Zusammenfassung Multisensornavigation

Fakultät für Geoinformatik
of Hochschule für Angewandte Wissenschaften München

Zusammenfassung

geschrieben bei

Felix Strobel

March 2019

Contents

1 Stoffübersicht **6**
- 1.1 Homogene Matrix 6
- 1.2 Pose 6
- 1.3 Singulärwertzerlegung 6
- 1.4 Levenberg-Marquardt 6
- 1.5 Bündelblockausgleichung 6
- 1.6 Range-Bearing Sensor 7
- 1.7 Bearing only Sensor 7
- 1.8 Trajektorie 7
- 1.9 Koppelnavigation 7
- 1.10 Sigma Point Kalman Filter 7
- 1.11 Extended Kalman Filter 7
- 1.12 ICP oder Scanmatching 8
- 1.13 Partikelfilter 8
- 1.14 RANSAC 8
- 1.15 Loop closure 8
- 1.16 SLAM 8

2 Einführung **9**
- 2.1 Lokalisieren 9
- 2.2 3D Konstruieren 9
- 2.3 Mobile Mapping 9

3 Mathematische Grundlagen **10**
- 3.1 Skalarprodukt 10
- 3.2 Winkel zwischen zwei Vektoren 10
- 3.3 Orthononalität 10
- 3.4 Vektorprodukt 10
- 3.5 Rechte Hand Regel 10
- 3.6 Vektorprodukt 11
- 3.7 Rotation 11
- 3.8 Rotation vs. Spiegelung 11
  - 3.8.1 Rotation 11
  - 3.8.2 Spiegelung 11
- 3.9 Prüfung auf Rotation 11
- 3.10 Homogene Matrix 11
  - 3.10.1 Translation und Rotation 11

3.10.2 Vorteile . . . 12
3.10.3 Intepretation als Koordinatenursprung . . . 12
3.10.4 Berechnung Koordinatenursprung . . . 12
3.10.5 Berechnung der Achsen . . . 12
3.11 Koordinatensysteme . . . 12
3.11.1 Affines Koordinatensystem . . . 12
3.11.2 Orthogonales Koordinatensytem . . . 12
3.11.3 Orientierungstreues Koordinatensystem . . . 12
3.12 RPY Darstellung . . . 12
3.12.1 Rotation als RPY . . . 12
3.12.2 RPY to Matrix . . . 13
3.12.3 Weitere Darstellungen . . . 13
3.13 Kalmanfilter . . . 13
3.13.1 Modellanahmen . . . 13
3.13.2 EKF nicht linear . . . 13
3.13.3 Warum ist die Zustandsschätzung wieder eine Normalverteilung . . . 13
3.14 Kapitel 4 . . . 14
3.15 Kapitel 5 . . . 15

4 Partikelfilter **16**
4.1 WDF . . . 16
4.2 Mutation . . . 16
4.3 Modellannahmen des Partikelfilters . . . 16
4.4 Kalmanfilter vs. Partikelfilter . . . 16
4.5 Generation . . . 16
4.6 Partikel . . . 16
4.7 Schritte des Partikelfilter . . . 17
4.7.1 Init . . . 17
4.7.2 Bewegung . . . 17
4.7.3 Messung . . . 17
4.7.4 Propagation . . . 17
4.7.5 Gewichtung . . . 17
4.7.6 Neuverteilung der Partikel . . . 17
4.7.7 Berechnung der Position . . . 17
4.8 Anzahl Schleifen in Init . . . 17

List of Figures

List of Tables

1 Stoffübersicht

1.1 Homogene Matrix

Matrix, die Positionen und Orientierung beinhaltet

$$M = \begin{pmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_1 \\ r_{31} & r_{23} & r_{33} & t_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{1.1}$$

Wird verwendet, damit man einfacher rechnen kann.

1.2 Pose

Beschreibt die Lage eines Körpers.

1.3 Singulärwertzerlegung

Zerlegung einer Matrix in 3 Spezielle Matrizen welche miteinander Multipliziert die grundlegende Matrix ergeben. Auf der Hauptdiagonalen der mittleren Matrix stehen die Singularitäten der grundlegenden Matrix.

1.4 Levenberg-Marquardt

Der Levenberg-Marquardt-Algorithmus ist ein numerischer Optimierungsalgorithmus zur Lösung nichtlinearer Ausgleichs-Probleme mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate. Das Verfahren kombiniert das Gauß-Newton-Verfahren mit einer Regularisierungstechnik, die absteigende Funktionswerte erzwingt. Deutlich robuster als das Gauß-Newton-Verfahren, das heißt, er konvergiert mit einer hohen Wahrscheinlichkeit auch bei schlechten Startbedingungen, allerdings ist auch hier Konvergenz nicht garantiert. Ferner ist er bei Anfangswerten, die nahe dem Minimum liegen, oft etwas langsamer.

1.5 Bündelblockausgleichung

Das Optimieren der "Sehstrahlenbündel" einer 3D-Szene, die von mehreren Kameras bzw. von einer Kamera aus mehreren Perspektiven aufgenommen wird. Bei der Bündelblockausgleichung können gleichzeitig die Positionen der Punkte im 3D-Raum, die Positionen und Orientierungen der beobachtenden Kameras sowie deren interne Kalibrierparameter derart an die Messbilder angepasst werden, dass verbleibende Fehler (z. B. Bildverzerrungen, Messfehler der Auswertung) möglichst optimal auf alle Beobachtungen verteilt werden. Speziell wird der Begriff verwendet, um nicht nur einzelne Bildpaare (je 2 überdeckende Messbilder) photogrammetrisch auszuwerten, sondern eine beliebige Anzahl von zusammenhängenden Bildern (Block) miteinander zu verknüpfen. Zur Berechnung könnte man z.B. Levenberg-Marquardt-Algorithmus nehmen.

1.6 Range-Bearing Sensor

Sensor welcher die Richtung und die Entfernung zu einem Messpunkt angibt.
Beispiel: Lidar

1.7 Bearing only Sensor

Sensor welcher nur die Richtung angibt. Theodolit und Kamera

1.8 Trajektorie

Der Weg eines Objektes in abhänigkeit von der Zeit.

1.9 Koppelnavigation

Koppelnavigation oder dead reckoning ist das aneinanderfügen vergangener Standortmessungen, welche jeweils relativ zum letzten Messzeitpunkt sind.

1.10 Sigma Point Kalman Filter

Kalman Filter für nicht lineare Gleichungssysteme. Legt eine Normalverteilte Punktwolke um den aktuellen Punkt. Stabiler als der Kalmanfilter.

1.11 Extended Kalman Filter

Der EKF ist eine nicht lineare Version des Kalman Filters welcher mittels einer Schätzung des aktuellen Mittels und der Covarianzen linearisiert wird.

1.12 ICP oder Scanmatching

Iterative Closest Point um den kürzesten Abstand zwischen zwei Punktwolken zu bestimmen. Wird genutzt um Ob

1.13 Partikelfilter

Kann aus dem Vergleich vieler Messungen zu einer bekannten "Karte" den Ort absolut bestimmen.

1.14 RANSAC

Random sample consensus - Eine iterative Methode um outliner zu erkennen oder eine Gerade durch eine Punkwolke zu legen, welche viele outliner hat.

1.15 Loop closure

Wenn Messungen einen geschlossenen loop bilden. Dies kann genutzt werden um Filter und Ausgleichungen zu testen oder zu verbessern.

1.16 SLAM

Simultaneous localization and mapping - Zeitgleiches Positionieren und mappen der Messdaten. Wird in unbekannter Umgebung verwendet.

2 Einführung

2.1 Lokalisieren

Wie kann ich meine Position "Global" berechnen.

2.2 3D Konstruieren

Daten werden immer vom aktuellen Standort aus aufgenommen. Diese können dann nach einer Lokalisierung ins Globale System überführt werden.

2.3 Mobile Mapping

Eine Mobile Plattform mit einer Multisensorplattform nimmt die Daten auf. Die Map kann aber im Postprocessing berechnet werden.

3 Mathematische Grundlagen

3.1 Skalarprodukt

$$\vec{a} \circ \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos\varphi \tag{3.1}$$

$$\vec{a} \circ \vec{b} = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_x \\ b_y \end{pmatrix} = a_x b_x + a_y b_y \tag{3.2}$$

3.2 Winkel zwischen zwei Vektoren

$$\cos\varphi = \frac{\vec{a} \circ \vec{b}}{|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|} \tag{3.3}$$

3.3 Orthononalität

Wenn die Vektoren normiert sind und das Vektorprodukt 0 ergibt?

$$\vec{a} \circ \vec{b} = 0 \tag{3.4}$$

3.4 Vektorprodukt

$$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{c} \tag{3.5}$$

$$|\vec{c}| = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \sin\varphi \quad \text{for} \quad (0° \leq \varphi \leq 180°) \tag{3.6}$$

3.5 Rechte Hand Regel

Die Rechte Hand gibt die Richtung der Achsen vor.

- Daumen: X
- Zeigefinger: Y
- Mittelfinger: Z

3.6 Vektorprodukt

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_y b_z - b_z a_y \\ a_z b_x - b_x a_z \\ a_x b_y - b_y a_x \end{pmatrix} \tag{3.7}$$

3.7 Rotation

1. Winkel der Drehung um jeweils eine Achse
2. Rotationsmatrix multipliziert mit der Transponierten ergibt die Einheitsmatrix I
3. Spalten stehen Senkrecht aufeinander

3.8 Rotation vs. Spiegelung

3.8.1 Rotation

überführt ein Rechtwinkliges/Rechtshändiges Koordinatensystem in ein anderes Rechtwinkliges/Rechtshändiges Kooridinatensystem. RxR ist Einheitsmatrix.

3.8.2 Spiegelung

Die Hand wechselt. Die Detimernante wird -1

3.9 Prüfung auf Rotation

```
if abs(max(max((rotation * rotation') - eye(3)))) > 0.0000000000001
isRotation = false;
else
isRotation = true;
```

3.10 Homogene Matrix

3.10.1 Translation und Rotation

$$M = \begin{pmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_1 \\ r_{31} & r_{23} & r_{33} & t_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3.8}$$

3.10.2 Vorteile

Mehrere Bewegungen können durch Matrixmultiplikation aneinander gekettet werden bzw. leichter invertiert werden.

3.10.3 Intepretation als Koordinatenursprung

3.10.4 Berechnung Koordinatenursprung

3.10.5 Berechnung der Achsen

3.11 Koordinatensysteme

3.11.1 Affines Koordinatensystem

Lineare Koordinatensystem

3.11.2 Orthogonales Koordinatensytem

Rechtwinklig

3.11.3 Orientierungstreues Koordinatensystem

Es bleibt nach der rechten Hand definiert.

3.12 RPY Darstellung

Jede Rotation kann als Roll, Pitch, Yaw dargestellt werden.

Roll	X-Achse
Pitch	Y-Achse
Yaw	Z-Achse

3.12.1 Rotation als RPY

Dabei können Singularitäten auftreten. (Bei Pitch = $\pi/2$)
Matrix to RPY

```
y = atan2(rotation(2,1), rotation(1,1));
p = atan2(-rotation(3,1), rotation(1,1) * cos(y) + rotation(2,1) * sin(y));
r = atan2(rotation(3,2)/cos(p), rotation(3,3)/cos(p));
```

3.12.2 RPY to Matrix

Eine Rotation, welche zuerst um die Roll, dann die Pitch und zuletzt die Yaw achse dreht

$$R_{\alpha,\beta,\gamma} = \begin{pmatrix} \cos\alpha\cos\beta & \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\cos\gamma \\ \sin\alpha\cos\beta & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma \\ -\sin\beta & \cos\beta\sin\gamma & \cos\beta\cos\gamma \end{pmatrix} \tag{3.9}$$

3.12.3 Weitere Darstellungen

- Quaternionen
- Axis/Angle Darstellung -> numerisch stabil

3.13 Kalmanfilter

Die aktuelle Zugangsschätzung und der neue Messwert haben beide Fehler und die Wahrheit liegt in der Mitte. Aus der Mitte wird der neue Wert der schätzung berechnet.

3.13.1 Modellanahmen

- Rauschen ist zufällig - normalverteilt und nicht systematisch
- Lineare Abbildung, damit die Normalverteilung eine Normalverteilung bleibt.

3.13.2 EKF nicht linear

Das nicht lineares wird linearisiert. Dabei werden Fehler gemacht.

3.13.3 Warum ist die Zustandsschätzung wieder eine Normalverteilung

Es wird mit linearen Modellen und Normalverteilungen gerechnet.

3.13.4 Zusammenhang Extremwert und Mittelwert

Bei Normalverteilungen sind sie identisch.

3.13.5 Inovation?

Der Unterschied zwischen Estimation und Messung.

3.13.6 Parameter des Gain

Standardabweichung

3.13.7 Wertebereich des Gain

0-1

3.13.8 Eingrenzung des Bereichs des Mittelwerts der Schätzung

3.14 Kapitel 4

Forward/Backward Algorithmus Die Nutzung der Varianzen, gerechnet vor vorne und hinten.

Singulärwertzerlegung Aufteilung in 3 Teilmatrizen. A = UDVt. U: eine unitäre m x m-Matrix ist, D: Diagonalmatrix V: die Adjungierte einer unitären n x n n x n-Matrix V

UWB Messungen, wie kann eine Trojektorie eschätzt werden Polynome vom Grad x (p(t) = a0 + a1t + a2t^2...) a0 + a1 * 0 + a2 * 0^2 + ... = [x0 y0]. Das ganze wird in Matrix-Vektor form gebracht. Werte in der Struckturmatrix werden werden durch tn geteilt, um sie zu normalisieren. Anschließend in matlab mit ax = linsolve(A, ax)...

Was ist ein homogenes linieares Gleichungssystem Homogen: Auf den Nullraum abgebildet. (Rechter und untererer Rand sind 0). Lineares Gleichungssystem: gleich viel gleichungen wie unbekannte.

Was ist ein überbestimmtes und inhomogenes gleichungssystem Ich bilde nicht auf dne Nullraum ab und habe mehr gleichungen als Unbekannte.

Kernidee Integrity Monitoring Abweichungen von über 3 Sigma sind nicht zu verwenden.

Kalman Filter

Prediction Phase Der Teil beim Kalmanfilter der als erstes ausgeführt wird, es wird das Bewegungsmodel verwendet und geschätzt wo wir sind.

measurement update die neue Messung kommt rein.

Estimation eigentlicher Filterschritt.

wie lauten die Modellannahmen des Kalman Filters Normalverteilte Rauschen, Normalverteilt, Lineares Bewegungsmodel,

Warum linear Verteilt Damit eine Normalverteilung normal bleibt.

warum ist die Modellannahme "linear" beim EKF wichtig? Dieser Arbeitet mit nicht linearen Modellen, welche linearisiert werden müssen.

Warum Normalverteilungen Weil diese deutlich einfacher zu verarbeiten sind.

Was bewirkt der Kalmanfilter Verrechnet eine Schätzung aus einem Bewegungsmodell und der aktuellen Messung miteinander und schätzt dadurch den realen Wert.

Warum ergibt eine neue Zustandsschätzung wieder eine Normalverteilung Weil wir nur Normalverteilungen haben und eine Normalverteilung * Normalverteilung = Normalverteilung

Wenn Mittelwert bekannt, wie berechnung der Varian In Strucktur der Normalverteilung bringen und dann Varianz ablesen.

Cartesian Motion

Warum können hier keine 3x3 Matrizen nicht direkt interpoliert werden? Da die eigenschaften der Drehungen verloren gehen würden. Daher überführung in RPY darstellung -> überführung in nächstes -> und zurück.

3.15 Kapitel 5

4 Partikelfilter

4.1 WDF

Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion [1]

4.2 Mutation

Das verändern eines Messwertes von einer Generation zur nächsten

4.3 Modellannahmen des Partikelfilters

- Sensoren nicht normalverteilt
- WDF kann multimodal / mit mehreren Peaks sein, damit kann ich mich Global positionieren

4.4 Kalmanfilter vs. Partikelfilter

- Normalverteilt vs. nicht normalverteilt
- Linear vs. nicht linear
- Kalmanfilter ist mathematisch, Partikelfilter ist algorithmisch

4.5 Generation

Eine Menge von N posen (Partikel) zum Zeitpunkt X_k
Jede Generation approzimiert die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF) anhand des momentan verfügbaren Wissens

4.6 Partikel

Eine Pose der Generation X_k

4.7 Schritte des Partikelfilter

Es gibt einen Init und fünf reguläre Schritte dazu noch einen um die Position zu berechnen

4.7.1 Init

Initialisierung durch Gleichverteilung von Partikeln

4.7.2 Bewegung

Bewegen des Roboters *(Zeitpunkt k - 1)*

4.7.3 Messung

Messung durchführen *(Zeitpunkt k)*

4.7.4 Propagation

Propagation aller Partikel durch Bewegungsmodell (Zeitpunkt k) (Mutation kann auch hier durchgeführt werden) Hier werden die Partikel mit dem Bewegungsmodel bewegt.
Wenn Q (Rauschen) mit 0 angenommen wird,
Q wird verwendet um das Rauschen der Sensoren zu imitieren. Außerdem wird es verwendet um die Partikel zu verteilen.

4.7.5 Gewichtung

Bewertung der Messungen für jedes Partikel.

Gewichtung Beispiel:
Differenz zwischen Partikelmessung und realer Messung. Reale Messung als Zentrum einer Normalverteilung und Gewichtung entspricht der Wahrscheinlichkeit in dieser Normalverteilung.

4.7.6 Neuverteilung der Partikel

Neuverteilung der Partikel mit Mutation

4.7.7 Berechnung der Position

Berechnung der Position mittels gewichtetem Mittel oder ransac [2] (1.14)

4.8 Anzahl Schleifen in Init

Wieviel Schleifen in init

Bibliography

[1] https://de.wikipedia.org/wiki/Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

[2] https://de.wikipedia.org/wiki/RANSAC-Algorithmus