

Schneller als die Steuerung erlaubt

Allzu oft verlangt die Praxis von der Steuerung zeitkritische Reaktionen. Ein Rezept ist oft der Griff zur leistungsstärkeren Steuerung – manchmal sogar, ohne dass das nötig wäre. Im Automatisierungstechnik-Unterricht der ZHAW werden solche Fragen anhand eines anschaulichen und zugleich anspruchsvollen Experiments untersucht.



Figur 1: Rotierender Drehteller: Die 10 Bilder ergeben einen Film im Sinne eines Daumenkinos.

Auf einer drehbaren Scheibe sind mehrere Spuren mit Zahlen, Farben und insgesamt zehn Bildern dargestellt. Ein Ziel des Versuchs ist, ein LED-Stroboskop so zu triggern, dass die Bilder dem Betrachter einen Film vorgaukeln (Figur 1). Angetrieben von einem DC-Motor dreht die Scheibe mit rund 2500 U/min. Eine Lichtschranke signalisiert der Steuerung mit einem Indeximpuls jeweils den Beginn einer neuen Umdrehung. Aus der Zeit zwischen zwei Impulsen kann auf die Drehzahl geschlossen werden. Zugleich ist damit klar, wann der Lichtblitz auszulösen ist, um ein bestimmtes Bild auf der Scheibe zu beleuchten. Das Vorgehen ist einfach: Berechne beim Indeximpuls die benötigte Wartezeit und schalte dann das Blitzlicht kurz ein – und schon

läuft das Daumenkino. In der Theorie ist das keine Sache. Die Probleme tauchen erst beim Nachrechnen auf: Wie lange darf zum Beispiel ein Blitzimpuls dauern, damit sich die Scheibe während der Belichtungszeit um höchstens 0,5 mm verschiebt? Wird länger belichtet, entsteht für den Betrachter ein unscharfes Bild. Bei einem Scheibenradius von 12 cm und der maximal zulässigen Verschiebung während des Blitzes von $s_{\max} = 0,5 \text{ mm}$ resultiert eine maximale Leuchtdauer von $16 \mu\text{s}$. Wie kann eine Steuerung, die zum Beispiel mit einer Zykluszeit von 1 ms arbeitet, zuverlässig einen Impuls mit der Dauer von $20 \mu\text{s}$ erzeugen? Abgesehen davon muss der Impuls auch zeitlich mindestens so genau positioniert werden,

da sonst die Scheibe am falschen Ort sichtbar wird. Mit anderen Worten: Die Steuerung, die im Millisekundentakt arbeitet, soll Signale erzeugen, die mindestens 50-mal schneller sind, als die Steuerung reagieren kann. Neu ist diese Problematik natürlich nicht, solche Aufgaben wurden bisher auch schon gelöst, jeweils mit mehr oder weniger aufwendiger Spezialhardware. Auch das hier vorgestellte Konzept der eXtreme Fast Control Technology (XFC) ist nichts anderes, aber es ist elegant in das Gesamtsteuerungskonzept integriert (Figur 2).

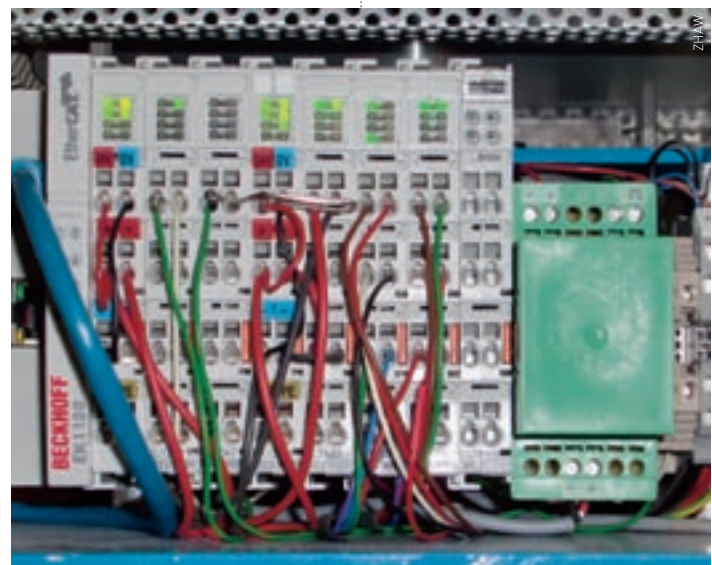
XFC-Konzept mit verteilten Uhren

Die Steuerung verwendet statt herkömmlicher Ein- und Ausgangskarten solche, die zusätzlich mit hochpräzisen Uhren ausgerüstet sind. Die Eingangskarte registriert nicht nur den Flankenwechsel des

Index-Signals, sondern zusätzlich auch den exakten Zeitpunkt. So kann die Steuerung in aller Ruhe die Wartezeit bis zum nächsten Lichtblitz berechnen. Auch die Ausgabekarte ist mit einer Uhr ausgerüstet. Die SPS teilt dem Ausgang neben dem Schaltbefehl auch den genauen Zeitpunkt und die Dauer des Lichtblitzes mit. Der Ausgang schaltet dann zum vorgegebenen Zeitpunkt, auch wenn die Steuerung dann mit anderen Dingen beschäftigt ist. Natürlich funktioniert dies nur dann, wenn die Uhren des Systems genau aufeinander abgestimmt sind. Dies garantiert bei dieser Steuerung das Echtzeit-Ethernet-System EtherCAT.

Der Teufel steckt im Detail

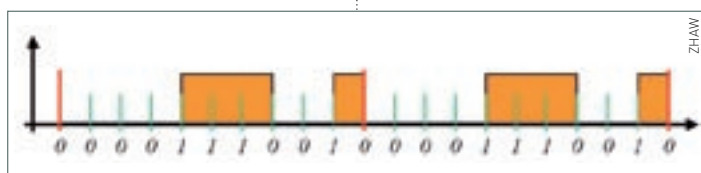
Obwohl der Ablauf klar ist, muss die eine oder andere Knacknuss gelöst werden. Zunächst gilt es zu verstehen, wie der Ausgabeimpuls und



Figur 2: Aufbau der Hardware (v.l.n.r.): EtherCAT-Anschlusskarte, 2-kanalige XFC-Eingangsklemme, 2-kanalige-XFC-Ausgangsklemme. Die anderen Klemmen sind konventionelle digitale I/Os zur Ansteuerung der Drehschalter und des DC-Motors. Im grünen Block befindet sich der Strommodulator zur Ansteuerung des LED-Stroboskops.

seine Dauer erzeugt werden. Die Ausgangskarte arbeitet nach dem Prinzip des Oversampling. Die Zykluszeit der Steuerung wird von der Ausgangskarte in mehrere Zwischenzeitschlitze unterteilt; im beschriebenen Beispiel sind es 1000 Zwischenzyklen! Somit wird der 1-ms-Zyklus in 1000 Zeitschlitze mit einer Länge von 1 μ s zerlegt. Zu jedem kann die SPS zum Voraus festlegen, ob das Ausgangssignal 0 oder 1 betragen soll. So lassen sich innerhalb des Zyklus fast beliebig komplexe Impulsfolgen definieren.

Figur 3 veranschaulicht ein 1:10 Oversampling. Im Ausgangsarray kann eine beliebige Abfolge von 0 und 1 hinterlegt werden. Dementsprechend wird der Ausgang innerhalb des Zyklus angesteuert. Im Versuch wird sogar ein Oversampling von 1:1000 verwendet, was eine Impulsauflösung von 1 μ s ermöglicht. Zur Definition der Impulsfolge steht ein Array mit 125 Bytes zur Verfügung. Jedes Bit in diesem Datenfeld steht für den Ausgabewert zum entsprechenden Zeitpunkt innerhalb des SPS-Zyklus. Das erste Bit des ersten Bytes repräsentiert den Ausgang für die erste Mikrosekunde und das letzte Bit des 125. Bytes enthält den Ausgangswert nach 999 μ s. Wird dieser Ausgabearray nicht verändert, wiederholt sich das Impulsmuster periodisch mit jedem SPS-Zyklus. Für das Stroboskop darf der Impuls nur einmal erscheinen, dann ist wieder für längere Zeit Ruhe. Die Software muss also überprüfen, ob im nächsten Zyklus ein Blitz erfolgen soll. Falls ja, ist der Ausgabearray mit dem korrekten Bitmuster abzufüllen und im nächsten Zyklus sofort wieder zu löschen. Das führt bereits

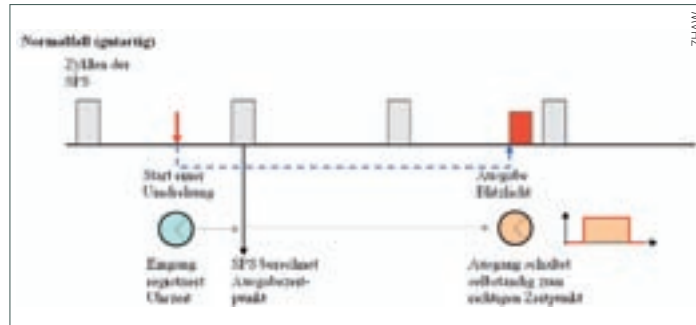


Figur 3: Beispiel eines 10:1 Oversamplings: Die roten Striche markieren den SPS-Zyklus, die grünen die 10 hineingefügten Zwischenzyklen. Die Software markiert in einem Datenfeld, welchen Zustand der Ausgang zu jedem Zwischenzeitpunkt annehmen soll. Jedes Bit im Array markiert einen Ausgabewert zum entsprechenden Zeitpunkt.

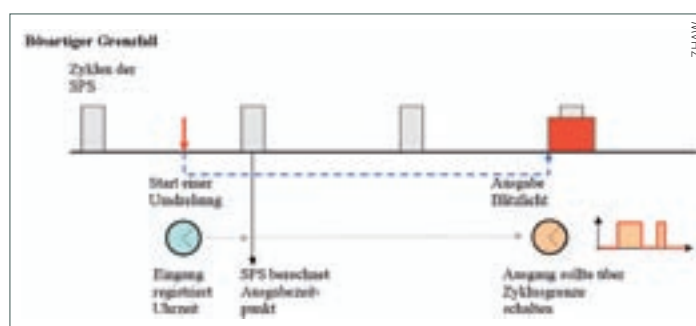
zu einer ziemlichen «Bit-Klauererei», es ist aber immer noch überschaubar. Im Normalfall resultiert also etwa die folgende Situation, wie in Figur 4 dargestellt. Der Lichtimpuls beginnt und endet innerhalb eines SPS-Zyklus. Dies ist glücklicherweise der Normalfall, das Stroboskop funktioniert bestens. Was aber, wenn der Impuls auf eine Zyklusgrenze fällt? Dann müsste der Impuls gegen Ende des ersten Zyklus starten und unmittelbar am Anfang des nächsten Zyklus fortgesetzt werden (Figur 5).

Bösartiger Grenzfall

Im ersten Lösungsentwurf führte dies zu einem kurzzeitig unterbrochenen Lichtblitz, da der Verlauf des Blitzes zuerst berechnet wird, was Zeit beansprucht. Optisch war das durch eine kaum wahrnehmbare Helligkeitsschwankung feststellbar. Auf dem Oszilloskop liess sich der Unterbruch jedoch gut erkennen. Im Laborversuch würde das nicht stören, in der industriellen Praxis können derart zerstückelte Impulse jedoch enorme Folgen haben. Das Problem wurde wie folgt gelöst: Die Software berechnet den Startzeitpunkt und die Impulsdauer unabhängig vom effektiv verfügbaren Ausgabearray in einem doppelt so langen Arbeitspuffer. In diesem findet auf jeden Fall der gesamte Impuls Platz. Für die effektive Ausgabe wird dann nur noch der Arbeitspuffer auf den Ausgabearray umkopiert; im ersten Zyklus die untere Hälfte, im Folgezyklus die obere. Dass dieser Trick funktioniert, wurde mit Hilfe des zweiten XFC-Ausgangs verifiziert. Dieser zweite Kanal wurde so angesteuert, dass er genau dann einen Impuls auslöst, wenn der



Figur 4: Der Nulldurchgang der Scheibe erfolgt irgendwann im SPS-Zyklus; im Allgemeinen nicht zu dem Zeitpunkt, bei dem die Eingänge eingelesen werden. Dank der integrierten Uhr wird der genaue Zeitpunkt ebenfalls registriert. Der Ausgabezeitpunkt fällt meist auch nicht auf einen SPS-Bearbeitungsschritt. Die XFC-Ausgangskarte schaltet jedoch selbständig zum voreingestellten Zeitpunkt.




Figur 5: Hier fällt der Ausgangsimpuls so ungeschickt, dass ein Teil des Impulses im «alten» Zyklus, der zweite Teil bereits im neuen ausgegeben werden muss. Bei ungeschickter Organisation der Software entsteht aufgrund der Rechenzeit ein kurzer Unterbruch innerhalb des Impulses.

Blitzimpuls auf zwei Zyklen verteilt auftritt. Dieses Hilfssignal wird dann als Triggersignal für den KO verwendet.

Farbmischung

Neben dem «Daumenkino» sind auf der Scheibe auch noch die Grundfarben der subtraktiven Farbmischung Yellow, Cyan und Magenta aufgetragen (Figur 1). In einer Verallgemeinerung des bisher geschilderten Problems wird von den Studierenden verlangt, dass sie eine bestimmte Farbe «online» zusammenmischen. Hierfür ist das Blitzsignal so anzusteuern, dass es jede dieser Grundfarben entsprechend ihrem Farbgewicht mehr oder weniger oft beleuchtet. Für jede Farbe wird eine Zahl zwischen 0 und 4 hinterlegt. 0 bedeutet keinen Blitz, 1 bis 4 die Anzahl Belichtungen pro Scheibenumdrehung. Insgesamt könnten also auf eine Umdrehung der Scheibe bis zu 12 Blitze ausgelöst werden. So lassen sich immerhin 64 verschiedene Farbtöne erzeugen.

gen. Zwar wird das Erstellen der Software anspruchsvoller, aus Sicht der Steuerungstechnik ergeben sich allerdings keine zusätzlichen Schwierigkeiten. Der Versuch zeigt eindrücklich die Schwierigkeiten im Umfeld der Echtzeitprogrammierung. Dies ist für die Studierenden äusserst dankbar; Denk- und Programmierfehler zeigen sich unmittelbar und dennoch entstehen keine gefährlichen Zustände. 

Prof. Hans Scheitlin, School of Engineering, ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Info

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

School of Engineering
Technikumstrasse 9
8401 Winterthur
info.engineering@zhaw.ch
www.engineering.zhaw.ch
www.msengineering.ch