

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. September 2018 (20.09.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/166576 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H04J 3/06 (2006.01)

90427 Nürnberg (DE). SCHMITT, Jürgen; Bodenbacher Straße 1, 90766 Fürth (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/055819

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. März 2017 (13.03.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

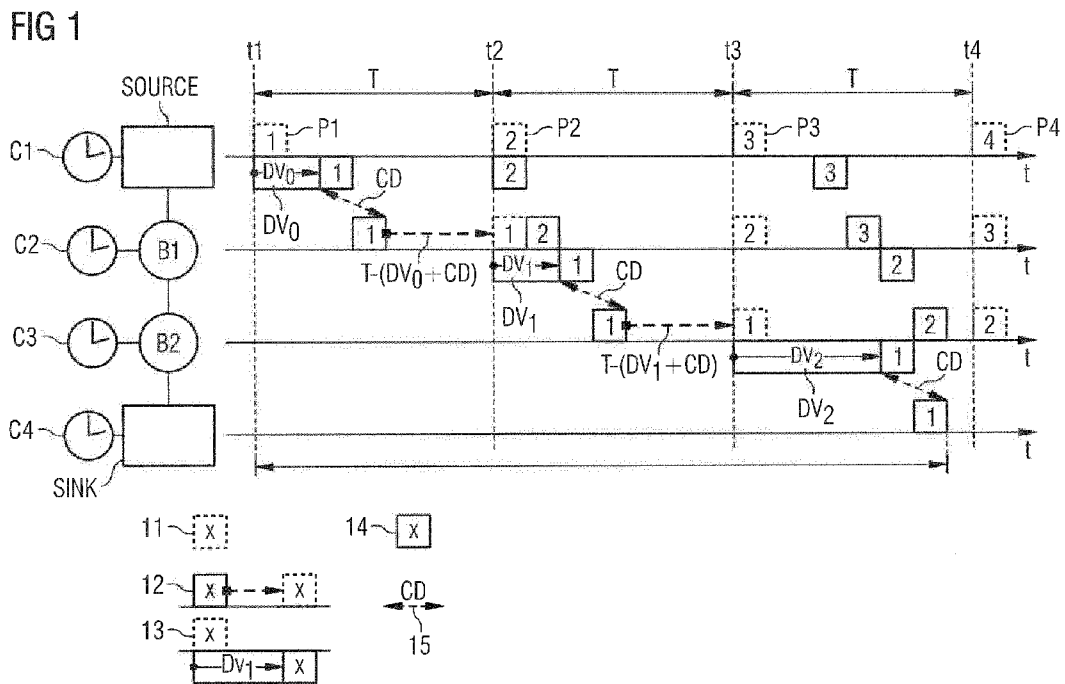
(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: CHEN, Feng; Uranusweg 31, 90537 Feucht (DE). GÖTZ, Franz-Josef; Laibstadt 48, 91180 Heideck (DE). KIESSLING, Marcel; Ahornweg 1, 91235 Velden (DE). NGUYEN, An Ninh; Wilhelm-Busch-Straße 17,

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR TIME-CONTROLLED DATA TRANSMISSION IN A TSN

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ZEITGESTEUERTEN DATENÜBERTRAGUNG IN EINEM TSN



(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for time-controlled data transmission in a TSN. The invention specifically relates to a novel traffic-shaping method for time-sensitive data streams. The aim of the invention is to offer the same real-time performance and configuration complexity as the prior art but without needing to perform a time synchronisation of the whole network. The traffic shaper ensures that a data frame received by a bridge in a first time interval is passed along by said bridge to the next hop/bridge in the next time interval. Each bridge knows the starting time of the time interval that belongs to a determined data stream. Each data frame must contain a delay value that is measured by each bridge using a local time that measures the delay time spent by the data frame in the queue at the outgoing port.



WO 2018/166576 A1

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Rechenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Verfahren und Vorrichtung Verfahren und Vorrichtung zur zeitgesteuerten Datenübertragung in einem TSN. Beschrieben wird eine neue Traffic Shaping Methode für zeitsensitive Datenstreams. Es ist das Ziel, die gleiche Echtzeit-Performanz und Konfigurations-Komplexität zu bieten wie im Stand der Technik aber ohne die Notwendigkeit einer Zeitsynchronisierung des kompletten Netzwerks. Der Traffic Shaper sorgt dafür, dass ein Datenframe, der durch eine Bridge in einem ersten Zeitintervall empfangen wird, durch diese Bridge in dem nächsten Zeitintervall an den nächstliegenden Hop/Bridge weiter gereicht wird. Jede Bridge kennt die Startzeit des Zeitintervalls, das zu einem bestimmten Datenstream gehört. Jeder Datenframe muss einen sogenannten „Delay Wert“ enthalten, also einen Verzögerungswert, der durch jede Bridge gemessen wird unter Verwendung einer lokalen Uhr die die Verzögerungszeit misst, die der Datenframe in der Warteschlange am ausgehenden Port verbringt.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur zeitgesteuerten Datenübertragung in einem TSN

5

Durch die Erweiterungen der IEEE Arbeitsgruppe TSN (Time Sensitive Networking, IEEE 802.1) wird Echtzeitkommunikation in Netzwerken, die gemäß Ethernet Standard arbeiten, ermöglicht. Die aktuellen, sich in Entwicklung befindenden IEEE Standards für TSN berücksichtigen besonders die Anforderungen der Automobilindustrie und Steuerungen in Automatisierungsanlagen mit ihren Anforderungen an die Netzwerke bezüglich Echtzeitverhalten. Es werden Mechanismen und Protokolle definiert, um deterministische Dienste anbieten zu können für das zeit-
10 sensitives Streaming durch ein Netzwerk gemäß Ethernet Standard.
15

Der sogenannte Time-Aware-Shaper (TAS) ist im Standard IEEE 802.1Qbv definiert und kann zeitlich vorgeplanten, geschedulten Datentransfer vor Störungen aus anderem Datenverkehr schützen, indem festgelegte Zeitfenster verwendet werden und so eine deterministische niedrige Latenz erreicht wird. Falls das sogenannte „cut-through“ Routing in Kombination mit TAS angeboten wird, so kann die beste Echtzeit-
20 Leistungsfähigkeit mit niedrigster Latenz und geringster Verzögerungs-Varianz erreicht werden.
25

Ein TAS Netzwerk für einen geschedulten Datentransfer anzuwenden erfordert, dass alle Netzelemente, also sowohl die Vermittlungsstationen / Bridges als auch die Endteilnehmerstationen zeitsynchronisiert sind, so dass die TAS-
30 Zeitfenster auf der selben Zeitbasis gescheduled werden.

Das Scheduling von TAS Fenstern hängt von der globalen Netzinformation ab, beispielsweise von der Netzwerk-Topologie, und benötigt daher ein vollständig verwaltetes Netzwerk. Wegen des hohen Planungs- und Verwaltungsaufwands und ineffizienter Bandbreiten-Ausnutzung für den verbleibenden Datenverkehr werden diese Netze, so wie beispielsweise bereits
35

PROFINET IRT (Isochronous Real Time) Netz, hauptsächlich für Harte Echtzeitsysteme und Motion-Control-Anwendungen verwendet, die höchste Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit und Zuverlässigkeit stellen.

5 Für solche Echtzeit-Systeme, die nicht diese höchsten Anforderungen mit niedrigster Latenz fordern, werden andere Verkehrsflußregelungen mit weniger Planungsaufwand als TAS bevorzugt, solange der benötigte Determinismus angeboten wird.

10 Der sogenannte Credit-Based Shaper (CBS), wurde in dem IEEE Standard 802.1Qav von der AVB (Audio-Video-Bridging) Task Group definiert und ist vorgesehen für Audio-Video Streams mit begrenzter Latenz und Verlustfreiheit bei Datenstau. CBS glättet den Datentransfer der Streams durch gleichmäßige Ver-
15 teilung der Datenpakete über die Zeit. Die Idee dahinter ist, die Konzentration von Datenframes zu verhindern, was eine Überlastung der Datenpuffer der Bridges zur Folge haben könnte und damit den Verlust von Datenframes. Die Begrenzung der Konzentration hat den Vorteil, dass der in den Bridges benötigte Daten-Puffer am Ausgangsport kleiner dimensioniert sein
20 kann und einen niedrigeren maximalen Delay im Ausgangs-Stream der Bridge erzeugt.

AVB verwendet das Stream-Reservation Protokoll (SRP), das in
25 IEEE 802.1Qat definiert ist, für die Reservierung von Ressourcen im Netzwerk für jeden einzelnen AVB Stream, kalkuliert auf Basis eines Worst-case Delays und mit einem Speicherbedarf berechnet für die Bridges basierend auf Traffic Classes.

30 Es stellt sich jedoch heraus, dass der Worst-Case Delay pro Netzelement (Bridge) bei CBS topologieabhängig ist und dieselbe Abhängigkeit findet sich beim Speicherbedarf. Das führt dazu, dass die Worst-Case Analyse sehr komplex wird und topologieabhängig ist. Ungenaue Worst-Case Berechnungen führen
35 zu falschen Reservierungen im Netzwerk, es werden entweder zu viele Ressourcen belegt. Der jedoch problematischere Fall wäre die zu geringe Reservierung, die zu unerwarteten Datenverlusten führt aufgrund zu gering dimensionierter

Bridge Speicher, was letztendlich ernsthafte Fehler im Echtzeit-System verursacht.

Zur Vermeidung der oben beschriebenen Probleme wurde ein weiteres Protokoll definiert, das Cyclic Queuing and Forwarding (CQF) Protocol, IEEE 802.1Qch. Es bietet eine Flußkontrolle mit garantierter maximaler Latenz und einer begrenzten Verzögerungsschwankung pro Sprung (sogenannter fixed delivery Jitter an jeder Bridge im Netzwerk). Das Senden von Datenpaketen gemäß CQF Protokoll wird exemplarisch in Figur 2 dargestellt.

In jeder Bridge B1, B2 ist die Zeit aufgeteilt in eine Abfolge von gleich langen Zeitintervallen T. CQF verlangt dabei, dass ein Datenframe P1, P2, P3, der in einem ersten Intervall im Zeitraum zwischen Zeitpunkt t1 und t2 empfangen wird im darauffolgenden zweiten Intervall zwischen t2 und t3 an das im Pfad darauffolgende nächste Netzelement übertragen wird. Das bedeutet insbesondere, dass die Anforderung besteht, dass das Netz zeitsynchronisiert ist, d. h. alle Bridges in dem Netzwerk wissen, wann das nächste Intervall beginnt und wie lange es dauert. Synchronisiert wird durch einen zentralen Zeitgeber MC, welcher dafür sorgt, dass die einzelnen Netzelemente auf der gleichen Zeitbasis laufen, SYNC.

Da bei CQF jeder Datenframe von einer Bridge im Laufe des aktuellen Intervalls genau um einen Hop im Pfad weiter übertragen wird, ist die Verzögerung pro Hop begrenzt auf zweimal die Länge des Zeitintervalls T, der Worst-case Delay.

Die maximale Latenz für die Übertragung eines Frames in dem Netz ist also

$$\text{Latenz}_{\text{Max}} = (h + 1) * T$$

wobei h die Anzahl der Hops ist.

Wenn ein Frame bei jedem Hop immer zu Anfang des nächsten Frames und ohne weitere Verzögerung durch störenden Datenverkehr übertragen wird, abgesehen von der Verzögerung die durch

einen Shaper im Netz verursacht wird, dann ist die minimale Latenz wie folgt zu berechnen:

$$\text{Latenz}_{\text{Min}} = (h - 1) * T$$

5

Der Übertragungsjitter beträgt bei CQF die Zeitdauer $2T$, welches ein fester Wert ist, unabhängig von der Anzahl der Hops in der Übertragungsstrecke. CQF erreicht eine deterministische Latenz und einen topologie-unabhängigen Jitter jedoch für den Preis einer erhöhten Latenz im besten Fall als Resultat von der durch den Shaper erzwungenen Wartezeit in jeder Bridge.

Der größte Vorteil von CQF im Vergleich zu CBS ist die massiv reduzierte Komplexität in der Berechnung der worst-case Verzögerung wegen der fehlenden Abhängigkeit von der Netzwerk-Topologie. Der festgelegte Jitter der CQF Traffic Class führt zu gleichmäßig verteilten Speichergrößen in den CQF Warteschlangen (Queues) aller Bridges, was einen verallgemeinernden Ansatz im Ressourcen-Berechnungsmodell erlaubt, der geeignet ist für jedes mögliche CQF Szenario.

Um sicherzustellen, dass die oben berechneten Latenzgrenzen erreicht werden können, muss die Dauer T der Zeitintervalle groß genug gewählt werden um allen Daten in einem vorgegebenen Klassen-Messintervall Platz zu bieten, plus einem Stör-Frame maximaler Größe von niedrigerer Priorität.

Wenn die in IEEE 802.1bu/802.3.3br definierte Frame Preemption mit CQF kombiniert wird, dann kann die maximale Größe eines Stör-Fragments weiter reduziert werden auf die Größe eines maximalen Frame-Fragments. Das bedeutet, dass für die gleiche Intervalldauer T für die Verwendung mit CQF mehr Streamdata reserviert werden kann, wenn Preemption verwendet wird.

35

Obwohl CQF gegenüber CBS bezüglich der Technologie-Unabhängigkeit und der Einfachheit der Berechnung der Worst-Case Latenz im ungünstigsten Fall überlegen ist, benötigt CQF

ebenfalls einen zyklischen Zeitablauf das als Basis ein zeit-synchronisiertes Netzwerk benötigt. Wenn CQF mit PSFP (per-stream filtering and policing, IEEE 802.1Qi) und TAS (IEEE 802.QBv) implementiert wird, dann werden von CQF am Ausgangs-
5 Port zwei Transport-Klasse Warteschlangen pro Datenstream benötigt für eine einzelne SR (Stream Reservation) Class. Die zwei Warteschlangen werden zyklisch abwechselnd verwendet mit Hilfe von Input und Output Gate Control um sicherzustellen, dass die eine Warteschlange im Puffer-Status arbeitet
10 und die andere im Übertragungs-Modus. Weil die Traffic Classes eine begrenzte Ressource einer Bridge sind (bei einer IEEE 802.1Q konformen Bridge sind es maximal 8), wird der Bedarf von zwei Warteschlangen pro Traffic Class als Nachteil der CQF angesehen. Der zweite Schwachpunkt von CQF ist, wie
15 bereits erwähnt, die Notwendigkeit einer Zeitsynchronisierung.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren anzugeben,
20 zur Übertragung von zeitkritischen Datenpaketen mit einer garantierten maximalen Latenz, eine topologie-unabhängige Latenz-Kalkulation und eine begrenzte Schwankung der Verzögerungen (delay), ohne zentrale Zeitsynchronisation im Netz und/oder in den Endgeräten.

25 Die Aufgabe wird gelöst durch je ein Verfahren und eine Vorrichtung mit den Merkmalen der unabhängigen Patentanspruchs.

Das Verfahren betrifft die zeitgesteuerte Datenübertragung
30 von Datenpaketen in einem time-sensitiven Netzwerk gemäß TSN Standard. Das Netzwerk besteht dabei aus einzelnen Netzelementen und der Zeitablauf ist in jedem Netzelement eingeteilt in vorgeplante, gleichgroße Zeitfenster.

Die Netzelemente verfügen jeweils über einen eigenen unabhängigen
35 Zeitmesser und diese Zeitfenster beginnen und enden bei allen Netzelementen zu den gleichen Zeitpunkten. Die Übertragung eines Datenpakets von einem ersten Netzelement zu einem darauffolgenden Netzelement erfolgt in dem Zeitfenster, wel-

ches dem Zeitfenster folgt, in dem dieses Datenpaket von einem vorhergehenden Netzelement empfangen wurde.

Jedes Netzelement bestimmt dann basierend auf dem durch eigenen unabhängigen Zeitmesser und einem Verzögerungswert, zu
5 welchem Zeitpunkt das nächste Sendefenster beginnt und/oder endet.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind durch die Merkmale der Unteransprüche angegeben.

10

Beschrieben wird eine neue Traffic Shaping Methode für zeitsensitive Datenstreams, die im Folgenden auch „Packet Delay Variation Compensation (PDVC)“ genant wird. Es ist das Ziel, die gleiche Echtzeit-Performanz und Konfigurations-

15

Komplexität zu bieten wie CQF aber ohne die Notwendigkeit einer Zeitsynchronisierung des kompletten Netzwerks.

Der PDVC Shaper sorgt ebenfalls dafür, dass ein Datenframe, der durch eine Bridge in einem ersten Zeitintervall empfangen wird, durch diese Bridge in dem nächsten Zeitintervall an den
20 nächstliegenden Hop/Bridge weiter gereicht wird.

Ein wesentlicher Unterschied zu CQF besteht darin, wie diese Zeitintervalle in den Bridges realisiert werden. CQF realisiert die Intervallen in der Bridge in einer bestimmten Weise durch Verwendung von einem zyklischen Netz-zentralen Timer
25 und formt die Streams einer vorgegebenen Transport-Klasse basierend auf dem selben Schedule (eine Abfolge von aufeinander folgenden Zeitintervallen). Der zyklische Timer der CQF Bridges im Netzwerk muss dabei auf einer gemeinsamen Zeitbasis laufen, damit die Zeitintervalle auf die gleiche Startzeit
30 synchronisiert werden können.

Das hier beschriebene Verfahren kommt ohne die im Verfahren gemäß dem Stand der Technik unverzichtbare zentrale Zeitbasis aus. Jede Bridge kennt die Startzeit des Zeitintervalls, das
35 zu einem bestimmten Datenstream gehört. Dieser ist durch die Quelle des Streams definiert, (StreamID), durch Verfolgung des Zeitablaufs jedes Frames an jedem Hop entlang des Datenpfads von der Quelle zur Senke. Jeder Datenframe muss einen

sogenannten „Delay Wert“ enthalten, also einen Verzögerungswert, der durch jede Bridge gemessen wird unter Verwendung einer lokalen Uhr die die Verzögerungszeit misst, die der Datenframe in der Warteschlange am ausgehenden Port verbringt.

5 Abhängig von der Implementierung sollte der gemessene Delay Wert jeden Delay herausrechnen, der durch den PDVC Shaper verursacht wird, und widerspiegelt, wie die tatsächliche Übertragungszeit AT abweicht von der geplanten Übertragungszeit. Die geplante Übertragungszeit für einen Datenframe, üblicherweise als Eligibility Time ET bezeichnet, wird vom PDVC Shaper zum frühest möglichen Zeitpunkt ermittelt, wenn
10 der Daten-Frame in der Warteschlange des Ausgangsübertragungsports eingetragen wird.

Der Verzögerungswert, Delay Value DV, der an der Bridge gemessen wird, berechnet sich wie folgt:
15

$$DV(i) = AT(i) - ET(i)$$

Wenn die nächste Bridge im Übertragungspfad $i+1$ einen Datenframe mit $DV(i)$ erhält, dann berechnet es $ET(i+1)$ für den Datenframe
20

$$ET(i + 1) = T - (DV(i) + CD)$$

25 wobei T das Klassen-Messintervall welches zu dem Stream dieses Datenframes gehört und das Übertragungsintervall des Streams an seiner Quelle repräsentiert. Als konstanter Parameter von PDVC für eine SR Klasse muss der Wert von T an jeder Bridge konfiguriert werden, entweder durch ein Netzwerkmanagement oder während der Stream Reservierung mit SRP.
30

CD ist ein Verzögerungswert bestehend aus den folgenden Komponenten, die abhängig von der Hardware und Framegrößenpezifisch sind:

35 - Der Verzögerungswert des Datenframes (delay) gemessen von $AT(i)$, welches die tatsächliche Startzeit der Datenübertragung am Ausgangsport der Bridge i zum Zeitpunkt wenn der vollständige Datenframe beim Eingangsport der

nächstfolgenden Bridge $i+1$ empfangen wurde. Der Hauptteil dieses Verzögerungswerts kann in Bridge $i+1$ einfach berechnet werden basierend auf der Geschwindigkeit des Übertragungslinks und der Framegröße. Der verbleibende
5 Teil ist abhängig von der Hardware, inclusive dem Verzögerungswert des Kabels (link propagation delay) zwischen der sendenden Bridge i und der empfangenden Bridge $i+1$, der ebenfalls durch das Netzmanagement festgelegt oder durch Messungen durch ein Zeitsynchronisierungsprotokoll
10 ermittelt werden, beispielsweise gPTP of 802.1AS, sofern geeignet.

- Der Verzögerungswert des Vermittlungsvorgangs in der Bridge $i+1$, üblicherweise handelt es sich hier um einen festen Wert, der sich in der Hardware Spezifikation der
15 Bridge findet.

Wie in der zweiten Formel angedeutet, stellt PDVC den ET für einen Datenframe auf der aktuellen Bridge fest, basierend auf der Verzögerungsinformation des Datenframes am vorherigen
20 Hop. Solch ein Shaping-Ansatz basiert auf der Information aus dem vorhergehenden Hop, und wird auch als „Route based Traffic Shaping“ bezeichnet.

25 Im Folgenden wird die Erfindung durch Figuren erläutert. Figur 1 das erfindungsgemäße Vorgehen und Figur 2 zeigt das Vorgehen gemäß dem Stand der Technik.

30 Figur 2 wurde bereits in der Beschreibungseinleitung näher erläutert.

Figur 1 zeigt ein Beispiel des erfindungsgemäßen Vorgehens, unter Verwendung des PDVC Shapers für die Übertragung eines einzelnen Datenstreams von der Quelle Source durch 2 Bridges
35 B1, B2 zu einer Datensenke, Sink. Jedes dieser Netzelemente hat eine eigene Zeitmesser C1 bis C4, welche autark ist und nicht synchronisiert mit einer der anderen Zeitquellen.

Wie dargestellt, generiert die Datenquelle, Source, periodisch einen Frame P1, P2, P3, P4 zu den Zeitpunkten t1, t2, t3, t4 wobei zwischen den Zeitpunkten t1 bis t4 jeweils ein gleichbleibendes Zeitintervall T liegt. Der Startzeitpunkt
5 des jeweiligen Zeitintervalls ist in der Figur durch eine gestrichelte senkrechte Linie dargestellt. Die Datenpakete in gestrichelten Linien zeigen den Zeitpunkt, an dem das Paket geplant abgesendet werden soll, die Pakete mit durchgezogener Linie unterhalb der jeweiligen Zeitlinie t des jeweiligen
10 Netzelementes dann den tatsächlichen Zeitpunkt, an dem das Paket - optimalerweise im selben Zeitfenster - abgesendet wird. Mit der Hilfe vom Verzögerungswert DV0, DV1, DV2, der durch den Aufenthalt in der ausgehenden Warteschlange des Ausgangsports der jeweiligen Netzelemente entsteht, der bei
15 jedem Hop gemessen wird und als zusätzliches Datenfeld im Frame mit zum nächsten Netzelement übertragen wird, kann jede darauffolgende empfangende Bridge B1, B2 den Zeitpunkt der Übertragung des Datenframes zeitlich neu ausrichten. Der Übertragungszeitpunkt berechnet sich dabei gemäß der Formel
20 für $ET(i+1)$ von oben.

CD bezeichnet einen zusätzlichen konstanten Delay pro Sprung. Dieses Feature von PDVC ist vorteilhaft für die Kontrollanwendung, wo eine Anzahl von Streams in das Netzwerk aus verschiedenen Datenquellen zu verschiedenen Zeitpunkten in einer koordinierten Art und Weise. PDVC kann die gleichen Übertragungsreihenfolgen bei allen Streams beim Ausgangsport jeder Bridge entlang des Datenübertragungspfades.

Um sicherzustellen, dass PDVC korrekt arbeitet, muss PDVC auf
30 allen Bridges B1, B2 entlang des Datenübertragungspfades angewendet werden, ebenso wie in den Datenquellen, wenn diese Datenquellen ausserdem noch anderen Datenverkehr erzeugen, welcher sich mit dem ersten Datenverkehr in Konflikt befindet und die geplante Übertragung zeitlich verzögern.
35 Die maximale Verzögerung pro Bridge und die maximale End-to-End Latenz von PDVC sind ähnlich zu CQF wegen der Abhängigkeit von dem Intervall T und der Anzahl der Hops h.

PDVC per bridge Delay $< 2T$
per Hop delivery Jitter = $2T$
 $(h - 1) * T < \text{PDVC end-to-end latency} < h * T$

5 Die oben genannten Grenzwerte sind berechnet unter der Bedingung von Formel 2, dass der Wert von T immer kleiner als jeder möglicher Wert von $(DV(i) + CD)$, der auftreten kann. Um sicherzustellen, dass die Bedingung immer erfüllt wird, gelten dieselben Bedingungen bei CQF für die Auswahl von T durch
10 Berücksichtigung der maximalen Menge von Stream Daten, die während dem Zeitintervall T beobachtet plus einen maximal großen störenden Datenframe. Ähnlich zu CQF hilft eine kombinierte Verwendung von Frame Preemption und PDVC die Anzahl der möglichen Streamdata für ein festes Zeitintervall T , oder
15 das Zeitintervall T verkleinern für dieselbe Menge von Streamdaten resultierend in einer reduzierten Worst-Case Latenz.

In dem Beispiel von Figur 1 werden weitere Zeitabweichungen
20 der einzelnen lokalen Zeitmesser, die man für Zeitberechnungen des Shapers verwendet, ignoriert. Solche Abweichungen zwischen den verteilten Uhren stören den Betrieb von PDVC nicht, jedoch kann zu Verletzungen der gewünschten Verzögerungsgrenzen in den übertragenen Streams führen. Um diesen Effekt zu
25 vermeiden darf die maximale Zeitabweichung, die zwischen zwei lokalen Uhren im Netzwerk auftreten kann, als zusätzlicher Faktor in der Konfiguration von PDVC berücksichtigt werden, indem entweder der Wert von T erhöht wird oder die Anzahl der reservierten Streams reduziert.

30 Der hier beschriebene Traffic Shaper bietet eine ähnlich gute Echtzeit-Performanz mit fester maximaler Latenz und festem Delivery Jitter wie CQF. Diese Leistungsfähigkeit wird in einer Vielzahl von Industrieanwendungen und -Steuerungen benötigt, die nicht allerhöchste Anforderungen an die Echtzeit
35 stellen. Der größte Vorteil gegenüber der standardisierten Lösung ist, dass die Lösung auf ein zeitsynchronisiertes Netz

wie PTP IEEE 1588 oder IEEE 802.1AS verzichten und damit die dafür sonst benötigten Kosten sparen kann.

Die Hauptmethode die zur Anwendung kommt ist das sogenannte
5 Traffic Shaping um eine deterministische Leistung zu erhalten,
die einen Delay für jeden Datenframe bei jedem Hop erzwingt,
um so sicherzustellen dass der periodische Stream Traffic durch
das Netz mit einer festen per-hop Verzögerung. Anders als bei CQF,
das den Wert der Shaper-bedingten Verzögerung basierend auf
10 einem globalen Timer berechnet, trifft PDVC diese Entscheidungen
basierend auf vorangegangener Hop-Information, die gemessen wird
mit Hilfe von lokalen Uhren, und in jedem Frame von Bridge zu
Bridge übertragen wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur zeitgesteuerten Datenübertragung von Daten-

5 gemäß TSN Standard, wobei

- das Netzwerk aus einzelnen Netzelementen (Source, B1, B2, Sink) besteht, und

10 - der Zeitablauf (t) in jedem Netzelement (Source, B1, B2, Sink) eingeteilt ist in vorgeplante, gleichgroße Zeitfenster (T) und

- die Netzelemente (Source, B1, B2, Sink) jeweils über einen eigenen unabhängigen Zeitmesser (C1, C2, C3, C4) verfügen, und

15 - diese Zeitfenster bei allen Netzelementen zu den gleichen Zeitpunkten (t1, t2, t3, t4) beginnen und enden, und

- die Übertragung eines Datenpakets (P1, P2, P3, P4) von einem ersten Netzelement (Source, B1, B2) zu einem darauffolgenden Netzelement (B1, B2, Sink) in dem Zeitfenster erfolgt, welches dem Zeitfenster folgt, in dem dieses Datenpaket (P1, P2, P3, P4) von einem vorhergehenden Netzelement (Source, B1, B2) empfangen wurde, und

20 dadurch gekennzeichnet, dass

jedes Netzelement (Source, B1, B2, Sink) basierend auf dem durch eigenen unabhängigen Zeitmesser (C1, C2, C3, C4) und einem Verzögerungswert (DVi) bestimmen kann, zu welchem Zeitpunkt (t1, t2, t3, t4) das nächste Sendefenster beginnt und/oder endet.

2. Verfahren gemäß Patentanspruch 1,

30 dadurch gekennzeichnet, dass

der benötigte Verzögerungswert (DVi) in dem sendenden Netzelement (Source, B1, B2) berechnet wird und in dem Datenpaket (P1, P2, P3, P4) an das empfangende Netzelement (B1, B2, Sink) übertragen wird.

35

3. Verfahren gemäß einem der vorherigen Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Verzögerungswert (DVi) streamabhängig ermittelt wird.

4. Verfahren gemäß einem der vorherigen Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
der Verzögerungswert (DV_i) berechnet wird aus der tatsächlichen Übertragungszeit $AT(i)$, abzüglich der geplanten Übertragungszeit $ET(i)$.
- 5
5. Verfahren gemäß einem der vorherigen Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
10 dich die geplante Übertragungszeit im nächsten Übertragungsschritt $ET(i+1)$ berechnet durch das Messintervall $T - (\text{Verzögerungszeit } DV(i) \text{ zuzüglich einem weiteren Verzögerungswert } (CD))$.
- 15
6. Verfahren gemäß einem der vorherigen Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
für die Bestimmung des Verzögerungswerts (CD) die Übertragungszeit für das Datenpaket (P_1, P_2, P_3, P_4) bestimmt wird durch Ermittlung
20 - der Zeitdauer der Übertragung durch Startzeit der Datenübertragung am sendenden Netzelement ($Source, B_1, B_2$) bis zum vollständigen Empfang des Datenpakets am empfangenden Netzelement ($B_1, B_2, Sink$) plus einen hardwareabhängigen Zeitverzögerungsanteil und
25 - der Zeitdauer des Vermittlungsvorgangs in dem Netzelement ($Source, B_1, B_2, Sink$).
7. Verfahren gemäß Patentanspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass
30 die Zeitdauern vorab ermittelt werden durch ein Zeitsynchronisierungsprotokoll, insbesondere gPTP of 802.1AS.
8. Netzelement ($Source, B_1, B_2, Sink$) in einem time-sensitiven Netzwerk gemäß TSN Standard, wobei
35 - das Netzwerk aus einzelnen Netzelementen ($Source, B_1, B_2, Sink$) besteht, und

- der Zeitablauf (t) in jedem Netzelement (Source, B1, B2, Sink) eingeteilt ist in vorgeplante, gleichgroße Zeitfenster (T) und
- die Netzelemente (Source, B1, B2, Sink) jeweils über einen eigenen unabhängigen Zeitmesser (C1, C2, C3, C4) verfügen, und
- diese Zeitfenster bei allen Netzelementen zu den gleichen Zeitpunkten (t_1, t_2, t_3, t_4) beginnen und enden, und
- das Senden eines Datenpakets (P1, P2, P3, P4) von dem Netzelement (Source, B1, B2) zu einem darauffolgenden Netzelement (B1, B2, Sink) in dem Zeitfenster erfolgt, welches dem Zeitfenster folgt, in dem dieses Datenpaket (P1, P2, P3, P4) von einem vorhergehenden Netzelement (Source, B1, B2) empfangen wurde,
- dadurch gekennzeichnet, dass
- das Netzelement (Source, B1, B2, Sink) basierend auf dem durch eigenen unabhängigen Zeitmesser (C1, C2, C3, C4) und einem Verzögerungswert (DV_i) bestimmt, zu welchem Zeitpunkt (t_1, t_2, t_3, t_4) das nächste Sendefenster beginnt und/oder endet.

9. Vorrichtung geeignet zur Durchführung des Verfahren gemäß der Merkmale eines der Patentansprüche 1 bis 7.

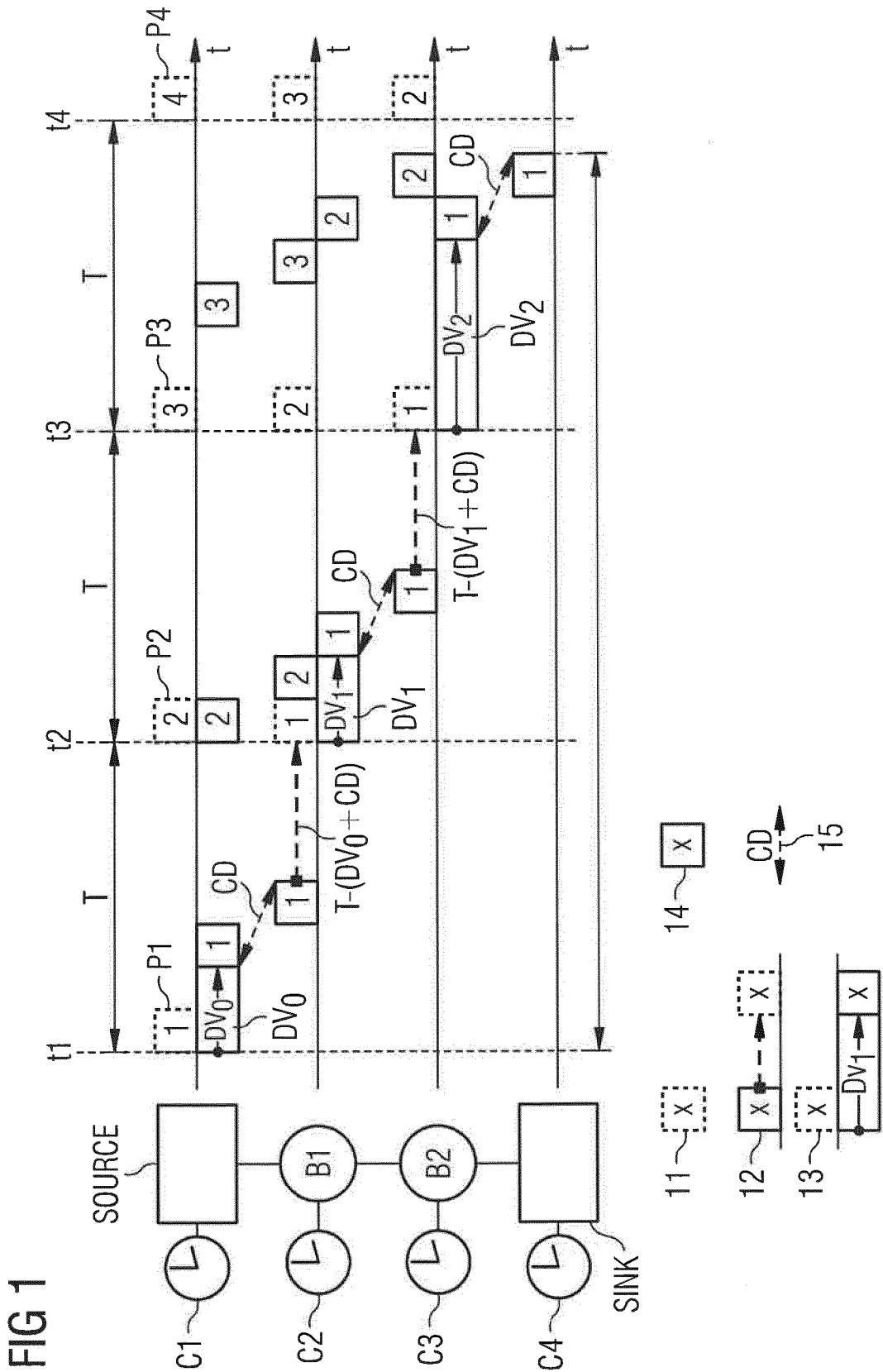
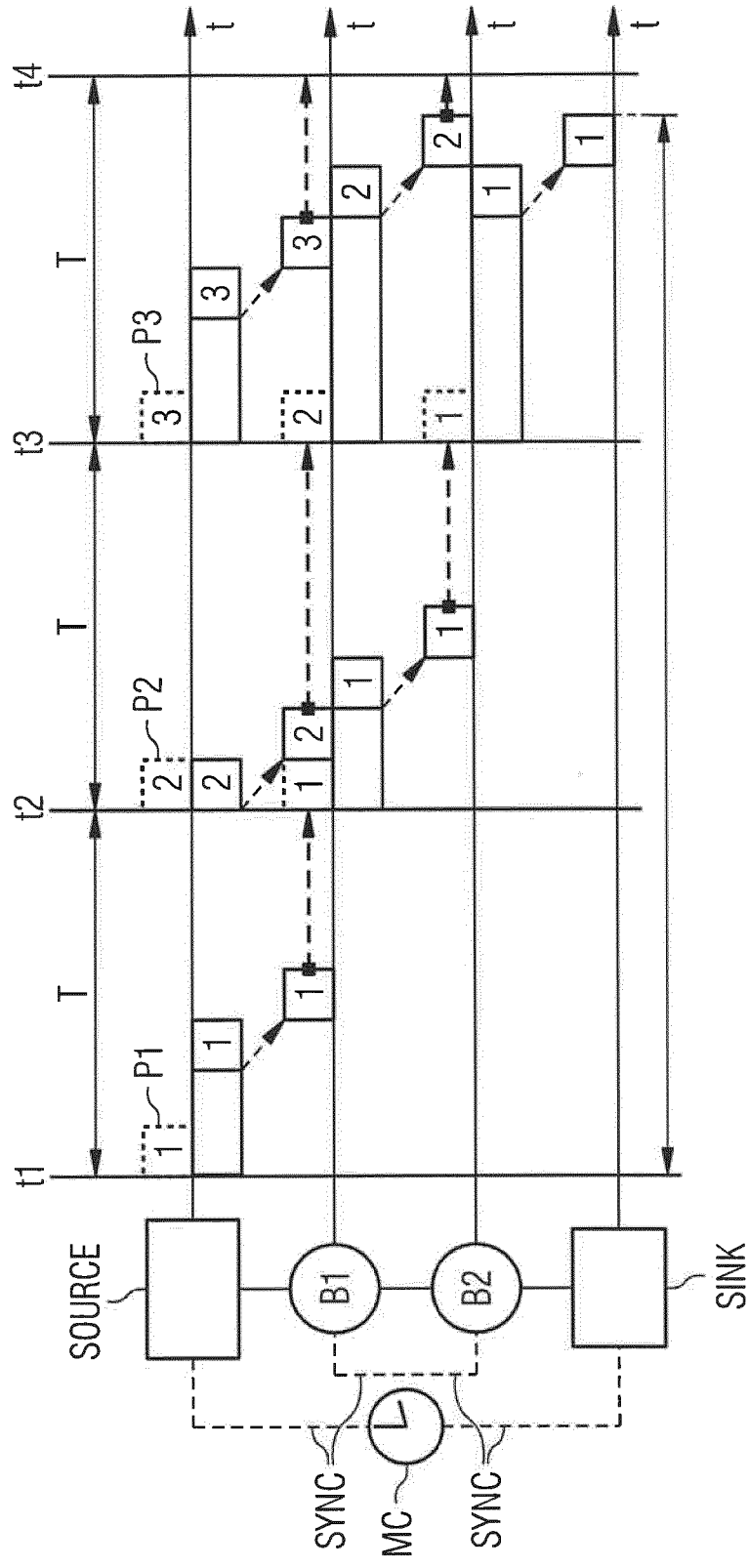


FIG 2

Stand der Technik



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/055819

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H04J3/06
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H04J H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 940 089 A1 (NEC CORP [JP]) 2 July 2008 (2008-07-02) paragraph [0006] paragraph [0032] - paragraph [0048] figure 3	1-9
X	----- "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks -- Bridges and Bridged Networks - Amendment 25: Enhancements for Scheduled Traffic; IEEE Std 802.1Qbv-2015 (Amendment to IEEE Std 802.1Q--- as amended by IEEE Std 802.1Qca-2015, IEEE Std 802.1Qcd-2015, and IEEE Std 802.1Q---/Cor 1-2015)", IEEE STANDARD, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 18 March 2016 (2016-03-18), pages 1-57, XP068110534,	1,8,9
A	the whole document -----	2-7

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 16 November 2017	Date of mailing of the international search report 30/11/2017
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Dely, Peter
--	---------------------------------------

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/055819

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
EP 1940089	A1	02-07-2008	CN 101212286 A	02-07-2008
			EP 1940089 A1	02-07-2008
			JP 2008167141 A	17-07-2008
			KR 20080063094 A	03-07-2008
			US 2008159337 A1	03-07-2008

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H04J3/06
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H04J H04L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 940 089 A1 (NEC CORP [JP]) 2. Juli 2008 (2008-07-02) Absatz [0006] Absatz [0032] - Absatz [0048] Abbildung 3	1-9
X	----- "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks -- Bridges and Bridged Networks - Amendment 25: Enhancements for Scheduled Traffic; IEEE Std 802.1Qbv-2015 (Amendment to IEEE Std 802.1Q--- as amended by IEEE Std 802.1Qca-2015, IEEE Std 802.1Qcd-2015, and IEEE Std 802.1Q---/Cor 1-2015)", IEEE STANDARD, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 18. März 2016 (2016-03-18), Seiten 1-57, XP068110534,	1,8,9
A	----- das ganze Dokument	2-7



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. November 2017

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

30/11/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Dely, Peter

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/055819

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1940089	A1	CN 101212286 A	02-07-2008
		EP 1940089 A1	02-07-2008
		JP 2008167141 A	17-07-2008
		KR 20080063094 A	03-07-2008
		US 2008159337 A1	03-07-2008
