(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**

(10) **DE 101 41 085 A 1**

(51) Int. Cl.[7]:
A 61 B 6/00
H 04 N 5/325
G 03 B 42/02

(21) Aktenzeichen: 101 41 085.9
(22) Anmeldetag: 22. 8. 2001
(43) Offenlegungstag: 15. 5. 2003

DE 101 41 085 A 1

(71) Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Hornegger, Joachim, Dipl.-Inf., Dr.-Ing., 91083 Baiersdorf, DE

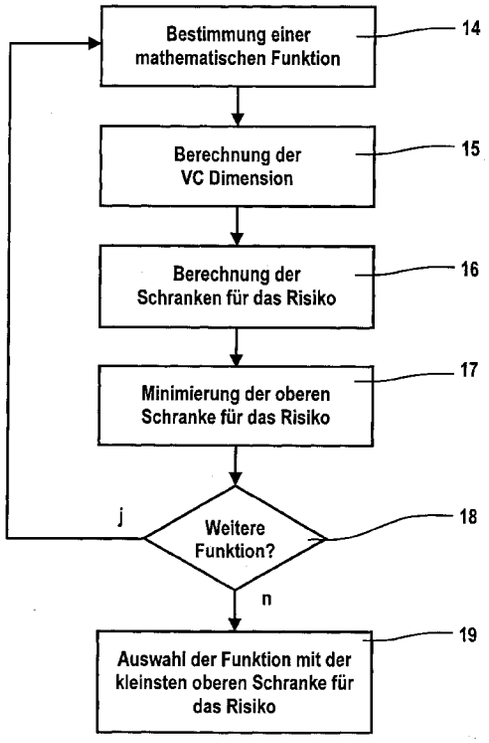
(56) Entgegenhaltungen:
US 56 71 297

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Röntgendiagnostikeinrichtung mit einer Bildvorverarbeitung und Verfahren zur Entzerrung von Bildern

(57) Die Erfindung betrifft eine Röntgendiagnostikeinrichtung mit einem Bildsystem (7) mit Bildvorverarbeitung (11) zur Entzerrung von Bildern, wobei das Bildsystem (7) eine mit der Bildvorverarbeitung (11) korrespondierende Auswertevorrichtung (12) aufweist, die die für die Entzerrung von Röntgenbildern geeigneten Funktionsklassen und Funktionen ermittelt, sowie ein Verfahren zur Entzerrung von Röntgenbildern.



DE 101 41 085 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Röntgendiagnostikeinrichtung mit einem Bildsystem mit Bildvorverarbeitung zur Entzerrung von Bildern sowie ein Verfahren zur Entzerrung von Röntgenbildern.

[0002] In der **Fig.** 1 ist eine aus der DE 195 27 148 C1 bekannte Röntgendiagnostikeinrichtung mit einer von einem Hochspannungsgenerator **1** mit Hoch- und Heizspannung versorgte Röntgenröhre **2** dargestellt, die eine kegelförmige Röntgenstrahlung **3** erzeugt, die einen Patienten **4** durchdringt und auf einem für Röntgenstrahlung **3** empfindlichen Röntgendetektor **5** Strahlenbilder erzeugt. Das Ausgangssignal des Röntgendetektors **5**, die Bilddaten **6**, wird einem Bildsystem **7** zugeführt. Das Bildsystem **7** kann Wandler, Bildspeicher und Verarbeitungsschaltungen aufweisen. Es ist zur Wiedergabe der erfassten Röntgenbilder mit einem Monitor **8** verbunden. Bedienelemente **9** sind über eine Systemsteuerung und -kommunikation 10 mit den übrigen Komponenten der Röntgendiagnostikeinrichtung verbunden.

[0003] Bei der Entzerrung von Bildern, der sogenannten Distortion Correction, werden die einzelnen Bildpunkte (x, y) über Funktionen auf ihre entzerrten Werte (f(x, y), g(x, y)) abgebildet. Ein zentrales Problem hierbei ist die Wahl der Funktionen f(x, y) und g(x, y). Naheliegend ist die Verwendung von Polynomen, und mit der Entscheidung für diese parametrische Familie von Funktionen müssen die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Wählt man ein uni- oder multivariates Polynom?
- Beschränkt man sich auf Monome geraden Grades?
- Wie groß muss der totale Grad des Polynoms (der Funktion) sein?

[0004] Bisher verfügbare Verfahren zur Bestimmung der Entzerrungsfunktion basieren im Wesentlichen darauf, dass eine parametrische Form einer Polynomabbildung heuristisch festgelegt wird und die freien Parameter durch Minimierung des mittleren quadratischen Fehlers berechnet werden. Teils werden die Ergebnisse mittels visueller Inspektion beurteilt, teils beruht die Verifikation der Ergebnisse auf der Verwendung synthetischer Daten. Mathematische Verfahren, die neben der Schätzung der Modellparameter, wie beispielsweise hier die Koeffizienten der Polynome, auch die Struktur des verwendeten Modells, wie die hier verwendeten Basismonome, automatisch bestimmen, werden derzeit nicht zur Entzerrung digitaler Aufnahmen eingesetzt.

[0005] Diese aktuelle Vorgehensweise weist als gravierende Nachteile das verwendete Gütemaß für die Bewertung der Regressionsparameter sowie die fehlende Möglichkeit auf, die Generalisierbarkeit – also das Verhalten der Regressionskurve zwischen den Stützstellen – zu bewerten. Der mittlere quadratische Fehler misst zwar die Abweichung von den gemessenen Stützstellen, er stellt jedoch kein Gütemaß für die Generalisierbarkeit dar. Dies hat beispielsweise zur Folge, dass sich jede beliebige Menge von Trainingsdaten durch ein Polynom ausreichend hohen Grades fehlerfrei approximieren lässt. Es gibt sogar unendlich viele Polynome, mit demselben mittleren quadratischen Fehler. Bei zu hohem Polynomgrad ist die Approximation zwischen den Stützstellen unzureichend und somit für die Entzerrung von Bildern auch unbrauchbar. Es muss das richtige Verhältnis zwischen Approximation an den Stützstellen und dem zu wählenden Polynomgrad gefunden werden. Außerdem erfordern unterschiedliche Verzerrungen unter Umständen die Verwendung verschiedener Entzerrungsfunktionen.

[0006] Die Erfindung geht von der Aufgabe aus, bei einer Röntgendiagnostikeinrichtung und ein Verfahren der eingangs genannten Art eine optimale Lösung der Bildentzerrung sowie die freie Wahl geeigneter Funktionsklassen, die über Polynome hinausgehen, zu ermöglichen.

[0007] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das Bildsystem eine mit der Bildvorverarbeitung korrespondierende Auswertevorrichtung aufweist, welche die für die Entzerrung von Röntgenbildern geeigneten Funktionsklassen und Funktionen ermittelt. Dadurch lassen sich die für die Entzerrung von Bildern geeigneten Funktionen und Funktionsklassen aufgrund statistischer Lerntheorien ermitteln.

[0008] Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Auswertevorrichtung ein Gütemaß für die Bewertung der Regressionsparameter der Funktionen ermittelt.

[0009] Dabei kann die Auswertevorrichtung derart ausgebildet sein, dass sie die obere Schranke für das Risiko als ein Gütemaß minimiert.

[0010] Die Aufgabe wird für ein Verfahren durch folgende Schritte gelöst:

a) Bestimmung einer mathematisches Funktion,
b) Berechnung der Vapnik Chervonenkis Dimension (VC Dimension)
c) Ermittlung der Schranke für ein Gütemaß,
d) Minimierung der Schranke für das Gütemaß und
e) Festlegung des Grades der Funktion mit der für die gegebenen Stützstellen minimalen oberen Schranke für das Gütemaß.

[0011] Es lassen sich eine Vielzahl von Funktionen auf ihre Tauglichkeit überprüfen, wenn die Schritte a) bis d) für eine weitere Funktion durchgeführt werden und wenn im Schritt e) eine Festlegung der Art und des Grades der Funktion mit der für die gegebenen Stützstellen minimalen oberen Schranke für das Gütemaß erfolgt.

[0012] Erfindungsgemäß kann das Gütemaß das Risiko und die mathematische Funktion ein Polynom oder ein Perzeptron sein.

[0013] In vorteilhafter Weise kann zur Berechnung der VC Dimension die Vandermond Matrix eingesetzt werden.

[0014] Die Erfindung ist nachfolgend anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

[0015] **Fig.** 1 eine bekannte Röntgendiagnostikeinrichtung mit einem Röntgendetektor,

[0016] **Fig.** 2 ein Bildsystem mit einer erfindungsgemäßen Auswertevorrichtung und

[0017] **Fig.** 3 ein Ablaufdiagramm für ein erfindungsgemäßes Verfahren.

[0018] In der **Fig.** 2 ist das Bildsystem **7** gemäß **Fig.** 1 dargestellt, das zur Beseitigung von Verzerrungen der Bilder, insbesondere von Röntgenbildern, eine Bildvorverarbeitung **11** zur Entzerrung der Bilder aufweist. An der Bildvorverarbeitung **11** ist eine erfindungsgemäße Auswertevorrichtung **12** angeschlossen, die die für die Entzerrung der vorliegenden Bilder optimale Funktionen f(x, y) und g(x, y) ermittelt. Diese Funktionen f(x, y) und g(x, y) werden dann in der Bildvorverarbeitung **11** für die Entzerrung ausgewählt. An der Bildvorverarbeitung **11** sind dann die weiteren Verarbeitungsvorrichtungen **13** angeschlossen, der die Bildsignale der entzerrten Röntgenbilder zugeführt werden.

[0019] Ein Maß, das die mathematische Behandlung des Wechselspiels zwischen Approximationsfehler und Generalisierbarkeit erlaubt, ist das sogenannte Risiko. Eine (probabilistische) obere Schranke für das Risiko lässt sich berechnen, wenn die VC Dimension der verwendeten Funktion bekannt ist.

[0020] Zur Bestimmung des erforderlichen Polynomgrads ist anhand **Fig.** 3 erläutert:
Für ein gegebenes mathematisches Modell (Schritt **14**), beispielsweise Polynome, berechnet die Bildvorverarbeitung **11** die VC Dimension (Schritt **15**) und daraus die Schranke für das Risiko (Schritt **16**). Nach einem Schritt **17** zur Minimierung wird eine Entscheidung für das Polynom zur Entzerrung getroffen (Schritt **19**), das für die gegebenen Stützstellen die obere Schranke für das Risiko minimiert.

[0021] Zur Bestimmung des Polynoms, das bezüglich der Stützstellen den mittleren quadratischen Fehler minimiert, wird die Vandermond Matrix berechnet.

[0022] Außer Polynomen können auch andere Funktionen verwendet werden. Wenn beispielsweise ein Perzeptron eine geringere Schranke für das Risiko liefert, dann sollte das Perzeptron anstelle der Polynome verwendet werden.

[0023] Dies kann dadurch erreicht werden, dass nach dem Schritt **17** eine Abfrage **18** erfolgt, ob noch weitere Funktionen überprüft werden sollen. Ist dies der Fall, so werden die Schritte **14** bis **17** mehrfach durchlaufen. Im Schritt **19** wird dann nicht nur der Funktionsgrad sondern auch die Funktion mit der niedrigsten Schranke für das Risiko ausgewählt.

[0024] Die dynamische Auswahl der Entzerrungsfunktionen erlaubt nun für unterschiedliche Aufnahmen mit verschiedenen Entzerrungen die jeweils optimalen Abbildungen auszuwählen.

[0025] Durch die erfindungsgemäße Ausführung werden Ergebnisse aus der statistischen Lerntheorie auf ein lange ungelöstes Problem der Bildvorverarbeitung angewandt.

[0026] Als einfaches Beispiel wird die Approximation folgender Punkte durch ein univariates Polynom betrachtet:

$$\{(\mathbf{1},\mathbf{1},\mathbf{1},\mathbf{1}), (\mathbf{2},\mathbf{1},\mathbf{2},\mathbf{1}), \ldots, (\mathbf{10},\mathbf{1},\mathbf{10},\mathbf{1})\}.$$

[0027] Die VC Dimension h univariater Regressions-Polynome ist beschränkt durch eine Größe, die linear vom Grad d des Polynoms abhängt. Es gilt: $h <= 2d + 1$.

[0028] Für Polynome vom Grad d = 0, 1, 2, 3, 4 ergeben sich die folgenden Schranken R, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,001 das Risiko nach oben beschränken:
d = 0: R = 10,054
d = 1: R = 1,496
d = 2: R = 1,547
d = 3: R = 1,564
d = 4: R = 1,558

[0029] Diese Zahlen belegen für dieses einfache Beispiel: der Grad d = 1 eignet sich am besten für die Regression.

[0030] Als weiteres Beispiel wird die Approximation für folgende Punkte durchgeführt:

$$\{(1,1, (\mathbf{1},\mathbf{1}) \cdot (\mathbf{1},\mathbf{1})), (2,1, (\mathbf{2},\mathbf{1}) \cdot (\mathbf{2},\mathbf{1})), \ldots, (10,1, (\mathbf{10},\mathbf{1}) \cdot (\mathbf{10},\mathbf{1}))\}.$$

[0031] Hier wird eine quadratische Funktion als Lösung erwartet. Dies bestätigt auch die VC Schranke mit einem Minimum bei dem Grad d = 2:
d = 0: R = 102,431
d = 1: R = 12,672
d = 2: R = 1,233
d = 3: R = 1,251
d = 4: R = 1,244

Anhang

Programm zur Berechnung der VC Regressionsschrank

```
#include  <iostream.h>
#include  <stdlib.h>
#include  <math.h>
#include  "Vector.h"
#include  "Matrix.h"
#include  "matrix_aux.h"


// Verfahren zur Berechnung der Vandermond Matrix

// vec:   includes the samples
// deg:   denotes the degree of the considered polynom


Matrix<double> Vandermond(const Vector<double> & vec, int deg)
  {int s= vec.Size();
  Matrix<double> vandermond(deg+1,s);
{ for (int y= 0; y< s; y++) vandermond[y][deg]= 1; 1

for (int y= 0; y< s; y++)
  for (int x= deg-1; x> -1; x--)
    vandermond[y][x]= vandermond[y1[x+1]*vec[y];
return vandermond;
}
```

```
// Funktion zur Berechnung des Euclidischen Fehlers der Reg-
ression

double err(const Matrix<double> & vandermond,
           const Vector<double> & coeff,
           const ~Vector<double> & obs){
return ((vandermond*coeff-
obs).EuclideanNorm())*(1,0/double(coeff.Size()));

void main(int argc, char ** argv){

  double e= 0,1;

  Vector<double> v(10);
  v[0]=  1+e;
  v[1]=  2-e;
  v[2]=  3+e;
  v[3]=  4-e;
  v[4]=  5+e;
  v[5]=  6-e;
  v[6]=  7+e;
  v[7]=  8-e;
  v[8]=  9+e;
  v[9]= 10-e;

Vector<double> w(10);
  w[0]=  1-e;
  w[1]=  2+e;
  w[2]=  3-e;
  w[3]=  4+e;
  w[4]=  5-e;
  w[5]=  6+e;
  w[6]=  7-e;
  w[7]=  8+e;
  w[8]=  9-e;
  w[9]= 10+e;
```

```
  float   h= 1;                          VC Dimension
  float   N= 10;                         number of sample
                                         points probability
  float eta= 0,001;                      bound

Vector<double> solution= pseudoinv(Vandermond(v,0))*w;
cerr << err(Vandermond(v,0), solution, w) +
sqrt( -log(eta/4)/N << endl;
  for (int d=1; d<10; d++){
    solution= pseudoinv(Vandermond(v,1))*w;
    cerr << err(Vandermond(v,1), solution, w) +
            sqrt(((2*d +1) * (log(2*N/(2*d +1))) -
            log(eta/4))/N) << endl;
  }
}
```

Patentansprüche

1. Röntgendiagnostikeinrichtung mit einem Bildsystem (**7**) mit Bildvorverarbeitung (**11**) zur Entzerrung von Bildern, wobei das Bildsystem (**7**) eine mit der Bildvorverarbeitung (**11**) korrespondierende Auswertevorrichtung (**12**) aufweist, die die für die Entzerrung von Röntgenbildern geeigneten Funktionsklassen und Funktionen ermittelt.
2. Röntgendiagnostikeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertevorrichtung (**12**) ein Gütemaß für die Bewertung der Regressionsparameter der Funktionen ermittelt.
3. Röntgendiagnostikeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertevorrichtung (**12**) derart ausgebildet ist, dass sie die obere Schranke für das Risiko als ein Gütemaß minimiert (**17**).
4. Verfahren für ein Bildsystem (**7**) zur Entzerrung von Röntgenbildern gekennzeichnet durch folgende Schritte:
   a) Bestimmung einer mathematisches Funktion (Schritt **14**),
   b) Berechnung der Vapnik Chervonenkis Dimension (VC Dimension) (Schritt **15**)
   c) Ermittlung der Schranke für ein Gütemaß (Schritt **16**),
   d) Minimierung der Schranke für das Gütemaß (Schritt **17**) und
   e) Festlegung des Grades der Funktion (Schritt **19**) mit der für die gegebenen Stützstellen minimalen oberen Schranke für das Gütemaß.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte a) bis d) für eine weitere Funktion durchgeführt werden (Schritt **18**) und dass im Schritt e) eine Festlegung der Art und des Grades der Funktion mit der für die gegebenen Stützstellen minimalen oberen Schranke für das Gütemaß erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Gütemaß das Risiko ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die mathematische Funktion ein Polynom ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die mathematische Funktion ein Perzeptron ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zur Berechnung der VC Dimension die Vandermond Matrix eingesetzt wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Nummer: DE 101 41 085 A1
Int. Cl.[7]: A 61 B 6/00
Offenlegungstag: 15. Mai 2003

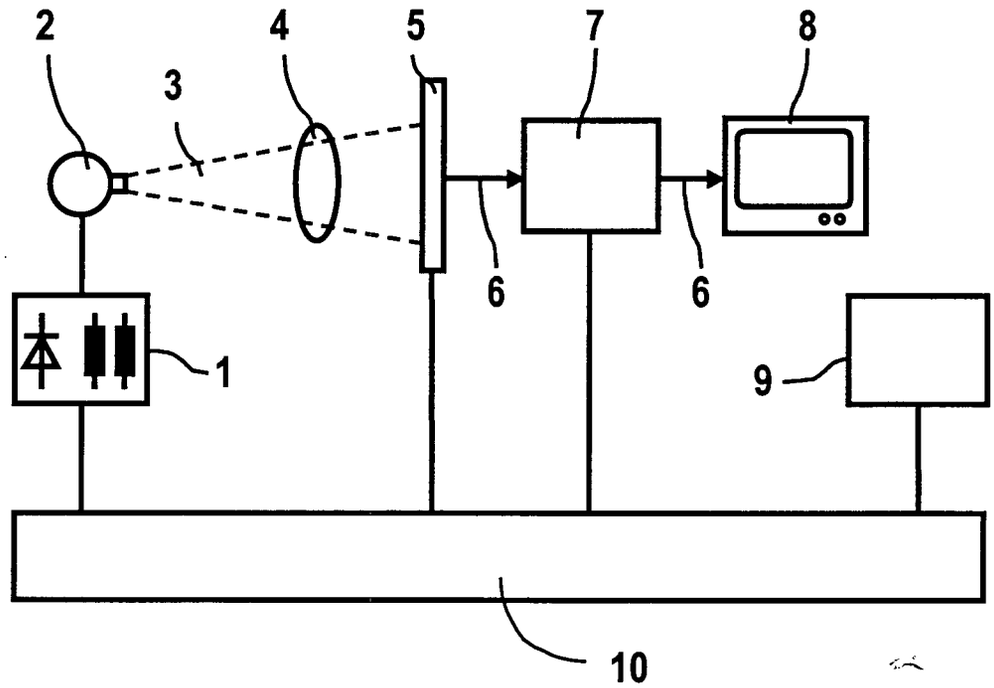


FIG 1

Nummer: DE 101 41 085 A1
Int. Cl.[7]: A 61 B 6/00
Offenlegungstag: 15. Mai 2003

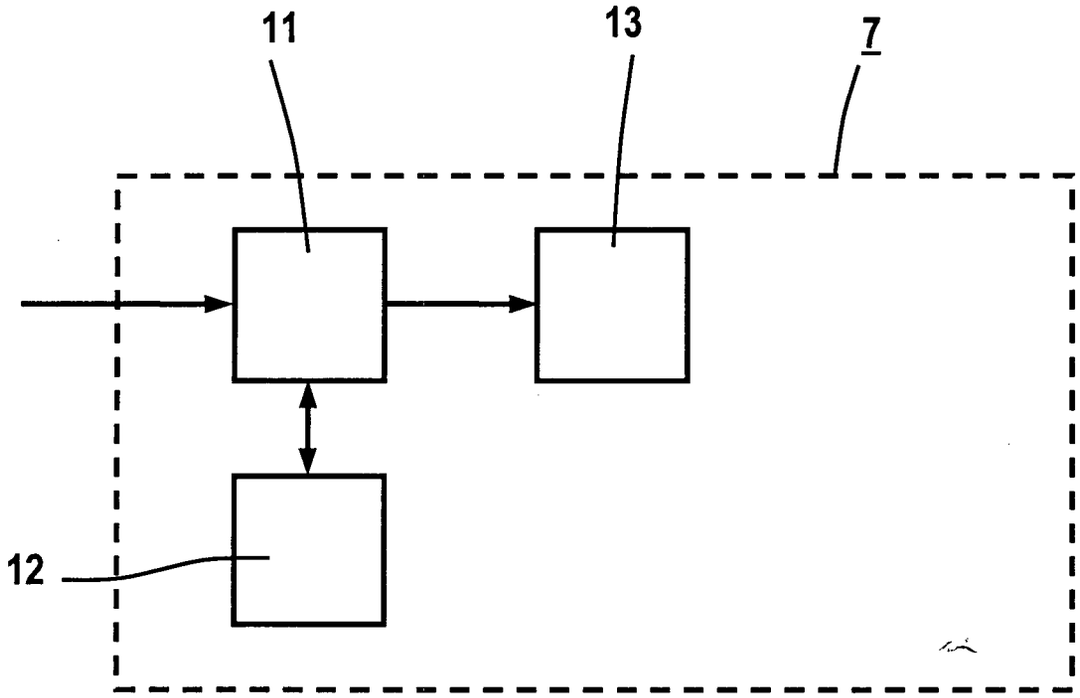


FIG 2

Nummer: DE 101 41 085 A1
Int. Cl.[7]: A 61 B 6/00
Offenlegungstag: 15. Mai 2003

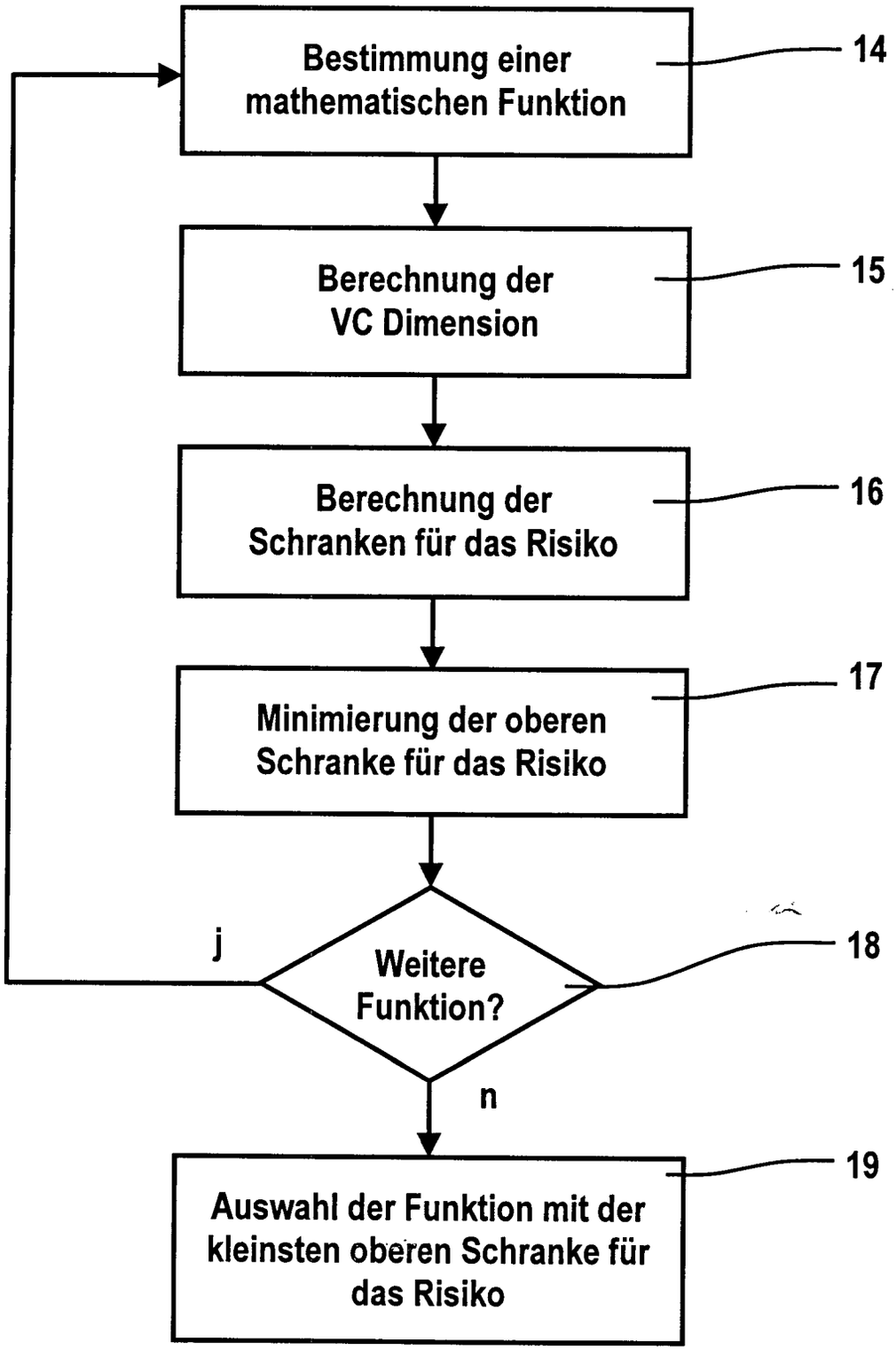


FIG 3