



(10) **DE 10 2014 108 971 A1** 2015.12.31

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 108 971.5**

(22) Anmeldetag: **26.06.2014**

(43) Offenlegungstag: **31.12.2015**

(51) Int Cl.: **H04N 5/33** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Technische Universität Dresden, 01069 Dresden,
DE**

(72) Erfinder:

**Tempelhahn, Alexander, 01237 Dresden, DE;
Budzier, Helmut, 01309 Dresden, DE; Gerlach,
Gerald, Prof., 01069 Dresden, DE**

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Lippert, Stachow & Partner, 01309
Dresden, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

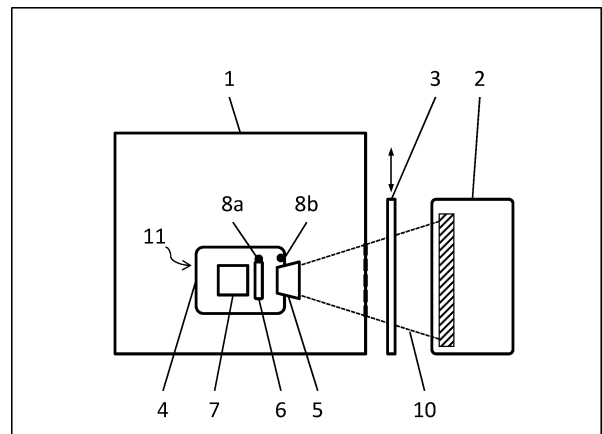
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Kalibrierverfahren und Korrekturverfahren für ein verschlussloses Infrarotkamerasystem und selbiges**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung, die sowohl ein Kalibrier- als auch ein Korrekturverfahren für ein verschlussloses Infrarotkamerasystem betrifft, liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Korrektur aufgenommener Infrarotbilder (IR-Bilder) zur Verfügung zu stellen, welches ohne mechanische Hilfsmittel auskommt und sowohl für Infrarotkamerasysteme mit temperaturstabilisiertem als auch mit temperaturunstabilisiertem Sensor einsetzbar ist, sowie ein Verfahren, mittels dem auch Infrarotkamerasysteme mit hohen Sensorauflösungen mit deutlich reduziertem Zeitaufwand kalibriert werden können. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass unter definierten Bedingungen eine einen von der Umgebungstemperatur beeinflussten Störanteil des gelieferten Signals repräsentierende Messunsicherheit in Abhängigkeit von einer Sensortemperatur und/oder mindestens einer Kamertemperatur bestimmt wird, wobei die Einflüsse der Umgebungstemperatur durch Korrekturfunktionen in Abhängigkeit von der Sensortemperatur und/oder der Kamertemperatur abgeschätzt werden und deren kamerasystemspezifischen Korrekturkoeffizienten in einer Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit zur späteren Korrektur eines Infrarotbildes in einem Korrekturverfahren hinterlegt werden.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	197 15 983	C1
DE	100 55 862	A1
DE	10 2005 010 986	A1
DE	10 2008 005 167	A1
DE	10 2010 015 693	A1
DE	10 2010 023 168	A1
US	6 515 285	B1
US	6 730 909	B2
US	2002 / 0 166 968	A1
US	5 756 999	A
WO	97/ 15 813	A1

BIESZCZAD, Grzegorz et al.: Method of detectors offset correction in thermovision camera with uncooled microbolometer focal plane array, Proc. of SPIE Vol. 7481, 2009, pp. 74810O-1 - 74810O-8.

BUDZIER, Helmut: Radiometrische Kalibrierung ungekühlter Infrarot-Kameras. Dresdner Beiträge zur Sensorik, Band 51. ISBN 978-3-944331-45-4. Dresden: TUDpress Verlag der Wissenschaften, 2014.

OLBRYCHT, Robert et al.: Thermal drift compensation method for microbolometer thermal cameras, Applied Optics, Vol. 51, No. 11, April 2012, pp. 1788-1794.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Kalibrierverfahren für ein verschlussloses Infrarotkamarasystem umfassend ein Gehäuse, eine infrarotdurchlässige Optik, eine Sensormatrix im folgenden Sensor genannt, bestehend aus mehreren Sensorelementen, die eine in das Gehäuse einfallende Strahlung detektieren und im Ansprechen darauf jeweils ein Signal an eine Signalverarbeitungseinheit liefern sowie jeweils einen Offset und eine Empfindlichkeit aufweisen, wobei für jedes Sensorelement eine Offsetkorrektur in Abhängigkeit von einer in einem Temperaturschrank regelbaren Umgebungstemperatur sowie von regelbaren Strahlungsquellen durchgeführt wird.

[0002] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Korrekturverfahren für ein verschlussloses Infrarotkamarasystem umfassend ein Gehäuse, eine infrarotdurchlässige Optik, eine Sensormatrix im folgenden Sensor genannt, bestehend aus mehreren Sensorelementen, die eine in das Gehäuse einfallende Strahlung detektieren und im Ansprechen darauf jeweils ein Signal an eine Signalverarbeitungseinheit liefern, wobei für jedes Sensorelement eine Offsetkorrektur durch eine Korrekturrechnung mit kamerasystemspezifischen Korrekturparametern durchgeführt wird.

[0003] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Infrarotkamarasystem, umfassend ein Gehäuse, eine infrarotdurchlässige Optik, eine Sensormatrix bestehend aus mehreren Sensorelementen und eine digitale Signalverarbeitungseinheit, welches das Kalibrierverfahren und das Korrekturverfahren nutzt.

[0004] Oberflächentemperaturen und deren Verteilung werden mittels Infrarotkameras bestimmt. Hierzu kommen meist ungekühlte Mikrobolometer in Form von Sensormatrizen zum Einsatz. Eine Sensormatrix besteht aus einzelnen Mikrobolometersensoren, die in einer großen Anzahl in Zeilen i und Spalten j angeordnet sind. Die Einzelsensoren der Sensormatrix werden auch Sensorelement oder Pixel genannt, wobei jedes Sensorelement eindeutig einer Position ij der Sensormatrix zugeordnet wird. Einfallende Strahlung wird absorbiert und die resultierende Temperaturänderung bewirkt eine Änderung des elektrischen Widerstandes innerhalb des Sensormaterials. Zyklisch wird ein konstanter elektrischer Strom durch die Einzelsensoren geschickt, wobei sich aus der Widerstandsänderung eine veränderliche Signalspannung ergibt. Diese wird durch digitale Signalverarbeitungsschritte weiterverarbeitet, wobei schließlich eine Infrarotaufnahme in Form eines Infrarotbildes (IR-Bild) der Oberflächentemperatur eines zu untersuchenden Objektes oder einer Messszene abgebildet werden kann. Dabei dient eine Kalibrierung der Infrarotkamera bzw. des Infrarotkamarasystems (IR-Kamera) dazu, aus einem Messsignal (Rohbild) unter Berücksichtigung aller technisch-physikalischen Ei-

genschaften der IR-Kamera ein strahlungsproportionales Ausgangssignal (IR-Bild) zu berechnen.

[0005] Die Ausgangssignalspannung eines Sensorelementes ist proportional zum ausgetauschten Strahlungsfluss. Die Strahlungs-Spannungs-Kennlinien der einzelnen Sensorelemente einer Sensormatrix variieren in bestimmten Grenzen.

[0006] Infrarotdurchlässige Linsen fokussieren Bereiche des Objektraumes auf die Sensorelemente. Aufgrund des großen Öffnungswinkels der Sensorelemente detektieren diese sowohl die Strahlungsanteile von der beobachteten Szene als auch Strahlungsanteile, welche vom Innenraum der Infrarotkamera stammen (**Fig. 1**). Der Betrag der Störstrahlungsanteile ist von verschiedenen Faktoren abhängig, u.a. von der Umgebungstemperatur und von den Wärmeverlusten innerhalb der Infrarotkamera. Diese Abhängigkeit von äußeren Umständen bewirkt, dass sich der Betrag an detektierter Störstrahlung unvorhersehbar ändert und die Temperaturmessung beeinflusst. Für eine möglichst geringe Messunsicherheit muss der Einfluss der Störstrahlung auf das Ausgangssignal jedes Sensorelementes korrigiert werden.

[0007] Die Hauptkennlinienparameter eines Mikrobolometer-Sensorelementes sind die Empfindlichkeit (gain) und der Arbeitspunkt (Offset). Technologiebedingt haben die einzelnen Sensorelemente eines Mikrobolometerarrays individuell unterschiedliche Arbeitspunkte (Offsets) und Empfindlichkeiten und somit voneinander abweichende Kennlinien bezüglich des einfallenden Strahlungsflusses. Durch eine Korrektur dieser Ungleichförmigkeit (auch NUC – Non-Uniformity-Correction genannt) können alle Sensorelemente auf eine einheitliche Kennlinie, eine sogenannte Normkennlinie, umgerechnet werden. Bisher wird die Ungleichförmigkeit der Sensorelement-Strahlungsfluss-Spannungskennlinien korrigiert, indem eine sensorelementabhängige Differenzspannung vom Bildmittelwert bei homogener Objektstrahlung und konstanter Umgebungstemperatur berechnet wird. Die Koeffizienten der einzelnen linearen Differenzspannungsverläufe werden durch einen Kennlinienabgleich bestimmt. Dafür werden zwei Infrarotaufnahmen einer homogenen Strahlungsquelle bei verschiedenen Temperaturen (Objekttemperaturen), welche den gesamten Sichtbereich der Infrarotkamera abdecken, benötigt.

[0008] Mikrobolometersensoren können mit und ohne Temperaturstabilisierung betrieben werden. Da die beiden Hauptkennlinienparameter der Sensorelemente, Empfindlichkeit und Offset, von der Sensortemperatur abhängen, sind diese bei einem temperaturstabilisierten Mikrobolometersensor nahezu konstant. Ist der Sensor nicht temperaturstabilisiert, variieren die Kennlinienparameter in Abhängigkeit von

der Sensortemperatur. Unter der Annahme, dass alle Sensorelement dieselbe Arbeitspunkttemperatur besitzen, ist die Änderung der Empfindlichkeit und des Offsets für alle Sensorelemente gleich groß.

[0009] Aufgrund von Wärmeleitung durch das Kameragehäuse ist die Sensortemperatur an die Umgebungstemperatur gekoppelt. Somit wirken sich Änderungen der Umgebungstemperatur sowohl auf den Betrag des absorbierten Strahlungsflusses als auch auf die Kennlinienparameter, Empfindlichkeit und Offset der einzelnen Sensorelemente aus. Die Sensortemperatur steht während einer Messung als zusätzliche Messgröße am jeweiligen Sensorelementausgang zur Verfügung. Dadurch ist es möglich, den Einfluss der Sensortemperaturabhängigkeit auf die Signalspannung jedes Sensorelements zu korrigieren.

[0010] Der Anteil der Störstrahlung an der jeweiligen Signalspannung eines Sensorelements wird bisher in den meisten Fällen unter Zuhilfenahme eines optischen Verschlusses (Shutters) bestimmt, um anschließend vom Messsignal abgezogen zu werden und damit das Ausgangssignal zu korrigieren. Beispielsweise wird in Budzier, H., „Radiometrische Kalibrierung ungekühlter Infrarot-Kameras“, TUDpress, Dresden, 2014, ISBN 978-3-944331-45-4, der Shutter geschlossen, so dass ausschließlich die Innenraumstrahlung von jedem Sensorelement der Sensormatrix detektiert wird. Dieser Offset der Ausgangsspannung wird anschließend über die Shutterkennlinie gewichtet und vom Messsignal bei geöffnetem Shutter subtrahiert. Dazu wird die sogenannte Shutterkennlinie aufgenommen, die das Verhältnis von Shutter-auf-Signal und Shutter-zu-Signal in Abhängigkeit von der Infrarotkammerinnentemperatur darstellt. Ändert sich die Infrarotkammerinnentemperatur um einen gewissen Wert oder ist eine bestimmte Zeit vergangen, wird dieser Vorgang wiederholt.

[0011] Ein zweites Verfahren ist aus Olbrycht, R. et al., „Thermal drift compensation method for microbolometer thermal cameras“, Applied Optics, Vol. 51, No. 11, S. 1788ff., 2012 bekannt. Anstelle eines Shutters wird ein Infrarotfilter verwendet, welcher zyklisch in den Strahlengang der Infrarotkamera eingeschwenkt wird. Die weiteren Verfahrensschritte entsprechen dem Korrekturverfahren mit Shutter.

[0012] Die beiden zuvor beschriebenen Verfahren setzen auf zusätzliche, mechanisch bewegte Hilfsmittel, Shutter bzw. Infrarotfilter, welche die Konstruktionsmöglichkeiten von Infrarotkameras einschränken und mechanisch anfällig sind.

[0013] Vorteilhaft wären daher ein Infrarotkamerasystem und ein zugehöriges Korrekturverfahren, welches auf die mechanischen Komponenten verzichten kann. In Bieszczad, G. et al., „Method of detec-

tors offset correction in thermovision camera with uncooled microbolometer focal plane array“, SPIE Proceedings, Vol. 7481, 74810O-1-8, 2009, wird ein Verfahren offenbart, welches den Betrag der Störstrahlung anhand der Sensortemperatur für jedes Sensorelement abschätzt und vom Messwert subtrahiert, wobei allerdings nur der temperaturabhängige Offset betrachtet wird. Während die Infrarotkamera auf eine homogene und konstante Strahlungsquelle gerichtet ist, wird die Umgebungstemperatur in Intervallen über den gesamten zulässigen Bereich variiert. Bevor die Messwerte aufgenommen werden, wird gewartet, bis die Temperaturverteilung in der Infrarotkamera einen stationären Zustand angenommen hat. Für jedes Sensorelement wird die Ausgleichsrechnung zur Abschätzung der Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Sensortemperatur als Polynom 2. Ordnung durchgeführt. Während der Infrarotmessung steht die Sensortemperatur ständig als Parameter zur Verfügung. Dieses Verfahren kommt zwar ohne zusätzliche Hilfsmittel aus, jedoch beschränkt es sich auf Infrarotkameras mit nicht temperaturstabilisiertem Sensor. Zusätzlich wird die Ausgleichsrechnung der Korrekturlinie für jedes Pixel durchgeführt und benötigt entsprechend viel Zeit während der Kalibrierung der Infrarotkamera. Bei derzeit üblichen Sensorauflösungen von 640×480 Sensorelementen bzw. Pixel liegt der Zeitaufwand im Bereich mehrerer Stunden. Ein weiterer Nachteil besteht in der stark verzögerten Reaktion der Sensortemperatur auf eine Änderung der Umgebungstemperatur. Dies führt dazu, dass die Messunsicherheit nach einer sprunghaften Änderung der Umgebungstemperatur deutlich ansteigt und nur langsam wieder abnimmt.

[0014] Es ist daher Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zur Korrektur aufgenommener Infrarotbilder (IR-Bilder) zur Verfügung zu stellen, welches ohne mechanische Hilfsmittel auskommt und sowohl für Infrarotkamerasysteme mit temperaturstabilisiertem als auch mit temperaturunstabilisiertem Sensor einsetzbar ist, sowie ein Verfahren, mittels dem auch Infrarotkamerasysteme mit hohen Sensorauflösungen mit deutlich reduziertem Zeitaufwand kalibriert werden können.

[0015] Die Aufgabe wird verfahrensseitig dadurch gelöst, dass unter definierten Bedingungen eine einen von der Umgebungstemperatur beeinflussten Störanteil des gelieferten Signals repräsentierende Messunsicherheit in Abhängigkeit von einer Sensortemperatur und/oder mindestens einer Kameratemperatur bestimmt wird, wobei die Einflüsse der Umgebungstemperatur durch Korrekturfunktionen in Abhängigkeit von der Sensortemperatur und/oder der Kameratemperatur abgeschätzt werden und deren kamerasystemspezifischen Korrekturkoeffizienten in einer Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit zur späteren Korrektur eines Infrarotbildes hinterlegt werden.

[0016] In einer Ausgestaltung des Kalibrierverfahrens wird das Kalibrierverfahren für ein Infrarotkamarasystem mit temperaturstabilisiertem Sensor eingesetzt. Dabei wird davon ausgegangen, dass sowohl die Empfindlichkeit aller Sensorelemente der Sensormatrix als auch der Offset aller Sensorelemente der Sensormatrix konstant sind und falls Unterschiede bei den Hauptkennlinienparametern zwischen den Sensorelementen vorliegen, diese nur in bestimmten Grenzen variieren.

[0017] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung wird das Kalibrierverfahren für ein Infrarotkamarasystem mit einem temperaturunstabilierten Sensor eingesetzt. Daher muss bei einem Kalibrierverfahren sowohl die sensortemperaturabhängige Empfindlichkeitsänderung als auch die sensortemperaturabhängige Offsetänderung der Sensorelemente berücksichtigt werden.

[0018] Für ein Infrarotkamarasystem mit temperaturstabilisiertem Sensor wird das folgende Kalibrierverfahren vorgeschlagen: Für die Sensormatrix wird ein Arbeitspunkt eingestellt, wobei ein Objekttemperaturbereich und ein Umgebungstemperaturbereich vorgegeben werden. Es wird eine kameratemperatur-spezifische Ungleichförmigkeit aller Sensorelemente mittels eines ersten Kennlinienabgleichs vom Grad n bestimmt, wobei $n \geq 2$ ist und Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$ in der Speichereinheit gespeichert werden, wobei die Ungleichförmigkeitskorrektur bei $n + 1$ verschiedenen Umgebungstemperaturen und einer konstanten, homogenen Objekttemperatur durchgeführt wird.

[0019] Weiterhin wird eine Korrekturkurve zur Berücksichtigung einer Kamerarinnenraumstrahlung ermittelt, wobei die Kameratemperatur an m Stellen innerhalb des Gehäuses des Infrarotkamarasystems, mit $m \geq 1$, gemessen wird und die Abhängigkeit der Signalspannung des Sensors von der Kameratemperatur mittels einer Ausgleichsrechnung, insbesondere einer Polynomapproximation mindestens zweiter Ordnung ermittelt wird, wobei die Polynomkoeffizienten $\alpha_{K,m}$, $\beta_{K,m}$, $\gamma_{K,m}$ in der Speichereinheit gespeichert werden. Dabei sind die Anzahl m und die Position der Temperaturmessstellen innerhalb des Gehäuses des Infrarotkamarasystems besonders wichtig, um den genauen Einfluss der unterschiedlichen Kameratemperaturen innerhalb des Gehäuses auf die Signalspannung des Sensors zu ermitteln.

[0020] Weiterhin wird eine objekttemperaturspezifische Ungleichförmigkeit des Infrarotkamarasystems mittels eines zweiten Kennlinienabgleichs vom Grad n bestimmt, wobei $n \geq 1$ ist und Korrekturkoeffizienten-Matrizen $b_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$ in der Speichereinheit gespeichert werden, wobei die Ungleichförmigkeitskorrektur bei $n + 1$ verschiedenen Objekttemperaturen und einer konstanten Umgebungstempera-

tur durchgeführt wird. Die Kameratemperatur wird an den m Stellen innerhalb des Gehäuses des Infrarotkamarasystems, mit $m \geq 1$, gemessen und dient als Bezugskameratemperatur für das spätere Korrekturverfahren.

[0021] Der erste Kennlinienabgleich muss mindestens vom Grad $n = 2$, also anhand von drei Stützstellen, erfolgen und entspricht somit einer Drei-Punkt-Korrektur. Der zweite Kennlinienabgleich muss mindestens vom Grad $n = 1$, also anhand von zwei Stützstellen, erfolgen und entspricht somit einer Zwei-Punkt-Korrektur. Um die Messunsicherheit der korrigierten Signalspannungen der Sensorelemente zu reduzieren, können beide Kennlinienabgleiche zum gleichen Grad (aber mindestens zum Grad $n = 2$) als Drei-Punkt-Korrektur durchgeführt werden.

[0022] Nach jedem Kalibrierschritt sollte eine Bestimmung von Sensorelementen erfolgen, deren Verhalten außerhalb definierter Grenzen liegt. Die Ausgangssignale dieser Sensorelemente werden für alle weiteren Schritt ignoriert und durch gemittelte Ausgangssignale benachbarter Sensorelemente ersetzt. Dies führt zu einer geringeren Messunsicherheit der korrigierten IR-Bilder.

[0023] Den korrigierten Signalspannungen der einzelnen Sensorelemente können in einem letzten Signalverarbeitungsschritt, einem sogenannten radiometrischen Abgleich, Temperaturen zugeordnet werden. Bei diesem radiometrischen Abgleich wird mit Hilfe kalibrierter Strahlungsquellen bei unterschiedlichen Objekttemperaturen eine Umrechnungsvorschrift bestimmt, um den korrigierten Sensorsignalspannungen absolute Objekttemperaturen zuzuordnen. Diese Umrechnungsvorschrift wird in einer Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit gespeichert.

[0024] Für ein Infrarotkamarasystem mit temperaturunstabiliertem Sensor wird das folgende Kalibrierverfahren vorgeschlagen: Für die Sensormatrix wird ein Arbeitspunkt eingestellt, wobei ein Objekttemperaturbereich und ein Umgebungstemperaturbereich vorgegeben werden. Es wird eine sensortemperaturabhängige Empfindlichkeitsänderung aller Sensorelemente mit einem Polynom zweiter Ordnung approximiert und es werden Korrekturkoeffizienten g_2 , g_1 , g_0 in der Speichereinheit gespeichert, wobei eine Signalspannungsdifferenzänderung von mindestens zwei verschiedenen konstanten Objekttemperaturen in Abhängigkeit von der gemessenen Sensortemperatur bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen gemessen wird.

[0025] Weiterhin wird eine sensortemperaturabhängige Offsetänderung aller Sensorelemente mit einem Polynom dritter Ordnung approximiert und es werden Korrekturkoeffizienten o_3 , o_2 , o_1 , o_0 in der Speicher-

einheit gespeichert, wobei bei einer konstanten Objekttemperatur in Abhängigkeit von der Sensortemperatur bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen eine Signalspannungsänderung gemessen wird. Nach diesen Berechnungsschritten verhält sich das Infrarotkamarasystem so, als wäre der Sensor temperaturstabilisiert. Die folgende Kalibrierung gleicht also der eines Infrarotkamarasystems mit einem temperaturstabilisierten Sensor. Es wird eine kameratemperspezifische Ungleichförmigkeit aller Sensorelemente mittels eines ersten Kennlinienabgleichs vom Grad n bestimmt, wobei $n \geq 2$ ist und Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$ in der Speichereinheit gespeichert werden, wobei die Ungleichförmigkeitskorrektur bei $n + 1$ verschiedenen Umgebungstemperaturen und einer konstanten, homogenen Objekttemperatur durchgeführt wird.

[0026] Weiterhin wird eine Korrekturkurve zur Berücksichtigung einer Kamerarinnenraumstrahlung ermittelt, wobei die Kameratemperatur an m Stellen innerhalb des Gehäuses des Infrarotkamarasystems, mit $m \geq 1$, gemessen wird und die Abhängigkeit der Signalspannung des Sensors von der Kameratemperatur mittels einer Ausgleichsrechnung, insbesondere einer Polynomapproximation mindestens zweiter Ordnung ermittelt wird, wobei die Polynomkoeffizienten $\alpha_{K,m}$, $\beta_{K,m}$, $\gamma_{K,m}$ in der Speichereinheit gespeichert werden.

[0027] Weiterhin wird eine objekttemperaturspezifische Ungleichförmigkeit des Infrarotkamarasystems mittels eines zweiten Kennlinienabgleichs vom Grad n bestimmt, wobei $n \geq 1$ ist und Korrekturkoeffizienten-Matrizen $b_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$ in der Speichereinheit gespeichert werden, wobei die Ungleichförmigkeitskorrektur bei $n + 1$ verschiedenen Objekttemperaturen und einer konstanten Umgebungstemperatur durchgeführt wird. Die Kameratemperatur wird an den m Stellen innerhalb des Gehäuses des Infrarotkamarasystems, mit $m \geq 1$, gemessen und dient zusammen mit der ebenfalls gemessenen Sensortemperatur als Bezugstemperatur für das spätere Korrekturverfahren.

[0028] Der erste Kennlinienabgleich muss mindestens vom Grad $n = 2$, also anhand von drei Stützstellen, erfolgen und entspricht somit einer Drei-Punkt-Korrektur. Der zweite Kennlinienabgleich muss mindestens vom Grad $n = 1$, also anhand von zwei Stützstellen, erfolgen und entspricht somit einer Zwei-Punkt-Korrektur. Um die Messunsicherheit der korrigierten Signalspannungen der Sensorelemente zu reduzieren, können beide Kennlinienabgleiche zum gleichen Grad (aber mindestens zum Grad $n = 2$) als Drei-Punkt-Korrektur durchgeführt werden.

[0029] Nach jedem Kalibrierschritt sollte eine Bestimmung von Sensorelementen erfolgen, deren Verhalten außerhalb definierter Grenzen liegt. Die Aus-

gangssignale dieser Sensorelemente werden für alle weiteren Schritte ignoriert und durch gemittelte Ausgangssignale benachbarter Sensorelemente ersetzt. Dies führt zu einer geringeren Messunsicherheit der korrigierten IR-Bilder.

[0030] Den korrigierten Signalspannungen der einzelnen Sensorelemente können in einem letzten Signalverarbeitungsschritt, einem sogenannten radiometrischen Abgleich, Temperaturen zugeordnet werden. Bei diesem radiometrischen Abgleich wird mit Hilfe kalibrierter Strahlungsquellen bei unterschiedlichen Objekttemperaturen eine Umrechnungsvorschrift bestimmt, um den korrigierten Sensorsignalspannungen absolute Objekttemperaturen zuzuordnen. Diese Umrechnungsvorschrift wird in einer Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit gespeichert.

[0031] Die Rohdatenerfassung der IR-Bilder und die Erfassung der jeweils zugehörigen Sensor- und Kameratemperaturen für die einzelnen Schritte des Kalibrierverfahrens können in einer beliebigen Reihenfolge erfolgen und sind für die abschließende Bereitstellung der Korrekturkoeffizienten bzw. Polynomkoeffizienten nicht entscheidend. Vielmehr ist es wichtig, dass die ermittelten Korrekturkoeffizienten bzw. Polynomkoeffizienten für eine spätere Korrektur eines Infrarotbildes in einer Speichereinheit hinterlegt werden.

[0032] Die Aufgabe wird ebenfalls verfahrensseitig dadurch gelöst, dass die in dem Kalibrierverfahren ermittelten Korrekturkoeffizienten bzw. Polynomkoeffizienten nachfolgend von einem erfindungsgemäßen Korrekturverfahren genutzt werden, wobei das Korrekturverfahren folgende Schritte aufweist:

- In einem ersten Korrekturschritt wird eine sensortemperaturabhängige Empfindlichkeitsänderung mit einem Polynom zweiten Grades korrigiert,
- in einem zweiten Korrekturschritt wird eine sensortemperaturabhängige Offsetänderung mit einem Polynom dritten Grades korrigiert,
- in einem dritten Korrekturschritt wird eine kameratemperspezifische Ungleichförmigkeit mittels eines Kurvenabgleichs vom Grad n , mit $n \geq 2$ korrigiert,
- in einem vierten Korrekturschritt wird der Einfluss einer Kamerarinnenraumstrahlung entsprechend einer Korrekturkurve korrigiert,
- in einem fünften Korrekturschritt wird eine objekttemperaturspezifische Ungleichförmigkeit des Infrarotkamarasystems mittels eines Kurvenvergleichs vom Grad n , mit $n \geq 1$ korrigiert. Dabei werden die infrarotkamarasystemspezifische Korrekturkoeffizienten, welche in einem vorgeschalteten Kalibrierverfahren unter bekannten Bedingungen ermittelt wurden, für die Korrektur einer Infrarotaufnahme verwendet.

[0033] In einer Ausgestaltung des Korrekturverfahrens nutzt der erste Korrekturschritt Korrekturkoeffizienten g_2, g_1, g_0 , die aus einer gemessenen Signalspannungsdifferenzänderung zwischen mindestens zwei verschiedenen konstanten Objekttemperaturen in Abhängigkeit von einer gemessenen Sensortemperatur θ_s ermittelt werden.

[0034] In einer weiteren Ausgestaltung des Korrekturverfahrens nutzt der zweite Korrekturschritt Korrekturkoeffizienten o_3, o_2, o_1, o_0 , die aus einer Signalspannungsänderung bei einer konstanten Objekttemperatur in Abhängigkeit der Sensortemperatur θ_s bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen ermittelt werden.

[0035] In einer weiteren Ausgestaltung des Korrekturverfahrens nutzt der dritte Korrekturschritt Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$, die bei $n + 1$ verschiedenen Umgebungstemperaturen und einer konstanten, homogenen Objekttemperatur ermittelt werden.

[0036] In einer weiteren Ausgestaltung des Korrekturverfahrens nutzt der vierte Korrekturschritt Polynomkoeffizienten $\alpha_{K,m}, \beta_{K,m}, \gamma_{K,m}$ einer Korrekturkurve und gemessene Kamertemperaturen $\theta_{K,m}$ an m verschiedenen Stellen innerhalb des Gehäuses des Infrarotkamarasystems, mit $m \geq 1$, wobei die Polynomkoeffizienten aus der Abhängigkeit der Signalspannung des Sensors von der Kamertemperatur $\theta_{K,m}$ an verschiedenen Stellen m innerhalb des Gehäuses des Infrarotkamarasystems, mit $m \geq 1$ ermittelt werden.

[0037] In einer weiteren Ausgestaltung des Korrekturverfahrens nutzt der fünfte Korrekturschritt Korrekturkoeffizienten-Matrizen $b_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$, die bei $n + 1$ verschiedenen Objekttemperaturen und einer konstanten Umgebungstemperatur ermittelt werden.

[0038] Vorzugsweise kann das Korrekturverfahren durch einen radiometrischen Abgleich erweitert werden. Dabei werden die Signalspannungen in absolute Objekttemperaturen mit Hilfe einer Umrechnungsvorschrift umgerechnet, wobei diese Umrechnungsvorschrift in einem radiometrischen Abgleich im Rahmen eines Kalibrierprozesses des Infrarotkamarasystems mit Hilfe kalibrierter Strahlungsquellen bei unterschiedlichen Objekttemperaturen ermittelt wurde.

[0039] In einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Korrekturverfahrens werden für einen temperaturunstabilierten Sensor die Korrekturschritte eins bis fünf durchgeführt, d.h. vom ersten Korrekturschritt bis zum fünften Korrekturschritt.

[0040] In einer anderen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Korrekturverfahrens werden für einen temperaturstabilisierten Sensor lediglich die Korrekturschritte drei bis fünf durchgeführt, d.h. vom dritten Korrekturschritt bis zum fünften Korrekturschritt. Die ersten beiden Korrekturschritte sind nicht notwendig, da bei einem Infrarotkamarasystem mit einem temperaturstabilisierten Sensor davon ausgegangen wird, dass die Empfindlichkeit und der Offset der Sensorelemente bei sich ändernder Umgebungstemperatur für alle Sensorelemente konstant bleiben.

[0041] Anordnungsseitig wird die Aufgabe durch ein Infrarotkamarasystem gelöst, wobei im Inneren des Gehäuses des Infrarotkamarasystems mindestens zwei eine Kamertemperatur messende Temperaturmessmittel angeordnet sind.

[0042] In einer Ausgestaltung des Infrarotkamarasystems ist das Temperaturmessmittel als ein Thermoelement und / oder ein thermischer Widerstand ausgebildet.

[0043] Im Folgenden soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

[0044] Die zugehörigen Zeichnungen zeigen

[0045] Fig. 1 eine schematische Darstellung der von den Sensorelementen detektierten Strahlungsflüsse aus dem betrachteten Halbraum,

[0046] Fig. 2 eine schematische Darstellung der Kalibrieranordnung eines Infrarotkamarasystems,

[0047] Fig. 3 einen schematischen Ablauf eines Korrekturverfahrens für ein Infrarotkamarasystem mit einem temperaturstabilisierten Sensor, wobei drei Kamerrinnenraumtemperaturen gemessen werden und beide Kennlinienabgleiche zum Grad $n = 2$ erfolgen und die Matrixmultiplikationen elementweise durchgeführt werden,

[0048] Fig. 4 einen schematischen Ablauf eines Korrekturverfahrens für ein Infrarotkamarasystem mit einem temperaturunstabilierten Sensor, wobei drei Kamerrinnenraumtemperaturen gemessen werden und beide Kennlinienabgleiche zum Grad $n = 2$ erfolgen und die Matrixmultiplikationen elementweise durchgeführt werden,

[0049] Fig. 5 eine Übersicht zur Bestimmung der Korrekturkoeffizienten-Matrizen für eine Drei-Punkt-Korrektur, wobei die Matrixmultiplikationen elementweise durchgeführt werden,

[0050] Fig. 6 eine Übersicht zur Bestimmung der Korrekturkoeffizienten-Matrizen für eine Zwei-Punkt-Korrektur, wobei die Matrixmultiplikationen elementweise durchgeführt werden.

[0051] Fig. 2 zeigt schematisch ein Infrarotkamarasystem **11** in einem Temperaturschrank **1**, wobei der vollständige Sichtbereich **10** des Infrarotkamarasystems **11** von einem Flächenstrahler **2** ausgefüllt wird. Eine bewegliche schwarzmatte Blende **3** kann in den Sichtbereich des Infrarotkamarasystems hinein- und ausgeschwenkt werden, so dass diese den Sichtbereich des Infrarotkamarasystems vollständig bedeckt. Mit diesem Aufbau können die Bedingungen zur Kalibrierung des Infrarotkamarasystems **11** gezielt eingestellt sowie kontrolliert werden.

[0052] In einem ersten Ausführungsbeispiel soll das Kalibrierverfahren eines Infrarotkamarasystems **11** mit temperaturstabilisiertem Sensor näher erläutert werden. Dabei kann der Sensor des Infrarotkamarasystems **11** beispielsweise durch ein Peltierelement auf einer konstanten Temperatur gehalten werden. Durch die konstante Sensortemperatur wird davon ausgegangen, dass die Empfindlichkeit und der Offset der einzelnen Sensorelemente konstant und unabhängig von der Umgebungstemperatur sind. Während der Kalibrierung befindet sich das Infrarotkamarasystem in einem Temperaturschrank **1**, dessen Temperatur geregelt werden kann. Die Temperatur im Temperaturschrank **1** stellt die Umgebungstemperatur des Infrarotkamarasystems **11** dar und beeinflusst die Kamerainnenraumtemperatur des Infrarotkamarasystems **11**.

[0053] In einem Kalibrierschritt soll die Ungleichförmigkeit der Sensorelemente bezüglich des Einflusses unterschiedlicher Umgebungstemperaturen, d.h. unterschiedlicher Kamerainnenraumstrahlungsanteile so korrigiert werden, dass alle Sensorelemente in gleicher Weise auf Änderungen der Kamerainnenraumstrahlungsanteile reagieren. Das Infrarotkamarasystem **11** ist dabei auf einen Flächenstrahler **2** mit einer homogenen Strahlungsfläche mit einer konstanten Temperatur und damit einer konstanten Ausstrahlung Φ gerichtet. Nun werden mindestens drei Umgebungstemperaturen T_{U1} , T_{U2} , T_{U3} im Temperaturschrank **1** eingestellt, wobei die Kameratemperatur des Infrarotkamarasystems **11** an die Umgebungstemperatur gekoppelt ist. Vorzugsweise werden die Temperaturen im Temperaturschrank **1** so eingestellt, dass sie den Werten der oberen und unteren Grenze des zulässigen Umgebungstemperaturmessbereiches des Infrarotkamarasystems **11** entsprechen. Die verbleibende Anzahl benötigter Temperaturen sollten sich gleichmäßig über den Umgebungstemperaturmessbereich verteilen. Im eingeschwungenen Zustand werden die unkorrigierten Sensorelementspannungen $U_{p,ij}$ an den mindestens drei Stützstellen, d.h. bei den eingestellten Umgebungstemperaturen T_{U1} , T_{U2} , T_{U3} gemessen, wobei die Absolutwerte der Temperaturen hier nicht interessieren. Aus den gemessenen Signalspannungen $U_{p,ij}$ aller Sensorelemente an den jeweiligen Stützstellen werden die ele-

mentweise quadrierten Werte $U_{p,ij}^2$, der Mittelwert \bar{U}_p und die Differenzen zum Mittelwert $\Delta U_{p,ij}$ berechnet. Unter Verwendung der Berechnungsvorschrift aus Fig. 5 werden die Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$ für eine Kennlinienabgleich in Form einer Drei-Punkt-Korrektur berechnet. Unter der Annahme, dass sich die Abweichungen der Signalspannungskurven der Sensorelemente von einer Normkurve bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen und somit unterschiedlichen Kamerainnenraumstrahlungen als quadratischer Zusammenhang ergibt, ist eine Drei-Punkt-Korrektur ausreichend. Um die Messunsicherheit weiter zu verringern, können mehr als drei Stützstellen zur Berechnung der Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$ herangezogen werden. Dazu werden mehrere Sätze von Hilfs-Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$ für unterschiedliche Kombinationen von jeweils drei Stützstellen berechnet, wobei die äußere Stützstellen gleich bleiben und nur die dritte benötigte Stützstelle variiert wird. Die berechneten Hilfs-Korrekturkoeffizienten-Matrizen vom jeweils gleichen Grad n (mit $n = 0, 1, 2$) werden anschließend gemittelt und ergeben die endgültige Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$. Diese Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2$ werden für ein späteres Korrekturverfahren einer Infrarotaufnahme unter realen Messbedingungen in einer Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit **7** des Infrarotkamarasystems **11**, beispielsweise in einem FPGA, gespeichert. Nach diesem ersten Schritt der Kalibrierung ist das korrigierte Infrarotbild homogen für unterschiedliche Umgebungstemperaturen und der Absolutwert der korrigierten Signalspannungen entspricht dem Betrag des Mittelwertes der unkorrigierten Signalspannungen aller Sensorelemente.

[0054] In einem anderen Kalibrierschritt soll der Einfluss unterschiedlicher Umgebungstemperaturen, d.h. unterschiedlicher Kamerainnenraumstrahlungsanteile, anhand der gemessenen Kamerainnenraumtemperatur, im Folgenden als Kameratemperatur bezeichnet, betragsmäßig korrigiert werden, wobei das Infrarotkamarasystem auf einen homogen strahlenden Flächenstrahler **2** mit einer konstanten Temperatur T_{obj} gerichtet ist und wobei die Umgebungstemperatur im Temperaturschrank **1** nach einem vorgegebenen, aber beliebigen Temperaturregime verändert wird. Während sich die Temperatur im Temperaturschrank **1** ständig ändert, wird über die Zeit t an mindestens einer Stelle innerhalb des Infrarotkamarasystems die Kameratemperatur $\theta_{K,1}$ und der Mittelwert aller Sensorelemente \bar{U}_p gemessen. Dabei erfolgt die Messung zu verschiedenen Zeitpunkten i . Vorzugsweise sind mehrere Temperatursensoren innerhalb des Gehäuses **4** des Infrarotkamarasystems angeordnet und die Kameratemperatur kann an mehreren Stellen $m = 1, 2, 3, \dots$ gleichzeitig gemessen werden. Es wird angenommen, dass sich eine Umgebungstemperaturänderung unterschiedlich auf den Kamerainnenraum auswirkt

und der Gesamtstörstrahlungsanteil als lineare Überlagerung verschiedener Strahlungsanteile angesehen werden kann, welche sich durch Temperaturmessungen an verschiedenen Stellen m innerhalb der Kamera abschätzen lassen können.

[0055] Ziel dieses Schrittes ist es, den Einfluss unterschiedlicher Umgebungstemperaturen und damit Kamerarinnenraumtemperaturen betragsmäßig zu korrigieren, so dass der korrigierte Absolutwert der Signalspannung unabhängig von der Umgebungstemperatur ist. Der Signalspannungsanteil $U_{K,m}$, hervorgerufen durch die Kamerarinnenraumstrahlung, wird indirekt über die Messung der Kamerarinnenraumtemperaturen $\theta_{K,m}$ an den Stellen m bestimmt und mit einem quadratischen Polynom $U_{K,m}(\theta_{K,m}) = \alpha_{K,m} \cdot \theta_{K,m}^2 + \beta_{K,m} \cdot \theta_{K,m} + \gamma_{K,m}$ approximiert. Diese Gleichung ist durch die große Anzahl von aufgenommenen Messwerten an der zugehörigen Kameratemperaturen zum jeweiligen Messzeitpunkt i überbestimmt, so dass sich die Koeffizienten $\alpha_{K,m}$, $\beta_{K,m}$, $\gamma_{K,m}$ durch eine Ausgleichsrechnung bestimmen lassen. Diese werden ebenfalls in einer Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit **7** des Infrarotkamarasystems, beispielsweise in einem FPGA für ein späteres Korrekturverfahren einer Infrarotaufnahme unter realen Messbedingungen abgelegt.

[0056] In einem weiteren Kalibrierschritt soll die Ungleichförmigkeit der Sensorelemente bezüglich des Einflusses unterschiedlicher Objektstrahlungen so korrigiert werden, dass alle Sensorelemente in gleicher Weise auf Änderungen in der Objektstrahlung reagieren. Dafür befindet sich das Infrarotkamarasystem in einen Temperaturschrank **1**. Die Umgebungstemperatur wird auf einem konstanten Wert T_U gehalten, wobei die sich dabei einstellenden Kameratemperaturen $\theta_{K0,m}$ gemessen werden und als Bezugskameratemperaturen für das Korrekturverfahren dienen. Die Temperatur des Flächenstrahlers **2** auf den das Infrarotkamarasystem gerichtet ist, wird variiert. Dabei werden mindestens zwei unterschiedliche Flächenstrahlertemperaturen, d.h. Objekttemperaturen $T_{Obj,1}$, $T_{Obj,2}$ eingestellt. Zur Verringerung der Messunsicherheiten kann die Anzahl der Objekttemperaturen T_{Obj} der Anzahl an eingestellten Umgebungstemperaturen T_U aus dem Kalibrierschritt zur Korrektur der Ungleichförmigkeit des Einflusses unterschiedlicher Umgebungstemperaturen, d.h. Kameratemperaturen, entsprechen. In diesem Fall erfolgt die Bestimmung der Korrekturkoeffizienten analog zur dargestellten Berechnungsvorschrift in **Fig. 5**. Bei einer Zwei-Punkt-Korrektur werden wieder die Sensorelementspannungen $U_{p,ij}$ an den mindestens zwei Stützstellen, d.h. bei den eingestellten Objekttemperaturen gemessen, wobei die Absolutwerte der Temperaturen auch hier nicht interessieren. Aus den gemessenen Signalspannungen $U_{p,ij}$ aller Sensorelemente an den jeweiligen Stützstellen werden der Mittelwert \bar{U}_p und die Differenzen zum Mittelwert $\Delta U_{p,ij}$

berechnet. Unter Verwendung der dargestellten Berechnungsvorschrift in **Fig. 6** werden die Korrekturkoeffizienten-Matrizen $b_{n,ij}$ für einen Kennlinienabgleich in Form einer Zwei-Punkt-Korrektur berechnet. Unter der Annahme, dass sich die Abweichungen der Signalspannungskurven der Sensorelemente von einer Normkurve bei unterschiedlichen Objekttemperaturen als linearer Zusammenhang ergeben, ist eine Zwei-Punkt-Korrektur ausreichend. Diese Korrekturkoeffizienten-Matrizen $b_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2$ werden für ein späteres Korrekturverfahren einer Infrarotaufnahme unter realen Messbedingungen in der Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit **7** des Infrarotkamarasystems **11**, beispielsweise in einem FPGA gespeichert. Nach diesem Schritt und der Durchführung der vorher genannten Kalibrierschritte ergibt sich bei konstanter Objektstrahlung ein homogenes, umgebungstemperaturunabhängiges und damit auch kamerarinnenraumtemperaturunabhängiges Infrarotbild.

[0057] Vor dem ersten und nach jedem einzelnen Kalibrierschritt können diejenigen Sensorelemente bestimmt werden, deren Verhalten, d.h. beispielsweise deren Ausgangssignalspannungen außerhalb definierter Grenzen liegen. Die Ausgangssignale dieser Sensorelemente werden für alle weiteren Schritte ignoriert und durch gemittelte Ausgangssignale benachbarter Sensorelemente ersetzt.

[0058] Durch den radiometrischen Abgleich werden den korrigierten Signalspannungen der einzelnen Sensorelemente Temperaturen zugeordnet. Dazu wird das Infrarotkamarasystem auf kalibrierter Strahlungsquellen gerichtet, deren absolute Objekttemperaturen bekannt sind. Die betrachteten Objekttemperaturen sollten gleichmäßig über den zulässigen Messbereich des Infrarotkamarasystems verteilt sein. Die Umrechnungsvorschrift von Sensorsignalspannung in absolute Objekttemperatur kann durch eine Funktion mit Hilfe einer Ausgleichsrechnung oder durch eine Zuordnungstabelle (Look-up table) beschrieben und in einer Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit **7** des Infrarotkamarasystems **11** gespeichert werden.

[0059] In einem zweiten Ausführungsbeispiel soll das Kalibrierverfahren eines Infrarotkamarasystems mit einem temperaturunstabilisierten Sensor näher erläutert werden. Im Gegensatz zu einem Infrarotkamarasystem mit einem temperaturstabilisierten Sensor bei dem davon ausgegangen wird, dass die Sensorkenngrößen (Empfindlichkeit und Offset) nicht von der Umgebungstemperatur beeinflusst werden, ändert sich bei einem Infrarotkamarasystem mit einem temperaturunstabilisierten Sensor die Normkennlinie der Sensorparameter mit der Änderung der Umgebungstemperatur. Es ist daher zwingend notwendig, zunächst eine Empfindlichkeits- und Offset-Kalibrie-

nung durchzuführen, um die temperaturabhängige Korrektur der Normkennlinie vorzunehmen.

[0060] Dafür befindet sich das Infrarotkamarasystem in einem Temperaturschrank **1**, dessen Temperatur geregelt werden kann. Für Empfindlichkeitskalibrierung sind mindestens zwei homogene und konstante Flächenstrahler **2** mit unterschiedlichen Strahlertemperaturen (θ_{obj1} , θ_{obj2} mit $\theta_{obj1} \neq \theta_{obj2}$) notwendig. In der Kalibrieranordnung (**Fig. 2**) befindet sich außerhalb des Temperaturschranks **1** und im Strahlengang **10** zwischen den Flächenstrahlern **2** und dem Infrarotkamarasystem **11** eine schwärzmattierte Blende **3**, die die Objektstrahlung der Flächenstrahler **2** auf das Infrarotkamarasystem **11** unterbrechen kann und für den Sensor **6** des Infrarotkamarasystems **11** einen homogenen Flächenstrahler **2** darstellt. Das Infrarotkamarasystem **11** ist auf die beiden Flächenstrahler **2** gerichtet, wobei die Strahlung beider Flächenstrahler mit nur geringer Verzögerungszeit, d.h. zum annähernd gleichen Zeitpunkt t_i vom Infrarotkamarasystem gesehen wird, so dass die Kamertemperatur **8a**, **8b** vor und nach dem Ein- bzw. Ausschwenken der Blende **3** als gleich angesehen werden kann.

[0061] In einem ersten Teilschritt wird die Umgebungstemperatur im Temperaturschrank **1** nach einem vorgegebenen aber beliebigen Temperaturregime verändert und die Blende **3** wiederholt für kurze Zeit in den Strahlengang **10** zwischen den Flächenstrahlern **2** und dem Infrarotkamarasystem **11** eingeschwenkt, dass das Infrarotkamarasystem **11** abwechselnd die homogene Strahlungsfläche der Blende **3** und die des Flächenstrahlers **2** sieht. Es werden wiederholt Rohdatensätze an Sensorelementspannungen $U_{p,ij}$ aufgenommen, welche sich hinsichtlich ihrer Strahlungsquelle unterscheiden lassen. Aus diesen Daten wird der Mittelwert \bar{U}_p der Sensorelementspannungen berechnet. Anschließend wird die Differenzspannung des ersten berechneten Mittelwertes beim Blick auf die schwärzmattierte Blende **3** und des zweiten berechneten Mittelwertes beim Blick auf den Flächenstrahler **2**, über der Zeit t zu verschiedenen Zeitpunkten t_i berechnet und gespeichert, wobei die Umgebungstemperatur T_U im Temperaturschrank **1** variiert wird, wodurch sich die Sensortemperatur ändert. Mit steigender Sensortemperatur ändert sich diese Differenzspannung. Diese Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit lässt sich mit einem Polynom zweiten Grades beschreiben: $G_V(\theta_S) = g_2 \cdot \theta_S^2 + g_1 \cdot \theta_S + g_0$. Mit den Differenzspannungswerten aus der aufgenommenen Messreihe wird eine Ausgleichsrechnung zur Bestimmung der Polynomkoeffizienten der überbestimmten Gleichung $G_V(\theta_S) = g_2 \cdot \theta_S^2 + g_1 \cdot \theta_S + g_0$ durchgeführt und zur Verwendung für ein späteres Korrekturverfahren einer Infrarotaufnahme unter realen Messbedingungen in der Speichereinheit der Signalverarbeitungs-

einheit **7** des Infrarotkamarasystems **11**, beispielsweise in einem FPGA, gespeichert.

[0062] Die Sensortemperaturabhängigkeit des Sensorelement-Offsets lässt sich mit einem Polynom dritten Grades beschreiben: $O_V(\theta_S) = o_3 \cdot \theta_S^3 + o_2 \cdot \theta_S^2 + o_1 \cdot \theta_S + o_0$, wobei diese Änderung jedoch nicht direkt gemessen werden kann, da sich bei variabler Umgebungstemperatur sowohl die Sensortemperatur θ_S als auch die Kamerainnenraumtemperatur θ_K ändern. Der Einfluss der sich ändernden Kamerainnenraumstrahlung kann in Abhängigkeit von θ_K mit einem Polynom zweiten Grades beschrieben werden: $O_K(\theta_K) = k_2 \cdot \theta_K^2 + k_1 \cdot \theta_K + k_0$. Zur Bestimmung der Sensortemperaturabhängigkeit des Offsets müssen bei sich ändernder Umgebungstemperatur beide Einflüsse auf die Sensorsignalspannungen, nämlich der Einfluss des sich in Abhängigkeit von der Sensortemperatur ändernde Sensorelement-Offsets und der Einfluss der sich in Abhängigkeit von der Kamertemperatur ändernden Kamerainnenraumstrahlung, berücksichtigt werden.

[0063] Dazu ist das Infrarotkamarasystem **11** auf eine homogene Strahlungsquelle **2** mit konstanter Objekttemperatur gerichtet. Die Umgebungstemperaturen im Temperaturschrank **1** werden nach einem vorgegebenen aber beliebigen Temperaturregime verändert. Die Rohdatensätze an Sensorelementspannungen $U_{p,ij}$ sowie die Sensortemperatur θ_S und die Kamertemperatur $\theta_{K,m}$ werden an mindestens zwei unterschiedlichen Stellen m im Inneren des Gehäuses **4** des Infrarotkamarasystems **11** über die Zeit t gemessen. Mit einer Ausgleichsrechnung werden die Koeffizienten der linearen Überlagerung aller Einflüsse $O(\theta_S, \theta_{K,m}) = O_V(\theta_S) + \sum O_{K,m}(\theta_{K,m})$ bestimmt. Durch die große Anzahl an Stützstellen ist die Gleichung überbestimmt. Die Koeffizienten, mit denen sich der Einfluss der Sensortemperatur unter Verwendung der Gleichung $O_K(\theta_K) = k_2 \cdot \theta_K^2 + k_1 \cdot \theta_K + k_0$ berechnen lässt, werden zur Verwendung für ein späteres Korrekturverfahren einer Infrarotaufnahme unter realen Messbedingungen in der Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit **7** des Infrarotkamarasystems **11**, beispielsweise in einem FPGA, gespeichert.

[0064] Als Ergebnis dieser Kalibrierschritte ist es möglich, den Einfluss der Sensortemperatur auf die Empfindlichkeit und den Offset der Sensorelemente des Infrarotkamarasystems zu korrigieren, so dass sich die korrigierten Signalspannungen verhalten als wäre der Sensor temperaturstabilisiert. Die nachfolgenden Schritte zur Kalibrierung entsprechen denen eines Infrarotkamarasystems mit einem temperaturstabilisierten Sensor, siehe dazu die Ausführungen zum ersten Ausführungsbeispiel für ein Kalibrierverfahren eines Infrarotkamarasystems mit temperaturstabilisiertem Sensor.

[0065] Im Unterschied zu einem Infrarotkamarasystem mit temperaturstabilisiertem Sensor wird beim zweiten Kennlinienabgleich eines Infrarotkamarasystems mit temperaturunstabilisiertem Sensor neben den Kameratemperaturen $\theta_{K0,m}$ auch noch die Sensortemperatur θ_{S0} gemessen. Zusammen werden diese Temperaturen als Bezugstemperaturen für das Korrekturverfahren verwendet.

[0066] Im Folgenden soll ein Ausführungsbeispiel für das Korrekturverfahren unter Verwendung eines temperaturstabilisierten Sensors angegeben werden.

Fig. 3 zeigt den schematischen Ablauf des erfindungsgemäßen Korrekturverfahrens. Dabei nimmt das Infrarotkamarasystem während einer Temperaturmessung eine Objektszene auf. Die unkorrigierten Sensorelementspannungen aller Sensorelemente des Sensorelementarrays werden als sogenannte Rohdaten $U_{p,ij}$ an die Signalverarbeitungseinheit **7** des Infrarotkamarasystems **11** weitergegeben. Für jedes Sensorelement wird mit den aus dem Kalibrierverfahren abgelegten Koeffizienten-Matrizen $a_{2,ij}$, $a_{1,ij}$, $a_{0,ij}$ entsprechend einer Drei-Punkt-Korrektur eine korrigierte Sensorelementspannung $U_{p,korr,ij}^{**}$ zur Ungleichförmigkeitskorrektur bezüglich einer sich ändernden Kameratemperatur berechnet. Da im Kalibrierverfahren die Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2$ unter Verwendung von mindestens drei Stützstellen berechnet wurden, wird die Korrektur der Ungleichförmigkeit bezüglich der Kamerainnenraumstrahlung als Kennlinienabgleich vom Grad $n = 2$ durchgeführt.

[0067] Der Einfluss der Kamerainnenraumtemperatur, d.h. der Kamerainnenraumstrahlung wird mittels der Korrekturfunktion $U_K(\theta_K)$ berechnet und die Differenz zum Korrekturwert $U_K(\theta_{K0})$ bei der durch die Kalibrierung vorgegeben Bezugskameratemperatur θ_{K0} von der korrigierten Sensorspannung $U_{p,korr}^{**}$ subtrahiert, mit $U_K(\theta_K) = U_{K,1}(\theta_{K,1}) + U_{K,2}(\theta_{K,2}) + U_{K,3}(\theta_{K,3}) + \dots + U_{K,m}(\theta_{K,m})$, wobei zur Bestimmung von $U_K(\theta_K)$ die Kameratemperatur an mindestens einer Stelle innerhalb des Gehäuses **4** des Infrarotkamarasystems, vorzugsweise an zwei oder mehr Stellen mit $m = 1, 2, 3, \dots$ gemessen und die aus dem Kalibrierverfahren abgelegten Koeffizienten $\alpha_{K,m}$, $\beta_{K,m}$, $\gamma_{K,m}$ entsprechend dem Polynom zweiten Grades verwendet werden.

[0068] Anschließend erfolgt noch die Ungleichförmigkeitskorrektur bezüglich unterschiedlicher Objekttemperaturen, d.h. Objektstrahlung, wobei für jedes Sensorelement mit den aus dem Kalibrierverfahren abgelegten Korrekturkoeffizienten-Matrizen $b_{n,ij}$ entsprechend einer Zwei-Punktkorrektur eine korrigierte Sensorelementspannung $U_{p,korr,ij}$ berechnet wird. Als Ergebnis ergibt sich bei konstanter Objektstrahlung ein homogenes, umgebungstemperaturunabhängiges Infrarotbild.

[0069] Die Signalspannungen der während der Kalibrierung bestimmten Sensorelemente, deren Ausgangsspannungssignale außerhalb definierter Grenzen liegen, werden ignoriert und durch die korrigierten Signalspannungen benachbarter Sensorelement ersetzt.

[0070] Die korrigierten Signalspannungen der Sensorelemente werden zuletzt in Temperaturen umgerechnet, wobei die Umrechnungsvorschrift des während der Kalibrierung durchgeführten Abgleiches verwendet wird.

[0071] **Fig. 4** zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel für ein Infrarotkamarasystem **11** mit temperaturunstabilisiertem Sensor. Dabei nimmt das Infrarotkamarasystem **11** während einer Temperaturmessung eine Objektszene auf. Die unkorrigierten Sensorelementspannungen aller Sensorelemente des Sensorelementarrays werden als sogenannte Rohdaten $U_{p,ij}$ an die Signalverarbeitungseinheit **7** des Infrarotkamarasystems **11** weitergegeben. Im ersten Korrekturschritt wird die sensortemperaturabhängige Empfindlichkeitsänderung der Sensorelemente anhand der aktuell gemessenen Sensortemperatur θ_S zu $U_{g,korr,ij}$ mit einem Polynom zweiten Grades unter Verwendung der im Kalibrierverfahren bestimmten Koeffizienten g_2 , g_1 , g_0 , welches durch den Korrekturwert bei der in der Kalibrierung gemessenen Bezugssensortemperatur θ_{S0} normiert wird, korrigiert. Anschließend erfolgt die Korrektur der sensortemperaturabhängigen Offsetänderung durch $U_{o,korr,ij} = U_{g,korr,ij} + o_3 \cdot \theta_S^3 + o_2 \cdot \theta_S^2 + o_1 \cdot \theta_S + o_0 - O_V(\theta_{S0})$, wobei die im Kalibrierverfahren ermittelten Korrekturkoeffizienten o_3 , o_2 , o_1 , o_0 und die Bezugssensortemperatur θ_{S0} genutzt werden. Nach diesem Korrekturschritt verhalten sich die Sensorelemente der Sensormatrix des Infrarotkamarasystems so, als läge ein Infrarotkamarasystem mit temperaturstabilisiertem Sensor vor. Die übrigen Korrekturschritte erfolgen analog zum ersten Ausführungsbeispiel für das Korrekturverfahren unter Verwendung eines temperaturstabilisierten Sensors.

Bezugszeichenliste

1	Temperaturschrank
2	Flächenstrahler mit Objekttemperatur
3	Blende
4	Gehäuse
5	infrarotdurchlässiges Linsensystem
6	Sensormatrix mit Sensorelementen
7	Signalverarbeitungseinheit
8a, b	Temperaturmessmittel
10	Sichtbereich des Infrarotkamarasystems
11	Infrarotkamarasystem
θ_S	Sensortemperatur
θ_K	Kamerainnenraumtemperatur

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Budzier, H., „Radiometrische Kalibrierung ungekühlter Infrarot-Kameras“, TUDpress, Dresden, 2014, ISBN 978-3-944331-45-4 [0010]
- Olbrycht, R. et al., „Thermal drift compensation method for microbolometer thermal cameras“, Applied Optics, Vol. 51, No. 11, S. 1788ff., 2012 [0011]
- Bieszczad, G. et al., „Method of detectors offset correction in thermovision camera with uncooled microbolometer focal plane array“, SPIE Proceedings, Vol. 7481, 74810O-1-8, 2009 [0013]

Patentansprüche

1. Kalibrierverfahren für ein verschlussloses Infrarotkamarasystem (11) umfassend ein Gehäuse (4), eine infrarotdurchlässige Optik (5), eine Sensormatrix (6) im folgenden Sensor genannt, bestehend aus mehreren Sensorelementen, die eine in das Gehäuse (4) einfallende Strahlung detektieren und im Ansprechen darauf jeweils ein Signal an eine Signalverarbeitungseinheit (7) liefern sowie jeweils einen Offset und eine Empfindlichkeit aufweisen, wobei für jedes Sensorelement eine Offsetkorrektur in Abhängigkeit von einer in einem Temperaturschrank (1) regelbaren Umgebungstemperatur sowie von regelbaren Strahlungsquellen (2) durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass unter definierten Bedingungen eine einen von der Umgebungstemperatur beeinflussten Störanteil des gelieferten Signals repräsentierende Messunsicherheit in Abhängigkeit von einer Sensortemperatur und/oder mindestens einer Kameratemperatur bestimmt wird, wobei die Einflüsse der Umgebungstemperatur durch Korrekturfunktionen in Abhängigkeit von der Sensortemperatur und/oder der Kameratemperatur abgeschätzt werden und deren kamerasystemspezifischen Korrekturkoeffizienten in einer Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit (7) zur späteren Korrektur eines Infrarotbildes hinterlegt werden.

2. Kalibrierverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kalibrierverfahren für ein Infrarotkamarasystem mit einem temperaturstabilisierten Sensor eingesetzt wird.

3. Kalibrierverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kalibrierverfahren für ein Infrarotkamarasystem mit einem temperaturunstabilisierten Sensor eingesetzt wird.

4. Kalibrierverfahren nach den Ansprüchen 1 und 2,

dadurch gekennzeichnet,

– dass für die Sensormatrix (6) ein Arbeitspunkt eingestellt wird, wobei ein Objekttemperaturbereich und ein Umgebungstemperaturbereich vorgegeben werden,

– dass eine kameratemperaturspezifische Ungleichförmigkeit aller Sensorelemente mittels eines ersten Kennlinienabgleichs vom Grad n bestimmt wird, wobei $n \geq 2$ ist und Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$ in der Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit (7) gespeichert werden, wobei die Ungleichförmigkeitskorrektur bei $n + 1$ verschiedenen Umgebungstemperaturen und einer konstanten, homogenen Objekttemperatur durchgeführt wird,

– dass eine Korrekturkurve zur Berücksichtigung einer Kamerarinnenraumstrahlung ermittelt wird, wobei die Kameratemperatur an m Stellen innerhalb des Gehäuses (4) des Infrarotkamarasystems (11), mit $m \geq 1$, gemessen wird und die Abhängigkeit der Signal-

spannung des Sensors (6) von der Kameratemperatur mittels einer Ausgleichsrechnung, insbesondere einer Polynomapproximation mindestens zweiter Ordnung ermittelt wird, wobei die Polynomkoeffizienten $\alpha_{K,m}$, $\beta_{K,m}$, $\gamma_{K,m}$ in der Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit (7) gespeichert werden,

– dass eine objekttemperaturspezifische Ungleichförmigkeit des Infrarotkamarasystems (11) mittels eines zweiten Kennlinienabgleichs vom Grad n bestimmt wird, wobei $n \geq 1$ ist und Korrekturkoeffizienten-Matrizen $b_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$ in der Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit (7) gespeichert werden, wobei die Ungleichförmigkeitskorrektur bei $n + 1$ verschiedenen Objekttemperaturen und einer konstanten Umgebungstemperatur durchgeführt wird.

5. Kalibrierverfahren nach den Ansprüchen 1 und 3,

dadurch gekennzeichnet,

– dass für die Sensormatrix (6) ein Arbeitspunkt eingestellt wird, wobei ein Objekttemperaturbereich und ein Umgebungstemperaturbereich vorgegeben werden,

– dass eine sensortemperaturabhängige Empfindlichkeitsänderung mit einem Polynom zweiter Ordnung approximiert wird und Korrekturkoeffizienten g_2 , g_1 , g_0 in der Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit (7) gespeichert werden, wobei eine Signalspannungsdifferenzänderung von mindestens zwei verschiedenen konstanten Objekttemperaturen in Abhängigkeit von der gemessenen Sensortemperatur bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen gemessen wird,

– dass eine sensortemperaturabhängige Offsetänderung mit einem Polynom dritter Ordnung approximiert wird und Korrekturkoeffizienten o_3 , o_2 , o_1 , o_0 in der Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit (7) gespeichert werden, wobei eine Signalspannungsänderung bei einer konstanten Objekttemperatur in Abhängigkeit von der Sensortemperatur bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen gemessen wird,

– dass eine kameratemperaturspezifische Ungleichförmigkeit aller Sensorelemente mittels eines ersten Kennlinienabgleichs vom Grad n bestimmt wird, wobei $n \geq 2$ ist und Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$ in der Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit (7) gespeichert werden, wobei die Ungleichförmigkeitskorrektur bei $n + 1$ verschiedenen Umgebungstemperaturen und einer konstanten, homogenen Objekttemperatur durchgeführt wird,

– dass eine Korrekturkurve zur Berücksichtigung einer Kamerarinnenraumstrahlung ermittelt wird, wobei die Kameratemperatur an m Stellen innerhalb des Gehäuses (4) des Infrarotkamarasystems, mit $m \geq 1$, gemessen wird und die Abhängigkeit der Signalspannung des Sensors von der Kameratemperatur mittels einer Ausgleichsrechnung, insbesondere einer Polynomapproximation mindestens zweiter Ordnung ermittelt wird, wobei bestimmte Polynomkoeffizienten

$\alpha_{K,m}$, $\beta_{K,m}$, $\gamma_{K,m}$ in der Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit (7) gespeichert werden,

– dass eine objekttemperaturspezifische Ungleichförmigkeit des Infrarotkamarasystems mittels eines zweiten Kennlinienabgleichs vom Grad n bestimmt wird, wobei $n \geq 1$ und Korrekturkoeffizienten-Matrizen $b_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$ in der Speichereinheit der Signalverarbeitungseinheit (7) gespeichert werden, wobei die Ungleichförmigkeitskorrektur bei $n + 1$ verschiedenen Objekttemperaturen und einer konstanten Umgebungstemperatur durchgeführt wird.

6. Kalibrierverfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Kennlinienabgleich eine Drei-Punkt-Korrektur darstellt.

7. Korrekturverfahren für ein verschlussloses Infrarotkamarasystem (11) umfassend ein Gehäuse (4), eine infrarotdurchlässige Optik (5), eine Sensormatrix (6) im folgenden Sensor genannt, bestehend aus mehreren Sensorelementen, die eine in das Gehäuse (4) einfallende Strahlung detektieren und im Ansprechen darauf jeweils ein Signal an eine Signalverarbeitungseinheit (7) liefern, wobei für jedes Sensorelement eine Offsetkorrektur durch eine Korrekturrechnung mit kamerasystemspezifischen Korrekturparametern durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass

– in einem ersten Korrekturschritt eine sensortemperaturabhängige Empfindlichkeitsänderung mit einem Polynom zweiten Grades korrigiert wird,
 – in einem zweiten Korrekturschritt eine sensortemperaturabhängige Offsetänderung mit einem Polynom dritten Grades korrigiert wird,
 – in einem dritten Korrekturschritt eine kameratemperaturspezifische Ungleichförmigkeit mittels eines Kurvenabgleichs vom Grad n , mit $n \geq 2$ korrigiert wird,
 – in einem vierten Korrekturschritt der Einfluss einer Kamerarinnenraumstrahlung entsprechend einer Korrekturkurve korrigiert wird,
 – in einem fünften Korrekturschritt eine objekttemperaturspezifische Ungleichförmigkeit des Infrarotkamarasystems mittels eines Kurvenvergleichs vom Grad n , mit $n \geq 1$ korrigiert wird,
 – wobei infrarotkamarasystemspezifische Korrekturkoeffizienten für die Korrektur verwendet werden.

8. Korrekturverfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Korrekturschritt in Abhängigkeit von einer gemessenen Sensortemperatur θ_s eine sensortemperaturabhängige Empfindlichkeitsänderung korrigierende Korrekturkoeffizienten g_2, g_1, g_0 nutzt, die aus einer gemessenen Signalspannungsdifferenzänderung zwischen mindestens zwei verschiedenen konstanten Objekttemperaturen in Abhängigkeit von einer gemessenen Sensortemperatur bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen ermittelt werden.

9. Korrekturverfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Korrekturschritt in Abhängigkeit von einer gemessenen Sensortemperatur θ_s eine sensortemperaturabhängige Offsetänderung korrigierende Korrekturkoeffizienten $\alpha_3, \alpha_2, \alpha_1, \alpha_0$ nutzt, die aus einer Signalspannungsänderung bei einer konstanten Objekttemperatur in Abhängigkeit von der Sensortemperatur bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen ermittelt werden.

10. Korrekturverfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der dritte Korrekturschritt Korrekturkoeffizienten-Matrizen $a_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$ nutzt, die bei $n + 1$ verschiedenen Umgebungstemperaturen und einer konstanten, homogenen Objekttemperatur ermittelt werden.

11. Korrekturverfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der vierte Korrekturschritt Polynomkoeffizienten $\alpha_{K,m}, \beta_{K,m}, \gamma_{K,m}$ einer Korrekturkurve und einer gemessenen Kameratemperatur $\theta_{K,m}$ an m verschiedenen Stellen innerhalb des Gehäuses (4) des Infrarotkamarasystems (11), wobei $m \geq 1$, nutzt, wobei die Polynomkoeffizienten der Korrekturkurve aus der Abhängigkeit der Signalspannung des Sensors von der Kameratemperatur $\theta_{K,m}$ an verschiedenen Stellen m , mit $m \geq 1$ ermittelt werden.

12. Korrekturverfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der fünfte Korrekturschritt Korrekturkoeffizienten-Matrizen $b_{n,ij}$ mit $n = 0, 1, 2, \dots, n$ nutzt, die bei $n + 1$ verschiedenen Objekttemperaturen und einer konstanten Umgebungstemperatur ermittelt werden.

13. Korrekturverfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass für ein Infrarotkamarasystem (11) mit einem temperaturunstabilisierten Sensor die Korrekturschritte ein bis fünf durchgeführt werden.

14. Korrekturverfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass für ein Infrarotkamarasystem (11) mit einem temperaturstabilisierten Sensor lediglich die Korrekturschritte drei bis fünf durchgeführt werden.

15. Infrarotkamarasystem, umfassend ein Gehäuse (4), eine infrarotdurchlässige Optik (5), eine Sensormatrix bestehend aus mehreren Sensorelementen (6) und eine digitale Signalverarbeitungseinheit (7), welches das Kalibrierverfahren und das Korrekturverfahren der vorherigen Ansprüche nutzt, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Inneren des Gehäuses (4) des Infrarotkamarasystems (11) mindestens zwei eine Kameratemperatur messende Temperaturmessmittel (8a, 8b) angeordnet sind.

16. Infrarotkamarasystem nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Temperaturmess-

mittel (**8a**, **8b**) als ein Thermoelement und / oder ein thermischer Widerstand ausgebildet ist.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

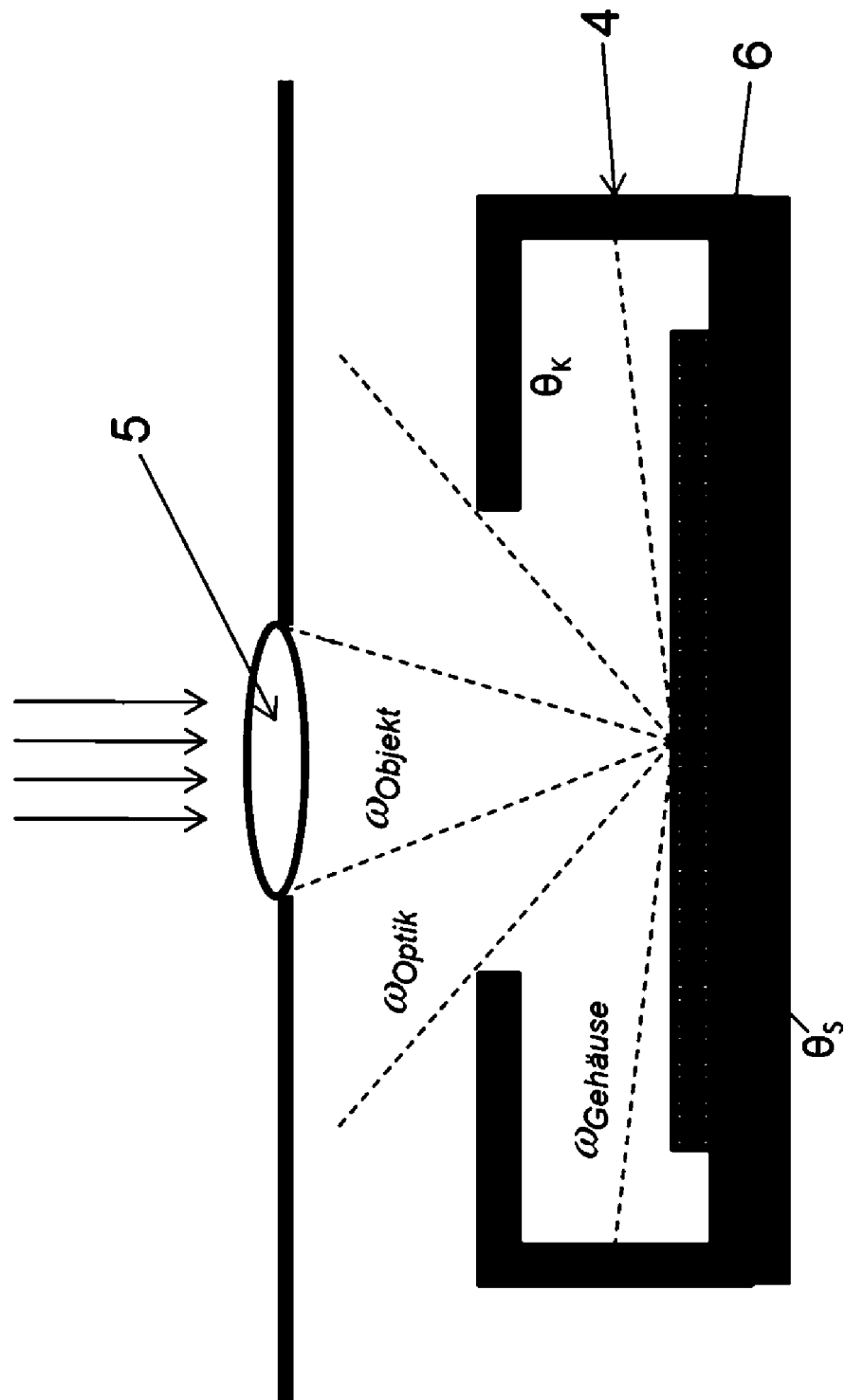


Fig. 1

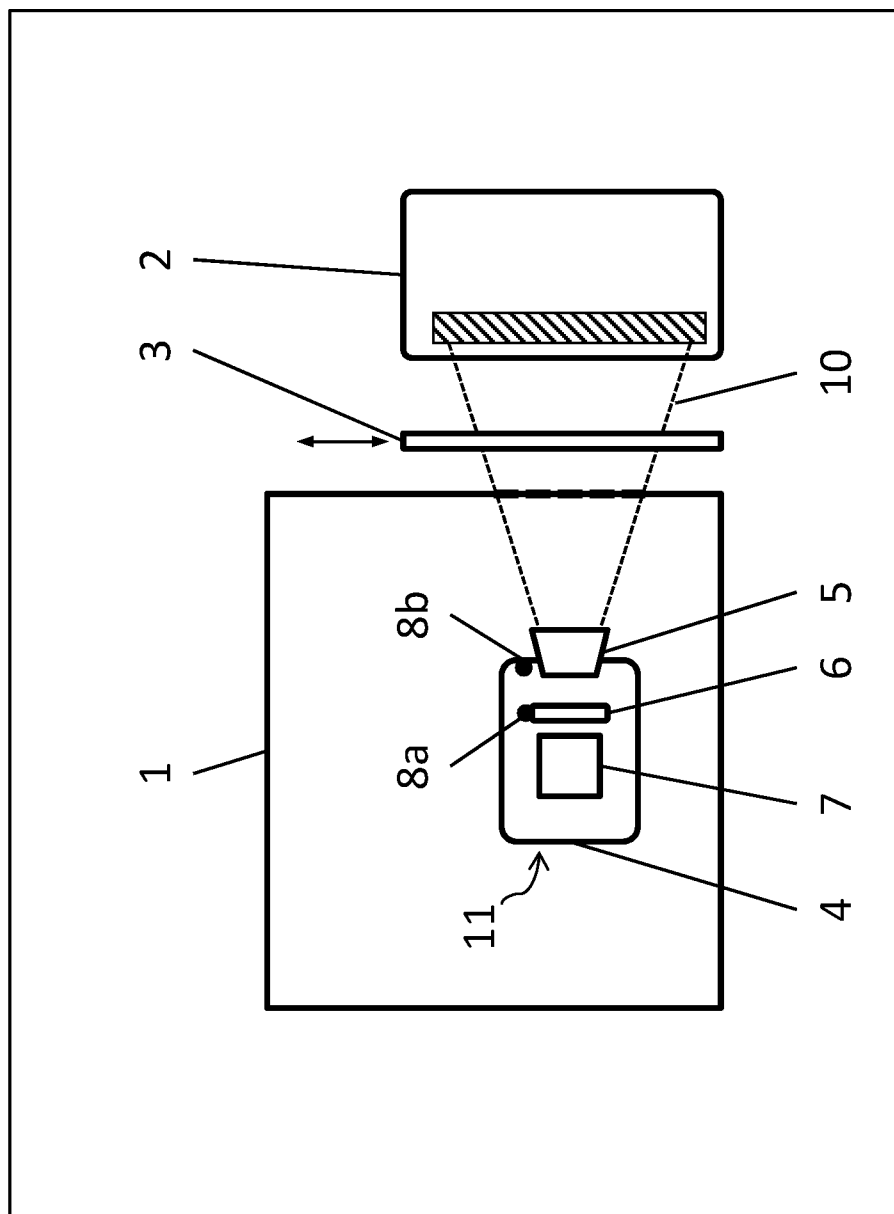
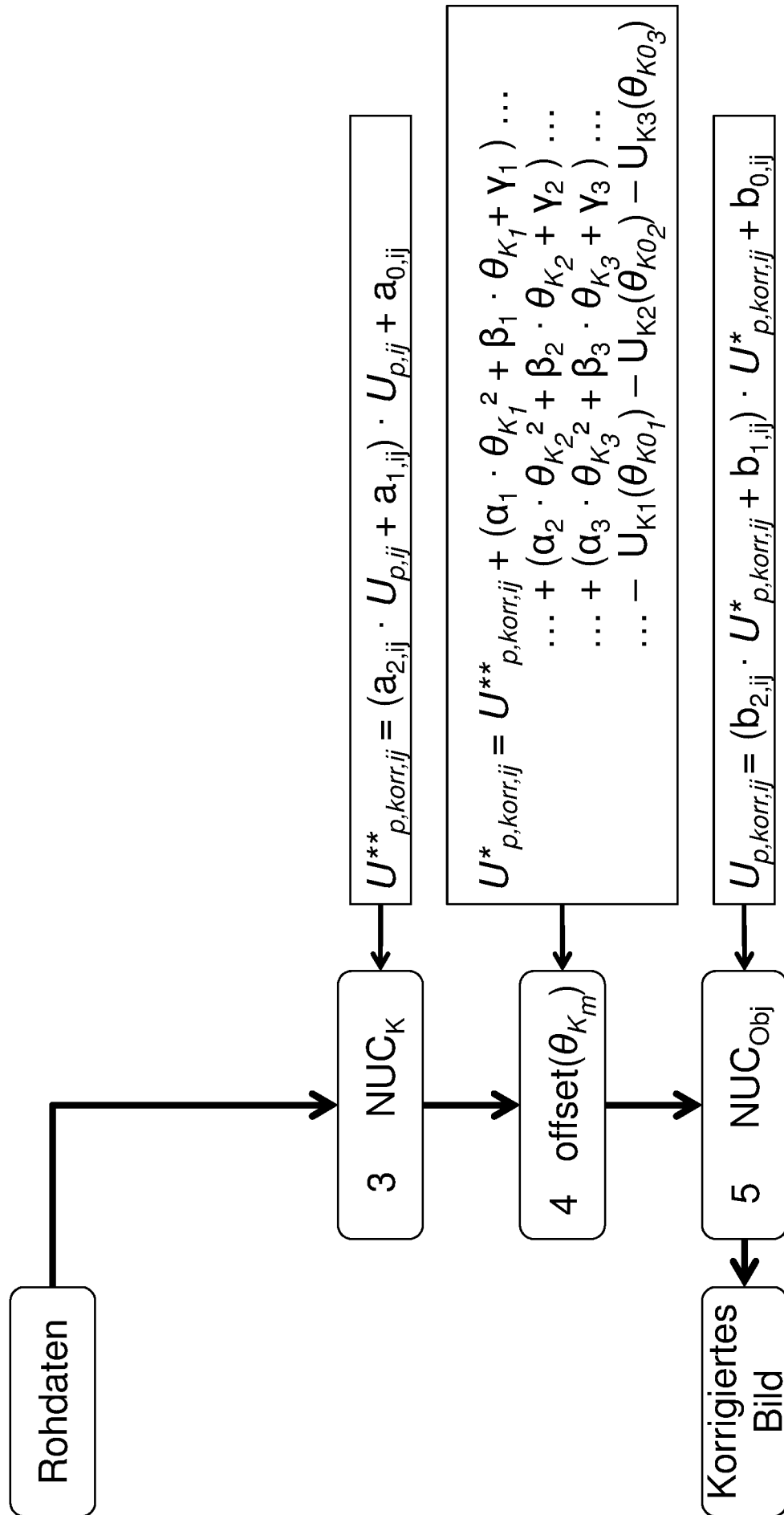


Fig. 2

Fig. 3

Temperaturstabilisierter Sensor



Temperaturunstabilisierter Sensor

Fig. 4

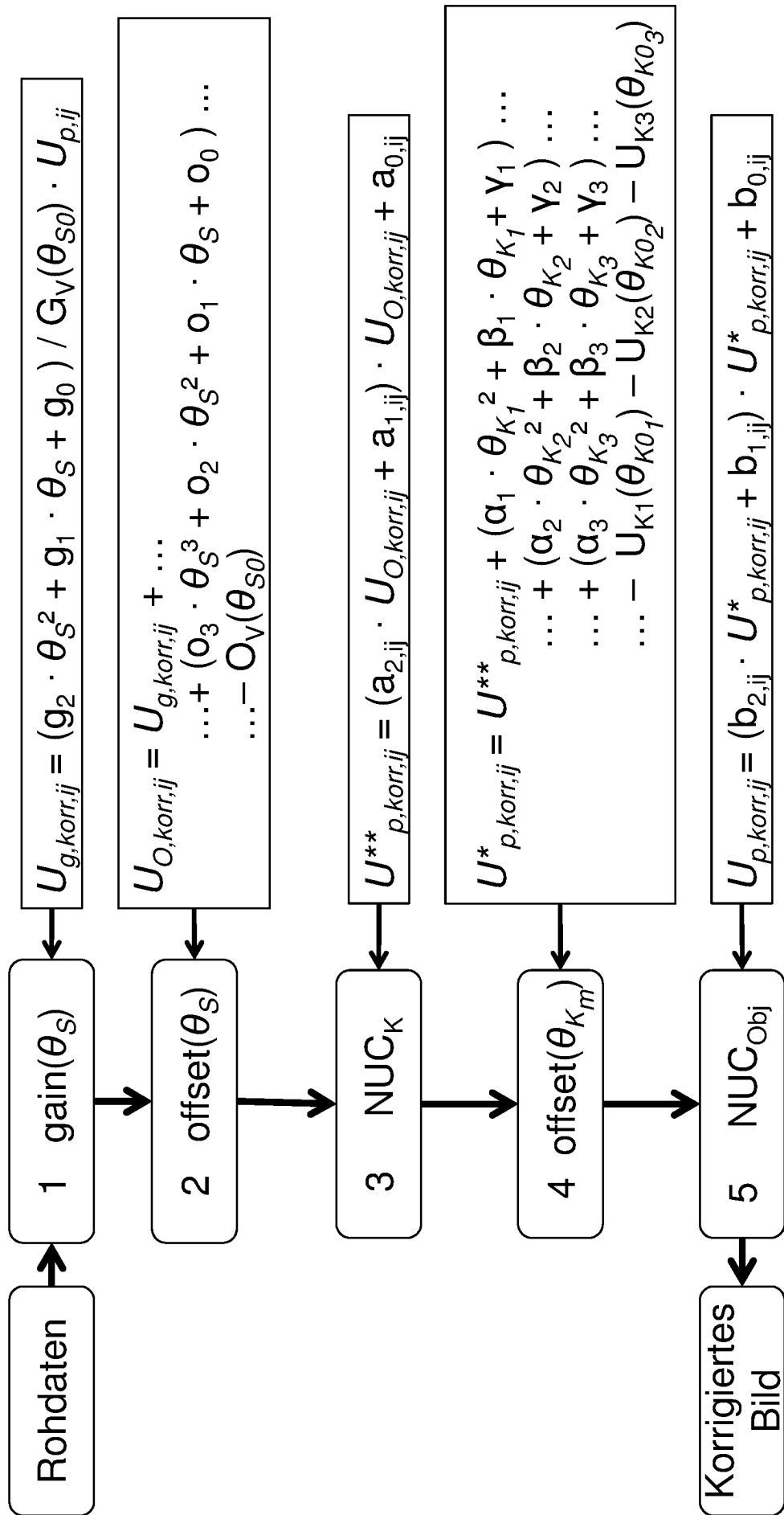


Fig. 5

	Stützstelle 1	Stützstelle 2	Stützstelle 3
Rohspannungswerte	$U_{1,ij}$	$U_{2,ij}$	$U_{3,ij}$
quadrierte Rohspannungswerte	$U_{1,ij}^2 = U_{1,ij} \cdot U_{1,ij}$	$U_{2,ij}^2 = U_{2,ij} \cdot U_{2,ij}$	$U_{3,ij}^2 = U_{3,ij} \cdot U_{3,ij}$
Mittelwerte der Rohspannungswerte	$\overline{U}_{1,ij}$	$\overline{U}_{2,ij}$	$\overline{U}_{3,ij}$
Differenzen zum Mittelwert	$\Delta U_{1,ij} = U_{1,ij} - \overline{U}_{1,ij}$	$\Delta U_{2,ij} = U_{2,ij} - \overline{U}_{2,ij}$	$\Delta U_{3,ij} = U_{3,ij} - \overline{U}_{3,ij}$
	$a'_{2,ij} = \frac{(\Delta U_{1,ij} - \Delta U_{2,ij})}{[(U_{1,ij} - U_{2,ij}) \cdot (U_{2,ij} - U_{3,ij})]} \cdot [(\Delta U_{1,ij} - \Delta U_{3,ij})]$ $a'_{1,ij} = \frac{(\Delta U_{1,ij} - \Delta U_{2,ij})}{\frac{(U_{1,ij}^2 - U_{2,ij}^2)}{1} - \frac{(\Delta U_{1,ij} - \Delta U_{3,ij})}{(U_{1,ij}^2 - U_{3,ij}^2)}} \cdot \frac{1}{\frac{U_{1,ij} + U_{2,ij}}{U_{1,ij}} - \frac{U_{1,ij} + U_{3,ij}}{U_{1,ij}}}$ $a'_{0,ij} = \Delta U_{1,ij} - a_{ij} \cdot U_{1,ij}^2 - b_{ij} \cdot U_{1,ij}$		
Korrekturkoeffizienten der Drei-Punkt-Korrektur	$a_{2,ij} = -a'_{2,ij}$	$a_{1,ij} = 1 - a'_{1,ij}$	$a_{0,ij} = -a'_{0,ij}$
Anwendung der Drei-Punkt-Korrektur	$U_{korrr,ij} = (U_{p,ij} \cdot a_{2,ij} + a_{1,ij}) \cdot U_{p,ij} + a_{0,ij}$		

Fig. 6

	Stützstelle 1	Stützstelle 2
Rohspannungswerte	$U_{1,ij}$	$U_{2,ij}$
Mittelwerte der Rohspannungswerte	$\overline{U_{1,ij}}$	$\overline{U_{2,ij}}$
Differenzen zum Mittelwert	$\Delta U_{1,ij} = U_{1,ij} - \overline{U_{1,ij}}$	$\Delta U_{2,ij} = U_{2,ij} - \overline{U_{2,ij}}$
	$b'_{1,ij} = \frac{(\Delta U_{1,ij} - \Delta U_{2,ij})}{(U_{1,ij} - U_{2,ij})}$ $b'_{0,ij} = \Delta U_{1,ij} - b'_{1,ij} \cdot U_{1,ij}$	
Korrekturkoeffizienten der Zwei-Punkt-Korrektur	$b_{1,ij} = 1 - b'_{1,ij}$	$b_{0,ij} = -b'_{0,ij}$
Anwendung der Zwei-Punkt-Korrektur	$U_{kor,ij} = b_{1,ij} \cdot U_{p,ij} + b_{0,ij}$	