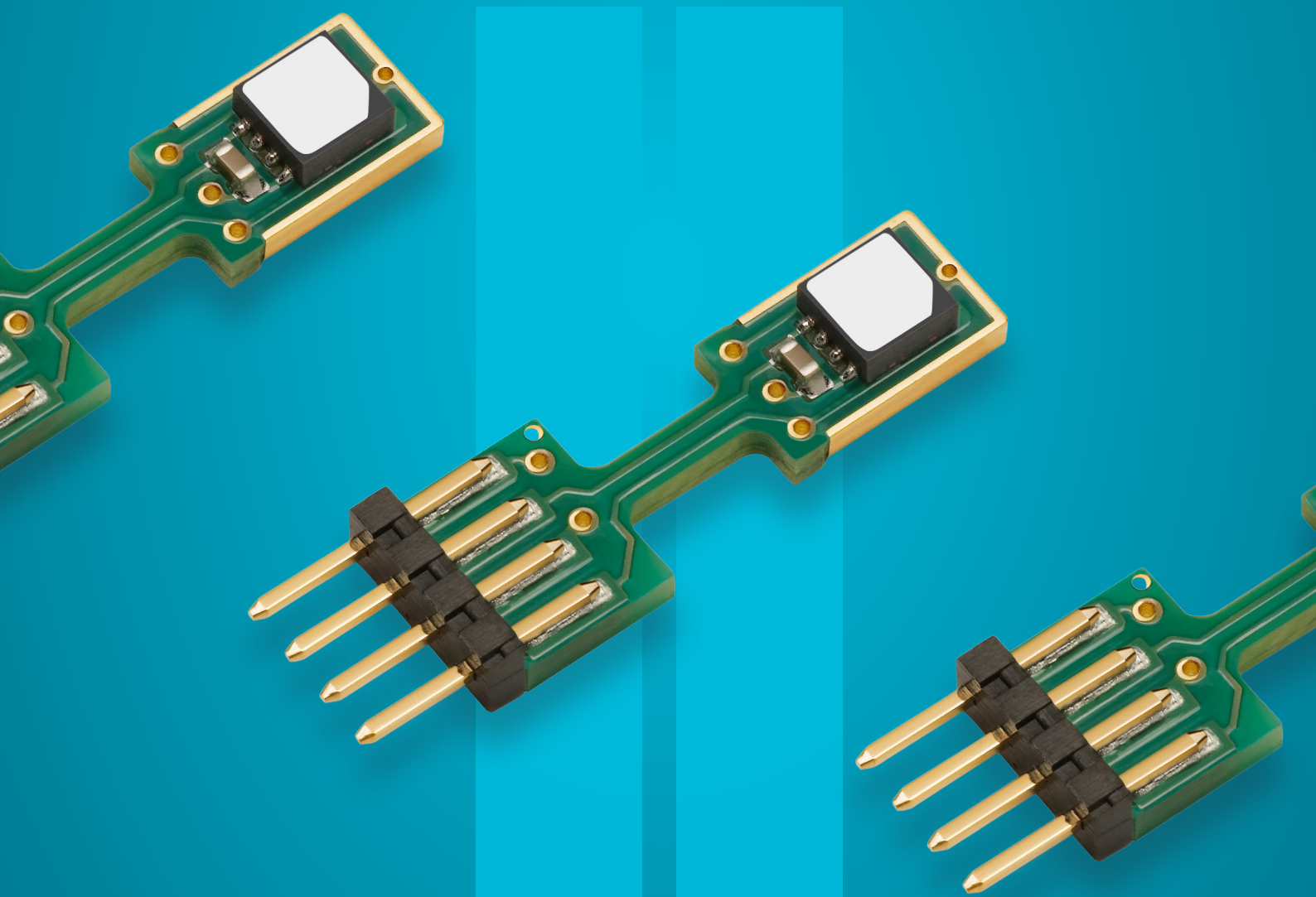


PRIEMYSELNÝ IOT

KLÚČOVÁ TECHNOLOGIA SPÍNAČOV –
AKO KOMUNIKUJÚ, NA ČO SLUŽIA

WHITE PAPER

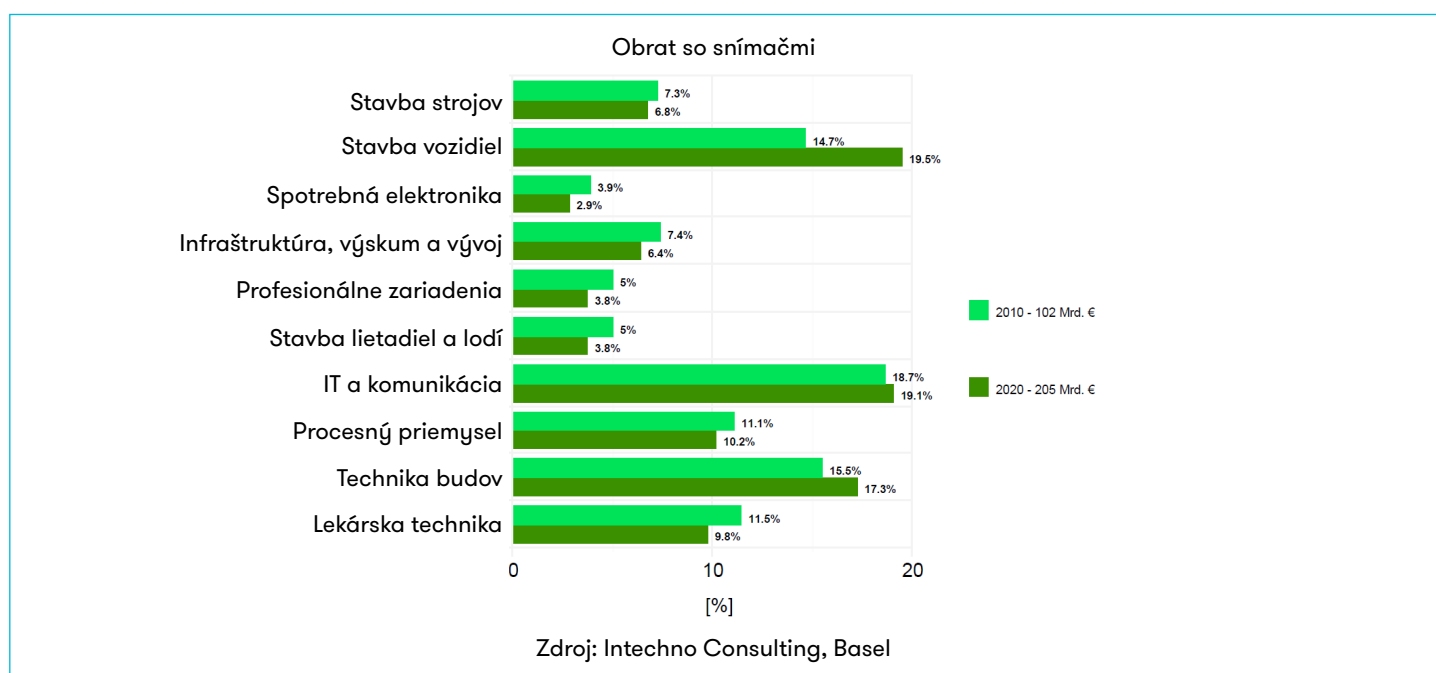


Kľúčová technológia spínačov – Ako komunikujú, na čo slúžia

Senzorika sa stala kľúčovou technológiou pre všetky oblasti života a hospodárstva. Dôležitým prvkom štvrtej priemyselnej revolúcie je komponentový IloT (Industrial Internet of Things). Centrálnymi komponentmi sú tu snímače a zodpovedajúce komunikačné techniky, ktoré umožňujú aj aplikácie mimo čistej výroby. Jadrom IloT je digitalizácia signálov snímačov a štandardizovaný „transport“ nespracovaných alebo vopred spracovaných údajov tam, kde sú potrebné. Dôležité „bašty snímačov“ sú aj naďalej automobilový priemysel, lekárska technika, automatizácia budov a segment spotrebičov. V oblasti automotive sú to predovšetkým asistenčné systémy vodiča, ktoré viedli k razantným inováciám v oblasti radarovej, ultrazvukovej, lidarovej a video senzoriky. V tomto príspevku preto ťažisko spočíva na témach Komunikácia snímačov v oblasti IloT a Použitie snímačov v automobile.

Snímače sa ponúkajú pre viac ako 100 merných veličín. Prognóza na rok 2020 je pre globálny objem trhu približne 200 miliárd US\$ (obrázok 1). Vývoj snímačov pritom čoraz viac smeruje k samostatným mikrosystémom, ktoré pozostávajú zo senzoriky a elektroniky na spracovanie údajov a komunikáciu. Tieto systémy sú zosieťované, sebestačné a inteligentné.

Jednou z veľkých výziev pre IloT je priebežná štandardizovaná komunikácia snímača, resp. akčného člena do cloudu. Ďalej si predstavíme technológie, ktoré sú na to dôležité – IO-Link a Jednopárový Ethernet. Následne si objasníme jednu z „najneprehľadnejších“ aplikácií senzoriky – prediktívnu údržbu.



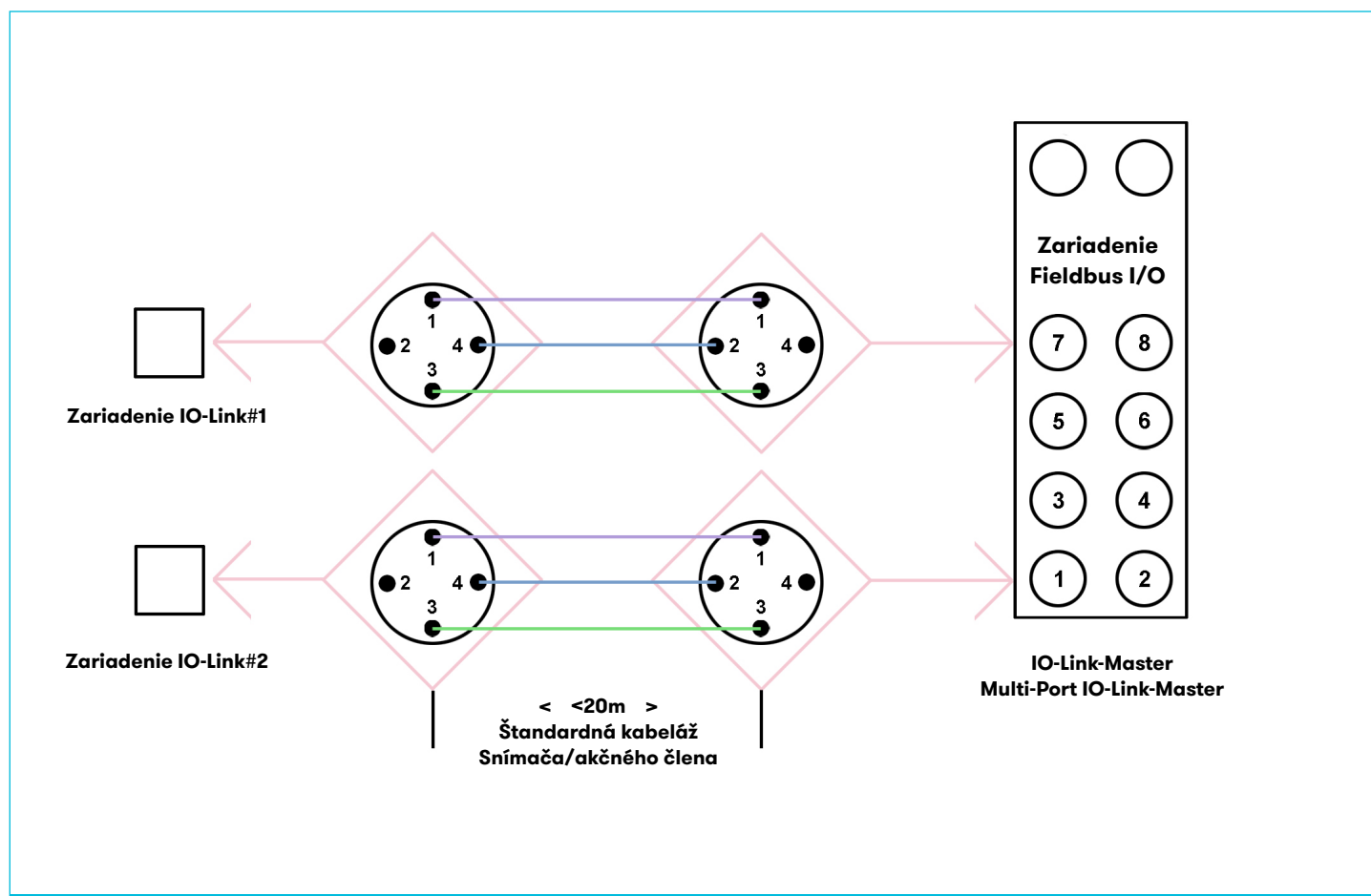
Obrázok 1. Prognóza na rok 2020 je pre globálny objem trhu približne 205 miliárd US\$ (Zdroj: Intecho Consulting Bazilej)

IO-Link: Otvorené, spätne kompatibilné rozhranie snímač/akčný člen

IO-Link je dvojbodové komunikačné spojenie (IEC 61131-9) so štandardizovanými konektormi, káblami a softvérovými protokolmi. Systém je koncipovaný tak, aby pracoval v rámci priemyselnej 3-vodičovej infraštruktúry snímača a akčného člena, a pozostáva z komponentov „IO-Link Master“ a „IO-Link Device“ (obrázok 2).

IO-Link zaznamenal v roku 2019 najväčší ročný nárast (40 %) a dosiahol rovnaké tempo rastu ako v predchádzajúcom roku. Celosvetovo predstavuje celkový počet inštalovaných zariadení IO-Link aktuálne viac ako 16 miliónov.

Dvojbodové spojenie medzi IO-Link-Master (Multi-Port-Controller alebo Gateway) a zariadeniami IO-Link (snímač alebo akčný člen) používa štandardný konektor (obvykle M12) a 3- alebo 4-žilový kábel s dĺžkou až 20 metrov (obrázok 2). Master môže mať niekoľko portov (obvykle štyri alebo osem). Každý port Master sa spojí s jediným zariadením IO-Link – to môže byť buď v režime SIO alebo pracovať s obojsmernou komunikáciou.



Obrázok 2. Väzba IO-Link Master/Device (Obrázok: channel-e)

Dva režimy komunikácie v ponuke

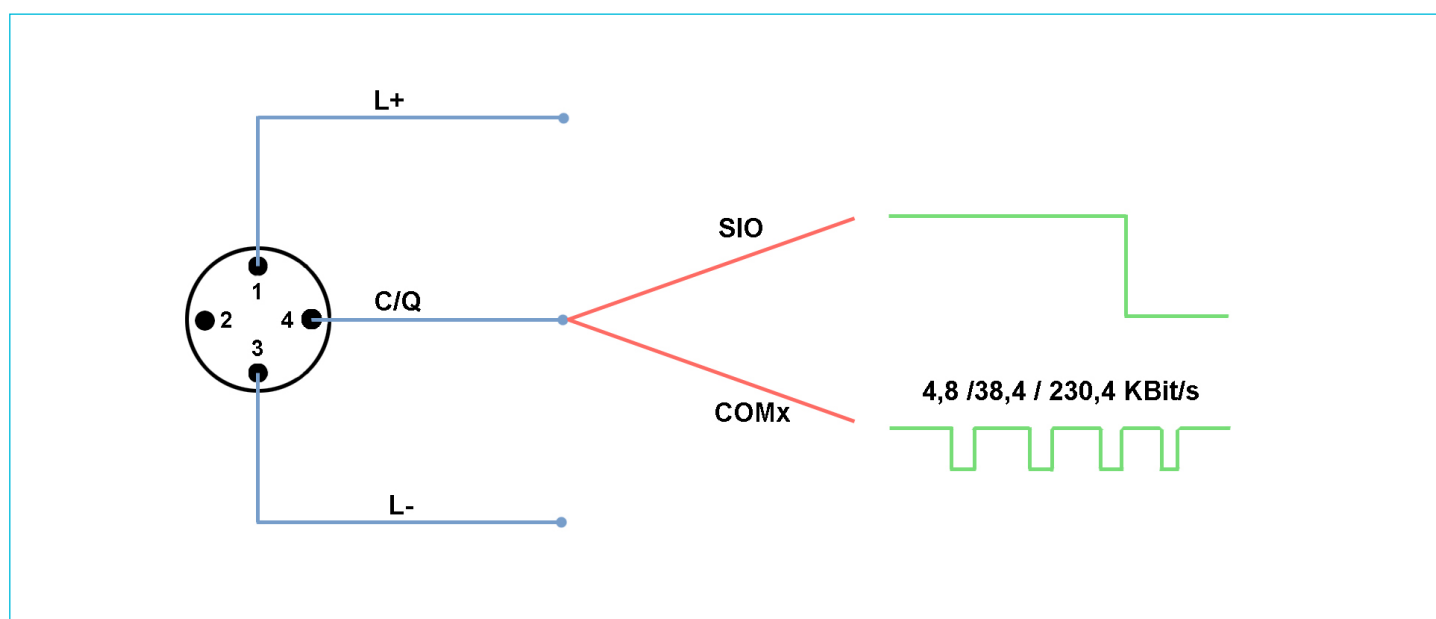
IO-Link je štandard pre komunikačné rozhrania Single Drop (SDCI, Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators), ktoré bolo štandardizované ako IEC-61131-9, pričom je zaistená kompatibilita nadol s binárnymi snímačmi – ako je to stanovené v IEC 60974-5-2 (obrázok 3 a tabuľka 1). Snímače IO-Link majú vlastnosti binárnych snímačov, bola však pridaná obojstranná komunikácia. IO-Link-Master môžu byť spojené s oboma variantmi binárnych a IO-Link snímačov, aby sa IO-Link dal jednoducho pridať do existujúceho systému.

Štandard IO-Link uvádza, že komunikácia musí prebiehať po dĺžke vedenia 20 metrov s netieneným káblom s priemyselnými štandardnými konektormi. Najčastejšie sa používajú konektory M8 a M12. Komunikácia prebieha dvojbodovo a vyžaduje si 3-vodičové rozhranie (L +, C/Q a L-). Komunikácia medzi zariadeniami Master a Slave sa realizuje poloduplexne s tromi prenosovými rýchlosťami: COM1 4800 Baud, COM2 38,4 kBaud, COM3 230,4 kBaud.

Rozsah napájacieho napätia v systéme IO-Link je 20 V až 30 V pre Master a 18 V až 30 V pre zariadenie (snímač alebo akčný člen).

Zariadenie IO-Link musí fungovať v rámci 300 ms po prekročení L+ 18 V. Obidva režimy komunikácie sú štandardné vstupy/výstupy (SIO) a SDCI (Single-Drop Communication Interface). V režime SIO zaručujú kompatibilitu nadol existujúce snímače v teréne, ktoré na signalizáciu ZAP/VYP na IO-Link Master používajú 0 V alebo 24 V. V režime IO-Link je komunikácia jednou z troch dátových rýchlostí obojsmerná. Zariadenie IO-Link podporuje iba jednu dátovú rýchlosť, zatiaľ čo IO-Link-Master musí zvládnuť všetky tri dátové rýchlosti. Komunikácia prebieha s 24 V impulzmi pri použití NRZ (nonreturn-to-zero) na vedení C/Q, pričom medzi CQ a L- je logická 0 24V a medzi CQ a L+ je logická 1 0V.

V režime IO-Link sa môže pin 2 nachádzať v režime DI ako digitálny vstup alebo digitálny výstup, alebo nie je spojený (NC).



Obrázok 3. Definície pinu IO-Link. (Obrázok: channel-e)

Pin	Signál	Označenie	Štandard
1	L+	24V	IEC 61131-2
2	I/Q	Nepripojený, DI alebo DO	IEC 61131-2
3	L-	0V	IEC 61131-2
4	Q	Spínací signál (SIO)	IEC 61131-2
	C	Kódované spínanie (COM1, COM2, COM3)	IEC 61131-9

Tabuľka 1. Definície pinu IO-Link

Ťahák - IO-Link IODD

Všetky zariadenia IO-Link (snímače alebo akčné členy) musia poskytnúť popisný súbor zariadenia IO-Link (IODD). IO-Link-Master ho používa na identifikáciu, interpretáciu údajov a konfiguráciu.

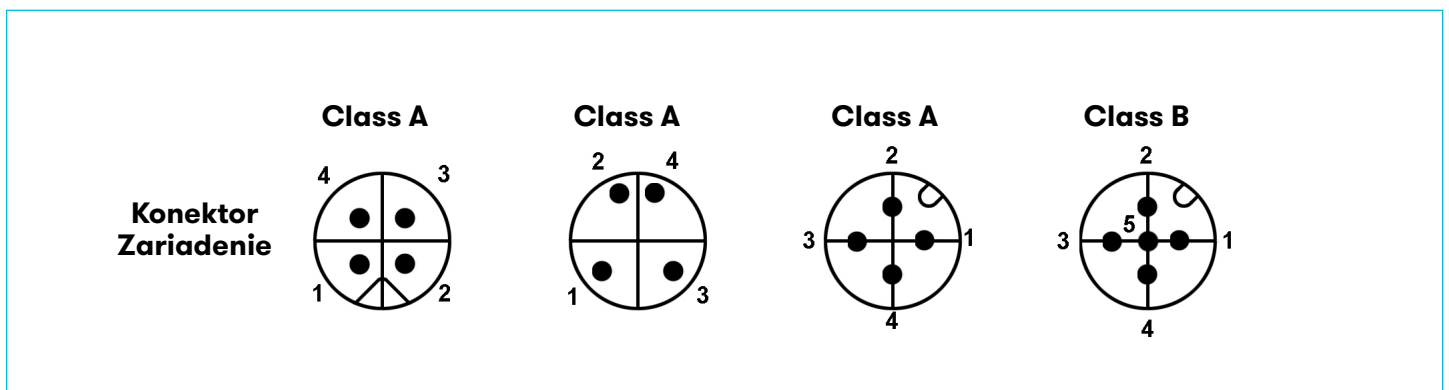
Súbor IODD obsahuje:

- všetky potrebné informácie na nadviazanie komunikácie,
- parametre zariadenia,
- identifikačné informácie,
- procesné a diagnostické informácie,
- obrázok zariadenia a logo výrobcu.

Súbory IODD sú súbory XML, ktorých štruktúra je opísaná v samostatnom oddiele normy IEC 61131-9. Konzorcium IO-Link prevádzkuje na svojom webovom serveri (www.io-link.com) centrálnu databázu dodávateľov so súbormi IODD.

Konektory

Štandardizované konektory a káble sa používajú, ako je to definované v norme IEC 61131-9. Konektory Port-Class A majú 4-vodičové prípojky (maximálne) na podporu 3-vodičového spojovacieho systému (L+, L-, C/Q) so štvrtou prípojkou, ktorá sa môže používať ako prídavné signálne vedenie (DI alebo DO). Konektory Port-Class B majú 5-vodičové prípojky pre zariadenia, ktoré potrebujú prídavné napájanie prúdom (obrázok 4).

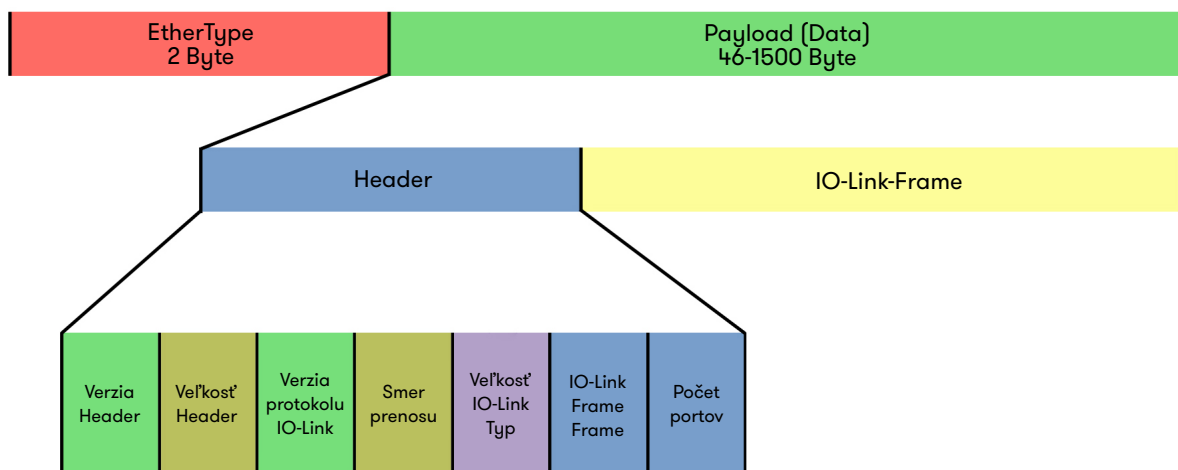


Obrázok 4. Konektory IO-Link. Varianty M12 sú A-kódované. (Obrázok: channel-e)

Príprava IO-Link na jednopárový Ethernet

IO-Link bolo vyvinuté ako priemyselné komunikačné rozhranie pre prevádzkové prístroje, snímače a akčné členy. Rozhranie ponúka tri rôzne prenosové rýchlosti a jednu maximálnu dĺžku kábla 20 m. Celkovo vzaté, dve hlavné výhody tejto komunikačnej technológie sú jednoduchá integrácia do automatizačných systémov, ako aj vysoký stupeň štandardizácie spoločných funkcií a popis koncového zariadenia.

V koncepcnej štúdii: „Extension of IO-Link for Single Pair Ethernet transmission“ sa pre IO-Link navrhuje zaviesť EtherType. EtherType už existujú napríklad pre ProfiNet alebo EtherCat. Ide o pole v Ethernet Frame, ktoré sa používa na zobrazenie použitého protokolu v „užitočnom zaťažení“ rámu. Podľa štúdie sa dá tento postup realizovať s veľmi nízkymi nákladmi na hardvér a softvér.



Obrázok 5. Definície pinu IO-Link. (Obrázok: channel-e)

Megatrend jednopárový Ethernet

Jednopárový Ethernet (SPE) je považovaný za jeden z megatrendov priemyselného prenosu dát a za „prvok umožňujúci“ IIoT a Priemysel 4.0. Táto technológia umožňuje, aby sa „priemyselný internet vecí“ stal realitou. Každý snímač alebo akčný člen je dostupný cez internetový protokol a svoje dáta môže bez prekážok prenášať do cloudu alebo prijímať z cloudu.

Úroveň riadenia a poľa je v automatizačnej technike charakteristická silne fragmentovanými infraštruktúrami zberníc fieldbus. Z toho vyplývajúce dátové ostrovy si vyžadujú komplexné brány, ktoré skomplikujú prístup k dátam prístrojov v teréne. Vynechaním týchto brán by sa mohli výrazne znížiť náklady na tieto inštalácie a ich komplexnosť, a mohli by sa odstrániť dátové ostrovy, ktoré vytvárajú (tabuľka 2).

Zbernica fieldbus	Dátová rýchlosť	Dĺžka kábla
Profibus DP	9,6 kb/s až 12 Mb/s	100 m až 1200 m
Profibus PA	31,25 kb/s	1900 m
CANopen	62,5 kb/s až 1 Mb/s	30m až 1000m
DeviceNet	125 kb/s až 500 kb/s	100 m až 500m
Rozhranie AS	167 kb/s	100m
CC-Link	10 Mb/s	100m
IO-Link	230 kb/s	20m

Tabuľka 2. Bežné technológie zberníc fieldbus (zdroj: Belden)

Prístupom na odstránenie tejto fragmentácie je ďalšie vedenie siete Ethernet z riadiacej úrovne až do prevádzkovej úrovne. Tento prístup však sťažilo obmedzenie dĺžky vedenia na maximálne 100 m, použitie minimálne dvoch párov žíl a menej použiteľných konektorov.

Dátové rýchlosti a dĺžky vedení v norme

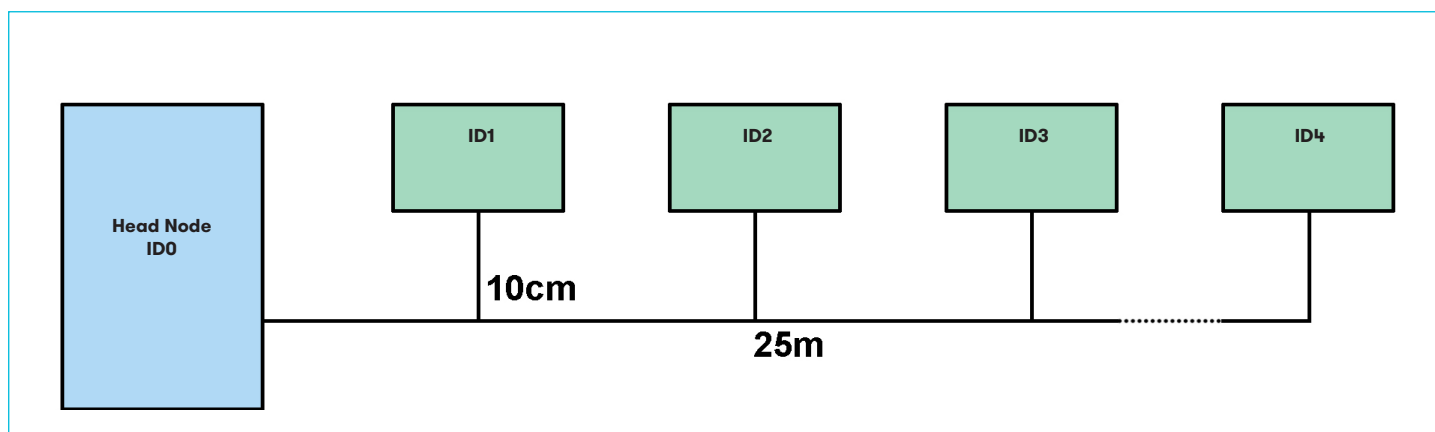
Jednopárový Ethernet teraz umožňuje prenášať dáta cez dvojžilový medený kábel rýchlosťami 10 Mb/s, 100 Mb/s a 1 Gb/s, ako aj súčasne napájať koncové zariadenia prúdom cez Power over Data Line (PoDL). Dátové rýchlosti a dĺžky vedení jednotlivo:

- 10 MB/s (duplexne) do 1000 m, prenos so šírkou pásma 20 MHz (10Base-T1L),
- 10 MB/s (poloduplexne) do 40 m, prenos so šírkou pásma 20 MHz (10Base-T1S),
- 100 MB/s (duplexne) do 15 m, prenos so šírkou pásma 66 MHz (100Base-T1),
- 1000 MB/s (duplexne) do 40 m, prenos so šírkou pásma 600 MHz (1000Base-T1).

10Base-T1L je (opatrené príponou L) verzia „s veľkým dosahom“ štandardizovaného variantu Single-Pair Ethernet v dokumente IEEE 802.3cg pre dĺžku kábla 1000 m. 10Base-T1L pracuje plne duplexne – to znamená, že vysielané a prijímané signály sa prenášajú súčasne cez jeden pár žíl. Prostredníctvom kompenzácie ozveny môže stanica odstrániť vlastný vysielaný signál z celkového signálu a izolovať prijímaný signál. 10Base-T1L používa kábel Twisted Pair so šírkou pásma 20 MHz a vlnovým odporom 100 Ω.

Dodatočné opatrenia pre aplikácie v procesnom priemysle ponúka Ethernet APL (Advanced Physical Layer). Je založený na 10BASE-T1L podľa IEEE 802.3cg. Konštrukcia môže pozostávať z „diaľkového spojovacieho“ kábla (káblový zväzok) s dĺžkou maximálne 1000 m medzi prevádzkovými spínačmi v oblastiach ohrozených výbuchom zóny 1 a maximálne 200 m medzi prevádzkovým spínačom a prevádzkovým zariadením v zóne 0. Ethernet APL obsahuje rozšírenia, ktoré sú špeciálne upravené na požiadavky procesného priemyslu – ako vlastná bezpečnosť (IEC TS 60079-47) a profily portov pre optimálne napájanie prevádzkových prístrojov prúdom.

10Base-T1S je (opatrené príponou S) je verzia „s veľkým dosahom“ štandardizovaného variantu Single-Pair Ethernet v dokumente IEEE 802.3cg. 10BaseT1S pracuje poloduplexne a môže sa prevádzkovať tak v technológii Point-to-Point, ako aj Multidrop (obrázok 6). Technológia Multidrop je definovaná ako dĺžka zbernice 25 m s 10 cm dolad'ovacími vedeniami. Táto technológia sa nezaobíde bez spínača, pretože sa používa arbitrážna schéma PLCA (Physical Layer Collision Avoidance), ktorá zaisťuje, aby nedošlo k dátovým kolíziám. Norma počíta najmenej s ôsmimi dolad'ovacími vedeniami, môže byť ich však oveľa viac.



Obrázok 6. 10Base-T1S pracuje poloduplexne a môže sa prevádzkovať v technológii Multidrop, ktorá definuje dĺžku zbernice 25 m s 10 cm dolad'ovacími vedeniami. (Obrázok: channel-e)

10Base-T1S je topológia, ktorá je zaujímavá pre oblasti automotive, priemysel a automatizačné aplikácie budov kvôli integrácii mnohých účastníkov siete v úzkom priestore. Vystačí si aj bez spínačov a na implementáciu potrebuje malé mikrokontroléry a relatívne nekomplikované PHY.

Štruktúra siete 10Base-T1S je veľmi jednoduchá: Všetci účastníci „visia“ na drôte, pričom jeden z účastníkov, ktorý je aj účastníkom komunikácie na zbernici, je definovaný ako Head Node s ID 0, všetci ostatní sa potom priebežne očisľujú. Head Node má za úlohu zabrániť dátovým kolíziám na zbernici – to znamená organizovať arbitráž cez PLCA. Za týmto účelom vyšle tzv. beacon, od tohto momentu „bežia hodiny“. Otvorí sa časové okno spravidla 25 μ s (dá sa však voľne nastaviť) pre prvého účastníka (samotný Head Node). V rámci tohto okna smie uzol začať „hovoriť“ (transmit opportunity). Ak nechá časový interval uplynúť, ďalší účastník dostane svojich 25 μ s až po posledný uzol.

Potom sa všetko začne od začiatku, Head Node vyšle beacon a časové okná prebehnú od uzla 0 po uzol N. Ak účastník využije svoje vysielacie právo v priebehu 25 μ s, môže Ethernet Frame uložiť na zbernicu. Keďže účastníci zbernice majú rôzne „potreby účasti“, pre takúto sieť Multidrop nie je možné uviesť pevný čas cyklu. Zvlášť keď sa cyklus ešte môže časovo ďalej zmeniť pravidlami výnimky. Účastníkovi zbernice s pomalou MCU tak prináleží vyslať signál Idle, ktorý mu umožňuje predĺžiť časové okno (tu 25 μ s). Obzvlášť dôležitým uzlom môže prináležať uložiť viac ako jeden Frame na zbernicu.

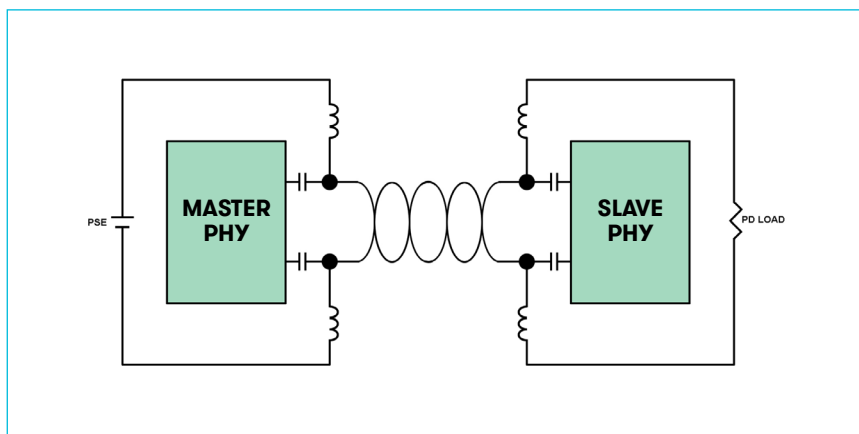
100Base-T1 je štandardizovaný v norme IEEE 802.3bw. Ide o variant Single-Pair Ethernet pre dĺžku kábla 40 m a prenosovú rýchlosť 100 MB/s. 100Base-T1 pracuje plne duplexne a používa kábel Twisted Pair so šírkou pásma 66 MHz a vlnovým odporom 100 Ω .

1000Base-T1 je štandardizovaný v norme IEEE 802.3bp. Ide o variant Single-Pair Ethernet pre dĺžku kábla 15 m až 40 m (v závislosti od tienia) a prenáša dáta rýchlosťou 1 GB/s. 1000Base-T1 pracuje plne duplexne a používa kábel Twisted Pair so šírkou pásma 600 MHz a vlnovým odporom 100 Ω .

MultiGigBase-T1, ktorý je stanovený v norme 802.3ch, je ešte vo fáze štandardizácie. Má povoľovať jednopárový Ethernet s 2,5; 5 a 10 GB/s a preklenuteľné vzdialenosti až do 15 m.

PoDL – Dáta a prúd na jednom vedení

Jednou z hlavných schopností jednopárového Ethernetu je súčasný prenos dát a napájanie prúdom cez pár vedení – Power over Dataline (PoDL). V norme IEEE 802.3bu: „Physical Layer and Management Parameters for Power over Data Lines (PoDL) of Single Balanced Twisted-Pair Ethernet“ je obdobne k Power over Ethernet (PoE) stanovené poskytnutie diaľkového napájania cez jednopárová ethernetové kanály (obrázok 7).



Obrázok 7. Súčasný prenos dát a napájanie prúdom cez pár vedení. (Obrázok: channel-e)

Ciele a zadania pre prevádzku PoDL sú okrem iného:

- Povolit' prevádzku napájaného zariadenia, aj keď nie sú k dispozícii žiadne dáta.
- Podpora úrovní napätia a prúdu pre automobilový, dopravný a automatizačný priemysel.
- Podpora prevádzky s rýchlym rozbehom s predvolenými konfiguráciami napätia/prúdu a optimálnej prevádzky s konfiguráciou napätia/prúdu doby chodu.

Prostredníctvom PoDL je možné elektrickú energiu prenášať v 10 triedach napätia/prúdu s výkonmi medzi 0,5 W a 50 W (výkon spotrebiča, napájací výkon= 63,3 W). Maximálny prúd je 1,6 A (tabuľka 3). Na rozšírení o 5 prídavných tried sa pracuje (tabuľka 4).

Na tento druh napájania napätím sú potrebné dvojžilové vedenia s káblami podľa IEC 61156. Káble STP kategórie 7 nie sú vhodné.

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

Tabuľka 3. Triedy PoDL (PD= Powered Device)

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

Tabuľka 4. Prídavné triedy PoDL (PD= Powered Device)

PoDL ponúka tak spoľahlivé funkcie ochrany pred chybami a rozpoznania na identifikáciu zariadení, ako aj priamu komunikáciu so zariadeniami, aby bolo zaručené bezchybné a bezpečné napájanie napätím.

Na zistenie potrebnej triedy napájania sa používa prídavný komunikačný protokol: SCCP (Serial Communication Classification Protocol). Cez tento protokol jednájú PSD (Power Sourcing Equipment) a PD (Powered Device) o potrebe napájania PD. Prítomnosť spotrebiča zisťuje PSD tým, že vykoná overenie signatúry na prítomnosť 3 V Zenerovej diódy na vstupe PD.

Ako maximálny výkon diaľkového napájania pri štandarde PoE IEEE 802.3bt platí pre zariadenia NEC triedy 2 hodnota 100 W. Aj budúce rozšírenia PoDL tak pravdepodobne zostanú pod 100 W a pre 24 V napájacie napätie používané v priemyselnej automatizácii vyplýva zaokrúhlene maximálny špičkový prúd 4 A.

Pohľad do budúcnosti: prediktívna údržba



Obrázok 8: Realizácia monitorovania stavu, napr. hydraulického zariadenia, si v prvom rade vyžaduje ďalšie prepojenie snímačov a komponentov. (Obrázok: Analog Devices)

Priemysel 4.0 ako trend oblasti priemyselnej výroby predstavuje zmenu paradigmy, ktorá sa snaží najmä o optimálne vyťaženie výrobných zdrojov. Na realizáciu takýchto samoorganizačných procesov musia byť jasne definované nielen požiadavky zvonku, napr. čo sa má kedy a ako často robiť, ale aj disponibilita výrobných zdrojov a procesov. Pokiaľ musí byť – ideálne v priebehu niekoľkých mesiacov – vopred známe, ktoré údržbárske práce sú potrebné na stroji, resp. procese, aby bolo možné bezpečne naplánovať disponibilitu.

Mysliteľné sú aj ďalšie možnosti: Ak už stroj nie je vo svojom optimálnom stave, napr. obrábací stroj už nedosahuje najvyššiu presnosť, tak sa napriek tomu môže zaplávať na iné práce, keď na to dosahovaná presnosť ešte postačuje. V jadre teda stojí monitorovanie stavu každého jednotlivého stroja, resp. každého jednotlivého procesu, aby sa na základe znalosti tohto aktuálneho stavu mohlo optimálne a flexibilne naplánovať nasadenie a údržba. Realizácia monitorovania stavu, napr. hydraulického zariadenia, si v prvom rade vyžaduje ďalšie prepojenie snímačov a komponentov, resp. čiastočnému procesu, a poskytnutie údajov zhromaždených v celkovom procese pre všetky komponenty a podsystémy. To si vyžaduje predovšetkým digitalizáciu senzoriky, pričom okrem čistých nameraných údajov sa musia na požiadanie poskytnúť aj metaúdaje, resp. ďalšie charakteristiky.

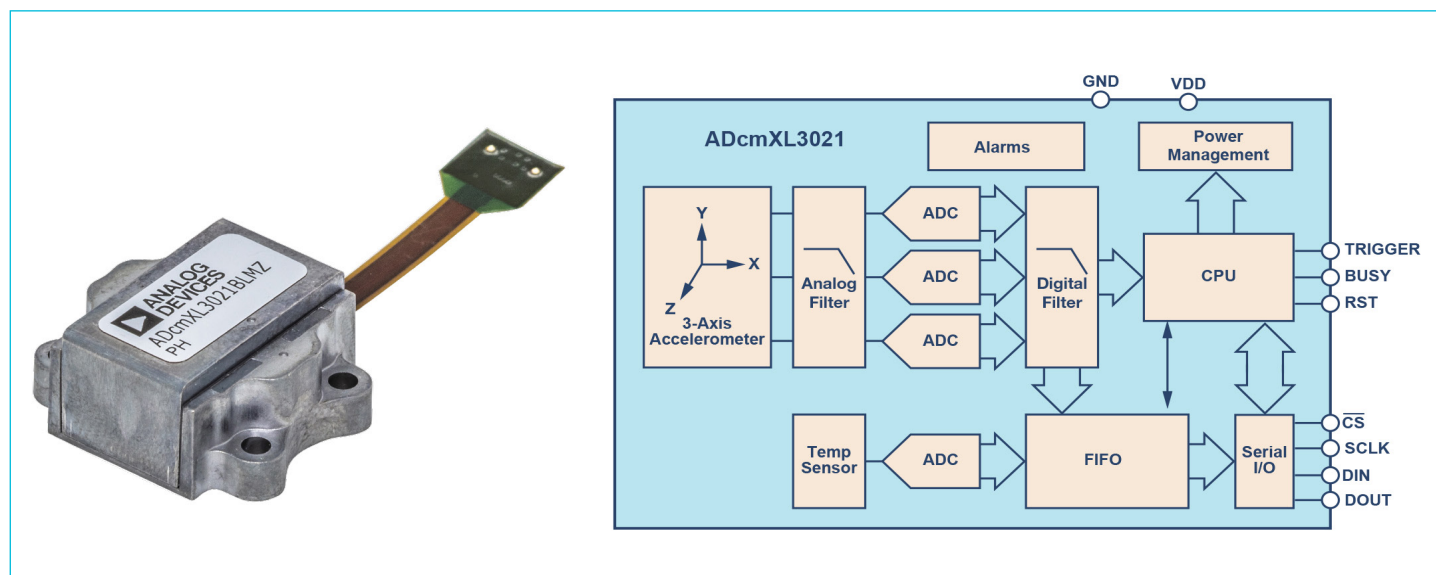
	Výrobné a inštalačné náklady	Prevádzkové náklady	Náklady v dôsledku neplánovaných prestojov
Korektívna údržba			€€€€€€€€€€ Neplánované prerušenia výroby
Preventívna údržba		€€ Zásah na mieste podľa plánu/ systematická výmena dielov podliehajúcich opotrebovaniu	€€€€ Keďže sa žiadne monitorovania stroja nevykonáva v reálnom čase, dochádza k neplánovaným prerušeniam výroby
Prediktívna údržba	€€ Inštalácia špeciálnych zariadení (snímače vibrácií atď.)	€ Znalosť stavu stroja, monitorovanie špeciálnym softvérom alebo pomocou KI	€ Vďaka monitorovaniu stroja V reálnom čase sa dajú prerušenia výroby dokonale naplánovať

Tabuľka 5. Prediktívnou údržbou sa dajú minimalizovať celkové náklady.

Na stanovenie správneho okamihu pre spustenie procesu údržby sa používajú parametre ako vibrácie, hluk a teplota. Okrem merateľných fyzikálnych veličín prináša meranie spektra kmitov väčšinu informácie prostredníctvom pôvodu problému v rotujúcom stroji (motor, generátor atď.). Abnormálne vibrácie môžu byť príznakom chybného guľkového ložiska alebo nevyváženosťi osi. Každý takýto problém sa prejavuje určitým symptómom, ako napr. zdroje vibrácií v rotujúcich strojoch.

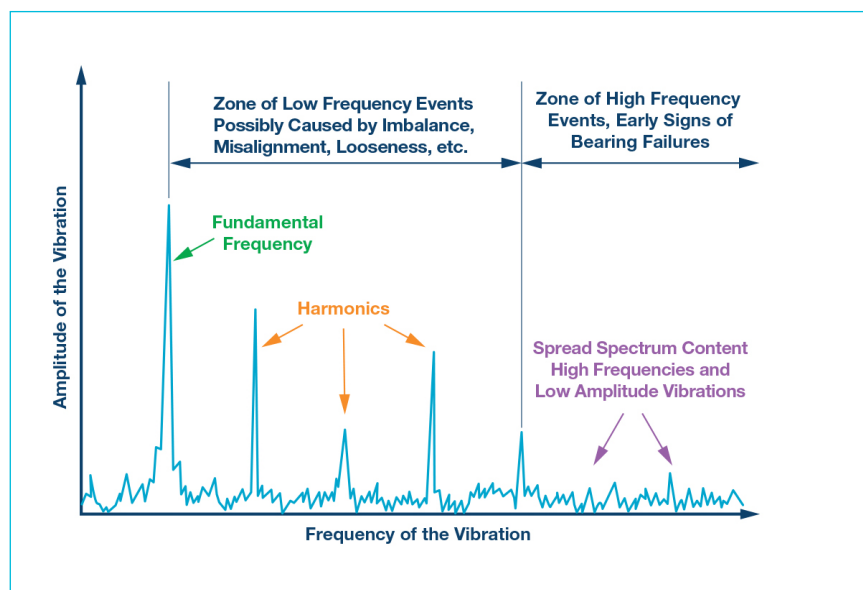
Meranie kmitania snímačmi zrýchlenia

Merania kmitania sa môžu vykonávať snímačom zrýchlenia, ktorý sa nachádza v blízkosti monitorovaného prvku. Tento snímač môže byť piezoelektrického typu alebo – ešte lepšie – typu MEMS, ktorý pri nízkych frekvenciách ponúka lepšiu odozvu a navyše je aj malý (obrázok 9).



Obrázok 9. Modul ADcmXL3021 ponúka predpoklady senzorky pre prediktívnu údržbu (obrázok: Analog Devices)

V prípade chybného guľkového ložiska dôjde každý raz, keď sa guľka dostane do kontaktu s trhlinou alebo nejakým defektom vnútorného alebo vonkajšieho krúžku, k nárazu, ktorý spôsobí vibrácie alebo ľahký posun osi otáčania. Frekvencia týchto nárazov závisí od otáčok, ako aj počtu a priemeru guľiek.



Obrázok 10. Spektrálna signatúra závisí od druhu problému. Prvé príznaky pre výpadok ložiska sa musia zistiť pri vysokých frekvenciách. (Obrázok: Analog Devices)

To však nie je všetko. Len čo dôjde k nárazu, vyššie spomenuté nárazy niekedy vytvoria početnú vlnu – rázovú vlnu – ktorá sa prejaví výskytom spektrálnych zložiek s nízkou hladinou a relatívne vysokými frekvenciami, často nad 5 KHz a vždy oveľa vyššími ako základná rotačná frekvencia.

Ak sa defekt zhorší, hladina nízkofrekvenčných zložiek stúpne. V pokročilom štádiu môže úroveň vibrácií nasnímať snímač zrýchlenia vstupnej triedy. V tomto okamihu sa však výpadok bezprostredne blíži a údržbový tím má už len málo času na reakciu. Aby neboli prevapení, je preto dôležité rozpoznať príznaky anomálie pomocou bezšumového snímača zrýchlenia s vysokou šírkou pásma.

Zdroje kmitania v rotujúcich strojoch

Jedným z problémov, ktorý sa často vyskytuje pri rotujúcom stroji, je zlyhanie guľkového ložiska. Spektrálna analýza údajov akcelerometra v blízkosti ložiska ukazuje rad charakteristík, amplitúd a frekvencií, ktoré závisia od otáčok a príčiny defektu.

Charakteristické frekvencie systému, ktoré možno zmieniť, zahŕňajú:

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

Frekvenciu vo vzťahu k chybe na vonkajšom krúžku (pevne):

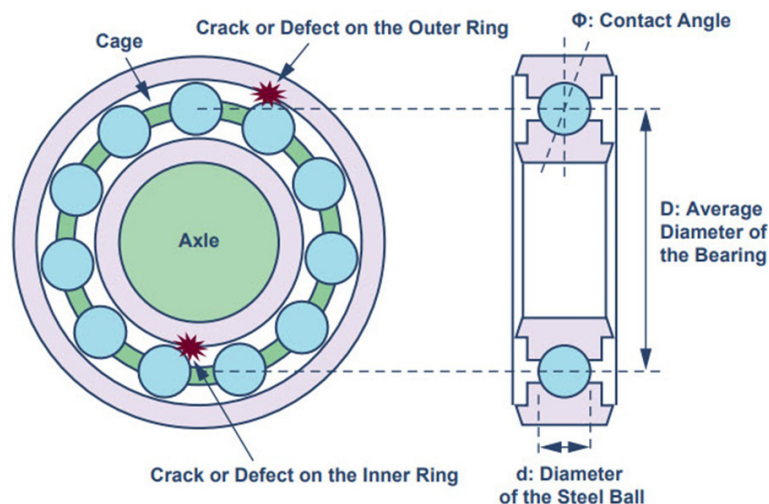
$$f_{ext} = N \times f_{cage}$$

Frekvenciu vo vzťahu k chybe na vnútornom krúžku (os)

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

Okrem týchto vlastností frekvencie spôsobí rázová vlna, ktorú vytvorí guľka gúľajúca sa po defekte (trhlina, odlupovanie atď.), kmitanie s vysokou frekvenciou (>5 kHz), ktoré môže byť niekedy počuteľné.

1. N: Počet guľiek
2. Φ : Kontaktný uhol
3. f_{axle} : Frekvencia otáčania osi
4. d: Priemer guľky
5. D: Priemerný priemer ložiska



Obrázok 11: Defekt guľkového ložiska (obrázok: Analog Devices)



Existuje niekoľko techník na analýzu kmitania. Okrem digitálnej filtrácie na prekonanie parazitných kmitaní, ktoré spôsobuje samotný proces alebo iné komponenty stroja, je možné často použiť matematické nástroje, ako napríklad tie, ktoré obsahuje ADcmXL3021 (výpočet priemeru, štandardnej odchýlky, činiteľa výkyvu, excesu atď.). Analýza sa môže vykonať v časovom rozsahu, ale väčšinu informácií o anomálii a jej pôvode prináša frekvenčná analýza. Siahnuť môžete aj po výpočte cepstra, ktorý sa niekedy pojme do spektra signálneho spektra (inverzná Fourierova transformácia, ktorá sa aplikuje na logaritmus Fourierovej transformácie signálu). Nezávisle od použitej analytickej metódy spočíva problém v stanovení optimálneho prahu alarmu, aby sa proces údržby nerealizoval ani príliš skoro ani príliš neskoro.

Alternatíva k bežnej konfigurácii prahov alarmu spočíva v zavedení umelej inteligencie do procesu rozpoznania chyby. Počas fázy strojového učenia sa používajú cloudové zdroje na vytvorenie reprezentatívnych modelov stroja (na základe údajov zo snímača vibrácií). Hneď po vytvorení modelov si ich môžete stiahnuť na lokálny procesor. Použitie vloženého softvéru umožňuje identifikáciu v reálnom čase nielen prebiehajúcich udalostí, ale aj dočasných udalostí – tým sa dajú rozpoznať anomálie.

Na razantnej jazde – snímače v automobile

Počet snímačov vo vozidle sa neustále zvyšuje a súčasne stúpa ich výkonnosť. Spotreba prúdu sa priebežne minimalizuje a čoraz viac sa využívajú inteligentné funkcie spracovania. Údaje snímača získané z rôznych konštrukčných dielov sa dajú redundantne a kombinovane využiť prostredníctvom fúzie snímačov a sú dôležitým predpokladom pre zosieťovanie aj mimo vozidla (V2X).

V sektore automobilov podporujú snímače, okrem iného, segmenty ako riadenie motora, regulácia výfukových plynov, funkcie podvozka a klimatizácia, funkcie pre autonómnú jazdu, asistenčné funkcie, E-mobilita, rozpoznanie operátora (napr. ovládanie gestami), aktívnu a pasívnu bezpečnosť, ako aj všeobecné funkcie karosérie. Snímače snímajú a monitorujú elektrické, magnetické, mechanické, elektromagnetické, tepelné a chemické procesy vo vozidle a poskytujú informácie na displeji alebo na ďalšie spracovanie v elektronickej forme.

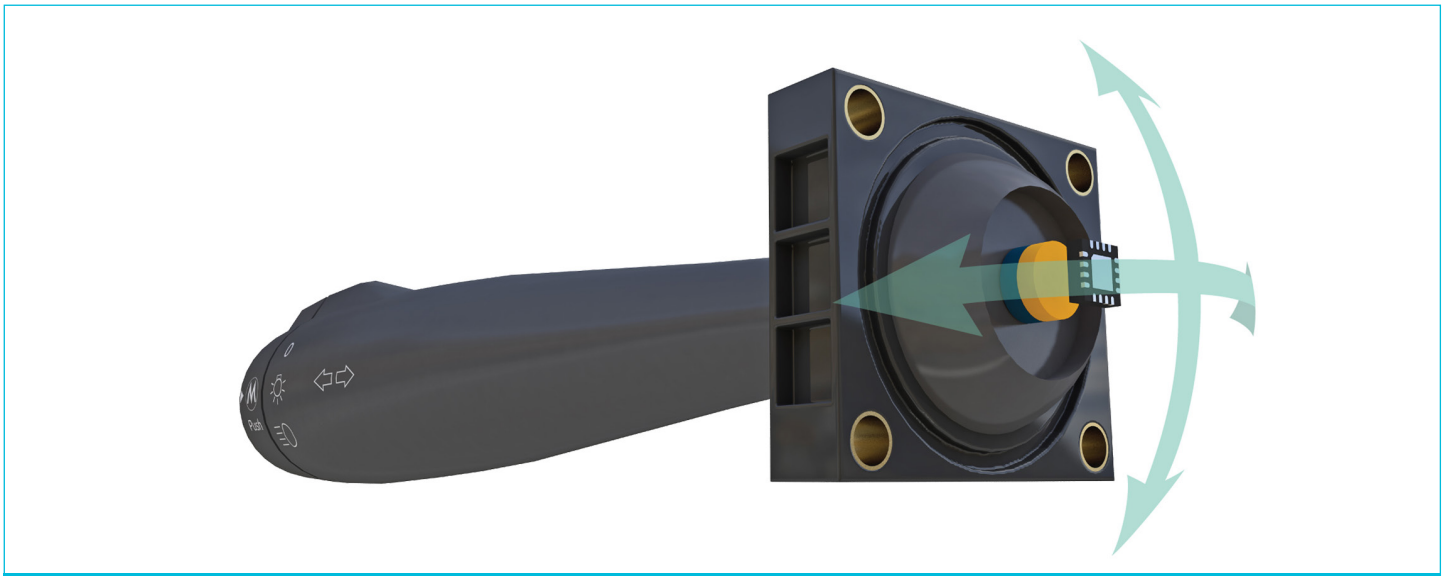
Vo vývoji je koncept áut bez vodiča (autonómna jazda). Na to je okrem zosieťovanej infraštruktúry nutné množstvo údajov v reálnom čase zo snímačov rýchlosti, zrýchlenia, polohy a priblíženia. Snímače dodávajú údaje, ktoré sa zhromažďujú, vyhodnocujú, zlučujú (fúzia snímačov) a spracúvajú. Ako výsledok sa vozidlo v najlepšom prípade riadi bez zásahu vodiča. Na ceste k tomu pracujú snímače už dnes v asistenčných systémoch vodiča a starajú sa o bezpečnosť a pohodlie. Podporuje to aj koncept prediktívnej údržby.

Snímače sa používajú v samotnom vozidle a v infraštruktúre vozidla. Približne 2/3 snímačov sa tak stará o hnacie ústrojenstvo a riadenie motora. Za týmto účelom snímajú zmeny hmotnosti, teploty, vibrácií, hmotnostného prúdu, rýchlosti objemového prúdu, krútiaceho momentu, polohy ventilov a otočného pohybu, a postupujú tieto údaje do riadiacich jednotiek.

Vybrané snímače pre stabilitu jazdy a bezpečnosť:

- snímače tlaku,
- snímače otáčok a rýchlosti (napr. Hallove snímače),
- snímače polohy (snímače uhla natočenia volantu),
- snímače zrýchlenia,
- snímače teploty,
- snímače plynu,
- prietokomery,
- snímače sily,
- snímače obrazu,
- IMU (Inertial Measurement Unit) – pozostávajú zo snímačov zrýchlenia a gyroskopov.

Snímače zrýchlenia, snímače rýchlosti otáčania a snímače tlaku pre riadenie motora, gyroskopy, jednotky IMU a iné sú k dispozícii napríklad ako snímače MEMS (mikro-elektro-mechanický systém). Obsahujú aj umelú inteligenciu a môžu sa napríklad naučiť individuálne osobné gestá. Podľa firmy Bosch sa v súčasných automobiloch nachádza až 50 snímačov MEMS. Úlohy prevezmú aj v technických novinkách ako drony a lietajúce taxíky.



Obrázok 12. 3D Hallov snímač MLX90395 pre oblasť automotive (Triaxis Magnetometer Node) od firmy Melexis využíva Hallov jav, aby umožnil bezkontaktné trojrozmerné snímanie. Verzia Dual-Die sa pritom stará napríklad o redundanciu pri snímaní polohy radiacej páky vo vozidlách. [Obrázok: tlačový obrázok Melexis]

Bezpečnostní technici pre snímanie prostredia

Čoraz viac snímačov sa používa pre asistenčné systémy vodiča. Viaceré typy snímačov sa pritom používajú redundantne. Čiastočne alebo plne autonómne systémy musia rozpoznať prostredie a určiť svoju polohu. Pomáhajú im pri tom ultrazvukové snímače (rozpoznajú prekážky na krátku vzdialenosť), radarové snímače (detegujú polohu a rýchlosť objektov na väčšiu vzdialenosť). Lidarové snímače prinášajú 3D obraz a kamerové systémy snímajú farbu a obrys objektu.

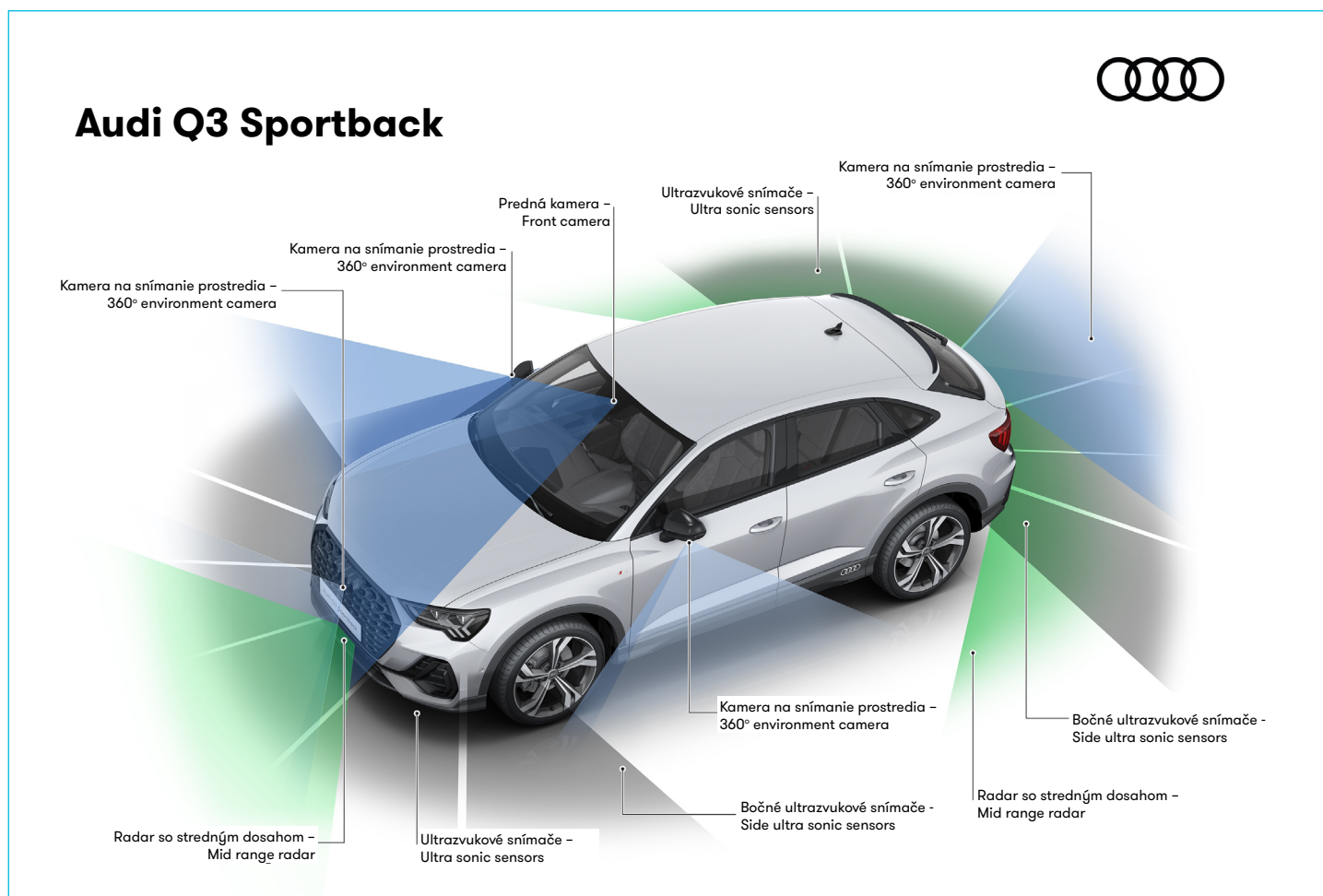
Podľa variantu výbavy sa napríklad v modernom modeli Volkswagen nachádza až 24 snímačov na rozpoznanie prostredia pre asistenčné systémy vodiča. Patria medzi ne radarové a ultrazvukové snímače, kamery a laserové skenery. Ďalší vývoj asistenčných systémov vodiča až po automatizovanú jazdu od úrovne 3 ich prinesie ešte výrazne viac.

	Kamera	Radar	Lidar	Ultrazvuk	Radar + Lidar	Kamera + Lidar	Kamera + Radar
Rozpoznanie objektu	stredne	dobre	dobre	dobre	dobre	dobre	dobre
Klasifikácia objektu	dobre	zle	stredne	zle	stredne	dobre	dobre
Meranie vzdialenosti	stredne	dobre	dobre	dobre	dobre	dobre	dobre
Presnosť hrán objektu	dobre	zle	dobre	dobre	dobre	dobre	dobre
Sledovanie stopy	dobre	zle	zle	zle	zle	dobre	dobre
Dohľadnosť	stredne	dobre	stredne	zle	dobre	stredne	dobre
Funkcia pri zlom počasí	zle	dobre	stredne	dobre	dobre	stredne	dobre
Funkcia pri slabom svetle	stredne	dobre	dobre	dobre	dobre	dobre	dobre

Tabuľka 6. Redundantné údaje snímača sú potrebné najmä pre funkcie autonómnej jazdy. Kombinácia rôznych technológií má svoje výhody a nevýhody. (Zdroj údajov: McKinseyCompany)

V budúcnosti bude vznikať viac hybridných riešení snímačov (nazývané aj multisenzorika), aby sa minimalizoval počet snímačov a náklady. Okrem kombinovaného riešenia radaru a kamery potrebuje plne autonómna jazda navyše aj lidar, aby bola zaručená redundancia pre analýzu objektu a lokalizáciu. Experti očakávajú, že v roku 2025 budú na sériovú výrobu pripravené samojazdiace autá podľa úrovne 5. Mimochodom, Tesla v súčasnosti používa osem kamier na monitorovanie okolia vozidla v uhle 360° až do vzdialenosti 250 m, ako aj dvanásť ultrazvukových snímačov a na palube má radar v smere jazdy. Verzie s lidarom Tesla v súčasnosti neplánuje.

Údaje z kamerových, radarových, lidarových, infračervených a ultrazvukových snímačov sa ďalej spracúvajú rôznymi algoritmi (kľúčové slová: umelá inteligencia a Deep Learning) a riadiacemu systému slúžia ako základ pre jeho rozhodnutia.



Obrázok 13. Polia snímačov monitorovania prostredia v m Audi Q3 Sportback (Obrázok: tlačový obrázok AUDI AG)

Kamery rozpoznávajú značenia, dopravné značky, semaforey, osoby a iné vozidlá. Okrem toho pomáhajú pri zaparkovaní a monitorovaní dopravy. V bočnom zrkadle zobrazujú mŕtvu uhlo. Kamery s funkciou nočného videnia a infračerveným žiarením pomáhajú vodičovi v tme.

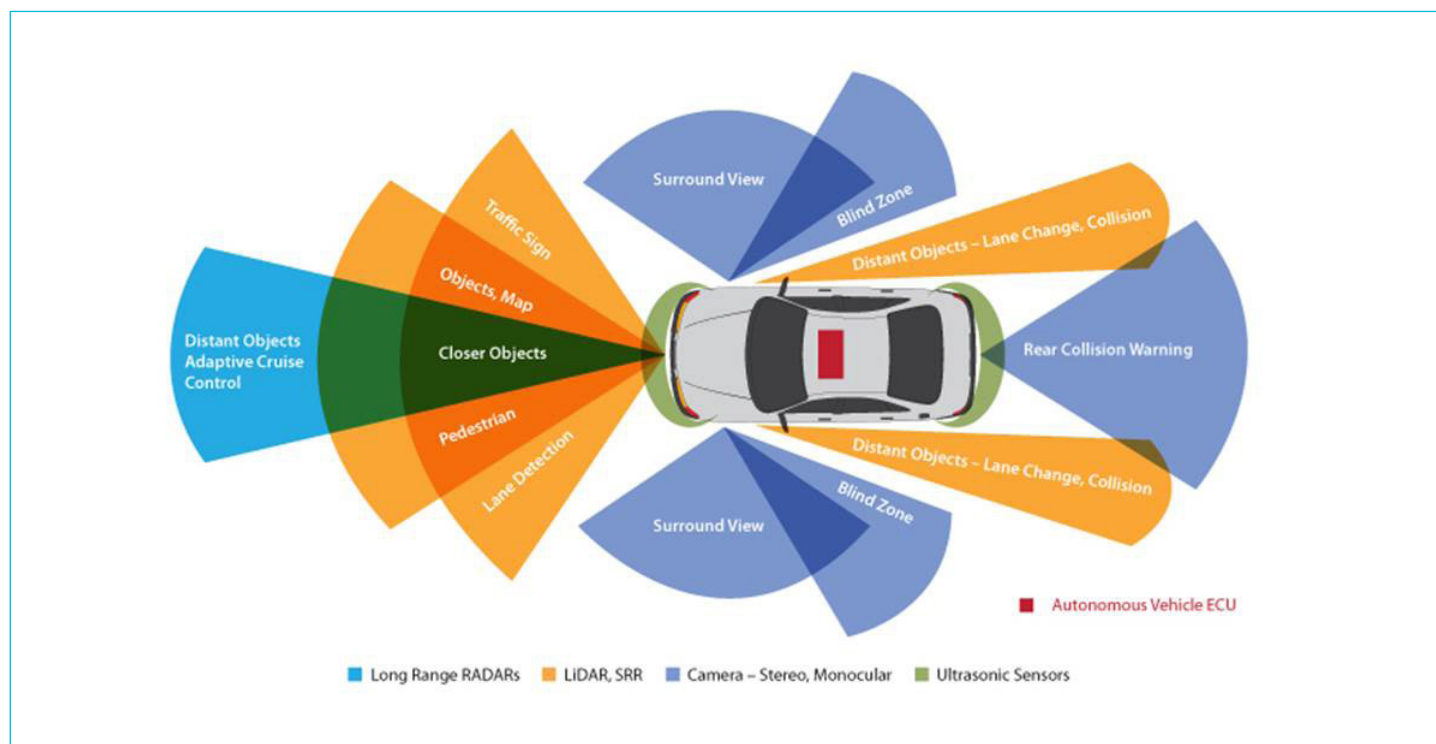
Existujú monokamery, ktoré zobrazujú dvojrozmerný obraz. Chýba na ňom hĺbka pre merania odstupov, a radar a lidar musia prinášať doplnujúce informácie. Stereokamera disponuje dvomi objektívmi, ktoré informácie a zmeny zobrazujú v hĺbke. Tieto modely sú drahšie ako monokamery.

Ak sa zlúčia obrázky viacerých kamier, vznikne trojrozmerné zobrazenie. Predné kamery s dosahom 100 až 240 metrov zobrazujú informácie ako značenia, dopravné značky, chodci a cyklisti. Slúžia na kontrolu odstupov a rozpoznávajú nebezpečenstvá, ktoré by si mohli vyžadovať núdzové brzdenie.

Čipy 3D kamier sú k dispozícii napríklad na princípe doby preletu (princíp TOF; Time of Flight). Merajú priamo hodnotu hĺbky a amplitúdy na pixel. Vďaka tomu sú k dispozícii 3D údaje, ktoré sa dajú spoľahlivo zaznamenať pri všetkých podmienkach okolitého svetla (pri slnečnom svetle, v tme a pri meniacich sa svetelných pomeroch).

Použitým svetelným zdrojom môže byť LED alebo laserová dióda (VCSEL; Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser). Kamery TOF sa v sektore automobilov používajú ako snímače asistenta vodiča a bezpečnostné snímače. Patria medzi ne aplikácie ako aktívna ochrana chodcov, asistent núdzového brzdenia, ale aj v interiéri, napríklad na kontrolu správnej polohy voliacej páky automatickej prevodovky.

Súčasná kamerová technika v automobile (napr. od firmy Bosch) už disponuje umelou inteligenciou. Vďaka tomu dokáže rozpoznať objekty a klasifikovať ako vozidlá, chodci alebo cyklisti, a vymerať pohyby. Takáto kamera dokáže v neprehľadnej mestskej doprave spoľahlivo rozpoznať a klasifikovať aj čiastočne zakryté alebo križujúce sa vozidlá, chodcov a cyklistov.



Obrázok 14: Pre riešenia L4- a L5-sa používajú kombinácie snímačov na snímanie dopravnej situácie. (Obrázok: tlačový obrázok KPIT Technologies GmbH)

Radarové snímače – majstri v meraní odstupu

Radar je technológia na meranie odstupu. Radarové snímače v prednej a zadnej časti vozidla rozpoznávajú iné vozidlá alebo prekážky. Zadný snímač sníma vozidlá blížiac sa zozadu a predbiehajúce vozidlá. Vozidlá idúce vpredu monitoruje radar ďalekého dosahu a radar blízkeho dosahu má pod kontrolou bezprostredné okolie. Radar meria rýchlosť a vzdialenosť. Čím rýchlejšie sa vysielané rádiové vlny vrátia späť, tým bližšie sa nachádza meraný objekt. Rýchlosť sa meria pomocou priblíženia.

Radar sa môže používať v takmer všetkých poveternostných podmienkach. V hustom daždi sa však signál stlmí, hmla nie je kritická. Pokročilé radarové snímače ponúkajú vysoký snímací dosah, široký uhol otvorenia a vysokú uhlovú oddeliteľnosť.

Radarové snímače vo frekvenčnom rozsahu 77 – 79 GHz so šírkami pásma až do 4 GHz môžu priniesť rozlíšenie vzdialenosti na niekoľko centimetrov. Pre lepšie rozpoznanie objektu sa používajú rýchle „chirp“ signály, ktoré citlivejšie reagujú na rušenia ako pomalšie frekvenčne modulované trvalé signály (FMCW). Radar blízkeho dosahu rozpoznáva objekty do vzdialenosti cca 30 metrov, systémy Long Range majú dosah cca 250 metrov.

Radarové snímače (Radio Detection and Ranging) teda vysielajú a prijímajú vysokofrekvenčné elektromagnetické vlny na zistenie vzdialenosti a relatívnej rýchlosti k objektu. Impulzné radary pritom vysielajú krátke impulzy určitej frekvencie. Radary s trvalým signálom vysielajú nepretržité signály so zmenenou frekvenciou. 24 GHz radarové snímače sa používajú na snímanie blízkeho dosahu (Short Range Radar). Radarové snímače vo frekvenčnom rozsahu 77 – 79-GHz umožňujú vyššie vysielacie výkony a môžu pokrývať väčšie vzdialenosti. Používajú sa pre stredný a ďaleký dosah (Mid Range Radar a Long Range Radar). Radarové snímače s milimetrovými vlnami pracujú bezkontaktné vo frekvenčnom spektre od 30 do 300 GHz. Z dôvodu krátkych vlnových dĺžok prinášajú pri meraní vzdialenosti rozlíšenia pod jeden milimeter.

Lidarové snímače – a svet sa objaví v 3D

Lidarové snímače fungujú podobne ako radar, ale namiesto rádiových vln používajú laserové lúče. Z ich odrazov sa vytvorí trojrozmerná snímka okolia automobilu. Oproti radaru majú údaje vyššie rozlíšenie. Rozpoznávajú sa dopravné značky, vodorovné značenia vozovky a pohyby – v noci to dokonca funguje lepšie ako pri kamerách.

Lidarové snímače sa používajú napríklad aj pre brzdového asistenta. Vysielané laserové lúče merajú rýchlosť a odstup. Ak sa rozpozná prekážka (osoba, vozidlo atď.), núdzový brzdový asistent môže iniciovať brzdenie naplno.

Lidar je skratka pre „Light Detection and Ranging“, teda meria vzdialenosti k nehybným a pohyblivým objektom, a prináša trojrozmerné obrazy. Veľké a drahé laserové verzie (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – Zosilnenie svetla stimulované emisiou žiarenia) s rotujúcimi zrkadlami čoraz častejšie nahrádzajú lidary „Solid State“ (v pevnej fáze). Pohyblivé diely pritom nahrádza digitálne riadené polovodičové diódové pole. Okrem toho sa používajú zrkadlá MEMS. Lidarové systémy pracujú so svetelnými pulzmi z-oblastí neviditeľného svetla (blízka infračervená, vlnová dĺžka obvykle 905 nm). Pri dobrých poveternostných podmienkach majú dosah 200 až 300 metrov, ponúkajú vysoké uhlové rozlíšenie a môžu pokrývať až 360 stupňov (strešné verzie). Na výsledky lidarov a laserových skenerov má negatívny vplyv hmla.

Medzi snímače, ktoré nevyužívajú pohyblivé laserové komponenty, patrí Velarray od firmy Velodyne (obrázok 15 v strede), ktorý sníma oblasti v horizontálnom uhle 120 stupňov, vertikálne 35 stupňov a s dosahom 200 metrov. Prostredníctvom mračna bodov s vysokým rozlíšením snímač (ako aj iné produkty výrobcu) aj pri nepriaznivých svetelných pomeroch presne rozpozná chodníky, obrubníky, vozidlá, chodcov, cyklistov a iné prekážky. Keďže nerotuje, hodí sa najmä na integrované (zapustené) zabudovanie do šasi.



Obrázok 15. Produkt Alpha Prime (vľavo) nahrádza model HDL-64 výrobcu ako referenčný/benchmark snímač a cieľi na použitie pre robotické taxíky a nákladné vozidlá L4/L5. Produkt VelaDome (vpravo) je snímač pre autonómne vozidlá, ktorý sníma polguľovú oblasť. (obrázok: tlačový obrázok Velodyne Lidar)



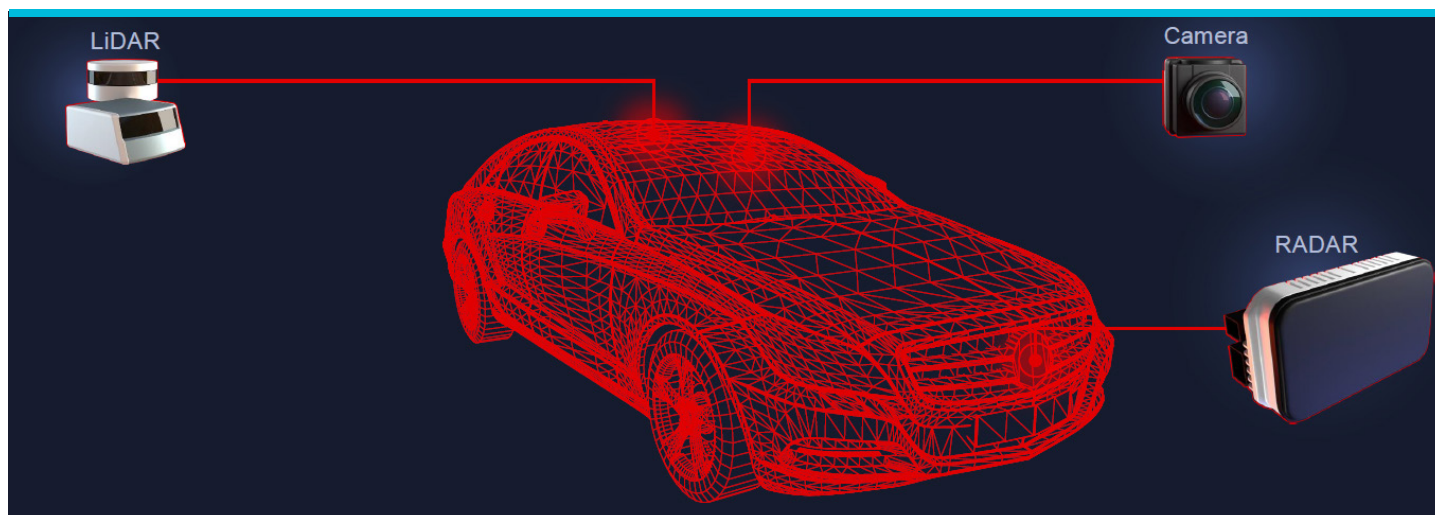
Obrázok 16. Firma ZF vyrába lidarový systém v pevnej fáze „ibeoNEXT“ aj s riadiacou jednotkou (na zákazku firmy Ibeo Automotive Systems GmbH) a v októbri 2020 ho začala dodávať. Lidarový snímač je založený na fotónovej laserovej meracej technike a vystačí si bez pohyblivých dielov (Solid-State). (Obrázok: tlačový obrázok ZF Friedrichshafen AG)



Obrázok 17. Firma Blickfeld vyrába lidarový snímač s označením Cube Range, ktorý rozpoznáva prekážky až do vzdialenosti 250 metrov. 3D lidar v pevnej fáze disponuje dosahom 150 metrov pri 10-percentnej odrazivosti, dosah až do 250 metrov je možný pri vyššej odrazivosti; rozlíšenie je 0,18°. Produkt používa zrkadlo MEMS z kremíka. Husté 3D mračno bodov v reálnom čase spracúva softvérový zásobník. Snímač je vhodný pre jazdy diaľničnou rýchlosťou. (Obrázok: tlačový obrázok Blickfeld GmbH)

Integrácia lidarů do svetlometov umožňuje aj 3D mapovanie v reálnom čase a rozpoznanie objektov, klasifikáciu, ako aj sledovanie. Lidar sa používa aj pri HD mapovaní s cieľom nasnímať topografiu veľkých plôch s 3D mapovaním pre autonómnu navigáciu vozidiel.

Na výrobu pripravený 4D zobrazovací radarový systém (ARS 540) od firmy Continental používa platformu Zynq UltraScale+ MPSoC od firmy Xilinx. Ponúka funkcionality podľa normy SAE J3016 Level 2 a je škálovateľný až do systémov autonómnej jazdy úrovne 5. 4D zobrazovací radar určuje miesto objektu vo vzťahu k dosahu, azimutu, výške a relatívnej rýchlosti. ARS540 má dosah 300 metrov a zorné pole $\pm 60^\circ$. Počas jazdy umožňuje sledovanie pre presnú predpoveď podopretú viacerými hypotézami. To je rozhodujúce pre zvládnutie komplexných scenárov dopravného toku, ako napr. detekcia dopravných zápch pod mostami. Systém okrem toho umožňuje rozpoznanie potenciálne nebezpečných objektov na vozovke a podľa toho reaguje.



Obrázok 18. Vďaka platforme Xilinx môže radar Continental (vpravo dole) nezávisle od systému pracovať s príslušnou existujúcou konfiguráciou platformy snímača. Paralelné spracovanie v programovateľnej logike modulu a početné DSP-Slices na digitálne spracovanie signálu umožňujú zrýchlenie hardvéru vstupných signálov radarového snímača v reálnom čase. (Obrázok: tlačový obrázok Xilinx)

Prognóza

Analýzy firmy Yole prognózujú, že trh s lidarmi pre aplikácie v sektore automobilov a priemysle bude mať v roku 2020 veľkosť cca 1,7 miliardy US\$. Očakáva sa rast o 19 %. Na rok 2025 predpokladá firma Yole obrat vo výške 3,8 miliardy US\$. Automobilové aplikácie by mohli byť v nadchádzajúcich piatich rokoch hlavnou hybnou silou pre lidary - s rastom 1,8 miliardy US\$ - stanovený medzi rokmi 2019 a 2025. Keďže sú už aktívne partnerstvá medzi výrobcami lidarov a vozidiel, firma Yole zaoberajúca sa prieskumom trhu a strategickým poradenstvom očakáva, že do roku 2025 bude lidarová technológia použitá v 3,2 % osobných automobilov. Vplyv robotických vozidiel na vývoj lidarov bude podľa firmy Yole miernejší, lebo ich počet nerastie tak intenzívne. Aj na lidar pre osobné automobily sa teraz nazerá kritickejšie, lebo výrobcovia vozidiel sa v dôsledku krízy COVID-19 dostali pod značný finančný tlak. Vďaka nariadeniu o znížení emisií CO₂ sa investície podľa firmy Yole podarilo presunúť skôr do oblasti elektrifikácie. Yole navyše vidí veľký vplyv firmy Tesla, ktorá autonómne vozidlá vyvíja bez lidarov. (Zdroj: tlačová správa z 27. 8. 2020 „Lidar musí bojovať s prekážkami: je riešením diverzifikácia?“ - Yole Développement)

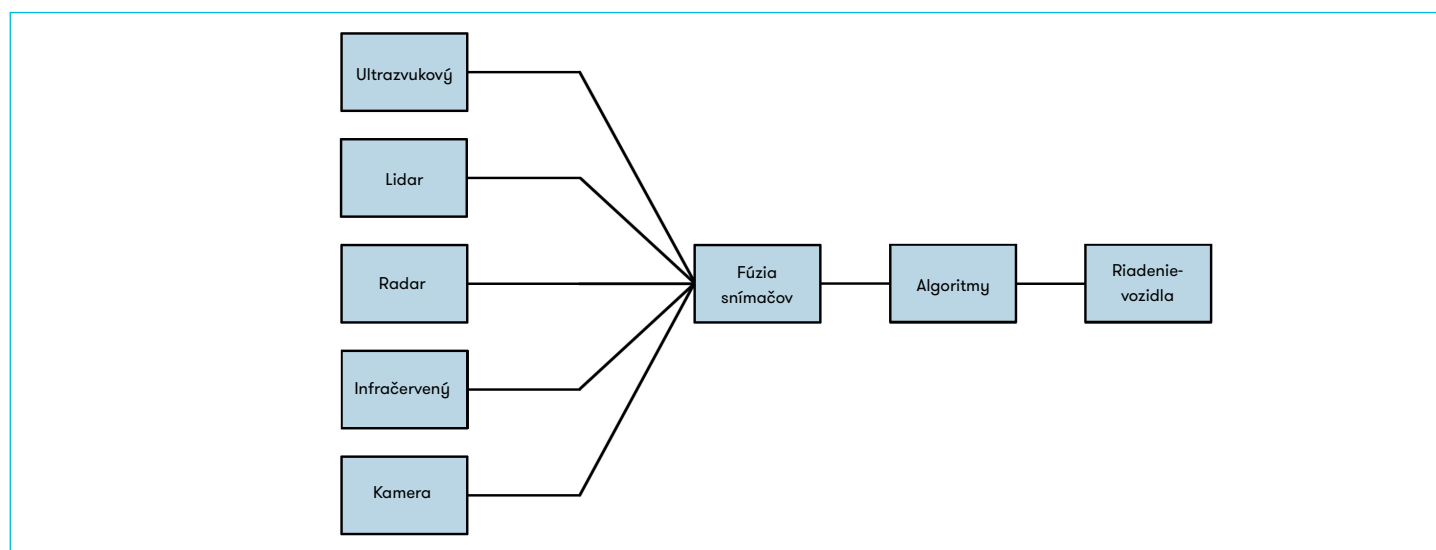
Ďalšie snímače prostredia

Infračervené snímače umožňujú nočné videnie. Ultrazvukové snímače slúžia ako pomôcka pre zaparkovanie, počas jazdy vedú vymerať parkovacie medzery a rozpoznať vozidlá vo vedľajšom jazdnom pruhu. Vďaka tomu je možné sledovať mŕtvy uhol. Ultrazvukové snímače merajú vzdialenosť k objektu tým, že merajú dobu preletu odrazených zvukových impulzov. Sú kompaktné a robustné, a pracujú aj v noci alebo v hmle. Sneh negatívne ovplyvňuje ich výsledky merania a vzdialenosti majú menší počet metrov. Na zlepšenie snímania prostredia sa môžu použiť viaceré ultrazvukové snímače a metóda triangulácie. Vďaka špeciálne tvarovaným anténam získajú vyslané ultrazvukové impulzy smerovú charakteristiku pre obojsmerné vyžarovanie. Vytvorí sa blízke a vzdialené pole.

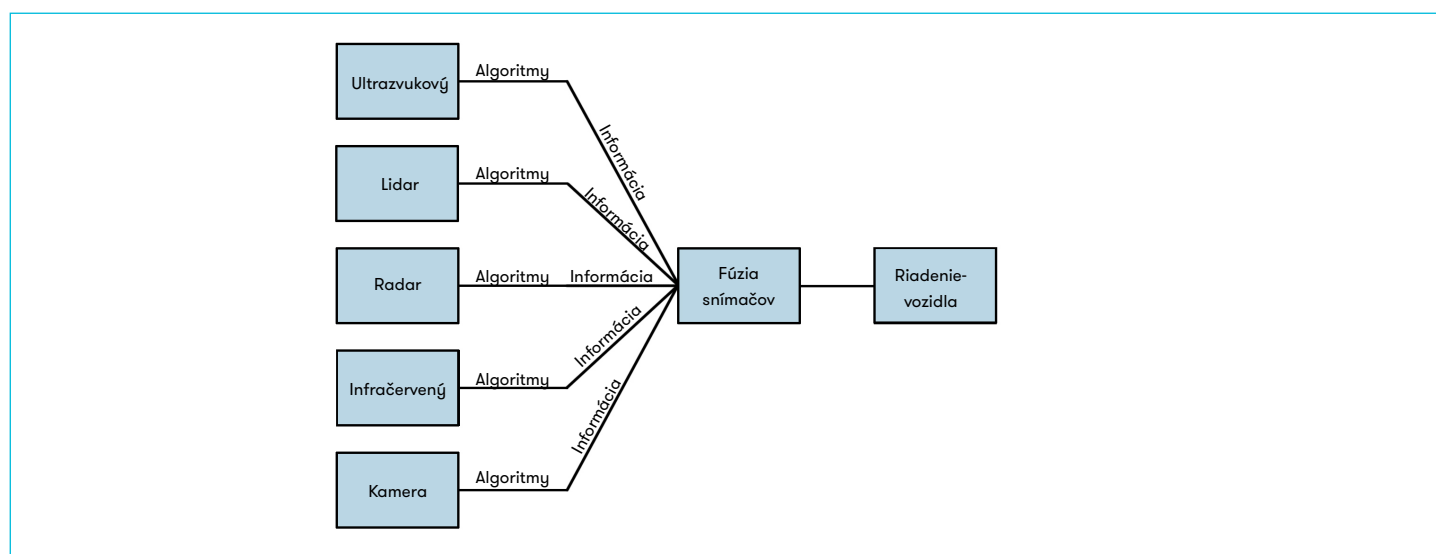
Veľa námorníkov a jeden kormidelník

Snímače sa môžu používať pre navzájom nezávislé funkcie. Keď sa fúziou snímačov súčasne prepoja všetky údaje, dá sa dosiahnuť nová kvalita ovládania. Ťažiskami sú pritom funkčná bezpečnosť, redundancie a kontroly hodnovernosti. Za týmto účelom sa navzájom porovnávajú signály snímačov vozidla. Zabráni sa chybnéj interpretácii údajov a po skontrolovaní všetkých údajov sa vydá riadiaci signál.

Dôležité je zlúčenie údajov snímača pre koncepty autonómneho vozidla. Za týmto účelom sa v reálnom čase analyzujú a doladujú všetky snímače (lidarové, radarové, ultrazvukové a iné). Až potom sa iniciuje reakcia vozidla. Údaje snímača sa pritom môžu kompletne spracovať po fúzii snímačov (obrázok 19) alebo v inteligentných snímačoch sa údaje predbežne spracujú (obrázok 20).



Obrázok 19. Zjednodušená schéma ukazuje vľavo snímače, ktoré svoje údaje odosielajú do jednotky fúzie snímačov. Tam sa spracujú rôznymi algoritmami a do riadenia vozidla sa odošle informácia o reakcii (obrázok: channel-e)



Obrázok 20. Zjednodušená schéma ukazuje vľavo snímače, ktoré už integrujú inteligentné funkcie spracovania a do jednotky fúzie snímačov odosielajú už predbežne spracované údaje. Tam sa vykonávajú doladovacie funkcie, vypočíta model okolia a do riadenia vozidla sa odošle informácia o reakcii (obrázok: channel-e)

Na snímanie prostredia autonómnych vozidiel sa teda kombinujú informácie z radaru, ultrazvukového snímača, lidararu a kamery. Namerané hodnoty sa vytvárajú asynchrónne a riadiaca jednotka fúzie zakaždým vypočíta aktuálny model okolia v reálnom čase a potom ovláda riadiace, pohonné a brzdné systémy.

Čisto formálne existujú komplementárne, konkurenčné a kooperatívne fúzie. Komplementárna fúzia kombinuje údaje viacerých nezávislých snímačov. Objem dát tu je veľký a informácie jednotlivých snímačov sa môžu doplniť o snímací rozsah a mernú veličinu (príklad: viaceré kamery vytvoria 360° obraz).

Konkurenčná fúzia používa identické informácie z viacerých snímačov na zvýšenie presnosti merania a na zaručenie redundancie (príklad: prepojenie predného radaru a predného lidararu). Kooperatívna fúzia potrebuje informácie z rôznych nezávislých snímačov, ktoré zakaždým zmerajú jeden čiastkový aspekt. Tu je daná redundancia (príklad: stereokamera využíva dáta z dvoch kamier).

Ktoré objemy dát sa musia spracovať

Veľké objemy dát prúdia predovšetkým cez snímače. Experti firmy Infineon to odhadujú takto:

HD kamera: prináša nespracované údaje s 1280×960 (farebná kamera) s minimálne 25 snímkami/s = 1,2 GB/s. V niektorých systémoch sa tento nespracovaný obraz odošle do hlavného počítača a tam sa spracuje, väčšinou je pripojených viacero kamier a existujú aj systémy s vyšším rozlíšením než HD, preto sa údaje kamery odhadujú na 2 až 6 GB/s.

Ale: v mnohých kamerových systémoch sa obrazové údaje už „predbežne spracujú“ a zoznamy objektov sa skonvertujú a odošlú ďalej – preto si tieto kamerové snímače dnes vystačia s prenosovými rýchlosťami 100 MB/s až 1 GB/s. Takže neprenášajú obraz, ale len dynamické zoznamy objektov.

Radar: v prípade radaru dnes v snímači vznikajú nespracované údaje s 500 MB/s až 2 GB/s, ktoré sa však aj v snímači skonvertujú na detekcie a zoznamy objektov a potom sa ďalej odošlú cez zbernicu CAN alebo Ethernet (t.j. s 5 MB/s, 10 MB/s alebo 100 MB/s). Automobilový priemysel však bude v budúcnosti posielať nespracované údaje z radarov s vysokým rozlíšením do hlavného počítača, takže čoskoro by to mohlo byť do 48 GB/s.

Lidar: V prípade lidararu už dnes vznikajú v snímači – v závislosti od rozlíšenia, zorného poľa a frekvencie snímok nespracované údaje s 10 až 100 GB/s – aj tam sa však údaje spracúvajú už v snímači na zoznamy objektov a odosielajú ďalej nanajvýš s 1 GB/s. Keďže spracovanie nespracovaných údajov v hlavnom počítači prinesie v blízkej budúcnosti výhody pre fúziu snímačov, počíta sa s dátovými rýchlosťami do 48 GB/s.

Časový faktor pri fúzii snímačov

Pri fúzii na úrovni signálu sa prepoja nespracované údaje alebo málo predbežne spracované údaje. Výhodou je, že nedochádza k strate informácií, nevýhoda spočíva v tom, že objem dát je veľký. Pri fúzii na úrovni charakteristiky sa údaje snímačov predbežne spracujú nezávisle od seba. Extrahované charakteristiky sa potom zlúčia vo vyššom stupni abstrakcie. Vďaka tomu sa dajú prepojiť rôzne merné veličiny a zníži sa objem dát. Pri fúzii na úrovni objektu sa údaje jednotlivých snímačov spracujú nezávisle od seba a zlúčia sa až na záver. Objem dát na spracovanie sa pritom minimalizuje, vyskytnú sa však straty informácií.

Veľký brat – monitorovanie snímačmi v interiéri

Monitorovaním interiéru sa snímače starajú aj o bezpečnosť. Vodiča sledujú a dôkladne skúmajú rôzne snímače. Cieľom je rozpoznať napríklad únavu a odvedenie pozornosti (kľúčové slovo mikrospánok).

- Za prvé, monitoruje sa tu správanie sa vodiča pri riadení. Systémy Drive-by-Wire snímajú napríklad uhlovú polohu a rýchlosti otáčania. Údaje prichádzajú zo snímačov a cez rozhranie sa odosiela do mikrokontroléra, kde sa spracujú. Aj tu sa využíva princíp inteligentného snímača a údaje snímače sa podrobia integrovanému predbežnému spracovaniu, čím sa odľahčí mikrokontrolér. V kombinácii s informáciami ako dĺžka jazdy, doba trvania a čas je možné predpovedať predpokladanú únavu a vodičovi sa pripomenie, že si má urobiť prestávku.
- 3D obrazové snímače môžu kontrolovať pohyby hlavy a očí, ako aj dýchanie a srdcovú frekvenciu (neinvazívne).
- Vďaka technológiám na 2D detekciu sa môžu volantu integrovať dotykové snímače, ktoré rozoznávajú gestá. Môže to byť napríklad ťuknutie alebo potiahnutie jedným prstom, prípadne stiahnutie dvoch prstov k sebe a ich otáčanie. Vodič tým môže iniciovať nastavenia bez toho, aby zložil ruky z volantu. S 3D detekciou sa môžu používať väčšie gestá vo vzduchu. Pritom je zložité rozlišovať nedôležité pohyby rúk a vedomé príkazy gestami. Na to sa dá použiť napríklad softvér so stochastickými modelmi.
- Vizuálne snímače: V interiéri vozidla sa môžu používať farebné, infračervené kamery, ako aj kamery RGB-D. Monitorujú sa pri tom fyzické parametre ako poloha hlavy vo vzťahu k sedadlu a čelnému sklu, uhol otáčania hlavy, pohyb očí, zmeny na obočích a v pohľadoch. Z toho sa vyvodí závery ohľadne úrovne stresu osôb.
- Haptické snímače: snímače integrované v sedadle vodiča merajú tlakové rozloženie hmotnosti vodiča. Rozhranie vydá namerané hodnoty, ktorých časový priebeh sa uloží. Táto rohož sa dá prispôbiť rôznym sedadlám vozidla, rôznym telesným výškam a hmotnostiam.

Súhrn

Ďalší vývoj senzoryky v oblastiach IIoT, automobilového priemyslu, lekárskej techniky, automatizácie budov, pre herný priemysel, techniku prostredia, nositeľnú elektroniku, všeobecnú komunikáciu, Smart Cities, Smart Metering a všetky ostatné oblasti použitia prinesie čoraz inteligentnejšie, energeticky účinnejšie a zosieťovanejšie technológie snímačov. K novým použitiam môžu viesť aj zdanlivé situácie s ničivým účinkom na trh ako COVID-19. V súčasnosti vidíme napríklad ponuky ako merače kvality vzduchu, hlásiče odstupu a samozrejme mnoho prípadov použitia lekárskej techniky. Čím rýchlejšie, presnejšie a zmyslupnejšie (kľúčové slovo umelá inteligencia) sa údaje odoslané zo snímačov spracujú, tým väčšie je ich hospodárske, technické a humanitárne využitie.