

Kalibrierte 2D- und 3D-Bewegungsanalyse mit nur einer Kamera

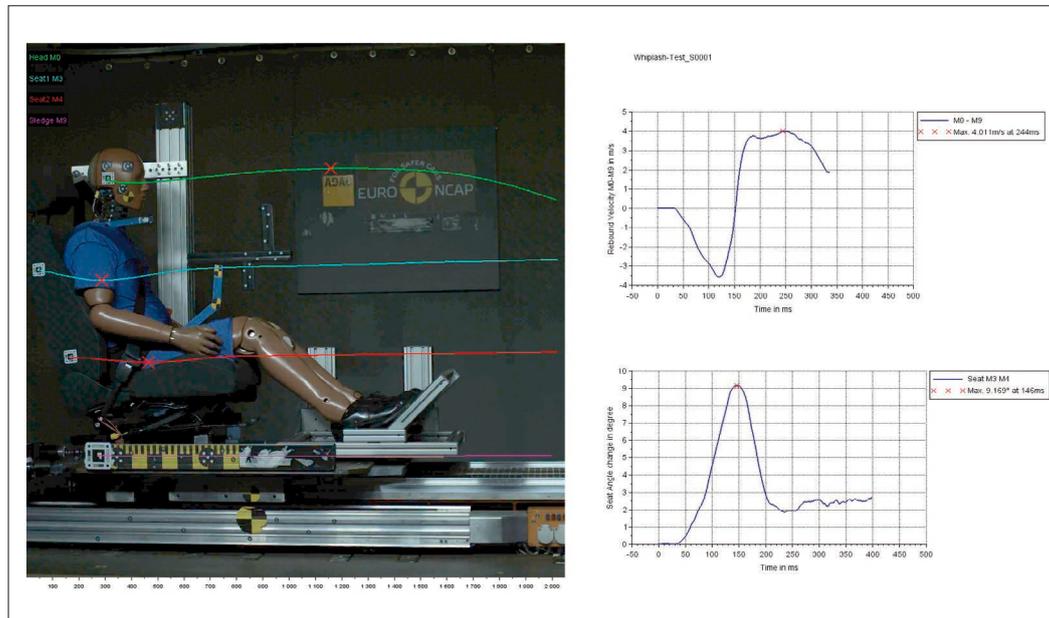


Bild 1: Der Wiplash-Test simuliert einen Auffahrunfall und dient zur Sicherheitsprüfung von Sitzen.

Die Messung von Bewegungen anhand von Kamerabildern ist eine etablierte Technik, die inzwischen in vielen Bereichen der Industrie und Wissenschaft Anwendung findet. Hochgeschwindigkeitskameras werden beispielsweise für Crashtests und dynamische Komponentenprüfungen eingesetzt, während hochauflösende Kameras bei quasi-statischen Anwendungen für präzise Deformationsmessungen sorgen.

Die berührungslose Messung mittels Kameras bietet zahlreiche Vorteile gegenüber taktilen Sensoren, wie etwa Seilzugensensoren. Ein innovativer Ansatz mit speziellen 6D-Markern liefert präzise kalibrierte 2D- und 3D-Koordinaten und vereinfacht die Messung sowie die Vorbereitungszeit.

Wiplash-Test

Ein gutes Beispiel für eine 2D-Bewegungsanalyse ist der Wiplash-Test (Bild 1). Bei normgerechter Durchführung verursacht dieser einen erheblichen Versuchsaufwand. Der Wiplash-Test simuliert einen Auffahrunfall und wird zur Sicherheitsqualifizierung von Sitzen nach dem EURO NCAP-Standard durchgeführt. Dabei werden unter anderem die Relativgeschwindigkeit zwischen Dummykopf und Schlitten sowie der Verstellwinkel der Sitzlehne gemessen (Bild 2).

Nachteile bisheriger Verfahren

Bisher beschränkt sich die Bildauswertung beim Wiplash-Test und bei vielen anderen Komponententests meist auf die 2D-Bewegungsanalyse, bei der Marker oder Muster in der Bildsequenz verfolgt und daraus zeitlich aufgelöste Koordinaten,

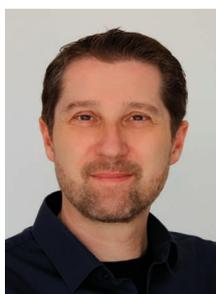
Geschwindigkeiten, Abstände, Winkelbeziehungen usw. bestimmt werden. Die 2D-Auswertung ist jedoch nur in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse der Kamera möglich. Bewegungen in Kamerarichtung werden bei der 2D-Analyse nicht erfasst und führen zu Messfehlern. Eine perspektivisch schräge Sicht auf die Bewegungsebene verursacht ebenfalls Messfehler, weshalb die Kamera präzise senkrecht zur Bewegungsebene ausgerichtet sein muss.

Quantitative Bewegungsmessung

Für eine quantitative Bewegungsmessung wird die Pixelkoordinate des Markers im Kamerabild in eine kalibrierte Weltkoordinate (z. B. in Millimetern oder Metern) umgerechnet. Dies erfordert eine aufwändige Maßstabs-Kalibrierung, die vom Abstand des Markers zur Kamera abhängt. Beim Wiplash-Test müssen Maßstabs-Kalibrierungen für die Marker auf dem Dummykopf, dem Sitz und dem Schlitten separat durchgeführt werden, da deren Abstände zur Kamera und somit die Umrechnungsfaktoren unterschiedlich sind. Eine präzise senkrechte Ausrichtung der Hochgeschwindigkeitskamera auf die Schlittenbewegung ist notwendig, um perspektivische Fehler zu vermeiden. Obwohl beim Wiplash-Test nur 2D-Bewegungen relevant sind, ist der technische Aufwand dennoch relativ groß.

3D-Bewegungsanalyse

Für eine 3D-Bewegungsanalyse sind mindestens zwei Kameras erforderlich. Stereosysteme mit zwei Kameras arbeiten nach dem sogenannten Vorwärtsschnitt und bestimmen direkt 3D-Koordinaten. Hierbei werden Punkte, Marker oder Muster in den beiden Kamerabildern subpixelgenau zugeordnet und über die Parameter des Stereo-



Autor:
Ralf Lichtenberger,
Geschäftsführer
LIMESS
Messtechnik und Software GmbH
www.limess.com

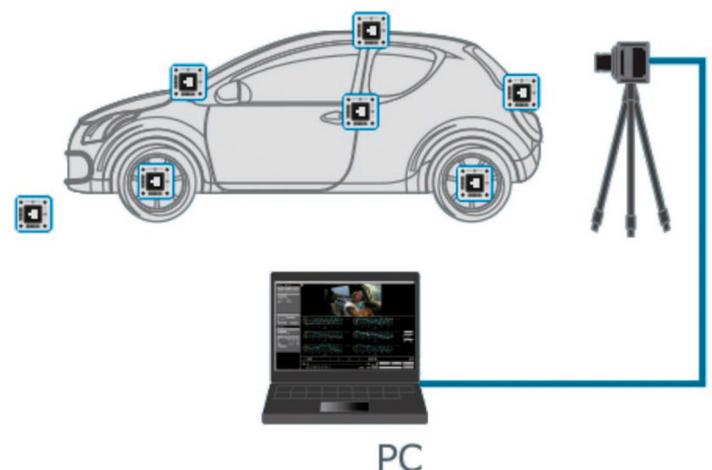


Bild 2: Kalibrierte 2D- und 3D-Bewegungsmessung mit 6D-Markern und einer Kamera

systems in 3D-Koordinaten umgerechnet. Diese Systemparameter, die die Ausrichtung der Kameras zueinander sowie die inneren Kameraparameter (z. B. Verzeichnung des Objektivs und Kamerasensor) umfassen, müssen in einem aufwändigen Kalibrierprozess bestimmt werden. Bei Highspeed-Anwendungen wie einfachen Komponentenprüfungen und Wiplash-Tests sind die Anschaffungskosten für zwei Kameras jedoch doppelt so hoch, und der Kalibrieraufwand ist deutlich zeitintensiver.

Kalibrierte 6D-Marker

6D-Marker (Bild 3) liefern 3D-Koordinaten sowie die drei Orientierungswinkel der Marker mit nur einer Kamera. Dies wird durch den speziellen Aufbau der 6D-Marker ermöglicht, der folgende Elemente umfasst:

- **Vier Referenzpunkte (1):** Diese befinden sich in den Ecken des Markers und liefern kalibrierte 2D- und 3D-Koordinaten des Markers im Raum. Die Marker sind werkskalibriert, sodass die 3D-Koordinaten direkt in Millimetern erfasst werden. Die aufwändige Maßstabs-Kalibrierung entfällt somit, auch bei einer 2D-Bewegungsanalyse. In der Photogrammetrie wird dieses Verfahren als Rückwärtschnitt bezeichnet. Dabei wird die 3D-Position der Kamera bzw. des Markers aus den bekannten Abständen der Marker-Eckpunkte berechnet.
- **Moiré-Felder (2) und (3):** Diese liefern die Markerorientierung (Roll x, Pitch y). Die Moiré-Felder zwischen den Eckpunkten des Markers geben präzise Winkelmessungen der Orientierung des Markers zur Kamera. Die Muster der Moiré-Felder verändern sich entsprechend der Ausrichtung des Markers zur Kamera. Der Winkel Yaw (um die z-Achse) wird bestimmt aus den relativen Positionen der Moiré-Elemente und den Eckpunkten.
- **Binärkodierung:** Eine 32-kodierte Binärmarkierung gibt dem Marker eine eindeutige ID und ermöglicht so die vollautomatische Markerdetektion und -zuordnung für das nachgelagerte Post-Processing. Durch die ID kann der Marker

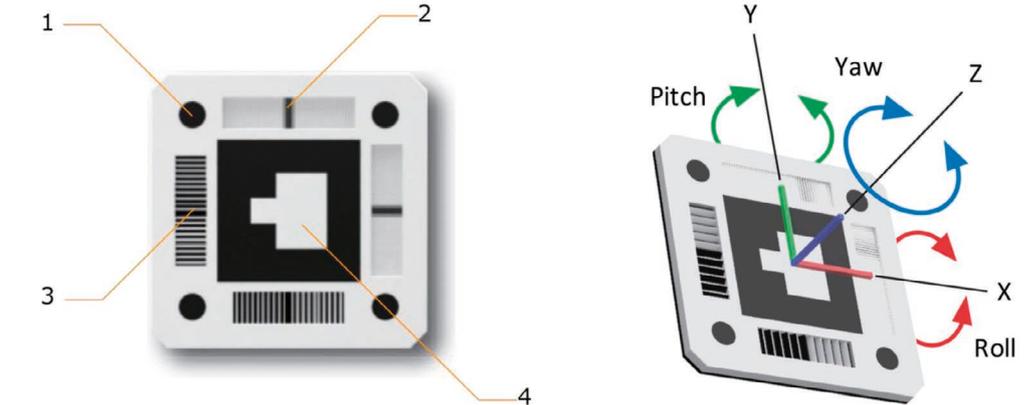


Bild 3: 6D-Marker von Photron für die kalibrierte 2D- und 3D-Bewegungsmessung

auch dann zuverlässig wiedererkannt werden, wenn er in einigen Bildern verdeckt war.

Dank dieser Merkmale vereinfacht die 2D-Bewegungsanalyse beim Wiplash-Test für den Anwender die Durchführung, verbessert die Robustheit und gewährleistet eine normgerechte Durchführung – und dies mit erheblichen Zeitersparnissen.

Die Verzerrungen des Objektivs werden durch eine Kamerakalibrierung mit etwa zehn Bildern einer Kalibrierplatte berechnet. So wird sichergestellt, dass die Messgenauigkeit des 6D-Markersystems unabhängig vom eingesetzten Objektiv bleibt.

Neue Möglichkeiten, neue Anwendungen

Die 6D-Marker ermöglichen zudem eine präzise 3D-Bewegungsanalyse aus Videos von On-Board-Kameras bei Crash-Tests oder Schlittenversuchen. Diese Kameras sind häufig starken Beschleunigungen ausgesetzt, die zu unerwünschten Bewegungen und Vibrationen relativ zum Fahrzeug oder Schlitten führen. Diese überlagerte Kamerabewegung erschwert oder verzerrt eine 2D- und 3D-Auswertung. Mit am Fahrzeug montierten 6D-Markern kann jedoch die Relativbewegung bestimmt und in die Bewegungsanalyse einbezogen werden. Eine im Fahrzeug montierte Kamera (Onboard-Highspeedkamera) kann so die 3D-Bewegung der Dummies relativ zu den Fahrzeugstrukturen präzise messen und daraus wird z. B. das Eintauchen des Dummykopfes in den Airbag bestimmt (Bild 4).

Durch eine geeignete Koordinatentransformation werden die Markerkoordinaten und -bewegungen in das Fahrzeugkoordinatensystem überführt und können für den Abgleich von fahrzeugbezogenen Bewegungsmodellen genutzt werden.

Mehr Spielraum

Da 6D-Marker direkt 3D-Koordinaten liefern, können Kameras nun freier positioniert werden. Bei Messungen im Fahrzeug ist es nun auch möglich, den Sitzwinkel aus einer Kameraposition hinter dem Sitz oder mit schrägem Blickwinkel auf die Sitzlehne zu bestimmen. Auch wenn sich die Sitzlehne zur Kamera oder schräg durchs Bildfeld bewegt, ermöglicht die 3D-Markerkoordinaten-Transformation eine präzise Messung. Diese erlangte Positionierfreiheit eröffnet neue Möglichkeiten für die 2D- und 3D-Bewegungsanalyse.

Auch bei statischen Deformationsmessungen an mechanischen Strukturen, Simulationen von Überrolltests und bei dynamischen Droptests liefern die 6D-Marker hochwertige Messdaten bei vergleichsweise geringem Versuchsaufwand.

Zusammenfassung

Die 6D-Marker bieten für viele Anwendungen der 2D- und 3D-Bewegungsanalyse eine hohe Messgenauigkeit und tragen erheblich zur Reduzierung der Kosten und des Versuchsaufwands bei. Selbst bei 2D-Anwendungen liefern die 6D-Marker robuste Messwerte. Im praktischen Einsatz, beispielsweise beim ADAC, führen sie zu einer einfacheren Versuchsvorbereitung, automatisierten Auswertung, verbesserter Wiederholbarkeit und einer Verringerung von Fehlerquellen. ◀



Bild 4: 3D-Bewegungsanalyse einer On-Board-Kamera beim Crash-Test