

---

# Tijd voor Cognitieve Architecturen

## Cognitieve Architecturen

Onder een cognitieve architectuur wordt een geïntegreerd systeem van bij elkaar behorende theorieën verstaan die samen een verklaring proberen te geven van een zo breed mogelijk scala aan menselijk gedrag. Omdat menselijk intelligent gedrag van te veel aspecten afhankelijk is, is het vrijwel onmogelijk om dit in één "Grand Theory" te beschrijven. Veel moderne cognitieve architecturen kiezen daarom voor een min of meer modulaire opbouw, waarbij de centrale theorie een kapstok is die kan worden uitgebreid met modules die specifieke aspecten van menselijke gedrag simuleren. Bekende voorbeelden van dit type architecturen zijn ACT-R, EPIC en SOAR. Zie voor algemene introductie Anderson (2007), en voor een wetenschapsfilosofische introductie Cooper (2007).

---

*Hedderik van Rijn  
Kunstmatige Intelligentie  
Rijksuniversiteit Groningen*

Tijd is geld. Tijd vliegt voorbij. Zoals het klokje thuis tikt, tikt het nergens. Maar hoe tikt het klokje in ons? Hoe komt het dat wij mensen vaak zo goed zijn in het heel casual inschatten van de tijd?

*Je stopt een pizza in de oven, stelt het alarmklokje in op een minuut of 12. In de tussentijd browse je nog even langs je favoriete websites, leest een interessant stukje en klikt de bijbehorende links aan. Een van de links opent niet, vast een slashdot-effect denk je, en je sluit de bijbehorende tab. Je draait je nog eens om naar de oven, en je ziet nog net de laatste 8 seconden wegtikken.*

In dit voorbeeld zitten minimaal drie momenten waar je iets met tijd hebt gedaan. Het instellen van het ovenklokje is natuurlijk overduidelijk een tijdsgerelateerde actie, maar hoe kan het dat je na krap twaalf minuten – zonder er expliciet over na te denken – weer naar die oven keek? Liep er ergens in jouw hoofd ook een klokje mee? Het derde tijdsmoment is eigenlijk nog vreemder. Hoe wist je dat je die webpagina voldoende tijd had gegeven om te openen? Start je bij het aanklikken van iedere link een nieuwe tijdswaarneming om later te kunnen besluiten of de pagina wel of niet laadt? Dit soort vragen zijn nauwelijks te beantwoorden met bestaande computationele cognitieve architecturen omdat deze geen of nauwelijks aandacht besteden

aan menselijke tijdswaarneming. En dit is vreemd. Hoewel "time" als kloktijd een relatief moderne uitvinding is, en afhankelijk is van artefacten als klokken, is "timing" een essentiële, bijna psychofysische eigenschap van dieren. Hierbij is het belangrijk om te beseffen dat het vooral om tijdschattingen gaat waarbij je van te voren weet dat je de tijd misschien nodig gaat hebben, formeel beschreven als "prospective time estimation", want "retrospective time estimation" ("hoeveel tijd is gepasseerd sinds jouw laatste kop koffie?") is veel sterker gebonden aan formeel redeneren over tijd. Gezien het belang van prospective time estimation in veel taken, hebben Taatgen, Van Rijn en Anderson (2007) recent een "temporal module" voorgesteld die gebruikt kan worden in cognitieve architecturen om deze een besef van tijd te geven.

## Tijdstheorie

De theorie achter deze module is gebaseerd op uitgebreid onderzoek, vooral gedaan met dieren. Vanaf de jaren 50 en 60 zijn er hele generaties duiven en ratten getraind op allerhande temporele structuren, en deze dieren bleken behoorlijk goed in staat in te zijn om op een intelligente manier om te gaan met de aangeboden tijdsafhankelijkheden. Men neme een duif, leert de duif dat als een lichtje 3 seconden aangaat er na een halve minuut aan de linkerkant van de kooi een maiskorrel te vinden is, en als het lichtje 9 seconden aan is, de maiskorrel rechts komt. Zo'n duif, mits voldoende hongerig, heeft geen probleem drie van negen seconden te onderscheiden. Interessanter is wat er gebeurt als je de duif nu tijden

presenteert van 4, 5, 6, 7 of 8 seconden. Hoe vaak kiest de duif voor links? De theoretische verdeling voorspelt een 50/50 verdeling op 6 seconden, maar duiven – net als ratten en andere dieren zoals mensen – hebben een structurele voorkeur voor de “lange keuze”. Deze bisection experimenten zijn een sterke aanwijzing dat dieren tijd op een niet puur lineaire schaal waarnemen, maar dat korte tijden (zeg, 3 en 4 seconden) minder op elkaar lijken dan langere tijden (bijvoorbeeld 8 en 9 seconden).

De basis assumpties van de temporal module zijn afgeleid van dit type experiment.

De algemene structuur, afgebeeld in Figuur 1a, is dat een pulse generator na een begin signaal als een soort steeds langzamer tikkende metronoom tikken afgeeft. De hoeveelheid tikken die sinds het begin signaal zijn afgegeven, wordt opgeslagen in de accumulator. Waar de tikken zelf niet direct uitleesbaar zijn door andere delen van de architectuur, is de huidige waarde van de accumulator dat wel. Het idee van een vertragende metronoom moet niet te letterlijk worden genomen: voor onze doeleinden is een functionele insteek

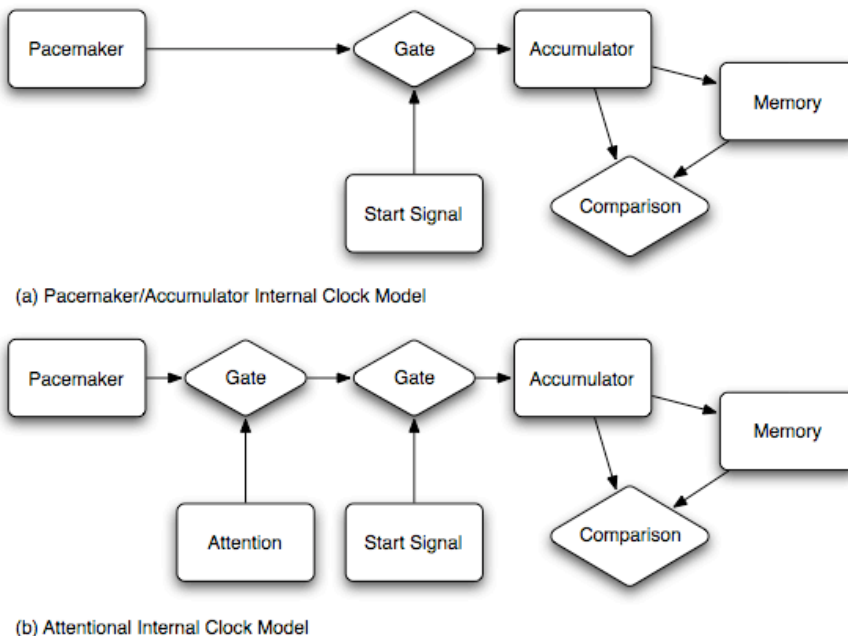
2005 voor een opsomming van huidige ideeën over de neurologische grondslagen van tijdswaarneming). Gegeven deze implementatie kan je eigenlijk pas beginnen. Want waar de beschrijving van de bovenstaande module nog min of meer “op zichzelf staand” is, kan je als je deze module verankert in een cognitieve architectuur gaan voorspellen hoe verschillende aspecten van de menselijke cognitie samen verklaren hoe complex, tijdsgelateerd gedrag tot stand komt.

## Aandacht voor Tijd

Een ander aspect dat van belang is als je tijd wil meenemen in een cognitieve architectuur is dat je iets moet zeggen over hoe tijd in de context van een andere taak wordt waargenomen. Is het inderdaad zo dat als je druk bezig bent, de (subjectieve) tijd sneller gaat? Een uitgebreid overzichtsartikel laat inderdaad zien dat de inspanning die nodig is voor een taak omgekeerd evenredig is met de tijdsinschatting (Block & Zakay, 2007). Gebaseerd op deze data heeft Zakay samen met collega's de “Attentional Gate”

theorie voor tijdsperceptie voorgesteld. Ook volgens deze theorie is er een time generator en een accumulator, maar zit er tussen de generator en de accumulator een sluis die bewust moet worden opengesteld om de tikken door te laten (de “Attention Gate” in Figuur 1b). Het idee lijkt in eerste instantie elegant.

Bewuste aandacht voor tijd moet de sluis opstellen, dus hoe meer aandacht, hoe meer tikken binnenkomen, hoe langer de subjectieve tijdswaarneming is. En aan de andere kant, als je helemaal opgaat in een andere taak vergeet je aandacht te besteden aan de tijdsluis, waardoor minder tikken in de accumulator komen. Zodra je de accumulator controleert, zitten er maar een handjevol tikken in, terwijl een blik op de klok laat zien dat de werkelijke tijd veel harder is opgeschoten. Door de schijnbare elegantie van dit model zou je al snel een



Figuur 1

voldoende, agnostisch wat betreft mogelijke neurologische implementaties (zie Buhusi & Meck,

schijnbare elegantie van dit model zou je al snel een

---

belangrijke beperking over het hoofd zien: Waar dit model interessante kwalitatieve voorspellingen doet, is het niet in staat te voorspellen hoe de data er kwantitatief uit zal moeten zien. Hoeveel aandacht kost de makkelijke conditie van de Strooptaak ten opzichte van moeilijke conditie van de Stroop taak? Daarnaast betekent deze benadering ook dat je altijd bezig moet zijn met tijdswaarneming, misschien niet bewust, maar ergens moeten resources worden besteed aan het ophouden van de sluis. Met andere woorden, tijd is niet impliciet, maar enkel het gevolg van actieve handelingen van de actor. Hierdoor moet een cognitief systeem altijd meerdere versies van iedere mogelijke action-set paraat hebben: ééntje met, en ééntje zonder sluiswachter.

## Tijd loopt door, of je wilt of niet

Het moge duidelijk zijn: hoewel de Attentional Gate theorie op zich aardig lijkt, zitten er nogal wat haken en ogen aan. Vandaar dat wij in onze benadering een andere invalshoek kozen.

Onze hypothese is dat subjectieve tijd doorloopt – net als de objectieve tijd. Of je nu een makkelijke of een moeilijke taak aan het uitvoeren bent, iedere tik gaat belandt automatisch in de accumulator. Echter, als je druk bezig bent, kan het best wel eens zo zijn dat je compleet vergeet deze accumulator uit te lezen. Het probleem van dit idee is dat in eerste instantie er nauwelijks een experiment te verzinnen lijkt dat deze theorie van de Attentional Gate weet te onderscheiden, en dat er in de timing literatuur al voldoende welles-nietes ketens van publicaties zijn (c.f., de discussie tussen Zakay en Lejeune over Gating versus Flickering Switches).

Echter, de verankering van de tijdsmodule in de cognitieve architectuur ACT-R maakt het mogelijk dat timing wordt bekeken in een veel bredere cognitieve context. Naast pure timing, kunnen we ook leermechanismen op een plausibele, van te voren vastgelegde en onderbouwde wijze implementeren. En juist dit principe maakt het mogelijk om een experiment op te zetten om de discussie te slechten tussen een theorie waar cognitie een directe rol op de timing heeft en een theorie waar dit slechts indirect is.

Stel, je moet een taak uitvoeren waarbij je punten kan verdienen door op simpele stimuli te reageren die op willekeurige momenten aan de rechterkant van het scherm verschijnen. Dit gaat in een behoorlijk vlot tempo. Voor ieder correct antwoord krijg je 30 punten. Er is je daarnaast verteld dat er af en toe een bonusperiode is. Gedurende deze bonusperiode kunnen er ook stimuli verschijnen aan de linkerkant van het scherm, maar alleen als je tijdens de bonusperiode de bonus hebt “aangezet” door op een knop te drukken. Een druk op deze knop kost je 10 punten, maar goede antwoorden op stimuli aan de linkerkant leveren 100 punten op. Je moet als proefpersoon nu afweten wanneer je probeert of de bonusknop inderdaad een bonus oplevert, want het drukken op die knop kost én tijd waarin je één of meerdere standaard stimuli mist én 10 punten. Als proefpersoon in deze taak begin je al snel te leren dat je na ongeveer 7 seconden in een trial op de “bonus” knop moet drukken – want dat is de tijd waarop de bonusperiode begint.

Dit experiment valt heel simpel te modelleren. In het begin heb je als proefpersoon geen idee wanneer je de bonus moet “aanzetten”, dus je probeert af en toe wat. Op een gegeven moment krijg je de bonus, en kan je uitlezen hoeveel tikken er sinds het begin van de trial voorbij zijn. De volgende keer zal je weer op de bonusknop drukken als hetzelfde aantal tikken de accumulator heeft bereikt. Hoe meer je dit succesvol weet te doen, hoe beter jouw geheugenrepresentatie van de “tijd tot bonus” wordt. Met andere woorden, gedurende het experiment wordt je steeds beter in het drukken op de bonusknop.

Het interessante komt nu als we de taak in het rechterscherm halverwege het experiment veranderen. Stel, de taak is in het begin van het experiment simpel “Klik op de stimulus als het een ‘A’ is”. Veel makkelijker dan dit kan een taak niet worden. In de context van de Attentional Gate theorie zal de sluis dus wagenwijd open staan, en bijna alle tikken bereiken de accumulator. Als we nu de taak in het tweede deel van het experiment moeilijker maken, bijvoorbeeld “Klik op de stimulus als de rekensom klopt” zal er minder aandacht voor de sluis zijn, en komen dus minder tikken in de accumulator.

---

Dit is waar de voorspellingen van de theorieën gaan verschillen. Volgens de Attentional Gate theorie zal je in het begin duidelijk later gaan drukken, want de tikken komen minder snel in de accumulator terecht. Echter, volgens de alternatieve, simpelere theorie blijf je min of meer correct – misschien weet je minder vaak op de knop te drukken doordat je druk bent met de rekensommen, maar er is geen versnellend of vertragend effect te verwachten. En dit is precies het effect dat we vonden. Omdat ook de andere condities en experimenten, zoals besproken in Taatgen, Van Rijn & Anderson (2007) volledig voorspeld werden, lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat interne tijd volledig onafhankelijk van de moeilijkheid van de taak door loopt.

## Tijd voor Cognitieve Architecturen

Het mooiste van deze conclusies voor de Kunstmatige Intelligentie is misschien nog wel dat wij deze voorspellingen alleen hebben kunnen doen doordat wij tijd hebben bekeken vanuit een geïntegreerde benadering, waarin vele verschillende aspecten van cognitie worden meegenomen. Alleen omdat architecturen zoals ACT-R tegenwoordig ver genoeg ontwikkeld zijn om zowel perceptie, als actie, als geheugen, als, bijvoorbeeld, tijd mee te nemen – is het mogelijk om voldoende gedetailleerde voorspellingen te doen zodat wij, als Kunstmatige Intelligentie, bestaande discussies in de wetenschappelijke literatuur kunnen beslechten.

## Bibliografie

- Anderson, J. R. (2007). *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?* Oxford University Press, New York.
- Block, R. A. and Zakay, D. (1997). Prospective and retrospective duration judgments: A meta-analytic review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4(2):184 – 197.
- Cooper, R. (2007). The role of falsification in the development of cognitive architectures: Insights from a Lakatosian analysis. *Cognitive Science*, 31(3):509–53325.
- Buhusi, C. V. and Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature reviews. Neuroscience*, 6:755 –765.
- Taatgen, N. A., Van Rijn, H., and Anderson, J. R. (2007). An integrated theory of prospective time interval estimation: The role of cognition, attention and learning. *Psychological Review*, 114(3):577–598.