Labor Robotik - Lokomotion

Christoph Zinnen
(Laborkonzept & Manuskript: Prof. Dr. Peter Gemmar)

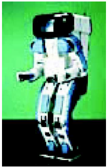
Fachbereich Informatik
Hochschule Trier

WS17/18

Lokomotion - Strategien I

Es existieren inzwischen sehr viele Formen und Strategien zur Lokomotion. Welche Form der Lokomotion verwendet wird, wird durch die **Anwendung und Umgebung** des AMR grundlegend bestimmt:

- Wie schnell muss der AMR sich bewegen?
- Ist die Umgebung glatt oder rauh oder ...?
- Wie bewegt sich der AMR:
  - Rollend (mit Rädern, Ketten oder als Ball)
  - Laufend (Beine / Arme zum Klettern)
  - Springend
  - Schlängelnd
  - Schwimmend
  - Fliegend (Drehflügler, Starrflügler, Ornithopter)
  - Hybrid



Radantrieb I

Der Antrieb dieser Roboter basiert auf der Reibung bzw. dem Bodenkontakt von Rädern (Rollen).
Rollt ein Rad ideal um seine Achse x, dann bewegt sich ein Roboter perfekt in Richtung y senkrecht zu x.
Aufgrund eines seitlichen Rutschen wird aber eine tatsächliche Bewegung in Richtung z erfolgen (siehe Abb. 1).

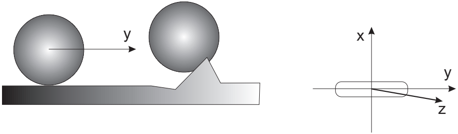


Abbildung: Prinzip Radantrieb

Bei langsamen Geschwindigkeiten kann man nahezu ideale Rollbewegung in Richtung y annehmen.

Bewegungsabschätzung I

Bei Robotern verwendet man zur Erfassung der Bewegung meist die **Odometrie**: Die Bewegungsdistanz ermittelt man aus der gemessenen und akkumulierten Radumdrehung.

- Die Radumdrehung kann man z.B. mittels optischer Drehgeber ziemlich genau erfassen.
- Bei einem freilaufenden Rad mit Radius r und $n \in \mathbf{R}$ ergibt sich die Distanz zu $D = 2n\pi r$.
- In der Praxis zeigt sich, dass aufgrund von Schlupf, Rutschen, schlechter Traktion usw. die Ermittlung von D recht ungenau wird.
- Zusätzliche Störungen wie Unebenheiten, weicher Untergrund, Adhäsion zwischen Rad und Untergrund usw. verschlechtern die Messergebnisse.

Bewegungszentrum

Hat ein Roboter mehrere Räder und drehen die sich alle in Richtung ihrer eigenen *y*-Achse, dann muss der Roboter sich augenblicklich um einen bestimmten Punkt drehen: Zentrum der Rotation (*ICR*) od. Zentrum der Kurve (*ICC*)(Abb. 2).

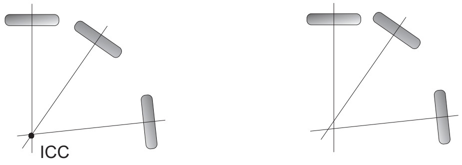


Abbildung: ICC / ICR Prinzip; links ein ICC, rechts kein gemeinsamer.

Für die Bewegung eines Roboters muss also gelten:

- Damit ein Roboter sich rollend (nicht rutschend etc.) bewegen kann, muss ein ICC bzw. ICR existieren, um den der Roboter einen Kreiskurs fährt.
- Wenn alle Räder Bodenkontakt haben, darf nur ein ICC (für alle Räder) existieren.
- Jedes Rad hat dann seine eigene Geschwindigkeit und Richtung um den ICC, damit der Roboter insgesamt eine klare Rotation um den ICC ausführt.
- Manche Roboter besitzen Räder, die keinen Anteil an der Lenkung des Roboters haben (z.B. Castor-Rad des Pioneer 2DX); diese Räder können für die Kinematik ignoriert werden.

Roboterpose

Ein Roboter auf einer Ebene hat drei Freiheitsgrade:

- Seine Position (x, y) und seine Orientierung θ; dieses **Triple** (x, y, θ) nennt man Pose des Roboters.
- Um seine Pose zu ändern, muss ein Roboter oftmals *komplexe Manöver* durchführen (denken Sie z.B. an das rückwärts Einparken mit einem Auto).
- Kann ein Roboter seine Pose nicht beliebig ändern, dann besitzt er eine sogen. **nicht-holonomische Einschränkung**.

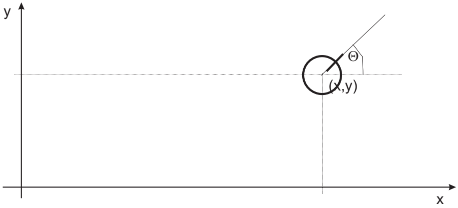


Abbildung: Roboter Pose

Differentialantrieb I

Der Differenzial-Antrieb ist ein einfacher und wirkungsvoller Antrieb für terrestrische AMRs (Abb. 4).

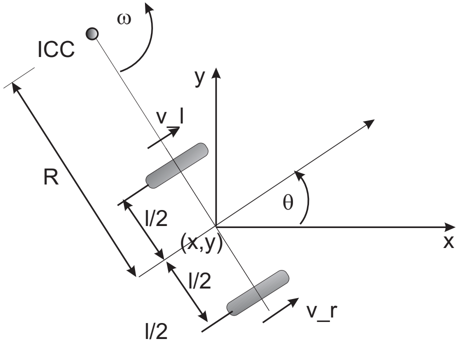


Abbildung: Kinematik des Differenzial-Antriebs

Differentialantrieb II

- Für eine Rollbewegung muss der Roboter sich um einen ICC bewegen, der auf der verlängerten Achse der beiden Räder liegen muss.
- Dabei drehen sich die beiden Räder mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit ω um den ICC. Also gilt:

$$\begin{aligned} \omega(R+l/2) &= v_r \\ \omega(R-l/2) &= v_l \end{aligned} \quad (1)$$

  Hierbei ist l der Achsabstand der beiden Räder, v_r, v_l sind die Umdrehungsgeschwindigkeiten des rechten und linken Rades.
- Die Geschwindigkeiten v_r, v_l, ω sowie der Radius R sind dynamische Größen (Funktionen der Zeit t). Für einen bestimmten Zeitpunkt t erhält man:

$$R = \frac{l(v_l + v_r)}{2(v_r - v_l)}, \omega = \frac{v_r - v_l}{l} \quad (2)$$

Spezialfälle

Einige Spezialfälle sind festzustellen:

$v_r = v_l$: Der Roboter fährt eine gerade Linie und $R \to \infty$.

$v_r = -v_l$: Der Roboter rotiert um seinen Achsmittelpunkt und $R = 0$ (ICC = Achsmittelpunkt).

$v_r \neq v_l$: Der Roboter fährt eine (kurvige) Trajektorie um den Punkt ICC im Abstand R vom Achsmittelpunkt des Roboters. Hierdurch ändern sich Position (x, y) und Orientierung θ des Roboters.

Vorwärtskinematik I

Es wird die Pose bestimmt, die ein Roboter aufgrund seiner Dynamik als nächstes erreicht:

- Ein Roboter habe die Pose (x, y, θ);
- durch Veränderung von v_r, v_l kann er eine neue Pose erreichen; die erreichbare Pose wird durch die sogen. Vorwärtskinematik beschrieben.
- v_r, v_l und somit auch ω und R sind Funktionen der Zeit t;
- hat ein Roboter die Pose $(x, y, \theta)(t)$, und den ICC zu:

$$ICC = (x - Rsin\theta, y + Rcos\theta)^T \quad , \tag{3}$$

- dann ergibt sich die Pose (x', y', θ') des Roboters zum Zeitpunkt $t + \delta t$ zu:

Vorwärtskinematik II

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos(\omega\delta t) & -sin(\omega\delta t) & 0 \\ sin(\omega\delta t) & cos(\omega\delta t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - ICC_x \\ y - ICC_y \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ICC_x \\ ICC_y \\ \omega\delta t \end{bmatrix} \quad (4)$$

Die Position, die ein Roboter erreicht, kann durch Integration von Gl. 4 ermittelt werden; für den Differenzial-Antrieb erhält man:

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{1}{2}\int_0^t (v_r(t) + v_l(t)) cos\theta(t) dt \quad (5) \\ y(t) &= \frac{1}{2}\int_0^t (v_r(t) + v_l(t)) sin\theta(t) dt \\ \theta(t) &= \frac{1}{l}\int_0^t (v_r(t) - v_l(t)) dt \end{aligned}$$

Inverse Kinematik I

Im praktischen Einsatz ist oftmals die Frage zu beantworten:

> *Wie müssen die Kontrollparameter ($v_r(t), v_l(t)$) gewählt werden, damit der Roboter eine bestimme globale Position/Pose erreicht oder eine bestimmte Trajektorie abfährt (inverse Kinematik)?*

- **Inverse Kinematik**: Invertierung der Beziehungen zwischen Kontrollparametern und dem gewünschten Verhalten.

Inverse Kinematik II

- Für den Differenzial-Antrieb sind die Gleichungen 5 zu integrieren; dabei lässt sich die Geschwindigkeit des Roboters (Kontrollgrößen v_r, v_l) nicht so bestimmen, dass eine beliebige Pose erreicht werden kann. Dies nennt man eine:
- **Nicht-holonomische Einschränkung** (*nonholonomic constraint*): Die Gleichungen (5) ergeben Einschränkungen für die Kontrollgröße *Geschwindigkeit*, die sich nicht in eine Einschränkung der Position integriert lassen (bestimmte Posen können nicht erreicht werden, eine allgemeine Lösung dieses Problems ist sehr schwierig).