

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 670/2013
(22) Anmeldetag: 29.08.2013
(43) Veröffentlicht am: 15.02.2015

(51) Int. Cl.: **B62D 15/02** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2012080044 A1
EP 2316709 A2
DE 102012211721 A1
WO 2004050458 A1
DE 102009040373 A1
EP 2258606 A2
WO 2013053514 A1
DE 19940007 A1
DE 102007009745 A1
WO 2008055567 A1
DE 102008027689 A1
DE 102005006966 A1
EP 1332948 A1

(71) Patentanmelder:
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
1040 WIEN (AT)

(72) Erfinder:
Zips Patrik
1020 Wien (AT)
Böck Martin
2620 Neunkirchen (AT)
Kugi Andreas
1200 Wien (AT)

(74) Vertreter:
PATENTANWÄLTE PUCHBERGER, BERGER
& PARTNER
WIEN

(54) **Verfahren zur Steuerung eines Fahrzeuges**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Fahrzeuges (1) um Hindernisse (7), ausgehend von einer Startposition (2) in eine Endposition (3), wobei das Fahrzeug entlang eines Pfades gesteuert wird, wobei der Pfad lineare Teilpfade (4) umfasst, die definiert sind durch eine Schrittweite η und einen Lenkwinkel δ , wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

- a) Bestimmung eines maximalen Lenkwinkelbereichs sowie eines maximalen und minimalen Schrittweitenbereichs;
- b) Bestimmung der aktuellen Distanz e_P zur Endposition (3) und des Zielwinkels θ_G sowie der Winkeldifferenz e_θ des aktuellen Fahrzeugwinkels zum Zielwinkel;
- c) Durchführung eines Optimierungsverfahrens zur Ermittlung eines Teilpfades (4) durch Minimierung des Werts einer dem Teilpfad zugeordneten Kostenfunktion I_0 , wobei
 - (i) die Kostenfunktion die aktuelle Distanz e_P zur Endposition (3) und die aktuelle Winkeldifferenz e_θ zum Zielwinkel als voneinander unabhängig gewichtete Optimierungsvariablen umfasst und
 - (ii) als Randbedingungen der maximale Lenkwinkelbereich, der maximale und minimale Schrittweitenbereich sowie eine Kollisionsprüfung vorgesehen sind;
- d) Bestimmung der neuen Position durch Hinzufügen des ermittelten Teilpfades (4) zur aktuellen Position;
- e) Wiederholung der Schritte (b) bis (d) bis die Endposition (3) mit hinreichender Genauigkeit erreicht wird.

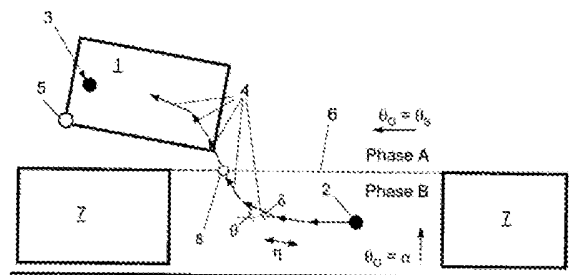
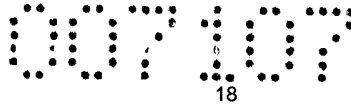


Fig. 2b

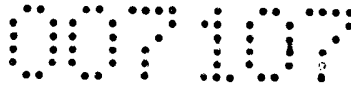


Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Fahrzeugs (1) um Hindernisse (7), ausgehend von einer Startposition (2) in eine Endposition (3), wobei das Fahrzeug entlang eines Pfades gesteuert wird, wobei der Pfad lineare Teilpfade (4) umfasst, die definiert sind durch eine Schrittweite η und einen Lenkwinkel δ , wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

- a) Bestimmung eines maximalen Lenkwinkelbereichs sowie eines maximalen und minimalen Schrittweitenbereichs;
- b) Bestimmung der aktuellen Distanz e_P zur Endposition (3) und des Zielwinkels θ_0 sowie der Winkeldifferenz e_θ des aktuellen Fahrzeugwinkels zum Zielwinkel;
- c) Durchführung eines Optimierungsverfahrens zur Ermittlung eines Teilpfades (4) durch Minimierung des Werts einer dem Teilpfad zugeordneten Kostenfunktion I_0 , wobei
 - (i) die Kostenfunktion die aktuelle Distanz e_P zur Endposition (3) und die aktuelle Winkeldifferenz e_θ zum Zielwinkel als voneinander unabhängig gewichtete Optimierungsvariablen umfasst und
 - (ii) als Randbedingungen der maximale Lenkwinkelbereich, der maximale und minimale Schrittweitenbereich sowie eine Kollisionsprüfung vorgesehen sind;
- d) Bestimmung der neuen Position durch Hinzufügen des ermittelten Teilpfades (4) zur aktuellen Position;
- e) Wiederholung der Schritte (b) bis (d) bis die Endposition (3) mit hinreichender Genauigkeit erreicht wird.

Fig. 2b



Verfahren zur Steuerung eines Fahrzeuges

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Fahrzeugs um Hindernisse, ausgehend von einer Startposition in eine Endposition, wobei das Fahrzeug entlang eines Pfades gesteuert wird.

Aus dem Stand der Technik sind Verfahren bekannt, um die Einparkkurve und die Ausparkkurve eines Fahrzeugs aus einer Parklücke oder einer Garage zu berechnen. Derartige Einparkkurven werden in automatischen Einparksystemen von Fahrzeugen angewandt, um dem Fahrer Hilfestellungen beim Ein- und Ausparken zu geben oder vollautomatisch einen Einpark- oder Ausparkvorgang durchzuführen.

So zeigt die Druckschrift DE 10 2012 211 721 A1 ein Verfahren zum Ableiten einer Parkkurve, bei der das Fahrzeug entlang linearer Abschnitte und eines einzigen Kurvenabschnittes mit konstantem Drehradius geleitet wird, um in die Parklücke zu fahren. Diese Druckschrift zeigt auch ein verbessertes Verfahren, bei dem das Fahrzeug entlang einer ersten Verlängerungsgerade, einer zweiten Verlängerungsgerade und einer dritten Verlängerungsgerade geleitet wird.

Bei derartigen Verfahren ist es jedoch problematisch, dass schon vor Beginn der Bahnplanung festgelegt werden muss, wie viele lineare oder kurvenförmige Abschnitte verwendet werden sollen.

In anderen bekannten Verfahren wird eine mathematische Optimierung des gesamten Pfades durchgeführt, wobei der Pfad durch eine Zusammensetzung aus linearen Segmenten und Kurvensegmenten parametrisiert wird.

Derartige Verfahren sind jedoch im Vergleich zum manuellen Ein- oder Ausparken nur in begrenzten Fällen anwendbar und versagen in der Praxis häufig. Auch stellt die in Fahrzeugen in der Regel nur begrenzt vorhandene Rechenkapazität enge Schranken in Bezug auf die globale Optimierung des gesamten Pfades.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht demnach darin, ein Verfahren zur Bestimmung eines Pfades zum Einparken oder Ausparken eines Fahrzeugs zu schaffen, das einfach, unter Berücksichtigung der geringen Rechenkapazität in Fahrzeugen schnell und dennoch vielseitig genug ist, um in der Praxis sicher anwendbar zu sein.

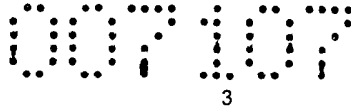
Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der gesamte Pfad in lineare Teilpfade unterteilt wird, die jeweils definiert sind durch eine Schrittweite η und einen Lenkwinkel δ , wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Zunächst wird ein maximaler Lenkwinkelbereich sowie ein maximaler und minimaler Schrittweitenbereich bestimmt.

Danach wird die aktuelle Distanz e_P zur Endposition und der aktuelle Fahrzeug-Zielwinkel θ_O sowie die Winkeldifferenz $e_\theta = \theta - \theta_O$ des aktuellen Fahrzeugwinkels θ zum Zielwinkel θ_O festgestellt.

Dabei ist vorgesehen, dass der Zielwinkel θ_O in unterschiedlichen Abschnitten des Pfades unterschiedliche Werte annehmen kann.

Anhand dieser Informationen wird ein Optimierungsverfahren zur Ermittlung eines Teilpfades durch Minimierung des Werts einer dem Teilpfad zugeordneten Kostenfunktion I_O durchgeführt, wobei die Kostenfunktion die aktuelle Distanz e_P zur Endposition und die aktuelle Winkeldifferenz e_θ als voneinander unabhängig gewichtete Komponenten umfasst. Die Kostenfunktion I_O kann auch weitere Komponenten umfassen, insbesondere in Abhängigkeit vom maximalen Lenkwinkelbereich und Schrittweitenbereich. Die Gewichtung der einzelnen Terme in der Kostenfunktion kann dem jeweiligen Szenario angepasst sein.



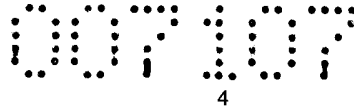
Ergebnis der Optimierung ist ein Teilpfad, definiert durch eine Schrittweite und einen Lenkwinkel. Als Randbedingungen sind der maximale Lenkwinkelbereich, der minimale und maximale Schrittweitenbereich sowie eine Kollisionsprüfung mit den Hindernissen vorgesehen.

Nach der Optimierung wird an Hand des ermittelten Teilpfades die neue Position, die Distanz zur Endposition sowie gegebenenfalls ein neuer Zielwinkel sowie die neue Winkeldifferenz bestimmt. Die Optimierung und Anpassung an die neuen Werte wird so lange wiederholt, bis die Endposition mit hinreichender Genauigkeit erreicht wird.

Die Optimierung erfolgt also nicht global für den gesamten Pfad vom Startpunkt zum Endpunkt, sondern separat für jeden einzelnen Teilpfad. Nach Durchlaufen eines Teilpfades wird eine neue Optimierungsaufgabe aufgestellt. Ausgehend vom Startpunkt ist jeder Teilpfad durch eine Schrittweite und einen Lenkwinkel definiert, wobei ein Lenkwinkelbereich vordefiniert ist, beispielsweise $\pm 45^\circ$. Darüber hinaus wird eine maximale und minimale Schrittweite vorgegeben, beispielsweise ein Bereich von 1mm bis 20cm.

In jedem einzelnen Optimierungsverfahren wird zur Ermittlung der Schrittweite und des Lenkwinkels das Minimum einer Kostenfunktion ermittelt, deren Komponenten einerseits die aktuelle Distanz zum Endpunkt, und andererseits die Winkeldifferenz des aktuellen Fahrzeugwinkels zu einem, dem jeweiligen Szenario angepassten Zielwinkel sind. Diese beiden Komponenten sind unabhängig voneinander gewichtet.

Als Randbedingung der Optimierung dienen die Schrittweiten- und Lenkwinkelbereiche, sowie eine Kollisionserkennung an Hand der Koordinaten der Fahrzeugaußenkanten und der Hindernisse. Nach erfolgter Optimierung des Teilpfades wird die neue Distanz und Winkel zum Endpunkt sowie die Differenz zum Fahrzeugwinkel bestimmt, und mit der Optimierung für den nächsten Teilpfad fortgesetzt, bis der Endpunkt mit hinreichender Genauigkeit erreicht wird. Dieses Verfahren benötigt im Vergleich zu globalen Optimierungen des gesamten Pfades wesentlich weniger Rechenleistung, da die Optimierung auf mehrere, typischerweise 30 bis 100 Einzeloptimierungen aufgeteilt wird. Es werden keine Kurvenabschnitte benötigt, sondern der gesamte Pfad setzt sich aus linearen Teilpfaden zusammen.



Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass zunächst – bei stehendem Fahrzeug – der vollständige Pfad zum Endpunkt berechnet wird, und erst danach das Fahrzeug entlang des Pfades gesteuert wird.

Es kann jedoch ebenfalls vorgesehen sein, dass das Fahrzeug bereits während der Berechnung des Pfades zum Endpunkt entlang der berechneten Teilpfade gesteuert wird.

Weiters kann vorgesehen sein, dass abhängig von der Position eines Punktes des Fahrzeugs, insbesondere eines Eckpunktes, relativ zu den Hindernissen das Verfahren in zumindest zwei Abschnitte unterteilt wird, wobei in einem ersten Abschnitt ein Zielwinkel $\theta_0 = \alpha$ gewählt wird, wobei α den Winkel bezeichnet, der im Wesentlichen normal auf eine Grenzlinie zwischen den Hindernissen ist.

Als Eckpunkt kann vorzugsweise jene Außenkante oder Außenecke des Fahrzeugs gewählt werden, um die sich das Fahrzeug bei der Bewegung von der Startposition zur Endposition drehen muss, um die Hindernisse zu umfahren. Es können jedoch auch andere Punkte am Fahrzeug gewählt werden.

Durch entsprechende Wahl des Zielwinkels θ_0 der im Wesentlichen normal auf eine Grenzlinie zwischen den Hindernissen ist, wird erreicht, dass das Optimierungsverfahren Lösungen liefert, die eine Drehung des Fahrzeugs bevorzugen und somit das Fahrzeug möglichst schnell um ein Hindernis herumführen, beispielsweise aus einer Parklücke herausbewegen.

Andererseits kann auch vorgesehen sein, dass ein Zielwinkel gewählt wird, der im Wesentlichen parallel zur Längserstreckung der Hindernisse ist. Diese Wahl ist vorteilhaft, um das Fahrzeug möglichst nicht zu drehen, sondern möglichst schnell entlang einer Geraden zu bewegen, beispielsweise nach Verlassen der Parklücke ohne übermäßige Winkelkorrekturen die Endposition aufzusuchen.

Die Wahl des Zielwinkels wird vorzugsweise dem jeweiligen Szenario angepasst.

Beispielsweise kann ein Zielwinkel normal auf eine Grenzlinie zwischen den Hindernissen vorteilhaft sein, wenn das Fahrzeug aus einer Längsparksituation (Parallelparken) oder einer Querparksituation (Garagenparken) herausbewegt werden soll.

Andererseits kann ein Zielwinkel, der im Wesentlichen parallel zur Längserstreckung der Hindernisse ist, vorteilhaft sein, wenn das Fahrzeug aus einer Schrägparksituation herausbewegt werden soll.

Erfindungsgemäß kann weiters vorgesehen sein, dass abhängig von der Position eines Eckpunktes des Fahrzeugs relativ zu den Hindernissen das Verfahren in zumindest zwei Abschnitte unterteilt wird, wobei in einem zweiten Abschnitt ein Zielwinkel $\theta_0 = \theta_s$ gewählt wird, der im Wesentlichen parallel zu einer Grenzlinie zwischen den Hindernissen gewählt wird.

Dadurch kann der Fall gelöst werden, dass das Fahrzeug in einem ersten Abschnitt zunächst durch starke Drehbewegung aus einer Parklücke herausbewegt wird, und danach in einem zweiten Abschnitt möglichst ohne Drehbewegung die Endposition aufsucht.

Die Unterscheidung zwischen den jeweiligen Abschnitten erfolgt vorzugsweise an Hand der Position eines von beispielsweise vier Eckpunkten des Fahrzeuges gegenüber den Hindernissen, beispielsweise jenes Eckpunktes, um das sich das Fahrzeug am engsten drehen muss, um die Endposition zu erreichen. Dieser Eckpunkt kann beispielsweise in der Initialisierungsphase des Algorithmus an Hand der gemessenen Sensordaten bestimmt werden. Die Bedingung für den Abschnittswechsel kann jedoch auch an Hand anderer Kriterien erfolgen, insbesondere in Bezug auf die Position eines Punktes des Fahrzeuges in Bezug auf ein abgeleitetes Kriterium der Hindernisse, beispielsweise einer ganz bestimmten Grenzlinie zwischen den Hindernissen.

Es kann auch ein bestimmter Sicherheitsabstand um die Hindernisse berechnet werden, um mit Sicherheit Kollisionen zu vermeiden und beispielsweise Messfehlern in Bezug auf die Position und Erstreckung der Hindernisse entgegenzuwirken.

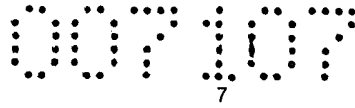
Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass sich die unterschiedlichen Abschnitte durch jeweils unterschiedliche Gewichtungsfaktoren der Optimierungsvariablen e_P und e_θ unterscheiden.

In einer Variante der Erfindung ist das Verfahren in zwei Phasen A und B unterteilt, wobei in Phase A die Gewichtung der aktuellen Distanz e_P zur Endposition gegenüber der Gewichtung der aktuellen Winkeldifferenz e_θ zum Zielwinkel überwiegt, um das Fahrzeug schnell in Richtung der Endposition zu bewegen, in Phase B die Gewichtung der Winkeldifferenz e_θ zum Zielwinkel gegenüber der Gewichtung der aktuellen Distanz e_P zur Endposition überwiegt, um das Fahrzeug in die richtige Winkelstellung zu bringen, wobei in einem Umschaltpunkt zwischen Phase A und Phase B umgeschaltet wird, sobald die Position eines Eckpunktes des Fahrzeugs eine Grenzlinie zwischen den Hindernissen durchtritt.

Es sind jedoch auch Situationen erfindungsgemäß vorgesehen, bei denen mehr als zwei Abschnitte mit unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren vorliegen, beispielsweise wenn sich auch im Umfeld der Endposition zusätzliche Hindernisse befinden, die umfahren werden müssen. Die Anzahl der Abschnitte mit unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren ist erfindungsgemäß nicht beschränkt.

Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass während des Verfahrens zusätzlich Richtungswechsellpunkte bestimmt werden, in denen die Richtung des zu bestimmenden Teilpfads gewechselt wird. Dabei können die Richtungswechsellpunkte definiert sein als jene Punkte, in denen entweder kein Teilpfad ermittelt werden kann, dessen zugehörige Kostenfunktion gegenüber dem vorher ermittelten Teilpfad verbessert ist, oder kein Teilpfad ermittelt werden kann, der innerhalb des erlaubten Schrittweitenbereichs liegt.

Insbesondere können die Richtungswechsellpunkte definiert sein als jene Punkte, in denen in Phase A kein Teilpfad ermittelt werden kann, dessen zugehörige Kostenfunktion gegenüber dem vorher ermittelten Teilpfad verbessert ist, oder in Phase B kein Teilpfad ermittelt werden kann, der innerhalb des erlaubten Schrittweitenbereichs liegt.



Dadurch wird ein dem menschlichen Fahrzeuglenker ähnliches Fahrverhalten nachgeahmt, indem die aktuelle Fahrtrichtung umgekehrt wird, wenn in der aktuellen Richtung keine Verbesserung der Position oder keine weitere Bewegung ohne Kollision möglich ist.

Neben dem Verfahren erstreckt sich die vorliegende Erfindung auch auf einen computerlesbaren Datenträger mit einem Computerprogramm, das ein erfindungsgemäßes Verfahren implementiert, sowie auf eine Vorrichtung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens, umfassend Sensoren zur Ermittlung der Startposition, der Endposition, des Fahrzeugwinkels, des Lenkwinkels und der Koordinaten der Hindernisse sowie eine Steuereinheit, sowie auf ein Fahrzeug mit einer derartigen Vorrichtung.

Weitere erfindungsgemäße Merkmale ergeben sich aus den Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Nachfolgend wird die Erfindung an Hand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine schematische Skizze des verwendeten kinematischen Modells für das Fahrzeug;

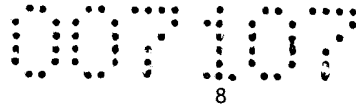
Fig. 2a-2b zeigen schematische Skizzen eines Ausparkvorgangs eines Fahrzeugs unter Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung verschiedener Parkszenarien;

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Parkszenarios;

Fig. 5 zeigt eine Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens unter Verwendung von Pseudocode.

Fig. 1 zeigt eine schematische Skizze des verwendeten kinematischen Modells für das Fahrzeug. Das Fahrzeug 1 (nicht dargestellt) hat eine Länge l_c und eine Breite w_c , beispielsweise entsprechend der dargestellten Tabelle, und bewegt sich in Richtung des Vektors v und hat dabei in Bezug auf das verwendete Koordinatensystem zunächst die Fahrzeugorientierung θ . Beide Räder einer Achse sind hierbei zu je einem gedachten Rad 10 in der Mitte der Achse zusammengefasst, wobei das Vorderrad den Lenkwinkel δ aufweist. Der maximale Lenkwinkel beträgt in diesem Ausführungsbeispiel 45° . Der Abstand der beiden Räder ist der entsprechende Radstand des Fahrzeugs L .



8

52397 Ag
TU Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien (AT)

Fig. 2a zeigt ein Fahrzeug 1, das sich in einer Startposition 2 befindet und in eine Endposition 3 gelenkt werden soll, ohne die Hindernisse 7 zu berühren. Zu diesem Zweck wird eine Reihe von Teilpfaden 4 bestimmt, wobei für jeden Teilpfad ein statisches Optimierungsproblem gelöst wird.

Abhängig von der Position eines Eckpunktes 5 des Fahrzeugs relativ zu einer gedachten Grenzlinie 6 zwischen den Hindernissen 7 wird zwischen den Phasen A und B unterschieden, in denen unterschiedliche Gewichtungen für das jeweils zu lösende Optimierungsverfahren verwendet werden. Im dargestellten Fall befindet sich das Fahrzeug 1 im geparkten Zustand in Phase B und soll mit möglichst starken Drehbewegungen aus der Parklücke herausbewegt werden, ohne dass die absolute Distanz zum Endpunkt 3 von hoher Bedeutung ist. Aus diesem Grund wird im Optimierungsverfahren der Zielwinkel $\theta_0 = \alpha$ gesetzt, und die Gewichtung der Distanz zur Endposition e_p wird gegenüber der Gewichtung der Winkeldifferenz zum Zielwinkel $e_\theta = \theta - \theta_0$ stark reduziert.

Fig. 2b zeigt das Fahrzeug 1 kurz bevor es die Endposition 3 erreicht hat. Der Eckpunkt 5 hat im Umschaltunkt 8 die Grenzlinie 6 durchquert, und es wurde von Phase B auf Phase A umgeschaltet. Entsprechend wurde im Optimierungsverfahren der Zielwinkel $\theta_0 = \theta_s$ gesetzt, und die Gewichtung der Distanz zur Endposition e_p gegenüber der Gewichtung der Winkeldifferenz zum Zielwinkel e_θ stark erhöht.

Fig. 3 zeigt schematisch verschiedene Szenarien des Verfahrens, nämlich paralleles Ein- und Ausparken bzw. Längsparken (I), Ein- und Ausparken in eine Garage bzw. Querparken (II) sowie schräges Ein- und Ausparken (III). In jedem Szenario ist ein möglicher relevanter Eckpunkt 5 des Fahrzeugs markiert, der zur Bestimmung des Phasenwechsels zwischen Phase A und Phase B herangezogen werden kann. Andere Eckpunkte sind ebenfalls denkbar.

Der Bereich der Phasen A und B ist ebenfalls dargestellt. In allen drei Szenarien weist der Zielwinkel θ_s in Phase A parallel zur Grenzlinie 6. Hingegen ist Zielwinkel α in Phase B in in Szenario I und II normal auf die Grenzlinie 6, jedoch in Szenario III parallel zur Längserstreckung der Hindernisse 7.

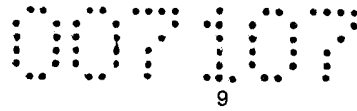


Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Parkszenarios, bei dem die Fahrtrichtung gewechselt wird. Das Fahrzeug 1 bewegt sich, ausgehend vom Startpunkt 2, zunächst aus einer Parklücke heraus und bewegt sich somit aus der Phase B in die Phase A. Danach tritt jedoch eine Situation ein, in der sich das Fahrzeug durch jede Vorwärtsbewegung vom Endpunkt 3 weiter entfernt. Es kann demnach im Optimierungsverfahren in Phase A kein Teilpfad ermittelt werden, dessen Kostenfunktion geringer ist als die vorher berechnete Kostenfunktion.

Diese Situation wird im Richtungswechsellpunkt 9 erkannt, bei dem das Fahrzeug die Fahrtrichtung wechselt und rückwärts fährt. In Folge nähert sich das Fahrzeug dem Endpunkt 3 wieder an. Selbstverständlich kann es auch erforderlich sein, die Fahrtrichtung während eines Ein- oder Ausparkvorgangs mehrmals zu wechseln, um stets gültige und fortlaufend reduzierte Ergebnisse des Optimierungsverfahrens zu erhalten.

Fig. 5 zeigt eine detaillierte Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens unter Verwendung von Pseudocode. In diesem Ausführungsbeispiel wird ein Ausparkverfahren durchgeführt, und die Startposition des Fahrzeugs q_0 wird als Parkposition q_p initialisiert. Danach wird der Zielwinkel θ_0 auf den Wert α gesetzt. Der Wert von α hängt von der jeweiligen Parksituation ab. Sowohl im Fall des Längsparkens, als auch im Fall des Querparkens soll das Fahrzeug für den Ausparkvorgang nach Möglichkeit normal auf die Grenzlinie 6 bewegt werden.

Danach werden der Gewichtsterm r_θ und die Gewichtsmatrix R gesetzt. Je nach Phase werden die Initialwerte r_θ , θ_0 und R beispielsweise wie folgt gesetzt, wobei selbstverständlich auch andere Gewichtungen vorgesehen sein können:

	Phase A	Phase B
r_θ	4	1
θ_0	θ_S	α
R	$\begin{pmatrix} 30 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird ein Ausparkvorgang bestimmt, somit befindet sich das Verfahren initial in Phase B. Die Richtung D des Fahrzeugs wird mit 1 (vorwärts) und der Startlösung $\mathbf{u} = [\mathbf{u}_0, \eta_0]^T$ für den Lenkeingang $u_l = 1/L \tan(\delta)$ und der Schrittweite η initialisiert. Die Vektoren $\mathbf{u}_{\min}$ und $\mathbf{u}_{\max}$ beschränken den Lenkeingang und die Schrittweite.

Danach wird in einer Schleife das Optimierungsverfahren so lange durchlaufen, bis sich die Position des Fahrzeugs in einer Epsilon-Umgebung um den Endpunkt befindet und somit die Endposition erreicht ist.

In jedem Schleifendurchlauf wird geprüft, ob die Position des Eckpunktes 5 die gedachte Grenzlinie der Hindernisse durchschreitet ($x_{CFI,i} \geq b$) und in diesem Fall werden die Gewichtungsterme der Phase A aus obiger Tabelle eingesetzt.

Danach wird das eigentliche Optimierungsverfahren gestartet, welches wie folgt definiert ist:

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{u}_i} \quad & l_{O_i}(\mathbf{q}_{i+1}) \\ \text{s.t.} \quad & \mathbf{q}_{i+1} = \mathbf{f}(\mathbf{q}_i, \mathbf{u}_i, D) \\ & \mathbf{h}_P(\mathbf{q}_{i+1}) \leq \mathbf{0} \\ & \mathbf{u}_{\min} \leq \mathbf{u}_i \leq \mathbf{u}_{\max}, \end{aligned}$$

wobei die zu minimierende Kostenfunktion lautet:

$$l_{O_i}(\mathbf{q}_{i+1}) = r_\theta e_{\theta_{i+1}}^2 + \mathbf{e}_{P_{i+1}}^T \mathbf{R} \mathbf{e}_{P_{i+1}}.$$

In diesem Verfahren bezeichnet $\mathbf{q}_i$ die aktuelle Position des Fahrzeugs zum Schritt i , $\mathbf{u}_i$ den Schrittweitenvektor, und D die Richtung. Die Kostenfunktion wird minimiert in Hinblick auf die Variablen $e_{\theta i}$ und $e_{P i}$. Der Term $\mathbf{e}_{P i} = [\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_s, \mathbf{y}_i - \mathbf{y}_s]^T$ bezeichnet die Distanz des Fahrzeuges zum Schritt i zur Startposition $[\mathbf{x}_s, \mathbf{y}_s]$ (da der Gesamtpfad von der Endposition rückwärts zur Startposition berechnet wird). Der Term $e_{\theta i} = \theta_i - \theta_0$ bezeichnet die Differenz des aktuellen Fahrzeugwinkels zum Zielwinkel θ_0 . Die Parameter r_θ und R sind Gewichtungparameter.

Die Funktion $h_P(q_i)$ bezeichnet eine Kollisionserkennung, welche eine Berührung der gegebenen Ausmaße des Fahrzeuges mit den Hindernissen auf geometrischem Weg erkennt. Schließlich bezeichnen $u_{\min}$ und $u_{\max}$ die minimalen und maximalen Werte der Optimierungsvariablen bestehend aus Lenkeingang und Schrittweite.

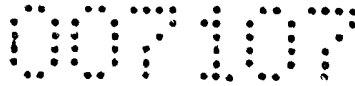
In jedem Iterationsschritt wird die Position und der Fahrzeugwinkel in Hinblick auf die Kostenfunktion verbessert, wobei die Kostenfunktion den Zweck erfüllt, durch Wahl definierter Gewichtungsparemeter r_θ und R in den Phasen A und B eine schnelle Erreichung des Startpunkts zu ermöglichen.

Die neue Position q_{i+1} wird durch eine Bewegungsgleichung $f(q_i, u_i, D)$ dargestellt, welche lautet

$$\begin{aligned} \mathbf{q}_{i+1} &= \begin{pmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \\ \theta_{i+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_i + D\eta_i \cos\left(\theta_i + D\frac{\eta_i u_{l_i}}{2}\right) \\ y_i + D\eta_i \sin\left(\theta_i + D\frac{\eta_i u_{l_i}}{2}\right) \\ \theta_i + D\eta_i u_{l_i} \end{pmatrix} \\ &= \mathbf{f}(\mathbf{q}_i, \mathbf{u}_i, D), \end{aligned}$$

Das Optimierungsproblem der Kostenfunktion $l_{oi}(q_i)$ wird stets nur für einen inkrementellen Schritt nach dem anderen formuliert, und so lange wiederholt, bis der Endpunkt erreicht ist. Nach jeder Optimierung wird überprüft, ob entweder der Wert der Kostenfunktion größer ist als in der vorhergehenden Optimierung ($l_{oi}^* > k_l \cdot l_{oi-1}^*$) oder eine Kollision erfolgt ($h_P(q_{i+1}^*) > 0$) und somit kein Teilpfad gefunden wurde. Hier bezeichnet k_l einen Gewichtungsfaktor, um auch hinreichend kleine Verschlechterungen zuzulassen. Ist dies der Fall, wird die Richtung des Teilpfades umgekehrt, indem D gleich $-D$ gesetzt wird.

Anderenfalls wird die neue Position q_{i+1} durch die Bewegungsgleichung $f(q_i, u_i, D)$ ermittelt, und das Verfahren mit der neuen Position fortgesetzt. Das Verfahren wird beendet, wenn sich die neue Position in einer Epsilon-Umgebung um den Endpunkt befindet.

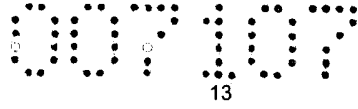


12

52397 Ag
TU Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien (AT)

Das erfindungsgemäße Verfahren kann Teil einer Steuerungselektronik eines Fahrzeugs sein, oder in Form eines Computerprogramms auf einem Datenträger vorliegen. Das entsprechend gesteuerte Fahrzeug ist mit Sensoren zur Erfassung der Umgebung und vorzugsweise auch der eigenen Fahrbewegungen ausgerüstet. So kann ein GPS-Sensor und mehrere Ultraschallsensoren oder Kameras vorgesehen sein, um die eigene Position und die Positionen der Hindernisse zu detektieren. Davon ausgehend können die benötigten Gewichtungsterme für das Verfahren bestimmt werden.

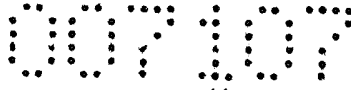
Die Erfindung beschränkt sich nicht auf die dargestellten Ausführungsbeispiele sondern erstreckt sich auf sämtliche Ausführungen im Rahmen der nachfolgenden Patentansprüche.



52397 Ag
TU Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien (AT)

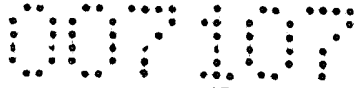
Bezugszeichenliste

- | | |
|----|------------------------|
| 1 | Fahrzeug |
| 2 | Startposition |
| 3 | Endposition |
| 4 | Teilpfad |
| 5 | Eckpunkt |
| 6 | Grenzlinie |
| 7 | Hindernis |
| 8 | Umschaltpunkt |
| 9 | Richtungswechsellpunkt |
| 10 | Rad |

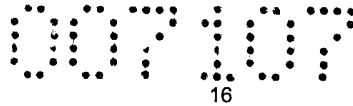


Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Fahrzeugs (1) um Hindernisse (7), ausgehend von einer Startposition (2) in eine Endposition (3), wobei das Fahrzeug entlang eines Pfades gesteuert wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Pfad lineare Teilpfade (4) umfasst, die definiert sind durch eine Schrittweite η und einen Lenkwinkel δ , wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:
 - a) Bestimmung eines maximalen Lenkwinkelbereichs sowie eines maximalen und minimalen Schrittweitenbereichs;
 - b) Bestimmung der aktuellen Distanz e_P zur Endposition (3) und eines Zielwinkels θ_O sowie der Winkeldifferenz e_θ des aktuellen Fahrzeugwinkels θ zum Zielwinkel;
 - c) Durchführung eines Optimierungsverfahrens zur Ermittlung eines Teilpfades (4) durch Minimierung des Werts einer dem Teilpfad zugeordneten Kostenfunktion I_O , wobei
 - (i) die Kostenfunktion die aktuelle Distanz e_P zur Endposition (3) und die aktuelle Winkeldifferenz e_θ zum Zielwinkel als voneinander unabhängig gewichtete Optimierungsvariablen umfasst und
 - (ii) als Randbedingungen der maximale Lenkwinkelbereich, der maximale und minimale Schrittweitenbereich sowie eine Kollisionsprüfung vorgesehen sind;
 - d) Bestimmung der neuen Position durch Hinzufügen des ermittelten Teilpfades (4) zur aktuellen Position;
 - e) Wiederholung der Schritte (b) bis (d) bis die Endposition (3) mit hinreichender Genauigkeit erreicht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zunächst der vollständige Pfad zum Endpunkt (3) berechnet wird, und danach das Fahrzeug entlang des Pfades gesteuert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Fahrzeug während der Berechnung des Pfades zum Endpunkt (3) entlang der berechneten Teilpfade (4) gesteuert wird.



4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass abhängig von der Position eines Punktes des Fahrzeugs (1), insbesondere eines Eckpunktes (5), relativ zu den Hindernissen (7) das Verfahren in zumindest zwei Abschnitte unterteilt wird, wobei in einem ersten Abschnitt ein Zielwinkel $\theta_0 = \alpha$ gewählt wird, der im Wesentlichen normal auf eine Grenzlinie (6) zwischen den Hindernissen (7) ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass abhängig von der Position eines Punktes des Fahrzeugs (1), insbesondere eines Eckpunktes (5), relativ zu den Hindernissen (7) das Verfahren in zumindest zwei Abschnitte unterteilt wird, wobei in einem ersten Abschnitt ein Zielwinkel $\theta_0 = \alpha$ gewählt wird, der im Wesentlichen parallel zur Längserstreckung der Hindernisse (7) ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass abhängig von der Position eines Punktes des Fahrzeugs (1), insbesondere eines Eckpunktes (5), relativ zu den Hindernissen (7) das Verfahren in zumindest zwei Abschnitte unterteilt wird, wobei in einem zweiten Abschnitt ein Zielwinkel $\theta_0 = \theta_s$ gewählt wird, der im Wesentlichen parallel zu einer Grenzlinie (6) zwischen den Hindernissen (7) gewählt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass sich die unterschiedlichen Abschnitte durch die Gewichtungsfaktoren der Optimierungsvariablen unterscheiden.



16

52397 Ag
TU Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien (AT)

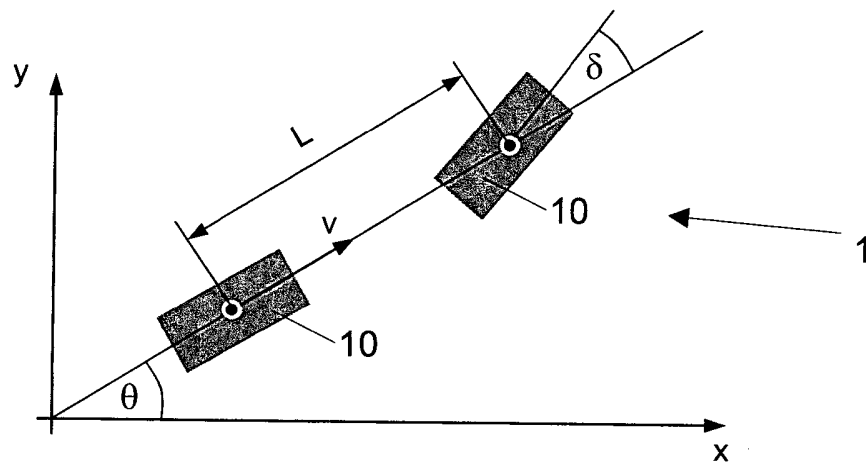
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren in zwei Phasen A und B unterteilt wird, wobei
- a) in Phase A die Gewichtung der aktuellen Distanz e_P zur Endposition (3) gegenüber der Gewichtung der Winkeldifferenz e_θ zum Zielwinkel überwiegt, um das Fahrzeug schnell in Richtung der Endposition zu bewegen,
 - b) in Phase B die Gewichtung der Winkeldifferenz e_θ zum Zielwinkel gegenüber der Gewichtung der Distanz e_P zur Endposition überwiegt, um das Fahrzeug in die richtige Winkelstellung zu bringen,
 - c) in einem Umschaltunkt (8) zwischen Phase A und Phase B umgeschaltet wird, sobald die Position eines Punktes des Fahrzeugs (1), insbesondere eines Eckpunktes (5), eine Grenzlinie (6) zwischen den Hindernissen (7) durchtritt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass während des Optimierungsverfahrens Richtungswechsellpunkte (9) bestimmt werden, in denen die Richtung des zu bestimmenden Teilpfads gewechselt wird, wobei die Richtungswechsellpunkte definiert sind als jene Punkte, in denen
- a) kein Teilpfad ermittelt werden kann, dessen zugehörige Kostenfunktion gegenüber dem vorher ermittelten Teilpfad verbessert ist, oder
 - b) kein Teilpfad ermittelt werden kann, dessen Schrittweite innerhalb des erlaubten Schrittweitenbereichs liegt.

10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass während des Optimierungsverfahrens Richtungswechsellpunkte (9) bestimmt werden, in denen die Richtung des zu bestimmenden Teilpfads gewechselt wird, wobei die Richtungswechsellpunkte definiert sind als jene Punkte, in denen
 - a) in Phase A kein Teilpfad ermittelt werden kann, dessen zugehörige Kostenfunktion gegenüber dem vorher ermittelten Teilpfad verbessert ist, oder
 - b) in Phase B kein Teilpfad ermittelt werden kann, der innerhalb des erlaubten Schrittweitenbereichs liegt.
11. Datenträger mit einem Computerprogramm, das ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10 implementiert.
12. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, umfassend Sensoren zur Ermittlung der Startposition (2), der Endposition (3), des Lenkwinkels δ , des Fahrzeugwinkels θ und der Koordinaten der Hindernisse (7) sowie eine Steuereinheit.
13. Fahrzeug mit einer Vorrichtung gemäß Anspruch 12.

Wien, am **29. Aug. 2013**

Anmelder(in)
vertreten durch
Patentanwälte
Puchberger, Berger & Partner

007107



l_c	w_c	L	δ_{max}
4.7m	1.8m	2.7m	45°

Fig. 1

007107

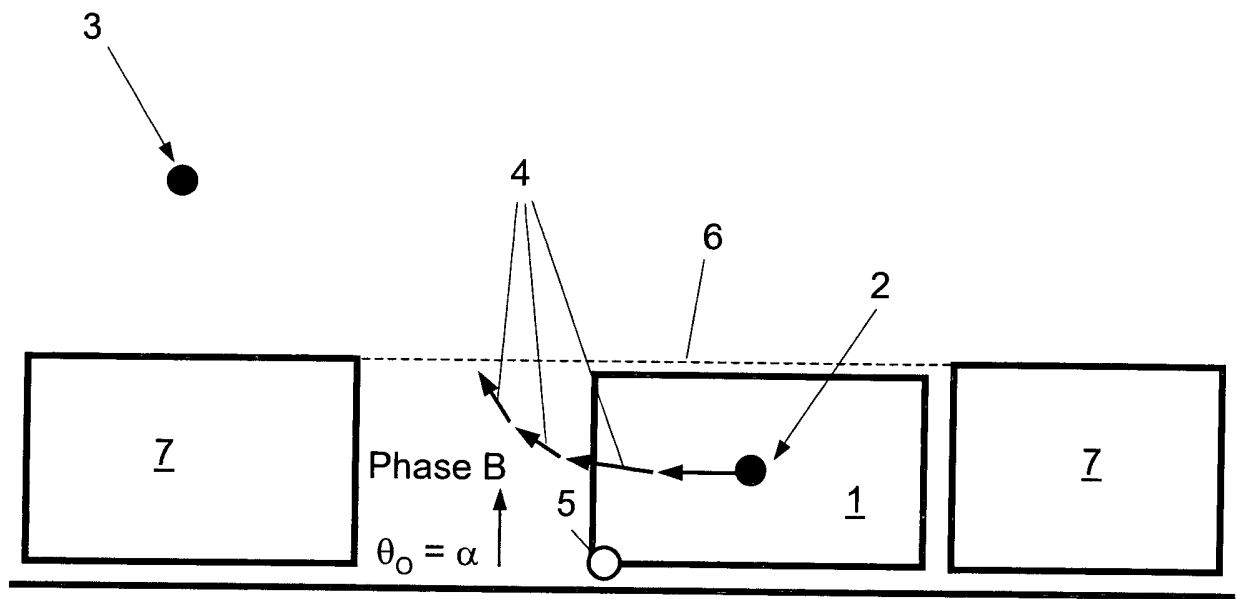


Fig. 2a

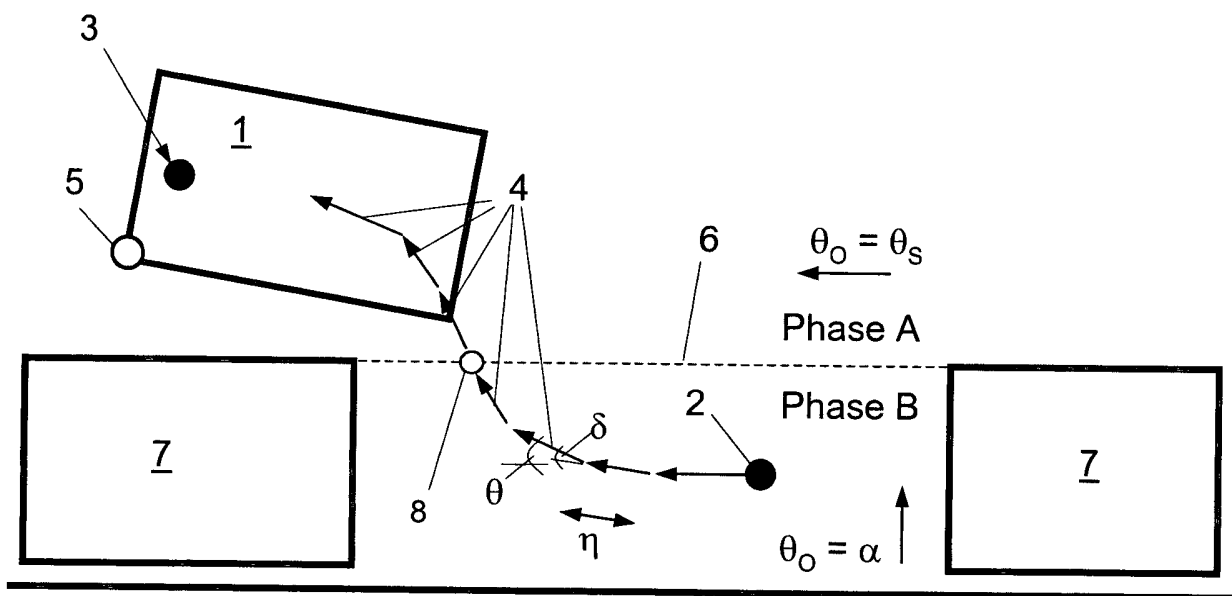


Fig. 2b

2/4

007107

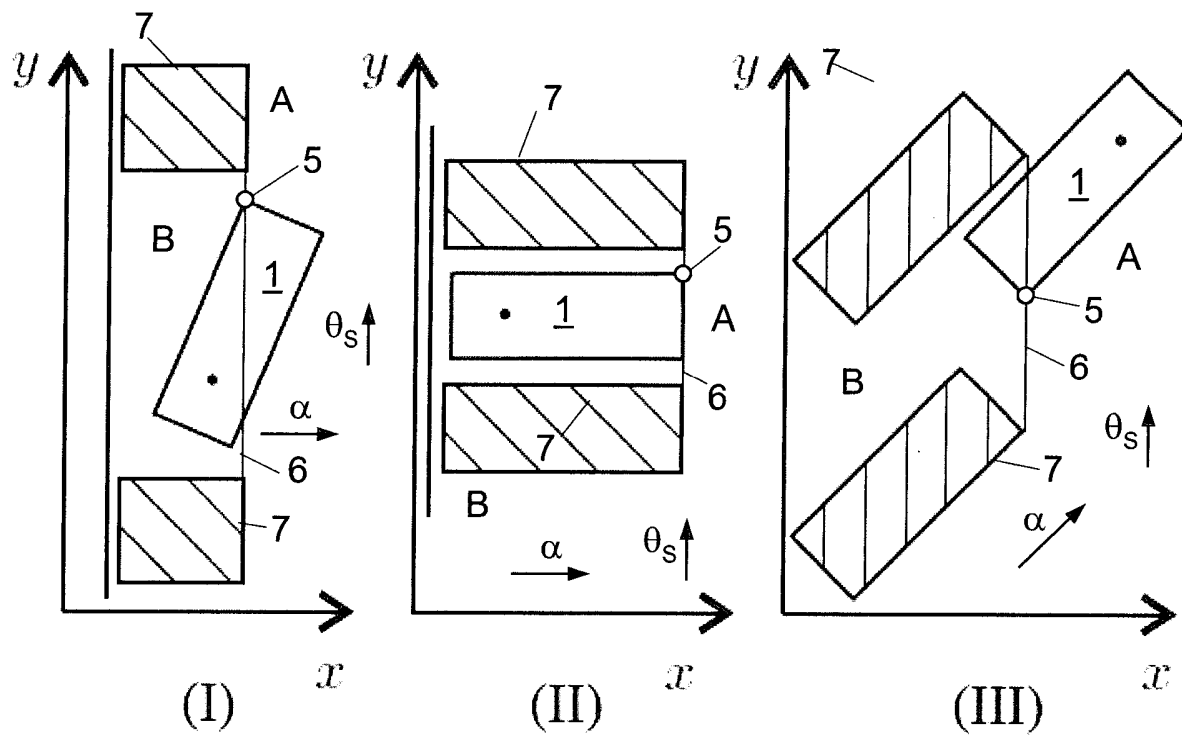


Fig. 3

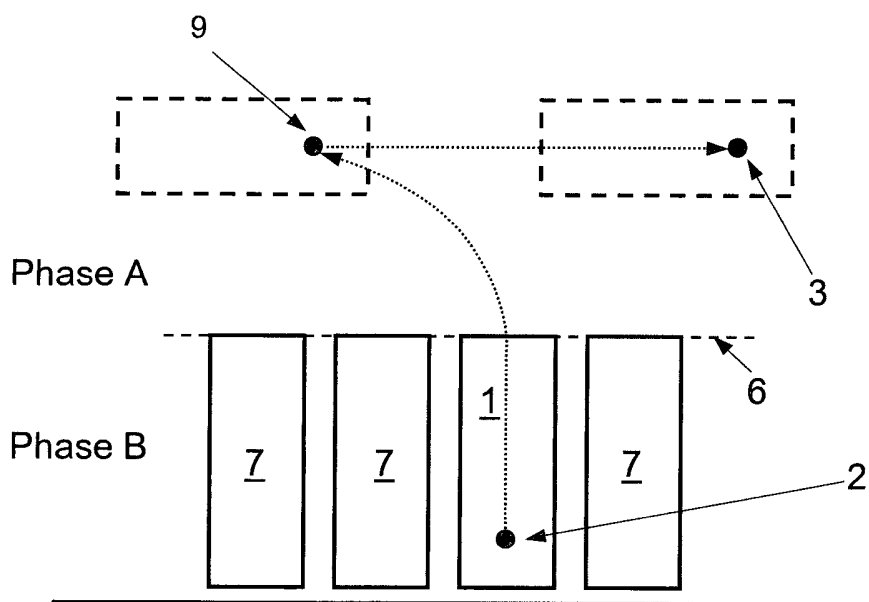


Fig. 4

3/4

007107

```

1:  $\mathbf{q}_0 = \mathbf{q}_P$  {parking position}
2:  $\theta_O = \alpha$  {target angle}
3:  $r_\theta = r_{\theta_B}, \mathbf{R} = \mathbf{R}_B$  {weighting terms}
4:  $D = 1$  {direction = forward}
5:  $\mathbf{u}_0 = [u_{l0}, \eta_0]^T$  {initial guess}
6:  $l_{O_0} = \infty, i = 0$ 
7: repeat
8:   if  $x_{CFL,i} \geq b$  then
9:      $\theta_O = \theta_S, r_\theta = r_{\theta_A}, \mathbf{R} = \mathbf{R}_A$ 
10:   end if
11:    $\mathbf{u}_i^* = \arg \min_{\mathbf{u}_i} l_{O_i}(\mathbf{q}_{i+1})$ 
12:   s.t.  $\mathbf{q}_{i+1} = \mathbf{f}(\mathbf{q}_i, \mathbf{u}_i, D)$ 
13:    $\mathbf{h}_P(\mathbf{q}_{i+1}) \leq 0$ 
14:    $\mathbf{u}_{min} \leq \mathbf{u}_i \leq \mathbf{u}_{max}$ 
15:   if  $l_{O_i}^* > k_l l_{O_{i-1}}^*$  or  $\mathbf{h}_P(\mathbf{q}_{i+1}^*) > 0$  then
16:      $D = -D$ 
17:   else
18:      $\mathbf{q}_{i+1} \leftarrow \mathbf{f}(\mathbf{q}_i, \mathbf{u}_i^*, D)$ 
19:      $i \leftarrow i + 1$ 
20:   end if
21: until  $\|\mathbf{q} - \mathbf{q}_S\| \leq \epsilon$ 

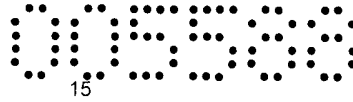
```

Fig. 5

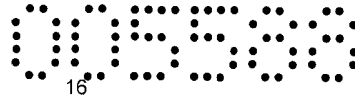
Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Fahrzeugs (1) um Hindernisse (7), ausgehend von einer Startposition (2) in eine Endposition (3), wobei das Fahrzeug entlang eines Pfades gesteuert wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Pfad lineare Teilpfade (4) umfasst, die definiert sind durch eine Schrittweite η und einen Lenkwinkel δ , wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:
 - a) Bestimmung eines maximalen Lenkwinkelbereichs sowie eines maximalen und minimalen Schrittweitenbereichs;
 - b) Bestimmung der aktuellen Distanz e_P zur Endposition (3) und eines Zielwinkels θ_0 sowie der Winkeldifferenz e_θ des aktuellen Fahrzeugwinkels θ zum Zielwinkel;
 - c) Durchführung eines Optimierungsverfahrens zur Ermittlung eines Teilpfades (4) durch Minimierung des Werts einer dem Teilpfad zugeordneten Kostenfunktion I_0 , wobei
 - (i) die Kostenfunktion die aktuelle Distanz e_P zur Endposition (3) und die aktuelle Winkeldifferenz e_θ zum Zielwinkel als voneinander unabhängig gewichtete Optimierungsvariablen umfasst und
 - (iii) als Randbedingungen der maximale Lenkwinkelbereich, der maximale und minimale Schrittweitenbereich sowie eine Kollisionsprüfung vorgesehen sind;
 - a) Bestimmung der neuen Position durch Hinzufügen des ermittelten Teilpfades (4) zur aktuellen Position;
 - b) Wiederholung der Schritte (b) bis (d) bis die Endposition (3) mit hinreichender Genauigkeit erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zunächst der vollständige Pfad zum Endpunkt (3) berechnet wird, und danach das Fahrzeug entlang des Pfades gesteuert wird.



3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Fahrzeug während der Berechnung des Pfades zum Endpunkt (3) entlang der berechneten Teilpfade (4) gesteuert wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass abhängig von der Position eines Punktes des Fahrzeugs (1), insbesondere eines Eckpunktes (5), relativ zu den Hindernissen (7) das Verfahren in zumindest zwei Abschnitte unterteilt wird, wobei in einem ersten Abschnitt ein Zielwinkel $\theta_O = \alpha$ gewählt wird, der im Wesentlichen normal auf eine Grenzlinie (6) zwischen den Hindernissen (7) ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass abhängig von der Position eines Punktes des Fahrzeugs (1), insbesondere eines Eckpunktes (5), relativ zu den Hindernissen (7) das Verfahren in zumindest zwei Abschnitte unterteilt wird, wobei in einem ersten Abschnitt ein Zielwinkel $\theta_O = \alpha$ gewählt wird, der im Wesentlichen parallel zur Längserstreckung der Hindernisse (7) ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass abhängig von der Position eines Punktes des Fahrzeugs (1), insbesondere eines Eckpunktes (5), relativ zu den Hindernissen (7) das Verfahren in zumindest zwei Abschnitte unterteilt wird, wobei in einem zweiten Abschnitt ein Zielwinkel $\theta_O = \theta_S$ gewählt wird, der im Wesentlichen parallel zu einer Grenzlinie (6) zwischen den Hindernissen (7) gewählt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass sich die unterschiedlichen Abschnitte durch die Gewichtungsfaktoren der Optimierungsvariablen unterscheiden.



8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren in zwei Phasen A und B unterteilt wird, wobei
- a) in Phase A die Gewichtung der aktuellen Distanz e_P zur Endposition (3) gegenüber der Gewichtung der Winkeldifferenz e_θ zum Zielwinkel überwiegt, um das Fahrzeug schnell in Richtung der Endposition zu bewegen,
 - b) in Phase B die Gewichtung der Winkeldifferenz e_θ zum Zielwinkel gegenüber der Gewichtung der Distanz e_P zur Endposition überwiegt, um das Fahrzeug in die richtige Winkelstellung zu bringen,
 - c) in einem Umschaltunkt (8) zwischen Phase A und Phase B umgeschaltet wird, sobald die Position eines Punktes des Fahrzeugs (1), insbesondere eines Eckpunktes (5), eine Grenzlinie (6) zwischen den Hindernissen (7) durchtritt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass während des Optimierungsverfahrens Richtungswechsellpunkte (9) bestimmt werden, in denen die Richtung des zu bestimmenden Teilpfads gewechselt wird, wobei die Richtungswechsellpunkte definiert sind als jene Punkte, in denen
- a) kein Teilpfad ermittelt werden kann, dessen zugehörige Kostenfunktion gegenüber dem vorher ermittelten Teilpfad verbessert ist, oder
 - b) kein Teilpfad ermittelt werden kann, dessen Schrittweite innerhalb des erlaubten Schrittweitenbereichs liegt.



52397/AG/RA
TU Wien

10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass während des Optimierungsverfahrens Richtungswechsellpunkte (9) bestimmt werden, in denen die Richtung des zu bestimmenden Teilpfads gewechselt wird, wobei die Richtungswechsellpunkte definiert sind als jene Punkte, in denen
- a) in Phase A kein Teilpfad ermittelt werden kann, dessen zugehörige Kostenfunktion gegenüber dem vorher ermittelten Teilpfad verbessert ist, oder
 - b) in Phase B kein Teilpfad ermittelt werden kann, der innerhalb des erlaubten Schrittweitenbereichs liegt.
11. Datenträger mit einem Computerprogramm, das ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10 implementiert.

Wien, am 12.08.2014

Anmelder(in)
vertreten durch
Patentanwälte
Puchberger, Berger & Partner