

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 1222/2012
(22) Anmeldetag: 16.11.2012
(43) Veröffentlicht am: 15.06.2014

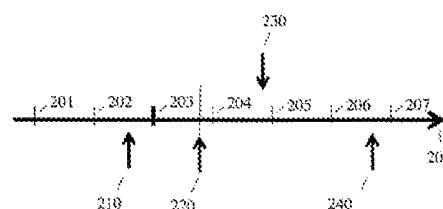
(51) Int. Cl.: **H04L 7/00** (2006.01)

(71) Patentanmelder:
FTS COMPUTERTECHNIK GMBH
1040 WIEN (AT)

(74) Vertreter:
Kopetz Hermann Dr.
2500 Baden-Siegenfeld (AT)

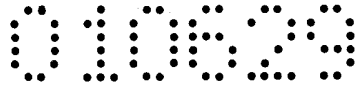
(54) **Methode und Apparat zur präzisen Uhrensynchronisation in einem verteilten Computersystem mit zwei Zeitsignalleitungen**

(57) Die vorliegende Erfindung legt ein innovatives Verfahren offen, wie in einem verteilten Computersystem von einem Zeitgeber eine genaue Zeitbasis in den verteilten Komponenten des Systems aufgebaut werden kann unter der Randbedingungen, dass das Kommunikationssystem ein nicht vorhersehbares Zeitverhalten aufweist. Zu diesem Zweck werden neben den Nachrichtenkommunikationskanälen zwischen den Komponenten zusätzlich zwei Arten von Zeitsignalleitungen realisiert. Die erste Signalleitung vom Zeitgeber zu den verteilten Komponenten überträgt den Takt der globalen Uhr des Zeitgebers an die verteilten Komponenten. Die Signalleitung von jeder verteilten Komponente zum Zeitgeber ermöglicht es dem Zeitgeber, einem Referenzimpuls einer Komponente einen globalen Zeitstempel zuzuweisen und diesen Zeitstempel in einer Nachricht der sendenden Komponente mitzuteilen.



Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung legt ein innovatives Verfahren offen, wie in einem verteilten Computersystem von einem Zeitgeber eine genaue Zeitbasis in den verteilten Komponenten des Systems aufgebaut werden kann unter der Randbedingung, dass das Kommunikationssystem ein nicht vorhersehbares Zeitverhalten aufweist. Zu diesem Zweck werden neben den Nachrichtenkommunikationskanälen zwischen den Komponenten zusätzlich zwei Arten von Zeitsignalleitungen realisiert. Die erste Signalleitung vom Zeitgeber zu den verteilten Komponenten überträgt den Takt der globalen Uhr des Zeitgebers an die verteilten Komponenten. Die Signalleitung von jeder verteilten Komponente zum Zeitgeber ermöglicht es dem Zeitgeber, einem Referenzimpuls einer Komponente einen globalen Zeitstempel zuzuweisen und diesen Zeitstempel in einer Nachricht der sendenden Komponente mitzuteilen.



Methode und Apparat zur präzisen Uhrensynchronisation in einem verteilten Computersystem mit zwei Zeitsignalleitungen.

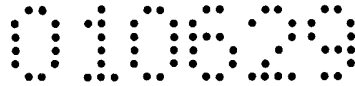
Zitierte Literatur

Patente:

- [1] US 5694542 Kopetz, H. *Time-triggered communication control unit and communication method*. Granted December 2, 1997.
- [2] US 7,839,868. Kopetz, H. *Communication method and system for the transmission of time-driven and event-driven Ethernet messages*. Granted November 23, 2010.
- [3] US 8,089,991 Ungermann. *Network and method for clock synchronization of clusters in a time triggered network*. Granted January 3, 2012.
- [4] US 8,018,950 Wu, et al. *Systems and methods for distributing GPS clock to communications devices*. Granted September 13, 2011.
- [5] US 8,295,267 Akae et al. *Clock synchronization system, method and apparatus for communication*. Granted October 23, 2012.
- [6] KR 20080093524 Hun et al.. *Method and Apparatus for Synchronizing Time in a communication System using GPS Information*. Applied April 17, 2007.
- [7] US 8,130,014 Bogenberger, et al.. *Network and method for setting a time base in a node in a network*. Granted March 6, 2012.
- [8] US 7,114,091 Vrancic. *Synchronization of Distributed Systems*. Granted Sept. 26. 2006

Sonstige:

- [9] Hofmann-Wellenhof, B. et al. *GNSS - Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Verlag, 2007
- [10] Kopetz, H. *Real-Time Systems, Design Principles for Distributed Embedded Applications*. Springer Verlag. 2011.
- [11] SAE Standard AS6802 von TT Ethernet. URL: <http://standards.sae.org/as6802>
- [12] IEEE 1588 *Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Network Measurement and Control Systems*. URL: <http://www.ieee1588.com/>



Technisches Umfeld

Die vorliegende Erfindung liegt im Bereich der Computertechnik. Sie beschreibt ein innovatives Verfahren wie in einem verteilten Echtzeitsystem in den Komponenten präzise synchronisierte lokale Computeruhren mit einer minimalen Belastung des Kommunikationssystems und der Komponenten aufgebaut werden können.

Beschreibung der Erfindung

Ein *Cyber-Physical System (CPS)* besteht aus einem physikalischen System (z.B. eine Maschine) und einem das physikalische System steuernde Computersystem. Da das Verhalten physikalischer Prozesse vom Fortschreiten der Echtzeit abhängt ist es vorteilhaft wenn auch im steuernden Computersystem des CPS eine Echtzeitbasis vorhanden ist.

Eine Echtzeitbasis ist gekennzeichnet durch eine *Epoche*, einer *Granularität* und einen *Horizont*. Die *Epoche* ist ein Ereignis, das den Anfang der Zeitzählung bestimmt. Die Granularität einer digitalen Uhr ist der Abstand zwischen zwei Ticks, gemessen durch eine Referenzuhr. Der *Horizont* ist ein zukünftiges Ereignis, das das Ende einer linearen Zeitzählung angibt. Die Differenz zwischen Horizont und Epoche gibt die Dauer des Intervalls an, den *Uhrenzeitraum*, während dessen eine lineare Zeitzählung mit einer gegebenen digitalen Uhr erfolgen kann. Der Quotient aus *Uhrenzeitraum* und *Granularität* gibt an, wie viele Uhrenticks im *Uhrenzeitraum* auftreten werden und bestimmt somit das Datenformat das notwendig ist, um die digitale Zeit, die *Zeitwerte*, in einer digitalen Uhr darzustellen. Die Epoche des unsere Zeitmessung bestimmenden Zeitstandards TAI (Temp Atomique Internationale) wurde von den internationalen Gremien mit 1.1.1958, 00:00 Uhr GMT (Greenwich Mean Time) festgelegt [10, p.57]. Das Satellitensystem GPS verteilt weltweit die auf dieser Epoche aufbauenden Zeitwerte der genormten physikalischen Sekunde mit einer Genauigkeit von besser als 100 nsec. Im folgenden wird davon ausgegangen, dass eine Referenzuhr existiert, die mit dem Zeitstandard TAI über GPS synchronisiert ist.

In einem Computer wird eine Echtzeitbasis mittels einer digitalen *physikalischen Uhr* realisiert. Eine digitale physikalische Uhr besteht aus einem periodischen Schwingkreis, der die *Taktrate* der Uhr vorgibt, und einem *Zeitregister* das den *Uhrenstand*, den *Zeitwert*, speichert. Ein Zeitregister ist ein Register in der Computerhardware, das einen Zeitwert beinhaltet. Je nach der Art des Zeitregisters kann mit jedem Uhrentakt der Zeitwert im Zeitregister um eins erhöht werden, beim Auftreten eines Ereignisses (z.B. Eintreffen einer Nachricht) durch einen Hardwareprozess die aktuelle Zeit der Echtzeituhr in ein Zeitregister geschrieben und somit ein *Zeitstempel* des Ereignisses generiert werden oder es kann, falls die Echtzeituhr ein in einem Zeitregister enthaltener Zeitwert erreicht, eine Aktion des Rechners, z.B. das Senden einer Nachricht, direkt von der Hardware ausgelöst werden. Ein solches Ereignis, das direkt eine Aktion auslöst, wird als *Trigger-signal* bezeichnet.

Eine nicht kalibrierte Uhr setzt beim *Startup* (oder nach einem *Reset*) das *Zeitregister* auf Null und erhöht das *Zeitregister* nach jeder Schwingung der Uhr, dem *Uhrentakt*, um eins. Das Zeitintervall zwischen zwei Schwingungen des Schwingkreises einer Uhr, gemessen durch die Referenzuhr, wird als die *Granularität* der Uhr bezeichnet. Der *Uhrengang* ist das dem Verhältnis des Fortschreitens einer Uhr im Vergleich zum Fortschreiten der Referenzuhr. Eine ideale Uhr hat den Gang 1. Eine *nicht kalibrierte* Computuhr (auch *freilaufende Uhr* genannt) hat eine Ganggenauigkeit von $\pm 10^{-2}$ bis 10^{-6} sec/sec.

Ein verteiltes Computersystem besteht aus einer Anzahl von *Komponenten* (siehe [10, p.80]) die über Nachrichtenkanäle verbunden sind. Ein Nachrichtenkanal ermöglicht den Transport von Nachrichten von einer Sendekomponente über eine oder mehrere Nachrichtenverteilereinheiten zu einer oder mehreren Empfängerkomponenten. Eine *Nachricht* ist eine syntaktische Einheit, die einen *Header*, ein *Datenfeld* und einen *Trailer* beinhaltet, und die zu einem Zeitpunkt von einer Sendekomponente an eine oder mehrere Empfangskomponenten gesendet wird.

Um in einem verteilten Computersystem eine globale Zeitbases in allen Komponenten aufzubauen ist es vorteilhaft, eine spezielle Komponente, einen *Zeitgeber*, vorzusehen. Ein Zeitgeber verfügt über eine genaue Uhr mit einer hohen Ganggenauigkeit, z.B. besser als $\pm 10^{-6}$ sec/sec. Im Folgenden wird eine vom Zeitgeber zu synchronisierende Komponente als *Endsystem* bezeichnet. Da in einem ereignisgesteuerten Kommunikationssystem die Transportdauer einer Nachricht vom Zeitgeber zum Endsystem nicht vorhersehbar ist, können die Uhren eines verteilten Systems über ereignisgesteuerte Nachrichten vom Zeitgeber nicht präzise synchronisiert werden.

Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, vom Zeitgeber zusätzlich zu den Nachrichtenkanälen physikalische Zeitsignalleitungen_A an die Endsysteme zu legen. Auf diesen Zeitsignalleitungen_A werden vom Zeitgeber periodisch mit einer Periode p *globale Zeitimpulse* an die Endsysteme gesendet. Diese Zeitimpulse informieren die Endsystemen über den Uhrentakt des Zeitgebers und führen im Endsystem direkt (d.h., in der Hardware, ohne Einschaltung der CPU) zu der Erhöhung eines *globalen Zeitregisters*.

Die Zeitwerte des globalen Zeitgebers werden auf folgende Art den Endsystemen mitgeteilt. Zusätzlich zur Signalleitung_A (vom Zeitgeber zum Endsystem) wird eine Signalleitung_B von jedem Endsystem zum Zeitgeber geführt. Nach Power-up oder Reset eines Endsystems sendet das Endsystem einen Referenzimpuls zum Zeitgeber und speichert den Zeitpunkt des Sendens des Referenzimpulses in einem *Zeitregister_B*. Der Zeitgeber weist dem empfangenen Referenzimpuls einen Zeitstempel der Zeit des Zeitgebers zu und sendet diesen Zeitstempel in einer (ereignisgesteuerten) Nachricht an das Endsystem das den Referenzimpuls gesendet hat. Nach Empfang dieser Nachricht weist das Endsystem dem im *Zeitregister B* gespeicherten Zeitpunkt den in der Nachricht enthaltenen Zeitstempel des Zeitgebers zu.

Um die Erkennung transienter Fehler (z.B. den Verlust eines Zeitimpulses) innerhalb einer vorgegeben Zeit erkennen zu können, sendet das Endsystem periodisch einen Referenzimpuls (Periode P) an den Zeitgeber. Die Dauer der Periode bestimmt die Fehlererkennungslatenz.



Um den Digitalisierungsfehler eines *Zeitstempels* zu reduzieren wird vorgeschlagen einen Zeitstempel aus zwei Zeitwerten zusammenzusetzen, die in zwei unabhängigen Zeitregistern verwaltet werden: einem *globalen Zeitwert* der von den periodischen Zeitimpulsen mit der Granularität p bestimmt wird und einem *lokalen Zeitwert*, der von der Granularität der lokalen Uhr der Komponente bestimmt wird, die den Zeitstempel generiert. Beispielsweise kann der globale Zeitwert eine Granularität von 10 μsec , der *lokale Zeitwert* hingegen eine Granularität von 0.01 μsec aufweisen.

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung legt ein innovatives Verfahren offen, wie in einem verteilten Computersystem von einem Zeitgeber eine genaue Zeitbasis in den verteilten Komponenten des Systems aufgebaut werden kann unter der Randbedingung, dass das Kommunikationssystem ein nicht vorhersehbares Zeitverhalten aufweist. Zu diesem Zweck werden neben den Nachrichtenkommunikationskanälen zwischen den Komponenten zusätzlich zwei Arten von Zeitsignalleitungen realisiert. Die erste Signalleitung vom Zeitgeber zu den verteilten Komponenten überträgt den Takt der globalen Uhr des Zeitgebers an die verteilten Komponenten. Die Signalleitung von jeder verteilten Komponente zum Zeitgeber ermöglicht es dem Zeitgeber, einem Referenzimpuls einer Komponente einen globalen Zeitstempel zuzuweisen und diesen Zeitstempel in einer Nachricht der sendenden Komponente mitzuteilen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die vorliegende Erfindung wird an Hand der folgenden Zeichnung genau erklärt.

Fig. 1 zeigt die Struktur eines verteilten Computersystems mit einem Zeitgeber.

Fig. 2 zeigt den zeitlichen Ablauf der Synchronisation.

Fig. 3 zeigt die Struktur eines verteilten Computersystems mit einem Zeitgeber und einem Satellitenempfänger für externe Zeitsignale.

Beschreibung einer Realisierung

Das folgende konkrete Beispiel behandelt eine der vielen möglichen Realisierungen des neuen Verfahrens.

Fig. 1 zeigt ein verteiltes Computersystem bestehend aus einem Zeitgeber **100** und drei Endsystemen **120**, **121** und **122**. Zwischen dem Zeitgeber **100** und den drei Endsystemen ist ein Nachrichtenkommunikationssystem bestehend aus den Nachrichtenkanälen **130** und der Vermittlungseinheit **110** angeordnet.

Der Zeitgeber **100** besitzt eine genaue Uhr, die die Zeitbasis für das Gesamtsystem vorgibt. Nach *Power-up* oder *Reset* des Zeitgebers beginnt eine neue Epoche, d.h. der Zeitwert dieser Uhr wird mit dem Wert Null initialisiert. Der Zeitgeber **100** sendet periodisch mit einer Periode p globale Zeitimpulse über die

Zeitsignalleitung_A 140 an das Endsystem 120, über die Zeitsignalleitung_A 141 an das Endsystem 121 und über die Zeitsignalleitung_A 142 an das Endsystem 122.

Nach *Power-up* oder dem *Reset* eines Endsystems, z.B. des Endsystems 120, sendet das Endsystem 120 einen Referenzimpuls über die Zeitsignalleitung_B 150 an den Zeitgeber 100 und speichert den Sendezeitpunkt dieses Referenzimpulses in einem Zeitregister_B. Der Zeitgeber 100 weist dem Empfangszeitpunkt dieses Referenzzeitimpulses einen Zeitstempel zu und sendet diesen Zeitstempel in einer Nachricht über den Nachrichtenkanal 130 an das Endsystem 120 zurück. Nach Empfang dieser Nachricht weist das Endsystem 120 den in der Nachricht enthaltenen Zeitstempel dem Zeitpunkt, der im Zeitregister_B gespeichert ist, zu.

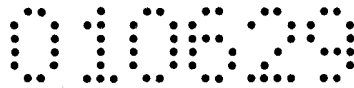
Ein analoges Protokoll wird zwischen dem Zeitgeber 100 und dem Endsystem 121 über die Zeitsignalleitung_B 151 und dem Endsystem 122 über die Zeitsignalleitung_B 152 ausgeführt.

Erfindungsgemäß werden in einem Endsystem mindestens zwei Zeitregister geführt, ein *globales Zeitregister* dass bei Eintreffen eines Zeitimpulses inkrementiert wird und mit dem globalen Zeitwert des Zeitgebers 100 übereinstimmt und eine Granularität von p (der Periode der Zeitimpulse) aufweist und ein *lokales Zeitregister*, das von der lokalen Uhr des Endsystems aktualisiert wird und dessen Granularität von der Taktrate der lokalen Uhr bestimmt wird. Mit dem Empfang eines Zeitimpulses vom Zeitgeber 100 beginnt im Endsystem eine neue Epoche des *lokalen Zeitregisters*, d.h. nach dem Empfang eines Zeitimpulses wird das lokale Zeitregister im Endsystem auf Null gesetzt. Durch die Einführung eines lokalen Zeitregisters wird der Digitalisierungsfehler der Zeitmessung signifikant herabgesetzt.

Der zeitliche Ablauf der Synchronisation wird in Fig.2 genau dargestellt. Die Abszisse 200 von Fig. 2 zeigt das Fortschreiten der Zeit. Die auf der Zeitsignalleitung_A 140 vom Zeitgeber gesendeten globalen Zeitimpulse 201 bis 207 sind auf der Abszisse eingetragen. Zum Zeitpunkt 210 wird das Endsystem 120 eingeschaltet (*power-up*) und setzt sein lokales und globales Zeitregister auf Null. Kurz danach, zum Zeitpunkt 220 sendet das Endsystem 120 einen Referenzzeitimpuls 220 über die Zeitsignalleitung_B 150 an den Zeitgeber 100 und speichert diesen Zeitwert im Zeitregister_B. Der Zeitgeber 100 weist diesem Referenzimpuls 220 einen globalen Zeitstempel bestehend aus einem globalen Zeitwert x und einem lokalen Zeitwert y zu. Dieser Zeitstempel wird im Datenfeld einer Nachricht zum Zeitpunkt 230 an das Endsystem 120 gesendet. Die Nachricht kommt zum Zeitpunkt 240 beim Endsystem 120 an. Zu diesem Zeitpunkt erfährt das Endsystem 120, dass der Referenzzeitimpuls 220 auf der globalen Uhr des Zeitgebers 100 den globalen Zeitwert x und den lokalen Zeitwert y gehabt hat. Das Endsystem 120 schreibt zum Zeitpunkt 240 den Wert $x+3$ in das globale Zeitregister, da seit dem Senden des Referenzimpulses (dieser Zeitpunkt ist im Zeitregister_B gespeichert) 3 globale Ticks eingetroffen sind.

Die Problematik der Gleichzeitigkeit von Ereignissen wird durch die Einführung einer *sparse Zeit*, wie in [10, p.62] ausführlich beschrieben, gelöst.

In Fig. 3 ist zusätzlich zu den Komponenten der Fig. 1 ein GPS Signalempfänger 300 ersichtlich der über die Leitung 310 mit dem Zeitgeber verbunden ist. Dieser Signalempfänger 300 empfängt die GPS Signale und ermöglicht es dem Zeitgeber 100, seine Uhr mit der GPS Zeit zu synchronisieren [9].



Um den Zeitgeber **100** fehlertolerant zu machen kann der Zeitgeber **100** aus vier inneren Komponenten aufgebaut werden. Jede dieser inneren Komponenten hat eine physikalische Uhr. Die vier Uhren tauschen über einen redundanten Bus periodisch ihren Uhrenstand aus und errechnen mittels eines fehlertoleranten Algorithmus, wie er in [10, p.69] beschrieben ist, eine fehlertolerante globale Zeit.

Erfindungsgemäß können alle in Fig.1 angeführten Komponenten, Nachrichtenkanäle, Vermittlungseinheiten und Zeitimpulsleitungen auf einer Leiterplatte implementiert werden. Auf einer solchen Leiterplatte sind die Zeitsignalleitungen als Leiterbahnen ausgeführt.

Im Rahmen einer Patentrecherche zum Thema Uhrensynchronisation in verteilten Echtzeitsystemen wurden die Patente [1] bis [8] genau analysiert. In keinem dieser Patentschriften wurde ein dem beschriebenen Verfahren auch nur annähernd ähnliches Verfahren gefunden.

Das hier veröffentlichte Synchronisationsverfahren ist von großer wirtschaftlicher Bedeutung, da es die präzise Synchronisation der Uhren in einem verteilten Echtzeitsystem ermöglicht, ohne Anforderungen an das zeitliche Verhalten des Kommunikationssystems zu stellen. Somit kann auf einer Leiterplatte ein Kommunikationssystem mit kostengünstigen VLSI Bauteilen aufgebaut werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Synchronisation von Komponenten im einem verteilten Echtzeitsystem, wobei die Komponenten über ein Nachrichtenkommunikationssystem bestehend aus Nachrichtenkanälen und Vermittlungseinheiten Informationen austauschen und wo ein Zeitgeber eine globale Zeit vorgibt **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zeitgeber Zeitimpulse mit einer Periode p über eine Signalleitung_A an die Endsysteme sendet und wo ein Endsystem nach einem *Power-up* oder *Reset* einen Referenzzeitimpuls über eine Zeitsignalleitung_B an den Zeitgeber sendet und wo der Zeitgeber diesem angekommenen Referenzzeitimpuls einen Zeitstempel der Zeit des Zeitgebers zuweist und wo anschließend der Zeitgeber eine Nachricht an das Endsystem sendet, die den vom Endsystem erfassten Zeitstempel des Referenzzeitimpulses enthält, und wo das Endsystem dem Zeitpunkt, zu dem der Referenzzeitimpuls gesendet wurde, den in der empfangenen Nachricht enthaltenen Zeitstempel zuweist.
2. Verfahren nach Anspruch (2) **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Endsystem mit einer Periode P Referenzzeitimpulse an den Zeitgeber sendet.
3. Verfahren nach Anspruch (3) **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Endsystem nach dem *Power-up* oder *Reset* das lokale Zeitregister und das globale Zeitregister auf Null setzt.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche (1) bis (3) **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Eintreffen eines periodischen globalen Zeitimpulses vom Zeitgeber auf der Zeitsignalleitung_A das Endsystem das globale Zeitregister um eins erhöht.
5. Verfahren nach Anspruch (1) **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Eintreffen eines globalen Zeitimpulses vom Zeitgeber auf der Zeitsignalleitung_A ein Endsystem sein lokales Zeitregister auf Null setzt und in der Folge bis zum Eintreffen des nächsten Zeitimpulses auf der Zeitsignalleitung_A dieses lokale Zeitregister bei jedem Tick der lokalen Uhr des Endsystems um eins erhöht.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche (1) bis (4) **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Zeitgeber das Trigger-signal zum Senden der Zeitimpulse auf der Zeitsignalleitung_A direkt vom Zustand eines globalen Zeitregisters in der Hardware abgeleitet wird.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche (1) bis (3) **dadurch gekennzeichnet, dass** das im Endsystem das Trigger-signal zum Senden des Referenzzeitimpulses auf der Zeitsignalleitung_B direkt vom Zustand eines Zeitregister in der Hardware des Endsystems abgeleitet wird.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche (1) bis (7) **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zeitgeber seine Uhr mit der GPS Zeit synchronisiert.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche (1) bis (8) **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zeitgeber auf seinen vier inneren Komponenten einen fehlertoleranten Uhrensynchronisationsalgorithmus ausführt.

10. Apparat zur Synchronisation von Komponenten im einem verteilten Echtzeitsystem, wobei die Komponenten über ein Nachrichtenkommunikationssystem bestehend aus Nachrichtenkanälen und Vermittlungseinheiten Informationen austauschen und wo ein Zeitgeber eine globale Zeit vorgibt **dadurch gekennzeichnet, dass** vom Zeitgeber mindestens ein Nachrichtenkanal über eine oder mehrere Vermittlungseinheiten zu jedem Endsystem führt und wo vom Zeitgeber mindestens eine Zeitsignalleitung_A zu jedem Endsystem führt und wo von jedem Endsystem mindestens eine Zeitsignalleitung_B zum Zeitgeber führt und wo im Zeitgeber jeder Zeitsignalleitung_B ein Zeitregister zugeordnet ist, so dass einem auf der Zeitsignalleitung_B ankommenden Impuls über die Hardware ein Zeitstempel zugewiesen werden kann.
11. Apparat nach Anspruch (10) **dadurch gekennzeichnet, dass** die Komponenten des verteilten Systems, der Zeitgeber, die Zeitsignalleitungen_A, Zeitsignalleitungen_B, die Nachrichtenkanäle und die Vermittlungseinheiten auf einer Leiterplatte angeordnet sind und die Zeitsignalleitungen als Leiterbahnen auf der Leiterplatte ausgeführt sind.
12. Apparat nach Anspruch (10) **dadurch gekennzeichnet, dass** im Zeitgeber den ankommenden Zeitsignalleitungen_B je ein Zeitregister in der Hardware zugeordnet ist in dem der Zeitpunkt des Eintreffens eines Zeitimpulses von einem Endsystem festgehalten werden kann.
13. Apparat nach einem oder mehreren der Ansprüche (10) bis (12) **dadurch gekennzeichnet, dass** im Zeitgeber der ausgehenden Zeitsignalleitung_A ein Zeitregister der Hardware zugeordnet ist, in dem der Zeitpunkt des Sendens eines Zeitimpulses festgehalten wird.
14. Apparat nach einem oder mehreren der Ansprüche (10) bis (13) **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zeitgeber über vier innere Komponenten verfügt, wobei jede innere Komponente eine physikalische Uhr hat.
15. Apparat zur Synchronisation von Komponenten im einem verteilten Echtzeitsystem, wobei die Komponenten über ein Nachrichtenkommunikationssystem bestehend aus Nachrichtenkanälen und Vermittlungseinheiten Informationen austauschen, und wo ein Zeitgeber Synchronisationsnachrichten, die den Uhrenstand beinhalten, an die zu synchronisierenden Endsysteme sendet **dadurch gekennzeichnet, dass** der Apparat einen oder mehrere der in den Ansprüchen (1) bis (9) beschriebenen Verfahrensschritte durchführt.

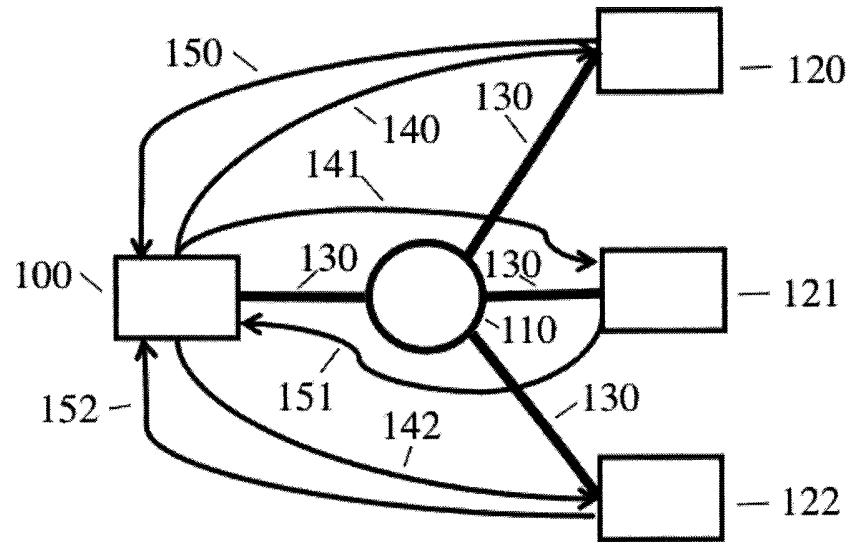


Fig. 1

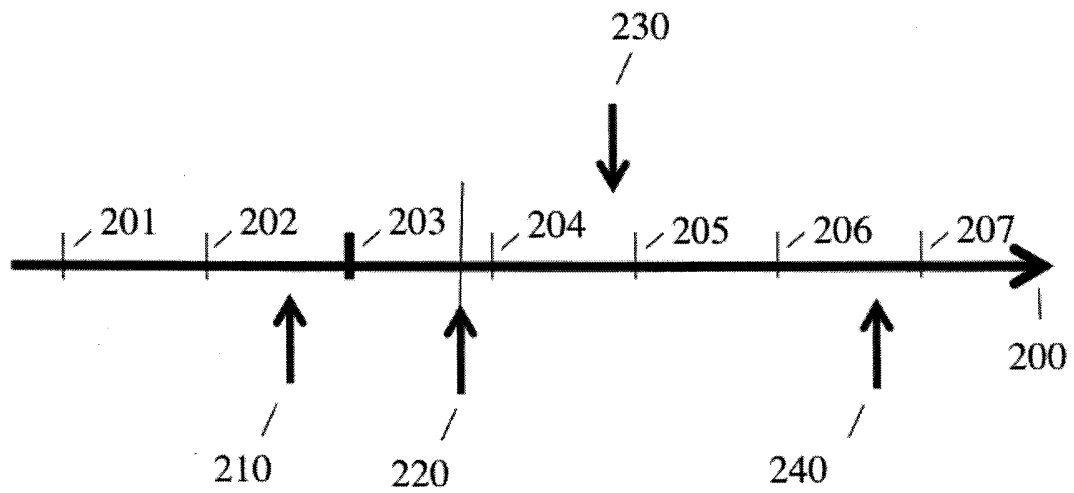
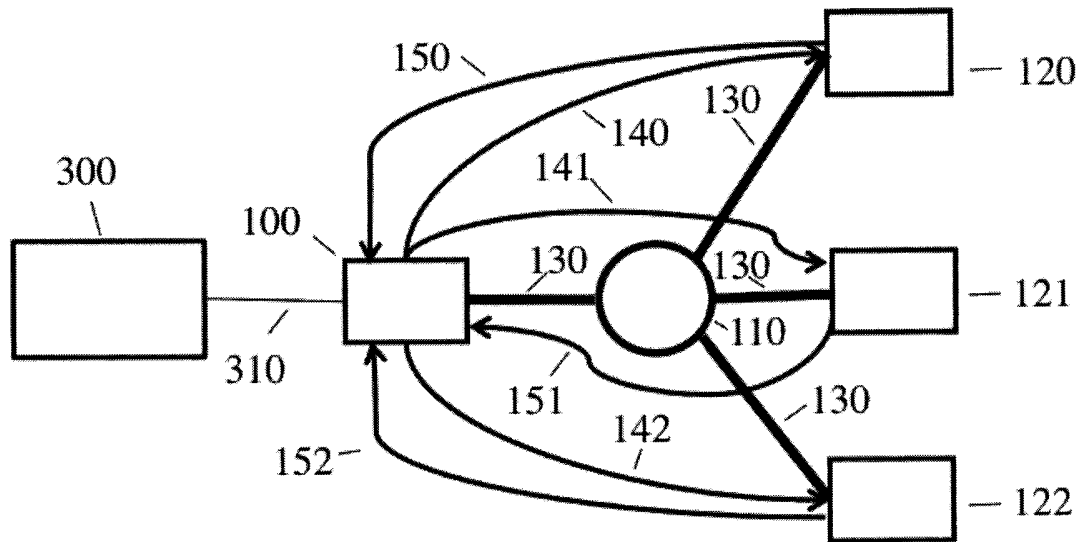


Fig. 2

**Fig. 3**