

Dokumentation für das Programm BahnPlaner

Yi Wang und Bin He

12. Mai 2004

(Praktikum im Schwerpunkt Technische Informatik)

Zusammenfassung

Zur Steuerung der Fußballroboter wird ein Programm benötigt, das die Soll-Bahn für ein Roboterfahrzeug aus einer Menge vorgegebener Tupel (Zeitpunkt, Bahnpunkt, Vektor für die Sollgeschwindigkeit) berechnet, in Steuerbefehle für das Fahrzeug konvertiert, die Ist-Bahn aus den Geberwerten der Fahrzeigräder rekonstruiert und mit der Sollbahn vergleicht. Das Programm soll unter Linux laufen.

1 Einleitung

1.1 Programmierumgebung

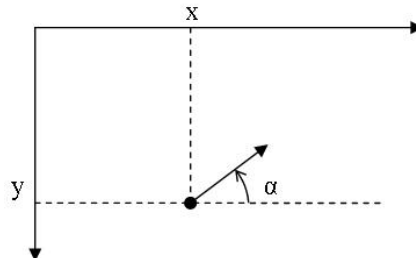
Das Programm wurde in C++ mit der Klassenbibliothek QT 3.2.1 programmiert. QT, entwickelt von der norwegischen Firma Trolltech (<http://www.trolltech.com>), ist eine einfache und portable GUI Bibliothek. Mit QT entwickelte Programme sind ohne zusätzlichen Portierungsaufwand sowohl unter allen Unix- als auch unter allen Windows-Systemen lauffähig. Das Programm muss lediglich mit einem entsprechenden Compiler (Visual C++ oder Borland C++ unter Windows-Systemen oder gcc unter Linux) kompiliert und gelinkt werden.

Um die einfache Portierbarkeit zu erhalten, wurden die wichtigen Algorithmen in Standard-C++ programmiert.

1.2 Konzepte

Um das Programm zu erklären sind folgende Begriffe wichtig:

Vector: (**double x**, **double y**, **double α**) Die Variablen (x, y) beschreiben die Position des Fahrzeugs in einem Kartesischen Koordinatensystem, α beschreibt die Richtung, in der sich das Fahrzeug bewegt.



Bahn Eine Bahn (Soll- oder Ist-Bahn) beschreibt den Weg, entlang dem sich das Fahrzeug bewegt. Die Ist-Bahn wird im weiteren auch als Track bezeichnet.

Design-Punkt Das sind die Punkte, die zur Berechnung der Soll-Bahn vorgegeben werden. Ein Design-Punkt besteht aus einem Vector $\text{vect}(x, y, \alpha)$, der Zeit t , zu der der Punkt durchfahren werden soll, und der Geschwindigkeit, mit der der Punkt zu diesem Zeitpunkt zu durchfahren ist.

Bahn-Strecke Eine Bahn wird durch eine Menge von Design-Punkten vorgegeben. Die Bahn zwischen zwei benachbarten Design-Punkten wird aus zwei Kreisbögen und einer Strecke zusammengesetzt, die glatt miteinander verbunden sind. Die Strecke befindet sich immer zwischen den Kreisbögen. Um den Algorithmus einfach zu halten, besitzen alle Bögen denselben Radius. Dieser Radius soll so klein wie möglich sein, um die Länge der Bahn zu minimieren.

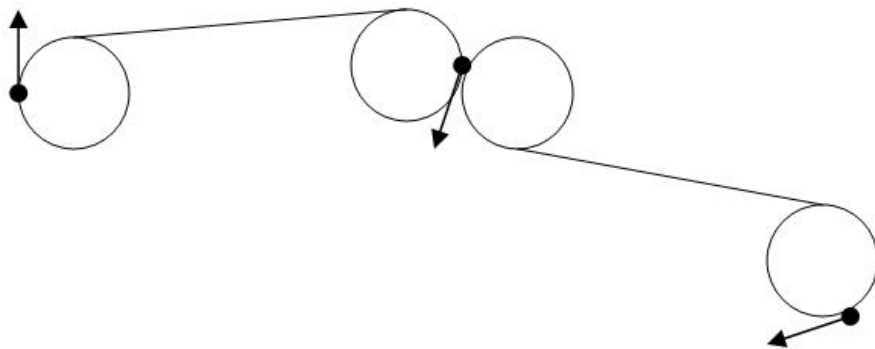


Abbildung 1: Eine Bahn mit 3 Design-Punkten und zwei Bahnabschnitten

2 Funktion und Bedienung

2.1 Berechnung der Soll-Bahn

Wie bereits oben erwähnt, wird die Soll-Bahn durch eine Menge von Design-Punkten vorgegeben. Der zugehörige Vector (Position und Richtung) kann sowohl mit der Maus virtuell als auch mit der Tastatur in einem Textfeld eingegeben werden. Zeitpunkt und Geschwindigkeit müssen stets in einem Textfeld eingegeben werden. Sobald mehr als zwei Design-Punkte vorgegeben sind, wird eine geeignete Soll-Bahn gezeichnet. Wie in einem normalen Bildverarbeitungsprogramm kann die Ansicht der Bahn vergrößert (zoom in), verkleinert (zoom out) und verschoben (drag) werden. Die Berechnung der Soll-Bahn ist der wichtigste Bestandteil in diesem Programm.

2.2 Speichern und Einlesen einer Soll-Bahn

Eine entworfene Soll-Bahn kann durch ein Klicken auf den Menüpunkt "SaveBahn" in eine Datei gespeichert werden, um sie später wieder abzurufen, und zwar durch ein Klick auf den Menüpunkt "LoadBahn". Mit einem quasi XML-Format ist die Datei mit der Sollbahn auch ohne spezielles Programm einfach zu lesen und zu verarbeiten. Nachfolgend ein Beispiel für eine Bahnbeschreibung:

```
<BahnPlan>
<BahnDesignPt Speed="0" id="0" time="0" >
<Vect x="177" y="-88" alpha="4.25357" />
</BahnDesignPt>
```

```

<BahnDesignPt Speed="10" id="1" time="96" >
<Vect x="-157" y="794" alpha="0.819867" />
</BahnDesignPt>
<BahnDesignPt Speed="30" id="2" time="140" >
<Vect x="1137" y="834" alpha="4.12831" />
</BahnDesignPt>
<BahnDesignPt Speed="20" id="3" time="250" >
<Vect x="705" y="-18" alpha="1.65679" />
</BahnDesignPt>
<BahnDesignPt Speed="0" id="4" time="300" >
<Vect x="11" y="564" alpha="5.16384" />
</BahnDesignPt>
</BahnPlan>

```

2.3 Exportieren eine Kommandoliste

Die ausgerechnete Soll-Bahn kann auch in Form einer Kommandoliste exportiert werden. Es gibt zwei Typen von Kommandos:

- Lenkkommando: \$Lttttlllll (tttt - Zeitstempel in Millisekunden, 4-stellige hexadezimale Zahl ; llll - Lenkwert, 4-stellige hexadezimale Zahl zwischen 0x1800 bis 0x2100)
- Vorschubskommando: \$Vttttvvvv (tttt - Zeitstempel in Millisekunden, 4-stellige hexadezimale Zahl; vvvv - Vorschubswert, 4-stellige Hex hexadezimale Zahl)

Jedes Kommando endet mit 0d0a (Return). Nachfolgend ein Beispiel:

```

$V00000400
$L000032dc
$L00042d00
$V005e03e8
$L005e32dc
$L006032dc
$V00610c6a
$L00612d00
$L008a32dc
$L008c2d00
$V008b0bb8

```

2.4 Importieren und Zeichnen einer Ist-Bahn

Ein Klicken auf den Menüpunkt "Import" führt zum Import einer Ist-Bahn. Nach dem Selektieren der richtigen Datei wird die Ist-Bahn auf dem Bildschirm gezeichnet. Der Startpunkt wird, wenn eine Soll-Bahn existiert, gleich dem Startpunkt der Soll-Bahn gesetzt. Sonst erhält der Startpunkt den Defaultwert (0,0,0).

Die Beschreibung der Ist-Bahn besteht aus einer Reihe von Kommandos der Form \$GttttRV, die jeweils mit Newline (0d0a) enden. Die einzelnen Kommandobestandteile haben folgende Bedeutung:

tttt Zeitstempel in Millisekunden als 4-stellige hexadezimale Zahl

R Rad, das sich um einen incrementellen Geberschritt weitergedreht hat (L - linkes Rad; R - rechtes Rad)

V Drehrichtung des Rades, das sich um einen incrementellen Geberschritt weitergedreht hat (V - vorwärts; H - rückwärts)

2.5 Festlegung der Parametern

Folgende Programmparameter können vom Benutzer festgelegt werden:

Parameter	Beschreibung
MinR	Radius der Bögen (immer gleich)
PlusA	max. positive Beschleunigung des Fahrzeuges
NegA	max. negative Beschleunigung (Bremsbeschleunigung) des Fahrzeuges
MaxSpeed	max. Geschwindigkeit
SpeedFact	Geschwindigkeitsfaktor
MinSpeedHold	Weglänge, die das Fahrzeug mit einer bestimmten Geschwindigkeit mindestens fahren muss

3 Algorithmen

3.1 Berechnung des Soll-Trajektors

Ein Trajektor ist eine Bahn mit Geschwindigkeits- und Zeitangaben.

3.1.1 Berechnung der Bahn

Die Berechnung der Bahn erfolgt nacheinander für jedes Paar aufeinanderfolgender Design-Punkte. Jeder Bahnabschnitt zwischen zwei Punkten wird aus einer Strecke und zwei Kreisbögen mit festem Radius zusammengesetzt.

Durch einen Design-Punkt können zwei Kreise gelegt werden: ein rechter und ein linker (Abb. 2). Zuerst muss entschieden werden, welcher der beiden Kreisbögen als Bahnabschnitt verwendet wird. Das erfolgt nach den Regeln:

- Die beiden Kreise dürfen sich nicht überlappen.
- Der Abstand zwischen den Kreisen soll möglichst kurz sein.

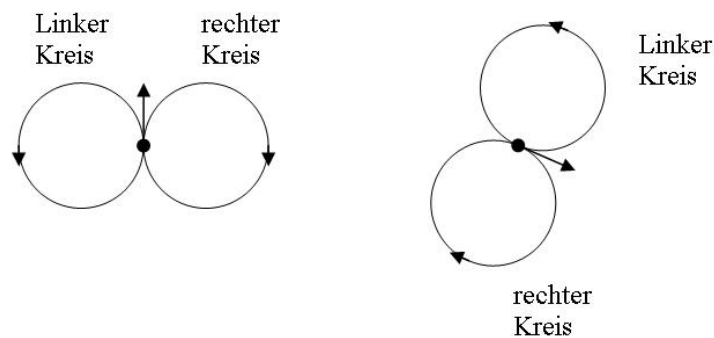


Abbildung 2: Mögliche Kreisbahnen für benachbarte Design-Punkte

Nach Auswahl der richtigen Kreise folgt die Konstruktion der verbindenden Tangenten nach folgenden Regeln:

- Wenn beide Kreise linke Kreise bzw. rechte Kreise sind, ist die äußere Tangente zu berechnen.
- Wenn ein Kreis ein linker und der andere ein rechter Kreis ist, ist die innere Tangente zu berechnen (Abb. 3).

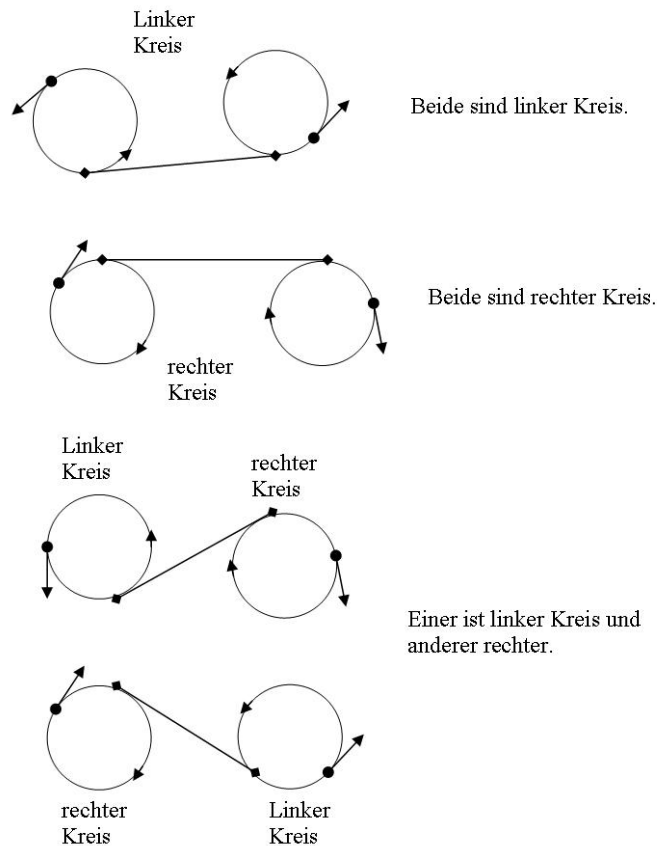


Abbildung 3: Auswahl der Tangenten

3.1.2 Festlegen der Geschwindigkeiten

Nach der Berechnung der Soll-Bahn ist auch deren Länge bekannt. Aus der Bahnlänge und den Zeitpunkten, zu denen die Design-Punkte passiert werden sollen, wird unter Berücksichtigung der Maximalwerte für die Geschwindigkeit und die Beschleunigung der Verlauf der Sollgeschwindigkeit berechnet. Die Bahn zwischen benachbarten Design-Punkten wird dazu in Bahnabschnitten unterteilt mit:

- konstanter Geschwindigkeit
- konstanter positiver Beschleunigung
- konstanter Bremsbeschleunigung.

Es wird ein trapezförmiger Geschwindigkeitsverlauf zugrunde gelegt (Abb. 4). Im Fall, dass die Anfangs- bzw. die Endgeschwindigkeit gleich Null ist, wird die Zeit t_0 bzw. t_4 gleich Null gesetzt. Die übrigen Parameter ergeben sich aus der Geschwindigkeit im Anfangs-Design-Punkt, der Geschwindigkeit im End-Design-Punkt, des Gesamtweges, der Zeitdifferenz zwischen dem Passieren der Design-Punkte und der Gesamtstrecke.

Der maximale Weg zwischen benachbarten Design-Punkten ergibt sich nach dem Modell in Abb. 5 und der minimale Weg nach dem Modell in Abb. 6.

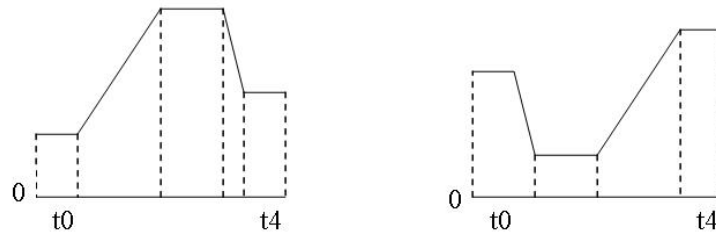


Abbildung 4: Trapezförmiger Geschwindigkeitsverlauf

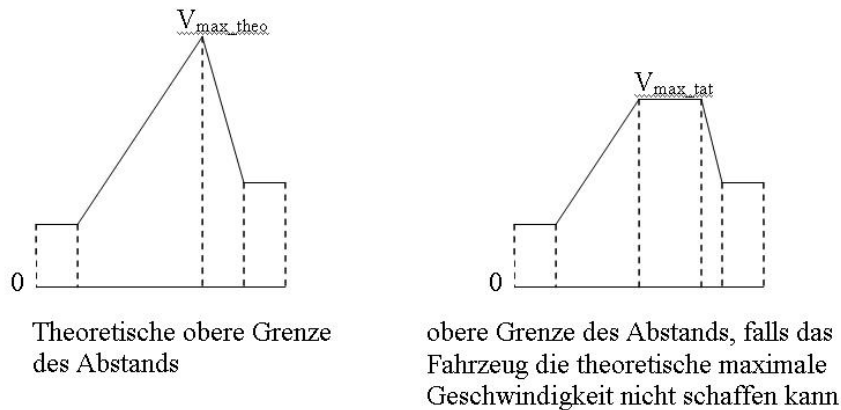


Abbildung 5:

3.2 Berechnung der Ist-Bahn

An den beiden Vordrädern der Fahrzeuge sind inkrementelle Wegmesssysteme eingebaut, die den abgefahrenen Weg der beiden Räder als Vielfache einer Weglänge `step` messen. Aus der Folge der Geberwerte wird der Ist-Trajektor berechnet, d.h. eine Folge von Datensätzen jeweils mit den Informationen: Zeitpunkt, Position und Bewegungsrichtung.

Für jedes Gebersignal wird ein Datensatz generiert, der aus einem Zeitstempel t und der seit dem letzten Geberwert zurückgelegten Schrittzahl besteht:

$$(l, r) \text{ mit } l, r \in \{-1, 0, 1\}$$

(l - Schrittzahl des linken Rades; r - Schrittzahl des rechten Rades. Dabei ist festgelegt, dass sich bei jedem Gebersignal genau ein Rad um einen Schritt bewegt, d.h. für (l, r) gibt es nur die 4 Kombinationen $(0, 1)$, $(0, -1)$, $(1, 0)$, $(-1, 0)$.

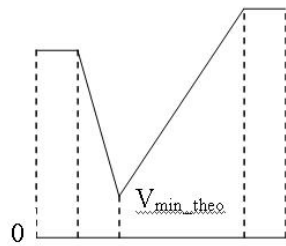
Die Achsenlänge und die Schrittlänge sind bekannt. Jedes Gebersignal dreht die Achse um einen betragsmäßig konstanten Winkel Ω und verschiebt den Achsenmittelpunkt um einen konstanten Betrag.

4 Programmstruktur

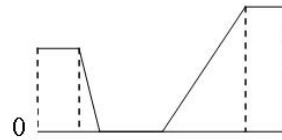
In den Dateien `form1.h`, `form1.cpp` und `moc_form1.cpp` befinden sich die Klassen:

MainWindow Hauptfenster, Benutzerschnittstelle.

ViewerWidget Zeichnen der Bahnen.



Theoretische untere Grenze des Abstands



untere Grenze des Abstands, falls die theoretische minimale Geschwindigkeit kleiner als Null ist

Abbildung 6:

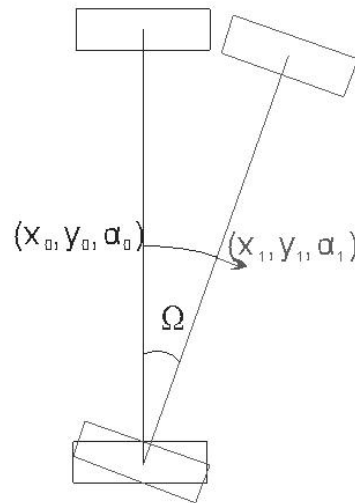


Abbildung 7:

SpeedWidget Zeichnen der Geschwindigkeitsverläufe.

Die übrigen Klassen sind in gleichnamigen Dateien untergebracht:

BahnDesign Verwaltung der Sollbahn.

CoordTrans Verwaltung der Dienste "Zoom In", "Zoom Out" und "Move" für den Bahnviewer.

SpeedList Verwaltung einer Liste von Geschwindigkeiten mit Zeitstempel.

CtlPointList Verwaltung einer Liste von Kommandos mit Zeitstempel.

Track Verwaltung der Ist-Bahn in Form einer Liste von Positionen mit Zeitstempel.