Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg

Lehrstuhl Mathematik, insbesondere
Numerische und Angewandte Mathematik
Prof. Dr. L. Cromme

Praktikum Mathematische Modellierung

für die Studiengänge Mathematik, Wirtschaftsmathematik, Informatik und Physik im Wintersemester 2013/14

Aufgabenblatt 6

Die Spurgebundenheit von Schienenfahrzeugen ist ein wesentlicher Aspekt für die Automatisierung des Bahnbetriebs. Fallen allerdings Bestandteile der Fahrbahn (wie zum Beispiel Signale oder Weichenantriebe) aus, dann hat dies unmittelbar erhebliche Störungen im Betriebsablauf zur Folge. Das rechtzeitige Erkennen von kritischen Zuständen der Bestandteile der Fahrbahn ist deshalb von besonderer Bedeutung.

Für das Erkennen kritischer Zustände wird bisher ein System aus Kontrollen und vorbeugender Instandhaltung in festen Zeitabständen angewandt. Reduzierung der Kosten, Reduzierung des nicht mehr in jedem Fall auf den Betriebsstellen vor Ort eingesetzten Personals, und Erhöhung der Sicherheit sind einige der mit einer zunehmenden Rationalisierung und Automatisierung des Eisenbahnbetriebes einhergehenden Gründe, weshalb Betreiber der Eisenbahninfrastruktur nach anderen Methoden suchen, um Störungen an den Fahrbahnbestandteilen bereits frühzeitig erkennen zu können.

So werden zum Beispiel die Funktionalität und die Sicherheit von Weichen mittels Sensoren an Fahrbahnteilen und an Elementen des Antriebs überwacht, die eine Vielzahl elektrischer Signale liefern. Ein Ansatz zur Entwicklung eines Weichendiagnosesystems, das eventuell auftretende Störungen bzw. Schäden an den Weichenteilen bereits im Voraus erkennt, besteht in einer kontinuierlichen Auswertung und Überwachung dieser Signale. Überschreitet dabei ein gemessener Wert einen bestimmten Grenzwert, dann kann daraus eventuell auf einen drohenden Ausfall der Weiche geschlossen werden und es kann an die nächste Betriebstelle ein „Warnsignal“ gesendet werden.

In der Regel besteht ein Weichenantrieb aus einer Stell- und Überwachungskomponente. Hauptbestandteil eines Weichenantriebes ist ein Motor, der über ein Getriebe mittels Stell- bzw. Zungenverbindungsstange die Weichenzungen antreibt und in ihrer Endlage festhält. Dabei wird die zum Umstellen entwickelte Kraft Stellkraft und die für das Festhalten der Weichenzungen während des Befahrens aufzubringende Kraft Festhaltekraft genannt. Grundsätzlich sind die Stellkräfte in den beiden Bewegungsrichtungen des Antriebsgestänges verschieden, in der einen Richtung (wir sprechen nachfolgend von *positiver* Richtung) sind sie kleiner als in der anderen (*negativen*) Richtung.

Mit Hilfe geeigneter Messinstrumente ist es zum Beispiel möglich, die während eines Stellvorganges auftretenden Kräfte am Antriebsgestänge kontinuierlich zu messen. Kontinuierlich bedeutet dabei, dass in einem bestimmten Zeitabstand Δt eine Messung erfolgt, wobei es besser wäre, die Notation $\Delta_{i,j}t$ zu verwenden, womit angedeutet werden soll, dass der Zeitabstand der Messung sowohl von Stellvorgang i zu Stellvorgang $i+l$ als auch innerhalb der Messung j des i-ten Stellvorgangs verschieden sein kann. Bei den in dieser Aufgabe betrachteten Messreihen gilt näherungsweise $\Delta_{i,j}t \approx 50\,ms$. Die exakten Zeitabstände $\Delta_{i,j}t$ sind auch gar nicht bekannt, d.h. $\Delta t = 50\ ms$ ist die Zeit, mit der das System zur Datenerfassung *theoretisch* arbeiten sollte, d.h. die praktischen Werte weichen davon in der Regel ab.

Der Messbereich für die Kräfte liegt zwischen bei $0\,N$ und $15000\,N$. Da zum Festhalten der Weichenzungen in ihrer Endlage auch eine Kraft aufgebracht werden muss, wird in der Regel $F > 0$ gemessen. Kräfte der positiven und negativen Richtung werden unterschieden, in dem den Messwerten der negativen Richtung ein negatives Vorzeichen gegeben wird. In den Tabellen 1 und 2 sind die Messwerte eines Umstellvorganges einer U-Bahnweiche zu sehen.

i	F_i	i	F_i	i	F_i	i	F_i
0	168	17	985	34	1515	51	201
1	212	18	972	35	1467	52	170
2	284	19	1071	36	1433	53	182
3	316	20	1182	37	1341	54	206
4	339	21	1295	38	1250	55	196
5	352	22	1358	39	1263	56	185
6	451	23	1286	40	1201	57	181
7	538	24	1368	41	1114	58	188
8	543	25	1401	42	972	59	215
9	602	26	1496	43	842	60	226
10	663	27	1608	44	822	61	228
11	720	28	1538	45	689	62	229
12	806	29	1638	46	485	63	229
13	821	30	1615	47	479	64	229
14	760	31	1548	48	446	65	229
15	892	32	1597	49	388	66	229
16	845	33	1606	50	279		

Tabelle 1: Kraft F_i der i-ten Messung eines Umstellvorganges in positiver Umstellrichtung

i	F_i	i	F_i	i	F_i	i	F_i
0	1327	18	1974	36	−104	54	125
1	1432	19	1679	37	−165	55	125
2	1404	20	1482	38	−159	56	125
3	1472	21	1510	39	−82	57	125
4	1578	22	1593	40	11	58	125
5	1628	23	1730	41	61	59	125
6	1653	24	1933	42	73	60	125
7	1722	25	2034	43	75	61	125
8	1744	26	2028	44	75	62	125
9	1669	27	2078	45	76	63	125
10	1638	28	1638	46	80	64	125
11	1595	29	1502	47	88	65	125
12	1610	30	1424	48	103	66	125
13	1606	31	1279	49	118	67	125
14	1649	32	882	50	125	68	125
15	1640	33	325	51	125	69	126
16	1433	34	126	52	125	70	125
17	1615	35	11	53	124	71	126

Tabelle 2: Kraft F_i der i-ten Messung eines Umstellvorganges in positiver Umstellrichtung

Aus den beiden Datenreihen erkennt man sofort zwei Merkmale der zur Verfügung stehenden Messdaten: Einerseits ist das Anlaufen des Umstellvorganges nicht immer erkennbar, was in Tabelle 2 besonders deutlich zu erkennen ist. Dies hat seine Ursache vermutlich im System zur Datenerfassung oder in einer fehlerhaften Aufbereitung der Messdaten, bei der aus den kontinierlich erfassten Messungen aufwändig positive und negative Umstellvorgänge „herausgefiltert“ werden müssen. Andererseits erkennt man in Tabelle 2 auch Messwerte mit negativen Vorzeichen, also Messwerte eines negativen Umstellvorganges. Dies hat aber seine Richtigkeit, denn zum Ende eines Umstellvorganges kann es zum sog. „überschwingen“ des Weichenantriebes kommen, wobei der Motor sich kurzzeitig in die „falsche“ Richtung bewegt.

Die Erfassung der oben genannten Daten und deren Auswertung sind zwei Grundvoraussetzungen für die Entwicklung eines Weichendiagnosesystems, wobei neben den Umstellkräften natürlich auch noch andere Faktoren (z.B. Umgebungstemperatur, Endlage der Weichenzungen, ...) hinzukommen, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden soll. Das gesammelte Zahlenmaterial ist mit verschiedenen mathematischen Methoden auszuwerten. Ein Ansatz besteht zum Beispield darin, einen oberen und einen unteren Grenzwert zu bestimmen, in dem sich die gemessenen Werte mit einer gewissen Zuverlässigkeit immer befinden müssen, um den betreffenden Weichenantrieb als voll funktionsfähig ansehen zu können. Verlassen Werte diesen

Vertrauensbereich, so könnte dies als ein kritischer Zustand bewertet werden. Zielstellung dieses Ansatzes soll es sein, eine kleinere Stichprobe, zum Beispiel im Umfang von Messdaten eines Tages, einer Woche oder einem Monat, mit Hilfe dieser Grenzwerte dahingehend zu bewerten, ob der Weichenantrieb voll funktionsfähig ist, ob eine Störung zu erwarten ist oder ob gar eine Störung aufgetreten ist.

Der genannte Ansatz erfordert offenbar die Anwendung verschiedener Methoden der mathematischen Statistik. Aus den oben genannten und weiteren Gründen ist dies aber nicht so einfach möglich. Ergänzend bzw. alternativ könnte auch der Ansatz hilfreich sein, den Kraftverlauf („Kraftkurve“) eines einzelnen Umstellvorganges durch eine geeignete Funktion zu beschreiben, mit deren Hilfe zunächst Erkenntnisse über die (zeitliche) Länge eines einzelnen Umstellvorganges, das Maximum der notwendigen Umstellkraft oder auch Aussagen über den tatsächlichen Anfang des Umstellvorganges zu erhalten.

Modellieren Sie die Kraftkurve des Umstellvorganges eines Weichenantriebes mit unterschiedlichen mathematischen Ansätzen. Ermitteln Sie auf dieser Grundlage aus den Messwerten Grenzwerte für die maximale Umstellkraft und die maximale Zeit der Umstellvorgänge. Programmieren Sie Ihre Algorithmen zur Bestimmung dieser Grenzwerte vorzugsweise mit Matlab. Bewerten Sie Ihre Ergebnisse kritisch, d.h. insbesondere: Kann allein mit den genannten Grenzwerten tatsächlich eine Weichenstörung erkannt werden? Wie kann der Ansatz ggf. erweitert werden, damit eine Weichenstörung zweifelsfrei erkannt wird?

Anlagen: Messwerte aus den beiden Tabellen als Excel-Tabelle
Messwerte verschiedener anderer Umstellvorgänge als Excel-Tabelle