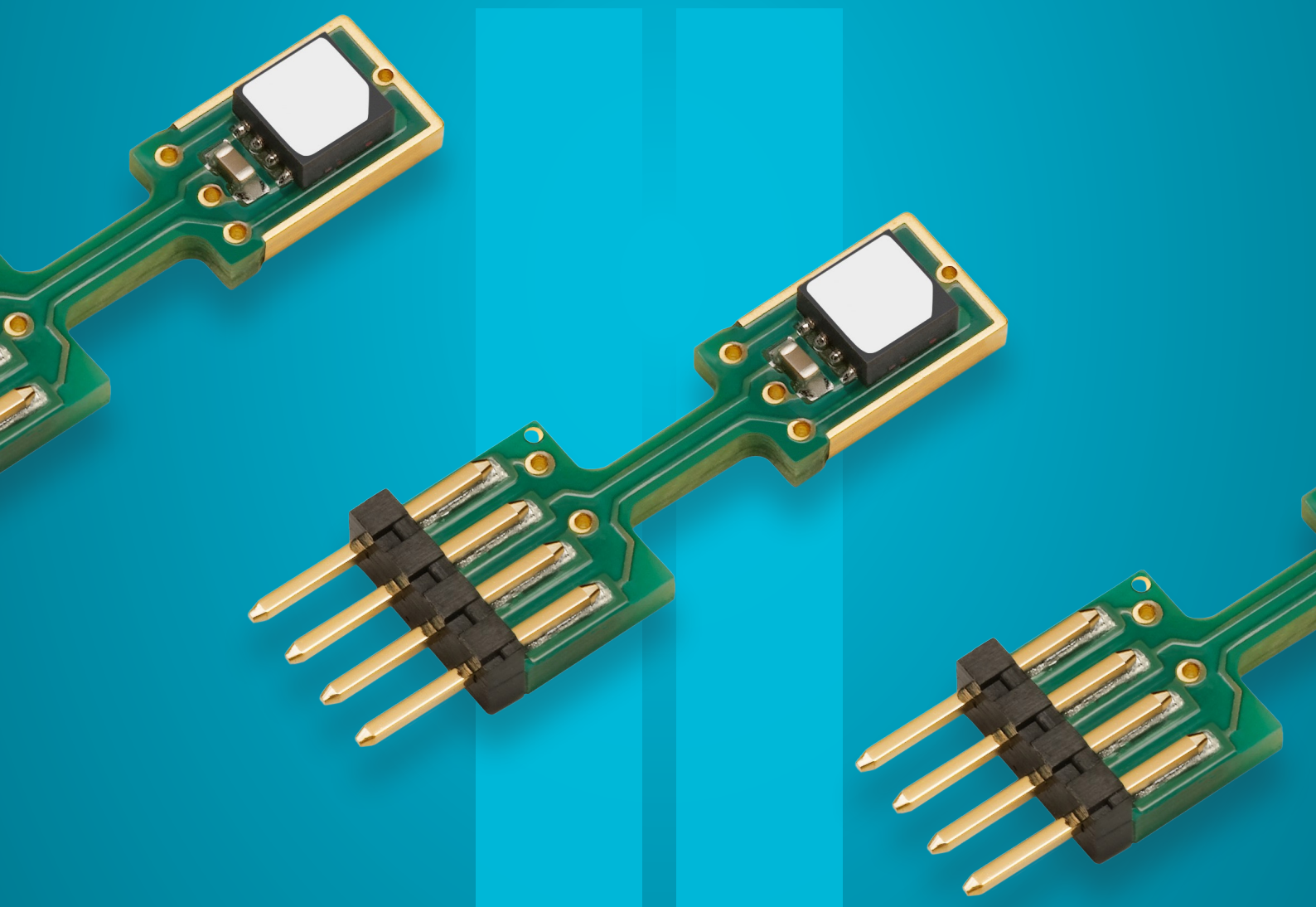
INDUSTRIAL IOT

SENSOREN VOOR SLEUTELTECHNOLOGIE -

HOE ZE COMMUNICEREN, WAT ZE DOEN

WHITEPAPER



nl.rs-online.com

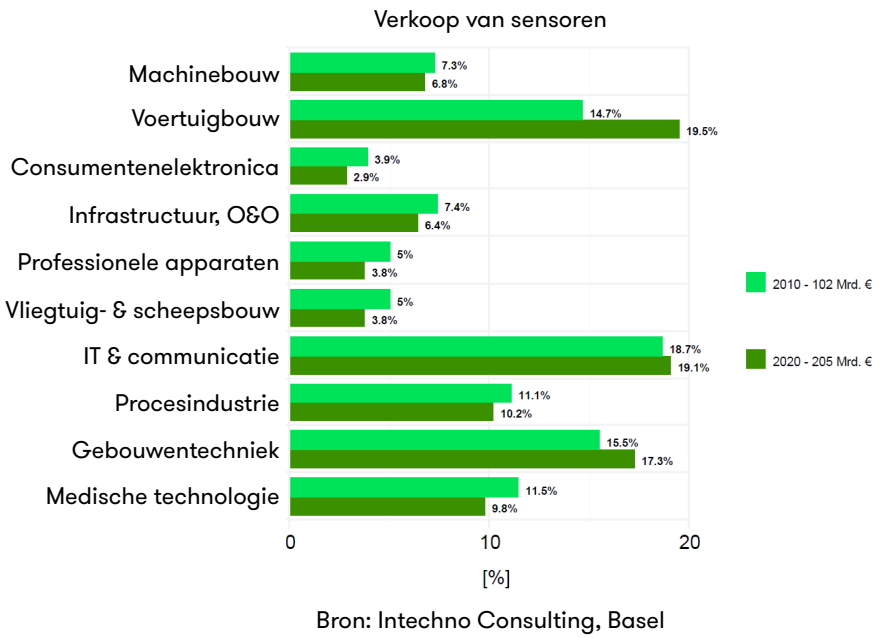
Coverfoto: Sensirion

Sensoren voor sleuteltechnologie - Hoe ze communiceren, wat ze doen

Sensoren zijn een sleuteltechnologie geworden voor alle aspecten van het leven en de economie. Een belangrijk element van de Industrie 4.0 is het IIoT-component (Industrial Internet of Things). Hierbij staan de sensoren en de bijbehorende communicatietechnologieën centraal. Deze technologieën maken ook toepassingen mogelijk die verder gaan dan alleen puur productie. De kern van IIoT is de digitalisering van de sensorsignalen en het gestandaardiseerde "transport" van ruwe of voorbewerkte gegevens naar de plek waar deze nodig zijn. Belangrijke "sensorbolwerken" zijn nog steeds de automotive branche, de medische technologie, de gebouwenautomatisering en het consumentensegment. In de automotive branche hebben met name de bestuurdersassistentiesystemen geleid tot een snelle verdere ontwikkeling van de radar-, ultrasoon-, LIDAR- en videosensortechnologie. Dit artikel richt zich daarom op de sensorcommunicatie op het gebied van IIoT en op het sensorgebruik in auto's.

Er zijn meer dan 100 meetgrootheden waarvoor sensoren worden aangeboden. Het voorspelde wereldwijde marktvolume voor het jaar 2020 bedraagt ongeveer 200 miljard dollar (afb. 1). Sensoren ontwikkelen zich in toenemende mate tot onafhankelijke microsystemen, bestaande uit sensoren en elektronica voor gegevensverwerking en -communicatie. Deze systemen zijn genetwerkt, autonoom en intelligent.

Een consistente, gestandaardiseerde communicatie van de sensor of actuator naar de cloud behoort tot de grootste uitdagingen voor IIoT. Daarnaast worden de hiervoor belangrijke technologieën - IO-Link en Single Pair Ethernet - gepresenteerd. Daarna komt één van de meest "interessante" toepassingen van sensoren - voorspellend onderhoud - aan bod.



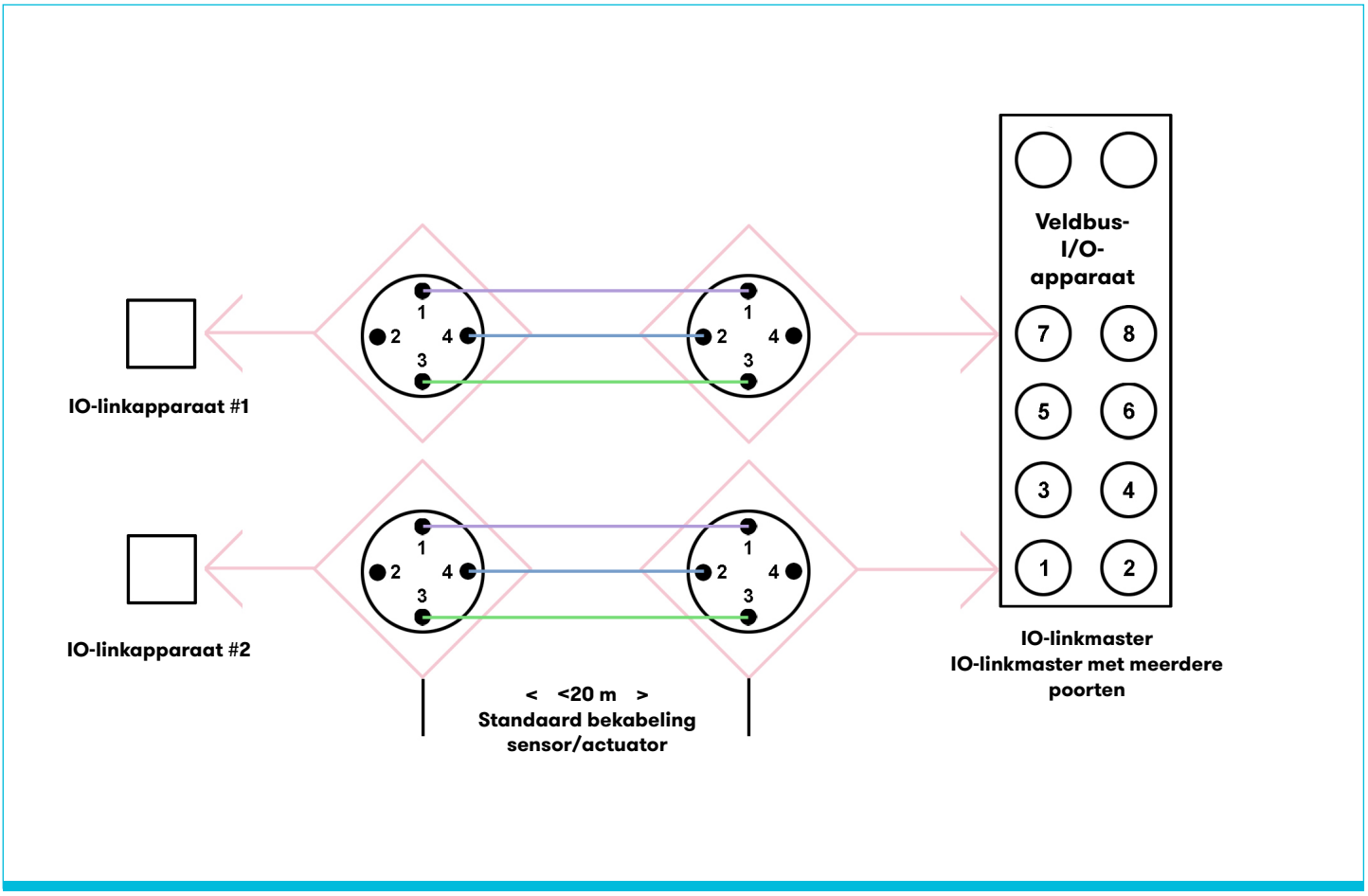
Afb. 1. Het voorspelde wereldwijde marktvolume voor 2020 bedraagt ongeveer 205 miljard dollar (Bron: Intechno Consulting Basel)

IO-Link: Een open, achterwaarts compatibele sensor/actuator-interface

IO-link is een punt-tot-puntcommunicatieverbinding (IEC 61131-9) met gestandaardiseerde connectors, kabels en softwareprotocollen. Het systeem is ontworpen voor gebruik binnen de industriële 3-draads sensor- en actuatorinfrastructuur en bestaat uit de componenten "IO-linkmaster" en "IO-linkapparaat" (afbeelding 2).

IO-link noteerde de grootste jaarlijkse stijging in 2019 (40%) en realiseerde hetzelfde groeipercentage als in het voorgaande jaar. Het totale aantal geïnstalleerde IO-linkapparaten wereldwijd bedraagt momenteel meer dan 16 miljoen.

De punt-tot-puntverbinding tussen de IO-linkmaster (controller met meerdere poorten of gateway) en de IO-linkapparaten (sensor of actuator) maakt gebruik van standaard connectors (meestal M12) en een 3- of 4-draads kabel met een lengte van maximaal 20 meter (afbeelding 2). De master kan meerdere poorten hebben (meestal vier of acht). Elke poort van de master maakt verbinding met een afzonderlijk IO-linkapparaat - dit werkt zowel in de SIO-modus als met bidirectionele communicatie.



Afb. 2. Koppeling IO-linkmaster/-apparaat. (Afb.: channel-e)

Twee communicatiemodi beschikbaar

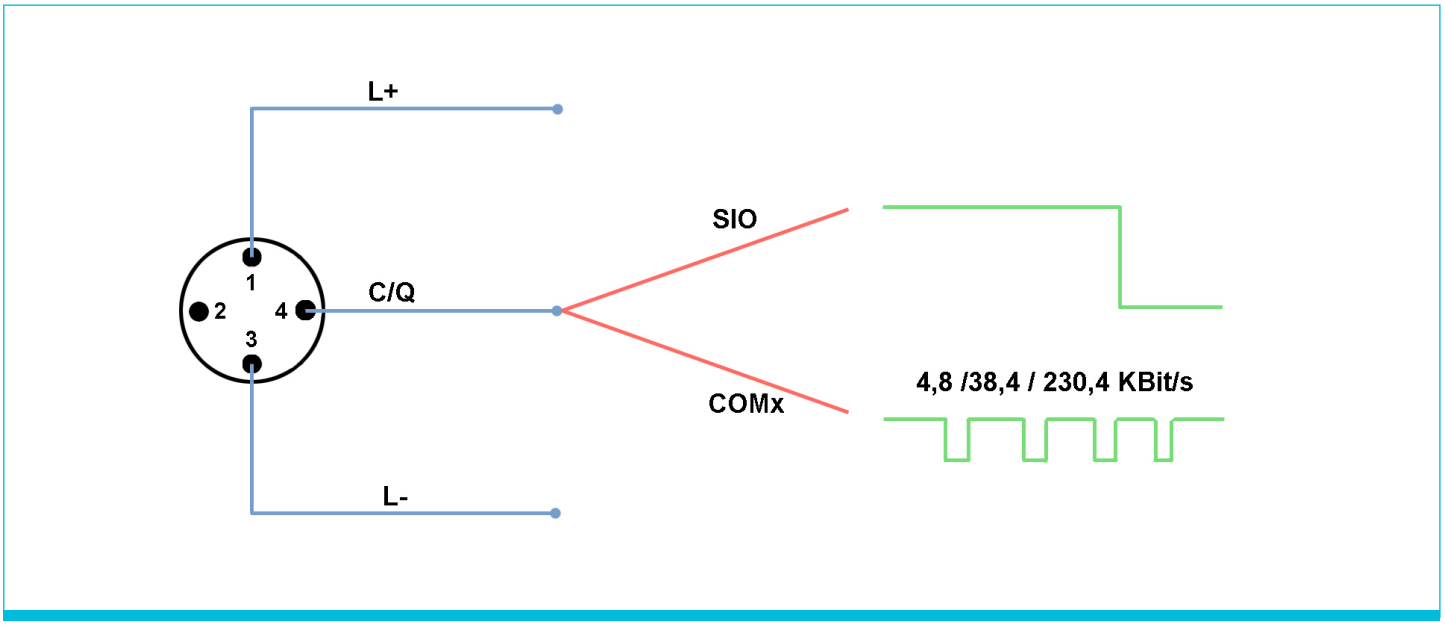
IO-link is een standaard voor single-drop communicatie-interfaces (SDCI, Single-drop Digital Communication Interface voor kleine sensoren en actuatoren). De IO-link is gestandaardiseerd als IEC-61131-9, wat zorgt voor achterwaartse compatibiliteit met binaire sensoren als vastgelegd in IEC 60974-5-2 (afbeelding 3 en tabel 1). IO-linksensoren hebben de kenmerken van binaire sensoren, maar hier is bidirectionele communicatie aan toegevoegd. IO-linkmasters zijn aan te sluiten op zowel binaire sensoren als op IO-linksensoren. Zo kan IO-link eenvoudig toegevoegd worden aan een bestaand systeem.

De IO-linknorm stelt dat de communicatie over een kabellengte van 20 meter moet plaatsvinden met behulp van niet-afgeschermde kabel met standaard industriële connectors. M8- en M12-connectors worden het meest gebruikt. De communicatie is punt-tot-punt en vereist een 3-draads interface (L+, C/Q en L-). De communicatie tussen master- en slave-apparaten wordt half-duplex gerealiseerd met drie overdrachtssnelheden: COM1 4800 Baud, COM2 38,4 kBaud, COM3 230,4 kBaud.

Het voedingsspanningsbereik in een IO-linksysteem bedraagt 20 V tot 30 V voor de master en 18 V tot 30 V voor het apparaat (sensor of actuator).

Het IO-linkapparaat moet binnen 300 ms nadat L+ de 18 V overschreden heeft, functioneren. De twee communicatiemodi zijn standaard I/O (SIO) en SDCI (Single-Drop Communication Interface). In de SIO-modus is de neerwaartse compatibiliteit gewaarborgd met bestaande sensoren in het veld die 0 V of 24 V gebruiken voor de aan/uit-signalering naar de IO-linkmaster. In de IO-linkmodus is de communicatie bidirectioneel met één van de drie gegevenssnelheden. Het IO-linkapparaat ondersteunt slechts één gegevenssnelheid, terwijl de IO-linkmaster alle drie de gegevenssnelheden moet kunnen verwerken. De communicatie verloopt via 24 V-impulsen met NRZ (nonreturn-to-zero) op de C/Q-lijn, waarbij logisch 0 is tussen CQ en L- 24 V en waarbij logisch 1 0 V is tussen CQ en L-.

In de IO-linkmodus kan pin 2 in de DI-modus als digitale ingang of in de DO-modus als digitale uitgang staan, of deze kan niet worden aangesloten (NC).



Afb. 3. Pindefinities IO-link . (Afbeelding: channel-e)

Pin	Signaal	Definitie	Standaard
1	L+	24 V	IEC 61131-2
2	I/Q	Niet aangesloten, DI of DO	IEC 61131-2
3	L-	0V	IEC 61131-2
4	Q	Schakelsignaal (SIO)	IEC 61131-2
	C	Gecodeerde schakeling (COM1, COM2, COM3)	IEC 61131-9

Tabel 1. Pindefinities IO-link

Spiekbriefje - De IO-link IODD

Alle IO-linkapparaten (sensoren of actuatoren) moeten een IO-link- apparaatbeschrijvingsbestand (IODD) aanleveren. De IO-linkmaster gebruikt dit voor identificatie, data-interpretatie en -configuratie.

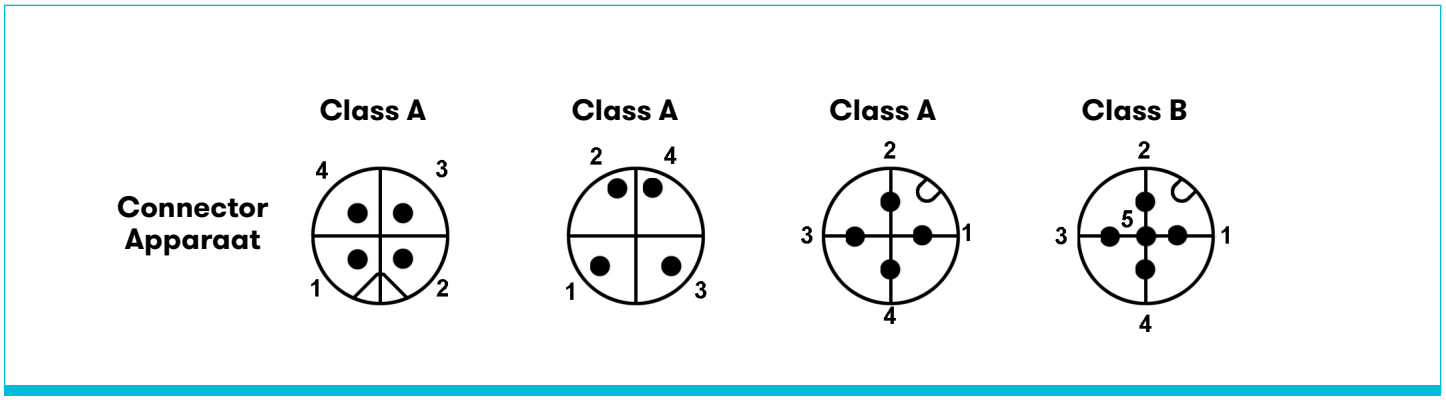
Het IODD-bestand bevat:

- Alle noodzakelijke informatie om de communicatie tot stand te brengen
- Apparaatparameters
- Identificatiegegevens
- Proces- en diagnostische informatie
- Een foto van het apparaat en het logo van de fabrikant

IODD-bestanden zijn XML-bestanden waarvan de structuur in een apart hoofdstuk van de IEC 61131-9 norm wordt beschreven. Het IO-linkconsortium onderhoudt een centrale leveranciersdatabase met IODD-bestanden op zijn webserver (www.io-link.com).

Connectors

Er worden gestandaardiseerde connectors en kabels gebruikt zoals gedefinieerd in IEC 61131-9. Port Class A-connectors hebben 4-draads aansluitingen (maximaal) om het 3-draads verbindingssysteem (L+, L-, C/Q) te ondersteunen met een vierde aansluiting die als extra signaallijn (DI of DO) te gebruiken is. Port Class B-connectors hebben 5-draads aansluitingen voor apparaten die een extra voeding nodig hebben (afbeelding 4).

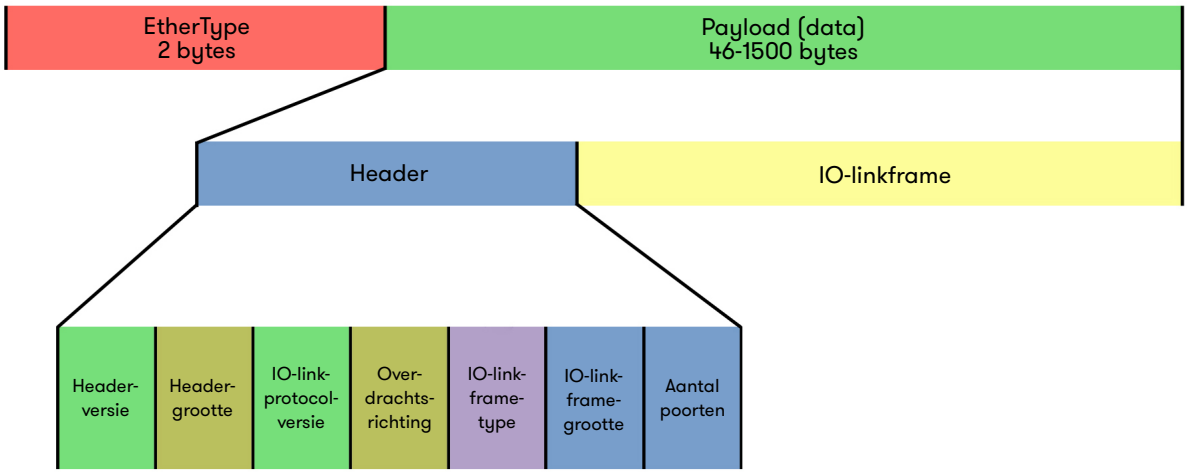


Afb. 4. IO-linkconnectors. M12-varianten hebben een A-codering. (Afb.: channel-e)

IO-link geschikt maken voor Single Pair Ethernet

IO-link is ontwikkeld als industriële communicatie-interface voor veldapparatuur, sensoren en actuatoren. De interface biedt drie verschillende overdrachtssnelheden en een maximale kabellengte van 20 m. Over het algemeen zijn de eenvoudige integratie in automatiseringssystemen, de hoge mate van standaardisatie van gemeenschappelijke functies en de beschrijving van het eindapparaat belangrijke voordelen van deze communicatietechnologie.

In de conceptstudie “Extension of IO-Link for Single Pair Ethernet transmission” wordt voorgesteld om een EtherType voor I/O-link te introduceren. EtherTypes bestaan bijvoorbeeld al voor ProfiNet of EtherCat. Dit veld in een ethernetframe geeft het protocol weer dat gebruikt wordt in de "payload" van het frame. Volgens de studie is deze procedure uit te voeren met een zeer geringe hardware- en software-inspanning.



Afb. 5. Pindefinities IO-link . (Afb.: channel-e)

De megatrend Single Pair Ethernet

Single Pair Ethernet (SPE) wordt beschouwd als een van de megatrends op het gebied van industriële gegevensoverdracht en als een "enabler" van IIoT en Industry 4.0. Met deze technologie kan het "Industrial Internet of Things" gerealiseerd worden. Elke sensor of actuator is toegankelijk via het internetprotocol en kan zijn gegevens barrièrevrij tot in de cloud verzenden of ontvangen.

Sterk gefragmenteerde veldbusinfrastructuren kenmerken het besturings- en veldniveau in de automatiseringstechniek. De resulterende data-eilanden vereisen complexe gateways die de toegang tot gegevens van apparaten in het veld bemoeilijken. Met de eliminatie van deze gateways zouden de kosten en de complexiteit van deze installaties aanzienlijk dalen en de data-eilanden die hierdoor ontstaan, kunnen verwijderd worden (tabel 2).

Veldbus	Gegevenssnelheid	Kabellengte
Profibus DP	9,6 kb/s tot 12 Mb/s	100 m tot 1200 m
Profibus PA	31,25 kb/s	1900 m
CANopen	62,5 kb/s tot 1 Mb/s	30m tot 1000m
DeviceNet	125 kb/s tot 500 kb/s	100 m tot 500m
AS-interface	167 kb/s	100m
CC-link	10 Mb/s	100m
IO-link	230 kb/s	20m

Tabel 2. Gebruikelijke veldbustechnologieën (bron: Belden)

Eén van de manieren om deze fragmentatie te elimineren is door ethernet vanaf het besturingsniveau tot op veldniveau door te voeren. De beperkte kabellengte van maximaal 100 m, het gebruik van minimaal twee draadparen en minder bruikbare connectoren bemoeilijken deze aanpak echter.

Gegevenssnelheden en kabellengtes in de norm

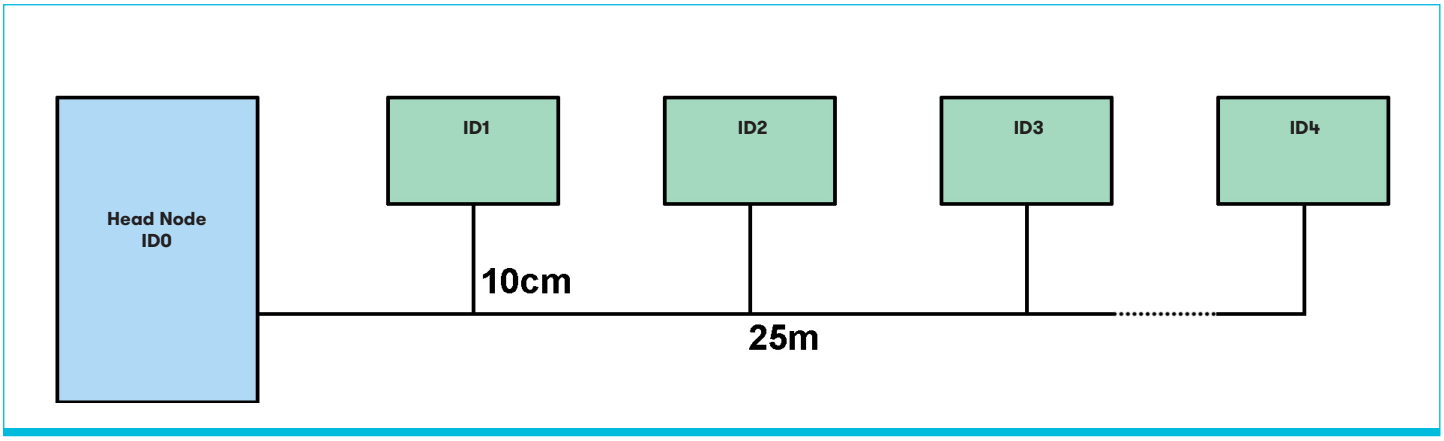
Single Pair Ethernet maakt het nu mogelijk om via een tweeaderige koperkabel gegevens te transporteren met snelheden van 10 Mbps, 100 Mbps en 1 Gbps en om tegelijkertijd stroom te leveren aan eindapparaten via PoDL (Power over Data Line). Gedetailleerd zijn de gegevenssnelheden en de kabellengtes:

- 10 MB/s (duplex) tot 1000 m, overdracht met een bandbreedte van 20 MHz (10Base-T1L)
- 10 MB/s (half-duplex) tot 40 m, overdracht met een bandbreedte van 20 MHz (10Base-T1S)
- 100 MB/s (duplex) tot 15m, overdracht met een bandbreedte van 66MHz (100Base-T1)
- 1000MB/s (duplex) tot 40m, overdracht met een bandbreedte van 600MHz (1000Base-T1)

10Base-T1L is (met het achtervoegsel L) de "long range"-versie van de gestandaardiseerde Single Pair Ethernet-versie beschreven in de IEEE-norm 802.3cg 10Base-T1L werkt in vol-duplexbedrijf - dat betekent dat de zend- en ontvangstsignalen gelijktijdig via één paar draden verzonden worden. Door echo-onderdrukking kan een station zijn eigen zendsignaal uit het totale signaal verwijderen en het ontvangstsignaal isoleren. 10Base-T1L maakt gebruik van twisted-pair-kabel met een bandbreedte van 20 MHz en een karakteristieke impedantie van 100 Ω.

Ethernet APL (Advanced Physical Layer) biedt aanvullende voorzieningen voor toepassingen in de procesindustrie. Dit is gebaseerd op 10BASE-T1L volgens IEEE 802.3cg. De constructie kan bestaan uit een "trunk"-kabel (kabelbundeling) met een maximale lengte van 1000 m tussen de veldschakelaars in gebieden met explosiegevaar van zone 1 en een maximale lengte van 200 m tussen een veldswitch en een veldapparaat in zone 0. Ethernet APL bevat uitbreidingen die speciaal zijn afgestemd op de eisen van de procesindustrie - zoals intrinsieke veiligheid (IEC TS 60079-47) en poortprofielen voor optionele voeding van veldapparaten.

10Base-T1S (met het achtervoegsel S) is de "short-range" versie van de in IEEE-papier 802.3cg gestandaardiseerde Single Pair Ethernet-variant. 10Base-T1S werkt in half-duplexbedrijf en kan zowel in point-to-point- als multidrop-technologie worden gebruikt (afb. 6). Deze laatste is gedefinieerd met een buslengte van 25 m met 10 cm lange aftakkingen. In deze topologie is een switch niet nodig, omdat het PLCA-systeem (Physical Layer Collision Avoidance) wordt gebruikt. Dit zorgt ervoor dat er geen databotsingen plaatsvinden. De norm voorziet in minstens acht aftakkingen, maar dit kunnen er nog veel meer zijn.



Afb. 6. 10Base-T1S werkt in half-duplexbedrijf en wordt bediend via multidrop-technologie, met een buslengte van 25 m met 10 cm lange aftakkingen. (Afb.: channel-e)

10Base-T1S is een topologie die interessant is voor toepassingen in de automotive, industriële en gebouw automatiseringsbranche voor de integratie van vele netwerkdeelnemers in een kleine ruimte. In deze topologie zijn switches overbodig. Er zijn slechts kleine microcontrollers en relatief ongecompliceerde PHY's vereist voor de implementatie.

De structuur van het 10Base-T1S-netwerk is zeer eenvoudig: Alle deelnemers "hangen" aan een kabel, waarbij één van de deelnemers, die ook een communicatiedeelnemer op de bus is, wordt gedefinieerd als een Head Node met het ID 0. Alle andere deelnemers kunnen dan doorlopend worden genummerd. De Head Node heeft de taak om databotsingen op de bus te voorkomen - d.w.z. om de arbitrage via PLCA te organiseren. Hiervoor verstuurt de Head Node een zogenaamd baken, vanaf dit moment "loopt de klok". Er wordt meestal een tijdvenster geopend van 25 µs (maar dit is vrij instelbaar) voor de eerste deelnemer (de Head Npde zelf). Binnen dit venster kan het knooppunt beginnen te "praten" (transmit opportunity). Als deze de tijdspanne laat verstrijken, dan krijgt de volgende deelnemer zijn 25 µs totdat het laatste knooppunt aan de beurt is geweest.

Dan begint de cyclus weer van voren af aan. De Head Node stuurt een baken en de tijdvensters lopen van knooppunt 0 tot knooppunt N. Als een deelnemer binnen 25 µs zijn zendrecht uitoefent, dan kan hij/zij een ethernetframe op de bus plaatsen. Aangezien de busdeelnemers verschillende "berichtbehoeften" hebben, kan er geen vaste cyclustijd worden opgegeven voor een dergelijk multidrop-netwerk. Met name omdat een cyclus door uitzonderingsregels qua tijd nog verder kan veranderen. Zo mag een busdeelnemer met een langzame MCU een stationair signaal geven, waardoor het het tijdvenster verlengd kan worden (hier 25 µs). Vooral belangrijke knooppunten mogen meer dan één frame op de bus zetten.

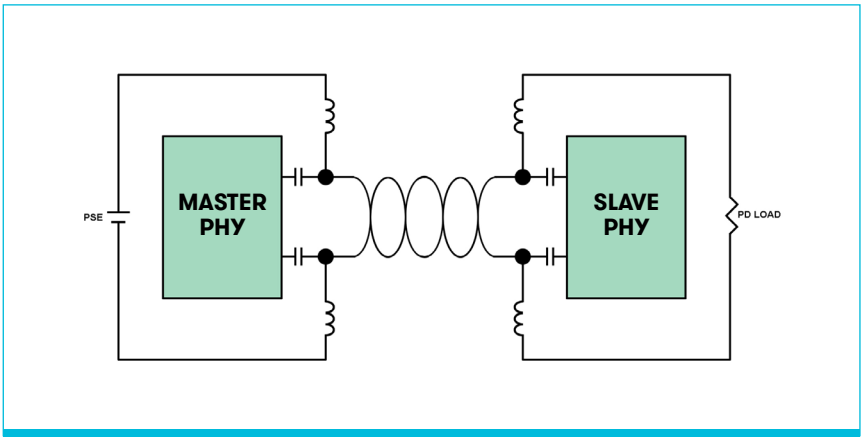
100Base-T1 is gestandaardiseerd in de IEEE-norm 802.3bw. Dit is een Single Pair Ethernet-variant voor een kabellengte van 40 m en een transmissiesnelheid van 100 MBit/s. 100Base-T1 werkt in vol-duplexbedrijf en maakt gebruik van twisted-pair-kabel met een bandbreedte van 66 MHz en een karakteristieke impedantie van 100 Ω.

1000Base-T1 is gestandaardiseerd in de IEEE-norm 802.3bp. Dit is een Single Pair Ethernet-variant voor een kabellengte van 15 m tot 40 m (afhankelijk van de afscherming) en verzendt gegevens met een snelheid van 1 GBit/s. 1000Base-T1 werkt in vol-duplexbedrijf en maakt gebruik van twisted-pair-kabel met een bandbreedte van 600MHz en een karakteristieke impedantie van 100 Ω.

MultiGigBase-T1, die in de norm 802.3ch gedefinieerd wordt, bevindt zich nog in de standaardiseringsfase. Deze variant maakt Single Pair Ethernet mogelijk met snelheden van 2,5, 5 en 10 GBit/s en overbrugbare afstanden tot 15 m.

PoDL - gegevens en vermogen in één kabel

Eén van de belangrijkste mogelijkheden van Single Pair Ethernet is de gelijktijdige overdracht van gegevens en vermogen over het draadpaar - Power over Dataline (PoDL). In de norm IEEE 802.3bu: "Physical Layer and Management Parameters for Power over Data Lines (PoDL) of Single Balanced Twisted-Pair Ethernet" wordt analoog met Power over Ethernet (PoE) de levering van externe voeding via Single Pair Ethernet-kanalen gedefinieerd (afb. 7).



Afb. 7. Gelijktijdige overdracht van gegevens en stroom via het draadpaar. (Afb.: channel-e)

Doelstellingen en specificaties voor PoDL zijn onder meer:

- Om de werking van het gevoede apparaat mogelijk te maken, zelfs als er geen gegevens beschikbaar zijn.
- Ondersteuning van spannings- en stroomniveaus voor de automotive, transport- en automatiseringsindustrie.
- Ondersteuning van een snelstartverwerking met vooraf ingestelde spannings-/stroomconfiguraties en optionele werking met runtime spannings-/stroomconfiguratie.

Via PoDL kan elektrische energie worden overgedragen in 10 spannings-/stroomklassen met een vermogen tussen 0,5 W en 50 W (verbruikersvermogen, invoervermogen = 63,3 W). De maximale stroomsterkte is 1,6 A (tabel 3). Er wordt gewerkt aan een uitbreiding met 5 extra klassen (tabel 4).

Voor dit type voeding zijn twee-aderige kabels volgens IEC 61156 nodig. Categorie 7 STP-kabels zijn niet geschikt.

Klasse	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spanning [V]	5,5-18	5,5-18	14-18	14-18	12-36	12-36	26-36	26-36	48-60	48-60
Stroom [A]	0,1	0,22	0,25	0,47	0,1	0,34	0,21	0,46	0,73	1,3
PD-vermogen [W]	0,5	1	3	5	1	3	5	10	30	50

Tabel 3. PoDL-klassen (PD= Powered Device)

Klasse	10	11	12	13	14	15
Spanning [V]	20-30	20-30	20-30	50-58	50-58	50-58
Stroom [A]	0,092	0,240	0,632	0,231	0,6	1,579
PD-vermogen [W]	1,32	3,2	8,4	7,7	20	52

Tabel 4. Aanvullende PoDL-klassen (PD= Powered Device)

PoDL biedt zowel een betrouwbare foutbescherming als detectiefuncties voor apparaatidentificatie en directe communicatie met apparaten om een foutloze en veilige stroomvoorziening te garanderen.

Een extra communicatieprotocol wordt gebruikt om de vereiste voedingsklasse te bepalen: SCCP (Serial Communication Classification Protocol). PSD (Power Sourcing Equipment) en PD (Powered Device) gebruiken dit protocol om de leveringsvereisten van de PD te bepalen. De PSD bepaalt of er een verbruiker aanwezig is door een handtekeningverificatie uit te voeren om op de aanwezigheid te controleren van een 3 V Zener-diode aan de ingang van de PD.

De maximale stroomvoorziening op afstand voor de PoE-norm IEEE 802.3bt geldt voor NEC klasse 2-apparaten van 100 W . Dit betekent dat toekomstige PoDL-uitbreidingen waarschijnlijk onder 100 W zullen blijven en dat de 24 V voedingsspanning die in de industriële automatisering wordt gebruikt een maximale piekstroom van 4 A zal hebben wanneer deze wordt afgerond.

Een blik in de toekomst: voorspellend onderhoud

Afb. 8: De realisatie van een conditiebewakingssysteem, bijvoorbeeld een hydraulisch systeem, vereist vooral een uitgebreidere koppeling van sensoren en componenten. (Afb.: Analog Devices)

Industry 4.0 als trend op het gebied van industriële productie is een paradigmaverschuiving, die vooral gericht is op een optimale benutting van de productiemiddelen. Om dergelijke zelforganiserende processen te realiseren, moeten niet alleen de externe eisen – bijvoorbeeld wat wanneer en hoe vaak gedaan moet worden – duidelijk worden gedefinieerd, maar ook de beschikbaarheid van productiemiddelen en -processen. In dit verband moet van tevoren – idealiter over een periode van enkele maanden – bekend zijn welke onderhoudswerkzaamheden aan een machine of proces nodig zijn om de beschikbaarheid betrouwbaar te kunnen plannen.

Er zijn echter ook opties denkbaar die nog een stapje verder gaan: als een machine niet meer in optimale conditie verkeert, bijvoorbeeld als een verwerkingsmachine niet meer de best mogelijke nauwkeurigheid bereikt,, dan kan deze machine wel nog ingepland worden voor andere werkzaamheden als de nauwkeurigheid daarvoor wel nog voldoende is. De kern van het systeem is daarom conditiebewaking van elke individuele machine of proces, om met de kennis van deze huidige conditie het gebruik en onderhoud optimaal en flexibel te plannen. De realisatie van een conditiebewakingssysteem, bijvoorbeeld een hydraulisch systeem, vereist vooral een uitgebreidere koppeling van sensoren en componenten. Er kan ook gekozen worden voor een subproces en het beschikbaar stellen van in een algemeen proces vastgelegde gegevens voor alle componenten en subsystemen. Dit vereist vooral de digitalisering van sensoren, waarbij naast de zuivere meetgegevens op verzoek ook metadata of andere kenmerken ter beschikking gesteld moeten worden.

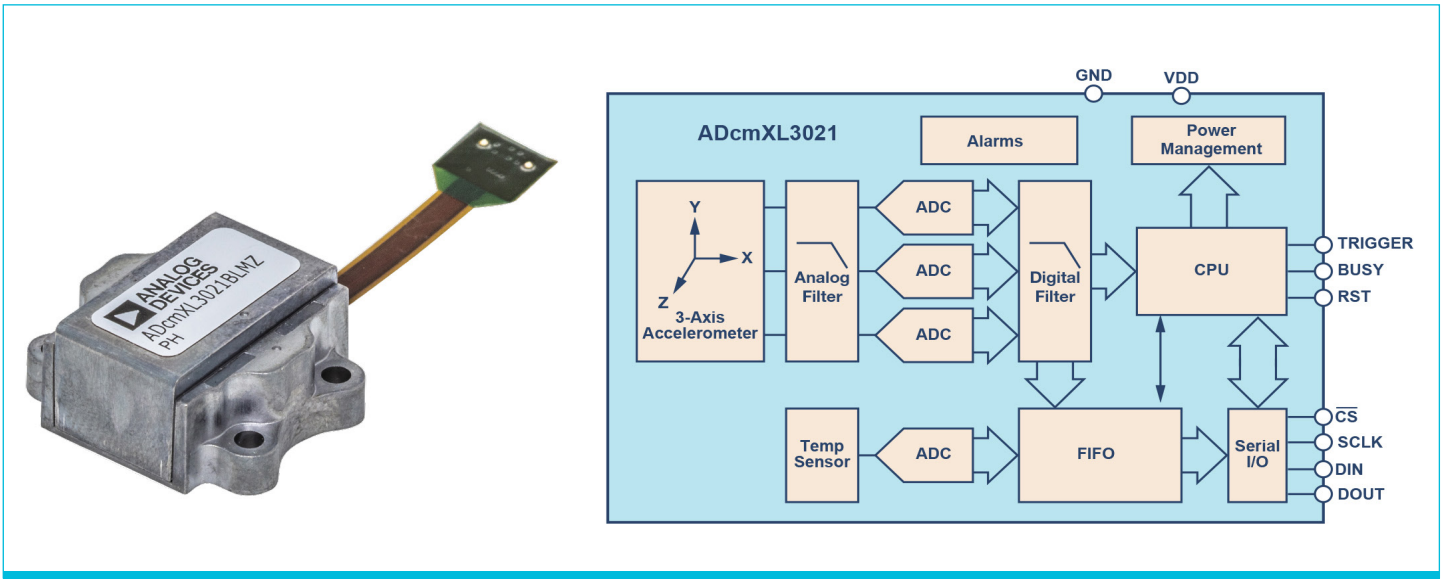
	Productie- en installatiekosten	**Bedrijfskosten**	**Kosten vanwege ongeplande stilstand**
Correctief onderhoud			€€€€€€€€€€ Ongeplande productieonderbrekingen
Preventief onderhoud		€€ Interventie op locatie volgens plan/systematische vervanging van aan slijtage onderhevige onderdelen	€€€€ Aangezien er geen real-time machinebewaking is, treden er ongeplande productieonderbrekingen op
Voorspellend onderhoud	€€ Installatie van speciale apparaten (trillingssensoren, enz.)	€ Kennis van de machineconditie, bewaking door speciale software of met AI	€ Dankzij real-time machine-bewaking zijn productieonderbrekingen perfect te plannen

Tabel 5. Door middel van voorspellend onderhoud kunnen de totale kosten geminimaliseerd worden.

Parameters zoals trillingen, geluid en temperatuur worden gebruikt om te bepalen wanneer het juiste moment is om een onderhoudsprocedure in gang te zetten. Van de meetbare fysische grootheden geeft de meting van het trillingsspectrum de meeste informatie over de oorsprong van een probleem in een roterende machine (motor, generator, enz.). Abnormale trillingen kunnen een teken zijn van een defecte kogellager of een axiale onbalans. Al deze problemen manifesteren zich in een specifiek symptoom, zoals trillingsbronnen in roterende machines.

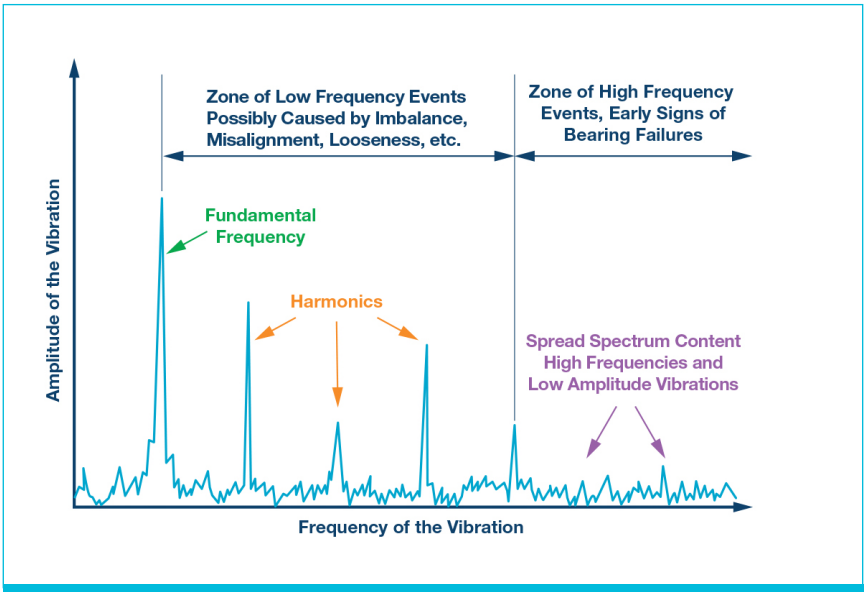
Trillingsmeting met versnellingssensoren

Trillingsmetingen zijn uit te voeren met een versnellingssensor die zich in de buurt van het te bewaken element bevindt. Deze sensor kan een piëzo-elektrisch type zijn of - voordeliger - een MEMS-type, dat niet alleen een betere respons biedt bij lage frequenties, maar ook een klein formaat heeft (afb. 9).



Afb. 9. De module ADcmXL3021 voorziet in de vereisten van het sensorsysteem voor predictief onderhoud (Afb.: Analog Devices)

Bij een defecte kogellager ontstaat telkens wanneer een kogel in contact komt met een scheur of een defect in de binnen- of buitenring een botsing. Deze botsing veroorzaakt op zijn beurt weer trillingen of een lichte verplaatsing van de rotatieas. De frequentie van deze botsingen hang af van de draaisnelheid, het aantal kogels en de diameter van de kogels.



Afb. 10. De spectrale handtekening hangt af van de aard van het probleem. De eerste tekenen van het uitvallen van een kogellager zijn waar te nemen bij hoge frequenties. (Afb.: Analog Devices)

Dat is echter nog niet alles. Zodra deze storing optreedt, produceren de bovengenoemde botsingen soms een hoorbaar geluid - de schokgolf - die zich manifesteert door middel van spectrale componenten met lage niveaus en relatief hoge frequenties. Deze zijn vaak groter dan 5 kHz en liggen altijd ruim boven de fundamentele draaifrequentie.

Als dit defect verergert, dan neemt het niveau van de laagfrequente frequentiecomponenten toe. In een vergevorderd stadium kan een eenvoudige versnellingssensor het trillingsniveau detecteren. Op dit moment dreigt er echter een uitval, waarbij het onderhoudsteam weinig tijd heeft om te reageren. Om niet voor onaangename verrassingen te komen staan, is het daarom belangrijk om de eerste tekenen van een anomalie te detecteren met een geluidsarme versnellingssensor met hoge bandbreedte.

Trillingsbronnen in roterende machines

Een veelvoorkomend probleem bij een roterende machine is het uitvallen van een kogellager. Een spectrale analyse van de gegevens van een versnellingsmeter in de buurt van het lager toont een reeks kenmerken, amplitudes en frequenties die afhankelijk zijn van de snelheid en de oorzaak van het defect.

De karakteristieke frequenties van het systeem die we kunnen vermelden, zijn onder andere

$$f_{cage} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{d}{D}\cos(\phi)\right) \times f_{axle}$$

De frequentie met betrekking tot een defect aan de buitenste ring (vast)

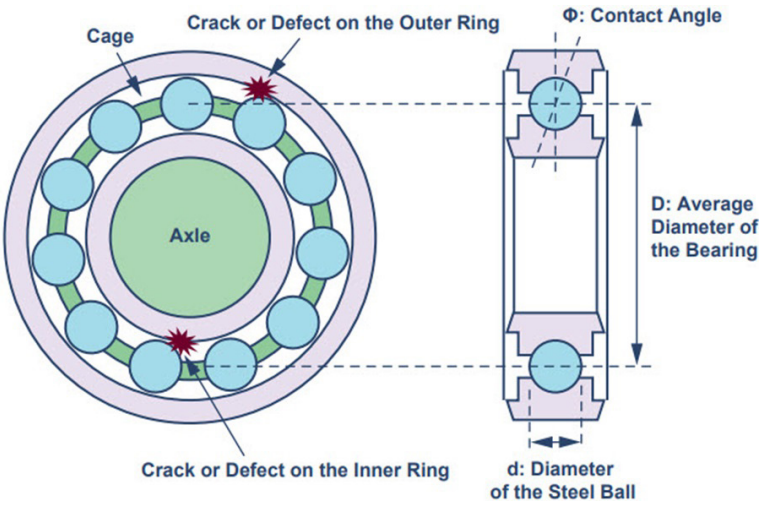
$$f_{ext} = N \times f_{cage}$$

De frequentie met betrekking tot een defect aan de binnenring (as)

$$f_{int} = N \times \left(f_{axle} - f_{cage}\right)$$

Buiten deze frequentiekenmerken veroorzaakt de schokgolf die de over het defect rollende kogel genereert (scheur, afschilfering, enz.) een hoogfrequente trilling (>5 kHz) die vaak hoorbaar is.

1. N: Aantal kogels
2. Φ: Contacthoek
3. f^{as}: Draaifrequentie van de as
4. d: Kogeldiameter
5. D: Gemiddelde lagerdiameter



Afb. 11: Kogellagerdefect (afb.: Analog Devices)

Er zijn een aantal trillingsanalysetechnieken. Naast digitale filtering voor de aanpak van parasitaire trillingen die door het proces zelf of door andere componenten van de machine veroorzaakt wordt, kan vaak ook gebruik gemaakt worden van wiskundige hulpmiddelen zoals de in ADcmXL3021 vermelde hulpmiddelen (berekening van het gemiddelde, standaardafwijking, topfactor, kurtosis, enz.). De analyse kan worden uitgevoerd binnen een tijdspannen, maar de frequentieanalyse geeft de meeste informatie over een anomalie en de oorsprong ervan. Het is zelfs mogelijk om het cepstrum te berekenen, dat vaak wordt opgenomen in het spectrum van het signaal (omgekeerde fouriertransformatie toegepast op de logaritme van de fouriertransformatie van het signaal). Ongeacht de gebruikte analysemethode is het moeilijk om de optimale alarmdrempel te bepalen, zodat het onderhoud niet te vroeg of te laat plaatsvindt.

Een alternatief voor de conventionele configuratie van alarmdrempels is het invoeren van kunstmatige intelligentie in het foutdetectieproces. Tijdens de leerfase van de machine wordt gebruik gemaakt van cloudbronnen om representatieve modellen van de machine te maken (op basis van gegevens van de trillingssensor). Zodra de modellen zijn gemaakt, kunnen deze gedownload worden naar een lokale processor. Dankzij het gebruik van ingebedde software is het mogelijk om niet alleen lopende gebeurtenissen, maar ook voorbijgaande gebeurtenissen in realtime te identificeren, zodat afwijkingen gedetecteerd kunnen worden.

Met volle vaart - sensoren in de auto

Het aantal sensoren in voertuigen neemt voortdurend toe, terwijl hun prestaties tegelijkertijd verbeteren. Het stroomverbruik wordt voortdurend geminimaliseerd en intelligente verwerkingsfuncties winnen steeds meer terrein. De sensorgegevens uit de verschillende componenten kunnen redundant en in combinatie met de sensorfusie gebruikt worden en zijn een belangrijke voorwaarde voor de netwerkvorming buiten het voertuig (V2X).

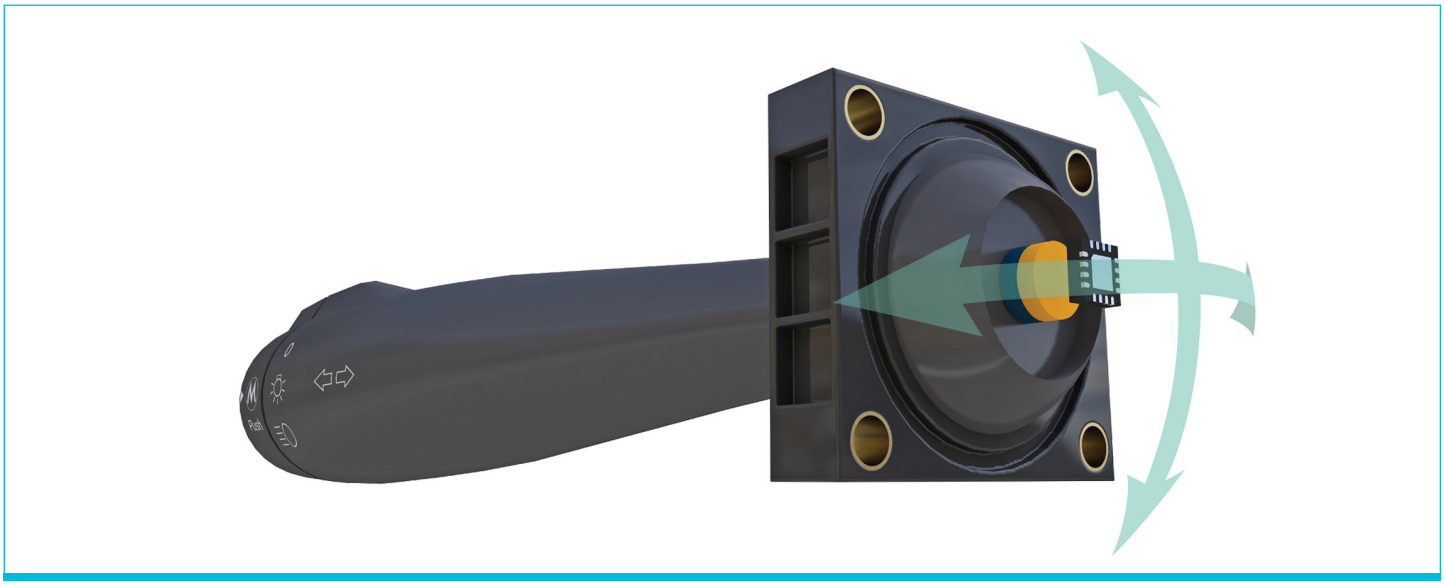
In de automotive branche ondersteunen sensoren onder meer de segmenten motorbesturing, uitlaatcontrole, chassisfuncties en airconditioning, functies voor autonoom rijden, ondersteuningsfuncties, e-mobiliteit, bestuurdersherkenning (buhv. gebaarbesturing), actieve en passieve veiligheid en algemene carrosseriefuncties. De sensoren detecteren en controleren elektrische, magnetische, mechanische, elektromagnetische, thermische en chemische processen in het voertuig en stellen de informatie beschikbaar op een scherm of voor verdere verwerking in elektronische vorm.

Het concept van auto's zonder bestuurder (autonoom rijden) is in ontwikkeling. Naast een netwerkinfrastructuur vereist dit veel real-time gegevens van snelheids-, versnellings-, positie- en nabijheidssensoren. Deze sensoren leveren gegevens die verzameld, geëvalueerd, samengevoegd (sensorfusie) en verwerkt worden. Aan de hand hiervan wordt een voertuig in het beste geval zonder tussenkomst van een bestuurder bestuurd. Onderweg naar dit doel zijn er nu al sensoren in de bestuurdersassistentiesystemen actief om de veiligheid en het comfort te garanderen. Dit ondersteunt ook het concept van voorspellend onderhoud.
De sensoren worden gebruikt in het voertuig zelf en in de voertuiginfrastructuur. Zo zorgt ongeveer tweederde van de sensoren voor de besturing van de aandrijflijn en de motor. Hiervoor registreren de sensoren veranderingen in gewicht, temperatuur, trillingen, massastroom, volumestroom, koppel, klepstand en draaibeweging. Deze gegevens worden doorgestuurd door naar de besturing.

Geselecteerde sensoren voor rijstabiliteit en veiligheid:

- Druksensoren
- Toerental- en snelheidssensoren (bijv. Hall-sensoren)
- Positiesensoren (stuurhoeksensoren)
- Versnellingssensoren
- Temperatuursensoren
- Gassensoren
- Debietmeters
- Krachtsensoren
- Beeldsensoren
- IMU (Inertial Measurement Unit, traagheidsmeeteenheid) - bestaat uit versnellingssensoren en gyroscopen

Versnellingssensoren, rotatiesnelheidssensoren en druksensoren voor motormanagement, gyroscopen, IMU's en andere zijn bijvoorbeeld verkrijgbaar als MEMS-sensoren (Micro-Elektro-Mechanisch Systeem) Deze sensoren bevatten ook kunstmatige intelligentie en kunnen bijvoorbeeld persoonsafhankelijke gebaren leren. Volgens Bosch zitten er tot 50 MEMS-sensoren in de huidige auto's. Deze sensoren zullen ook taken op zich nemen in nieuwe ontwikkelingen zoals drones en luchttaxi's.



Afb. 12. De voor de automotive branche geschikte MLX90395 (Triaxis Magnetometer Node) 3D Hall-effectsensor van Melexis maakt gebruik van het Hall-effect voor contactloze detectie in drie dimensies. Daarbij zorgt de 'dual-die'-versie voor redundantie in de detectie van de positie van de versnellingspook in voertuigen. (Afb.: persfoto Melexis)

De veiligheidsfunctionarissen voor omgevingsdetectie

Steeds meer sensoren worden gebruikt voor bestuurdersassistentiesystemen voor de bestuurder. Verschillende sensortypen worden redundant gebruikt. Gedeeltelijk of volledig autonome systemen moeten de omgeving herkennen en posities bepalen. Ultrasone sensoren (detecteren obstakels op korte afstand), radarsensoren (detecteren de positie en snelheid van objecten op grotere afstand) helpen daarbij. LIDAR-sensoren leveren een 3D-beeld en camerasystemen leggen de kleur en de contouren van een object vast.

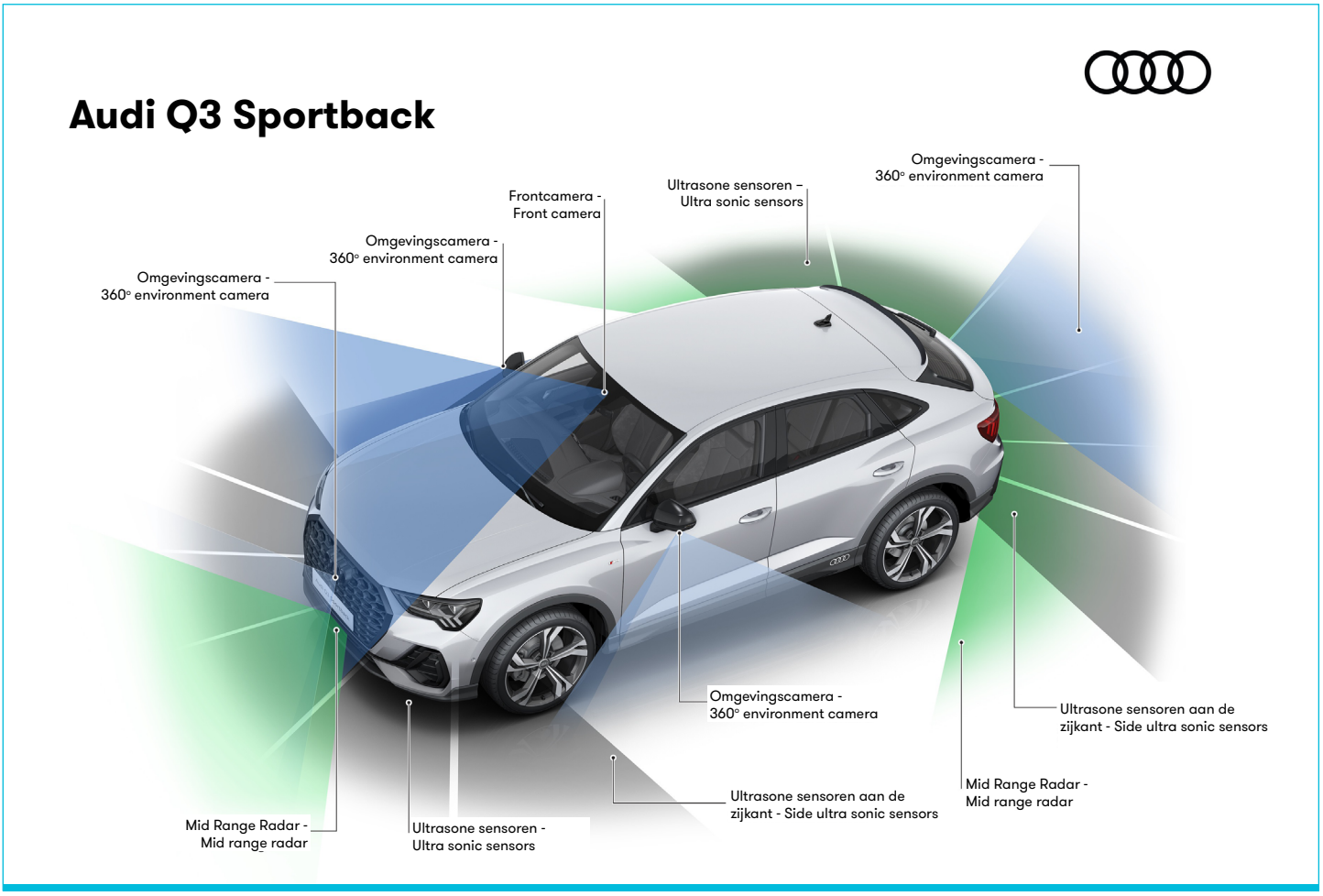
Afhankelijk van de uitrustingsvariant bevat een modern Volkswagen-model bijvoorbeeld wel 24 sensoren voor omgevingsdetectie voor bestuurdersassistentiesystemen. Dit zijn onder andere radar- en ultrasone sensoren, camera's en laserscanners. In de loop van de verdere ontwikkeling van bestuurdersassistentiesystemen, tot aan geautomatiseerd rijden vanaf level 3, zal dit aspect nóg belangrijker worden.

	Camera	Radar	LIDAR	Utrasoon	Radar + LIDAR	Camera + LIDAR	Camera + radar
Objectdetectie	gemiddeld	goed	goed	goed	goed	goed	goed
Objectclassificatie	goed	slecht	gemiddeld	slecht	gemiddeld	goed	goed
Afstandsmeting	gemiddeld	goed	goed	goed	goed	goed	goed
Nauwkeurigheid van de objectrand	goed	slecht	goed	goed	goed	goed	goed
Tracering	goed	slecht	slecht	slecht	slecht	goed	goed
Visueel bereik	gemiddeld	goed	gemiddeld	slecht	goed	gemiddeld	goed
Werking bij slecht weer	slecht	goed	gemiddeld	goed	goed	gemiddeld	goed
Werking bij weinig licht	gemiddeld	goed	goed	goed	goed	goed	goed

Tabel 6. Vooral voor autonome rijfuncties zijn er zijn redundante sensorgegevens nodig. Een combinatie van verschillende technologieën heeft voor- en nadelen. (Gegevensbron: McKinseyCompany)

In de toekomst zullen meer hybride sensoroplossingen (ook bekend als multi-sensortechnologie) worden ontwikkeld om het aantal sensoren en de kosten te minimaliseren. Naast een gecombineerde oplossing van radar en camera, vereist volledig autonoom rijden LIDAR-sensoren om redundantie voor objectanalyse en lokalisatie te garanderen. Experts verwachten dat de eerste zelfrijdende auto's volgens level 5 in 2025 klaar zijn voor serieproductie. Overigens gebruikt Tesla momenteel acht camera's voor 360°-bewaking van de omgeving rondom het voertuig tot op een afstand van 250 meter en twaalf ultrasone sensoren. Daarnaast beschikt het voertuig over een naar voren gerichte radar. Versies met LIDAR-sensoren staan momenteel bij Tesla niet in de planning.

De gegevens van camera, radar, LIDAR-sensoren, infraroodsensoren en ultrasone sensoren worden verwerkt met behulp van verschillende algoritmen (trefwoorden: kunstmatige intelligentie en Deep Learning). Deze verwerkte gegevens vormen de basis waarop het controlesysteem zijn beslissingen neemt.



Afb. 13. De sensor radius van de omgevingsbewaking in de Audi Q3 Sportback (Afb.: persfoto AUDI AG)

Camera's detecteren markeringen, verkeersborden, verkeerslichten, mensen en andere voertuigen. Ze helpen ook met inparkeren en houden het verkeer in de gaten. In de zijspiegel tonen de camera's eventuele objecten in de dode hoek. Camera's met nachtzichtfuncties en infrarood bieden de bestuurder ondersteuning in het donker.

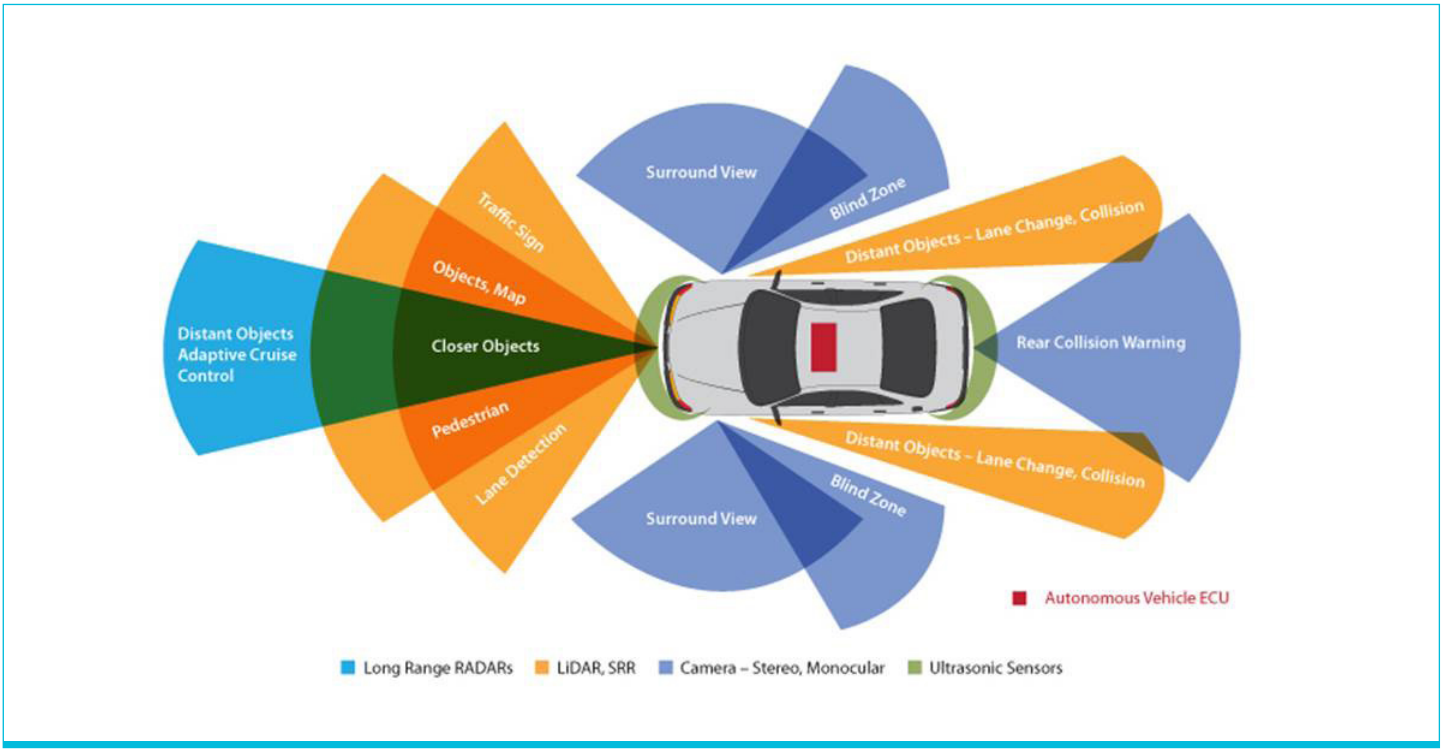
Er zijn monocamera's die een tweedimensionaal beeld laten zien. Omdat deze camera’s geen diepte voor afstandsmetingen kunnen registreren, vullen de radar en LIDAR-sensoren deze informatie aan. Een stereocamera daarentegen heeft twee lenzen. Dit maakt het mogelijk om informatie en veranderingen in de diepte weer te geven. Deze modellen zijn duurder dan de monocamera's.

Als beelden van meerdere camera's samengevoegd worden, dan ontstaat een driedimensionale weergave. Frontcamera's met een bereik van 100 tot 240 meter geven informatie weer zoals markeringen, verkeersborden, voetgangers en fietsers. Deze camera's worden gebruikt om afstanden te controleren en gevaren te detecteren die een noodremming kunnen vereisen.

Er zijn bijvoorbeeld 3D-camerachips beschikbaar op basis van de looptijd (TOF-principe, Time of Flight). Deze chips meten direct de diepte- en amplitudewaarde per pixel. Dit levert 3D-data op die onder alle lichtomstandigheden (zonlicht, duisternis en veranderende lichtomstandigheden) betrouwbaar verkregen kunnen worden.

De gebruikte lichtbron kan een led of een laserdiode zijn (VCSEL; Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser). TOF-camera's worden gebruikt als bestuurdersassistentie- en veiligheidssensoren voor de bestuurder in de automotive branche. Het gaat hierbij om toepassingen zoals actieve voetgangersbescherming, noodremassistentie, maar ook toepassingen in het interieur zoals het controleren van de juiste rijpositie.

De huidige cameratechnologie in auto's (bijvoorbeeld van Bosch) beschikt al over kunstmatige intelligentie. Hierdoor kan de technologie objecten herkennen en deze indelen in verschillende categorieën zoals voertuigen, voetgangers of fietsen en bewegingen meten. Een dergelijke camera kan ook gedeeltelijk verborgen of overstekende voertuigen, voetgangers en fietsers betrouwbaarder detecteren en classificeren in druk stadsverkeer.



Afb. 14. Voor L4- en L5-oplossingen worden sensorcombinaties gebruikt om de verkeerssituatie te registreren. (Afb.: persfoto KPIT Technologies GmbH)

Radarsensoren – Absolute meesters in afstandsmeting

Radar is een technologie voor het meten van afstanden. De radarsensoren aan de voor- en achterzijde van een voertuig detecteren andere voertuigen of obstakels. De achtersensor detecteert verkeer dat van achteren nadert en inhalende voertuigen. De langeafstandsradar houdt het verkeer in de gaten en de korteafstandsradar controleert de directe omgeving. De radar meet snelheid en afstand. Hoe sneller de uitgezonden radiogolven terugkeren, des te dichterbij het gemeten object zich bevindt. De snelheid wordt gemeten via de nadering.

Radar kan onder nagenoeg alle weersomstandigheden gebruikt worden. Hevige regen dempt het signaal echter, terwijl mist geen invloed heeft. Geavanceerde radarsensoren bieden een groot detectiebereik, een brede openingshoek en een hoge scheidbaarheid van de hoeken.

Radarsensoren in het frequentiebereik 77-/79-GHz met bandbreedtes tot 4 GHz kunnen een afstandsresolutie van enkele centimeters bieden. Voor een betere objectdetectie worden snelle piepsignalen gebruikt, die gevoeliger op verstoringen reageren dan de langzamere frequentiegemoduleerde continuegolfsignalen (FMCW).
De korteafstandsradar detecteert objecten tot een afstand van ongeveer 30 meter, langeafstandsystemen hebben een bereik tot ongeveer 250 meter.

Radarsensoren (Radio Detection and Ranging) zenden en ontvangen hoogfrequente elektromagnetische golven om de afstand en relatieve snelheid tot een object te bepalen. Impulsradars zenden korte pulsen uit met een bepaalde frequentie. Continugolfradars zenden continue signalen uit met wisselende frequenties. 24 GHz-radarsensoren worden gebruikt voor korteafstandsdetectie (Short Range Radar). Radarsensoren in het frequentiebereik 77-79 GHz maken hogere zendvermogens mogelijk en kunnen op grotere afstanden detecteren. Deze sensoren worden gebruikt voor de middellange en lange afstand (Mid Range Radar en Long Range Radar). Millimeter-radarsensoren werken contactloos in het frequentiespectrum van 30 tot 300 GHz. Door de korte golflengten geven deze sensoren resoluties van minder dan een millimeter voor de afstandsmeting.

LIDAR-sensoren – en de wereld verschijnt in 3D

LIDAR-sensoren werken vergelijkbaar met radar, maar gebruiken laserstralen in plaats van radiogolven. Hun reflecties geven een driedimensionaal lichtbeeld van de omgeving van de auto. De gegevens hebben een hogere resolutie dan de radargegevens. Verkeersborden, rijbaanmarkeringen en bewegingen worden gedetecteerd - 's nachts werkt dit nog beter dan met camera's.

De LIDAR-sensoren worden bijvoorbeeld ook gebruikt voor de remassistentie. De uitgezonden laserstralen realiseren de snelheids- en afstandsmeting. Als een obstakel (persoon, voertuig, enz.) wordt gedetecteerd, dan kan de noodremassistentie een noodstop in werking stellen.

LIDAR staat voor "Light Detection and Ranging", d.w.z. dat het systeem afstanden tot stilstaande en bewegende objecten meet en driedimensionale beelden levert. De grote en dure laserversies (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - Lichtversterking door gestimuleerde stralingsemissie) met roterende spiegels worden steeds vaker vervangen door Solid State LIDAR. Een digitaal gestuurde halfgeleiderdiode-array vervangt de bewegende delen. Er worden ook MEMS-spiegels gebruikt. LIDAR-systemen werken met lichtpulsen uit de gebieden met niet-zichtbaar licht (nabij infrarood, typisch met een golflengte van 905 nm). Onder goede weersomstandigheden hebben deze een bereik van 200 tot 300 meter, bieden deze een hoge hoekresolutie en hebben deze een detectiebereik van 360 graden (dakvarianten). Mist heeft invloed op de resultaten van LIDAR- en laserscanners.

Velodyne's Velarray-sensor (afb. 15 midden) behoort tot de sensoren die geen gebruik maken van bewegende laseronderdelen. Deze sensor detecteert gebieden onder een horizontale hoek van 120 graden, onder een verticale hoek van 35 graden en met een bereik van 200 meter. Door middel van een puntenwolk met hoge resolutie detecteert de sensor (net als de andere producten van de fabrikant) nauwkeurig stoepen, stoepranden, voertuigen, voetgangers, fietsen en andere obstakels, zelfs onder slechte lichtomstandigheden. Omdat de sensor niet draait, is deze bijzonder geschikt voor geïntegreerde (verzonken) inbouw in het chassis.

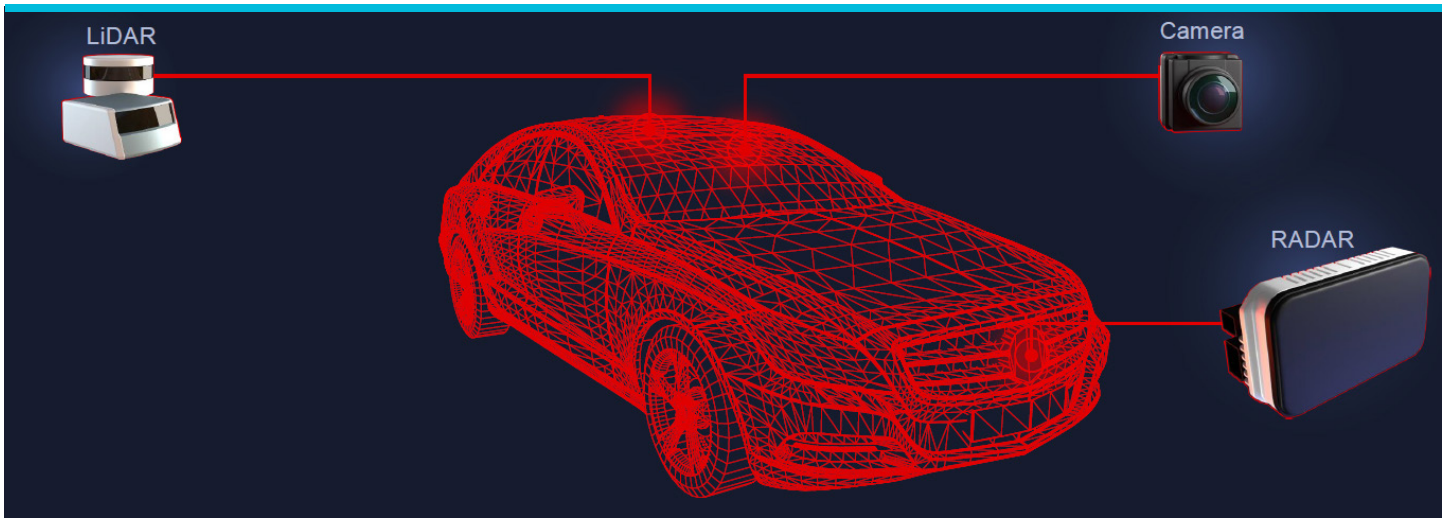
Afb. 15. Het Alpha Prime product (links) vervangt het HDL-64-model van de fabrikant als referentie-/benchmarksensor en is bedoeld voor gebruik in RoboTaxis en L4/L5-trucks. Het product VelaDome (rechts) is een sensor voor autonome voertuigen die een halfrond gebied detecteert (afb.: persfoto Velodyne Lidar)

Afb. 16. ZF produceert het "ibeoNEXT" Solid State LIDAR-systeem inclusief besturingseenheid (in opdracht van Ibeo Automotive Systems GmbH) en is in oktober 2020 begonnen met de levering. De LIDAR-sensor is gebaseerd op fotonlasermeet-techniek en heeft geen bewegende delen (Solid State).
(Afb.: persfoto ZF Friedrichshafen AG)

Afb. 17. Blickfeld heeft een LIDAR-sensor genaamd Cube Range, die obstakels op een afstand tot 250 meter detecteert. De 3D Solid State LIDAR heeft een bereik van 150 meter met 10 procent reflectievermogen; een bereik tot 250 meter is mogelijk met een hoger reflectievermogen; de resolutie is 0,18°. Het product maakt gebruik van een MEMS-spiegel van silicium. Een soft-warestack verwerkt de dichte 3D-puntenwolk in real-time. De sensor is geschikt voor het rijden op de snelweg. (Afb.: persfoto Blickfeld GmbH)

De integratie van LIDAR-sensoren in koplampen maakt ook real-time 3D-kaarten en objectdetectie, classificatie en tracering mogelijk. LIDAR wordt ook gebruikt bij HD-mapping om de topografie van grote gebieden vast te leggen met 3D-mapping voor een autonome voertuignavigatie.

Continental's productieklare 4D Imaging Radar System (ARS 540) maakt gebruik van het Zynq UltraScale+ MPSoC-platform van Xilinx. Dit systeem biedt functionaliteiten volgens SAE J3016 Level 2 en is schaalbaar tot autonome rijsystemen van level 5. De 4D Imaging Radar bepaalt de locatie van een object qua bereik, azimut, hoogte en relatieve snelheid. De ARS540 heeft een bereik van 300 meter en een gezichtsveld van ± 60°. Dit systeem maakt het mogelijk om tijdens het rijden nauwkeurige voorspellingen te doen die worden ondersteund door verschillende hypothesen. Dit is cruciaal voor het omgaan met complexe verkeersstroomscenario's, zoals het opsporen van files onder bruggen. Bovendien maakt het systeem de detectie van potentieel gevaarlijke objecten op de rijbaan mogelijk en reageert het dienovereenkomstig.



Afb. 18. Met het Xilinx-platform kan de Continental-radar (rechtsonder) systeemneutraal werken met de bestaande configuratie van het sensorplatform. Een parallelle verwerking in de programmeerbare logica van het apparaat en talrijke DSP-segmenten voor digitale signaalverwerking maken een real-time hardwareversnelling van de radarsensoringangssignalen mogelijk. (Afb.: persfoto Xilinx)

Prognose

Analisten van Yole voorspellen dat de LIDAR-markt voor de automotive branche en industriële toepassingen tegen 2020 ongeveer 1,7 miljard dollar zal bedragen. De verwachte groei is 19%. Voor 2025 verwacht Yole een omzet van 3,8 miljard US$. Toepassingen in auto's kunnen de komende vijf jaar de belangrijkste drijfveer zijn voor LIDAR - met een groei van 1,8 miljard US$ - berekend tussen 2019 en 2025. Aangezien er reeds partnerschappen tussen LIDAR- en voertuigfabrikanten bestaan, verwacht het marktonderzoeks- en strategieadviesbureau Yole dat de LIDAR-technologie rond 2025 in 3,2% van de personenauto's wordt toegepast. Volgens Yole zal de invloed van robotvoertuigen gematigerder zijn op de ontwikkeling van LIDAR, aangezien het aantal robotvoertuigen niet zo sterk groeit. LIDAR voor personenauto's wordt nu ook kritischer bekeken, aangezien de autofabrikanten onder zware financiële druk staan als gevolg van de COVID-19-crisis. Door de regelgeving ter vermindering van de CO2-uitstoot wordt er volgens Yole eerder in elektrificatie geïnvesteerd. Yole ziet ook een grote invloed van Tesla, dat autonome voertuigen zonder LIDAR ontwikkelt. (Bron: persbericht van 27-8-2020 "LIDAR moet obstakels overwinnen: Is diversificatie de oplossing?" - Yole Développement)

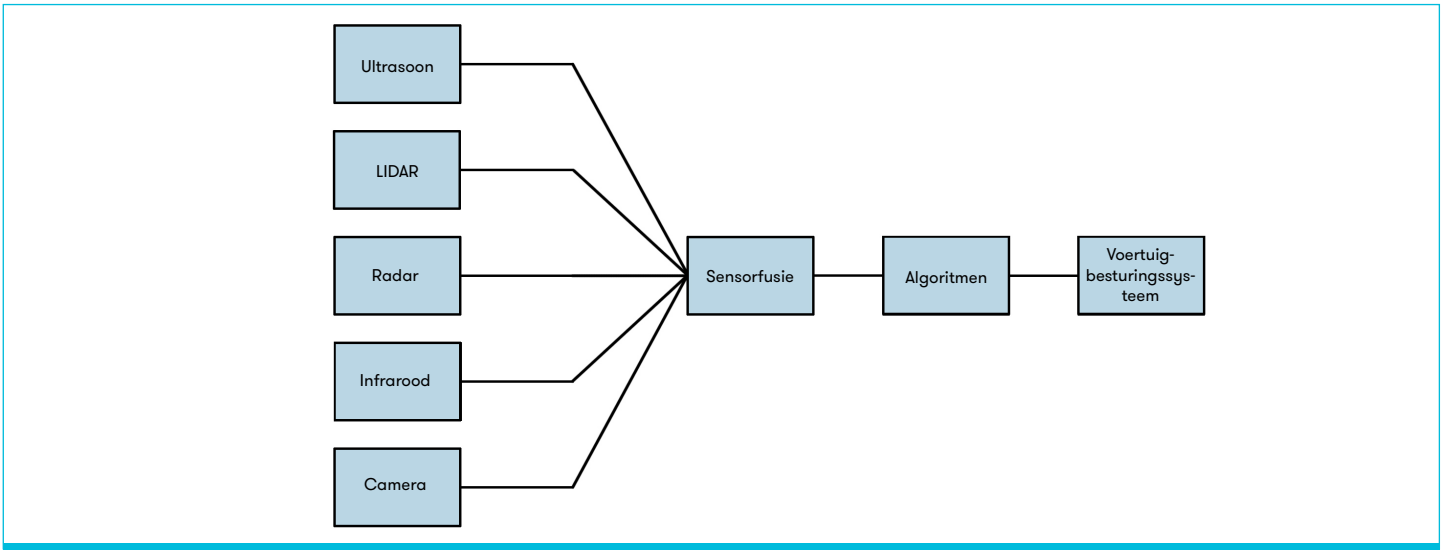
Andere omgevingssensoren

Infraroodsensoren maken nachtzicht mogelijk. Ultrasone sensoren dienen als parkeerhulpmiddel, meten parkeerplaatsen tijdens het rijden en detecteren voertuigen in zijstraten. Daarnaast kunnen deze sensoren de dode hoek bewaken. Ultrasone sensoren meten de afstand tot het object door de reistijd van de gereflecteerde geluidspulsen te meten. Deze sensoren zijn compact en robuust en werken ook 's nachts of bij mist. Sneeuw beïnvloedt hun meetresultaten en de afstanden bedragen slechts enkele meters. Ter verbetering van de omgevingsdetectie kunnen er kunnen verschillende ultrasone sensoren gebruikt worden en de triangulatiemethode kan toegepast worden. Speciaal gevormde antennes krijgen de uitgezonden ultrasone pulsen een richtingskarakteristiek voor gerichte straling. Er wordt een nabijgelegen veld en een ver veld gevormd.

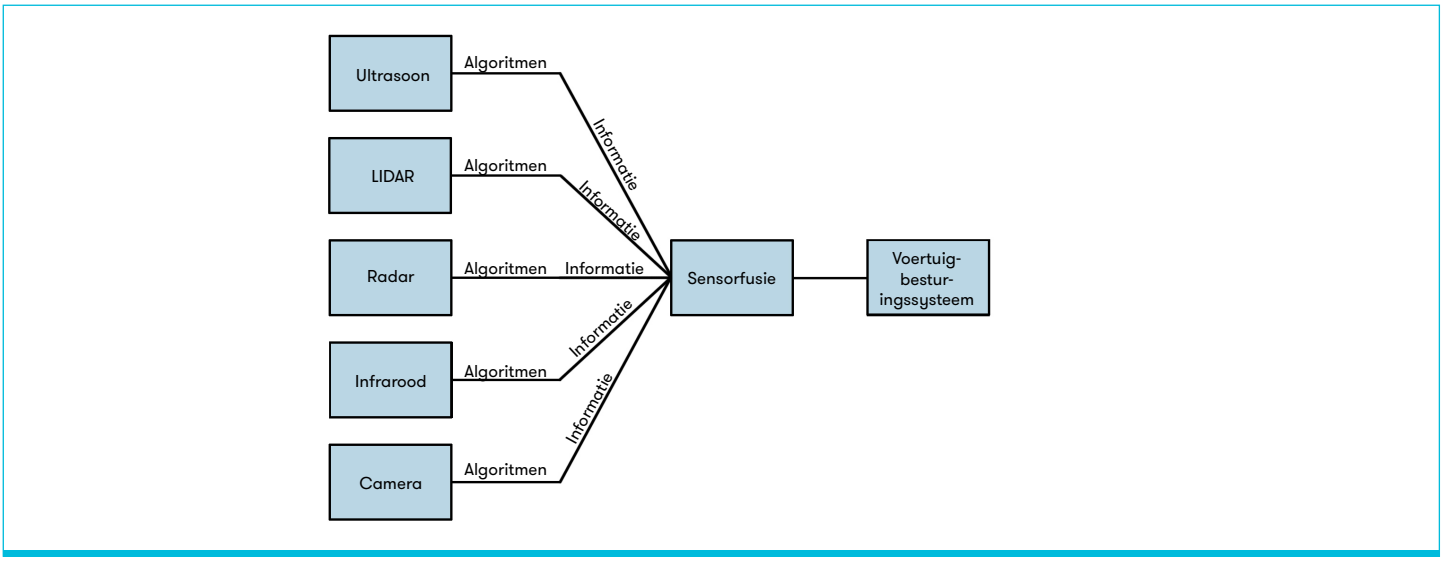
Veel matrozen en één stuurman

De sensoren zijn te gebruiken voor onafhankelijke functies. Als alle gegevens gelijktijdig gekoppeld worden door middel van sensorfusie, dan kan een verbeterde aansturing bereikt worden. De focus ligt daarbij op functionele betrouwbaarheid, redundantie en plausibiliteitscontroles. Hiervoor worden de signalen van de voertuigsensoren met elkaar vergeleken. Een onjuiste interpretatie van de gegevens wordt vermeden en een controlesignaal wordt pas gegeven als alle gegevens zijn gecontroleerd.

De consolidatie van sensorgegevens voor autonome voertuigconcepten is belangrijk. Hiertoe worden gegevens van alle sensoren (LIDAR, radar, ultrasoon, enz.) in real-time geanalyseerd en aangepast. Pas dan wordt een voertuigreactie getriggerd. Hierbij kan de verwerking van de sensordata volledig uitgevoerd worden na de sensorfusie (afb. 19). Bij wijze van alternatief kan de voorbewerking van de data al uitgevoerd worden in smartsensoren (afb. 20).



Afb. 19. Het vereenvoudigde schema links toont de sensoren die hun gegevens aan de sensorfusie-eenheid leveren. Daar verwerken verschillende algoritmen deze gegevens en wordt de reactie-informatie doorgegeven aan het besturingssysteem van het voertuig (afb.: channel-e)



Afb. 20. Het vereenvoudigde schema links toont de sensoren die al intelligente verwerkingsfuncties integreren en voorbewerkte gegevens aan de sensorfusie-eenheid leveren. Daar worden aanpassingsfuncties uitgevoerd. Vervolgens wordt er een omgevingsmodel berekend en wordt de reactie-informatie naar het besturingssysteem van het voertuig gestuurd (afb.: channel-e)

Om de omgeving van autonome voertuigen te detecteren, wordt informatie van radar, ultrasone sensoren, LIDAR-sensoren en camera gecombineerd. De meetwaarden worden asynchroon gegenereerd en de fusieregelaar berekent in real-time een actueel omgevingsmodel. Vervolgens stuurt de fusieregelaar de besturings-, aandrijf- en remsystemen aan.

Formeel gezien zijn er complementaire, concurrerende en coöperatieve fusies. Een complementaire fusie combineert de gegevens van verschillende onafhankelijke sensoren. De hoeveelheid gegevens hierbij is zeer groot. De informatie van de afzonderlijke sensoren kan elkaar aanvullen qua detectiebereik en gemeten hoeveelheid (bijvoorbeeld: meerdere camera's genereren een 360°-beeld).

Een concurrerende fusie maakt gebruik van identieke informatie van meerdere sensoren om de meetnauwkeurigheid te verhogen en redundantie te garanderen (bijvoorbeeld: een combinatie van een frontradar en LIDAR-sensoren aan de voorzijde). Bij een coöperatieve fusie is er informatie nodig van verschillende onafhankelijke sensoren, die elk een deelaspect meten. Hierbij is er geen redundantie (bijvoorbeeld: een stereocamera gebruikt gegevens van twee camera's)

Welke datavolumes moeten verwerkt worden?

Alle sensoren genereren grote hoeveelheden gegevens. Experts van Infineon zien het als volgt:

HD-camera: levert ruwe data met 1280 × 960 (kleurencamera) met 25 beelden/sec. = minimaal 1,2 GBit/s. In sommige systemen wordt dit ruwe beeld naar de centrale computer gestuurd en daar verwerkt. Meestal zijn er echter meerdere camera's aangesloten en zijn er ook systemen met een hogere resolutie dan HD. Om deze reden worden de cameragegevens ingeschat op 2 tot 6 GBit/s.

Echter, in veel camerasystemen worden de videodata al "voorbewerkt" en omgezet in de objectlijsten en doorgestuurd - om deze reden kunnen deze camerasensoren tegenwoordig overdrachtsnelheden aan van 100 MBit/s tot 1 GBit/s. Dit betekent dat er geen beelden worden overgedragen, maar alleen dynamische objectlijsten.

Radar: Bij radars wordt in de sensor tegenwoordig ruwe data gegenereerd met 500 MBit/s tot 2 GBit/s. Deze data wordt echter ook in de sensor omgezet in de detecties en objectlijsten en vervolgens via de CAN-bus of ethernet verzonden (d.w.z. met 5 MBit/s, 10 MBit/s of 100 MBit/s). In de toekomst zal de automotive branche echter eerder ruwe gegevens van hoge-resolutieradars naar de centrale computer sturen, zodat de snelheden al snel tot 48 GBit/s oplopen.

LIDAR: Bij LIDAR worden ruwe gegevens met 10 tot 100 GBit/s al in de sensor gegenereerd - afhankelijk van resolutie, gezichtsveld en framerate – maar ook in dit geval worden de gegevens reeds in de sensor verwerkt in objectlijsten en met maximaal 1 GBit/s doorgestuurd. Aangezien in de nabije toekomst de verwerking van ruwe gegevens in de centrale computer ook voordelen oplevert voor sensorfusie, worden gegevenssnelheden tot 48 GBit/s verwacht.

De factor tijd bij sensorfusie

Fusie op signaalniveau houdt in dat ruwe gegevens of licht voorbewerkte gegevens aan elkaar gekoppeld worden. Het voordeel is dat er geen informatieverlies is, het nadeel is dat er een grote hoeveelheid gegevens ontstaat. Bij fusie op kenmerkniveau worden de gegevens van de sensoren onafhankelijk van elkaar voorbewerkt. De geëxtraheerde kenmerken worden dan op een hoger abstractieniveau samengevoegd. Hierdoor kunnen verschillende gemeten variabelen aan elkaar gekoppeld worden en wordt de hoeveelheid gegevens gereduceerd. In het geval van fusie op objectniveau worden de gegevens van de afzonderlijke sensoren onafhankelijk van elkaar verwerkt en pas aan het eind samengevoegd. De hoeveelheid te verwerken gegevens wordt geminimaliseerd, maar er treedt wel informatieverlies op.

Big Brother - Sensorbewaking in het interieur

Sensoren zorgen ook voor de veiligheid door het interieur te bewaken. Verschillende sensoren observeren en onderzoeken de bewegende persoon. Het doel is om bijvoorbeeld oververmoeidheid en mate van afleiding (trefwoord microslaap) te detecteren.

- Een van de voordelen hiervan is dat het stuurgedrag van de bestuurder zo bewaakt kan worden. 'Drive-by-Wire'-systemen registreren bijv. hoekpositie en giersnelheden. De gegevens zijn afkomstig van de sensoren en worden via een interface naar een microcontroller gestuurd. Daar worden deze gegevens verwerkt. Ook in dit geval wordt het principe van intelligente sensoren gebruikt. De sensorgegevens worden aan een geïntegreerde voorbewerking onderworpen, hetgeen de microcontroller ontlast. In combinatie met informatie zoals de afstand van de rit, de duur en de tijd, kan de waarschijnlijke vermoeidheid voorspeld worden. De bestuurder krijgt een herinnering om een pauze in te lassen.

- 3D-beeldsensoren kunnen de hoofd- en oogbewegingen en de ademhaling en hartslag (niet-invasief) controleren.

- Met behulp van 2D-herkenningstechnologieën kunnen aanraaksensoren in het stuurwiel geïntegreerd worden om gebaren te detecteren. Dit kan bijvoorbeeld het volgende zijn: tikken of swipen met één vinger, of het samenknijpen en roteren met twee vingers. Zo kan de bestuurder aanpassingen uitvoeren zonder zijn of haar handen van het stuur te halen. Met 3D-herkenning kunnen grotere gebaren in de lucht gebruikt worden. Het lastige hierbij is om onbelangrijke handbewegingen te onderscheiden van bewuste gebaren. Hiervoor is bijvoorbeeld software met stochastische modellen te gebruiken.

- Visuele sensoren: in het interieur van het voertuig worden kleuren-, infrarood- en RGB-D-camera's gebruikt. Fysieke parameters worden bewaakt, zoals de positie van het hoofd ten opzichte van de zitting en de voorruit, de draaihoek van het hoofd, de beweging van de ogen, alsmede veranderingen in de wenkbrauwen en het blikveld. Aan de hand hiervan trekt het systeem conclusies over het stressniveau van de personen.

- Haptische sensoren: in de bestuurdersstoel geïntegreerde sensoren meten de drukverdeling van het bestuurdersgewicht. Een interface voert de meetwaarden uit, waarvan de tijdsgeschiedenis wordt opgeslagen. Deze mat is aan te passen aan verschillende voertuigstoelen, verschillende lichaamsmaten en -gewichten.

Conclusie

De verdere ontwikkeling van sensoren op het gebied van IIoT, de automotive branche, medische technologie, gebouwenautomatisering, voor de gamingindustrie, milieutechnologie, wearables, algemene communicatie, Smart Cities, Smart Metering en alle andere toepassingsgebieden levert steeds intelligentere, energie-efficiëntere en steeds beter genetwerkte sensortechnologieën op. Zelfs vermeende marktkillers zoals de huidige COVID-19-situatie kunnen tot nieuwe toepassingen leiden. Op dit moment zien we bijvoorbeeld allerlei aanbiedingen, zoals luchtkwaliteitsmeters, afstandsmeters en natuurlijk veel medisch technische toepassingen. Hoe sneller, nauwkeuriger en verstandiger de gegevens van de sensoren verwerkt worden (trefwoord kunstmatige intelligentie), des te groter de economische, technische en humanitaire voordelen die daaruit af te leiden zijn.