



Master-Cube das FPGA³

und

Taktile Spracherkennung mit dem Master-Cube

Jörn Schneider - Leibniz-Gymnasium Dormagen

Einführung

Die Arduino-Welt ist nicht nur bei den digitalen Nerds, sondern längst auch in der Schule angekommen. Vielfältige Einsatzmöglichkeiten, preiswerte Hardware und ein leicht zu bedienendes Programm sind Pluspunkte, die zu einer großen Verbreitung geführt haben. Anders sieht das mit dem FPGA aus. In der Schule – Fehlanzeige! Und selbst viele Ausbildungsbetriebe trauen sich nicht an diese zu recht schwierige Materie. Das Projekt **Master-Cube – FPGA³** soll dies ändern. An dem Projekt angehängt ist auch eine didaktische Untersuchung zu Lernfortschritten, Umsetzbarkeit im Unterricht und letztendlich sogar eine praktische Einsatzmöglichkeit, welche die Vorzüge einer Symbiose von Mikrocontroller und FPGA aufzeigen soll.

Grundidee

Die Programmierung von Mikrocontrollern ist mit den heute verfügbaren Programmen sprichwörtlich „kinderleicht“ geworden. Schnell lassen sich einfache Ideen auch im Unterricht umsetzen, die Motivation bei den Schülern ist groß und dank der preiswerten Hardware ist dies auch im Kontext Schule zu finanzieren. Es gibt allerdings auch einige gravierende Nachteile. Mikrocontroller sind langsam, parallele Aufgaben lassen sich nur unzureichend ausführen. Für die meisten Anwendungen spielt das kaum eine Rolle, in der Technik dagegen ist ein Trend hin zu parallel arbeitenden Systemen und Entwicklungsumgebungen zu finden. Die Jugendlichen in den Schulen werden darauf aber nur unzureichend vorbereitet. Eine Möglichkeit moderne parallele Systeme einzuführen ist das FPGA und der Hardwarebeschreibungssprache VHDL. Die Programmierung ist dabei alles andere als „kinderleicht“ sondern höchst komplex und eher etwas für Spezialisten. Die Vorteile sind aber nicht von der Hand zu weisen. Lassen sich doch auf einem FPGA hunderte von Prozessen gleichzeitig durchführen und zeitkritische Aufgaben elegant lösen. Während simple Aufgaben, wie die Ausgabe von Zeichen auf einem LCD-Display umfangreiche Hard- und Softwarekenntnisse erfordern. Inzwischen gibt es auch preiswerte Evaluationsboards für die gängigen FPGAs für deutlich unter 50€ auf dem Markt. Damit erreicht man langsam das Preisniveau der Arduinos. Was liegt also näher die Vorteile beider Welten miteinander zu verbinden?

Das Projekt

Master-Cube soll ein vollständig neues Programmiersystem werden, welches sowohl Programmierungen auf einem Arduino wie auf einem FPGA ermöglicht, diese beiden Systeme aber auch gleichzeitig nutzen kann. Aufgebaut als kompakter Würfel mit 10cm Kantenlänge in drei Ebenen ist Master-Cube auch ein optischer Hingucker.

Die benötigte Software ist kostenlos und frei erhältlich, der Preis pro System in der Grundausstattung liegt bei unter 100€. Sobald erste Erfahrungen in der Schule vorliegen, werden diese als Projektdokumentation veröffentlichen und frei zugänglich gemacht. Platinenlayout und alle benötigten Informationen werden ebenfalls frei zugänglich sein, so dass interessierte Lehrerinnen und Lehrer das Projekt selbst auch umsetzen können.

Konkret wird das neue System aus drei Ebenen bestehen:

- 1) Ein LCD-Display, welches sowohl mit dem FPGA als auch mit dem Arduino angesteuert werden kann und einem Arduino Nano-Board.
- 2) Einem ALTERA Cyclone IV-FPGA mit JTAG-Schnittstelle und einem SDRAM, welches wie das DE-2 Board mit QUARTUS II in VHDL beschrieben werden kann.
- 3) Einem Signalumsetzer und Schnittstellenmodul um beide Welten zu verbinden sowie eine Kommunikation mit weiteren Modulen zu gewährleisten

Die didaktische Auswertung

Ob sich eine Umsetzung in der Schule lohnt, darüber entscheidet neben den finanziellen hauptsächlich die didaktischen Aspekte. Da es dazu noch keine Untersuchung gibt, soll dies im Rahmen des Projekts erfolgen. Für die didaktische Auswertung sind drei typische Beispiele aus der Informatik vorgesehen, welche in drei getrennten Lerngruppen unterschiedlich umgesetzt werden.

Aufgabe 1 wird ein einfaches Lauflicht mit 8 Leds sein.

Aufgabe 2 die Ausgabe von „Hallo Welt“ auf dem LCD und zwar Buchstabe für Buchstabe.

Aufgabe 3 ein kleines Reaktionsspiel mit Start- und Stop-Taster und Ausgabe der Reaktionszeit auf dem LCD.

Diese Aufgaben werden in drei getrennten Lerngruppen umgesetzt.

Lerngruppe 1 benutzt für alle drei Aufgaben nur den Arduino. Nach einem Einführungstest, um Vorwissen abzufragen, gibt es eine Einarbeitungsphase und eine Programmierphase. Gemessen wird die benötigte Zeit, die Qualität der Umsetzung und der Lernerfolg am Ende des Projekts.

Lerngruppe 2 benutzt nur das FPGA. Die Einarbeitung in Quartus und VHDL wird didaktisch vereinfacht, indem grundlegende Einstellungen und ein VHDL-Grundgerüst vorgegeben wird. Auch hier wird sowohl die benötigte Zeit und der Lernerfolg gemessen. Ein Eingangstest entfällt.

Lerngruppe 3 benutzt sowohl den Arduino, wie auch das FPGA. Vorher festgelegte Aufgaben (z.B. Ausgabe auf den LCD) erfolgen durch den Arduino, andere Teilaufgaben durch das FPGA. Es gibt einen Einführungstest und ebenfalls werden die benötigte Zeit und der Lernerfolg gemessen.

Die Ergebnisse dieses Projektes werden veröffentlicht und als Open-Source-Projekt an alle interessierten Lehrkräfte und Fachdidaktiker weitergegeben. Das Projekt ist auf 2 Schuljahre und 6 Lerngruppen terminiert.

Danach ist ein Einsatz des Master-Cube-Systems im normalen Informatikunterricht an unserer Schule eingeplant.

Das neue System soll aber auch für ein „Jugend forscht“ Projekt eingesetzt werden, welches sowohl schnelle Signalverarbeitung, als auch rechenintensive Prozesse gleichzeitig bewältigen muss. Dies ist der zweite Teil des Projektantrags.

Taktile Spracherkennung – Hören durch Fühlen

Wer kennt es nicht, das Gefühl aus der Diskothek vor dem großen Basslautsprecher. Musik zum „Fühlen“. Sogar Menschen, deren Hörsinn zu 100% ausgefallen ist, können Musik also „hören“ durch den Tastsinn ihrer Haut. Für ein echtes Hörverständnis ist diese Methode allerdings viel zu ungenau und grob. Auch sind die Sinneszellen für den Tastsinn sehr unterschiedlich auf der Haut verteilt. Besonders an den Fingern ist ihre Dichte sehr hoch, mit den Händen „ergreifen“ wir unsere Welt. Es gibt schon erste Systeme, welche Sprache in taktile Signale umsetzen, damit können Gehörlose einfache Sprachelemente als Muster „hören“. Diese Systeme sind aber als echter Ersatzsinn für den Gehörsinn noch nicht brauchbar. Um ein echtes Hörverstehen umzusetzen, braucht man eine feinere Auflösung und eine sehr schnelle Parametrisierung von Signalen. Die Idee aus der Schülerschaft für ein Jugend forscht Projekt sieht folgendermaßen aus:

Die Sprache wird in 15 analoge Frequenzbänder zwischen 300Hz und 5kHz zerlegt (das könnte man auch durch eine Fourier-Analyse erledigen, diese ist aber sehr rechenintensiv). Die analogen Signale werden in Echtzeit in digitale Signale (es reichen 4bit) umgesetzt, welche 15 Aktoren (drei pro Finger) durch Pulsweitenmodulation ansteuern. Die Aktoren sind in einem Datenhandschuh untergebracht, der in diesem Fall nicht zur Dateneingabe, sondern zur Ausgabe benutzt wird. Die Verarbeitung der digitalen Signale ist absolut zeitkritisch, da ansonsten ein zeitlicher „Zerfall“ der Sprachinformation erfolgen würde. Dies ist eine Anwendung, die auf einem FPGA umgesetzt werden sollte. Die grundlegende Steuerung und ggf. die Fourier-Analyse ist dagegen die Domäne für einen Mikrocontroller bzw. einen Mikrocomputer. Das Projekt ist also genau auf unseren Master-Cube zugeschnitten.

Unser Projekt soll zeigen, dass Sprache in ein komplexes Muster aus taktilen Signalen umgesetzt werden kann, die eine Person nach einer Anlernzeit als Sprache deuten und interpretieren kann. Da an unserer Schule keine gehörlosen Schülerinnen oder Schüler unterrichtet werden, wird es eine Anlernsoftware für normal hörende Menschen geben. Diese gibt direkt ein (für die Testperson nicht hörbares) Audiosignal auf das System und zeigt am Bildschirm das entsprechende Wort an. Nach einer Anlernphase muss die Testperson dann vom Computer zufällig ausgegebene Worte richtig zuordnen. Damit kann überprüft werden, ob dieses System für einen Einsatz tauglich wäre.

Für das Projekt sind folgende Mittel vorgesehen:

20x Master-Cube-System mit allen benötigten Bauteilen und Platinen	1700€
1x 15 Kanal-Analog-Bandpassfilter Bauteile + Platine	100€
1x 15 Kanal-4bit ADC Bauteile + Platine	150€
1x Datenhandschuh mit 15 Aktoren	50€

In den Kosten sind die Herstellung aller Platinen, die benötigten elektronischen und mechanischen Bauteile, Verbrauchsmaterial wie Lötzinn und der Datenhandschuh enthalten. Hardware, wie Computer, Lötausrüstung oder Software werden nicht benötigt.

Umsetzung und erste Erfahrungen

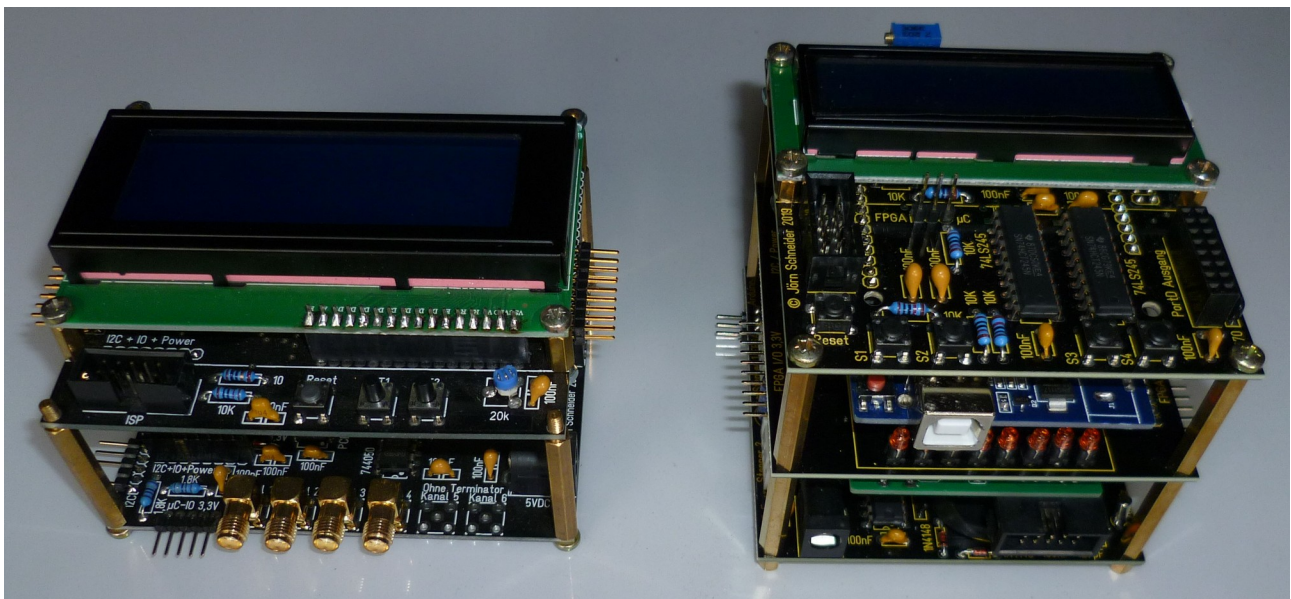
Die Herstellung der 20 **Master-Cube Systeme** für den Einsatz im Unterricht wurde inzwischen abgeschlossen. Da wir dieses System auch für die Programmierung von Schrittmotoren und damit für die Robotik einsetzen wollen, sind zusätzlich noch zwei Schrittmotoren-Treiber mit integriert worden. Das System verfügt für das FPGA über 16 I/O-Ports auf 3,3V-Logik, weitere 8 Output-Ports und 6 Ports für Input auf 5V Logik. Das FPGA kann darüber hinaus noch 8 externe und 4 interne Leds ansteuern.

Vom Arduino sind der komplette PortD, weitere 6 I/O-Ports und die Referenzspannung nutzbar.

Diese Vielzahl an Anschlussmöglichkeiten gewährleistet, dass so gut wie alle für den Arduino entwickelten Addons auch von diesem System genutzt werden können. Zusätzlich ist noch ein 2x16 Zeichen LCD-Display vorhanden, welches entweder vom FPGA oder vom Arduino angesprochen werden kann.

Der Einsatz des Master-Cube ist für das zweite Halbjahr in diesem Schuljahr eingeplant, da mir dort insgesamt 5 Kurse (zwei Physikkurse Q2, zwei Informatikkurse EF und ein Wahlpflichtkurs Klasse 9) zur Verfügung stehen.

Für die **Taktile Spracherkennung** erwies sich das Master-Cube-System als nicht brauchbar, da insgesamt 45 Inputkanäle und 15 Outputkanäle benötigt werden. Daher wurde hier das Konzept soweit abgewandelt, dass ein deutlich leistungsfähiger Mikrocontroller (Atmega 644) anstatt des Arduinos verwendet wird, der die benötigten 15 Outputkanäle zur Verfügung stellt. Darüber hinaus wurde auf die Schrittmotorsteuerung, externe Leds und die Echtzeituhr verzichtet und alle verfügbaren 45 freien Kanäle des FPGAs nach außen geführt. Da dazu drei neue Platinen und neue Hardware notwendig waren, ist das gesamte Budget damit ausgeschöpft gewesen. Die jetzt noch benötigten AD-Wandler und Aktoren werden über den Wettbewerbspreis von DigiYou finanziert, das Projekt hat sich für die Endrunde im März 2020 qualifiziert und wird mit 500€ gefördert.



Links das System für die Taktile Spracherkennung, rechts das Master-Cube-System