

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50065/2018 (51) Int. Cl.: **G06T 5/50** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 25.01.2018 **G06F 17/17** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.08.2019 **G06T 7/00** (2017.01)

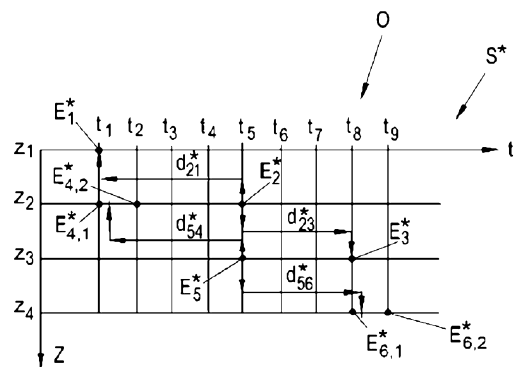
(56) Entgegenhaltungen:
US 2005078751 A1
US 2002181590 A1
US 6385245 B1

(71) Patentanmelder:
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
1220 Wien (AT)

(74) Vertreter:
Wildhack & Jelinek Patentanwälte OG
1030 Wien (AT)

(54) **Verfahren zur Erstellung einer Bildstapel-Datenstruktur**

- (57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erstellung einer Bildstapel-Datenstruktur (S), wobei
- eine dreidimensionale Bildstapel-Datenstruktur (S) aus Aufnahmen (v_1, \dots, v_4) eines Gegenstands (1) erstellt wird, wobei die einzelnen Einträge (E_1, E_2, E_3) jeweils zumindest einen Helligkeitswert für die einzelnen Pixel der Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) enthalten, wobei die Indizes festgelegt sind durch
 - i) einen ganzzahligen Aufnahmeindex (t_1, \dots, t_9),
 - ii) einen die Sensorzeile (21a, 21b, 21c) kennzeichnenden Zeilenindex (z_1, \dots, z_4),
 - iii) die Spaltenposition (y_1, \dots, y_5) in Bezug auf die Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) normal zur Transportrichtung (x),
 - für einzelne ausgewählte Einträge einer Sensorzeile (21a, 21b, 21c) nach zumindest zwei Einträgen gesucht wird, die denselben Gegenstandsbereich zeigen, und
 - eine Indexbereinigung des ursprünglichen Aufnahmeindex (t_1, t_5, t_9) durchgeführt und für jeden Aufnahmeindex (t_1, t_5, t_9) ein subpixel-genauer bereinigter Aufnahmeindex (t'_1, t'_5, t'_9) als Ersatzwert für den ursprünglichen Aufnahmeindex (t_1, t_5, t_9) mittels eines Optimierungsverfahrens (O) bestimmt wird.



Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erstellung einer Bildstapel-Datenstruktur (S), wobei

- ein Gegenstand (1) entlang einer Transportrichtung (x) durch den Aufnahmebereich einer Bildaufnahmeeinheit (2) bewegt wird
- von der Bildaufnahmeeinheit (2) Aufnahmen (v_1, \dots, v_4) erstellt werden,
 - wobei die Bildaufnahmeeinheit (2) über eine Anzahl von Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) verfügt, die normal zur Transportrichtung (x) des Gegenstands (1) und in Bezug zur Transportrichtung (x) hintereinander, insbesondere parallel zueinander ausgerichtet, angeordnet sind, insbesondere Zeilen eines Flächensensors bilden,
 - wobei die einzelnen Aufnahmen (v_1, \dots, v_4) jeweils Zeilenaufnahmen umfassen, die jeweils mittels einer Sensorzeile (21a, 21b, 21c) zu vorgegebenen Aufnahmezeitpunkten erstellt werden,
 - wobei die vorgegebenen Aufnahmezeitpunkte für alle Aufnahmen gleich sind und dem Transportfortschritt entlang der Transportrichtung (x) entsprechen,
- eine dreidimensionale Bildstapel-Datenstruktur (S) aus den Aufnahmen (v_1, \dots, v_4) des Gegenstands (1) erstellt wird, wobei die einzelnen Einträge (E_1, E_2, E_3) der Bildstapel-Datenstruktur (S) für eine Anzahl von Aufnahmeindizes (t_1, \dots, t_9) jeweils zumindest einen Helligkeitswert für die einzelnen Pixel der Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) enthalten, wobei die Indizes der dreidimensionalen Bildstapel-Datenstruktur (S) festgelegt sind durch
 - i) einen den Transportfortschritt kennzeichnenden ganzzahligen Aufnahmeindex (t_1, \dots, t_9) zu dem der betreffende Helligkeitswert erstellt wurde,
 - ii) einen die Sensorzeile (21a, 21b, 21c), insbesondere deren Position in Transportrichtung (x), in der sich das Pixel befindet, das den betreffenden Helligkeitswert ermittelt hat, kennzeichnenden Zeilenindex (z_1, \dots, z_4), und
 - iii) die Spaltenposition (y_1, \dots, y_5) desjenigen Pixels, das den betreffenden Helligkeitswert ermittelt hat, in Bezug auf die Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) normal zur Transportrichtung (x),
- wobei für einzelne ausgewählte Einträge, insbesondere für alle Einträge (E_1, E_2, E_3), der Bildstapel-Datenstruktur (S)
 - ausgehend vom jeweils ausgewählten Eintrag ($E_2; E_5$), der einer Sensorzeile (21a, 21b, 21c) zugeordnet ist, nach zumindest zwei Einträgen, deren Helligkeitswerte von anderen Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) erstellt wurden und die derselben Spaltenposition (y_1, \dots, y_5) zugeordnet sind, gesucht wird, die denselben Gegenstandsbereich zeigen, wie der jeweilige ausgewählte Eintrag ($E_2; E_5$), und deren Zeilenindizes (z_1, z_2, z_3) vom Zeilenindex des ausgewählten Eintrags

verschieden sind, wobei insbesondere die Differenz von deren Zeilenindizes zum Zeilenindex des ausgewählten Eintrags (E_2 ; E_5) einen von mehreren vorgegebenen Werten aufweist,

- die Abstände (d_{21} , d_{23}) hinsichtlich des Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) jeweils zwischen dem ausgewählten Eintrag (E_1 , E_2 , E_3) und jeweils einem der so aufgefundenen Einträge unter Verwendung von Subpixel-Arithmetik berechnet werden,
- ein Abstandsmittelwert (d_{21}^* , d_{23}^*) der Abstände (d_{21} , d_{23}) für einzelne Aufnahmeindizes (t_1 , t_5 , t_9) und Zeilenindizes (z_1 , ..., z_4) über ausgewählte, insbesondere alle, Spaltenpositionen (y_1 , ..., y_5), insbesondere jeweils für beide Abstände (d_{21} , d_{23}) separat, gebildet wird,
- für eine Anzahl von Paaren umfassend jeweils einen der Aufnahmeindizes (t_1 , t_5 , t_9) und einen der Zeilenindizes (z_1 , ..., z_4) jeweils ein Element (E_1^* , ...) erstellt wird, dem die jeweiligen Abstandsmittelwerte (d_i° , d_i^\sim ; d_{21}^* , d_{23}^*) zugeordnet werden, und
- einer Anzahl von ausgewählten Elementen (E_2^* , E_5^*) jeweils weitere Elemente (E_1^* , E_3^* , $E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$, $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$) mit relativ zum jeweiligen ausgewählten Element (E_2^* , E_5^*) vorgegebenen Zeilenindex zugewiesen werden, bei denen der Unterschied der unbereinigten Aufnahmeindizes (t_1 , ..., t_9) des ausgewählten Elements (E_2^* , E_5^*) und des weiteren Elements (E_1^* , E_3^* , $E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$, $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$) dem jeweiligen, dem ausgewählten Element (E_2^* , E_5^*) zugeordneten, Abstandsmittelwert (d_{21}^* , d_{23}^*) entspricht, oder diesem nahe kommt,

wobei gegebenenfalls die beiden mit demselben Zeilenindex versehenen weiteren Elemente ($E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$, $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$) mit den beiden dem jeweiligen Abstandsmittelwert (d_{21}^* , d_{23}^*) am nächsten kommenden Unterschieden der unbereinigten Aufnahmeindizes dem jeweiligen ausgewählten Element (E_2^* , E_5^*) gemeinsam zugewiesen werden,

und

- eine Indexbereinigung des ursprünglichen Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) durchgeführt und für jeden Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) ein subpixel-genauer bereinigter Aufnahmeindex (t'_1 , t'_5 , t'_9) als Ersatzwert für den ursprünglichen Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) mittels eines Optimierungsverfahrens (O) derart bestimmt wird, dass folgende Nebenbedingungen erfüllt sind:

- die einzelnen Differenzen zwischen dem bereinigten Aufnahmeindex (t'_1 , ...) eines ausgewählten Elements (E_2^*) und dem bereinigten Aufnahmeindex (t'_1 , ...) eines ihm jeweils zugeordneten Elements (E_1^*) sind untereinander gleich,
 - wobei die Abstandsmittelwerte (d_{21}^* , d_{23}^*) gegebenenfalls mit einem zum Zeilenindexunterschied der für seine Bestimmung herangezogenen Einträge oder Elemente invers proportionalen Kompensationsfaktor (k_{21}^* , k_{23}^*) gewichtet werden,
- und

wobei insbesondere der bereinigte Aufnahmeindex (t'_1, \dots) mehrerer gemeinsam zugeordneter Elemente $(E_{4,1}^*, E_{4,2}^*)$ durch Gewichtung der bereinigten Aufnahmeindizes (t'_1, \dots) der gemeinsam zugeordneten Elementen $(E_{4,1}^*, E_{4,2}^*)$ ermittelt wird,

- der bereinigte Aufnahmeindex (t'_1, \dots) eines Elements (E_1^*, \dots) liegt möglichst nahe beim jeweiligen unbereinigten Aufnahmeindex (t_1, \dots) des betreffenden Elements (E_1^*, \dots) .

Fig. 3b

Verfahren zur Erstellung einer Bildstapel-Datenstruktur

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erstellung einer Bildstapel-Datenstruktur gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Bildaufnahmeeinheiten, die über eine Anzahl von Sensorzeilen verfügen, werden häufig für hochgeschwindigkeits- bzw. hochauflösende Aufnahmen von Objekten, die an der Bildaufnahmeeinheit vorbei transportiert werden, beispielsweise in der industriellen Qualitätsprüfung, verwendet.

Um Synchronisierungsproblemen bei der Aufnahme von Objekten vorzubeugen, werden bei aus dem Stand der Technik bekannten Bildaufnahmesystemen hochpräzise Linearantriebe bzw. Bewegungssensoren verwendet. Dabei können jedoch besonders bei starken Vergrößerungen Transport-Artefakte bei der Aufnahme von sich bewegenden Objekten verbleiben, die dadurch bedingt sind, dass die Bewegung, mit der die Objekte an der Bildaufnahmeeinheit vorbei transportiert werden, nicht perfekt mit der Bildaufnahmeeinheit synchronisiert ist, insbesondere wenn die Transportgeschwindigkeit nicht konstant ist. Derartige Transport-Artefakte sind besonders bei hohen Vergrößerungen problematisch und die aufgenommenen Bilddaten weisen in diesem Fall zeitliche und/oder räumliche Verzerrungen auf, die beispielsweise die visuelle Qualitätskontrolle behindern können.

Aufgabe der Erfindung ist es daher ein Verfahren zur Erstellung einer Bildstapel-Datenstruktur bereitzustellen, das eine Kompensation derartiger Synchronisierungsprobleme bzw. Transport-Artefakte auf zuverlässige und einfache Weise gewährleistet.

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit einem Verfahren zur Erstellung einer Bildstapel-Datenstruktur, wobei

- ein Gegenstand entlang einer Transportrichtung durch den Aufnahmebereich einer Bildaufnahmeeinheit bewegt wird
- von der Bildaufnahmeeinheit Aufnahmen erstellt werden,
 - wobei die Bildaufnahmeeinheit über eine Anzahl von Sensorzeilen verfügt, die normal zur Transportrichtung des Gegenstands und in Bezug zur Transportrichtung hintereinander, insbesondere parallel zueinander ausgerichtet, angeordnet sind, insbesondere Zeilen eines Flächensensors bilden,

- wobei die einzelnen Aufnahmen jeweils Zeilenaufnahmen umfassen, die jeweils mittels einer Sensorzeile zu vorgegebenen Aufnahmezeitpunkten erstellt werden,
- wobei die vorgegebenen Aufnahmezeitpunkte für alle Aufnahmen gleich sind und dem Transportfortschritt entlang der Transportrichtung entsprechen,
- eine dreidimensionale Bildstapel-Datenstruktur aus den Aufnahmen des Gegenstands erstellt wird, wobei die einzelnen Einträge der Bildstapel-Datenstruktur für eine Anzahl von Aufnahmeindizes jeweils zumindest einen Helligkeitswert für die einzelnen Pixel der Sensorzeilen enthalten, wobei die Indizes der dreidimensionalen Bildstapel-Datenstruktur festgelegt sind durch
 - i) einen den Transportfortschritt kennzeichnenden ganzzahligen Aufnahmeindex zu dem der betreffende Helligkeitswert erstellt wurde,
 - ii) einen die Sensorzeile, insbesondere deren Position in Transportrichtung, in der sich das Pixel befindet, das den betreffenden Helligkeitswert ermittelt hat, kennzeichnenden Zeilenindex, und
 - iii) die Spaltenposition desjenigen Pixels, das den betreffenden Helligkeitswert ermittelt hat, in Bezug auf die Sensorzeilen normal zur Transportrichtung,
- wobei für einzelne ausgewählte Einträge, insbesondere für alle Einträge, der Bildstapel-Datenstruktur
 - ausgehend vom jeweils ausgewählten Eintrag, der einer Sensorzeile zugeordnet ist, nach zumindest zwei Einträgen, deren Helligkeitswerte von anderen Sensorzeilen erstellt wurden und die derselben Spaltenposition zugeordnet sind, gesucht wird, die denselben Gegenstandsbereich zeigen, wie der jeweilige ausgewählte Eintrag, und deren Zeilenindizes vom Zeilenindex des ausgewählten Eintrags verschieden sind, wobei insbesondere die Differenz von deren Zeilenindizes zum Zeilenindex des ausgewählten Eintrags einen von mehreren vorgegebenen Werten aufweist,
 - die Abstände hinsichtlich des Aufnahmeindex jeweils zwischen dem ausgewählten Eintrag und jeweils einem der so aufgefundenen Einträge unter Verwendung von Subpixel-Arithmetik berechnet werden,
- ein Abstandsmittelwert der Abstände für einzelne Aufnahmeindizes und Zeilenindizes über ausgewählte, insbesondere alle, Spaltenpositionen, insbesondere jeweils für beide Abstände separat, gebildet wird,
- für eine Anzahl von Paaren umfassend jeweils einen der Aufnahmeindizes und einen der Zeilenindizes jeweils ein Element erstellt wird, dem die jeweiligen Abstandsmittelwerte zugeordnet werden, und
- einer Anzahl von ausgewählten Elementen jeweils weitere Elemente mit relativ zum jeweiligen ausgewählten Element vorgegebenen Zeilenindex zugewiesen werden, bei

denen der Unterschied der unbereinigten Aufnahmeindizes des ausgewählten Elements und des weiteren Elements dem jeweiligen, dem ausgewählten Element zugeordneten, Abstandsmittelwert entspricht, oder diesem nahe kommt,

wobei gegebenenfalls die beiden mit demselben Zeilenindex versehenen weiteren Elemente mit den beiden dem jeweiligen Abstandsmittelwert am nächsten kommenden Unterschieden der unbereinigten Aufnahmeindizes dem jeweiligen ausgewählten Element gemeinsam zugewiesen werden,

und

- eine Indexbereinigung des ursprünglichen Aufnahmeindex durchgeführt und für jeden Aufnahmeindex ein subpixel-genauer bereinigter Aufnahmeindex als Ersatzwert für den ursprünglichen Aufnahmeindex mittels eines Optimierungsverfahrens derart bestimmt wird, dass folgende Nebenbedingungen erfüllt sind:

- die einzelnen Differenzen zwischen dem bereinigten Aufnahmeindex eines ausgewählten Elements und dem bereinigten Aufnahmeindex eines ihm jeweils zugeordneten Elements sind untereinander gleich,

- wobei die Abstandsmittelwerte gegebenenfalls mit einem zum Zeilenindexunterschied der für seine Bestimmung herangezogenen Einträge oder Elemente invers proportionalen Kompensationsfaktor gewichtet werden, und wobei insbesondere der bereinigte Aufnahmeindex mehrerer gemeinsam zugeordneter Elemente durch Gewichtung der bereinigten Aufnahmeindizes der gemeinsam zugeordneten Elementen ermittelt wird,

- der bereinigte Aufnahmeindex eines Elements liegt möglichst nahe beim jeweiligen unbereinigten Aufnahmeindex des betreffenden Elements.

Um zu gewährleisten, dass Elemente der Bildstapel-Datenstruktur, die demselben Gegenstandsbereich zugeordnet sind, entlang von glatt verlaufenden Epipolarlinien in der Bildstapel-Datenstruktur verfolgbar sind, kann bei einem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen sein, dass dem Optimierungsverfahren als zusätzliche Nebenbedingung vorgegeben wird, dass bereinigte Aufnahmeindizes in Transportrichtung möglichst gleichverteilt liegen, sodass sie zu ihren benachbarten bereinigten Aufnahmeindizes in Transportrichtung jeweils möglichst denselben Abstand oder einen vorgegebenen Abstand aufweisen.

Um eine möglichst exakte Wiedergabe der einen Gegenstandspunkt charakterisierenden Helligkeitswerte in der entzerrten Bildstapel-Datenstruktur zu gewährleisten, kann vorgesehen sein, dass für alle Sensorzeilen und Spaltenpositionen separat eine Interpolation unter der Vorgabe durchgeführt wird, dass die Interpolierende für die

Elemente ermittelte Helligkeitswerte bei Vorgabe des jeweiligen bereinigten Aufnahmeindex liefert, und wobei die Interpolierende an den durch den ursprünglichen Aufnahmeindex festgelegten Positionen ausgewertet wird und derart eine entzerrte Bildstapel-Datenstruktur erstellt wird.

Um sicherzustellen, dass bei einem erfindungsgemäßen Verfahren die tatsächliche Beabstandung der Sensorzeilen der Bildaufnahmeeinheit in der Bildstapel-Datenstruktur berücksichtigt ist, kann vorgesehen sein, dass die Beabstandung des Zeilenindex der Beabstandung der jeweiligen Sensorzeilen oder der Beabstandung der Aufnahmebereiche der Sensorzeilen entspricht.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

Besonders vorteilhafte, aber nicht einschränkend zu verstehende Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand der beiliegenden Zeichnungen schematisch dargestellt und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beispielhaft beschrieben.

Im Folgenden zeigen:

Fig. 1 schematisch den Aufbau einer Anordnung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 ein schematisches Beispiel eines Bildstapels von mit der in **Fig. 1** dargestellten Anordnung zeitlich aufeinanderfolgend erstellten Aufnahmen eines Gegenstands,

Fig. 3a zeigt ein Beispiel für eine Bildstapel-Datenstruktur und ein schematisches Beispiel für die Ermittlung der Abstände zwischen korrespondierenden Elementen in der Bildstapel-Datenstruktur

Fig. 3b zeigt ein schematisches Beispiel für die Zuordnung von Elementen entsprechend den Abstandsmittelwerten, welche im Zuge der Optimierung verwendet wird.,

Fig. 4 eine schematische grafische Darstellung einer Interpolierenden zur Ermittlung von interpolierten Helligkeitswerten.

Der in **Fig. 1** dargestellte Aufbau zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst eine Bildaufnahmeeinheit 2, die über eine Anzahl von Sensorzeilen 21a, 21b, 21c verfügt. Die Sensorzeilen 21a, 21b, 21c der Bildaufnahmeeinheit 2 können auch durch einzelne ausgewählte Zeilen eines Flächensensors realisiert sein. Die Position jedes der Sensorpixel der Sensorzeilen in Zeilenrichtung y ist durch einen Spaltenindex bzw eine y-

Koordinate beschrieben. Die Sensorpixel, die derselben Sensorzeile zugehören, weisen – bezogen auf den Flächensensor – denselben Zeilenindex z auf, der konkret die Lage des betreffenden Sensorpixels bzw der Sensorzeile in Transportrichtung x angibt.

Im gezeigten vereinfachten Ausführungsbeispiel umfasst die Bildaufnahmeeinheit 2 drei Sensorzeilen 21a, 21b, 21c. Die Sensorzeilen 21a, 21b, 21c sind dabei zur Aufnahme eines Gegenstands 1 auf einen Bereich gerichtet, durch den der Gegenstand 1 bewegt werden soll. Üblicherweise werden zwischen 10 und 20 Sensorzeilen herangezogen.

Zur Aufnahme eines Gegenstands 1 wird dieser entlang einer Transportrichtung x durch den Aufnahmebereich der Bildaufnahmeeinheit 2 bewegt. Dabei werden zu vorgegebenen Aufnahmezeitpunkten von der Bildaufnahmeeinheit 2 Aufnahmen erstellt, wobei jeder Aufnahme entsprechen ihrem Aufnahmezeitpunkt ein Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 zugewiesen wird, aus dem die zeitliche Abfolge der einzelnen Aufnahmen entnehmbar ist. Aus dem Aufnahmeindex lässt sich ebenso der Transportfortschritt feststellen. Die Sensorzeilen 21a, 21b, 21c der Bildaufnahmeeinheit 2 sind normal zur Transportrichtung x des Gegenstands 1 und im Bezug zur Transportrichtung x hintereinander, insbesondere parallel zueinander ausgerichtet, angeordnet. Die Sensorzeilen 21a, 21b, 21c nehmen dabei einzelne Bereiche des Gegenstands gleichzeitig zu denselben vorgegebenen Aufnahmezeitpunkten auf. Optional kann der Gegenstand 1, während er durch den Aufnahmebereich der Bildaufnahmeeinheit 2 transportiert wird, auch beleuchtet werden.

Bei derartigen aus dem Stand der Technik bekannten Anordnungen wird ein aufzunehmender Gegenstand 1 meist mittels eines Linearantriebs an der Bildaufnahmeeinheit 2 vorbeibewegt und dabei werden zu vorgegebenen Aufnahmezeitpunkten Aufnahmen des Gegenstands 1 erstellt. Dabei wird der Gegenstand 1 von jeder der Sensorzeilen 21a, 21b, 21c der Bildaufnahmeeinheit 2 unter einem anderem Winkel aufgenommen.

Dadurch wird jeder Gegenstandspunkt im Zuge seiner Bewegung durch den Aufnahmebereich der Bildaufnahmeeinheit 2 auf dem Gegenstand 1 jeweils von jeder der Sensorzeilen 21a, 21b, 21c unter verschiedenen Betrachtungsrichtungen bzw. -winkeln aufgenommen. Dabei wird von jedem der Zeilensensoren jeweils eine Aufnahme v_1, \dots, v_4 erstellt, die jeweils alle mittels der jeweiligen Sensorzeile 21a, 21b, 21c erstellten Zeilenbilder des Gegenstands 1, enthält. Die einzelnen Zeilenbilder sind dabei entsprechend ihrem Aufnahmezeitpunkt hintereinander in der jeweiligen Aufnahme

angeordnet, sodass die Aufnahme ein Bild des Gegenstands aus einem bestimmten, durch die Position der Sensorzeile festgelegten Blickwinkel zeigt.

Ein jeweils betrachteter Gegenstandspunkt ist in von verschiedenen Sensorzeilen 21a, 21b, 21c erstellten Aufnahmen v_1, \dots, v_4 des Gegenstands 1 daher an unterschiedlichen Bildpunktpositionen in der jeweils betrachteten Aufnahme v_1, \dots, v_4 abgebildet.

Fig. 2 zeigt schematisch einen aus derartigen Aufnahmen v_1, \dots, v_4 erstellten Bildstapel des in **Fig. 1** dargestellten ebenen Gegenstands 1, wobei die Aufnahmen v_1, \dots, v_4 von vier verschiedenen Sensorzeilen 21a, 21b, 21c erstellt wurden. In **Fig. 2** ist ersichtlich, dass beim zeitlich aufeinanderfolgenden Erstellen von Aufnahmen v_1, \dots, v_4 des Gegenstands 1, während dieser an der Bildaufnahmeeinheit 2 vorbeibewegt wird, keine ideale Synchronisierung zwischen dem Transportmechanismus und der Bildaufnahmeeinheit 2 vorherrscht.

Dies ist dadurch verursacht, dass beispielsweise die Blende der Bildaufnahmeeinheit 2 bei der Erstellung einer jeden Aufnahme v_1, \dots, v_4 gleich lange geöffnet ist, der Transport des Gegenstands 1 an der Bildaufnahmeeinheit 2 jedoch nicht mit einer kontinuierlichen gleichmäßigen Bewegung erfolgt. Dieser Umstand führt dazu, dass Bildpunkte, die denselben Gegenstandspunkt des Gegenstands 1 in verschiedenen Sensorzeilen zugeordneten Aufnahmen v_1, \dots, v_4 abbilden, im Bildstapel nicht entlang einer gerade Linie, auch als Epipolarlinie bezeichnet, liegen.

Wird beispielsweise der in **Fig. 2** dargestellte Bildstapel für eine dreidimensionale Rekonstruktion des aufgenommenen Gegenstands 1 verwendet, führen derartige synchronisierungsbedingte Transport-Artefakte zu Fehlern bei der Ermittlung des Abstands der Oberfläche des Gegenstands von der Bildaufnahmeeinheit 2 und behindern somit eine genaue dreidimensionale Rekonstruktion des Gegenstands 1, besonders wenn der Gegenstand 1 unter hoher Vergrößerung aufgenommen wurde.

Als Ausgangspunkt der im Folgenden gezeigten Korrektur eines Bildstapels wird eine dreidimensionale Bildstapel-Datenstruktur S herangezogen, die aus den Aufnahmen des Gegenstands 1 erstellt wird. Eine derartige Bildstapel-Datenstruktur S ist in **Fig. 3a** schematisch dargestellt. Die Bildstapel-Datenstruktur S umfasst dabei einzelne Einträge E_1, E_2, E_3 , die für einzelne Aufnahmeindizes t_1, \dots, t_9 jeweils zumindest einen Helligkeitswert für die einzelnen Pixel der Sensorzeilen 21a, 21b, 21c enthalten. Bei der

Bildstapel-Datenstruktur S handelt es sich um eine dreidimensionale Datenstruktur, deren Indizes festgelegt sind durch:

- einen den Transportfortschritt kennzeichnenden ganzzahligen Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 , zu dem der betreffende Helligkeitswert erstellt wurde,
- einen die Sensorzeile insbesondere deren Position in Transportrichtung x , in der sich das jeweilige Pixel befindet, das den betreffenden Helligkeitswert ermittelt hat, kennzeichnenden Zeilenindex z_1, \dots, z_4 und
- die Spaltenposition y_1, \dots, y_5 desjenigen Pixels, das den betreffenden Helligkeitswert ermittelt hat, in Bezug auf die Sensorzeilen 21a, 21b, 21c normal zur Transportrichtung.

In der in **Fig. 3a** dargestellten Bildstapel-Datenstruktur S kann die Bewegung des Gegenstands 1 verfolgt werden, indem Abbilder einzelner seiner Oberflächenbereiche an unterschiedlichen Positionen mit unterschiedlichem Zeilenindex z_1, \dots, z_4 und unterschiedlichem Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 innerhalb des Bildstapels aufgefunden werden. Bei der Suche nach den Abbildern kann die jeweilige Spaltenpositionen y_1, \dots, y_5 jeweils gleich gelassen werden, da üblicherweise nur unwesentliche Positionsänderungen in Spaltenrichtung detektierbar sind.

Eine Bildstapel-Datenstruktur S wie sie in **Fig. 3a** dargestellt ist, beinhaltet $n \times r \times m$ Einträge E_1, E_2, E_3 , wobei m die in der Bildstapel-Datenstruktur S vergebene Anzahl an Zeilenindizes z_1, \dots, z_4 angibt, r die Anzahl an vergebenen Spaltenpositionen y_1, \dots, y_5 und n die Anzahl an vergebenen Aufnahmeindizes t_1, \dots, t_9 .

Dies ist dadurch bedingt, dass die Sensorzeilen 21a, 21b, 21c sich, wie in **Fig. 1** dargestellt, normal zur Transportrichtung x , d.h. in y -Richtung, erstrecken und jede Gegenstandszeile des Gegenstands 1 während des Transports des Gegenstands 1 aufeinanderfolgend von den Sensorzeilen 21a, 21b, 21c aufgenommen wird.

Als nächster Verfahrensschritt wird für einzelne ausgewählte Einträge insbesondere für alle Einträge der Bildstapel-Datenstruktur S , ausgehend von einem jeweils ausgewählten Eintrag nach zumindest zwei unterschiedlichen Einträgen gesucht, deren Helligkeitswerte von anderen Sensorzeilen 21a, 21b, 21c erstellt wurden, und die derselben Spaltenposition y_1, \dots, y_5 zugeordnet sind, und die denselben Gegenstandsbereich zeigen wie der jeweils ausgewählte Eintrag.

In der schematischen Darstellung einer Bildstapel-Datenstruktur S in **Fig. 3a** enthalten die Einträge E_1, E_2, E_3 vom selben Gegenstandsbereich herrührende Helligkeitswerte, die mit jeweils unterschiedlichen Sensorzeilen 21a, 21b, 21c erstellt wurden. Die Einträge E_1, E_2, E_3 besitzen dabei jeweils die Spaltenposition y_1 und Zeilenindizes z_1, \dots, z_4 , die vom Zeilenindex des jeweils ausgewählten Eintrags E_1, E_2, E_3 verschieden sind.

Bei der Suche nach derartigen Einträgen wird dabei beispielsweise ausgehend von einem ausgewählten Eintrag E_2 jeweils ein weiterer Eintrag E_3 ermittelt, der einen Zeilenindex z_3 aufweist, der größer ist als der Zeilenindex z_2 des jeweils ausgewählten Eintrags E_2 und jeweils ein Eintrag E_1 , der einen Zeilenindex z_1 aufweist, der kleiner ist als der Zeilenindex z_2 des jeweils ausgewählten Eintrags E_2 .

Alternativ können ausgehend von einem jeweils ausgewählten Eintrag E_1 auch beispielsweise zwei verschiedene Einträge E_2, E_3 ermittelt werden, deren Zeilenindex z_2, z_3 größer ist, als der Zeilenindex z_1 des ausgewählten Eintrags E_1 .

Alternativ können ausgehend von einem jeweils ausgewählten Eintrag E_3 auch beispielsweise zwei verschiedene Einträge E_1, E_2 ermittelt werden, deren Zeilenindex z_1, z_2 kleiner ist, als der Zeilenindex z_3 des ausgewählten Eintrags E_3 .

Bei der in **Fig. 3a** schematisch dargestellten Bildstapel-Datenstruktur S wird ausgehend von ausgewählten Eintrag E_2 , dem der Zeilenindex z_2 zugeordnet ist, nach Einträgen gesucht, die derselben Spaltenposition y_1 zugeordnet sind und die denselben Gegenstandsbereich zeigen. Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird dabei nach Einträgen E_1, E_3 gesucht, deren Zeilenindexunterschied beispielsweise gleich eins ist bzw die von einer Sensorzeile stammen, die unmittelbar mit der Sensorzeile benachbart ist, von der der Helligkeitswert in Eintrag E_2 erstellt wurde. Die Suche liefert in diesem Fall als Ergebnis die Einträge E_1 , dem der Zeilenindex z_1 zugeordnet ist und E_3 , dem der Zeilenindex z_3 zugeordnet ist.

Alternativ können auch andere Suchen ausgehend vom jeweils ausgewählten Eintrag, der einer Sensorzeile 21a, 21b, 21c zugeordnet ist, nach zumindest zwei Einträgen, deren Helligkeitswerte von anderen Sensorzeilen 21a, 21b, 21c erstellt wurden und die derselben Spaltenposition y_1, \dots, y_5 zugeordnet sind durchgeführt werden, die denselben Gegenstandsbereich zeigen, wie der jeweilige ausgewählte Eintrag E_1, E_2, E_3 .

Anschließend werden die Abstände d_{21} , d_{23} hinsichtlich des Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 jeweils zwischen dem ausgewählten Eintrag E_1, E_2, E_3 und jeweils einem der so aufgefundenen Einträge unter Berücksichtigung von Subpixel-Arithmetik berechnet. Dies bedeutet, dass die einzelnen ermittelten Abstände d_{21} , d_{23} einen nicht ganzzahligen Wert aufweisen können. Bei dem in **Fig. 3a** schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel wird somit ausgehend vom ausgewählten Eintrag E_2 der Abstand d_{21} zum ermittelten Eintrag E_1 und der Abstand d_{23} zum ermittelten Eintrag E_3 ermittelt.

Aufgrund der Anwendung von Subpixel-Arithmetik bei der Berechnung der Abstände d_{21} , d_{23} können sich gegebenenfalls nicht ganzzahlige Abstände d_{21} , d_{23} zwischen einem jeweils ausgewählten Eintrag E_1, E_2, E_3 und den zugehörigen aufgefundenen Einträgen ergeben. Die Ermittlung solcher Abstände unter Verwendung von Subpixel-Arithmetik ist beispielsweise in *D. Scharstein and R. Szeliski. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms. International Journal of Computer Vision, 47(1/2/3):7-42, April-June 2002* beschrieben.

Anschließend wird als nächster Verfahrensschritt ein Abstandsmittelwert d_{21}^* , d_{23}^* der Abstände d_{21} , d_{23} für einzelne im Folgenden als unbereinigt bezeichnete Aufnahmeindizes t_1, \dots, t_9 und sowie für einzelne Zeilenindizes z_1, \dots, z_4 über ausgewählte, insbesondere alle Spaltenpositionen y_1, \dots, y_5 gebildet (**Fig. 3b**). Der Abstandsmittelwert d_{21}^* , d_{23}^* wird dabei insbesondere jeweils für beide Abstände d_{21} , d_{23} separat gebildet. Die einzelnen so ermittelten Abstandsmittelwerte d_{21}^* , d_{23}^* werden einzelnen Elementen E_1^*, \dots einer weiteren Datenstruktur S^* zugewiesen, wobei die einzelnen Elemente E_1^*, \dots jeweils durch einen Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 und einen Zeilenindex z_1, \dots, z_4 charakterisiert sind. Der Abstandsmittelwert d_{21}^* , d_{23}^* weist dabei bereits aufgrund der Mittelwertbildung sowie der Subpixel-Arithmetik typischerweise einen nicht ganzzahligen Wert auf.

Wie in **Fig. 3b** dargestellt, wird einem ausgewählten Element E_2^* mit dem Zeilenindex z_2 und dem Aufnahmeindex t_5 ein weiteres Element E_1^* mit einem benachbarten Zeilenindex z_1 zugewiesen, dessen Aufnahmeindexunterschied der unbereinigten Aufnahmeindizes zum ausgewählten Element dem Abstandsmittelwert d_{21}^* entspricht. In vorliegenden vereinfachten Fall hat der ermittelte Abstandsmittelwert d_{21}^* den Wert von -4. Der unbereinigte Aufnahmeindex t_5 des ausgewählten Elements E_2^* hat den Wert 5, sodass als weiteres Element E_1^* unter den Elementen mit dem benachbarten Zeilenindex z_1 das Element mit dem unbereinigten Aufnahmeindex $t_1 = 5 - 4 = 1$ ausgewählt und dem ausgewählten Element E_2^* zugewiesen wird.

Ebenso wird dem ausgewählten Element E_2^* mit dem Zeilenindex z_2 und dem Aufnahmeindex t_5 ein weiteres Element E_3^* mit einem benachbarten Zeilenindex z_3 zugewiesen, dessen Aufnahmeindexunterschied der unbereinigten Aufnahmeindizes dem Abstandsmittelwert d_{23}^* entspricht. Im vorliegenden vereinfachten Fall hat der ermittelte Abstandsmittelwert d_{23}^* den Wert 3. Da der unbereinigte Aufnahmeindex t_5 des ausgewählten Elements E_2^* den Wert 5 aufweist, wird als weiteres Element E_3^* unter den Elementen mit dem benachbarten Zeilenindex z_3 das Element mit dem unbereinigten Aufnahmeindex $t_8 = 5+3 = 8$ ausgewählt und dem ausgewählten Element E_2^* zugeordnet.

Die Zuordnung für den allgemeinen Fall, dass der ermittelte Abstandsmittelwert nicht ganzzahlig ist, wird im Folgenden anhand des ausgewählten Elements E_5^* mit dem Zeilenindex z_3 näher dargestellt. Diesem ausgewählten Element E_5^* werden zwei gemeinsame weitere Elemente $E_{4,1}^*$ $E_{4,2}^*$ mit jeweils demselben benachbarten Zeilenindex z_2 zugewiesen, deren Aufnahmeindexunterschied der unbereinigten Aufnahmeindizes dem Abstandsmittelwert d_{45}^* am nächsten kommt. In vorliegenden Fall hat der ermittelte Abstandsmittelwert d_{45}^* einen Wert von $-3,6$. Der unbereinigte Aufnahmeindex t_5 des ausgewählten Elements E_5^* hat den Wert 5, sodass als gemeinsame weitere Elemente $E_{4,1}^*$ $E_{4,2}^*$ unter den Elementen mit dem benachbarten Zeilenindex z_2 die Elemente $E_{4,1}^*$ $E_{4,2}^*$ mit den unbereinigten Aufnahmeindizes $t_1 = \lfloor 5-3,6 \rfloor = \lfloor 1,4 \rfloor = 1$ und $t_2 = \lceil 5-3,6 \rceil = \lceil 1,4 \rceil = 2$ ausgewählt und dem ausgewählten Element E_5^* zugeordnet werden.

Ebenso, werden dem ausgewählten Element E_5^* mit dem Zeilenindex z_3 und dem Aufnahmeindex t_5 zwei weitere gemeinsame Elemente $E_{6,1}^*$ $E_{6,2}^*$ mit jeweils demselben benachbarten Zeilenindex z_4 zugewiesen, deren Aufnahmeindexunterschied der unbereinigten Aufnahmeindizes dem Abstandsmittelwert d_{56}^* am nächsten kommt. Im vorliegenden Fall hat der ermittelte Abstandsmittelwert d_{56}^* einen Wert von $3,1$. Der unbereinigte Aufnahmeindex t_5 des ausgewählten Elements E_5^* hat den Wert 5, sodass als gemeinsame weitere Elemente $E_{6,1}^*$ $E_{6,2}^*$ unter den Elementen mit dem benachbarten Zeilenindex z_4 die Elemente $E_{6,1}^*$ $E_{6,2}^*$ mit den unbereinigten Aufnahmeindizes $t_8 = \lfloor 5+3,1 \rfloor = \lfloor 8,1 \rfloor = 8$ und $t_9 = \lceil 5+3,1 \rceil = \lceil 8,1 \rceil = 9$ ausgewählt und dem ausgewählten Element E_5^* zugeordnet werden.

Anschließend wird eine Indexbereinigung des Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 für die Bildstapel-Datenstruktur S durchgeführt und für jeden Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 ein bereinigter Aufnahmeindex t'_1, \dots, t'_9 als Ersatzwert für den Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 mit einem

Optimierungsverfahren O ermittelt. Dem Optimierungsverfahren O werden dabei die folgenden Bedingungen vorgegeben:

Als Hauptbedingung ist vorgegeben, dass die einzelnen Differenzen zwischen dem bereinigten Aufnahmeindex t'_5 eines ausgewählten Elements E_2^* und dem bereinigten Aufnahmeindex t'_1 (bzw. t'_8) eines ihm jeweils zugeordneten Elements E_1^* (bzw. E_3^*) untereinander gleich sind ($t'_5 - t'_1 = t'_8 - t'_5$). Im Falle von mehreren gemeinsam dem ausgewählten Element E_5^* zugeordneten Elementen $E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$ kann der bereinigte Aufnahmeindex t' der zugeordneten Elemente durch Gewichtung der bereinigten Aufnahmeindizes der gemeinsam zugeordneten Elementen $E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$ ermittelt werden, wobei der jeweilige bereinigte Aufnahmeindex umso stärker gewichtet wird, je näher die Differenz beim jeweiligen Abstandsmittelwert liegt.

Sofern die Zeilenindexunterschiede zwischen dem ausgewählten Element E_2^* und den ihm jeweils zugeordneten Elementen E_1^* E_3^* nicht gleich sein sollten, können die betreffenden Differenzen jeweils mit einem zum Zeilenindexunterschied zwischen einem jeweils ausgewählten Element und diesem jeweils zugeordneten Elementen E_1^* E_3^* invers proportionalen Kompensationsfaktor k_{21}^* , k_{23}^* gewichtet werden.

Als Nebenbedingung kann vorgegeben werden, dass bereinigte Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 möglichst nahe beim jeweiligen ursprünglichen unbereinigten Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 liegen.

Bei dem in **Fig. 3b** gezeigten Ausführungsbeispiel beträgt der Zeilenindexunterschied zwischen dem ausgewählten Element E_2^* und den aufgefundenen Elementen E_1^* , E_3^* jeweils 1, sodass eine separate Kompensation der Abstände nicht vorgenommen werden braucht. Würde beispielsweise an Stelle des Elements E_3^* ein anderes Element, das den selben Gegenstandsbereich zeigt, wie das Element E_2^* jedoch einen höheren Zeilenindex z_1, \dots, z_4 besitzt, gesucht, so ist der Zeilenindexunterschied zwischen dem Element E_2^* und dem so aufgefundenen Element größer als 1, beispielsweise 2, d.h. größer als der Zeilenindexunterschied zwischen den Elementen E_1^* und E_2^* . In diesem Fall ist ein Kompensationsfaktor, beispielsweise $1/2$, bei der Vorgabe des Optimierungsproblems zu berücksichtigen, sodass der Abstand zwischen dem ausgewählten Element und dem aufgefundenen Element mit $1/2$ zu multiplizieren ist.

Ein zur Bestimmung von bereinigten Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 für die Bildstapel-Datenstruktur S zu lösendes Ausführungsbeispiel eines Optimierungsproblems wird im Folgenden im Detail beschrieben:

Das zur lösende Optimierungsproblem ist wie folgt definiert:

$$\min_{t'} \frac{1}{c_1} \|E_d(t')\|_{c_1}^{c_1} + \frac{\lambda_1}{c_2} \|E_t(t')\|_{c_2}^{c_2} + \frac{\lambda_2}{c_3} \|E_s(t')\|_{c_3}^{c_3}$$

Dabei geben λ_1 und λ_2 Gewichtungsfaktoren für die einzelnen einfließenden Terme an, und die Faktoren c_1 , c_2 , and c_3 stellen beispielsweise quadratische Unterdrückungsfaktoren $c_1 = c_2 = c_3 = 2$ dar.

Bei der angegebenen Gleichung des Optimierungsverfahrens O repräsentiert der erste Term $E_d(t')$ die Abstandsgleichungen in der Bildstapel-Datenstruktur S in Matrix-Schreibweise:

$$E_d(t') = (D^\circ + D^\sim)t'$$

Da in einer idealen Bildstapel-Datenstruktur S zwischen einem jeweils ausgewählten Eintrag E_1, E_2, E_3 und den aufgefundenen Einträgen E_1, E_2, E_3 die ermittelten Abstände d_{21}, d_{23} gleich sind, können Rückschlüsse auf die tatsächlichen bereinigten Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 eines ausgewählten Eintrags E_1, E_2, E_3 mit Hilfe des ersten Terms der Optimierungsgleichung erzielt werden.

Werden daher die Abstände d_{21}, d_{23} bzw. die Abstandsmittelwerte d_{21}^*, d_{23}^* bestimmt, können mittels des ersten Terms der Gleichung des Optimierungsverfahrens O Vorgaben für die bereinigten Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 ermittelt werden, mit denen die ermittelten Transport-Artefakte bereinigt werden können. Bei D° und D^\sim handelt es sich dabei jeweils um eine $n(m-2) \times n$ Matrix. Die Matrix D° betrifft dabei jeweils die Abstände $d_{21}^*; d_{54}^*$ die vom jeweils ausgewählten Element zu einem Element mit einem Zeilenindex ermittelt wurden, der um 1 kleiner ist als der Zeilenindex des ausgewählten Elements. Die Matrix D^\sim betrifft dabei jeweils die Abstände $d_{23}^*; d_{56}^*$ die vom jeweils ausgewählten Element zu einem Element mit einem Zeilenindex ermittelt wurden, der um 1 größer ist als der Zeilenindex des ausgewählten Elements.

In den beiden Matrizen D° , D^\sim finden sich jeweils für sämtliche herangezogenen Zeilen der Matrix-Datenstruktur jeweils Einträge, mit denen der Einfluss der jeweils ermittelten Abstandsmittelwerte vorgegeben wird.

Dabei bezeichnet d_i° den jeweiligen ermittelten Abstandsmittelwert (z.B. d_{21}^*) zwischen dem Element und dem Abbild desselben Gegenstandsbereichs in der jeweils benachbarten Zeile, deren Zeilenindex um 1 verringert ist, zu einem bestimmten Aufnahmezeitpunkt.

Weiters bezeichnet d_i^\sim den jeweiligen ermittelten mittleren Abstandswert (z.B. d_{23}^*) zwischen dem Element und dem Abbild desselben Gegenstandsbereichs in der jeweils benachbarten Zeile, deren Zeilenindex um 1 verringert ist, zu einem bestimmten Aufnahmezeitpunkt.

Im Folgenden wird die Erstellung der Einträge einer Zeile der Matrix $D^\circ + D^\sim$ gezeigt. Dieser Schritt wird für jeden Aufnahmeindex sowie für jede Kombination von Zeilen, in denen miteinander übereinstimmende Abbilder desselben Gegenstands gefunden wurden durchgeführt. Dabei wird jeweils eine eigene Zeile in der Matrix $D^\circ + D^\sim$ erstellt.

Ganz allgemein bezeichnet $\lceil d_i^\circ \rceil$ (bzw. $\lceil d_i^\sim \rceil$) die kleinste ganze Zahl, die größer ist als d_i° (bzw. d_i^\sim). Auch bezeichnet $\lfloor d_i^\circ \rfloor$ (bzw. $\lfloor d_i^\sim \rfloor$) die größte ganze Zahl, die kleiner ist als d_i° (bzw. d_i^\sim).

Für die Optimierung wird eine Zuordnung zwischen dem bereinigten Aufnahmeindex t'_i eines ausgewählten Elements E_2^* , E_5^* sowie den bereinigten Aufnahmeindizes $t'_{i+\lceil d_i^\circ \rceil}$, $t'_{i+\lfloor d_i^\circ \rfloor}$, $t'_{i+\lfloor d_i^\sim \rfloor}$ von durch die Abstandsmittelwerte d_i° , d_i^\sim festgelegten Elementen E_1^* , E_3^* , $E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$, $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$ vorgegeben.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ergeben sich die Einträge der Matrix D° durch die Differenz des bereinigten Aufnahmeindex t'_i des ausgewählten Elements E_5^* und des jeweiligen Aufnahmeindex $t'_{i+\lceil d_i^\circ \rceil}$, $t'_{i+\lfloor d_i^\circ \rfloor}$ der durch den Abstandsmittelwert d_i° festgelegten gemeinsam zugeordneten Elemente $E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$. Die durch die Matrix D° festgelegte Linearkombination ergibt dabei:

$$-t'_i + t'_{i+\lfloor d_i^\circ \rfloor} (1 - d_i^\circ + \lfloor d_i^\circ \rfloor) + t'_{i+\lceil d_i^\circ \rceil} (d_i^\circ - \lceil d_i^\circ \rceil) \approx 0$$

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ergeben sich die Einträge der Matrix D^{\sim} durch die Differenz des bereinigten Aufnahmeindex t'_i des ausgewählten Elements E_5^* und des jeweiligen Aufnahmeindex $t'_{i+[d_i^{\sim}]}$, $t'_{i+[d_i^{\sim}]}$ der durch den Abstandsmittelwert d_i^{\sim} festgelegten gemeinsam zugeordneten Elemente $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$. Die durch die Matrix D^{\sim} festgelegte Linearkombination ergibt dabei:

$$-t'_i + t'_{i+[d_i^{\sim}]}(1 - d_i^{\sim} + [d_i^{\sim}]) + t'_{i+[d_i^{\sim}]}(d_i^{\sim} - [d_i^{\sim}]) \approx 0$$

Aufgrund der Gewichtung der einzelnen Einträge der Matrix $D^{\circ} + D^{\sim}$ können die Werte des bereinigten Aufnahmeindex t'_i entsprechend der ermittelten Abstandsmittelwerte d_i° , d_i^{\sim} , die naturgemäß nicht gleichverteilt sind, im Rahmen der Optimierung angepasst werden. Diese Formel ermöglicht es auch, eine lineare Interpolierung der subpixelgenauen Abstandsmittelwerte d_i° , d_i^{\sim} (z.B. d_{21}^* , d_{23}^*) im Rahmen der Optimierung zu verwenden:

$$\begin{aligned} -2t'_i + t'_{i+[d_i^{\circ}]}(1 - d_i^{\circ} + [d_i^{\circ}]) + t'_{i+[d_i^{\circ}]}(d_i^{\circ} - [d_i^{\circ}]) \\ + t'_{i+[d_i^{\sim}]}(1 - d_i^{\sim} + [d_i^{\sim}]) + t'_{i+[d_i^{\sim}]}(d_i^{\sim} - [d_i^{\sim}]) \approx 0 \end{aligned}$$

Mit der hier gewählten Gewichtung der einzelnen bereinigten Aufnahmeindizes wird erreicht, dass die Zeilensummen der einzelnen Matrizen D° , D^{\sim} sowie der Matrix $D^{\circ} + D^{\sim}$ gleich Null ist.

Dieser Abstandsterm stellt daher sicher, dass bereinigte Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 linear verlaufende Epipolarlinien für einander entsprechende Elemente gewährleisten.

Zur Berücksichtigung von Abständen d_i° , d_i^{\sim} ; d_{21}^* , d_{23}^* zwischen einem jeweils ausgewählten Element E_2^* , E_5^* und den jeweils zugeordneten Elementen E_1^* , E_3^* , $E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$, $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$ mit beliebigen Zeilenindexunterschieden b , b^* fließt gegebenenfalls der invers proportionale Kompensationsfaktor k_{21}^* , k_{23}^* in den Abstandsterm ein.

$$\begin{aligned} \left(-t'_i + t'_{i+[d_i^{\circ}]}(1 - d_i^{\circ} + [d_i^{\circ}]) + t'_{i+[d_i^{\circ}]}(d_i^{\circ} - [d_i^{\circ}]) \right) k_{23}^* \\ - \left(-t'_i + t'_{i+[d_i^{\sim}]}(1 - d_i^{\sim} + [d_i^{\sim}]) + t'_{i+[d_i^{\sim}]}(d_i^{\sim} - [d_i^{\sim}]) \right) k_{21}^* \approx 0 \end{aligned}$$

Wie oben beschrieben, entfällt der Kompensationsfaktor, wenn Elemente E_1^* , E_2^* , E_3^* herangezogen werden, die äquidistant verteilte Zeilenindizes z_1, \dots, z_4 aufweisen.

Da alle Sensorzeilen 21a, 21b, 21c der Bildaufnahmeeinheit 2 den Gegenstand 1 gleichzeitig aufnehmen und dabei verschiedene Gegenstandsbereiche des Gegenstands 1 erfassen, treten bei einem jeweils betrachteten Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 dieselben Transport-Artefakte in allen diesem Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 zugeordneten Zeilenindexpositionen z_1, \dots, z_4 auf. Somit kann ein bereinigter Aufnahmeindex t'_1, \dots, t'_9 unter Zuhilfenahme aller Zeilenindexpositionen z_1, \dots, z_4 bestimmt werden.

Der zweite Term $E_x(t')$ des durch das Optimierungsverfahren O zu lösenden Optimierungsproblems stellt sicher, dass bereinigte Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 eines Elements E_1^*, E_2^*, E_3^* möglichst nahe beim jeweiligen Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 des betreffenden Elements E_1^*, E_2^*, E_3^* liegen:

$$E_t(t') = t - t'$$

Dies stellt sicher, dass der erwartete Fehler für einen jeweils betrachteten Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 klein ist, d.h. dass ein bereinigter Aufnahmeindex t'_1, \dots, t'_9 ähnlich zu dem, für eine ideale Bewegung angenommenen, Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 ist. Somit ist sichergestellt, dass die tatsächliche Bewegung des Gegenstands 1 gegenüber der Bildaufnahmeeinheit 2 ähnlich der angenommenen idealen Bewegung mit der ein Gegenstand 1 durch den Aufnahmebereich der Bildaufnahmeeinheit 2 transportiert wird, ist. Diese Maßnahme stabilisiert auch die Lösung des Gleichungssystems, das durch das Optimierungsverfahren O zu lösen ist und bewahrt ihre Monotonie. Dabei wird pro Aufnahmeindex t'_1, \dots, t'_9 eine Gleichung zum Gleichungssystem hinzugefügt.

Der dritte Term $E_s(t')$ des durch das Optimierungsverfahren O zu lösenden Optimierungsproblems stellt sicher, dass benachbarte bereinigte Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 ähnliche Abstände aufweisen und keine sprunghaften Veränderungen auftreten:

$$E_s(t') = \Delta t' \quad \Delta \text{ gibt dabei eine Filterfunktion der Form } [1, -2, 1] \text{ an.}$$

Dies stellt sicher, dass der Transport des Gegenstands 1 gleichmäßig in der Bildstapel-Datenstruktur zu verfolgen ist. Pro bereinigtem Aufnahmeindex t'_1, \dots, t'_9 wird dabei eine Gleichung zum Gleichungssystem hinzugefügt. Für einen jeweils betrachteten bereinigten Aufnahmeindex t'_1, \dots, t'_9 weisen diese Gleichungen die folgende Form auf:

$$-2t'_i + t'_{i-1} + t'_{i+1} \approx 0$$

Optional kann ein Term erster Ordnung im zu lösenden Optimierungsproblem, berücksichtigt werden, bei dem die Ähnlichkeit zwischen direkt benachbarten bereinigten Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 berücksichtigt wird. Pro bereinigtem Aufnahmeindex t'_1, \dots, t'_9 wird dabei eine Gleichung zum Gleichungssystem hinzugefügt.

$$t'_i - t'_{i-1} \approx h, \text{ wobei normalerweise } h = 1$$

Durch die Verwendung eines derartigen Terms ist sichergestellt, dass die Bewegung des Gegenstands 1 gleichmäßig in der Bildstapel-Datenstruktur S mit bereinigten Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 verfolgt werden kann.

Wird nun das derart definierte Optimierungsproblem mittels des Optimierungsverfahrens O gelöst, stehen als Ergebnis die ermittelten bereinigten Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 zur Verfügung. Auch wenn für die Optimierung unterschiedliche Verfahren herangezogen werden können, kann besonders bevorzugt das in Stephen Boyd and Lieven Vandenbergh, *Convex Optimization, 2004* beschriebene Verfahren verwendet werden.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Erstellung einer Bildstapel-Datenstruktur S kann optional dem Optimierungsverfahren O als zusätzliche Nebenbedingung $E_s(t')$ vorgegeben werden, dass bereinigte Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 in Transportrichtung x möglichst gleich verteilt liegen, sodass sie zu ihren benachbarten bereinigten Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 in Transportrichtung x jeweils möglichst denselben Abstand aufweisen.

Optional kann im Anschluss an die Ermittlung der bereinigten Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 eine entzerrte Bildstapel-Datenstruktur erstellt werden, die in ihrem Aufbau und Umfang der Bildstapel-Datenstruktur S entspricht. Dazu wird für alle Sensorzeilen 21a, 21b, 21c und Spaltenpositionen y_1, \dots, y_5 separat eine Interpolation unter der Vorgabe durchgeführt, dass die Interpolierende $h(t)$ für die Einträge E_1, E_2, E_3 interpolierte Helligkeitswerte bei Vorgabe des jeweiligen bereinigten Aufnahmeindex t'_1, \dots, t'_9 liefert. Dabei wird die Interpolierende $h(t)$ an den durch den ursprünglichen Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 festgelegten Positionen ausgewertet und derart die entzerrte Bildstapel-Datenstruktur erstellt.

Die nachfolgende Interpolation wird für jede einzelne Spalte y_1, \dots, y_5 sowie für jede einzelne Sensorzeile separat vorgenommen, wobei die Helligkeitswerte für die bereinigte Bildstapel-Datenstruktur unter Vorgabe des jeweils bereinigten Aufnahmeindex t'_1, \dots, t'_9 neu bestimmt werden.

In **Fig. 4** ist ein sich aus den Helligkeitswerten ohne vorgenommene Optimierung ergebendes Originalsignal $s(t)$ dargestellt. Weiters ist dargestellt, dass die den einzelnen Helligkeitswerten h_1, \dots, h_9 zugeordneten Positionen aufgrund der Optimierung von den Aufnahmeindizes t_1, \dots, t_9 auf die bereinigten Aufnahmeindizes t'_1, \dots, t'_9 verschoben werden. Die so verschobenen Helligkeitswerte werden durch die dargestellte Interpolierende $h(t)$ interpoliert. Die Interpolierende $h(t)$ wird an den durch den ursprünglichen Aufnahmeindex t_1, \dots, t_9 festgelegten Positionen ausgewertet, wobei die einzelnen Helligkeitswerte h'_1, \dots, h'_9 an den betreffenden Positionen erhalten werden, und derart ein bereinigtes Signal erstellt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erstellung einer Bildstapel-Datenstruktur (S), wobei
- ein Gegenstand (1) entlang einer Transportrichtung (x) durch den Aufnahmebereich einer Bildaufnahmeeinheit (2) bewegt wird
 - von der Bildaufnahmeeinheit (2) Aufnahmen (v_1, \dots, v_4) erstellt werden,
 - wobei die Bildaufnahmeeinheit (2) über eine Anzahl von Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) verfügt, die normal zur Transportrichtung (x) des Gegenstands (1) und in Bezug zur Transportrichtung (x) hintereinander, insbesondere parallel zueinander ausgerichtet, angeordnet sind, insbesondere Zeilen eines Flächensensors bilden,
 - wobei die einzelnen Aufnahmen (v_1, \dots, v_4) jeweils Zeilenaufnahmen umfassen, die jeweils mittels einer Sensorzeile (21a, 21b, 21c) zu vorgegebenen Aufnahmezeitpunkten erstellt werden,
 - wobei die vorgegebenen Aufnahmezeitpunkte für alle Aufnahmen gleich sind und dem Transportfortschritt entlang der Transportrichtung (x) entsprechen,
 - eine dreidimensionale Bildstapel-Datenstruktur (S) aus den Aufnahmen (v_1, \dots, v_4) des Gegenstands (1) erstellt wird, wobei die einzelnen Einträge (E_1, E_2, E_3) der Bildstapel-Datenstruktur (S) für eine Anzahl von Aufnahmeindizes (t_1, \dots, t_9) jeweils zumindest einen Helligkeitswert für die einzelnen Pixel der Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) enthalten, wobei die Indizes der dreidimensionalen Bildstapel-Datenstruktur (S) festgelegt sind durch
 - i) einen den Transportfortschritt kennzeichnenden ganzzahligen Aufnahmeindex (t_1, \dots, t_9) zu dem der betreffende Helligkeitswert erstellt wurde,
 - ii) einen die Sensorzeile (21a, 21b, 21c), insbesondere deren Position in Transportrichtung (x), in der sich das Pixel befindet, das den betreffenden Helligkeitswert ermittelt hat, kennzeichnenden Zeilenindex (z_1, \dots, z_4), und
 - iii) die Spaltenposition (y_1, \dots, y_5) desjenigen Pixels, das den betreffenden Helligkeitswert ermittelt hat, in Bezug auf die Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) normal zur Transportrichtung (x),
 - wobei für einzelne ausgewählte Einträge, insbesondere für alle Einträge (E_1, E_2, E_3), der Bildstapel-Datenstruktur (S)
 - ausgehend vom jeweils ausgewählten Eintrag ($E_2; E_5$), der einer Sensorzeile (21a, 21b, 21c) zugeordnet ist, nach zumindest zwei Einträgen, deren Helligkeitswerte von anderen Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) erstellt wurden und die derselben Spaltenposition (y_1, \dots, y_5) zugeordnet sind, gesucht wird, die denselben Gegenstandsbereich zeigen, wie der jeweilige ausgewählte Eintrag ($E_2; E_5$), und deren Zeilenindizes (z_1, z_2, z_3) vom Zeilenindex des ausgewählten Eintrags verschieden sind, wobei insbesondere die Differenz von deren Zeilenindizes zum

Zeilenindex des ausgewählten Eintrags (E_2 ; E_5) einen von mehreren vorgegebenen Werten aufweist,

- die Abstände (d_{21} , d_{23}) hinsichtlich des Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) jeweils zwischen dem ausgewählten Eintrag (E_1 , E_2 , E_3) und jeweils einem der so aufgefundenen Einträge unter Verwendung von Subpixel-Arithmetik berechnet werden,
- ein Abstandsmittelwert (d_{21}^* , d_{23}^*) der Abstände (d_{21} , d_{23}) für einzelne Aufnahmeindizes (t_1 , t_5 , t_9) und Zeilenindizes (z_1 , ..., z_4) über ausgewählte, insbesondere alle, Spaltenpositionen (y_1 , ..., y_5), insbesondere jeweils für beide Abstände (d_{21} , d_{23}) separat, gebildet wird,
- für eine Anzahl von Paaren umfassend jeweils einen der Aufnahmeindizes (t_1 , t_5 , t_9) und einen der Zeilenindizes (z_1 , ..., z_4) jeweils ein Element (E_1^* , ...) erstellt wird, dem die jeweiligen Abstandsmittelwerte (d_i° , d_i^\sim ; d_{21}^* , d_{23}^*) zugeordnet werden, und
- einer Anzahl von ausgewählten Elementen (E_2^* , E_5^*) jeweils weitere Elemente (E_1^* , E_3^* , $E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$, $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$) mit relativ zum jeweiligen ausgewählten Element (E_2^* , E_5^*) vorgegebenen Zeilenindex zugewiesen werden, bei denen der Unterschied der unbereinigten Aufnahmeindizes (t_1 , ..., t_9) des ausgewählten Elements (E_2^* , E_5^*) und des weiteren Elements (E_1^* , E_3^* , $E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$, $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$) dem jeweiligen, dem ausgewählten Element (E_2^* , E_5^*) zugeordneten, Abstandsmittelwert (d_{21}^* , d_{23}^*) entspricht, oder diesem nahe kommt,

wobei gegebenenfalls die beiden mit demselben Zeilenindex versehenen weiteren Elemente ($E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$, $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$) mit den beiden dem jeweiligen Abstandsmittelwert (d_{21}^* , d_{23}^*) am nächsten kommenden Unterschieden der unbereinigten Aufnahmeindizes dem jeweiligen ausgewählten Element (E_2^* , E_5^*) gemeinsam zugewiesen werden,

und

- eine Indexbereinigung des ursprünglichen Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) durchgeführt und für jeden Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) ein subpixel-genauer bereinigter Aufnahmeindex (t'_1 , t'_5 , t'_9) als Ersatzwert für den ursprünglichen Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) mittels eines Optimierungsverfahrens (O) derart bestimmt wird, dass folgende Nebenbedingungen erfüllt sind:

- die einzelnen Differenzen zwischen dem bereinigten Aufnahmeindex (t'_1 , ...) eines ausgewählten Elements (E_2^*) und dem bereinigten Aufnahmeindex (t'_1 , ...) eines ihm jeweils zugeordneten Elements (E_1^*) sind untereinander gleich,
 - wobei die Abstandsmittelwerte (d_{21}^* , d_{23}^*) gegebenenfalls mit einem zum Zeilenindexunterschied der für seine Bestimmung herangezogenen Einträge oder Elemente invers proportionalen Kompensationsfaktor (k_{21}^* , k_{23}^*) gewichtet werden,
- und

wobei insbesondere der bereinigte Aufnahmeindex (t'_1, \dots) mehrerer gemeinsam zugeordneter Elemente ($E_{4,1}^*, E_{4,2}^*$) durch Gewichtung der bereinigten Aufnahmeindizes (t'_1, \dots) der gemeinsam zugeordneten Elementen ($E_{4,1}^*, E_{4,2}^*$) ermittelt wird,

- der bereinigte Aufnahmeindex (t'_1, \dots) eines Elements (E_1^*, \dots) liegt möglichst nahe beim jeweiligen unbereinigten Aufnahmeindex (t_1, \dots) des betreffenden Elements (E_1^*, \dots).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dem Optimierungsverfahren (O) als zusätzliche Nebenbedingung vorgegeben wird, dass bereinigte Aufnahmeindizes (t'_1, t'_2, t'_3) in Transportrichtung (x) möglichst gleichverteilt liegen, sodass sie zu ihren benachbarten bereinigten Aufnahmeindizes (t'_1, t'_2, t'_3) in Transportrichtung (x) jeweils möglichst denselben Abstand oder einen vorgegebenen Abstand aufweisen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für alle Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) und Spaltenpositionen (y_1, \dots, y_5) separat eine Interpolation unter der Vorgabe durchgeführt wird, dass die Interpolierende $h(t)$ für die Elemente (E_1, E_2, E_3) ermittelte Helligkeitswerte bei Vorgabe des jeweiligen bereinigten Aufnahmeindex (t'_1, t'_2, t'_3) liefert, und wobei die Interpolierende $h(t)$ an den durch den ursprünglichen Aufnahmeindizes (t_1, t_2, t_3) festgelegten Positionen ausgewertet wird und derart eine entzerrte Bildstapel-Datenstruktur erstellt wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Beabstandung des Zeilenindex (z_1, \dots, z_4) der Beabstandung der jeweiligen Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) oder der Beabstandung der Aufnahmebereiche der Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) entspricht.

1/3

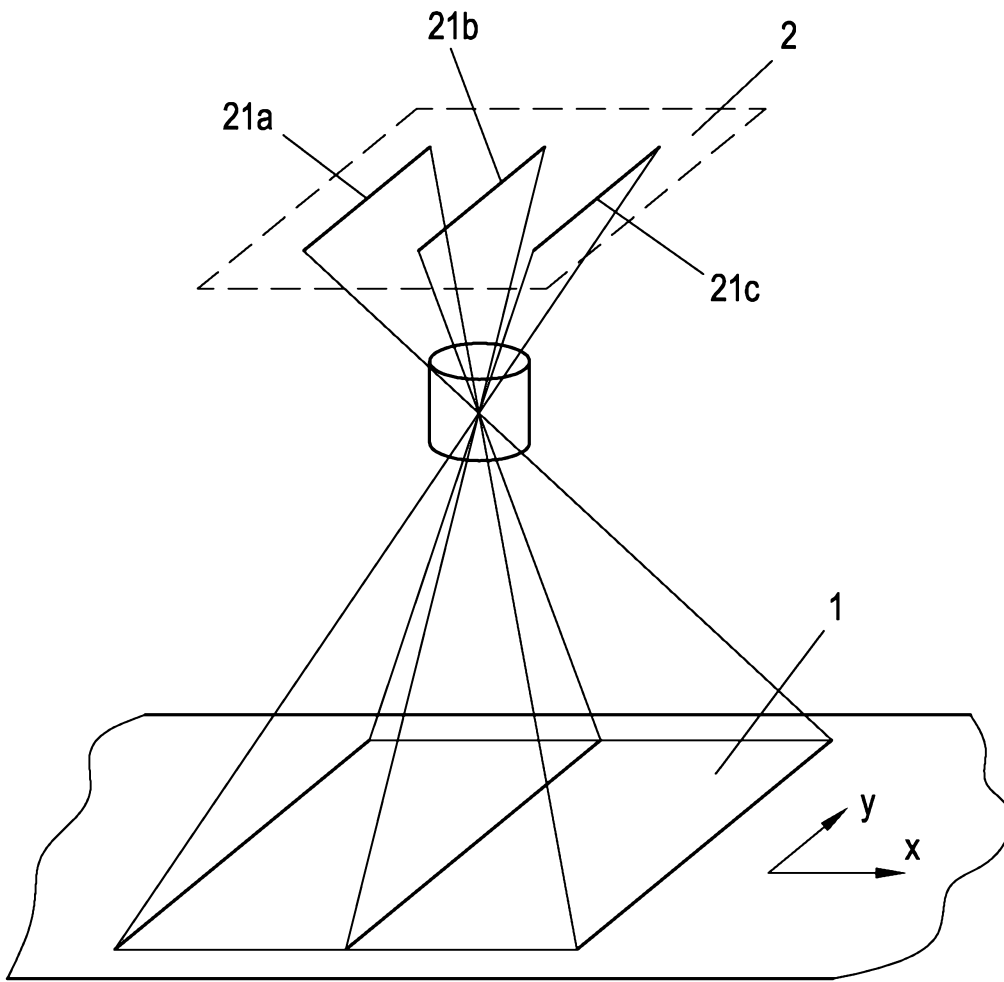


Fig. 1

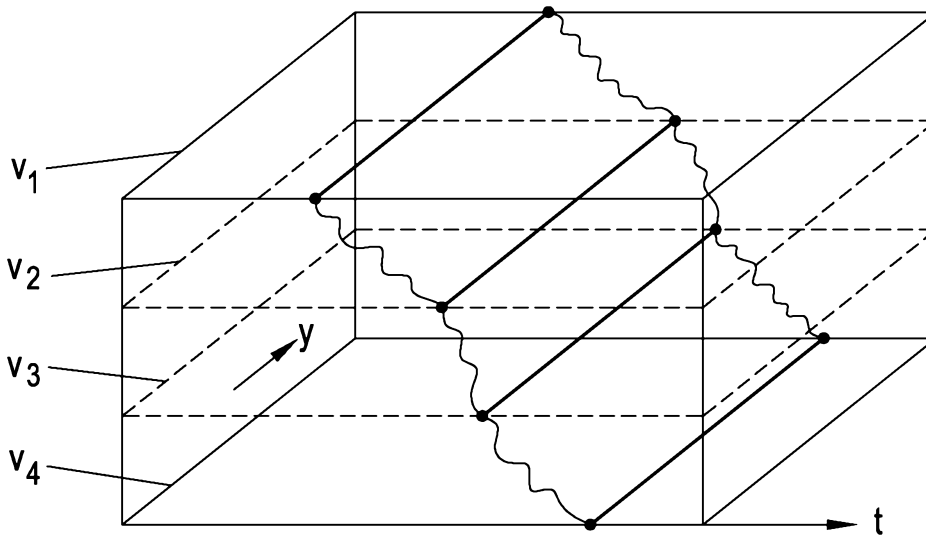


Fig. 2

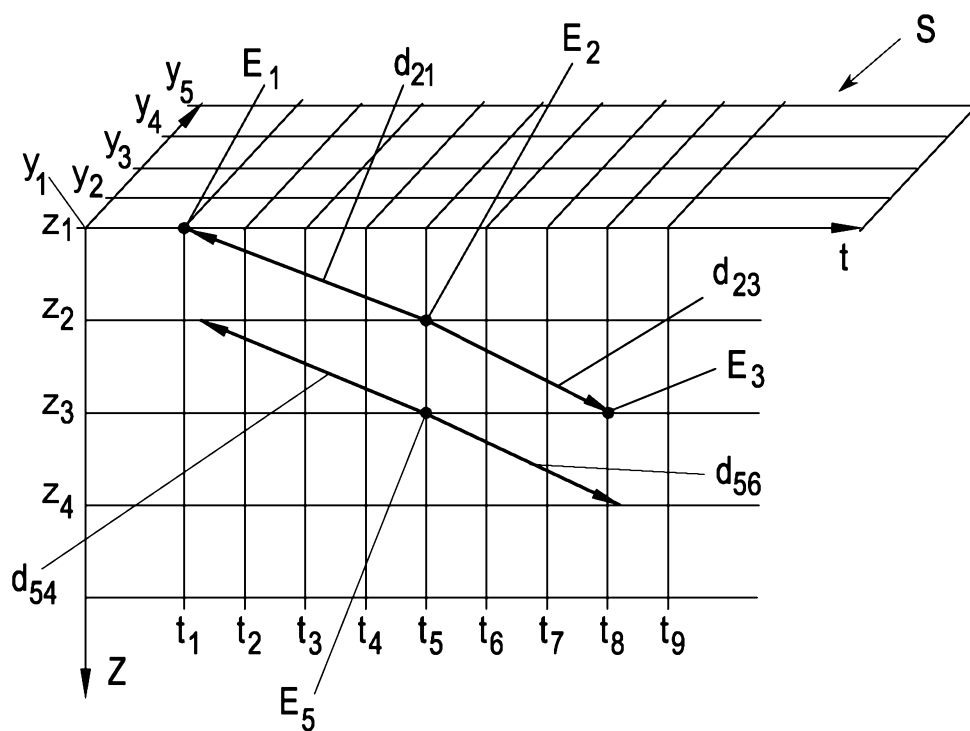


Fig. 3a

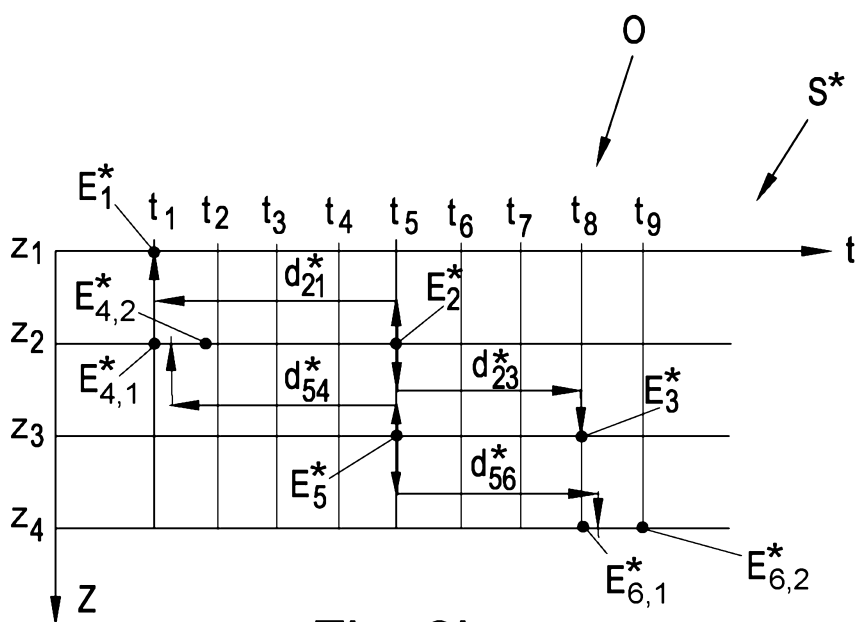


Fig. 3b

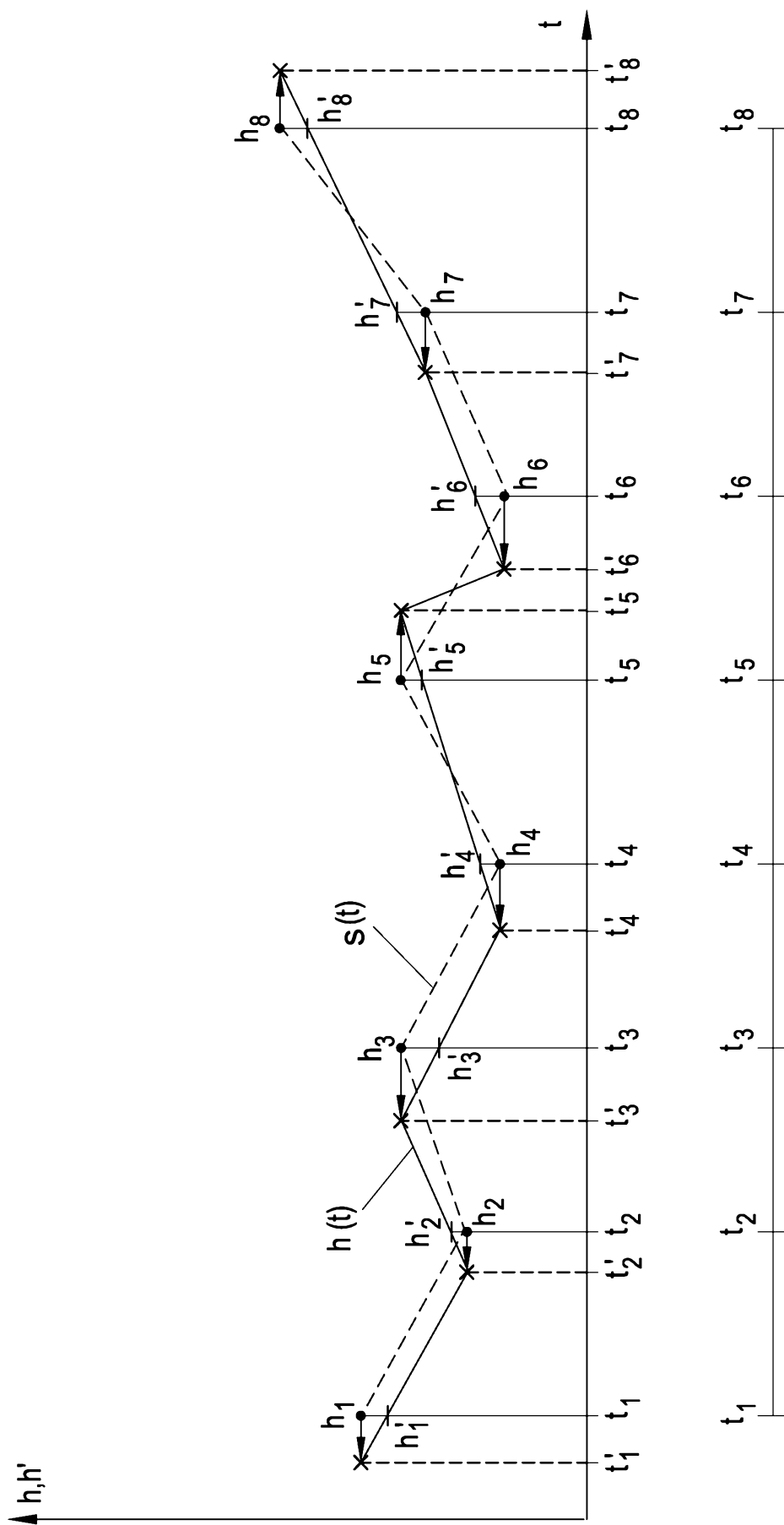


Fig. 4

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erstellung einer Bildstapel-Datenstruktur (S), wobei
- ein Gegenstand (1) entlang einer Transportrichtung (x) durch den Aufnahmebereich einer Bildaufnahmeeinheit (2) bewegt wird
 - von der Bildaufnahmeeinheit (2) Aufnahmen (v_1, \dots, v_4) erstellt werden,
 - wobei die Bildaufnahmeeinheit (2) über eine Anzahl von Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) verfügt, die normal zur Transportrichtung (x) des Gegenstands (1) und in Bezug zur Transportrichtung (x) hintereinander, insbesondere parallel zueinander ausgerichtet, angeordnet sind, insbesondere Zeilen eines Flächensensors bilden,
 - wobei die einzelnen Aufnahmen (v_1, \dots, v_4) jeweils Zeilenaufnahmen umfassen, die jeweils mittels einer Sensorzeile (21a, 21b, 21c) zu vorgegebenen Aufnahmezeitpunkten erstellt werden,
 - wobei die vorgegebenen Aufnahmezeitpunkte für alle Aufnahmen gleich sind und dem Transportfortschritt entlang der Transportrichtung (x) entsprechen,
 - eine dreidimensionale Bildstapel-Datenstruktur (S) aus den Aufnahmen (v_1, \dots, v_4) des Gegenstands (1) erstellt wird, wobei die einzelnen Einträge (E_1, E_2, E_3) der Bildstapel-Datenstruktur (S) für eine Anzahl von Aufnahmeindizes (t_1, \dots, t_9) jeweils zumindest einen Helligkeitswert für die einzelnen Pixel der Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) enthalten, wobei die Indizes der dreidimensionalen Bildstapel-Datenstruktur (S) festgelegt sind durch
 - i) einen den Transportfortschritt kennzeichnenden ganzzahligen Aufnahmeindex (t_1, \dots, t_9) zu dem der betreffende Helligkeitswert erstellt wurde,
 - ii) einen die Sensorzeile (21a, 21b, 21c), insbesondere deren Position in Transportrichtung (x), in der sich das Pixel befindet, das den betreffenden Helligkeitswert ermittelt hat, kennzeichnenden Zeilenindex (z_1, \dots, z_4), und
 - iii) die Spaltenposition (y_1, \dots, y_5) desjenigen Pixels, das den betreffenden Helligkeitswert ermittelt hat, in Bezug auf die Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) normal zur Transportrichtung (x),
 - wobei für einzelne ausgewählte Einträge, insbesondere für alle Einträge (E_1, E_2, E_3), der Bildstapel-Datenstruktur (S)
 - ausgehend vom jeweils ausgewählten Eintrag ($E_2; E_5$), der einer Sensorzeile (21a, 21b, 21c) zugeordnet ist, nach zumindest zwei Einträgen, deren Helligkeitswerte von anderen Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) erstellt wurden und die derselben Spaltenposition (y_1, \dots, y_5) zugeordnet sind, gesucht wird, die denselben Gegenstandsbereich zeigen, wie der jeweilige ausgewählte Eintrag ($E_2; E_5$), und deren Zeilenindizes (z_1, z_2, z_3) vom Zeilenindex des ausgewählten Eintrags verschieden sind, wobei insbesondere die Differenz von deren Zeilenindizes zum

Zeilenindex des ausgewählten Eintrags (E_2 ; E_5) einen von mehreren vorgegebenen Werten aufweist,

- die Abstände (d_{21} , d_{23}) hinsichtlich des Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) jeweils zwischen dem ausgewählten Eintrag (E_1 , E_2 , E_3) und jeweils einem der so aufgefundenen Einträge unter Verwendung von Subpixel-Arithmetik berechnet werden,
- ein Abstandsmittelwert (d_{21}^* , d_{23}^*) der Abstände (d_{21} , d_{23}) für einzelne Aufnahmeindizes (t_1 , t_5 , t_9) und Zeilenindizes (z_1 , ..., z_4) über ausgewählte, insbesondere alle, Spaltenpositionen (y_1 , ..., y_5), insbesondere jeweils für beide Abstände (d_{21} , d_{23}) separat, gebildet wird,
- für eine Anzahl von Paaren umfassend jeweils einen der Aufnahmeindizes (t_1 , t_5 , t_9) und einen der Zeilenindizes (z_1 , ..., z_4) jeweils ein Element (E_1^* , ...) erstellt wird, dem die jeweiligen Abstandsmittelwerte (d_i° , d_i^\sim ; d_{21}^* , d_{23}^*) zugeordnet werden, und
- einer Anzahl von ausgewählten Elementen (E_2^* , E_5^*) jeweils weitere Elemente (E_1^* , E_3^* , $E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$, $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$) mit relativ zum jeweiligen ausgewählten Element (E_2^* , E_5^*) vorgegebenen Zeilenindex zugewiesen werden, bei denen der Unterschied der unbereinigten Aufnahmeindizes (t_1 , ..., t_9) des ausgewählten Elements (E_2^* , E_5^*) und des weiteren Elements (E_1^* , E_3^* , $E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$, $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$) dem jeweiligen, dem ausgewählten Element (E_2^* , E_5^*) zugeordneten, Abstandsmittelwert (d_{21}^* , d_{23}^*) entspricht, oder diesem am nächsten kommt,

wobei gegebenenfalls die beiden mit demselben Zeilenindex versehenen weiteren Elemente ($E_{4,1}^*$, $E_{4,2}^*$, $E_{6,1}^*$, $E_{6,2}^*$) mit den beiden dem jeweiligen Abstandsmittelwert (d_{21}^* , d_{23}^*) am nächsten kommenden Unterschieden der unbereinigten Aufnahmeindizes dem jeweiligen ausgewählten Element (E_2^* , E_5^*) gemeinsam zugewiesen werden,

und

- eine Indexbereinigung des ursprünglichen Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) durchgeführt und für jeden Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) ein subpixel-genauer bereinigter Aufnahmeindex (t'_1 , t'_5 , t'_9) als Ersatzwert für den ursprünglichen Aufnahmeindex (t_1 , t_5 , t_9) mittels eines Optimierungsverfahrens (O) derart bestimmt wird, dass folgende Nebenbedingungen erfüllt sind:

- die einzelnen Differenzen zwischen dem bereinigten Aufnahmeindex (t'_1 , ...) eines ausgewählten Elements (E_2^*) und dem bereinigten Aufnahmeindex (t'_1 , ...) eines ihm jeweils zugeordneten Elements (E_1^*) sind untereinander gleich,
 - wobei die Abstandsmittelwerte (d_{21}^* , d_{23}^*) gegebenenfalls mit einem zum Zeilenindexunterschied der für seine Bestimmung herangezogenen Einträge oder Elemente invers proportionalen Kompensationsfaktor (k_{21}^* , k_{23}^*) gewichtet werden,
- und

wobei insbesondere der bereinigte Aufnahmeindex (t'_1, \dots) mehrerer gemeinsam zugeordneter Elemente ($E_{4,1}^*, E_{4,2}^*$) durch Gewichtung der bereinigten Aufnahmeindizes (t'_1, \dots) der gemeinsam zugeordneten Elementen ($E_{4,1}^*, E_{4,2}^*$) ermittelt wird,

- der bereinigte Aufnahmeindex (t'_1, \dots) eines Elements (E_1^*, \dots) liegt möglichst nahe beim jeweiligen unbereinigten Aufnahmeindex (t_1, \dots) des betreffenden Elements (E_1^*, \dots).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dem Optimierungsverfahren (O) als zusätzliche Nebenbedingung vorgegeben wird, dass bereinigte Aufnahmeindizes (t'_1, t'_2, t'_3) in Transportrichtung (x) möglichst gleichverteilt liegen, sodass sie zu ihren benachbarten bereinigten Aufnahmeindizes (t'_1, t'_2, t'_3) in Transportrichtung (x) jeweils möglichst denselben Abstand oder einen vorgegebenen Abstand aufweisen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für alle Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) und Spaltenpositionen (y_1, \dots, y_5) separat eine Interpolation unter der Vorgabe durchgeführt wird, dass die Interpolierende $h(t)$ für die Elemente (E_1, E_2, E_3) ermittelte Helligkeitswerte bei Vorgabe des jeweiligen bereinigten Aufnahmeindex (t'_1, t'_2, t'_3) liefert, und wobei die Interpolierende $h(t)$ an den durch den ursprünglichen Aufnahmeindizes (t_1, t_2, t_3) festgelegten Positionen ausgewertet wird und derart eine entzerrte Bildstapel-Datenstruktur erstellt wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Beabstandung des Zeilenindex (z_1, \dots, z_4) der Beabstandung der jeweiligen Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) oder der Beabstandung der Aufnahmebereiche der Sensorzeilen (21a, 21b, 21c) entspricht.

1/3

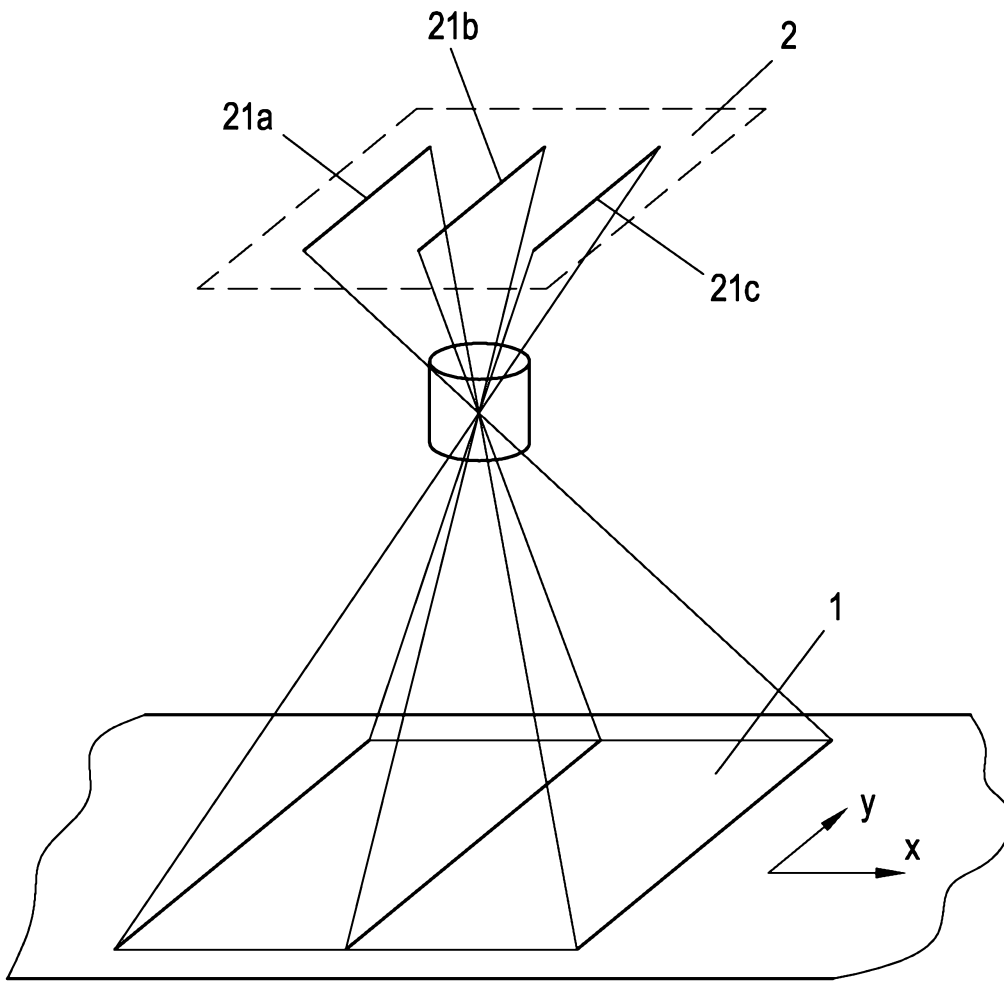


Fig. 1

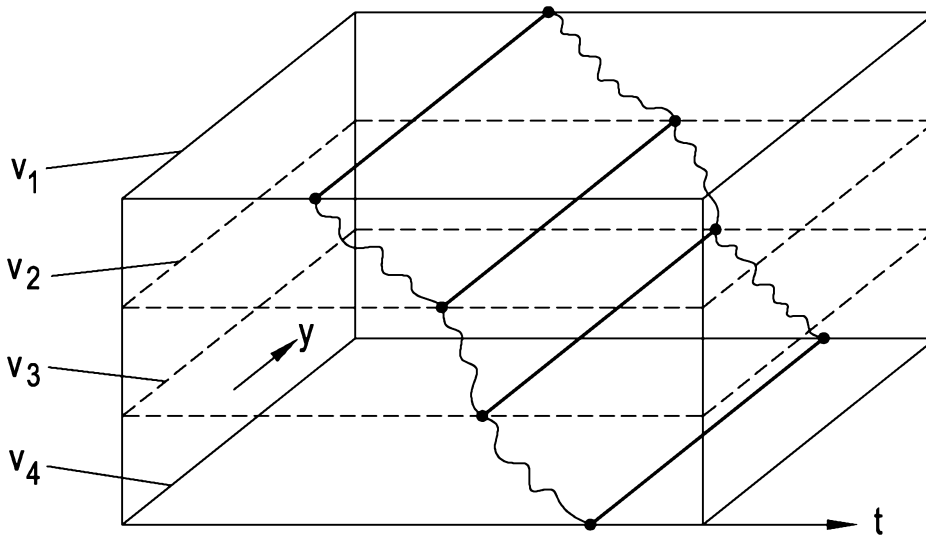


Fig. 2

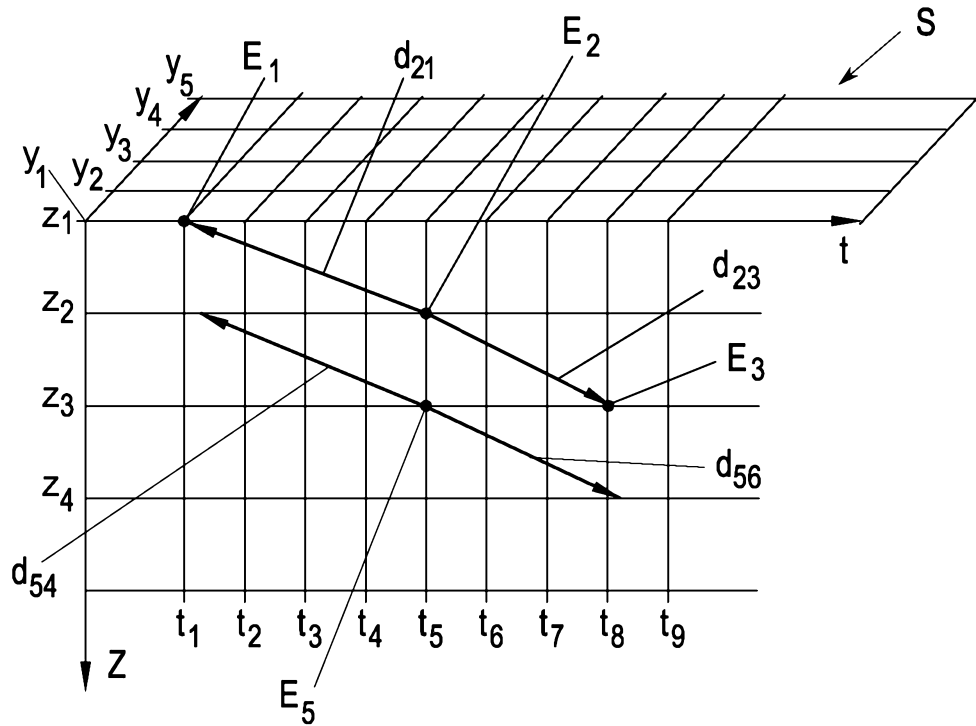


Fig. 3a

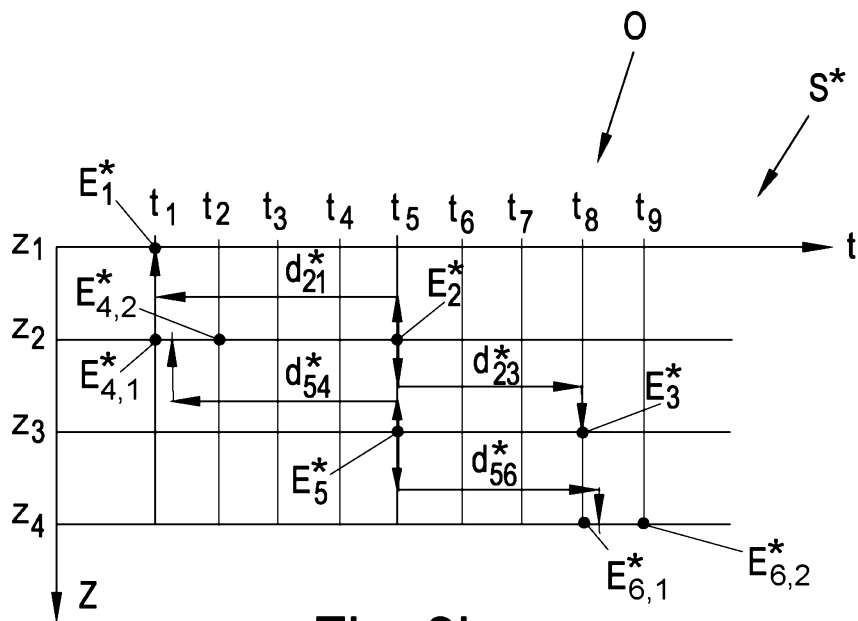


Fig. 3b

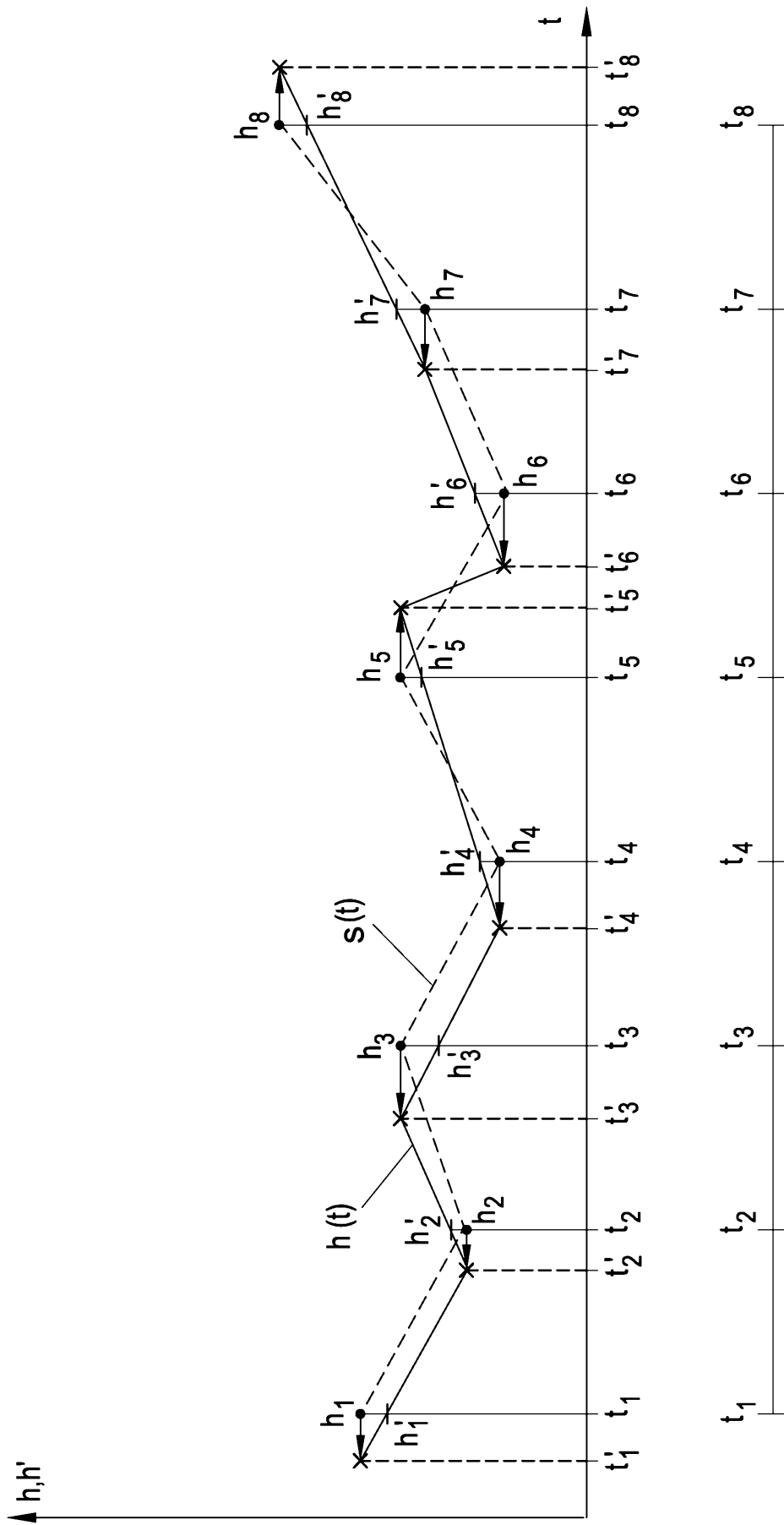


Fig. 4