

パンチルトカメラを用いたクレーンブームの衝突モニタリングシステム

著者	関 啓明, 山口 安昭, 李 倍
著者別表示	Seki Hiroaki, Yamagichi Yasuaki, Ri Bai
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集
巻	2014 Autumn
号	C14
ページ	161-162
発行年	2014
URL	http://doi.org/10.24517/00050024

doi: 10.11522/pscjspe.2014A.0_161

パンチルトカメラを用いたクレーンブームの衝突モニタリングシステム

金沢大学 ○関 啓明 東芝ロジスティクス(株) 山口 安昭, 李 倍

Collision Monitoring System Using Pan-tilt Camera for Crane Boom

Kanazawa University Hiroaki Seki Toshiba Logistics Corp. Yasuaki Yamaguchi, Bai Ri

Collision with obstacles is one of accidents in crane operation. It is difficult for an operator/observer to catch their relative positions in the sky. We propose a collision monitoring system which consists of a fixed camera with wide-angle lens and a pan-tilt stereo camera. The crane boom is visually tracked in the wide-angle image. Since the pan-tilt angles of the stereo camera are interlocked with this tracking, the stereo camera can easily detect the 3D position of the boom top even in far distance. We made a prototype system to check contribution to the safety of crane operation.

1. はじめに

クレーン作業中に、クレーンブームが送電線や建物等に接触する事故がある。操縦者や監視者からは高所の位置関係は把握しにくい。ブーム角や長さを検出するセンサを備えているクレーンの場合でも障害物との距離は分からない。レーザ測長器を走査して、ブーム先端や障害物の距離を計測することも考えられるが、送電線等の細い障害物にはレーザ光を当てにくい。ブーム先端に障害物を検出するセンサを取り付ける方法は、数多い既存のクレーンへの対応が難しい。

そこで本研究では、持ち運び可能なステレオカメラをクレーン外部に設置して、ブームと障害物の3次元的位置関係をリアルタイムにモニタリングし、接触事故を未然に防ぐシステムを提案している。これまで、基線長 1.2m で広角 (82 × 67°) のステレオカメラを用いて、画像上でブーム先端を追跡しながら位置検出し、指定した障害物との距離を監視するシステムをある程度実現した[1]。ただ、ブーム先端からの最短水平距離約 15m の地点にカメラを設置することを標準的に想定したものであった。現場によっては、もっと遠い場所からモニタリングせざるを得ないケースもある。本報告では、全体を見渡す広角カメラと、精度良く位置検出可能なパンチルト型望遠ステレオカメラを連動させた、近距離から遠距離まで対応できるシステムを提案する。

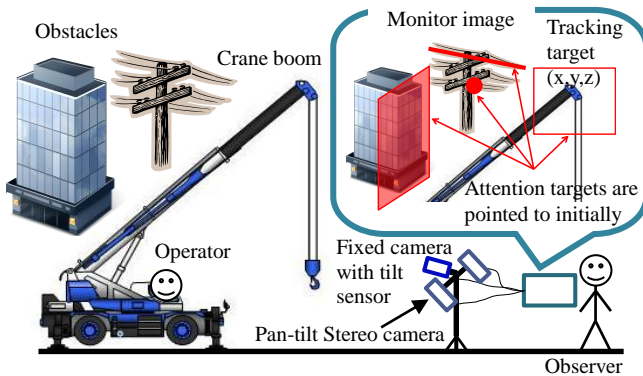


Fig. 1 Proposed crane monitoring system

2. 遠距離対応できる衝突モニタリングシステムの提案

本研究で提案するモニタリングシステムを Fig. 1 に示す。数 10m あるクレーンブームの動作範囲を視野に含めるには、かなり広角のカメラが必要となる。最初に、この広角カメラの画像上でブーム先端と監視すべき障害物を監視者に入力してもらう。扱う障害物としては、送電線などの線状物体、地面に垂直な(壁)面、上空の高さを制限する水平面、及び、監視すべき点(位置)とした。各点の3次元位置が検出できれば、線状物体や垂直・水平面については、それらが決まるような2点を画像上で指示すればよい。障害物は基本的に移

動しないので最初の入力時の位置を記憶しておけばよいが、ブームは動くため、その後画像追跡して位置を検出し続けなければならない。ブームと設定した障害物との最短距離は簡単な幾何学演算で求めることができる。

各対象の3次元位置検出にはステレオカメラを用いる。近距離ならば、固定の広角カメラ2台で十分である。遠距離でも視差変化が出るように基線長を長くすればよいが、装置が大きくなる。奥行距離に関し、位置誤差は距離の2乗で増えるため、仮にカメラの視野をブームの動作範囲にあわせて距離に対し反比例的に狭くしたとしても、遠距離で距離計測精度を保つのは難しい。そこで、全体を見渡す固定の広角カメラの他に、パンチルト型の望遠ステレオカメラを用意する。広角カメラ画像上の各対象の方向にこのステレオカメラを向け、各対象の拡大画像を得ることで、遠距離での位置検出精度を上げることができる。ブーム先端を対象とする時は、広角画像上での追跡にステレオカメラのパンチルト角を連動させる。なお、障害物として代表的な送電線は水平に映ることが多いため、視差を検出しやすいようにステレオカメラは垂直方向に配置する。また、広角カメラでは見にくい障害物は、望遠のステレオカメラ画像上で再入力してもよい。

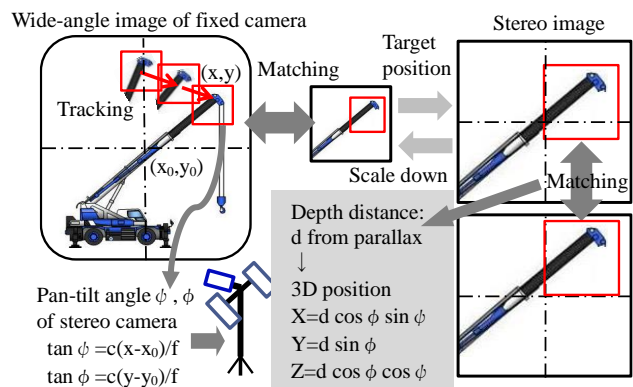


Fig. 2 3D position detection by interlocking pan-tilt camera

3. クレーンブーム先端の追跡とステレオカメラの連動

クレーンブーム先端を広角画像上で追跡するには、人や車等の追跡によく用いられるビジュアルトラッキングを応用する。最初に入力されたブーム先端の画像をテンプレートとして保存し、画像を取得する度に、近傍をパターンマッチングして類似部を探索する。類似度としてはカラー画像のRGBの正規化相関を用いる。背景が多様で照明変動が大きく、ブームの見え方も変わりやすい中で、長時間信頼性良く追跡し続ける必要があることを考慮していくつか工夫を加えた[1]。主なものは、相関値が悪くなれば、直前の追跡画像を新たなテンプレートとするか、それまでに保存されたテンプレートの

中で相関値の良いものがあればそれを使うことと、1フレーム前の動きを外挿し、その位置から離れるほど相関値を下げるという動きの予測を加えたことである。

Fig.2のような方法で、広角カメラ上のブーム先端等の対象位置とステレオカメラのパンチルトを関連付け、3次元位置を求める。パンチルト角の正接と対象の画像中心からのオフセットが比例する。パンチルトカメラを対象の方向に向けた後、ステレオ画像から視差を出す。対象がどこに映っているか調べる必要がある。画角の比だけ縮小したステレオカメラの一方の画像中で、広角カメラの対象画像との類似部を探した後、その部分についてステレオ画像を元の比率でマッチングして視差を求める。視差から対象までの奥行距離が分かるので、パンチルト角から求まるカメラの方向ベクトルをかければ3次元位置が検出できる。この際、ステレオ画像(一方)中の対象の中心からのオフセット分だけ方向ベクトルを補正するとさらに精度が上がる。

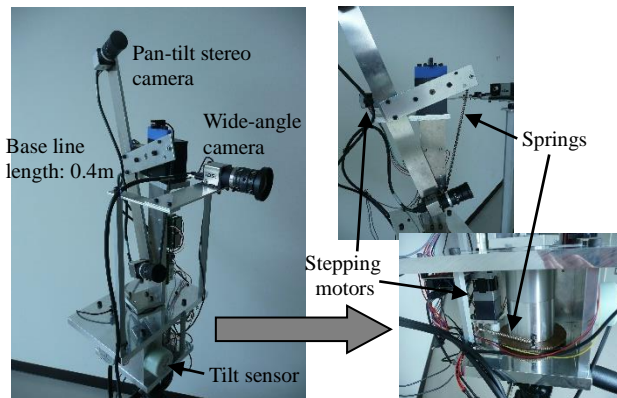


Fig. 3 Prototype of crane monitoring system

Table 1 System specifications

Component(Unit)	Manufacture, model	Specification
USB3 camera(3)	IDS: UI-3580CP	1/2", 2560x1920, 15fps
Telephoto lens(2)	Fujinon:HF75HA-1B	Foc. 75mm, 3.7x2.8deg
Wide-angle lens	Richo:FL-HC0514-2	Foc. 5mm, 65x53deg.
Tilt sensor (2)	Schaevitz: AccuStar	±45deg, linearity1%
Stepping motor with gear (2)	Orientalmotor: CSK523AP	0.72deg,0.3Nm,3000rpm,1/80(pan),1/200(tilt)
PC for image processing	Toshiba:dynabook R734	Intel Core i7-4700MQ 2.4GHz

4. 試作装置

ブーム長 10~45m, 仰角 40~80°, 旋回±90°(0°方向にカメラ), 最大旋回速度 2rpm のクレーンを想定して, Fig. 3 のようなモニタリングシステムを試作した. 各部の仕様を Table1 に示す. カメラとブーム先端の最短水平距離は約 20~80m とした. 幾何学関係からカメラ-ブーム先端距離は約 25~120m となる. 近距離での撮影を基準に全体を見渡す広角カメラのレンズを選んだ. ステレオカメラの方は, 視差の検出誤差 1画素に対して, 100m 先で距離精度 1m程度を実現できるようにカメラの基線長とレンズを選んだ. 広角カメラとの画角の比は 13.4 倍である. なお, 転送速度を速くするため, 画素数を広角カメラは縦横半分に, ステレオカメラは視差に関係ない方向を 1/4 にして用いた. パンチルト機構は減速機を介してステッピングモータで駆動し, 各軸をバネで一方方向に引っ張っておくことによりガタを少なくし, 角度精度を向上させた. また, 広角カメラをパンチルト機構に干渉しないように, かつ, 広角画像上の方向とパンチルトの方向がずれにくいようにできるだけ中央に取り付けた. 広角画像上の各点とパンチルト角の関係を実測した. パンチルト角を調節して数 km 遠方にある物をステレオカメラの一方の画像の中央に映し, そ

れが広角画像上のどこに映るかを調べた (Fig.4). 最大でも, 角度にして 0.45° 以下の精度で連動できることが分かる.

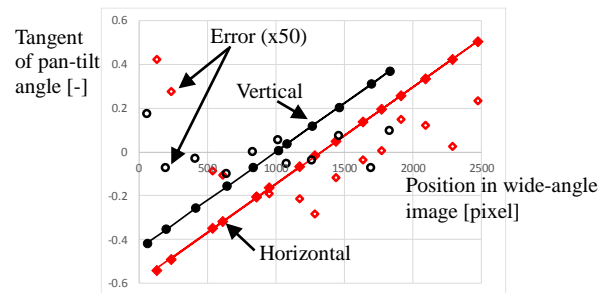


Fig. 4 Relationship between wide-angle image and pan-tilt angles

5. 予備検証実験

クレーンブームの替わりに, 駐車場で車の動きを用いて予備的に試作システムの検証を行った. 建物の 6 階(地上 22m)に, 固定の広角カメラを水平より 12.5° 下に向けて, 駐車場が映るようにシステムを設置し, 車を追跡した結果の例を Fig.5 に示す. 広角画像上の追跡に連動させてステレオカメラを動かすことができたが, 画像を撮る度に停止させるため, ステレオカメラの画像には振動によるぶれや歪みが散見された. ただ, 2つの画像とも同じように動くため, 視差検出にはあまり影響しない. 車の 3次元位置を求めた結果を Fig.6 に示す. この際, ±1 画素ずらした相関値を利用して約 1/10 画素単位で視差を求めた. 異常値も少々あるが, 車はある程度滑らかに動くことから, 概ね 1m 以内のばらつきで位置検出できていると推察される.

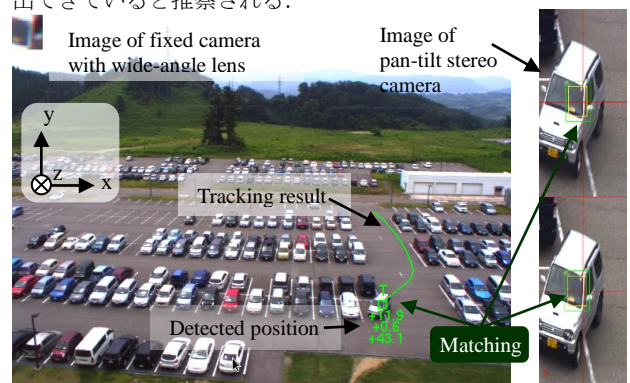


Fig. 5 Result of tracking and parallax detection

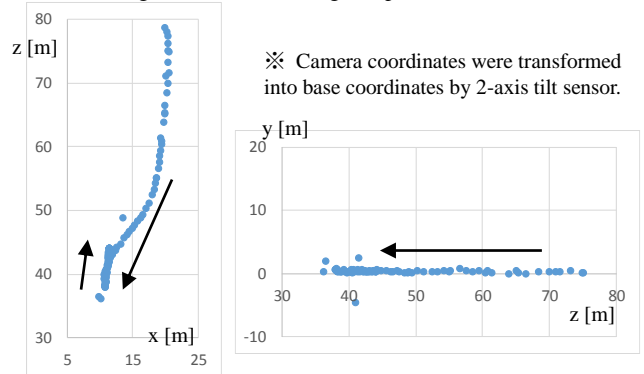


Fig.6 Detected 3D position

6. まとめ

広角画像上でブーム先端を追跡しパンチルト型望遠ステレオカメラを連動させて, 遠距離でも精度良くブーム位置をモニタリングするシステムを提案した. 駐車場の車の追跡で, 試作システムを予備的に検証し有効であることを確かめた.

参考文献

[1] 関,山口,李, クレーンブーム先端の衝突モニタリングシステム,2014 年度精密工学会春季大会講演論文集, pp.987-988