



(11) **EP 2 159 127 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.03.2010 Patentblatt 2010/09

(51) Int Cl.:
B61L 3/00 (2006.01) B61L 15/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09168704.6**

(22) Anmeldetag: **26.08.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA RS

(72) Erfinder:
• **Kleis, Michael**
10963 Berlin (DE)
• **Butscher, Berthold**
14163 Berlin (DE)

(30) Priorität: **29.08.2008 DE 102008045246**

(74) Vertreter: **Staroske, Sandro et al**
Patentanwälte
Maikowski & Ninnemann
Postfach 15 09 20
10671 Berlin (DE)

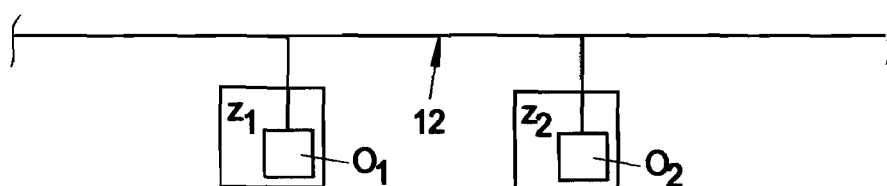
(71) Anmelder: **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**
80686 München (DE)

(54) **System und Verfahren zur Synchronisation von Ereignissen im Transportwesen**

(57) Die Erfindung betrifft ein System zur Synchronisation von Ereignissen im Transportwesen, insbesondere zur Synchronisation der Ankunftszeit zumindest eines ersten Fahrzeuges (Z_1) an einem Zielort (c) mit der Ankunftszeit zumindest eines zweiten Fahrzeuges (Z_2) am Zielort (c). Erfindungsgemäß ist vorgesehen: ein dem ersten Fahrzeug (Z_1) zugeordneter erster Oszillator (O_1), der mit einer ersten Frequenz F_1 schwingt, ein dem zweiten Fahrzeug (Z_2) zugeordneter zweiter Oszillator (O_2), der mit einer zweiten Frequenz F_2 schwingt, und eine bidirektionale Kommunikationsverbindung (12) zwischen den beiden Oszillatoren (O_1, O_2), zum Austauschen von Informationen zwischen den beiden Oszillatoren (O_1, O_2). Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Synchronisation von Ereignissen im

Transportwesen, insbesondere zur Synchronisation der Ankunftszeit eines ersten Fahrzeuges (Z_1) an einem Zielort (c) mit der Ankunftszeit eines zweiten Fahrzeuges (Z_2) am Zielort (c), umfassend die Schritte: Bereitstellen eines dem ersten Fahrzeug (Z_1) zugeordneten ersten Oszillators (O_1), der mit einer ersten Frequenz (F_1) schwingt, Bereitstellen eines dem zweiten Fahrzeug (Z_2) zugeordneten zweiten Oszillators (O_2), der mit einer zweiten Frequenz (F_2) schwingt, Messen einer Geschwindigkeitsabweichung (Δv_1) einer Geschwindigkeit (v_1) des ersten Fahrzeuges (Z_1) von einer vorbestimmbaren fahrplanmäßigen Geschwindigkeit, und Berechnen einer neuen ersten Frequenz ($F_{neu,1}$) des ersten Oszillators (O_1) in Abhängigkeit der besagten Geschwindigkeitsabweichung (Δv_1).

FIG 3



EP 2 159 127 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein System zur Synchronisation von Transportsystemen, insbesondere zur Synchronisation von Ereignissen im Schienenverkehr, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zur Synchronisation solcher Ereignisse.

[0002] Ein derartiges System dient insbesondere zur Synchronisation der Ankunftszeit zumindest eines ersten Fahrzeuges an einem vorbestimmbar Zielort mit der Ankunftszeit zumindest eines zweiten Fahrzeuges am selben Zielort. Es kann sich bei den besagten Zeiten natürlich auch um Abfahrtszeiten oder sonstige Ereignisse (Zeiten an einem bestimmten Ort) handeln.

[0003] Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein System bzw. Verfahren der eingangs genannten Art zu verbessern.

[0004] Dieses Problem wird durch ein System mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0005] Danach ist bei einem System zur Synchronisation von Ereignissen im Transportwesen (z.B. Schienenverkehr), insbesondere der Synchronisation einer Ankunftszeit eines ersten Fahrzeuges an einem vorbestimmbar Zielort mit der Ankunftszeit eines zweiten Fahrzeuges an diesem Zielort, ein dem ersten Fahrzeug zugeordneter erster Oszillator vorgesehen, der mit einer ersten Frequenz schwingt, ein dem zweiten Fahrzeug zugeordneter zweiter Oszillator, der mit einer zweiten Frequenz schwingt, sowie eine bidirektionale Kommunikationsverbindung zwischen den beiden Oszillatoren, die dem Austausch von Signalen zwischen den Oszillatoren dient, insbesondere zum Übertragen von (Spannungs)impulsen, vorzugsweise zur Erhöhung der Ladung eines Oszillators.

[0006] Bevorzugt schwingen alle Oszillatoren am Anfang mit einer gemeinsamen Startfrequenz (F_{start}).

[0007] Hiermit wird auf vorteilhafte Weise ein selbstregulierendes (selbstorganisierendes) System realisiert, bei dem eine zentrale Kontrollinstanz verzichtbar ist und insbesondere ein menschlicher Eingriff nicht notwendig ist.

[0008] Das erfindungsgemäße System ist also derart selbstorganisierend ausgebildet (vorzugsweise durch die Pulskopplung seiner Oszillatoren), dass es ohne Mitwirkung einer zentralen Kontrollinstanz oder einer menschlichen Person eine Synchronisation besagter Ereignisse vornehmen kann, d.h., insbesondere einen geordneten Fahr-/Transportverkehr z.B. im Fall von technischen Störungen oder Notfällen wieder herstellen kann (Notfallsystem).

[0009] Mit Transportwesen ist vorliegend sowohl der Transport von Gütern als auch von Personen gemeint.

[0010] Unter Fahrzeugen sind insbesondere alle Arten von Fortbewegungsmitteln zu verstehen, insbesondere auch Flugzeuge. Vorzugsweise handelt es sich bei dem ersten und dem zweiten Fahrzeug um einen ersten und einen zweiten Zug (Schienenverkehr).

[0011] Das erfindungsgemäße System (und Verfah-

ren) lässt sich auf alle Systeme anwenden (insbesondere Transportsysteme), bei denen zumindest zwei verschiedene Teilnehmer des Systems (insbesondere Züge oder sonstige Fahrzeuge wie z.B. Lastkraftwagen), die insbesondere von verschiedenen Orten zu insbesondere verschiedenen Zeiten starten, zu einem vorbestimmbar Zeitpunkt an einem bestimmten Ort ankommen müssen, um zum Beispiel Personen oder Transportgüter austauschen zu können. Man kann daher vorliegend anstelle von Zügen oder sonstigen Fahrzeugen allgemein von Teilnehmern des Systems sprechen, deren Ankunft an einem Ort oder deren Abfahrt von einem Ort das erfindungsgemäße System oder Verfahren regelt.

[0012] Vorzugsweise sind die zumindest zwei Oszillatoren über die bidirektionale Kommunikationsverbindung pulsgekoppelt, d. h., bei den Oszillatoren kann es sich um Oszillatoren nach dem Modell von R. E. Mirolo und F. H. Strogatz (Synchronization of pulse-coupled biological oscillators. SIAM Journal on Applied Mathematics, 50 (6): 16451662, December 1990) oder nach Peskin (Mathematical Aspects of Heart Physiology, Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University, New York, 1975: pp. 268-278) handeln.

[0013] Solche Oszillatoren sind durch eine konkave Statusfunktion $f_i(t)$ gekennzeichnet, die für wachsende Zeit t für jeden Oszillator O_i einen Aufladevorgang des betreffenden Oszillators bis zu einer maximalen Ladung $Q_{\text{max}} = f_i(k \cdot T)$ beschreibt. Dabei ist k ein Element der natürlichen Zahlen und T die Dauer des Aufladevorganges (Ladezeit). Hat ein Oszillator seine maximale Ladung erreicht, gibt er einen Impuls (ein Signal) an alle weiteren Oszillatoren der Gruppe ab, was auch als Feuern bezeichnet wird, setzt danach seine Ladung auf Null und wiederholt den vorstehend beschriebenen Aufladevorgang (natürlich kann auch eine entsprechende Spannung als Funktion $f_i(k \cdot T)$ betrachtet werden). Der abgegebene Impuls erhöht die Ladung aller anderen Oszillatoren um einen vordefinierten Betrag ϵ . Bekanntermaßen hat jede Gruppe identischer, pulsgekoppelter Oszillatoren die Eigenschaft, dass sie für eine beliebige Startkonfiguration (die Oszillatoren O_i haben zu einer Zeit t unterschiedliche Werte $f_i(t)$) selbständig einen Zustand erreicht, in dem alle Oszillatoren synchron feuern, d. h., ihre Phasen synchronisieren.

[0014] Eine weitere Eigenschaft solcher Oszillatoren ist, dass sich bis zu einer berechenbaren Obergrenze die Erhöhung der Frequenz eines einzelnen Oszillators synchron auf die Frequenzen aller anderen Oszillatoren der Gruppe auswirkt. Das bedeutet, dass sich durch Manipulation eines einzelnen Oszillators die Frequenzen aller anderen Oszillatoren bis zu einer gewissen Obergrenze erhöhen lassen.

[0015] Nachfolgend wird das erfindungsgemäße System bzw. Verfahren (siehe unten) anhand zweier Züge beschrieben. Es kann sich natürlich auch um sonstige Fahrzeuge handeln (siehe oben). Das System bzw. Verfahren lässt sich aber direkt auf eine beliebige Anzahl N von Zügen bzw. sonstigen Teilnehmern verallgemeinern.

Hierbei ist jedem der Züge 1 bis N ein Oszillator O_i ($i=1, 2, \dots, N$) der vorliegend beschriebenen Art zugeordnet, wobei aufgrund der Pulskopplung (siehe oben) jeweils ein Oszillator O_i beim Feuern einen Impuls ε an alle anderen $N-1$ Oszillatoren weitergibt.

[0016] Um die Geschwindigkeiten der beiden Züge aneinander anzupassen, so dass sie zur gleichen Zeit am Zielort ankommen - auch für den Fall, dass die Geschwindigkeit eines der beiden Züge von einer vorherbestimmbaren (fahrplanmäßigen) Geschwindigkeit abweicht - ist die Geschwindigkeit des ersten Zuges an die Frequenz des ersten Oszillators gekoppelt und die Geschwindigkeit des zweiten Zuges an die Frequenz des zweiten Oszillators.

[0017] Sofern die Geschwindigkeiten (Momentangeschwindigkeiten als Funktion der Zeit t) der beiden Züge den vorherbestimmten fahrplanmäßigen Geschwindigkeiten entsprechen, schwingen beide Oszillatoren mit einer konstanten Startfrequenz. Schwingen bedeutet dabei, dass ein Oszillator wie oben beschrieben periodisch auf einen maximalen Ladungswert aufgeladen wird und sodann seine Ladung vorzugsweise instantan auf Null zurücksetzt (eine Schwingungsperiode T).

[0018] Besonders bevorzugt ist das System dazu ausgebildet, bei einer Geschwindigkeitsabweichung Δv_1 der Geschwindigkeit v_1 des ersten Zuges von der fahrplanmäßigen Geschwindigkeit die erste Frequenz F_1 , mit der der erste Oszillator schwingt, in Abhängigkeit der besagten Geschwindigkeitsabweichung Δv_1 zu aktualisieren ($F_{neu,1}$), wobei insbesondere die Relation

$$F_{neu,1} = F_1 + \frac{\Delta v_1 \cdot t_1}{v_1 - \Delta v_1}$$

[0019] verwendet wird. Hierbei ist t_1 diejenige Zeit, die der erste Zug (Z_1) fahrplanmäßig zum Erreichen des Zielortes (c) benötigt.

[0020] Zu beachten ist, dass die vorliegend beschriebenen Frequenzen der Oszillatoren inverse Frequenzen darstellen, d. h., die Dimension einer Zeit tragen.

[0021] Vorzugsweise ist das System dazu ausgebildet, die vorstehend neu berechnete Frequenz des dem ersten Zug zugeordneten ersten Oszillators dem zweiten Oszillator über die bidirektionale Kommunikationsverbindung mitzuteilen. Dies wird vorzugsweise durch die oben beschriebene Pulskopplung der Oszillatoren erreicht, d.h., Abgeben besagter Impulse (Signale) an den zweiten Oszillator. Da der erste Zug verspätet ist, muss der zweite Zug eine neue Geschwindigkeit erhalten, weshalb das System vorzugsweise dazu ausgebildet ist, für den zweiten Zug in Abhängigkeit von der neuen zweiten Frequenz $F_{neu,2}$ des zweiten Oszillators eine neue Geschwindigkeit v_2 des zweiten Zuges zu berechnen, wobei insbesondere die Relation

$$v_2 = \frac{s_2}{t_2 + (F_{neu,2} - F_{start})}$$

5

[0022] Verwendung findet. Hierbei bezeichnet s_2 diejenige Strecke, die der zweite Zug insgesamt zum Zielort zurücklegen muss und t_2 bezeichnet die Zeitspanne, die der zweite Zug fahrplanmäßig zum Erreichen des Zielortes benötigt. F_{start} ist eine gemeinsame Startfrequenz aller Oszillatoren, mit der die Oszillatoren anfänglich schwingen.

10

[0023] Des weiteren ist ein erfindungsgemäßes System aufgrund seiner selbstorganisierenden Eigenschaft (es benötigt keinen kontrollierenden Eingriff) hervorragend als unterstützendes Notfallsystem geeignet, das dann eingreift, wenn ein herkömmliches Basissystem versagt, d.h., eine Störung zeigt. Eine Störung bezeichnet dabei ein Vorkommnis im Basissystem, das bewirkt, dass das Basissystem nicht mehr korrekt funktioniert.

15

20

[0024] Weiterhin wird das erfindungsgemäße Problem durch ein Verfahren zur Synchronisation von Ereignissen im Schienenverkehr, insbesondere zur Synchronisation der Ankunftszeit eines ersten Fahrzeuges oder Teilnehmers (z.B. erster Zug) an einem Zielort mit der Ankunftszeit eines zweiten Fahrzeuges oder Teilnehmers (z.B. zweiter Zug) am Zielort, gelöst.

25

[0025] Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die Schritte:

30

- Anordnen eines ersten Oszillators in einem ersten Fahrzeug, wobei der erste Oszillator mit einer ersten Frequenz schwingt,

35

- Anordnen eines zweiten Oszillators in einem zweiten Fahrzeug, wobei der zweite Oszillator mit einer zweiten Frequenz schwingt,

40

- Messen einer Geschwindigkeitsabweichung Δv_1 einer Geschwindigkeit v_1 des ersten Fahrzeuges von einer vorbestimmbaren fahrplanmäßigen Geschwindigkeit bei der Reise des ersten Fahrzeuges zum Zielort, und

45

- Berechnen einer neuen ersten Frequenz des ersten Oszillators in Abhängigkeit der Geschwindigkeitsabweichung Δv_1 , insbesondere nach der Relation $F_{neu,1} = F_1 + (\Delta v_1 \cdot t_1) / (v_1 - \Delta v_1)$, wobei t_1 die Zeit ist, die das erste Fahrzeug fahrplanmäßig zum Erreichen des Zielortes (c) benötigt.

50

[0026] Das Verfahren wird vorzugsweise unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Systems zur Synchronisation von Ereignissen im Transportwesen (z.B. Schienenverkehr) durchgeführt.

55

[0027] Nachfolgend wird das Verfahren anhand von Zügen dargestellt. Es kann sich natürlich auch um sonstige Fahrzeuge oder Teilnehmer handeln (siehe oben).

[0028] Vorliegend wird ohne Beschränkung der Allgemeinheit exemplarisch von einer Verspätung des ersten Zuges (Geschwindigkeitsabweichung in Form einer Verspätung) ausgegangen. Eine Geschwindigkeitsabweichung des zweiten Zuges ist analog zu behandeln, Gleiches gilt für eine Geschwindigkeitsabweichung beider Züge. Das erfindungsgemäße System (Verfahren) ist natürlich nicht auf Verspätungen beschränkt. Auch zu schnell fahrende Züge können entsprechend durch das System geregelt werden. Insbesondere können Verspätungen auch wieder aufgeholt werden.

[0029] Vorzugsweise wird die aktualisierte erste Frequenz des dem ersten Zug zugeordneten ersten Oszillators dem zweiten Oszillator über eine Kommunikationsverbindung mitgeteilt, insbesondere durch Pulskopplung der beiden Oszillatoren über jene Verbindung. Weiterhin wird bevorzugt für den zweiten Zug mittels einer Auswerteelektronik in Abhängigkeit von der neuen zweiten Frequenz des zweiten Oszillators (Pulskopplung) eine neue Geschwindigkeit v_2 bestimmt, insbesondere nach der oben beschriebenen Relation für v_2 .

[0030] Vorzugsweise besteht die Pulskopplung der beiden Oszillatoren darin, dass diese jeweils bis zu einer maximalen Ladung $Q_{\max} = f(k \cdot T)$ aufgeladen werden, wobei die jeweilige Ladung des Oszillators nach Erreichen der maximalen Ladung Q_{\max} auf Null gesetzt wird, und wobei über eine bidirektionale Kommunikationsverbindung jeder Oszillator beim Erreichen der maximalen Ladung einen Impuls an den oder die anderen Oszillatoren abgibt, der die Ladung jenes anderen bzw. der anderen Oszillatoren um einen vordefinierten Betrag ϵ erhöht.

[0031] Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens kann das erfindungsgemäße System (Vorrichtung) auch als Notfallsystem eingesetzt werden. Das Verfahren sieht dann die weiteren Schritte vor:

- Bereitstellen eines Basissystems zur Synchronisation von Ereignissen im Transportwesen, insbesondere zur Synchronisation der Ankunftszeit eines ersten Fahrzeuges (z.B. erster Zug) an einem Zielort mit der Ankunftszeit eines zweiten Fahrzeuges (z.B. zweiter Zug) am Zielort,
- Im Falle einer Störung des Basissystems: Erfassen der Störung mittels einer Sensorik, und
- Abschalten des Basissystems (im Falle der Störung).

[0032] Die Synchronisation von Ereignissen erfolgt dann mit Hilfe des erfindungsgemäßen Systems. Hierbei ist die folgende Reihenfolge für das Verfahren sinnvoll:

- Bereitstellen eines Basissystems zur Synchronisation von Ereignissen im Transportwesen, insbesondere zur Synchronisation der Ankunftszeit eines ersten Fahrzeuges an einem Zielort mit der Ankunfts-

zeit eines zweiten Fahrzeuges am Zielort,

- Bereitstellen eines dem ersten Fahrzeug zugeordneten ersten Oszillators, der mit einer ersten Frequenz schwingt,
- Bereitstellen eines dem zweiten Fahrzeug zugeordneten zweiten Oszillators, der mit einer zweiten Frequenz schwingt, wobei insbesondere die beiden Frequenzen anfänglich gleich einer gemeinsamen Startfrequenz sind,
- im Falle einer Störung des Basissystems: Erfassen der Störung mittels einer Sensorik,
- ggf. Abschalten des Basissystems, und mittels des Notfallsystems:
- (automatisches) Messen einer Geschwindigkeitsabweichung einer Geschwindigkeit des ersten Fahrzeuges von einer vorbestimmbaren fahrplanmäßigen Geschwindigkeit, und
- (automatisches) Berechnen einer neuen ersten Frequenz des ersten Oszillators in Abhängigkeit der besagten Geschwindigkeitsabweichung, insbesondere nach der Relation $F_{\text{neu},1} = F_1 + (\Delta v_1 \cdot t_1) / (v_1 / \Delta v_1)$, wobei t_1 die Zeit ist, die das erste Fahrzeug fahrplanmäßig zum Erreichen des Zielortes benötigt. Diese Abfolge eines erfindungsgemäßen Verfahrens kann durch die Gegenstände der Ansprüche 14 bis 16 weitergebildet werden (siehe oben).

[0033] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung werden anhand der nachfolgenden Figurenbeschreibungen verdeutlicht.

[0034] Es zeigen:

Fig. 1a einen durch eine konkave Statusfunktion $f(t)$ definierten Oszillator,

Fig. 1b einen periodischen Aufladevorgang des in der Fig. 1a gezeigten Oszillators,

Fig. 2 eine schematische Darstellung zweier pulskoppelter Oszillatoren der in den Figuren 1a und 1b gezeigten Art,

Fig. 3 eine schematische Darstellung zweier Züge mit je einem zugeordneten Oszillator, die über eine bidirektionale Kommunikationsverbindung nach Art der Figur 2 pulskoppelt sind, und

Fig. 4 eine schematische Darstellung zweier Züge, mit je einem Oszillator gemäß den Figuren 1a bis 3, wobei die beiden Züge - von unterschiedlichen Orten kommend - gleichzeitig an einem Zielort eintreffen.

[0035] In den nachfolgenden Figurenbeschreibungen wird die Erfindung anhand von Zügen (Schiennenverkehr dargestellt). Es kann sich anstelle von Zügen natürlich auch um sonstige Fahrzeuge bzw. Teilnehmer wie z.B. Lastwagen, Schiffe oder Flugzeuge handeln.

[0036] Figur 1a zeigt im Zusammenhang mit Figur 1b eine konkave Statusfunktion $V=f(t)$ eines Oszillators O_i wie er bei einem erfindungsgemäßen System (Verfahren) Verwendung finden kann. Die den Oszillator O_i charakterisierende Statusfunktion $f_i(t)$ beschreibt für wachsendes t einen Aufladevorgang des Oszillators O_i bis zu einer maximalen Ladung $Q_{\max} = f_i(k \cdot T)$. Es sind auch andere physikalische Größen als Statusfunktion denkbar. Hierbei durchläuft k die natürlichen Zahlen und T ist die inverse Frequenz des Oszillators bzw. die Ladezeit. Hat der Oszillator O_i seine maximale Ladung Q_{\max} erreicht, so wird seine Ladung f_i wieder auf Null gesetzt und zwar vorzugsweise instantan, wie in Fig. 1 b für drei Schwingungsperioden $3 \cdot T$ dargestellt.

[0037] Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung zweier pulsgekoppelter Oszillatoren O_1 und O_2 nach Art des in den Figuren 1a, 1 b beschriebenen Oszillators, die jeweils durch eine konkave Statusfunktion $f_1(t)$ und $f_2(t)$ definiert sind. Jeder der beiden Oszillatoren O_1, O_2 wird dabei bis zu einer maximalen Ladung Q_{\max} aufgeladen und gibt dann einen Impuls an den anderen Oszillator O_1, O_2 weiter, der die Ladung $f_{1,2}$ des betreffenden Oszillators um einen Betrag ϵ erhöht. Vorliegend erreicht der erste Oszillator O_1 zum Zeitpunkt t' seinen Maximalwert Q_{\max} und gibt daher zum Zeitpunkt t' einen Impuls an den zweiten Oszillator O_2 weiter, dessen Ladung f_2 infolge des Impulses um den Betrag ϵ erhöht wird. Der zweite Oszillator O_2 erreicht seinerseits sein Maximum Q_{\max} zu einem Zeitpunkt $t'' > t'$ und gibt entsprechend einen Impuls an den ersten Oszillator O_1 ab, dessen Ladung f_1 daraufhin um den Betrag ϵ erhöht wird. Nachdem ein Oszillator O_1, O_2 seinen maximalen Ladungswert Q_{\max} erreicht hat, wird die Ladung (oder Spannung) - wie bereits beschrieben - wieder auf Null gesetzt. Die Frequenz des ersten Oszillators O_1 wird als erste Frequenz F_1 und die Frequenz des zweiten Oszillators O_2 als zweite Frequenz F_2 bezeichnet.

[0038] Aus der Mathematik ist bekannt (Mirolo und Strogatz), dass gemäß der Fig. 2 gekoppelte Oszillatoren O_1, O_2, \dots bei beliebiger Startkonfiguration, d. h., unterschiedlichen Werten für $f_{1,2,\dots}(t)$ bei einer bestimmter Zeit t einen Zustand erreichen, in dem alle Oszillatoren O_1, O_2, \dots synchron feuern, d. h., ihre Phasen synchronisieren.

[0039] Eine weitere wichtige Eigenschaft solcher Oszillatoren O_1, O_2, \dots besteht darin, dass bis zu einer berechenbaren Grenze die Erhöhung der Frequenz eines einzelnen Oszillators sich synchron auf die Frequenz aller anderen Oszillatoren auswirkt, d. h., die Frequenz der Oszillatoren lässt sich durch Manipulation eines einzelnen Oszillators bis zu einer gewissen Grenze erhöhen.

[0040] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Systems mit zumindest zwei

Zügen Z_1 und Z_2 sowie einem dem ersten Zug Z_1 zugeordneten ersten Oszillator O_1 und einem dem zweiten Zug Z_2 zugeordneten zweiten Oszillator O_2 . Die beiden Oszillatoren O_1 und O_2 sind jeweils an oder in dem betreffenden Zug Z_1, Z_2 angeordnet und sind über eine bidirektionale Kommunikationsverbindung 12 (vgl. Fig. 2) pulsgekoppelt. Es ist hierbei ohne weiteres möglich, eine beliebige Anzahl N von Zügen Z_1 bis Z_N bzw. Oszillatoren O_1 bis O_N gemäß der Fig. 3 über eine Pulskopplung (Kommunikationsverbindung 12) miteinander zu verbinden. Auf diese Weise können die Ankunftszeiten von N Zügen (oder sonstigen Teilnehmern) an einem Zielort c synchronisiert werden.

[0041] Zur Durchführung von Berechnungen ist bevorzugt in jedem Zug $Z_{1,2}$ eine Auswertelektronik vorgesehen, die zur Aktualisierung der Frequenzen der Oszillatoren ($F_{\text{neu},1,2}$) und Geschwindigkeiten $v_{1,2}$ eingerichtet und vorgesehen ist, und zwar insbesondere nach den bereits beschriebenen Relationen.

[0042] Ohne Beschränkung der Allgemeinheit wird vorliegend ein erfindungsgemäßes System bzw. Verfahren anhand zweier Züge Z_1 und Z_2 bzw. Oszillatoren O_1 und O_2 beschrieben, deren Ankunftszeiten am Zielort c mittels des erfindungsgemäßen Systems synchronisiert werden sollen.

[0043] Dies ist schematisch in Fig. 4 dargestellt. Danach startet der erste Zug Z_1 von einem ersten Startort a zum Zielort c und der zweite Zug Z_2 von einem zweiten Startort b (der vom ersten Startort a verschieden ist) zum Zielort c . Der erste Zug benötigt für seinen Weg s_1 (d.h., vom ersten Startort a zum Zielort c) fahrplanmäßig eine Zeit t_1 ; der zweite Zug benötigt für seinen Weg s_2 (d.h., vom zweiten Startort b zum Zielort c) fahrplanmäßig eine Zeit t_2 .

[0044] Die Ankunftszeiten der beiden Züge Z_1 und Z_2 am Zielort c sollen dabei synchronisiert werden, d. h., die beiden Züge Z_1 und Z_2 sollen zur gleichen Zeit am Zielort c eintreffen ($t_1=t_2$). Auf diese Weise kann verhindert werden, dass Anschlusszüge (z. B. Z_1) auf Zubringer (z. B. Z_2) am Zielort c warten müssen.

[0045] Für einen nahtlosen Anschluss am Zielort c , d. h., beide Züge Z_1 und Z_2 treffen zur gleichen Zeit am Ort C ein, muss im Fall von Verspätungen Δt_1 und Δt_2 , wobei Δt_1 die Verspätung des ersten Zuges Z_1 und Δt_2 die Verspätung des zweiten Zuges Z_2 bezeichnet, gelten:

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 .$$

[0046] Um diese Bedingung durch Angleichen der besagten Verspätungen zu erfüllen, ist bevorzugt vorgesehen, die Geschwindigkeit v_1 des ersten Zuges Z_1 an die erste Frequenz F_1 des ersten Oszillators O_1 und die Geschwindigkeit v_2 des zweiten Zuges Z_2 an die zweite Frequenz F_2 des zweiten Oszillators O_2 gemäß Fig. 2 zu koppeln.

[0047] Vorliegend handelt es sich bei den Zeitintervall-

len Δt_1 und Δt_2 um Verspätungen. Es ist jedoch zu beachten, dass es sich bei diesen Zeitintervallen grundsätzlich um beliebige Zeitabweichungen handeln kann, d.h., das Vorkommen, dass sich ein oder mehrere Züge schneller als fahrplanmäßig fortbewegen, kann in der gleichen Weise behandelt werden. Das erfindungsgemäße System (und Verfahren) ist also nicht auf die Regulierung von Verspätungen seiner Teilnehmer (hier Züge) beschränkt. Insbesondere können Verspätungen auch wieder aufgeholt werden.

[0048] Wenn beide Züge Z_1 und Z_2 ihre jeweilige vorbestimmbare, fahrplanmäßige Geschwindigkeit v_1 , v_2 einhalten, bleiben während der gesamten Fahrt der beiden Züge Z_1 und Z_2 zum Ort c die Frequenzen F_1 , F_2 beider Oszillatoren O_1 , O_2 gleich einer vorbestimmbaren Startfrequenz F_{start} . Falls ohne Beschränkung der Allgemeinheit der erste Zug Z_1 um eine Geschwindigkeitsabweichung Δv_1 langsamer wird, berechnet eine am ersten Zug Z_1 vorgesehene Auswerteelektronik eine neue erste Frequenz $F_{\text{neu},1}$ des ersten Oszillators O_1 , und zwar vorzugsweise unter Verwendung der Beziehung $v = s/t$ so wie der derzeitigen ersten Frequenz F_1 des ersten Oszillators O_1 als (siehe oben):

$$F_{\text{neu},1} = F_1 + \frac{\Delta v_1 \cdot t_1}{v_1 - \Delta v_1}.$$

[0049] Diese Frequenzänderung wird über das vorstehend anhand der Fig. 2 beschriebene Synchronisationsphänomen bis zu einer berechenbaren Obergrenze für die Frequenz $F_{\text{start}} + \Delta F$ über die bidirektionale Kommunikationsverbindung 12 an den zweiten Oszillator O_2 des zweiten Zuges Z_2 weitergegeben, der so die neue Frequenz $F_{\text{neu},2}$ erhält. Im Zug Z_2 ist ebenfalls eine Auswerteelektronik angeordnet, die eine aktualisierte Geschwindigkeit v_2 des zweiten Zuges Z_2 vorzugsweise anhand nachfolgender Relation berechnet (siehe oben), wobei F_{start} die gemeinsame Startfrequenz aller Oszillatoren ist:

$$v_2 = \frac{s_2}{t_2 + (F_{\text{neu},2} - F_{\text{start}})}.$$

[0050] Durch die vorstehend beschriebene Kopplung von Oszillatoren O_1 , O_2 , ... werden auftretende Geschwindigkeitsabweichungen $\Delta v_{1,2,\dots}$ bzw. -Verspätungen laufend, d. h., in Echtzeit aneinander angeglichen, so dass die betreffenden Züge $Z_{1,2,\dots}$ stets zur gleichen Zeit am Ort c eintreffen.

[0051] Der besondere Vorteil des vorstehend beschriebenen Systems bzw. Verfahrens liegt darin, dass es sich selbst reguliert. Falls eine Gruppe von Oszillato-

ren O_1 bis O_N einmalig bezüglich der Anschlussbedingungen an einem oder mehreren (Ziel)orten eingestellt ist, werden die an den Zügen $Z_{1,2,\dots}$ vorgesehenen Oszillatoren $O_{1,\dots,N}$ auf jede Störung (Verspätung, d. h., Abweichungen von einer vorbestimmbaren fahrplanmäßigen Geschwindigkeit) bis zu einer theoretisch bestimm- 5
baren zeitlichen Grenze selbständig reagieren. Eine zentrale Kontrollinstanz ist nicht notwendig, da die vorstehend beschriebenen Steuervorgänge dezentral durch das oben beschriebene Synchronisationsphänomen be- 10
wirkt werden.

Patentansprüche

1. System zur Synchronisation von Ereignissen im Transportwesen zwischen zumindest einem ersten Fahrzeug (Z_1) und zumindest einem zweiten Fahrzeug (Z_2), insbesondere zur Synchronisation der Ankunftszeit des mindestens einen ersten Fahrzeuges (Z_1) an einem Zielort (c) mit der Ankunftszeit des mindestens einen zweiten Fahrzeuges (Z_2) am Zielort (c), 15
gekennzeichnet durch,

- einen dem ersten Fahrzeug (Z_1) zugeordneten ersten Oszillator (O_1), der mit einer ersten Frequenz (F_1) schwingt,
- einen dem zweiten Fahrzeug (Z_2) zugeordneten zweiten Oszillator (O_2), der mit einer zweiten Frequenz (F_2) schwingt, und
- eine bidirektionale Kommunikationsverbindung (12) zwischen den beiden Oszillatoren (O_1 , O_2), zum Austauschen von Signalen zwischen den beiden Oszillatoren (P_1 , O_2). 25

2. System nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Oszillatoren (O_1 , O_2) über die bidirektionale Kommunikationsverbindung (12) pulsgekoppelt sind. 30

3. System nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Geschwindigkeit (v_1) des ersten Fahrzeuges (Z_1) an die erste Frequenz (F_1) des ersten Oszillators O_1 gekoppelt ist und / oder dass die Geschwindigkeit (v_2) des zweiten Fahrzeuges (Z_2) an die zweite Frequenz (F_2) des zweiten Oszillators (O_2) gekoppelt ist. 35

4. System nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei fahrplanmäßigen Geschwindigkeiten (v_1 , v_2) die beiden Frequenzen (F_1) und (F_2) der beiden Oszillatoren (O_1 , O_2) gleich einer konstanten Startfrequenz (F_{start}) bleiben. 40

5. System nach Anspruch 3 oder nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das System dazu eingerichtet und vorgesehen ist, bei einer Geschwin- 45

- digkeitsabweichung (Δv_1) der Geschwindigkeit (v_1) des ersten Fahrzeuges (Z_1) von dessen fahrplanmäßiger Geschwindigkeit die erste Frequenz (F_1) des dem ersten Fahrzeug (Z_1) zugeordneten ersten Oszillators (O_1) in Abhängigkeit der Geschwindigkeitsabweichung (Δv_1) neu zu berechnen, insbesondere nach der Relation $F_{neu,1} = F_1 + (\Delta v_1 * t_1) / (v_1 - \Delta v_1)$, wobei t_1 die Zeit ist, die das erste Fahrzeug (Z_1) fahrplanmäßig zum Erreichen des Zielortes (c) benötigt.
- 5
6. System nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das System dazu eingerichtet und vorgesehen ist, die neu berechnete erste Frequenz ($F_{neu,1}$) des dem ersten Fahrzeug (Z_1) zugeordneten ersten Oszillators (O_1) dem zweiten Oszillator (O_2) über die Kommunikationsverbindung (12) mitzuteilen, so dass der zweite Oszillator (O_2) insbesondere eine neue zweite Frequenz ($F_{neu,2}$) erhält.
- 10
7. System nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das System dazu eingerichtet und vorgesehen ist, für das zweite Fahrzeug (Z_2) in Abhängigkeit von der neuen zweiten Frequenz ($F_{neu,2}$) des dem zweiten Fahrzeug (Z_2) zugeordneten zweiten Oszillators (O_2) eine neue Geschwindigkeit (v_2) zu berechnen, insbesondere nach der Relation $v_2 = s_2 / (t_2 + (F_{neu,2} - F_{start}))$, wobei s_2 die Strecke ist, die das zweite Fahrzeug (Z_2) insgesamt zum Zielort (c) zurücklegen muss, wobei t_2 die Zeit ist, die das zweite Fahrzeug (Z_2) fahrplanmäßig zum Erreichen des Zielortes (c) benötigt, und wobei F_{start} eine gemeinsame Startfrequenz aller Oszillatoren ist.
- 15
8. System nach einem der vorhergegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Oszillatoren (O_1 , O_2) jeweils durch eine konkave Statusfunktion $f_{1,2}(t)$ definiert sind, wobei $f_{1,2}(t)$ für wachsendes t einen Aufladevorgang des betreffenden Oszillators bis zu einer maximalen Ladung Q_{max} beschreibt.
- 20
9. System nach einem der vorhergegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Oszillatoren (O_1 , O_2) dazu eingerichtet und vorgesehen sind, bei Erreichen ihrer maximalen Ladung (Q_{max}) einen Impuls an den jeweils anderen Oszillator (O_1 , O_2) über die Kommunikationsverbindung (12) abzugeben, wonach sie ihre Ladung ($f_{1,2}$) jeweils auf Null setzen und den Ladevorgang wiederholen, und wobei der abgegebene Impuls die Ladung ($f_{1,2}$) des jeweils anderen Oszillators (O_1 , O_2) um einen vorbestimmbaren Betrag (ϵ) erhöht.
- 25
10. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das System als ein Notfallsystem ausgebildet ist, dass dazu eingerichtet und vorgesehen ist, im Fall einer Störung eines Basissystems zur Synchronisation von Ereignissen im Transportwesen, die Störung mittels einer Sensorik zu erfassen und die durch das Basissystem durchzuführende Synchronisation von Ereignissen anstelle des Basissystems zu übernehmen.
- 30
11. Verfahren zur Synchronisation von Ereignissen im Transportwesen zwischen zumindest einem ersten Fahrzeug (Z_1) und zumindest einem zweiten Fahrzeug (Z_2), insbesondere zur Synchronisation der Ankunftszeit des mindestens einen ersten Fahrzeuges (Z_1) an einem Zielort (c) mit der Ankunftszeit des mindestens einen zweiten Fahrzeuges (Z_2) am Zielort (c), wobei das Verfahren insbesondere unter Verwendung eines Systems nach einem der vorangehenden Ansprüche durchgeführt wird, umfassend die Schritte:
- 35
- Bereitstellen eines dem ersten Fahrzeug (Z_1) zugeordneten ersten Oszillators (O_1), der mit einer ersten Frequenz (F_1) schwingt,
 - Bereitstellen eines dem zweiten Fahrzeug (Z_2) zugeordneten zweiten Oszillators (O_2), der mit einer zweiten Frequenz (F_2) schwingt,
 - Messen einer Geschwindigkeitsabweichung (Δv_1) einer Geschwindigkeit (v_1) des ersten Fahrzeuges (Z_1) von einer vorbestimmbaren fahrplanmäßigen Geschwindigkeit, und
 - Berechnen einer neuen ersten Frequenz ($F_{neu,1}$) des ersten Oszillators (O_1) in Abhängigkeit der besagten Geschwindigkeitsabweichung (Δv_1), insbesondere nach der Relation $F_{neu,1} = F_1 + (\Delta v_1 * t_1) / (v_1 - \Delta v_1)$, wobei t_1 die Zeit ist, die das erste Fahrzeug fahrplanmäßig zum Erreichen des Zielortes (c) benötigt.
- 40
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die berechnete erste Frequenz ($F_{neu,1}$) des dem ersten Fahrzeug (Z_1) zugeordneten ersten Oszillators (O_1) dem zweiten Oszillator (O_2) über eine Kommunikationsverbindung (12) mitgeteilt wird, so dass der zweite Oszillator (O_2) insbesondere eine neue zweite Frequenz ($F_{neu,2}$) erhält.
- 45
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** für das zweite Fahrzeug (Z_2) in Abhängigkeit von der neuen zweiten Frequenz ($F_{neu,2}$) des dem zweiten Fahrzeug (Z_2) zugeordneten zweiten Oszillators (O_2) eine neue Geschwindigkeit (v_2) errechnet wird, insbesondere nach der Relation $v_2 = s_2 / (t_2 + (F_{neu,2} - F_{start}))$, wobei s_2 die Strecke ist, die das zweite Fahrzeug (Z_2) insgesamt zum Zielort (c) zurücklegen muss, wobei t_2 die Zeit ist, die das zweite Fahrzeug (Z_2) fahrplanmäßig zum Erreichen des Zielortes (c) benötigt, und wobei F_{start} eine gemeinsame Startfrequenz aller Oszillatoren ist.
- 50
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Oszillato-
- 55

ren (O_1, O_2) jeweils bis zu einer maximalen Ladung Q_{\max} aufgeladen werden und dann die Ladung ($f_{1,2}$) jeweils auf Null gesetzt wird, wobei über eine bidirektionale Kommunikationsverbindung (12) jeder der beiden Oszillatoren (O_1, O_2) beim Erreichen der maximalen Ladung einen Impuls an den anderen Oszillator (O_1, O_2) abgibt, der die Ladung ($f_{1,2}$) jenes anderen Oszillators (O_1, O_2) um einen vordefinierten Betrag (ϵ) erhöht.

5

10

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14 umfassend die weiteren Schritte:

- Bereitstellen eines Basissystems zur Synchronisation von Ereignissen im Transportwesen, insbesondere zur Synchronisation der Ankunftszeit eines ersten Fahrzeuges (Z_1) an einem Zielort (c) mit der Ankunftszeit eines zweiten Fahrzeuges (Z_2) am Zielort (c),
- Im Falle einer Störung des Basissystems: Erfassen der Störung mittels einer Sensorik, und
- Abschalten des Basissystems im Falle der Störung.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1A

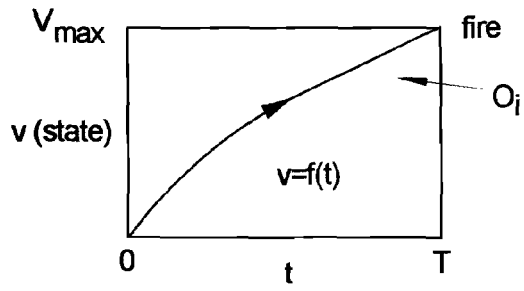


FIG 1B

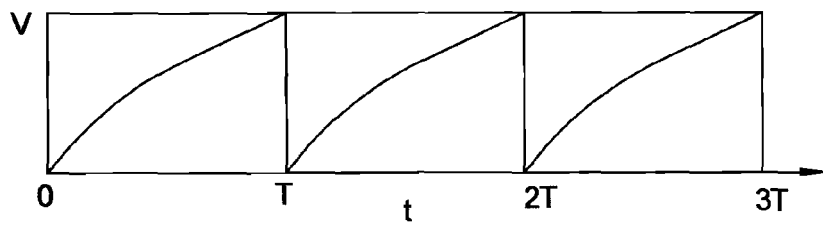


FIG 2

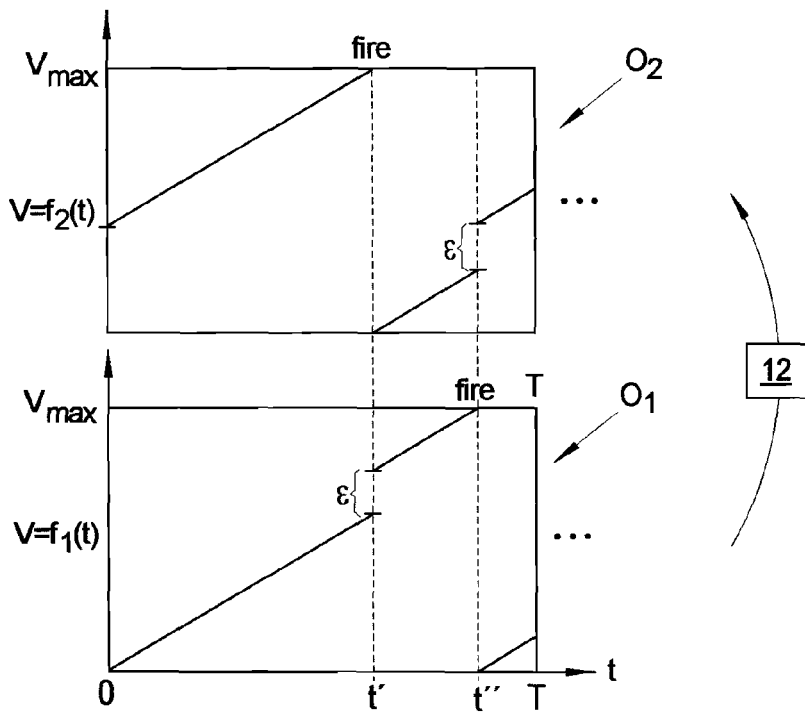


FIG 3

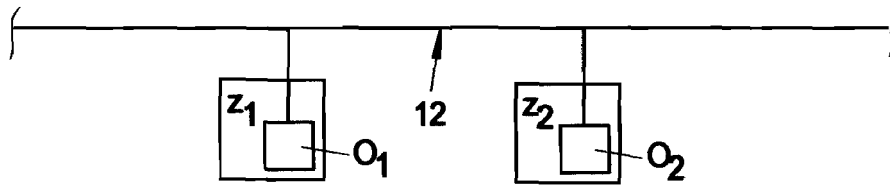
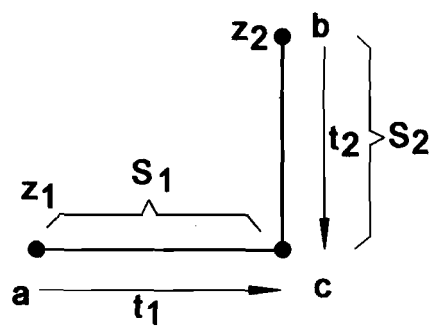


FIG 4



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **R. E. Mirollo ; F. H. Strogatz.** Synchronization of pulse-coupled biological oscillators. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, Dezember 1990, vol. 50 (6), 16451662 **[0012]**
- Courant Institute of Mathematical Sciences. *Mathematical Aspects of Heart Physiology*, 1975, 268-278 **[0012]**