームの直線帰帰などを述べる。

2. スリットビームを用いた溶接ロボットの位置計測

2.1. 溶接ロボット概要

まず、レーザ溶接ロボットについて述べる。Fig1のように取り扱うレーザ溶接ロボットは大きく分けてレーザを照射する溶接ヘッド、溶接対象となる工作物、制御のためのスリットビーム、観測するためのカメラに分けられる。ここでは溶接ヘッドとカメラを一体として示している。

なお、本項は研究 [1] を大いに参考させて頂いている。

ここで、Fig1 について

Z : 工作物からスリットビーム交差位置までの距離

θ : スリットビームの照射角

ϕ_y : 工作物の回転角

L : 工作物上のスリットビーム位置

L_{lx}, L_{rx} : 工作物回転時のスリットビーム位置を表している。

2.2. 位置計測アルゴリズム

また Fig1 より、工作物が Y 軸回りに ϕ_y だけ回転している場合の L, L_{lx}, L_{rx} は幾何学的に次式で表すことができる。

$$L = Z \tan \theta \quad (1)$$

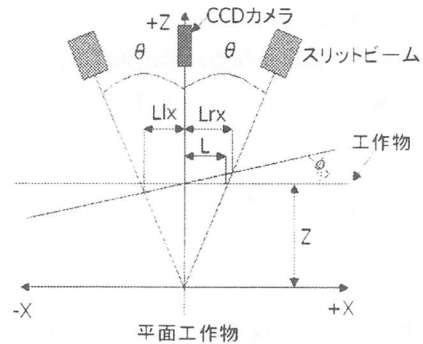


Fig. 1: 溶接ロボット概要

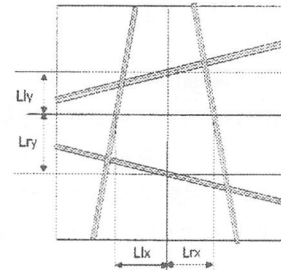


Fig. 2: L の位置関係

$$L_{lx} = \frac{L \cos \theta \cos \phi_y}{\cos(\theta - \phi_y)}, L_{rx} = \frac{L \cos \theta \cos \phi_y}{\cos(\theta + \phi_y)} \quad (2)$$

これは工作面上に照射されたスリットビームの原点からの位置を L とし、工作物が Y 軸回りに ϕ_y だけ回転した場合に X 軸方向に配置されたスリットビームの位置が L から L_{lx}, L_{rx} に変化することを表している。これは工作物が X 軸回りに ϕ_x だけ回転した場合にも、同様に Y 軸方向に配置されたスリットビームの位置が L_{ly}, L_{ry} に変化する。式は省略する。

解析するカメラ画像は Fig2 のように工作物に照射された 4 本のスリットビームであるが、正確には Fig1 のように +X, -X 軸方向から照射し、その後でスリットビームが +Y, -Y 軸上に移動し照射という二段階の工程で行れ 2 本ずつのスリットビーム計 4 本のスリットビーム画像を得る。Fig2 は便宜上の都合で 2 枚のカメラ画像を合成した物をイメージしている。そして 4 本のスリットビームを直線帰帰することにより Fig2 のように $L_{rx}, L_{ry}, L_{lx}, L_{ly}$ を算出し、 Z, ϕ_x, ϕ_y を求める。

$$Z = \frac{2L_{rx}L_{lx}}{\tan(L_{rx} + L_{lx})}$$

$$\phi_x = \tan^{-1}\left(\frac{L_{ry} - Z \tan \theta}{L_{ry} \tan \theta}\right)$$

$$\phi_y = \tan^{-1}\left(\frac{L_{rx} - Z \tan \theta}{L_{rx} \tan \theta}\right) \quad (3)$$

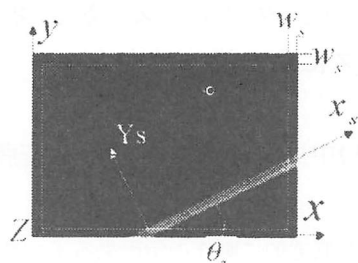


Fig. 3: スリット抽出

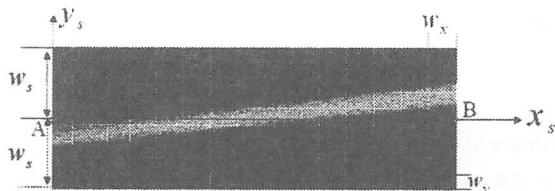
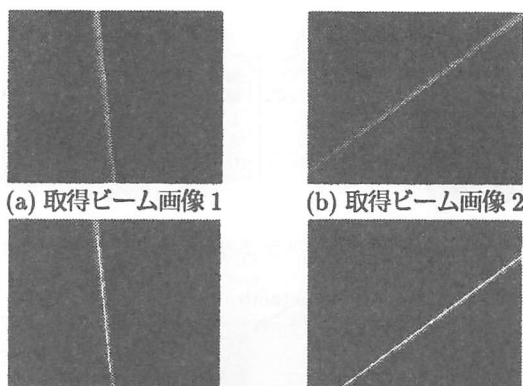


Fig. 4: スリット画像内抽出



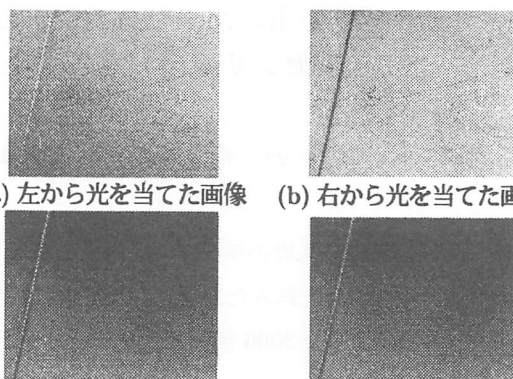
(c) ビーム画像1 直線回帰 (d) ビーム画像2 直線回帰

Fig. 5: 取得画像と直線回帰

3. スリットビームの直線回帰

取得したスリットビーム画像の直線回帰について述べる。例えば、Fig3のようなスリットビーム画像が得られた場合取得画像の端部から W_s (今回は 100 ピクセル) 内側白枠 (Fig3参照) 4 辺各々の明度の平均値を求めて平均値の大きさが 1 番目に大きい辺と 2 番目に大きな辺をスリットビームが通過しているとし 1 番目に大きい辺の明度の積分値の中央値をとる点を $A(x_a, y_a, 0)$, 2 番目を $B(x_b, y_b, 0)$ とする。そして A, B を端部の中心とする幅 $2W_s$ のスリット座標系を作成し、原点を (x_a, y_a) へ平行移動、 Z 軸廻りに θ_z 回転する ($A-x_s, y_s$ 座標系を設定 Fig4)。スリット画像内で x_s 方向に W_x ピクセルずつ、 y_s 方向に W_y ピクセルずつスキャンし、明度の閾値を超える点群を抽出する。そして最小 2 乗法を適用し抽出点群から直線回帰を行う。

Fig5(a)(b) はカメラより得られたスリットビーム画像である。これに上記の処理を行いスリットビームの直線回帰を行う。結果は Fig5(c)(d) に示す。得られた抽出画像の中で (a) 抽出画像 1 はスリットビーム上に直線を抽出できているが中心からはずれてしまっている。これはスリットビーム画像にスペckルパターンが表れてスリットビームの赤い点が他の箇所にくらべてまばらになってしまい正しく直線回帰処理が行えていない。スペckルパターンの対処に関しては今後考えていきたい。



(a) 左から光を当てた画像 (b) 右から光を当てた画像

(c) 明度の差を取った画像 (d) 溶接線を抽出した画像

Fig. 6: 溶接線抽出

4. 溶接線抽出

本項では溶接線の抽出について述べる。溶接線抽出は溶接を行う上で溶接を行う箇所はどこなのかという情報を溶接ロボットに教示するために非常に重要である。溶接線とは工作物と工作物の隙間、溶接した線・すべき線である。

まず、簡単なアルゴリズムで溶接線を抽出する実験を行った。まず、Fig6の(a)(b)のような左右逆方向から工作物に光を当てたカメラ画像を取得する。今回の実験ではわざとカメラ中心と溶接線をずらして実験している。ずらすことにより左右どちらかの光が片方の工作物の側面で反射して見える。(Fig6(a)(b)) ここで I_{Lxy}, I_{Rxy} を各々左から証明を当てた画像の明度値と右から照明を当てた画像の明度値とし、

$$I_{Dxy} = |I_{Lxy} - I_{Rxy}| \quad (4)$$

の式より明度差 I_{Dxy} Fig6(c) を得る。これにより溶接線が強調された画像を得ることができる。結果の一つを Fig6(d) にしている。溶接線が強調された明度差画像より溶接線の抽出を行う手法について述べたが、現段階では工作物の表面の傷などにより抽出成功率は高くない。これは光の照射方向により強調される傷、そうでない傷があり抽出に悪影響を与えている。今後はこれを改良もしくは新しい手法を考案し実験環境も熟考しロバストな抽出を目指すので本稿では簡単な手法紹介に留めたい。

5. まとめ

本稿では、YAG レーザーロボットシステムの制御のための準備段階としてスリットビームの直線回帰や溶接線の抽出について述べた。スリットビームの直線回帰処理では取得画像においてスリットビームがあると予想される一帯を検出しさらに閾値を設け、閾値を超える抽出点群を検出し最小 2 乗法を用いる事で直線回帰に成功した。また、溶接線を工作物に左右逆方向から光を照射し各々の画像を取得し明度の差を求め直線回帰と同様の処理を行う事により抽出する事を提案した。今後はスリットビームの本数を 2 本に増やし、2 本のスリットビームの直線回帰アルゴリズムを構築しスリットビームを $+X, -X$ 方向と $+Y, -Y$ 方向の四方向から照射することにより計 4 本のスリットビームを直線回帰し 2 章に示した幾何学的計算式に代入して評価を行う。溶接線に関しては新手法の提案または紹介手法の改良を行いロバストな抽出を目指す。

参考文献

- [1] 田牧純一, 久保明彦, 中山翔: “多関節ロボットを用いた YAG レーザ溶接におけるビーム姿勢と位置の機上計測”
- [2] 黒部利次: “YAG レーザによる精密切断技術”, 精密工学会誌, Vol.65, No.11, pp.1556-1559 1999