



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 050 293 B3** 2006.05.24

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 050 293.5**

(22) Anmeldetag: **15.10.2004**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **24.05.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H04L 12/26** (2006.01)

H04L 12/40 (2006.01)

H04L 12/28 (2006.01)

G06F 19/00 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Bayerische Motoren Werke AG, 80809 München,
DE**

(72) Erfinder:

Baumgartner, Werner, 84034 Landshut, DE

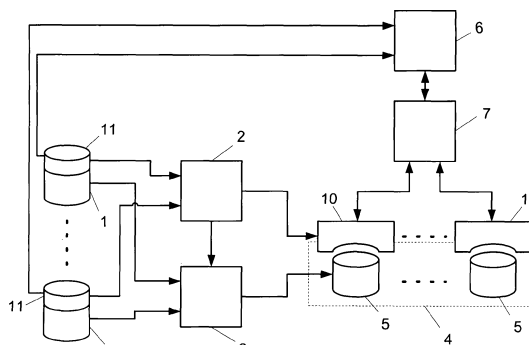
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 197 19 705 A1

**Dahmann, Judith S.: High Level Architecture for
Simulation, IEEE, 1997;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Simulation des Betriebs eines Netzwerks**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Simulation des Betriebs eines Netzwerks mit mehreren über einen Datenbus verbundenen Teilnehmern wird das funktionale Verhalten mindestens eines Teilnehmers durch mindestens ein funktionales Teilnehmerfunktionsmodell beschrieben, welches zu einem vorgebbaren Ausführungszeitpunkt durch eine Recheneinheit ausführbar ist, das zeitliche Verhalten des mindestens einen Teilnehmers wird durch eine Vielzahl konfigurierbarer Zeitparameter beschrieben, aus den Zeitparametern werden Ausführungszeitpunkte für die Teilnehmerfunktionsmodelle bestimmt, die Ausführungszeitpunkte werden jeweils einer Recheneinheit vorgegeben und die Teilnehmerfunktionsmodelle werden zu den vorgegebenen Ausführungszeitpunkten von der jeweiligen Recheneinheit ausgeführt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Patentanspruch 1.

Stand der Technik

[0002] Ein solches Verfahren ist aus der DE 197 19 705 A1 bekannt.

[0003] Entscheidend für den bestimmungsgemäßen Betrieb eines Netzwerks mit mehreren über einen Datenbus verbundenen Teilnehmern ist nicht nur die korrekte Funktion jedes einzelnen Teilnehmers im isolierten Betrieb, sondern auch das Zusammenwirken der Teilnehmer im vernetzten Betrieb. Durch Wechselwirkungen der Teilnehmer untereinander können im vernetzten Betrieb beispielsweise Verklemmungszustände und unerwünschte Synchronisationseffekte ausgelöst werden, deren Auftreten durch den isolierten Betrieb der einzelnen Teilnehmer nicht überprüfbar ist.

[0004] Die Anzahl möglicher Betriebszustände eines Netzwerks nimmt im Wesentlichen exponentiell mit der Anzahl der Teilnehmer zu. In modernen Kraftfahrzeugen sind beispielsweise mehrere Dutzend Steuergeräte durch einen oder mehrere Datenbusse miteinander verbunden und kommunizieren untereinander durch das Versenden von Nachrichten. Jedes dieser Steuergeräte kann für sich betrachtet eine Vielzahl von Betriebszuständen annehmen. Aufgrund der Vielzahl sich hieraus ergebender möglicher Betriebszustände ist eine Überprüfung des bestimmungsgemäßen Betriebs eines solchen Netzwerks mit konventionellen analytischen Methoden schwer durchführbar.

[0005] Da ein physikalischer Testbetrieb eines Netzwerks erst in einem Entwicklungsstadium durchführbar ist, in welchem zumindest Prototypen aller Teilnehmer zur Verfügung stehen, wird der Betrieb der einzelnen Teilnehmer und deren Zusammenwirken gemäß dem Stand der Technik bevorzugt vorab informationstechnisch simuliert.

[0006] Hierzu wird in der Regel für jeden Teilnehmer ein Teilnehmermodell erstellt, welches das funktionale und das zeitliche Verhalten des Teilnehmers möglichst exakt simuliert. Unter dem funktionalen Verhalten ist dabei die Gesamtheit der von dem Teilnehmer ausgeführten Funktionen zu verstehen. Funktionen sind dabei beispielsweise das Versenden/Empfangen einer Nachricht oder die Berechnung eines Wertes. Unter dem zeitlichen Verhalten des Teilnehmers ist die Gesamtheit der Ausführungszeiten der genannten Funktionen zu verstehen, z.B. Nachricht 1 wird alle 2 ms empfangen, Aufgabe 1 wird alle 4 ms bearbeitet, Nachricht 2 wird alle 4 ms versendet. Zudem ist die Zykluszeit, mit welcher das Betriebssystem

tem eines Teilnehmers arbeitet, als charakteristische Größe des zeitlichen Verhaltens des Teilnehmers anzusehen. Dieses zeitliche Verhalten kann, wie das Beispiel belegt, die zyklische Ausführung mehrerer Funktionen mit unterschiedlicher Zykluszeit umfassen. Zusätzlich kann die Ausführung von Funktionen bei vielen Teilnehmern durch nicht zwingend zyklisch auftretende Ereignisse ausgelöst werden.

[0007] Zum Zweck der Simulation werden die erstellten Teilnehmermodelle in von einer Recheneinheit ausführbare Programme umgesetzt und auf einer oder mehreren vernetzten Recheneinheiten ausgeführt. Während der Simulation oder im Anschluss an die Simulation kann anhand von aufgezeichneten und/oder ausgegebenen Simulationsdaten der simulierte Betrieb des Netzwerks und der Teilnehmer analysiert und ggf. eine Fehlersuche vorgenommen werden.

[0008] Für das Zusammenwirken einer Vielzahl von über einen Datenbus verbundenen Teilnehmern eines Netzwerks ist insbesondere deren zeitliches Verhalten entscheidend. Dementsprechend ist es im Entwicklungsprozess erforderlich, eine in der beschriebenen Art und Weise vorbereitete und durchgeführte Simulation mit verschiedenen Konfigurationen der Teilnehmermodelle, insbesondere des in den Teilnehmermodellen abgebildeten zeitlichen Verhaltens, durchzuführen.

[0009] Hierzu ist es erforderlich, jedes von den Änderungen betroffene Teilnehmermodell neu zu konfigurieren und neu in ein von einer Recheneinheit ausführbares Programm umzusetzen. Der große Nachteil eines Simulationsverfahrens gemäß dem Stand der Technik besteht somit darin, dass selbst geringe Änderungen des zeitlichen Verhaltens der Teilnehmer die Wiederholung wesentlicher Teile der Simulationenvorbereitungen, insbesondere die neuerliche Umsetzung des veränderten Teilnehmermodells in ein ausführbares Programm, bedingen.

[0010] Zudem müssen die Teilnehmermodelle dem Personenkreis, der mit der Vorbereitung und Durchführung der Simulationen befasst ist, in solcher Form zur Verfügung gestellt werden, dass eine Konfiguration des zeitlichen Verhaltens möglich ist. In der Regel muss hierzu Quellcode der Teilnehmermodelle weitergegeben werden, was beispielsweise in industriellen Kooperationen aus Sicht des weitergebenden Kooperationspartners nachteilig sein kann.

[0011] Zum besseren Verständnis weiterer Nachteile des Stands der Technik ist eine nähere Betrachtung der verschiedenen Formen typischerweise verwendeter Teilnehmermodelle notwendig.

[0012] Die erstellten Teilnehmermodelle können je nach Modellierungsgenauigkeit und Implementie-

rungsart sehr unterschiedlich beschaffen sein. Ein-/Ausgangsmodelle beschreiben lediglich die Inhalte und Zeitpunkte empfangener oder versendeter Nachrichten, Hardware-Modelle beschreiben zudem zumindest teilweise den gerätetechnischen Aufbau der Teilnehmer und erlauben so eine exaktere, aber auch rechenaufwändigere Simulation des funktionalen und zeitlichen Verhaltens der Teilnehmer. Hardware-Modelle stehen jedoch in der Regel erst in einem sehr späten Entwicklungsstadium zur Verfügung.

[0013] Des Weiteren unterscheiden sich Teilnehmermodelle typischerweise hinsichtlich der verwendeten Modellierungswerkzeuge und der in Folge dessen verwendbaren Simulationswerkzeuge. Die sich hieraus ergebende Heterogenität der Teilnehmermodelle, auf welche das Verhalten der Teilnehmer abgebildet wird, deren gemeinsamer Betrieb in einem Netzwerk simuliert werden soll, ist aus unterschiedlichen Gründen in der Praxis schwer vermeidbar. Zum einen werden unterschiedliche Teilnehmer eines Netzwerks häufig von unterschiedlichen Entwicklern bereitgestellt, welche nicht über dieselben Modellierungswerkzeuge verfügen bzw. nicht in der Anwendung derselben Werkzeuge geübt sind, z.B. Lieferung von Steuergeräten durch Zulieferbetriebe im Automobilbereich. Zum anderen lassen sich im Hinblick auf Entwicklungsaufwand und/oder Aussagekraft des erstellten Teilnehmermodells nicht alle Teilnehmer durch dieselben Modellierungs-/Simulationswerkzeuge optimal abbilden.

[0014] Aus dem Stand der Technik sind Verfahren zur verteilten Simulation heterogener Teilnehmermodelle bekannt. Beispielsweise gewinnt der IEEE Standard HLA (High Level Architecture) in Industrie und Forschung immer mehr an Bedeutung. Große Simulationsmodelle, die HLA-lauffähig sind, können software- und hardwareplattformunabhängig aufgebaut und verteilt ausgeführt werden. Eine solche Software-Architektur unterstützt Interoperabilität und Wiederverwertbarkeit von Komponenten bei der verteilten Simulation und stellt gleichzeitig Mechanismen zur Verwaltung des Ablaufs der Simulation vor. Insbesondere ist in dem Artikel Dahmann, Judith S.: "High Level Architecture for Simulation," *dis-rt*, pp. 9–14, 1st International Workshop on Distributed Interactive Simulation and Real-Time Applications (DIS-RT'97), 1997 ein Standard zur Bildung von Simulations-Modellen angegeben, bei welchem durch ein Zeitmanagement die Synchronisation einer Simulation unterstützt wird. HLA bietet jedoch keine Lösung für wesentliche Merkmale solcher verteilter Netzwerke, auf welche sich die vorliegende Erfindung bezieht. Beispielsweise unterstützt HLA nicht die zyklische Ausführung mehrerer Funktionen eines Teilnehmers mit unterschiedlicher Zykluszeit.

[0015] Zwar kann durch eine Ausführung des jewei-

ligen Teilnehmermodells mit einer Zykluszeit, welche das kleinste gemeinsame Vielfache der Zykluszeiten der von dem Teilnehmer auszuführenden Einzelfunktionen darstellt, und eine Zeitrasterfilterung das gewünschte funktionale und zeitliche Verhalten des Teilnehmers dargestellt werden. Jedoch geht dies einerseits mit unnötigem Rechenaufwand durch unnötige Abfragen des Zeitrasterfilters einher. Andererseits sind auch hier bei geringen Änderungen des zeitlichen Verhaltens der Teilnehmer wesentliche Teile der Simulationsvorbereitungen zu wiederholen, wodurch die simulative Analyse einer Vielzahl von Konfigurationen des zeitlichen Verhaltens wesentlich erschwert wird.

Aufgabenstellung

[0016] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur effizienten Simulation des Betriebs eines Netzwerks mit mehreren über einen Datenbus verbundenen Teilnehmern zu schaffen, bei welchem Änderungen des zeitlichen Verhaltens der Teilnehmer mit geringem Aufwand berücksichtigt werden können.

[0017] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren, in welchem das Verhalten der Teilnehmer aufgeteilt wird in separate Modelle für das funktionale Verhalten der Teilnehmer sowie für das zeitliche Verhalten der Teilnehmer und in welchem die funktionalen Modelle zu aus dem zeitlichen Verhalten der Teilnehmer abgeleiteten Ausführungszeitpunkten ausgeführt werden.

[0018] Im Einzelnen wird dabei das funktionale Verhalten mindestens eines Teilnehmers durch mindestens ein funktionales Teilnehmerfunktionsmodell beschrieben, welches zu einem vorgebbaren Ausführungszeitpunkt durch eine Recheneinheit ausführbar ist.

[0019] Das zeitliche Verhalten des mindestens einen Teilnehmers des Netzwerks wird durch eine Vielzahl konfigurierbarer Zeitparameter beschrieben. Die Gesamtheit dieser Zeitparameter kann als Modell des zeitlichen Verhaltens aller durch Teilnehmerfunktionsmodelle beschriebenen Teilnehmer des Netzwerks betrachtet werden. Aus den Zeitparametern werden Ausführungszeitpunkte für die Teilnehmerfunktionsmodelle bestimmt, diese werden jeweils einer ausführenden Recheneinheit vorgegeben, woraufhin die funktionalen Teilnehmerfunktionsmodelle zu den vorgegebenen Ausführungszeitpunkten von der jeweiligen Recheneinheit ausgeführt werden.

[0020] Die Besonderheit des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, dass das zeitliche Verhalten der Teilnehmer vom funktionalen Verhalten entkoppelt wird. Auf diese Weise ist es möglich, funktionale Teilnehmerfunktionsmodelle zu generieren, die von

Änderungen des zeitlichen Verhaltens nicht betroffen sind. Die Teilnehmerfunktionsmodelle können somit als ausführbare Programme zur Verfügung gestellt werden, welche bei einer Veränderung des zeitlichen Verhaltens lediglich zu unterschiedlichen Ausführungszeitpunkten aufgerufen werden. Die Teilnehmerfunktionsmodelle selbst müssen im Rahmen einer simulativen Analyse einer Vielzahl von Konfigurationen des zeitlichen Verhaltens hingegen nicht verändert werden.

[0021] Für die Durchführbarkeit eines erfindungsgemäßen Verfahrens müssen die Teilnehmerfunktionsmodelle lediglich so erstellt und als ausführbare Programme vorbereitet werden, dass diese zu vorgebbaren Ausführungszeitpunkten durch eine Recheneinheit ausführbar sind.

[0022] Die Festlegung der Ausführungszeitpunkte der Teilnehmerfunktionsmodelle ist gleichbedeutend mit der zeitlichen Planung der Simulation. Die zeitliche Planung erfolgt auf der Basis von Zeitparametern, welche den Teilnehmern des Netzwerks bzw. den von den Teilnehmern auszuführenden Funktionen zugeordnet sind. Die Ausführungszeitpunkte sind den Teilnehmerfunktionsmodellen zugeordnet. Im Rahmen einer simulativen Analyse einer Vielzahl von Konfigurationen des zeitlichen Verhaltens der Teilnehmer wird diese Planung nacheinander auf der Basis unterschiedlicher Sätze von Zeitparametern, welche die unterschiedlichen zu analysierenden Konfigurationen des zeitlichen Verhaltens beschreiben, ausgeführt. Ergebnis jedes dieser Planungsvorgänge ist eine Menge von Ausführungszeitpunkten.

[0023] Die zeitliche Steuerung der Simulation erfolgt durch die Vorgabe der Ausführungszeitpunkte an die jeweils ausführende Recheneinheit. Die Vorgabe eines Ausführungszeitpunkts kann erfolgen durch einen Aufruf an eine ausführende Recheneinheit zum jeweiligen Ausführungszeitpunkt oder durch die Übergabe eines oder mehrerer Ausführungszeitpunkte an eine Recheneinheit, welche das jeweilige Teilnehmerfunktionsmodell daraufhin selbsttätig zum entsprechenden Ausführungszeitpunkt ausführt. Die zeitliche Planung kann mit der zeitlichen Steuerung gekoppelt sein oder separat ablaufen. Planung und Steuerung können auf derselben oder unterschiedlichen Recheneinheiten ablaufen. Die zeitliche Planung und die zeitliche Steuerung der Simulation können durch eine oder mehrere ausschließlich zu diesem Zweck vorgesehene Recheneinheiten erfolgen oder durch eine oder mehrere Recheneinheiten, welche auch zur Ausführung von einem oder mehreren Teilnehmerfunktionsmodellen dienen.

[0024] Sowohl die zeitliche Planung als auch die zeitliche Steuerung kann schritthaltend im Verlauf der Simulation erfolgen, beispielsweise indem stets ein Zeitpunkt unmittelbar oder mit zeitlichem Abstand

nach der Beendigung der Ausführung des zuvor ausgeführten Teilnehmerfunktionsmodells als nächster Ausführungszeitpunkt gewählt und der jeweils ausführenden Recheneinheit vorgegeben wird. Ebenso kann die Wahl und/oder Vorgabe der Ausführungszeitpunkte für einen bestimmten Zeitraum oder die gesamte Simulation im Voraus erfolgen.

[0025] Bezüglich der Umsetzung des funktionalen Verhaltens der Teilnehmer in Teilnehmerfunktionsmodelle sind unterschiedliche Ansätze denkbar. Zum einen können unterschiedliche von einem Teilnehmer erfüllte Funktionen in verschiedene Teilnehmerfunktionsmodelle abgebildet werden, deren Ausführung jeweils durch eine Vorgabe des Ausführungszeitpunkts zeitlich gesteuert wird. Wenn jedes Teilnehmerfunktionsmodell nur eine einzige Funktion beschreibt, muss diese Vorgabe nicht näher hinsichtlich der auszuführenden Funktion spezifiziert werden. Zum anderen können verschiedene von einem Teilnehmer erfüllte Funktionen in ein einziges Teilnehmerfunktionsmodell abgebildet werden. Eine der zeitlichen Steuerung des Teilnehmerfunktionsmodells dienende Vorgabe eines Ausführungszeitpunkts muss dann neben dem eigentlichen Ausführungszeitpunkt die Information beinhalten, welche Funktion auszuführen ist.

[0026] Zyklisch geplante Ausführungszeitpunkte können den jeweils ausführenden Recheneinheiten in entsprechend vereinfachter Weise vorgegeben werden.

[0027] Die Ausführung wiederholt auszuführender Teilnehmerfunktionsmodelle kann stets durch dieselbe oder durch unterschiedliche Recheneinheiten erfolgen.

[0028] Eine prinzipiell zu einem erfindungsgemäßen Verfahren vergleichbare Vorgehensweise ist von Echtzeitbetriebssystemen bekannt. Der Einsatz von Echtzeitbetriebssystemen unterscheidet sich von einem erfindungsgemäßen Verfahren aber vor allem darin, dass Zeitparameter des zeitlichen Verhaltens der Teilnehmer beim Einsatz von Echtzeitbetriebssystemen zwingend exakt auf die Ausführungszeitpunkte der Teilnehmerfunktionsmodelle abgebildet werden. Eine Abweichung, insbesondere Verkürzung, des durch die Ausführungszeitpunkte bestimmten zeitlichen Ablaufs der Simulation vom durch die Zeitparameter bestimmten zeitlichen Ablauf des simulierten Betriebs ist somit nicht möglich. Die Simulation unter Einsatz von Echtzeitbetriebssystemen dauert somit wesentlich länger als zur Überprüfung der Funktion notwendig. Insbesondere wenn eine Vielzahl von Konfigurationen des zeitlichen Verhaltens der Teilnehmer simulativ analysiert werden soll, stellt dies einen großen Nachteil dar. Ein erfindungsgemäßes Verfahren hingegen eröffnet die Möglichkeit einer zeitlichen Abweichung zwischen Simulation

und simuliertem Betrieb. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der durch die Ausführungszeitpunkte bestimmte zeitliche Ablauf der Simulation demnach so geplant und gesteuert, dass er vom durch die Zeitparameter bestimmten zeitlichen Ablauf des simulierten Betriebs abweicht.

[0029] Insbesondere eine Verkürzung der Simulationsdauer gegenüber der Dauer des simulierten Betriebs erscheint hier praxisrelevant. Hierzu können zum einen Zeiträume des simulierten Betriebs, in welchen keiner der Teilnehmer eine Funktion ausführt, in der Simulation verkürzt oder schlichtweg übersprungen werden. Gegebenenfalls wird eine in der Simulation abgebildete Betriebszeit bei einer solchen Verkürzung oder Auslassung entsprechend aktualisiert. Die Anwendbarkeit dieser bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens setzt jedoch in der Regel voraus, dass das funktionale Verhalten aller Teilnehmer durch Teilnehmerfunktionsmodelle beschrieben wird und keine physikalischen Teilnehmer an die Simulationsumgebung angebunden sind.

[0030] Eine einfache Variante zur zeitlich verkürzten Planung des zeitlich Ablaufs der Simulation besteht darin, aus den Zeitparametern des zeitlichen Verhaltens der Teilnehmer zunächst lediglich eine Reihenfolge der Ausführung der Funktionen aller Teilnehmer zu ermitteln. Die Ermittlung dieser Reihenfolge kann für einen bestimmten Zeitraum im Voraus oder schritthaltend im Verlauf der Simulation, ggf. unter Berücksichtigung bereits erfolgter Simulationsschritte, erfolgen. Die Ermittlung der Reihenfolge kann besonders einfach ablaufen, wenn für die Ausführung aller Funktionen des Betriebs eine verschwindende Ausführungsdauer angenommen wird. In der Simulation werden die den jeweiligen Funktionen entsprechenden Teilnehmerfunktionsmodelle dann nacheinander gemäß dieser Reihenfolge ausgeführt. Die Wahl der Ausführungszeitpunkte der Teilnehmerfunktionsmodelle kann dann ebenfalls entweder schritthaltend im Verlauf der Simulation erfolgen, indem ein Zeitpunkt nach der Beendigung der Ausführung des zuvor ausgeführten Teilnehmerfunktionsmodells gewählt wird, oder die Wahl der Ausführungszeitpunkte erfolgt für einen bestimmten Zeitraum oder die gesamte Simulation im Voraus. In eine Festlegung im Voraus muss jedoch eine Abschätzung der voraussichtlichen Simulations-Ausführungsdauer der auszuführenden Teilnehmerfunktionsmodelle einfließen. Diese Abschätzung kann z.B. anhand einer WCET (Worst Case Execution Time), anhand von Erfahrungswerten oder Zufallszeiten erfolgen. Eine zeitoptimaler Ablauf der Simulation ergibt sich unter Annahme einer rein sequenziellen Abarbeitung dann, wenn alle Ausführungszeitpunkte direkt am Ende der Ausführungszeit des zuvor ausgeführten Teilnehmerfunktionsmodells gewählt werden.

[0031] Optional kann der durch die Ausführungszeitpunkte bestimmte zeitliche Ablauf der Simulation alternativ so geplant und gesteuert werden, dass er mit dem durch die Zeitparameter bestimmten zeitlichen Ablauf des simulierten Betriebs übereinstimmt. Diese spezielle Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere dann zu bevorzugen, wenn mindestens ein physikalischer Teilnehmer über einen Datenbus mit der Simulationsumgebung, insbesondere mit einer zur Ausführung eines Teilnehmerfunktionsmodells dienenden Recheneinheit, verbunden wird. Die zeitliche Steuerung des mindestens einen physikalischen Teilnehmers erfolgt dann im Gegensatz zur zeitlichen Steuerung der Ausführung der Teilnehmerfunktionsmodelle nicht durch das erfindungsgemäße Verfahren. Durch die Simulation in Echtzeit kann jedoch ein synchroner zeitlicher Ablauf im Sinne einer Hardware-in-the-Loop-Simulation erreicht werden. Optional kann in einem solchen Fall auch die zeitliche Steuerung von Teilnehmerfunktionsmodellen durch einen physikalischen Teilnehmer übernommen oder zumindest von dessen zeitlichem Verhalten abhängig gemacht werden.

[0032] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das funktionale und zeitliche Verhalten der Teilnehmer so modelliert, dass die auf einen Teilnehmer bezogenen Zeitparameter die Taktzykluszeit eines Betriebssystems des Teilnehmers und/oder die Nachrichtenzykluszeit einer oder mehrerer periodisch durch den Teilnehmer zu versendender oder zu empfangender Nachrichten und/oder die Aufgabenzykluszeit einer oder mehrerer durch den Teilnehmer zu erfüllenden Aufgaben umfassen.

[0033] Eine solche Beschreibungsform des zeitlichen Verhaltens der Teilnehmer ist hinsichtlich des in der Simulation entstehenden Berechnungsaufwands in der Regel als sehr effizient anzusehen und beinhaltet in der Regel einen ausreichenden Detaillierungsgrad zur zuverlässigen Analyse von Synchronisationseffekten. Durch die Berücksichtigung der Taktzykluszeit des Betriebssystems kann unter anderem die fälschliche Annahme einer kontinuierlichen Abarbeitung durch den jeweiligen Teilnehmer, welche zu Fehleinschätzungen bezüglich Synchronisationseffekten führen kann, vermieden werden. Durch die Berücksichtigung von Aufgaben- und/oder Nachrichtenzykluszeiten wird unnötiger Rechenaufwand für zum jeweiligen Ausführungszeitpunkt nicht auszuführende Funktionen eines Teilnehmers vermieden.

[0034] Die Teilnehmer des simulierten Netzwerks kommunizieren untereinander durch das Versenden von Nachrichten. In der Simulation müssen demnach ebenfalls Nachrichtendaten unter den Teilnehmerfunktionsmodellen und ggf. angebundenen physikalischen Teilnehmern ausgetauscht werden. Je nach Simulationsumgebung kann dieser Austausch unter-

schiedlich erfolgen. Werden Teilnehmerfunktionsmodelle auf unterschiedlichen Recheneinheiten ausgeführt, können sie ebenfalls durch das Versenden von Nachrichten miteinander kommunizieren. Teilnehmerfunktionsmodelle, welche auf eine gemeinsame Speichereinheit zugreifen können, beispielsweise auf derselben Recheneinheit ausgeführte Teilnehmerfunktionsmodelle, können Nachrichtendaten übergeben, indem sie diese in der gemeinsamen Speichereinheit ablegen bzw. auslesen. Über einen Datenbus angebundene physikalische Teilnehmer kommunizieren in jedem Fall durch das Empfangen und Versenden von Nachrichten.

[0035] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung besitzen die zwischen den Teilnehmerfunktionsmodellen und, sofern vorhanden, den physikalischen Teilnehmern ausgetauschten Nachrichtendaten ein von der Beschreibungsform der beteiligten Teilnehmerfunktionsmodelle unabhängiges generisches Nachrichtendatenformat. Auf diese Weise können heterogene Teilnehmerfunktionsmodelle und ggf. physikalische Teilnehmer in einfacher Weise in eine gemeinsame Simulationsumgebung eingebunden werden.

[0036] Im einfachsten Fall wird ein Teilnehmerfunktionsmodell so ausgeführt, dass zu übergebende Nachrichtendaten das generische Nachrichtendatenformat besitzen bzw. dass entgegenezunehmende Nachrichtendaten; welche das generische Nachrichtendatenformat besitzen, verarbeitet werden können. In dem Fall, dass das Nachrichtendatenformat zu übergebender Nachrichtendaten von dem generischen Nachrichtendatenformat abweicht, werden die Nachrichtendaten gemäß einer weiteren Weiterbildung der Erfindung durch ein Verfahren zur Datenanpassung in das generische Nachrichtendatenformat umgewandelt. Vorzugsweise wird ein solches Verfahren zur Datenanpassung direkt dem Teilnehmerfunktionsmodell zugeordnet und erfüllt somit die Rolle eines Adapters zur Anbindung des Teilnehmerfunktionsmodells an die Simulation. Physikalische Teilnehmern müssen in hierzu analoger Weise entweder zur Kommunikation in dem generischen Nachrichtendatenformat geeignet sein oder ihnen wird ein Verfahren zur Datenanpassung zugeordnet.

[0037] Ein erfindungsgemäßes Verfahren erlaubt eine sehr effiziente und aussagekräftige Simulation des Betriebs eines Netzwerks mit mehreren über einen Datenbus verbundenen Teilnehmern. Änderungen des zeitlichen Verhaltens der Teilnehmer können mit geringem Aufwand berücksichtigt werden. Ein ähnlich aussagekräftiges Simulationsergebnis könnte unter Umständen in einem Simulationsverfahren erzielt werden, das auf Hardware-Modellen der Teilnehmer basiert. In der Regel stehen Hardware-Modelle der Teilnehmer jedoch erst in einem sehr späten Entwicklungsstadium zur Verfügung. Eine Besonder-

heit eines erfindungsgemäßen Verfahrens besteht somit darin, dass aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden können auf der Basis von Teilnehmermodellen, insbesondere Teilnehmerfunktionsmodellen, welche keine Information zum gerätetechnischen Aufbau der Teilnehmer enthalten.

[0038] Die Simulationsumgebung zur Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens kann sehr einfach gehalten werden, indem die Ausführung aller Teilnehmerfunktionsmodelle durch eine einzige Recheneinheit erfolgt. Als Alternative ist die Ausführung der Teilnehmerfunktionsmodelle durch vernetzte Recheneinheiten denkbar und liegt ebenfalls im Bereich der Erfindung.

[0039] Besonders einfach kann die Simulationsumgebung zur Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens gehalten werden, wenn nicht nur die Ausführung aller Teilnehmerfunktionsmodelle durch eine einzige Recheneinheit erfolgt, sondern auch der zeitliche Ablauf der Simulation entsprechend den Ausführungszeitpunkten durch die Recheneinheit gesteuert wird, auf welcher die Teilnehmerfunktionsmodelle ausgeführt werden.

[0040] Die Verbindung der zu einem Netzwerk zusammengeschlossenen Teilnehmer kann entweder durch einen einzigen oder durch mehrere Datenbusse realisiert sein. Dabei sind serielle, parallele und redundante sowie funktions-/nachrichten- und teilnehmerspezifische Verbindungsvarianten denkbar.

[0041] Ein erfindungsgemäßes Verfahren eignet sich zudem zur gezielten oder zufallsbasierten Fehlerinjektion, sowohl bezogen auf die Teilnehmer selbst als auch auf die im Netzwerk enthaltenen Datenbusse.

[0042] Als Einsatzgebiet eines erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere die Simulation des Betriebs eines Netzwerks mit mehreren über einen oder mehrere Datenbusse verbundenen Steuergeräten eines Kraftfahrzeugs vorgesehen.

Ausführungsbeispiel

[0043] Anhand der beigefügten Zeichnungen wird die Erfindung im Folgenden näher erläutert. Dabei zeigen jeweils schematisch

[0044] [Fig. 1](#) den Signalfuss in einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Simulation des Betriebs eines Netzwerks mit mehreren über einen Datenbus verbundenen Teilnehmern und

[0045] [Fig. 2](#) ein einfaches Beispiel für die zeitliche Abbildung einer realen Kommunikations- und Verarbeitungssequenz auf die Simulation nach einem erfindungsgemäßen Verfahren.

[0046] Zur Analyse des Zusammenwirkens der Steuergeräte eines Kraftfahrzeugs wird deren vernetzter Betrieb informationstechnisch simuliert.

[0047] Im Entwicklungsprozess muss zunächst ein Modell **1** der Funktionen jedes Steuergeräts erstellt werden. Hierbei handelt es sich nicht zwingend um ein ausführbares Teilnehmerfunktionsmodell. Jedoch müssen sämtliche von dem Steuergerät ausführbaren Funktionen durch das Modell **1** beschrieben sein. Optional können für ein einziges Steuergerät mehrere solcher Modelle **1** erstellt werden, durch welche jeweils ein Teil der Funktionen des Steuergeräts beschrieben wird. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel beschreibt ein Modell **1** jeweils die Funktionen eines Steuergeräts.

[0048] Die erstellten Modelle **1** der Funktionen der Steuergeräte weisen in der Regel eine erhebliche Heterogenität auf. Gründe für diese Heterogenität können darin liegen, dass die Modelle **1** unterschiedlichen Fahrzeug-Domänen (Regelung/Steuerung oder Information/Kommunikation) entstammen und/oder dass für die modellierten Steuergeräte unterschiedliche Kommunikationsanbindungen zu berücksichtigen sind (z.B. CAN, MOST, FlexRay). Des Weiteren erfolgt die Abbildung der Steuergeräte auf die Modelle **1** unter Umständen auf unterschiedlichem Abstraktions- bzw. Detaillierungsgrad und/oder die Modelle **1** werden mit unterschiedlichen Modellierungstools hergestellt und/oder die Modelle **1** bestehen aus Binärcode und/oder Quellcode unterschiedlicher Programmiersprachen.

[0049] Je nach ihrer Beschaffenheit können die Modelle **1** für den an der Vorbereitung und Durchführung der Simulation beteiligten Personenkreis offengelegt sein (z.B. als Quellcode). Zur Wahrung der Geheimhaltung oder eines IP-Schutzes bezüglich bestimmter Modellinhalte können die Modelle **1** aber auch so gestaltet sein (z.B. als Binärcode), dass lediglich das Nachrichtendatenformat der auszutauschenden Nachrichtendaten preisgegeben ist. Somit eignet sich ein erfindungsgemäßes Verfahren besonders zur Anbindung von Modellen **1** unterschiedlicher Hersteller in Industriekooperationen, z.B. zur Anbindung der Modelle **1** von Zulieferern bei einem Kraftfahrzeughersteller in der Automobilindustrie.

[0050] Die Vorbereitung der im Entwicklungsprozess erstellten Modelle **1** der Funktionen der Steuergeräte für die gemeinsame Simulation (CoSimulation) in einer gemeinsamen Simulationsumgebung, im Folgenden auch CoSimulation-Plattform genannt, wird durch zwei Programme unterstützt, einen Modell-Builder **2** und einen Konfigurator **3**.

[0051] Als Datenbasis für den Modell-Builder **2** wird für jedes Modell **1**, beispielsweise über eine graphische Oberfläche, eine Beschreibungsdatei **11** er-

stellt, in der die für die CoSimulation relevanten Modellinformationen abgelegt werden. Insbesondere gehören zu den relevanten Modellinformationen die von dem jeweiligen Steuergerät zu erfüllenden Funktionen, das Nachrichtendatenformat zu sendender und/oder zu empfangender Nachrichtendaten, aber auch Grenzen und/oder Richtwerte für die zulässigen Zeitparameter bezüglich bestimmter Funktionen des Steuergeräts.

[0052] Aus dieser Beschreibungsdatei **11** und/oder dem Modell **1** der Funktionen des Steuergeräts wird durch den Modell-Builder **2** ein Modell-Adapter **10** generiert, der die direkte Anbindung des Modells **1** bzw. eines zugehörigen Teilnehmerfunktionsmodells **5**, dessen Erstellung an späterer Stelle beschrieben wird, an die CoSimulation-Plattform ermöglicht. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird vorausgesetzt, dass der Modell-Builder **2** den Modell-Adapter allein aus der Beschreibungsdatei **11** erstellt. Der Modell-Adapter **10** führt in an sich bekannter Weise ein Verfahren zur Datenanpassung von Nachrichtendaten an ein generisches Nachrichtendatenformat aus. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird für jedes Teilnehmerfunktionsmodell **5** genau ein Modell-Adapter **10** erzeugt.

[0053] Zudem werden vom Modell-Builder **2** für die Modelle **1** der Steuergeräte, sofern diese zunächst in anderer Form vorliegen, ausführbare Teilnehmerfunktionsmodelle **5** erstellt. Als Binärcode in ausführbarer Form vorliegende Modelle **1** der Steuergeräte können dabei ggf. direkt als Teilnehmerfunktionsmodelle **5** verwendet werden. Als Quellcode vorliegende oder nur mit Hilfe eines Modellierungs- oder Simulationsprogramms ausführbare Modelle **1** werden entweder (etwa durch Kompilieren) vom Modell-Builder **2** in ausführbare Teilnehmerfunktionsmodelle **5** überführt oder gemeinsam mit einer zusätzlichen zur Ausführung erforderlichen Software als Teilnehmerfunktionsmodell **5** bereitgestellt oder gemeinsam mit einer Verknüpfung zu einer zur Ausführung erforderlichen Software als Teilnehmerfunktionsmodell **5** bereitgestellt. Im hier geschilderten Ausführungsbeispiel wird davon ausgegangen, dass für jedes Steuergerät genau ein diesem Steuergerät zugeordnetes Teilnehmerfunktionsmodell **5** erstellt wird, welches die Simulation sämtlicher Funktionen des Steuergeräts erlaubt. Als Ergebnis des Modell-Builders **2** steht eine Vielzahl ausführbarer Teilnehmerfunktionsmodelle **5** und die jeweils zugehörigen Modell-Adapter **10**, welche deren Bindeglied zur Simulationsumgebung darstellen, zur Verfügung.

[0054] Vor der Durchführung der CoSimulation werden die vom Modell-Builder **2** bereitgestellten Teilnehmerfunktionsmodelle **5** durch den Konfigurator **3** in ein gemeinsames verteiltes Modell **4** zusammengeführt. Die den Teilnehmerfunktionsmodellen **5** zugeordneten Modell-Adapter **10** können ebenfalls in

das gemeinsame verteilte Modell **4** integriert werden oder separat bestehen bleiben. Zur Zusammenführung der Teilnehmerfunktionsmodelle **5** und ggf. Modell-Adapter **10** in das Modell **4** gehört unter anderem auch das so genannte Mapping von Nachrichten aus unterschiedlichen Teilnehmerfunktionsmodellen **5**. Durch dieses Mapping werden die in der Realität über einen oder mehrere Datenbusse ausgetauschten Nachrichtendaten in der Simulation korrekt zwischen Sender und Empfänger zugeordnet. Der Konfigurator **3** verwendet dabei die Informationen aus dem Modell-Builder **2** bzw. den Beschreibungsdateien **11**. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel empfängt der Konfigurator **3** die gesamte relevante Information direkt vom Modell-Builder **2**.

[0055] Alternativ zur beschriebenen Vorgehensweise ist auch eine eher parallele Arbeitsweise von Modell-Builder **2** und Konfigurator **3** oder deren Verknüpfung in einem gemeinsamen Programm denkbar. Im Konfigurator **3** kann auch eine Vorauswahl getroffen werden, welche Recheneinheiten zur Simulation ausführung genutzt werden sollen.

[0056] Die Durchführung der CoSimulation wird über einen zentralen Koordinator **6** gesteuert. Dieser Koordinator **6** besteht in einem ausführbaren Programm, welches Benutzereingaben erlaubt und über eine graphische Oberfläche verfügt. Über die graphische Oberfläche des Koordinators **6** können Simulationsexperimente gestartet und beendet, überwacht und parametrisiert werden. Insbesondere können über den Koordinator **6** Zeitparameter der simulierten Steuergeräte konfiguriert werden. Grenzen und/oder Richtwerte für die zulässigen Zeitparameter werden ggf. von der Beschreibungsdatei **11** an den Koordinator übergeben.

[0057] Die Darstellung in [Fig. 1](#) zeigt den effektiven Signalfloss vom Modell-Builder **2** und vom Konfigurator **3** zu den für die Simulation bereitgestellten Teilnehmerfunktionsmodellen **5** und den Modell-Adaptoren **10**. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die zum verteilten Modell **4** zusammengeführten Teilnehmerfunktionsmodelle **5** und ggf. die Modell-Adapter **10** über den Koordinator **6** in die Simulationsumgebung geladen. Alternativ zur Darstellung in [Fig. 2](#) ist demnach ein direkter Signalfloss zwischen Modell-Builder **2** und Koordinator **6** bzw. zwischen Konfigurator **3** und Koordinator **6** denkbar.

[0058] Das Laufzeitsystem zur Durchführung der CoSimulation besteht aus einer CoSimulation-Engine **7**, einem ausführbaren Programm, welches die gesamte Simulation synchronisiert und den Datenaustausch zwischen den im verteilten Modell **4** zusammengeführten Teilnehmerfunktionsmodellen **5** realisiert, und den mit Hilfe des Modell-Builders **2** und des Konfigurators **3** erstellten Teilnehmerfunktions-

modellen **5** und Modell-Adaptoren **10**.

[0059] Die CoSimulation-Engine **7** übernimmt die zeitliche Planung und Steuerung der Ausführung der Teilnehmerfunktionsmodelle **5** während eines Simulationsexperimentes. Sie ist so ausgelegt, dass Teilnehmerfunktionsmodelle **5** wahlweise im gleichen Prozessraum, in unterschiedlichen Prozessen auf dem gleichen Rechner oder auch auf unterschiedlichen Rechnern ausgeführt werden können. Die CoSimulation-Engine **7** berücksichtigt dies und stellt jeweils hochperformante Kommunikationsmechanismen zur Verfügung.

[0060] Die CoSimulation-Engine **7** empfängt Steuersignale und Parameter vom Koordinator **6**. Die empfangenen Parameter umfassen Zeitparameter der Steuergeräte, welche sich von einem Bediener über den Koordinator **6** konfigurieren lassen. Aus den über den Koordinator **6** konfigurierten Zeitparametern werden in der CoSimulation-Engine **7** Ausführungszeitpunkte für die Ausführung der Teilnehmerfunktionsmodelle **5** bestimmt. Zudem legt die CoSimulation-Engine **7** die ausführende Recheneinheit fest. Beim Austausch von Nachrichtendaten legt die CoSimulation-Engine **7** zudem den Kommunikationsmechanismus fest.

[0061] Die CoSimulation-Engine **7** erlaubt unterschiedliche Infrastrukturen zur Kommunikation. Es wird sowohl die Interprozesskommunikation auf einem Rechner, als auch die verteilte Kommunikation über Rechnergrenzen hinweg unterstützt. Bevorzugt wird die CoSimulation-Engine **7** so ausgeführt, dass der jeweilige Kommunikationsmechanismus dem mit der Vorbereitung und Durchführung der Simulation befassten Personenkreis verborgen bleibt.

[0062] Da die CoSimulation-Engine **7** eine Modelanbindung über Prozess-, CPU- und Rechnergrenzen hinweg erlaubt, ist der Ablauf der Simulation hochgradig parallelisierbar.

[0063] Die einheitliche Verarbeitung innerhalb der CoSimulation-Engine **7** ermöglicht es zudem, dass über ein einziges Schnittstellenformat unterschiedliche, hier nicht im Einzelnen dargestellte, Support-Tools angebunden werden können. Über diese Schnittstelle erfolgt die Kommunikation mit Testtools, mit Kalibrier- und Messtools und z.B. mit Werkzeugen zur Visualisierung. Die Support-Tools können separat ablaufen oder als Teil des Koordinators **6** ausgeführt sein.

[0064] Die Anbindung heterogener Teilnehmerfunktionsmodelle **5** wird durch das Angebot eines generischen Nachrichtendatenformates erreicht. Die durch die CoSimulation-Engine **7** gesteuerte Kommunikation zwischen sämtlichen Teilnehmerfunktionsmodellen **5** wird auf dieses Nachrichtendatenformat abge-

bildet. Sofern die Kommunikation der Teilnehmerfunktionsmodelle **5** nicht auf das generische Nachrichtendatenformat abgestimmt ist, erfolgt die Umsetzung der modellspezifischen Telegramme und Ereignisse auf das generische Format im jeweiligen Modell-Adapter **10**.

[0065] Bevorzugt wird die gesamte Kommunikation zwischen den Teilnehmerfunktionsmodellen **5** ungeachtet dessen, ob die Kommunikation der realen Steuergeräte über Nachrichten oder über Ereignisse erfolgt, auf eine gemeinsame zeitdiskrete Kommunikation auf Basis des generischen Nachrichtendatenformats abgebildet. Ereignisse werden dabei bevorzugt als zyklische Nachrichten abgebildet. Auf diese Weise kann beispielsweise analysiert werden, wie häufig ein Ereignis auftreten darf, ohne den bestimmungsgemäßen Betrieb der Teilnehmer des Netzwerks zu gefährden.

[0066] Damit Modelle **1** bzw. Teilnehmerfunktionsmodelle **5** eingebunden werden können, die häufiger Signale senden, als von den Simulationspartnern gefordert, ist im Modell-Adapter die Möglichkeiten zu einer Signal- bzw. Nachrichten-Filterung vorgesehen.

[0067] Die CoSimulation-Engine **7** ist zudem zur gezielten oder zufälligen Fehlerinjektion (Ausfallsituationen, Zeitverzögerungen) geeignet. Die Definition der Fehlerinjektion erfolgt über den Koordinator **6**.

[0068] Innerhalb der CoSimulation-Engine **7** wird eine eigene Simulations-Referenzzeit t_{sim} verwendet. Anhand eines Vergleichs der Zeit t_{sim} mit der zur Durchführung der Simulation benötigten Rechenzeit t_{cpu} ist erkennbar, ob das Simulationsexperiment schneller oder langsamer als in Echtzeit ausgeführt wird.

[0069] Fig. 2 zeigt an einem einfachen Beispiel die zeitliche Abbildung einer realen Kommunikations- und Verarbeitungssequenz auf die Simulation nach einem erfindungsgemäßen Verfahren.

[0070] Fig. 2a zeigt die im tatsächlichen Betrieb zu erwartenden Zeiträume für Kommunikation und Aufgabenbearbeitung über der realen Betriebszeit t_{real} aufgetragen. Dabei sendet ein Steuergerät A im zyklisch wiederkehrenden Zeitraum **1** eine erste Nachricht an ein Steuergerät B. Der Inhalt der zuletzt empfangenen solchen Nachricht wird vom Steuergerät B im zyklisch wiederkehrenden Zeitraum **2** bearbeitet. Das Ergebnis der letzten solchen Bearbeitung wird vom Steuergerät B im zyklisch wiederkehrenden Zeitraum **3** als eine zweite Nachricht an das Steuergerät A gesendet. Die Bearbeitung der ersten Nachricht und das Versenden der zweiten Nachricht durch das Steuergerät B erfolgt im Beispiel mit der doppelten Zykluszeit wie das Senden der ersten Nachricht durch das Steuergerät A.

[0071] Gemäß der hier beschriebenen bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird in der Simulation nur der Beginn jedes dieser Zeiträume verarbeitet. Fig. 2b zeigt den entsprechend reduzierten, der Simulation zur Verfügung stehenden Informationsgehalt über der Simulations-Referenzzeit t_{sim} aufgetragen. Die Bezugszeichen **1**, **2** und **3** kennzeichnen hier den Beginn des jeweiligen Zeitraums aus Fig. 2a.

[0072] Im Signalfuss gemäß Fig. 1 sind für jedes Steuergerät Zeitparameter, welche die Zeiträume für Kommunikation und Aufgabenbearbeitung des Steuergeräts gemäß Fig. 2a bzw. deren Beginn gemäß Fig. 2b beschreiben, in der Beschreibungsdatei **11** enthalten. Auf der Basis dieser Zeitparameter, welche über den Koordinator **6** an die CoSimulation-Engine **7** weitergegeben werden, plant und steuert die CoSimulation-Engine **7** die Ausführungszeitpunkte der jeweiligen Teilnehmerfunktionsmodelle **5**.

[0073] Fig. 2c zeigt aufgetragen über der Rechenzeit t_{cpu} die aus den von der CoSimulation-Engine **7** festgelegten Ausführungszeitpunkten resultierenden Berechnungszeiträume für die einzelnen Simulationsschritte. Der Berechnungszeitraum für jeden einzelnen Simulationsschritt ist gleichbedeutend mit dem Ausführungszeitraum des jeweiligen Teilnehmerfunktionsmodells. Die Bezugszeichen **1**, **2** und **3** kennzeichnen den Berechnungszeitraum, in welchem die Simulation des im jeweiligen Zeitraum aus Fig. 2a stattfindenden Kommunikations- oder Aufgabenbearbeitungsschrittes durchgeführt wird. Die Berechnungszeiträume aus Fig. 2c sind im vorliegenden Beispiel jeweils kürzer als die tatsächlichen Zeiträume aus Fig. 2a. Zudem plant die CoSimulation-Engine **7** die Ausführungszeitpunkte der jeweiligen Teilnehmerfunktionsmodelle **5** so, dass die Bearbeitungszeiträume aufeinanderfolgender Simulationsschritte direkt aneinander angrenzen. Zeiträume aus Fig. 2a, in welchen keines der Steuergeräte eine Funktion ausführt, werden in der Simulation also gewissermaßen übersprungen. Der zeitliche Ablauf der Simulation gemäß Fig. 2c weicht daher vom zeitlichen Ablauf des simulierten Betriebs gemäß Fig. 2a ab. Die Simulation läuft deutlich schneller ab als in Echtzeit.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Simulation des Betriebs eines Netzwerks mit mehreren über einen einzigen oder mehrere Datenbusse verbundenen Teilnehmern, wobei das funktionale Verhalten mindestens eines Teilnehmers durch mindestens ein funktionales Teilnehmerfunktionsmodell beschrieben wird, welches zu einem vorgebbaren Ausführungszeitpunkt durch eine Recheneinheit ausführbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zeitliche Verhalten des mindestens einen Teilnehmers durch eine Vielzahl konfigu-

rierbarer Zeitparameter beschrieben wird, dass aus den Zeitparametern Ausführungszeitpunkte für die Teilnehmerfunktionsmodelle bestimmt werden, dass die Ausführungszeitpunkte jeweils einer Recheneinheit vorgegeben werden und dass die Teilnehmerfunktionsmodelle zu den vorgegebenen Ausführungszeitpunkten von der jeweiligen Recheneinheit ausgeführt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass unterschiedliche Aufgaben eines einzigen Teilnehmers durch unterschiedliche Teilnehmerfunktionsmodelle beschrieben werden.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das funktionale Verhalten aller Teilnehmer durch Teilnehmerfunktionsmodelle beschrieben wird und dass die Ausführungszeitpunkte so bestimmt und vorgegeben werden, dass der zeitliche Ablauf der Simulation vom durch die Zeitparameter bestimmten zeitlichen Ablauf des simulierten Betriebs abweicht.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein physikalischer Teilnehmer über einen Datenbus mit einer zur Ausführung eines Teilnehmerfunktionsmodells dienenden Recheneinheit verbunden wird und dass die Ausführungszeitpunkte so bestimmt und vorgegeben werden, dass der zeitliche Ablauf der Simulation mit dem durch die Zeitparameter bestimmten zeitlichen Ablauf des simulierten Betriebs übereinstimmt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die auf einen Teilnehmer bezogenen Zeitparameter die Taktzykluszeit eines Betriebssystems des Teilnehmers und/oder die Nachrichtenzykluszeit einer periodisch durch den Teilnehmer zu versendenden oder zu empfangenden Nachricht und/oder die Aufgabenzykluszeit einer durch den Teilnehmer zu erfüllenden Aufgabe umfassen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilnehmerfunktionsmodelle und/oder die physikalischen Teilnehmer untereinander durch das Übergeben von Nachrichtendaten kommunizieren, welche ein von der Beschreibungsform der beteiligten Teilnehmerfunktionsmodelle unabhängiges generisches Nachrichtendatenformat besitzen.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Teilnehmerfunktionsmodellen und/oder den physikalischen Teilnehmern zu übergebende Nachrichtendaten, deren Nachrichtendatenformat von dem generischen Nachrichtendatenformat abweicht, durch ein dem Teilnehmerfunktionsmodell und/oder dem physikalischen Teil-

nehmer zugeordnetes Verfahren zur Datenanpassung in das generische Nachrichtendatenformat umgewandelt werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausführung aller Teilnehmerfunktionsmodelle durch eine einzige Recheneinheit erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zeitliche Ablauf der Simulation entsprechend den Ausführungszeitpunkten durch die Recheneinheit gesteuert wird, auf welcher die Teilnehmerfunktionsmodelle ausgeführt werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilnehmerfunktionsmodelle keine Information zum gerätetechnischen Aufbau der Teilnehmer enthalten und/oder dass die Teilnehmer durch mehrere Datenbusse verbunden sind und/oder dass es sich bei den Teilnehmern um Steuergeräte eines Kraftfahrzeugs handelt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

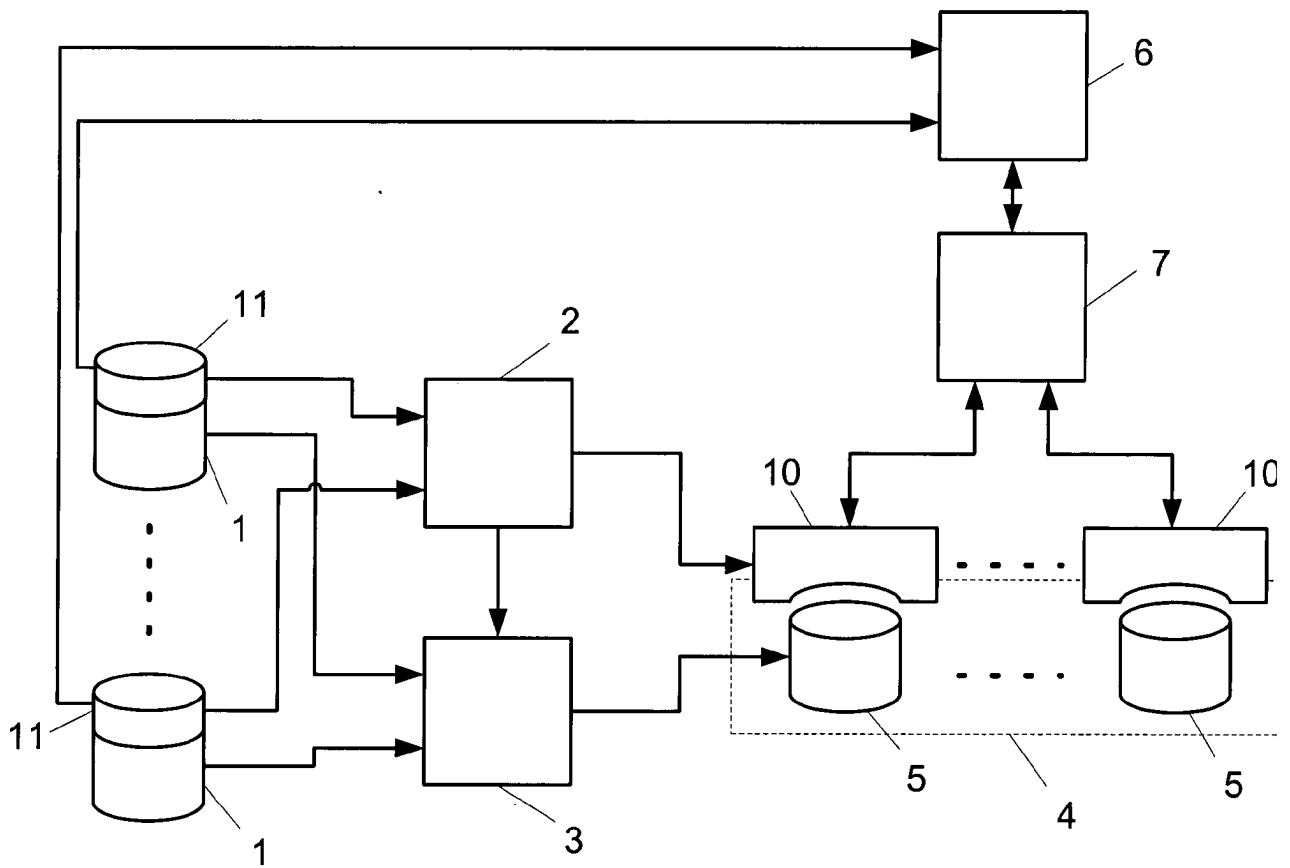


Fig. 1



Fig. 2a

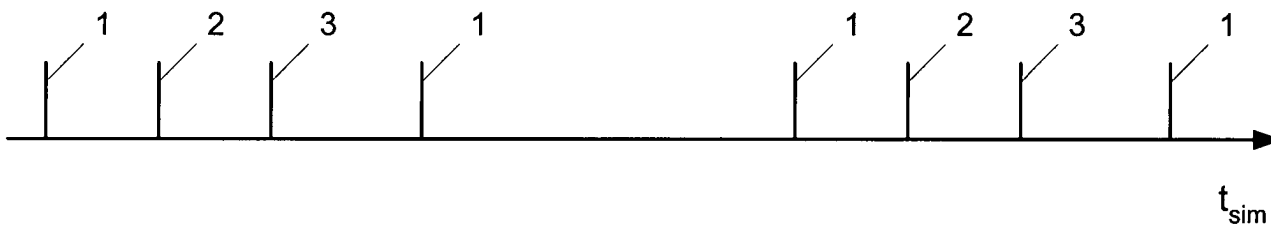


Fig. 2b

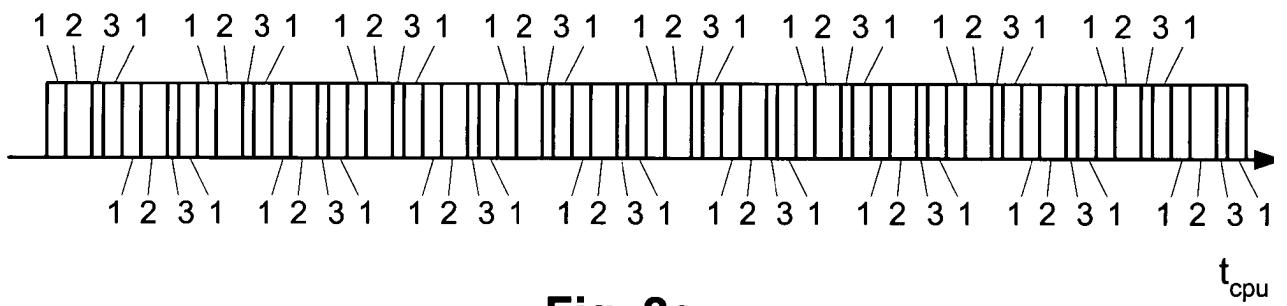


Fig. 2c