

旋回クレーンのステレオビジョンによる 視覚追跡シミュレーション

犬飼 崇普*, 吉田 靖夫**

Visual Tracking Simulation of a Rotary Crane Using Stereo Vision System

Takahiro INUKAI* and Yasuo YOSHIDA**

(Received October 3, 2011)

Rotary cranes are used in many fields, in which a suspended load must be transported and positioned without any swing. Therefore we simulated visual tracking of a rotary crane using gazing stereo vision installed on a rotary crane. Rotary crane has broad working space, so we use stereo vision on the crane's rotary axis that has gazing motion to track the suspended load. In this paper we present simulation results of visual tracking of a rotary crane in state of boom-lifting or boom-rotating with rope-hoisting.

1. 研究目的

クレーンは様々な分野で使われるが、その際に吊り荷は揺れないようにして搬送、位置決めされなければならない。旋回クレーン操作中の吊り荷の揺れについてクレーンに搭載した注視型ステレオビジョンによる視覚追跡シミュレーションを行った。旋回クレーンの作業範囲は広いのでステレオビジョンをクレーン旋回軸に固定し、起伏と注視が可能な3自由度ビジョンシステムとし、吊り荷を常にカメラ視野内に捕らえるトラッキング制御を行った。クレーン静止時の注視制御、クレーン起伏時、およびロープ巻き下げを伴う旋回時のトラッキングについてのシミュレーション結果を報告する。

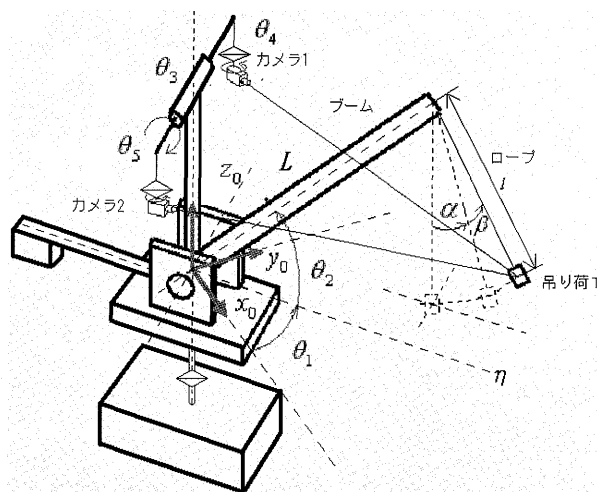


図1 旋回クレーンモデル

2. ステレオカメラ搭載の旋回クレーン

2.1 解析モデル

図1はステレオカメラ搭載のクレーンモデルである。ブームについて θ_1 は旋回角、 θ_2 は起伏角、吊り荷について α は法線方向の揺れ角、 β は接線方向の揺れ角である。またステレオビジョン装置について、 θ_3 はカメラ起伏角、 θ_4 と θ_5 はカメラ旋回角である。 θ_1, θ_2 を目標角へ制御すれば、吊り荷揺れ角 α, β が生じる。吊り荷の運動方程式は、次に記す(1)式が α

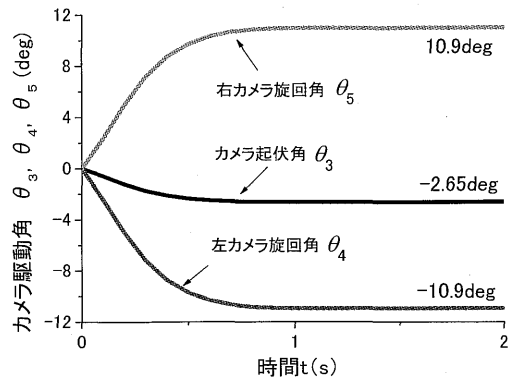
方向、(2)式が β 方向である。 α と β の応答は、ルンゲクッタ法シミュレーションによって求めた。

$$\begin{aligned} & \ddot{\alpha} - \beta \ddot{\theta}_1 + L(\alpha \cos \theta_2 - \sin \theta_2) \ddot{\theta}_2 / l \\ & - (L \cos \theta_2 / l - \alpha) \dot{\theta}_1^2 - L(\cos \theta_2 + \alpha \sin \theta_2) \dot{\theta}_2^2 / l \\ & - 2\dot{\theta}_1 \dot{\beta} - 2\beta \dot{\theta}_1 \dot{l} / l + 2\dot{\alpha} \dot{l} / l + g \alpha / l = 0 \quad \dots (1) \end{aligned}$$

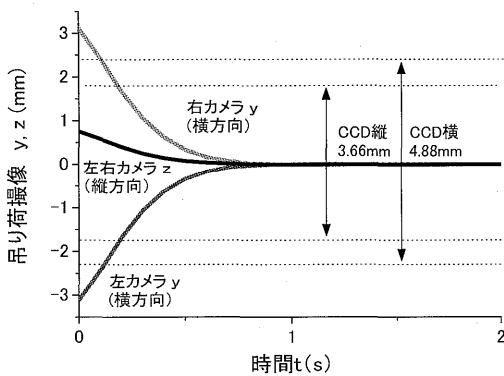
$$\begin{aligned} & \ddot{\beta} + (\alpha + L \cos \theta_2 / l) \ddot{\theta}_1 + L \cos \theta_2 \ddot{\theta}_2 / l - \beta \dot{\theta}_1^2 \\ & + L \beta \sin \theta_2 \dot{\theta}_2^2 / l + \beta \dot{\alpha}^2 - 2L \sin \theta_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 / l \\ & + 2\dot{\theta}_1 \dot{\alpha} + 2\alpha \dot{\theta}_1 \dot{l} / l + 2\dot{\beta} \dot{l} / l + g \beta / l = 0 \quad \dots (2) \end{aligned}$$

*機械工学専攻大学院生 (Graduate student, Department of Mechanical engineering)

**機械工学科 (Department of Mechanical engineering)



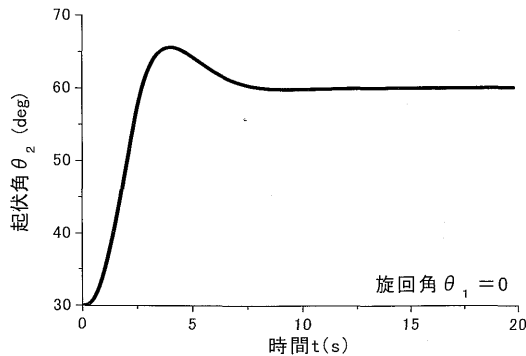
(a) ステレオビジョン駆動角変化



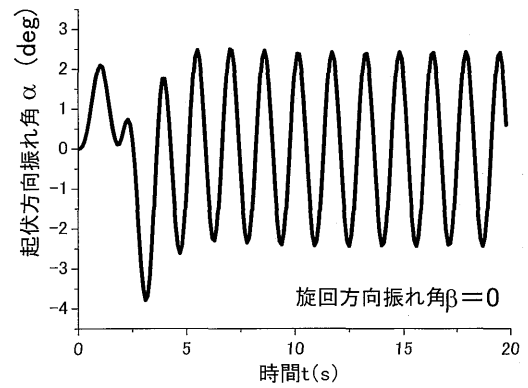
(b) カメラ撮像

図 5 吊り荷静止時のカメラ注視制御

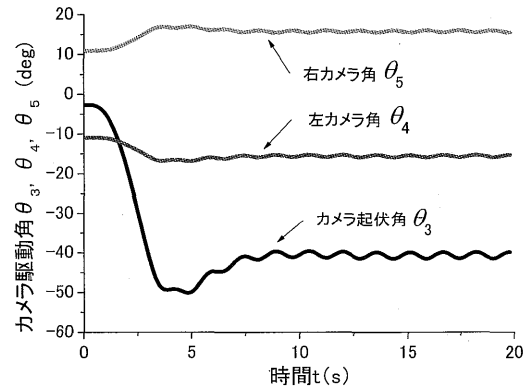
図 6 は、 $\theta_1 = 0^\circ$ 、 $\theta_2 = 30^\circ$ 、 $l = 0.6\text{m}$ で、目標起伏角 $\theta_2 = 60^\circ$ のクレーン起伏時の応答である。(a) は起伏角で、8 秒付近から目標角 60° に位置決めされる。(b) は吊り荷揺れ角で、法線方向に約 2.5° の揺れが生じている。(c) はカメラ駆動角で、クレーン起伏角の増加により吊り荷が上昇するのを追跡するため、カメラ起伏角が大きく変化している。(d) は、左カメラのカメラ撮像の変化であり、 z は縦方向、 y は横方向の動きである。ブームの起伏角が増加して吊り荷が上昇中にカメラが追いつき、その後 CCD の中心を軸に吊り荷の揺れに対して追従している。(e) はカメラ画像で、吊り荷の上下方向追跡のために動いているのがわかる。右カメラの画像も同様である。



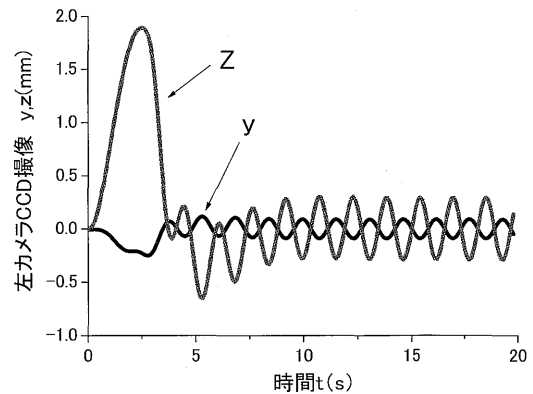
(a) 起伏角



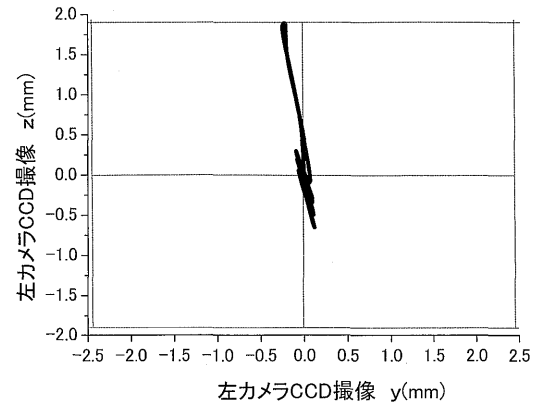
(b) 吊り荷揺れ角



(c) カメラ駆動角



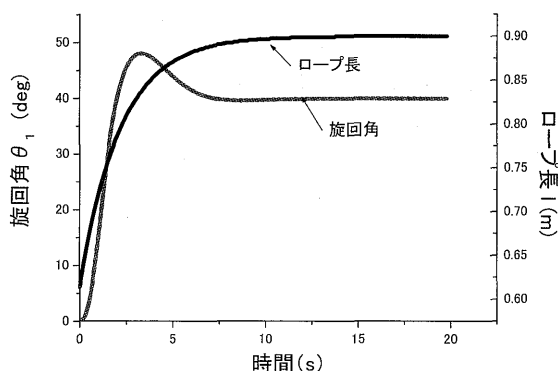
(d) カメラ撮像の変化(左カメラ)



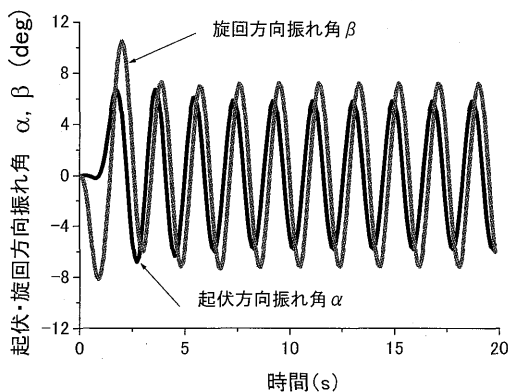
(e) カメラ画像(左カメラ)

図 6 クレーン起伏時の応答

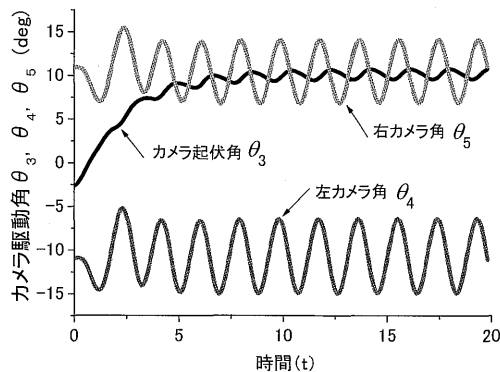
図7は、クレーン起伏角を 30° とし、吊り荷ロープ長を 0.6m から 0.9m へ巻き下げを行いながら旋回角を 0° から 40° へ制御させたときである。(a) はロープ長と旋回角の変化を示す。(b) は、(a) の変化に伴って生じる吊り荷振れを示し、旋回方向（接線方向）と起伏方向（法線方向）の振れが同程度で約 6° 生じている。(c) は、カメラ駆動角を示し、 θ_3 はロープ長の変化に応じて下向きとなり、 θ_4 と θ_5 は吊り荷の振れ追跡を行っていることがわかる。(d) はカメラ撮像変化で横方向 y が大きく変動し、縦方向 z は小さな変動である。これらはそれぞれ旋回方向と起伏方向の吊り荷振れ追跡に対応している。



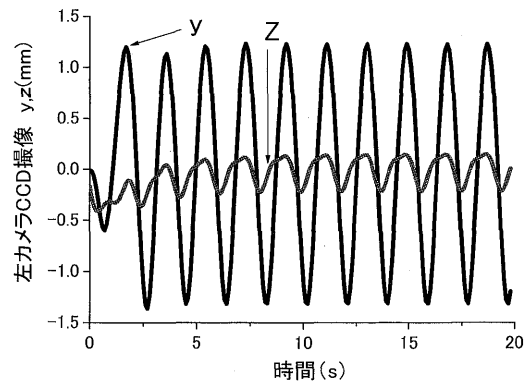
(a) 旋回角とロープ長



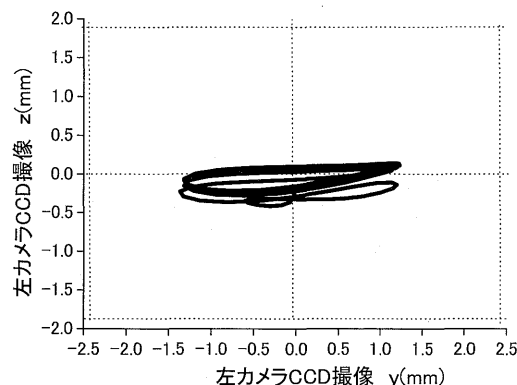
(b) 吊り荷揺れ角



(c) カメラ駆動角



(d) カメラ撮像の変化(左カメラ)



(e) カメラ画像(左カメラ)

図7 吊り荷巻き下げを伴うクレーン旋回時の応答

(e) は左カメラ画像で旋回方向の撮像が大きい。起伏方向の振れは (b) のごとく旋回方向と同程度であるが、カメラ撮像の縦方向は小さくなる。右カメラも同様である。ただし、ステレオビジョンとしては、左右のカメラによる撮像を用いて起伏方向の振れが得られる。

4. 結論

旋回クレーンの静止時注視制御、クレーン起伏時およびロープ巻き下げを伴う旋回時についてクレーンに搭載したステレオビジョンを用いた視覚追跡シミュレーションを行い、クレーン搭載のステレオビジョンによる吊り荷の視覚追跡手法が有効であることを示した。現在このシステムを用いた吊り荷制御実験を行っており、報告できる予定である。

参考文献

- 1) 吉田, 谷口, 青木, “能動ステレオ視による移動点の実時間追跡”, 紀要, 34, (1998), 1-5
- 2) 富田, 吉田, “視覚フィードバックによる天井クレーン制御”, 紀要, 39, (2003), 1-4
- 3) 吉田, 平野, 富田, 手嶋, “走行クレーンの視覚フィードバック制御”, 計測自動制御学会論文集, 41-6, (2005), 527-532