

Kapitel 1

Grundlagen

1.1 Allgemeines

1.1.1 NMEA 0183

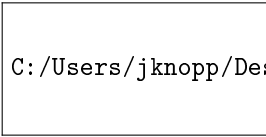
Der NMEA 0183 ist ein Standard zur Kommunikation zwischen Geräten auf einer Schiffsbrücke. Dieser wurde von der National Marine Electronics Association 1983 veröffentlicht. In diesem ist unter anderem die Struktur der Nachrichten definiert.

Die Nachrichten, welche über NMEA gesendet werden enthalten z.B. Daten von Systemen auf dem Schiff wie dem Radar, Daten von Sensoren wie Kompass und GPS-Empfängern. Hier rüber werden auch zusätzlich AIS-Nachrichten empfangen aus der nahen Umgebung

Eine solche NMEA - Nachricht ist wie folgt aufgebaut:

Sie beginnt mit einem „!“ oder einem „\$“ als Startzeichen. Darauf folgen zwei Zeichen Geräte ID, dadurch ist erkennbar woher die gesendeten Daten kommen. Auf die Geräte ID folgen drei Zeichen die den Nachrichtentyp bezeichnen, an welchen auch die folgenden Datenfelder zu identifizieren sind. Nun folgen die Datenfelder, welche für jeden Nachrichtentyp spezifisch sind. Am Ende der Nachricht folgt eine optionale Prüfzahl, welche mit einem „*“ abgetrennt wird. Die Nachricht wird mit einem Zeilenumbruch beendet.

Im folgenden beschreibt Abbildung 2.1 eine Tracked Target Management (TTM) NMEA - Nachricht. Dieser Nachrichtentyp enthält Schiffe aus dem Radar die als solche erkannt wurden und nun kontinuierlich über das Radar verfolgt werden.



C:/Users/jknopp/Desktop/Repositorys/Thesis/Thesis/Bilder/TTM_NMEA_Se

Abbildung 1.1: TTM Telegramm (NMEA Nachricht)

1.1.2 WGS 84

Das World Geodetic System 1984 (WGS 84) ist ein einheitliches System zur Positionsbestimmung auf dem Erdellipsoid. Es basiert auf einem Referenzellipsoiden.

Dieser Referenzellipsoid ist wie folgt parametrisiert:

Semi Major Axis $a = 6.378.137m$

Semi Minor Axis $b = 6.356.752m$

Erdabplattung: $f = \frac{(a-b)}{a}$

Somit sind globale Positionsangaben in Längen- und Breitengrad möglich. Die Längengerade verlaufen zwischen den Nord- und Südpol, die Breitengerade verlaufen parallel zum Äquator. Dadurch sinkt die Distanz zwischen benachbarten Längengeraden je näher sie einem Pol kommen. Die Längen- und Breitengrade werden in der Grad angegeben. Bei genaueren Positionsangaben werden zusätzlich die Gradminuten und Gradsekunden angegeben.

Das WGS 84 wird in GPS Empfängern verwendet und ist somit ein essentielles System zur Positionsbestimmung in der Schifffahrt.

1.1.3 Berechnungen auf dem Erdellipsoid

Es existieren verschiedene Formeln zur Berechnung auf dem Erdellipsoid. Für diese Arbeit sind besonders Formeln wichtig, welche die erste und zweite geodätische Hauptaufgabe lösen können. Die erste geodätische Hauptaufgabe ist das bestimmen eines Punktes mit einem gegebenen Punkt, einer Richtung und der Distanz. Die zweite geodätische Hauptaufgabe ist das bestimmen von Richtung und Distanz zwischen zwei Punkten. Zur Lösung der ersten beiden geodätischen Hauptaufgaben werden im weiteren drei Möglichkeiten dargestellt und bewertet.

Die erste Möglichkeit ist die Berechnung über die Euklidische Norm. Dabei würde man die Koordinaten auf einer Ebene annehmen und dementsprechend berechnen. Der Vorteil hiervon ist, dass wenn die Entfernungen zwischen den Punkten nicht zu groß werden, der Fehler durch die Erdkrümmung nur sehr klein ist. Zusätzlich ist die Berechnung so natürlich sehr simpel und effizient ausführbar. Die Berechnung über diesen Weg ist nur ratsam solange die Distanz nicht mehrere Längen- bzw. Breitengrade überschreitet. Denn ab diesem Punkt werden die Fehler durch die Erdkrümmung immer größer, wodurch auf komplexere Formeln mit Erdähnlicheren Grundformen zurückzugreifen ist.

Die zweite Mögliche Formel für die Berechnung ist die Great Circle Distance. Diese beruht auf der Annahme das die Erde eine perfekte Kugel ist und somit

Distanzberechnungen auf einer Kugel möglich sind. Dies hat den Vorteil, dass der Fehler deutlich geringer bleibt als bei der Euklidischen Norm. Jedoch ist der Fehler für größere Distanzen immer noch zu groß, um die Formel in einem Sicherheitskritischen Bereich zu verwenden.

Die dritte Möglichkeit ist die Vincenty Formel. Diese berechnet die geodätischen Hauptaufgaben auf einem Ellipsoiden. Dieser kann anhand der Erde parametrisiert werden. Das eröffnet die Möglichkeit Punkte über eine beliebige Distanz zu berechnen ohne eine Erhöhung des Fehlers durch die Erdkrümmung. Die Formel hat jedoch eine höhere Laufzeit als die vorherigen, da sie den Fehler der durch den Erdellipsoid entsteht bis zu einem Schwellwert minimiert. Die Formel soll egal wo auf der Erde eine Ungenauigkeit von weniger als einem Zentimeter haben.

Die richtige Methode kann nach der Entfernung zwischen den Punkten bestimmt werden. Eine Übersicht über die Abweichung der Euklidischen Norm und der Haversine Formel im Vergleich zu der Vincenty Formel ist in Tabelle 2.1 dokumentiert. Hierfür wurde die Distanz zwischen dem Ursprung (0, 0) und einem Punkt gemessen, welche immer weiter vergrößert wurde. Der Punkt zu dem die Entfernung gemessen wurde weist immer einen Richtungswinkel von 45° auf. Die Werte in der Tabelle entsprechen Distanzen in der Einheit Kilometer.

| Distanz (Berechnung mit Vincenty Formel) | Euklidische Norm | Haversine Formel |
|--|------------------|------------------|
| 1 | 0.0069 | 0,002 |
| 10 | 0.0626 | 0,02 |
| 100 | 0.626 | 0,2 |
| 1000 | 5.276 | 2 |

Tabelle 1.1: Entfernungsberechnung mit Unterschiedlichen Methoden

Es ist zu erkennen das der Fehler bei der Haversine Formel linear mit der Entfernung steigt. Bei der Euklidischen Norm ist zu betrachten, dass der Fehler erst linear steigt, dies hat den Grund das die Messung am Ursprung des geodätischen Koordinatensystems begonnen hat. Dort sind die Distanzen für ein Längen bzw. Breitengrad fast gleich. Nachdem jedoch größere Distanzen mit der Euklidischen Norm berechnet werden, ist zu erkennen das der Fehler mit steigender Erdkrümmung immer weiter zunimmt.

1.2 Point Set Registration

1.2.1 Rigid und Non-rigid Transformationen

Rigid (auf Deutsch starre) Transformationen und Non-rigid (auf Deutsch nicht starre) Transformationen gehören zu den Grundlagen von Point Set Registration. Im weiteren werden beide Transformationen erklärt und ebenso ihr Zusammenhang mit Point Set Registration.

Unter einer rigid Transformation, auf einer Punktwolke, versteht man eine Transformation, bei welcher sich die Abstände und die Winkel zwischen den Punkten nicht ändern. Es bedeutet das die Form der Punktwolke sich nicht verändert. Die folgenden Transformationen gelten als rigid Transformationen, da sie die Struktur der Punktwolke nicht verändern:

1. Translation, das verschieben der Punktwolke
2. Rotation, das rotieren der Punktwolke um den Ursprung
3. Spiegelung, das spiegeln der gesamten Punktwolke um eine Achse des Koordinatensystems

Hierbei ist Spiegelung aber eine eher selten verwendete Transformation. Eine Transformation wird als non-rigid bezeichnet sobald sie die Abstände und Winkel zwischen den Punkten verändert. Das bedeutet sie verändert die Struktur der Punktwolke. Zu den bei rigid Transformationen erlaubten Transformationen kommen nun noch affine Transformationen hinzu wie Skalierung, Scherung und Dilatation.

Die Point Set Registration Algorithmen lassen sich in eine der beiden Kategorien einteilen, je nach Art der Transformation, welche auf die Daten angewendet wird. Hierbei gibt es ein paar Überschneidungen, was die erlaubten Transformationen betrifft. Manche Algorithmen erlauben bei der rigid Transformation auch eine Skalierung wie der Coherent Point Drift Algorithmus.

1.2.2 Gaussian Mixture Model

Ein Gaussian Mixture Model ist eine Mischverteilung von Normalverteilungen. Eine Mischverteilung ist eine Zusammensetzung von Verteilungen verschiedener Datenmengen. Bei Gaussian Mixture Models sind diese Verteilungen Normalverteilungen. Das bedeutet sie hängen von folgenden Parametern ab:

1. Einem Mittelwert μ
2. Einer Varianz σ^2 bzw. einer Kovarianz Σ im multidimensionalen Raum

Der Mittelwert ist das Zentrum der Verteilung. Die Varianz bzw. Kovarianz gibt die Breite der Verteilung an, diese ist im mehrdimensionalen Raum ein Ellipsoid.

Die Dichtefunktion der Normalverteilungen i enthalten in einem Gaussian Mixture Model ist wie folgt definiert.

d : Dimension in welcher die Daten vorliegen

$$f_i(x) = N(\mu_i, \Sigma_i)(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{d}{2}} |\Sigma_i|^{\frac{1}{2}}} \cdot \exp(-\frac{1}{2}(x - \mu_i) \cdot \Sigma_i^{-1} \cdot (x - \mu_i))$$

Somit ist die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion des Gaussian Mixture Models die folgende.

$$f(x) = \sum_{i=1}^M w_i f_i(x) = \sum_{i=1}^M \cdot \frac{a_i}{(2\pi)^{\frac{d}{2}} |\Sigma_i|^{\frac{1}{2}}} \cdot \exp(-\frac{1}{2}(x - \mu_i) \cdot \Sigma_i^{-1} \cdot (x - \mu_i))$$

Die Gaussian Mixture Models werden immer verwendet wenn eine Verteilung aus mehrere Gauß-Verteilungen besteht oder es abschätzbar ist das dies der Fall sein wird. Dadurch finden sie eine Anwendung im Feld des Unsupervised Learnings für das Clustering von Datensätzen.

Sie finden auch in Point Set Registration Anwendung. Hier wird meist aus einer der Punktwolken eine Menge von Gaussian mixture Models generiert, welche nun mit den Punkten der zweiten Punktwolke verglichen werden. Dadurch ist es möglich eine probabilistische Lösung für das Problem zu bestimmen.

1.2.3 EM-Algorithmus

Der Expectation-Maximization Algorithmus ist ein iterativer Algorithmus zur Bestimmung von „versteckten“ Parametern. Ein „versteckter“ Parameter ist ein Parameter welcher nur über die Abhängigkeit von einem anderen Parameter beobachtet werden kann. Hierfür muss ein mathematisches Modell existieren um die beiden Parameter ineinander zu überführen. Ein Beispiel im Kontext des Point Set Registration ist, dass die Zuordnung der Punkte und die Transformationsparameter, welche benötigt werden um die Punktwolken ineinander zu überführen, so voneinander abhängen. Sobald die Zuordnung bekannt ist kann man damit die Transformationsparameter bestimmen und andersherum. Somit ist das Ziel die Zuordnung zu finden, welche von den Transformationsparametern abhängt.

Der EM-Algorithmus startet meistens mit einer zufälligen Initialisierung und optimiert nun diese bis er konvergiert.

Er besteht aus zwei Schritten dem E- und dem M-Schritt. Der E-Schritt auch Expectation-Schritt genannt bestimmt zuerst die Daten, welche Abhängig von den.....

HIER NOCH REST SCHREIBEN

Der EM-Algorithmus terminiert immer mit einer Lösung für das Problem. Diese Lösung ist aber nur ein lokales Maximum. Damit das globale Maximum gefunden werden kann muss der Algorithmus mit verschiedenen Startparametern aufgerufen werden.

1.2.4 Singulärwertzerlegung

Erklärung von Singulärwertzerlegung

1.2.5 Coherent Point Drift

Der Coherent Point Drift Algorithmus (CPD) ist ein Point Set Registration Verfahren, welches Rigid und non-Rigid Registrierungen lösen kann. Im weiteren wird hier jedoch nur der Ablauf der rigid Registrierung erläutert, da nur dieser im Kontext dieser Arbeit relevant ist.

Der CPD gehört zu den probabilistischen Point Set Registration Verfahren, dies bedeutet er arbeitet mit Wahrscheinlichkeiten für die Zuordnung der Punkte anstatt mit einer harten Zuordnung. Dieser probabilistische Weg ist möglich

da der Algorithmus mit GMMs arbeitet. Die Punkte einer der beiden Punktwolken werden als Gaussian mixture model Mittelwerte dargestellt. Nun wird versucht diese Punkte als feste Struktur der anderen Punktwolke zuzuordnen. Der CPD kann zu der probabilistischen Zuordnung auch mit Ausreißern und mit Ungenauigkeiten immer noch eine korrekte Zuordnung finden.

Im folgenden wird die Funktionsweise des Coherent Point Drifts genauer beschrieben.

Es wird eine Punktwolke durch GMM Mittelwerte beschrieben und eine Punktwolke bleibt in ihrer Form. Die GMM Punktwolke ist die bewegende Punktwolke und die andere ist die feste Punktwolke.

Der Algorithmus wird mit zufälligen Transformationsparametern initialisiert, welche in einem EM-Algorithmus maximiert werden.

Der EM-Algorithmus besteht aus einem E- und einem M-Schritt. Der E-Schritt bestimmt mithilfe der Transformationsparameter die Wahrscheinlichkeiten für eine Zuordnung von jedem Punkt zu jedem Punkt.

Der M-Schritt bestimmt aus der bestimmten Zuordnung nun neue maximierte Transformationsparameter, welche anhand der Zuordnung optimiert wurden um diese weiter zu erhöhen. Hierfür wird die Rotationsmatrix mithilfe von Singulärwertzerlegung bestimmt und der Translationsvektor aus der Differenz zwischen dem Mittelwert der festen Punktwolke und dem Mittelwert der bewegenden Punktwolke multipliziert mit der Rotationsmatrix.

t : Translationsvektor

R : Rotationsmatrix

μ_{fix} : Mittelwert feste Punktwolke

μ_{moving} : Mittelwert bewegende Punktwolke (GMMs)

$$t = \mu_{fix} - R\mu_{moving}$$

Diese beiden Schritte werden solange wiederholt bis die Änderung in den Transformationsparametern nur noch unter einem gewissen Schwellwert liegt. Das bedeutet die Zuordnung und die Transformationsparameter werden durch den EM-Algorithmus solange verbessert bis ein Maximum gefunden wurde. Dieses Maximum muss aber nicht das globale Maximum sein. Der EM-Algorithmus findet immer nur ein lokales Maximum, das bedeutet, dass auch der CPD immer nur ein lokales Maximum findet. Aus diesem Grund dürfen die Punktwolken zu Beginn der Zuordnung keine zu großen Unterschiede in der Rotation aufweisen, da sonst die Punkte initial falsch Zugeordnet werden und möglicherweise der Algorithmus nur ein lokales Maximum findet.