

Konzeption eines elektronischen Fahrrad-Tachos

Heinz Pichler

1. Eine Weg-Funktion

Ein Radfahrer möge aus dem Stand 8sec lang mit $a=0.7m/s^2$ beschleunigen, um danach weitere 5sec lang gleichförmig zu rollen und anschließend mit $b=-1.8m/s^2$ bis zum Stillstand zu verzögern.

Als erstes halten wir nach Abb.1 die Eckdaten fest¹. Die erzielte Höchstgeschwindigkeit macht etwa 20km/h aus, die gesamte Fahrzeit t_E beträgt rund 16sec. Im [MODE]-Menü sind die Optionen <Func> und <Connected> zu aktivieren, dann geben wir die abschnittsweise definierte Weg-Funktion Y_1 ein¹ (Abb.2), worin die Variable X den Zeitablauf beschreibt. Erst jetzt stellen wir unter [WINDOW] die Werte

$$Xmin=0; Xmax=18.8; Xsc1=0$$

$$Ymin=0; Ymax=Y_1(E); Ysc1=0; Xres=1$$

ein und entnehmen dem Ergebnis von Ymax, dass der Radfahrer insgesamt etwa 59m zurücklegt.

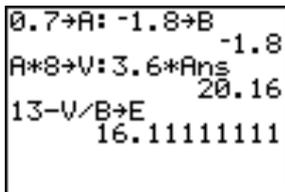


Abb. 1

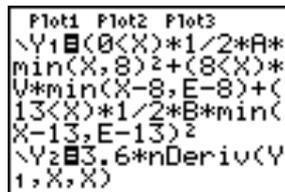


Abb. 2

Mit [GRAPH] erhält man das Zeit-Weg-Diagramm, das mit dem Home-Screen-Zusatz

$$\text{Vertical } 8:\text{Vertical } 13:\text{Vertical } E$$

in die quadratisch verlaufende Beschleunigungsphase, den linearen Abschnitt der Gleichförmigkeit, den negativquadratischen Verzögerungsteil und den anschließenden Stillstand untergliedert wird.

2. Analoge Geschwindigkeitsabnahme

Ein Analog-Tacho wandelt die Zeitableitung der Radbewegung als Drehzahl n elektrodynamisch und federmechanisch in eine Zeigergröße α um, die zum Maß für die Momentangeschwindigkeit wird (Abb.3²). Mathematisch wird dieser Prozess durch den Term Y_2 (Abb.2) nachgebildet. Mit [GRAPH] erhält man die abtastfähigen Kurven des zeitlichen Orts- und Geschwindigkeitsverlaufs (Abb.4³).

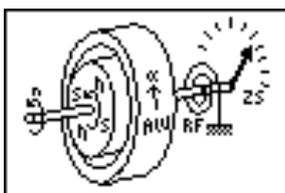


Abb. 3

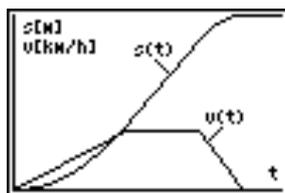


Abb. 4

3. Digitale Wegabnahme

Einem Digital-Tacho wird der zurückgelegte Weg über Impulse des Rad-Sensors vermittelt: Mit jeder vollen Radumdrehung wird dabei der Kontostand des elektronischen Wegzählers um den bei Konfiguration des Tachos eingegebenen Wert

des Radumfangs U aufgestockt (Abb.5²). Mit der Teilung des Bildschirms im [MODE]-Menü <Horiz> und der Befehlszeile

$$2.15 \rightarrow U: Ans \rightarrow \Delta Y: FnOff$$

für ein 28"-Rad und dem die portionierende Wegzählung nachahmenden Term Y_3 erhalten wir den in gleichen Stufenhöhen anwachsenden Graphen der Weg-Funktion (Abb.6). Die Stufenkanten reichen von unten jeweils an den analogen Wegverlauf heran, wie ein Zuschalten von Y_1 ergibt. Augenfällig wird die Diskrepanz zwischen beiden Kurven nur in Langsamfahrphasen, da das "Wegkonto" vom langsam drehenden Rad seltener aktualisiert wird.

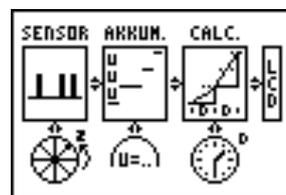


Abb. 5

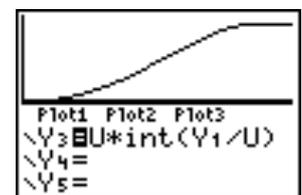


Abb. 6

4. Numerische Geschwindigkeitsermittlung und Durchrechnungszeitraum

Künftig gilt unser Augenmerk nur mehr der Geschwindigkeit. Zum einen verfeinern wir die Anzeigeempfindlichkeit durch Senkung des Erfassungsbereichs von bisher 59km/h auf 25km/h; zum anderen passen wir das Beurteilungsintervall für den untenstehenden Differenzenquotienten der bisherigen Aufzeichnungspraxis von $\Delta X=0.2$ an.

$$25 \rightarrow Ymax: \Delta X \rightarrow D$$

Die Geschwindigkeit, die der elektronische Tacho unter Inanspruchnahme seiner Quarzuhr über den Differenzenquotienten

$$v [km/h] = 3.6 \cdot \frac{s(t) - s(t-D)}{D}$$

errechnet (CALC.-Modul in Abb.5), ermitteln wir auf gleiche Weise durch die Gleichung Y_4 (Abb.7). Y_3 wird abgeschaltet und Y_2 zum Vergleichen wieder aktiviert.

Mit [GRAPH] stellen wir fest, dass die Diskontinuitäten in der Wegmessung in Verbindung mit den kleinen Zeitintervallen katastrophale Wirkung für das Ergebnis zeitigen! So wählen wir einen längeren Beurteilungszeitraum von $D=1$ sec, wissend, dass wir uns damit von der Diktion der Augenblicksgeschwindigkeit weiter entfernen (Abb.8).

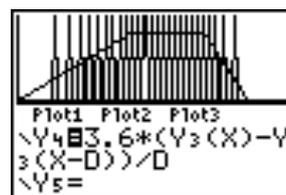


Abb. 7

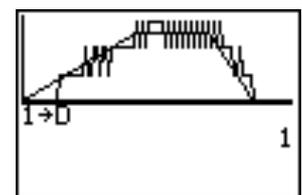


Abb. 8

Die Schwankungen sind deutlich geschrunpft, das System wurde träger. Für $D=2$ sec beträgt die Verzugszeit bereits über

1sec, wie man nach Eingabe dieses D-Wertes, gefolgt von `TRACE` an der X-Koordinate ablesen kann. Das Produkt aus Schwankungshöhe und Reaktionsverzögerung scheint eine Schranke nach unten darzustellen, die wir mittels Optimierung weiterer Parameter aber bald nehmen werden.

5. Änderung des Ermittlungsintervalls

In Phasen mit oszillierenden Ergebnissen sehen wir uns in der Praxis mit LCD-Ziffern konfrontiert, die im 0.2-Sekunden-Rhythmus flimmern und an den variierenden Ziffernstellen somit unleserlich bleiben. Daher wollen wir dem Tacho die Aktualisierung der Kalkulation im Sekunden- oder Zweisekunden-Takt C beibringen! Die simulierenden Terme finden Sie in Abb.9³ und weiter ausgebaut in Abb.10³, zu der noch die explizite Definition $2 \rightarrow C$ gehört, ehe mit `GRAPH` das Wiedergabeverhalten des Tachos studiert werden kann. Die Schwankungen sind ausgebügelt, der Delay-Effekt nur um einen geringeren Faktor verstärkt!

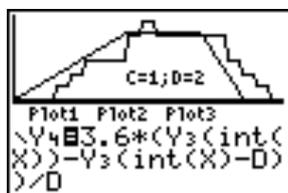


Abb. 9

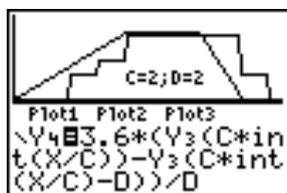


Abb. 10

6. Teilung des Umfanges

Eine andere Optimierungsmöglichkeit, welche die genannte Schranke antiproportional hinabdrückt, wird in der Praxis kaum wahrgenommen, nämlich jene durch Reduktion des Radumfanges! Nicht, dass jetzt an den Tausch des 28"-Rades gegen ein Kinderrad gedacht sei! Die Teilung kann durch symmetrische Anbringung von mehreren Speichenmagneten vorgetäuscht werden. Mit gleichzeitiger Einprogrammierung des "magnetisch geteilten" Radumfanges erzielt man selbst bei Niedrigtempo passable Stabilität und Akkuratess (Abb.11)! Bei Übertreibung nach dem Motto "Jeder Speiche ihr Magnet!" stößt man bei höherem Tempo aber leicht an die Grenzfrequenz des Systems.

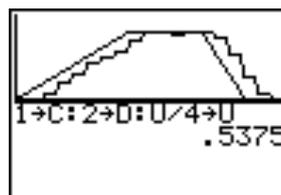


Abb. 11

Mit dem nunmehr entwickelten Gleichungsmaterial können Sie das Zusammenspiel zwischen dem Parametertripler C, D, U und dem Messverhalten des Radcomputers weiter evaluieren oder ganz andere Systeme¹ entwickeln!

7. Nachbetrachtung

Die im Artikel dargelegte Verfälschung des kinematischen Ablaufes durch die digitale Abtastung bezeichnet man auch als "Transientes Aliasing". Im Unterschied zu jenem in den TI-Nachrichten 1/06, S.13-17 beschriebenen, an dem die Pixel-Quantelung des Rechner-Displays Schuld trägt, ist das gegenständliche eine "digitale Beigabe" des Rad-Sensors und wird vom Graphikrechner ziemlich realitätstreu nachvollzogen.

Im Stadium der Entstehung (Abb.6) erweist sich das "Tacho-Aliasing" als wenig auffällig und nimmt erst im Zuge der Weiterverarbeitung (Abb.7-11) relevante bis groteske Ausmaße an, ein Umstand, der trefflich die dem Differenzenquotienten innewohnenden Abhängigkeiten, sowie die darauf beruhenden Gesetzmäßigkeiten der Fehlerfortpflanzung aufzuzeigen vermag!

¹) Hintergrundinformation über die kinematischen Formeln und die Bewegungsgleichung erhalten Sie unter anderem im ausführlicheren, gleichlautenden Artikel aus der Materialdatenbank der TI-Homepage.

²) Die Bilder ANATACHO.8XI und UHRTACHO.8XI liegen zum Download ebendort bereit!

³) Die Graphik wurde händisch ergänzt!

Autor:

Mag. Heinz Pichler, Spittal/Drau (A)
pichler_h@lycos.at