

Übung 09: Automaten und Multi-Cycle-Prozessor

Einführung in die Rechnerarchitektur

Niklas Ladurner

School of Computation, Information and Technology
Technische Universität München

13. Dezember 2024



TUM Uhrenturm

Keine Garantie für die Richtigkeit der Tutorfolien.
Bei Unklarheiten/Unstimmigkeiten haben VL/ZÜ-Folien recht!

Endliche Automaten

- Repräsentiert Funktion einer sequentiellen Schaltung (sequentiell: zustandsabhängig)
- Mathematische Beschreibung als 6-Tupel $(I, O, S, s_0, \delta, \lambda)$
- Als Diagramm: Zustände \rightarrow Kreise, Übergänge \rightarrow Kanten, Bedingungen \rightarrow Kantenbeschriftungen
 - ☐ I : Menge möglicher Eingaben
 - ☐ O : Menge möglicher Ausgaben
 - ☐ S : Zustandsmenge
 - ☐ s_0 : Startzustand
 - ☐ $\delta : S \times I \rightarrow S$: Zustandsübergangsfunktion
 - ☐ $\lambda : S \rightarrow O$ (Moore), $\lambda : S \times I \rightarrow O$ (Mealy): Ausgabefunktion

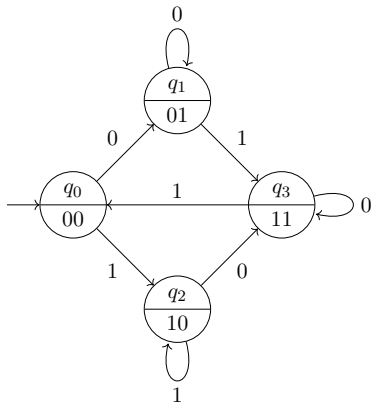
Endliche Automaten: Realisierung

- One-Hot-Kodierung: Genau 1 FF ist auf 1 \rightarrow aktueller Zustand, einfach aber verschwenderisch
- Binärkodierung: FFs zusammen bilden Binärzahl des aktuellen Zustands, spart FFs aber komplexer
- Mikroprogrammierte Steuerwerke: Nur ein Speicherbaustein, enthält vollständigen Automaten. Eingaben werden als Adressen interpretiert, sehr flexibel.

Zustand	One-Hot-Enkodierung	Binärenkodierung
S_0	0001	00
S_1	0010	01
S_2	0100	10
S_3	1000	11

Moore-Automat

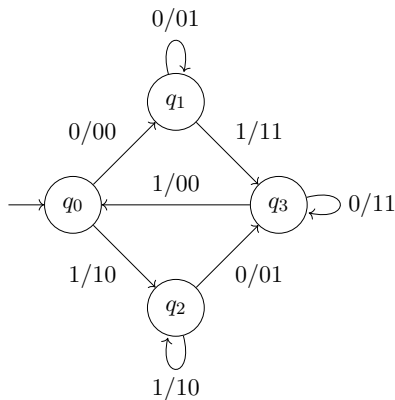
Ausgabe abhängig von aktuellem Zustand



$I = \{0, 1\}$, $O = \{00, 01, 10, 11\}$, $S = \{q_0, q_1, q_2, q_3\}$, δ, λ (abh. vom Typen)

Mealy-Automat

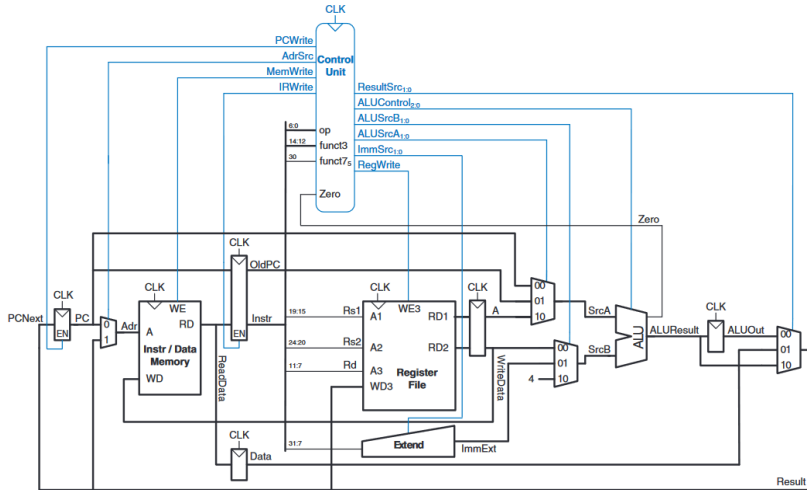
Ausgabe abhängig von aktuellem Zustand + Eingabe



- Aufteilung einer Instruktion in mehrere Schritte
- kürzere kritische Pfade in den einzelnen Teilschritten → höhere Taktfrequenz möglich
- allerdings benötigt eine Instruktion jetzt auch mehrere Taktzyklen!
- komplexeres Steuerwerk, da Zustandsautomat umgesetzt werden muss

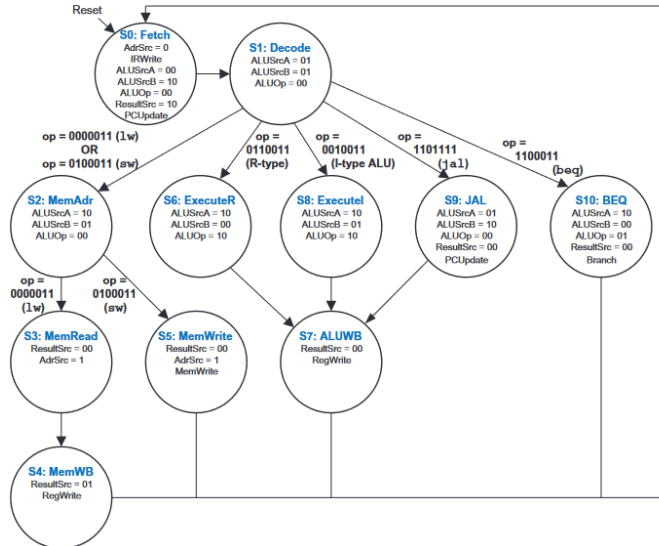
in der Praxis haben sich Multi-Cycle-Prozessoren nicht durchgesetzt!

RISC-V Multi-Cycle-Prozessor: Schaltbild



(Quelle: Vorlesungsmaterialien ERA)

RISC-V Multi-Cycle-Prozessor: Zustandsautomat



- „H09 — Sequenzielles Steuerwerk“ bis 05.01.2025 23:59 Uhr
- Implementierung des Steuerwerks des Multi-Cycle-Prozessors
- `StateUpdate.dig` kann durchaus umfangreich werden

- Zulip: „ERA Tutorium - Do-1600-1“ bzw. „ERA Tutorium - Fr-1500-2“
- ERA-Moodle-Kurs
- ERA-Artemis-Kurs
- Prozessor-Assets (kein offizielles Material!)

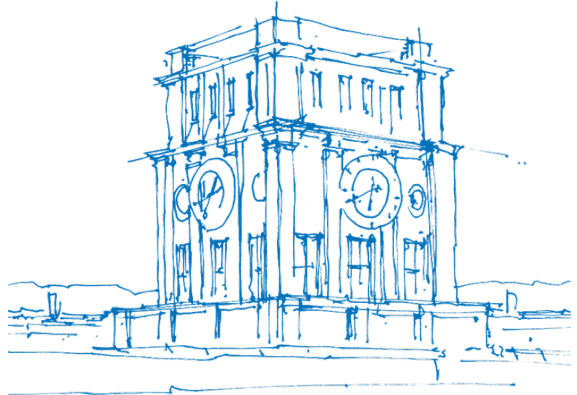
Übung 09: Automaten und Multi-Cycle-Prozessor

Einführung in die Rechnerarchitektur

Niklas Ladurner

School of Computation, Information and Technology
Technische Universität München

13. Dezember 2024



TUM Uhrenturm