

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50905/2014 (51) Int. Cl.: **H04B 7/185** (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 15.12.2014 **H04W 56/00** (2009.01)  
(45) Veröffentlicht am: 15.03.2020 **G01S 19/23** (2010.01)

(30) Priorität:  
13.12.2013 US 61/915,918 beansprucht.

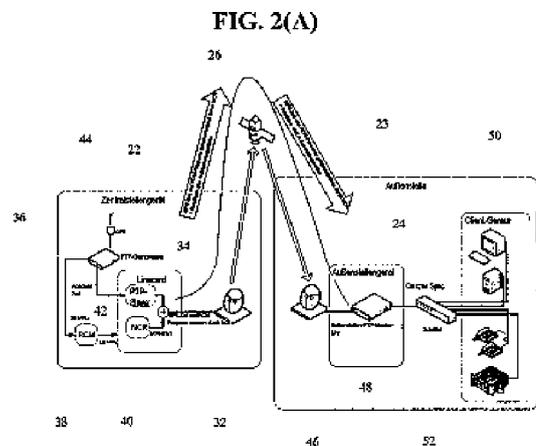
(73) Patentinhaber:  
VT IDIRECT, INC.  
20171 Herndon (US)

(56) Entgegenhaltungen:  
US 2003147426 A1  
US 2004136352 A1  
US 7116894 B1  
EP 2139168 A1  
US 2010034136 A1

(74) Vertreter:  
SONN & PARTNER Patentanwälte  
1010 Wien (AT)

(54) **Zeitsynchronisation in einem Satellitennetzwerk**

(57) Ein Außenstellengerät enthält einen Außenstellen-Uhrensynchronisierer mit einer verhältnismäßig geringen Präzision, einen Empfänger, der Zeitpakete empfängt, die periodisch vom Zentralstellengerät aus über den Satellit übertragen werden, wobei jedes Zeitpaket einen Zentralstellen-Echtzeituhr(RTC)-Wert und einen Zentralstellen-Netzwerkzeitreferenz(NCR)-Wert aufweist, einen Außenstellen-RTC-Zähler, der einen Außenstellen-RTC-Wert an der Außenstelle darstellt, einen Außenstellen-NCR-Zähler, der einen Außenstellen-NCR-Wert an der Außenstelle darstellt, und Verarbeitungsschaltungen, die den Zentralstellen-RTC-Wert und den Zentralstellen-NCR-Wert aus einem aktuellen Zeitpaket extrahieren, Inhalte des aktuellen Zeitpakets mit Inhalten eines zuvor empfangenen Zeitpakets vergleichen und den Außenstellen-RTC-Zähler auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs anpassen, um den Außenstellen-RTC-Wert an der Außenstelle mit dem Zentralstellen-RTC-Wert zu synchronisieren.



## Beschreibung

### ZEITSYNCHRONISATION IN EINEM SATELLITENNETZWERK

#### PRIORITÄTSINFORMATION

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht das Prioritätsvorrecht unter 35 U.S.C. §119(e) auf die US-Anmeldung Nr. 61,915,918, eingereicht am 13. Dezember 2013, die in ihrer Gesamtheit hierdurch durch Bezugnahme einbezogen ist.

#### STAND DER TECHNIK

**[0002]** Die Offenbarung betrifft im Allgemeinen die Satellitenkommunikation und insbesondere eine Vorrichtung sowie ein Verfahren für die Zeitsynchronisation in einem Satellitennetzwerk.

**[0003]** Bei der normalen Kommunikation in einem Satellitennetzwerk, wird die Synchronisation auf Basis einer Netzwerkuhrreferenz (network clock reference) (NCR) verwendet (wie sie in DVB-RCS/RCS2 beschrieben ist). Anwendungen, die Außenstellengeräte einsetzen, die innerhalb des Satellitennetzwerks kommunizieren, erfordern jedoch manchmal ein äußerst genaue Zeit- und Frequenzsynchronisation. Wenn eine Anwendung eine äußerst genaue Zeit- und Frequenzsynchronisation erfordert, dann setzt die Anwendung, die ein Außenstellengerät in einem Satellitennetzwerk verwendet, herkömmlicherweise einen individuellen GPS-Empfänger ein, um Zeit und Frequenz auf eine gemeinsame Master-Uhr (common master clock) zu synchronisieren (z.B. zelluläres Backhaul oder industrielle Automatisierung). Oftmals benötigen viele Anwendungen, die viele Außenstellengeräte einsetzen, jedoch eine äußerst genaue Zeit- und Frequenzsynchronisation innerhalb eines Satellitennetzwerks. Wenn Anwendungen an verschiedene Außenstellengeräte innerhalb eines herkömmlichen Satellitennetzwerks gekoppelt sind, dann kann demzufolge jede Anwendung einen individuellen GPS-Empfänger erfordern, um Zeit und Frequenz zu synchronisieren.

#### KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0004]** Gemäß einigen Ausführungsformen ist ein Zentralstellengerät (hub device) zum Ausführen der Zeitsynchronisation in einem Satellitennetzwerk vorgesehen, wobei das Satellitennetzwerk das Zentralstellengerät, ein Außenstellengerät und einen Satelliten aufweist, wobei im Zentralstellengerät enthalten sind: ein Zentralstellen-Echtzeituhr (real time clock, RTC)-Zähler, der auf eine Master-Uhr zeitsynchronisiert ist; ein Zentralstellen-Netzwerkuhrreferenz(network clock reference, NCR)-Zähler, der kontinuierlich durch einen Zentralstellen-Uhrenoszillator mit einer verhältnismäßig hohen Präzision angesteuert wird; Verarbeitungsschaltungen, die periodisch ein Zeitpaket erzeugen, wobei das Zeitpaket einen Zentralstellen-RTC-Wert des Zentralstellen-RTC-Zählers und einen Zentralstellen-NCR-Wert des Zentralstellen-NCR-Zählers enthält; und ein Sender, der das erzeugte Zeitpaket über den Satellit dem Außenstellengerät übermittelt, um einen Außenstellen-RTC-Zähler mit dem Zentralstellen-RTC-Zähler auf Basis des Zentralstellen-RTC-Wertes und des Zentralstellen-NCR-Wertes in dem erzeugten Zeitpaket zu synchronisieren.

**[0005]** Gemäß einigen Ausführungsformen extrahiert das Außenstellengerät den Zentralstellen-RTC-Wert und den Zentralstellen-NCR-Wert aus dem übermittelten Zeitpaket, vergleicht Inhalte des übermittelten Zeitpakets mit Inhalten von zuvor übermittelten Zeitpaketen und passt den Außenstellen-RTC-Zähler auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs an, um den Außenstellen-RTC-Wert an der Außenstelle mit dem Zentralstellen-RTC-Wert zu synchronisieren.

**[0006]** Gemäß einigen Ausführungsformen werden der Außenstellen-RTC-Zähler und der Außenstellen-NCR-Zähler jeweils durch Uhrensignale angesteuert, die aus ein und demselben Außenstellen-Uhrenoszillator abgeleitet sind, der eine verhältnismäßig geringe Präzision aufweist, und das Außenstellengerät synchronisiert den Außenstellen-RTC-Zähler mit dem Zentralstellen-RTC-Zähler, um den Außenstellen-RTC-Zähler mit Hinblick auf Schwankungen in den

ansteuernden Uhrensinalen zu korrigieren, die aus dem Außenstellen-Uhrensoszillator abgeleitet sind, der eine verhältnismäßig geringe Präzision aufweist.

**[0007]** Gemäß einigen Ausführungsformen berechnet das Außenstellengerät einen Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert, der eine Differenz zwischen dem Zentralstellen-NCR-Wert eines gerade übertragenen Zeitpakets und dem Zentralstellen-NCR-Wert eines zuvor übertragenen Zeitpakets ist, es berechnet eine Anpassungszeit, wobei die Anpassungszeit ein Anteil einer Differenz zwischen einem Außenstellen-Perioden-NCR-Wert und dem Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert ist, und es passt den Außenstellen-RTC-Zähler mithilfe der Anpassungszeit an.

**[0008]** Gemäß einigen Ausführungsformen wird der Zentralstellen-RTC-Zähler gemäß einem Präzisionszeitprotokoll (precision time protocol, PTP) mit der Master-Uhr zeitsynchronisiert, der Zentralstellen-RTC-Zähler führt eine Funktion einer PTP-Slave-Uhr aus, und die Master-Uhr führt eine Funktion einer PTP-Grandmaster-Uhr aus.

**[0009]** Gemäß einigen Ausführungsformen weist das Zentralstellengerät ferner eine Linecard auf, die den RTC-Zähler, den NCR-Zähler und den Sender enthält.

**[0010]** Gemäß einigen Ausführungsformen erzeugen die Verarbeitungsschaltungen ferner einen Basisband-Frame (BBFRAME) und verkapseln das Zeitpaket in den Basisband-Frame, und

**[0011]** der Sender überträgt das Zeitpaket innerhalb des BBFRAME an das Außenstellengerät.

**[0012]** Gemäß einigen Ausführungsformen ist ein Außenstellengerät vorgesehen, das eine Zeitsynchronisation mit einem Zentralstellengerät in einem Satellitennetzwerk ausführt, wobei das Satellitennetzwerk das Außenstellengerät, das Zentralstellengerät und einen Satelliten aufweist, wobei das Außenstellengerät enthält: einen Außenstellen-Uhrensoszillator mit einer verhältnismäßig geringen Präzision; einen Empfänger, der Zeitpakete empfängt, die periodisch vom Zentralstellengerät aus über den Satellit übertragen werden, wobei jedes Zeitpaket einen Zentralstellen-Echtzeituhr(RTC)-Wert und einen Zentralstellen-Netzwerkuhrreferenz(NCR)-Wert enthält, wobei der Zentralstellen-RTC-Wert einen Wert eines Zentralstellen-RTC-Zählers in der Zentralstelle zu einem Zeitpunkt darstellt, in dem das Zeitpaket dem Außenstellengerät übermittelt wurde, wobei der Zentralstellen-NCR-Wert einen Wert eines Zentralstellen-NCR-Zählers in der Zentralstelle zu einem Zeitpunkt darstellt, in dem das Zeitpaket dem Außenstellengerät übermittelt wurde, und wobei der Zentralstellen-NCR-Zähler kontinuierlich durch einen Zentralstellen-Oszillator angesteuert wird, der eine verhältnismäßig hohe Präzision aufweist; einen Außenstellen-RTC-Zähler, der einen Außenstellen-RTC-Wert an der Außenstelle darstellt; einen Außenstellen-NCR-Zähler, der einen Außenstellen-NCR-Wert an der Außenstelle darstellt, wobei der Außenstellen-RTC-Zähler und der Außenstellen-NCR-Zähler jeweils durch Uhrensinalen angesteuert werden, die aus dem Außenstellen-Uhrensoszillator abgeleitet sind; und Verarbeitungsschaltungen.

**[0013]** Gemäß einigen Ausführungsformen extrahieren die Verarbeitungsschaltungen den Zentralstellen-RTC-Wert und den Zentralstellen-NCR-Wert aus einem aktuellen Zeitpaket, vergleichen die Inhalte des aktuellen Zeitpakets mit Inhalten eines zuvor empfangenen Zeitpakets und passen den Außenstellen-RTC-Zähler auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs an, um den Außenstellen-RTC-Wert an der Außenstelle mit dem Zentralstellen-RTC-Wert zu synchronisieren.

**[0014]** Gemäß einigen Ausführungsformen berechnen die Verarbeitungsschaltungen ferner eine Inkrementperiode für den Außenstellen-RTC-Zähler auf Basis der Uhrensinalen, die aus dem Außenstellen-Uhrensoszillator abgeleitet sind, und erhöhen in jeder Inkrementperiode den Außenstellen-RTC-Zähler.

**[0015]** Gemäß einigen Ausführungsformen führen die Verarbeitungsschaltungen eine Zwischenspeicherung des Außenstellen-NCR-Wertes des Außenstellen-NCR-Zählers und des Außenstellen-RTC-Wertes des Außenstellen-RTC-Zählers aus, wenn der Empfänger das aktuelle Zeitpaket empfängt.

**[0016]** Gemäß einigen Ausführungsformen wird von den Verarbeitungsschaltungen ferner ein Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert berechnet, wobei der Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert eine Differenz zwischen einem aktuellen Zentralstellen-NCR-Wert eines gerade empfangenen Zeitpakets und einem vorausgehenden Zentralstellen-NCR-Wert eines zuvor empfangenen Zeitpakets ist, es wird ein Außenstellen-Perioden-NCR-Wert berechnet, wobei der Außenstellen-Perioden-NCR-Wert eine Differenz zwischen einem aktuellen Außenstellen-NCR-Zählerwert, wenn der Empfänger das gerade erhaltene Zeitpaket empfängt, und einem vorausgehenden Außenstellen-NCR-Wert ist, wenn der Empfänger das zuvor erhaltene Zeitpaket empfangen hat, es wird eine Anpassungszeit berechnet, wobei die Anpassungszeit ein Anteil einer Differenz zwischen dem Außenstellen-Perioden-NCR-Wert und dem Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert ist, und es wird der Außenstellen-RTC-Zähler mithilfe der Anpassungszeit angepasst.

**[0017]** Gemäß einigen Ausführungsformen setzen die Verarbeitungsschaltungen den Außenstellen-RTC-Zähler auf den Zentralstellen-RTC-Wert, wenn eine Differenz zwischen dem Außenstellen-RTC-Zähler und dem Zentralstellen-RTC-Wert größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist.

**[0018]** Gemäß einigen Ausführungsformen wird von den Verarbeitungsschaltungen ferner

**[0019]** ein Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert berechnet, wobei der Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert eine Differenz zwischen einem aktuellen Zentralstellen-NCR-Wert eines gerade empfangenen Zeitpakets und einem vorausgehenden Zentralstellen-NCR-Wert eines zuvor empfangenen Zeitpakets ist, es wird ein Außenstellen-Perioden-NCR-Wert berechnet, wobei der Außenstellen-Perioden-NCR-Wert eine Differenz zwischen einem aktuellen Außenstellen-NCR-Zählerwert, wenn der Empfänger das gerade erhaltene Zeitpaket empfängt, und einem vorausgehenden Außenstellen-NCR-Wert ist, wenn der Empfänger das zuvor erhaltene Zeitpaket empfangen hat, es wird eine angepasste Uhrenfrequenz  $F_{\text{sys}}$  für den Außenstellen-Uhrenoszillator berechnet mit

$$F_{\text{sys}} = (\text{Außenstellen-Perioden-NCR-Wert} / \text{Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert}) * F_{\text{nenn}}$$

**[0020]**  $F_{\text{nenn}}$  ist eine bekannte konstante Frequenz, und die Inkrementperiode ist umgekehrt proportional zu  $F_{\text{sys}}$ .

**[0021]** Gemäß einigen Ausführungsformen enthält das Außenstellengerät ferner einen Schalter, wobei ein Client-Gerät über den Schalter mit dem Außenstellengerät verbunden wird und das Client-Gerät eine Client-Zeit-Uhr mit dem Außenstellen-RTC-Zähler synchronisiert.

**[0022]** Gemäß einigen Ausführungsformen wird der Außenstellen-RTC-Zähler mit dem Zentralstellen-RTC-Zähler des Zentralstellengeräts gemäß einem Präzisionszeitprotokoll (PTP) zeit-synchronisiert, der Außenstellen-RTC-Zähler führt eine Funktion einer PTP-Master-Uhr aus, und der Zentralstellen-RTC-Zähler führt eine Funktion einer PTP-Uhr aus.

**[0023]** Gemäß einigen Ausführungsformen enthält das Außenstellengerät ferner einen Schalter (switch), wobei ein Client-Gerät über den Schalter mit dem Außenstellengerät verbunden wird und das Client-Gerät eine Client-PTP-Slave-Uhr mit der PTP-Master-Uhr synchronisiert.

**[0024]** Gemäß einigen Ausführungsformen berechnen die Verarbeitungsschaltungen ferner die Anpassungszeit entsprechend der folgenden Gleichung:  $(\text{Außenstellen-Perioden-NCR-Wert} - \text{Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert}) / R$ , wobei  $R$  ein Verhältnis zwischen der Frequenz  $F_{\text{sys}}$  und einer Frequenz von Uhrensinalen ist, die dem Außenstellen-RTC-Zähler zugeführt werden.

**[0025]** Gemäß einigen Ausführungsformen weist das Außenstellengerät ferner eine Linecard auf, die den Außenstellen-RTC-Zähler, den Außenstellen-NCR-Zähler und den Empfänger enthält.

**[0026]** Gemäß einigen Ausführungsformen weist das Außenstellengerät ferner eine Antenne auf, wobei der Empfänger der Linecard das Zeitpaket über die Antenne empfängt.

**[0027]** Gemäß einigen Ausführungsformen wird ein System für die Zeitsynchronisation in einem

Satellitennetzwerk geschaffen, wobei das System aufweist: ein Zentralstellengerät, das einen Zentralstellen- Echtzeituhr(RTC)-Zähler enthält, der mit einer Master-Uhr zeitsynchronisiert ist; einen Zentralstellen-Netzwerkuhrreferenz(NCR)-Zähler, der kontinuierlich durch einen Zentralstellen-Uhrenoszillator angesteuert wird, der eine verhältnismäßig hohe Präzision aufweist; Verarbeitungsschaltungen, die periodisch ein Zeitpaket erzeugen, wobei das Zeitpaket einen Zentralstellen-RTC-Wert des Zentralstellen-RTC-Zählers und einen Zentralstellen-NCR-Wert des Zentralstellen-NCR-Zählers enthält; und einen Sender, der das erzeugte Zeitpaket über einen Satellit einem Außenstellengerät übermittelt. Das System weist ferner auf: das Außenstellengerät, das einen Außenstellen-Uhrenoszillator mit einer verhältnismäßig geringen Präzision enthält; einen Empfänger, der die periodische erzeugten Zeitpakete aus dem Zentralstellengerät über den Satellit empfängt; einen Außenstellen-RTC-Zähler, der an der Außenstelle einen Außenstellen-RTC-Wert darstellt; einen Außenstellen-NCR-Zähler, der an der Außenstelle einen Außenstellen-NCR-Wert darstellt, wobei der Außenstellen-RTC-Zähler und der Außenstellen-NCR-Zähler jeweils durch Uhrensignale angesteuert werden, die aus dem Außenstellen-Uhrenoszillator abgeleitet sind; und Verarbeitungsschaltungen, die den Zentralstellen-RTC-Wert und den Zentralstellen-NCR-Wert aus einem aktuellen Zeitpaket extrahieren, das vom Empfänger empfangen wurde, Inhalte des aktuellen Zeitpakets mit Inhalten eines zuvor empfangenen Zeitpakets vergleichen und den Außenstellen-RTC-Zähler auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs anpassen, um den Außenstellen-RTC-Wert an der Außenstelle mit dem Zentralstellen-RTC-Wert zu synchronisieren.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0028]** Eine umfassendere Wertung der vorliegenden Verbesserungen und vieler der damit verbundenen Vorteile wird einfach zu erreichen sein, weil dieselben durch Bezugnahme auf die nachfolgende ausführliche Beschreibung besser zu verstehen sein werden, wenn sie in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen betrachtet werden. Die beigefügten Zeichnungen und deren Abbildungsbeispiele schränken jedoch den Umfang der vorliegenden Verbesserungen, die durch die Beschreibung erfasst werden, in keiner Weise ein. Der Umfang der vorliegenden Verbesserungen, die durch die Beschreibung und die Zeichnungen erfasst werden, wird durch den Wortlaut der beigefügten Ansprüche festgelegt.

- [0029]** FIG. 1 stellt ein Beispiel für ein Satellitennetzwerk dar.
- [0030]** FIG. 2(A) stellt ein Beispiel einer Zeitsynchronisationstopologie für eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung zu einem externen PTP-Grandmaster in einer Einweg-Satellitenkommunikationsverbindung dar.
- [0031]** FIG. 2(B) stellt ein Beispiel einer Zeitsynchronisationstopologie für einen Punkt-zu-Punkt-Anschluss an einen externen PTP-Grandmaster in einer Zweiweg-Satellitenkommunikationsverbindung dar.
- [0032]** FIG. 2(C) stellt ein Beispiel für eine Zeitsynchronisationstopologie dar, die einen Netzwerkanschluss an einen externen PTP-Grandmaster enthält.
- [0033]** FIG. 3(A) stellt ein Beispiel für ein Zeitpaket dar.
- [0034]** FIG. 3(B) stellt ein Beispiel für einen Basisband-Frame dar, der ein NCR-Paket und ein Zeitpaket enthält.
- [0035]** FIG. 4 stellt ein Prozessbeispiel für eine Zeitsynchronisation dar, die durch ein Zentralstellengerät in einem Satellitennetzwerk ausgeführt wird.
- [0036]** FIG. 5 stellt ein Prozessbeispiel für eine Zeitsynchronisation dar, die durch ein Außenstellengerät in einem Satellitennetzwerk ausgeführt wird.
- [0037]** FIG. 6 stellt ein Ablaufdiagramm dar, das den Prozess für die Zeitsynchronisierung von FIG. 5 enthält, die durch das Außenstellengerät ausgeführt wird.
- [0038]** FIG. 7 stellt ein Beispiel für die Erzeugung eines Zeitpakets in einem Zentralstellengerät dar.

- [0039] Fig. 8 stellt ein PTP-Gestaltungsbeispiel in einer Geräte-Linecard oder einem Außenstellengerät dar.
- [0040] FIG. 9 stellt Verbindungsbeispiele zwischen einer RTC und einer NCR dar.
- [0041] FIG. 10(a) stellt Beispiele für Zeitverzögerungsdaten zwischen dem Zentralstellen- und dem Außenstellengerät ohne Zeitanpassung dar.
- [0042] FIG. 10(b) stellt Beispiele für Zeitverzögerungsdaten zwischen dem Zentralstellen- und dem Außenstellengerät mit Zeitanpassung dar.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0043] Es wird nun auf die Zeichnungen Bezug genommen, in denen gleiche Bezugsziffern über die verschiedenen Ansichten hinweg identische oder entsprechende Teile kennzeichnen.

[0044] Ein Satellitenkommunikationsnetzwerk kann eine Zeiteilungs-Mehrfachzugriffs(time division multiple access, TDMA)-Topologie verwenden. In dieser Anordnung gibt es ein Zentralstellengerät (d.h. eine "Zentralstation") und ein oder mehrere Außenstellengeräte. Jedes von dem einen oder den mehreren Außenstellengeräten kann über einen Satellit in einer Erdumlaufbahn Nachrichten auf das oder von dem Zentralstellengerät übertragen.

[0045] Ein in einer derartigen Topologie eingerichtetes Satellitennetzwerk kann mehrere kontinuierliche Trägersignale aufweisen, die von der Zentralstelle aus auf den Satelliten übertragen werden. Der Satellit wiederholt das Trägersignal zum Empfang durch die Gesamtheit der Außenstellengeräte. Ein Zentralstellengerät kann mehrere derartige Träger unterstützen, aber ein gegebenes Außenstellengerät kann nur eine Untermenge (z.B. ein oder zwei) derartiger Träger abhören. Übertragungen von dem Zentralstellengerät aus zu den Außenstellengeräten hin werden als "abgehend" bezeichnet, und Übertragungen von den Außenstellengeräten aus zum Zentralstellengerät hin werden als "eingehend" bezeichnet.

[0046] FIG. 1 stellt ein Ausführungsbeispiel eines Satellitennetzwerks dar. Das Satellitennetzwerk 10 enthält ein Zentralstellengerät 12, einen Satellit 14 und Außenstellengeräte 16 und 18. Das Zentralstellengerät 12 und die Außenstellengeräte 16 und 18 können jeweils geografisch durch große Abstände voneinander getrennt sein. Es kann ein TDMA-Plan realisiert werden, um eine Auswahl von Trägern mit unterschiedlichen verkehrstragenden Leistungsmerkmalen (z.B. unterschiedliche Signalcodierungen, Signalstärke, Signalfrequenzen usw.) und Schutzstufen gegen ungünstige Kanalbedingungen zu liefern. Die Kenngrößen dieses Plans können vom Zentralstellengerät 12 aus zu den Außenstellengeräten 16 und 18 hin als Steuerungsinformationen abgestrahlt werden.

[0047] Die Außenstellengeräte 16 und 18 können ihren momentanen Bedarf an Übertragungskapazität bestimmen und diesen dem Zentralstellengerät 12 mitteilen. Das Zentralstellengerät 12 seinerseits bewilligt den Außenstellengeräten 16 und 18 eine derartige Kapazität. Beispielsweise wird das Intervall gewöhnlich als ein TDMA-Frame bezeichnet. Das für diesen Vorgang verwendete Verfahren berücksichtigt Unterschiede im Verkehr oder Benutzerprioritäten, Fairnessregeln und viele andere Kriterien.

[0048] Das Zentralstellengerät 12 kann eine Antenne aufweisen, um mit den Außenstellengeräten 16 und 18 auf einem Übertragungskanal über den Satellit 14 zu kommunizieren. Gemäß einigen Ausführungsformen kann das Zentralstellengerät 12 den Zustand des Übertragungskanals von jedem Außenstellengerät aus beurteilen, indem eine Qualität von empfangenen Signalen überwacht und die Ergebnisse verarbeitet werden. Ferner kann das Zentralstellengerät 12 geeignete Übertragungsparameter bestimmen. Das Zentralstellengerät 12 kann sich auf kurzzeitige Schwankungen im Kapazitätsbedarf und in den Kanalzuständen von einzelnen Außenstellengeräten einstellen, indem den Außenstellengeräten 16 und 18 Zeitschlitze auf den Trägern zugewiesen werden, die Eigenschaften aufweisen, welche mit ihren augenblicklichen Anforderungen und Fähigkeiten im Einklang sind.

**[0049]** Das Zentralstellengerät 12 kann auch ein Modem enthalten, um analoge Signale in digitale Signale umzuwandeln und um digitale Daten in analoge Signale umzuwandeln. Die analogen Signale werden zum Satelliten 14 hin gesendet und von ihm aus empfangen. Das Modem kann in eine andere Hardware integriert sein, und Sende- und Empfangsfunktionen des Modems können auf getrennte funktionelle Blöcke aufgeteilt sein.

**[0050]** In einem längeren Zeitraum kann das Zentralstellengerät 12 den Trägerplan periodisch anpassen, um den Zuständen zu entsprechen, die über den Gesamtbestand an Außenstellengeräten hinweg betrachtet vorherrschen. Diese Anpassungen können ausgeführt werden, um die beste statistische Gesamtanpassung zwischen der Kapazität, die von den Außenstellengeräten angefordert wird, und der Kapazität sowie der Schutzstufe, die vom Satellitennetzwerk angeboten werden, zu gewährleisten. Eine Fehlanpassung zwischen den angebotenen und den geforderten Typen von Kapazität und Schutzstufen kann zu einer ineffizienten Verwendung der verfügbaren Bandbreite führen.

**[0051]** Ein Beispiel für eine Fehlanpassung schließt ein, dass der Kapazitätsumfang, der bei bestimmten Schutzstufen verfügbar ist, größer als erforderlich ist. In einem derartigen Fall kann es vorkommen, dass das Satellitennetzwerk 10 nicht in der Lage ist, von der Überschusskapazität Gebrauch zu machen. Deshalb kann unter diesen Umständen eine gewisse Kapazität vergebend werden. Ein weiteres Beispiel für eine Fehlanpassung schließt ein, dass der Kapazitätsumfang, der mit bestimmten Schutzstufen verfügbar ist, kleiner als erforderlich ist. In diesem Fall können nicht alle Anforderungen erfüllt werden. Deshalb können unter diesen Umständen einige Außenstellengeräte eine Abnahme der Dienstgüte erfahren.

**[0052]** Ein anpassungsfähiges TDMA-System kann auch eine Anzahl von Sätzen von vorher festgelegten Trägerfrequenzplänen einschließen. Jeder Satz kann eine Anzahl von individuellen Trägerplänen enthalten. Die Sätze und ihre konstituierenden Pläne können periodisch bewertet werden, um die beste Auswahl zu bestimmen. Jeder Satz von Trägerplänen kann für eine spezielle Zusammensetzung eines Gesamtbestandes an Außenstellengeräten derart optimiert werden, dass jeder Satz für eine gegebene Annahme über die Anzahl von aktiven Außenstellengeräten unterschiedlicher Typen und mit unterschiedlichen technischen Kenngrößen ausgebildet ist. Alternativ kann jeder Satz eine Anzahl individueller Trägerpläne enthalten, wobei jeder Trägerplan für spezielle großmaßstäbliche Kanalzustände unter der gegebenen Annahme über den Endgerätgesamtbestand optimiert ist, die den Satz festlegt, zu dem der Plan gehört.

**[0053]** Ferner kann eine Bestimmung des besten Trägerplans zur jederzeitigen Verwendung in zwei Stufen ausgeführt werden. In einer ersten Stufe wird der beste Satz von Trägerplänen auf Basis der Zusammensetzung des Endgerätgesamtbestandes ausgewählt. In einer zweiten Stufe wird das beste Element des Satzes auf Basis tatsächlicher Nutzungsmuster und vorherrschender Verbindungszustände ausgewählt.

**[0054]** Die Bandbreiteneffizienz kann erhöht werden, indem das Paketüberfluten in der L2-Kommunikation von Nachrichten verringert wird, die zwischen dem Zentralstellengerät und den Außenstellengeräten über den Satellit in einem Satellitenkommunikationsnetzwerk übertragen werden.

**[0055]** Um jedoch die Kommunikation zwischen dem Zentralstellengerät 12 und den Außenstellengeräten 16 und 18 über Satellit 14 zu gewährleisten, ist eine periodische Zeit- und Frequenzsynchronisation erforderlich. In einem Realisierungsbeispiel der vorliegenden Ausführungsform kann ein Zentralstellengerät Zeit- und Synchronisationsinformationen für mehrere Außenstellengeräte liefern.

**[0056]** In der vorliegenden Ausführungsform ist eine Abwandlung des TDMA-Satellitennetzwerks nicht erforderlich, um ein Außenstellengerät zu synchronisieren, da die Präzisionszeitprotokoll(PTP)-Zeitsynchronisierung nicht über Luft (over the air, OTA) stattfindet. Damit wird die Leistungsfähigkeit der Zeitsynchronisation auch unabhängig von der Paketverzögerungsschwankung (PDV), der Zeitschlitzzuweisung und der Zuordnung der Bursts im TDMA-Netzwerk.

**[0057]** Es wird ein Verfahren auf Basis einer Netzwerkuhrreferenz (NCR) verwendet, um die Zeit- und Frequenzinformationen von der Zentralstelle aus auf die Außenstellengeräte zu übertragen. Damit wird die GPS-Zeit auf ein Netzwerk mit einer hohen Genauigkeit übertragen, da die NCR in den Außenstellen erfolgreich in Phase/Frequenz abgeglichen ist.

**[0058]** Für Zweiwegverbindungen, wie sie in FIG. 3 dargestellt sind, kann die genaue Messung der Umlaufverzögerung (round trip delay), die für TDMA-Bursts erforderlich ist, verwendet werden, um den PTP-Master auf dem Außenstellen-Endgerät mit der Master-Uhr an der Zentralstelle präzise abzugleichen.

**[0059]** Unter Verwendung dieser Topologie kann ein GPS-Empfänger mehrere Außenstellengeräte unterstützen. Demgegenüber erfordern die bekannten Topologien, dass jedes Außenstellengerät einen GPS-Empfänger aufweist. Topologien der vorliegenden Ausführungsform weisen keine zusätzliche Ungenauigkeit für mobile Stationen, d.h. ein Außenstellengerät, auf, da ein beliebiger Doppler-Frequenzverschiebungseffekt in den Zeit- und Frequenzsynchronisationsprozessen, die am Außenstellengerät ausgeführt werden, kompensiert wird.

**[0060]** Die FIG. 2(A)-2(C) stellen Beispiele für Zeitsynchronisationstopologien dar, um mehrere Client-Geräte in einem Client-Netzwerk mit Zeit- und Synchronisationsinformationen zu versorgen.

**[0061]** Die in den FIG. 2(A)-2(C) dargestellten Topologien ermöglichen es, Kundennetzwerke und -Geräte mit einer Master-Zeit und -Frequenz an einem Zentralstellengerät zu synchronisieren. Derartige Topologien beziehen einen Leitweg ein, der eine Linecard am Zentralstellengerät mit einem Außenstellengerät an dem Außenstellenende verbindet.

**[0062]** Die Topologien können an jedem Ende (das Zentralstellengerät und die Außenstellengerät-Enden) das nach IEEE 1588-2008 standardmäßige PTP verwenden. Das PTP ist jedoch nicht für OTA eingerichtet. Das PTP erfordert konstante Ausbreitungszeiten in beiden Richtungen einer Verbindung. Folglich ist es oftmals schwierig, die Zeit- und Frequenzsynchronisation in einem TDMA-System zu garantieren, ohne dass die Zeitschlitzzuweisung strengen Einschränkungen unterworfen wird. Die in den FIG. 2(A)-2(C) dargestellten Topologien ermöglichen die PTP- Zeitsynchronisierung in TDMA-Netzwerken ohne Einschränkungen bei der Zeitschlitzzuweisung.

**[0063]** FIG. 2(A) stellt ein Beispiel einer Zeitsynchronisationstopologie für eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung zu einem externen PTP-Grandmaster in einer Einweg-Satellitenkommunikationsverbindung dar. Insbesondere stellt FIG. 2(A) ein Zentralstellengerät 22, eine Außenstelle 23 und einen Satellit 26 dar. Das Zentralstellengerät 22 enthält eine Linecard 34, eine PTP- Grandmaster-Uhr 36 und ein Referenzzuhrmodul (reference clock module, RCM) 38. Die Linecard 34 kann einen Sender enthalten.

**[0064]** Das Zentralstellengerät 22 kann ferner eine Antenne 32, mindestens einen Prozessor, mindestens einen Speicher und mindestens eine feldprogrammierbare Gatteranordnung (field programmable gate array, FPGA) enthalten. Ferner kann das Zentralstellengerät 22 in Realisierungsbeispielen mehrere Linecards 34 aufweisen.

**[0065]** Der Sender der Linecard 34 sendet über die Antenne 32 und den Satellit 26 zum Client 24. Die Linecard 34 enthält eine PTP- Slave-Uhr 42 und eine Netzwerkuhrreferenz (NCR) 40. In Realisierungsbeispielen kann die NCR unter ETSI EN 301 790(DVB-RCS) verwendet werden.

**[0066]** In Realisierungsbeispielen kann das Zentralstellengerät 22 ein Netzwerk, Vielfachnetzwerke oder ein Netzwerk in einer Sternnetzwerk-Topologie sein. In anderen Realisierungsbeispielen enthält das Zentralstellengerät 22 beliebiges von dem Folgenden: Protokollprozessor, Verarbeitungsschaltungen, Linecards und ein Netzwerk-Managementsystem (NMS). Die Linecard 34 führt in der physikalischen Schicht eine Kommunikation für das Zentralstellengerät 22 aus. In Realisierungsbeispielen kann die Antenne 32 eine Komponente der Linecard 34 sein.

**[0067]** Die Linecard 34 kommuniziert mit der PTP-Grandmaster-Uhr 36, um die PTP-Slave-Uhr 42 mit der GPS-Zeit und der Frequenz der PTP- Grandmaster-Uhr 36 zu synchronisieren. Die

Linecard 34 kann über eine drahtgebundene oder eine drahtlose Verbindung, wie z.B. Ethernet, mit der PTP-Grandmaster-Uhr 36 kommunizieren. In Realisierungsbeispielen kann die PTP-Slave-Uhr 42 der Linecard 34 für die Zeit- und Frequenzsynchronisation mit der PTP-Grandmaster-Uhr 36 kommunizieren.

**[0068]** Die Kommunikation zwischen der PTP-Slave-Uhr 42 (oder der Linecard 34) und der PTP-Grandmaster-Uhr 36 kann auf dem Standard IEEE 1588 basieren. Die PTP-Slave-Uhr 42 und die PTP-Grandmaster-Uhr 36 senden und empfangen Nachrichten, die in dem Standard festgelegt sind. In Realisierungsbeispielen können die Nachrichten zwischen der PTP-Slave-Uhr 42 und der PTP-Grandmaster-Uhr 36 sein: Synchronisation (synch), Verfolgen (follow-up), Verzögerungsanforderung (delay request), Verzögerungsreaktion (delay response), Ankündigen (announce), Management oder beliebige andere Typen von Nachrichteninformationen.

**[0069]** In Realisierungsbeispielen enthält die PTP-Grandmaster-Uhr 36 einen GPS-Empfänger 44. Der GPS-Empfänger 44 liefert globale Positionierungsdaten und eine hochgenaue Zeitreferenz für die PTP-Grandmaster-Uhr 36. Ferner kann die PTP-Grandmaster-Uhr 36 beliebiges von dem Folgenden enthalten: hochgenaue Kristalloszillatoren, Mikroprozessoren, FPGAs, Speicher und Ethernet-Anschlüsse. Die PTP-Grandmaster-Uhr 36 kann über eine Direktverbindung, die in den FIG. 2(A) und 2(B) dargestellt ist, und/oder über eine Netzwerkverbindung, die in FIG. 2(C) dargestellt ist, mit der PTP-Slave-Uhr 42 kommunizieren. Mit anderen Worten, die PTP-Grandmaster-Uhr 36 kann innerhalb des Zentralstellengeräts 22, d.h. als eine Komponente des Zentralstellengeräts 22 wie in den FIG. 2(A) und 2(B), oder separat und getrennt vom Zentralstellengerät 22 angeordnet sein, wie in FIG. 2(C) dargestellt ist.

**[0070]** FIG: 2(A) zeigt, dass ein Außenstellengerät 24 eine PTP-Master-Uhr 48, ein oder mehrere Client-Geräte 50 und einen Schalter (switch) 52 enthält. Um die Zeit und die Frequenz vom Zentralstellengerät 22 aus zur Außenstelle 23 hin zu synchronisieren, überträgt die Linecard 34 Zeit- und Frequenzinformationen über die Antenne 32 und den Satellit 26 zur Außenstelle 23 hin. In einem Realisierungsbeispiel empfängt das Außenstellengerät 24 von der Linecard 34 aus über die Antenne 32 und den Satellit 26 Zeitinformationen in der Form eines Zeitpakets. Um das Zeitpaket zu empfangen, kann die Außenstelle 23 eine Antenne 46 enthalten. Zeitpakete werden nachstehend mit Bezugnahme auf die FIG. 3(A), 3(B) und 4 erörtert.

**[0071]** In Realisierungsbeispielen kann das Außenstellengerät 24 eine Linecard sein, die ähnlich zur Linecard 34 ist. In FIG. 2(A) enthält das Außenstellengerät 24 einen Empfänger. Das Außenstellengerät 24 kann ferner mindestens einen Prozessor, mindestens einen Speicher und mindestens eine feldprogrammierbare Gatteranordnung (FPGA) enthalten. In Realisierungsbeispielen kann das Außenstellengerät 24 mehrere Linecards enthalten. Ferner kann die Linecard des Außenstellengeräts 24 ein Netzwerk, Vielfachnetzwerke oder ein Netzwerk in einer Sternnetzwerk-Topologie sein. In anderen Realisierungsbeispielen enthält das Zentralstellengerät 24 beliebiges von dem Folgenden: Protokollprozessor, Verarbeitungsschaltungen, Linecards und ein Netzwerk-Managementsystem (NMS). Das Außenstellengerät 24 kann eine Kommunikation in der physikalischen Schicht ausführen.

**[0072]** Die PTP-Master-Uhr 48 des Client 24 passt eine Ortszeit bzw. Lokale Zeit auf Basis des empfangenen Zeitpakets an. Die Arbeitsvorgänge des Außenstellengeräts 24 werden nachfolgend mit Bezugnahme auf die FIG. 5 und 6 erörtert. Nach der Synchronisation kann die PTP-Master-Uhr 48 des Außenstellengeräts 24 über den Schalter 52 eine Zeit- und Frequenzsynchronisation mit Client-Geräten 50 entsprechend der angepassten Ortszeit ausführen. Mit anderen Worten, die Client-Geräte 50 können auf eine Ortszeit synchronisiert werden, die auf Basis des vom Zentralstellengerät 22 aus empfangenen Zeitpakets angepasst wurde.

**[0073]** Die FIG. 2(A)-2(C) zeigen, dass die Außenstelle 23 ein Außenstellengerät 24, eine Antenne 46, einen Schalter (switch) 52 und Client-Geräte 50 enthält. Obwohl in den FIG. 2(A)-2(C) dargestellt ist, dass die Antenne 46 und der Schalter 52 vom Außenstellengerät 24 getrennt sind, müssen sie es nicht sein. Fig. 2(B) zeigt zum Beispiel ein Realisierungsbeispiel des Außenstellengeräts 24, das die Antenne 46 und den Schalter 52 enthält.

**[0074]** Die Zeitsynchronisationstopologie, die in FIG. 2(B) dargestellt ist, ist eine gleichartige Topologie wie die Topologie, die in FIG. 2(A) dargestellt ist, abgesehen davon, dass die Kommunikation mithilfe eines Satelliten 26 über eine Zweiweg-Satellitenkommunikationsverbindung sowohl durch das Zentralstellengerät 22 als auch das Außenstellengerät 24 gesendet und empfangen werden kann. Insbesondere kann die Linecard 34 des Zentralstellengeräts 22 einen Sendeempfänger enthalten, und die Antenne 32 kann eine Kommunikation zum und vom Sendeempfänger über den Satellit 26 senden und empfangen. In der Außenstelle 23 kann das Außenstellengerät 24 einen Sendeempfänger enthalten, und die Antenne 46 kann eine Kommunikation zum und vom Sendeempfänger über den Satellit 26 senden und empfangen.

**[0075]** FIG. 2(C) stellt ein Beispiel für eine Zeitsynchronisationstopologie dar, die eine Netzwerkverbindung zu einem externen PTP-Grandmaster 62 aufweist. Insbesondere unterscheidet sich FIG. 2(C) von FIG. 2(A) und 2(B) dahingehend, dass die PTP-Grandmaster-Uhr 62 vom Zentralstellengerät 22 außen liegend angeordnet und über ein PTP-Unterstützungsznetzwerk 60 an die Linecard 34 angeschlossen ist. An die PTP-Grandmaster-Uhr 62 ist ein GPS-Empfänger 64 angeschlossen. In Realisierungsbeispielen kann das PTP-Unterstützungsznetzwerk 60 ein LAN, WAN oder beliebige Netzwerke sein, welche die Übertragung von Nachrichten im PTP-Protokoll unterstützen.

**[0076]** In den FIG. 2(A)-2(C) liefert das RCM 38 zur Linecard 34 eine hochgenaue Ansteuerfrequenz. Die Ansteuerfrequenz, die vom RCM 38 geliefert wird, wird an der Linecard 34 modifiziert, und sowohl der NCR-Zähler 40 als auch die PTP-Slave-Uhr 42 der Linecard 34 werden durch eine separate modifizierte Ansteuerfrequenz angesteuert. In Realisierungsbeispielen kann die Ansteuerfrequenz, die vom RCM 38 geliefert wird, zum Beispiel bei 10 MHz liegen. An der Linecard 34 kann die Ansteuerfrequenz auf 100 MHz erhöht werden, um die PTP-Slave-Uhr 42 anzusteuern, und sie kann auf 27 MHz erhöht werden, um den NCR-Zähler 40 anzusteuern. Vom RCM 38 kann jedoch eine weitere Ansteuerfrequenz vorgesehen werden, und der NCR-Zähler 40 sowie die die PTP-Slave-Uhr 42 können bei anderen Ansteuerfrequenzen angesteuert werden.

**[0077]** In Realisierungsbeispielen kann das RCM 38 mit hochgenauen Zeit- und Frequenzinformationen aus der PTP-Grandmaster-Uhr 36 versehen werden. Demzufolge kann die Ansteuerfrequenz, die der Linecard 34 vom RCM 38 aus geliefert wird, stabil und genau sein. Ferner kann die Linecard 34 mit einer Impuls pro Sekunde (PPS) Eingabe versorgt werden, der von der PTP-Grandmaster-Uhr 36 aus anstelle von Uhrreferenzinformationen eingegeben wird. In diesem Fall kann die Ansteuerfrequenz, die vom RCM 38 aus zugeführt wird, in der Linecard 34 intern aus dem PPS berechnet werden, der von der PTP-Grandmaster-Uhr 36 zugeführt wird.

**[0078]** Nach der PTP-Synchronisation zwischen der PTP-Slave-Uhr 42 und der PTP-Grandmaster-Uhr 36 wird die Linecard 34 als starr phasen- und frequenzgekoppelt zur GPS-Zeit der PTP-Grandmaster-Uhr 36 angesehen. Mit anderen Worten, der RTC-Zählerwert der PTP-Slave-Uhr 42 ist starr an die Uhrenzeit der PTP-Grandmaster-Uhr 36 gekoppelt. Außerdem ist der NCR-Zählerwert des NCR-Zählers 40 starr an die Uhrenzeit der PTP-Grandmaster-Uhr 36 gekoppelt, da der NCR-Zähler 40 durch das RCM 38 angesteuert wird, dem Zeit- und Frequenzinformationen von der PTP-Grandmaster-Uhr 36 aus zugeführt wurde.

**[0079]** Die Linecard 34 kann absichern, dass der RTC-Zähler der PTP-Slave-Uhr 42 starr an die Uhrenzeit der PTP-Grandmaster-Uhr 36 gekoppelt ist, indem sie bestimmt, ob der RTC-Zählerwert des RTC-Zählers der PTP-Slave-Uhr 42 innerhalb eines vorgegebenen Schwellenwertes der Uhrenzeit der PTP-Grandmaster-Uhr 36 liegt. Ferner kann die Linecard 34 auch absichern, dass der NCR-Zählerwert der NCR 40 innerhalb eines vorgegebenen Schwellenwertes der genauen Frequenz liegt, die durch das RCM 38 geliefert wird.

**[0080]** Als nächstes führt die Linecard 34 eine Zwischenspeicherung des RTC-Zählerwertes und des NCR-Zählerwertes in einen Speicher aus.

**[0081]** Die Erörterung geht nun zur Erzeugung von Zeitpaketen über. Um die Frequenz- und Zeitinformationen zu übermitteln, kapselt die Linecard 34 den RTC-Zählerwert der PTP-Slave-

Uhr 42 und den NCR- Zählerwert des NCR-Zählers 40 über ein Kapselungsschema, wie z.B. LEGS, in ein einziges Paket ein. In einem Realisierungsbeispiel werden der RTC-Zählerwert der PTP-Slave-Uhr 42 und der NCR-Zählerwert des NCR-Zählers 40 in ein Zeitpaket eingekapselt. Das Zeitpaket wird dann in einen Basisband-Frame (BBFRAME) eingekapselt und OTA-übermittelt. BBFRAME ist in ETSI EN 302 307 spezifiziert.

**[0082]** Ein Beispiel für ein Zeitpaket ist in FIG. 3(A) dargestellt. FIG. 3(B) zeigt Beispiel für einen Basisband-Frame (BBFRAME), der ein Zeitpaket enthält.

**[0083]** In FIG. 3(A) ist ein Beispiel für ein Zeitpaket dargestellt. Eine Nutzdatenmenge enthält Informationen(Bits), deren Übergabe bevorsteht. Für ein Zeitpaket enthalten die Nutzdaten einen RTC-Zeitstempel und eine RCM-Frequenz. Ein Protokolltyp bestimmt den Typ des Pakets, d.h. RTC oder NCR. SEL bestimmt den Typ des LEGS-Pakets und den Zustand des aktuellen Fragments.

**[0084]** Ein Zeitpaket kann durch die Firmware periodisch in den BBFRAME eingesetzt werden. Die Firmware ist in einer FPGA ausgeführt. Die FPGA enthält Tausende von programmierbaren Gattern und Mikroprozessoren. Die Mikroprozessoren führen die Software aus. Das Protokollfeld in dem Kopfteil identifiziert das Paket als die RTC. Die Nutzdaten des Zeitpakets weisen 144 Bits, 42 Bits für den NCR-Wert, 22 Bits für die zukünftige Verwendung, 80 Bits für den Zeitstempel und 64 Bits für die RCM-Frequenz auf. Der Zeitanteil des Zeitpakets, der auf dem standardmäßigen UNIX-Zeitstempel basiert, ist ferner in zwei Anteile unterteilt, 48 Bit für die Sekunde und 32 Bit für die Nanosekunde (im Bereich von 0 bis 999999999).

**[0085]** Da die NCR-Uhr, die durch die Linecard erzeugt wird, starr an eine Referenzfrequenz aus dem GPS, d.h. 10 MHz, gekoppelt ist, ist die Beziehung zwischen der NCR-Uhrenzeit und der GPS-Zeit fixiert. Demzufolge kann die Nachricht, die zum Anzeigen der Beziehung zwischen der GPS-Zeit und der NCR-Uhrenzeit gesendet wird, ohne einen Verlust an Genauigkeit in großen zeitlichen Abständen gesendet werden. Damit wird ermöglicht, dass die OTA-Bandbreitennutzung überaus gering ist.

**[0086]** FIG. 3(B) stellt ein Lagebeispiel eines Zeitpakets in einem BBFRAME dar. BBFRAME (Basisband-Frame) ist die Informationstransportkapsel. Ein BBFRAME enthält etliche Datenpakete. Zum Beispiel weist jeder BBFRAME einen Kopfteil (header, HDR) auf, der Informationen über die Länge und den Typ des BBFRAME enthält. Im BBFRAME ist auch das Zeitpaket enthalten, das den Zentralstellen-NCR-Zählerwert und den Zentralstellen-RTC-Zählerwert enthält. CRC ist eine zyklische Redundanzprüfung (cyclic redundancy check), die zum Nachweis von Fehlern verwendet wird, die im BBFRAME aufgetreten sein könnten. Typische BBFRAMEs liegen im Bereich von 3072 bis 58192 Bits.

**[0087]** Jeder HDR beträgt 10 Bytes, jeder NCR-Wert-Schlitz kann eine variable Länge aufweisen, jeder RTC-Wert-Schlitz beträgt 22 Bytes und jeder CRC beträgt 4 Bytes. Mittels Software werden leere funktionslose NCR-Wert-Schlitze und RTC-Wert-Schlitze, HDR und CRC erzeugt. Der RTC-Zählerwert und der NCR-Zählerwert des Zeitpakets werden durch die Firmware in den BBFRAME eingesetzt. Mit anderen Worten, die Datenwerte, Zeit- und Frequenzinformationen und der Zentralstellen-NCR- Zählerwert sowie der Zentralstellen-RTC-Zählerwert werden durch die Firmware eingesetzt. Die Software erzeugt zum Beispiel die Pakete und die Firmware füllt die Pakete mit ihren tatsächlichen Werten. Die RTC-Zeit wird zwischengespeichert, wenn der DVB-S2-PL-SOF-Abtastimpuls eintrifft. Die TX-DVBS2-Linecard setzt das Zeitpaket, das die NCR- und RTC-Zählerwerte enthält, periodisch in den BBFRAME ein (derzeit alle 31,25 ms).

**[0088]** In Realisierungsbeispielen können Zeitpakete durch die Software an der Zentralstelle erzeugt und durch die Firmware der Linecard in einen BBFRAME eingesetzt werden. Insbesondere wird die zwischengespeicherte RTC-Zeit zusammen mit ihrem zugehörigen NCR-Wert in das Zeitpaket eingesetzt. Das Paket kann auf verschiedene Weise organisiert werden. Maßgeblich ist, dass das Zeitpaket verwendet wird, um die RTC-Zeit von der Zentralstelle auf den Client zu übertragen.

**[0089]** Das Protokollfeld=0x00F0 im Kopfteil kennzeichnet das Paket als die RTC. Die Nutzda-

ten eines Zeitpakets weisen 144 Bits, 42 Bits für den NCR-Wert, 22 Bits für die zukünftige Verwendung, 80 Bits für den Zeitstempel und 64 Bits für die RCM-Frequenz auf. Der Zeitanteil des Zeitpakets, der auf dem standardmäßigen UNIX-Zeitstempel basiert, ist ferner in zwei Anteile unterteilt, 48 Bit für die Sekunde und 32 Bit für die Nanosekunde.

**[0090]** Es kann erforderlich sein, den RTC-Wert mit seinem zugehörigen NCR-Wert zu kennzeichnen, um die unterschiedliche Laufzeitverzögerung zwischen der Linecard des Zentralstellengeräts und des Außenstellengeräts zu kompensieren. Ähnlich zu dem NCR-Wert kann der RTC-Wert zwischengespeichert werden, wenn der Frame-Start(start of frame, SOF)-Abtastimpuls durch den Modulator eingefügt wird. Die zwischengespeicherte RTC-Zeit wird zusammen mit ihrem zugehörigen NCR-Wert in das Zeitpaket eingesetzt.

**[0091]** An der Außenstelle 23 kann das Außenstellengerät 24 die Zeitpakete periodisch empfangen. Da die Synchronisation mit der PTP-Grandmaster-Uhr entsprechend den Zeit- und Frequenzwerten des Zeitpakets erfolgt, können beliebige Zeitverzögerungen, welche durch die Bewegung entweder des Satelliten oder des Außenstellengeräts mit Bezug auf das Zentralstellengerät verursacht werden, kompensiert werden. Das heißt, die Zeitinformationen, die in dem Zeitpaket geliefert werden, erlauben es einem Außenstellengerät, den RTC-Wert und den NCR-Wert des Zentralstellengeräts zu rekonstruieren. Demzufolge benötigt das Außenstellengerät keine genaue Uhrreferenz, das Außenstellengerät kann außenstellenseitig einen Oszillator mit einer geringen Präzision einsetzen, um die gleichen Frequenzinformationen zu rekonstruieren wie an der Zentralstellenseite.

**[0092]** Außerdem kann die PTP-Master-Uhr des Außenstellengeräts Schwankungen korrigieren, die verursacht werden durch den Oszillator geringer Präzision, der die Uhrenschnale zum Ansteuern des Außenstellen-RTC-Zählers liefert, sowie durch irgendeine Dopplerverschiebungsfrequenz und durch Laufzeitverzögerungs-Schwankungen infolge der Bewegung des Satelliten oder des Außenstellengeräts. In einem Realisierungsbeispiel können Zeitanpassungen gemäß Aufwärtsstrecken-Protokollinformationen (uplink protocol information, UCP)-Informationen auf Basis des Ankunftszeitings des TDMA-Bursts zurück vom Außenstellengerät berechnet werden, wie ausführlich in der US 8,068,448 beschrieben ist, die hierdurch in vollem Umfang einbezogen ist.

**[0093]** Die an der PTP-Master-Uhr der Außenstellengerätetechnik ausgeführten Zeitanpassungen könnten in Einwegverbindungen (nur empfangende Außenstellen) verwendet werden, wenn die Lage des Satelliten als eine Funktion der Zeit bekannt ist, und sie können auf der Einwegverbindung periodisch gesendet werden. Alternativ kann die periodische Anpassung an Phasen- und Frequenzschwankungen aufgrund der Bewegung des Satelliten durch Übertragen von Informationen erreicht werden, welche die Lage des Satelliten betreffen.

**[0094]** Das gleiche Verfahren kann auch von Einweg-Außenstellen ohne genaue Satelliteninformationen eingesetzt werden, obwohl das wegen unbekannter Veränderungen in der Signallängle auf Kosten von Absolutgenauigkeitsfehlern in der Zeit an der Außenstellenseite geschehen würde. In dieser Betriebsart würde der Differenzfehler zwischen benachbarten Standorten sehr klein bleiben, ob die Lage des Außenstellenendgeräts genau bekannt gewesen ist oder nicht. Das kann in Situationen ausreichend sein, in denen die genaue absolute Zeit weniger wichtig ist als die Relativzeitsynchronisierung zwischen benachbarten Standorten.

**[0095]** Sobald die RTC mit der GPS-Zeit initialisiert ist, ist die PTP-Master-Uhr der Außenstelle bereit, die Zeit in den Client-Netzwerken (Geräten) zu synchronisieren. Um die Genauigkeit der Zeitsynchronisation zu verbessern, können sowohl PTP-Master-Uhr an der Außenstelle als auch die PTP-Slave-Uhr auf der Linecard eine Zeitstempelung auf Hardware-Basis in der Ethernet-MAC verwenden.

**[0096]** FIG. 4 stellt ein Verfahrensbeispiel für die Zeitsynchronisierung dar, das von einem Zentralstellengerät in einem Satellitennetzwerk ausgeführt wird. Das in FIG. 4 dargestellte Verfahren kann zum Beispiel durch das Zentralstellengerät 22 ausgeführt werden, wie in den FIG. 2(A)-2(C) dargestellt ist.

**[0097]** Die Zentralstelle startet im Schritt 402, wobei die Linecard 34 mit der PTP-Grandmaster-Uhr kommuniziert. Zum Beispiel kann die Linecard 34 eine Synchronisierung mit der PTP-Grandmaster-Uhr anfordern. Die Linecard 34 kann dann von der PTP-Grandmaster-Uhr Zeit- und Frequenzwerte für die Synchronisation empfangen.

**[0098]** Im Schritt 404 berechnet die Linecard 34 einen Uhren-Offset und Driftwerte. Insbesondere berechnet die Linecard 34 einen Uhren-Offsetwert zwischen der PTP-Grandmaster-Uhr und dem RTC-Wert. Ferner berechnet die Linecard 34 einen Driftwert des RTC-Wertes im Vergleich zur PTP-Grandmaster-Uhr. Alternativ können die Berechnungen vom Schritt 404 durch einen Prozessor oder andere Schaltungen ausgeführt werden, die in das Zentralstellengerät 22 integriert sind.

**[0099]** Im Schritt 406 passt die Linecard 34 den RTC-Zähler der PTP-Slave-Uhr 42 an. Im Schritt 408 bestimmt das Zentralstellengerät 22, ob der RTC-Zähler der PTP-Slave-Uhr 42 starr an die PTP-Grandmaster-Uhr gekoppelt ist. Wenn das Zentralstellengerät 22 feststellt, dass der RTC-Zähler der PTP-Slave-Uhr 42 nicht starr an die PTP-Grandmaster-Uhr gekoppelt ist, dann kehrt das Zentralstellengerät 22 zum Schritt 402 zurück. Anderenfalls, wenn das Zentralstellengerät 22 feststellt, dass der RTC-Zähler der PTP-Slave-Uhr 42 starr an die PTP-Grandmaster-Uhr gekoppelt ist, dann geht das Zentralstellengerät 22 zum Schritt 410 über. Die Bestimmung vom Schritt 408 kann zum Beispiel von der Linecard 34 oder einem Prozessor oder anderen Schaltungen des Zentralstellengeräts 22 ausgeführt werden.

**[00100]** Im Schritt 410 bestimmt das Zentralstellengerät 22, ob eine Qualität der starren Zeit- und Frequenzkopplung an die PTP-Grandmaster-Uhr ausreichend ist. Das Zentralstellengerät 22 kann zum Beispiel die starre Zeit- und Frequenzkopplung mit einem vorgegebenen Schwellenwert vergleichen. Wenn das Zentralstellengerät 22 feststellt, dass die Qualität der starren Zeit- und Frequenzkopplung unzureichend ist, dann kehrt das Zentralstellengerät 22 zum Schritt 402 zurück. Anderenfalls, wenn das Zentralstellengerät 22 feststellt, dass die Qualität der starren Zeit- und Frequenzkopplung ausreichend ist, dann geht das Zentralstellengerät 22 zum Schritt 412 über. Die Bestimmung vom Schritt 410 kann zum Beispiel von der Linecard 34 oder einem Prozessor oder anderen Schaltungen des Zentralstellengeräts 22 ausgeführt werden.

**[00101]** Im Schritt 412 führt die Linecard 34 eine Zwischenspeicherung des RTC-Wertes (des Zeitstempels der lokalen Uhr in der PTP-Slave-Uhr) aus. Im Schritt 414 erzeugt die Linecard 34 ein Zeitpaket und setzt den RTC-Wert ein. Schließlich sendet das Zentralstellengerät 22 im Schritt 416 das Zeitpaket in einem BBFRAME über den Satellit. Nach dem Schritt 416 kehrt das Zentralstellengerät 22 zum Schritt 410 zurück.

**[00102]** FIG. 5 stellt ein Prozessbeispiel für die Zeitsynchronisation dar, die durch ein Außenstellengerät in einem Satellitennetzwerk ausgeführt wird. FIG. 6 stellt ein Ablaufdiagramm dar, das den Prozess für die Zeitsynchronisation von FIG. 5 darstellt, die von dem Außenstellengerät ausgeführt wird.

**[00103]** In einem Realisierungsbeispiel können der Prozess, der in FIG. 5 dargestellt ist, und das Ablaufdiagramm, das in FIG. 6 dargestellt ist, durch ein Außenstellengerät 24 ausgeführt werden, wie in den FIG. 2(A)-2(C) dargestellt ist.

**[00104]** Im Schritt 502 empfängt das Außenstellengerät das Zeitpaket, das vom Zentralstellengerät 22 aus übertragen wurde. Das Außenstellengerät 24 kann das Zeitpaket über eine Antenne 46 empfangen. Zum Zeitpunkt des Empfangs des Zeitpakets kann das Außenstellengerät 24 ferner den Außenstellen-RTC-Wert des Außenstellen-RTC-Zählers zu dem Zeitpunkt, in dem das Zeitpaket empfangen wurde, und den Außenstellen-NCR-Wert des Außenstellen-NCR-Zählers zu dem Zeitpunkt, in dem das Zeitpaket empfangen wurde, in einen Speicher zwischenspeichern.

**[00105]** Im Schritt 504 extrahiert das Außenstellengerät 24 den Zentralstellen-RTC-Wert und den Zentralstellen-NCR-Wert aus dem empfangenen Zeitpaket. Das Außenstellengerät 24 kann den Zentralstellen-RTC-Wert und den Zentralstellen-NCR-Wert aus dem empfangenen Zeitpaket in einen Speicher zwischenspeichern. FIG. 6 zeigt, dass der Zentralstellen-RTC-Wert in

dem RTC-Korrekturprozess von Schritt 508 verwendet wird und dass der Zentralstellen-NCR-Wert in dem NCR-Prozess von Schritt 506 und dem Zeitanpassungsprozess von Schritt 510 verwendet wird.

**[00106]** Im Schritt 506 kann das Außenstellengerät 24 den NCR- Prozess ausführen. Der Außenstellen-RTC-Zähler wird durch einen Außenstellenuhr-Oszillator angesteuert, die eine verhältnismäßig geringe Präzision verglichen mit einem Uhrenoszillator aufweist, der den Zentralstellen-RTC-Zähler ansteuert. Da der Außenstellenuhr-Oszillator eine verhältnismäßig geringe Präzision aufweist, kann der Außenstellen-RTC-Zähler häufige Anpassungen benötigen, weil der Außenstellen-RTC- Zähler zu schnell oder zu langsam hochgezählt werden kann. FIG. 6 zeigt, dass der NCR-Prozess den Außenstellen-NCR-Wert des Außenstellen-NCR-Zählers verwendet, der beim Empfang des Zeitpakets (wenn der BBFRAME empfangen wird, der das Zeitpaket enthält) in einen Speicher zwischengespeichert wurde.

**[00107]** Im NCR-Prozess passt das Außenstellengerät 24 eine Inkrementperiode des Außenstellen-RTC-Zählers an. Das heißt, das Außenstellengerät 24 berechnet eine Inkrementperiode für den Außenstellen-RTC-Zähler auf Basis der Uhrensignale, die aus dem Außenstellen-Uhrenoszillator abgeleitet sind. Die berechnete Inkrementperiode wird zum Erhöhen des Außenstellen-RTC-Zählers verwendet, d.h. der Außenstellen-RTC-Zähler wird in jeder Inkrementperiode erhöht.

**[00108]** Um die Inkrementperiode zu berechnen, muss das Außenstellengerät 24 eine angepasste Uhrenfrequenz  $F_{\text{sys}}$  ableiten. Die angepasste Uhrenfrequenz  $F_{\text{sys}}$  ist eine modifizierte Uhrenfrequenz des Außenstellen-Uhrenoszillators, der das Uhrensignal liefert. Das Außenstellengerät 24 berechnet die Uhrenfrequenz  $F_{\text{sys}}$  wie folgt:

$F_{\text{sys}} = (\text{Außenstellen-Perioden-NCR-Wert} / \text{Zentralstellen-Perioden-NCR- Wert}) * F_{\text{nenn}}$ , wobei

**[00109]**  $F_{\text{nenn}}$  eine bekannte konstante Frequenz ist. Die Inkrementperiode ist umgekehrt proportional zu  $F_{\text{sys}}$ .

**[00110]** Um  $F_{\text{sys}}$  zu berechnen, berechnet das Außenstellengerät ferner einen Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert und einen Außenstellen- Perioden-NCR-Wert. Der Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert ist eine Differenz zwischen einem aktuellen Zentralstellen-NCR-Wert eines gerade empfangenen Zeitpakets und einem vorhergehenden Zentralstellen-NCR-Wert eines zuvor empfangenen Zeitpakets. Der Außenstellen-Perioden-NCR-Wert ist eine Differenz zwischen einem aktuellen Außenstellen-NCR-Zähler-Wert, wenn der Empfänger das gerade erhaltene Zeitpaket empfängt, und einem vorhergehenden Außenstellen-NCR-Zähler-Wert, wenn der Empfänger das zuvor erhaltene Zeitpaket empfangen hat.

**[00111]** FIG. 6 zeigt, dass der NCR-Prozess das abgeleitete  $F_{\text{sys}}$  dem RTC-Zähler zur Berechnung der Inkrementperiode übergibt.

**[00112]** Im Schritt 508 kann das Außenstellengerät 24 den RTC-Korrekturprozess ausführen. Im RTC-Korrekturprozess wird vom Außenstellengerät 24 entweder (1) der Außenstellen-RTC-Zähler auf den Zentralstellen-RTC-Wert gesetzt, der im Zeitpaket geliefert wurde, oder (2) der Außenstellen-RTC-Zähler mithilfe einer Differenz zwischen dem Außenstellen-RTC-Zähler und dem Zentralstellen-RTC-Wert angepasst.

**[00113]** Insbesondere führt das Außenstellengerät 24 (1) aus, wenn eine Differenz zwischen einem Außenstellen-RTC-Wert des Außenstellen-RTC-Zählers und dem Zentralstellen-RTC-Wert größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist. Das kann vorkommen, wenn das Außenstellengerät 24 oder der RTC-Zähler zurückgesetzt wurde, wenn ein Netzausfall, eine große Fluktuation in den vom Außenstellenoszillator gelieferten Uhrensignalen oder irgendein anderes Ereignis aufgetreten ist. Als Folge davon wird der Außenstellen-RTC-Zähler bei einem Wert des Zentralstellen-RTC-Wertes, der in dem Zeitpaket geliefert wurde, initialisiert.

**[00114]** Das Außenstellengerät 24 führt (2) aus, wenn eine Differenz zwischen dem Außenstellen-RTC-Wert des Außenstellen-RTC-Zählers und dem Zentralstellen-RTC-Wert kleiner als ein vorgegebener Schwellenwert ist. Die Differenz zwischen einem Außenstellen-RTC-Wert des

Außenstellen-RTC-Zählers und dem Zentralstellen-RTC-Wert ist kleiner als ein vorgegebener Schwellenwert, wenn Zeit- und Frequenzschwankungen aufgrund der Uhrenschnale, die durch den Außenstellenoszillator geliefert werden, und der Übertragungslaufzeitverzögerung des Zeitpakets in den Außenstellen-RTC-Zähler eingebracht werden.

**[00115]** FIG. 6 zeigt, dass im RTC-Korrekturprozess der Außenstellen-RTC-Wert des Außenstellen-RTC-Zählers verwendet wird, der beim Empfang des Zeitpakets im BBFRAME in einen Speicher zwischengespeichert wird, und dass der Außenstellen-RTC-Zähler auf Basis eines Ergebnisses des RTC-Prozesses initialisiert/angepasst wird.

**[00116]** Im Schritt 510 kann das Außenstellengerät 24 den Zeitanpassungsprozess ausführen. Insbesondere passt das Außenstellengerät 24 den Außenstellen-RTC-Zähler durch eine Zeitanpassung an, die gleich einem Anteil einer Differenz zwischen einem Außenstellen-Perioden-NCR-Wert und einem Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert ist. Insbesondere berechnet das Außenstellengerät 24 die Zeitanpassung wie folgt:

**[00117]**  $\Delta T_{\text{Anpassung}} = (\text{Periode NCR}_{\text{außen}} - \text{Periode NCR}_{\text{zentral}})/R$ , wobei

**[00118]** R ein Verhältnis zwischen der Frequenz  $F_{\text{sys}}$  und einer Frequenz von Uhrenschnalen ist, die dem Außenstellen-RTC-Zähler zugeführt werden (Fansteuerung gemäß Darstellung in FIG. 6). Der Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert und der Außenstellen-Perioden-NCR-Wert sind Differenzen zwischen NCR-Werten aufeinanderfolgender Zeitpakete. Die Berechnung des Zentralstellen-Perioden-NCR-Werts und des Außenstellen-Perioden-NCR-Werts wurde oben mit Bezugnahme auf den Schritt 506 beschrieben.

**[00119]** FIG. 6 zeigt, dass der berechnete Zeitanpassungswert  $\Delta T_{\text{Anpassung}}$  verwendet wird, um den Außenstellen-RTC-Zähler anzupassen.

**[00120]** Die Zeitanpassung zum Außenstellen-RTC-Zähler, die durch das Außenstellengerät 24 ausgeführt wird, liefert eine Kompensation für die Zeitverzögerung, die verursacht wird durch (1) Differenzen zwischen den Uhrenschnalen, die aus einem Oszillator mit einer verhältnismäßig geringen Präzision abgeleitet sind, der den NCR-Zähler und den RTC-Zähler des Außenstellengeräts ansteuert, und (2) irgendeinen Dopplerverschiebungseffekt, wobei eine Zeitanpassung periodisch auf den RTC-Zähler angewendet werden kann.

**[00121]** In Realisierungsbeispielen des in FIG. 5 dargestellten Prozesses können die Schritte 506-510 gleichzeitig, der Reihe nach, stoßweise oder in einer beliebigen Ordnung ausgeführt werden. Ferner können irgendwelche von den Schritten 506-510 während der Ausführung des in FIG. 5 dargestellten Prozesses weggelassen werden. Zum Beispiel kann das Außenstellengerät 24 bei einer Ausführung des Prozesses von FIG. 5 den Schritt 510 ausführen, dann kann das Außenstellengerät 24 den Schritt 508 ausführen und den Schritt 506 weglassen.

**[00122]** FIG. 7 stellt ein Beispiel für die Zeitpaketerzeugung dar. Speziell ist die NCR ein hochgenauer Zähler ähnlich wie die RTC. Demzufolge werden die NCR- und RTC-Werte gleichzeitig zusammen zwischengespeichert. Nach dem Zwischenspeichern der NCR- und RTC-Werte werden die NCR- und RTC-Werte durch eine Firmware-Komponente der Linecard in einen BBFRAME eingesetzt. Insbesondere setzt der NCR-Insertor die zwischengespeicherten NCR- und RTC-Werte in den BBFRAME ein. Schließlich wird der BBFRAME unter Verwendung eines DVBS2-Modulators zur Ausgabe an den Sender moduliert, um über Luft übertragen zu werden.

**[00123]** FIG. 8 zeigt ein PTP-Gestaltungsbeispiel. Insbesondere zeigt FIG. 8 eine PTP-Master-Uhr, die auf einer Außenstelle ausgeführt ist, oder eine PTP-Slave-Uhr, die auf einer Linecard ausgeführt ist. Die PTP-Uhr kann aus zwei Kernen zusammengesetzt sein: Firmware und Software.

**[00124]** Der Firmware-Kern führt an der physikalischen Schnittstelle eine Zeitstempelung aus und liefert die Echtzeituhr (RTC) mit einem Bruchteil einer Sub-Nanosekunden-Präzision. Der Software-Kern ist für den Rest der Aufgaben zuständig, die in der IEEE 1588-2008 festgelegt sind, wie z.B. das Erzeugen der Ereignis und der allgemeinen Nachrichten, das Packen und Entpacken der Nachrichten sowie die Berechnung der Uhrendrift. Außerdem können zwei wei-

tere Kerne in die Software eingebaut werden, um die PTP-Ausführung zu unterstützen: Zeitpaketerfassung und RTC-Periodenbestimmung.

**[00125]** FIG. 8 stellt ferner Beispiele der Kommunikation zwischen Firmware-Komponenten der PTP-Uhr der Zentralstellengerät- Linecard und der Außenstellengerät-Linecard dar. Avalon-Master ist eine Schnittstelle in eingebetteten Systemen, wie z.B. FPGAs. Die MII- Schnittstelle ist eine medienunabhängige Schnittstelle, es können jedoch andere medienunabhängige Schnittstellen, wie z.B. GMII, verwendet werden. Ferner kann die Firmware zeitkritische Aufgaben ausführen, während die Software redundante, nicht zeitkritische Aufgaben ausführen kann. Um die beste Leistungsfähigkeit zu erhalten, ist es erforderlich, zeitkritische Aufgaben in der Firmware zu realisieren. Die PTP-Firmware weist eine Zeitstempereinheit, eine RTC und einige Register auf.

**[00126]** FIG. 9 zeigt Beispiele für Verbindungen zwischen einer RTC und einer NCR. Die RTC kann zugeführt werden durch eine Referenzuhr, die von einer PLL erzeugt wird, zum Beispiel eine Uhr von 100 MHz. Die RTC kann unter Verwendung einer FPGA realisiert werden. NCR ist ein Zähler, der ebenfalls unter Verwendung einer FPGA realisiert werden kann. Die Frequenz der Quellenuhr kann wegen der Nichtlinearität in der PLL und dem Oszillator geringer Qualität, der in der Außenstelle verwendet wird, von einem Idealwert abweichen. Um die Frequenzschwankungen zu kompensieren und Bruchteile von Nanosekundengenauigkeit zu liefern, werden die RTC-Schritte basierend auf der aktuellen Frequenz der Quellenuhr und nicht auf einer Nennfrequenz (100 MHz) berechnet. Zu diesem Zweck liest die RTC periodisch den Wert der Systemuhr ab, der durch das Netzwerkuhrreferenz(NCR)-Modul berechnet wird.

**[00127]** Die NCR kann den Fehler  $\varepsilon$  (Epsilon) der Systemuhr ( $f_{\text{SYSaktuell}} = f_{\text{SYSnenn}} \pm \varepsilon$ ) minimieren. Sie kann auch den aktuellen Wert der Systemuhr berechnen. Die RTC verwendet den aktuellen Wert zur Berechnung der Schritte ihres fraktionellen Zählers und anschließend zum Erzeugen hochgenauer Sekunden und Nanosekunden. Der Klarheit wegen wird der Prozess der Übertragung der Systemuhr auf die RTC-Periode anhand eines Beispiels erläutert.

**[00128]** Unter der Annahme, dass  $F_{\text{SYS}} = 10,000001$  MHz ist, würde die Frequenz der Uhr, die den RTC-Zähler versorgt, 100,00001 MHz sein, und der Schritt des Zählers (Periode) würde 9,9999990 ns sein. Das bedeutet, dass zum fraktionellen Zähler an jeder ansteigenden Flanke der Uhr 9,9999990 hinzugefügt wird, und wenn der Wert des Nanosekundenzählers gleich  $10^9$  ist, dann veranlasst er, dass zum Sekundenzeiger 1 hinzugefügt wird. Der fraktionelle Zähler legt eine innere Schleife fest, die 32-Bit-Register einbezieht, um die Bruchteile einer Nanosekunde zu halten und den Summationsvorgang auszuführen, der eine Genauigkeit von ungefähr 0,000000000233 ns begründet.

**[00129]** Zusätzlich kann die Dopplerfrequenzverschiebung Fehler in den RTC-Zähler einbringen. Obwohl das Zentralstellengerät und das Außenstellengerät die Dopplerverschiebung kompensieren können, können Fehler im RTC-Zähler eine zusätzliche Zeitanpassung erforderlich machen.

**[00130]** FIG. 10(A) zeigt ein Beispiel für die Zeitverzögerung zwischen der Zentralstelle und der Außenstelle ohne eine Zeitanpassung. FIG. 10(B) zeigt ein Beispiel für die Zeitverzögerung zwischen der Zentralstelle und der Außenstelle mit einer Zeitanpassung.

**[00131]** Um die Zeitverzögerung zu kompensieren, die verursacht wurde (1) durch Differenzen zwischen Zeitsignalen, die aus einem Oszillator mit einer verhältnismäßig geringen Präzision abgeleitet sind, der den NCR-Zähler und den RTC-Zähler des Außenstellengeräts ansteuert, und (2) durch irgendeinen Dopplerverschiebungseffekt, kann eine Zeitanpassung periodisch auf den RTC-Zähler angewendet werden. Die Zeitanpassung wird berechnet, wie oben mit Bezugnahme auf den Schritt 510 beschrieben wurde.

**[00132]** Die nachfolgende Tabelle zeigt Wertebeispiele für Anpassungen zum Außenstellen-RTC-Zähler entsprechend der Leistungsfähigkeit des NCR-Prozesses, des RTC-Korrekturprozesses und des Zeitanpassungsprozesses.

[00133] Tabelle 1

$NCR_{\text{zentral}}$	Periode $NCR_{\text{zentral}}$ =	$NCR_{\text{außen}}$	Periode $NCR_{\text{außen}}$	$RTC_{\text{zentral}}(\text{ns})$	$RTC_{\text{außen}}(\text{ns})$	$\Delta RTC(\text{ns})$ = $RTC_{\text{zentral}}$ $RTC_{\text{außen}}$	$K =$ Periode $NCR_{\text{außen}} /$ Periode $NCR_{\text{zentral}}$	Aktueller Wert von $F_{\text{sys}}$ (MHz)	Periode von RTC Zähler (ns)
100		100		2000	500	1500			
Außenstellen-RTC wird initialisiert/angepasst durch den RTC- Korrekturprozess, wobei $\Delta RTC$ hinzugefügt wird					$500 + 1500$ = 2000				
8437600	8437500	8437684	8437584	31252000	31252000		1.0000099	10.000099	9.9999
16875100	8437500	16875268	8437584	62502000	62502000		1.0000099	10.000099	9.9999
NCR-Korrekturprozess, Ableitung von $F_{\text{sys}}$ zeigt Drift der Außenstellen-RTC aufgrund des ansteuernden Uhrens-ignals an									
				125002000	125002010	-10			
Hinzufügen von $\Delta RTC$ zum Außenstellen-RTC-Wert					$125002010 - 10$ = 125002000				
Beseitigen des Zeit-Offsets, der durch den Dopplerfrequenzverschiebungseffekt verursacht wird									
8437600	8437500	8437600	8437500	31252000	31252000				
16875200	8437500	16875567	8437473	62502000	62502100				
Zeitanpassung = (Periode $NCR_{\text{außen}}$ - Periode $NCR_{\text{zentral}}) / 0,27 = 100$ ns Wird auf den Außenstellen-RTC angewendet					$62502100 + 100$ = 62502000				

[00134] Offensichtlich sind in Anbetracht der obigen Erkenntnisse zahlreiche Abwandlungen und Veränderungen der vorliegenden Erfindung möglich. Es ist deshalb verständlich, dass die Erfindung innerhalb des Umfangs der beigefügten Ansprüche auf eine andere Weise, als hier ausdrücklich beschrieben wurde, praktisch umgesetzt werden kann.

## Patentansprüche

1. Zentralstellengerät zum Ausführen einer Zeitsynchronisation in einem Satellitennetzwerk, wobei das Satellitennetzwerk das Zentralstellengerät, ein Außenstellengerät und einen Satelliten enthält, wobei das Zentralstellengerät aufweist:  
einen Zentralstellen-Echtzeituhr(RTC)-Zähler, der zu einer Master-Uhr zeitsynchronisiert ist;  
einen Zentralstellen-Netzwerkuhrreferenz(NCR)-Zähler, der kontinuierlich durch einen Zentralstellen-Uhrenoszillator mit einer verhältnismäßig hohen Präzision angesteuert wird;  
Verarbeitungsschaltungen, die periodisch ein Zeitpaket erzeugen, wobei das Zeitpaket einen Zentralstellen-RTC-Wert des Zentralstellen-RTC-Zählers und einen Zentralstellen-NCR-Wert des Zentralstellen-NCR-Zählers enthält; und  
ein Sender, der das erzeugte Zeitpaket über den Satellit dem Außenstellengerät übermittelt, um einen Außenstellen-RTC-Zähler mit dem Zentralstellen-RTC-Zähler auf Basis des Zentralstellen-RTC-Wertes und des Zentralstellen-NCR-Wertes in dem erzeugten Zeitpaket zu synchronisieren.
2. Zentralstellengerät nach Anspruch 1, wobei das Außenstellengerät den Zentralstellen-RTC-Wert und den Zentralstellen-NCR-Wert aus dem übermittelten Zeitpaket extrahiert,  
Inhalte des übermittelten Zeitpakets mit Inhalten eines zuvor übermittelten Zeitpakets vergleicht und  
den Außenstellen-RTC-Zähler auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs anpasst, um den Außenstellen-RTC-Wert an der Außenstelle mit dem Zentralstellen-RTC-Wert zu synchronisieren.
3. Zentralstellengerät nach Anspruch 1, wobei  
der Außenstellen-RTC-Zähler und der Außenstellen-NCR-Zähler jeweils durch Uhrenschnale angesteuert werden, die aus ein und demselben Außenstellen-Uhrenoszillator abgeleitet sind, der eine verhältnismäßig geringe Präzision aufweist, und  
das Außenstellengerät den Außenstellen-RTC-Zähler mit dem Zentralstellen-RTC-Zähler synchronisiert, um den Außenstellen-RTC-Zähler mit Hinblick auf Schwankungen in den ansteuernden Uhrenschnalen zu korrigieren, die aus dem Außenstellen-Uhrenoszillator abgeleitet sind, der eine verhältnismäßig geringe Präzision aufweist.
4. Zentralstellengerät nach Anspruch 1, wobei das Außenstellengerät  
einen Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert berechnet, der eine Differenz zwischen dem Zentralstellen-NCR-Wert eines gerade übertragenen Zeitpakets und einem Zentralstellen-NCR-Wert eines zuvor übertragenen Zeitpakets ist,  
eine Anpassungszeit berechnet, wobei die Anpassungszeit ein Anteil einer Differenz zwischen einem Außenstellen-Perioden-NCR-Wert und dem Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert ist, und  
den Außenstellen-RTC-Zähler mithilfe der Anpassungszeit anpasst.
5. Zentralstellengerät nach Anspruch 1, wobei  
der Zentralstellen-RTC-Zähler gemäß einem Präzisionszeitprotokoll (PTP) mit der Master-Uhr zeitsynchronisiert ist,  
der Zentralstellen-RTC-Zähler eine Funktion einer PTP-Slave-Uhr ausführt, und  
die Master-Uhr eine Funktion einer PTP-Grandmaster-Uhr ausführt.
6. Zentralstellengerät nach Anspruch 1, ferner mit einer  
Linecard, die den RTC-Zähler, den NCR-Zähler und den Sender enthält.
7. Zentralstellengerät nach Anspruch 1, wobei  
die Verarbeitungsschaltungen ferner  
einen Basisband-Frame (BBFRAME) erzeugen und  
das Zeitpaket in den Basisband-Frame kapseln, und  
der Sender das Zeitpaket innerhalb des BBFRAME an das Außenstellengerät überträgt.

8. Außenstellengerät, das eine Zeitsynchronisation mit einem Zentralstellengerät in einem Satellitennetzwerk ausführt, wobei das Satellitennetzwerk das Außenstellengerät, das Zentralstellengerät und einen Satelliten enthält, wobei das Außenstellengerät aufweist:
  - einen Außenstellen-Uhrenoszillator mit einer verhältnismäßig geringen Präzision;
  - einen Empfänger, der Zeitpakete empfängt, die periodisch vom Zentralstellengerät aus über den Satellit übertragen werden, wobei jedes Zeitpaket einen Zentralstellen-Echtzeituhr(RTC)-Wert und einen Zentralstellen-Netzwerkuhrreferenz(NCR)-Wert enthält, wobei der Zentralstellen-RTC-Wert einen Wert eines Zentralstellen-RTC-Zählers in der Zentralstelle zu einem Zeitpunkt darstellt, in dem das Zeitpaket dem Außenstellengerät übermittelt wurde, wobei der Zentralstellen-NCR-Wert einen Wert eines Zentralstellen-NCR-Zählers in der Zentralstelle zu einem Zeitpunkt darstellt, in dem das Zeitpaket dem Außenstellengerät übermittelt wurde, und wobei der Zentralstellen-NCR-Zähler kontinuierlich durch einen Zentralstellen-Oszillator angesteuert wird, der eine verhältnismäßig hohe Präzision aufweist;
  - einen Außenstellen-RTC-Zähler, der einen Außenstellen-RTC-Wert an der Außenstelle darstellt;
  - einen Außenstellen-NCR-Zähler, der einen Außenstellen-NCR-Wert an der Außenstelle darstellt, wobei der Außenstellen-RTC-Zähler und der Außenstellen-NCR-Zähler jeweils durch Uhrensignale angesteuert werden, die aus dem Außenstellen-Uhrenoszillator abgeleitet sind; und
  - Verarbeitungsschaltungen, die
    - den Zentralstellen-RTC-Wert und den Zentralstellen-NCR-Wert aus einem aktuellen Zeitpaket extrahieren,
    - Inhalte des aktuellen Zeitpakets mit Inhalten eines zuvor empfangenen Zeitpakets vergleichen und
    - den Außenstellen-RTC-Zähler auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs anpassen, um den Außenstellen-RTC-Wert an der Außenstelle mit dem Zentralstellen-RTC-Wert zu synchronisieren.
9. Außenstellengerät nach Anspruch 8, wobei die Verarbeitungsschaltungen ferner eine Inkrementperiode für den Außenstellen-RTC-Zähler auf Basis der Uhrensignale, die aus dem Außenstellen-Uhrenoszillator abgeleitet sind, berechnen und in jeder Inkrementperiode den Außenstellen-RTC-Zähler erhöhen.
10. Außenstellengerät nach Anspruch 8, wobei die Verarbeitungsschaltungen eine Zwischenspeicherung des Außenstellen-NCR- Wertes des Außenstellen-NCR-Zählers und des Außenstellen-RTC-Wertes des Außenstellen-RTC-Zählers ausführen, wenn der Empfänger das aktuelle Zeitpaket empfängt.
11. Außenstellengerät nach Anspruch 10, wobei die Verarbeitungsschaltungen ferner
  - einen Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert berechnen, wobei der Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert eine Differenz zwischen einem aktuellen Zentralstellen-NCR-Wert eines gerade empfangenen Zeitpakets und einem vorausgehenden Zentralstellen-NCR-Wert eines zuvor empfangenen Zeitpakets ist,
  - einen Außenstellen-Perioden-NCR-Wert berechnen, wobei der Außenstellen-Perioden-NCR-Wert eine Differenz zwischen einem aktuellen Außenstellen-NCR-Zählerwert, wenn der Empfänger das gerade erhaltene Zeitpaket empfängt, und einem vorausgehenden Außenstellen-NCR-Zähler-Wert ist, wenn der Empfänger das zuvor erhaltene Zeitpaket empfangen hat,
  - eine Anpassungszeit berechnen, wobei die Anpassungszeit ein Anteil einer Differenz zwischen dem Außenstellen-Perioden-NCR-Wert und dem Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert ist, und
  - den Außenstellen-RTC-Zähler mithilfe der Anpassungszeit anpassen.

12. Außenstellengerät nach Anspruch 8, wobei die Verarbeitungsschaltungen ferner den Außenstellen-RTC-Zähler auf den Zentralstellen-RTC-Wert setzen, wenn eine Differenz zwischen dem Außenstellen-RTC-Zähler und dem Zentralstellen-RTC-Wert größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist.
13. Außenstellengerät nach Anspruch 9, wobei die Verarbeitungsschaltungen ferner einen Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert berechnen, wobei der Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert eine Differenz zwischen einem aktuellen Zentralstellen-NCR-Wert eines gerade empfangenen Zeitpakets und einem vorausgehenden Zentralstellen-NCR-Wert eines zuvor empfangenen Zeitpakets ist, einen Außenstellen-Perioden-NCR-Wert berechnen, wobei der Außenstellen-Perioden-NCR-Wert eine Differenz zwischen einem aktuellen Außenstellen-NCR-Zählerwert, wenn der Empfänger das gerade erhaltene Zeitpaket empfängt, und einem vorausgehenden Außenstellen-NCR-Zähler-Wert ist, wenn der Empfänger das zuvor erhaltene Zeitpaket empfangen hat, eine angepasste Uhrenfrequenz  $F_{\text{sys}}$  für den Außenstellen-Uhrensoszillator ableiten, wobei  $F_{\text{sys}} = (\text{Außenstellen-Perioden-NCR-Wert} / \text{Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert}) * F_{\text{nenn}}$  ist, wobei  $F_{\text{nenn}}$  eine bekannte konstante Frequenz ist und die Inkrementperiode umgekehrt proportional zu  $F_{\text{sys}}$  ist.
14. Außenstellengerät nach Anspruch 8, ferner mit:  
einem Switch, wobei  
ein Client-Gerät über den Switch mit dem Außenstellengerät verbunden wird, und  
das Client-Gerät eine Client-Zeit-Uhr mit dem Außenstellen-RTC- Zähler synchronisiert.
15. Außenstellengerät nach Anspruch 8, wobei  
der Außenstellen-RTC-Zähler mit dem Zentralstellen-RTC-Zähler des Zentralstellengeräts gemäß einem Präzisionszeitprotokoll (PTP) zeitsynchronisiert ist,  
der Außenstellen-RTC-Zähler eine Funktion einer PTP-Master-Uhr ausführt und  
der Zentralstellen-RTC-Zähler eine Funktion einer PTP-Uhr ausführt.
16. Außenstellengerät nach Anspruch 15, ferner mit: einem Switch, wobei  
ein Client-Gerät über den Switch mit dem Außenstellengerät verbunden wird und  
das Client-Gerät eine Client-PTP-Slave-Uhr mit der PTP-Master-Uhr synchronisiert.
17. Außenstellengerät nach Anspruch 13, wobei  
die Verarbeitungsschaltungen ferner die Anpassungszeit entsprechend der folgenden Gleichung  $(\text{Außenstellen-Perioden-NCR-Wert} - \text{Zentralstellen-Perioden-NCR-Wert}) / R$  berechnen, wobei  
 $R$  ein Verhältnis zwischen der Frequenz  $F_{\text{sys}}$  und einer Frequenz von Uhrensignalen ist, die dem Außenstellen-RTC-Zähler zugeführt werden.
18. Außenstellengerät nach Anspruch 8, ferner mit einer Linecard, die den Außenstellen-RTC-Zähler, den Außenstellen-NCR-Zähler und den Empfänger enthält.
19. Außenstellengerät nach Anspruch 18, ferner mit einer Antenne, wobei der Empfänger der Linecard das Zeitpaket über die Antenne empfängt.
20. System für die Zeitsynchronisation in einem Satellitennetzwerk, wobei das System aufweist:  
ein Zentralstellengerät, das enthält:  
einen Zentralstellen-Echtzeituhr(RTC)-Zähler, der mit einer Master-Uhr zeitsynchronisiert ist;  
einen Zentralstellen-Netzwerkuhrreferenz(NCR)- Zähler, der  
kontinuierlich durch einen Zentralstellen-Uhrensoszillator angesteuert wird, der eine verhältnismäßig hohe Präzision aufweist;  
Verarbeitungsschaltungen, die periodisch ein Zeitpaket erzeugen, wobei das Zeitpaket einen Zentralstellen-RTC-Wert des Zentralstellen-RTC- Zählers und einen Zentralstellen-

NCR-Wert des Zentralstellen-NCR-Zählers enthält; und  
einen Sender, der das erzeugte Zeitpaket über einen Satellit einem Außenstellengerät übermittelt; und  
das Außenstellengerät, das enthält:  
einen Außenstellen-Uhrenoszillator mit einer verhältnismäßig geringen Präzision;  
einen Empfänger, der die periodisch erzeugten  
Zeitpakete vom Zentralstellengerät aus über den Satellit empfängt;  
einen Außenstellen-RTC-Zähler, der an der  
Außenstelle einen Außenstellen-RTC-Wert darstellt;  
einen Außenstellen-NCR-Zähler, der an der  
Außenstelle einen Außenstellen-NCR-Wert darstellt, wobei der Außenstellen-RTC-Zähler  
und der Außenstellen-NCR-Zähler jeweils durch Uhrensignale angesteuert werden, die aus  
dem Außenstellen-Uhrenoszillator abgeleitet sind; und  
Verarbeitungsschaltungen, die  
den Zentralstellen-RTC-Wert und den  
Zentralstellen-NCR-Wert aus einem aktuellen Zeitpaket extrahieren, das vom Empfänger  
empfangen wurde,  
Inhalte des aktuellen Zeitpakets mit  
Inhalten eines zuvor empfangenen Zeitpakets vergleichen und  
den Außenstellen-RTC-Zähler auf Basis des  
Ergebnisses des Vergleichs anpassen, um den Außenstellen-RTC-Wert an der Außenstel-  
le mit dem Zentralstellen-RTC-Wert zu synchronisieren.

**Hierzu 12 Blatt Zeichnungen**

1/12

**FIG. 1**

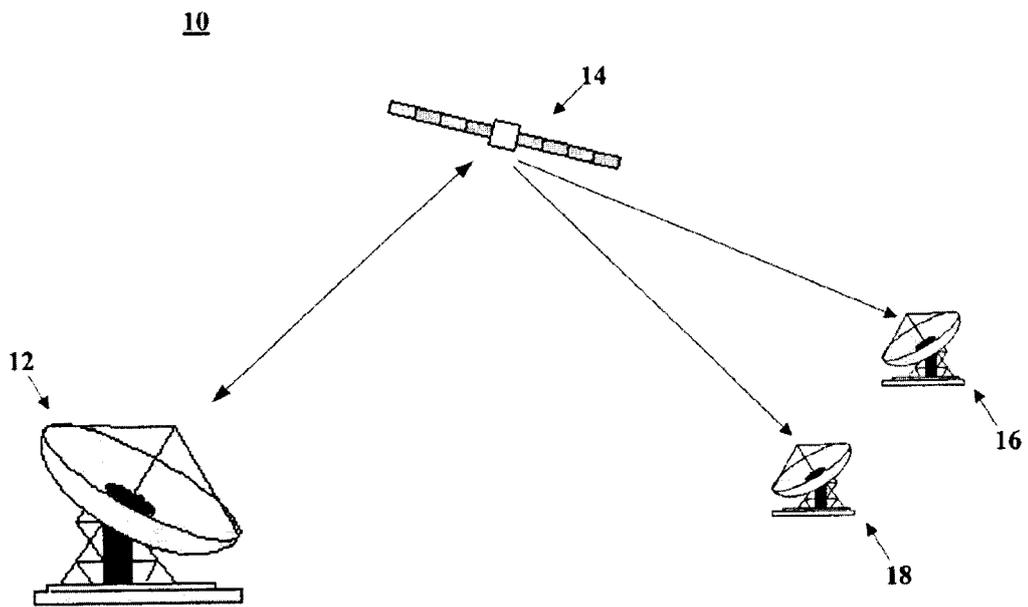


FIG. 2(A)

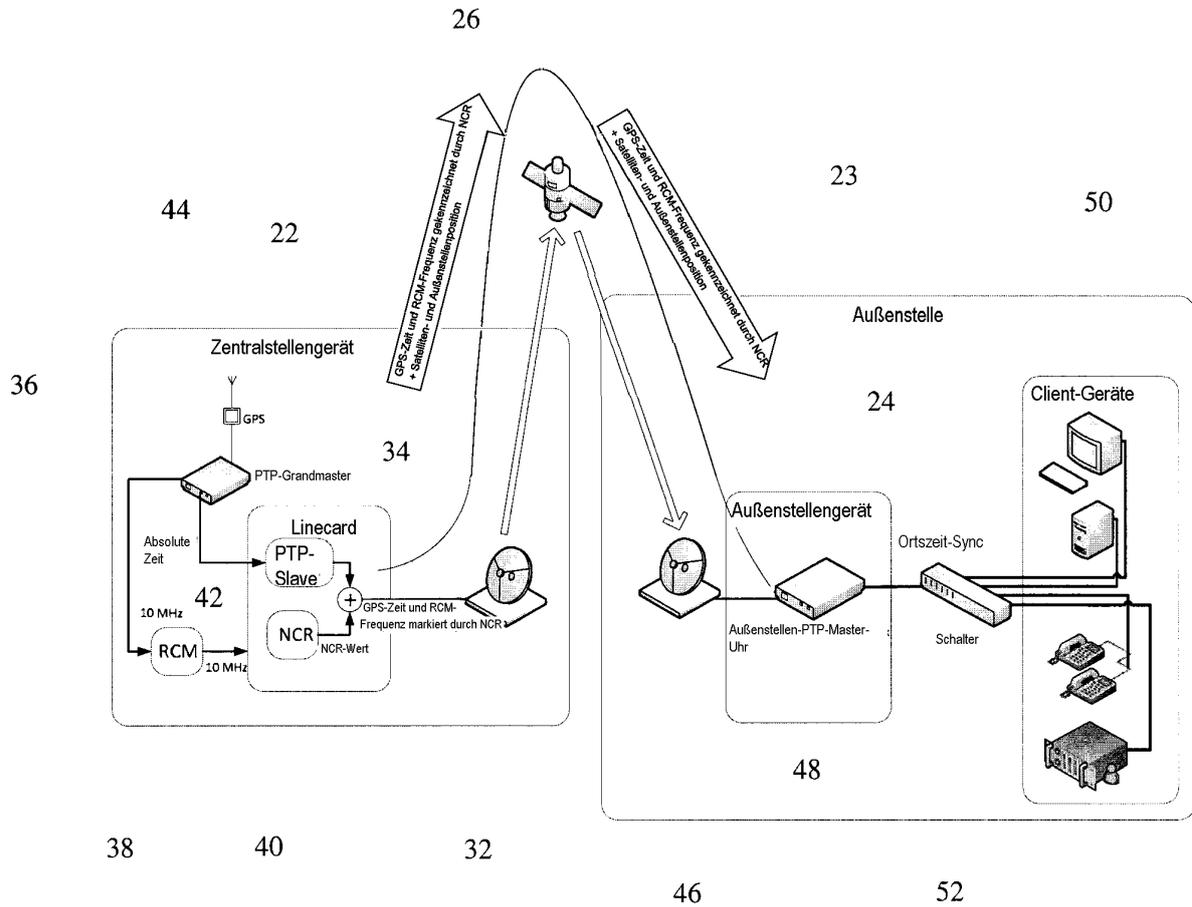


FIG. 2(B)

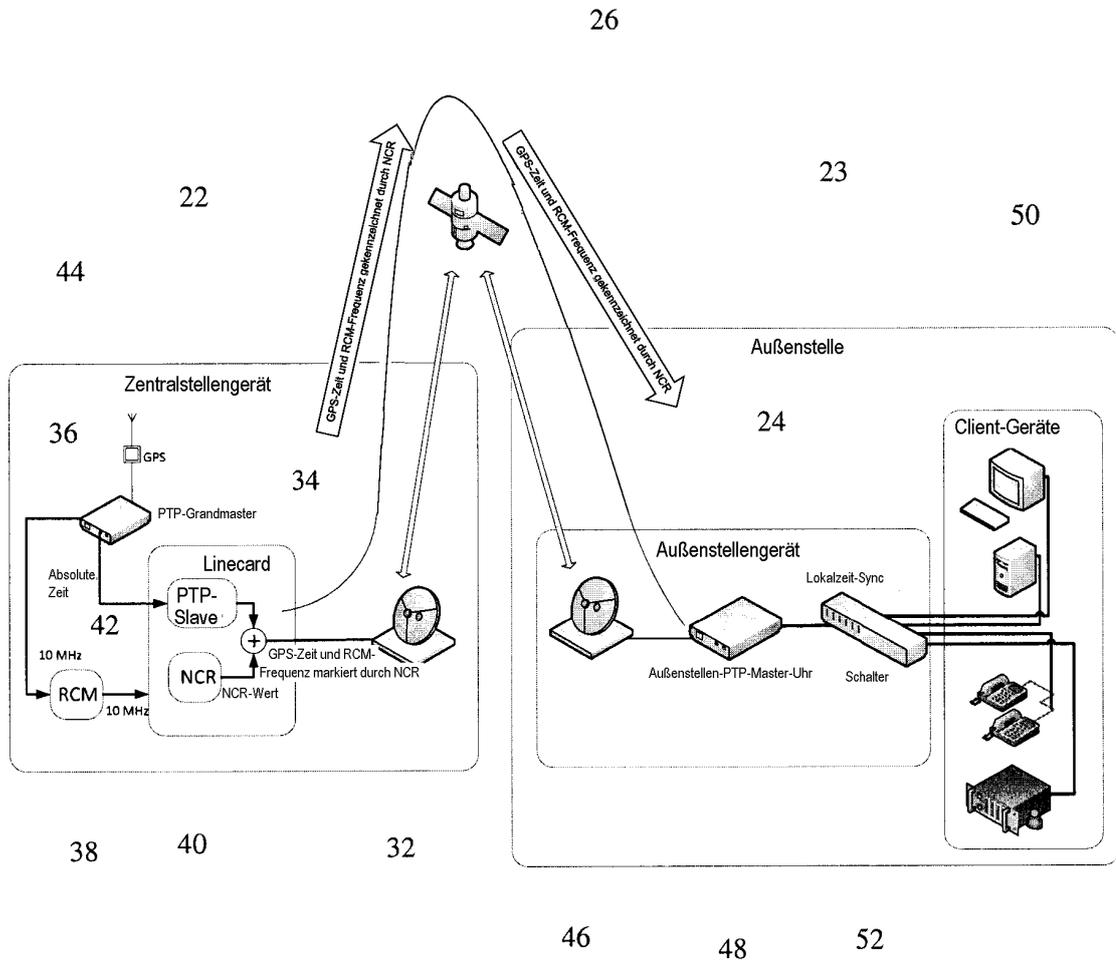
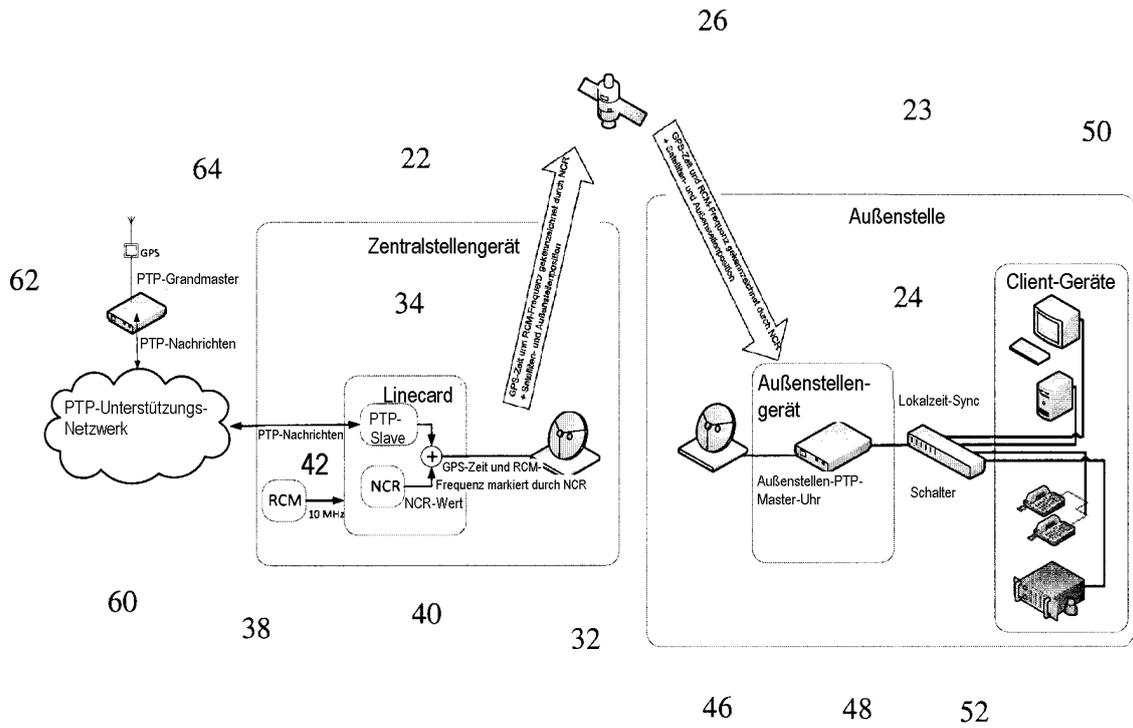


FIG. 2(C)



5/12

**FIG. 3(A)**

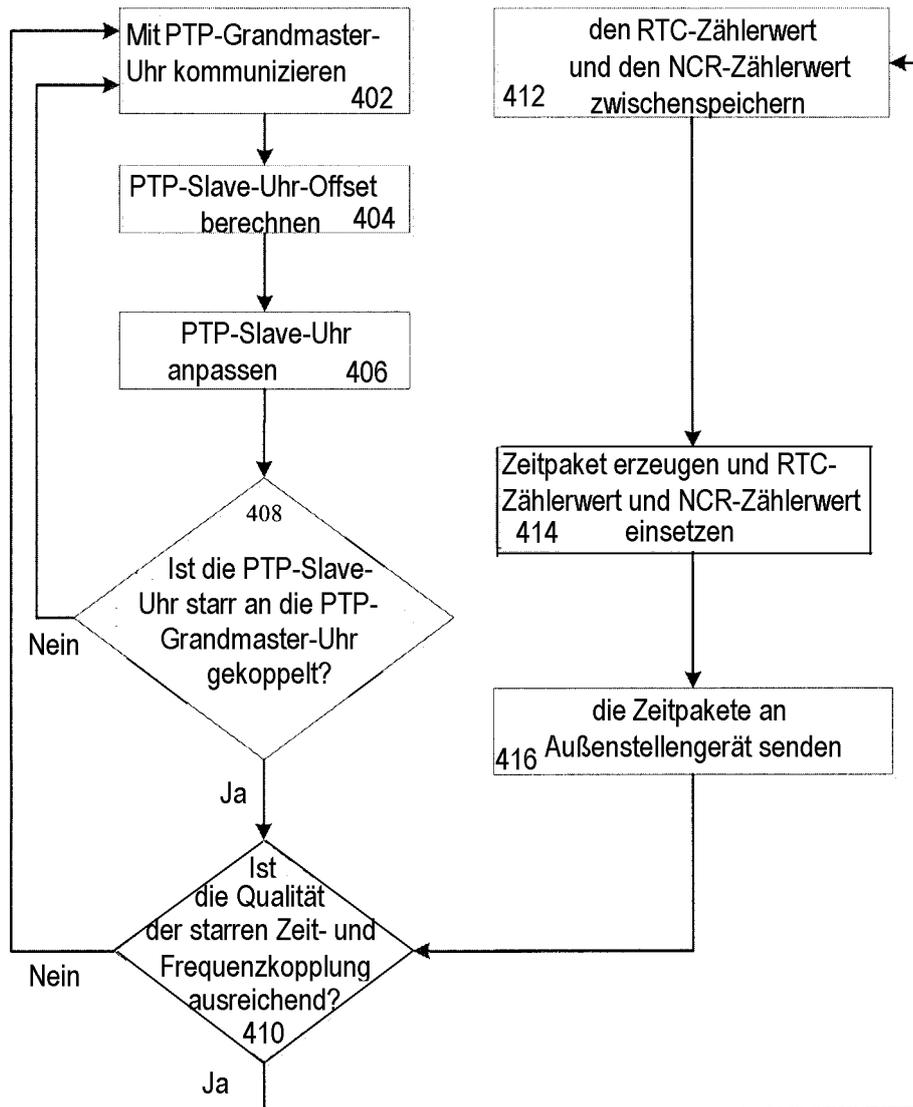
S '1'	E '1'	L '1'	-	Länge 12 (Bits)	Protokolltyp = 0x00F0
Nutzdaten (Länge = 144 Bits)					
NCR (42 Bits)	Zukünftige Verwen- dung (22 Bits)	Zeitstempel (Sekunden) (48 Bits)	Zeitstempel (Nanosekunden) (32 Bits)	RCM-Frequenz (64 Bits)	

**FIG. 3(B)**



6/12

FIG. 4



7/12

**FIG. 5**

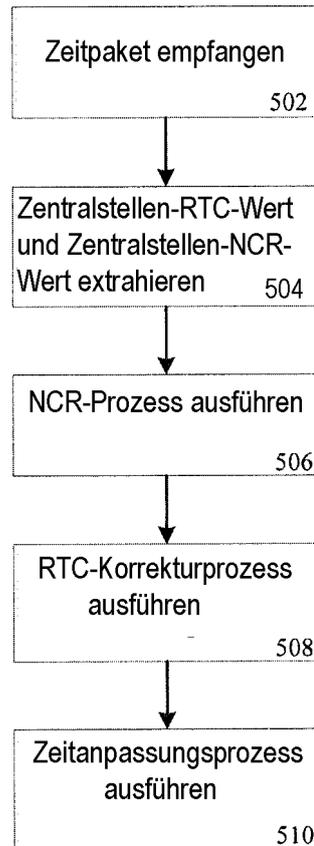
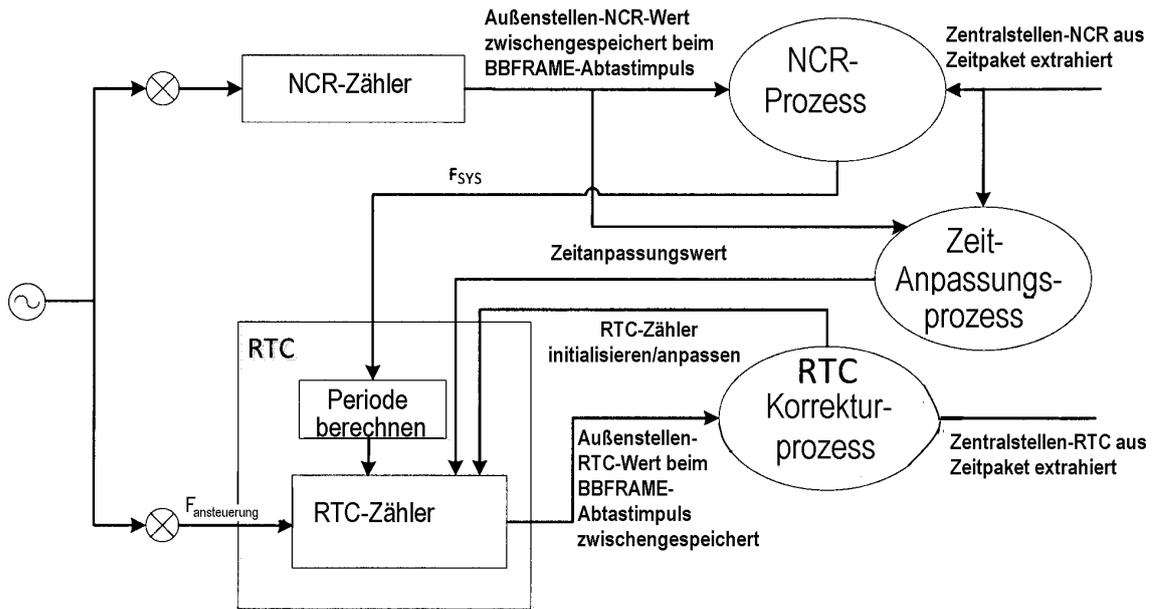
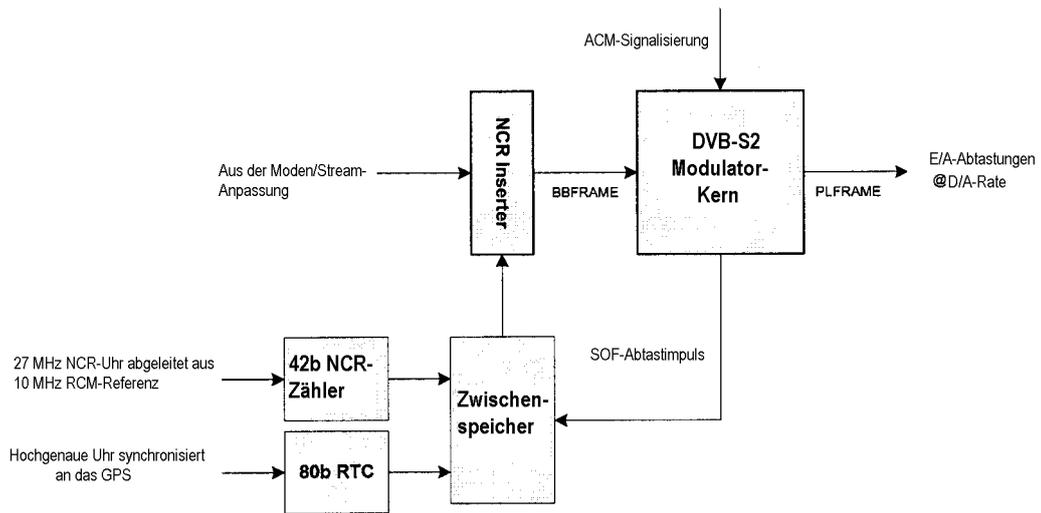


FIG. 6



**FIG. 7**



10/12

**FIG. 8**

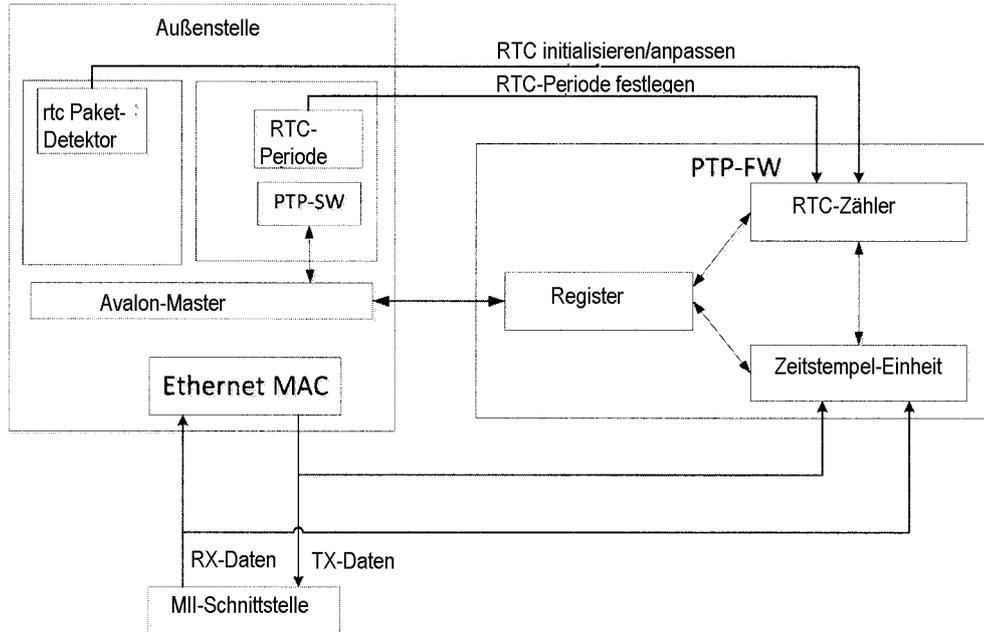
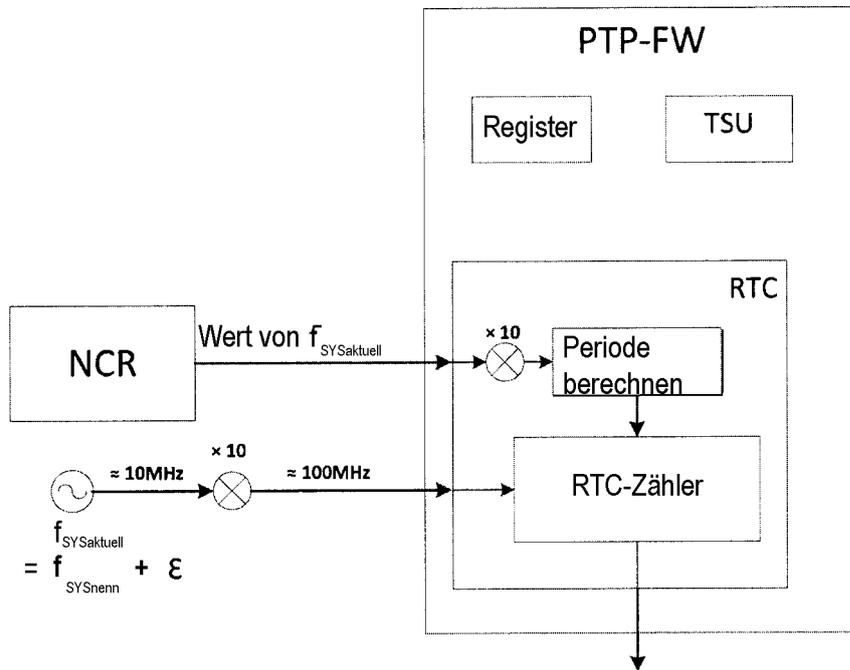
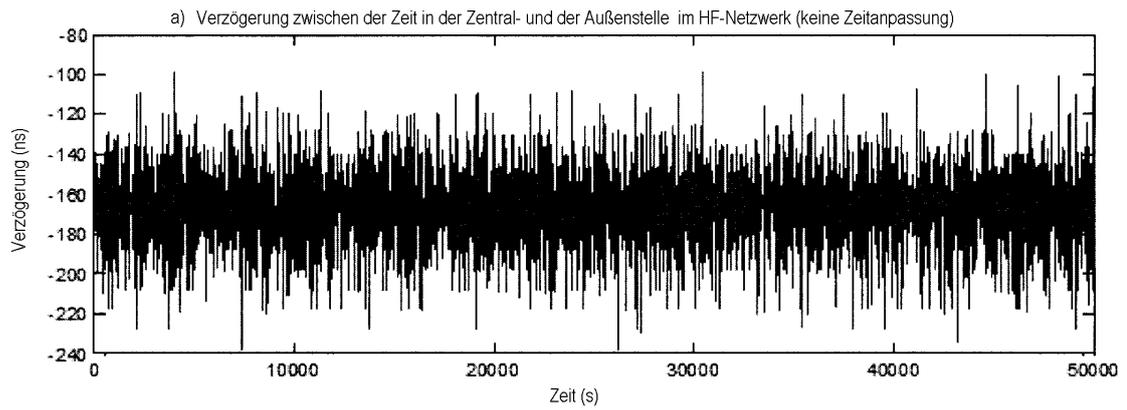


FIG. 9



12/12

**FIG. 10(A)**



**FIG. 10(B)**

