

# Hardware/Software Co-Design

## Übungsskript

Institut für Technik der Informationsverarbeitung, Karlsruher Institut für Technologie

### Kapitel 1: Einleitung

#### Aufgabe 1.01: Hardware/Software Co-Design

Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile in der Implementierung eines Systems in Hardware bzw. Software bzgl. folgender Kriterien:

a) Entwurfszeit bzw. time-to-market

- |       |    |  |
|-------|----|--|
| HW    | -- | Lange Entwicklungszeiten für full custom ASICs und Boards; Langer externer Fabrikationsweg (z.B. für Waver); „First time right“; Hoher Testaufwand |
| HW    | -  | Einsatz von off-the-shelf components/module, dadurch i.a. komplizierteres Board  |
| HW    | +  | Einsatz von konfigurierbarer Hardware (FPGAs). Post-Fabrication HW Updates   |
| SW    | ++ | Erste Lösungen sind sehr schnell fertig; Fertigstellung kann in Stufen erfolgen  |
| SW    | +  | Softwarefehler können Post-Fabrication durch Softwareupdates beseitigt werden.   |
| HW/SW | +  | Gleichzeitige Entwicklung möglich  |

b) Performanz

- |    |    |   |
|----|----|---|
| HW | ++ | Nichts ist schneller als ein full-custom ASIC   |
| HW | +  | FPGAs sind immer noch sehr schnell  |
| SW | -- | Bestimmte Operationen können nur von dezidiert Hardware ausgeführt werden (z.B. restriktive Echtzeit-Bedingungen) |
| SW | +  | Die Rechenleistung kann auf mehrere Prozessoren verteilt werden   |
| SW | +  | Optimierung durch komplexere Algorithmen, die nur teilweise in HW realisierbar sind                               |

c) Kosten

- |    |    |   |
|----|----|---|
| SW | ++ | Programmierkenntnisse sind weit verbreitet; Compiler sind ausgereift und leicht zu bedienen; Änderungen an der Sprache sind relativ selten; Geringe Tool-Kosten |
|----|----|---|

- SW ++  
Off-the-shelf Mikrokontroller und Zubehör sind bedingt durch die hohen Stückzahlen billig
- SW ++  
Gefahr eines totalen Re-Designs ist klein
- HW --  
Hohe Tool und Personalkosten durch lange Entwicklungszeiten
- HW --  
ASICs lohnen sich nur für große Stückzahlen
- HW +  
Rekonfigurierbare Hardware minimiert die Entwurfskosten im Vergleich zum ASIC-Entwurf
- HW ++  
Rekonfigurierbare Hardware kann benötigte Chipfläche reduzieren (dyn. Rekonfiguration, Compute in „Time & Space“)

d) Leistungsverbrauch

- HW ++  
Hardware oft speziell auf das Design angepasst, verbraucht nur die absolut notwendige Leistung
- HW ++  
Nicht benötigte Teile können abgeschaltet werden
- SW --  
Hohe Taktraten für die Erfüllung von Echtzeitbedingungen notwendig
- SW --  
Software verbraucht in der Regel mehr Leistung als Hardware. (dynamisches Steuerwerk, Programmspeicher, Caches, etc.)
- HW +  
Rekonfigurierbare Hardware vergleichsweise viel Energie.  
Abhilfe: Low Power Flash FPGAs (Igloo FPGA von Altera)

e) Wartbarkeit bzw. Änderbarkeit

- HW --  
ASICs sind oft nicht-modulare Einzellösungen (=> IP Re-use)
- HW --  
Ein ASIC-Layout ist fest, keine nachträgliche Änderung
- HW ++  
FPGAs sind zur Laufzeit konfigurierbar (rekonfigurierbar)
- SW ++  
Fast beliebige Änderungen möglich
- HW/SW ++  
Rekonfigurierbare HW ermöglicht Änderung von SW & HW

f) Testbarkeit

- HW ++  
CAD-Tools helfen sehr bei Entwurf und Synthese von korrekten Schaltungen
- HW +  
Zusatzlogik zum Testen und Debuggen kann direkt in die Schaltung integriert werden (JTAG Interface)
- HW --  
Simulation der HW sehr Zeitaufwändig und Ressourcenhungrig

- SW ++  
Sehr Aufgereifte Entwicklungsumgebungen zum Debuggen, Testen und Simulieren vorhanden.
- SW -  
Sehr komplexe Programme möglich; Oft kein sauberes Design (=> Software-Engineering).
- HW/SW +  
Rapid-Prototyping mit rekonfigurierbarer Hardware möglich / HiL (Hardware in the Loop)
- HW/SW --  
Oft keine geeigneten Hilfsmittel für den Test von gemischter Hardware/Software (Aktuelles Forschungsgebiet: Co-Design, Co-Simulation)

g) Sicherheit

- HW ++  
Redundanz durch Einsatz mehrere gleichartiger Komponenten
- HW ++  
Hardware ist schwierig zu kopieren (Custom-ASICs, Multilayer Boards)
- SW --  
Software ist relativ einfach zu kopieren oder verändern, Schutzmechanismen aufwendig (iPhone)
- HW/SW +  
Software passt nur zur entsprechenden Hardware
- HW/SW ++  
Realisierung von SIL4 (Safety Integrity Level) durch redundante Realisierung in HW und SW.

### **Aufgabe 1.02: Architekturen**

Überlegen Sie sich Kriterien, welche die Entscheidung der Realisierung einer Spezifikation in Hardware oder Software begünstigen.

- a) Was sind die wichtigsten Kriterien im Falle einer Zielarchitektur für
- Steuerung einer Ampel:  
Steuerungsdominant, Sicherheit, Einfache Konfigurierbarkeit, Umweltresistenz, Größe
  - Mobiltelefon:  
Steuerungs- und Datenfluss, Geringer Leistungsverbrauch, Größe, Stückzahl, zu realisierende Dienste (QoS)
  - System zur Bildverarbeitung:  
Datenflussdominant, Performanz, Durchsatz
  - Kraftwerksüberwachung:  
Steuerungsdominant, absolute Sicherheit, Redundanz, Reaktionszeit, Harte Echtzeitbedingungen

b) Welche unterschiedlichen Optimierungskriterien machen die Entscheidung Hardware/Software aus im Falle einer

- Ein-Chip Hw/Sw-Lösung:  
Kosten (nur günstig bei großen Stückzahlen), Gewicht, Größe, Zuverlässigkeit (Schirmung, Konnektoren), Leistungsverbrauch, interner vs. externer Kommunikationsaufwand, Kopierschutz
- Board-Level Hw/Sw-Lösung:  
Erfüllbarkeit (Passt nicht auf einen Chip), Kosten (Standardchips sind günstiger), Entwurfszeit, Flexibilität, Verlässlichkeit

Geben Sie an, für welchen Anwendungs- bzw. Aufgabenbereich die eine bzw. die andere Lösungsvariante Vorteile bzw. Nachteile hat.

c) Für welche Anwendungsbereiche erscheinen Ihnen ASIPs (Prozessoren mit anwendungsspezifischem Instruktionssatz) sinnvoll? Versuchen Sie, für diese Anwendungsbereiche Charakteristika einer optimalen Architektur zu extrahieren und vergleichen Sie diese Anforderungen mit Realisierungen Ihnen bekannter ASIP-Architekturen (z.B. DSPs- Digitale Signalprozessoren).

Punkte, die für den Einsatz eines ASIPs statt einer Standard-CPU (DSP) sprechen:

- Kostengünstiger bei großen Stückzahlen, Leistungsverbrauch geringer, Operationsverkettung möglich, Parallelität möglich, spezialisierte Funktionen, Anpassung der Wortlänge, optimierte Speicherstrukturen, optimierter Datenpfad, Spezialregister.
- Aufgaben fest umrissen, keine Änderung wahrscheinlich, speziell zugeschnittener Befehlssatz erlaubt erhöhte Performanz durch Einsatz dedizierter Funktionseinheiten (heterogener vs. homogener Registersatz)