

Positionserkennung mittels Odometrie und GPS

**angewandt an einen Rasenmäherroboter als
Vorraussetzung für eine erfolgreiche Navigation**

Erklärung der Funktionsweise

In diesem Dokument soll die prinzipielle Vorgehensweise bei der Positionsbestimmung des Rasenmäherroboters erklärt werden.



http://members.aon.at/wstocke6/page_1_1.html

Erklärung:

Alle notwendigen mathematischen Funktionen entsprechen allgemeinem Wissen über Vektoren, Koordinatentransformation und Winkelfunktionen. An einer Stelle, die markiert ist, wurde die mathematische Herleitung aus dem Internet übernommen und für dieses Projekt angepasst. Alle anderen Funktionen, Schlussfolgerungen, Erkenntnisse, Fehler, etc basieren auf eigenen Herleitungen, Überlegungen, Skizzen, und geometrischen Zeichnungen zur Verifikation.

Für die Richtigkeit wird keine Haftung übernommen.

Freigegeben für private Nutzung.

© 2010 DI (FH) Werner Stocker
werner.stocker@gmx.at

Einleitung:

Aufgebaut ist die Positionserkennung auf die Odometrie, und zwar weil diese immer verfügbar ist. Da sie aber recht ungenau ist, müssen die daraus erhaltenen Daten wenn möglich korrigiert werden. Das ist z.B. mit GPS möglich, ebenso mit Baken, oder aber auch mit Hilfe von festen Markierungen wie der Begrenzungsschleife.

Der hierarchische Aufbau ist daher:

Odometrie
Baken
GPS

Wobei in der Odometrie die Korrektur mittels der Begrenzungsschleife enthalten ist.

Eine Festlegung wurde getroffen indem die Süd-West Ecke des Grundstücks als Nullpunkt definiert wird. West-Ost entspricht in den Formeln der X-Achse, Süd-Nord der Y-Achse.

Alle Winkel werden in Radiant [rad] angegeben und berechnet. Die Zählrichtung entspricht dabei dem Kompassgrad:

Nord = 0 (0°), Ost = $\pi/2$ (90°), Süd = π (180°), West = $3 * \pi / 4$ (270°)

Verwendet werden folgende Messmittel:

Wegmessung: 12 Impulse pro Radumdrehung

Richtungserkennung: Kompass CPMS03

GPS: Navilock 507 E TTL

Odometrie:

Die einfachste Positionsbestimmung erfolgt über die Odometrie, dh das Messen des zurückgelegten Weges und daraus die Berechnung der aktuellen Position. Dazu muss erst die Startposition bekannt sein.

Die Genauigkeit der Berechnung ist davon abhängig wie genau die Wegmessung erfolgen kann. zB bei einem Rad von 180mm Durchmesser und 12 Impulsen pro Umdrehung entspricht 1 Impuls einer Wegstrecke von 47mm. Damit hat man eine entsprechende Ungenauigkeit bei den folgenden Berechnungen. Mit einer besseren Wegmessung kann man die Genauigkeit erhöhen, war in der Praxis aber nicht notwendig.

Für gerade Strecken und leichte Kurven ist die Wegberechnung einfach¹:

$$\begin{aligned} \text{Weg} &= (\text{weg_links} + \text{weg_rechts}) / 2 \\ \text{Drehwinkel} &= (\text{weg_links} - \text{weg_rechts}) / \text{Radstand} \quad [\text{rad}] \end{aligned}$$

Radstand= Abstand der beiden angetriebenen Rädern.

Position seit letzter Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pos_x_temp} &= \text{weg} * \sin(\text{Drehwinkel}) \\ \text{pos_y_temp} &= \text{weg} * \cos(\text{Drehwinkel}) \end{aligned}$$

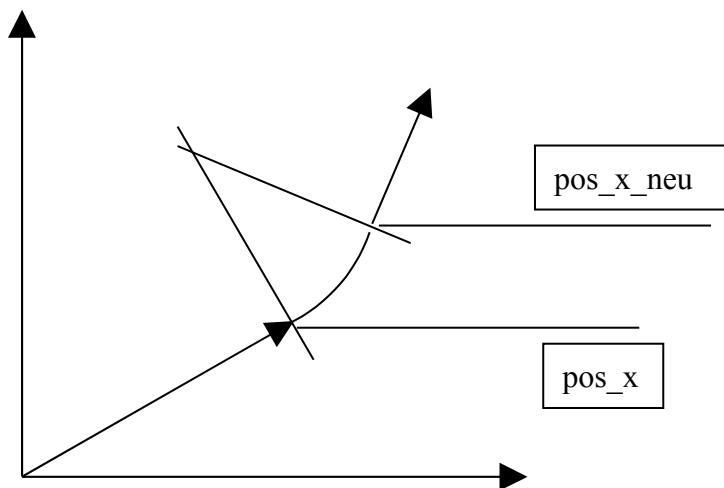
Absolute Position:

$$\begin{aligned} \text{pos_x} &= \text{pos_x} + \text{pos_x_temp} \\ \text{pos_y} &= \text{pos_y} + \text{pos_y_temp} \\ \text{Richtung} &= \text{Richtung} + \text{Drehwinkel} \end{aligned}$$

Für Drehungen und enge Kurven ist diese Formel nicht geeignet. Mein Roboter dreht indem das innere Rad steht und nur das äußere angetrieben wird.

Hier muss die Berechnung erweitert werden. Zuerst wird die Drehung der Position um den Kurvenwinkel berechnet. Danach muss mit der so erhaltenen Position um den Drehpunkt in Hinblick auf die letzte Fahrtrichtung eine Koordinatentransformation durchgeführt werden um die absolute Position zu bestimmen.

¹ <http://www.cs.hs-rm.de/~linn/vpdv07/asuro3/asuro-website/files/position.html>



1. Schritt: neue Koordinaten nach Drehung bezogen auf internes Koordinatensystem(Roboter):

Linkskurve:

$$\begin{aligned} \text{pos_x_temp} &= \text{pos_x} - (\text{Radstand}/2) * \cos(\text{Richtung}) \\ \text{pos_y_temp} &= \text{pos_y} + (\text{Radstand}/2) * \sin(\text{Richtung}) \end{aligned}$$

Rechtskurve:

$$\begin{aligned} \text{pos_x_temp} &= \text{pos_x} + (\text{Radstand}/2) * \cos(\text{Richtung}) \\ \text{pos_y_temp} &= \text{pos_y} - (\text{Radstand}/2) * \sin(\text{Richtung}) \end{aligned}$$

Drehwinkel: lässt sich aus den Radumdrehungen berechnen

2. Schritt: Transformation in globales Koordinatensystem (Grundstück):

$$\text{pos_x_neu} = \text{pos_x_temp} + (\text{pos_x} - \text{pos_x_temp}) * \cos(\text{Drehwinkel}) - (\text{pos_y} - \text{pos_y_temp}) * \sin(\text{Drehwinkel})$$

$$\text{pos_y_neu} = \text{pos_y_temp} + (\text{pos_y} - \text{pos_y_temp}) * \cos(\text{Drehwinkel}) + (\text{pos_x} - \text{pos_x_temp}) * \sin(\text{Drehwinkel})$$

$$\text{Richtung} = \text{Richtung} + \text{Drehwinkel}$$

GPS:

Man denkt eigentlich das GPS die perfekte Lösung für alle Navigationsprobleme bietet, doch die Tücke liegt im Detail. Erstens ist GPS für so eine Aufgabenstellung nicht genau genug. Man erreicht bei optimalen Empfangsbedingungen eine Genauigkeit von +/- 2.5m. Bei schlechten Bedingungen, z.B. nahe Hauswänden, vor allem auf der Nordseite, liegt der Fehler schon bei +/- 5m. Da der EGNOS Satellit ziemlich genau im Süden stationiert ist, ist der Empfang des Korrektursignals recht eingeschränkt, und das hat wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit der angegebenen Position.

Verwendet werden folgende GPS NMEA Protokolle: GGA und GLL

GGA:

Uhrzeit [hhmmss]

Breitengrad, davon nur die Nachkommastellen der Minuten [ddmm.mmmm]

Längengrad, davon nur die Nachkommastellen der Minuten [ddmm.mmmm]

Anzahl benutzter Satelliten

HDOP

GLL:

Status: A = Daten gültig, V = Daten ungültig

Die Umrechnung der GPS Position auf die Grundstückskoordinaten erfolgt einfach:

Es ist ausreichend nur die Nachkommastellen zu betrachten, schließlich navigiert man auf einem stark eingeschränkten Bereich.

Die Süd-West Ecke des Grundstückes wird als Nullpunkt angenommen, dazu kann man dann mit dessen Koordinaten die Werte ermitteln die vom Messwert abgezogen werden müssen damit das Ergebnis 0 ist.

Die Umrechnung in Meter, bzw. Zentimeter erfolgt indem man aus den GPS Koordinaten Süd-West zu Nord-West den Abstand bestimmt und daraus mit der bekannten Grundstückslänge in Meter einen Faktor errechnet mit dem man die GPS Werte multipliziert um den Abstand zum Nullpunkt in Meter zu erhalten. Analog dazu in Süd-West zu Süd-Ost Richtung.

Diese Umrechnung ist natürlich stark vereinfacht und Berücksichtigt in keiner Weise die korrekte Umrechnung vom GPS Ellipsoid zum kartesischen Koordinatensystem, aber auf einem so beschränkten Bereich angewandt ist der Fehler vernachlässigbar. Besonders wenn man die Ungenauigkeit des GPS an sich in Betracht zieht.

Baken:

Bieten eine zusätzliche Referenz zu GPS Daten, derzeit nicht umgesetzt.

Funktionsweise der Positionserkennung

Die Basis dazu bildet die Odometrie, da theoretisch allein damit die Position bestimmt werden kann sofern die Ausgangsposition bekannt ist.

Praktisch funktioniert sie nur beschränkt, durchdrehende oder rutschende Räder und kleinste Bodenunebenheiten, die vor allem bei einem Roboter der im Freien arbeitet immer vorkommen, beeinträchtigen die Genauigkeit.

Aber trotzdem ist sie unerlässlich, alle anderen Systeme können Empfangsprobleme haben, und dann kann der Roboter immer noch mittels Odometrie weiter fahren.

Also geht es in weiterer Folge um Möglichkeiten die Odometrie zu verbessern. Dass die Räder eine möglichst gute Bodenhaftung haben soll als vorhanden angesehen werden.

Eine einfache Möglichkeit die Fahrtrichtung exakter zu bestimmen ist die Verwendung eines Kompasses. In diesem Projekt wird der CPMS03 verwendet. Da dieser nur in 2 Achsen messen kann reagiert er sehr empfindlich auf Neigungen und hat entsprechend verfälschte Ergebnisse. Trotzdem ist es eine Verbesserung der Berechnung aus der Odometrie.

Ein 3-Achs Kompass ist aber vorzuziehen.

Die absolute Position kann mit GPS verbessert werden. Dabei gelten aber die Einschränkungen die vom GPS System her kommen: die geringe Genauigkeit, und verfälschte Ergebnisse durch Messfehler.

Mit dem ersteren kommt man zurecht, wenn ein maximale Genauigkeit von +/- 2.5m angegeben ist, macht es nur Sinn die Odometrie zu korrigieren wenn die ermittelte Position um mehr als 2.5m von den GPS Daten abweicht. Dazu muss man auch voraussetzen dass die GPS Daten entsprechend genau sind. Einmal kann man das in etwa aus dem HDOP Wert ableiten, je geringer desto höher ist die Wahrscheinlichkeit dass der Wert korrekt ist. Als weitere Faustregel kann man auch annehmen dass die Genauigkeit sich verbessert je mehr Satelliten zur Positionsberechnung verwendet werden.

Ein Problem bleiben die verfälschten Messergebnisse, zB direkt neben Hauswänden wo die Satellitensignale abgeschwächt, oder von anderen Bauten reflektiert werden. So kann es passieren dass eine Position als gut eingestuft wird, durch die Reflexionen sie aber tatsächlich weit von der Realität abweicht.

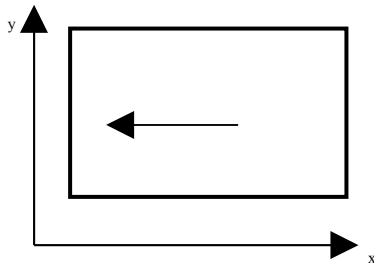
In so einem Fall ist das GPS ein großer Nachteil, während es in sicheren Empfangslagen einen enormen Vorteil bietet.

Ohne diesen Nachteil wäre die Verwendung von Baken, die in diesem Projekt aber noch nicht vorgesehen sind.

Verbesserung der Genauigkeit:

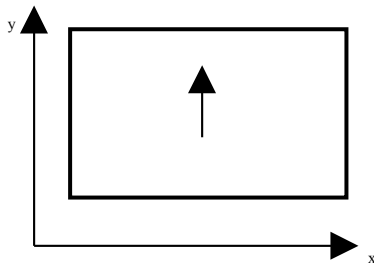
Eine weitere Möglichkeit die Genauigkeit zu erhöhen bietet sich bei Rasenmäherrobotern durch die Begrenzungsschleife an. Damit kann man ohne Probleme in X oder Y Richtung Positionen absolut bestimmen.

Beispiel: Fahrtrichtung Westen



Wenn Schleifenkontakt besteht muss $x=0$ sein, über y kann keine Aussage getroffen werden.

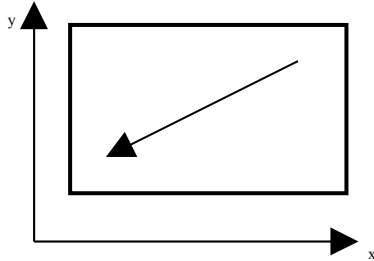
Beispiel: Fahrtrichtung Norden



Wenn Schleifenkontakt besteht muss $y=\max$ sein, über x kann keine Aussage getroffen werden.

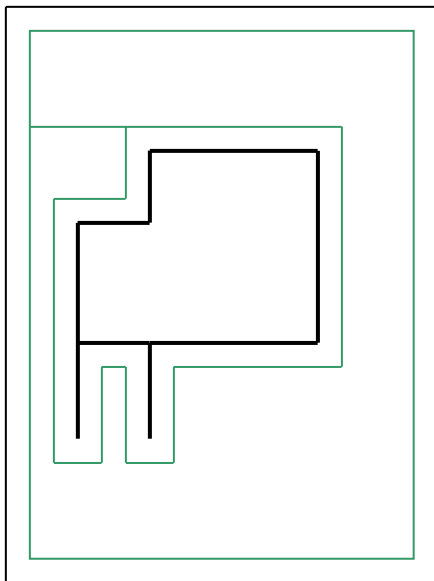
Erweiterung:

Man kann dieses System noch weiter verbessern wenn man mehrere Schleifensensoren hat, zumindest je einen links, bzw. rechts vorne am Roboter. Dann kann man auch in folgender Situation Absolutwerte bestimmen:



- 1) Wenn der Sensor links vorne anspricht muss $y=0$ sein, über x kann keine Aussage getroffen werden.
- 2) Wenn der Sensor rechts vorne anspricht muss $x=0$ sein, über y kann keine Aussage getroffen werden.

Diese Beispiele sind für die Erklärung vereinfacht, aber es funktioniert auch bei Begrenzungsschleifen wie unten dargestellt, mit entsprechendem Aufwand für die Programmierung.



Die Erkennung und Korrektur erfolgt sehr zuverlässig, Probleme kann das GPS verursachen wenn es in schlechten Empfangslagen eine gerade korrekt erkannte Position mit falschen Daten „verbessert“.