

# Technischer Stand von FTS (Fahrerloses Transportfahrzeug)

Panumat Namsoongnein, Stand 2.12.2011

Im Rahmen von AGV-Entwicklung, PN-Kreis

## Einleitung

Dieser Bericht soll dazu dienen, den Überblick auf Automatisierungstechnologie von FTS zu verschaffen. Besonders Sensorik- und Lagernavigationsalgorithmen werden hier behandelt.

Dieser Bericht basiert auf Informationen von Internetseiten, Berichten von fml-Lehrstuhl TU München, und meiner Erfahrung von der Arbeit bei der Lehrstuhl.

## Definition und Komponenten von FTS

Nach der Definition von VDI-Richtlinie 2510 [2], ein fahrerloses Transportfahrzeug (FTF) oder englisch Automated Guided Vehicle (AGV) ist ein flurgebundenes Fördermittel mit eigenem Fahrtrieb, das automatisch gesteuert und berührungslos geführt wird. Fahrerlose bestehen im Wesentlichen aus folgenden Komponenten: [1]

1. einem oder mehreren fahrerlosen Transportfahrzeugen
2. einer Leitsteuerung
3. Einrichtungen zur Standortbestimmung und Lageerfassung
4. Einrichtungen zur Datenübertragung
5. Infrastruktur und peripheren Einrichtungen.

## Motivation und Aufgabenstellung von Navigationssystem

Wenn ein Fahrzeug automatisch betrieben werden soll, ist die Navigation eine der wesentlichen Aufgaben, die durch Fahrzeugrechner + Software + geeignete Sensorik gelöst werden muss. Bei der Navigation gibt es folgende Aufgabenstellungen: [3]

1. Positionsbestimmung
2. Kursbestimmung:
  - 2.1. Bestimmung der Soll-Fahrtrichtung und Soll-Geschwindigkeit
  - 2.2. Feststellung der Ist-Werte: aktuelle Fahrtrichtung und -geschwindigkeit

## Technischer Stand

### Koppelnavigation

Verfahren der Koppelnavigation basiert auf dem Prinzip, durch Messen von Fahrtrichtung und Geschwindigkeit oder zurückgelegter Strecke von einem bekannten Startpunkt ausgehend die aktuelle Position zu berechnen. Die Koppelnavigation ist ein relatives Verfahren zur Positionsbestimmung, es benutzt außer dem Startpunkt keine absoluten (fixen) Referenzpunkte. Vorteil der Koppelnavigation ist, dass sie mit relativ einfachen Messgeräten

und Algorithmen durchgeführt werden kann. Nachteilig ist, dass die Genauigkeit bzw. der Fehler dieser Messgeräte unmittelbar in die Genauigkeit des Ergebnisses eingeht.

Die Bestimmung der Fahrtrichtung erfolgt durch Messung der (des) Lenkwinkel(s) des Fahrzeugs. Die zurückgelegte Strecke lässt sich ermitteln durch Zählen der Umdrehungen eines Rades, dessen Durchmesser oder Umfang bekannt ist.

Bekannte Probleme und mögliche Fehlerquellen:

1. Exaktheit der Fahrzeug-Ausrichtung an der Startposition
2. Einstellung der Geradeaus-Richtung des Rades oder der Räder (Lenkwinkel-Messwert  $0^\circ$  führt nicht exakt zu Geradeausfahrt)
3. Lenkwinkel-Nullpunkt „wandert“ (verändert sich durch mechanische Einflüsse)

**Fazit:** Koppelnavigation allein ist als Navigationsverfahren für Fahrerlose Transportfahrzeuge unter keinen Umständen ausreichend.

### Spurführung mit kontinuierlicher Leitlinie

Die mit der Bestimmung der Fahrtrichtung zusammenhängenden Probleme sind nicht länger relevant, wenn das Fahrzeug mit geeigneter Sensorik eine *kontinuierliche Leitlinie* verfolgt. Abhängig von den Einsatz-Umgebungsbedingungen werden optische, magnetische oder induktive Leitlinien verwendet und mit Kameras (Farbkontrast), Hallsensoren (Magnetfeld) oder Antennen (elektrisches Wechselfeld) detektiert.

Das zweite Problem der Koppelnavigation, der sich akkumulierende Fehler in der Wegmessung, kann durch Referenzpunkte entlang des Fahrwegs gelöst werden: Das Überfahren von *Bodenmarken* (Metallstück, Magnet, Transponder), deren Abstände in der Fahrzeugsteuerung hinterlegt sind. Die Feinpositionierung des Fahrzeugs erfolgt ebenfalls relativ zu einem externen Triggersignal (Bodenmarke, Lichtschranke, etc.).

Vorteile

1. seit vielen Jahren bekanntes und bewährtes Verfahren
2. einfache, robuste und preiswerte Komponenten in den Fahrzeugen

Nachteile

1. Erstellen, Ändern und gegebenenfalls Reparieren der Leitlinie erfordert hohen Aufwand
2. Art und Material der Leitlinie ist abhängig von Bodenbeschaffenheit; unter Umständen nicht überall einsetzbar
3. geringe bis keine Flexibilität bei Fahrkursänderungen

### Rasternavigation

Um die mit der Erstellung der Leitspur verbundenen Kosten zu reduzieren, kann man aus der kontinuierlichen Leitlinie eine *diskontinuierliche Leitlinie*, d. h. eine Folge von Stützpunkten, machen. Dieses Verfahren wird als Rasternavigation bezeichnet. Rasterpunkte werden üblicherweise durch in den Boden eingelassene Magnete oder Transponder gebildet, optische Raster (z. B. Farbkontrast durch „Schachbrettmuster“) sind ebenfalls möglich. Die Fahrzeuge sind mit geeigneter Sensorik zum Erkennen der Rasterpunkte ausgestattet (Magnetsensor, Transponder-Lesegerät, Farbsensor/Kamera) und „hangeln sich“ von einem Rasterpunkt zum nächsten.

Bezogen auf die Lage (und Anzahl) der Rasterpunkte kann man zwischen dem quasi eindimensionalen Linienraster und einem zweidimensionalen Flächenraster unterscheiden, bei dem die Rasterpunkte in der gesamten Fahrebene angeordnet sind. Solch ein Flächenraster – häufig in Form eines (regelmäßigen) Gitternetzes – bietet im Vergleich zum Linienraster mehr potenzielle Fahrwege für die Fahrzeuge, d. h. zukünftige Änderungen der FTF-Fahrwege sind schneller durchführbar, da die Bodenarbeiten zum Verlegen der neuen/zusätzlichen Rasterpunkte entfallen.

#### Vorteile

1. seit vielen Jahren bekanntes und bewährtes Verfahren
2. Leitspurerstellung preiswerter als bei kontinuierlicher Leitlinie
3. Erstellung/Änderungen der Leitspur im laufenden Betrieb möglich
4. Änderungen der Leitspur mit überschaubarem Aufwand möglich
5. für Outdoor-Anwendungen geeignet

#### Nachteile

1. abhängig von Bodenbeschaffenheit, nicht überall einsetzbar
2. eingeschränkte Flexibilität bzgl. Fahrkursänderungen

### Lasernavigation

Die bisher beschriebenen Verfahren benutzen zur Fahrzeugführung eine so genannte *physische Leitlinie*, d. h. entlang des gewünschten Fahrwegs werden physische Merkmale installiert (farbiger Strich, Metallstreifen, wechselstromdurchflossener Draht, Magnete etc.), die von geeigneter Sensorik am FTF detektiert und verfolgt werden können.

Wenn eine physische Leitlinie nicht eingesetzt werden kann oder soll, gibt es alternativ die so genannte *virtuelle Leitlinie*, die in Form von Software im Fahrzeugrechner vorliegt.

Das bei Indoor-Anwendungen am häufigsten eingesetzte Gerät zum Detektieren und Vermessen von absoluten Referenzpunkten ist ein Laser-Scanner, weshalb man auch von der **Lasernavigation**, genauer **Laser-Triangulation** spricht. Im Fahrzeugrechner des FTF wird das grafische Verfahren ersetzt durch Algebra, d. h. *Lösen eines Gleichungssystems mit drei Unbekannten*. Die drei Unbekannten entsprechen den drei Bewegungsfreiheitsgraden des Fahrzeugs in der Fahrebene, d. h. X-Wert, Y-Wert und Gierwinkel der aktuellen Fahrzeugposition (s.a. Kap. *Fahrwerk, Kinematik*).

#### Das Messsystem besteht aus

- dem mobilen, auf dem Fahrzeug montierten Laserscanner (das „Peilgerät“ zur Winkelmessung). Der Laserscanner besteht aus Laserdiode und Empfänger, die sich in einem motorangetriebenen, rotierenden Kopf befinden, sowie einem hochauflösenden Inkrementalgeber zur Winkelmessung.
- einer praktisch beliebig großen Menge von stationären Referenzpunkten (die „Peilobjekte“). Die Referenzpunkte bestehen aus retro-reflektierendem Material, d. h. das einfallende Laserlicht wird in sich selbst, also zum Sender bzw. in diesem Fall zum unmittelbar daneben montierten Empfänger, reflektiert.

## Vorteile

- absolut messendes Verfahren mit ausreichender Genauigkeit und Messrate für FTF-Anwendungen
- kein Aufwand für Leitspurerstellung
- hohe Flexibilität, Fahrkursänderungen einfach und mit geringem Aufwand möglich

## Nachteile

- Kosten für Lasersensor (Präzisions-Messgerät!) und Auswerterechner
- Kosten für Montage und Vermessung der Reflektormarken
- Boden im Bereich der Fahrwege muss relativ eben sein
- optisches Messverfahren, kann nicht überall eingesetzt werden

## Weitere Navigationsverfahren

Weitere Verfahren mit absoluter Referenzierung:

- Funkpeilung:
  - Für Outdoor-Anwendungen (Outdoor-FTF, Stapler, Van Carrier / Straddle Carrier und Container-Brückenkrane im Hafen, ...):
    1. GPS (Global Positioning System), Genauigkeit ca.  $\pm 10$  m
    2. dGPS (Differential Global Positioning System), Genauigkeit ca.  $\pm 1$  m
    3. dGPS mit Phasenauswertung, Genauigkeit ca.  $\pm 0,1$  m
  - Für Indoor-Anwendungen (Indoor Ortung): [5]
    1. „Indoor-GPS“ Genauigkeit 50-150 mm
    2. GSM-Mikrozellen
    3. WLAN
    4. DECT
    5. GPS-Pseudolites
    6. RFID
    7. Vermessung natürlicher Umgebungsmerkmale, z. B. mittels Kamera oder Laserscanner

## Zusammenfassung

Es stehen verschiedene technische Möglichkeiten zur Verfügung, die es erlauben, die aktuelle Position und Fahrtrichtung eines Fahrerlosen Transportfahrzeugs zu bestimmen. Alle oben beschriebenen Verfahren existieren seit vielen Jahren und werden erfolgreich in der Praxis eingesetzt. Die Verfahren mit virtueller Leitlinie erlauben relativ mehr Flexibilität und erreichen dadurch in einem größeren Maße die weiter oben genannten Vorteile beim Einsatz von FTF, dies allerdings bei höherem Investitionsbedarf.

## Fazit für ein kostengünstiges FTS

1. Die Anwendung von physischen Leitlinien ist sinnvollsten
2. Zur Sicherung wird die Geschwindigkeitbegrenzung, sichere Gehäuse, Sperrbereich angewendet
3. Beim automatischen Abholen von Trageinheit ist ein Vorrichtung zur Ausrichtung von der Trageinheit zu empfehlen

## *Literatur*

- [1] <http://www.lagertechnik.com/fts-transportssysteme.html>
- [2] <http://www.vdi.de/3340.0.html>
- [3] [http://de.wikipedia.org/wiki/Fahrerloses\\_Transportfahrzeug](http://de.wikipedia.org/wiki/Fahrerloses_Transportfahrzeug)
- [4] <http://www.ant-system.de/>
- [5] <http://forschung.unibw-muenchen.de/papers/4lut9jfxv9hd0ig1paaiqrktdwqko.pdf>

## *Mehr Info*

[http://www.nexus.uni-tuebingen.de/de/aktuelles/ereignisse/RingvorlesungSS07/Presentation\\_Schueler.pdf](http://www.nexus.uni-tuebingen.de/de/aktuelles/ereignisse/RingvorlesungSS07/Presentation_Schueler.pdf)

[http://users.informatik.haw-hamburg.de/projects/robotvision/Wissenschaftliche%20Dokumente/Abgeschlossene%20Abschlussarbeiten/NingLiu\\_Masterarbeit.pdf](http://users.informatik.haw-hamburg.de/projects/robotvision/Wissenschaftliche%20Dokumente/Abgeschlossene%20Abschlussarbeiten/NingLiu_Masterarbeit.pdf)