



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
24.11.2004 Patentblatt 2004/48

(51) Int Cl.7: **G08G 1/01, G08G 1/04**

(21) Anmeldenummer: **04450111.2**

(22) Anmeldetag: **19.05.2004**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL HR LT LV MK

(72) Erfinder: **Graf, Franz, Dipl.-Ing.**
7511 Mischendorf 15 (AT)

(74) Vertreter: **Gibler, Ferdinand, Dipl.Ing. Dr.**
Patentanwalt
Dorotheergasse 7
1010 Wien (AT)

(30) Priorität: **20.05.2003 AT 7772003**

(71) Anmelder: **JOANNEUM RESEARCH**
Forschungsgesellschaft mbH
A-8010 Graz (AT)

(54) **Berührungsloses Achszählsystem für den Strassenverkehr**

(57) Berührungsloses Achszählsystem für den Straßenverkehr mit wenigstens einer Messeinrichtung zur Erfassung der von einem fahrenden Fahrzeug in einem Messbereich, wie z.B. an oder nahe der Kontaktstelle

von Reifen zu Fahrbahn, erzeugten Veränderungen der Umgebungsparameter, wie Schall, Temperatur oder Vibration, wobei die Messeinrichtung vorzugsweise oberhalb der Fahrbahn und oberhalb der Höhe des Fahrzeugs fixiert ist.

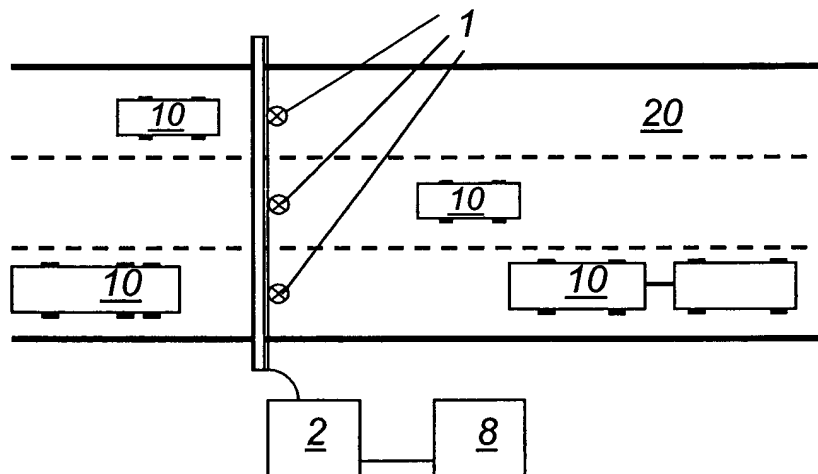


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein berührungsloses Achszählsystem für den Straßenverkehr.

[0002] Berührungslose Achszählsysteme sind bekannt, bei denen Induktionsschleifen in die Fahrbahn integriert sind. Solche Systeme haben den Nachteil, dass sie in die Fahrbahn eingebaut werden müssen. Auch im Wartungsfall wäre die Fahrbahn aufzugraben, was nicht nur mit hohen Kosten, sondern auch mit lang andauernden Verkehrsbehinderungen verbunden ist.

[0003] Es sind auch optische berührungslose Achszählsysteme, wie beispielsweise Laserscanner, bekannt, die jedoch nur zur Erfassung von Fahrzeugen auf einspurigen Fahrbahnabschnitten geeignet sind, weil die entsprechenden Messgeräte nur seitlich an den Fahrbahnrändern angebracht werden können.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein berührungsloses Achszählsystem anzugeben, das obige Nachteile vermeidet und bei geringem Installations- und Wartungsaufwand eine verlässliche Achszählung auch für mehrspurige Fahrbahnen zulässt.

[0005] Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass wenigstens eine Messeinrichtung zur Erfassung der von einem fahrenden Fahrzeug in einem Messbereich, wie z.B. an oder nahe der Kontaktstelle von Reifen zu Fahrbahn, erzeugten Veränderungen der Umgebungsparameter, wie Schall, Temperatur oder Vibration vorgesehen ist. Eine solche Messeinrichtung ist durch ihre Fokussierung auf einen geeigneten Messbereich geeignet, berührungslos die Fahrzeuge auch in mehrspurigen Fahrbahnabschnitten zu erfassen.

[0006] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die wenigstens eine Messeinrichtung oberhalb der Fahrbahn und oberhalb der Höhe des Fahrzeugs fixiert ist. Auf diese Art und Weise können Messeinrichtungen bequem und kostengünstig an eventuell bereits vorhandenen Überbauten der Fahrbahn, wie beispielsweise Brücken oder Beschilderungen, montiert und auch gewartet werden, wobei eine Zuordnung der Messeinrichtungen zu Fahrstreifen besonders einfach realisiert werden kann.

[0007] In besonderer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die mindestens eine der wenigstens einen Messeinrichtung als Laservibrometer ausgebildet ist. Laservibrometer gestatten eine hochpräzise berührungslose Erfassung von Fahrbahnvibrationen, wie sie durch das Gewicht und/oder die Eigenvibrationen fahrender Fahrzeuge über die Reifen auf der Fahrbahn hervorgerufen werden.

[0008] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die mindestens eine der wenigstens einen Messeinrichtung als Richtmikrofon, insbesondere als Reihenmikrofonsystem, ausgebildet ist. Eine solche Anordnung ist geeignet, Reifenabrollgeräusche besonders gut zu erfassen und zu lokalisieren.

[0009] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass eine Analyseeinheit zur Analyse

von Mess-Signalen vorgesehen ist. So kann die Interpretation der Mess-Signale erleichtert und verbessert werden.

[0010] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Analyseeinheit eine Signalverstärkungseinrichtung für eine Verstärkung der Mess-Signale, insbesondere um einen Faktor 100 bis 10.000, umfasst. So können auch sehr schwache Signale einer Auswertung zugänglich gemacht werden.

[0011] Weiters kann vorgesehen sein, dass die Analyseeinheit einen A/D-Konverter mit einer Abtastrate von insbesondere 1 kHz bis 50 kHz, oder noch spezieller zwischen 6 kHz und 16 kHz, umfasst. Derart digitalisierte Mess-Signale sind für nachfolgende Datenanalysen besonders gut geeignet.

[0012] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass der A/D-Konverter eine Auflösung von 8 bis 24 bit, vorzugsweise von 12 bis 20 bit hat. Eine solche Auflösung ist für nachfolgende Datenanalysen ausreichend und führt gleichzeitig zu noch gut bewältigbaren Datenmengen.

[0013] In besonderer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Analyseeinheit eine Recheneinheit umfasst, die dem A/D-Konverter nachgeordnet ist. So können die digitalisierten Mess-Signale für eine Klassifizierung der zu erfassenden Fahrzeuge aufbereitet werden.

[0014] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass an die Recheneinheit ein Speicher und/oder eine Benutzerschnittstelle angeschlossen ist. Der Speicher ermöglicht die Ablage von die Messung beeinflussenden Parametern, während über die Benutzerschnittstelle entsprechende Mess- bzw. Umgebungsparameter veränderbar sind.

[0015] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Recheneinheit eine zeitliche Segmentiereinrichtung zur Unterteilung diskreter Zeitsignale in zeitliche Signalblöcke, insbesondere von einer Blocklänge 10 ms bis 1.500ms, umfasst. Eine zeitliche Segmentiereinrichtung ermöglicht eine höhere Auflösung bei der Analyse der Mess-Signale.

[0016] Gemäß einer weiteren Ausbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Recheneinheit einen Spektralanalysator zur Berechnung des Frequenzspektrums der Mess-Signale und/oder eine Energieberechnungseinheit zur Berechnung der Signalenergie, insbesondere der Kurzzeit-Signalenergie, umfasst. Aus den so errechneten Daten können Datenmuster generiert werden, die für eine nachfolgende Klassifizierung besonders gut geeignet sind.

[0017] In Weiterführung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Recheneinheit einen Klassifikator umfasst, der dem Spektralanalysator und/oder der Energieberechnungseinheit nachgeordnet ist, und der die aus den entsprechenden Berechnungsergebnissen des Spektralanalysators und/oder der Energieberechnungseinheit hervorgehenden Datenmuster klassifiziert. Derart klassifizierte Datenmuster ermöglichen eine besonders zuverlässige Bestimmung der Achszahl ver-

schiedener Fahrzeugtypen.

[0018] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass der Klassifikator in einem Lernmodus, insbesondere unter Anwendung von Lernalgorithmen wie z.B. dem Hebb-schen Lernverfahren, der Backpropagation-Regel oder dem Forward-Backward-Algorithmus, zur Erzeugung mathematischer Modelle für bestimmte Fahrzeugklassen betreibbar ist. Auf diese Art und Weise lässt sich das Achszählsystem auf eine Vielzahl zu bestimmender Fahrzeugtypen kalibrieren und lässt sich auch im Falle einer Bedarfsveränderung auf neue Fahrzeugtypen kostengünstig nachrüsten.

[0019] In weiterer Folge kann vorgesehen sein, dass der Klassifikator in einem Erkennungsmodus zur Zuordnung eines aktuellen Mess-Signals zu einer Fahrzeugklasse betreibbar ist. So kann ein sicherer, zuverlässiger und maßgeschneiderter Betrieb des berührungslosen Achszählsystems erzielt werden.

[0020] Schließlich kann in Weiterbildung der Erfindung vorgesehen sein, dass der Analyseeinheit eine Kommunikationseinheit nachgeordnet ist, der das Berechnungsergebnis des Klassifikators übergeben wird. So kann auch in weiterer Entfernung, beispielsweise in einer Zentrale, die Achszahl von Fahrzeugen, die eine Mess-Stelle passieren, erfasst und überwacht werden.

[0021] Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf die beigeschlossenen Zeichnungen, in welchen Ausführungsformen dargestellt sind, näher beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 ein Fahrzeug auf einer Fahrbahn in Seitenansicht,

Fig. 2 eine mehrspurige Fahrbahn mit Messeinrichtungen, einer Analyse- und einer Kommunikationseinheit, im Grundriss,

Fig. 3 ein Blockdiagramm einer Analyseeinheit zwischen Messeinrichtungen und Kommunikationseinheit und

Fig. 4 ein Blockdiagramm einer Rechneinheit zwischen A/D-Konverter und Kommunikationseinheit.

[0022] Ein Fahrzeug 10 ist über seine Reifen 12 an Kontaktstellen 11 in mechanischer Wechselwirkung mit der Fahrbahn 20. Durch das Gewicht, die Eigenbewegung (Vibration) und die Relativbewegung des Fahrzeugs 10 zur Fahrbahn 20 werden nun vor allem im Bereich der Kontaktstellen 11 Schwingungen angeregt. Diese sind einerseits Schallschwingungen, die vorwiegend durch das Abrollen der Reifen 12 auf der Fahrbahn 20, aber auch durch Motor- und Strömungsgeräusche, hervorgerufen werden, andererseits Schwingungen der Oberfläche der Fahrbahn 20 selbst, deren Amplitude in der Größenordnung von bis zu einigen Millimetern betragen kann. Diese physikalischen Größen, die einer Veränderung unterliegen, sofern ein Kraftfahrzeug den Ort der Messung passiert, können durch verschiedene Messprinzipien erfasst werden.

[0023] Die Amplitude der abgestrahlten Schallwellen

kann auf unterschiedliche Weise beschrieben werden - z.B. als die Geschwindigkeit der Bewegung der Luftmoleküle (Schallschnelle) oder als Druck, der im Allgemeinen zur Beschreibung der Amplitude bevorzugt verwendet wird. Der Schalldruck ergibt sich durch die Fluktuation des Luftdruckes über und unter dem atmosphärischen Luftdruck. Messeinrichtungen 1, die zur Umwandlung des Schalldruckes in ein elektrisches Signal dienen, können alle geeigneten Schall-Sensoren, wie z. B. elektroakustische Wandler, sein. Dabei kann die Messeinrichtung 1 auch als Richtmikrofon oder als Reihenmikrofonsystem ausgebildet sein, was zu einer verbesserten Ortsauflösung eines Mess-Signals beiträgt.

[0024] Die Schwingungen der Oberfläche des Verkehrsweges können grundsätzlich mit Beschleunigungsaufnehmern gemessen werden, die nach dem piezoelektrischen Effekt arbeiten - jedoch nicht berührungslos. Mittels optischer Methoden können diese Schwingungen auch berührungslos gemessen werden. Zur Erfassung der Schwingungen der Oberfläche der Fahrbahn 20 eignen sich Messeinrichtungen 1 in Ausgestaltung von Laservibrometern besonders gut. Laservibrometer arbeiten nach dem Prinzip der Dopplerverschiebung. Dabei liefert das von einem schwingenden Objekt (z.B. Oberfläche einer Fahrbahn 20) zurück gestreute Laserlicht alle Informationen für die Bestimmung von Oberflächengeschwindigkeit und absoluten Schwingamplituden. Im Gegensatz zu anderen optischen Methoden (z.B. Laserscanner) ist hier nicht der Abstand eines vorhandenen Objekts von Interesse, sondern die Schwinggeschwindigkeit von dessen Oberfläche. Mit Hilfe dieser hochpräzisen Messung können geringste Schwingungsanregungen der Oberfläche der Fahrbahn 20 detektiert werden.

[0025] Die Messeinrichtungen 1 zur Messung der Veränderungen der Umgebungseinflüsse messen die Stärke der Schallwellen, bevorzugt den Schalldruck der Schallwellen oder die Schwingungen der Oberfläche der Fahrbahn, wenn sich Fahrzeuge 10 nähern bzw. den Anbringungsort einer Messeinrichtung 1 passieren. Vorzugsweise sind die Messeinrichtungen 1 oberhalb der Fahrbahn 20 an Überbauten wie Brücken, Signaleinrichtungen oder Beschilderungen angebracht (vgl. Fig. 2), sodass die Überwachung mehrerer paralleler Fahrstreifen leicht möglich ist.

[0026] Die Messeinrichtungen 1 wandeln die Schall- bzw. Schwingungssignale in elektrische Energie um. Die Messeinrichtungen 1 erzeugen analoge oder digitale Mess-Signale als Funktion der Zeit. Die von den Messeinrichtungen 1 erzeugten Mess-Signale werden über getrennte Signalleitungen oder nach Modulation bzw. Codierung über eine gemeinsame Signalleitung zur Analyseeinheit 2 weitergeleitet. Die Mess-Signale können jedoch auch durch eine drahtlose Verbindung (z. B. Funk, Infrarot, ...) oder via Local Area Networks (LAN) bzw. Wireless LAN (WLAN) an die Analyseeinheit 2 übertragen werden.

[0027] Die Analyseeinheit 2 kommuniziert ihrerseits

wiederum über eine Kommunikationseinheit 8 beispielsweise mit einer zentralen Einheit (nicht abgebildet) zur Sammlung, Auswertung oder Weiterverarbeitung der von der Analyseeinheit 2 gelieferten Ergebnisse. Die Verbindung zwischen der Kommunikationseinheit 8 und der zentralen Einheit kann drahtgebunden oder drahtlos erfolgen.

[0028] In Figur 3 ist das Blockschaltbild des Hardware-Aufbaus der Analyseeinheit 2 dargestellt. Die Mess-Signale werden an die Signalverstärkungseinrichtung 3 weitergeleitet, welche die Mess-Signale um einen fest eingestellten Faktor, bevorzugt zwischen 100 und 10.000, oder mit einer automatischen Einstellung verstärkt.

[0029] Der nachfolgende Analog/Digital-Konverter 4 setzt die analogen Signale in diskrete Werte um. Die Abtastrate des A/D-Konverters 4 kann von System zu System unterschiedlich sein und liegt im Allgemeinen zwischen 1 kHz und 50 kHz. Besonders gut eignen sich Abtastfrequenzen zwischen 6 kHz und 16 kHz. Die Auflösung des A/D-Konverters 4 liegt im Bereich von 8 bis 24 bit, wobei der Bereich von 12 bis 20 bit bevorzugt verwendet wird. Das System verfügt über eine Recheneinheit 5, die mit dem A/D-Konverter 4 und dem Datenspeicher 6 verbunden ist. Die Recheneinheit 5 dient zur Ausführung der Berechnungsschritte, die auf die digitalisierten Mess-Signale angewendet werden. Die Benutzerschnittstelle 7 und der Speicher 6 sind an die Recheneinheit 5 angeschlossen. Durch die Benutzerschnittstelle 7 können Eingaben von einem Anwender durchgeführt werden. Die Eingabe durch den Anwender kann durch jedes geeignete Gerät, wie z.B. einer Tastatur, einer Maus, einem Bildschirm mit Berührungseingabe oder einer beliebigen Kombination dieser Geräte erfolgen.

[0030] Das Ergebnis der Analyse wird über einen Ausgang an die Schnittstelle der Kommunikationseinheit 8 übergeben und dort weiterverarbeitet.

[0031] In Figur 4 ist in Form eines Blockdiagramms die Analyse der Mess-Signale dargestellt, wie sie in der Recheneinheit 5 von statten gehen. Die Mess-Signale werden vom A/D-Konverter 4 einer zeitlichen Segmentierung 51 zugeführt, um die diskreten Zeitsignale in zeitliche Blöcke zu unterteilen, wobei die Blocklänge zwischen 10 ms und 1.500 ms liegen kann. Die einzelnen Blöcke werden weiters mit einer Überlappung aus dem Signal extrahiert. Diese Überlappung dient dazu, die Auflösung zu erhöhen und kann Werte zwischen 20 % und 70 % annehmen. Nach der zeitlichen Segmentierung 51 werden die Daten einerseits der Energieberechnungseinheit 53 als auch dem Spektralanalysator 52 übergeben.

[0032] Im Anschluss wird die Funktionalität der Analyseeinheit 2 beschrieben. Dabei steht die Variable t für die Zeit, T für die Länge eines Signalblockes und i steht für die Nummer des Blockes innerhalb des gesamten akustischen Signales. $s_i(t)$ bezeichnet das Mess-Signal im Zeitbereich des i -ten Blockes, $S_i(w)$ das Frequenz-

spektrum des i -ten Blockes. Die Variable w entspricht der Momentanfrequenz.

[0033] Die Analyseeinheit 2 besteht aus einem Spektralanalysator 52 und einer Energieberechnungseinheit 53 zur Berechnung der Signalenergie. Der Spektralanalysator 52 transformiert die einzelnen Signalblöcke vom Zeitbereich in den Frequenzbereich. Standardmäßig werden diese Transformationen mittels Fourier Transformation durchgeführt. Besonders gut eignet sich dazu die sogenannte Fast Fourier Transformation (FFT). Die Fast Fourier Transformation entspricht einer digitalen Approximation der Fourier Transformation. Die Fourier Transformation einer Funktion $s(t)$ ist wie folgt definiert:

$$S(w) = \int s(t) e^{2\pi i f t} dt$$

[0034] Der Ausgang des Spektralanalysators 52 entspricht dem Leistungsdichtespektrum des Signals am Eingang und beschreibt die Höhe der Energie an einem bestimmten Frequenz-Stützstelle. Die Anzahl der Frequenz-Stützstellen ist abhängig von der Anzahl der diskreten Abtastwerte, die für die Fourier-Transformation aus dem zeitlichen Signal entnommen werden, und steht in direktem Zusammenhang mit der oben erwähnten Blocklänge T . Neben der Fourier-Transformation zur Berechnung des spektralen Inhalts eines Zeitsignales können auch andere Methoden, wie z.B. das Linear Prediction Coding eingesetzt werden, das aus der Literatur bekannt ist.

[0035] Ein weiterer Bestandteil der Analyseeinheit 2 ist die Energieberechnungseinheit 53. Im Allgemeinen wird die Beziehung zur Ermittlung der Signalenergie durch folgende Gleichung beschrieben:

$$E_n = \sum_{-\infty}^{+\infty} s^2(t)$$

[0036] Da zur Beschreibung von akustischen Signalen der Verlauf der Energie in Abhängigkeit von der Zeit interessiert, eignet sich besonders der Einsatz der Kurzzeit-Signalenergie. Sie ist definiert als:

$$E_n = \sum_{k=-\infty}^{\infty} [s(k) \cdot w(t-k)]^2$$

wobei

$$w(t) = \begin{cases} 1 & \text{für } 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{für } \text{sonst} \end{cases}$$

[0037] Durch die Wahl der Fensterlänge kann der er-

haltene Verlauf der Signalenergie wesentlich beeinflusst werden. Die Verwendung großer Fensterlängen entspricht einer Tiefpassfilterung mit einer niedrigen Grenzfrequenz und hat zur Folge, dass kurzzeitige Schwankungen des Signals in der Signalenergie nicht widergespiegelt werden. Kurze Fensterlängen ergeben hingegen einen Verlauf der Signalenergie, der sich weitgehend an die zeitliche Struktur des akustischen Signals anlehnt. Die Blocklängen T zur Berechnung der Energie entsprechen den oben angeführten Werten und können zwischen 10 ms und 1.500 ms liegen.

[0038] Die aus der Energieberechnung und dem Spektralanalysator 52 erhaltenen Berechnungsergebnisse werden im Anschluss im Klassifikator 54 weiterverarbeitet. Der Klassifikator 54 ist in der Lage, bestimmte Datenmuster, die durch die Berechnungsergebnisse gebildet werden, zu klassifizieren. D.h. bei der Vorbeifahrt von Fahrzeugen 10 mit unterschiedlicher Achszahl ergeben sich sowohl für die berechnete Energie als auch für das Spektrum bestimmte Datenmuster, die der Klassifikator 54 durch die ihm zuvor präsentierten Lernmuster klassifizieren kann. Der Klassifikator 54 kann in zwei Moden betrieben werden.

[0039] Der erste Modus wird auch als Lernmodus bezeichnet. Der Lernmodus dient dazu, um für jede zu erkennende Klasse ein mathematisches Modell zu erzeugen. Als Lernalgorithmus bezeichnet man eine Abfolge von mathematischen Berechnungsschritten, um in iterativer Form ein mathematisches Modell zu approximieren. Lernalgorithmen wie z.B. das Hebbsche Lernverfahren, die Backpropagation-Regel und der Forward-Backward-Algorithmus, sind aus der Literatur bekannt. Der zweite Modus wird als Erkennungsmodus bezeichnet und stellt jenen Modus dar, der im Normalbetrieb des Erkennungssystems verwendet wird. Während der Erkennungsphase wird einem aktuell vorliegenden Signal eine der K Signalklassen zugeordnet und damit die Anzahl der Achsen des momentan vorbeifahrenden Fahrzeuges 10 bestimmt. Das Ergebnis der Klassifikation wird im Anschluss an die Kommunikationseinheit 8 übergeben.

Patentansprüche

1. Berührungsloses Achszählsystem für den Straßenverkehr, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine Messeinrichtung (1) zur Erfassung der von einem fahrenden Fahrzeug (10) in einem Messbereich, wie z.B. an oder nahe der Kontaktstelle (11) von Reifen (12) zu Fahrbahn (20), erzeugten Veränderungen der Umgebungsparameter, wie Schall, Temperatur oder Vibration.
2. Achszählsystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens eine Messeinrichtung (1) oberhalb der Fahrbahn (20) und oberhalb der Höhe des Fahrzeuges (10) fixiert ist.

3. Achszählsystem nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens eine Messeinrichtung (1) als Laservisibrometer (1') ausgebildet ist.

4. Achszählsystem nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens eine Messeinrichtung (1) als Richtmikrofon (1''), insbesondere als Reihemikrofonensystem, ausgebildet ist.

5. Achszählsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Analyseeinheit (2) zur Analyse von Mess-Signalen vorgesehen ist.

6. Achszählsystem nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Analyseeinheit (2) eine Signalverstärkungseinrichtung (3) für eine Verstärkung der Mess-Signale, insbesondere um einen Faktor 100 bis 10.000, umfasst.

7. Achszählsystem nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Analyseeinheit (2) einen A/D-Konverter (4) mit einer Abtastrate von insbesondere 1 kHz bis 50 kHz, oder noch spezieller zwischen 6 kHz und 16 kHz, umfasst.

8. Achszählsystem nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der A/D-Konverter (4) eine Auflösung von 8 bis 24 bit, vorzugsweise von 12 bis 20 bit hat.

9. Achszählsystem nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Analyseeinheit (2) eine Recheneinheit (5) umfasst, die dem A/D-Konverter (4) nachgeordnet ist.

10. Achszählsystem nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** an die Recheneinheit (5) ein Speicher (6) und/oder eine Benutzerschnittstelle (7) angeschlossen ist.

11. Achszählsystem nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Recheneinheit (5) eine zeitliche Segmentiereinrichtung (51) zur Unterteilung diskreter Zeitsignale in zeitliche Signalblöcke, insbesondere von einer Blocklänge 10ms bis 1.500ms, umfasst.

12. Achszählsystem nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Recheneinheit (5) einen Spektralanalysator (52) zur Berechnung des Frequenzspektrums der Mess-Signale und/oder eine Energieberechnungseinheit (53) zur Berechnung der Signalenergie, insbesondere der Kurzzeit-Signalenergie, umfasst.

13. Achszählsystem nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Recheneinheit (5) einen Klassifikator (54) umfasst, der dem Spektralanalysator (52) und/oder der Energieberechnungseinheit (53) nachgeordnet ist, und der die aus den entsprechenden Berechnungsergebnissen des Spektralanalysators (52) und/oder der Energieberechnungseinheit (53) hervorgehenden Datenmuster klassifiziert. 5
10
14. Achszählsystem nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Klassifikator (54) in einem Lernmodus, insbesondere unter Anwendung von Lernalgorithmen wie z.B. dem Hebbischen Lernverfahren, der Backpropagation-Regel oder dem Forward-Backward-Algorithmus, zur Erzeugung mathematischer Modelle für bestimmte Fahrzeugklassen betreibbar ist. 15
15. Achszählsystem nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Klassifikator (54) in einem Erkennungsmodus zur Zuordnung eines aktuellen Mess-Signals zu einer Fahrzeugklasse betreibbar ist. 20
25
16. Achszählsystem nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Analyseeinheit (2) eine Kommunikationseinheit (8) nachgeordnet ist, der das Berechnungsergebnis des Klassifikators (54) übergeben wird. 30
35
40
45
50
55

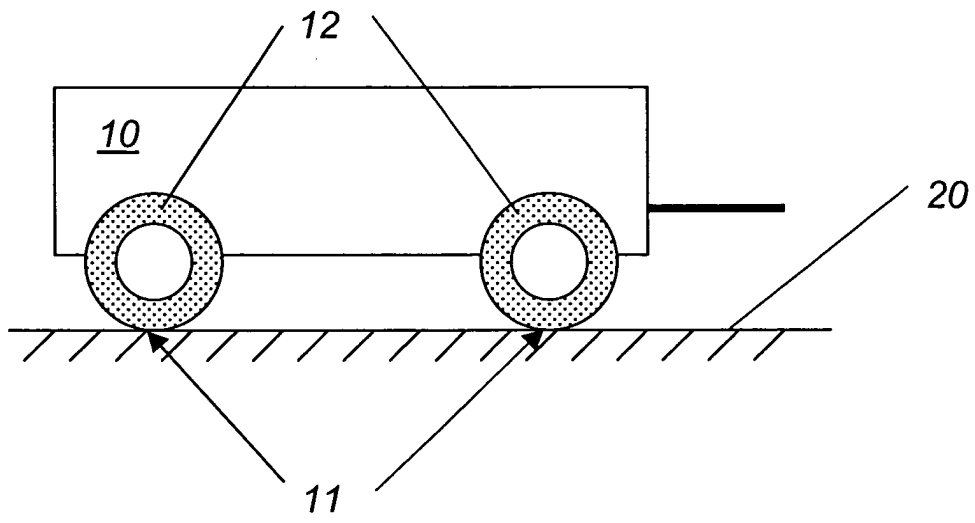


Fig. 1

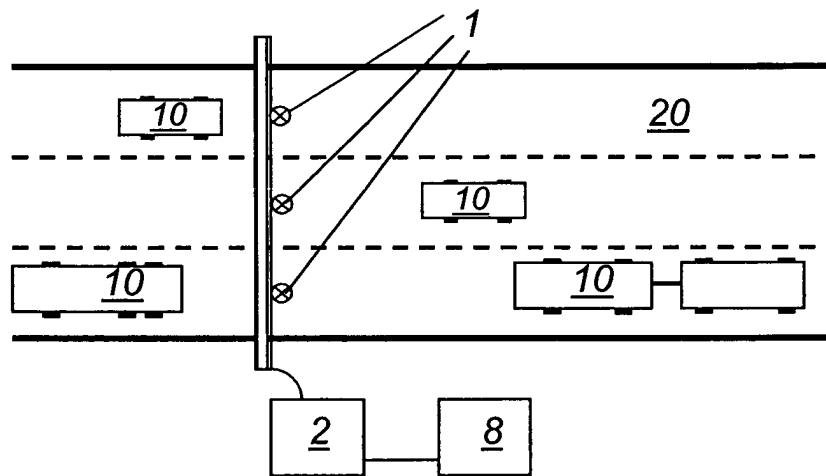


Fig. 2

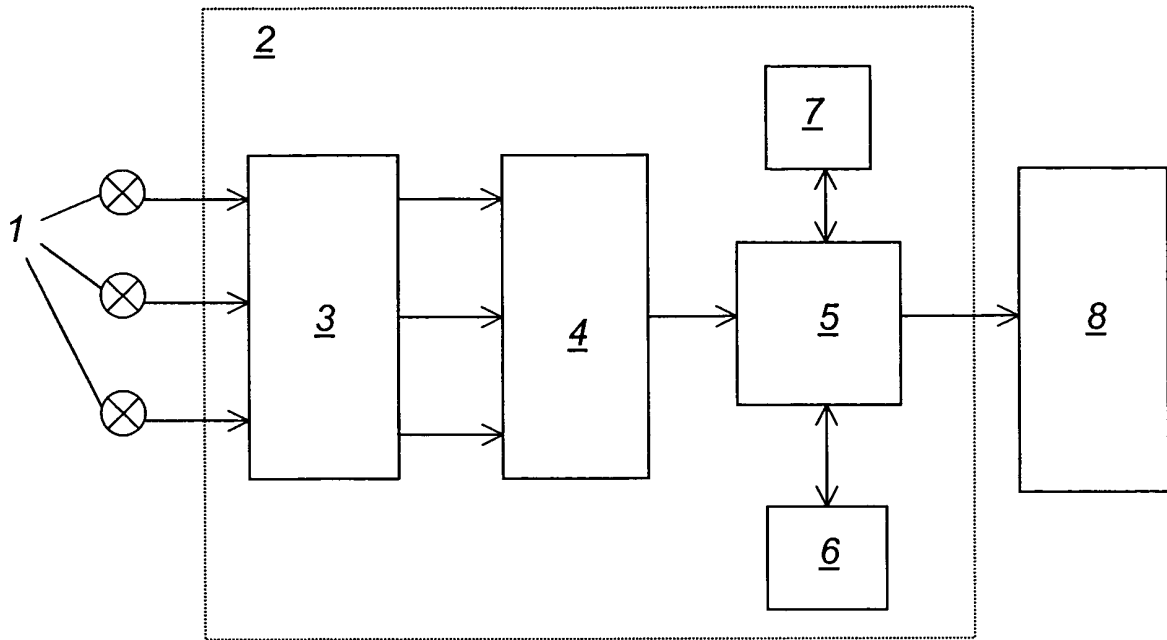


Fig. 3

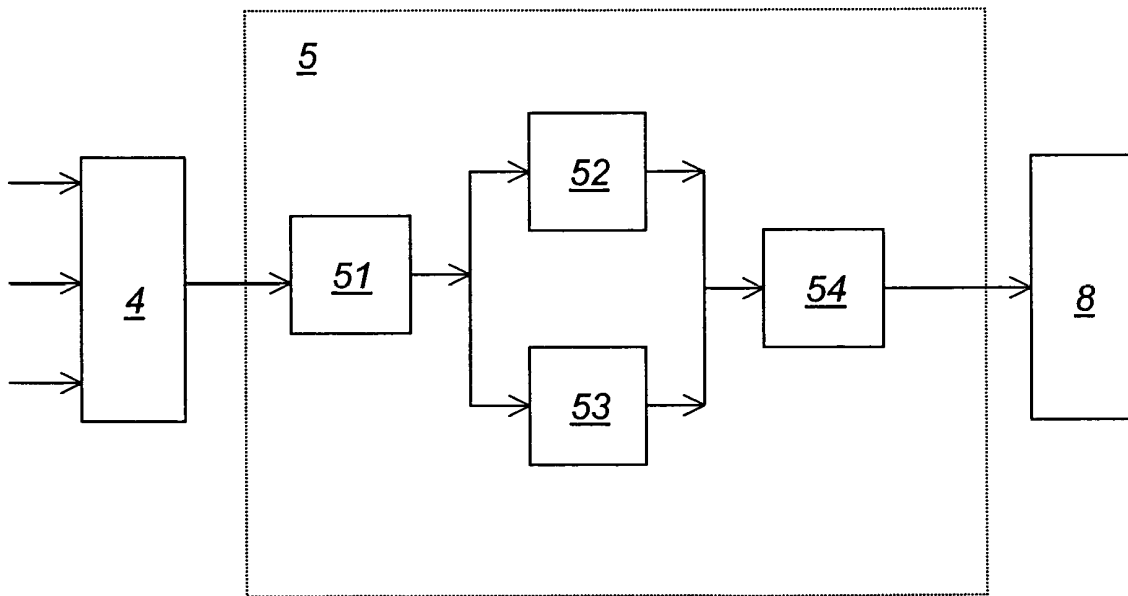


Fig. 4