



(10) **DE 10 2014 114 608 A1** 2015.04.30

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 114 608.5**

(22) Anmeldetag: **08.10.2014**

(43) Offenlegungstag: **30.04.2015**

(51) Int Cl.: **B60W 30/08 (2006.01)**

**B60W 30/09 (2012.01)**

**B60W 30/095 (2012.01)**

(30) Unionspriorität:  
**14/065,279**                      **28.10.2013**      **US**

(74) Vertreter:  
**Schweiger & Partner, 80333 München, DE**

(71) Anmelder:  
**GM Global Technology Operations, LLC, Detroit,  
Mich., US**

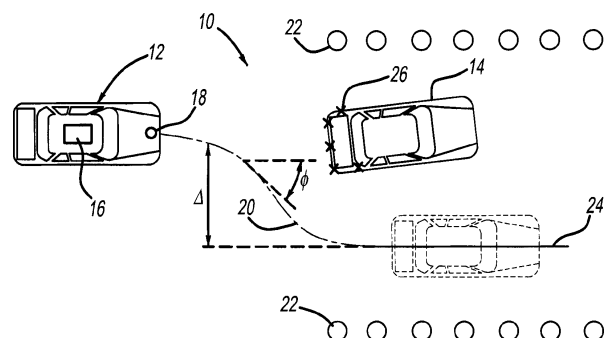
(72) Erfinder:  
**Zeng, Shuqing, Sterling Heights, Mich., US;  
Moshchuk, Nikolai, Grosse Pointe, Mich., US;  
Jafari, Rouhollah, Shelby Township, Mich., US**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Wegplanung für Ausweichlenkmanöver mithilfe einer virtuellen Potentialfeldtechnik**

(57) Zusammenfassung: Ein System und ein Verfahren für die Berechnung eines virtuellen Zielweges, der verwendet wird, um einen ausweichenden Lenkweg um ein Zielobjekt herum, z. B. ein Zielfahrzeug, das vor dem Subjektfahrzeug angehalten hat, zu berechnen. Das Verfahren umfasst die Bestimmung eines Potentialfeldes mithilfe einer Vielzahl von Scanpunkten, bei denen es sich um eine Summierung von zweidimensionalen Gaussfunktionen handelt, wobei jede Gaussfunktion ein Zentrum aufweist, das durch die Zielobjekt-Scanpunkte und die anderen Objekt-Scanpunkte definiert ist. Das Verfahren identifiziert ein Raster in einer X-Y-Ebene, wobei das Raster Rasterpunkte an Stellen umfasst, wo sich Linien der X- und Y-Ebene kreuzen. Das Verfahren identifiziert einen lokalen Mindestpunkt des Potentialfeldes für jede Linie der X-Ebene bei jedem Rasterpunkt entlang der Y-Ebene, die diese Linie der X-Ebene kreuzt, wobei der lokale Mindestpunkt ein Kurvenpunkt ist. Das Verfahren verbindet dann die Kurvenpunkte, um den Zielweg zu bestimmen.



**Beschreibung**

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Diese Erfindung bezieht sich im Allgemeinen auf ein System und Verfahren zur Bestimmung eines virtuellen Zielweges um ein Objekt vor einem Subjektfahrzeug herum und insbesondere auf ein System und Verfahren zur Bestimmung eines virtuellen Zielweges um ein Zielfahrzeug vor einem Subjektfahrzeug herum, das einen geometrischen Algorithmus mit einer quadratischen polynomischen Funktion verwendet.

## Erörterung des verbundenen Stands der Technik

**[0002]** Moderne Fahrzeuge umfassen manchmal ein Kollisionsvermeidungssystem, das Objekterkennungssensoren verwendet, die die Kollisionswarnung oder -vermeidung und sonstige aktive Sicherheitsanwendungen zulassen. Es sind unterschiedliche Kollisionsvermeidungssysteme und/oder Abstandsregeltempomate dieser Art in der Fachwelt bekannt, welche eine automatische Fahrzeugkontrolle, wie z. B. Abbremsen, bereitstellen, wenn eine potentielle oder bevorstehende Kollision mit einem anderen Fahrzeug oder Objekt erkannt wird, und diese können ebenfalls eine Warnung bereitstellen, um es dem Fahrer zu ermöglichen, Korrekturmaßnahmen zu ergreifen, um die Kollision zu vermeiden. Zum Beispiel sind adaptive Abstandsregeltempomate bekannt, die einen nach vorne gerichteten Sensor, wie einen Radar oder LiDAR-Sensor, verwenden, der eine automatische Geschwindigkeitskontrolle und/oder Abbremsen umfasst, wenn sich das Fahrzeug einem anderen Fahrzeug nähert. Auch sind Kollisionsvermeidungssysteme bekannt, die Sensoren für die Bestimmung verwenden, ob eine Kollision mit einem Objekt bevorsteht, und automatisches Fahrzeugbremsen bereitstellt, selbst wenn der Fahrer das Fahrzeug kontrolliert.

**[0003]** Die Objekterkennungssensoren für diese Art von Systemen können eine beliebige Technologie verwenden, wie z. B. Kurzstreckenradar, Langstreckenradar, Kameras mit Bildverarbeitung, Laser oder LiDAR, Ultraschall usw. Die Objekterkennungssensoren erkennen Fahrzeuge und sonstige Objekte im Weg eines Fahrzeugs, und die Anwendungssoftware verwendet die Objekterkennungsinformationen, um Warnungen bereitzustellen oder je nach Bedarf Maßnahmen zu ergreifen. Die Warnung kann eine optische Anzeige auf dem Armaturenbrett des Fahrzeugs oder in einer Frontscheibenanzeige (HUD) sein und/oder kann eine Audiowarnung oder eine andere haptische Rückmeldungsvorrichtung wie z. B. ein haptischer Sitz sein. In vielen Fahrzeugen sind die Objekterkennungssensoren direkt in der Frontstoßstange oder einer anderen Front des Fahrzeugs integriert.

**[0004]** Diese Arten von System verwenden häufig Langstreckensensoren, die ein schmales Sichtfeld im Nahfeld des Fahrzeugs aufweisen. Insbesondere kommen die Sensorsignale aus einer Punktquelle am Fahrzeug und verbreiten sich nach vorne vom Fahrzeug, typischerweise ungefähr 150 Meter weit. Das Kollisionswarnungssystem gibt einen Radar- oder Laserstrahl nach vorne vom Fahrzeug ab und bearbeitet Rückstrahlungen von Objekten vor dem Fahrzeug. Das System erzeugt Messungen mit den Rückstrahlungen und schätzt das Potential einer Kollision basierend auf der Geschwindigkeit des Fahrzeugs, der Richtung im Verhältnis zu den Objekten, Bedingungen des Straßenbelags usw. ein.

**[0005]** Radar- und LiDAR-Sensoren, die manchmal auf Fahrzeugen verwendet werden, um Objekte um das Fahrzeug herum zu erkennen und eine Entfernung zu und Orientierung dieser Objekte bereitzustellen, stellen Rückstrahlungen dieser Objekte als mehrere Scanpunkte bereit, die als eine Punktcluster-Bereichskarte kombiniert werden, wobei ein separater Scanpunkt alle entlang des Sichtfeldes des Sensors bereitgestellt wird. Demzufolge, wenn ein Zielfahrzeug oder sonstiges Objekt vor dem Fahrzeug erkannt wird, könnten mehrere Scanpunkte vorliegen, die zurückgesandt werden und den Abstand des Zielfahrzeugs vom Subjektfahrzeug ermitteln. Durch die Bereitstellung eines Clusters von Scan-Rücksendungspunkten können Objekte mit unterschiedlichen und beliebigen Formen, wie LKWs, Anhänger, Fahrrad, Fußgänger, Radlenker, Absperrungen usw. schneller erkannt werden, wobei desto mehr Scanpunkte bereitgestellt werden, je größer und/oder näher das Objekt am Subjektfahrzeug ist.

**[0006]** Bis zu diesem Zeitpunkt waren Kollisionsvermeidungssysteme im Allgemeinen auf Systeme beschränkt, die ein automatisches Bremsen für den Fall bereitstellen, dass der Fahrzeugführer ein Ausweichmanöver nicht rechtzeitig einleitet, um eine Kollision zu vermeiden. Kollisionsvermeidungssysteme dieser Art können jedoch von der Bereitstellung von kombiniertem automatischem Bremsen und Lenken profitieren, um eine Kollision zu vermeiden.

**[0007]** U. S. Patentanmeldungsseriennummer 12/908,699, mit dem Titel Fahrzeugkollisionsvermeidungs- und Warnsystem, eingereicht am 20. Oktober 2010, an den Abtretungsempfänger der vorliegenden Erfindung abgetreten und hier durch Referenz einbezogen, offenbart ein Kollisionsvermeidungssystem, das kombiniertes automatisches Bremsen und Lenken verwendet. Das Kollisionsvermeidungssystem definiert erste, zweite, dritte und vierte Grenzwerte, die eine Zeit bis zur Kollision mit einem Zielfahrzeug durch ein Subjektfahrzeug identifizieren und auf der Geschwindigkeit des Subjektfahrzeugs, der Beschleunigung des Subjektfahrzeugs, der Geschwindigkeit des Zielfahrzeugs, der Beschleunigung des Zielfahrzeugs, dem Abstand zwischen Zielfahrzeug und Subjektfahrzeug und einem Reibungskoeffizienten der Fahrbahn, auf der das Subjektfahrzeug und das Zielfahrzeug unterwegs sind, basieren, wobei der erste Grenzwert höher als der zweite Grenzwert, der zweite Grenzwert höher als der dritte Grenzwert und der dritte Grenzwert höher als der vierte Grenzwert ist. Das Kollisionsvermeidungssystem bestimmt, ob die Zeit bis zur Kollision weniger als der erste Grenzwert ist, und leitet, wenn dies der Fall ist, eine Kollisionswarnung ein. Das Kollisionsvermeidungssystem bestimmt ebenfalls, ob die Zeit bis zur Kollision weniger als der zweite Grenzwert ist, wenn die Zeit bis zur Kollision weniger als der erste Grenzwert ist, und bietet, sollte dies der Fall sein, automatisches Bremsen des Subjektfahrzeugs. Das Kollisionsvermeidungssystem bestimmt ebenfalls, ob die Zeit bis zur Kollision weniger als der dritte Grenzwert ist, wenn die Zeit bis zur Kollision weniger als der zweite Grenzwert ist, und prüft, sollte dies der Fall sein, ob neben dem Subjektfahrzeug eine freie Fahrbahn vorhanden ist. Das Kollisionsvermeidungssystem bietet vollautomatisches Kollisionsvermeidungsbremsen, wenn die Zeit bis zur Kollision weniger als der dritte Grenzwert ist und die Fahrbahn neben dem Subjektfahrzeug nicht frei ist. Das Kollisionsvermeidungssystem bestimmt ebenfalls, ob die Zeit bis zur Kollision weniger als der vierte Grenzwert ist, wenn die Zeit bis zur Kollision weniger als der dritte Grenzwert ist und die Fahrbahn neben dem Subjektfahrzeug frei ist. Das Kollisionsvermeidungssystem bietet automatisches Lenken und Bremsen des Subjektfahrzeugs, wenn die Zeit bis zur Kollision weniger als der vierte Grenzwert ist und die Fahrbahn neben dem Subjektfahrzeug frei ist.

**[0008]** Wie oben beschrieben, sind Kollisionsvermeidungssysteme in der Fachwelt dafür bekannt, automatisches Lenken eines Subjektfahrzeugs bereitzustellen, um ein langsames oder angehaltenes Objekt vor dem Subjektfahrzeug zu umfahren, sollte der Fahrzeugführer nicht von allein Ausweichmaßnahmen ergreifen. Die Kollisionsvermeidungssysteme bieten dem Fahrzeugführer Warnungen und können je nachdem, ob der Fahrer Ausweichmaßnahmen ergreift, automatisches Bremsen und/oder automatisches Lenken bereitstellen. Sollte das System bestimmen, dass automatisches Lenken erforderlich ist, um eine Kollision zu vermeiden, muss das System einen sicheren Lenkweg berechnen und der Lenkkontrolle bereitstellen. Manche dieser Systeme sind in der Lage, Fahrbahnmarkierungen zu erkennen, um den Lenkweg des Subjektfahrzeugs zu berechnen und die Spur zur Vermeidung einer Kollision zu wechseln. Solche Kollisionsvermeidungssysteme bieten ebenfalls Lenkbefehle, die das Subjektfahrzeug dazu bringen, dem berechneten Lenkweg zu folgen, um die Fahrzeuglenkung bereitzustellen. Zum Beispiel offenbart U. S. Patentanmeldungsseriennummer 12/399,317, mit dem Titel Modellbasierte Prädiktive Kontrolle für Automatisierte Fahrbahnzentrierung/wechsel-Kontrollsysteme, ein System und Verfahren zur Bereitstellung einer Lenkkontrolle zwecks des Fahrbahnwechsels oder der Fahrbahnzentrierung in einem autonomen oder teilautonomen fahrzeugbetriebenen System. Es besteht jedoch bei dieser Art von Kollisionsvermeidungssystemen der Bedarf, einen evasiven Lenkweg zu berechnen, wo Fahrbahnmarkierungen für Nachbarspuren nicht für Kollisionsvermeidungszwecke vorhanden sind.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0009]** Im Einklang mit den Angaben der vorliegenden Erfindung werden ein System und ein Verfahren für die Berechnung des virtuellen Zielweges offenbart, der verwendet wird, um einen ausweichenden Lenkweg um ein Zielobjekt herum, z. B. ein Zielfahrzeug, das vor dem Subjektfahrzeug angehalten hat, zu berechnen. Das Verfahren umfasst die Bereitstellung einer Vielzahl von Scanpunkten, das Erkennen von Objekten mit einem oder mehreren Sensoren am Subjektfahrzeug und das Aufteilen der vielen Scanpunkte in Zielobjekt-Scanpunkte, die von einem Zielobjekt erhalten wurden, und andere Objekt-Scanpunkte, die von anderen Objekten erhalten wurden, falls vorhanden. Das Verfahren umfasst die Bestimmung eines Potentialfeldes mithilfe einer Vielzahl von Scanpunkten, bei denen es sich um eine Summierung von zweidimensionalen Gaussfunktionen handelt, wobei jede Gaussfunktion ein Zentrum aufweist, das durch die Zielobjekt-Scanpunkte und die anderen Objekt-Scanpunkte definiert ist. Das Verfahren identifiziert ein Raster in einer X-Y-Ebene und in einem vorbestimmten Bereich, wobei sich der Lenkweg dort befinden wird, wo das Raster Rasterpunkte an Stellen umfasst, wo sich Linien der X- und Y-Ebene kreuzen und wo sich Linien der X-Ebene in der Richtung des Fahrweges des Subjektfahrzeugs und die Linien der Y-Ebene senkrecht zur X-Richtung befinden. Das Verfahren identifiziert einen lokalen Mindestpunkt des Potentialfeldes für jede Linie der X-Ebene bei jedem Rasterpunkt entlang der Linie der Y-Ebene, die diese Linie der X-Ebene kreuzt, wobei der lokale Mindestpunkt ein Kurvenpunkt ist und jede Linie der X-Ebene einen Kurvenpunkt umfasst. Das Verfahren verbindet dann die Kurvenpunkte, um den

Zielweg durch die Anpassung einer quadratischen Polynomfunktion durch die Punkte mithilfe eines Verfahrens des kleinsten Fehlerquadrates zu definieren.

**[0010]** Zusätzliche Eigenschaften der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung und den angefügten Ansprüchen in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen offensichtlich.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0011]** Fig. 1 ist eine Darstellung des Subjektfahrzeugs hinter einem Zielfahrzeug, wobei ein ausweichender Lenkweg gezeigt wird, damit das Subjektfahrzeug zur Kollisionsvermeidung um das Zielfahrzeug herum fahren kann.

**[0012]** Fig. 2 ist ein Blockdiagramm eines Verfahrens, in dem die Berechnung und Implementierung eines ausweichenden Lenkmanövers dargestellt wird;

**[0013]** Fig. 3 ist ein Flussdiagramm, in dem ein Verfahren dargestellt wird, um einen virtuellen Zielweg mithilfe der Geometriemethode zu ermitteln;

**[0014]** Fig. 4 ist eine Darstellung, in der gerade Weglinien für ein Subjektfahrzeug gezeigt werden, das auf einem geraden Weg fährt;

**[0015]** Fig. 5 ist eine Darstellung, in der kurvenförmige Weglinien für ein Subjektfahrzeug gezeigt werden, das auf einem kurvenförmigen Weg fährt;

**[0016]** Fig. 6 ist eine Darstellung von ignorierten erkannten Objekten für die Berechnung einer virtuellen Zielkurve;

**[0017]** Fig. 7 ist eine Darstellung einer Berechnung einer Korridorbreite zwischen einem Zielfahrzeug und Objekten;

**[0018]** Fig. 8 ist eine Grafik, in der eine Raumdarstellung mithilfe von Delaunay-Triangulation gezeigt wird;

**[0019]** Fig. 9 ist eine Grafik, in der Mittelpunkte von ausgewählten Kanten der Delaunay-Triangulation aufgeführt sind, die beim Dijkstra-Algorithmus als Eckpunkte verwendet werden;

**[0020]** Fig. 10 ist eine Grafik, in der Segmente dargestellt sind, die die Eckpunkte der Delaunay-Triangulation verbinden;

**[0021]** Fig. 11 ist eine Grafik der Raumdarstellung, in der der mit dem Dijkstra-Algorithmus ermittelte kürzeste Weg dargestellt ist;

**[0022]** Fig. 12 ist eine Darstellung, in der ein Subjektfahrzeug gezeigt wird, das ein Ausweichmanöver um das Zielfahrzeug herum ohne andere Objekte im Weg ausführt;

**[0023]** Fig. 13 ist eine Darstellung, in der ein Subjektfahrzeug gezeigt wird, das ein Ausweichmanöver zwischen einem Zielfahrzeug und anderen Objekten auf einem geraden Weg ausführt;

**[0024]** Fig. 14 ist eine Darstellung, in der ein Subjektfahrzeug gezeigt wird, das ein Ausweichmanöver um ein Zielfahrzeug herum ausführt, das in Beziehung zu anderen Objekten kurvenförmig ist;

**[0025]** Fig. 15 ist eine Darstellung, in der ein Subjektfahrzeug gezeigt wird, das ein Ausweichmanöver um Objekte herum ausführt, nachdem es ein Zielfahrzeug überholt hat;

**[0026]** Fig. 16 ist eine Darstellung, in der ein Subjektfahrzeug gezeigt wird, das ein Ausweichmanöver um ein Zielfahrzeug herum mithilfe eines virtuellen Potentialfeldverfahrens und der Bestimmung eines Zielgrenzwertes ausführt;

**[0027]** Fig. 17 ist eine Darstellung, in der ein Subjektfahrzeug gezeigt wird, das ein Ausweichmanöver um ein Zielfahrzeug herum mithilfe eines virtuellen Potentialfeldverfahrens und der Bestimmung eines Objektgrenzwertes ausführt;

**[0028]** Fig. 18 ist ein Beispiel einer zweidimensionalen Gaußfunktion; und

**[0029]** Fig. 19 ist ein Flussdiagramm, in dem ein Verfahren, für die Ermittlung eines ausweichenden Lenkwegs mithilfe des virtuellen Potentialfeldverfahrens dargestellt wird.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0030]** Die folgende Erörterung der Ausführungsformen der Erfindung bezüglich eines Systems und Verfahrens für die Bestimmung eines virtuellen Zielweges um ein Zielobjekt herum vor einem Subjektfahrzeug zur Kollisionsvermeidung dient lediglich der Erklärung und ist nicht dazu gedacht, die Anwendung und Verwendungen einzuschränken.

**[0031]** Wie nachstehend genauer erörtert, schlägt die vorliegende Erfindung zwei Techniken vor, die Algorithmen für die Bestimmung eines virtuellen Zielweges verwenden, der zur Suche eines evasiven Lenkpfades um ein angehaltenes oder langsames Objekt vor einem Subjektfahrzeug herum zur Kollisionsvermeidung verwendet wird, welcher nicht die Erkennung von Fahrbahnmarkierungen auf der Fahrbahn verwendet. Die beiden Algorithmen basieren auf einer Geometriemethode und einem virtuellen Potentialfeldverfahren, wobei beide eine quadratische Polynomfunktion verwenden. Es ist zu beachten, dass, auch wenn die vorliegende Erfindung kein automatisches Bremsen umfasst oder behandelt, um eine Kollision mit einem Objekt zu vermeiden, automatisches Bremsen zusammen mit dem automatischen ausweichenden Lenken im Kollisionsvermeidungssystem verwendet werden würde, dem die Erfindung angehört. Es ist ebenfalls zu beachten, dass die vorliegende Erfindung auch nicht die Bereitstellung eines Lenkbefehls für das Fahrzeuglenksystem, um dem ausweichenden Lenkweg zu folgen, einbezieht oder behandelt. Jedoch wäre die Bereitstellung eines solchen Befehls ebenfalls Teil eines Kollisionsvermeidungssystems, dem die Erfindung angehört.

**[0032]** Fig. 1 ist eine Darstellung **10**, in der ein Subjektfahrzeug **12** dargestellt ist, das hinter einem Zielfahrzeug **14** hinterherfährt, wobei das Zielfahrzeug **14** langsamer als das Subjektfahrzeug **12** fährt oder angehalten ist. Das Zielfahrzeug **14** soll ein beliebiges Objekt vor dem Subjektfahrzeug **12** darstellen, das sich innerhalb eines Kollisionsweges in der Fahrtrichtung des Subjektfahrzeuges **12** befindet. Es ist zu beachten, dass die Referenznummern **12** und **14** in anderen Figuren der nachstehenden Erörterung jeweils für das Subjektfahrzeug und das Zielfahrzeug verwendet werden. Das Subjektfahrzeug **12** umfasst ein Kollisionsvermeidungssystem **16**, das betriebsbereit ist, um die unterschiedlichen Berechnungen und Verfahren durchzuführen, darunter die Bestimmung eines virtuellen Zielweges, wie hier besprochen. Das Kollisionsvermeidungssystem **16** empfängt Sensorsignale von einem oder mehreren Sensoren, im Allgemeinen als Sensor **18** dargestellt, welcher ein beliebiger geeigneter Sensor für die hier besprochenen Zwecke sein kann, z. B. Radar, LiDAR, Kamera, Ultraschallsensoren usw. Für diese Erfindung wird das System **16** typischerweise Datenscanpunkte von einem LiDAR-Sensor auf dem Subjektfahrzeug **12** verwenden, wobei die Datenscanpunkte auch als Scanpunkte **26** von allen anderen Objekten dargestellt werden, jedoch nur bei dem Zielfahrzeug **14** gezeigt werden. Die Datenscanpunkte werden in einer in der Fachwelt gut bekannten Weise in eine Datenscanpunkt-Clusterkarte verwandelt. Einen Datenscanpunkt-Cluster mit erkannten Objekten mithilfe eines LiDAR-Sensors zu erhalten, ist für den Fachmann bekannt, siehe zum Beispiel U. S. Patentanmeldungsseriennummer 13/901,123, mit dem Titel Probabilistische Zielwahl und Gefahrenabschätzungsmethode und Anwendung auf Kreuzungskollisionswarnsystem, eingereicht am 23. Mai 2013, an den Abtretungsempfänger der vorliegenden Erfindung abgetreten und hier durch Referenz einbezogen.

**[0033]** Das Kollisionsvermeidungssystem **16** verwendet die Scanpunkte **26** vom LiDAR-Sensor **18**, um das Zielfahrzeug **14** zu erkennen, und bestimmt bei Bedarf einen ausweichenden Lenkweg **20** um das Zielfahrzeug **14** herum, wobei anderen Objekten **22** wie Verkehrsleitkegeln, Absperrungen, Bäumen, Zeichen usw. ausgewichen wird, sollte der Fahrer nicht rechtzeitig von allein die geeignete Ausweichmaßnahme treffen. Das Kollisionsvermeidungssystem **16** verwendet einen virtuellen Zielweg **24**, um den evasiven Lenkweg **20** zu finden. Wie nachstehend ausführlich beschrieben, wird der virtuelle Zielweg **24** berechnet, um es dem Subjektfahrzeug **12** zu gestatten, einen sicheren Abstand vom Zielfahrzeug **14** zu halten, wenn das Subjektfahrzeug **12** das Zielfahrzeug **14** überholt, sowie einen sicheren Abstand von den Objekten **22**, falls vorhanden. Wenn die Objekte **22** nicht vorhanden sind oder weit genug vom Zielfahrzeug **14** entfernt sind, wird der virtuelle Zielweg **24** parallel zur Fahrtrichtung des Subjektfahrzeugs vor dem Ausweichmanöver verlaufen. Wenn die Objekte **22** nah genug am Zielfahrzeug **14** sind, wo sie eine Kollisionsgefahr darstellen, kann der virtuelle Zielweg **24** eine Kurve sein. In dieser bestimmten Erörterung liegen keine Fahrbahnmarkierungen für den Sensor **18** vor, um eine Spur neben dem Zielfahrzeug **14** zu erkennen oder zu identifizieren, sodass das Fahrzeug **12** die Spur wechseln kann. Das Kollisionsvermeidungssystem **16** wird die Objekte **22** auf beiden Seiten des Zielfahrzeugs

**14** erkennen und wird, basierend auf diesen Objekten, bestimmen, welche Seite des Zielfahrzeugs **14** den sichersten ausweichenden Lenkweg für das Subjektfahrzeug **12** gewährt.

**[0034]** Fig. 2 ist ein schematisches Blockdiagramm eines Kollisionsvermeidungssystems **30**, das als das System **16** auf dem Subjektfahrzeug **12** verwendbar ist. Das System **30** umfasst einen Verbesserten-Kollisionsvermeidungs-Kontroller **32**, der einen Lenkbefehl für das Subjektfahrzeug **12** bereitstellt, wobei dynamische Berechnungen von einem Prozessor **34** bereitgestellt werden, welcher den Abstandswert  $D$ , bereitstellt, welcher der Abstand zwischen dem Subjektfahrzeug **12** und dem Zielfahrzeug **14** für einen Spurwechselweg-Prozessor **36** ist. Der Prozessor **36** verwendet die virtuellen Zielwegkoeffizienten  $a$ ,  $b$  und  $c$ , die von einem virtuellen Spurenprozessor bereitgestellt wurden, um den ausweichenden Lenkweg **20** zu berechnen, wenn der Abstand  $D$  zusammen mit der relativen Geschwindigkeit zwischen dem Subjektfahrzeug **12** und dem Zielfahrzeug **14** eine Ausweichmaßnahme erforderlich macht. Wenn der ausweichende Lenkweg **20** berechnet werden muss, bietet der Prozessor **36** einen gewünschten lateralen Ausgleich  $\Delta$  bei Feld **38** und einen gewünschten Gierwinkel  $\Phi$  bei Feld **40**, damit das Subjektfahrzeug **12** den Pfad **20** festlegen kann, siehe Fig. 1. Ein in den Prozessor **34** einbezogener LiDAR-Sensor stellt die Datenscanpunktkarte für einen Wahrnehmungsmodulprozessor **42** bereit, der die Daten verarbeitet und Sensordatenfusion, Objekterkennung, Objektverfolgung usw. bereitstellt. Der Fachmann wird die Prozessoren und Algorithmen sofort erkennen, die Daten, Bilder und Informationen von unterschiedlichen Arten von Sensoren sowie andere Signale bearbeiten und diese Informationen kombinieren, um Objekte zu überwachen, die stationär sind oder sich um das Subjektfahrzeug **12** herum bewegen. Die verarbeiteten Datenscanpunktinformationen werden einem virtuellen Spurenprozessor **44** bereitgestellt, der die Werte  $a$ ,  $b$  und  $c$  für eine quadratische Polynomfunktion ausgibt, um den virtuellen Zielweg **24** in einer Weise zu definieren, die nachstehend genauer geschildert wird. Der Wert  $c$  wird vom lateralen Versatzwert  $\Delta$  in einem Vergleich **46** abgezogen, um eine Änderung des gewünschten lateralen Versatzes  $\delta_{\Delta}$  bereitzustellen, und der Wert  $b$  wird von der gewünschten Fahrtrichtung  $\Phi$  in einem Vergleich **48** abgezogen, um eine Änderung der gewünschten Fahrtrichtung  $\delta_{\Phi}$  bereitzustellen, um die Änderungen des Lenkweges **20** zu gestatten, welche dem ECA-Kontroller **32** bereitgestellt werden.

**[0035]** Fig. 3 ist ein Flussdiagramm **62**, in dem ein Verfahren dargestellt wird, um einen virtuellen Zielweg **24** mithilfe des geometrischen Algorithmus zu ermitteln. Es ist zu beachten, dass das System **30**, bevor die geometrische Kollisionsvermeidungsanalyse und die Berechnungen durchgeführt wurden, bereits bestimmt hat, dass ein Kollisionsrisiko möglich oder wahrscheinlich ist, basierend auf anderen Algorithmen und Kontrollen, die die Geschwindigkeit und Position des Subjektfahrzeugs **12** und des Zielfahrzeugs **14** überwachen. Es ist des Weiteren zu beachten, dass das Verfahren des Flussdiagramms **62** im virtuellen Spurenprozessor **44** durchgeführt wird. Der Algorithmus beginnt bei Block **64** und bestimmt dann, ob die neue Datenscanpunktkarte des Wahrnehmungsmodulprozessors **42** beim Entscheidungsdiamanten **66** empfangen wurden, und wenn nicht, verlässt der Algorithmus bei Block **68**. Wenn eine neue Datenscanpunktkarte beim Entscheidungsdiamanten **66** empfangen wurde, fährt der Algorithmus mit Feld **70** fort, um Schritte der Vorverarbeitung bei den Scan-Cluster-Datenpunkten vorzunehmen. Der Vorverarbeitungsprozess führt viele Funktionen durch, darunter die Bestimmung, welche Datenpunkte vom Zielfahrzeug **14** stammen, welche Datenpunkte von den anderen Objekten **22**, was diese Objekte sind usw. Basierend auf der Bestimmung, welche Datenpunkte welche Objekte darstellen und deren Lage in Bezug auf das Subjektfahrzeug **12**, bestimmt der Algorithmus im Vorverarbeitungsprozess, welche die beste oder sicherste Seite des Zielfahrzeugs **14** für den virtuellen Zielweg **24** ist, sodass das Subjektfahrzeug **12** das Zielfahrzeug **14** sicherer umgehen kann.

**[0036]** Die folgende Erörterung beschreibt ein Verfahren, um das Zielfahrzeug **14** unter einer Reihe Objekte zu erkennen, die vom LiDAR-Sensor **18** bei Feld **70** erkannt wurden. Je nach dem Verfahren des Subjektfahrzeugs **12** werden zwei unterschiedliche Szenarien in Betracht gezogen.

**[0037]** Für das erste Szenario fährt das Subjektfahrzeug **12** auf einem geraden Weg, wobei davon ausgegangen wird, dass die Gierrate des Subjektfahrzeugs sehr gering ist, z. B.  $|\omega_{SV}| < \text{TBD}$ . Fig. 4 ist eine Darstellung **160**, in der das Subjektfahrzeug **12** das Zielfahrzeug **14** auf einem Weg verfolgt, der durch gerade Linien **162** und **164** festgelegt ist. Der Verfahrensweg des Subjektfahrzeugs **12** ist in globalen Koordinaten wie folgt festgelegt:

$$Y_{L1}(X) = Y_{SV} + (X - X_{SV})\tan \theta_{SV} + W/2, \quad (1)$$

$$Y_{L2}(X) = Y_{SV} + (X - X_{SV})\tan \theta_{SV} - W/2, \quad (2),$$

wobei  $(X_{SV}, Y_{SV})$  und  $\theta_{SV}$  jeweils die Position und die Richtung des Subjektfahrzeugs **12** in den globalen Koordinaten darstellen und  $W$  die Breite des Subjektfahrzeugs **12** ist.

**[0038]** Sobald die Linien **162** und **164** berechnet wurden, werden alle Scanpunkte **26** ermittelt, die innerhalb des von den Weglinien **162** und **164** festgelegten Bereichs liegen, d. h. die Punkte **26**, die die folgende Ungleichung erfüllen:

$$Y_{L2}(X_{si}) \leq Y_{si} \leq Y_{L1}(X_{si}), \quad (3)$$

wobei  $(X_{si}, Y_{si})$  die Position jedes Scanpunktes **26** in den globalen Koordinaten ist.

**[0039]** Die Darstellung **160** zeigt die Weglinien **162** und **164** und die Scanpunkte **26** innerhalb und außerhalb des bestimmten Bereichs. Da der LiDAR-Sensor **18** die Informationen bereitstellt, welche der Scanpunkte **26** welchem erkannten Objekt **22** angehören, kann die Anzahl der Scanpunkte **26** für jedes Objekt **22** innerhalb des Bereichs gezählt werden. Das Objekt **22** mit der höchsten Anzahl von Scanpunkten **26** innerhalb des festgelegten Bereichs wird als "Zielfahrzeug" für die Berechnung der virtuellen Zielkurve betrachtet.

**[0040]** Für das zweite Szenarium fährt das Subjektfahrzeug **12** auf einer Kurve, wobei davon ausgegangen wird, dass die Gierrate des Subjektfahrzeugs größer als ein Grenzwert ist, z. B.  $|\omega_{SV}| > \text{TBD}$ . **Fig. 5** ist eine Darstellung **170**, in der das Subjektfahrzeug **12** das Zielfahrzeug **14** auf einer Kurve verfolgt, die durch gekrümmte Linien **172** und **174** festgelegt ist. Der Verfahrweg des Subjektfahrzeugs **12** zu einem bestimmten Zeitpunkt ist anhand einer kreisförmigen Kurve mit den folgenden Parametern bestimmbar:

$$R_{cir} = V_{SV} / \omega_{SV}, \quad (4)$$

$$X_{cir} = \begin{cases} X_{SV} + R_{cir} \sin \theta_{SV} & \text{if } \omega_{SV} < 0 \\ X_{SV} - R_{cir} \sin \theta_{SV} & \text{if } \omega_{SV} > 0 \end{cases}, \quad (5)$$

$$Y_{cir} = \begin{cases} Y_{SV} - R_{cir} \cos \theta_{SV} & \text{if } \omega_{SV} < 0 \\ Y_{SV} + R_{cir} \cos \theta_{SV} & \text{if } \omega_{SV} > 0 \end{cases}, \quad (6)$$

wobei  $V_{SV}$  die Längsgeschwindigkeit des Subjektfahrzeugs **12**,  $R_{cir}$  der Radius der kreisförmigen Kurve und  $(X_{cir}, Y_{cir})$  die Position des Kreismittelpunkts in den globalen Koordinaten ist.

**[0041]** Mit diesen Parametern ist anhand der beiden parallelen gekrümmten Linien **172** und **174** auf den Seiten des Subjektfahrzeugs **12** ein Bereich für den Weg des Subjektfahrzeugs **12** bestimmbar. Ähnlich wie bei dem ersten Szenario werden die Scanpunkte **26** innerhalb dieses Bereichs gefunden, indem sie die folgende Ungleichung erfüllen:

$$(R_{cir} - W/2)^2 \leq (X_{si} - X_{cir})^2 + (Y_{si} - Y_{cir})^2 \leq (R_{cir} + W/2)^2. \quad (7)$$

**[0042]** Die Darstellung **170** zeigt die gekrümmten Weglinien **172** und **174** und die Scanpunkte **26** innerhalb und außerhalb des bestimmten Bereichs für dieses Szenario. Die Anzahl der Scanpunkte **26** wird für jedes Objekt **22**, das innerhalb des Bereichs liegt, gezählt, und das Objekt **26** mit den meisten Scanpunkten **26** innerhalb des Bereichs wird als Zielfahrzeug **14** für die Berechnung der virtuellen Zielkurve betrachtet.

**[0043]** Es ist zu beachten, dass die Berechnungen oben für die Erkennung des Zielfahrzeugs **14** jedes Mal, wenn neue Scanpunktdaten empfangen werden und bevor das tatsächliche ausweichende Lenkmanöver eingeleitet wird, wiederholt werden. Nach dem Beginn des ausweichenden Lenkmanövers des Subjektfahrzeugs **12** wird das Zielfahrzeug **14** immer das entsprechende, vor dem ausweichenden Lenkmanöver erkannte Objekt **22** sein. Der Zeitraum, in dem die Ausweichmanöver-Kontrolle aktiviert ist, das ausweichende Lenkmanöver jedoch nicht eingeleitet wurde aufgrund eines hohen Zeit-bis-zur-Kollision-Wertes, wird "Vorverarbeitungszeitraum" genannt.

**[0044]** Der LiDAR-Sensor **18** kann Seitenobjekte erkennen, die weit vom Zielfahrzeug **14** entfernt sind, sowie irrelevante Objekte um den Weg des Subjektfahrzeugs **12** herum, die bei Feld **70** ignoriert werden müssen. Zu diesen Objekten gehören Bäume, Häuser und andere irrelevanten Objekte, die bei der Berechnung der virtuellen Zielkurve keine Rolle spielen werden. Es ist daher wünschenswert, eine Technik zu verwenden, um diese entfernten Objekte zu ignorieren. Dies ist leicht möglich durch Festlegung eines sicheren Bereichs auf beiden Seiten des Zielfahrzeugs **14**. **Fig. 6** ist eine Darstellung **180**, in der ein sicherer Abstand  $d_{safe}$  über das Zielfahrzeug **14** hinaus bestimmt wird, wobei Objekte **182**, die außerhalb des sicheren Abstands  $d_{safe}$  erkannt

werden, nicht bei der Berechnung der virtuellen Zielkurve einbezogen werden. Ein erkanntes Objekt wird bei den Berechnungen ignoriert, sollte es eine der folgenden Bedingungen erfüllen.

$$\begin{cases} b_{jY} < \min_i a_{iY} - d_{safe} \\ b_{jY} > \max_i a_{iY} + d_{safe} \end{cases} \text{ or } \text{for } i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, \quad (8)$$

wobei  $a_{iY}$  und  $b_{jY}$  jeweils die Y-Koordinaten der Zielscanpunkte und Objektscanpunkte sind und  $d_{safe}$  die sichere Korridorbreite ist, die den Bereich außerhalb bestimmt, in dem die erkannten Objekte ignoriert werden.

**[0045]** Sollten keine Scanpunkte vom Zielfahrzeug **14** verfügbar sein, z. B. wenn das Subjektfahrzeug **12** das Zielfahrzeug **14** überholt, werden die letzten verfügbaren Scanpunkte des Zielfahrzeugs **14** für die Berechnung in der Gleichung (8) in Betracht gezogen.

**[0046]** Sollte sich zu einem beliebigen Zeitpunkt das ausweichende Lenkmanöver als unsicher erweisen, da nicht ausreichend Platz zwischen dem Zielfahrzeug **14** und den Objekten **22** vorhanden ist, sollte ein Signal an den ECA-Kontroller **32** geschickt werden, um das ausweichende Lenkmanöver zu unterbrechen oder abzubrechen. **Fig. 7** ist eine Darstellung **190**, in der das Szenario für die Berechnung einer Korridorbreite  $W_{cor}$  zwischen dem Zielfahrzeug **14** und den Objekten **22** dargestellt ist, um zu bestimmen, ob die Korridorbreite ausreichend Platz für das ausweichende Lenkmanöver gestattet. Um die Korridorbreite  $W_{cor}$  zu finden, wählen Sie zuerst die Objektpunkte, die innerhalb eines vorher festgelegten Grenzwertes liegen, der einen Abstand von Vorder- bis Rückseite des Zielfahrzeugs **14** einbezieht. Die ausgewählten Zielpunkte innerhalb dieser Grenzen erfüllen die folgende Ungleichung:

$$b_j \in b^{in} \text{ if } \min_i a_{iX} - d_{safe} \leq b_{jX} \leq \max[(\max_i a_{iX} + d_{safe}), (\min_i a_{iX} + 2d_{safe})], \\ \text{for } i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

wobei  $b^{in}$  die Gruppe der Objektpunkte innerhalb eines Zielfahrzeugbereich ist. Die Korridorbreite  $W_{cor}$  wird dann als Mindestabstand der Laufpunkte und dem Zielfahrzeug **14** entlang der Y-Koordinate berechnet, im engeren Sinne:

$$W_{cor} = \begin{cases} \min_j |b_{jY} - \max_i a_{iY}| & \text{if } TD = left \\ \min_j |b_{jY} - \min_i a_{iY}| & \text{if } TD = right \end{cases} .$$

for  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $b_j \in b^{in}$  (10)

**[0047]** Wenn die in Gleichung (10) erhaltene Korridorbreite  $W_{cor}$  weniger als ein Sicherheitsabstand ist, wird ein Abbruchsignal an den ECA-Kontroller **32** gesandt.

**[0048]** Der Algorithmus, um die beste linke oder rechte Richtung für den virtuellen Zielweg **24** um das Zielfahrzeug **14** herum zu finden, wird nachstehend im folgenden zehnschrittigen Algorithmus mit den Nummern 1–10 beschrieben. Der Algorithmus verwendet die Scanpunkte **26** vom LiDAR-Sensor **18** als Eingaben, wobei davon ausgegangen wird, dass die Scanpunkte **26** vom Zielfahrzeug **14** bekannt sind. Dies ist durch unterschiedliche Verfahren möglich, z. B. durch die Bildverarbeitung der Sensorausgabe.

1. Die Scankarte mit einem clusterbildenden Algorithmus vereinfachen.
2. Die geclusterten Scanpunkte auf globale Koordinaten X-Y übertragen anhand der nachstehend beschriebenen Gleichungen (14) und (18).
3. Den Platz zwischen den geclusterten Scanpunkten durch Dreiecke darstellen mithilfe von "Delaunay-Triangulation", welche dem Fachmann bekannt ist. Als ein Beispiel ist in **Fig. 8** die Delaunay-Triangulation für eine Reihe Datenscanpunkte aufgeführt, wobei die obere und untere Reihe von Punkten **50** die Scanpunkte der Objekte **22** und die inneren Punkte **52** die Scanpunkte des Zielfahrzeugs **14** darstellen.
4. Die in **Fig. 9** dargestellten Eckpunkte **54** als den Mittelpunkt der Kanten **56** der Delaunay-Dreiecke festlegen, sofern:
  - a. Die Kante **56** nicht zwei Scanpunkte des Zielfahrzeugs **52** verbindet und
  - b. Die Differenz zwischen den Y-Koordinaten der beiden durch die Kante **56** verbundenen Scanpunkte größer als ein vorbestimmter Grenzwert  $T$  ist, z. B.  $|S_{iY} - S_{jY}| \geq T$ .
5. Segmente **58** als die Linien festlegen, die zwei Eckpunkte verbinden, die demselben Dreieck angehören, siehe **Fig. 10**.
6. Eine Grafik mit den Eckpunkten **54** in Schritt 4 und den Segmenten **58** in Schritt 5 festlegen.



7. Mithilfe des Dijkstra-Algorithmus den kürzesten Weg für die Grafik in Schritt 6 suchen, basierend auf dem folgenden Startknoten, Endknoten und Abstandsfunktionen:

- a. Der Startknoten wird als der Eckpunkt **54** mit dem minimalen X-Koordinatenwert definiert.
- a. Der Endknoten wird als der Eckpunkt **54** mit dem maximalen X-Koordinatenwert definiert.
- c. Der Abstand für jedes Segment **58** umfasst drei Komponenten:

$$D_k = \alpha_1 D_{k1} + \alpha_2 D_{k2} + \alpha_3 D_{k3}, \quad k = 1, 2, \dots, r, \quad (11)$$

wobei  $D_{k1}$  die Länge des k-th-Segments **58** ist,  $D_{k2}$  der Absolutwert des Hangwinkels des k-th-Segments **58** ist, gemessen ab der positiven X-Koordinate,  $D_{k3}$  die Komponente ist, die die Breite des Korridors zwischen Zielfahrzeug-Scanpunkten **26** und den Objekt-Scanpunkten darstellt, und die Koeffizienten  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  die Gewichte für jede Komponente der Entfernungsfunktion darstellen.

**[0049]** Es ist zu beachten, dass der bestimmte kürzeste Weg in Bezug auf die neue Abstandsfunktion in Gleichung (11) ist und nicht der herkömmliche Abstand zwischen Start- und Endknoten. **Fig. 11** zeigt einen ausgewählten Weg von einem Startknoten **94** zu einem Endknoten **96** entlang eines unteren Weges **60**, welcher den virtuellen Zielweg **24** auf der rechten Seite des Zielfahrzeugs **14** darstellt. Die Gewichtskoeffizienten  $\alpha$  sind so ausgewählt, dass die der Breite des Korridors zwischen dem Zielfahrzeug **14** und den Objekten **22** entsprechende dritte Komponente eine bedeutendere Rolle bei der Bestimmung des kürzesten Weges spielt. In **Fig. 11** wird der untere Weg **60** ausgewählt, da der untere Weg **60** zwischen den Zielfahrzeugpunkten **26** und Objektpunkten breiter als der obere Weg ist.

8. Die Scanpunkte in linke und rechte Punkte basierend auf deren relativer Position zum kürzesten Weg aufteilen, d. h. diejenigen über dem Weg sind die linken Punkte und diejenigen unter dem Weg sind die rechten Punkte.

9. Wenn die Scanpunkte des Zielfahrzeugs unter den rechten Punkten sind, ist die sichere Richtung des Spurwechsels "links" und die nicht dem Zielfahrzeug angehörenden Scanpunkte in der linken Gruppe werden als die Objektpunkte angesehen, anderweitig ist die Richtung "rechts" und die nicht dem Zielfahrzeug angehörenden Scanpunkte in der rechten Gruppe werden als die Objektpunkte angesehen. Andere Scanpunkte werden bei der Bestimmung der Zielkurven-Koeffizienten ignoriert.

10. Schritte 1 bis 9 wiederholen, sobald neue Datenscanpunkte vom Wahrnehmungsmodulprozessor **42** vorhanden sind.

**[0050]** Um die Abstandsfunktion  $D_{k3}$  in Gleichung (11) zu finden, welche der Breite des Weges zwischen dem Zielfahrzeug **14** und den Objekten **22** entspricht, führen Sie die folgenden fünf Schritte aus:

1. Suchen Sie die Eckpunkte **54**, deren X-Koordinatenwerte innerhalb eines von der X-Koordinate der Scanpunkte des Zielfahrzeugs a bestimmten Wertes liegen.
2. Teilen Sie die in Schritt 1 erhaltenen Eckpunkte **54** in zwei Gruppen auf, deren Eckpunkte **54** über oder unter den Punkten des Zielfahrzeugs **26** liegen.
3. Suchen Sie die für jeden Eckpunkt **54** in Schritt 1 entsprechende Korridorbreite wie folgt:
  - a. Wenn sich der Eckpunkt **54** unter den Scanpunkten des Zielfahrzeugs a, befindet, wird die Korridorbreite als Y-Koordinaten-Differenz zwischen dem minimalen Zielfahrzeugpunkt (in Bezug auf die Y-Koordinate) und dem minimalen Objektpunkt (in Bezug auf die Y-Koordinate) in Verbindung mit dem Eckpunkt **54** durch die Dreieckkante berechnet.
  - a. Wenn sich der Eckpunkt **54** über den Scanpunkten des Zielfahrzeugs a, befindet, wird die Korridorbreite als Y-Koordinaten-Differenz zwischen dem maximalen Zielfahrzeugpunkt (in Bezug auf die Y-Koordinate) und dem maximalen Objektpunkt (in Bezug auf die Y-Koordinate) in Verbindung mit dem Eckpunkt **54** durch die Dreieckkante berechnet.
4. Suchen Sie den Mindestwert der Korridorbreite für jede Gruppe von Eckpunkten **54** und markieren Sie die Gruppe, deren Mindestwert der niedrigste als Sterngruppe ist. Wenn die Mindestwerte der Gruppen die gleichen sind, existiert die Sterngruppe nicht.
5. Die Abstandsfunktion  $D_{k3}$  für jedes Segment **58** wird wie folgt erhalten:
  - a. Wenn das Segment **58** mit einem der Eckpunkte **54** von Schritt 1 verbunden ist:
    - i. Wenn der Eckpunkt **54** der Sterngruppe angehört, wie in Schritt 4 definiert, wird die Abstandsfunktion  $D_{k3}$  für das Segment **58** auf eine minimale Korridorbreite dieser Gruppe gestellt.
    - ii. Wenn der Eckpunkt **54** nicht einer Sterngruppe angehört oder die Sterngruppe nicht existiert, wird die Abstandsfunktion  $D_{k3}$  für das Segment **58** auf null gestellt.
  - b. Wenn das Segment **58** nicht mit einem der Eckpunkte **54** von Schritt 1 verbunden ist, wird die Abstandsfunktion  $D_{k3}$  auf null gestellt.

**[0051]** Der Algorithmus, um die sichere Richtung für den virtuellen Zielweg **24** zu finden, sollte beginnen, wenn das Zielfahrzeug **14** erkannt wurde, und muss abgeschlossen werden, bevor das tatsächliche Kollisionsvermeidungsmanöver eingeleitet wird. Sollte sich die sichere Spurwechselrichtung mit der Zeit ändern, da ein neuer Satz von Datenpunkten vorhanden ist, kann eine gewichtete Durchschnittsmethode mit mehr Gewichten für die neuesten Entscheidungen verwendet werden.

**[0052]** Wieder bei **Fig. 3**, nachdem die oben besprochenen vorverarbeitenden Berechnungen durchgeführt wurden, bestimmt der Algorithmus einen Kurvenpunkt  $p^*$ , der ein vordefinierter Sicherheitsabstand  $d_t$  vom nächstgelegenen Scanpunkt **26** auf dem Zielfahrzeug **14** von der sicheren Richtung des virtuellen Weges **24** bei Feld **72** ist, wie in der Darstellung **88** in **Fig. 12** gezeigt, wobei jeder der Scanpunkte **26** durch  $a_i$  bestimmt wird und der nächstgelegene Scanpunkt des Zielfahrzeugs **14** durch  $a^*$  bestimmt wird. Der Algorithmus bestimmt dann eine Ziellinie **92**, welche die Wahrscheinlichkeit für den virtuellen Zielweg **24** widerspiegelt, der parallel zur Richtung des Subjektfahrzeugs **12** verläuft, bevor das ausweichende Lenkmanöver eingeleitet wird, und verläuft durch den Punkt  $p^*$  bei Feld **74**.

**[0053]** Der sichere Abstand  $d_t$  wird ab dem nächstgelegenen Scanpunkt **26** am Zielfahrzeug **14** zur Ziellinie **92** auf der beabsichtigten Richtung des Spurwechselmanövers gemessen. Die Ziellinie **92** kann in globalen Koordinaten X-Y wie folgt dargestellt werden:

$$Y = p_Y^*, \quad (12)$$

wobei  $p_Y^*$  die Y-Koordinate des Kurvenpunkts  $p^*$  bezeichnet, welche wie folgt erhalten wird:

$$\begin{cases} p_X^* = a_X^* \\ \begin{cases} p_Y^* = a_Y^* - d_t, & a_Y^* = \min_i a_{iY} & \text{if } TD = \text{right} \\ p_Y^* = a_Y^* - d_t, & a_Y^* = \max_i a_{iY} & \text{if } TD = \text{left} \end{cases} \end{cases} \quad (13)$$

wobei  $a_{iY}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  die Y-Koordinate der Scanpunkte **26** auf dem Zielfahrzeug **14** in den globalen Koordinaten X-Y,  $d_t$  der sichere Abstand vom Zielfahrzeug **14** und TD die Drehrichtung des Subjektfahrzeugs **12** ist. Es ist zu beachten, dass die globalen Koordinaten X-Y den Koordinaten x-y des Subjektfahrzeugs zu Beginn des ausweichenden Lenkmanövers entsprechen. Die Zielfahrzeugpunkte **26** werden wie folgt von den Subjektfahrzeugkoordinaten x-y in die globalen Koordinaten X-Y umgewandelt:

$$\begin{bmatrix} a_{iX} \\ a_{iY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{SV} \\ Y_{SV} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \Phi & -\sin \Phi \\ \sin \Phi & \cos \Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{ix} \\ a_{iy} \end{bmatrix}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, n, \quad (14)$$

wobei  $X_{SV}$  und  $Y_{SV}$  die aktuelle Position des Subjektfahrzeugs **12** in Bezug auf die globalen Koordinaten X-Y bezeichnen und  $\Phi$  der relative Richtungswinkel des Subjektfahrzeugs **12** gemessen in Richtung entgegen des Uhrzeigersinns von der positiven X-Achse ist.

**[0054]** Die Ziellinie **92** kann in den Koordinaten x-y des Subjektfahrzeugs wie folgt erhalten werden:

$$y = -\tan(\Phi)(x - p_x^*) + p_y^*, \quad (15)$$

wobei:

$$\begin{bmatrix} p_x^* \\ p_y^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Phi & \sin \Phi \\ -\sin \Phi & \cos \Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x^* - X_{SV} \\ p_y^* - Y_{SV} \end{bmatrix}. \quad (16)$$

**[0055]** Der Algorithmus bestimmt dann, ob irgendwelche erkannten umgebenden Objekte bei dem Entscheidungsdiamanten **76** vorliegen. Wenn keine erkannten Objekte bei dem Entscheidungsdiamanten **76** vorliegen, dann verwandelt sich die Ziellinie **92** in den Zielweg **24** bei Feld **78** und der Algorithmus endet bei Block **68**, um auf die nächste Scanclusterkarte zu warten. In anderen Worten ist der Zielweg **24** die Ziellinie **92**, die parallel zum Subjektfahrzeug **12** zu Beginn des ausweichenden Lenkmanövers verläuft und befindet sich in einem sicheren Abstand  $d_t$  vom Zielfahrzeug **14**.

**[0056]** Wenn der Algorithmus Objekte bei dem Entscheidungsdiamanten **76** erkennt, bestimmt der Algorithmus den Abstand der nächstgelegenen umgebenden Objekte **22** zur Ziellinie **92** bei Feld **80**. Der Abstand

$D_b$  von jedem erkannten Objektpunkt  $b_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  zur Ziellinie **92** wird dann wie in Darstellung **90** der **Fig. 13** dargestellt bestimmt. Mithilfe der Liniendarstellung in Gleichung (15), sind die Abstände  $D_{bj}$  wie folgt berechenbar:

$$D_{bj} = \frac{|\tan(\phi)b_{jx} + b_{jy} - \tan(\phi)(p_x^* + p_y^*)|}{\sqrt{\tan^2(\phi) + 1}}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (17)$$

wobei  $b_{jx}$  und  $b_{jy}$  die erkannten Objektpunkte  $b_j$  in den Koordinaten x-y des Subjektfahrzeugs sind.

**[0057]** Der Algorithmus bestimmt dann, ob die Objektpunkte  $b_j$  ein sicherer Abstand von der Ziellinie **92** bei dem Entscheidungsdiamanten **82** sind. Wenn alle Objektpunkte  $b_j$  ein sicherer Abstand von der Ziellinie **92** bei dem Entscheidungsdiamanten sind, d. h.  $\min_j(D_{bj}) \geq d_b$ , wird der Zielweg **24** die Ziellinie **92** der Gleichung (15) bei Feld **78** sein.

**[0058]** Wenn der Mindestabstand von einem der Objektpunkte  $b_j$  zur Ziellinie **92**, wie in Gleichung (17), weniger als der sichere Abstand  $d_b$ , ist, d. h.  $\min_j(D_{bj}) < d_b$ , bei dem Entscheidungsdiamanten, wird der folgende Schritt-für-Schritt-Algorithmus verwendet, um den Zielweg **24** als Zielweg **102** zu finden, welcher gekrümmt ist, um die Objekte **22** mit einem sicheren Abstand zu umgehen, wie in Abbildung **100** in **Fig. 14** bei Feld **84** dargestellt.

1. Wandeln Sie die erkannten Objektpunkte  $b_j$  von den Koordinaten des Subjektfahrzeugs x-y wie folgt in die globalen Koordinaten X-Y um:

$$\begin{bmatrix} b_{jX} \\ b_{jY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{SV} \\ Y_{SV} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{jx} \\ b_{jy} \end{bmatrix}, \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, m. \quad (18)$$

2. Sortieren Sie die umgewandelten Objektpunkte  $b_j$  in einer gemäß der X-Koordinate aufsteigenden Folge, z. B.  $\hat{b} = \text{sort}_X(b)$ .

3. Wählen Sie unter den sortierten Objektpunkten  $b_j$ , die kritischen Punkte bei der Suche des Zielweges **24** basierend auf dem Abstand von den Objektpunkten  $b_j$  zur Ziellinie **92** in Gleichung (14) und der Y-Koordinate der sortierten Objektpunkte  $b_j$  in der globalen Koordinate X-Y, im Besonderen:

a) Suchen Sie den ersten ausgewählten Punkt  $\bar{b}_1 = \hat{b}_i$ , dessen Abstand zur Ziellinie **92** weniger als der sichere Abstand  $d_b$  ist.

b) Wählen Sie die anderen kritischen Objektpunkte  $b_k$ ,  $k = 2, \dots, r$  mithilfe:

$$\text{Wenn} \begin{cases} \hat{b}_{jX} > \bar{b}_{(k-1)X} \ \& \ \hat{b}_{jY} \geq \bar{b}_{(k-1)Y} \ \text{if } TD = \text{right} \\ \hat{b}_{jX} > \bar{b}_{(k-1)X} \ \& \ \hat{b}_{jY} \leq \bar{b}_{(k-1)Y} \ \text{if } TD = \text{left} \end{cases} \Rightarrow (\bar{b}_k = \hat{b}_j \ \text{and } j_k^* = j). \\ \text{for } j_{k-1}^* < j < m \ \text{and } k = 2, 3, \dots, r \quad (19)$$

4. Suchen Sie die Kurvenpunkte  $p_k^b$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$ , die den ausgewählten Objektpunkten  $\hat{b}_i$  entsprechen. Die Kurvenpunkte  $p_k^b$  werden so berechnet, dass sie einen sicheren Abstand  $d_b$  von den ausgewählten Objektpunkten  $\hat{b}_i$  entlang der Y-Achse darstellen, und werden wie folgt erhalten:

$$p_{kY}^b = \begin{cases} \bar{b}_{kY} + d_b \ \text{if } TD = \text{right} \\ \bar{b}_{kY} - d_b \ \text{if } TD = \text{left}, \end{cases} \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, r. \\ p_{kX}^b = \bar{b}_{kX} \quad (20)$$

5. Ignorieren Sie den Kurvenpunkt  $p_k^b$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$ , wenn dessen Mindestabstand von den Zielpunkten  $a_i$  weniger als der sichere Abstand  $d_t$  ist, d. h.  $D_k^b < d_t$  wobei:

$$D_k^b = \min_i \left[ \sqrt{(p_{kX}^b - a_{iX})^2 + (p_{kY}^b - a_{iY})^2} \right], \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (21)$$

6. Fügen Sie die beiden Kurvenpunkte  $p_1^t$  und  $p_2^t$  entsprechend der Zielpunkte  $a_i$  hinzu, wie folgt:

$$p_{1X}^t = \min_i a_{iX}, \quad p_{1Y}^t = p_Y^*, \quad (22)$$

$$p_{2X}^t = \max_i a_{iX}, \quad p_{2Y}^t = p_Y^*, \quad (23)$$

wobei  $p_Y^*$  den Zielweg **24** definiert, gegeben in Gleichung (13).

7. Ignorieren Sie den Kurvenpunkt  $p_k^t$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$ , wenn dessen Mindestabstand von den Zielpunkten  $b_j$  weniger als der sichere Abstand  $d_b$  ist, d. h.  $D_k^t < d_b$  wobei:

$$D_k^t = \min_j \left[ \sqrt{(p_{kX}^t - b_{jX})^2 + (p_{kY}^t - b_{jY})^2} \right], j = 1, 2, \dots, m. \quad (24)$$

8. Verwandeln Sie die Kurvenpunkte  $p_k$ , bestimmt in den Schritten 4–7, in die Subjektfahrzeugkoordinaten  $x$ - $y$ , wie folgt:

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Phi & \sin \Phi \\ -\sin \Phi & \cos \Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_X - X_{SV} \\ p_Y - Y_{SV} \end{bmatrix}. \quad (25)$$

9. Suchen Sie den Zielweg **102**, indem Sie eine quadratische Polynomfunktion anpassen, indem Sie z. B. Gleichung (26) durch die verwandelten Kurvenpunkte  $p_k$  in Schritt 8 verwenden, wobei die Kurvenanpassung im Sinn des kleinsten Fehlerquadrats erfolgt.

$$y = ax^2 + bx + c. \quad (26)$$

**[0059]** Die folgenden Erörterungen bieten Einzelheiten darüber, wie die Koeffizienten von quadratischen Polynomen mithilfe einer Kurvenanpassungsmethode im Sinn des kleinsten Fehlerquadrats zu finden sind. Unter der Annahme, dass die Kurvenpunkte  $p_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$  bereits berechnet wurden, ist es der nächste Schritt, ein quadratisches Polynom  $y(x) = ax^2 + bx + c$  zu finden, sodass die folgende Kostenfunktion minimiert wird als:

$$e = \sum_{k=1}^r [p_{ky} - y(p_{kx})]^2 + \gamma_0 [a - \bar{a}]^2 + \gamma_1 [b - \bar{b}]^2 + \gamma_2 [c - \bar{c}]^2, \quad (27)$$

wobei  $(p_{kx}, p_{ky})$  die Position eines Kurvenpunktes,  $\bar{a}$ ,  $\bar{b}$ , und  $\bar{c}$  die im vorherigen Zeitraum erhaltenen Polynomkoeffizienten und  $\gamma_0$ ,  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  manche positive Konstanten sind.

**[0060]** Der erste Term der Gleichung (27) stellt sicher, dass die resultierende Polynomkurve nah genug an den Kurvenpunkten ist, während die anderen Terme sicherstellen, dass die sich ergebende Polynomkurve ausgeglichen ist und keine größere Änderungen in den Polynomkoeffizienten von einem Augenblick zum nächsten vorliegen. Um die optimierten Koeffizienten zu finden, die die Kostenfunktion  $e$  in Gleichung (27) minimieren, wird die folgende Reihe an Gleichungen gelöst.

$$\begin{cases} \frac{\partial e}{\partial a} = -2 \sum_{k=1}^r [p_{ky} - y(p_{kx})] (p_{kx})^2 + 2\gamma_0 [a - \bar{a}] = 0 \\ \frac{\partial e}{\partial b} = -2 \sum_{k=1}^r [p_{ky} - y(p_{kx})] p_{kx} + 2\gamma_1 [b - \bar{b}] = 0 \\ \frac{\partial e}{\partial c} = -2 \sum_{k=1}^r [p_{ky} - y(p_{kx})] + 2\gamma_2 [c - \bar{c}] = 0 \end{cases}, \quad (28)$$

was in der folgenden Matrixform geschrieben werden kann:

$$A \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = B, \quad (29)$$

wobei:

$$A = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^r (p_{kx})^4 + \gamma_0 & \sum_{k=1}^r (p_{kx})^3 & \sum_{k=1}^r (p_{kx})^2 \\ \sum_{k=1}^r (p_{kx})^3 & \sum_{k=1}^r (p_{kx})^2 + \gamma_1 & \sum_{k=1}^r p_{kx} \\ \sum_{k=1}^r (p_{kx})^2 & \sum_{k=1}^r p_{kx} & r + \gamma_2 \end{bmatrix}, \quad (30)$$

$$B = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^r p_{ky} (p_{kx})^2 + \gamma_0 \bar{a} \\ \sum_{k=1}^r p_{ky} p_{kx} + \gamma_1 \bar{b} \\ \sum_{k=1}^r p_{ky} + \gamma_2 \bar{c} \end{bmatrix}, \quad (31)$$

**[0061]** Die quadratischen Polynomkoeffizienten werden dann wie folgt erhalten:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = A^{-1}B. \quad (32)$$

**[0062]** Erwägen Sie nun den Fall, in dem das Subjektfahrzeug **12** das Zielfahrzeug **14** entlang des Weges **102** überholt hat, basierend auf der Erörterung oben, und nur Objektpunkte  $b_j$  von den Objekten **22** vorliegen, wie in Abbildung **110** in **Fig. 15** dargestellt. Der Zielweg **24** wird in diesem Fall als Zielweg **112** berechnet und wird das Subjektfahrzeug **12** entlang eines Weges steuern, um es zu vermeiden, gegen die Objekte **22** auf der Straße zu stoßen.

**[0063]** Um den Zielweg **112** zu finden, trennen Sie zuerst die Objektpunkte  $b_j$  in Gruppen auf, basierend auf ihren X-Koordinaten-Werten wie folgt:

$$b_j \in G_k \text{ if } (k-1)w_b \leq b_{jX} - \min_j(b_{jX}) \leq kw_b, \\ \text{for } j = 1, 2, \dots, m \text{ and } k = 1, 2, \dots, r, \quad (33)$$

wobei  $b_j$  den  $j$ . Objektpunkt bezeichnet,  $G_k$  die  $k$ -th Gruppe der Objektpunkte  $b_j$  ist und  $w_b$  eine konstante Länge ist, welche die Breite jeder Gruppe entlang der X-Achse bestimmt.

**[0064]** Die ausgewählten Objektpunkte  $b_k$  werden dann wie folgt erhalten:

$$\bar{b}_k = b_{j_k^*}, \quad k = 1, 2, \dots, r, \quad (34)$$

wobei:

$$j_k^* = \begin{cases} \operatorname{argmax}_j(b_{jY}) & \text{for all } b_j \in G_k \text{ if } TD = \text{right} \\ \operatorname{argmin}_j(b_{jY}) & \text{for all } b_j \in G_k \text{ if } TD = \text{left} \end{cases}. \quad (35)$$

**[0065]** Die Kurvenpunkte  $p_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$  werden entsprechend der ausgewählten Objektpunkte  $\bar{b}_k$  berechnet, sodass sie ein sicherer Abstand  $d_b$  von den ausgewählten Objektpunkten  $\bar{b}_k$  sind entlang der Y-Achse, wie folgt:

$$p_{kY} = \begin{cases} \bar{b}_{kY} + d_b & \text{if } TD = \text{right} \\ \bar{b}_{kY} - d_b & \text{if } TD = \text{left}, \text{ for } k = 1, 2, \dots, r \end{cases}. \quad (36)$$

$$p_{kX} = \bar{b}_{kX}$$

**[0066]** Die Kurvenpunkte  $p_k$  werden letztendlich in die Koordinaten x-y des Subjektfahrzeugs verwandelt, mithilfe der Gleichung (25), und der Zielweg **112** wird anhand der Anpassung einer quadratischen Polynomfunktion durch die verwandelten Kurvenpunkte bestimmt.

**[0067]** Um die vorstehend besprochene Geometriemethode zusammenzufassen, wird der folgende Schritt-für-Schritt-Algorithmus präsentiert.

1. Sammeln Sie die Scanpunkte vom LiDAR-Sensor **18** und vereinfachen Sie sie mittels Clusterbildungsalgorithmus.
2. Ab den Scanpunkten der erkannten Objekte suchen Sie das Zielfahrzeugobjekt, das sich auf dem Verkehrsweg des Subjektfahrzeugs **12** befindet.
3. Ignorieren Sie diese Scanpunkte der erkannten Objekte, die weit vom Zielfahrzeug **14** entfernt sind und für das ausweichende Spurwechselmanöver irrelevant sind.
4. Basierend auf den erkannten Punkten, bestimmen Sie die sichere Richtung des Not-Wegwechsel-Manövers und teilen Sie die Scanpunkte in zwei Kategorien auf, darunter die Zielfahrzeugpunkte  $a_j$  und die Objektpunkte  $b_j$ , falls vorhanden.
5. Berechnen Sie die Korridorbreite zwischen dem Zielfahrzeug und den erkannten Objekten und senden Sie ein Abbruchssignal, um das ausweichende Lenkmanöver abzubrechen, wenn die Korridorbreite weniger als ein Grenzwert ist.
6. Berechnen Sie mithilfe der Zielfahrzeugpunkte  $a_j$  die Ziellinie **92** der Gleichung (15).
7. Suchen Sie den Zielweg **24** basierend auf den folgenden Fällen:
  - a. Wenn keine Objektpunkte  $b_j$  erkannt werden, ist die Ziellinie **92** in Gleichung (15) der gewünschte Zielweg **24**.
  - b. Für den Fall, dass manche Objektpunkte vorliegen  $b_j$ :
    - i. Wenn der Mindestabstand von den Objektpunkten  $b_j$  zur Ziellinie **92**, angegeben in Gleichung (17), gleich oder größer als der sichere Abstand  $d_t$  ist, ist die Ziellinie **92** in Gleichung (15) der gewünschte Zielweg **24**.
    - ii. Wenn der Mindestabstand von den Objektpunkten  $b_j$  zur Ziellinie **92**, angegeben in Gleichung (17), weniger als der sichere Abstand  $d_t$  ist, folgen Sie dem nachstehend beschriebenen Algorithmus, um den Zielweg **102** zu finden.
  - c. Für den Fall, dass nur Objektpunkte  $b_j$  vorliegen und das Subjektfahrzeug **12** das Zielfahrzeug **14** überholt hat, folgen Sie dem oben definierten Algorithmus, um den Zielweg **112** zu finden.
8. Wiederholen Sie Schritte 1 bis 4, sobald neue Datenscanpunkte vom LiDAR-Sensor **18** vorhanden sind.

**[0068]** Das Potentialfeldverfahren und -algorithmus wird im virtuellen Spurenprozessor **44** durchgeführt und verwendet das Konzept der virtuellen Potentialfelder, um den virtuellen Zielweg **24** zu berechnen. Zuerst erstellt der Algorithmus ein künstliches Potentialfeld, das hohe Werte in den Zielfahrzeug-Scanpunkten  $a_i$  und den Objekt-Scanpunkten  $b_j$  hat und dessen Wert abnimmt, je ferner von diesen Punkten entfernt, sodass der sicherste Ort für das Subjektfahrzeug **12** zwischen dem Zielfahrzeug **14** und den Objekten **22** bestimmt werden kann. Der Zielweg **24** ist daher beim geringsten Wert des Potentialfeldes zu finden, wenn bestimmte Beschränkungen erfüllt sind. Die nachstehende Erörterung erfolgt mit Bezug auf die jeweiligen Abbildung **120** und **130** in **Fig. 16** und **Fig. 17**, in denen das Subjektfahrzeug **12**, das Zielfahrzeug und der ausweichende Lenkweg **20** aufgeführt sind.

**[0069]** Um sicherzustellen, dass der virtuelle Zielweg **24** weit genug vom Zielfahrzeug **14** und den Objekten **22** entfernt ist, wird zuerst ein Potentialfeld als eine Summe von zweidimensionalen Gaussfunktionen bestimmt, eines für jeden der Zielfahrzeug-Scanpunkte  $a_i$  und der Objekt-Scanpunkte  $b_j$ , deren Maximalwerte in jedem der Punkte wie folgt auftreten:

$$U(X, Y) = \sum_{i=1}^n U_i(X, Y) + \sum_{j=1}^m U_j(X, Y), \quad (37)$$

wobei  $n$  und  $m$  jeweils die Anzahl der Zielfahrzeugpunkte  $a_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , und der Objektpunkte,  $b_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ , sind und

$$U_i(X, Y) = A_i \text{Exp} \left[ - \left( \frac{(X - a_{iX})^2}{2\sigma_{Xi}^2} + \frac{(Y - a_{iY})^2}{2\sigma_{Yi}^2} \right) \right], \quad (38)$$

$$U_j(X, Y) = A_j \text{Exp} \left[ - \left( \frac{(X - b_{jX})^2}{2\sigma_{Xj}^2} + \frac{(Y - b_{jY})^2}{2\sigma_{Yj}^2} \right) \right], \quad (39)$$

wobei A die Amplitude und  $\sigma_x$  und  $\sigma_y$  X- und Y-Streuungen der Gaussfunktionen sind. Fig. 18 ist eine Grafik im X-Y-Z-Raum mit einem Beispiel einer zweidimensionalen Gaussfunktion.

**[0070]** Fig. 19 ist ein Flussdiagramm 140, in dem ein Verfahren für das Potentialfeldverfahren dargestellt wird. Der Algorithmus sammelt die Scanpunkte 26 vom LiDAR-Sensor 18 und vereinfacht die Scanpunkte 26 mithilfe eines Clusterbildungsalgorithmus bei Feld 142. Ab den Scanpunkten der erkannten Objekte sucht der Algorithmus das Zielfahrzeugobjekt, das sich im Fahrweg des Subjektfahrzeugs 12 bei Feld 144 befindet. Der Algorithmus ignoriert diese Scanpunkte der erkannten Objekte, die weit vom Zielfahrzeug 14 entfernt sind und für das ausweichende Spurwechselmanöver bei Feld 146 irrelevant sind. Mithilfe der erkannten Scanpunkte 26 bestimmt der Algorithmus eine sichere Richtung für den virtuellen Zielweg 24 und teilt die Scanpunkte 26 in zwei Kategorien auf, darunter die Zielfahrzeugpunkte  $a_i$  und die Objektpunkte  $b_j$ , falls vorhanden, bei Feld 148 in der gleichen Weise wie oben für die Geometriemethode im Vorverarbeitungsschritt bei Feld 70 beschrieben. Der Algorithmus berechnet die Korridorbreite zwischen dem Zielfahrzeug 14 und den erkannten Objekten und sendet ein Abbruchsignal, um das ausweichende Lenkmanöver abzubrechen, wenn die Korridorbreite weniger als ein Grenzwert bei Feld 150 ist. Der Algorithmus wandelt die erkannten Zielpunkte  $a_i$  und die Objektpunkte  $b_j$  in globale Koordinaten X-Y um anhand der Gleichungen (14) und (18) bei Feld 152 und definiert ein Potentialfeld mithilfe der Gleichung (37) bei Feld 154.

**[0071]** Der Algorithmus definiert dann ein Raster 122 in der X-Y-Ebene im gewünschten Bereich, wobei der Zielweg 24 gefunden wird, und berechnet den Wert des Potentialfeldes bei jedem Rasterpunkt 124 ( $X_g, Y_g$ ),  $g = 1, 2, \dots, N$  bei Feld 156. Insbesondere die Rasterpunkte 124 sind die Stellen, an denen eine X-Linie in der X-Y-Ebene und eine Y-Linie in der X-Y-Ebene sich überschneiden, wo die X-Linien in der X-Y-Ebene in der Fahrtrichtung des Subjektfahrzeugs 12 und die Y-Linien senkrecht dazu verlaufen. Für jede X-Linie  $X_a, g = 1, 2, \dots, N$  im Raster 122 bestimmt der Algorithmus den lokalen Mindestpunkt  $Y_{gmin}$  des Potentialfeldes entlang der Y-Linie für diese  $X_g$  Linie im Raster 122, d. h. der Rasterpunkt 124 mit dem niedrigsten Potentialfeldwert in der Y-Richtung, welcher der niedrigstmögliche Punkt ist, wo sich das Zielfahrzeug 14 oder die Objekte 22 befinden würden, und daher der sicherste Ort für das Subjektfahrzeug 12 bei einem Ausweichmanöver ist, bei Feld 158, beschränkt auf die folgenden Bedingungen:

$$\begin{cases} Y_{tg} \leq Y_{gmin} \leq Y_{bg} & \text{if } TD = \text{right} \\ Y_{bg} \leq Y_{gmin} \leq Y_{tg} & \text{if } TD = \text{left} \end{cases} \quad (40)$$

wobei  $Y_{tg}$  und  $Y_{bg}$  jeweils eine Zielgrenze und eine Objektgrenze sind und definiert sind, um sicherzustellen, dass die lokalen Mindestpunkte in einem sicheren Bereich zu finden sind, entweder auf der gewünschten Seite der Zielfahrzeugpunkte  $a_i$  oder zwischen den Zielfahrzeugpunkten  $a_i$  und den Objektpunkten  $b_j$ , falls vorhanden. Die Abbildung 120 in Fig. 16 zeigt Einzelheiten, wie die Zielgrenze  $Y_{tg}$  zu finden ist, und die Abbildung 130 in Fig. 17 zeigt Einzelheiten, wie die Objektgrenze  $Y_{bg}$  zu finden ist. Der bestimmte Mindestpunkt für jede X-Linie, falls vorhanden, ist der Kurvenpunkt, d. h.  $p_k = (p_{kX}, p_{kY}) = (X_g, Y_{gmin})$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$ .

**[0072]** Bei Gleichung (40) stellt die Zielgrenze  $Y_{tg}, g = 1, 2, \dots, N$  sicher, dass die Kurvenpunkte in der gewünschten Seite des Zielfahrzeugs 14 zu finden sind und sich in einer sicheren Entfernung vom Zielfahrzeug 14 befinden, wobei die Zielgrenze  $Y_{tg}$  folgendermaßen bestimmt wird:

$$Y_{tg} = \begin{cases} \begin{cases} \min_i a_{iy} - d_t & \text{if } \min_i a_{ix} - d_t \leq X_g \leq \max_i a_{ix} + d_t \\ \min_i a_{iy} & \text{otherwise} \end{cases} & \text{If } TD = \text{right} \\ \begin{cases} \max_i a_{iy} - d_t & \text{if } \min_i a_{ix} - d_t \leq X_g \leq \max_i a_{ix} + d_t \\ \max_i a_{iy} & \text{otherwise} \end{cases} & \text{If } TD = \text{left} \end{cases} \quad \text{for } g = 1, 2, \dots, N \quad (41)$$

**[0073]** Bei Gleichung (40) stellt die Zielgrenze  $Y_{bg}, g = 1, 2, \dots, N$  sicher, dass die Kurvenpunkte in der gewünschten Seite der Objektpunkte  $b_j$  und in einem sicheren Abstand davon zu finden sind. Um die Objektgrenze  $Y_{bg}$  bei jedem Rasterpunkt 124 zu finden, suchen Sie zuerst den Vektor aller Objektpunkte  $b_j$ , die sich in der Nähe des Rasterpunktes  $X_g$ , i. e., for  $g = 1, 2, \dots, N$  befinden:

$$\hat{b}_k^g = [\hat{b}_{k-1}^g, b_j] \text{ if}$$

$$X_g - d_b \leq b_{jX} \leq X_g + d_b, \text{ for } j = 1, 2, \dots, m \text{ \& } k = 1, 2, \dots, r \quad (42)$$

wobei  $\hat{b}_0^g$  ein leerer Vektor für alle  $g = 1, 2, \dots, N$  ist.

**[0074]** Die Objektgrenze  $Y_{bg}$  wird dann wie folgt erhalten:

$$Y_{bg} = \begin{cases} \max_k \hat{b}_{kY}^g + d_b & \text{if } TD = \text{right} \\ \min_k \hat{b}_{kY}^g - d_b & \text{if } TD = \text{left} \end{cases}, \text{ for } g = 1, 2, \dots, N. \quad (43)$$

**[0075]** Sollten keine Objektpunkte  $b_j$  erhalten werden, kann die Objektgrenze  $Y_{bg}$  basierend auf der Zielgrenze  $Y_{tg}$  ermittelt werden:

$$Y_{bg} = \begin{cases} Y_{tg} - \alpha d_t & \text{if } TD = \text{right} \\ Y_{tg} + \alpha d_t & \text{if } TD = \text{left} \end{cases}, \text{ for } g = 1, 2, \dots, N, \quad (44)$$

wobei  $\alpha$  eine positive Konstante ist, die nach Belieben ausgewählt werden kann und bestimmt, wie nah sich der Zielweg **24** am Zielfahrzeug **14** befinden kann.

**[0076]** Der Algorithmus wandelt dann die bei Feld **158** bestimmten Punkte in die Subjektfahrzeug-Koordinaten x-y um, anhand der Gleichung (25) bei Feld **160**. Der Algorithmus sucht die Zielkurve durch Anpassen einer quadratischen Polynomfunktion durch die umgewandelten Kurvenpunkte bei Feld **160**, wobei die Kurvenanpassung im Sinn des kleinsten Fehlerquadrats bei Feld **162** erfolgt. Der Algorithmus kehrt dann zu Feld **142** zurück, um auf den nächsten Datenpunktscancluster zu warten.

**[0077]** Wie der Fachmann gut verstehen wird, könnten die hier erörterten unterschiedlichen Schritte und Prozesse, um die Erfindung zu beschreiben, sich auf Verfahren beziehen, die von einem Rechner, einem Prozessor oder einer anderen elektronischen Rechenvorrichtung durchgeführt werden, die Daten anhand eines elektrischen Phänomens manipulieren und/oder umwandeln. Solche Rechner und elektronischen Geräte können verschiedene flüchtige und/oder nichtflüchtige Speicher verwenden, darunter nicht-transitorische, rechnerlesbare Medien mit einem ausführbaren Programm, das darauf gespeichert ist, darunter verschiedene Codes oder ausführbare Anweisungen, die vom Rechner oder Prozessor ausführbar sind, wobei der Speicher und/oder das rechnerlesbare Medium alle Formen und Arten von Speicher und sonstiger rechnerlesbaren Medien umfassen kann.

**[0078]** Die vorangehende Erörterung offenbart und beschreibt lediglich Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung. Der Fachmann wird sofort erkennen, dass bei solchen Erörterungen und den begleitenden Zeichnungen und Ansprüchen verschiedene Änderungen, Modifizierungen und Variationen vorgenommen werden, ohne den Geist und den Umfang der Erfindung zu verlassen, wie in den folgenden Ansprüchen festgelegt.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines virtuellen Zielweges, der verwendet wird, um einen evasiven Lenkweg für ein Subjektfahrzeug um ein Zielobjekt herum auf einem Verfahrensweg des Subjektfahrzeugs zu berechnen, wobei das Verfahren umfasst:

- Bereitstellen einer Vielzahl von Scanpunkten, die von einem oder mehreren Sensoren auf dem Subjektfahrzeug erkannte Objekte identifizieren;
- Aufteilen der Vielzahl von Scanpunkten in Zielobjekt-Scanpunkte vom Zielobjekt und andere, von anderen Objekten erhaltene Objekt-Scanpunkte;
- Bestimmen eines Potentialfeldes mithilfe einer Vielzahl von Scanpunkten, welches eine Summierung von zweidimensionalen Gaussfunktionen ist, wobei jede Gaussfunktion ein Zentrum aufweist, das durch die Zielobjekt-Scanpunkte und die anderen Objekt-Scanpunkte definiert ist;
- Identifizieren eines Rasters in einer X-Y-Ebene und in einem vorbestimmten Bereich, wobei der Lenkweg lokalisiert ist, wo das Raster Rasterpunkte an Stellen umfasst, wo sich Linien der X- und Y-Ebene kreuzen und wo Linien der X-Ebene in eine Richtung des Verfahrensweges des Subjektfahrzeugs sind und die Linien der Y-Ebene in eine lotrechte Richtung zur X-Richtung sind;
- Identifizieren eines Potentialfeldwertes vom Potentialfeld bei jedem Rasterpunkt;
- Identifizieren eines lokalen Mindestpunkts des Potentialfeldes für jede Linie der X-Ebene bei jedem Rasterpunkt entlang einer Linie der Y-Ebene, die diese Linie der X-Ebene kreuzt, wobei der lokale Mindestpunkt ein Kurvenpunkt ist und wobei jede Linie der X-Ebene einen Kurvenpunkt umfasst; und



– Verbinden der Kurvenpunkte, um den virtuellen Zielweg zu definieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Bestimmung eines Potentialfeldes, welches die Summierung der zweidimensionalen Gaussfunktionen ist, den Gebrauch der Gleichungen umfasst:

$$U(X, Y) = \sum_{i=1}^n U_i(X, Y) + \sum_{j=1}^m U_j(X, Y),$$

wobei  $U(X, Y)$  das Potentialfeld ist,  $n$  und  $m$  die Anzahl der Zielobjektpunkte  $a_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , und die jeweiligen Objektpunkte,  $b_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ , sind und:

$$U_i(X, Y) = A_i \text{Exp} \left[ - \left( \frac{(X-a_{iX})^2}{2\sigma_{Xi}^2} + \frac{(Y-a_{iY})^2}{2\sigma_{Yi}^2} \right) \right],$$

$$U_j(X, Y) = A_j \text{Exp} \left[ - \left( \frac{(X-b_{jX})^2}{2\sigma_{Xj}^2} + \frac{(Y-b_{jY})^2}{2\sigma_{Yj}^2} \right) \right],$$

wobei  $A$  die Amplitude ist und  $\sigma_X$  und  $\sigma_Y$  X- und Y-Streuungen der Gaussfunktion sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Identifizierung eines lokalen Mindestpunktes des Potentialfeldes den Gebrauch der Beschränkungsgleichung umfasst:

$$\begin{cases} Y_{tg} \leq Y_{gmin} \leq Y_{bg} & \text{if } TD = \text{right} \\ Y_{bg} \leq Y_{gmin} \leq Y_{tg} & \text{if } TD = \text{left} \end{cases}$$

wobei  $TD$  die Abbiegerichtung des Subjektfahrzeugs ist,  $Y_{gmin}$  der lokale Mindestwert des Potentialfeldes und  $Y_{tg}$  und  $Y_{bg}$  jeweils eine Zielgrenze und eine Objektgrenze sind und definiert sind um sicherzustellen, dass die lokalen Mindestpunkte in einem sicheren Bereich zu finden sind, entweder auf der gewünschten Seite der Zielfahrzeugpunkte  $a_i$  oder zwischen den Zielfahrzeugpunkten  $a_i$  und den anderen Objektpunkten  $b_j$ .

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Identifizierung eines lokalen Mindestpunktes des Potentialfeldes auch den Gebrauch der Gleichung umfasst:

$$Y_{tg} = \begin{cases} \begin{cases} \min_i a_{iy} - d_t & \text{if } \min_i a_{iX} - d_t \leq X_g \leq \max_i a_{iX} + d_t \\ \min_i a_{iy} & \text{otherwise} \end{cases} & \text{if } TD = \text{right} \\ \begin{cases} \max_i a_{iy} - d_t & \text{if } \min_i a_{iX} - d_t \leq X_g \leq \max_i a_{iX} + d_t \\ \max_i a_{iy} & \text{otherwise} \end{cases} & \text{if } TD = \text{left} \end{cases}$$

for  $g = 1, 2, \dots, N$

wobei  $a_i$  die Zielobjekt-Scanpunkte sind,  $X_g$  die X-Koordinate eines Rasterpunktes ist und  $d_t$  ein vorbestimmter sicherer Abstand des Zieles ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Verbindung der Kurvenpunkte, um den virtuellen Zielweg zu definieren, die Anpassung einer quadratischen Polynomfunktion durch die Punkte mithilfe eines Verfahrens des kleinsten Fehlerquadrates umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner die Reduzierung der Komplexität der Vielzahl von Scanpunkten anhand eines Clusteringalgorithmus umfasst, bevor die Scanpunkte in die Zielobjekt-Scanpunkte und die anderen Objekt-Scanpunkte aufgeteilt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner das Ignorieren von Scanpunkten umfasst, die sich außerhalb eines vorbestimmten sicheren Abstands vom Subjektfahrzeug befinden.

8. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner die Erkennung eines Zielfahrzeugs als das Zielobjekt unter den anderen Objekten umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner die Berechnung einer Korridorbreite zwischen dem Zielobjekt und den anderen Objekten und den Abbruch des ausweichenden Lenkmanövers umfasst, wenn die Korridorbreite kleiner als eine vorbestimmte Grenzbreite ist.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der mindestens eine Sensor mindestens ein LiDAR-Sensor ist.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

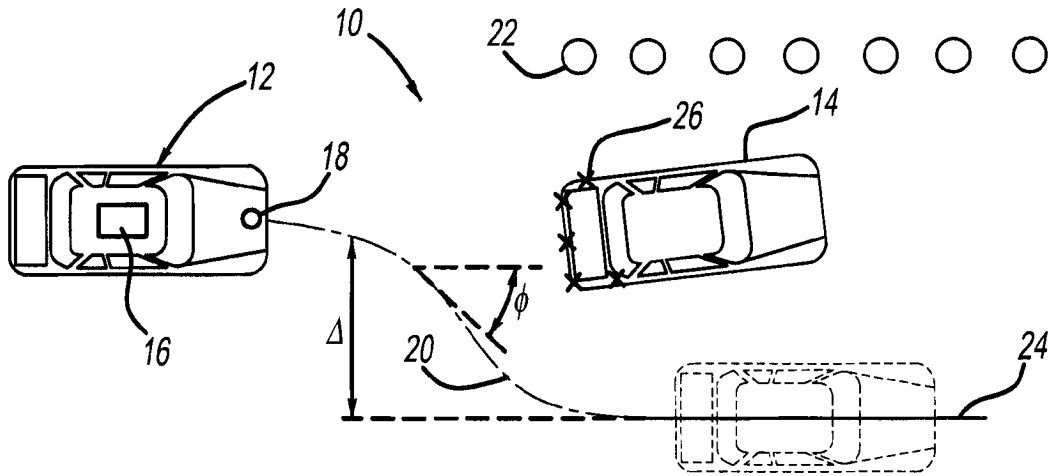


FIG - 1

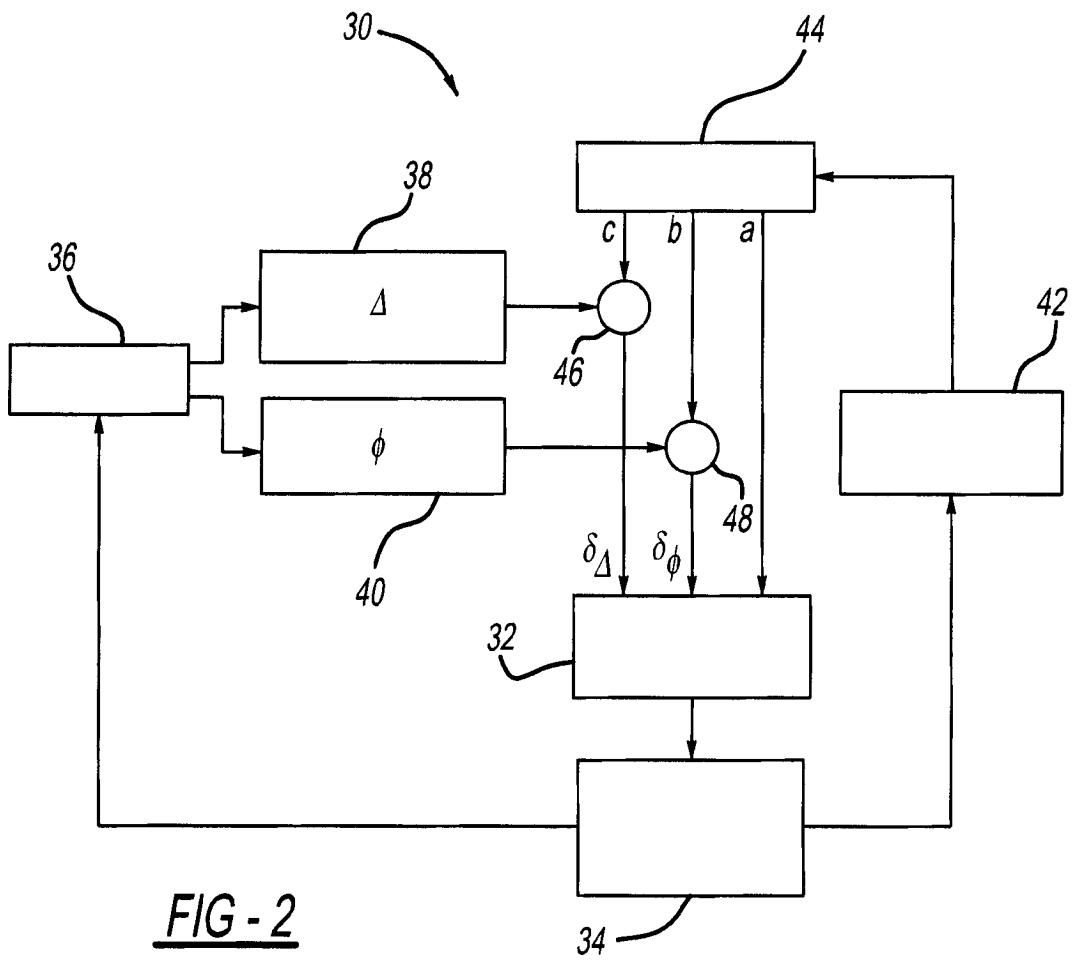


FIG - 2

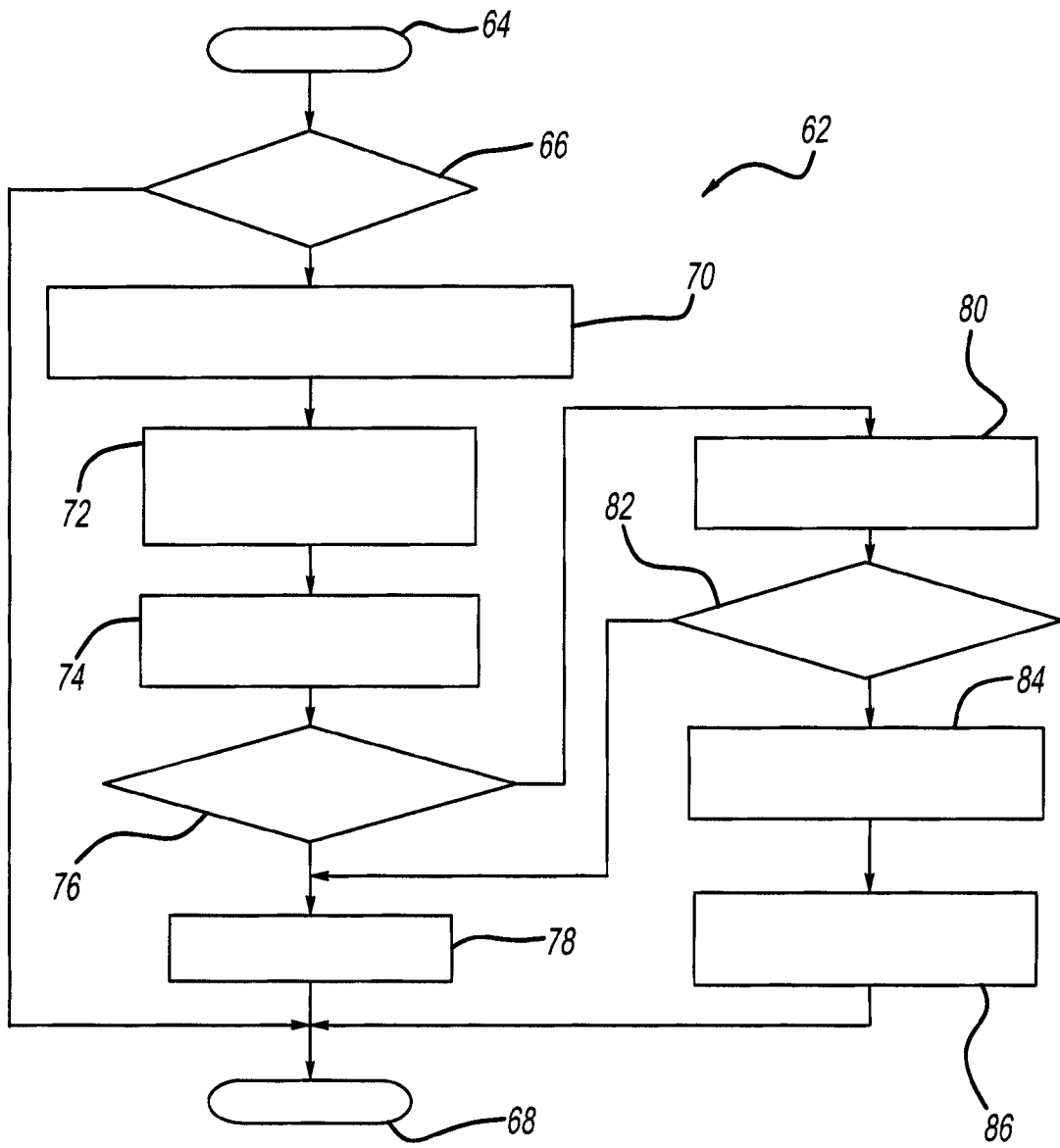
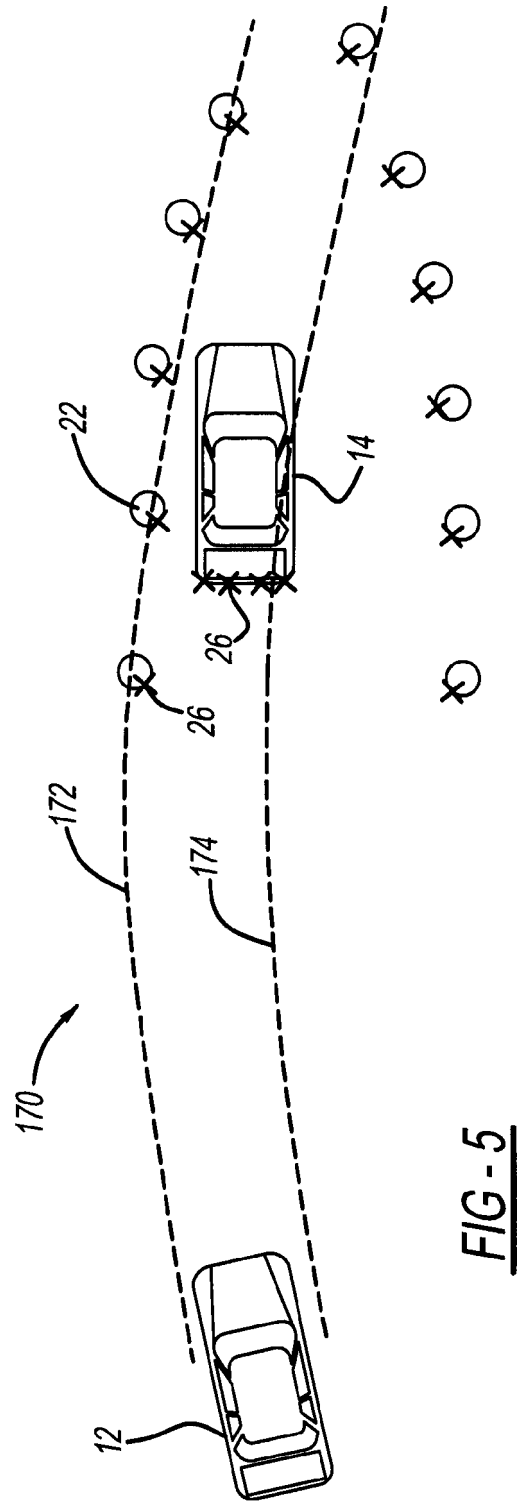
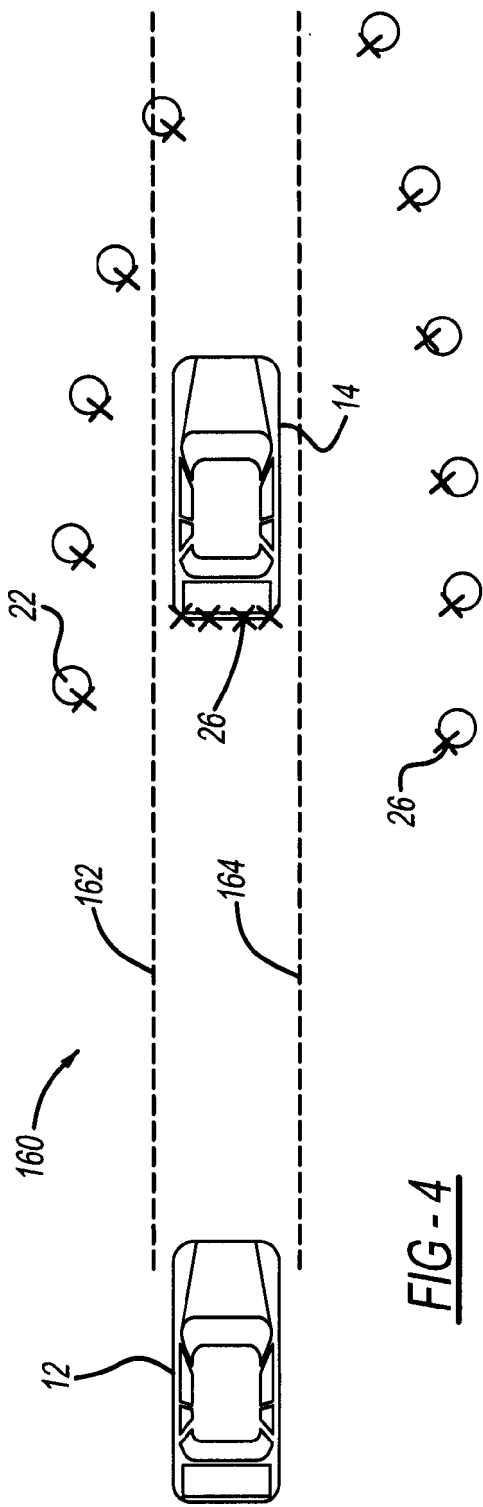
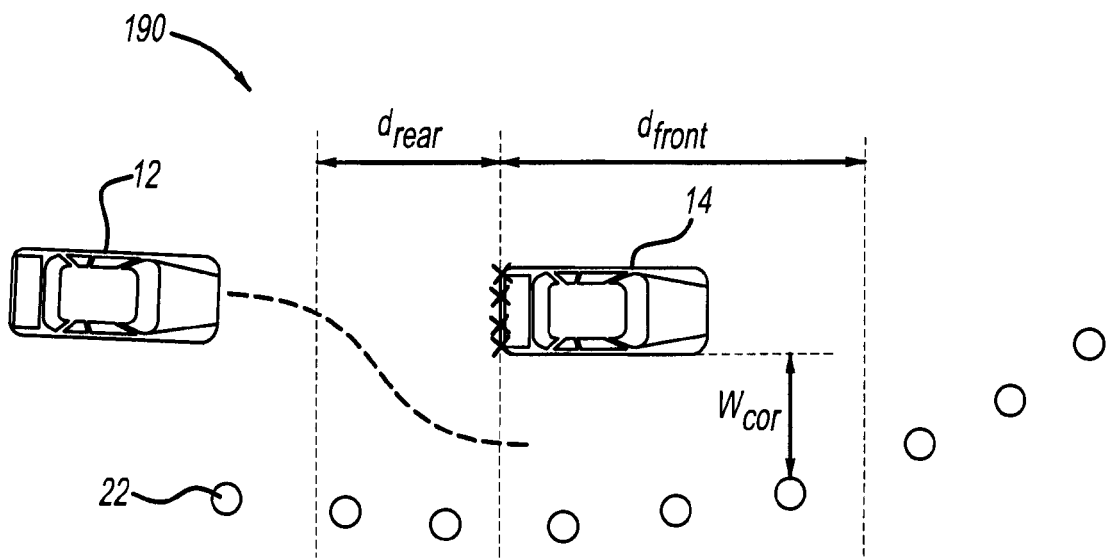
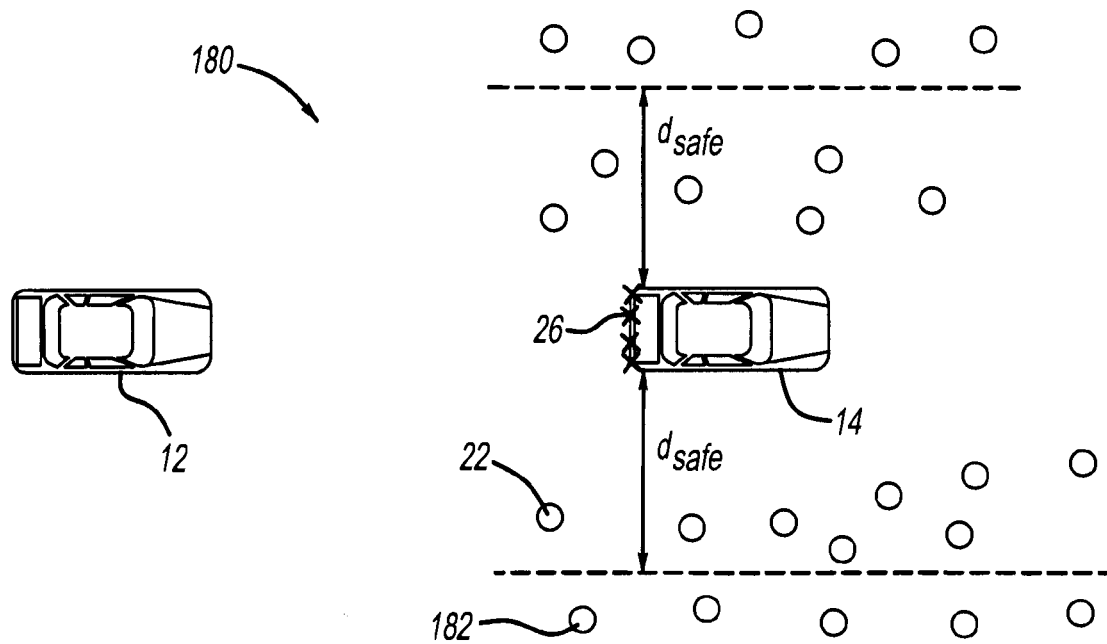
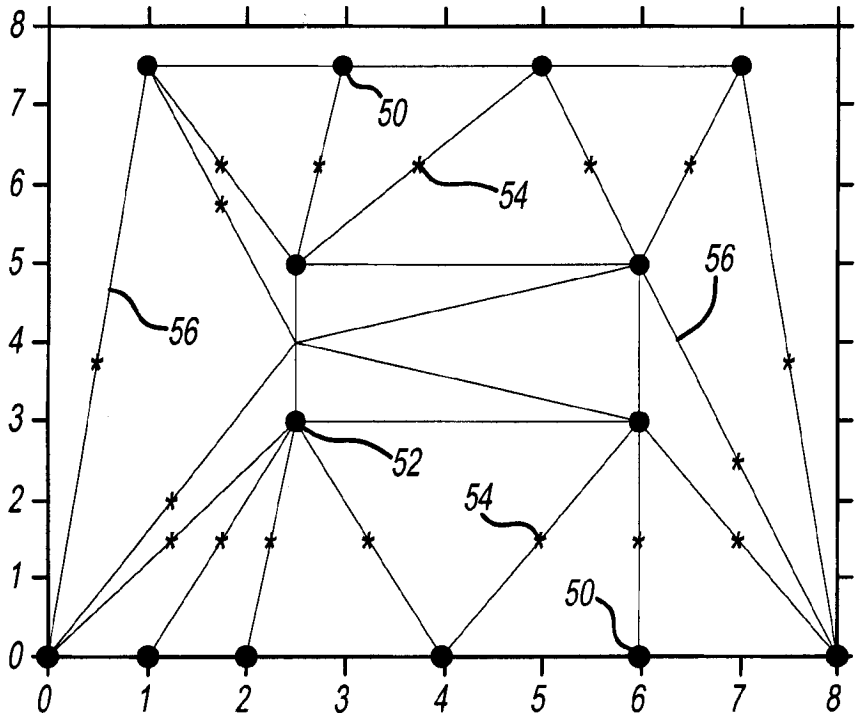
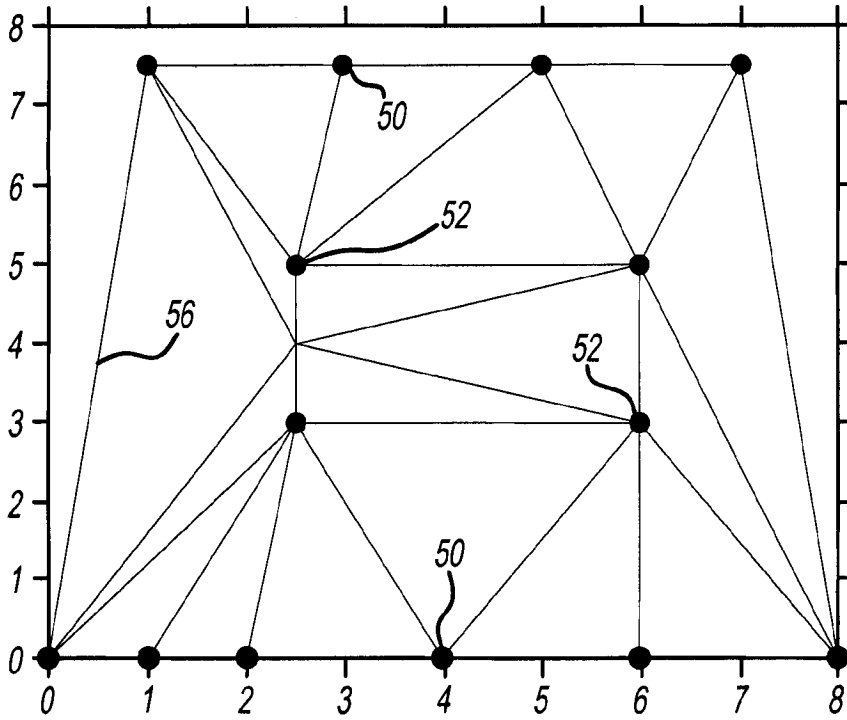


FIG - 3







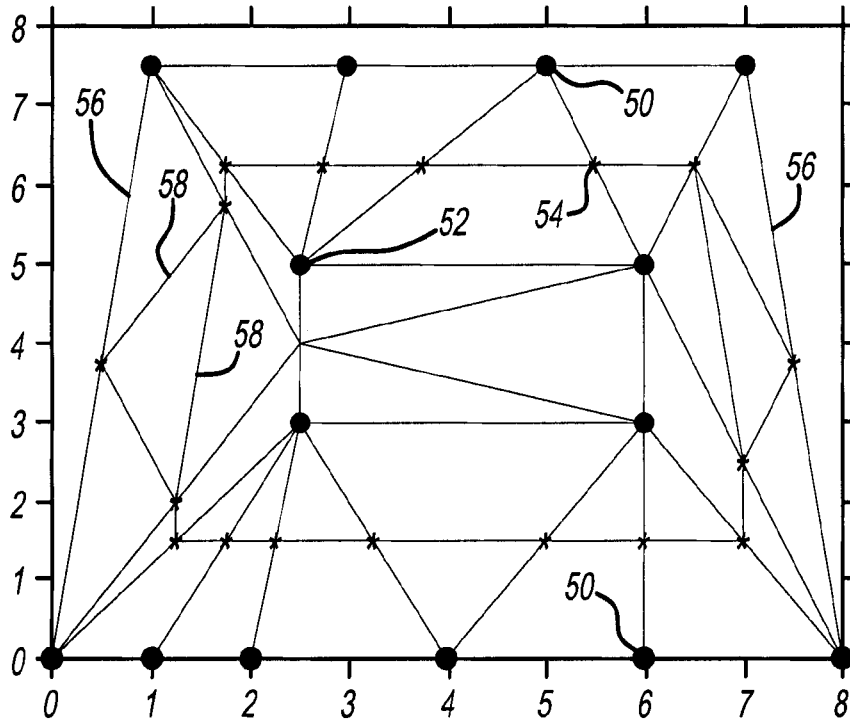


FIG - 10

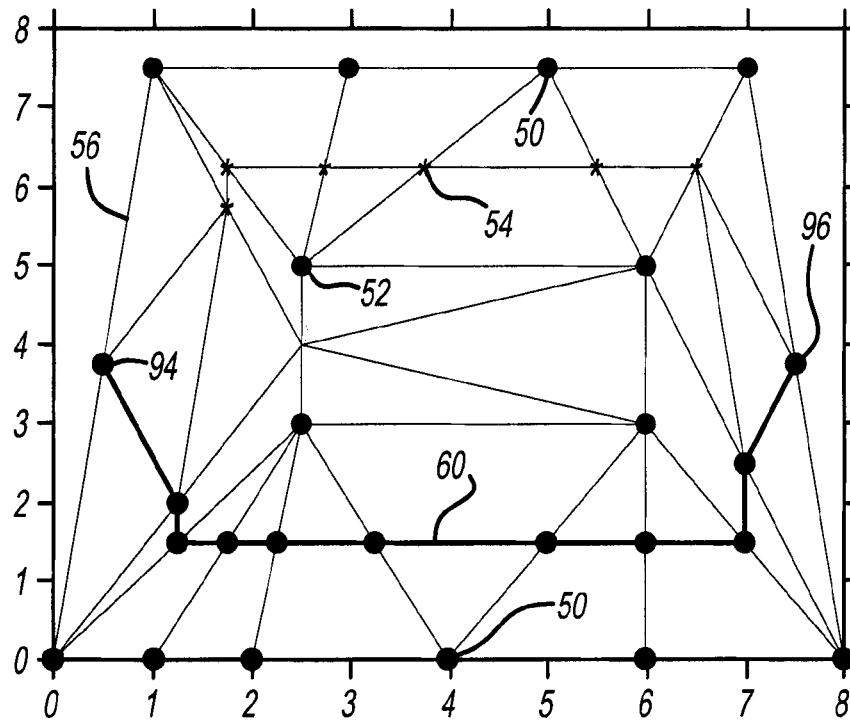


FIG - 11



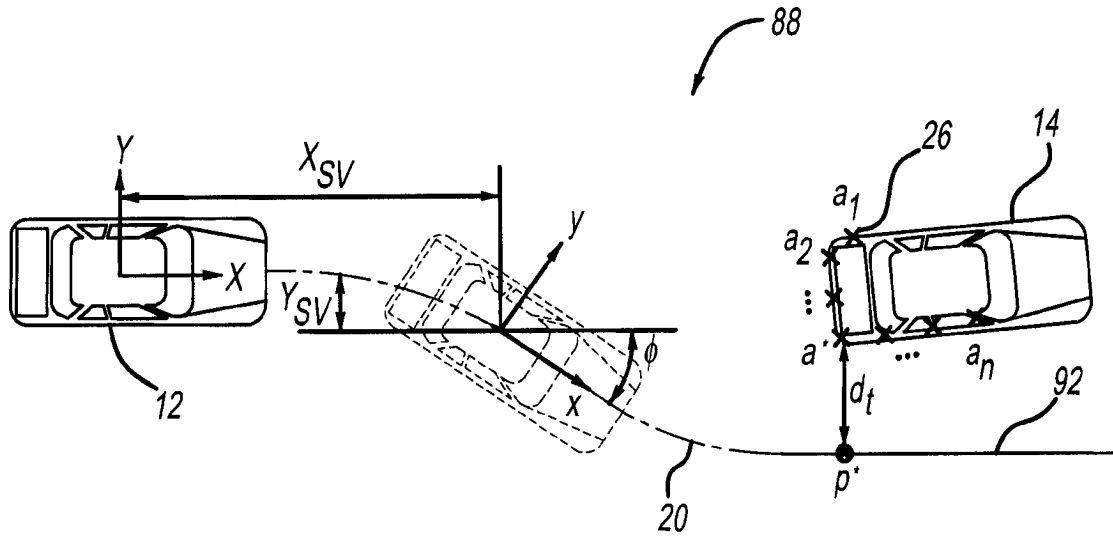


FIG - 12

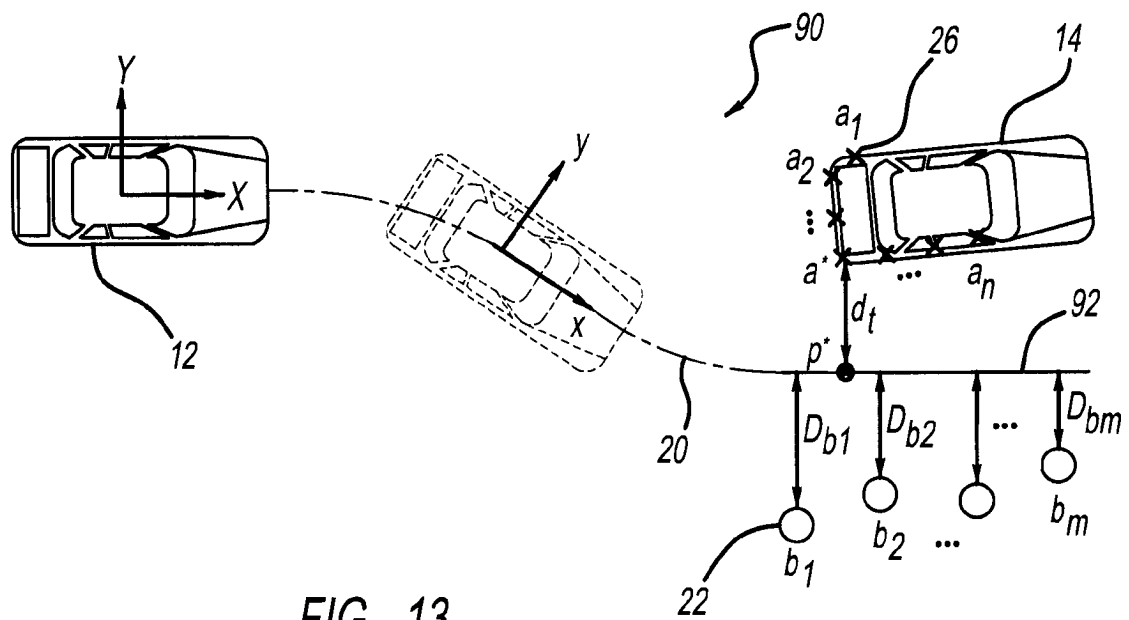


FIG - 13

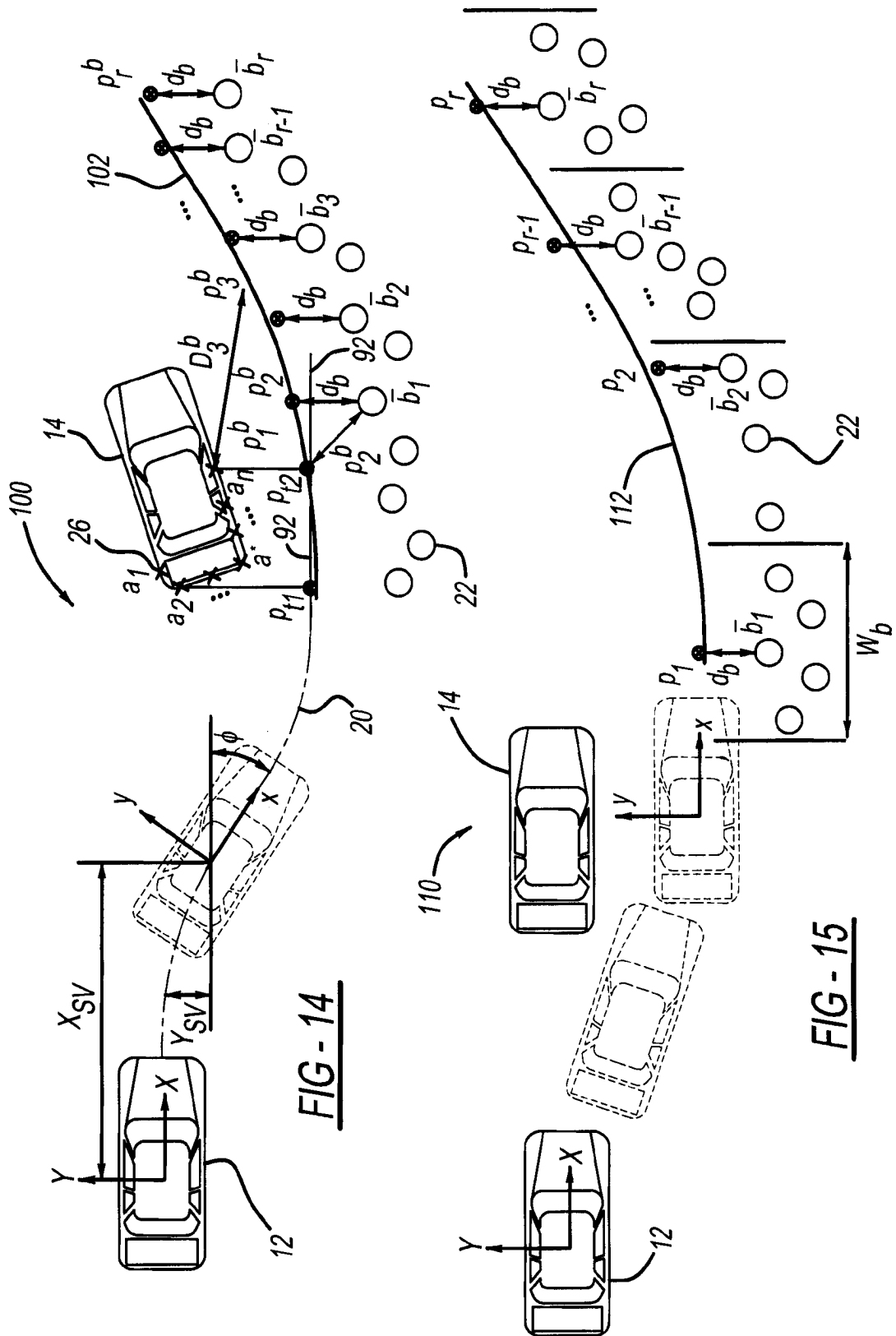
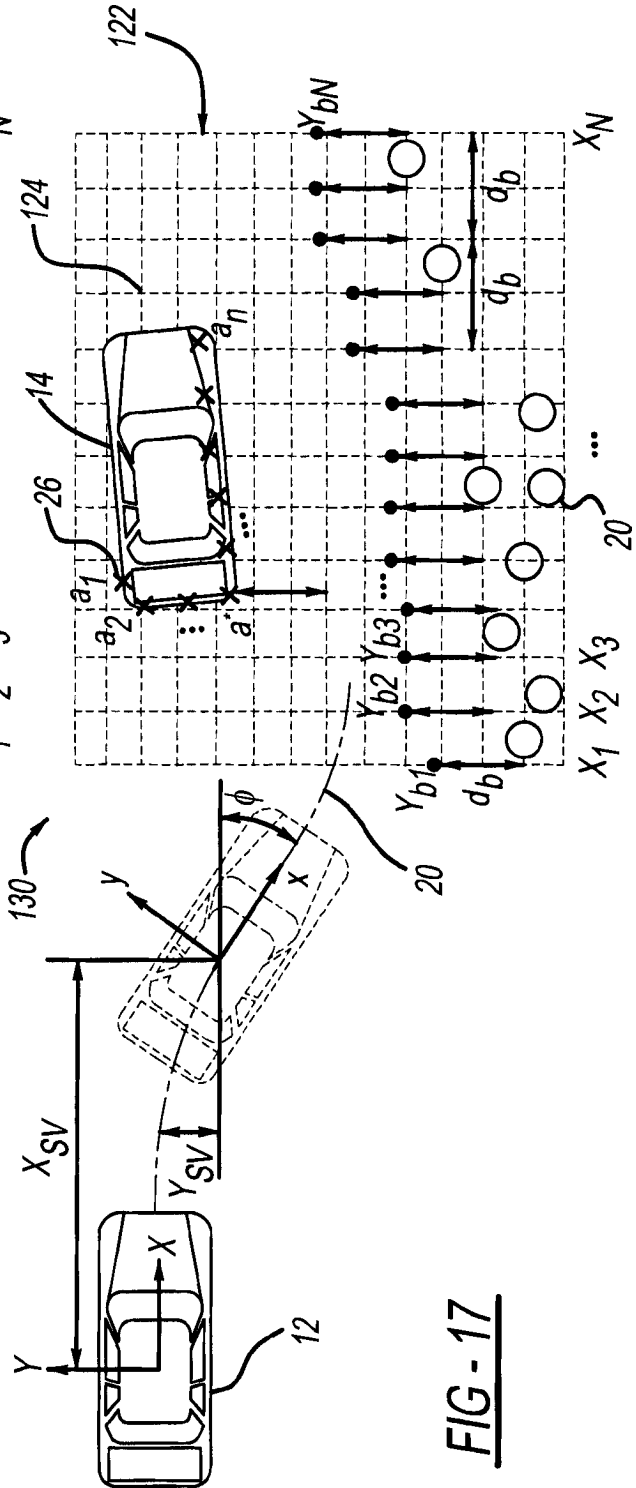
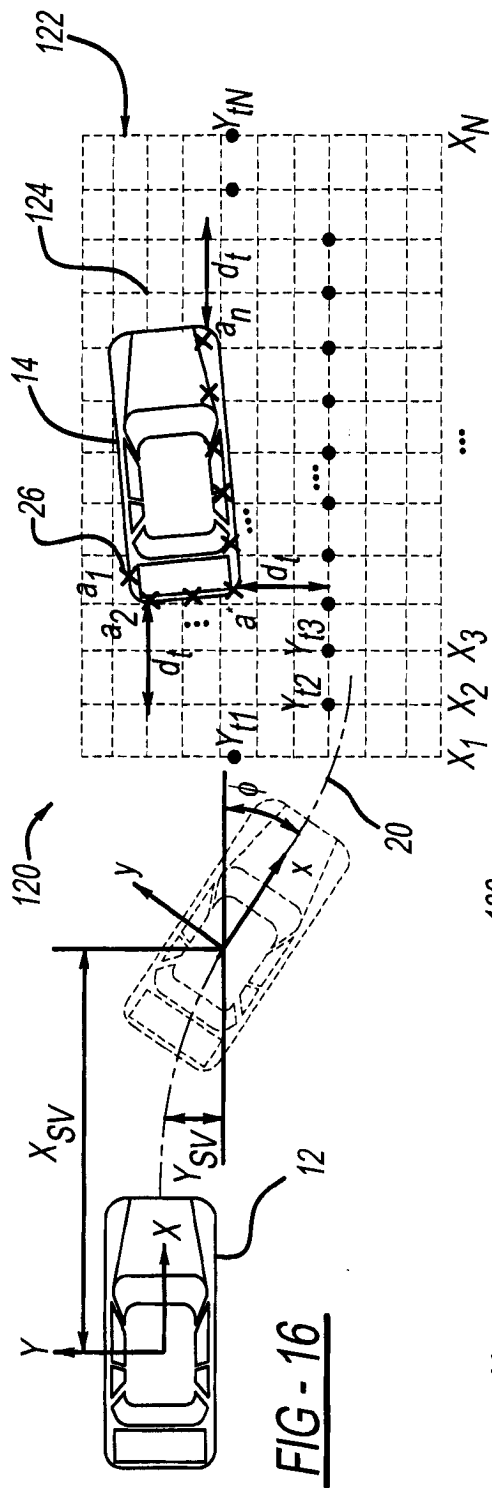


FIG - 14

FIG - 15



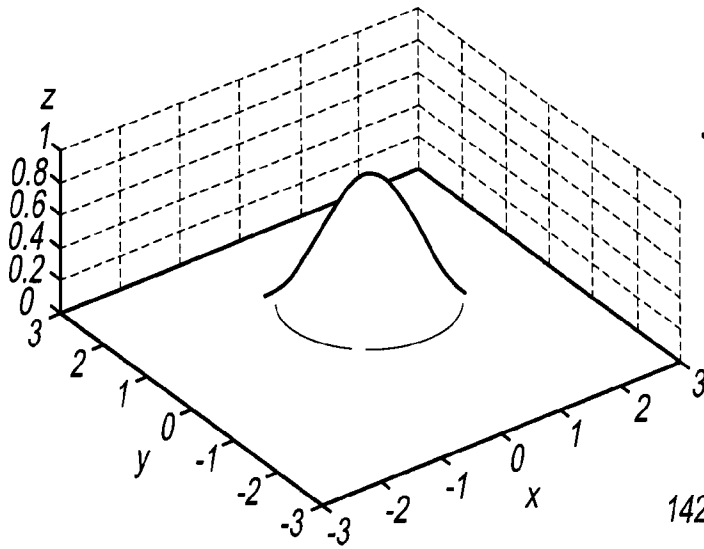


FIG - 18

140 →

FIG - 19

