



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 004 429.8**

(22) Anmeldetag: **04.06.2018**

(43) Offenlegungstag: **05.12.2019**

(51) Int Cl.: **G01M 17/007 (2006.01)**

**B60T 7/12 (2006.01)**

**B60W 50/04 (2006.01)**

**G16Z 99/00 (2019.01)**

(71) Anmelder:

**Daimler AG, 70327 Stuttgart, DE; Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 76131 Karlsruhe, DE**

(72) Erfinder:

**Elsayed, Hesham, 70619 Stuttgart, DE; Schwarzhaupt, Andreas, 76829 Landau, DE; Scherhauser, Ingo, 73663 Berglen, DE; Gut, Matthias, 72760 Reutlingen, DE; Elgharbawy, Mohamed, 70374 Stuttgart, DE; Frey, Michael, 76275 Ettlingen, DE**

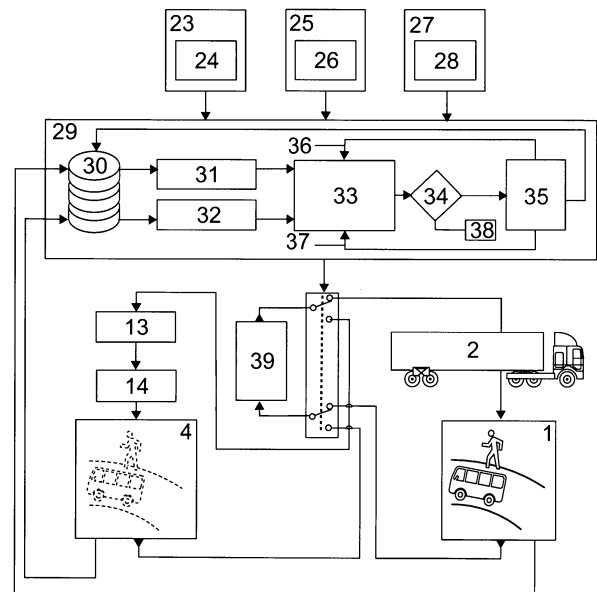
(74) Vertreter:

**Patentanwälte Liedtke & Partner, 99096 Erfurt, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Testen eines Bremsassistentensystems für ein Fahrzeug**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Testen eines Bremsassistentensystems (3) für ein Fahrzeug (2), insbesondere für einen Lastkraftwagen. Erfindungsgemäß wird eine clusteranalytische Charakterisierung von Fahrsituationen basierend auf erfassten Sensordaten zur Umfelderkennung und deren Systemreaktionen im Fahrbetrieb des Fahrzeugs (2) ermittelt.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Testen eines Bremsassistentensystems für ein Fahrzeug nach den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik sind Bremsassistentensysteme für Fahrzeuge allgemein bekannt. Ebenso ist es allgemein bekannt, derartige Bremsassistentensysteme, insbesondere in einer Entwicklungsphase, zu testen.

**[0003]** In der noch nicht veröffentlichten DE 10 2017 009 971.5 werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Testen eines Spurhalteassistentensystems für ein Fahrzeug, insbesondere für einen Lastkraftwagen, beschrieben.

**[0004]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Verfahren zum Testen eines Bremsassistentensystems für ein Fahrzeug anzugeben, wobei insbesondere eine Erfassung eines Fahrzeugumfeldes für das Bremsassistentensystem notwendig ist.

**[0005]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Testen eines Bremsassistentensystems für ein Fahrzeug mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

**[0006]** Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0007]** In einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Testen eines Bremsassistentensystems für ein Fahrzeug, insbesondere für einen Lastkraftwagen, wird eine clusteranalytische Charakterisierung von Fahrsituationen basierend auf erfassten Sensorsignalen zur Umfelderkennung und deren Systemreaktionen im Fahrbetrieb des Fahrzeugs ermittelt.

**[0008]** Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, Open-Loop-Erfassungsdaten aus den verschiedenen Informationsquellen in den clusteranalytisch charakterisierten Fahrsituationen mithilfe einer Datenbank in Closed-Loop Steuerungsdaten für die zu testenden Szenarien zu transformieren. Das Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ermöglichen ein aussagekräftiges Abbruchkriterium für das Testen eines Bremsassistentensystems, wobei das Abbruchkriterium anhand der Bewertung des Verhaltens von einzelnen Komponenten sowie vom Gesamtsystem definiert ist.

**[0009]** Im Verfahren werden als obligatorische Verfahrensschritte beispielsweise folgende Schritte durchgeführt, wobei deren Reihenfolge veränderbar ist:

I. Definition von Erfassungsdaten zur Ermittlung von Fahrsituationsclustern

II. Auswahl von Distanz- und Ähnlichkeitsmaßen basierend auf Warnereignissen sowie Bremsereignissen des Bremsassistentensystems

III. Auswahl eines geeigneten Clusterverfahrens zur clusteranalytischen Charakterisierung von Fahrsituationen

IV. Bestimmung einer optimalen Clusteranzahl

V. Identifikation eines zu charakteristischen Verläufen zugehörigen Szenarios

VI. Training eines Klassifikators mit markierten Clusterdaten

VII. Anwendung des Klassifikators mit naturalistischen Fahrdaten

VIII. Nutzung der klassifizierten Clusterdaten zur Ermittlung von charakteristischen Signalverläufen von Systemeingangsgrößen für eine jeweilige Gruppierung

IX. Anwendung einer adaptiven Transformationsvorschrift auf die Open-Loop-Erfassungsdaten zur Generierung von den Closed-Loop-Steuerungsdaten

X. Ermittlung eines charakteristischen Signalverlaufs mittels Parameter- und Signalschätzung aus einer Zeitreihenanalyse

XI. Ableitung von zu testenden Szenarien durch eine zeitliche Abfolge von unterschiedlich parametrisierten charakteristischen Signalverläufen

XII. Kombination von einzelnen zu testenden Szenarien zu einem Testablauf

XIII. Beschreiben des Testablaufs in einem De-facto-Standardformat

XIV. Testausführung auf einer so genannten Cluster-in-the-Loop-Plattform

XV. Auswertung von Testfällen mittels Grenzwerten als Bestanden- und Durchgefallen-Kriterien

XVI. Definition und Anwendung von Testabbruchkriterien

**[0010]** Eine weitere Vorgehensweise zur Berücksichtigung zusätzlicher Felddaten bei bereits ermittelten charakteristischen Verläufen der Systemeingangsgrößen sieht beispielsweise als optionale Verfahrensschritte vor:

XVII. Vergleich zusätzlicher Felddaten mit charakteristischen Signalverläufen

XVIII. Gegebenenfalls Erweiterung der Anzahl der Cluster für die Gruppierung

XIX. Wiederholung und Anwendung der Schritte von II bis XVI.

**[0011]** Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

**[0012]** Dabei zeigen:

**Fig. 1** schematisch eine Einbindung einer adaptiven Transformationsvorschrift von Open-Loop-Erfassungsdaten zu Closed-Loop-Steuerungsdaten am Beispiel eines Bremsassistentensystems,

**Fig. 2** schematisch ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Testen eines Bremsassistentensystems mittels eines Testabbruchkriteriums und adaptiver Testabdeckung,

**Fig. 3** schematisch eine Darstellung eines Szenarios mit gerader Straße zur Bestimmung einer Zeit bis zu einer Kollision mit einem sich vor einem Fahrzeug befindlichen stationären Objekt in mehreren Eskalationsstufen,

**Fig. 4** schematisch eine Zeit bis zur Kollision mit einem sich vor dem Fahrzeug befindlichen stationären Objekt mit unterschiedlichen initialen Relativgeschwindigkeiten für die unterschiedlichen Eskalationsstufen bei einem Szenario mit gerader Straße, das auf einer Cluster-in-the-Loop-Plattform angewendet wird,

**Fig. 5** schematisch eine Identifizierung von Parametern, zum Beispiel einer Zeit bis zur Kollision mit einem sich vor dem Fahrzeug befindlichen stationären Objekt mit unterschiedlichen initialen Längsgeschwindigkeiten für die unterschiedlichen Eskalationsstufen, die auf der Cluster-in-the-Loop-Plattform angewendet wird,

**Fig. 6** schematisch ein Wärmebild für ein Minimum der Zeit bis zur Kollision mit einem sich vor dem Fahrzeug befindlichen stationären Objekt mit unterschiedlichen initialen Längsgeschwindigkeiten,

**Fig. 7** schematisch ein Szenario mit einem sich vor dem Fahrzeug befindlichen, stationären Objekt in einer linken Kurvengangssituation,

**Fig. 8** schematisch ein Szenario mit einem sich vor dem Fahrzeug befindlichen, stationären Objekt an einem linken Fahrbahnrand,

**Fig. 9** schematisch ein Szenario mit einem sich vor dem Fahrzeug befindlichen, stationären Objekt an einem rechten Fahrbahnrand,

**Fig. 10** schematisch ein Szenario mit einem sich vor dem Fahrzeug befindlichen, stationären Objekt in einer rechten Kurvengangssituation,

**Fig. 11** schematisch eine ereignisbasierte Datenerfassung einer Kurvenkrümmung des gefahrenen Fahrzeugs zur Relevanzbestimmung stationärer Objekte,

**Fig. 12** schematisch eine ereignisbasierte Datenerfassung einer Querablage des sich vor dem Fahrzeug befindenden stationären Objekts zur Relevanzbestimmung stationärer Objekte,

**Fig. 13** schematisch ein hierarchisches Clustern einer ereignisbasierten Analyse,

**Fig. 14 A bis Fig. D** schematisch eine Anwendung des Clustering auf eine ereignisbasierte Analyse der Kurvenkrümmung des gefahrenen Fahrzeugs zur Relevanzbestimmung stationärer Objekte sowie daraus abgeleitete charakteristische Verläufe der Kurvenkrümmung als eine Systemeingangsgröße für den jeweiligen Cluster, und

**Fig. 15 A bis Fig. D** schematisch eine Anwendung des Clustering auf eine ereignisbasierte Analyse der Querablage des sich vor dem Fahrzeug befindlichen, stationären Objekts zur Relevanzbestimmung stationärer Objekte sowie die daraus abgeleiteten charakteristischen Verläufe der Querablage des sich vor dem Fahrzeug befindenden, stationären Objekt als eine Systemeingangsgröße für den jeweiligen Cluster.

**[0013]** Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

**[0014]** Im Folgenden werden anhand der **Fig. 1 bis Fig. 15** ein Verfahren zum Testen eines Bremsassistentensystems **3** für ein Fahrzeug **2**, insbesondere für einen Lastkraftwagen, und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens beschrieben. Damit wird eine adaptive Testabdeckung **11** für das Bremsassistentensystem **3** ermöglicht.

**[0015]** Die Erfindung, welche im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben wird, betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Testen eines Bremsassistentensystems **3** für ein Fahrzeug **2**, insbesondere für einen Lastkraftwagen, insbesondere zum Testen eines Bremswarnprozesses.

**[0016]** Es wird eine clusteranalytische Charakterisierung von Fahrsituationen identifiziert, um eine Kategorie von zu testenden Szenarien für bestehende Feldtests **24**, auch als Field Operational Tests (FOT) bezeichnet, zu extrahieren. Das Verfahren erstellt ein Konzept für ein aussagekräftiges Testabbruchkriterium für das Bremsassistentensystem **3**. Die Fahrsituationen sind mittels Data-Mining-Techniken zu extrahieren und systematisch über eine Transforma-

tionsvorschrift zwischen Open-Loop-Erfassungsdaten und Closed-Loop-Steuerungsdaten in Anforderungen für eine Testabdeckung umzuwandeln.

**[0017]** Das beschriebene Konzept zielt darauf ab, eine Lücke zwischen wissens- und datenbasierten Ansätzen zu schließen, um eine kontinuierliche Erweiterbarkeit des Wissens in einer adaptiven Testabdeckung **11** zu ermöglichen, wie in **Fig. 1** dargestellt.

**[0018]** **Fig. 1** zeigt eine adaptive Transformationsvorschrift **21** zwischen Open-Loop Erfassungsdaten und Closed-Loop Steuerungsdaten am Beispiel des Bremsassistentensystems **3**, wobei eine Funktional-spezifikation **16** aus Spitzenanforderung **17** und Anwendungsfällen **18** erstellt und in natürlicher Sprache formuliert wird. Diese bilden die Basis für das wissensbasierte Testen, welches das zu testende Bremsassistentensystem **3** mit konkreten Szenarien beaufschlägt. Die Adaption besteht nun in der Erweiterung der mit Hilfe des wissensbasierten Testens erzeugten konkreten Szenarien durch weitere logische Szenarien **22**. Dabei kennzeichnet Bezugszeichen **1** ein natürliches Fahrscenario, welches mit dem Fahrzeug **2** mit dem Bremsassistentensystem **3** in einer realen Testfahrt befahren wird, d. h. ein reales Fahrscenario. Mit Bezugszeichen **4** ist ein synthetisches Fahrscenario gekennzeichnet, welches mit Kamera-Box **5** und Radarsensormodell **7** für das Bremsassistentensystem **3** erfasst oder in dieser oder mittels dieser für das Bremsassistentensystem **3** simuliert wird. Das synthetische Fahrscenario **4** ist somit insbesondere eine Simulation. Jeweilige Ereignisse **8**, **9** des Bremsassistentensystems **3** werden einer mit dem Bezugszeichen **10** gekennzeichneten Kritikalitätsanalyse, insbesondere auf Basis einer Zeit bis zur Kollision mit einem Objekt, zugeführt. Das Bezugszeichen **11** kennzeichnet die adaptive Testabdeckung **11**, welche aus der Kritikalitätsanalyse **10** resultiert. Bezugszeichen **12** kennzeichnet ein so genanntes Parsing, d. h. eine Konvertierung in eine De-facto Standard-Beschreibungssprache, der zu testenden Szenarien, insbesondere worst-case-Szenarien, auf Basis der adaptiven Testabdeckung **11**. Die Testautomation **13** und das Beschreiben der zu testenden Szenarien beeinflussen das synthetische Fahrscenario **4** und/oder die Kamera-Box **5** sowie das Radarsensormodell **7**. Des Weiteren beeinflusst eine Fahrzeugdynamik **15** das synthetische Fahrscenario **4**. Die Fahrzeugdynamik **15** ist ein Fahrzeugdynamikmodell, insbesondere Lastkraftwagendynamikmodell, inklusive einer Fahrerkabine, in einer virtuellen Umgebung. Bezugszeichen **14** kennzeichnet ein Aktuatormodell und Bezugszeichen **20** kennzeichnet eine ontologiebasierte Szenariosynthese.

**[0019]** **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung des Verfahrens und der Vorrichtung zur Evaluierung des Bremsassistentensystems **3** mittels Data-Mining von Felddaten und ein Entscheidungsprozesskon-

zept mit den Testabbruchkriterien für ein Bremsassistentensystem **3**.

**[0020]** Bezugszeichen **23** kennzeichnet ein Black-Box Testing.

Bezugszeichen **25** kennzeichnet ein Gray-Box Testing.

Bezugszeichen **26** kennzeichnet eine funktionale Spezifikation.

Bezugszeichen **27** kennzeichnet ein White-Box Testing.

Bezugszeichen **28** kennzeichnet eine Code-Analyse.

Bezugszeichen **29** kennzeichnet einen Entscheidungsprozess.

Bezugszeichen **30** kennzeichnet eine Datenbank.

Bezugszeichen **31** kennzeichnet ein Open-Loop Testing.

Bezugszeichen **32** kennzeichnet ein Closed-Loop Testing.

Bezugszeichen **33** kennzeichnet eine Hüllkomponente zu Bestanden- und Durchgefallen-Kriterien.

Bezugszeichen **34** kennzeichnet eine Software-Fehler-suche.

Bezugszeichen **35** kennzeichnet eine Software Fehlerbehebung.

Bezugszeichen **36** kennzeichnet eine Re-Simulation.

Bezugszeichen **37** kennzeichnet eine funktionale Verifikation.

Bezugszeichen **38** kennzeichnet eine funktionale Unzulänglichkeit.

Bezugszeichen **39** kennzeichnet eine Steuereinheit, insbesondere eine Steuergerätplattform für automatische Fahrfunktionen.

**[0021]** Aus der DE 10 2010 049 351 A1 der Anmelderin, deren vollständiger Inhalt hiermit durch Referenz aufgenommen wird, sind eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Auslösung eines selbsttätigen Notbremsvorgangs eines Fahrzeugs **2** zur Vermeidung eines Auffahrens des Fahrzeugs **2** auf ein vorausfahrendes oder stehendes Fahrzeug bzw. zur Verminderung der Auffahrfolgen bekannt.

**[0022]** Das Bremsassistentensystem **3** umfasst eine Erfassungseinheit zur Erfassung eines Abstandes des Fahrzeugs **2** zu einem vor dem Fahrzeug **2** befindlichen Objekt. Die Erfassungseinheit umfasst einen Radarsensor **6**, mittels welchem eine redundante Messung des Abstands anhand einer Radarsignallaufzeit und einer Differenzgeschwindigkeit bzw. Relativgeschwindigkeit zwischen dem vorausfahrenden oder stehenden Objekt und dem Fahrzeug **2** anhand einer Frequenzverschiebung durchgeführt wird. Zusätzlich ist eine Bilderfassungseinheit, insbesondere eine Kamera, vorgesehen, mittels welcher die Umgebung des Fahrzeugs **2** erfasst wird. Aus den erfassten Bildern werden Objekte, Straßen, Randbebauungen, Spurmarkierungslinien und Straßenbegrenzungen, wie z. B. Leitpfosten und Leitplanken, sowie Verkehrsschilder ermittelt und entsprechende Umge-

bungsdaten und Umgebungsparameter generiert und an eine Steuereinheit weitergeleitet.

**[0023]** Weiterhin wird die Assistenzfunktion des Bremsassistentensystems **3** in mehreren Eskalationsstufen **E1** bis **E3** ausgeführt. In dieser Assistenzfunktion wird in einer ersten Eskalationsstufe **E1** eine optische und/oder akustische Warnung als Warnhinweis ausgegeben, in einer zweiten Eskalationsstufe **E2** wird eine automatische Teilbremsung als haptische Warnung ausgeführt und in einer dritten Eskalationsstufe **E3** wird eine Vollbremsung als Bremsvorgang ausgeführt. Ein selbsttätiger Notbremsvorgang zur Vermeidung eines Auffahrens des Fahrzeugs **2** auf das sich vor dem Fahrzeug **2** befindende Objekt ist auszulösen, wenn der Abstand, die Relativgeschwindigkeit, die Beschleunigung des Fahrzeugs **2** und die Beschleunigung des vorausfahrenden Fahrzeugs in einem bestimmten Zusammenhang zueinander stehen.

**[0024]** Fehlauslösungen des Bremsassistentensystems **3** werden durch die Erfassung von Randbebauungen oder Randobjekten der Straße, wie beispielsweise Leitpfosten, Leitplanken und Verkehrsschilder, vermieden oder zumindest signifikant verringert. Derartige Randbebauungen und Randobjekte sind üblicherweise vom Straßentyp abhängig und werden über die Anpassung der Auslösefreigabebedingung an die Klassifizierung der Straße bei Auslösung der Assistenzfunktion mitberücksichtigt.

**[0025]** Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Fahr Szenarios mit gerader Straße, welches zur Bestimmung der Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision mit einem sich vor dem Fahrzeug **2** befindlichen stationären Objekt in mehreren Eskalationsstufen **E1** bis **E3** ausgeführt wird. Das Fahrzeug **2** bewegt sich mit einer

Längsgeschwindigkeit  $v_{ego}^X$ .

**[0026]** Im Folgenden wird die Ermittlung der Zeit bis zum Auffahren des Fahrzeugs **2** auf das sich vor dem Fahrzeug **2** befindende Objekt d. h. der Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision, für die jeweilige Eskalationsstufe **E1**, **E2**, **E3** näher beschrieben. Fig. 3 zeigt für die jeweilige Eskalationsstufe **E1**, **E2**, **E3** eine jeweilige Distanz  $d_{TC}^{E1}$ ,  $d_{TC}^{E2}$ ,  $d_{TC}^{E3}$  bis zur Kollision und eine jeweilige Auslösezeit  $t_{TC}^{E1}$ ,  $t_{TC}^{E2}$ ,  $t_{TC}^{E3}$  bis zur Kollision.

**[0027]** Eine mathematische Beschreibung der Zeit  $t_{TC}$  [s] bis zur Kollision für die jeweilige Eskalationsstufe **E1**, **E2**, **E3**, wenn die Beschleunigungen von Fahrzeug **2** und vorausfahrendem oder stehendem Fahrzeug zeitlich konstant sind, ist wie folgt:

$$t_{TC} = \frac{d_{TC}}{v_{rel}^X}, \forall v_{rel}^X > 0 \quad (1)$$

**[0028]** Dabei ist  $d_{TC}$  [m] die Distanz bis zum Auffahren des Fahrzeugs **2** auf das sich vor dem Fahrzeug

**2** befindenden Objekts,  $v_{rel}^X$  [km/h] ist eine Relativgeschwindigkeit zwischen dem vorausfahrenden oder stehenden Objekt und dem Fahrzeug **2**,  $k_{ego}$  [1/km] ist eine Krümmung des befahrenden Fahrwegs, und

$d_{obj}^Y$  [m] ist eine Querablage des stationären Objekts von der Längsachse des Fahrzeugs **2** (Die jeweilige Angabe in eckigen Klammern gibt die Dimension des jeweiligen Parameters an).

**[0029]** Für veränderliche Relativbeschleunigungen  $a_{rel}^X$  zwischen dem Fahrzeug **2** und dem vorausfahrenden oder stehenden Objekt ist die mathematische Beschreibung der Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision, wie folgt:

$$t_{TC} = \frac{v_{rel}^X - \sqrt{(v_{rel}^X)^2 - 2 * a_{rel}^X * d_{rel}^X}}{a_{rel}^X}, \forall v_{rel}^X > 0 \quad (2)$$

wobei der Radius  $r_{ego}$  des befahrenen Fahrwegs des Fahrzeugs **2** berechnet wird als

$$r_{ego} = \frac{v_{rel}^X}{\phi} \quad (3)$$

mit  $\phi$  [rad/s] als Gierrate des Fahrzeugs **2**, wie in der Fig. 3 dargestellt, welche die Distanz  $d_{TC}$  [m] bis zum Auffahren auf das stehende Fahrzeug entlang eines Fahrwegs des Fahrzeugs **2** bei einem Szenario mit gerader Straße zeigt, wobei hier die Gierrate mit  $\Phi_{ego}$  bezeichnet ist.

**[0030]** Im Folgenden wird ein ereignisbasiertes Data-Mining **19** für die Ermittlung der Zeit bis zur Kollision beschrieben.

**[0031]** Zunächst erfolgt eine Extraktion von Parametern für Systemeigenschaften anhand neu entwickelter Kritikalitätsmetriken, zum Beispiel die Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision, wie in Fig. 4 und Fig. 5 gezeigt. Fig. 4 zeigt eine Identifizierung von Parametern anhand synthetischer Fahrdaten im Koordinatensystem der Videokamera sowie des Radarsensormodells **7**, welche an der Cluster-in-the-Loop-Plattform angewendet werden. Auf der Abszissenachse ist die Relativgeschwindigkeit  $v_{rel}^X$  zwischen dem stehenden Objekt und dem Fahrzeug **2** und auf der Ordinatenachse die Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision für jeweilige Eskalationsstufe **E1** bis **E3** abgetragen. In Fig. 5 ist auf der Abszissenachse ein Relativabstand  $d_{rel}^X$  zwischen dem Fahrzeug **2** und dem vorausfahrenden oder stationären

ren Objekt und auf der Ordinatenachse die Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision für jeweilige Eskalationsstufe **E1** bis **E3** abgetragen.

**[0032]** Fig. 6 zeigt ein Wärmebild für das Minimum der Zeit bis zum Auffahren auf das stehende Objekt, d. h. für das Minimum  $TTC_{Min}$  der Zeit bis zur Kollision, mit unterschiedlichen initialen Relativgeschwindigkeiten  $V_{init}^X$  und unterschiedlichen Längsgeschwindigkeiten  $V_{obj}^X$  des Objekts.

**[0033]** Anhand der Fig. 7 bis Fig. 10 werden exemplarisch vier Szenarien dargestellt, welche Fehlauflösungen des Bremsassistentensystems 3 durch die Erfassung von Randobjekten der Straße als relevante Objekte verursachen und über die Anpassung der Auslösefreigabebedingung vermieden oder zumindest signifikant verringert werden.

**[0034]** Fig. 11 zeigt die berechnete Krümmung des befahrenden Fahrwegs ohne Gruppierung.

**[0035]** Fig. 12 zeigt eine relative Querablage  $d_{obj}^Y$  des sich vor dem Fahrzeug 2 befindenden, stationären Objekts ohne Gruppierung über die Zeit  $t$ .

**[0036]** Dann erfolgt eine Plausibilisierung durch Erarbeitung von Kriterien aus synthetischen Fahrdaten.

**[0037]** Dann erfolgt eine Erfassung ausgewählter Parameter basierend auf einer hierarchischen Clusteranalyse.

**[0038]** Dann erfolgt ein Clustering, d. h. eine Gruppierung, von natürlichen Fahrscenarien 1 basierend auf Bremswarnereignissen des Bremsassistentensystems 3, wie in Fig. 13 gezeigt. Fig. 13 zeigt ein Clustering einer ereignisbasierten Analyse mit Signalclustern **C0**, **C1**, **C2**, **C3**.

**[0039]** Auf der Abszissenachse ist eine fusionierende Abweichung zwischen den exemplarisch ausgewählten Signalen (Kurvenkrümmung und Querablage) abgetragen und auf der Ordinatenachse die gleiche fusionierende Abweichung. Dabei werden vier Gruppierungen identifiziert, welche die Fehlauflösungen des Bremsassistentensystems 3 in den vier o.g. Szenarien abbilden. Dann erfolgt ein Klassifikatortraining mit markierten Clusterdaten, wie im oberen Bereich der Fig. 14A bis Fig. D und der Fig. 15A bis Fig. D gezeigt. Dabei wird beispielsweise die Zeitreihenanalyse für die jeweilige Gruppierung nach dem Klassifikatortraining gezeigt.

**[0040]** Dann erfolgt eine Anwendung des Klassifikators mit naturalistischen Fahrdaten, wie im unteren Bereich der Fig. 14A bis Fig. D und der Fig. 15A

bis Fig. D gezeigt. S0 bis S3 sind Signalprototypen. Dabei werden Anwendungen des Clustering auf eine ereignisbasierte Analyse einer Distanz bis zum Auffahren des Fahrzeugs 2 auf ein stehendes Fahrzeug angewendet. Dies wird als ein Referenzmodell des charakteristischen Verlaufes der Systemeingangsgrößen für den jeweiligen Cluster gezeigt.

**[0041]** Dann erfolgt eine Identifizierung der jeweiligen Gruppe durch eine Parameter- und Signalschätzung der Zeitreihenanalyse.

**[0042]** Dann erfolgt eine Umwandlung von Open-Loop Erfassungsdaten zu Closed-Loop Steuerungsdaten in ein für die synthetische Umgebung geeignetes Format.

**[0043]** Abschließend erfolgt ein Beschreiben der zu testenden Szenarien in einem De-facto-Standardformat.

#### Bezugszeichenliste

1	natürliches Fahrscenario
2	Fahrzeug
3	Bremsassistentensystem
4	synthetisches Fahrscenario
5	Kamera-Box
6	Radarsensor
7	Radarsensormodell
8, 9	Ereignis
10	Kritikalitätsanalyse
11	adaptive Testabdeckung
12	Parsing
13	Testautomation
14	Aktuatormodell
15	Fahrzeugdynamik
16	Funktionalspezifikation
17	Spitzenanforderung
18	Anwendungsfall
19	ereignisbasiertes Data-Mining
20	ontologiebasierte Szenariosynthese
21	adaptive Transformationsvorschrift
22	logisches Szenario
23	Black-Box Testing
24	Feldtest
25	Gray-Box Testing
26	funktionale Spezifikation

<b>27</b>	White-Box Testing	$t_{TC}^{E3}$	Auslösezeit der dritten Eskalationsstufe bis zur Kollision
<b>28</b>	Code-Analyse		
<b>29</b>	Entscheidungsprozess	$t_{TC}$	Zeit bis zur Kollision
<b>30</b>	Datenbank	<b>TTCmin</b>	Minimum der Zeit bis zur Kollision
<b>31</b>	Open-Loop Testing	$u_{ego}^x$	Längsgeschwindigkeit des Fahrzeugs
<b>32</b>	Closed-Loop Testing		
<b>33</b>	Hüllkomponente zu den Bestanden- und Durchgefallen-Kriterien	$v_{init}^x$	initiale Relativgeschwindigkeit
<b>34</b>	Software-Fehlersuche	$v_{rel}^x$	Relativgeschwindigkeit
<b>35</b>	Software Fehlerbehebung	$v_{obj}^x$	Längsgeschwindigkeit des Objekts
<b>36</b>	Re-Simulation	$\Phi_{ego}$	Gierrate
<b>37</b>	Funktionale Verifikation		
<b>38</b>	Funktionale Unzulänglichkeit		
<b>39</b>	Steuereinheit		
$d_{rel}^x$	Relativabstand zwischen dem vorausfahrenden oder stationären Objekts		
$d_{obj}^y$	Relative Querablage des stationären Objekts		
$d_{TC}^{E1}$	Distanz der ersten Eskalationsstufe bis zur Kollision		
$d_{TC}^{E2}$	Distanz der zweiten Eskalationsstufe bis zur Kollision		
$d_{TC}^{E3}$	Distanz der dritten Eskalationsstufe bis zur Kollision		
<b>C0</b>	Signalcluster		
<b>C1</b>	Signalcluster		
<b>C2</b>	Signalcluster		
<b>C3</b>	Signalcluster		
<b>E1</b>	Erste Eskalationsstufe		
<b>E2</b>	Zweite Eskalationsstufe		
<b>E3</b>	Dritte Eskalationsstufe		
$k_{ego}$	Krümmung des befahrenden Fahrwegs		
<b>50</b>	Signalprototyp		
<b>S1</b>	Signalprototyp		
<b>S2</b>	Signalprototyp		
<b>S3</b>	Signalprototyp		
<b>t</b>	Zeit		
$t_{TC}^{E1}$	Auslösezeit der ersten Eskalationsstufe bis zur Kollision		
$t_{TC}^{E2}$	Auslösezeit der zweiten Eskalationsstufe bis zur Kollision		

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102017009971 [0003]
- DE 102010049351 A1 [0021]



### Patentansprüche

1. Verfahren und Vorrichtung zum Testen eines Bremsassistentensystems (3) für ein Fahrzeug (2), insbesondere für einen Lastkraftwagen, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine clusteranalytische Charakterisierung von Fahrsituationen basierend auf erfassten Sensorsignalen zur Umfelderkennung und deren Systemreaktionen im Fahrbetrieb des Fahrzeugs (2) ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass Open-Loop-Erfassungsdaten aus verschiedenen Informationsquellen bei den charakterisierten Fahrsituationen mithilfe einer Datenbank (30) in Closed-Loop Steuerungsdaten für zu testende Szenarien transformiert werden.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein aus sagekräftiges Abbruchkriterium für das Testen des Bremsassistentensystems (3) geliefert wird, welches anhand der Bewertung des Verhaltens von einzelnen Komponenten sowie eines Gesamtsystems definiert ist.

Es folgen 21 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

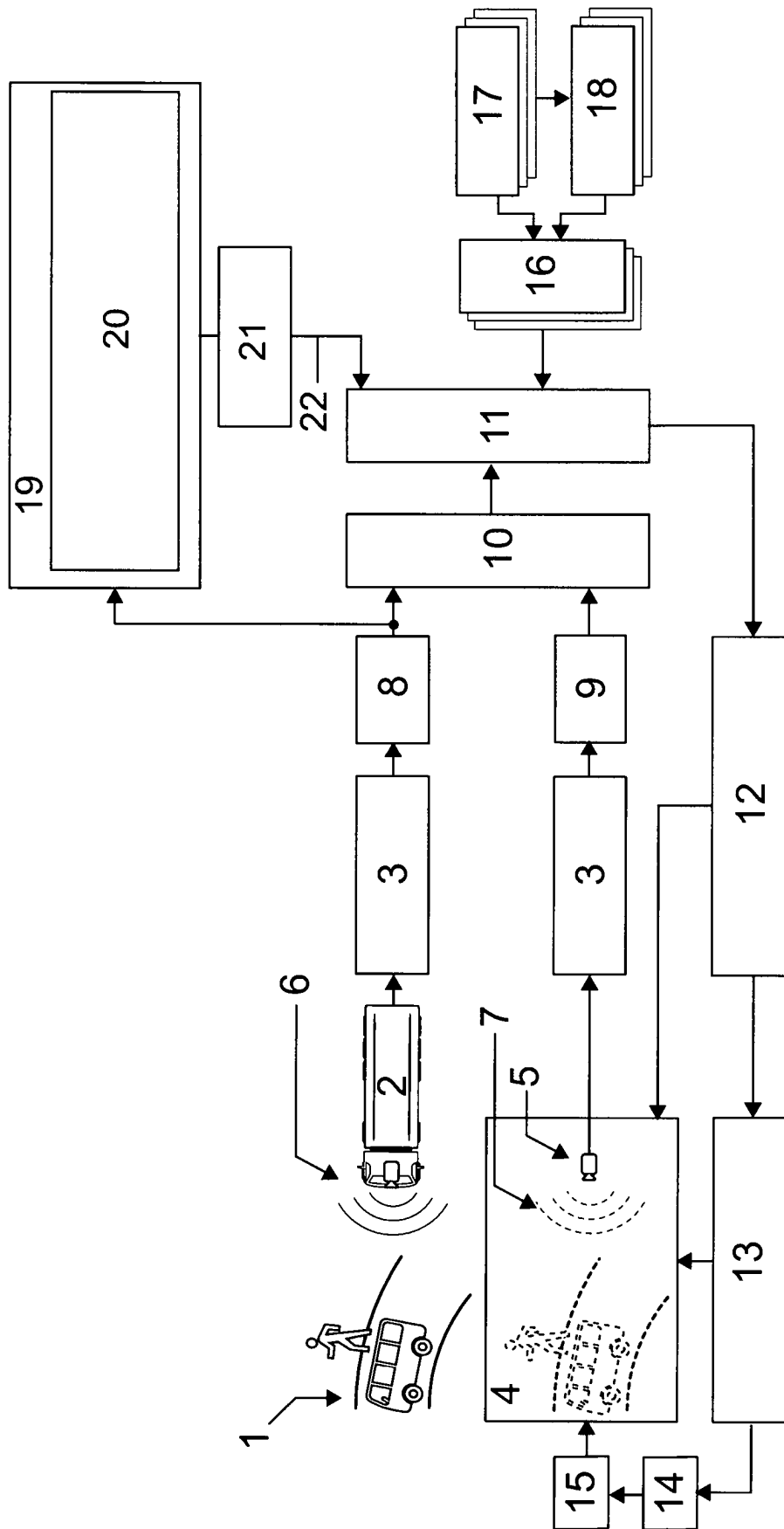


FIG 1

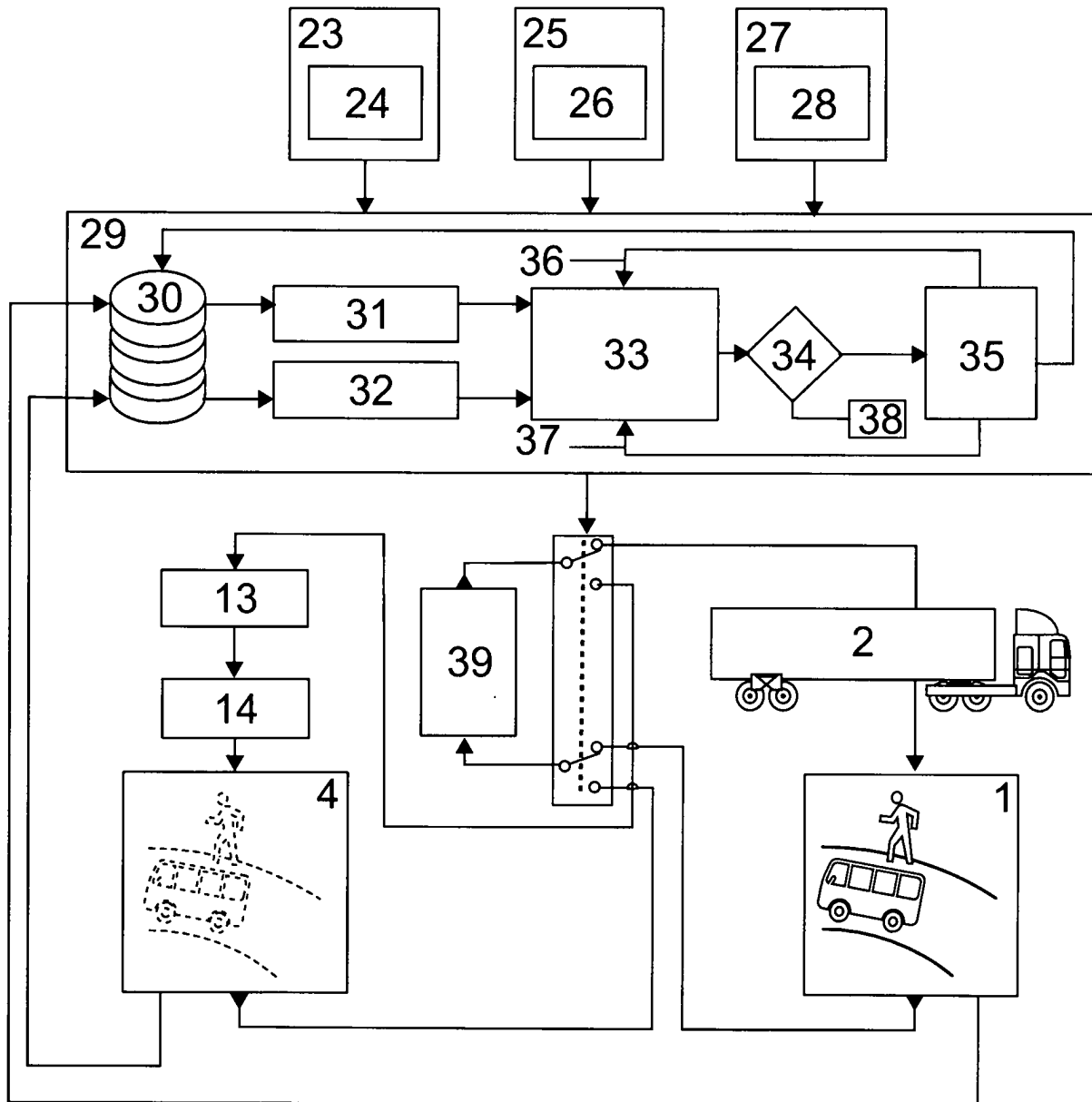


FIG 2

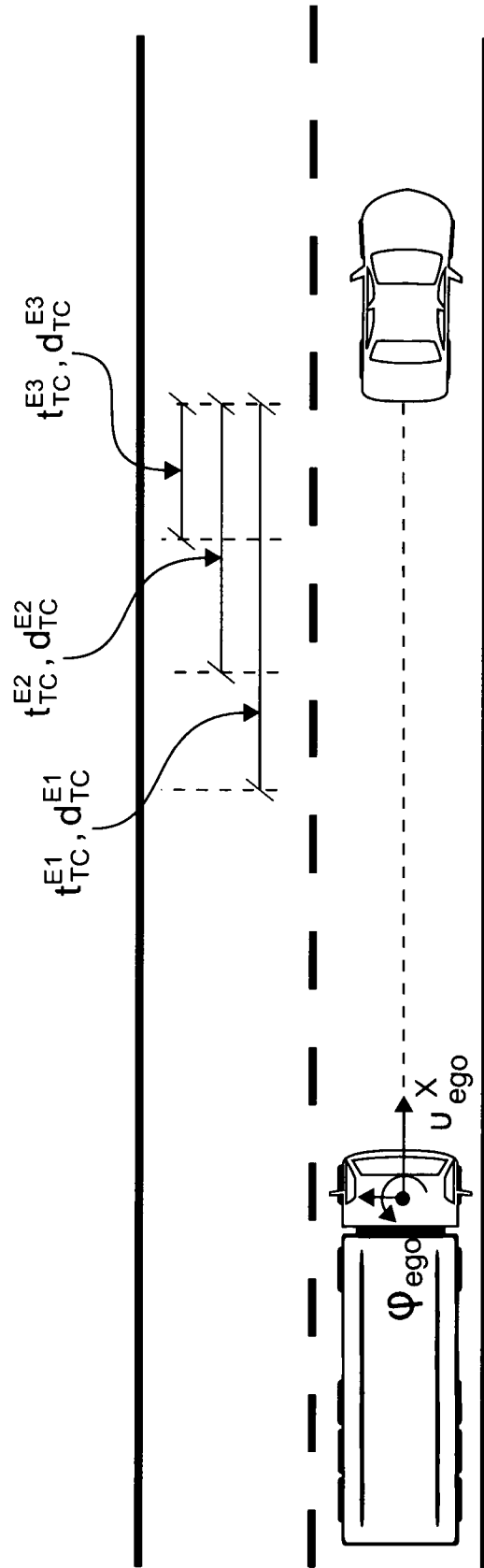


FIG 3

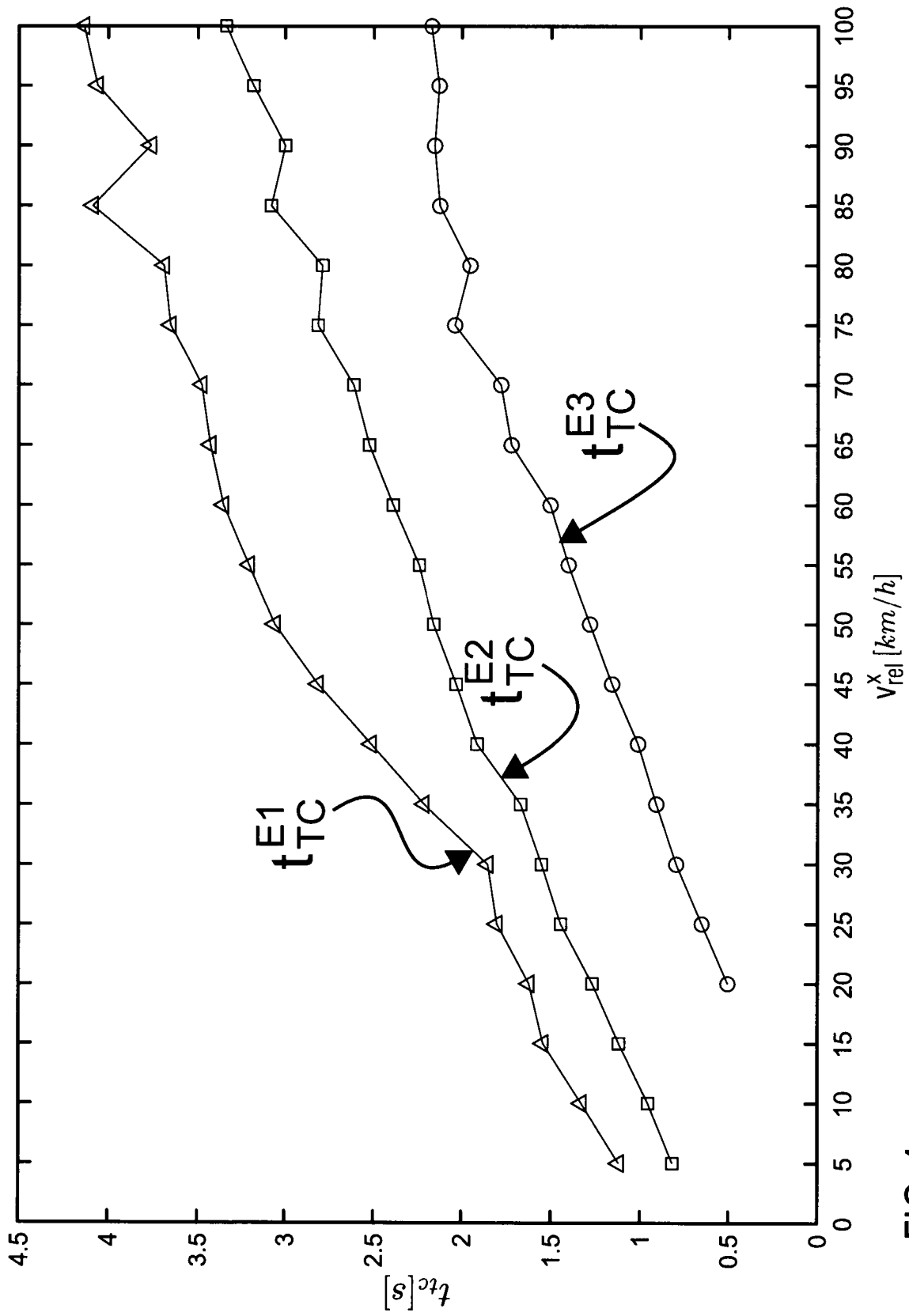


FIG 4

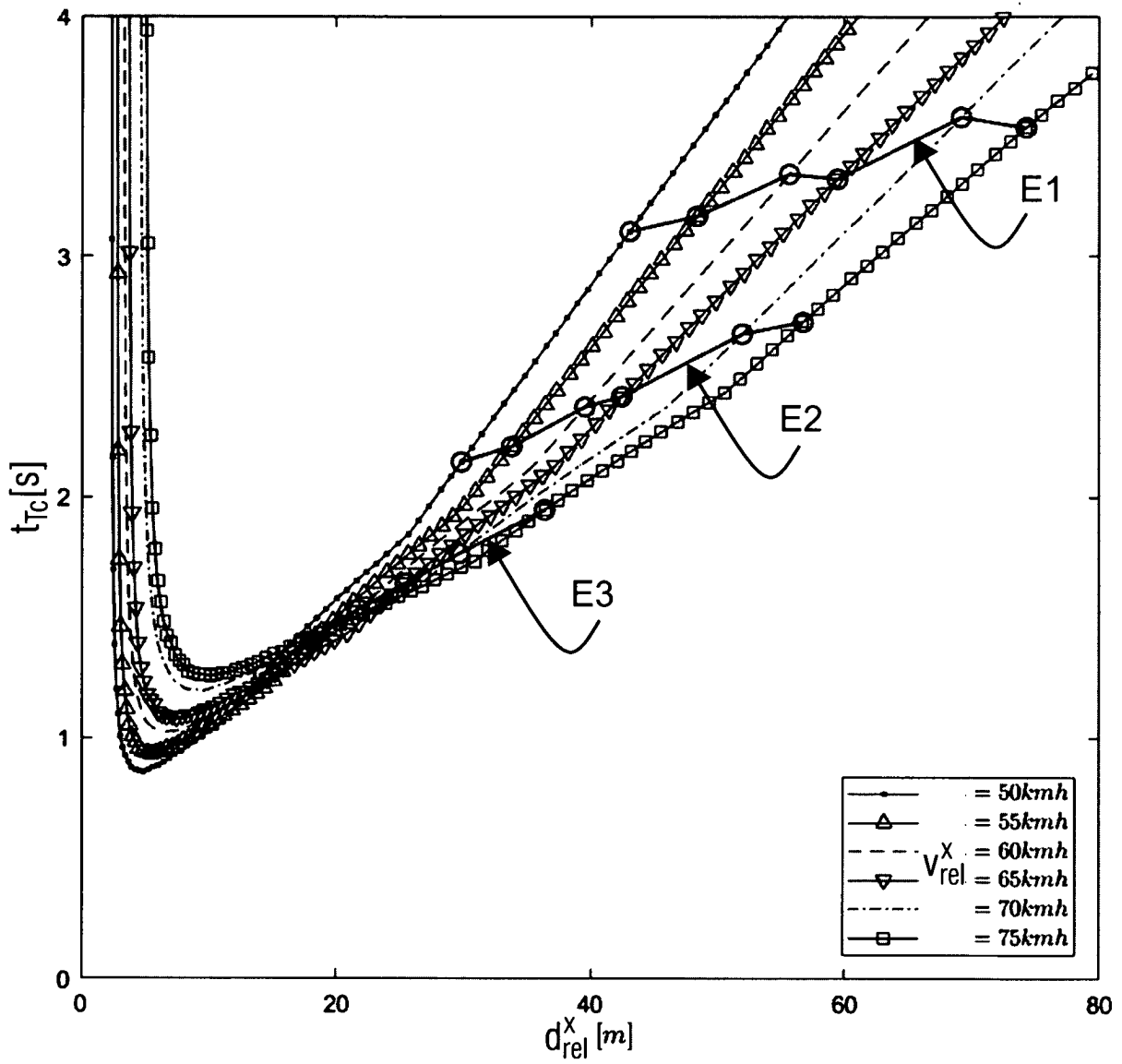


FIG 5

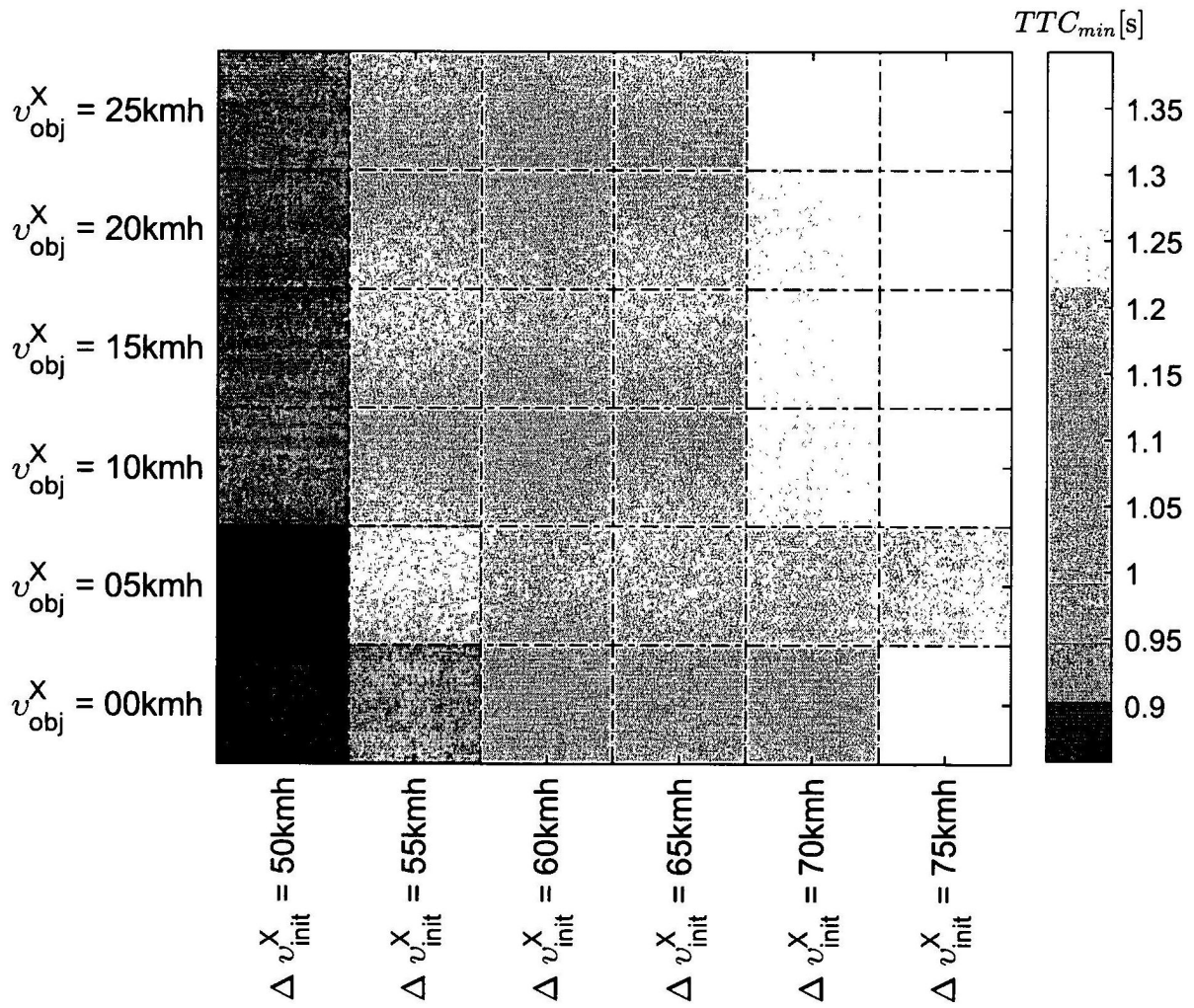


FIG 6

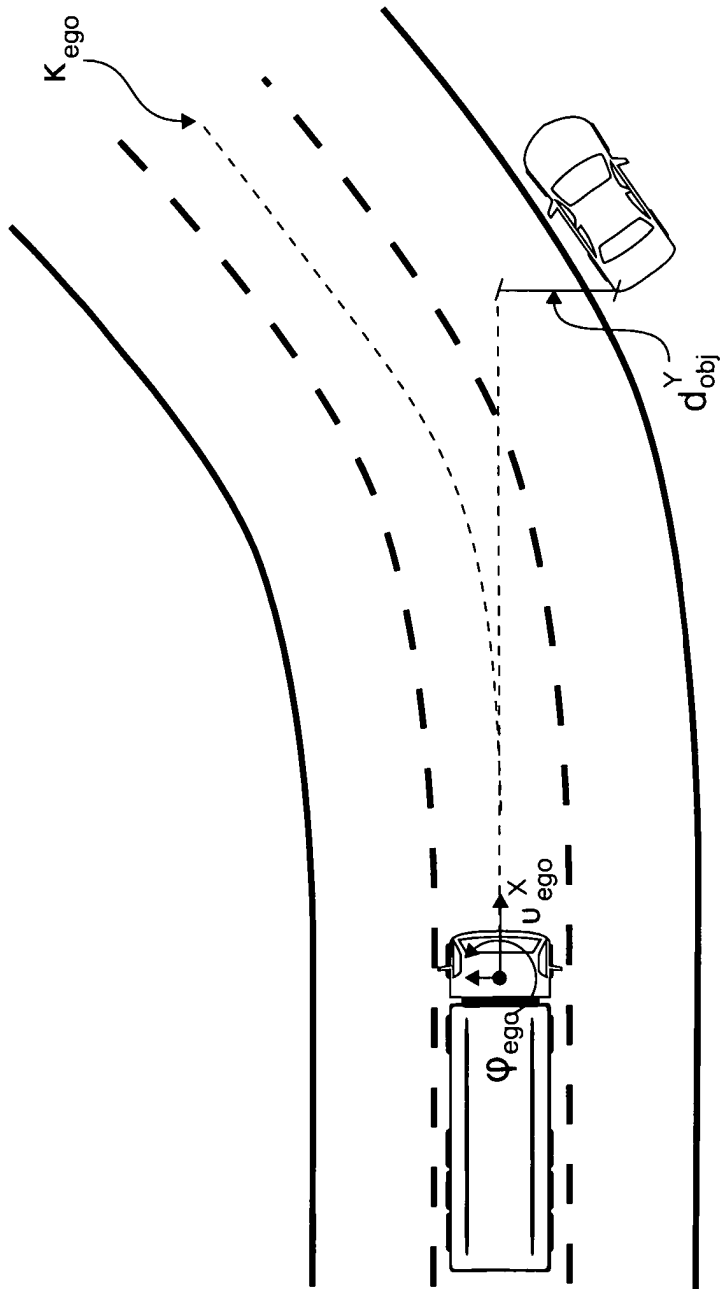


FIG 7



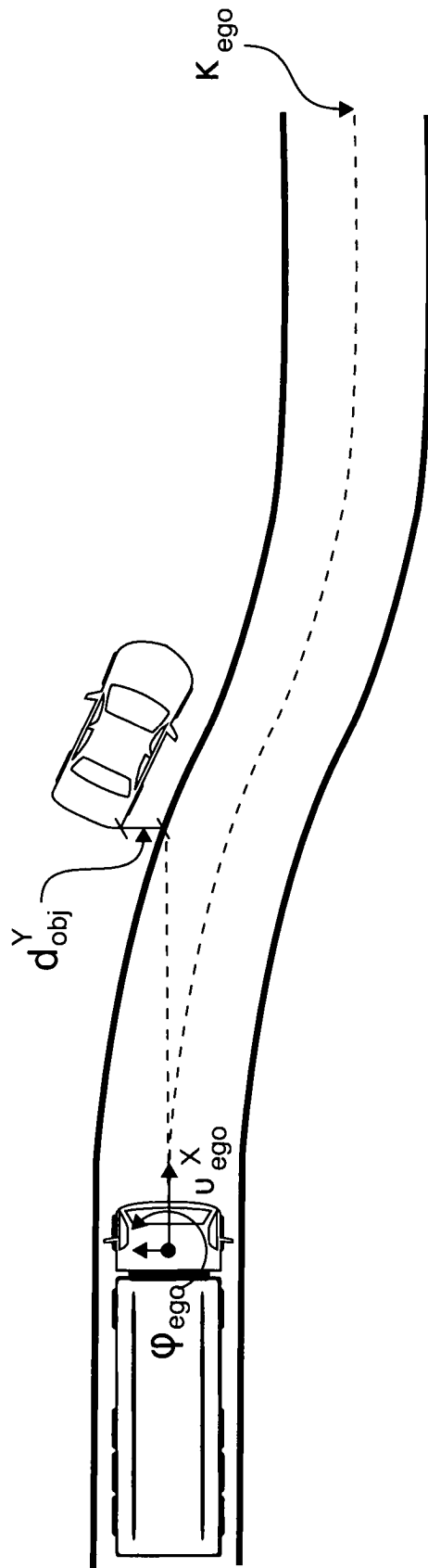


FIG 8

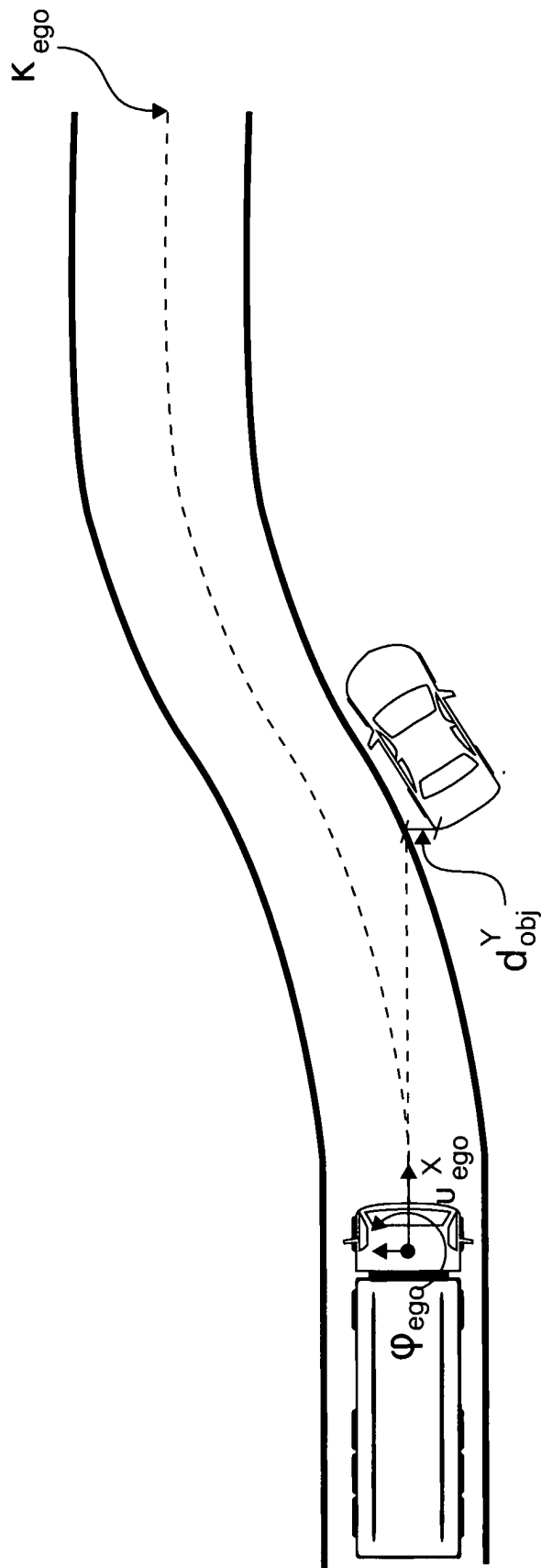


FIG 9

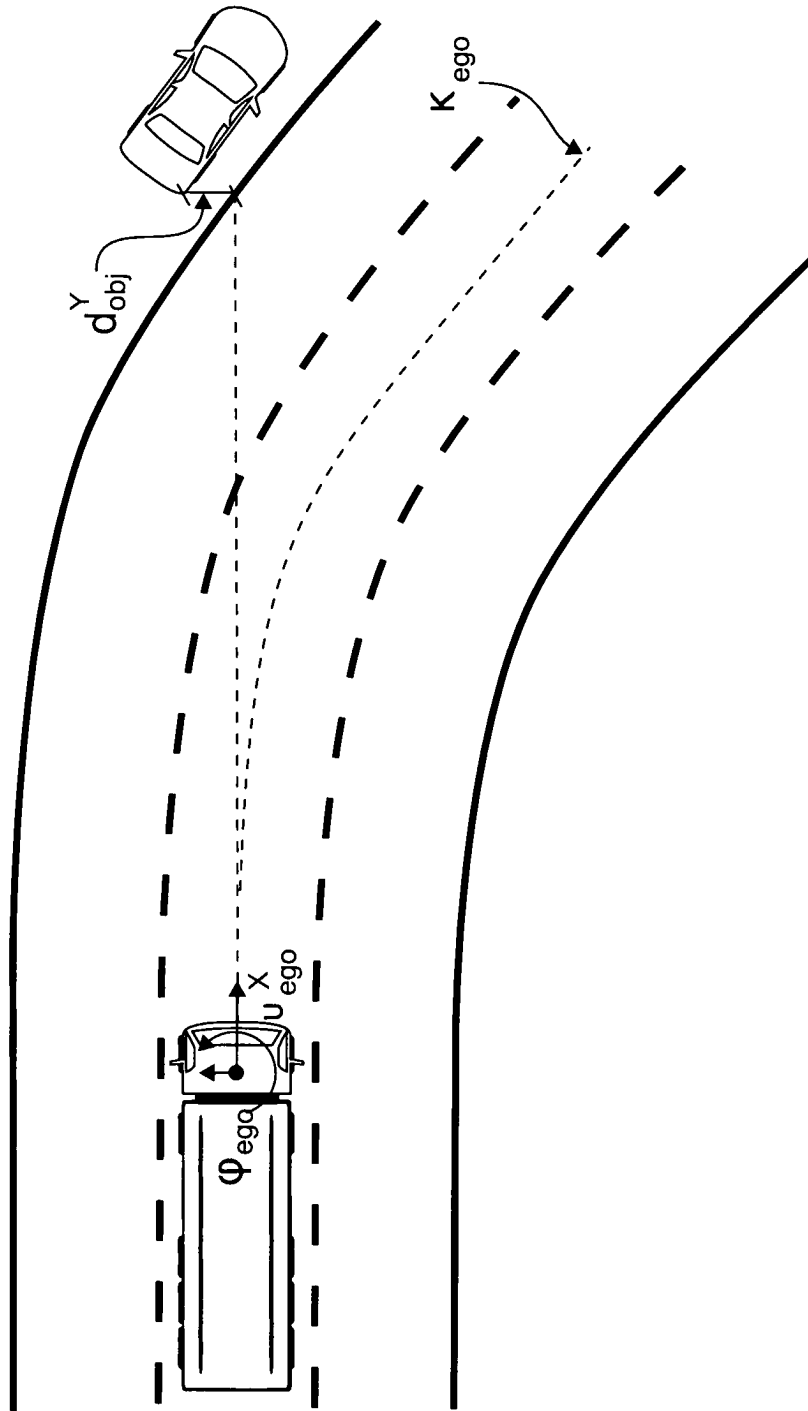


FIG 10

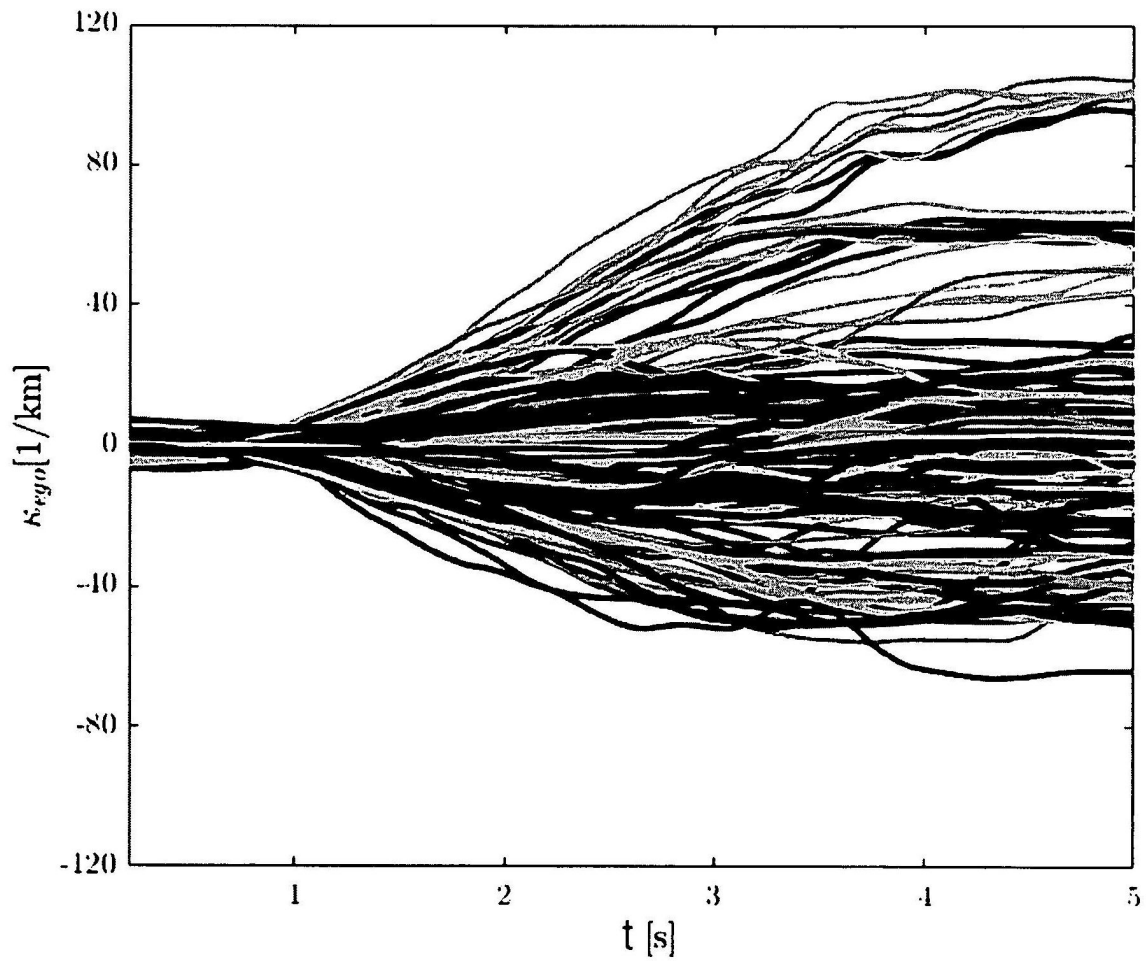


FIG 11

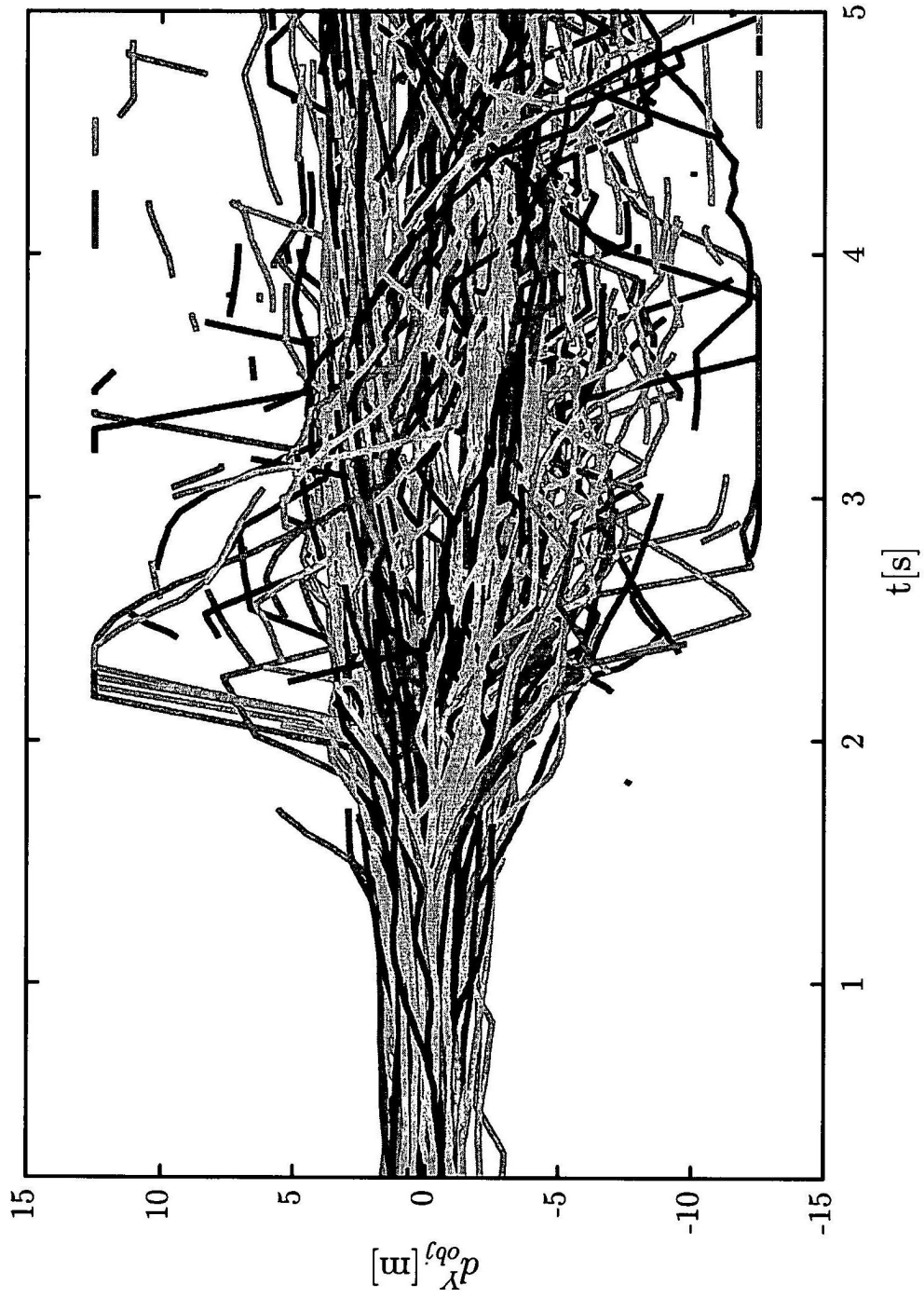


FIG 12

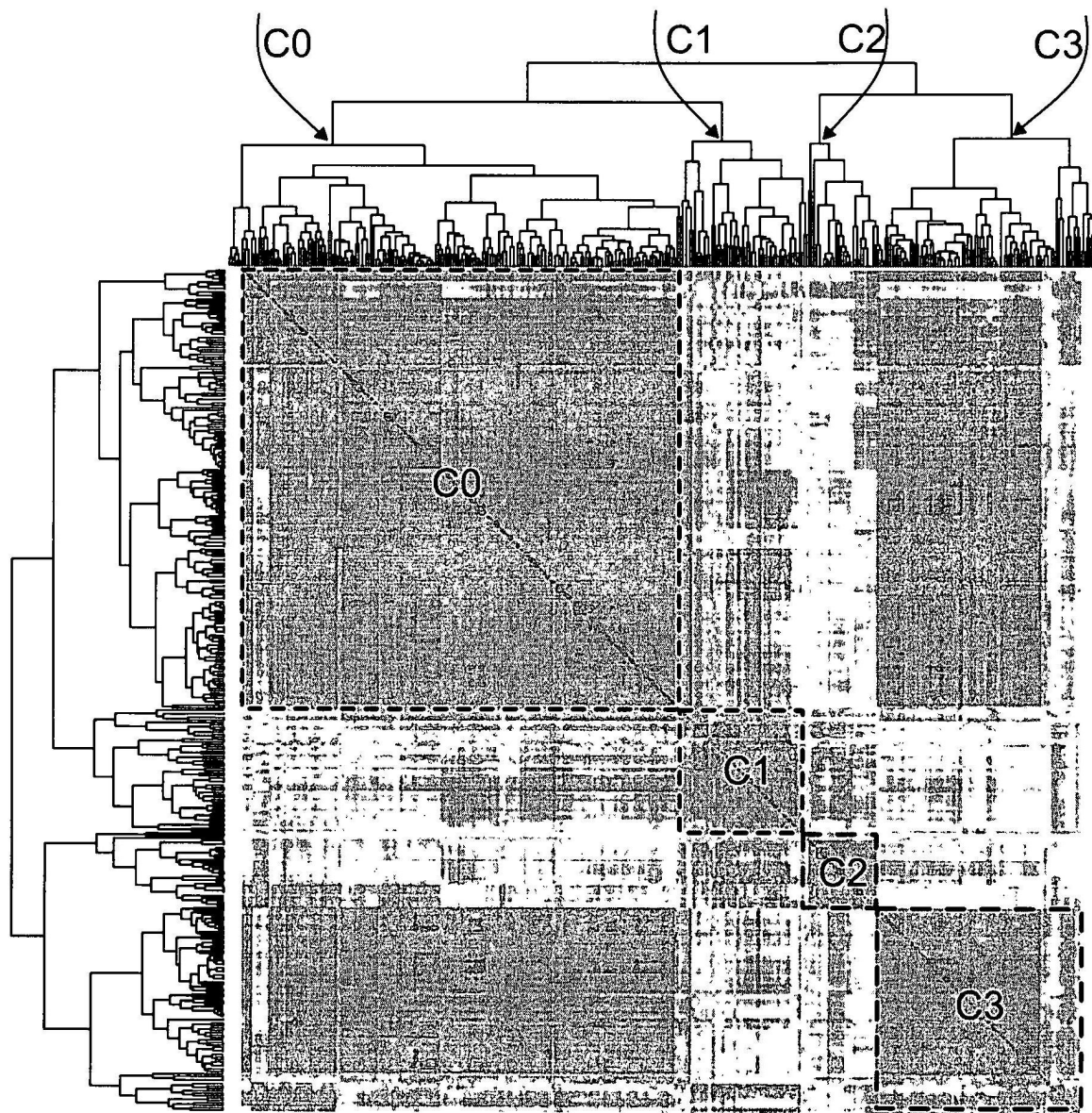


FIG 13

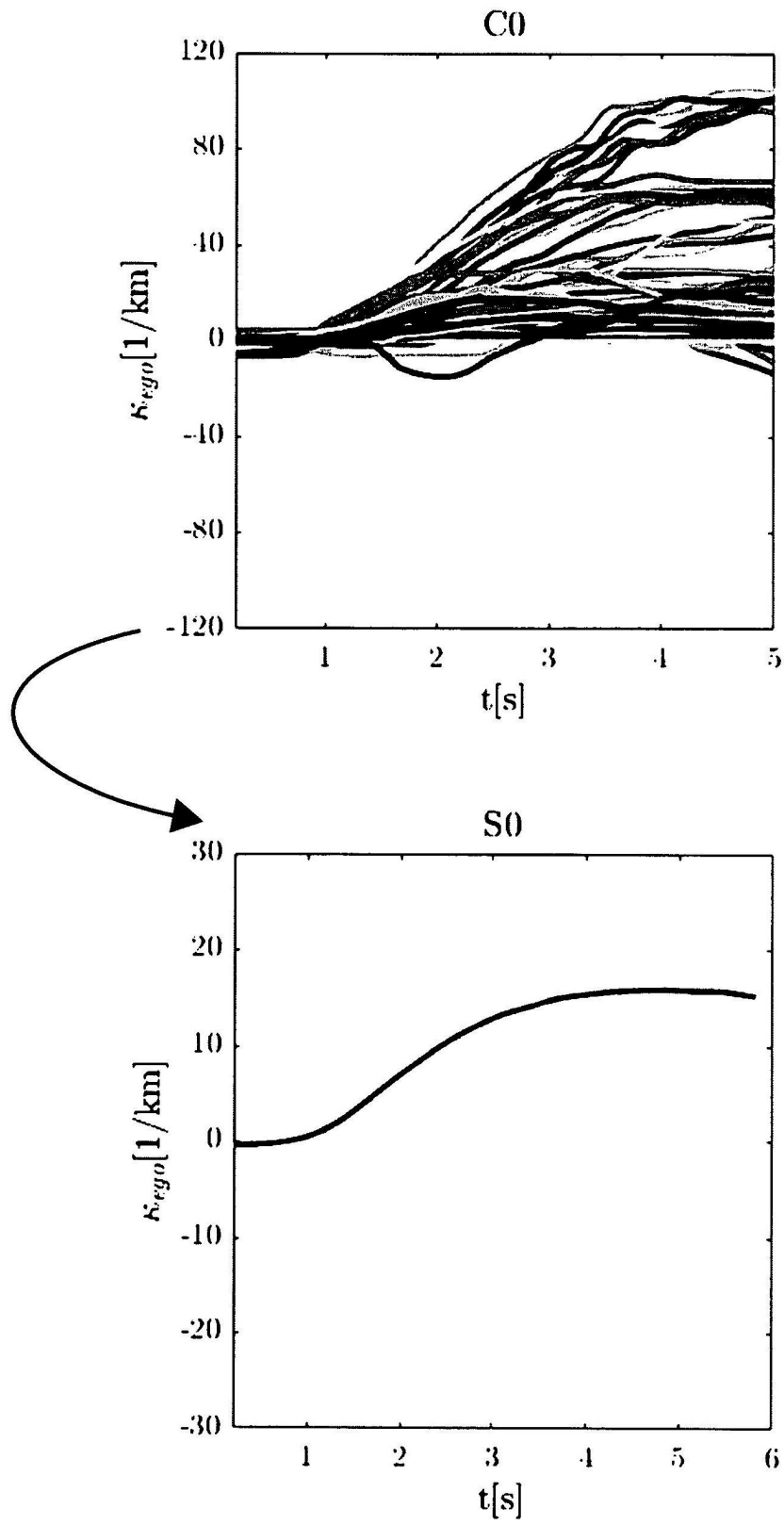


FIG 14A

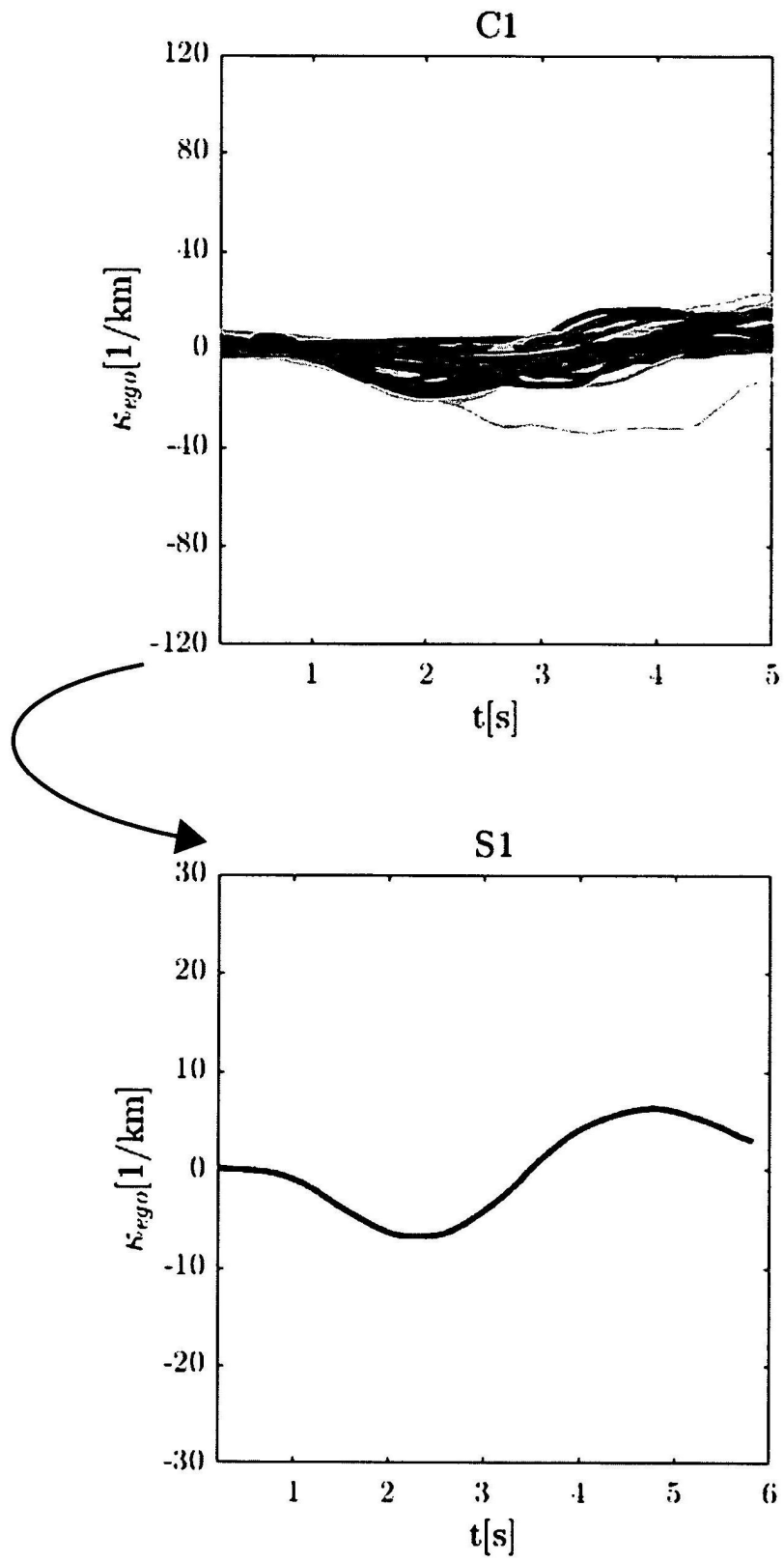


FIG 14B



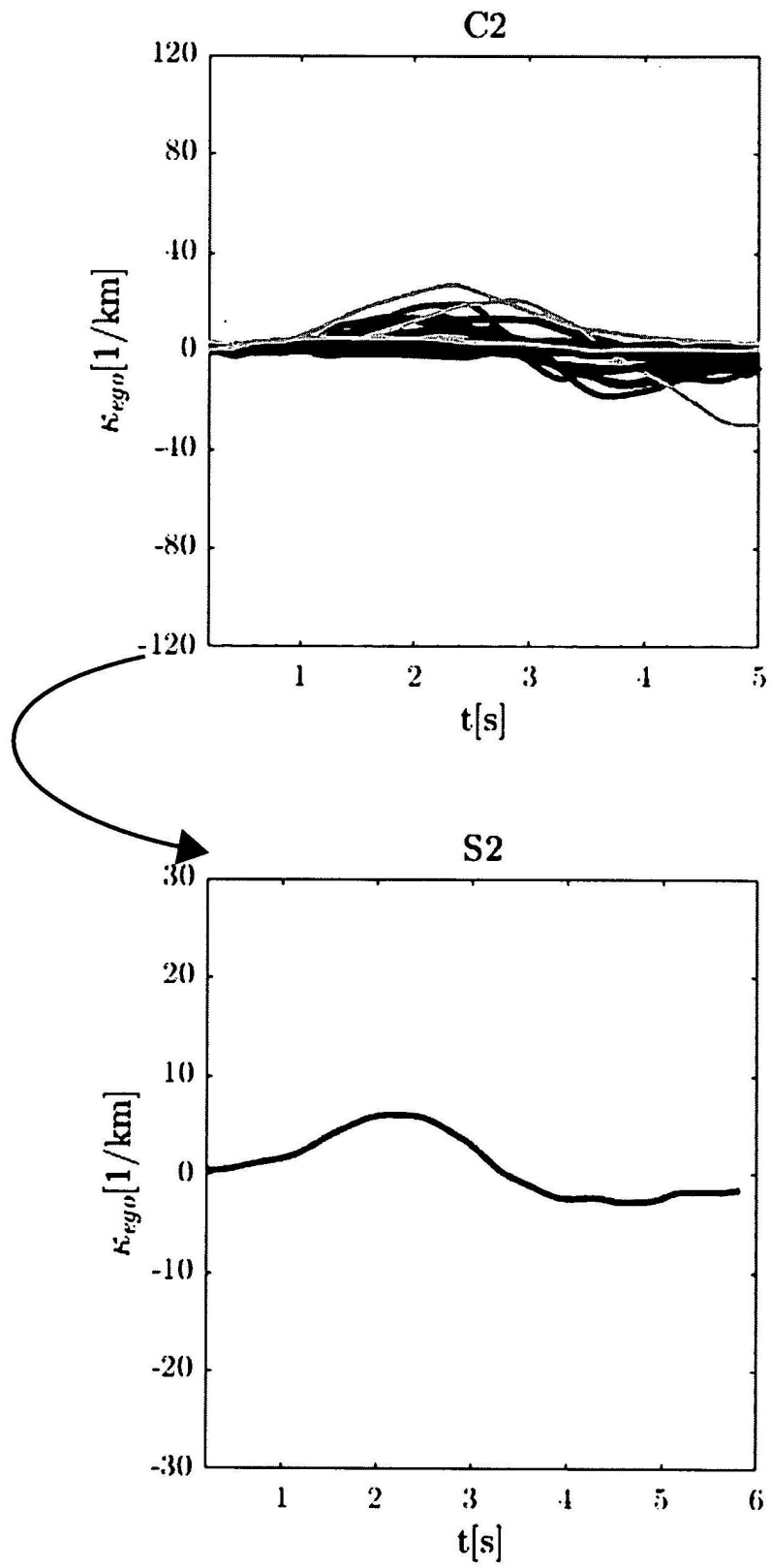


FIG 14C

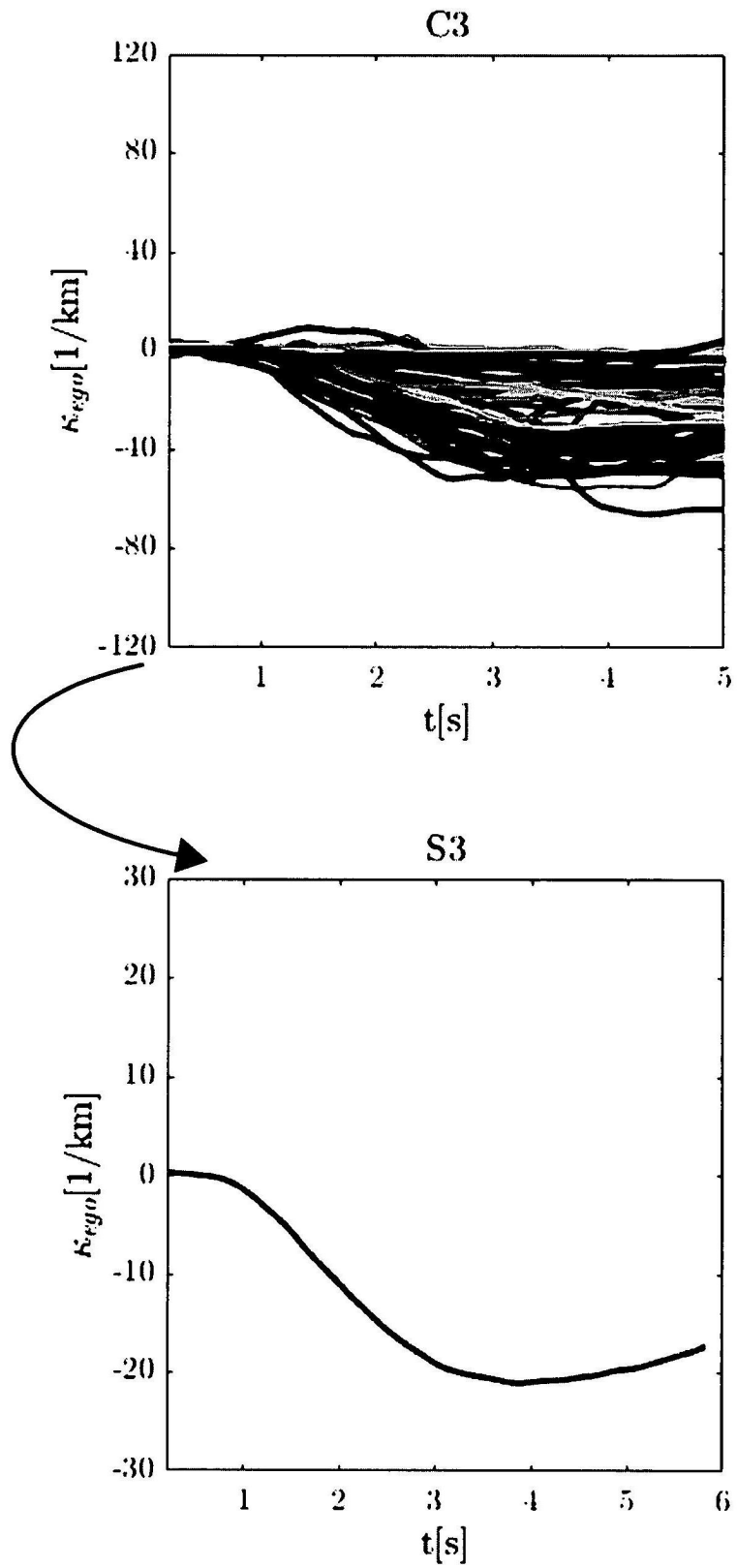


FIG 14D

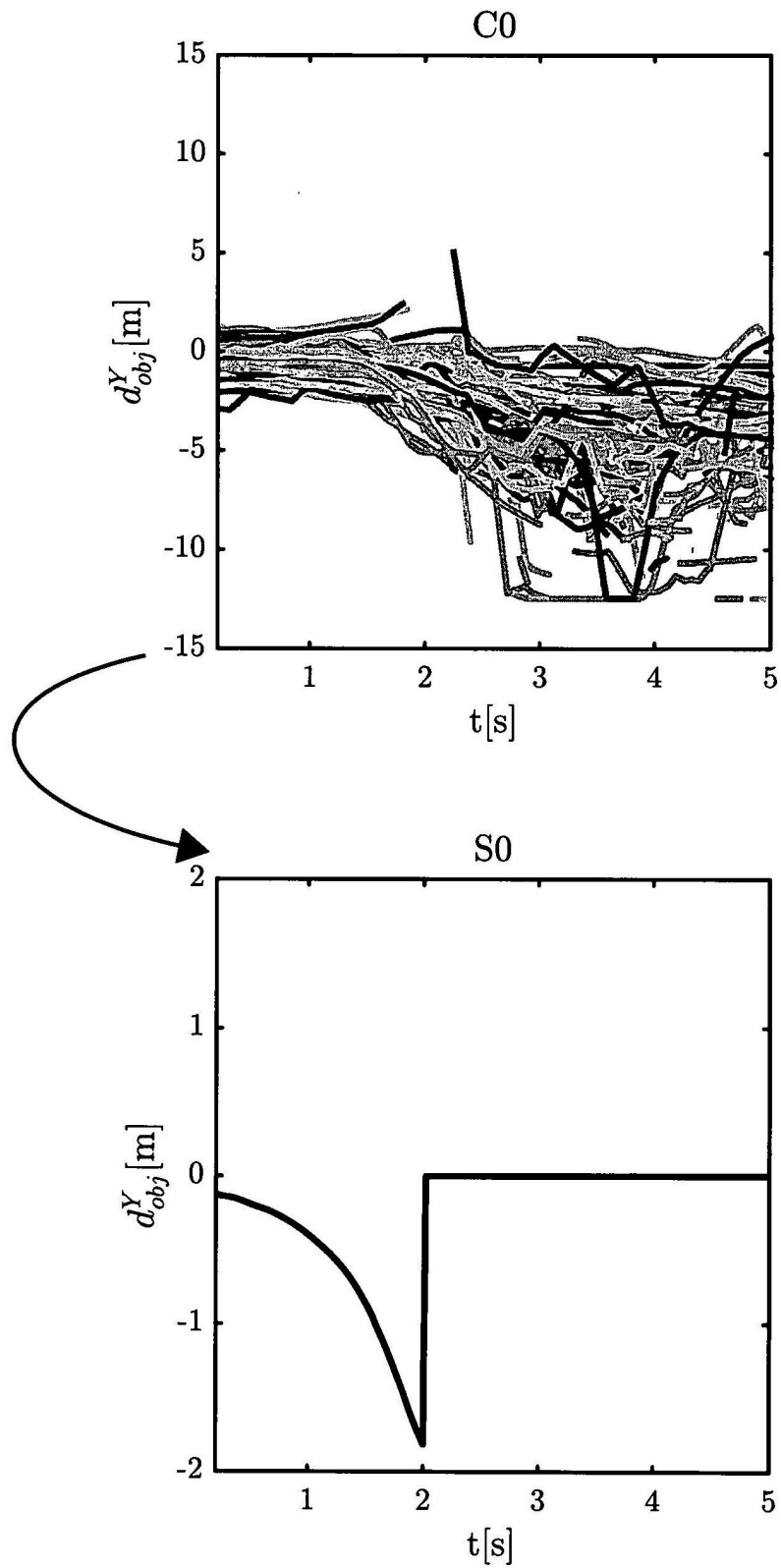


FIG 15A

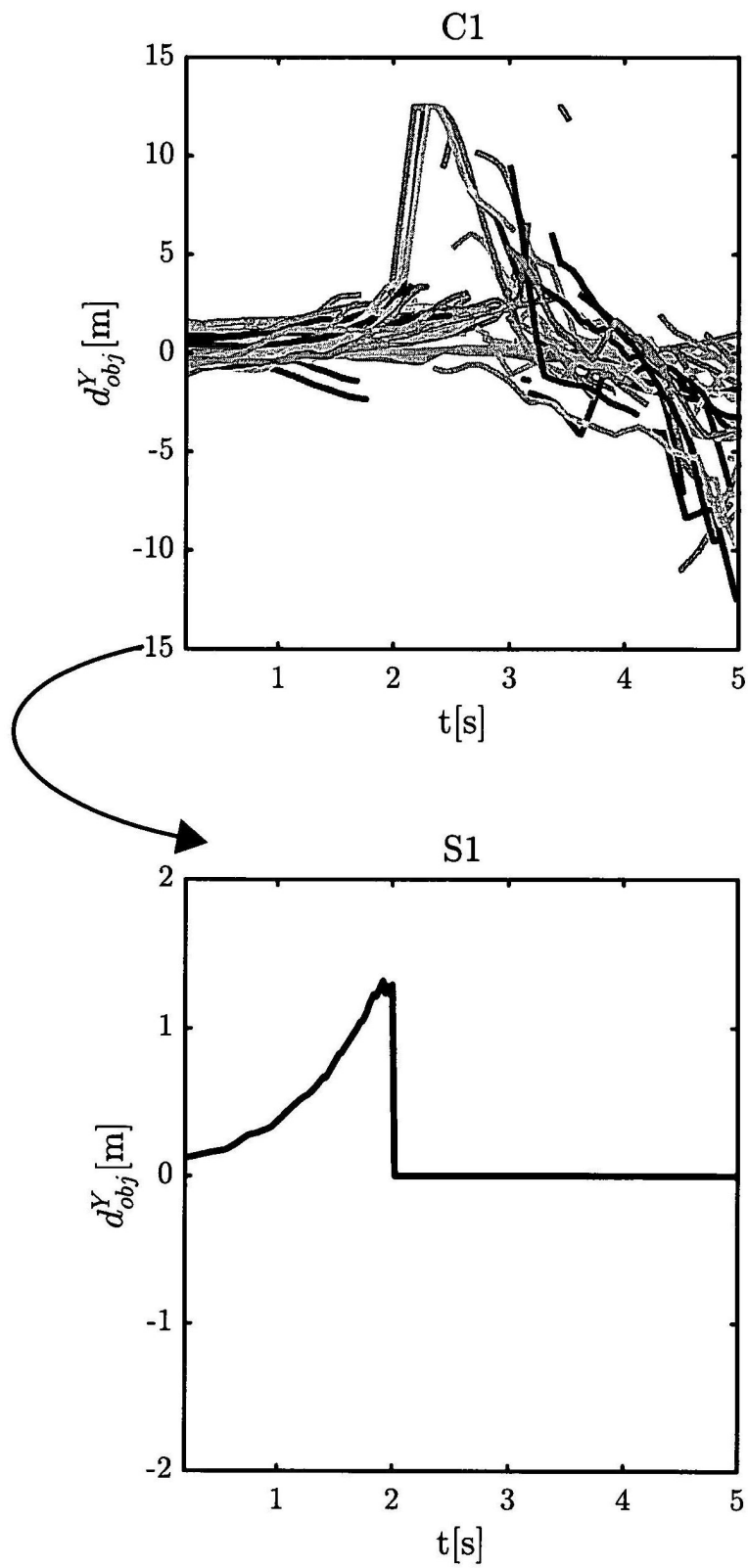


FIG 15B

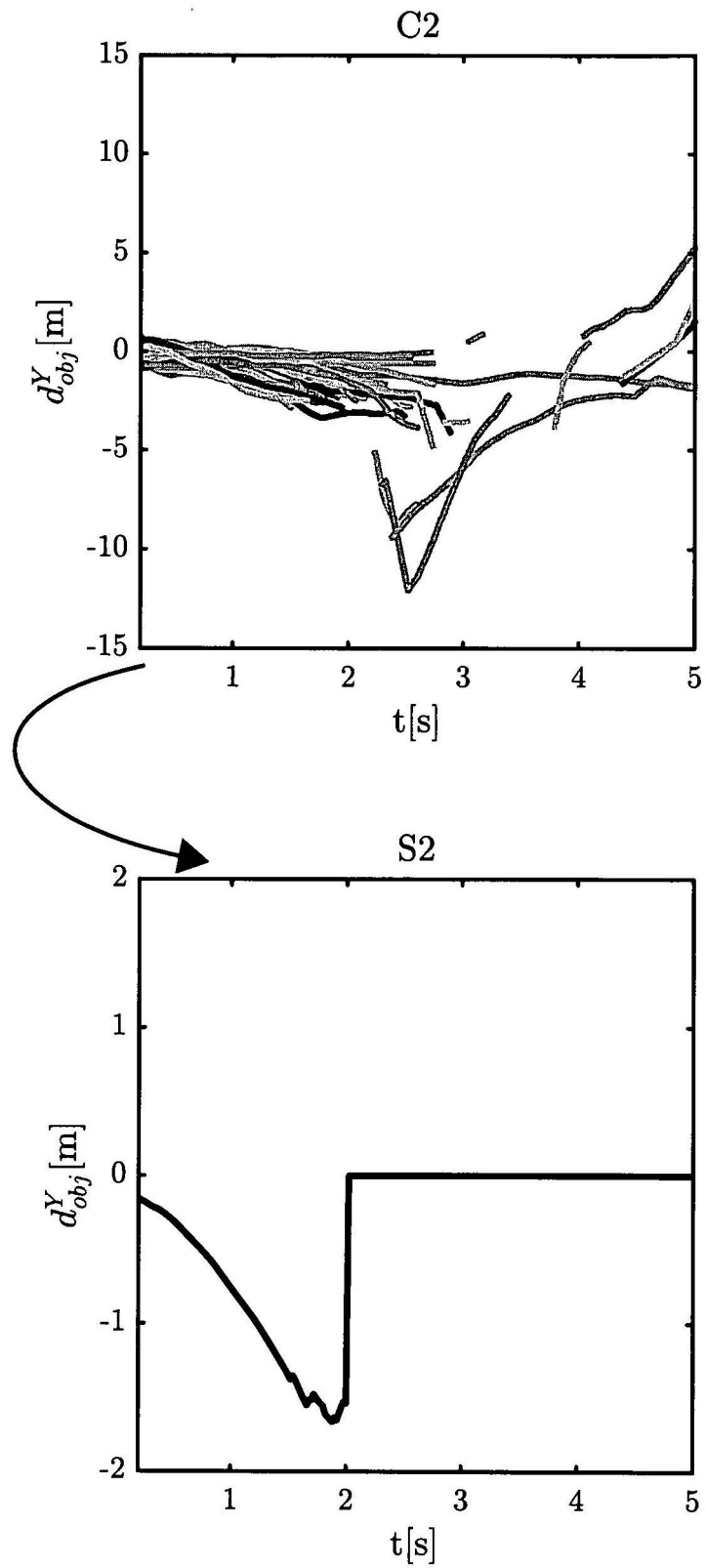


FIG 15C

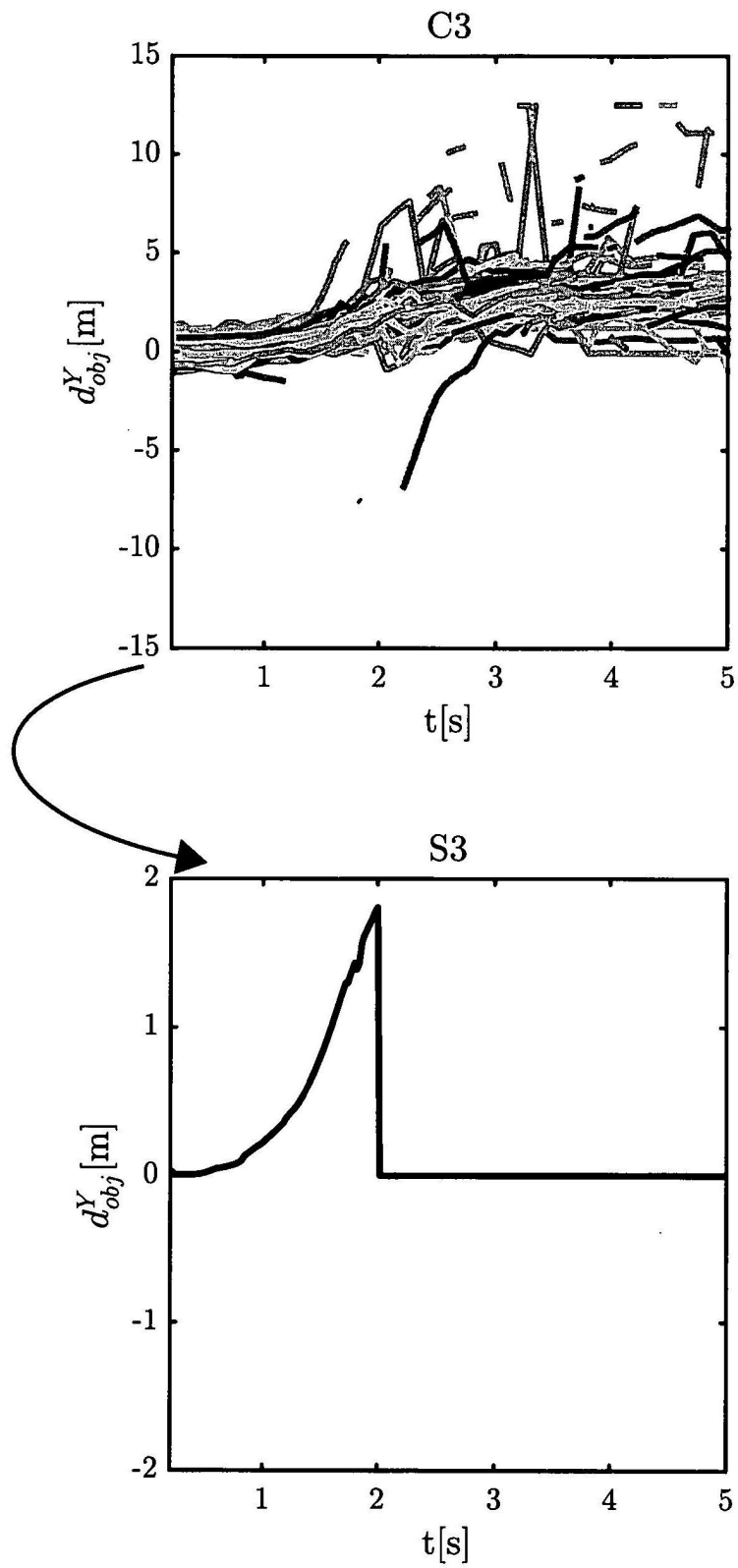


FIG 15D