



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.03.2002 Patentblatt 2002/11

(51) Int Cl.7: **G04G 7/00**

(21) Anmeldenummer: **01119500.5**

(22) Anmeldetag: **14.08.2001**

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

(71) Anmelder: **DaimlerChrysler AG**
70567 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **Minuth, Jürgen**
73079 Süssen (DE)
• **Seefried, Volker**
73732 Esslingen (DE)

(30) Priorität: **25.08.2000 DE 10041724**

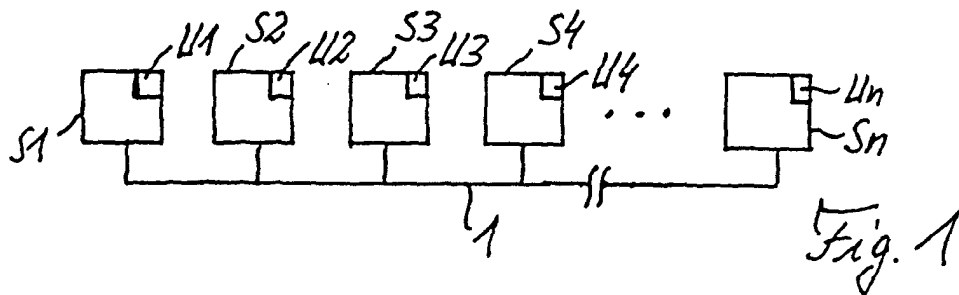
(54) **Verfahren zur Uhrensynchronisation**

(57) 2.1. Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Synchronisation mehrerer Uhren mit innerhalb jeweils zugehöriger Einstellbereiche veränderbarem Uhrentakt.

2.2. Erfindungsgemäß wird jeder Uhr von Zeit zu Zeit die Information über den momentanen, fremden Uhrentakt einer der anderen Uhren übermittelt. Es wird

dann jeweils festgestellt, ob der fremde Uhrentakt innerhalb des eigenen Einstellbereiches liegt, und bejahendenfalls wird der eigene momentane Uhrentakt in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem fremden und dem eigenen Uhrentakt aktualisiert.

2.3. Verwendung z.B. zur Synchronisation verteilt angeordneter Uhren in einem vernetzten Steuergeräteverbund eines Fahrzeugelektroniksystems.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Synchronisation mehrerer Uhren mit innerhalb jeweils zugehöriger Einstellbereiche veränderbarem Uhrentakt.

[0002] Derartige Synchronisationsverfahren finden beispielsweise in vernetzten Elektroniksystemen Verwendung, die ein Kommunikationsnetz beinhalten, an das mehrere Komponenten als Netzknoten angeschlossen sind, von denen alle oder ein Teil über eine jeweils eigene Uhr verfügen. Die Uhren beinhalten typischerweise einen hochfrequenten Zeittaktgeber und einen nachgeschalteten Teiler, der den Zeittakt des Taktgebers auf den gewünschten Uhrentakt herunterteilt. Ein Anwendungsbereich dieser Art sind Fahrzeugelektroniksysteme mit einem Datenbusnetzwerk, an das mehrere Fahrzeugsteuergeräte mit jeweils eigener Uhr angeschlossen sind.

[0003] Unter dem Begriff "Uhrentakt" ist vorliegend ganz allgemein die Ganggeschwindigkeit einer Uhr zu verstehen, d.h. wie schnell oder langsam sie läuft, unabhängig davon, ob die Ganggeschwindigkeit durch Herunterteilen eines hochfrequenten, von einem Zeittaktgeber erzeugten Taktsignals, wie oben angegeben, oder in einer anderen herkömmlichen Weise festgelegt wird. Bei einer üblicherweise verwendeten Normierung liegt die normierte Ganggeschwindigkeit im Bereich um einen Sollwert von eins. Die Erfindung ist z.B. für Systeme mit verteilt, d.h. räumlich entfernt, angeordneten Uhren anwendbar, deren Uhrentakt innerhalb eines gewissen Einstellbereiches steuerbar verändert werden kann.

[0004] Ein bekanntes Verfahren bei der Synchronisation mehrerer derartiger Uhren mit einstellbarem Uhrentakt besteht darin, für eine jeweilige Uhr die Abweichung ihres Uhrentaktes von den Uhrentakten mehrerer anderer Uhren zu bestimmen und daraus einen effektiven Korrekturwert für den eigenen Uhrentakt zu ermitteln. Dies kann z.B. dadurch erfolgen, dass von einem ausgewählten Teil der ermittelten Abweichungen, für den üblicherweise die stärksten Abweichungen nicht berücksichtigt werden, ein Mittelwert gebildet wird, der dann als Korrekturwert dient. Zur Tolerierung einer Anzahl k von falsch verteilten Uhren sind bei dieser bekannten Technik eine Anzahl $3k+1$ von Uhrentaktmessungen und Bestimmungen der zugehörigen Abweichungen erforderlich.

[0005] Eine andere bekannte Methode zur Synchronisation mehrerer Uhren besteht darin, eine Uhr als Leituhr auszuwählen und den Zeitwert der anderen Uhren in gewissen Zeitabständen auf denjenigen der Leituhr abzustimmen. Solche Synchronisationsverfahren sind in der Offenlegungsschrift DE 197 50 929 A1 und in der Patentschrift DE 38 03 525 C2 beschrieben. Ein grundsätzliches Problem dieser Technik liegt darin, dass bei einer Fehlfunktion der Leituhr die Synchronisation aller Uhren entsprechend gestört oder gar nicht

mehr möglich ist.

[0006] Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung eines Uhrensynchronisationsverfahrens der eingangs genannten Art zugrunde, mit dem sich mehrere Uhren mit veränderbarem Uhrentakt in verhältnismäßig einfacher und zuverlässiger Weise synchronisieren lassen.

[0007] Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung eines Uhrensynchronisationsverfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Dieses Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass jeder Uhr von Zeit zu Zeit die Information über den momentanen Uhrentakt einer der anderen Uhren, z.B. als entsprechende Zeitstempel- oder Zeitdifferenzinformation übermittelt und ihr dadurch dieser fremde Uhrentakt einer der anderen Uhren zugänglich gemacht wird und der eigene Uhrentakt in Abhängigkeit vom fremden Uhrentakt aktualisiert, d.h. neu bestimmt wird, wenn der fremde Uhrentakt innerhalb des eigenen Einstellbereiches liegt, wobei die Aktualisierung in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem fremden und dem eigenen Uhrentakt erfolgt.

[0008] Somit umfasst erfindungsgemäß das Synchronisieren der Uhren aufeinanderfolgende, synchronisierende Aktualisierungsvorgänge in jeder Uhr in Abhängigkeit von jeweils nur einem fremden Uhrentakt einer der anderen Uhren. Dementsprechend sind nur relativ wenig Zeitwertmessvorgänge und Zeitwertübermittlungsvorgänge, aus denen sich die Uhrentakte ableiten lassen, notwendig, und aufwendige Prozeduren zur Bestimmung eines Korrekturwertes als ein Mittelwert über speziell auszuwählende Taktabweichungen können entfallen. Dennoch kann zur Synchronisation einer jeweiligen Uhr jede der anderen Uhren beitragen, indem der Uhr nacheinander die Uhrentakte aller anderen Uhren zur Aktualisierung zugänglich gemacht werden. Durch diese Vorgehensweise lassen sich mehrere Uhren mit anfänglich eventuell unterschiedlichem Uhrentakt auf einen gemeinsamen Uhrentakt synchronisieren und auf diesem synchronisiert halten, soweit sich die Einstellbereiche der Uhren wenigstens in diesem gemeinsamen Uhrentakt überlappen. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass es auch bei einem Ausfall einer oder mehrerer beliebiger Uhren für die übrigen, noch funktionierenden Uhren ohne weitere Maßnahmen voll funktionsfähig bleibt.

[0009] In einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 2 erfolgt die Aktualisierung des jeweils eigenen Uhrentaktes dadurch, dass er schrittweise in Richtung des zugänglich gemachten Uhrentaktes der jeweils anderen Uhr geändert wird. Durch geeignete Abstimmung der Häufigkeit der Aktualisierungsvorgänge und des Änderungswertes lässt sich eine hohe Stabilität der Synchronisation erreichen.

[0010] In einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 3 sind in den Uhren zyklische schrittweise Rückstellungsaktualisierungen vorgesehen, mit denen der jeweilige eigene Uhrentakt in Richtung eines vorgebba-

ren eigenen Sollwertes verändert wird. Dadurch können unerwünschte Regelschwingungseffekte der synchronisierenden Uhrentaktregelung vermieden werden, und die jeweilige Uhr kehrt selbsttätig zu ihrem eigenen Soll-Uhrentakt zurück, wenn und soweit sie, aus welchen Gründen auch immer, keine synchronisierenden Uhrentaktinformationen anderer Uhren mehr erhält.

[0011] Bei einem nach Anspruch 4 weitergebildeten Verfahren werden beidseitig an den Einstellbereich einer jeweiligen Uhr angrenzende Toleranzbereiche vorgegeben, in welchem der übermittelte Uhrentakt noch liegen darf, um zur Aktualisierung des eigenen Uhrentaktes berücksichtigt zu werden. Er wird dann zur Berechnung der die Aktualisierung bestimmenden Uhrentaktdifferenz auf den zugehörigen Endwert des Einstellbereiches begrenzt. Außerhalb des Einstellbereiches und der angrenzenden Toleranzbereiche liegende übermittelte Uhrentaktwerte bleiben unberücksichtigt, d.h. lösen keine aktualisierende Änderung des eigenen Uhrentaktes aus, wodurch jegliche Instabilitäten oder übermäßige Regelschwingungen der Synchronisation verhindert werden.

[0012] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild eines datenbusvernetzten Systems mit auf die Netzknoten verteilten, zu synchronisierenden Uhren,

Fig. 2 eine diagrammatische Darstellung der Funktionsweise der verteilt angeordneten Uhren mit einstellbarem Uhrentakt,

Fig. 3 ein Diagramm zur Veranschaulichung der verschiedenen Uhrentakt-Einstellbereiche der Uhren,

Fig. 4 ein Blockfunktionsdiagramm zur Darstellung von synchronisierenden Uhrentakt-Aktualisierungsvorgängen in jeder der Uhren und

Fig. 5 eine Diagrammdarstellung des Einstellbereichs und angrenzender Toleranzbereiche für eine jeweilige Uhr, wie sie für den Aktualisierungsvorgang gemäß Fig. 5 verwendet werden.

[0013] Fig. 1 zeigt ein vernetztes elektronisches System, bei dem es sich z.B. um ein Fahrzeugelektroniksystem handeln kann und das ein Datenbusnetzwerk mit mindestens einer Busleitung 1 aufweist, an die eine Anzahl n ($n=2,3, \dots$) von Netzknoten $S_1, S_2, \dots, S_n$, z. B. Fahrzeugsteuergeräte, angeschlossen sind. Jeder Netzknoten $S_1, \dots, S_n$ besitzt eine eigene Uhr $U_1, \dots, U_n$. Diese Uhren $U_1, \dots, U_n$ werden in nachfolgend beschriebener Weise aufeinander synchronisiert.

[0014] Fig. 2 illustriert schematisch den Aufbau und die Funktionsweise der Uhren $U_1, \dots, U_n$. Wie im linken Teilbild von Fig. 2 dargestellt, beinhaltet die jeweilige Uhr einen Zeitgeber 2, der ein hochfrequentes Zeittaktsignal erzeugt, und einen nachgeschalteten Teiler 3 mit über einen Steuereingang 3a durch ein Korrektursteuersignal veränderbarem Teilungsverhältnis. Der Teiler 3 teilt das hochfrequente Taktsignal des Zeitgebers 2 im eingestellten, vom Wert des Korrektursteuersignals bestimmten Teilungsverhältnis herunter und liefert an seinem Ausgang das heruntergeteilte Taktsignal als Uhrentakt für die betreffende Uhr.

[0015] Das rechte Teilbild von Fig. 2 veranschaulicht den Arbeitsbereich des Teilers und damit den Uhrentakt-Einstellbereich der Uhr. Wie daraus ersichtlich, steigt das Teilungsverhältnis mit wachsendem, an den Teilersteuereingang 3a anzulegendem Korrekturwert an, solange sich letzterer innerhalb eines Einstellintervalls $[F_{-1}, F_1]$ befindet, das den Uhrentakt-Einstellbereich repräsentiert. Innerhalb des Einstellbereiches ist ein uhreneigener Anfangssollwert, d.h. ein Default-Wert, durch einen entsprechenden Anfangssollwert des Korrektursteuersignals definiert, wobei dieser Default-Wert vorzugsweise in der Mitte des Einstellbereiches liegt. Dieser Anfangssollwert dient als anfänglicher Nullstellungswert des Korrektursteuersignals bei der Systeminitialisierung. Wenn das Korrektursteuersignal dieses Einstellintervall $[F_{-1}, F_1]$ nach unten oder oben verlässt, wird das Teilungsverhältnis auf dem zum betreffenden Einstellintervall-Endwert F_{-1} bzw. F_1 gehörigen Endwert des Uhrentakt-Einstellbereiches gehalten, d.h. es bleibt auf diesen beschränkt.

[0016] Fig. 3 veranschaulicht in Diagrammform ein Beispiel vorgegebener Einstellbereiche $E_1, \dots, E_n$ für die verschiedenen, verteilten Uhren $U_1, \dots, U_n$ von Fig. 1, wobei die Einstellbereiche $E_1, \dots, E_4, E_n$ für fünf Uhren $U_1, \dots, U_4, U_n$ explizit gezeigt sind. Diese fünf Einstellbereiche $E_1, \dots, E_4, E_n$, die gleich oder unterschiedlich groß sein können, überlappen sich in mindestens einem Uhrentaktwert UT_S , der somit als Regelziel für die Synchronisierung mindestens dieser fünf Uhren $U_1, \dots, U_4, U_n$ dienen kann, da er in allen diesen Uhren $U_1, \dots, U_4, U_n$ eingestellt werden kann. Wenn und soweit folglich die Uhren $U_1, \dots, U_n$ des Systems von Fig. 1 sich mindestens in einem solchen gemeinsamen Uhrentaktwert UT_S überlappen, können sie mit dem vorliegenden Verfahren stabil synchronisiert werden.

[0017] Sollten die Einstellbereiche einer oder mehrerer Uhren diesen Synchronisationssollwert UT_S des Uhrentaktes nicht enthalten, werden sie für das im folgenden erläuterte Synchronisationsverfahren ignoriert, ohne dass sie den erfindungsgemäßen Synchronisationsvorgang für die anderen Uhren stören oder beeinflussen, wie aus den folgenden Erläuterungen des erfindungsgemäßen Synchronisationsvorgangs deutlich wird. Bei Bedarf können diese hinsichtlich der erfindungsgemäßen Synchronisierung ignorierten Uhren durch ein herkömmliches Synchronisationsverfahren

synchronisiert werden, d.h. sie müssen nicht zwangsläufig völlig unsynchronisiert mit den anderen Uhren bleiben.

[0018] Zur erfindungsgemäßen Synchronisation der Uhren $U_1, \dots, U_n$ wird von Zeit zu Zeit, z.B. in vorgegebenen regelmäßigen Zeitabständen, von einem jeweiligen Netzknoten eine Information zur Ableitung des momentan eingestellten Uhrentaktes auf die Busleitung 1 gegeben, über welche diese Uhrentaktinformation von den anderen Netzknoten empfangen werden kann. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass zyklisch nacheinander in vorgegebenen Zeitabständen der erste Netzknoten S1, dann der zweite Netzknoten S2 und so weiter bis zum letzten Netzknoten S_n und dann wieder von vorne beginnend der erste Netzknoten S1 seine jeweilige Uhrentaktinformation auf die Busleitung 1 gibt. Die auf der Busleitung 1 anstehende Uhrentaktinformation der jeweils einen Uhr wird dann von jeweils einer oder mehreren, vorzugsweise allen der anderen Netzknoten zur synchronisierenden Aktualisierung des Uhrentaktes der eigenen Uhr empfangen.

[0019] Dieser synchronisierende Uhrentakt-Aktualisierungsvorgang für eine jeweilige Uhr ist in Fig. 4 illustriert. Wie dort dargestellt, wird vom betreffenden Netzknoten die auf der Busleitung 1 anstehende Information über den fremden Uhrentaktwert der Uhr eines der anderen Netzknoten empfangen und nach einer nicht dargestellten Aufbereitung, in welcher vom fremden Uhrentaktwert der Normierungswert eins subtrahiert und damit der entsprechende Korrekturwert A des fremden Uhrentaktes erhalten wird, zunächst in einem Abweichfilter zur Gewinnung eines Ausgangssignals A' ausgewertet.

[0020] Die Auswertung besteht darin, dass festgestellt wird, ob der fremde Uhrentakt- bzw. Korrekturwert A innerhalb des eigenen Uhrentakt-Einstellbereiches $[F_{-1}, F_1]$ liegt. Wenn dies der Fall ist, wird der fremde Uhrentakt- bzw. Korrekturwert A unverändert als Ausgangssignal A' durchgelassen. Ist dies nicht der Fall, wird weiter geprüft, ob der fremde Uhrentakt- bzw. Korrekturwert A innerhalb eines unteren, an den unteren Endwert F_1 des Einstellbereiches anschließenden, vorgebbaren Toleranzbereiches $[F_{-2}, F_{-1}]$ oder innerhalb eines oberen, an den oberen Einstellbereich-Endwert F_1 anschließenden, vorgebbaren Toleranzbereiches $[F_1, F_2]$ liegt. Wenn dies der Fall ist, wird der zugehörige Einstellbereich-Endwert F_{-1} bzw. F_1 als Ausgangssignalwert A' verwendet, d.h. das Abweichfilter 4 begrenzt in diesem Fall den fremden Uhrentakt- bzw. Korrekturwert A auf den betreffenden Einstellbereich-Endwert F_{-1} bzw. F_1 . Liegt hingegen der fremde Uhrentakt- bzw. Korrekturwert A auch nicht innerhalb der beiden Toleranzbereiche, d.h. dass er über dem oberen Endwert F_2 des oberen Toleranzbereiches oder unterhalb des unteren Endwertes F_{-2} des unteren Toleranzbereiches liegt, so wird der fremde Uhrentakt ignoriert, d.h. ausgefiltert. Die festgestellte starke Abweichung des fremden Uhrentaktes vom Einstellbereich der eigenen Uhr wird vom Abweichfilter 4 über einen Fehlerausgang 4a als Fehler an-

gezeigt.

[0021] Fig. 5 illustriert in Diagrammform die Funktion des Abweichfilters 4 anhand von dessen Arbeitskennlinie für den Ausgangssignalwert A' in Abhängigkeit vom fremden Uhrentakt- bzw. Korrekturwert A, wobei letzterer durch den zugehörigen Korrektursignalwert entsprechend der Darstellung in Fig. 2 repräsentiert wird. Innerhalb des eigenen Uhrentakt-Einstellbereiches $[F_{-1}, F_1]$ ist der Ausgangssignalwert A' gleich dem Eingangssignalwert A, im unteren Toleranzbereich $[F_{-2}, F_{-1}]$ hat das Ausgangssignal A' den Wert F_{-1} , im oberen Toleranzbereich $[F_1, F_2]$ hat es den Wert F_1 , und außerhalb davon wird das Fehlersignal generiert und der empfangene Uhrentakt nicht zur synchronisierenden Aktualisierung herangezogen.

[0022] Wieder Bezugnehmend auf Fig. 4 wird das Ausgangssignal A' des Abweichfilters 4, wenn der fremde Uhrentakt- bzw. Korrekturwert A im Einstellbereich $[F_{-1}, F_1]$ oder wenigstens in einem der beiden Toleranzbereiche $[F_{-2}, F_{-1}]$ bzw. $[F_1, F_2]$ liegt, von einem nachgeschalteten Korrekturfilter zur Erzeugung eines aktualisierten Korrekturwertes K für die eigene Uhr benutzt. Dies geschieht dadurch, dass zum bisherigen Korrekturwert ein Wert hinzuaddiert wird, der gleich der Differenz zwischen dem Abweichfilter-Ausgangssignalwert A' und dem bisherigen Korrekturwert dividiert durch einen vorgebbaren Anpassungsfaktor "Faktor_K" ist, der größer als eins gewählt wird. Dies bedeutet, dass der Korrekturwert K schrittweise in Richtung des momentanen Korrekturwertes derjenigen anderen Uhr verändert wird, deren Uhrentaktinformation empfangen wurde. Je größer der Anpassungsfaktor gewählt wird, um so geringer ist bei gleicher Uhrentaktdifferenz die Änderung des eigenen Uhrentaktes in Richtung des empfangenen anderen Uhrentaktes pro Synchronisierungszyklus. Hinter dem Korrekturfilter 5 wird dann der Normierungswert eins wieder zum Korrekturwert K hinzuaddiert, um den eigenen einzustellenden Uhrentaktwert zu erhalten.

[0023] Es ist leicht einzusehen, dass mit dieser Art der Synchronisation, bei der die Uhren $U_1, \dots, U_n$ abwechselnd ihren Uhrentakt den jeweils anderen Uhren zur synchronisierenden, schrittweisen Aktualisierung von deren Uhrentakt übermitteln, ohne weitere steuernde Maßnahmen automatisch eine Synchronisierung auf einen gemeinsamen, innerhalb der Einstellbereiche $E_1, \dots, E_n$ aller Uhren $U_1, \dots, U_n$ liegenden Uhrentaktwert UT_S als Synchronisations-Regelziel erzielt wird, wenn und soweit ein solches Regelziel UT_S gemäß Fig. 3 existiert. Denn wenn beispielsweise eine Uhr mit ihrem Einstellbereich gegenüber dem Synchronisationswert UT_S deutlich außermittig verschoben ist, wird es von den anderen Uhren im Mittel überwiegend Uhrentakte empfangen, die seinen Korrekturwert in Richtung des Synchronisierwertes UT_S schrittweise ändern, so dass er schließlich diesen Zielwert erreicht und dort gehalten wird. Mit anderen Worten pendeln sich die Uhren $U_1, \dots, U_n$ durch das vorliegende Synchronisationsver-

fahren automatisch auf einen gemeinsamen Schwerpunktwert der sich überlappenden Einstellbereiche $E_1, \dots, E_n$ als gemeinsamem, synchronisiertem Uhrentakt UT_S ein.

[0024] Unabhängig von den Aktualisierungen aufgrund empfangener Uhrentakte anderer Uhren wird mit dem Korrekturfilter 5 eine zyklische interne Aktualisierung des Korrekturwertes K und damit des eigenen Uhrentaktes vorgenommen. Dazu wird zyklisch ein neuer Korrekturwert dadurch bestimmt, dass zum alten Korrekturwert ein Wert hinzuaddiert wird, welcher gleich dem Negativen des bisherigen Korrekturwertes dividiert durch einen zugehörigen weiteren Anpassungsfaktor "Faktor₀" ist, der wiederum geeignet als ein Faktorwert größer eins vorgegeben wird und bei gegebener Abweichung des bisherigen Korrekturwertes K vom Anfangssollwert die Höhe der schrittweisen Änderung bestimmt.

[0025] Mit dieser zyklischen Eigenaktualisierung wird gewährleistet, dass die Uhr automatisch zu ihrem vorgegebenen, zum Anfangssollwert gehörigen Soll-Uhrentakt zurückkehrt und dort verbleibt, wenn keine Synchronisationsanforderungen durch empfangene Uhrentakte anderer Uhren mehr vorliegen. Vorzugsweise liegt dieser Anfangs- bzw. Ruhekorrekturwert in der Mitte des Einstell- bzw. Regelbereiches $[F_{-1}, F_1]$. Damit der Synchronisationsvorgang durch die zyklische Eigenaktualisierung nicht beeinträchtigt wird, ist es zweckmäßig, die Eigenaktualisierungen nur in deutlich größeren Zeitabständen und mit bei gegebener Abweichung deutlich niedrigerem Änderungswert, d.h. höherem Anpassungsfaktor, vorzunehmen als die synchronisierenden Aktualisierungen.

[0026] Somit werden die empfangenen Uhrentakte oder genauer gesagt die empfangenen Uhrentakt-Korrekturwerte im Korrekturfilter 5 einer Filterung relativ zum aktuellen eigenen Uhrentakt bzw. Korrekturwert nach Art eines unechten Tiefpasses zwecks synchronisierender Aktualisierung des eigenen Uhrentaktes bzw. Korrekturwertes unterzogen. Parallel dazu beinhaltet das Korrekturfilter 5 einen echten Tiefpass, der sehr langsam die synchronisierende Korrektur zurücknimmt. Die Filterfunktionen werden durch die beiden Anpassungsfaktoren "Faktor_K" und "Faktor₀" repräsentiert.

[0027] Im übrigen versteht es sich, dass die Anpassungsfaktoren "Faktor_K" und "Faktor₀" sowie die äußeren Toleranzbereich-Endwerte F_{-2}, F_2 auf an den jeweiligen Anwendungsfall angepasste Werte gesetzt werden, so dass ein ruhiges, stabiles Synchronisations- bzw. Regelverhalten ohne größere Regelungssprünge erzielt wird. So können z.B. für einen robusten Systembetrieb die Einstellbereich-Endwerte F_{-1}, F_1 jeweils um einen bestimmten Regelabstand F vom mittigen Nullstellungswert als Ruheabweichung und die äußeren Toleranzbereich-Endwerte F_{-2}, F_2 um den dreifachen Wert $3F$ vom Nullstellungswert entfernt vorgegeben werden. Alternativ können für einen sicheren Systembetrieb engere Toleranzbereiche vorgegeben werden, indem z.B. die äußeren Toleranzbereich-Endwerte F_{-2}, F_2 nur dop-

pelt so weit vom Nullstellungswert entfernt sind wie die Einstellbereich-Endwerte F_{-1}, F_1 .

[0028] Wie das oben beschriebene Ausführungsbeispiel zeigt, weist das erfindungsgemäße Synchronisationsverfahren eine Reihe von Vorteilen auf. So besitzt es ein robustes Verhalten gegenüber zu langsam und zu schnell laufenden Uhren, und es ist fehlertolerant in dem Sinne, dass durch den Ausfall einer oder mehrerer Uhren der Synchronisationsvorgang für die übrigen Uhren in keiner Weise gestört wird. Die Anzahl an tolerierten, falsch laufenden Uhren ist somit nicht beschränkt. Das Verfahren funktioniert unabhängig von der Anzahl der an der Synchronisation beteiligten Uhren und ist dadurch ohne Umschaltalgorithmen universell einsetzbar. Durch optimierbare freie Parameter ist eine standardisierte Anwendbarkeit gegeben. Regelschwingungen der Synchronisation lassen sich durch langsame Eigenkorrektur aller Uhren vermeiden. Das Verfahren ist sehr einfach in seiner Implementierung, da pro synchronisierendem Aktualisierungsvorgang immer nur ein Messwert, d.h. momentaner Uhrentakt, einer anderen Uhr zu berücksichtigen ist und keine explizite Bewertung von mehreren gleichzeitigen Messwerten erforderlich ist. Des weiteren lässt sich feststellen, ob und wenn ja wie viel geringfügig zu große oder zu kleine Messwerte, d.h. Uhrentakte, vorliegen, woraus die Qualität der Synchronisationsregelung erkennbar ist. Durch die Feststellung, ob und wenn ja für wie viel und welche Uhren viel zu große oder zu kleine Messwerte vorliegen, können Cliquenbildungen erkannt werden, bei denen sich Untergruppen von verschiedenen schnellen Uhren jeweils untereinander synchronisieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Synchronisation mehrerer Uhren ($U_1, \dots, U_n$) mit innerhalb jeweils zugehöriger Einstellbereiche ($E_1, \dots, E_n$) veränderbarem Uhrentakt,
gekennzeichnet durch
folgende Schritte:

- jeder Uhr ($U_1, \dots, U_n$) wird von Zeit zu Zeit die Information über den momentanen, fremden Uhrentakt einer der anderen Uhren übermittelt und
- es wird festgestellt, ob der fremde Uhrentakt einer jeweiligen anderen Uhr innerhalb des eigenen Einstellbereiches ($[F_{-1}, F_1]$) liegt, und bejahendenfalls wird der eigene momentane Uhrentakt in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem fremden und dem eigenen Uhrentakt aktualisiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, weiter
dadurch gekennzeichnet, dass
die Aktualisierung des eigenen Uhrentaktes durch

eine schrittweise Änderung mit einem von der Differenz zwischen dem übermittelten und dem eigenen Uhrentakt abhängigen Änderungswert vorgenommen wird.

5

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, weiter

dadurch gekennzeichnet, dass

für jede Uhr eine zyklische schrittweise Rückstellungsaktualisierung vorgesehen ist, durch welche der Uhrentakt um ein Inkrement aktualisiert wird, das von der Differenz des momentanen Uhrentaktes und einem vorgegebenen Uhrentakt-Eigensollwert abhängt, wobei die Rückstellungsaktualisierungen seltener und/oder mit kleineren Änderungswerten als die synchronisierenden Aktualisierungen erfolgen.

10

15

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, weiter

dadurch gekennzeichnet, dass

ein unterer Toleranzbereich ($[F_{-2}, F_{-1}]$) unten und ein oberer Toleranzbereich ($[F_1, F_2]$) oben an den Uhrentakt-Einstellbereich ($[F_{-1}, F_1]$) angrenzend vorgegeben und der empfangene Uhrentakt für eine synchronisierende Aktualisierung des eigenen Uhrentaktes unverändert verwendet wird, wenn er im eigenen Einstellbereich liegt, auf den jeweiligen Einstellbereich-Endwert (F_{-1} bzw. F_1) begrenzt gehalten wird, wenn er im angrenzenden Toleranzbereich liegt, und ignoriert wird, wenn er außerhalb des Einstellbereiches und der Toleranzbereiche liegt.

20

25

30

35

40

45

50

55

