



(10) **DE 10 2019 207 279 A1** 2020.11.19

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 207 279.8**

(22) Anmeldetag: **18.05.2019**

(43) Offenlegungstag: **19.11.2020**

(51) Int Cl.: **G01D 1/14 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

(56) Ermittelter Stand der Technik:

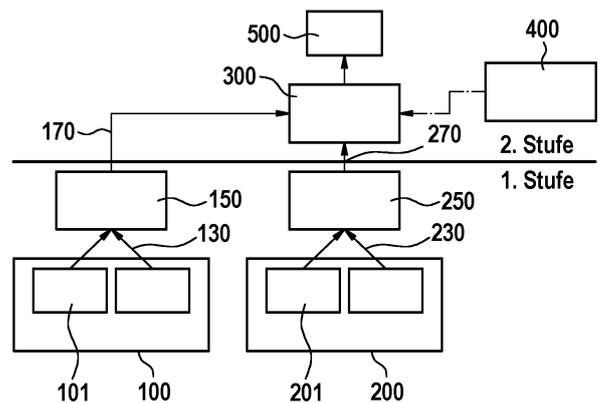
DE	11 2015 002 837	T5
US	2014 / 0 222 521	A1
US	2019 / 0 041 978	A1
WO	2019/ 118 076	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Datenfusioniertes Sensorsystem**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein datenfusioniertes Sensorsystem zur Bestimmung wenigstens einer Messgröße mit wenigstens einem ersten Sensor (101) eines ersten Sensortyps (100) und wenigstens einem zweiten Sensor (201) eines zweiten Sensortyps (200) und mit einer Verarbeitungseinheit, wobei die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, erste Ausgangsdaten (170) des ersten Sensortyps und zweite Ausgangsdaten (270) des zweiten Sensortyps zu fusionieren, wobei eine statistische Schätzfunktion angewendet wird, um auf die Messgröße (500) zu schließen.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein datenfusioniertes Sensorsystem.

[0002] Die Fusion redundanter Sensordaten zur Verbesserung der Datenqualität ist bekannt. Sensoren für dieselbe Messgröße haben dabei jedoch auch vergleichbare Leistungsparameter. Die Datenfusion kann mittels Durchschnittsbildung oder Kalman Filterung erfolgen.

Die Schriften I. Skog, J. O. Nilsson and P. Händel, „Pedestrian tracking using an IMU array,“ 2014 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT), Bangalore, 2014, pp. 1-4, J. Chengyu, et al. „Signal Processing of MEMS Gyroscope Arrays to Improve Accuracy Using a 1st Order Markov for Rate Signal Modeling,“ Sensors, 12(2), 2012., pp. 1720-1737, Martin, H. F. S., et al. „A new approach to better low-cost MEMS IMU performance using sensor arrays.“, The Institute of Navigation, 2013 und Lin, Zhirong, et al. „An Experimental Performance Evaluation of the Orientation Accuracy of Four Nine-Axis MEMS Motion Sensors.“, Enterprise Systems (ES), 2017 5th International Conference on. IEEE, 2017 beschreiben solche Sensorsysteme.

Aufgabe der Erfindung

[0003] Aufgabe der Erfindung ist es, ein datenfusioniertes Sensorsystem zu schaffen, das bei verschiedenen Umweltbedingungen eine Messgröße so gut wie möglich bestimmt.

Vorteile der Erfindung

[0004] Die Erfindung betrifft ein datenfusioniertes Sensorsystem zur Bestimmung wenigstens einer Messgröße mit wenigstens einem ersten Sensor eines ersten Sensortyps und wenigstens einem zweiten Sensor eines zweiten Sensortyps und mit einer Verarbeitungseinheit, wobei die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, erste Ausgangsdaten des ersten Sensortyps und zweite Ausgangsdaten des zweiten Sensortyps zu fusionieren, wobei ein Bayes Inferenzmechanismus angewendet wird, um auf die Messgröße zu schließen.

[0005] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass das Sensorsystem eine Mehrzahl erster Sensoren oder auch eine Mehrzahl zweiter Sensoren aufweist, wobei die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, zunächst erste Ausgangssignale der Mehrzahl erster Sensoren zu ersten Ausgangsdaten des ersten Sensortyps zu fusionieren oder auch zweite Ausgangssignale der Mehrzahl zweiter Sensoren zu zweiten Ausgangsdaten des zweiten Sensortyps

zu fusionieren. Vorteilhaft ist, dass die Sensorausgangsdaten in zwei Stufen fusioniert werden, wobei zunächst die Ausgangssignale jeweils gleichartiger Sensoren zusammengeführt werden und anschließend diese Ausgangsdaten unterschiedlicher Sensortypen zur Messgröße zusammengeführt werden.

[0006] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, den ersten Ausgangssignalen erste Wichtungsfaktoren zuzuordnen, wobei ein jeweiliger erster Wichtungsfaktor durch die Abweichung, insbesondere die Standardabweichung, eines ersten Ausgangssignals gegenüber den übrigen ersten Ausgangssignalen bestimmt ist oder auch den zweiten Ausgangssignalen zweite Wichtungsfaktoren zuzuordnen, wobei ein jeweiliger zweiter Wichtungsfaktor durch die Abweichung, insbesondere die Standardabweichung, eines zweiten Ausgangssignals gegenüber den übrigen zweiten Ausgangssignalen bestimmt ist.

[0007] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, erste Ausgangsdaten des ersten Sensortyps und zweite Ausgangsdaten des zweiten Sensortyps zu fusionieren, wobei ein Bayes Inferenzmechanismus mit einer angenommenen Normalverteilung der ersten Ausgangsdaten und der zweiten Ausgangsdaten angewendet wird.

[0008] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, erste Ausgangsdaten des ersten Sensortyps und zweite Ausgangsdaten des zweiten Sensortyps zu fusionieren, wobei ein Bayes Inferenzmechanismus angewendet wird, welcher von wenigstens einem zusätzlichen Parameter, insbesondere einem Messbereich, einem Arbeitstemperaturbereich, einem Signaloffset, einem Sensorstatus, einem Testsignal oder einem anderen externen Signal, abhängt, insbesondere ein Parameter in dem sich der erste Sensortyp und der zweite Sensortyp unterscheiden. Vorteilhaft können hierdurch beispielsweise Umweltparameter, welche die Sensoren beeinflussen und insbesondere die Leistungsparameter der verschiedenen Sensortypen unterschiedlich beeinflussen, bei der Datenfusion berücksichtigt werden.

[0009] Besonders vorteilhaft ist dabei, dass die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit von dem zusätzlichen Parameter die ersten Ausgangsdaten des ersten Sensortyps oder die zweiten Ausgangsdaten des zweiten Sensortyps zu verwerfen, abzuschalten oder nicht zu fusionieren.

[0010] Die Erfindung betrifft ein datenfusioniertes Sensorsystem redundanter Sensoren bei Betrieb unter gewöhnlichen und außergewöhnlichen, d.h. harschen, extremen Umweltbedingungen. Das Sensor-

system wird die meiste Zeit bei gewöhnlichen Umweltbedingungen und selten bei außergewöhnlichen Umweltbedingungen betrieben. Außergewöhnliche Umweltbedingungen können dabei in Form von extremen Temperaturen, elektromagnetischen Störungen, Vibration, Schall, usw. vorliegen. Das datenfusionsierte Sensorsystem weist vorteilhaft unter normalen Betriebsbedingungen eine hohe Leistung, insbesondere eine gute Genauigkeit der ersten Messgröße auf. Es funktioniert jedoch auch bei außergewöhnlichen Betriebsbedingungen in vollem Umfang, bei reduzierter Genauigkeit.

[0011] Die hohe Leistung des datenfusionsierten Sensorsystems bei gewöhnlichen Betriebsbedingungen wird vorteilhaft durch den Einsatz einer großen Anzahl von kostengünstigen Sensoren erzielt, die für solche Bedingungen gut geeignet sind. Das können beispielsweise kostengünstige Sensoren aus dem Konsumgüterbereich sein. Diese Sensoren können bei außergewöhnlichen Betriebsbedingungen stark verschlechterte Leistungsparameter aufweisen. Für solche außergewöhnlichen Betriebsbedingungen können dann die Daten eines anderen Sensortyps, mit höherer Gewichtung oder ausschließlich, verwendet werden. Dies können beispielsweise einige wenige teure, aber robuste Sensoren aus dem Automobilbereich sein. Vorteilhaft werden durch die Erfindung die Gesamtkosten eines datenfusionsierten Sensorsystems verringert.

Figurenliste

Fig. 1 zeigt schematisch in einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ein datenfusionsiertes Sensorsystem.

Fig. 2 zeigt einen Demonstrator eines erfindungsgemäßen datenfusionsierten Sensorsystems.

Beschreibung

[0012] **Fig. 1** zeigt schematisch in einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ein datenfusionsiertes Sensorsystem. Dargestellt ist ein Strukturdiagramm mit einer Datenfusion von redundanten Sensorsignalen in zwei Stufen. Das Sensorsystem weist einen ersten Sensor **101** und weitere erste Sensoren eines ersten Sensortyps **100** auf. Es weist daneben einen zweiten Sensor **201** und weitere zweite Sensoren eines zweiten Sensortyps **200** auf. Die Sensoren des ersten Sensortyps können unter gewöhnlichen und außergewöhnlichen Betriebsbedingungen arbeiten. Die Sensoren des zweiten Sensortyps können nur unter gewöhnlichen Betriebsbedingungen arbeiten oder unter außergewöhnlichen Betriebsbedingungen nur mit verminderten Leistungsparametern arbeiten. Alle Ausgangssignale aller Sensoren sind grundsätzlich redundant.

In einer ersten Stufe werden erste Ausgangssignale **130** der ersten Sensoren des ersten Sensortyps mittels einer ersten Datenfusion **150** zusammengeführt. Daneben werden zweite Ausgangssignale **230** der zweiten Sensoren des zweiten Sensortyps mittels einer zweiten Datenfusion **250** zusammengeführt. Aus der ersten Datenfusion **150** resultieren erste Ausgangsdaten **170** des ersten Sensortyps, und aus der zweiten Datenfusion **250** resultieren zweite Ausgangsdaten **270** des zweiten Sensortyps.

In einer zweiten Stufe werden die ersten Ausgangsdaten **170** und die zweiten Ausgangsdaten **270** mittels einer dritten Datenfusion **300** zusammengeführt. Hierdurch wird letztendlich auf eine Messgröße **500** geschlossen. Die Messgröße **500**, ist also das Ausgangssignal eines virtuellen Sensors, Resultat der veränderlichen Beiträge der einzelnen physischen Sensoren des Sensorsystems. Optional kann die dritte Datenfusion von zusätzlichen externen Signalen **400** abhängen.

Die erste, zweite und dritte Datenfusion finden in einer Verarbeitungseinheit statt und sind nachfolgend beschrieben.

Erste Stufe der Datenfusion
(erste und zweite Datenfusion)

[0013] In der ersten Stufe der Datenfusion wird jeweils ein virtuelles Ausgangssignal $\Omega_{i,virtual}$ für jeden Sensortyp i erzeugt. Im oben beschriebenen Fall ist $i = 1$ oder 2 . $\Omega_{1,virtual}$ entspricht dann den ersten Ausgangsdaten **170** und $\Omega_{2,virtual}$ den zweiten Ausgangsdaten **270**. Wichtungsfaktoren w_j werden dazu mit den einzelnen Sensorausgangssignalen Ω_j multipliziert. Der Index j entspricht der Anzahl der Sensoren eines Sensortyps i .

$$\Omega_{i,virtual} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} w_{i,j} \Omega_{i,j}}{\sum_{j=1}^{n_i} w_{i,j}}$$

(1)

[0014] Der Wichtungsfaktor bestimmt sich aus der Abweichung des individuellen Sensorausgangssignals gegenüber den übrigen Sensoren desselben Sensortyps. Er wird aus der Standardabweichung der Differenzen zwischen dem Sensor j und jedem anderen Sensor des Sensortyps i berechnet:

$$w_{i,j} = \sqrt{\frac{\sum_{k \in j_{i,j}} \left(\Omega_{i,j} - \Omega_{i,k} - \frac{\sum_{k \in j_{i,j}} (\Omega_{i,j} - \Omega_{i,k})}{n_i - 1} \right)^2}{n_i - 1}}$$

(2)

[0015] Darin ist $j_{i,j} = \{k \in N | 1 \leq k \leq n_i, k \neq j\}$ wobei n_i die Gesamtzahl von Sensortypen ist.

Zweite Stufe der Datenfusion (dritte Datenfusion)

[0016] Bei der dritten Datenfusion, welche in der zweiten Stufe stattfindet, werden die ersten Ausgangsdaten **170** aus der ersten Datenfusion **150** und die zweiten Ausgangsdaten **270** aus der zweiten Datenfusion **250** zusammengeführt. Dazu wird ein Bayes Inferenzmechanismus mit einer angenommenen Normalverteilung benutzt. Hierbei sind σ_i die Standardabweichungen der virtuellen Ausgangssignale der ersten Stufe $\Omega_{i,virtual}$. Das virtuelle Ausgangssignal des gesamten datenfusionierten Sensorsystems $\Omega_{virtual}$ wird berechnet zu:

$$\Omega_{virtual} = \frac{\sum_i \Omega_{i,virtual} \frac{\Pi_i \sigma_i^2}{\sigma_i^2}}{\sum_i \frac{\Pi_i \sigma_i^2}{\sigma_i^2}} \quad (3)$$

[0017] Im Fall von nur zwei Gruppen von Sensoren (nur einem ersten und einem zweiten Sensortyp) in der ersten Stufe vereinfacht sich Gleichung 3 zu:

$$\Omega_{virtual} = \frac{\Omega_{1,virtual} \sigma_{2,virtual}^2 + \Omega_{2,virtual} \sigma_{1,virtual}^2}{\sigma_{1,virtual}^2 + \sigma_{2,virtual}^2} \quad (4)$$

[0018] $\Omega_{virtual}$ entspricht in dem beschriebenen Beispiel der zu bestimmenden Messgröße **500**.

[0019] Die dritte Datenfusion **300** des ersten und zweiten Sensorsignals kann außerdem auch von anderen Parametern abhängen, wie beispielsweise Temperaturbereichen, Signal Offsets, Beschleunigungswerten und -bereichen, dem Status von Sensoren, Testsignalen oder anderen externen Signalen **400**. Die Datenfusion kann auch einen Abschaltmechanismus aufweisen, welcher den Ausgang der Sensoren für normale Umgebungsbedingungen vollständig deaktiviert und somit nur die Daten der Sensoren für außerordentliche Umgebungsbedingungen berücksichtigt. Dieser Abschaltmechanismus kann durch externe Signale **400** oder ein Ergebnis einer internen Analyse von Eigenschaften der Sensoren für normale Umgebungsbedingungen betätigt werden.

[0020] **Fig. 2** zeigt einen Demonstrator eines erfindungsgemäßen datenfusionierten Sensorsystems. Der Hardware Demonstrator umfasst Sensoren für den Betrieb bei normalen Umweltbedingungen (links unten dargestellt) und einige wenige teure, aber robuste Sensoren (links oben dargestellt), die für den Betrieb bei außerordentlichen, harschen Umweltbedingungen geeignet sind. Die Sensoren sind in ein Aluminiumgehäuse eingebaut, zusammen mit einem Mikrokontroller als Verarbeitungseinheit, in welcher die Datenfusionsalgorithmen ablaufen (rechts dargestellt).

[0021] Das erfindungsgemäße datenfusionierte Sensorsystem ist nicht auf zwei Sensortypen beschränkt, sondern es kann noch weitere Sensortypen

aufweisen. Einzelne Sensortypen können auch mit nur einem Sensor vertreten sein. In diesem Fall entfällt für den Sensortyp die erste Stufe der Datenfusion und das entsprechende Ausgangssignal des Sensors wird direkt für die zweite Stufe der Datenfusion bereitgestellt.

Bezugszeichenliste

100	erster Sensortyp
101	erster Sensor vom ersten Sensortyp
130	erste Ausgangssignale
150	erste Datenfusion
170	erste Ausgangsdaten
200	zweiter Sensortyp
201	erster Sensor vom zweiten Sensortyp
230	zweite Ausgangssignale
250	zweite Datenfusion
270	zweite Ausgangsdaten
300	dritte Datenfusion
400	externes Signal
500	Messgröße

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

- Schriften I. Skog, J. O. Nilsson and P. Händel, „Pedestrian tracking using an IMU array,“ 2014 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT), Bangalore, 2014, pp. 1-4 [0002]
- J. Chengyu, et al. „Signal Processing of MEMS Gyroscope Arrays to Improve Accuracy Using a 1st Order Markov for Rate Signal Modeling,“ Sensors, 12(2), 2012., pp. 1720-1737 [0002]
- Martin, H. F. S., et al. „A new approach to better low-cost MEMS IMU performance using sensor arrays.“, The Institute of Navigation, 2013 [0002]
- Lin, Zhirong, et al. „An Experimental Performance Evaluation of the Orientation Accuracy of Four Nine-Axis MEMS Motion Sensors.“, Enterprise Systems (ES), 2017 5th International Conference on. IEEE, 2017 [0002]

Patentansprüche

1. Datenfusioniertes Sensorsystem zur Bestimmung wenigstens einer Messgröße mit wenigstens einem ersten Sensor (101) eines ersten Sensortyps (100) und wenigstens einem zweiten Sensor (201) eines zweiten Sensortyps (200) und mit einer Verarbeitungseinheit zur Datenfusion, wobei die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, erste Ausgangsdaten (170) des ersten Sensortyps und zweite Ausgangsdaten (270) des zweiten Sensortyps zu fusionieren, wobei ein Bayes Inferenzmechanismus angewendet wird, um auf die Messgröße (500) zu schließen.

2. Datenfusioniertes Sensorsystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sensorsystem eine Mehrzahl erster Sensoren und/oder eine Mehrzahl zweiter Sensoren aufweist, wobei die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, zunächst erste Ausgangssignale (130) der Mehrzahl erster Sensoren zu ersten Ausgangsdaten (170) des ersten Sensortyps zu fusionieren und/oder zweite Ausgangssignale (230) der Mehrzahl zweiter Sensoren zu zweiten Ausgangsdaten (270) des zweiten Sensortyps zu fusionieren.

3. Datenfusioniertes Sensorsystem nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, den ersten Ausgangssignalen (130) erste Wichtungsfaktoren zuzuordnen, wobei ein jeweiliger erster Wichtungsfaktor durch die Abweichung, insbesondere die Standardabweichung, eines ersten Ausgangssignals gegenüber den übrigen ersten Ausgangssignalen bestimmt ist und/oder den zweiten Ausgangssignalen (230) zweite Wichtungsfaktoren zuzuordnen, wobei ein jeweiliger zweiter Wichtungsfaktor durch die Abweichung, insbesondere die Standardabweichung eines zweiten Ausgangssignals gegenüber den übrigen zweiten Ausgangssignalen bestimmt ist.

4. Datenfusioniertes Sensorsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, erste Ausgangsdaten (170) des ersten Sensortyps und zweite Ausgangsdaten (270) des zweiten Sensortyps zu fusionieren, wobei ein Bayes Inferenzmechanismus mit einer angenommenen Normalverteilung der ersten Ausgangsdaten (170) und der zweiten Ausgangsdaten (270) angewendet wird.

5. Datenfusioniertes Sensorsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, erste Ausgangsdaten des ersten Sensortyps und zweite Ausgangsdaten des zweiten Sensortyps zu fusionieren, wobei ein Bayes Inferenzmechanismus angewendet wird, welche von wenigstens einem zusätzlichen Parameter, insbesondere einem Messbe-

reich, einem Arbeitstemperaturbereich, einem Signaloffset, einem Sensorstatus, einem Testsignal oder einem anderen externen Signal (400), abhängt.

6. Datenfusioniertes Sensorsystem nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit von dem zusätzlichen Parameter die ersten Ausgangsdaten (170) des ersten Sensortyps oder die zweiten Ausgangsdaten (270) des zweiten Sensortyps zu verwerfen, abzuschalten oder nicht zu fusionieren.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

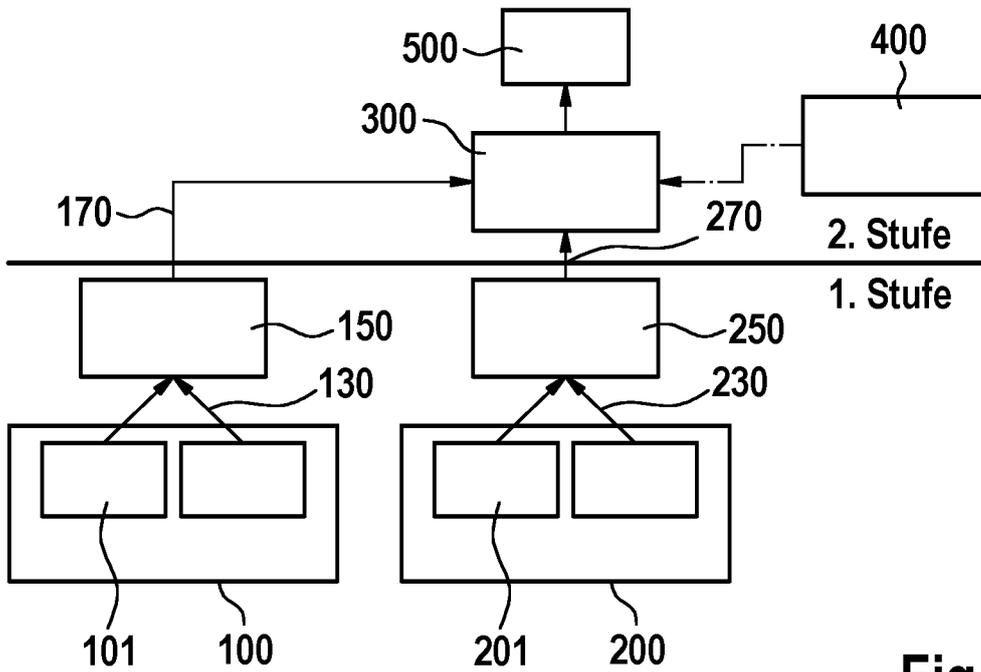


Fig. 1

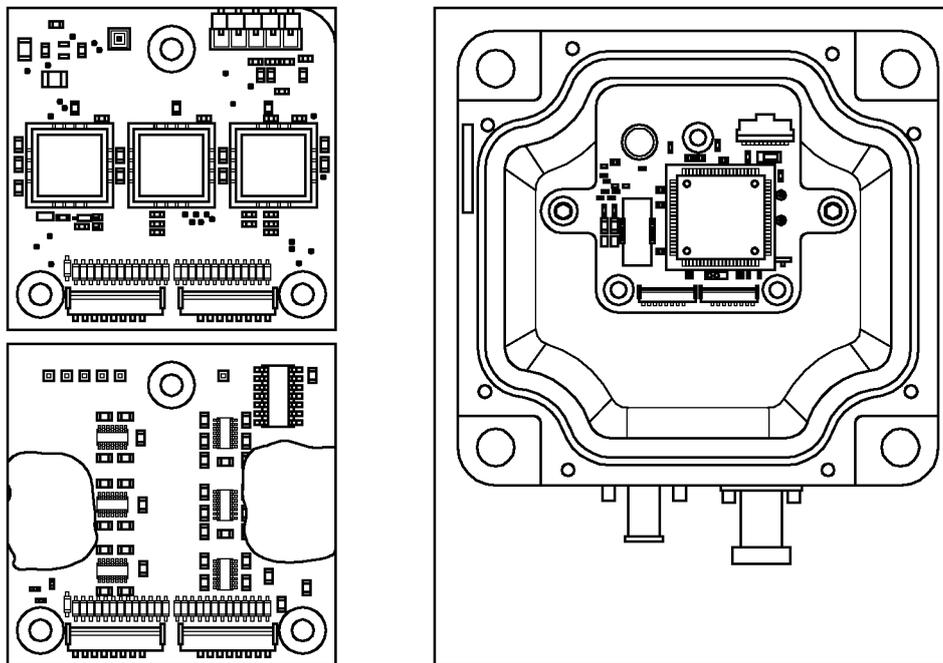


Fig. 2