



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 711 327 A1

(51) Int. Cl.: G04R 20/00 (2013.01)  
G04G 7/00 (2006.01)  
H04L 7/00 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01019/15

(71) Anmelder:  
Kirmann-Solutil, Im Rüteli 17  
5405 Baden-Dättwil (CH)

(22) Anmeldedatum: 14.07.2015

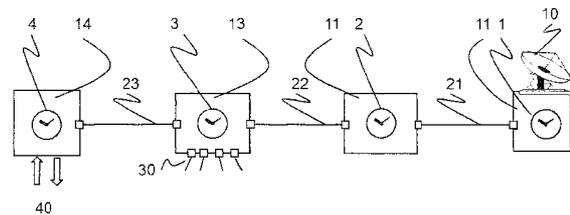
(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.01.2017

(72) Erfinder:  
Hubert Kirmann, 5405 Baden-Dättwil (CH)

(54) Schätzung der Ungenauigkeit, verursacht durch einzelne Uhren in einem Uhrensynchronisierungsnetzwerk.

(57) Diese Erfindung betrifft ein Verfahren zur Schätzung der Ungenauigkeit des empfangenen Zeitsynchronisierungssignals gemäss der Norm IEEE 1588 oder eines ähnlichen Protokolls bei der Synchronisierung von Uhren über ein Datenübertragungsnetzwerk.

Das Verfahren erlaubt es einem Zwischenknoten (2, 3) seinen eigenen Beitrag zur Ungenauigkeit der Synchronisierung zu schätzen, dadurch, dass er die Streuung der Messung der nahezu konstanten Laufzeit zu zumindest einem seiner Nachbarn durch die peer-to-peer Pdelay\_Req/Pdelay\_Resp Methode erfasst. Diese Streuung wird entweder aus einem Histogramm oder aus einem statistischen Algorithmus z.B. aus der Allan-Streuung (Allan deviation) über ein gleitendes Zeitfenster ermittelt. Der Beitrag des Zwischenknotens zur Ungenauigkeit wird als ungefähr zwei Mal diese Streuung geschätzt und summiert sich zu anderen Ungenauigkeiten, die aus der Konzeption des Gerätes bekannt sind. Dieser Beitrag zur Ungenauigkeit wird in einer kurzen Form anderen Geräten mitgeteilt. Dies ermöglicht einer Tochteruhr (4) oder einem Verwaltungsgerät eine Qualifikation von Messungen, die eine genaue Zeitstempelung verlangen, wie zum Beispiel ein Phasenmessgerät für die landesumspannende Überwachung der elektrischen Versorgung.



## Beschreibung

### ANWENDUNGSGEBIET

[0001] Diese Erfindung findet Anwendung auf dem Gebiet der industriellen Automation und Fahrzeugtechnik, genauer wendet sie sich an Datenübertragungsnetzwerke, welche die genaue Zeit oder Frequenz übertragen, in denen eine Mutteruhr in einem Knoten Synchronisierungssignale ausstrahlt, welche über zwischengeschaltete Uhren in Zwischenknoten, die das Zeitsynchronisierungsprotokoll beachten, weitergeleitet werden und zur Synchronisierung von Tochteruhren in Endknoten dienen, welche diese genaue Zeit benützen, um Prozessmesswerte präzise abzutasten oder zeitgenaue Befehle an die von ihnen gesteuerte Anlage abzugeben. Die Anwendung umfasst die Steuerung von Leistungshalbleitern und synchronisierten Antrieben, den Schutz von elektrischen Anlagen, die landesumspannende Überwachung von elektrischen Netzen, die automatische Führung von Fahrzeugen und die Durchführung von wissenschaftlichen Experimenten.

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Zeitkritische Systeme mit einer Vielfalt von kommunizierenden Knoten benötigen zeitgenaue Eingaben (z.B. Messwerte, die zu einer bekannten, genauen Zeit abgetastet werden) und Ausgaben (z.B. Steuerbefehle für die zeitgenaue Steuerung von Halbleiterschaltkreisen in Leistungsumrichtern).

[0003] Solche Systeme oder Anwendungen basieren auf einem präzisen Zeitsynchronisierungsprotokoll (Precision Time Protocol, PTP), z.B. IEEE 1588, welches eine Genauigkeit unterhalb einer Mikrosekunde bieten kann.

[0004] Diese Protokolle verwenden eine hochgenaue Mutteruhr, welche die genaue Zeit in Meldungen über ein Übertragungsnetz sendet. Diese Meldungen werden über eine Vielzahl von Zwischenknoten zu einer Vielzahl von Tochteruhren weitergeleitet. Diese Synchronisierungsmeldungen erleiden Verzögerungen auf den Verbindungen (Leitungslaufzeit zwischen Knoten) und Verarbeitung in den Knoten (knoteninterne Verweilzeit).

[0005] Die Gesamt-Verzögerung hängt von der Lage des Endknotens im Netzwerk, vom Pfad, den die Meldung durchläuft, und von der Anzahl der Zwischenknoten ab.

[0006] Um diese Verzögerungen auszugleichen, erfassen die Knoten die Verweilzeit der Meldungen bei sich und die Leitungslaufzeit der Meldungen zu den Nachbarknoten. Dabei misst ein Knoten die Laufzeit zum Nachbarknoten, vom welchem die Synchronisierungsmeldungen kommen oder zu den Nachbarknoten, zu denen der Knoten die Synchronisierungsmeldung weiterleitet.

[0007] Zum Beispiel, gemäss Norm IEEE 1588 Precision Time Protocol (IEC 61588:2009), schickt eine Mutteruhr regelmässig eine Sync-Meldung mit der absoluten Zeit zu einer Anzahl Tochteruhren über ein Datenetzwerk, welches eine Anzahl Zwischenuhren (Transparente Uhren oder Bunduhren) enthält. Durch dieses Protokoll werden die Tochteruhren in den Endknoten synchronisiert, damit diese Endknoten ihre Ein- und Ausgaben zeitgenau steuern.

[0008] Gemäss IEEE 1588 berechnen Transparente Uhren in den Zwischenknoten die Verweilzeit mit ihrer lokalen Uhr. Alle Knoten berechnen die Laufzeit zu ihren Nachbarknoten mittels eines Echowertfahrens, welches aus einer Fragemeldung des Knotens und einer Antwortmeldung des Nachbarknotens besteht. Die Transparenten Uhren addieren die Verweilzeit und die Laufzeit zum Korrekturfeld in der Sync-Meldung beim Einschnitt-Verfahren, beziehungsweise in der Follow\_Up Meldung im Zweischritt-Verfahren.

[0009] Die Ungenauigkeiten in der Berechnung der Laufzeit und der Verweilzeit häufen sich in der Kette von Mutteruhr zu Tochteruhr an. Zum Beispiel, obwohl die Genauigkeit der Mutteruhr mit 100 Nanosekunden angegeben wird, beträgt nach etwa 15 Zwischenknoten die tatsächliche Genauigkeit beim Eintreffen bei der Tochteruhr nur noch eine Mikrosekunde.

[0010] In der Tat verursacht jeder Knoten eine Ungenauigkeit in der Messung der Verweilzeit und Laufzeit. Diese Ungenauigkeit hängt von der Qualität seines internen Oszillators, von der Auflösung des Zeitzählers, von Übergangseffekten in der Zeitstempellogik in den Empfänger/Senderbausteinen und in der Vermittlungslogik, usw. ab. Diese Ungenauigkeit bewirkt eine erhöhte Schwankung und Abweichung, je weiter die Tochteruhr von der Mutteruhr entfernt ist.

[0011] Die klassische Art, die Ungenauigkeit zu begrenzen, besteht darin, jede Zwischenuhr so zu bauen, dass ihre maximale Ungenauigkeit beschränkt und garantiert ist, z.B. 50 Nanosekunden. Diese Ungenauigkeit wird gemessen und im Messbrief festgehalten. Daraus kann die Netzplanung die erwartete Ungenauigkeit für jeden Knoten des Netzwerkes vorausberechnen, unter Kenntnis der Qualität der Zwischenknoten und der Topographie, und dies auch bei Neukonfiguration des Netzwerkes nach Ausfall der Mutteruhr oder von Zwischenknoten, wobei sichergestellt wird, dass die schlimmste, erwartete Ungenauigkeit immer noch für die jeweilige Anwendung annehmbar ist, z.B.: 1 Mikrosekunde. Diese Analyse ist statisch, unter der Annahme, dass alle Uhren und Verbindungen sich wie garantiert verhalten.

[0012] Einige Anwendungen verlangen über diese statische Berechnung hinaus eine laufende Schätzung, um sicherzustellen, dass die Genauigkeit der Tochteruhr auch unter abnormalen Bedingungen eingehalten wird. Die Kenntnis dieser Schätzung erlaubt es einem Endknoten zu entscheiden, ob er die Aufgabe noch erfüllen kann. Er kann die Messwerte mit dieser Schätzung qualifizieren, wie dies die Norm IEC 61850-7-2 vorsieht in Form eines TimeAccuracy Kode oder wie dies die Norm IEEE C37-118 vorsieht in Form der Time Quality oder Continuous Time Quality. Solche laufende Schätzung der Ungenauigkeit ist auch nützlich, um Ausfälle oder Verschlechterung der Uhren festzustellen.

## BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0013] Diese Erfindung betrifft ein Verfahren zur Schätzung der Ungenauigkeit, welche jede individuelle Uhr auf dem Pfad zwischen Mutteruhr und Tochteruhr verursacht, mit dem Zweck, die Ungenauigkeit des Zeitsignales an jede Tochteruhr zu schätzen, damit der Endknoten, wo diese Tochteruhr eingebaut ist, die Genauigkeit seiner Messwerte oder Befehle qualifizieren kann.

[0014] Gemäss dieser Erfindung wird eine Methode vorgeschlagen, durch welche jede Uhr die Ungenauigkeit, die sie in der Korrektur der Synchronisierungsmeldung verursacht, schätzen kann.

[0015] Zum diesem Zweck wird die Ungenauigkeit unterteilt in zwei Komponenten: die Frequenzabweichung der lokalen Uhr und der Fehler in der Zeitstempellogik in den Ein- und Ausgangsbausteinen und in der Vermittlungslogik. Während die Frequenzabweichung durch laufende Stimmung des Oszillators begrenzt werden kann, unterliegt der Fehler in der Logik zufälligen Schwankungen, die wie folgt abgeschätzt werden.

[0016] In der Berechnung der Laufzeit mit dem Echowertfahren, z.B. gemäss IEEE 1588 peer-to-peer, berechnet jeder Knoten die Laufzeit zu seinen Nachbarknoten, und insbesondere zum Nachbarknoten, woher die Sync-Meldung kommt.

[0017] Eine Uhr berechnet die Laufzeit zu einem Nachbar durch Senden einer Pdelay\_Req Meldung, auf welche der Nachbar mit einer Pdelay\_Resp Meldung antwortet. Im Schritt-Verfahren überträgt der Nachbar seine Verarbeitungszeit in die Pdelay\_Resp Meldung, während im Zweischritt-Verfahren der Nachbar seine Verarbeitungszeit in einer separaten Pdelay\_Resp\_Follow\_Up Meldung überträgt.

[0018] Eine Uhr berechnet aus diesem Echo die Laufzeit als die Hälfte des Verzuges zwischen Senden von Pdelay\_Req und Empfangen von Pdelay\_Resp, abzüglich der Verarbeitungszeit beim Nachbar. Nach mehreren Messungen, z.B. über eine Minute, konvergiert dieser Wert zum Mittelwert der Laufzeit, abgesehen von systematischen Fehlern oder Abweichungen, die korrigiert werden können, wenn sie bekannt sind.

[0019] Die Leitungslaufzeit in Draht, Kabel oder Glasfaser ist grundsätzlich konstant, abgesehen von kleinen, langsamen Schwankungen wegen Temperatur oder anderen Einflüssen. Eigentlich genügt ein fester Eintrag nach Eichung und es wäre keine laufende Messung nötig, da dieser Wert im Betrieb kaum wechselt, aber eine laufende Messung dieser Laufzeit kann als bequeme Kontrolle der Konfiguration und der Uhr dienen.

[0020] Diese Messung der Laufzeit weist Schwankungen auf, die von der Qualität der lokalen Uhr und der Logik abhängen, sowohl in diesem Knoten wie im Nachbarknoten. Da der Mittelwert grundsätzlich konstant ist, dient diese Schwankung dazu, die Ungenauigkeit in der Zeitstempel- und Vermittlungslogik zu schätzen.

[0021] Die gemessene Laufzeit weist somit eine statistische Verteilungsfunktion aus, welche in einem Histogramm oder Verteilungskurve als Mittelwert  $\mu$  und Streuung  $\sigma$  dargestellt wird.

[0022] Die Streuung  $\sigma$ , welche auch als Varianz  $\sigma^2$ , d.h. als Quadrat der Streuung oder als ähnliches mathematisches Mass aus der Statistiklehre ausgedrückt wird, ist ein Mass für die Ungenauigkeit, die von diesem Knoten und von seinem Nachbar verursacht wird.

[0023] In der Tat wandern die Sync-Meldungen durch die gleichen Bausteine und durch die gleiche Logik wie die Pdelay\_Resp Meldungen, so dass man annehmen darf, dass die Ungenauigkeit, welche der Pdelay-Austausch verursacht, ungefähr die gleiche ist wie diejenige der Sync-Meldung. Wenn der Nachbar von der gleichen Bauart wie der Knoten selbst ist, darf man annehmen, dass seine Ungenauigkeit beinahe identisch ist.

[0024] In der Tat unterscheidet diese Methode nicht, ob die Ungenauigkeit von diesem Knoten oder vom Nachbarknoten verursacht wird, es ist auch nicht wichtig, da die Tochteruhr im Endknoten nur an der kumulierten Ungenauigkeit interessiert ist. Dagegen können Unterhaltsgeräte schadhafte Uhren durch Lesen der Streuung auf den verschiedenen Ports der Uhren orten.

[0025] Daher kann jede Uhr ihren Beitrag zur gesamten Ungenauigkeit laufend schätzen als ungefähr zwei Mal die Streuung der Berechnung der Laufzeit zum Nachbarknoten. In der Praxis wird dieser Wert etwas kleiner sein, denn Streuungen addieren sich nicht arithmetisch, wie aus der Statistiklehre bekannt ist.

[0026] Wenn andere Fehlerquellen bekannt sind, z.B. Temperatureffekte oder Einschwingverhalten des Oszillators, können diese ohne weiteres auch in dieser Ungenauigkeitsberechnung miteinbezogen werden.

[0027] Die Schätzung des Beitrages einer Uhr zur Gesamt-Ungenauigkeit kann auf verschiedene Arten einem Endknoten oder einem Unterhaltsgerät mitgeteilt werden. Der Endknoten kann diese Information benutzen, um seine Messungen zu qualifizieren, z.B. nach den Normen IEC 61850-7-2 bzw. IEEE C37.118, oder um mitzuteilen, dass seine Ungenauigkeit einen bestimmten Schwellwert überschritten hat.

[0028] Das gleiche Prinzip kann auch auf Bunduhren (boundary clocks) angewendet werden. Diese weisen zwar kein Korrekturfeld auf, aber sie können ihre eigene Genauigkeit in ihren Datensätzen angeben und mitteilen.

[0029] Das gleiche Prinzip findet Anwendung auf gemischten Zwischenuhren (transparent/boundary) wie dies die Norm IEEE 802.1 AS spezifiziert.

**[0030]** Das gleiche Prinzip kann auch bei Messung der Gesamtlaufzeit durch das Ende-zu-Ende Verfahren angewendet werden, obwohl nur die Summe der Laufzeiten gemessen wird.

**[0031]** Das gleiche Prinzip kann auch bei einer Uhr auf die Variation ihrer lokalen Uhr angewendet werden, z.B. durch Berechnung ihrer Allan-Streuung. Davon kann die Uhr eine Plausibilität der Ungenauigkeit ableiten und dies bei der Mitteilung der Ungenauigkeit berücksichtigen.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0032]** Diese Erfindung wird im folgenden Text weiter erläutert durch musterhafte Umsetzungen und in den angehängten Zeichnungen illustriert: Fig. 1 zeigt eine Uhrenkette zwischen einer Mutteruhr (1) in einem ersten Knoten (11), synchronisiert z.B. durch Satelliten (10), zwei Transparente Uhren (2, 3) in Zwischenknoten (12,13) und einer Tochteruhr (4) in einem Endknoten (14) welche über Ein- und Ausgabe (40) mit einer Anlage verbunden ist; wobei nur eine Tochteruhr gezeigt ist, obwohl mehrere existieren; nur eine Mutteruhr gezeigt ist, obwohl andere Mutteruhren in Bereitschaft existieren können; nur zwei Ports bei der Zwischenuhr (2) gezeigt werden, obwohl normalerweise solche Zwischenuhren mehrere Ports haben, die zu anderen Tochteruhren zeigen, wie dies bei Zwischenuhr (3) angetönt ist (30), wobei die Knoten durch Verbindungen (21, 22, 23) verbunden sind.

**[0033]** Fig. 2 zeigt das Zeit-Distanz-Diagramm des Meldungs-austausches nach der Norm IEEE 1588 unterteilt in Sequenzen:

- A) Meldungs-austausch nach dem peer-to-peer Echoverfahren für die Laufzeitmessung in der Richtung, woher die Sync-Meldungen kommen (zur Mutteruhr hin)
- B) Meldungs-austausch nach dem peer-to-peer Echoverfahren für die Laufzeitmessung in der Richtung, wohin die Sync-Meldungen gehen (zu den Tochteruhren hin)
- C) Übermittlung der Synchronisierungsmeldung mit Addition der Laufzeit und Verweilzeit des Zwischenknotens zum Korrekturfeld der Sync-Meldung.

**[0034]** Fig. 3 zeigt ein Histogramm der Messung der Laufzeit zwischen zwei Knoten. Es zeigt die Häufigkeit (101) des Auftretens eines Messwertes in einem bestimmten, kleinen Intervall (102). Diese Häufigkeit hat einen Mittelwert (103), 97,5 Nanosekunden in diesem Beispiel, der einen Versatz zum Eichwert (104), 100 Nanosekunden in diesem Beispiel, aufweist. Diese Häufigkeit hat eine Streuung  $\sigma$  (105), 4 Nanosekunden in diesem Beispiel. Ein Mass für die Ungenauigkeit der Uhr bestimmt man willkürlich als Vielfaches der Streuung (106), 24 Nanosekunden in diesem Beispiel.

#### GENAUE BESCHREIBUNG DER MUSTERHAFTEN UMSETZUNGEN

**[0035]** Fig. 2 zeigt den Austausch von Meldungen gemäss der Norm IEEE 1588, unter Benützung der Peer-to-Peer Laufzeitmessung und eines Einschnitt-Verfahrens zur Übermittlung der Korrektur. Die Erweiterung des Konzeptes auf ein Zwei-Schritt Verfahren zur Übermittlung der Korrektur ist offensichtlich und wurde der Einfachheit halber ausgelassen. Eine Erweiterung für Bunduhren oder gemischte transparente Uhren / Bunduhren nach der Norm IEEE 802.1 AS ist ebenfalls offensichtlich und wurde der Einfachheit halber ausgelassen.

**[0036]** Das Protokoll arbeitet wie folgt:

1. Jeder Knoten (1, 2, 3 und 4) berechnet die Laufzeit zu einem Nachbar 0] durch Senden einer Pdelay\_Req Meldung zur Zeit  $t1[i,j]$ , auf welche der Nachbar antwortet mit einer Pdelay\_Resp Meldung, welche die Verweilzeit zwischen Empfang von Pdelay\_Req und Senden von Pdelay\_Resp ( $t3[i,j]-t2[i,j]$ ) enthält, und welche zur Zeit  $t4[i,j]$  beim Knoten [i] eintrifft. Jeder Knoten [i] berechnet die Laufzeit zu seinem Nachbar [j] als:  $\lambda[i,j] = (t4[i,j]-t1[i,j])-(t3[i,j]-t2[i,j]) / 2$ , unter Annahme einer symmetrischen Laufzeit. Obwohl ein Knoten die Laufzeit auf allen seinen Ports berechnet (auch auf denjenigen Ports, die gesperrt sind) wird hier der Einfachheit halber nur die Laufzeit in Richtung Mutteruhr betrachtet (Fig. 2, A) und in Richtung Tochteruhr (Fig. 2, B). Obwohl die Norm IEEE 1588 nur eine Berechnung der Laufzeit in Richtung Mutteruhr vorsieht, gibt es andere Protokolle, die die Laufzeit in Richtung Tochteruhren benützen. Darüber hinaus ist ein Vergleich der Laufzeit bei den verschiedenen Ports hilfreich als Plausibilitätsüberwachung.
2. Die Mutteruhr (1) sendet eine Sync-Meldung, welche die genaue Zeit U enthält, zu der die Meldung die Mutteruhr verlassen hat (Fig. 2, C). Diese Sync-Meldung wandert durch die Zwischenknoten (2, 3) bis zur Tochteruhr (4). Gemäss der Norm IEEE 1588 addiert jede Transparente Uhr die Summe seiner eigenen Verweilzeit  $p[i]$  und seine Laufzeit  $A[i]$  zum Nachbar in Richtung Mutteruhr zum Korrekturfeld der Sync-Meldung, die er vom Nachbar bekommen hat. Die Tochteruhr (4) bekommt die Sync-Meldung und addiert zum Wert  $t1$  das Korrekturfeld und die Laufzeit zum ihrem Nachbar, um ihre lokale Uhr auf die genaue Zeit einzustellen.

3. Fig. 3 zeigt ein Histogramm der Laufzeitmessung in einer Uhr, nach einer Anzahl Messungen. In diesem Beispiel berechnet ein Knoten den Mittelwert als 97,5 Nanosekunden (während der wahre, durch Eichung gemessene Wert 100,0 Nanosekunden beträgt) und berechnet die Standard-Streuung als 4 Nanosekunden, wodurch der Knoten seine Ungenauigkeit auf 24 Nanosekunden oder  $\pm 12$  Nanosekunden schätzt (6 Mal die Streuung der Laufzeitmessung). Der Mittelwert ist nah am wirklichen Wert, der dem Knoten durch Eichung bekanntgegeben werden kann, um einen Versatz zu entdecken. Die Streuung gibt die Ungenauigkeit der Messung an, und, abgeleitet davon, die Ungenauigkeit der Uhr. Hier wurde eine Streuungsbreite von 3 Sigma (Drei Mal Standardabweichung) willkürlich angenommen, als Ausdruck der Ungenauigkeit, aber andere Streuungsbreiten können definiert sein. Auch ist eine symmetrische Verteilung (Gauss) nicht Voraussetzung, lognormale Verteilungen können zum Beispiel vorkommen.
4. In einer Ausführung erfasst ein Knoten das Histogramm durch eine Anzahl Zähler für jedes Laufzeitintervall, nach bekannter Art der Statistik. Die Anzahl Zähler richtet sich nach der erwarteten Grösse der Laufzeit und der angestrebten Auflösung. Um alte Werte vergessen zu lassen, wird ein Tiefpassfilter mit einer bestimmten Fensterzeit, z.B. einige Minuten, angewendet.
5. In einer anderen Ausführung berechnet der Knoten laufend die Streuung mit bekannten statistischen Algorithmen, die keine weitere Beschreibung benötigen. Zum Beispiel kann er die Allan-Streuung ermitteln, wie dies die Norm IEEE 1588:2008 §7.6.3 oder die ITU-T Empfehlung G.810 offenbart, um die Ungenauigkeit der lokalen Uhr zu schätzen. Ein Tiefpassfilter dient dazu, alte Werte nach einer bestimmten Fensterzeit z.B. einige Minuten, zu vergessen.
6. Die Ungenauigkeit wird berechnet aus dieser Streuung, Varianz oder einem anderen Mass, das mathematisch davon ableitbar ist, sowie aus zusätzlichen, bekannten Ungenauigkeiten, verursacht z.B. durch Asymmetrie, durch Einschwingverhalten des Frequenz- oder Zeitreglers der lokalen Uhr, bekannter Versatz oder durch Temperatureffekte. Die Ungenauigkeit wird in einer Kurzform dargestellt, z.B. wie dies die Norm IEC 1588:2008 §7.6.3.3 definiert, und den anderen Knoten zugänglich gemacht, insbesondere dem Unterhaltsknoten (nicht gezeigt in Fig. 1). Dazu dienen verschiedene Methoden, unter anderen:
  - Eine SNMP Meldung zu einem Verwaltungsknoten gemäss Norm IETF RFC 3410
  - Eine Signalisierungs- oder Verwaltungsmeldung gemäss Norm IEEE 1588
  - Ein eigenes TLV-feld angehängt an eine PTP Meldung, z.B. an Sync oder Announce, gemäss IEEE C37.238.

**[0037]** Das Prinzip der Messung der eigenen Ungenauigkeit durch Messung der Streuung eines Messwertes, der eigentlich kaum ändern sollte, kann erweitert werden auf Bunduhren, Protokolle mit End-zu-End Laufzeitmessung und im Allgemeinen als Eichungshilfe und Hinweis darauf, dass die Genauigkeit der Uhr sich verschlechtert oder dass Netzwerkelemente vorhanden sind, die das Protokoll nicht beachten.

**[0038]** Ein Vergleich zwischen Ports eines gleichen Knotens kann helfen, die Plausibilität zu prüfen.

**[0039]** Obwohl die Erfindung in den Zeichnungen und im Text erläutert wurde, sollen diese die Umsetzung nicht einschränken. Abweichungen der Ausführung sind Fachpersonen, welche mit den Ansprüchen, Beschreibungen und den Zeichnungen vertraut sind, ohne weiteres bekannt. In den Ansprüchen schliesst das Wort «enthält» keine anderen Elemente oder Schritte aus, und die unbestimmte Form des Singular-Artikels schliesst keine Mehrzahl aus. Die Tatsache, dass einzelne Elemente oder Schritte in verschiedenen Ansprüchen wiederholt erscheinen, schliesst keine Kombination davon aus, die vorteilhaft für die Auslegung der Erfindung erscheint und diese Kombinationen gelten damit als offenbart.

**[0040]** Schlüsselwörter: Uhrensynchronisierung, precision time protocol, IEC 61588, IEEE 1588, IEEE C37.118-1, IEEE C37.118-2, IEEE C37.238, PTP, Streuung, Varianz, Allan, deviation, variance, Zeitungenauigkeit, Uhrgenauigkeit, Präzision, peer-to-peer link delay, end-to-end link delay, Laufzeitmessung, IEC 61850, phasor measurement unit, PMU

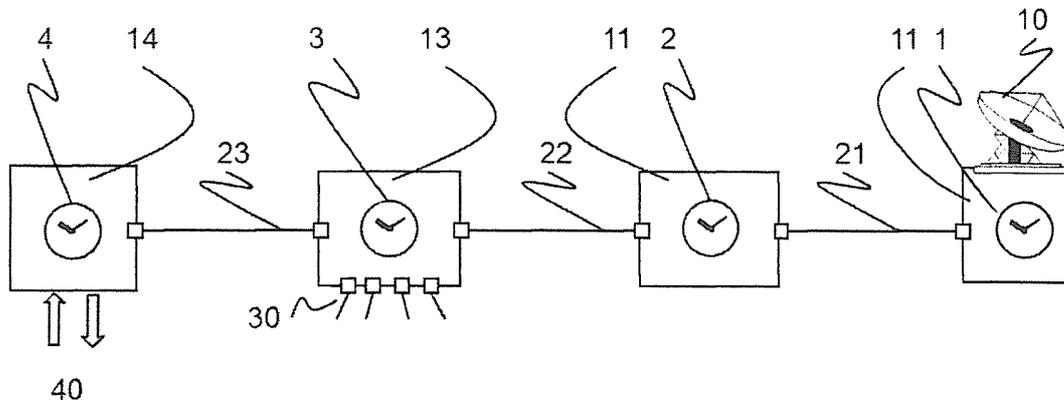
#### Patentansprüche

1. Eine Methode zur Schätzung der Ungenauigkeit, welche eine Uhr (1, 2, 3, 4) verursacht in der Kette zwischen Mutteruhr (1) und Tochteruhren (4), wobei eine Tochteruhr (4) verbunden ist mit der Mutteruhr (1) durch ein Übertragungsnetzwerk, bestehend aus einer Anzahl Zwischenknoten (2, 3), die Zwischenuhren enthalten, wobei jeder Knoten eine Verweilzeit und eine Laufzeit der Verbindung (21, 22, 23) misst und in der Zeitübertragung korrigiert, dadurch gekennzeichnet, dass:
  - Ein Knoten die Laufzeit zu mindestens einem Nachbar als statistischen Mittelwert und Streuung oder als mathematisch davon ableitbare Grössen über eine Anzahl Messungen ermittelt;
  - Ein Knoten aus dieser Streuung der Laufzeit sowie aus anderen bekannten Effekten seinen Beitrag zur Ungenauigkeit schätzt und diese Schätzung mitteilt

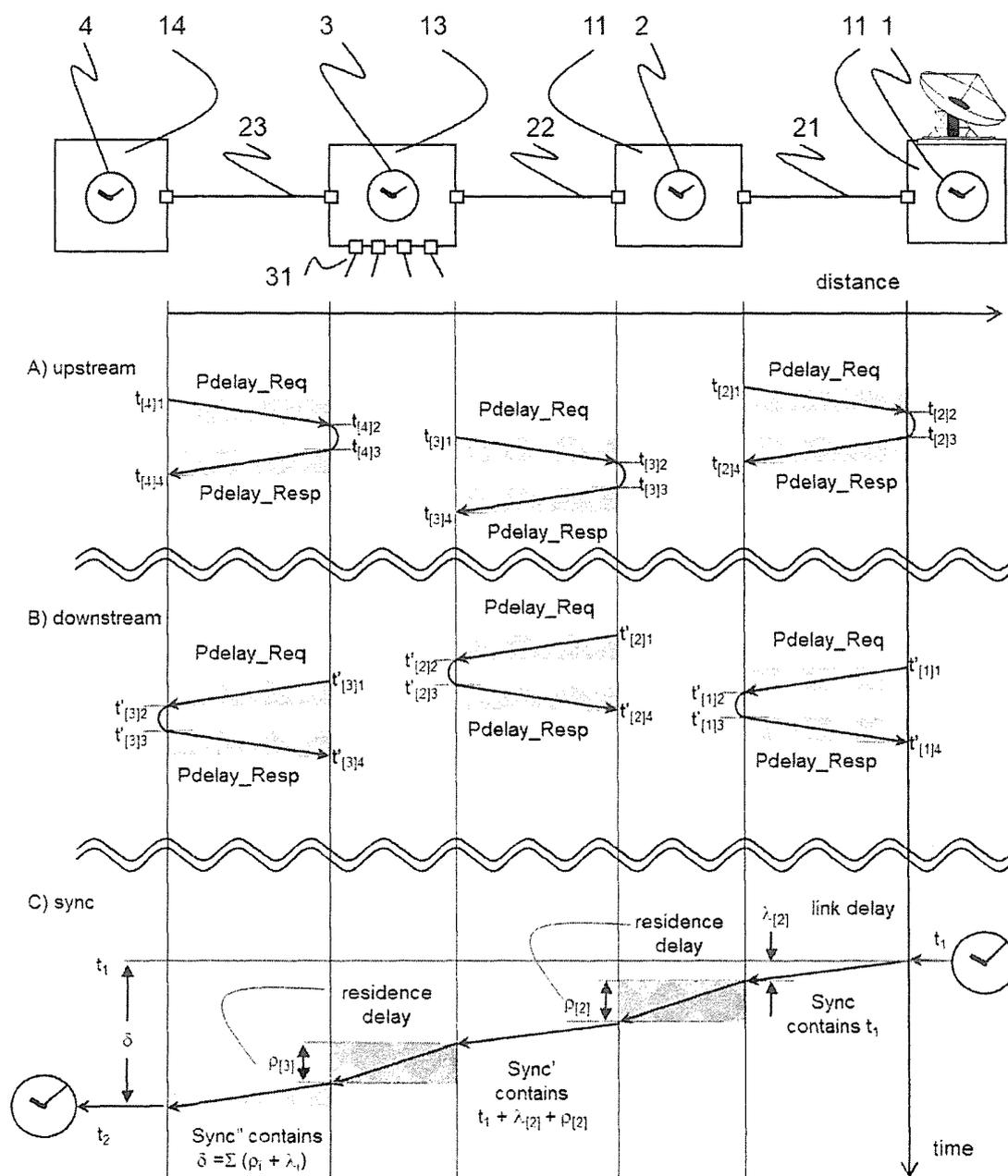
## CH 711 327 A1

- Eine Tochteruhr (4) oder ein Verwaltungsknoten daraus die gesamte Ungenauigkeit auf dem Pfad zwischen Mutteruhr und Tochteruhr schätzt;
  - Ein Endknoten die geschätzte Ungenauigkeit auf dem Pfad zu seiner Tochteruhr (4) benützt, um seine Messungen oder Befehle zu qualifizieren oder um zu signalisieren, dass die Ungenauigkeit seiner Synchronisierung zur Erfüllung der Funktion zu hoch ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei
    - die Streuung der Laufzeit oder eine andere davon ableitbare statistische Grösse durch Bilden eines Histogramms geschätzt wird.
  3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei
    - die Streuung der Laufzeit oder eine andere davon ableitbare statistische Grösse durch statistische Algorithmen wie die Allan-Streuung abgeleitet wird.
  4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, wobei
    - eine Bunduhr (Boundary Clock) ihre eigene totale Ungenauigkeit schätzt und mitteilt.
  5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, wobei
    - ein Knoten den geschätzten Wert seiner Ungenauigkeit durch eine SNMP (IETF Norm) Meldung einem Verwaltungsknoten mitteilt.
  6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, wobei
    - ein Knoten den geschätzten Wert seiner Ungenauigkeit durch eine Signalisierungs- oder Verwaltungsmeldung gemäss Norm IEEE 1588 mitteilt.
  7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, wobei
    - ein Knoten die Schätzung seiner Ungenauigkeit und der Uhren zwischen ihm und der Mutteruhr durch einen Anhang auf die Sync- oder Announce-Meldungen gemäss Norm IEEE 1588 mitteilt.
  8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, wobei
    - eine Tochteruhr auf Grund der geschätzten Ungenauigkeit signalisiert, dass die Ungenauigkeit einen im Voraus definierten Schwellenwert überstiegen hat.
  9. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, wobei
    - ein Endknoten seine Messungen auf Grund der geschätzten Ungenauigkeit seiner Tochteruhr qualifiziert, und diese Qualifikation mit dem Messwert mitteilt.
  10. Verfahren nach Anspruch 1 bis 8, wobei
    - eine Tochteruhr die Laufzeit mittels End-zu-End Messung gemäss Norm IEEE 1588 schätzt.

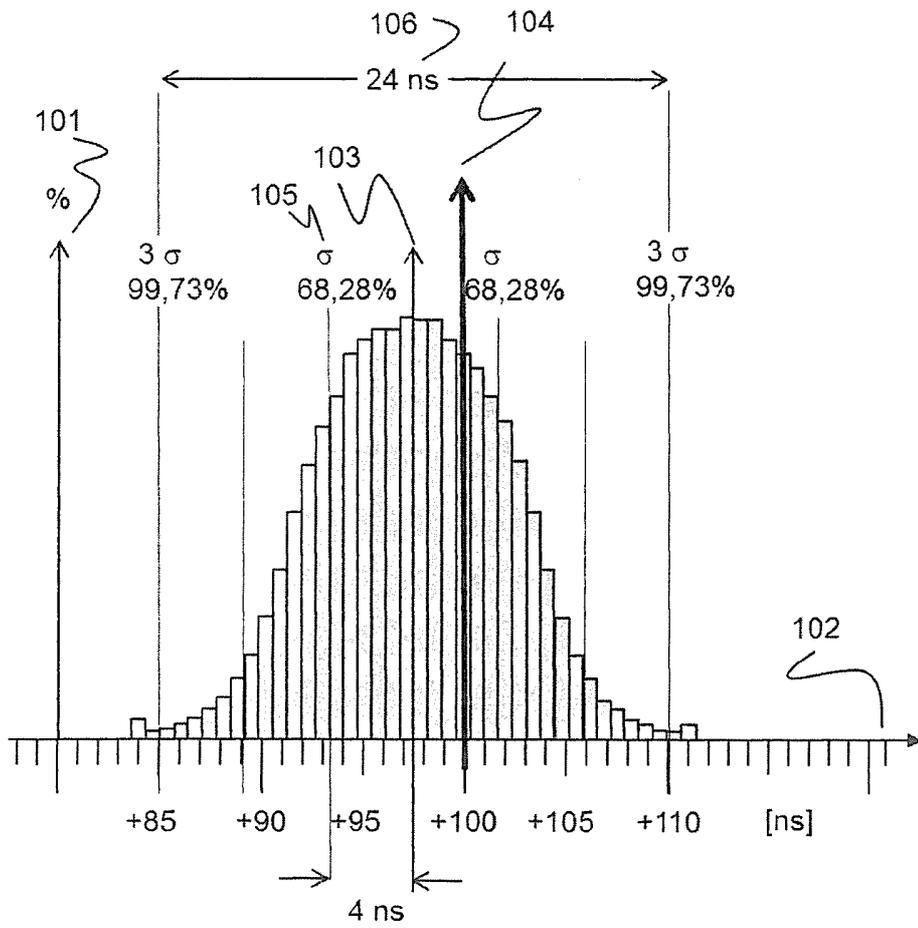
ZEICHNUNGEN



Figur 1 – Synchronisierungskette zwischen einem Knoten mit Mutteruhr (1) über Zwischenknoten mit transparenter Uhr (2, 3) und einem Endknoten mit Tochteruhr (4) mit Ein- und Ausgabe zur geleitete Anlage (40)



Figur 2 – Meldungsaustausch im IEEE 1588 Protokoll für eine peer-to-peer Messung der Laufzeit mit Übermittlung der Korrektur im Einschritt-Verfahren



Figur 3 – Beispiel eines Histogramms oder Verteilung einer Laufzeitmessung.

**RECHERCHENBERICHT ZUR  
SCHWEIZERISCHEN PATENTANMELDUNG**

Anmeldenummer: CH01019/15

**Klassifikation der Anmeldung (IPC):**  
**G04R20/00, G04G7/00, H04L7/00****Recherchierte Sachgebiete (IPC):**  
G04G, G04R, H04L**EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE:**

(Referenz des Dokuments, Kategorie, betroffene Ansprüche, Angabe der massgeblichen Teile(\*))

- 1 [Online] Epoque, EPODOC / EPO, JP-17599897-A, JPH1127269 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 29.01.1999  
 Kategorie: **X**                      Ansprüche: **1, 8, 9**  
 \* [0007]; [0017]; [0019]; [0025] \*  
 Kategorie: **A**                      Ansprüche: **3**  
 & JPH1127269 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 29.01.1999
- 2 EP2434674 A1 (SIEMENS AG [DE]) 28.03.2012  
 Kategorie: **A**                      Ansprüche: **1, 3, 6, 7**  
 \* [0002]; [0003]; [0004] \*
- 3 DE102007037092 A1 (AGILENT TECHNOLOGIES INC [US]) 21.02.2008  
 Kategorie: **A**                      Ansprüche: **1, 3**  
 \* [0029]; [0030] \*
- 4 [Online] Epoque, EPODOC / EPO, JP-11401197-A, JP3481821B B2 (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 22.12.2003  
 Kategorie: **A**                      Ansprüche: **1, 3**  
 \* [0001]; Anspruch 1 \*  
 & JP3481821B B2 (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 22.12.2003

**KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE:**

|    |  |    |   |
|----|--|----|---|
| X: | stellen für sich alleine genommen die Neuheit und/oder die erfinderische Tätigkeit in Frage                              | D: | wurden vom Anmelder in der Anmeldung angeführt  |
| Y: | stellen in Kombination mit einem Dokument der selben Kategorie die erfinderische Tätigkeit in Frage                      | T: | der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze  |
| A: | definieren den allgemeinen Stand der Technik ohne besondere Relevanz bezüglich Neuheit und erfinderischer Tätigkeit      | E: | Patentdokumente, deren Anmelde- oder Prioritätsdatum vor dem Anmeldedatum der recherchierten Anmeldung liegt, die aber erst nach diesem Datum veröffentlicht wurden |
| O: | nichtschriftliche Offenbarung  | L: | aus anderen Gründen angeführte Dokumente  |
| P: | wurden zwischen dem Anmeldedatum der recherchierten Patentanmeldung und dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht | &: | Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument   |

Die Recherche basiert auf der ursprünglich eingereichten Fassung der Patentansprüche. Eine nachträglich eingereichte Neufassung geänderter Patentansprüche (Art. 51, Abs. 2 PatV) wird nicht berücksichtigt.

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt, für die die erforderlichen Gebühren bezahlt wurden.

**Rechercheur:** Michael Freunek  
**Recherchebehörde, Ort:** Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum, Bern  
**Abschlussdatum der Recherche:** 05.11.2015

**FAMILIENTABELLE DER ZITIERTEN PATENTDOKUMENTE**

Die Familienmitglieder sind gemäss der Datenbank des Europäischen Patentamtes aufgeführt. Das Europäische Patentamt und das Institut für Geistiges Eigentum übernehmen keine Garantie für die Daten. Diese dienen lediglich der zusätzlichen Information.

CH 711 327 A1

|                          |            |                   |            |
|--------------------------|------------|-------------------|------------|
| <b>JPH1127269 A</b>      | 29.01.1999 | JPH1127269 A      | 29.01.1999 |
|                          |            | JP3615357 B2      | 02.02.2005 |
| <b>EP2434674 A1</b>      | 28.03.2012 | EP2434674 A1      | 28.03.2012 |
|                          |            | EP2434674 B1      | 30.10.2013 |
|                          |            | CN103141039 A     | 05.06.2013 |
|                          |            | US2013182806 A1   | 18.07.2013 |
|                          |            | WO2012038234 A1   | 29.03.2012 |
| <b>DE102007037092 A1</b> | 21.02.2008 | DE102007037092 A1 | 21.02.2008 |
|                          |            | US2008031283 A1   | 07.02.2008 |
| <b>JP3481821B B2</b>     | 22.12.2003 | JPH10303987 A     | 13.11.1998 |
|                          |            | JP3481821 B2      | 22.12.2003 |