



Academie voor Technology, Innovation &
Society Delft
Academie voor ICT & Media

Digitale System Engineering 2

Week 2 – Toestandsmachines (vervolg)

Jesse op den Brouw

DIGSE2/2020-2021

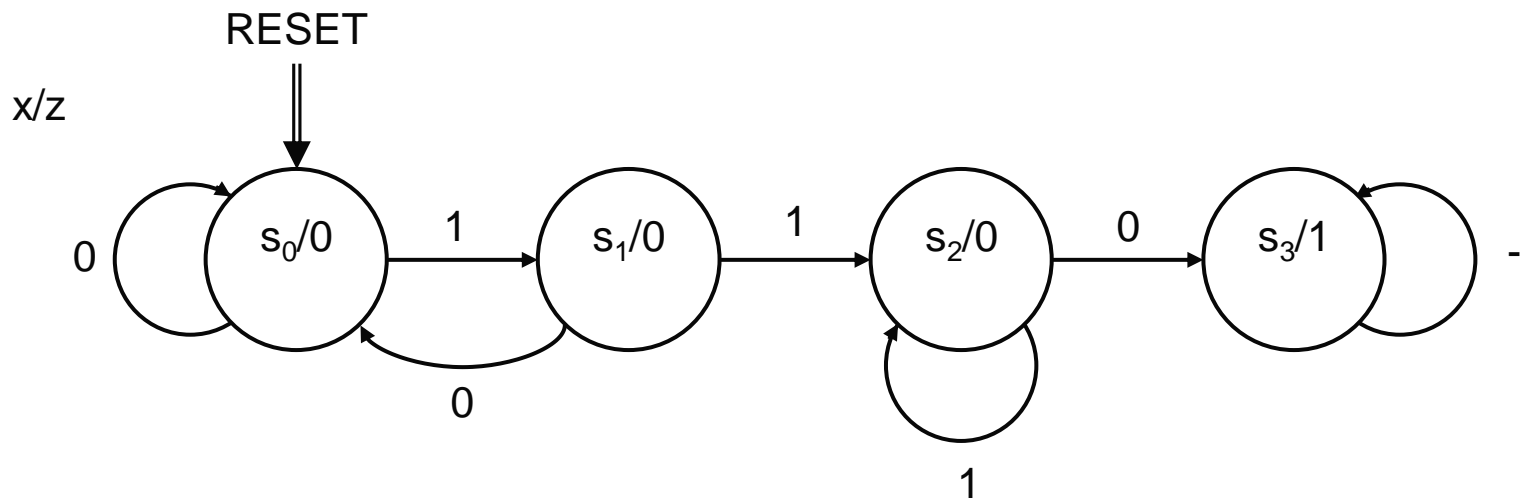
DE HAAGSE
HOGESCHOOL

Herkenningautomaat

- Een typische sequentiële machine is een *herkenningautomaat* of *patroonherkenner*.
- Herkenningautomaten spelen een belangrijke rol in het vakgebied berekenbaarheidstheorie (*theory of computation*) dat zich bezighoudt met hoe efficiënt problemen kunnen worden opgelost d.m.v een algoritme (en of ze eigenlijk wel oplosbaar zijn).
- De automaten spelen een belangrijke rol bij het opstellen en herkennen van zogenaamde talen (*languages*). Denk hierbij aan het parsen (ontleden) van computertalen of zogenaamde *regular expressions*.

Herkenningautomaat

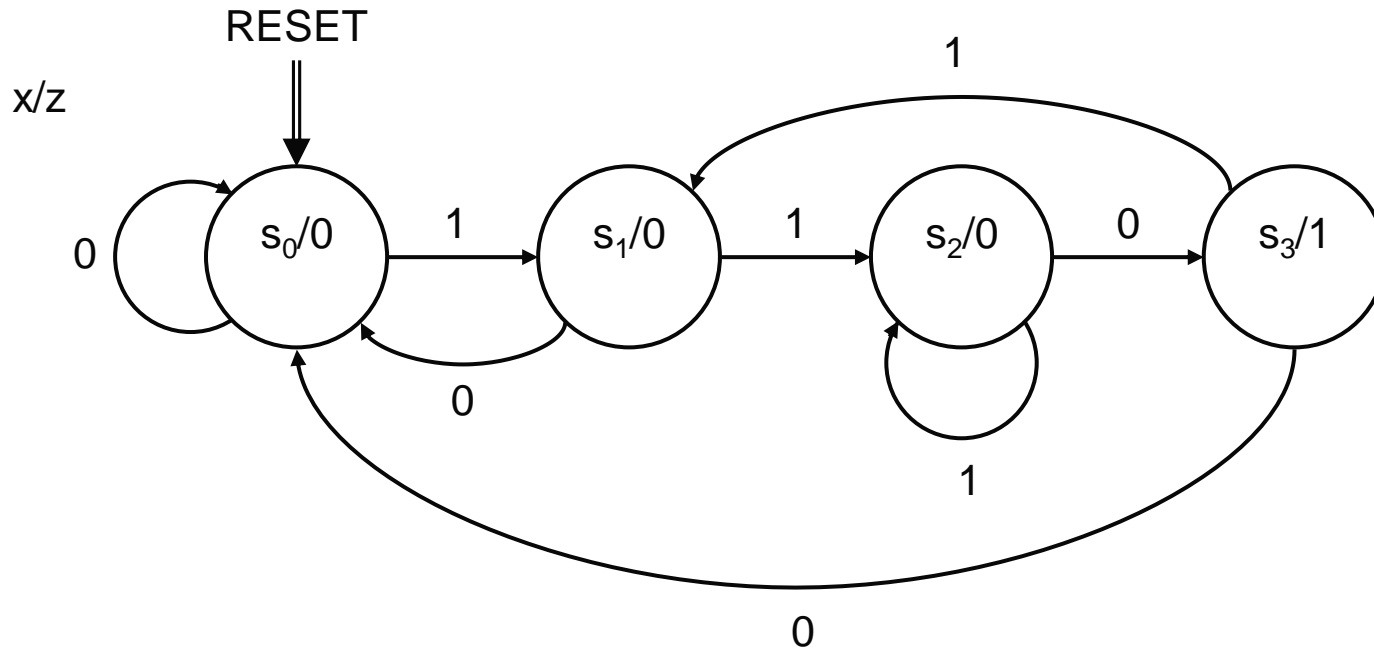
- Ontwerp een machine voor het herkennen van het patroon (of reeks) 110. De machine geeft een 1 af en stopt met herkennen.



0010110011001111000
000000011111111111

Herkenningautomaat

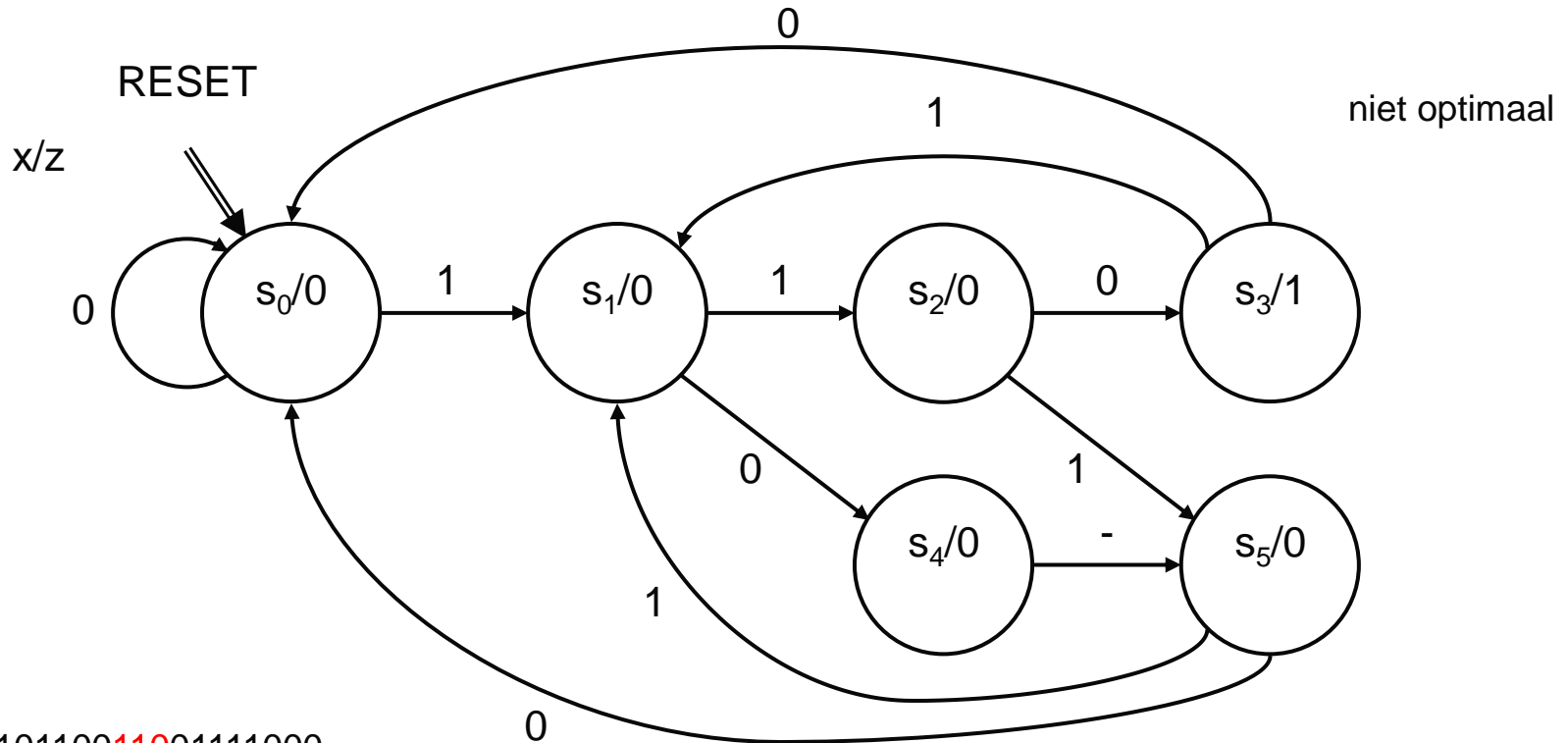
- Ontwerp een machine voor het doorlopend herkennen van het patroon (of reeks) 110. De machine moet bij herkenning een 1 afgeven.



0010110011001111000
0000000100010000010

Herkenningsautomaat

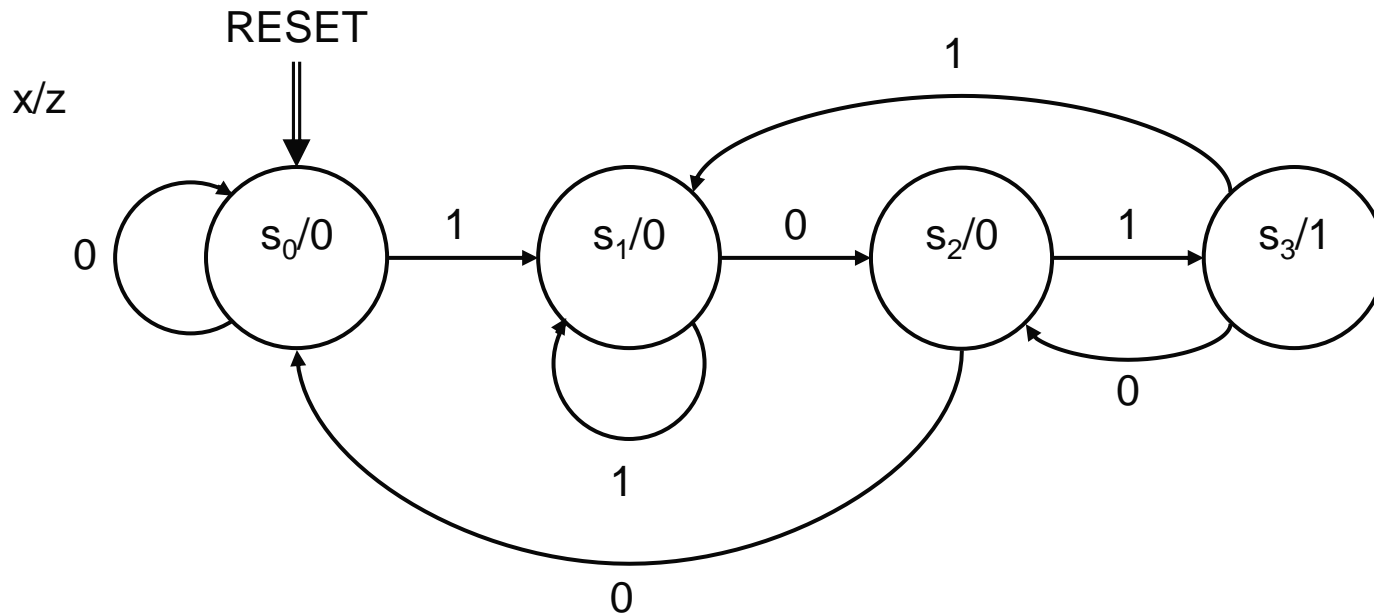
- Ontwerp een machine voor het bloksgewijs herkennen van het patroon (of reeks) 110. De machine begint met herkennen bij een 1 en moet bij herkenning een 1 afgeven.



0010110011001111000
0000000000010000000

Herkenningsautomaat

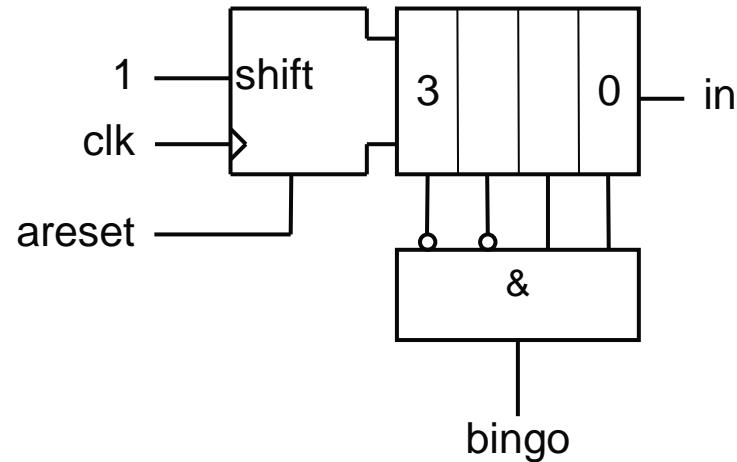
- Ontwerp een machine voor het doorlopend herkennen van het patroon (of reeks) 101. Overlappingsen zijn mogelijk. De machine moet bij herkenning een 1 afgeven.



0010100101011001111
0000010000101000000

Herkenningautomaat

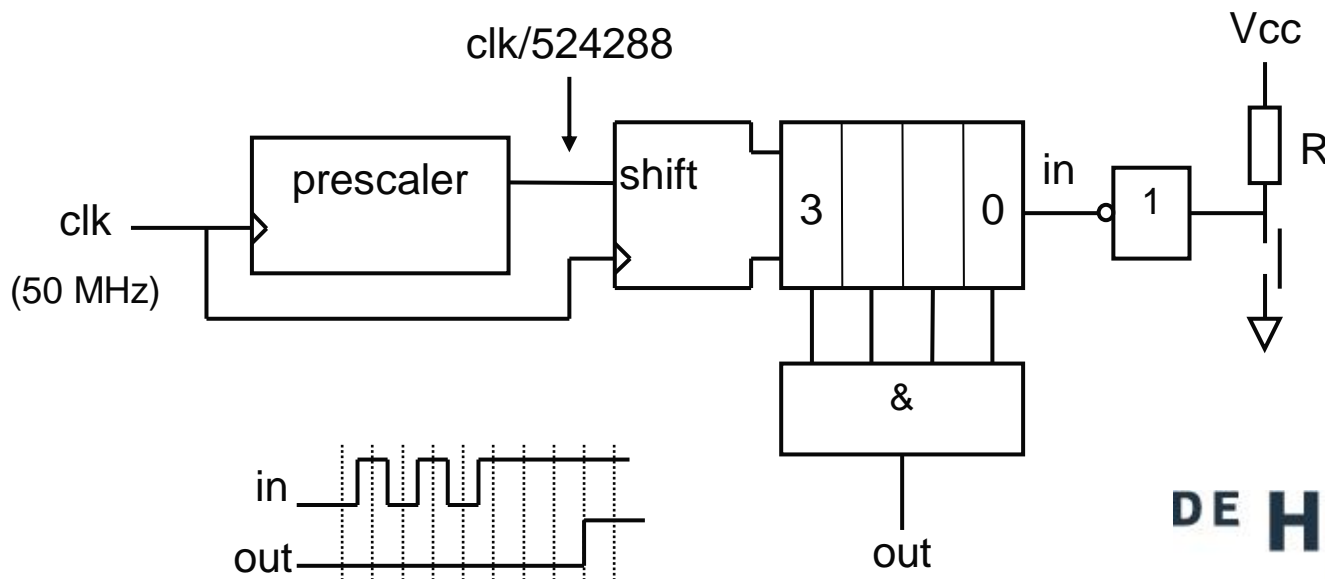
- Een herkenningautomaat kan gemaakt worden met behulp van een *schuifregister* en een AND-poort.
- Als voorbeeld het herkennen van 0011:



- Wat kan er mis gaan bij het aanbieden van 1100?

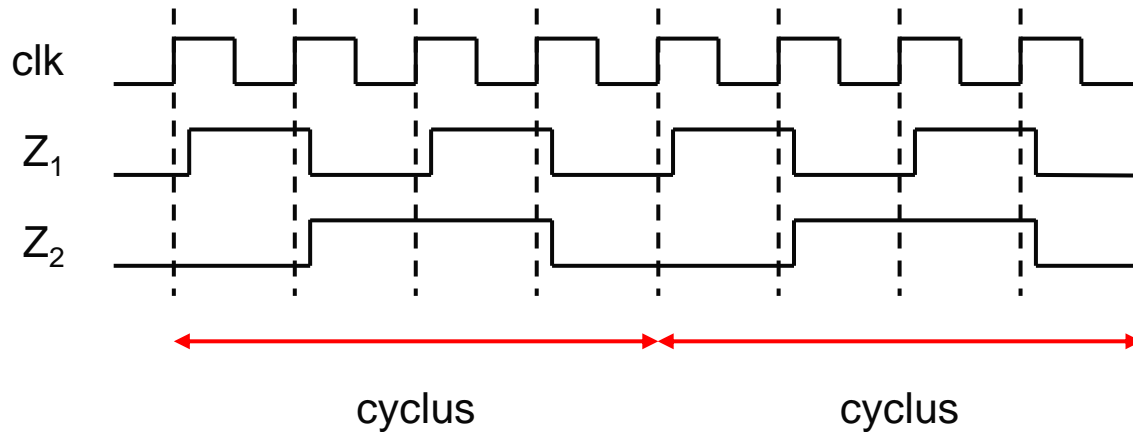
Ontdenderen drukknop

- Een mechanische drukknop of schakelaar heeft last van *denderen*. Bij overgaan stuitert de kontaktveer. Dit levert meerdere pulsen op aan een ingang. Een herkenningsautomaat biedt uitkomst.
- Het denderen duurt 10 ms – 40 ms. Een systeemklok is erg snel, dat zou een te groot schuifregister opleveren. Een *prescaler* biedt uitkomst.



Timingdiagram

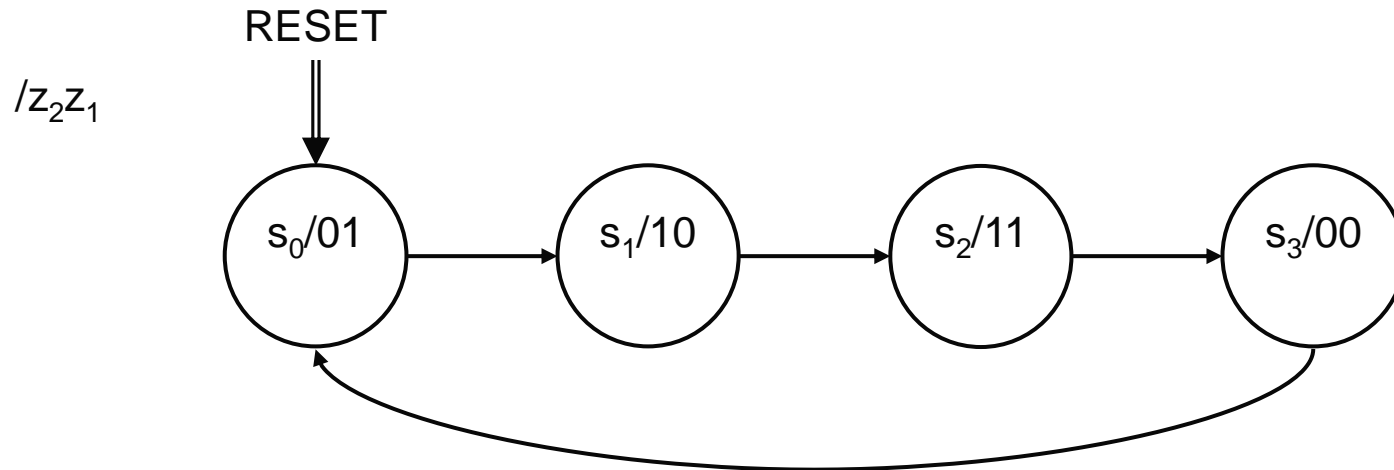
- Een toestandsmachine is ook te beschrijven met behulp van een timingdiagram.



- Wat is het bijbehorende toestandsdiagram?

Timingdiagram

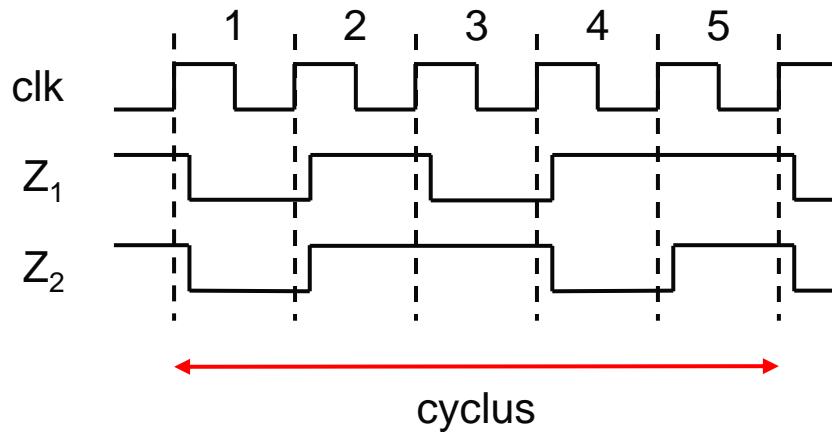
- De waarden van de uitgangen herhalen zich elke vier klokcycli. De machine is dus met vier toestanden te beschrijven. Er is geen ingang.



- Goed beschouwd is dit een *teller*.

Timingdiagram

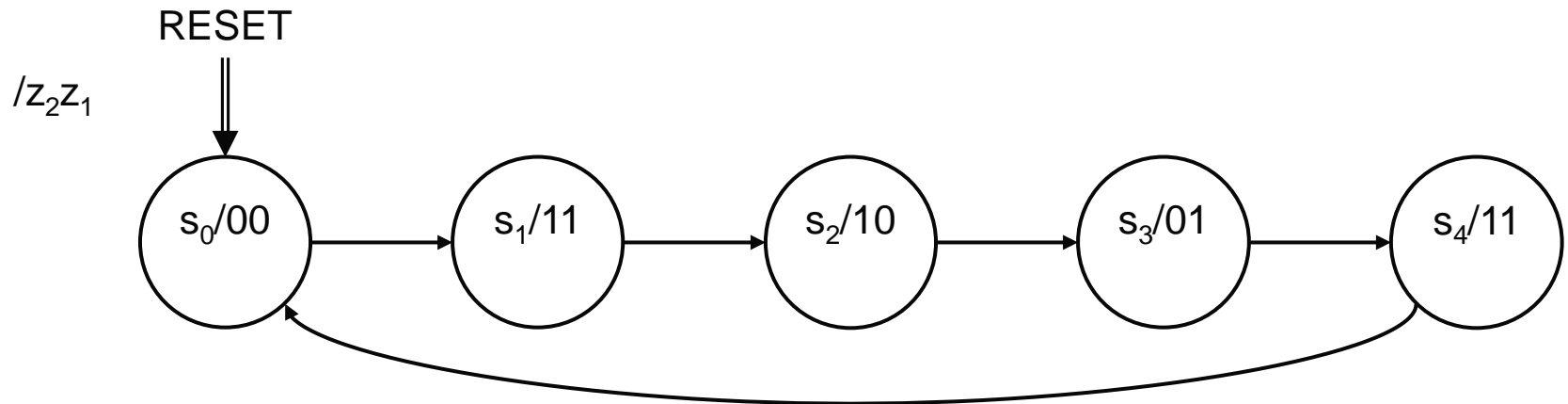
- Hieronder is weer een tijddiagram gegeven.



- Maar nu zijn de uitgangen tijdens twee klokcycli identiek. De uitgangswaarde $z_2z_1 = 11$ komt twee keer voor.
- Wat is het bijbehorende toestandsdiagram?

Timingdiagram

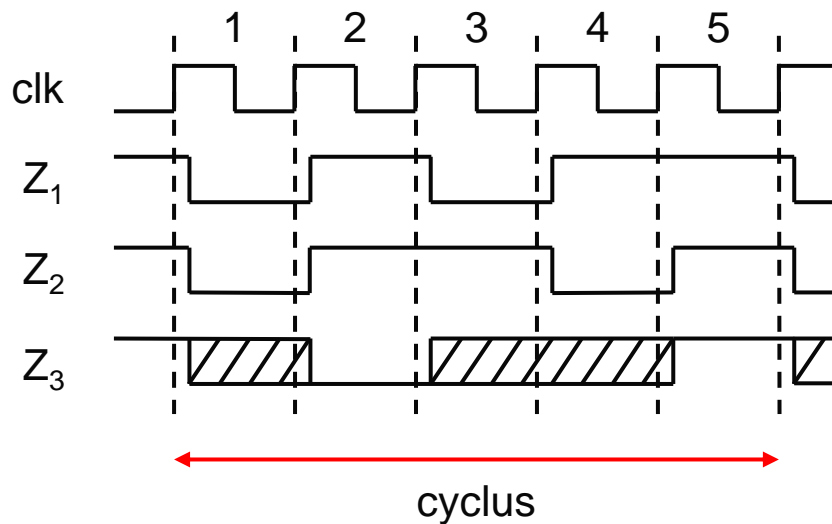
- De waarden van de uitgangen herhalen zich elke vijf klokcycli. De machine is dus met vijf toestanden te beschrijven. Er is geen ingang.



- De machine is te ontwerpen met behulp van een teller en uitgangslógica.

Timingdiagram

- Door toevoeging van één flipflop is de machine zonder uitgangslógica te ontwerpen.



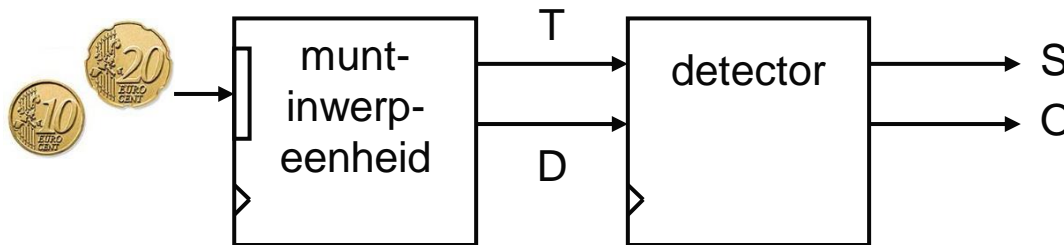
- Bij drie van de vijf standen is de waarde van Z₃ niet belangrijk en kan als don't care opgegeven worden, de waarde wordt niet uitgevoerd.

Snoepautomaat

- In het volgende voorbeeld wordt een machine ontwikkeld die een snoepautomaat bestuurt.
- De snoepautomaat accepteert alleen muntstukken van 20 cent (T) en 10 cent (D).
- Er is 30 cent nodig om snoepgoed vrij te geven.
- Als er meer dan 30 cent wordt ingeworpen moet de machine geen snoepgoed vrijgeven maar aanduiden dat er teveel geld is ingeworpen.

Snoepautomaat

- De munt-inwerpeenheid geeft twee signalen af, T voor een muntstuk van 20 cent en D voor een muntstuk van 10 cent.

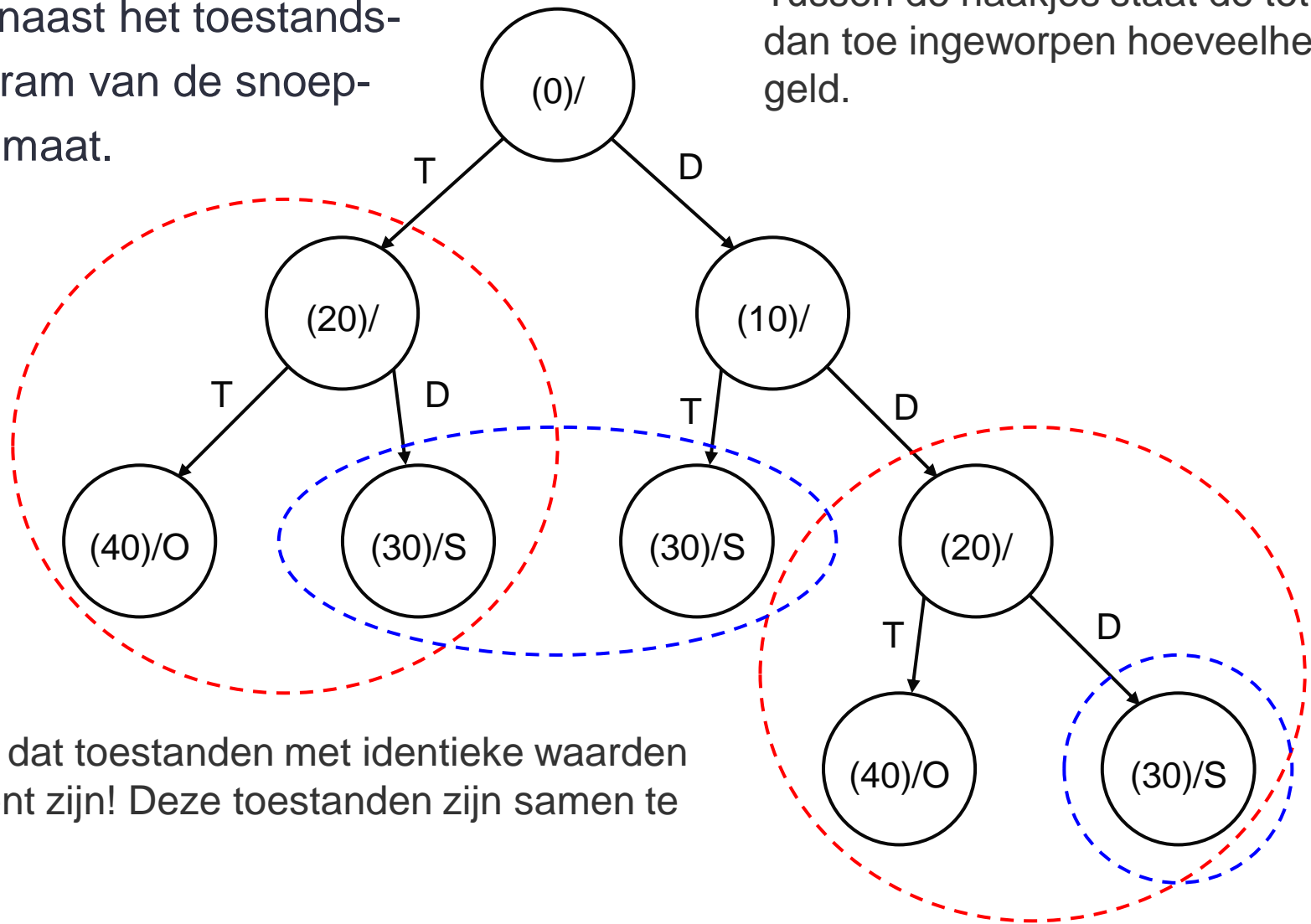


- De eenheid kan slechts één munt te gelijk accepteren. Na detectie van een muntstuk wordt het betreffende signaal één klokcyclus geactiveerd. De signalen T en D kunnen dus nooit tegelijk geactiveerd worden.
- Het signaal S wordt geactiveerd als 30 cent is ingeworpen. Het signaal O wordt geactiveerd als meer dan 30 cent is ingeworpen.

Toestandsdiagram snoepautomaat

- Hiernaast het toestandsdiagram van de snoepautomaat.

Tussen de haakjes staat de tot dan toe ingeworpen hoeveelheid geld.



Merk op dat toestanden met identieke waarden equivalent zijn! Deze toestanden zijn samen te nemen.

Snoepautomaat

- Het toestandsdiagram kan met minder toestanden getekend worden door het hanteren van de volgende regels:

$$T + T = 40$$

$$D + D = T$$

$$T + D = 30$$

$$D + T = 30$$

$$D + D + T = 40$$

$$D + D + D = 30$$

- Combinaties die leiden tot de hoeveelheid van 30 zijn dus identiek, net als voor 40. Verder is te zien dat $10+10 = 20$. Meer dan 40 komt niet voor, want dan is minstens al een hoeveelheid van 30 ingeworpen.

Toestandsdiagram snoepautomaat (beter)

- Er wordt gebruik gemaakt van het feit dat $D + D = T$ en dat $D + T = T + D$

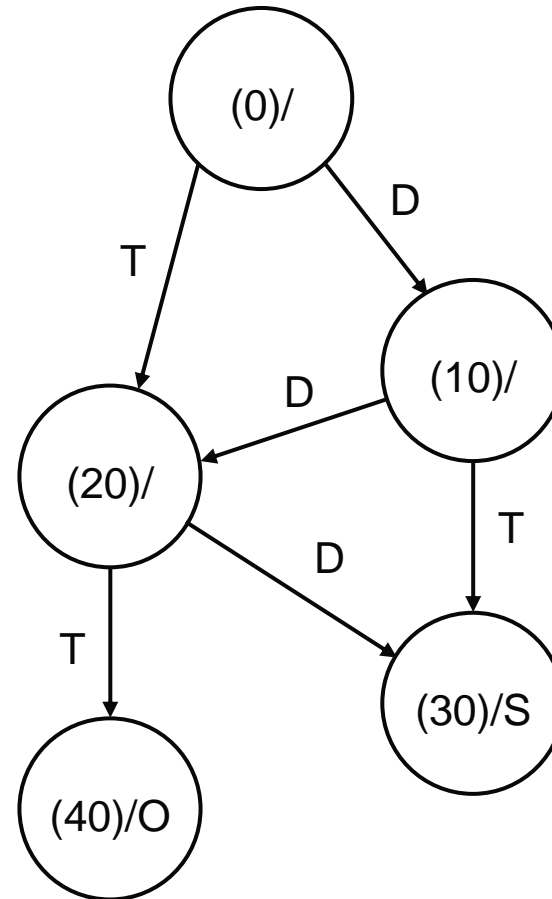
$$D = 10$$

$$T = D + D = 20$$

$$T + D = D + T = 30$$

$$T + T = 40$$

- Het aantal toestanden is verminderd tot 5.



Toestandminimalisatie

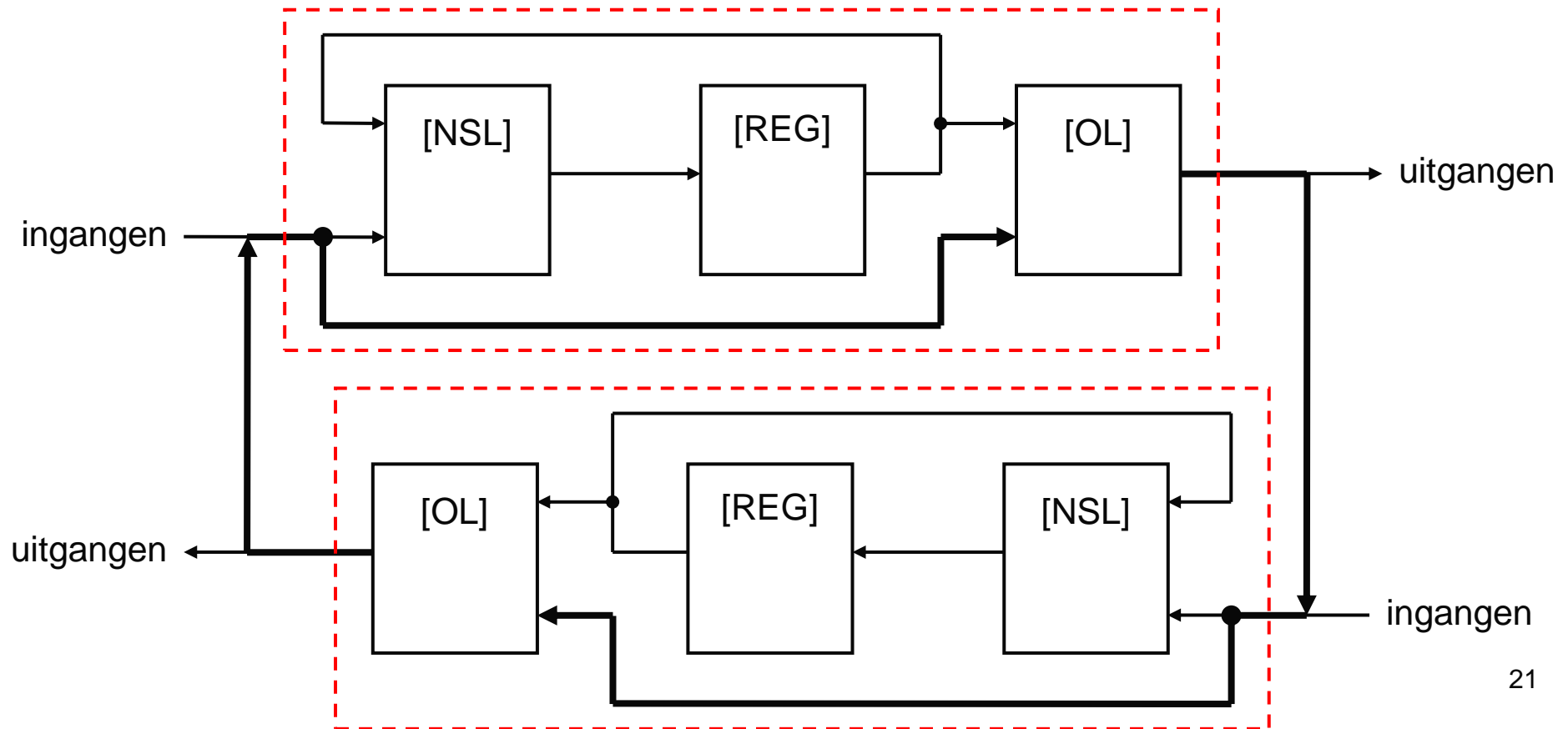
- Net als bij combinatoriek is het mogelijk het aantal toestanden te minimaliseren.
- Het idee is te zoeken naar *equivalente toestanden*.
 - Twee toestanden zijn equivalent indien voor elke mogelijke reeks ingangswaarden dezelfde reeks uitgangswaarden wordt geproduceerd.
- Formele procedure: Paull - Unger (1959)
- In de praktijk wordt dit weinig gebruikt, zeker als het aantal toestanden gering is. Een goede ontwerper zorgt meestal voor een minimale of bijna-minimale oplossing.

Tijdgedrag FSM

- De uitgangen van de Mealy-machine veranderen op de actieve klokflank én de ingangen.
- Dat houdt in dat de uitgangen twee sets vertragingen hebben.
 - Ten opzichte van de actieve klokflank (synchroon)
 - Ten opzichte van de ingangen (asynchroon)
- Moore-machines hebben dat probleem niet, de uitgangen veranderen altijd synchroon met de klokflank.
- Het tijdgedrag van synchrone machines kunnen d.m.v. de bekende procedures doorgerekend worden.

Tijdgedrag FSM

- Rondgekoppelde Mealy-machines kunnen last hebben van asynchrone terugkoppeling. Moore-machines hebben dat probleem niet.



Referenties

- Digitale Techniek, Deel 2 – A.P. Thijssen ea – 5^e druk, 2000
- Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design – Brown, 3rd Ed, 2008, ISBN 9780071268806
- Digital Design: Principles and Practices – John F. Wakerly, 4th Ed, 2006, ISBN 0-13-173349-4
- Digitale Systemen, Ontwerpen met behulp van VHDL – W. Dolman, 1^e druk, 2011, ISBN 978-90-484-2020-9

- M. C. Paull and S. H. Unger "Minimizing the number of states in incompletely specified sequential functions", *IRE Trans. on Electronic Computers*, vol. 8, pp.356 - 366 1959, DOI [10.1109/TEC.1959.5222697](https://doi.org/10.1109/TEC.1959.5222697)



Academie voor Technology, Innovation &
Society Delft
Academie voor ICT & Media

De Haagse Hogeschool, Delft
+31-15-2606311
J.E.J.opdenBrouw@hhs.nl
www.dehaagsehogeschool.nl

DE HAAGSE
HOGESCHOOL