

Automatische Trassenbildung aus diskret aufgenommenen Punktfolgen

Ivo Milev

1 Datenverwaltung bei Linearen Objekten

1.1 Grundlagen

Bei der Bereithaltung von Daten linearer Objekte, ob Straße oder Schiene, werden im GIS-Bereich verschiedene Bezugssysteme verwendet. Es kann sich um Koordinaten handeln aber auch um linienhafte Bezugssysteme, die durch die Achse des jeweiligen Objektes repräsentiert werden. Im Eisenbahnbau wird dieser Bezug Kilometerlinie genannt. Nur die Kenntnis der geplanten oder tatsächlichen Elemente mit ihren Parametern ermöglicht den Übergang zwischen den genannten Systemen.

Die Kenntnis der Koordinaten der Elementen-Hauptpunkte liefert uns also nur unzureichende Information über den Linienvverlauf. Zur vollständigen Beschreibung des geometrischen Verlaufes müssen wir dessen funktionale Definition kennen. Dies ist auch die allgemeingültige Form die ein lineares Objekt beschreibt.

Um die Übersicht zu gewähren wird diese sätige Funktion, die als geschlossene Lösung sehr schwer zu ermitteln ist, in Teilabschnitte, sogenannte Elemente, unterteilt. Für diese ist die mathematische Funktion bekannt und wir sind in der Lage, in beliebiger Dichte diskrete Punkte zu berechnen. Dies dient wie bekannt als Grundlage für die Absteckung. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage der Lösung des inversen Problems:

Ist es möglich, und mit welchem Aufwand, aus einer vorgegebenen Punktfolge die Elemente abzuleiten und dadurch auch die Funktion des Linienvverlaufes zu rekonstruieren.

Im vorliegenden Beitrag wird die Problematik der inversen Aufgabe analysiert, indem versucht wird, aus diskret erfassten Punkten den Geometrieverlauf durch Elemente zu beschreiben. Für die Erfassungsdichte und Genauigkeit sind natürlich die Aufnahmeverfahren von entscheidender Bedeutung. Sie werden nur allgemein angesprochen.

Die Anforderung, die Algorithmen möglichst robust bezüglich Ausreißern zu gestalten ist bei der vorliegenden Aufgabe maßgebend.

1.2 Datenerfassung

Derzeit gängige Verfahren der Erfassung von linearen Objekten basieren hauptsächlich auf Messgrößen aus denen sich letztendlich die Koordinaten diskreter Punkte am Objekt ergeben, sowie auf permanente Erfassung durch mit Sensoren ausgestattete Messfahrzeuge. Eine andere Einteilung unterscheidet, ob diese direkt am Objekt erfolgen oder indirekt eine früher stattgefundene und dokumentierte Erfassung verwenden: Zur der Gruppe der direkten Messverfahren gehören:

- Tachymetrische Aufnahme

- Kinematische GPS Aufnahme

Sowie

- die Sensorenfahrzeuge.

In der Gruppe der indirekten Messverfahren gehört die:

- Digitalisierung aus grafischen Unterlagen

Gute Ergebnisse aus Messungen mit automatisierten Totalstationen liegen für den Anwendungsbereich „Feste Fahrbahn“ bei Hochgeschwindigkeitstrassen vor. Etwa 95 % des Aufwandes entfallen dabei auf die Messung. Der hohe Messaufwand begründet die seltenere Anwendung dieses Messverfahrens.

Bei der Erfassung für GIS Anwendungen kommen hauptsächlich die Digitalisierung und immer mehr die kinematische GPS Messung in Frage. Darauf beziehen sich auch die nachfolgenden Ausführungen. Sie bleiben aber allgemeingültig.

2 Ermittlung des horizontalen Trassenverlaufs

2.1 Problemstellung

Die bisherige Erfahrung zeigt, dass bei Bereithaltung der Primärdaten für lineare Objekte als in GIS Systemen übliche dreidimensionale Koordinaten (x, y, z) die Stationierungswerte als Attribute nicht mehr aktuell gehalten werden können, da die eindeutigen Algorithmen für die Rückwärtsabbildung fehlen. Dadurch wird die Datenkonsistenz verletzt. Das heißt das Geometrieattribut Station sollte widerspruchsfrei zu der Geometrie aus Koordinaten stehen.

Um das Problem der geringen Punktdichte bei Digitalisierung zu umgehen werden andere Wege für eine effektive und dichtere Erfassung gesucht. Am geeignetsten erweist sich die kinematische GPS Messung. Sie bietet einen optimalen Kompromiss zwischen Punktdichte, Geschwindigkeit und Genauigkeit. Die flächendeckende Einführung des SAPOS Dienstes in Deutschland bietet eine zusätzliche Möglichkeit nur mit einem GPS Empfänger kostensparend dreidimensionale Koordinaten zu erhalten.

2.2 Auswertung

Die Krümmungsfunktion ist das einzige Kriterium um eine Linie im Raum eindeutig zu beschreiben. Die Krümmung ist invariant bezüglich Translation und Rotation des Bezugssystems. Aufgabe der Trassierung ist die Krümmung in jedem Punkt der Trasse zu bestimmen. Da die mathematische Darstellung der Krümmungsfunktion wegen der vielen geometrischen Bedingungen nicht geschlossen möglich ist, wird sie gestückelt. Die einzelnen Stücke heißen Elemente.

Diese wichtige Eigenschaft wird nachfolgend bei der Auswahl der Auswertungsstrategie berücksichtigt. Anwendbar sind sie wie für Strasse so auch für Schiene. Der Unterschied besteht nur in unterschiedlichen Parametergrenzwerten.

Die Ausgangsdaten liegen im ASCII Format vor. Sie enthalten diskrete Punkte mit ihren x, y, z im gewünschten Abbildungs- und Höhensystem. Die Uhrzeit wird als Punktname verwendet und liefert die zeitliche Folge für die Topologiebildung.

Die Punkte werden eingelesen und grafisch dargestellt (Abb. 1). Auffällig sind Lücken, die beim Durchfahren von Tunneln und Unterqueren von Brücken entstehen. Punkthäufungen sind auf reduzierte Geschwindigkeit und im Extremfall durch Anhalten des Fahrzeuges zur erklären. Es folgt eine Sortierung und Filterung der Punkte. Die topologische Verbindung zu einem Polygon erlaubt die chronologische und geometrische Kontrolle der Aufnahme. Die Zeitangaben können zusätzlich eingeblendet werden. Restliche Ausreißer können manuell entfernt werden.

Ein kubischer Spline wird über das Polygon gelegt. Der Spline besteht aus Funktionen dritten Grades, die jeweils zwischen zwei Punkten definiert sind, und in den Intervallgrenzen stetig und differenzierbar sind.

$$x(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3,$$

Für die Berechnung der Bogenelemente und der Krümmung werden die erste und die zweite Ableitung nach dem Längenparameter t benötigt (Abb2 /3).

Nachdem das Krümmungsbild für den Spline ermittelt worden ist sind die Elemente und ihre Wechsellpunkte im Kilometrierungs-Krümmungssystem visuell zu kontrollieren (Abb2 /3). Somit ist die Elementeneinteilung bekannt und durch zweimaliger Integration kann die Parameterdarstellung der Trassenelemente abgeleitet werden (Abb2 /4). Anschließend werden die abgeleiteten Elementenparameter als Näherungswerte für eine Trassenoptimierung (MILEV 1993) unter Zwang mit dem Programm AXTRAN (TECHNET GMBH 1997) verwendet. Die Zwangspunkte können aus der Menge der Aufnahmepunkte stammen, können aber auch nachträglich eingeführt werden. Somit erhalten wir als Ergebnis eine Trasse die allen unseren einhaltbaren Zwangsdefinitionen entspricht (Abb2 /5).

3 Zusammenfassung

Die Automatische- Trassen- Erkennung ATREK ist ein modernes System zur Erkennung und Bildung von Trassenelemente aus diskreten Punkfolgen. Verwendet werden neueste Algorithmen der Approximierung, Filtertechnik und Statistik.

Vorteile:

- Beliebige Erfassungsreihenfolge
- Erfassungs-Genauigkeiten bis in den Meterbereich
- Kombination von vollautomatischen Abläufe mit Möglichkeiten eines unterstützenden manuellen Eingriffs.
- Direkte Weiterverarbeitung mit dem bewährten Trassenoptimierungsmodul AXTRAN

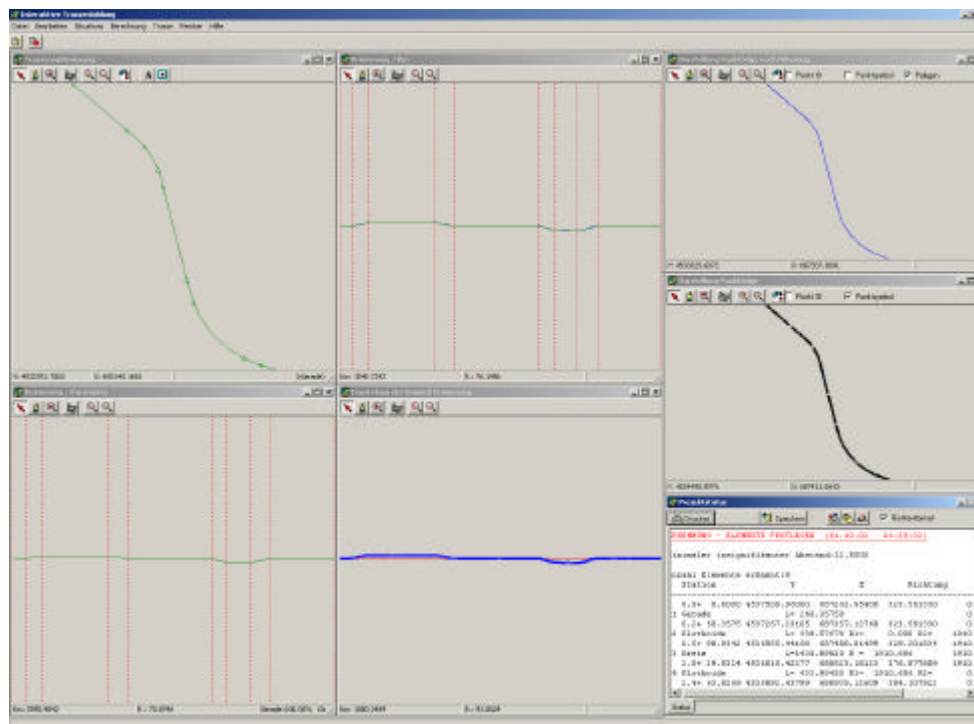


Abb. 1: ATREK GPS-Aufnahme 1. Eingelesene GPS-Daten mit Lücken (rechts Mitte)
 2. Spline-Bildung nach Sortierung und Filterung (rechts oben)
 3. Digital geglättetes Krümmungsbild (Mitte unten)
 4. Automatisch erkannte Elemente (Mitte oben)
 5. Anpassung der Elementenübergänge (links unten)
 6. Erkannte Trasse mit Hauptpunkten (links oben)
 7. Parameter der Elemente
 (s. auch Farbtafel #, S. #)

4 Literatur

- Milev, I. (1993): *Konzepte zur Trassierungsberechnung im Strassen- und Eisenbahnbau*.
 In: DVW, 27.-29. September 1993, Beiträge zum DVW- Seminar tech.93, Sonderdruck,
 Beitrag P/1.
- Milev, I. (1997): *Benutzerhandbuch Trassen-Optimierung AXTRAN*. Juli 1997, Technet
 GmbH, Berlin.