

Milestone 4: IP-Software-Interface

Lernziele

- Inbetriebnahme eines Systems unter Linux
- Linux-Softwareentwicklung für das ZyBo-Board
- Programmierung von IP unter Linux

Aufgabenstellung

Dieser Milestone hat das Ziel, dass Sie eigenständig praktische Schritte hinsichtlich der Erstellung von Hardware und Software für ein Linux-basiertes System vornehmen.

Ausgehend von einem der bereitgestellten „Startsysteme“ soll ein GPIO-Modul mit AXI-Lite-Interface in das System integriert werden. Die Eingänge (GPI) werden mit drei der auf dem ZyBo-Board vorhandenen Schiebeschaltern verbunden. Die Ausgänge (GPO) sollen die beiden RGB-LEDs des ZyBo-Boards ansteuern.

Die Aufgabe der Software ist es, den Wert der GPI-Eingänge zu ermitteln und invertiert und nicht invertiert an die RGB-LEDs weiterzuleiten.

Das Hauptziel des Milestones ist, dass Ihnen die Programmierung von AXI-Lite-IP unter Linux deutlich wird. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die realisierte Funktionalität dieses Milestones bewusst übersichtlich gewählt worden.

Im folgenden Abschnitt wird zunächst getestet, ob Sie eine Verbindung mit dem ZyBo-Board herstellen können. Sie sollten diese Schritte zunächst durchführen und sich erst danach der eigentlichen Aufgabenstellung dieses Milestones widmen.

Check der Verbindung zum ZyBo-Board

Bevor Sie mit den nachfolgenden Schritten beginnen, sollten Sie sicherstellen, dass Sie eine Verbindung mit dem Linux-System des Zybo-Boards aufbauen können. Stecken Sie hierzu die vorbereitete SD-Karte in das ZyBo-Board. Verbinden Sie das Board über USB mit Ihrem PC.

Darüber hinaus muss das ZyBo-Board über eine Netzwerkverbindung mit Ihrem PC verbunden sein. Hierzu können Sie bereitgestellten USB-Netzwerkadapter verwenden.

Wenn beide Hardware-Verbindungen zum ZyBo-Board hergestellt sind, können Sie das ZyBo-Board einschalten. Mit Hilfe eines Terminalprogramms (z.B. PuTTY oder TeraTerm) können Sie über den USB-UART des ZyBo-Boards auf die Linux-Console zugreifen¹: Username: *user*, Passwort: *user*.

Starten Sie die virtuelle Maschine und verbinden Sie sich mithilfe des VNC-Viewers Remmina mit dem ZyBo-Board. Dieses Programm ist auf der virtuellen Maschine bereits installiert und über die Launcher-Icons am linken Bildrand (s. Symbol rechts) zu erreichen.



Bedenken Sie, dass der USB-Netzwerk-Adapter direkt mit der virtuellen Maschine verbunden sein muss. Diese Verbindung können Sie herstellen, in dem Sie nach dem Start der VM auf den Menüeintrag *Geräte->USB->XYZ* (mit XYZ = Ihr USB-Netzwerkadapter) klicken.

Hinweis: Der Start der grafischen Oberfläche benötigt einen Augenblick. Warten Sie bei Verbindungsproblemen zunächst 1-2 Minuten und versuchen Sie die Verbindung anschließend erneut.

Sollten Sie Probleme beim Zugriff auf Ihr Board haben, nehmen Sie Kontakt zu Ihren Betreuern auf und klären Sie zunächst die Verbindungsprobleme. Schalten Sie das Board **niemals ohne** vorherige Eingabe des Kommandos "**sudo halt**" aus. Andernfalls laufen Sie Gefahr, dass Dateien auf der SD-Karte beschädigt werden. Sie müssten dann die SD-Karte neu beschreiben. Dateien, die Sie auf der SD-Karte gespeichert haben, gehen hierbei verloren. Für die folgenden Schritte wird davon ausgegangen, dass Sie die Verbindung zum Zybo-Board erfolgreich getestet haben **und** das Board korrekt heruntergefahren wurde.

¹ Den korrekten COM-Port des ZyBo-Boards erfahren Sie über den Windows-Geräte-Manager.

Durchführung des Milestones

Hardware-Design

1. Erstellen Sie ein neues Vivado-Projekt `Milestone_4` und fügen die Constraints-Datei `milestone4.xdc` hinzu.
2. Tragen Sie das Verzeichnis mit den vorgegebenen IPs unter den IP-Repositories ein und aktivieren Sie die Erzeugung eines .bin-Files in den Bitstream-Settings.
3. Führen Sie das TCL-Skript `Zybo-Z7-20_Minimal_design_1.tcl` aus. (Ordner „Support/Startsysteme“). Sie erhalten so ein Blockdesign, das ein für Linux konfiguriertes Processing-System.
4. Aktivieren Sie im Processing-System den AXI-Master GP0.
5. Fügen Sie dem Blockdesign das IPs `axil_gpio` hinzu.
6. Lassen Sie die Verdrahtung des AXIL-Interfaces von Vivado vornehmen (Connection Automation).
7. Überprüfen Sie im Address-Editor, welche Adresse dem IP zugewiesen wurde. Dies sollte die Adresse `0x43C00000` sein. Ist dies nicht der Fall, ändern Sie die Adresse.
8. Lassen Sie das Blockdesign von Vivado überprüfen, indem Sie auf den Button "Validate Design" im oberen Bereich des Blockdesign-Editors klicken. Die vier eventuell auftretenden Warnungen bezüglich des SDRAM-Timings können Sie ignorieren. Alle anderen eventuell auftretenden Warnungen oder Fehlermeldungen sollten Sie entsprechend bearbeiten. Bei Unklarheiten wenden Sie sich im Rahmen der Support-Termine an Ihre Betreuer.
9. Nehmen Sie die Konfiguration des IPs vor: Es werden 3 GPI-Eingänge und 6 GPO-Ausgänge benötigt.
10. Erstellen Sie im Block-Design Ports für die GPI-Eingänge und die GPO-Ausgänge. Stellen Sie sicher, dass die Namen der Ports zu den Vorgaben in der Constraints-Datei passen.
11. Erstellen Sie einen HDL-Wrapper für Ihr Block-Design.
12. Erzeugen Sie den Bitstream.
13. Legen Sie die SD-Karte in einen Card-Reader und verbinden Sie diesen mit Ihrem Windows-PC.
14. Unter Windows wird Ihnen ein Laufwerk mit dem Namen „ZYNQ_BOOT“ angezeigt. Die vorhandene Datei `fpga.bin` benennen Sie in `fpga_bak.bin` um. Anschließend kopieren Sie die neu erzeugte .bin-Datei auf dieses Laufwerk und benennen sie in `fpga.bin` um und werfen die SD-Karte unter Windows aus.
15. Stecken Sie die SD-Karte in das ZyBO-Board und schalten Sie das Board ein. Tipp: Verfolgen Sie den Boot-Vorgang mit einem Terminal-Programm.

Software-Design

1. Starten Sie (falls nicht bereits geschehen) die virtuelle Linux-Maschine. Nachdem Booten starten Sie die Entwicklungsumgebung Eclipse. Im Workspace `es1` finden Sie ein vorbereitetes Projekt mit dem Namen `Milestone_4`, welches die Sourcdatei `Milestone_4.cpp` enthält.
2. Ergänzen Sie das vorgegebene Programm: Die RGB-LED, die mit den Anschlüssen `GPO[2:0]` verbunden ist, soll den GPI-Wert invertiert ausgeben. Die zweite RGB-LED (Anschlüsse `GPO[5:3]`) soll dagegen mit dem nicht-invertierten GPI-Wert angesteuert werden. Tipp: Sie benötigen wahrscheinlich bitweise logische Operationen (`&`, `|`) und Schiebeoperationen (`>>` bzw. `<<`).
3. Testen Sie Ihre Lösung und beheben Sie eventuelle Fehler.

Abgabe

Auf eine Abgabe von Dateien wird für diesen Milestone verzichtet. Führen Sie Ihre Lösung stattdessen bei einem der Praktikumstermine vor.