Kameragestützte Montage von Rädern an kontinuierlich bewegte Fahrzeuge

F. Lange, **K. H. Strobl**, **J. Langwald**, **S. Jörg**, **G. Hirzinger**
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Weßling

B. Gruber, J. Klein
QUISS Qualitäts- Inspektionssysteme und Service GmbH, Puchheim

J. Werner
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, TU München, Augsburg

Kurzfassung

Betrachtet wird die Montage von Rädern an ein durch ein Förderband transportiertes Fahrzeug. Dazu nimmt ein Industrieroboter Rad und Schrauben auf und führt sie zum Fügen an das Fahrzeug, dessen Radnabe während der Bewegung in allen 6 Freiheitsgraden durch eine robotergeführte Kamera vermessen wird. Die Kamera ist mit einer Ringleuchte ausgestattet und hinter dem Achsloch des gehaltenen Rades angeordnet, das dadurch auch bei schwingender Karosse robust an die Radnabe herangeführt und kraftgeregelt verschraubt wird.

1. Einleitung

Eine robuste Montage von Rädern an ein durch ein Fördersystem bewegtes Fahrzeug ist durch Roboter nur unter Einsatz von Sensorik möglich, da die Trajektorien der Radnaben aufgrund von Störungen wie beispielsweise dem Schwingen der Karosse in einer Elektrohängebahn nicht mit ausreichender Genauigkeit vorhergesagt werden können. Eine förderbandsynchrone automatisierte Montage erfordert daher einen speziellen Prozessablauf bestehend aus einer Grobpositionierungsphase, einer Annäherungsphase und einer Kontaktphase.

Dieser Artikel beschreibt ein Verfahren, bei welchem unterschiedliche Sensorsysteme eingesetzt werden, um die Bewegung einer Karosse während der Annäherungsphase zu verfolgen. Der für die Untersuchungen realisierte Prototyp (Bild 1) besteht neben dem transportierten Fahrzeug aus einem Roboter auf einer Linearachse und den folgenden Sensoren:

- einem Encoder im Motor der Fördereinrichtung für die grobe Erfassung des Fahrzeugs im Bereich der Montagestation,

- einer Kamera für das genaue Vermessen der Trajektorie der Radnabe in allen 6 Freiheitsgraden, bis der Kontakt zwischen Rad und Radnabe hergestellt ist und
- einem nachgiebigen Kraft-Momentensensor, welcher verbleibende Ungenauigkeiten während des mechanischen Kontaktes toleriert und ihre Ausregelung ermöglicht.

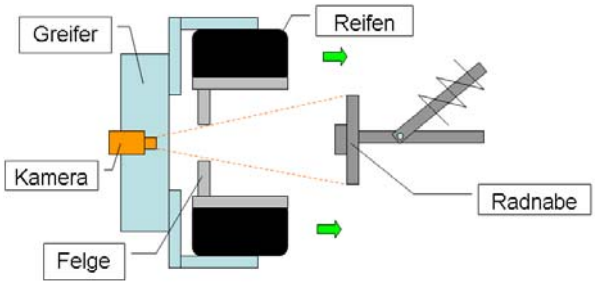

Bild 1: links: Gesamtanordnung zum Anbau von Rädern an bewegte Fahrzeuge
rechts: Skizze der Anordnung mit durch das Achsloch blickender Kamera

2. Ablauf und Anordnung

Die Bildverarbeitung wird sowohl bei der Aufnahme der Räder als auch bei der Montage an die Radnaben verwendet. Zum Greifen eines Rades durch den Roboter bestimmt die Bildverarbeitung zumindest den Winkel zwischen der realen Felge und der Referenzlage, damit die Radschrauben in die dafür vorgesehenen Bohrungen der Felge gesteckt werden können.

Beim Heranführen des Rades an die Radnabe wird die Lage der Radnabe bezüglich der Referenzlage in allen 6 Freiheitsgraden bestimmt. Diese sind

- der Winkel um die Radachse, damit die Radschrauben in die Gewindebohrungen der Radnabe geschraubt werden können,
- die durch Bandbewegung und Schwingen der Karosse im Gehänge gestörte Position der Radnabe und ihre Änderung,
- der Lenkwinkel und der Sturz der Radnabe.

Zur Bestimmung dieser Parameter und insbesondere zum Verfolgen der Radnabe eignet sich insbesondere eine robotergeführte Kamera, da dadurch kaum Verdeckungen bestehen. Besonders günstig ist eine Anordnung der Kamera, in der sie durch das in jeder Felge vorhandene Achsloch hindurchblickt (Bild 1 rechts). In Kombination mit einer Ringbeleuchtung

kann dadurch sowohl bei der Radaufnahme als auch bei der Annäherung an die Radnabe bei optimaler Beleuchtung und aus minimalem Abstand gemessen werden.

3. Kamerabasierte Lagebestimmung

Bei der Vermessung des Rades werden insbesondere die für die Montage wichtigen Löcher für die Radschrauben vermessen. Um die Löcher besser sichtbar zu machen, wird das von der Ringleuchte an der Kamera ausgestrahlte Licht mit Hilfe einer Reflexfolie zu einer diffusen Hintergrundbeleuchtung der Radöffnungen verbessert (Bild 2, links). Durch Matching der gemessenen Merkmale mit den erwarteten Merkmalen aus dem Radmodell werden die Bohrungen erkannt. Daraus wird sowohl der Winkel um die Radachse als auch die durch die unterschiedlichen Reifengrößen unsichere Position der Radmitte bestimmt.

Bei der Annäherung an das Fahrzeug werden sowohl die Gewindebohrungen für die Radschrauben als auch die Achse selbst vermessen. Die Bohrungen für die Radschrauben verschwinden allerdings bei der Annäherung an die Radnabe aus dem Sichtfeld der Kamera. Dadurch ist die Bestimmung der Orientierungen nur aus größerem Abstand möglich. Das Tracken der Position ist jedoch bis zum Kontakt möglich. Dies ist besonders wichtig, wenn bei einem Band-Stopp oder kurz nach einem Bandanlauf an eine schwingende Karosse montiert werden soll.

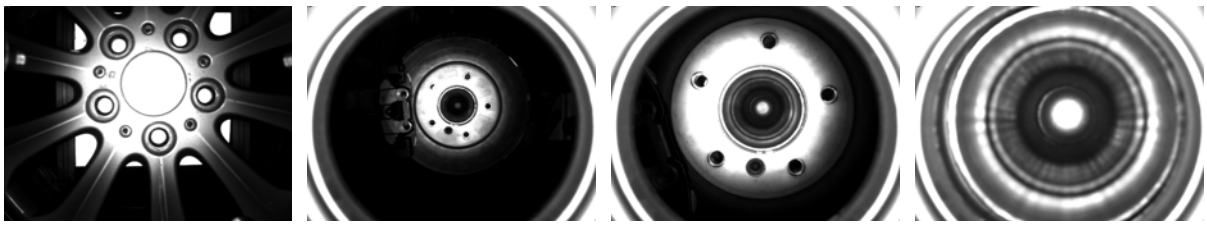

Bild 2: Bilder der robotergeführten Kamera (links: Rad in der Radaufnahme, Rest: Blick auf die bewegte Radnabe in unterschiedlichen Phasen der Montage)

Die Bestimmung der beiden Kippwinkel (Sturz und Lenkwinkel) ist bezüglich der Auflösung kritisch, da das Problem bei geringen Winkeln und der fast ebenen Anordnung singulär ist. Daher werden zwei Verfahren mit unterschiedlichem Aufwand und unterschiedlicher Genauigkeit untersucht.

4. Regelung

Die Lagebestimmung erfolgt zunächst in Kamerakoordinaten. Zum Nachführen des Roboters wird die ermittelte Position und Orientierung der Felge bzw. der Radnabe ${}^{c}\mathbf{T}_{o}$ (Objektlage)

unter Verwendung der bekannten Lage ${}^{t}\mathbf{T}_{c}$ der Kamera bezüglich des Tool Center Point (TCP) und der aus den Achswerten berechneten Lage ${}^{w}\mathbf{T}_{t}$ des TCP in das Robotersystem (Weltsystem) transformiert.

$$ {}^{w}\mathbf{T}_{o} = {}^{w}\mathbf{T}_{t} \cdot {}^{t}\mathbf{T}_{c} \cdot {}^{c}\mathbf{T}_{o} \tag{1} $$

Dabei wird neben den Gelenkwinkeln des Roboters auch die Auslenkung des nachgiebigen Kraft- Momentensensors berücksichtigt, da sie die Lage der Kamera beeinflusst [2]. Zusammen mit den Messwerten wird jeweils auch der Zeitpunkt der Bildaufnahme festgehalten. Dadurch kann die Änderung der Lage der Radnabe durch die Bandbewegung oder Schwingungen der Karosse aus den Messwerten zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt werden.

Die eigentliche Regelung erfolgt dann als Positionsregelung der ermittelten Soll-Trajektorie. Dabei werden die einzelnen Achsen des Roboters durch prädiktive Regelung so vorgesteuert, dass der Roboter die gewünschte Bewegung ausführt. Diese Aspekte sind in [2] ausführlich dargestellt.

5. Ergebnisse

Bei der Radmontage führt die Bildverarbeitung den Roboter so genau an die bewegte Radnabe, dass die Lagefehler beim Eintreten des Kontakts nur 1 mm bzw. 0,2 Grad betragen (ganz rechts in Bild 2). Dies ist deutlich besser als gefordert.

6. Zusammenfassung

Das Verfahren zeigt, dass robotergestützte Montageaufgaben mit geringen Toleranzen auch während der Bewegung der zu verbindenden Teile robust durchgeführt werden können, indem Bildverarbeitung und (Kraft-)Regelung geeignet kombiniert werden. Dabei werden im ausgeführten Beispiel alle 6 Freiheitsgrade der Radnabe bezüglich der Kamera bestimmt.

7. Literaturangaben

[1] Lange, F., Frommberger, M., Jörg, S., Langwald, J., Kamel, A., Meusel, P., Willberg, B., Hirzinger, G., Werner, J.: Montage am kontinuierlich bewegten Band – Sensorkonfiguration und Programmierung. Fachtagung ROBOTIK 2008, München, Juni 2008.

[2] Lange, F., Kamel, A., Hirzinger, G., Werner, J.: Sensorfusion und Regelung eines Roboters am kontinuierlich bewegten Band. Fachtagung Automation 2008, Baden-Baden, Juni 2008.