

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1503/2007
(22) Anmeldetag: 24.09.2007
(45) Veröffentlicht am: 15.01.2010

(51) Int. Cl.⁸: **H04J 3/06** (2006.01)
H04L 7/00 (2006.01)
G04G 7/00 (2006.01)
G06F 1/14 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 0394051A2
US 2004/141526A1 GB 2404121A

(73) Patentinhaber:
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
A-1040 WIEN (AT)

(72) Erfinder:
ARMENGAUD ERIC DIPL.ING.
GRAZ (AT)
STEININGER ANDREAS DIPL.ING.
DR. TECHN.
WIEN (AT)

(54) VERFAHREN ZUM BESTIMMEN DES PHYSIKALISCHEN TAKTES EINES NETZWERKKNOTENS

(57) Verfahren zum Bestimmen des physikalischen Taktes (3) eines ausgewählten Knotens (N) in einem Netzwerk, welcher aus seinem physikalischen Takt (3) ein Taktraster (4) ableitet, auf Grundlage dessen er Datenframes (5) in Sendezyklen (6) an andere Knoten (N) des Netzwerkes sendet, bei welchem jeder Knoten (N) bei einer Abweichung seines Taktrasters (4) von einer aus den Sendezyklen (6) mehrerer Knoten gebildeten Vorgabe (ΔCT_{av}) sein Taktraster der Vorgabe bis auf einen Restfehler (E) nachführt, um welchen er seine Sendezyklen (6) zusätzlich periodisch mittels eines Offsets (OC) korrigiert, mit den Schritten:
Anschließen zumindest eines Test-Knotens (N_T) an das Netzwerk (1), dessen Sendezyklen (6) in ihren Zykluszeiten (CT) vorgebbar sind,
Verändern der Zykluszeiten (CT) des Test-Knotens (N_T) über einen vorgegebenen Bereich,
Messen des Restfehlers (E) des ausgewählten Knotens (N) im genannten Bereich, und
Bestimmen des genannten physikalischen Taktes (3) aus jener Zykluszeit (CT) des Test-Knotens (N_T), in deren Umgebung der Restfehler (E) des ausgewählten Knotens (N) das Vorzeichen wechselt.

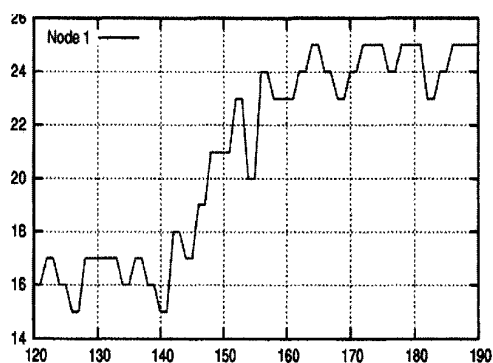


Fig. 6b

$d(OC)/dt$ [mT]

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen des physikalischen Taktes eines ausgewählten Knotens in einem Netzwerk, welcher aus seinem physikalischen Takt ein Taktraster ableitet, auf Grundlage dessen er Datenframes in Sendezyklen an andere Knoten des Netzwerkes sendet, wobei jeder Knoten bei einer Abweichung seines Taktrasters von einer aus den Sendezyklen mehrerer Knoten gebildeten Vorgabe sein Taktraster der Vorgabe bis auf einen Restfehler nachführt, um welchen er seine Sendezyklen zusätzlich periodisch mittels eines Offsets korrigiert.

[0002] Netzwerke dieser Art werden auch als Multimaster-TDMA-Systeme bezeichnet, bei welchen mehrere Knoten („master“) durch gegenseitige Beobachtung ihres Sendeverhaltens ihre Taktraster aufeinander abstimmen, um ohne zentrale Taktvorgabe einen kollisionsfreien Zeitmultiplex-Sendebetrieb (time division multiple access, TDMA) zu ermöglichen. Ein Beispiel eines Multimaster-TDMA-Systems ist das Flexray-Protokoll, spezifiziert in „Flexray Communications Systems - Protocol Specification Version 2.1“, Flexray Consortium, 2005, verfügbar unter <http://www.flexray.com>. Das Flexray-Protokoll wurde für zeitkritische und ausfallsichere Echtzeitkommunikationen entwickelt, wie sie zunehmend in der Automobilindustrie (Stichwort „steer-by-wire“, „brake-by-wire“) Anwendung finden.

[0003] Bei Multimaster-TDMA-Netzwerkarchitekturen ist die Qualität der Zeitsynchronisation direkt von den in den einzelnen Knoten verwendeten physikalischen Taktgebern, z.B. Oszillatoren mit Schwingquarzen, abhängig. Oszillatoren, insbesondere Schwingquarze, unterliegen einer Alterung, welche zu Frequenzdrift und Güteabfall führen können. Es ist daher wichtig, den physikalischen Takt eines Knotens in einem solchen Netzwerk für Diagnosezwecke messen zu können, beispielsweise um betriebsgefährdende Abweichungen von der Spezifikation feststellen und einen übermäßig abdriftenden Taktgeber austauschen zu können, bevor ein Totalausfall eintritt.

[0004] Die Messung des physikalischen Taktes eines Knotens in einem Multimaster-TDMA-Netzwerk ist in der Praxis jedoch äußerst schwierig. Knoten können geographisch weit verteilt, unzugänglich verbaut oder hochintegriert („embedded“) sein, sodass der physikalische Taktgeber schwer oder überhaupt nicht mehr zugänglich ist, geschweige denn im laufenden Betrieb.

[0005] Die Erfindung setzt sich zum Ziel, ein Verfahren zum Bestimmen des physikalischen Taktes eines Knotens in einem Netzwerk der geschilderten Art zu schaffen, welches keinen direkten Zugang zu dem physikalischen Taktgeber des Knotens erfordert und im laufenden Betrieb ausführbar ist, ohne die Funktionsfähigkeit des Netzwerks im Betrieb zu gefährden.

[0006] Dieses Ziel wird mit einem Verfahren der einleitend genannten Art erreicht, das sich gemäß der Erfindung durch die folgenden Schritte auszeichnet:

[0007] Anschließen zumindest eines Test-Knotens an das Netzwerk, dessen Sendezyklen in ihren Zykluszeiten vorgebar sind,

[0008] - Verändern der Zykluszeiten des Test-Knotens über einen vorgegebenen Bereich,

[0009] - Messen des Restfehlers des ausgewählten Knotens im genannten Bereich, und

[0010] - Bestimmen des genannten physikalischen Taktes aus jener Zykluszeit des Test-Knotens, in deren Umgebung der Restfehler des ausgewählten Knotens das Vorzeichen wechselt.

[0011] Auf diese Weise wird erstmals eine Fernmessung des physikalischen Taktes eines Knotens in einem Multimaster-TDMA-System möglich. Das Verfahren der Erfindung erfordert keinen Eingriff in den Knoten, sondern lediglich einen Zugriff auf das Kommunikationssystem des Netzwerks, d.h. ist in keiner Weise intrusiv (weder physisch noch aus Datensicht, denn der Dateninhalt der von den Test-Knoten eingespeisten Datenframes ist für die anderen Knoten unbeachtlich, nur ihr Timing ist relevant) und kann sogar im laufenden Betrieb ohne Betriebsstörung durchgeführt werden.

[0012] Die Erfindung beruht dabei insbesondere auf der erstmaligen Erkenntnis, dass der - als Dämpfungsfaktor für die Vorgabenbildung dienende - Restfehler in der Taktrasternachführung im Bereich der Synchronisation mit dem physikalischen Takt eines Knotens eine Nichtlinearität im Nulldurchgang besitzt, welche durch Einspeisen einer veränderlichen Taktrastervorgabe in das Netzwerk und Auswerten des zeitlichen Verlaufs des an einem Knoten verbleibenden Restfehlers messbar ist und damit einen Rückschluss auf den physikalischen Takt erlaubt.

[0013] Der Restfehler kann in einer ersten bevorzugten Ausführungsform aus einem Vergleich der vom Test-Knoten vorgegebenen Zykluszeit mit der beobachteten Sendezykluszeit des ausgewählten Knotens gemessen werden, was sich besonders dann empfiehlt, wenn das Multimaster-TDMA-Protokoll in jedem Sendezyklus eine Offsetkorrektur vorsieht.

[0014] Gemäß einer alternativen besonders vorteilhaften Ausführungsform wird der Restfehler als der vom ausgewählten Knoten periodisch angewandte Offset gemessen. Dies erübrigt eine Auswertung des eigenen Taktrasters des Test-Knotens und eignet sich insbesondere für Multimaster-TDMA-Protokolle wie das Flexray-Protokoll, bei welchen die Offsetkorrektur nur sporadisch, z.B. in jedem zweiten, dritten usw. Sendezyklus, erfolgt.

[0015] Bei Verfahren, bei welchen jeder zweite Sendezyklus offsetkorrigiert wird, ergibt sich damit die Möglichkeit einer besonders vorteilhaften, weil besonders einfachen Auswertung, indem der Offset aus der Differenz der Zykluszeiten zweier aufeinanderfolgender Sendezyklen bestimmt wird.

[0016] Gemäß einer weiteren bevorzugten Variante der Erfindung wird das Verändern der Zykluszeiten stufenförmig durchgeführt und der physikalische Takt aus jener Stufe bestimmt, bei welcher - ohne Berücksichtigung der Einschwingphasen zu Stufenbeginn - das Vorzeichen des Restfehlers wechselt. Dies ermöglicht eine besonders genaue Auswertung.

[0017] Gemäß einer alternativen bevorzugten Variante, welche auf der Auswertung des vom Knoten angewandten Offsets als Maß für den Restfehler beruht, wird das Verändern der Zykluszeiten linear stetig durchgeführt und der physikalische Takt aus jener Zykluszeit bestimmt, bei welcher sich das Vorzeichen des - um eine Konstante reduzierten - Offsets ändert. Diese Verfahrensvariante ermöglicht eine besonders schnelle Ausführung.

[0018] Es versteht sich, dass für den Fachmann die Detektion einer Vorzeichenänderung nach Abzug einer Konstanten gleichwertig bzw. äquivalent zu der Detektion eines sprunghaften Anstieges bzw. Abfalls ist, welche offensichtlichen Äquivalente von der hier verwendeten Definition einer „Vorzeichenwechseldetektion unter Konstantenabzug“ mitumfasst sind.

[0019] Die Vorgabe kann auf jede dem Fachmann bekannte Art und Weise gebildet werden. Bevorzugt wird sie als fehlertoleranter Mittelwert oder Mittenpunkt (sog. „fault tolerant midpoint“) ermittelt, wie es beispielsweise beim Flexray-Protokoll der Fall ist.

[0020] Gemäß einem weiteren bevorzugten Merkmal der Erfindung ist es besonders günstig, wenn gleich mehrere Test-Knoten an das Netzwerk angeschlossen werden, deren Zykluszeiten gemeinsam verändert werden. Bei mittelwertbildenden Multimaster-TDMA-Systemen beschleunigt dies die Geschwindigkeit, mit welcher die mittelwertbasierende Vorgabe verändert werden kann; bei fehlertoleranten Systemen wie dem Flexray-Protokoll können überdies die weiteren Test-Knoten die in der Vorgabenbildung auszublendenden Außenseiterposition besetzen und damit eine konsistente Vorgabenveränderung gewährleisten.

[0021] Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich besonders für ein Multimaster-TDMA-System nach dem Flexray-Standard und bevorzugt ist der physikalische Takt, der gemessen wird, die Eigenfrequenz eines Schwingquarzes.

[0022] Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigt

[0023] Fig. 1 die an dem Verfahren der Erfindung beteiligten Komponenten eines Netzwerkes in Blockschaltbildform;

- [0024]** Fig. 2 ein Zeitablaufdiagramm der Takthierarchie des Netzwerks;
- [0025]** Fig. 3 ein Diagramm des Restfehlers (Dämpfungsfaktors) bei der Taktrasternachführung (Ratenkorrektur) in einem Knoten;
- [0026]** Fig. 4 ein Zeitablaufdiagramm der Raten- und Offsetkorrektur in einem Knoten nach dem Flexray-Standard;
- [0027]** Fig. 5 beispielhafte Messwerte einer ersten Ausführungsform des Verfahrens mit stufenförmiger Veränderung der Zykluszeiten der Test-Knoten; und
- [0028]** Fig. 6 beispielhafte Messwerte einer zweiten Ausführungsform des Verfahrens mit linear stetiger Veränderung der Zykluszeiten der Test-Knoten.
- [0029]** In Fig. 1 ist ein Netzwerk 1 mit einem Zeitmultiplexbus 2 (time division multiple access, TDMA) gezeigt, an welchen vier beispielhafte Knoten N_0 , N_1 , N_2 und N_3 und zwei beispielhafte Test-Knoten N_{T0} , N_{T1} angeschlossen sind. Es versteht sich, dass der Bus 2 auch von verzweigter Architektur sein kann, z.B. stern- oder ringförmig, und dass beliebig viele Knoten bzw. Test-Knoten N vorhanden sein können.
- [0030]** Im vorliegenden Beispiel ist das Netzwerk 1 ein Multimaster-TDMA-Netzwerk nach dem Flexray-Standard, für dessen Details auf die einleitend genannte Flexray-Spezifikation verwiesen wird. Im weiteren werden daher nur die für das Verfahren der Erfindung relevanten Teile des Flexray-Protokolls kurz erläutert.
- [0031]** Fig. 2 zeigt die Zeithierarchie eines der Knoten N des Netzwerkes von Fig. 1. Jeder Knoten N verfügt über einen „physikalischen“ Takt 3, der von einem physikalischen Taktgeber des Knotens bestimmt wird, beispielsweise einem Schwingquarz. Die einzelnen Takte des physikalischen Taktes 3 werden als „Microticks“ mT bezeichnet. Microticks mT können direkt den Takten bzw. Schwingungen des physikalischen Taktgebers entsprechen oder festen Anteilen oder Vielfachen davon.
- [0032]** Aus dem physikalischen Takt 3 bildet jeder Knoten N einen „logischen“ Takt in Form eines Taktrasters 4, das sich aus sog. „Macroticks“ MT zusammensetzt. Die Granularität der Microticks mT ist feiner als jene der Macroticks MT ; in der Regel umfaßt 1 MT etwa 40 bis 240 mT .
- [0033]** Gemäß dem Taktraster 4 sendet jeder Knoten N in durch die Macroticks MT definierten Zeitfenstern Datenframes 5 in Sendezyklen 6 mit einer jeweiligen Zykluszeit CT über den Bus 2 an andere Knoten des Netzwerks 1. In der Regel beträgt 1 CT etwa 200 bis 16000 MT . Auf diese Weise wird der Zeitmultiplexbetrieb (TDMA) auf dem Bus 2 realisiert.
- [0034]** Das Taktraster 4 ist in seinem Takt gegenüber dem physikalischen Takt 3 veränderbar, indem die Anzahl von Microticks mT , welche einen Macrotick MT bilden, eingestellt wird. Dadurch kann das Taktraster 4 eines Knotens N an die Taktraster 4 der anderen Knoten angepaßt werden, wie später noch ausführlicher erörtert wird. Das Anpassen des Taktrasters 4 durch Einstellen der Anzahl von Microticks mT wird auch als Ratenkorrektur („rate correction“) RC bezeichnet. Die Ratenkorrektur RC kann in jedem Macrotick MT vorgenommen werden, oder es wird jeder n -te Macrotick MT um die n -fache Anpassungsdifferenz von Microticks mT verlängert oder verkürzt, beispielsweise jeder zehnte Macrotick MT .
- [0035]** Es ist ersichtlich, dass die Taktraster 4 aller Knoten N des Netzwerks mit hinreichender Präzision synchronisiert sein müssen, damit keine Kollisionen von Datenframes 5 auf dem Bus 2 auftreten. Zu diesem Zweck synchronisieren sich in einem Multimaster-TDMA-System die Knoten 1 gegenseitig wie folgt.
- [0036]** Jeder Knoten N misst die Zykluszeiten CT der Sendezyklen 6 der anderen Knoten und vergleicht sie mit seiner eigenen Zykluszeit CT , bevorzugt noch ohne die unten genannte Offsetkorrektur, d.h. mit seinem Taktraster 4. Dadurch ergibt sich eine Liste von Abweichungen ΔCT , z.B. in Microticks mT ; beispielsweise für den Knoten N_1 gegenüber allen Knoten N_0 , N_1 , N_2 , N_3 , N_{T0} und N_{T1} des Netzwerks 1 als sortierte Liste zu:

{15, 11, 6, 0, -3, -5}.

[0037] In der Praxis kann jeder Knoten N die Abweichungen ΔCT gleich direkt aus der Differenz zwischen dem - nach seinem Taktraster 4 - erwarteten und dem tatsächlichen Empfangszeitpunkt (bzw. Sendezeitpunkt, wenn auch die Signallaufzeit berücksichtigt werden soll) eines Datenframes 5 eines anderen Knotens N messen; dies ist für die genannten Zwecke im wesentlichen gleichwertig bzw. äquivalent zu einem Vergleich der Zykluszeiten CT.

[0038] Aus den ermittelten Abweichungen bildet jeder Knoten eine Vorgabe ΔCT_{av} zur Nachführung seines Taktrasters 4, beispielsweise durch Mittelwertbildung oder Bilden eines fehlertoleranten Mittenpunktes (fault tolerant midpoint, FTM). Für Details des FTM-Verfahrens wird auf den einleitend genannten Flexray-Standard verwiesen; kurz gefaßt wird nach Streichung einer vorgegebenen Zahl k von oberen und unteren Extremwerten die Mitte zwischen den verbliebenen Extremwerten berechnet, d.h. im vorliegenden Beispiel mit k = 1 zu:

$$\{ \underline{45}, \underline{11}, 6, 0, \underline{-3}, \underline{-5} \} \rightarrow \Delta CT_{av} = (11 + 3) / 2 = 7$$

[0039] Wie in Fig. 3 gezeigt, wird bei den hier betrachteten Multimaster-TDMA-Systemen das Taktraster 4 der so gebildeten Vorgabe ΔCT_{av} mittels der Ratenkorrektur RC jedoch nur bis auf einen Restfehler E nachgeführt, welcher einem in das System eingeführten Dämpfungsfaktor DF entspringt. Wie dem Fachmann bekannt, trägt ein solcher Dämpfungsfaktor DF zur Konvergenz und Stabilität von Mittelwert- bzw. FTM-Synchronisationsverfahren bei.

[0040] Aus Fig. 3 ist erkennbar, dass die Ratenkorrektur RC im Bereich um den Nullpunkt der Vorgabe ΔCT_{av} , wo offensichtlich keine Anpassung des Taktrasters 4 gegenüber dem physikalischen Takt 3 mittels der Ratenkorrektur erforderlich ist (RC = 0), eine Nichtlinearität besitzt, die gleichzeitig Ursache für einen Nulldurchgang des Restfehlers E ist. Dieser Effekt kann, wie weiter unten erläutert, in der Folge zur Bestimmung des physikalischen Taktes 3 des Knotens herangezogen werden.

[0041] Der Restfehler E wird durch gelegentliches Korrigieren der Zykluszeiten CT der Sendezyklen 6 mittels eines entsprechenden Offsets kompensiert, was als Offsetkorrektur („offset correction“) OC bezeichnet wird. Beispielsweise wird jeder einzelne Sendezyklus 6 um jene Anzahl von Microticks mT verkürzt oder verlängert, welche dem Restfehler E entspricht, oder die Offsetkorrektur OC wird nur in jedem n-ten Sendezyklus 6, dann aber gleich im n-fachen Ausmaß angewandt, z.B. in jedem zweiten Sendezyklus 6, wie in Fig. 4 gezeigt.

[0042] Zur Bestimmung des physikalischen Taktes 3 eines Knotens N werden nun die Test-Knoten N_{T0} , N_{T1} herangezogen. Jeder Test-Knoten N_{T0} , N_{T1} ist im wesentlichen gleich aufgebaut wie die Knoten N_0 , N_1 , N_2 und N_3 und implementiert so wie diese das anhand der Fig. 2 bis 4 erläuterte Zeitsynchronisationsprotokoll, jedoch mit der folgenden Abweichung: Die Zykluszeiten CT der Sendezyklen 6 eines Test-Knotens N_{T0} , N_{T1} sind frei vorgebbar, um die aus den Sendezyklen CT aller Knoten N des Netzwerkes 1 - und damit auch der Test-Knoten N_{T0} , N_{T1} - ermittelte Vorgabe ΔCT_{av} für alle Knoten N - und damit auch die „normalen“ Knoten N_0 , N_1 , N_2 und N_3 - zu beeinflussen.

[0043] Das Vorgeben der Zykluszeiten CT der Testknoten N_T kann auf beliebige Art und Weise erfolgen, wie manuell, programmgesteuert z.B. durch Abspielen eines vorgegebenen Musters von Datenframes 5 (im Flexray-Standard: sog. „Sync-Frames“), oder im laufenden Betrieb aufgrund automatischer Messungen (gleichsam „online“ konfiguriert), usw.

[0044] Im Falle von mehreren Test-Knoten N_{T0} , N_{T1} werden deren Zykluszeiten CT gemeinsam, d.h. in der gleichen Art und Weise, verändert. Es versteht sich, dass die Funktionalität einer solchen Mehrzahl von Test-Knoten N_{T0} , N_{T1} in einer praktischen Ausführung auch von einem physisch einzigen „Mehrfach“-Test-Knoten N_T realisiert werden kann, welcher die Test-Knoten N_{T0} , N_{T1} emuliert und deren Datenframes T_0 , T_1 (Fig. 2) versendet.

[0045] Die Anzahl an verwendeten Testknoten N_T entspricht bevorzugt genau jener Zahl k von Fehlerstellen, welche ein fehlertolerantes Vorgabenbildungsverfahren wie das FTM-Verfahren

tolerieren kann, plus eins, d.h. $k + 1$.

[0046] Durch fortschreitendes Verändern der Zykluszeiten CT der Test-Knoten N_{T0} , N_{T1} über einen vorgegebenen Bereich werden die Knoten N_0 , N_1 , N_2 und N_3 dazu veranlasst, unter Anwendung entsprechender Ratenkorrekturen RC und Offsetkorrekturen OC ihre Sendezyklen 6 der Vorgabe ΔCT_{av} nachzuführen.

[0047] Fig. 5 zeigt eine erste Variante des Verfahrens, bei welcher die Zykluszeiten der Test-Knoten stufenförmig verändert werden. In Fig. 5a sind die (zusammenfallenden) Zykluszeiten CT der Test-Knoten N_{T0} und N_{T1} während 700 aufeinanderfolgender Sendezyklen 6 dargestellt.

[0048] Fig. 5b zeigt beispielhaft die Reaktion des Knotens N_1 in Form des von ihm angewandten Offsets OC, d.h. seiner Offsetkorrektur, während dieser 700 Zyklen. Wie erörtert ist die Offsetkorrektur OC ein Maß für den Restfehler E. Bei Multimaster-TDMA-Verfahren gemäß Fig. 4, bei welchen die Offsetkorrektur OC nicht in jedem Sendezyklus 6 sondern seltener angewandt wird, kann die aktuelle Offsetkorrektur OC überdies besonders einfach durch Bilden der Differenz der Zykluszeiten CT zweier aufeinanderfolgender Sendezyklen 6, von denen einer eine Offsetkorrektur OC enthält und der andere nicht, ermittelt werden. Da sich die Ratenkorrektur RC in diesem kurzen Zeitraum nur geringfügig ändert, ist ihre allfällige zwischenzeitliche Änderung vernachlässigbar; beim Flexray-Standard wird die Ratenkorrektur RC überdies nur jeden zweiten Sendezyklus aktualisiert, siehe Fig. 4, so dass die Offsetkorrektur OC aus der Differenzbildung zweier Sendezyklen 6 sogar exakt bestimmbar ist.

[0049] Wie aus Fig. 5b ersichtlich, zeigt die Offsetkorrektur OC des Knotens N_1 zu Beginn jeder Einspeisungsstufe (Fig. 5a) eine Einschwingphase. Ein entsprechendes Ausfiltern dieser Einschwingphase führt zu der gefilterten Kurve von Fig. 5c.

[0050] Aus Fig. 5c ist klar erkennbar, dass der Offset OC bis etwa zum Zyklus Nr. 400 bei ca. -5 mT liegt und dann unter Vorzeichenwechsel sprunghaft auf ca. 5 mT ansteigt. Im Bereich des Vorzeichenwechsels, d.h. ca. bei Zyklus Nr. 400, liegt die von den Test-Knoten N_T vorgegebene Zykluszeit CT laut Fig. 5a im Bereich von $4,9995 \cdot 10^6$ - $5 \cdot 10^6$ ns. In diesem Bereich liegt somit auch jene Zykluszeit CT des Knotens N_1 , bei der sein Taktraster 4 offensichtlich keiner Ratenkorrektur RC gegenüber dem physikalischen Takt 3 bedarf. Da die Relation zwischen physikalischem Takt 3 und Zykluszeit CT - ohne Ratenkorrektur RC und Offsetkorrektur OC - aus den Entwurfsparametern des Systems bekannt ist, kann daher aus der ermittelten Zykluszeit von $4,9995 \cdot 10^6$ - $5 \cdot 10^6$ ns direkt der physikalische Takt 3 des Knotens N_1 bestimmt werden.

[0051] Anstelle der in dem Beispiel von Fig. 5 vorgenommenen Auswertung des Offsets OC des zu prüfenden Knotens N könnte, falls gewünscht, auch dessen Restfehler E direkt gemessen werden, beispielsweise durch Vergleichen der jeweils vom Test-Knoten N_T vorgegebenen Zykluszeit mit der am Knoten N beobachteten Zykluszeit.

[0052] Fig. 6 zeigt eine weitere Verfahrensvariante, bei welcher die von den Test-Knoten N_{T0} , N_{T1} vorgegebenen Zykluszeiten CT nicht stufenförmig, sondern linear stetig gemäß Fig. 6a verändert werden. Ein Beispiel der als Reaktion darauf am Knoten N_1 beobachteten Offsetkorrekturen OC ist in Fig. 6b gezeigt. Zwischen den Zyklen Nrn. 140 - 150 ist ein sprunghafter Anstieg des Offsets von etwa 16 mT auf etwa 24 mT zu erkennen.

[0053] Wird die Kurve von Fig. 6b um ihren konstanten Gleichanteil von etwa 20 mT bereinigt - dieser Gleichanteil ist durch das stetige Nacheilen der Offsetkorrektur hinter der sich stetig ändernden Einspeisung bedingt - bedeutet dies einen Vorzeichenwechsel des Offsets OC im Bereich der Zyklen Nrn. 140 -150.

[0054] Fig. 6c ist eine erste Ableitung der Kurve von Fig. 6b, aus welcher ersichtlich ist, dass das Maximum des sprunghaften Anstiegs der Offsetkorrektur OC bei etwa Zyklus Nr. 143 liegt. Laut Fig. 6a beträgt die von den Test-Knoten N_{T0} , N_{T1} eingespeiste Zykluszeit CT hier etwa $4,9995 \cdot 10^6$ - $5 \cdot 10^6$ ns. Wie im vorigen Beispiel kann daraus unmittelbar der physikalische Takt 3 des Knotens N_1 bestimmt werden.

[0055] Das Verfahren der Erfindung lässt sich mit Vorteil auch bei anderen Multimaster-TDMA-

Systemen als dem hier im Detail erörterten Flexray-Protokoll anwenden, solange diese auf einer mit einem Dämpfungsfaktor versehenen Ratenkorrektur beruhen. Demgemäß ist die Erfindung nicht auf die dargestellten Ausführungsformen beschränkt, sondern umfaßt alle Varianten und Modifikationen, die in den Rahmen der angeschlossenen Ansprüche fallen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen des physikalischen Taktes (3) eines ausgewählten Knotens (N) in einem Netzwerk, welcher aus seinem physikalischen Takt (3) ein Taktraster (4) ableitet, auf Grundlage dessen er Datenframes (5) in Sendezyklen (6) an andere Knoten (N) des Netzwerkes sendet, wobei jeder Knoten (N) bei einer Abweichung seines Taktrasters (4) von einer aus den Sendezyklen (6) mehrerer Knoten gebildeten Vorgabe (ΔCT_{av}) sein Taktraster der Vorgabe bis auf einen Restfehler (E) nachführt, um welchen er seine Sendezyklen (6) zusätzlich periodisch mittels eines Offsets (OC) korrigiert, **gekennzeichnet durch** die Schritte:
 - Anschließen zumindest eines Test-Knotens (NT) an das Netzwerk (1), dessen Sendezyklen (6) in ihren Zykluszeiten (CT) vorgebar sind,
 - Verändern der Zykluszeiten (CT) des Test-Knotens (N_T) über einen vorgegebenen Bereich,
 - Messen des Restfehlers (E) des ausgewählten Knotens (N) im genannten Bereich, und
 - Bestimmen des genannten physikalischen Taktes (3) aus jener Zykluszeit (CT) des Test-Knotens (N_T), in deren Umgebung der Restfehler (E) des ausgewählten Knotens (N) das Vorzeichen wechselt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Restfehler (E) aus einem Vergleich der vom Test-Knoten (N_T) vorgegebenen Zykluszeit (CT) mit der beobachteten Sendezykluszeit (CT) des ausgewählten Knotens (N) gemessen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Restfehler (E) als der vom ausgewählten Knoten (N) periodisch angewandte Offset (OC) gemessen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei welchem jeder zweite Sendezyklus um den genannten Offset korrigiert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Offset (OC) aus der Differenz der Zykluszeiten (CT) zweier aufeinanderfolgender Sendezyklen (6) bestimmt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verändern der Zykluszeiten (CT) stufenförmig durchgeführt und der physikalische Takt (3) aus jener Stufe bestimmt wird, bei welcher - ohne Berücksichtigung der Einschwingphasen zu Stufenbeginn - das Vorzeichen des Restfehlers (E) wechselt.
6. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verändern der Zykluszeiten (CT) linear stetig durchgeführt und der physikalische Takt (3) aus jener Zykluszeit (CT) bestimmt wird, bei welcher sich das Vorzeichen des - um eine Konstante reduzierten - Offsets (OC) ändert.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorgabe (ΔCT_{av}) als fehlertoleranter Mittelwert oder Mittenpunkt (FTM) ermittelt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Test-Knoten (N_T) an das Netzwerk (1) angeschlossen werden, deren Zykluszeiten (CT) gemeinsam verändert werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Netzwerk (1) ein Multimaster-TDMA-System nach dem FlexRay-Standard ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der physikalische Takt (3) die Eigenfrequenz eines Schwingquarzes des ausgewählten Knotens (N) ist.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

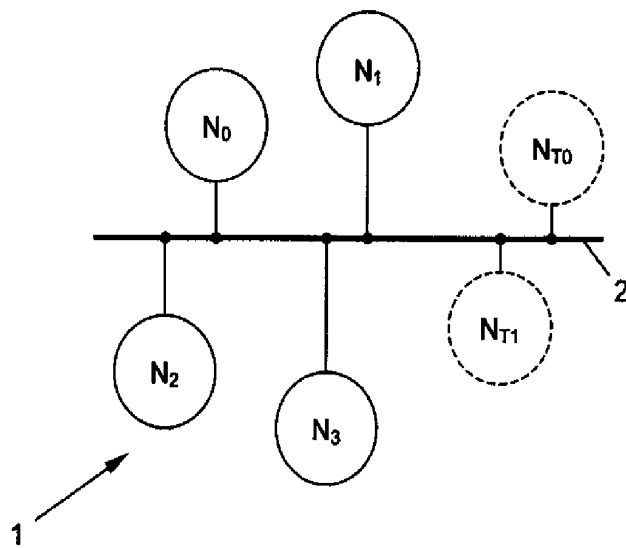


Fig. 1

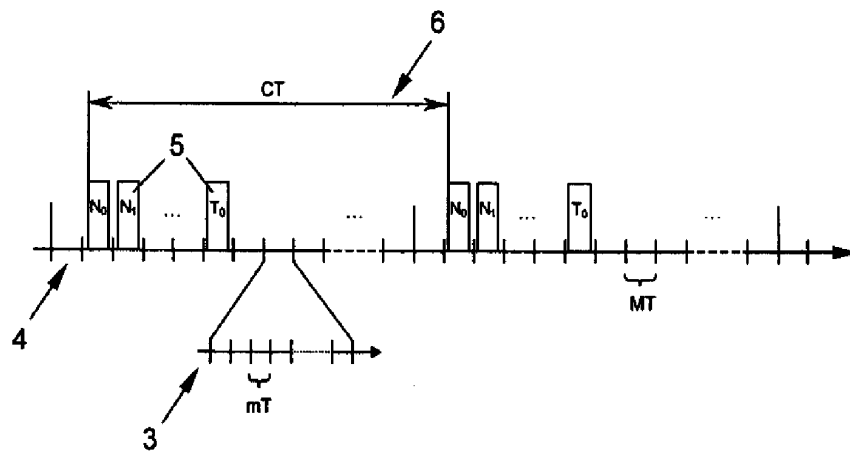


Fig. 2

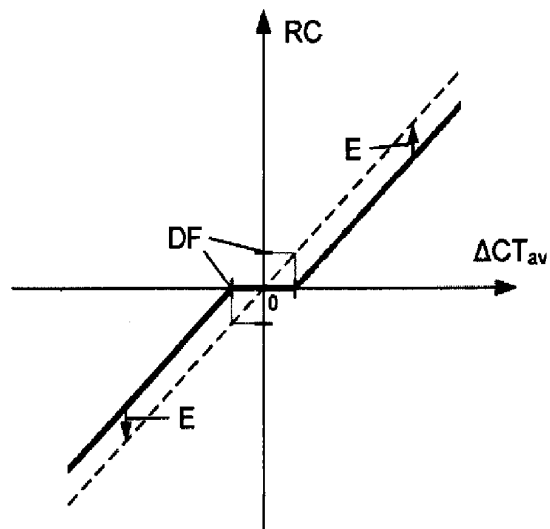


Fig. 3

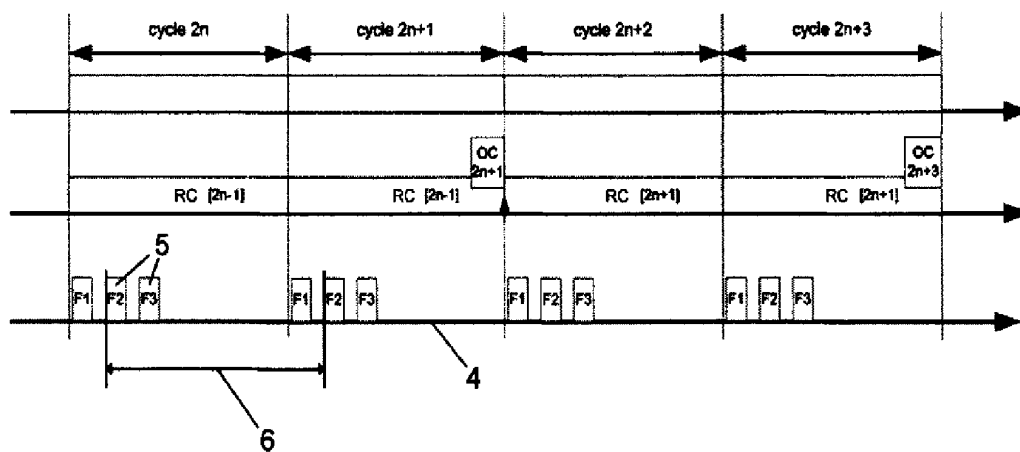


Fig. 4

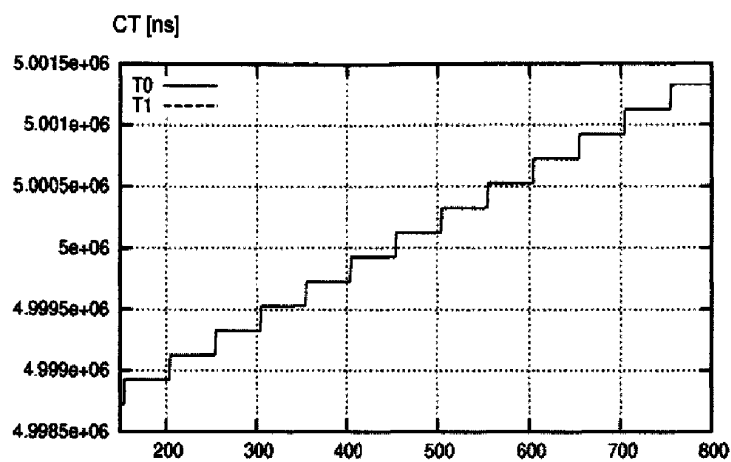


Fig. 5a

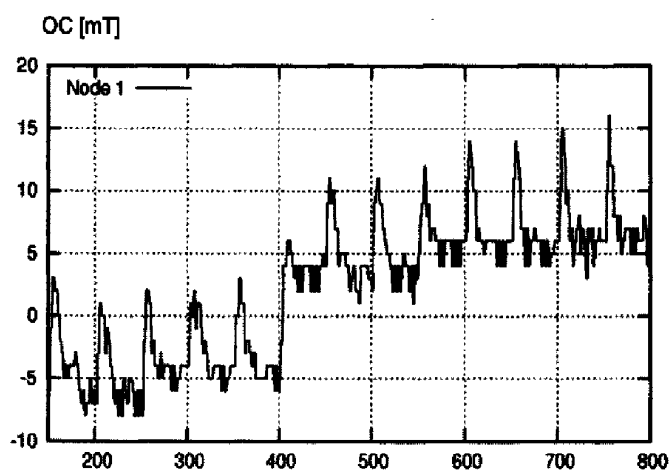


Fig. 5b

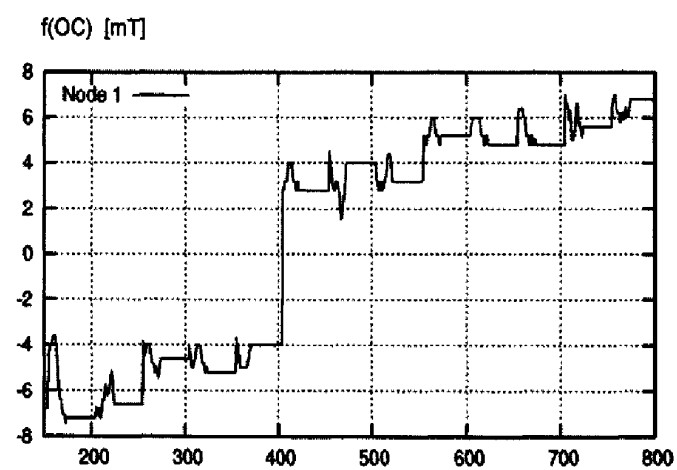


Fig. 5c

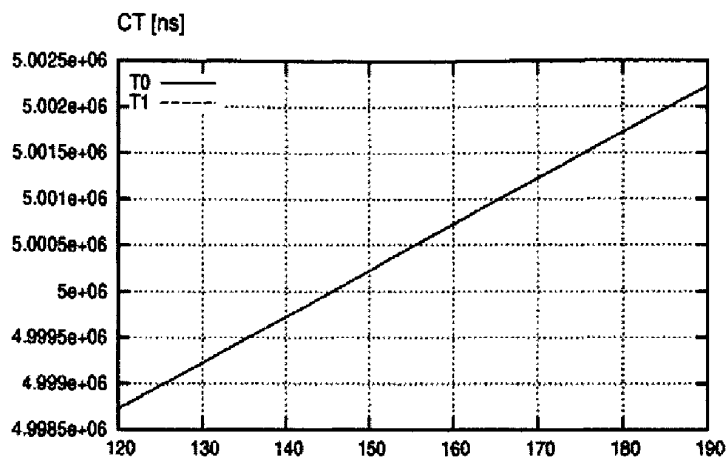


Fig. 6a

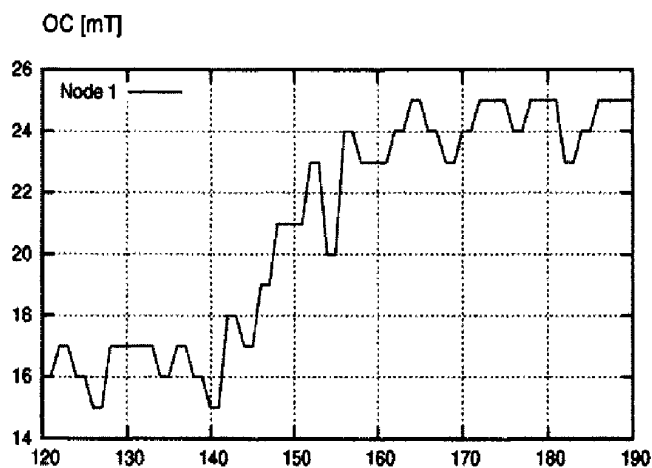


Fig. 6b

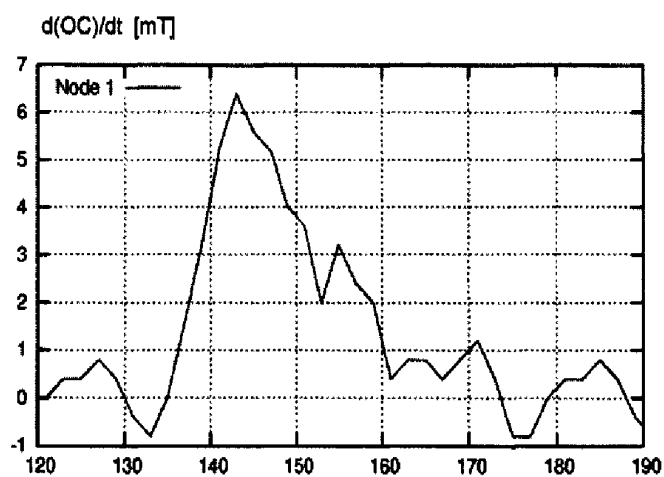


Fig. 6c