

## Visuelle Navigation

Methoden zur visuellen Navigation beruhen auf einer computergestützten Auswertung von Kamerabildern und dienen der Bestimmung von Position, Ausrichtung oder Eigenbewegung mobiler Systeme. Sie nutzen dazu ausschließlich passive optische bildgebende Verfahren. Einer ihrer größten Vorteile ist die Unabhängigkeit von einer speziellen externen Infrastruktur, wie beispielsweise einem Navigationssatellitensystem. Dadurch lassen sie sich in nahezu beliebigen Umgebungen einsetzen. In den letzten Jahren hat der Umfang der Forschung und Entwicklung im Bereich der visuellen Navigation stark zugenommen, und es konnten bereits große Fortschritte erzielt und erste kommerzielle Anwendungen realisiert werden. Trotzdem ist in vielen potenziellen Einsatzbereichen eine zuverlässige rein visuelle Navigation in Echtzeit heute noch nicht möglich.

Es gibt zwei grundsätzlich verschiedene Herangehensweisen, nach denen sich visuelle Navigationsansätze gruppieren lassen. Die kartenbasierten Ansätze der visuellen Navigation dienen vorrangig der absoluten Positionsbestimmung, also der Bestimmung der eigenen Koordinaten in Bezug auf einen Lageplan oder eine Landkarte. Diese erfolgt in der Regel in vier Schritten. Auf die Bilderfassung folgt eine Identifikation von geeigneten Landmarken in den aktuellen Bildern der Umgebung. Nach diesen Landmarken wird dann in einer Kartendatenbank gesucht. Aus der räumlichen Beziehung der in Kamerabildern und Karte übereinstimmend gefundenen Landmarken erfolgt dann die Berechnung der Position. Bei diesen Kartendaten kann es sich um Darstellungen handeln, die die Umgebung maßstabsgetreu beschreiben, wie z.B. 3D-Modelle von Innenräumen oder mit Koordinaten versehene Luftbilder. Auch möglich sind sogenannte topologische Karten, die die Umgebung abstrahiert darstellen und lediglich die Nachbarschaft charakteristischer Orte abbilden, wie z. B. bei der Darstellung von Bahnliniennetzen. Neben derartigen Systemen, die bestehende Karten nutzen, gibt es auch solche, die Karten der ihnen unbekanntem Umgebung erst

während der Navigation erstellen, ständig erweitern und ihre Positionen innerhalb dieser Karten bestimmen. Solche Ansätze sind unter der Bezeichnung Visual SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) bekannt.

Kartenlose Ansätze der visuellen Navigation kommen gänzlich ohne eine umfassende Darstellung der Umgebung aus. Sie dienen vorrangig der sogenannten inkrementellen Positionsbestimmung, wobei die aktuelle Position laufend relativ zur vorausgegangenen Position ermittelt wird. Viele dieser Ansätze basieren auf dem sogenannten optischen Fluss, der die Geschwindigkeiten und Richtungen beschreibt, mit denen sich die Abbilder von Umgebungsmerkmalen von Bild zu Bild auf dem Kamerasensor bewegen. Bewegungen der Plattform erzeugen dabei Flussmuster, aus denen sich relative Veränderungen der Position und Ausrichtung eines mobilen Systems ableiten lassen. Auf optischem Fluss beruhende Verfahren sind dabei vergleichsweise wenig rechenaufwändig. Daher sind sie besonders attraktiv für die Anwendung in sehr kleinen mobilen Systemen, wie z.B. Mini-Drohnen, die nur eine leistungsbeschränkte Computerhardware und Energieversorgung mitführen können. Eine visuelle Bestimmung der zurückgelegten Strecke (visuelle Odometrie) ist auch mit Hilfe sogenannter Homographien möglich. Hierbei lässt sich aus den unterschiedlichen perspektivischen Verzerrungen in aufeinanderfolgenden Bildern eines Objekts auf die zurückgelegte Strecke schließen.

Anwendungsmöglichkeiten visueller Navigationsansätze im Indoor-Bereich finden sich z.B. im Zusammenhang mit Servicerobotern im Haushalt, Robotern zur Führung von Besuchern in Museen oder der Robotik in Logistik, Lagerhaltung und Produktion. Im Outdoor-Bereich kann die Navigation von Landfahrzeugen durch visuelle Ansätze unterstützt werden, von Fahrerassistenzsystemen zur Spurhaltung und Kollisionsvermeidung über die autonome Straßennavigation bis hin zur Planetenerkundung mit unbemannten Systemen. Kleine Drohnen, die häufig auch in geringem Abstand von

Objekten operieren, können insbesondere von der hohen Genauigkeit visueller Ansätze bei der Positionierung profitieren, z.B. beim Einsatz von Multicoptern zur Inspektion von Hochspannungsleitungen oder zur Auslieferung bzw. Abholung von Waren. Außerdem können visuelle Navigationsverfahren die Positionsbestimmung bei Problemen mit dem GPS-Empfang oft genauer übernehmen als heute übliche Trägheitsnavigationssensoren. Dies ist insbesondere im militärischen Bereich interessant, um die Navigation von Lenkflugkörpern und Drohnen auch bei absichtlicher Störung des GPS-Empfangs sicherzustellen. Ebenfalls möglich ist der Einsatz visueller Ansätze in unter Wasser operierenden Fahrzeugen, z.B. bei der autonomen Inspektion von Pipelines oder Kabeln. Im Bereich der Navigation von Fußgängern sind visuelle Ansätze insbesondere im Indoor-Bereich interessant, beispielsweise zur Orientierung in großen Gebäuden wie Flughäfen oder Einkaufszentren.

Je nach Anforderung werden visuelle Navigationsverfahren heute bereits eingesetzt, in der Regel in Ergänzung zu anderen Technologien. Mitentscheidend für ihre Verwendbarkeit ist jeweils, dass die Auswertung der Kamerabilder robuste und gleichzeitig effiziente Algorithmen sowie zum Teil sehr hohe Rechenleistungen erfordert. Eine komplexe Herausforderung mit einer Reihe von heute noch ungelösten Problemen stellt die Entwicklung einer visuellen Navigationslösung dar, die in Echtzeit und in möglichst allen Situationen wirklich verlässlich funktioniert. Ein generelles Problem ist z.B. die Anfälligkeit gegenüber wechselnden und schwierigen Beleuchtungsbedingungen. In den nächsten Jahren kann jedoch mit einer kontinuierlichen Verbesserung der Performance visueller Navigationsansätze gerechnet werden. Dazu wird der anhaltende Trend der Leistungs- und Effizienzsteigerung von Computerhardware beitragen. Die Weiterentwicklung der benötigten Algorithmen wird außerdem von den zu erwartenden Fortschritten im Bereich der Bildverarbeitung und Objekterkennung profitieren können.

**Dr. David Offenberg**