

In de schijnwerpers: de autonome auto



(Bron: Viacheslav Gromov, IAA)

overzicht van de stand van de techniek

Viacheslav Gromov (Duitsland)

Het onderwerp “autonome auto” of “zelfrijdende auto” is op ieders lippen: vanuit de VS bereiken de krantenkoppen ons over ongevallen met de Tesla-autopiloot, in Europa werken de autogiganten samen om concurrerend te blijven en in China rijden al de eerste autonome bussen rond. Wat is momenteel de technische stand van zaken? Welke mobiliteitsconcepten streven we na en welke maatschappelijke uitdagingen moeten we nog overwinnen?

De computerassistent in onze voertuigen, zoals we die vandaag kennen in de vorm van rijstrookassistentie (*Lane Departure Warning*) of spraakbesturing, grijpt terug op een lange technologische geschiedenis. Het was vanaf het begin al spannend. Een gyroscopische stuurautomaat die voor het eerst werd geïntroduceerd in 1914, was ontworpen om vliegtuigen te stabiliseren en wordt beschouwd als de eerste mijlpaal op het gebied van voertuigautomatisering. Later werden autonome voertuigen (afgekort AV) vooral voor militaire doeleinden ontwikkeld (bijvoorbeeld om mijnen op te sporen). De media verlekken zich aan fantastische mobiliteitsvisies, zoals een reeks afstandsbediende testmodellen en de ‘leidraadversie’ van **figuur 1** [1].

De beloftes

Tegenwoordig zijn dit de belangrijkste aspecten voor autonoom rijden: veiligheid (menselijke fouten veroorzaken ongeveer 90%

van alle ongevallen), comfort, mobiliteit voor iedereen en ontlasting van het wegennet met een geringere milieu-belasting. Als het gaat om veiligheid – voor velen het belangrijkste argument – wordt aangenomen dat autonome voertuigen mede dankzij de later nog behandelde C2X de meestvoorkomende oorzaken van menselijk falen (onoplettendheid, alcohol...) minimaliseren terwijl daartegenover slechts weinig nieuwe ongevalsorzaken, bijvoorbeeld door onjuiste berekeningen of hackeraanvallen, worden geïntroduceerd. Er is echter nog geen duidelijk, meetbaar bewijs voor deze grotere veiligheid, zodat deze factoren (waarover ook binnen de geesteswetenschappen wordt gediscussieerd) vaak puur speculatief zijn.

Wat de factor mobiliteit betreft, moet worden opgemerkt dat rijbewijzen niet langer nodig zullen zijn, wat betekent dat leden van alle sociale lagen een voertuig kunnen gebruiken. Dergelijke voertuigen (vooral minibussen) zouden op afroep

in landelijke gebieden heel nuttig kunnen zijn.

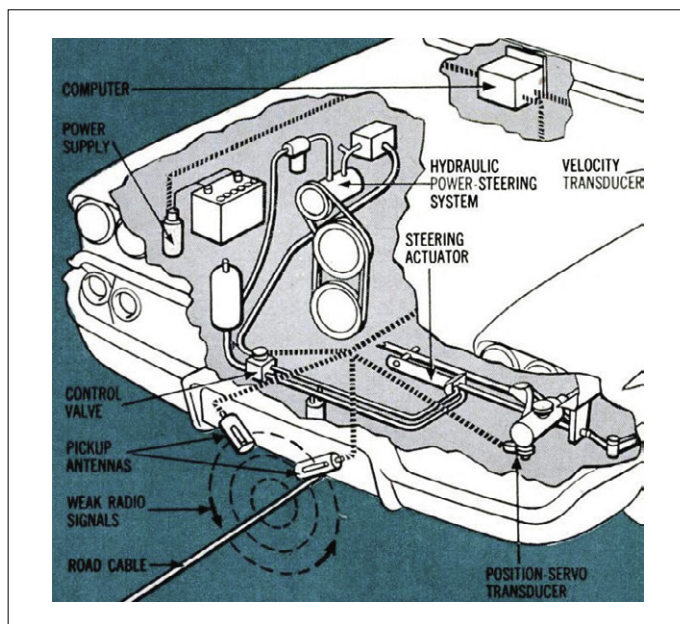
Wat de ontlasting van het wegennet betreft, voorspellen studies een toename van het wegverkeer met respectievelijk 21% en 80% bij een marktpenetratie van respectievelijk 50% en 90% [2]. De brandstoeffefficiëntie kan tot 40% worden verhoogd, niet alleen door een gereguleerde verkeersstroom met minder remmen en optrekken, maar ook door fundamenteel andere snelheden. Volgens sommige berekeningen komt u zelfs met een lagere snelheid sneller van A naar B, zodat de snelheid als geheel toeneemt.

Concepten en automatiseringsniveaus

Een veelbelovende (vervolg-)technologie is de Car-to-Car (C2C) of Car-to-Infrastructure (C2I) communicatie, die (met andere varianten) ook bekend staat onder de afkorting C2X, in plaats van 'C' voor *Car* (auto) wordt ook wel de 'V' gebruikt voor *Vehicle* (voertuig). In dit geval kunnen voertuigen met elkaar communiceren, bijvoorbeeld om veel eerder te kunnen reageren wanneer files verwacht worden; of interageren met de infrastructuur, wat uiteindelijk leidt tot een visie waarin nauwelijks nog zichtbare verkeersborden nodig zijn en de schakeltijden van verkeerslichten veel beter aan het verkeer aangepast zijn (of misschien verdwijnen verkeerslichten helemaal...)

De automatiseringsniveaus van voertuigen worden in principe gedefinieerd als in **figuur 2**. De tegenwoordig al gebruikelijke niveau-1-systemen zoals ABS en ESP, zijn tenminste voor een deel verantwoordelijk voor het al jarenlang dalende aantal verkeersdoden. In recente voertuigen kunnen al gedeeltelijk autonome systemen geïntegreerd zijn die corresponderen met niveau 2, zoals de rijstrook- of file-assistent. De in opspraak geraakte snelweg-autopiloot van Tesla kan al op de grens van niveau 3 worden ingedeeld.

Naast de automatiseringsniveaus moet nog rekening worden gehouden met de gebruiks- of mobiliteitsmodellen. Binnen de bovengenoemde automatiseringsniveaus zijn veel concepten denkbaar. Je zou kunnen beginnen met autonoom parkeren, waarbij je bijvoorbeeld de auto met de hand naar het winkelcentrum dirigeert en dan uitstapt, waarna de auto zelf een parkeerplaats in de buurt zoekt. De hoogste vorm van automatisering kan dan de afroepauto zijn – afhankelijk van de prijs kunt u dan alleen of samen met anderen met de auto worden vervoerd nadat u het voertuig met uw smartphone hebt besteld. In bijna alle scenario's hebt u geen privé-voertuig nodig. Dat kan, als we de eerdergenoemde positieve effecten toevoegen, een groot pluspunt van AV zijn. De autonome voertuigen zouden dan niet 23 uur per dag stil hoeven te staan, maar zouden veel flexibeler kunnen worden ingezet. Dat heeft ook nog een andere economische reden: de ingebouwde redundante systemen zouden volgens actuele schattingen bij niveau 5 ondanks massaproductie behoorlijk kostbaar zijn zodat niet iedereen die kan betalen. De grote automobielcon-



Figuur 1. Een prototype van General Motors, gebaseerd op de 58er Chevrolet en onder aan de voorzijde uitgerust met twee antennes. Het voertuig reed in 1958 'autonoom' op een testtraject dat was uitgerust met een geleidedraad (Bron: Popular Science 05/1958).

cerns zouden dan ook mobiliteitsaanbieders worden.

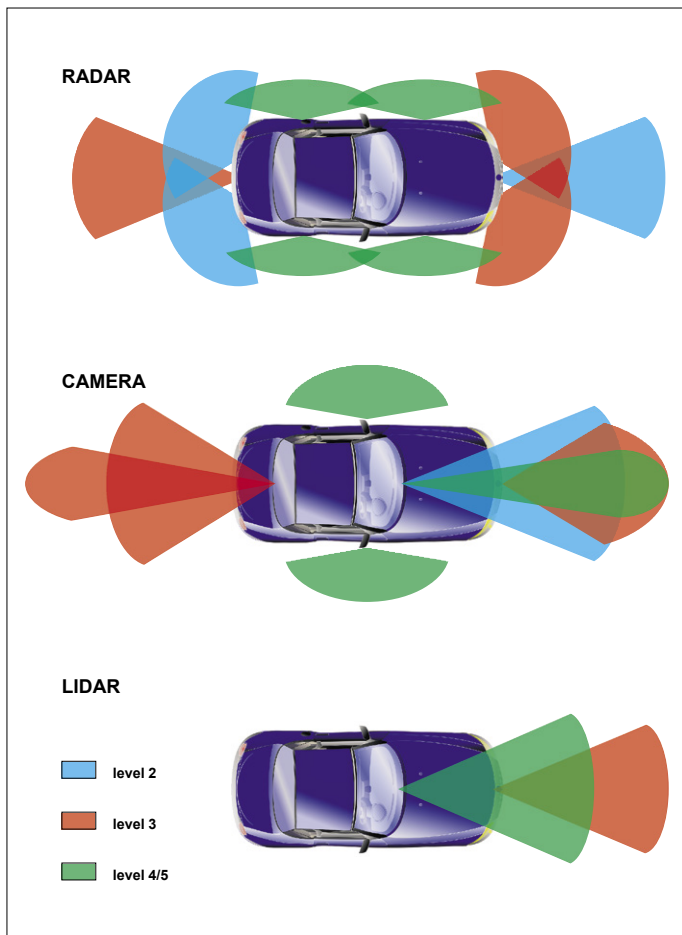
Nu willen we de technische werking van een autonoom voertuig in het kort en in het algemeen bekijken, zodat u een idee krijgt van waar het over gaat en vervolgens zelf verder onderzoek kunt doen.

Een blik op het inwendige

De eerste (en bij mensen achter het stuur belangrijkste) stap is de **perceptie** (waarneming). Hier moet de omgeving van het

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the driving mode-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human driver	System	System	System	All driving modes

Figuur 2. Overzicht van de vijf automatiseringsniveaus, inclusief beknopte uitleg (bron: SAE International J3016).



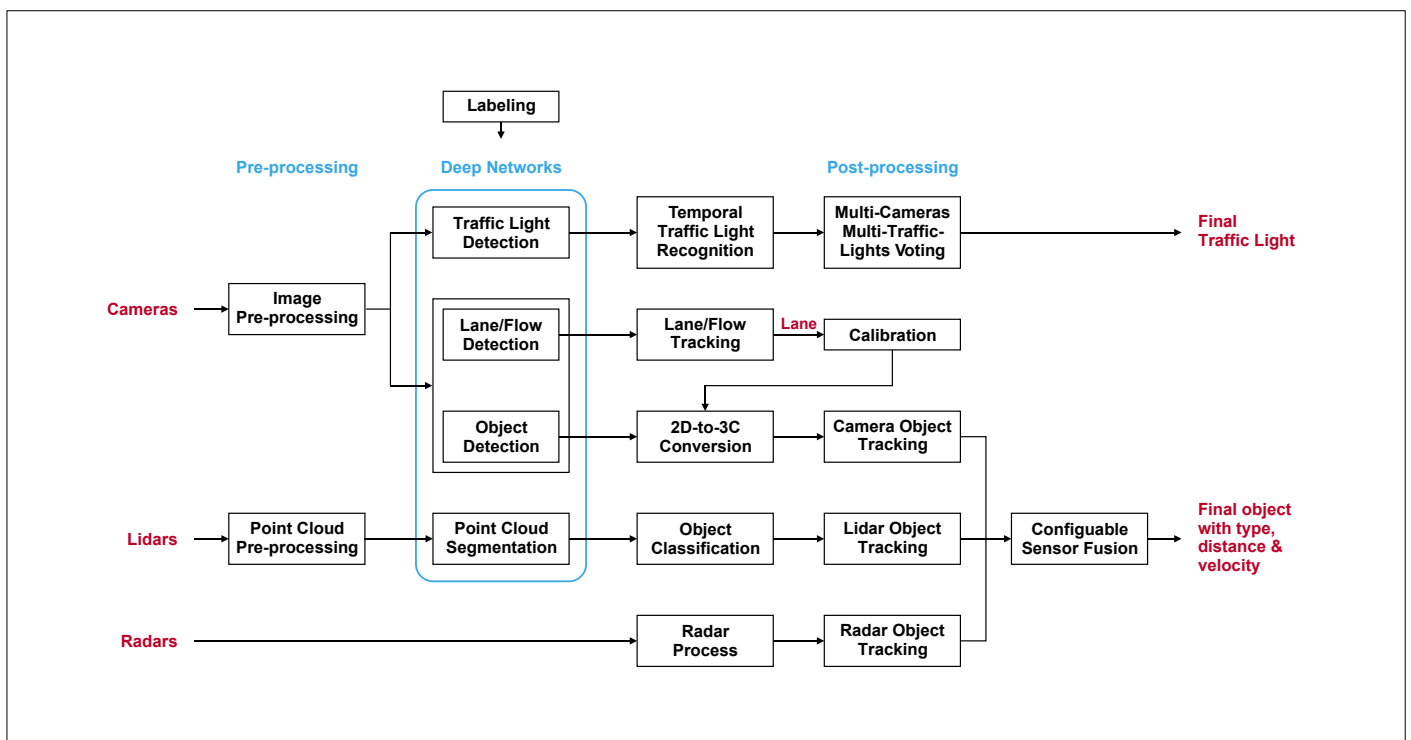
Figuur 3. Volgens Infineon kan de toename van sensoren er zo uitzien naarmate het automatiseringsniveau toeneemt. Andere sensoren, zoals ultrasoon, zijn hier niet inbegrepen (bron: Infineon).

voertuig uiterst nauwkeurig worden waargenomen. In het autonome voertuig spelen de elkaar aanvullende camera-, radar- en lidar-technologie een centrale rol. Een voorbeeld: hoewel een camera de enige gangbare manier is om conventionele verkeersborden en -lichten te detecteren, kan een radar ook bij zeer slecht zicht objecten detecteren en de afstand ervan bepalen. Om elke situatie optimaal gewassen te zijn, wordt gebruik gemaakt van *sensorfusie*, wat betekent dat gegevens van meerdere sensoren contextueel worden gewogen, om zoveel mogelijk met zekerheid te weten te komen van wat er gebeurt.

Figuur 3 toont een voorbeeld van het gebruik van de drie belangrijkste sensortypen, afhankelijk van het automatiseringsniveau, waarbij de gegevens afhankelijk van de fabrikant en de ontwikkelingsfase sterk variëren. De sensorkegel van radar en lidar reikt van een paar meter tot enkele honderden meters in de straalrichting. Natuurlijk speelt de hoekresolutie en daarmee de totale hoeveelheid data een doorslaggevende rol. Voor de veelgebruikte HD-camera's komen meestal groothoeklenzen met een brandpuntsafstand van 6...25 mm in aanmerking. Ook toepassing van stereocamera's is niet ongebruikelijk.

Volgend op deze perceptie moeten de bewegingen van de objecten in de nabije toekomst (bijvoorbeeld de beweging van een voertuig) en alle daarvoor benodigde vectoren worden geschat (**predictie**, voorspelling), wat een bijzonder rekenintensieve taak is waar de nodige voorspellingen aan te pas komen. Een voorbeeld van de perceptie-structuur van Apollo is te zien in **figuur 4**. Apollo is een open platform voor AV, in het leven geroepen door de Chinese softwaregigant Baidu waar ook enkele Westerse autoconcerns aan deelnemen. Voor een nadere beschouwing is een blik op het bijbehorende Github-project interessant [3].

Het doel van perceptie is ook om objecten correct te classificeren. Objecten zijn weggebruikers, verkeersborden en -lich-



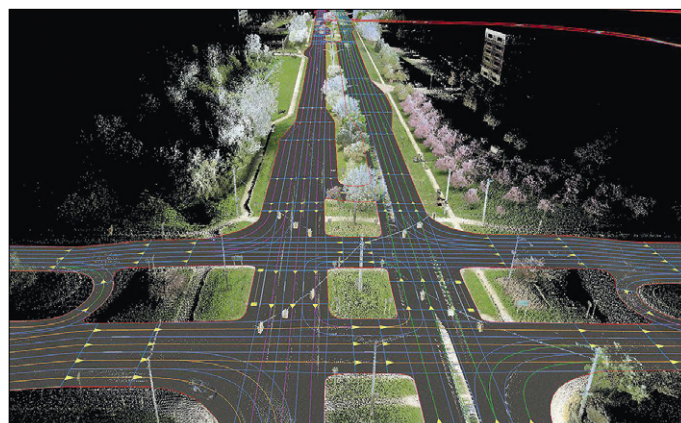
Figuur 4. De structuur van de perceptie-eenheid bij Apollo. Objectherkenning met metrische gegevens en verkeerslichtdetectie lopen hier grotendeels parallel (bron: Apollo).



Figuur 5. Twee veelvoorkomende soorten classificatie: links semantische segmentatie en rechts objectherkenning (foto links met toestemming van MathWorks, afbeelding rechts van Rolf Gerstendorf).

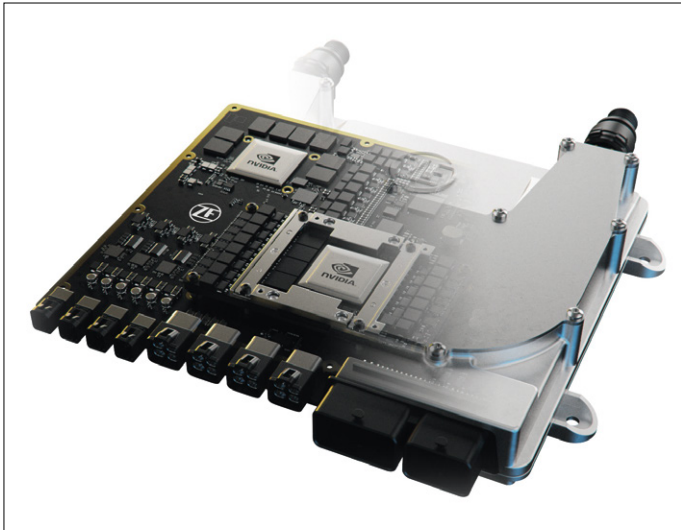
ten, wegmarkeringen, obstakels en nog veel meer. Een nuttige classificatietechniek is semantische segmentatie, die oppervlakken van bepaalde klassen scheidt (gekleurd aangegeven in **figuur 5**). Semantische segmentatie blijkt zeer nuttig te zijn, vooral als het gaat om rijwegherkenning en gebiedsschatting van andere objecten. Machine learning, met name met kunstmatige neurale netwerken (KNN), is uitstekend geschikt voor deze classificatie dankzij de patroonherkenning en de hoge foutbestendigheid. Bij de objectclassificatie moet rekening worden gehouden met drie onzekerheden: de toestandsonzekerheid (door meetfouten van de sensoren), de bestaansonzekerheid (bestaat het gedetecteerde object) en de klasse-onzekerheid (is de toegewezen klasse correct). Juist bij dat laatste punt is de schatting en weging van de onzekerheid nogal ingewikkeld. Een andere taak die op de perceptie volgt, is de **lokalisatie**, dat wil zeggen de positie van het voertuig in zijn omgeving. Om een antwoord op deze “Waar ben ik?”-vraag te geven, worden de metrische (object-)gegevens die zijn verkregen uit de perceptie meestal vergeleken met een hoge-resolutie kaart die aan boord is opgeslagen (**figuur 6**). Onder andere worden de uit de robotica bekende vergelijkingsmethoden van de gemeten puntwolken gebruikt. Sterk vereenvoudigd: wanneer de originele voertuiggecentreerde sensorgegevens op de kaart worden gesuperponeerd, worden verschillen geminimaliseerd of worden bepaalde typische objecten (oriëntatiepunten) herkend. Natuurlijk worden ook GPS-locatiegegevens en bewegingsgegevens van de interne traagheidsensor (*Inertial Measurement Unit*, IMU) gebruikt. Om de toestand ook in geval van onnauwkeurigheden of zelfs ontbrekende aan sensorgegevens in te schatten, worden (uitgebreide) Kalman-filters en vele andere methoden (ook in het kader van sensorfusie) gebruikt.

De oplossing met de interne HD-kaart is echter een tweesnijdend zwaard. Enerzijds maakt dit snelle, efficiënte herkenning, lokalisatie en planning mogelijk. Op basis van de informatie die van de kaart afkomstig is, kunnen algoritmen voor de herkenning van verkeersborden en -lichten efficiënter worden gebruikt, omdat ze worden toegewezen aan één interessegebied (*Region Of Interest*, ROI) van het sensorveld, dankzij de



Figuur 6. Een deel van de HD-kaart van Apollo. De puntwolken, die typisch zijn voor met name Lidar, zijn hier wit, terwijl hier geen geclassificeerde objecten afgebeeld zijn. (Bron: CB insights).

inzichten op de kaart. Groot nadeel is de omvang en actualiteit van de kaart. De kaart zou bij een ideale infrastructuur binnen een gegeven straal constant vanuit het netwerk in het interne geheugen moeten worden geladen, wat natuurlijk complex is. En om het systeem te laten werken zoals bedoeld, moet de kaart zeer actueel zijn. Daarom wordt bijvoorbeeld overwogen dat voertuigen op hun route het in de cloud berustende kaartmodel voor anderen actualiseren (een soort permanente educatie). Het zou natuurlijk goed zijn om in de toekomst helemaal af te zien van interne HD-kaarten, althans in de huidige vorm. Maar het is nog niet duidelijk of dit uiteindelijk het geval zal zijn. Als de positie en de omgeving bekend zijn, wordt de route meestal over een lengte van enkele tientallen meters gepland (**planning**). Daarbij wordt de meest gunstige route gekozen uit een aantal mogelijkheden, nadat alle andere zijn uitgesloten door bepaalde factoren te optimaliseren en rekening te houden met fysieke, normatieve en andere beperkingen (**constraints**). Om dit efficiënt te doen, kunnen de route-opties worden verdeeld in segmenten, meestal rijstroken. Uiteraard moeten als



Figuur 7. ProAI RoboThink van ZF op basis van NVIDIA DRIVE Xavier-chips (of andere, indien nodig). De warmteontwikkeling vormt een ware uitdaging bij dit soort systemen – in de figuur is waterkoeling aangeduid (bron: ZF).



Figuur 8. Simulatiesystemen op basis van 3D-engines komen veel voor bij AV – hier een voorbeeld van AAI met enkele basisbouwstenen zoals verkeersborden of gebouwen aan de linkerkant (afbeelding: AAI).

basis daarvoor de bestemming en de totale afstand bekend zijn (algemene navigatie).

De laatste stap voordat we bij de actuatoren komen is de besturing (**control**), die het geplande traject in de echte wereld uitvoert. Hiertoe moet het in real-time reageren op storingen, altijd rekening houdend met de fysieke mogelijkheden van het voertuig (zoals diens traagheid). Hiertoe wordt een groot aantal technieken gebruikt, variërend van eenvoudige uit de regeltechniek bekende PID-regelaars (*proportional-integral-derivative*, PID) tot sterk modelgebaseerde methoden. De belangrijkste actuatoren zijn natuurlijk gas, rem en stuur, waarbij de nodige mechatronische technologieën kunnen worden gebruikt die afkomstig zijn uit bestaande drive-by-wire-systemen (DbW). Afhankelijk van de fabrikant zijn de systemen van dergelijke voertuigen als geheel in verschillende mate in hardware- en softwarecomponenten opgesplitst. Er zijn gemengde concepten met strikt gescheiden hardwarecomponenten, of met grote, zeer redundant uitgevoerde centrale elementen. Dit heeft uiteindelijk ook invloed op de interactie van 'denkende' en reactieve systeemcomponenten. Vooral met de real-time mogelijkheden en efficiëntie moet in het licht van beperkte reken- en geheugencapaciteit rekening worden gehouden.

Toch zijn er veel fundamentele overeenkomsten. De voorbewerking van de sensorgegevens bij de perceptie wordt bijvoorbeeld vaak overgelaten aan FPGA's of (bij massaproductie) ASIC's vanwege de parallelle verwerking. Ook worden meestal centrale verwerkingseenheden zoals in **figuur 7**, met grote GPU's en veel parallelle rekenkracht, ingezet. Het hier afgebeelde model, waarin maximaal vier eenheden zijn gecombineerd, is een van de krachtigste op de markt. Hiermee kan een gecombineerd rekenvermogen van maximaal 600 Tera-OPS worden bereikt (ofwel 600 miljard berekeningen per seconde)!

Voor de ontwikkeling en goedkeuring van AV-modellen zijn naar schatting enkele miljarden kilometers nodig in plaats van de gebruikelijke paar miljoen testkilometers, omdat de bestuurder als foutcorrigerende 'component' in toenemende mate wordt geëlimineerd en het systeem zelf voor de vereiste veiligheid moet zorgen. Bovendien moet het systeem vele malen veiliger zijn dan de huidige combinatie van mens en auto.

Omdat je niet zoveel kilometers op de weg kunt afleggen, wordt bij AV veel op softwareniveau (software-in-loop, SiL) of op de testbank (Vehicle-in-Loop, ViL) getraind, gesimuleerd en getest. Vooral bij SiL worden vaak bekende game- en grafische engines gebruikt met virtuele driedimensionale omgevingen met hoge resolutie (**figuur 8**). Omdat oneindig veel rijtsituaties kunnen worden gegenereerd, wordt gewerkt aan methoden die deze situaties beperken tot de meest kritieke en meest voorkomende. In principe zijn de hoogste veiligheidseisen ook van toepassing op deze systemen, zoals de ASIL-D-klasse met een foutkans van minder dan 1/108 per uur. En er worden nog veel meer nieuwe veiligheidsstandaarden besproken.

Ten slotte moet worden benadrukt dat vooral op het gebied van algoritmen, sensoren en krachtige halfgeleiders nog veel verbeteringen mogen worden verwacht – zowel bij de prestaties als bij de prijs.

Uitdagingen

Sociale acceptatie is ongetwijfeld een van de grootste horden die deze technologie moet nemen. Volgens studies is de angst voor een computerfout zelfs groter dan die voor een hackeraanval, een risico dat bekend is uit het dagelijks leven.

Het meest brisante punt is echter de ethiek, die vroeg of laat in een juridische vorm moet worden gegoten. Bij veel ongelukken hebben mensen niet eens tijd om op morele basis te reageren; de machine moet het wel kunnen (en dit is geen overmoralisatie)! Tijdens dilemma's kan een complex samenspel van machinale ethiekroutines ontstaan, en veel van de vragen die daarmee gepaard gaan hangen uiteindelijk af van de basisnormen van de samenleving (ook wereldwijd!).

Natuurlijk verbodt de ethische AV-commissie in Duitsland de beoordeling van mensenlevens op basis van kenmerken als leeftijd, geslacht en dergelijke, maar wordt het minimaliseren van schade bij personen als gerechtvaardigd beschouwd (regel 9) [4]. Maar deze kwestie kan op een dieperliggend technisch niveau worden beschouwd: met welke sensoren moet rekening worden gehouden bij dergelijke beslissingen? Waar trek je de grens? Je kunt zelfs de toestand van de banden, de wegomstandigheden en nog veel meer factoren in de overweging betrekken – grootheden die ook tegenwoordig al vaak door sensoren worden gemeten. De discussies gaan echter nog verder. Een simpel gedachtenexperiment: als het voertuig niet meer kan remmen en u de keuze hebt tussen een botsing met een motorrijder met helm en één zonder helm, hoe moet

het voertuig dan handelen? De helmdrager zou een hogere overlevingskans hebben, maar waarom zou u als motorrijder dan een helm dragen en dus een groter ongevalsrisico hebben? Daarnaast wordt ook gediscussieerd over de passieve rol van het voertuig, een toevalsvariabele, de bepaling van de 'veilige toestand', de voorhanden scenariocatalogu's op het moment van goedkeuring en talloze andere onderwerpen. Bij deze beslissingen moet altijd ook rekening worden gehouden met de redundantie/beveiliging en de rekentijd.

De ethiek kan echter ook naar een veel algemener niveau worden geabstraheerd, namelijk met de vraag of de wetgever burgers kan dwingen om uitsluitend AV te gebruiken wanneer daarmee meer veiligheid kan worden bereikt. Hier moet worden opgemerkt dat 'gemengd' verkeer, afhankelijk van het AV-samenspel, het gereguleerde verkeer aanzienlijk kan verstoren, maar met zekere aanpassingen goed getolereerd kan worden. Maar hoe zit het met vrijheid en rijplezier? De ethische commissie wees deze vorm van dwang duidelijk af; oldtimer-liefhebbers kunnen opgelucht zijn!

Juridisch gezien is het aansprakelijkheidsrisico in dit verband een spannend onderwerp. Zelfs wanneer, zoals nu het geval is, productaansprakelijkheid voor fabrikagefouten van toepassing is en ook de bestuurder – zoals volgens de wereldwijd eerste AV-wetgeving van 2017 in Duitsland geldt – verantwoordelijk is voor de beoordeling of hij de autonome piloot in de huidige verkeerssituatie kan vertrouwen of niet, is het zeker dat zich nieuwe, onvoorspelbare situaties voordoen. Een voorbeeld: de machine learning-technologie werkt onder andere met generaliseerde waarschijnlijkheden op basis waarvan in onbekende situaties gereageerd moet worden. Maar wat gebeurt er als deze 'zwarte doos' in een specifieke situatie een verkeerde inschatting maakt en foutief handelt?

Experts zijn er ook van overtuigd dat AV alleen al vanwege de omvang en sociale verantwoordelijkheid slechts een 'overkoepeleend' project kan zijn. Het is niet voor niets dat platforms zoals Apollo of de bekende (interne) AV-samenwerkingsverbanden, zoals die van Daimler en BMW, zijn ontstaan. Hoe dan ook, gemeenschappelijke (ook expliciet politieke) regels en voorschriften zijn onvermijdelijk en een essentiële bijdrage aan het succes van de technologie. Niet-fabrikantgebonden software-omgevingen zoals het recente 'open' OpenADx-project van de Eclipse Foundation in samenwerking met Bosch en veel andere deelnemers zijn al een goed begin [5].

Veel landen lijken op enkele terreinen betere voorwaarden te kunnen scheppen voor een snelle ontwikkeling van deze technologie dan Duitsland (met het bekende testtraject op de A9). In de VS is er meer wettelijke vrijheid om voertuigen zonder bestuurder te testen (besturing/noodstop via afstandsbedie-

Over de auteur

Viacheslav Gromov is oprichter, ontwikkelaar en freelance journalist op het gebied van elektronica. Sinds zijn schooltijd schrijft hij artikelen en vakboeken voor verschillende tijdschriften en uitgevers.

Dankzij het programma voor hoogbegaafden van de Universiteit van Freiburg kon hij al aan zijn studie beginnen terwijl hij nog op school zat. Zijn vakgebieden omvatten kunstmatige intelligentie (Edge AI), (ARM/Wireless) MCU's en FPGA's, waarover hij niet alleen leerboeken schrijft voor universiteiten of halfgeleiderfabrikanten, maar ook deelnam aan internationale initiatieven op het gebied van elektronica, van Zuid-Afrika tot Silicon Valley. Hij heeft onlangs een bedrijf opgericht om lokale AI-oplossingen voor industriële installaties te ontwikkelen, evenals normatieve hybride systemen voor autonoom rijden (waarvoor patent is aangevraagd) (readers@gromov.de).



ning) en in China zijn de vereiste training-, test- en simulatiegegevens veel gemakkelijker toegankelijk – daar zijn zelfs alle snelwegen voor AV met hoge resolutie in kaart gebracht. Ten slotte moet voor AV het hele verkeersconcept opnieuw worden bekeken. Dit schept volledig nieuwe uitdagingen voor verkeersplanning in stad en land.

Ondanks technische en structurele uitdagingen wordt deze technologie wereldwijd als nooit tevoren gestimuleerd door investeringen, subsidies en voorschriften. Ook aan de randvoorwaarden wordt nu druk gewerkt. En hard werken loont! ◀

(191147-04)

Weblinks

- [1] "Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte", M. Maurer et al., Springer Open, 2015: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-45854-9>
- [2] "Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations", D. J. Fagnant et al., 2015, Elsevier: www.aamva.org/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=6738
- [3] Apollo-project: <http://apollo.auto/>
- [4] Rapport van de ethische commissie "Automatisiertes und Vernetztes Fahren", BMVI, juni 2017: www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-der-ethik-kommission.pdf
- [5] OpenADx: <https://openadx.eclipse.org/>