

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1050/2011
(22) Anmeldetag: 15.07.2011
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2014

(51) Int. Cl.: **G01S 13/95** (2006.01)
G01W 1/10 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
Kaltenböck et al., Applying image processing methods for correction of weather radar data. Poster [online]. ERAD, 2010. [retrieved on 2012-05-18]. Retrieved from the Internet: <URL: http://www.erad2010.org/pdf/POSTER/03_Quality/06_ERAD2010_0245_s.pdf>
US 7231300 B1
WO 0249310 A2
US 6581009 B1
US 7471234 B1

(72) Erfinder:
GANSTER HARALD DR.
GRAZ (AT)
MAYER HEINZ DR.
GRAZ (AT)
HENNERMANN KARIN
WIEN (AT)
KERSCHBAUM MARKUS DR.
WIEN (AT)
CROONEN GERARDUS
WIEN (AT)
NOWAK CHRISTOPH DIPL.ING.
WIEN (AT)

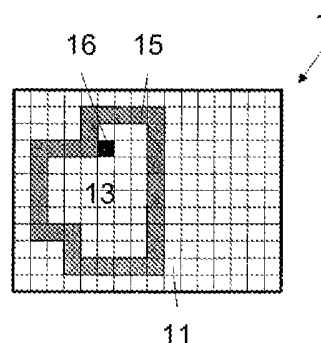
(73) Patentinhaber:
METEOSERVE WETTERDIENST GMBH
1030 WIEN (AT)
AUSTRO CONTROL ÖSTERREICHISCHE
GESELLSCHAFT FÜR ZIVILLUFTFAHRT MIT
BESCHRÄNKTER HAFTUNG
1030 WIEN (AT)
JOANNEUM RESEARCH
FORSCHUNGSGESELLSCHAFT MBH
8010 GRAZ (AT)
AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
GMBH
1220 WIEN (AT)

(74) Vertreter:
WILDHACK & JELLINEK PATENTANWÄLTE OG
WIEN

(54) VERFAHREN ZUR VERVOLLSTÄNDIGUNG UND BERICHTIGUNG VON DIGITALEN WETTERRADARBILDERN

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vervollständigung und/oder Berichtigung von digitalen Wetterradarbildern. Hierfür ist vorgesehen, dass eine Anzahl von Satellitenbildern (21, 22, ...) herangezogen wird, wobei die einzelnen Satellitenbilder (21, 22, ...) reflektierte Strahlung bei unterschiedlichen Wellenlängen ($\lambda_1 \dots \lambda_8$) darstellen, dass den Pixeln (211, 221, ...) der Satellitenbilder (21) jeweils mehrere unterschiedliche Strahlungswerte ($S_{L11}, \dots$) bei vorgegebenen Wellenlängen ($\lambda_1, \dots$) zugeordnet werden, wobei die Pixel (211, 221, ...) der Satellitenbilder (21, 22, ...) den jeweiligen Strahlungswert ($S_{L11}, \dots$) zugeordneten Teilgebiets zugeordnet enthalten, dass die in der Umgebung (15) einer Pixelmaske (13) befindlichen Pixel (16) des Wetterradarbilds (1) ausgewählt werden, dass für jedes der ausgewählten Pixel (16) des Wetterradarbilds (1) Eingangsdatensätze (17) für ein Fitting-Verfahren erstellt werden, dass mittels des Fitting-Verfahrens eine Fitting-Funktion $f(S_{L11}, \dots)$ erstellt wird, dass für jedes der Pixel (11) einer Pixelmaske (13) die

dem jeweiligen Pixel (11) des Wetterradarbilds (1) zugeordneten Pixel (211, 221, ...) der Satellitenbilder (21, 22, ...) herangezogen werden und die Fitting-Funktion (f) auf deren Strahlungswerte ($S_{L11}, \dots$) angewendet wird, und der aus der Fitting-Funktion (f) resultierende Schätzwert $J = f(S_{L11}, \dots)$ ermittelt wird und die fehlerhaften Reflektivitätswerte (IF) des jeweiligen Pixels (11) durch den Schätzwert (J) ersetzt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vervollständigung und/oder Berichtigung von digitalen Wetterradarbildern gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Weiters betrifft die Erfindung einen Datenträger gemäß Patentanspruch 11.

[0003] Die Erfindung wird gewerblich zur Vorhersage von Unwettern im Bereich der kommerziellen Meteorologie eingesetzt.

[0004] Wetterradarbilder weisen üblicherweise eine Vielzahl von Artefakten auf, die durch die Aufnahme der Wetterradarbilder bedingt sind. In Wetterradarbildern treten einerseits Artefakte auf, die durch statische Abschattungen bedingt sind, das heißt, dass Bereiche des Wetterradarbildes, die durch näher beim Wetterradar gelegene Gegenstände, etwa Berge, verdeckt sind, nicht angezeigt werden können. Weiters können durch atmosphärische Einflüsse, Funk oder andere elektromagnetische Wellen zusätzliche Artefakte auf einzelnen Wetterradarbildern entstehen, die eine zuverlässige Vorhersage, insbesondere durch automatisierte Detektionsverfahren, verhindern können.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es, die oben genannten Artefakte bzw. Messfehler in bestehenden Wetterradarbildern zu beseitigen und Wetterradarbilder zur Verfügung zu stellen, die frei von den vorstehend genannten Artefakten sind.

[0006] Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1.

[0007] Bei einem Verfahren zur Vervollständigung und/oder Berichtigung von digitalen Wetterradarbildern, wobei

- a) das Wetterradarbild in Form eines zweidimensionalen Digitalbilds vorliegt, wobei jedes Pixel des Wetterradarbilds jeweils einem Teilgebiet des mit dem Wetterradar überwachten Gebiets zugeordnet ist,
- b) jedem Pixel ein Reflektivitätswert zugeordnet ist und jeder Reflektivitätswert der mit dem Wetterradar ermittelten elektromagnetischen Reflektivität der Luftschichten im Bereich des dem jeweiligen Pixel zugeordneten Teilgebiets entspricht, und wobei
- c) das Wetterradarbild in einem vorab bekannten und durch eine vorgegebene Pixelmaske gegebenen Bildbereich fehlerhafte Reflektivitätswerte aufweist, ist vorgesehen,
- d) dass eine Anzahl von Satellitenbildern herangezogen wird, die das vom Wetterradar überwachte Gebiet abbilden, wobei die einzelnen Satellitenbilder die vom vom Wetterradar überwachten Gebiet reflektierte Strahlung bei unterschiedlichen Wellenlängen darstellen,
- e) dass den Pixeln der Satellitenbilder jeweils mehrere unterschiedliche Strahlungswerte bei vorgegebenen Wellenlängen zugeordnet werden, wobei die Pixel der Satellitenbilder den jeweiligen Strahlungswert eines vom Wetterradar überwachten und dem jeweiligen Pixel des Wetterradarbilds zugeordneten Teilgebiets zugeordnet enthalten,
- f) wobei jeweils diejenigen Pixel der Satellitenbilder und diejenigen Pixel des Wetterradarbilds einander gegenseitig zugeordnet werden, denen dasselbe Teilgebiet zugeordnet ist,
- g) dass die in der vorgegebenen Umgebung der Pixelmaske befindlichen Pixel des Wetterradarbilds ausgewählt werden,
- h) dass für jedes der ausgewählten Pixel des Wetterradarbilds Eingangsdatensätze für ein Fitting-Verfahren erstellt werden, die jeweils den Reflexionswert des Wetterradarbilds in einem der ausgewählten Pixel sowie die Strahlungswerte in den dem ausgewählten Pixel zugeordneten Pixel der Satellitenbilder enthalten, denen dasselbe Teilgebiet zugeordnet ist,

i) dass mittels des Fitting-Verfahrens eine Fitting-Funktion f erstellt wird, die bei gegebenen Werten für die Strahlungswerte einen Schätzwert für den Reflektivitätswert im selben Pixel des Wetterradarbilds und für dasselbe Teilgebiet liefert,

wobei die Eingangsdatensätze dem Fitting-Verfahren zugrunde gelegt werden, und

j) dass für jedes der Pixel der Pixelmaske

- die dem jeweiligen Pixel des Wetterradarbilds zugeordneten Pixel der Satellitenbilder herangezogen werden und die Fitting-Funktion auf deren Strahlungswerte angewendet wird, und

- der aus der Fitting-Funktion resultierende Schätzwert $J = f(S_{L11}, \dots, S_{L33})$ ermittelt wird und

- die fehlerhaften Reflektivitätswerte des jeweiligen Pixels durch den Schätzwert ersetzt werden.

[0008] Durch dieses Verfahren werden Artefakte wirksam beseitigt. In den Bereichen des Wetterradarbilds, die Artefakte beinhalten, liegen nach Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens plausible Ersatzdaten vor. Eine automatisierte Weiterverarbeitung der Wetterradar-daten ist somit möglich.

[0009] Um besonders vorteilhafte Ersatzwerte für das Wetterradarbild zu erhalten, kann vorgesehen sein, dass die Zeitspanne zwischen der Aufnahme des Wetterradarbilds und der Aufnahme der Satellitenbilder unterhalb eines vorgegebenen Schwellenwerts liegt, insbesondere dass das Wetterradarbild und die Satellitenbilder am selben Tag aufgenommen werden.

[0010] Eine verbesserte Einpassung bzw. Interpolation der Ersatzwerte in das Wetterradarbild wird erreicht, wenn als Fitting-Verfahren ein Klassifikationsverfahren verwendet wird.

[0011] Eine besonders vorteilhafte Auswahl der Pixelmaske kann vorgenommen werden, indem die Umgebung diejenigen Pixel umfasst, die, vorzugsweise unmittelbar, an die Randpixel der Pixelmaske angrenzen und/oder außerhalb der Pixelmaske liegen. Es werden lediglich Pixel von diejenigen Bereichen, in denen sich tatsächlich Artefakte befinden, mit Ersatzwerten überschrieben.

[0012] Es kann vorgesehen sein, dass die Pixelmaske nach vorab vorgegebenen Kriterien bestimmt wird.

[0013] Zur besonders vorteilhaften Erkennung und Korrektur von Artefakten, die durch atmosphärische oder elektromagnetische Einflüsse verursacht sind, kann vorgesehen sein, dass Bereiche des Wetterradarbilds, die die Form von gerade Linien oder Kreisbögen aufweisen, als fehlerhaft angesehen werden und der Pixelmaske zugeordnet werden.

[0014] Zur Detektion typischer, in Wetterradarbildern auftretender Fehler sowie zur Unterscheidung von Artefakten bzw. Fehlern und korrekten Abbildungen von üblicherweise auftretenden Phänomenen kann vorgesehen sein, dass eine Pixelmaske erstellt wird, indem

- für jedes der Pixel des Wetterradarbilds eine Pixelumgebung bestimmt wird

- die Pixelumgebung jeweils mit einer der Form und Größe der Pixelumgebung entsprechenden, vorgegebenen Textur verglichen wird, wobei ein Vergleichsmaß ermittelt wird und

- das Vergleichsmaß mit einem vorgegebenen Schwellenwert verglichen wird,

- wobei je nach Überschreiten oder Unterschreiten des Schwellenwerts durch das Vergleichsmaß das jeweilige Pixel der Pixelmaske zugeordnet wird.

[0015] Zur Erkennung statischer Abschattungen kann vorgesehen sein, dass zur Erstellung der Pixelmaske für ein Wetterradarbild eine Vielzahl von weiteren Wetterradarbildern desselben zu überwachenden Gebiets zu unterschiedlichen Zeitpunkten herangezogen wird,

dass die weiteren Wetterradarbilder auf Abschattungsbereiche untersucht werden, die in den weiteren Wetterradarbildern unabhängig von Tages- und Jahreszeit sowie Wetterlage identi-

sche, insbesondere sehr geringe, zugeordnete Reflektivitätswerte, vorzugsweise Null, aufweisen, und dass die Pixel der Abschattungsgebiete der Pixelmaske zugeordnet werden.

[0016] Zur Behebung von Fehlern oder Artefakten unterschiedlichen Ursprungs kann vorgesehen sein, dass voneinander unterschiedliche weitere Pixelmasken, insbesondere nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 8, erstellt werden und dass eine Pixelmaske erstellt wird, wobei ein Pixel der Pixelmaske dann zugeordnet wird, wenn zumindest eine oder zumindest eine vorgegebene Anzahl der weiteren Pixelmasken dieses Pixel umfasst.

[0017] Zur verbesserten Anpassung der Fehlerbehebung an unterschiedliche geographische Gegebenheiten bzw. an unterschiedliche Arten von Artefakten kann vorgesehen sein, dass für jeden zusammenhängenden Teilbereich separat eine weitere Fitting-Funktion f' bestimmt werden, wobei diese weitere Fitting-Funktion f' bei der Bestimmung des jeweiligen Schätzwerts nur auf die Pixel des jeweiligen zusammenhängenden Teilbereich angewendet wird.

[0018] Die Erfindung wird ohne Einschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand eines Beispiels dargestellt. Der Erläuterung dieses Beispiels dienen die Fig. 1 bis 10.

[0019] Fig. 1 zeigt ein Wetterradarbild mit einer Pixelmaske, die einen Bildbereich mit fehlerhaften Reflektivitätswerten darstellt.

[0020] Fig. 2 zeigt schematisch ein Gebiet, mit einem Wetterradar.

[0021] Fig. 3 zeigt schematisch mehrere Satellitenbilder.

[0022] Fig. 4 zeigt eine Anzahl von Eingangsdatensätzen, die dem Fitting-Verfahren zugrunde gelegt werden.

[0023] Fig. 5 zeigt fehlerhafte Wetterradarbilder, wobei die Bildfehler durch Abschattungen entstanden sind.

[0024] Fig. 6 zeigt fehlerhafte Wetterradarbilder mit andersartigen, z.B. kreisbogenförmigen oder linienförmigen Bildfehlern.

[0025] Fig. 7 zeigt den Vergleich von Pixelumgebungen mit einer vorgegebenen Textur.

[0026] Fig. 8 zeigt ein besonderes Verfahren zur Bereitstellung einer Pixelmaske mit mehreren weiteren Pixelmasken.

[0027] Fig. 9 zeigt eine Pixelmaske mit mehreren nicht zusammenhängenden Teilbereichen.

[0028] Wetterradarbilder 1 werden von einem oder mehreren Wetterradars 12 erstellt und in der Vorhersage von Unwettern im Bereich der kommerziellen Meteorologie eingesetzt, etwa zur Regelung des Luftverkehrs oder zur Warnung vor Unwettern, starken Niederschlägen usw.

[0029] Wetterradarbilder 1 liegen typischerweise in Form von zweidimensionalen Digitalbildern (Fig. 1) umfassend eine Anzahl von rasterförmig angeordneten Pixeln 11 vor. Der von einem oder mehreren Wetterradars 12 überwachte Bereich ist in eine Anzahl von Teilgebieten zerlegt, wobei jedes Teilgebiet jeweils einem Pixel 11 des Wetterradarbilds 1 entspricht. (Fig. 2) In kommerziellen Anwendungen weisen die Teilgebiete, die einem Pixel entsprechen, etwa die Fläche von einem Quadratkilometer auf. Insbesondere sind die Teilgebiete quadratisch.

[0030] Bei der Aufnahme des Wetterradarbilds 1 mittels des Wetterradars 12 kann die einem Teilbereich bzw. einem Pixel 11 zugeordnete Reflektivität folgendermaßen bestimmt werden: Das Wetterradar 1 misst die Reflektivität von Raumvolumina 117, die übereinander über der Fläche 116 des Teilgebiets in Form einer Säule angeordnet sind. Jedem der Raumvolumina 117 ist ein seiner jeweiligen Reflektivität entsprechender Digitalwert zugeordnet. Innerhalb des säulenförmigen Teilgebiets wird dasjenige Raumvolumen 117 ermittelt, in dem die höchste Reflektivität vorherrscht. Anschließend wird der Reflektivitätswert dieses Raumvolumens 117 als Wert für die Reflektivität des gesamten Teilgebietes herangezogen. Aus diesem Wert lässt sich der gesamte zu erwartende Niederschlag in der Nähe des Teilgebiets ermitteln. Somit lässt

sich ein zweidimensionales Digitalbild, im folgenden das Wetterradarbild 1, erstellen, wobei jedem Teilgebiet bzw. jedem Pixel 11 ein digitaler Wert für die Reflektivität I1, I2 ... zugewiesen ist. Derartige Bilder sind in Fig. 9 dargestellt.

[0031] Wie in Fig. 5 dargestellt, können mit einem Wetterradar 12 aufgenommene Bilder 1 fehlerhaft sein. Die Fehler von Wetterradarbildern 1 können unterschiedliche Ursachen haben, die Gründe für manche der Fehler sind bislang noch nicht erforscht, sodass eine Behebung dieser Fehler durch Verbesserung der Messmethoden nicht möglich ist. Die Gründe für die Fehler sind unterschiedlicher Natur, wobei die Fehler phänomenologisch in drei Hauptklassen eingeteilt werden können.

[0032] Zum einen können die Fehler von statischen Abschattungen 19 herrühren (Fig. 2), die etwa durch Berge oder Hindernisse verursacht werden, die sich im Aufnahmebereich des Wetterradars 12 befinden. Solche statische Abschattungen 19 sind relativ einfach zu detektieren und ändern sich über die Zeit nicht, sofern sich das Hindernis weiterhin im Aufnahmebereich des Wetterradars 12 befindet. Fig. 5 zeigt vier Bilder mit unterschiedlicher Wetterlage, wobei allen Bildern gemeinsam ist, dass im Bereich der Abschattung 19 die jeweiligen Reflektivitätswerte I1, I2 ... konstant sehr niedrig, insbesondere Null sind. Bild 18a zeigt ein erstes Wetterradarbild mit einer Wolkenschicht. Die weiteren in Fig. 5 dargestellten Wetterradarbilder 18b - 18d zeigen die Wolkenschicht im weiteren Zeitverlauf. Im Wetterradarbild 18b befindet sich die Wolkenschicht im Bereich desjenigen Pixels, das dem Teilgebiet zugeordnet ist, in dem sich das Wetterradar 12 befindet.

[0033] Unmittelbar neben dem Wetterradar 12 befindet sich ein Hindernis, das den gesamten Bereich südöstlich des Wetterradars abschattet (Fig. 2). Der abgeschattete Bereich liegt somit in einem durch das Wetterradar 12 nicht mehr erfassbaren Gebiet, die Reflexionswerte innerhalb des abgeschatteten Bereichs können nicht ermittelt werden. Somit ergibt sich auf den Wetterradarbildern 18a - 18d in Fig. 5 eine statische Abschattung 19, deren Reflektivitätswerte I1, I2 ... nicht den wahren Gegebenheiten entsprechen und somit als fehlerhaft zu behandeln sind.

[0034] Die Bestimmung der gegebenenfalls von der Höhe der Wolkenformation abhängigen statischen Abschattungen 19 des Wetterradarbilds 1; 18a-18d bzw. der abgeschatteten Bereiche kann grundsätzlich als Kalibrierungsschritt vorgenommen werden und muss nur nach Änderungen der örtlichen Gegebenheiten (Felssturz, Entfernung eines störenden Gebäudes, usw.) erneut vorgenommen werden. Dabei wird eine Vielzahl von zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommenen Wetterradarbildern 18a-18d herangezogen und miteinander verglichen. Es wird nach denjenigen Pixeln 11 gesucht, deren zugeordnete Reflektivitätswerte I1, I2 ... einen unveränderten, insbesondere sehr geringen Wert, gegebenenfalls Null, aufweisen. Diejenigen Teilgebiete, denen unabhängig von Tages- und Jahreszeit stets gleiche Reflektivitätswerte zugewiesen sind, werden als einem abgeschatteten Bereich zugehörig erkannt. Die jeweiligen den Teilgebieten zugeordneten Pixel 11 werden als dem Abschattungsbereich 19 zugehörig erkannt. Schließlich wird eine Pixelmaske 13 erstellt, der sämtliche der dem Abschattungsbereich 19 zugehörigen Pixel 11 des Wetterradarbilds 1 zugeordnet werden. Die Pixelmaske 13 enthält somit diejenigen Pixel, die fehlerhafte Intensitätswerte enthalten.

[0035] Weiters bestehen bestimmte Fehler bei der Aufnahme von Wetterradarbildern 1 darin, dass linienförmige oder kreisbogenförmige Artefakte 19a (Fig. 6) mit sehr hohen Reflektivitätswerten detektiert werden. Der Grund für solche Artefakte ist bislang noch nicht vollständig aufgeklärt, es wird aber vermutet, dass die Störungen durch lokale Funksender, WLANs oder Militärfunk usw. verursacht werden.

[0036] Es kann vorgesehen werden, dass das gesamte Bild einer zusätzlichen, systematischen Analyse unterzogen wird. Dabei kann festgestellt werden, dass einzelne Bereiche des transformierten Bildes besonders hohe Werte aufweisen. Diese hohen Werte entsprechen den kreisbogenförmigen bzw. linienförmigen Artefakten. Den erkannten Bereichen lässt sich im Wetterradarbild 1 ein eindeutiger Raumbereich 19a zuordnen; die Pixel, die innerhalb des Raumbereichs liegen werden der Pixelmaske 13 zugeordnet.

[0037] Schließlich besteht noch die Möglichkeit, Pixel 11 mit fehlerhaften Reflektivitätswerten I1, I2 ... durch einen Mustervergleich mit einer Textur 40 zu ermitteln (Fig. 7). Für jedes der Pixel wird eine Pixelumgebung 17 bestimmt, die eine vorgegebene Form und Größe aufweist. Im vorliegenden Fall wird eine Pixelumgebung von 7x5 Pixeln gewählt, wobei das jeweilige Pixel 11 im Zentralpunkt der Pixelumgebung 17 liegt. Die ideale Pixelumgebung kann in Abhängigkeit der Eingangsdaten auch größer oder kleiner gewählt werden. Weiters wird noch eine Textur 40 vorgegeben, deren Form und Größe der Pixelumgebung 17 entspricht. Als Texturen 40 können insbesondere fehlerfreie Teilausschnitte von bereits erstellten Wetterradarbildern 1 herangezogen werden, deren Form und Größe der Pixelumgebung 17 entspricht. Bei der Textur 40 handelt es sich um ein Digitalbild, wobei jedem Pixel ein Intensitätswert zugewiesen ist.

[0038] Für jedes Pixel kann nun die Pixelumgebung 17 mit der vorgegebenen Textur 40 verglichen werden. Durch die gleiche Größe und Form von Pixelumgebung 17 und Textur 40 korrespondiert jedes der Pixel der Textur 40 mit jeweils einem Pixel der Pixelumgebung und umgekehrt. Dabei werden die Intensitätswerte bzw. Reflektivitätswerte der einzelnen miteinander korrespondierenden Pixel der Pixelumgebung 17 und der Textur 40 miteinander verglichen, wobei schließlich ein Vergleichsmaß zum Vergleich der Pixelumgebung 17 mit der Textur 40 ermittelt wird. Dies kann etwa derart geschehen, dass für jedes der Pixel der Pixelumgebung 17 die Wurzel der Summe der Quadrate der Differenz aller Intensitätswerte bzw. Reflektivitätswerte jeweils miteinander korrespondierender Pixel der Pixelumgebung 17 bzw. der Textur 40 gebildet wird. Selbstverständlich können auch andere Ähnlichkeitsmaße verwendet werden, die ganz allgemein zum Vergleich zweier gleich großer Digitalbilder geeignet sind und einen Wert liefern, der bei Übereinstimmung der Bilder einen maximalen bzw. minimalen Wert annimmt, etwa ein Korrelationsmaß oder ein Distanzmaß.

[0039] Diejenigen Pixel 11, für die ein Vergleich zwischen der jeweiligen Pixelumgebung mit der Textur 40 keine Übereinstimmung ergibt, werden der Pixelmaske 13 zugeordnet.

[0040] Alternativ können als Texturen auch typische Artefakte oder Falschbilder herangezogen werden. In diesem Fall werden Pixel 11, für die ein Vergleich zwischen der jeweiligen Pixelumgebung 17 mit der Textur 40 eine große Übereinstimmung ergibt, als fehlerhaft angesehen und der Pixelmaske 13 zugeordnet.

[0041] Eine Übereinstimmung wird je nach Übereinstimmungsmaß daran gemessen, ob das Übereinstimmungsmaß einen bestimmten vorgegebenen Schwellenwert übersteigt oder unterschreitet.

[0042] Selbstverständlich können auch zur Verbesserung der Detektion von fehlerhaften Bereichen in Wetterradarbildern 1 mehrere unterschiedliche Verfahren herangezogen werden (Fig. 8). Dabei können die vorstehend beschriebenen Verfahren zur Erstellung einer Pixelmaske 13 zur Erstellung von mehreren weiteren Pixelmasken herangezogen werden. Dabei können insbesondere mehrere Texturen 40 gewählt werden und basierend auf jeder einzelnen Textur 40 eine weitere Pixelmaske erstellt werden. Die einzelnen weiteren Pixelmasken weisen jeweils dieselbe Form und Größe auf, wobei jeweils ein Pixel 11 einer weiteren Pixelmaske jeweils allen übrigen Pixeln 11 der jeweils anderen weiteren Pixelmasken zugeordnet ist, die in Bezug auf die jeweilige weitere Pixelmaske an der selben Position sind. Es wird schließlich eine Pixelmaske 13 basierend auf den weiteren Pixelmasken erstellt, die dieselbe Form und Größe aufweist wie die weiteren Pixelmasken.

[0043] Ein Pixel 11 des Wetterradarbilds 1 wird genau dann der Pixelmaske 13 zugeordnet, wenn es zumindest einer, insbesondere zumindest einer vorgegebenen Anzahl von weiteren Pixelmasken, zugeordnet ist.

[0044] Nach Abschluss des vorstehend beschriebenen Fehlerdetektionsschritts liegt eine Pixelmaske 13 vor, der diejenigen Pixel 11 zugeordnet sind, deren zugehörige Reflektivitätswerte als fehlerhaft erkannt worden sind.

[0045] Der im folgenden dargestellte Schritt kann mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Pixelmasken 13 durchgeführt werden und ist nicht auf eine Pixelmaske 13 beschränkt. Insbe-

sondere kann das im folgenden beschriebene Verfahren unabhängig von der Art der Bestimmung der Pixelmaske 13 durchgeführt werden.

[0046] Das Ziel des Verfahrens besteht darin, die als fehlerhaft erkannten und durch die Pixelmaske 13 maskierten Bereiche des Wetterradarbilds 1 durch einen Schätzwert J zu ersetzen, der an die Stelle des tatsächlichen Reflektivitätswerts gesetzt wird und dem jeweiligen Pixel 11 innerhalb der Pixelwerte 13 zugeordnet wird.

[0047] Für die Bestimmung der einzelnen Schätzwerte J für die Pixel 11 mit fehlerhaften Reflektivitätswerten IF innerhalb der Pixelmaske 13 wird eine Anzahl von Satellitenbildern 21, 22, ... herangezogen. Diese Satellitenbilder 21, 22, ... weisen dieselbe Größe und Form auf wie das Wetterradarbild 1, wobei einander entsprechende Pixel 16, 216, 226, 236 des Wetterradarbilds 1 und der Satellitenbilder 21, 22, ... jeweils demselben Teilgebiet zugeordnet sind und jeweils einander gegenseitig zugeordnet sind (Fig. 3). Üblicherweise liegen die Satellitenbilder 21, 22 und das Wetterradarbild 1 nicht in derselben Auflösung vor.

[0048] Für die Satellitenbilder 21, 22, ... ist üblicherweise eine unterschiedliche Auflösung und Zuordnung zwischen Pixeln 211, 221, 231 der Satellitenbilder 21, 22, ... und den Teilgebieten, für die das jeweilige Pixel einen Strahlungswert darstellt, vorgegeben wie zwischen Pixeln 11 des Wetterradarbilds 1 und den jeweils zugehörigen Teilgebieten. In diesem Fall werden die Satellitenbilder 21, 22, ... mit gängigen Verfahren der Bildbearbeitung interpoliert, verzerrt bzw. zugeschnitten, sodass sie dieselbe Größe und Form aufweisen wie das Wetterradarbild 1. Die zur Bildung der Schätzwerte J verwendeten Satellitenbilder 21, 22, ... weisen somit jeweils Pixel 211, 221, ... auf, die jeweils genau einem der Teilgebiete sowie einem der Pixel 11 des Wetterradarbilds 1 zugeordnet werden können.

[0049] Die Satellitenbilder werden naturgemäß von einem Wettersatelliten 2 erstellt, der eine optische Aufnahmeeinheit aufweist, die ein Satellitenbild 21, 22, 23 des zu überwachenden Gebiets 14 der Erde bei unterschiedlichen Lichtwellenlängen I1, ..., I8 ermittelt. Typischerweise werden Aufnahmen bei drei bis zu zwanzig unterschiedlichen Wellenlängen vorgenommen, wobei insbesondere Strahlung im Bereich des sichtbaren Lichts, des ultravioletten Lichts und des infraroten Lichts detektiert wird. Dies entspricht etwa einer Lichtwellenlänge von 150 nm bis zu 1000 nm. Darüber hinaus ist es jedoch auch selbstverständlich möglich, Aufnahmen bei anderen Wellenlängen durchzuführen, etwa im langwelligeren Mikrowellenbereich zwischen 1µm und 20µm. Jedes der Satellitenbilder 21, 22, 23 entspricht einem Abbild des überwachten Gebiets 14 der Erde bei einer bestimmten Wellenlänge.

[0050] In einem vor oder nach der Bestimmung der Satellitenbilder 21, 22, 23 ablaufenden Schritt wird eine Umgebung 15 der Pixelmaske 13 bestimmt. Bei dieser Umgebung 15 handelt es sich vorzugsweise um diejenigen Pixel 11, die an Pixel 11 der Pixelmaske 13 angrenzen, ohne selbst in der Pixelmaske 13 zu liegen. Zwei Pixel können aneinander dann angrenzen, wenn sie unmittelbar nebeneinander gelegen sind, d. h. dass eine der beiden Pixelkoordinaten identisch ist und sich die zweite der beiden Pixelkoordinaten jeweils nur um eins unterscheidet. Der Umgebungsbegriff kann jedoch auch weiter gezogen werden, wobei gegebenenfalls auch Pixel 11 dann der Umgebung 15 der Pixelmaske 13 zugerechnet werden, wenn sie an ein Randpixel diagonal angrenzen, d.h. wenn sich die Koordinatenwerte beider Pixelkoordinaten jeweils um eins unterscheiden.

[0051] Es ist selbstverständlich auch möglich, den Umgebungsbegriff auch auf Pixel auszuweiten, deren Abstand vom Rand der Pixelmaske 13 einen bestimmten Abstand nicht übersteigt.

[0052] Ein Pixel 11 des Wetterradarbilds 1 kann dem Rand der Pixelmaske 13 dann als zugehörig angesehen werden, wenn es zumindest an ein Pixel grenzt, das der Pixelmaske 13 nicht zugehört und an zumindest ein Pixel grenzt, das der Pixelmaske 13 zugehört. Der Begriff des Angrenzens kann dabei analog den voranstehenden Ausführungen verstanden werden.

[0053] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel gehören nur diejenigen Pixel 11 der Umgebung 15 der Pixelmaske 13 an, die außerhalb der Pixelmaske 13 liegen.

[0054] Es kann der Fall eintreten, dass mehrere nicht zusammenhängende Bereiche von Pixeln 11 der Pixelmaske 13 zugeordnet sind. In diesem Fall kann die Umgebung 15 entweder für alle zusammenhängenden Bereiche gemeinsam bestimmt werden oder aber für jeden einzelnen zusammenhängenden Teilbereich 131 einzeln (Fig. 9) bestimmt werden. Für die Bestimmung des Zusammenhangs erforderlichen Begriff des Angrenzens können dabei die bereits beschriebenen Definitionen herangezogen werden.

[0055] Mit den Strahlungswerten S_{L11} , ... der Pixel 211, 221, ... der Satellitenbilder 21, 22, ... und den Reflektivitätswerten I_1 , ... der Pixel 11 des Wetterradarbilds 1 werden Eingangsdatensätze 17 (Fig. 4) erstellt, die anschließend einem Fitting-Verfahren zugrunde gelegt werden sollen. Eingangsdatensätze 17 werden nur von denjenigen Pixeln 11, 211, 221, 231 erstellt, die der Umgebung 15 der Pixelmaske zugehören.

[0056] Dabei wird für alle einander zugeordneten Pixel 11 des Wetterradarbilds 1 zu einem Pixel 211, 221, ... der Satellitenbilder 21, 22, ... innerhalb der Umgebung 15 der Pixelmaske jeweils ein Eingangsdatensatz 17 erstellt. Die Zuordnung der Pixel 11 des Wetterradarbilds 1 und sowie Pixel 211, 221, ... der Satellitenbilder 21, 22, ... ist, wie bereits erwähnt, dadurch begründet, dass die jeweiligen Reflektivitätswerte I_1 , ... und Strahlungswerte S_{L11} , ... jeweils für das gleiche Teilgebiet bestimmt wurden, d. h. jeder Eingangsdatensatz 17 enthält Daten, die ein und dasselbe Teilgebiet betreffen. Es sind somit so viele Eingangsdatensätze 17 vorhanden, wie Pixel 11 in der Umgebung 15 vorhanden sind. Diese Eingangsdatensätze 17 werden einem Fitting-Verfahren zugrunde gelegt. Ziel des Fitting-Verfahrens ist es, eine Fitting-Funktion $f(S_{L11}, \dots)$ zu finden, die aufgrund der verfügbaren und korrekten Strahlungswerte S_{L11} , ... der Satellitenbilder 21, 22, ... betreffend ein Teilgebiet bzw. einander zugeordnete Pixel 11, 211, 221, 231 einen Schätzwert J bzw. Ersatzwert für den Reflektivitätswert I_1 , ... des jeweiligen Teilgebiets ermittelt. Als Zielfunktion wird dem Fitting-Verfahren somit eine Fitting-Funktion $f(S_{L11}, \dots)$ zugrunde gelegt, die aufgrund von angegebenen Strahlungswerten S_{L11} , ... jeweils einen Schätzwert J für die Reflektivität I angibt.

[0057] Die Fitting-Funktion $f(S_{L11}, \dots)$ wird mittels eines Klassifikationsverfahrens an die vorgegebenen Eingangsdatensätze angepasst und so vorgegeben, dass man bei Anwendung der Fitting-Funktion auf die einzelnen in einem Eingangsdatensatz 17 vorhandenen Strahlungswerte S_{L11} , ... möglichst genau den im jeweiligen Eingangsdatensatz 17 vorhandenen Reflektivitätswert I_1 , ... erhält. Dabei können je nach Fitting-Verfahren und Anzahl der Eingangsdatensätze kleinere Diskrepanzen zwischen den in den Eingangsdatensätzen 17 vorgegebenen Reflektivitätswerten I_1 , ... und den mittels der Fitting-Funktion $f(S_{L11}, \dots)$ erzielten Schätzwerten J bestehen. Ziel des Optimierungsverfahrens ist es, diese Diskrepanzen möglichst zu minimieren. Besonders vorteilhaft eignet sich hierfür z.B. ein Nearest-Neighbour Klassifikationsverfahren.

[0058] Mit dieser Funktion ist es möglich, anhand der vorliegenden Satellitenbilder 21, 22, ... pixelweise die Schätzwerte J für die fehlerhaften bzw. maskierten Reflektivitätswerte, im folgenden mit IF bezeichnet, des Wetterradarbilds 1 zu finden. Für die Bestimmung des Schätzwerts J mittels der Fitting-Funktion f in einem Pixel 16 innerhalb der Pixelmaske 13 des Wetterradarbilds 1 sind nur die in den einzelnen Satellitenbildern 21, 22, 23 gespeicherten Strahlungswerte S_{L11} , ... des jeweils zugeordneten Pixels 216, 226, 236 heranzuziehen.

[0059] Jeder der fehlerhaften Reflektivitätswerte IF der Pixel 11 innerhalb der Pixelmaske 13 wird durch die für das jeweilige Pixel 11 ermittelten Schätzwerte J ersetzt.

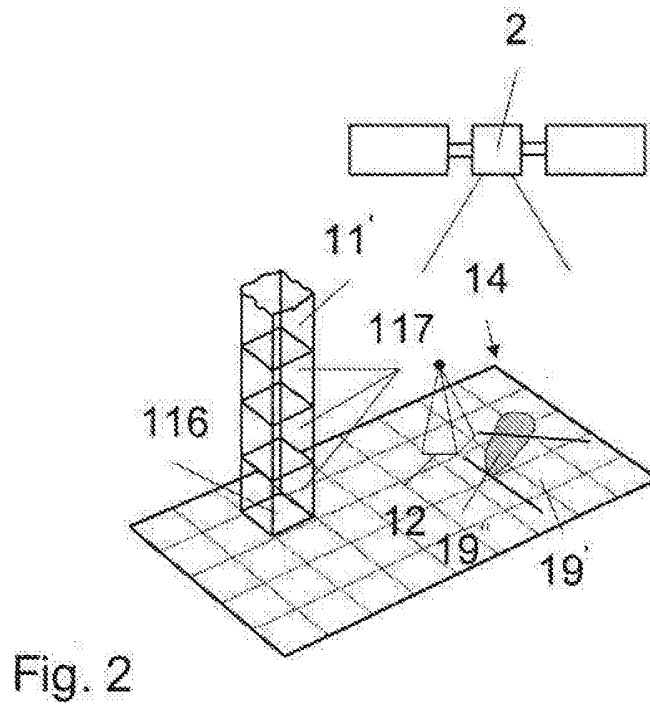
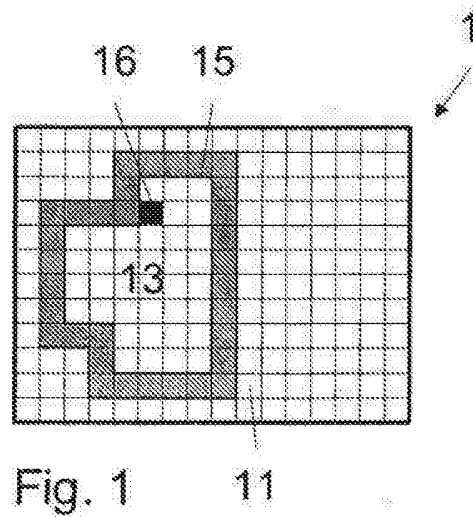
[0060] Alternativ kann für jeden zusammenhängenden Teilbereich 131 separat eine Fitting-Funktion f' bestimmt werden, wobei diese Fitting-Funktion f' jeweils nur auf den jeweiligen zusammenhängenden Teilbereich 131 der Pixel angewendet wird.

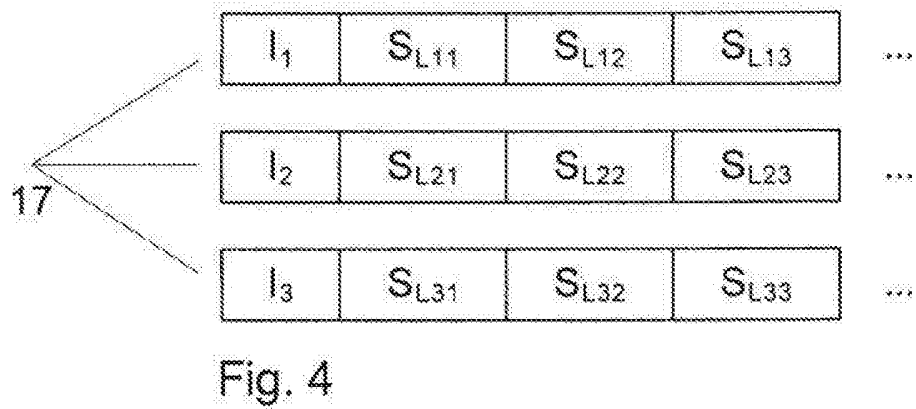
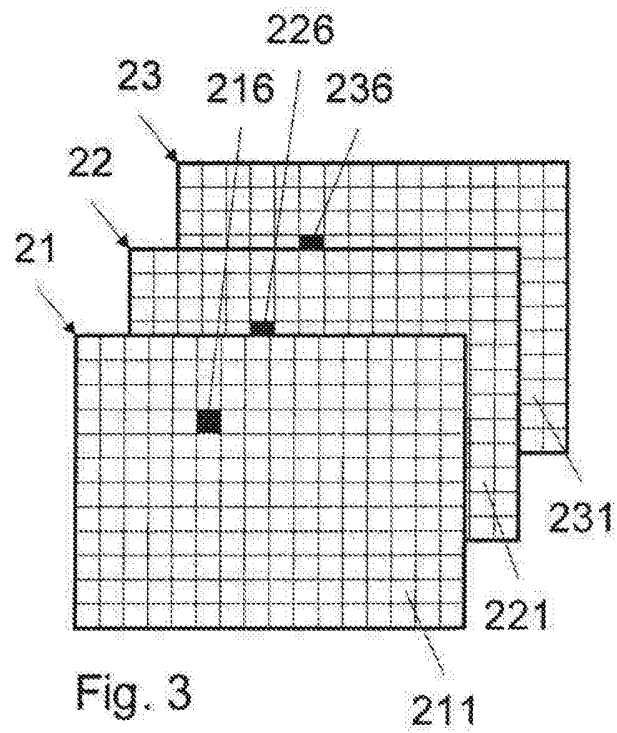
Patentansprüche

1. Verfahren zur Vervollständigung und/oder Berichtigung von digitalen Wetterradarbildern, wobei
 - a) das Wetterradarbild (1) in Form eines zweidimensionalen Digitalbilds vorliegt, wobei jedes Pixel (11) des Wetterradarbilds (1) jeweils einem Teilgebiet des mit dem Wetterradar (12) überwachten Gebiets (14) zugeordnet ist,
 - b) jedem Pixel (11) ein Reflektivitätswert zugeordnet ist und jeder Reflektivitätswert ($I_1, \dots$) der mit dem Wetterradar (12) ermittelten elektromagnetischen Reflektivität der Luftschichten im Bereich des dem jeweiligen Pixel (11) zugeordneten Teilgebiets entspricht, und wobei
 - c) das Wetterradarbild (1) in einem vorab bekannten und durch eine vorgegebene Pixelmaske (13) gegebenen Bildbereich fehlerhafte Reflektivitätswerte (IF) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**,
 - d) dass eine Anzahl von Satellitenbildern (21, 22, ...) herangezogen wird, die das vom Wetterradar (1) überwachte Gebiet (14) abbilden, wobei die einzelnen Satellitenbilder (21, 22, ...) die vom Wetterradar (12) überwachten Gebiet (14) reflektierte Strahlung bei unterschiedlichen Wellenlängen ($I_1 \dots I_8$) darstellen,
 - e) dass den Pixeln (211, 221, ...) der Satellitenbilder (21) jeweils mehrere unterschiedliche Strahlungswerte ($S_{L11}, \dots$) bei vorgegebenen Wellenlängen ($I_1, \dots$) zugeordnet werden, wobei die Pixel (211, 221, ...) der Satellitenbilder (21, 22, ...) den jeweiligen Strahlungswert ($S_{L11}, \dots$) eines vom Wetterradar (12) überwachten und dem jeweiligen Pixel (11) des Wetterradarbilds (1) zugeordneten Teilgebiets zugeordnet enthalten,
 - f) wobei jeweils diejenigen Pixel (211, 221, ...) der Satellitenbilder (21, 22, ...) und diejenigen Pixel (11) des Wetterradarbilds (1) einander gegenseitig zugeordnet werden, denen dasselbe Teilgebiet zugeordnet ist,
 - g) dass die in der vorgegebenen Umgebung (15) der Pixelmaske (13) befindlichen Pixel (16) des Wetterradarbilds (1) ausgewählt werden,
 - h) dass für jedes der ausgewählten Pixel (16) des Wetterradarbilds (1) Eingangsdatensätze (17) für ein Fitting-Verfahren erstellt werden, die jeweils den Reflexionswert ($I_1, \dots$) des Wetterradarbilds (1) in einem der ausgewählten Pixel (16) sowie die Strahlungswerte ($S_{L11}, \dots$) in den dem ausgewählten Pixel (16) zugeordneten Pixel (211, 221, ...) der Satellitenbilder (21, 22, ...) enthalten, denen dasselbe Teilgebiet zugeordnet ist,
 - i) dass mittels des Fitting-Verfahrens eine Fitting-Funktion $f(S_{L11}, \dots, S_{L33})$ erstellt wird, die bei gegebenen Werten für die Strahlungswerte ($S_{L11}, \dots$) einen Schätzwert (J) für den Reflektivitätswert ($I_1, \dots$) im selben Pixel (11) des Wetterradarbilds (1) und für dasselbe Teilgebiet liefert, wobei die Eingangsdatensätze (17) dem Fitting-Verfahren zugrunde gelegt werden, und j) dass für jedes der Pixel (11) der Pixelmaske (13)
 - j) die dem jeweiligen Pixel (11) des Wetterradarbilds (1) zugeordneten Pixel (211, 221, ...) der Satellitenbilder (21, 22, ...) herangezogen werden und die Fitting-Funktion (f) auf deren Strahlungswerte ($S_{L11}, \dots$) angewendet wird, und
 - der aus der Fitting-Funktion (f) resultierende Schätzwert $J = f(S_{L11}, \dots)$ ermittelt wird und
 - die fehlerhaften Reflektivitätswerte (IF) des jeweiligen Pixels (11) durch den Schätzwert (J) ersetzt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zeitspanne zwischen der Aufnahme des Wetterradarbilds (1) und der Aufnahme der Satellitenbilder (21, 22, ...) unterhalb eines vorgegebenen Schwellenwerts liegt, insbesondere dass das Wetterradarbild (1) und die Satellitenbilder (21, 22, ...) am selben Tag aufgenommen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Fitting-Verfahren ein Klassifikationsverfahren verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umgebung (15) diejenigen Pixel umfasst, die, vorzugsweise unmittelbar, an die Randpixel (11) der Pixelmaske (13) angrenzen und/oder außerhalb der Pixelmaske (13) liegen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pixelmaske bestimmt wird, indem Bereiche (19a) des Wetterradarbilds (1), die die Form von gerade Linien oder Kreisbögen aufweisen, als fehlerhaft angesehen werden und der Pixelmaske (13) zugeordnet werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Pixelmaske (13) erstellt wird, indem
 - für jedes der Pixel (11) des Wetterradarbilds (1) eine Pixelumgebung (17) bestimmt wird
 - die Pixelumgebung (17) jeweils mit einer der Form und Größe der Pixelumgebung (17) entsprechenden, vorgegebenen Textur (40) verglichen wird, wobei ein Vergleichsmaß ermittelt wird und
 - das Vergleichsmaß mit einem vorgegebenen Schwellenwert verglichen wird,
 - wobei je nach Überschreiten oder Unterschreiten des Schwellenwerts durch das Vergleichsmaß das jeweilige Pixel (11) der Pixelmaske (13) zugeordnet wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erstellung der Pixelmaske (13) für ein Wetterradarbild (1) eine Vielzahl von weiteren Wetterradarbildern (18) desselben zu überwachenden Gebiets (14) zu unterschiedlichen Zeitpunkten herangezogen wird,
dass die weiteren Wetterradarbilder (18) auf Abschattungsgebiete (19) untersucht werden, die in den weiteren Wetterradarbildern (18) unabhängig von Tages- und Jahreszeit sowie Wetterlage identische, insbesondere sehr geringe, zugeordnete Reflektivitätswerte, vorzugsweise Null, aufweisen, und
dass die Pixel (11) der Abschattungsgebiete (19) der Pixelmaske (13) zugeordnet werden.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass voneinander unterschiedliche weitere Pixelmasken, insbesondere nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 8, erstellt werden und
dass eine Pixelmaske (13) erstellt wird, wobei ein Pixel (11) der Pixelmaske (13) dann zugeordnet wird, wenn zumindest eine oder zumindest eine vorgegebene Anzahl der weiteren Pixelmasken dieses Pixel (11) umfasst.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für jeden zusammenhängenden Teilbereich (131) separat eine weitere Fitting-Funktion f' bestimmt wird, wobei diese weitere Fitting-Funktion f' bei der Bestimmung des jeweiligen Schätzwerts (J) nur auf die Pixel (11) des jeweiligen zusammenhängenden Teilbereich (131) angewendet wird.
10. Datenträger, auf dem ein Computerprogramm zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche abgespeichert ist.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen





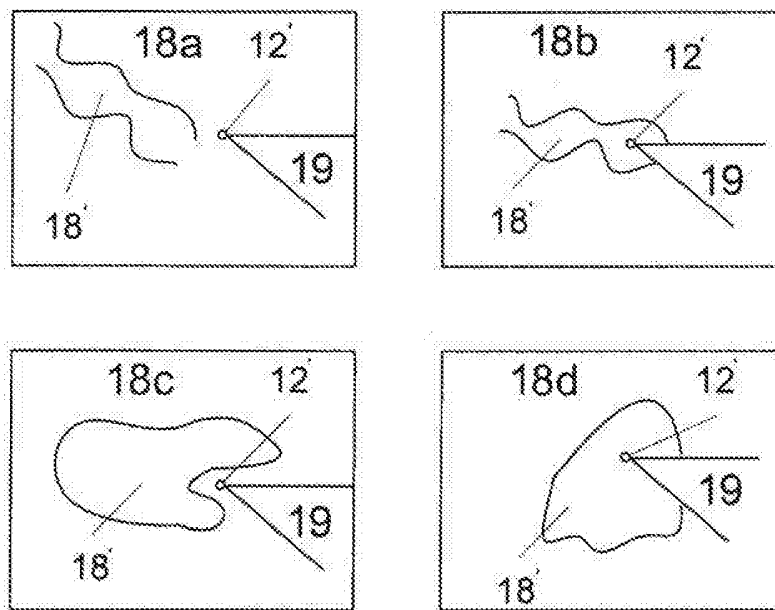


Fig. 5

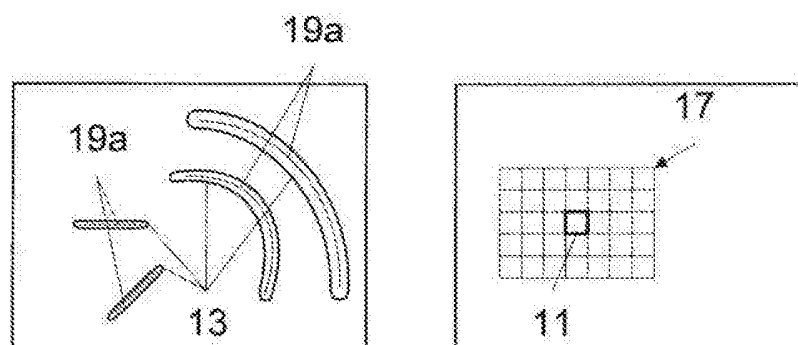


Fig. 6

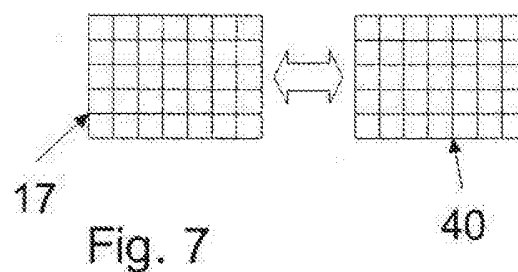


Fig. 7

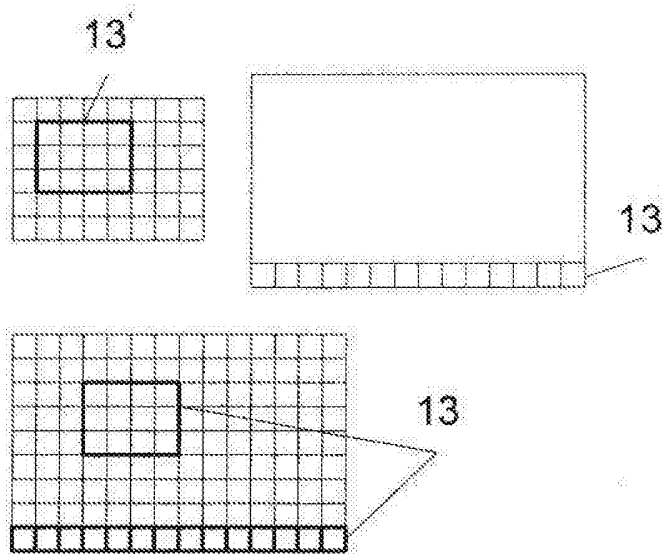


Fig. 8

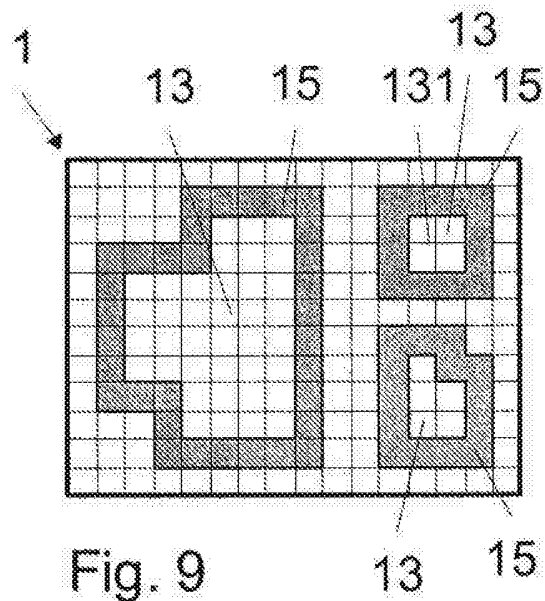


Fig. 9