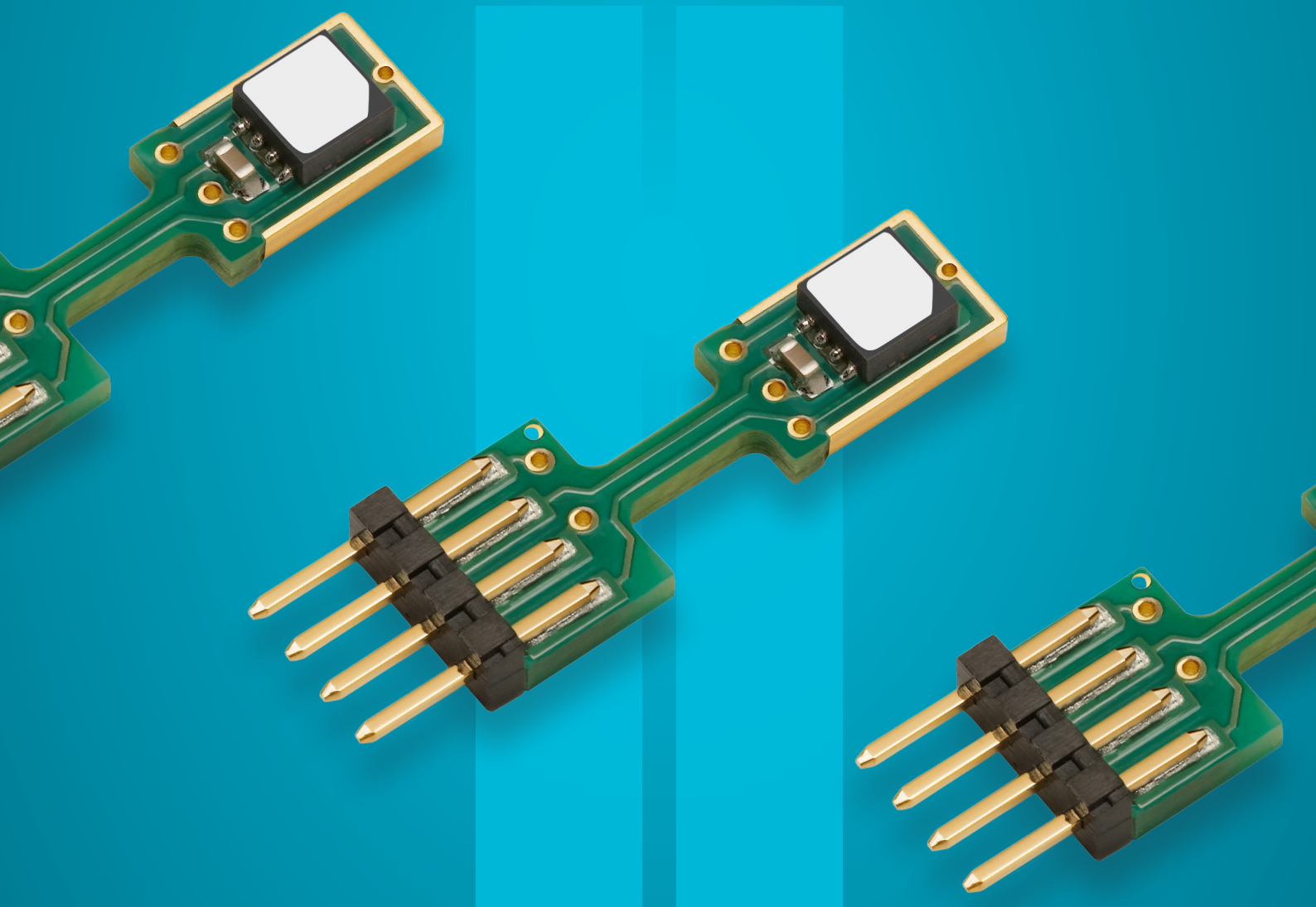
PRŮMYSLOVÝ IOT

SNÍMAČE PRO KLÍČOVÉ TECHNOLOGIE

JAK KOMUNIKUJÍ A CO DĚLAJÍ

WHITE PAPER



cz.rs-online.com

Jsme na Vaší straně

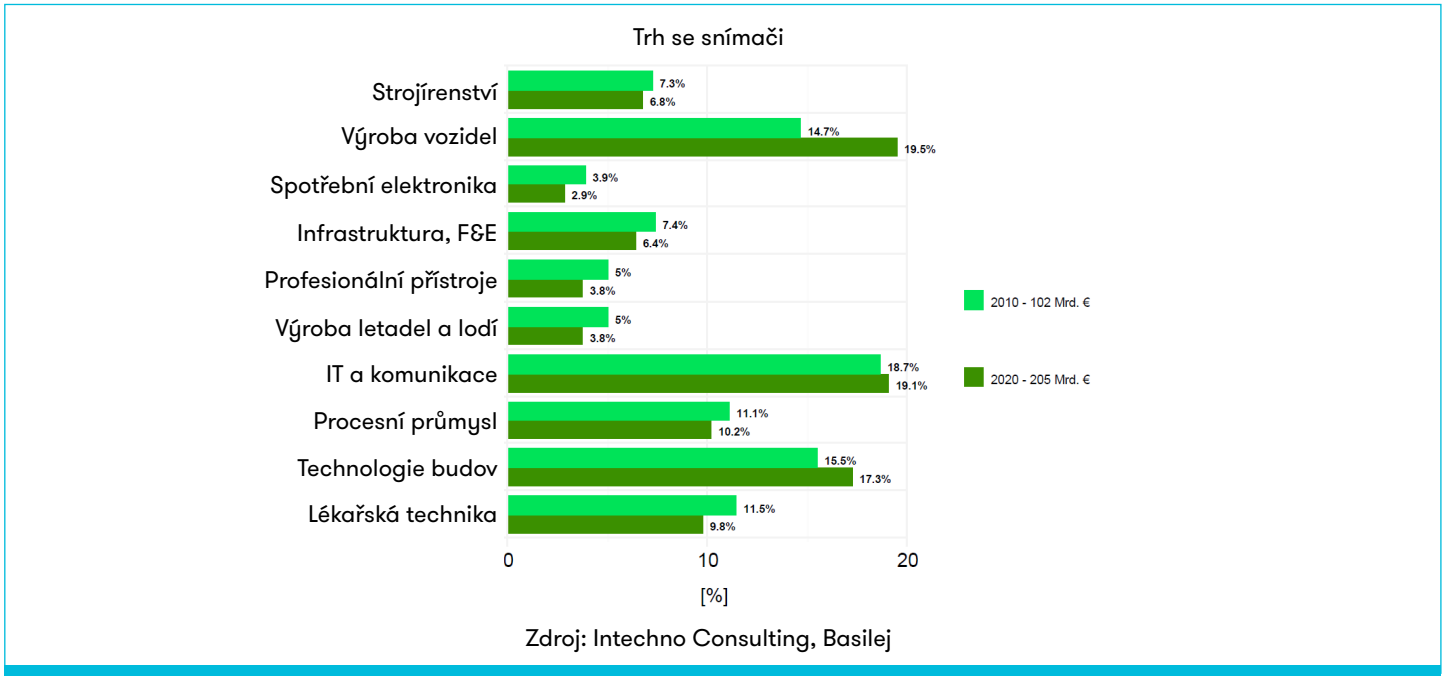
Titulní obrázek: Sensirion

Jak komunikují snímače pro klíčové technologie

Snímače jsou nyní klíčovou technologií pro všechny oblasti života a ekonomiky. Důležitou součástí čtvrté průmyslové revoluce je IIoT (Industrial Internet of Things - průmyslový internet věcí). Ústředními prvky jsou snímače a příslušné komunikační technologie, které také na druhé straně umožňují aplikace v základní výrobě. Jádrem IIoT je digitalizace signálů snímačů a standardizovaná "doprava" prvotních nebo předem připravených dat na místo, kde jsou potřeba. Důležití "významní spotřebitelé snímačů" jsou dále automobilový průmysl, lékařská technika, automatizace budov a spotřebitelský trh. V oblasti automobilového průmyslu to jsou především asistenční systémy řidiče, které vedly k překotnému dalšímu vývoji radarových, ultrazvukových a lidarových snímačů. V tomto příspěvku se proto orientujeme hlavně na témata komunikace snímačů v oblasti IIoT a použití snímačů v automobilu.

Existuje více než 100 měřicích veličin, které jsou nabízeny pro snímače. Globální objem trhu pro rok 2020 je odhadován na asi 200 miliard USD (Obrázek 1). Dochází přitom trvale k vývoji snímačů směrem k samostatným mikrosystémům, které se skládají ze snímačů a elektroniky pro zpracování dat a pro komunikaci. Tyto systémy jsou zapojeny v síti, soběstačné a inteligentní.

Jedena z největších výzev pro IIoT je trvalá standardizovaná komunikace senzorů a ovládacích členů do cloudu. Dále zde budou představeny důležité technologie - IO-Link a jednopárový Ethernet. Potom bude vysvětlena jedna z „nejzářivějších" aplikací v oblasti snímačů - prediktivní údržba.



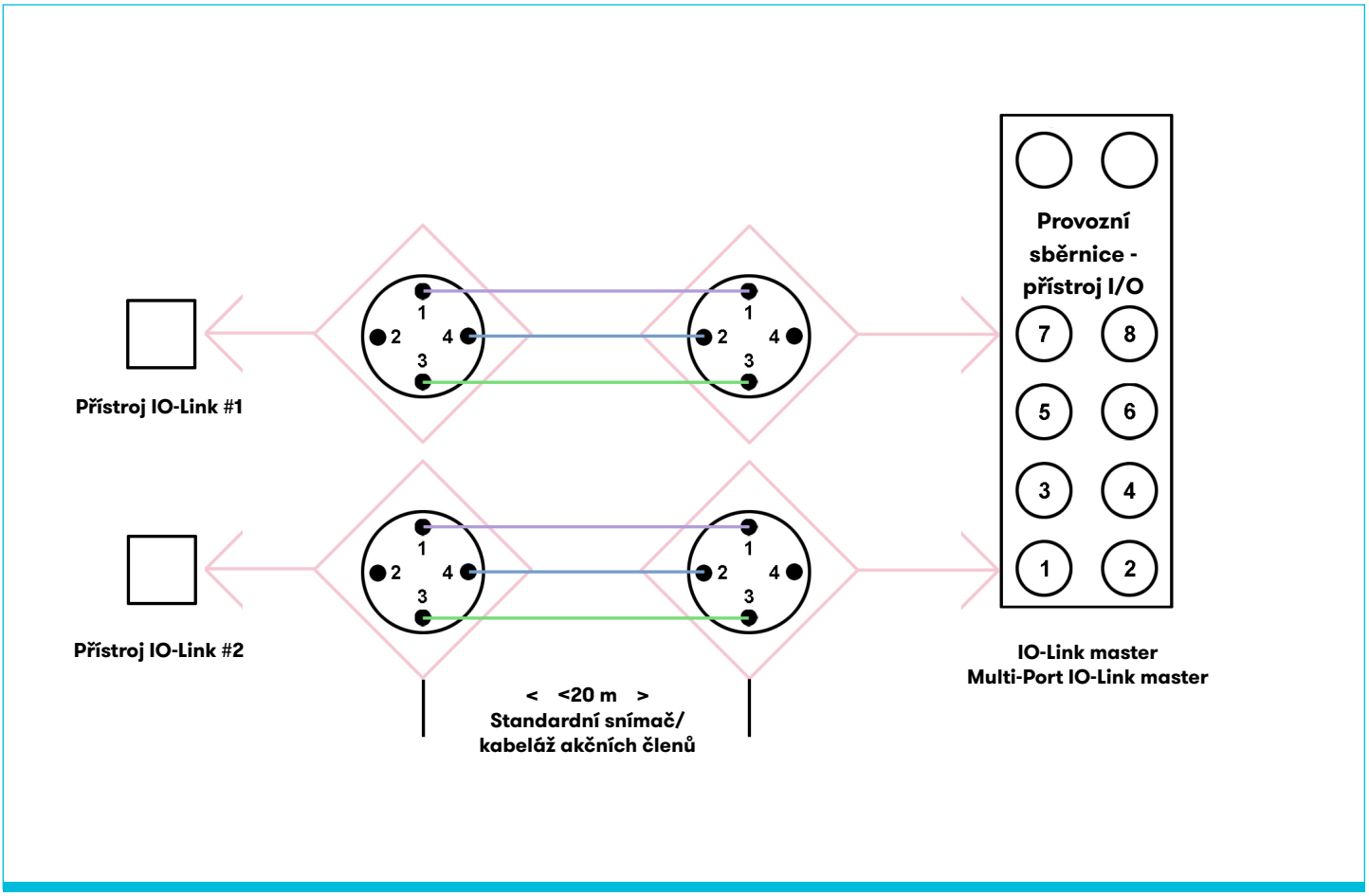
Obrázek 1. Globální objem trhu pro rok 2020 je odhadován na asi 205 miliard USD (zdroj: Intechno Consulting Basilej)

IO-Link: Otevřené, zpětně kompatibilní rozhraní snímačů a akčních členů

IO-Link spojení pro komunikaci point-to-point (IEC 61131-9) se standardizovanými konektory, kabely a softwarovými protokoly. Systém je koncipován tak, aby pracoval v rámci průmyslové infrastruktury trojvodičových snímačů a akčních členů a skládá se ze součástí „IO-Link master“ a „IO-Link device“ (Obrázek 2).

IO-Link zaznamenal v roce 2019 nejvyšší roční nárůst a docílil stejné hodnoty růstu (40 %) jako v předchozím roce. Celkový počet instalovaných přístrojů IO-Link je aktuálně více než 16 milionů.

Spojení point-to-point mezi IO-Link master (řadič Multi-Port nebo brána) a přístroje IO-Link (snímače a akční členy) používá standardní konektor (normálně M12) a trojžilový nebo čtyřžilový kabel o délce až 20 metrů (Obrázek 2). Master může mít více portů (normálně čtyři nebo osm). Každý port přístroje master se spojuje s jediným přístrojem IO-Link, může tak pracovat buď v režimu SIO nebo s obousměrnou komunikací.



Obrázek 2. Připojení IO-Link master/device. (Obrázek: channel-e)

V nabídce jsou dva komunikační režimy

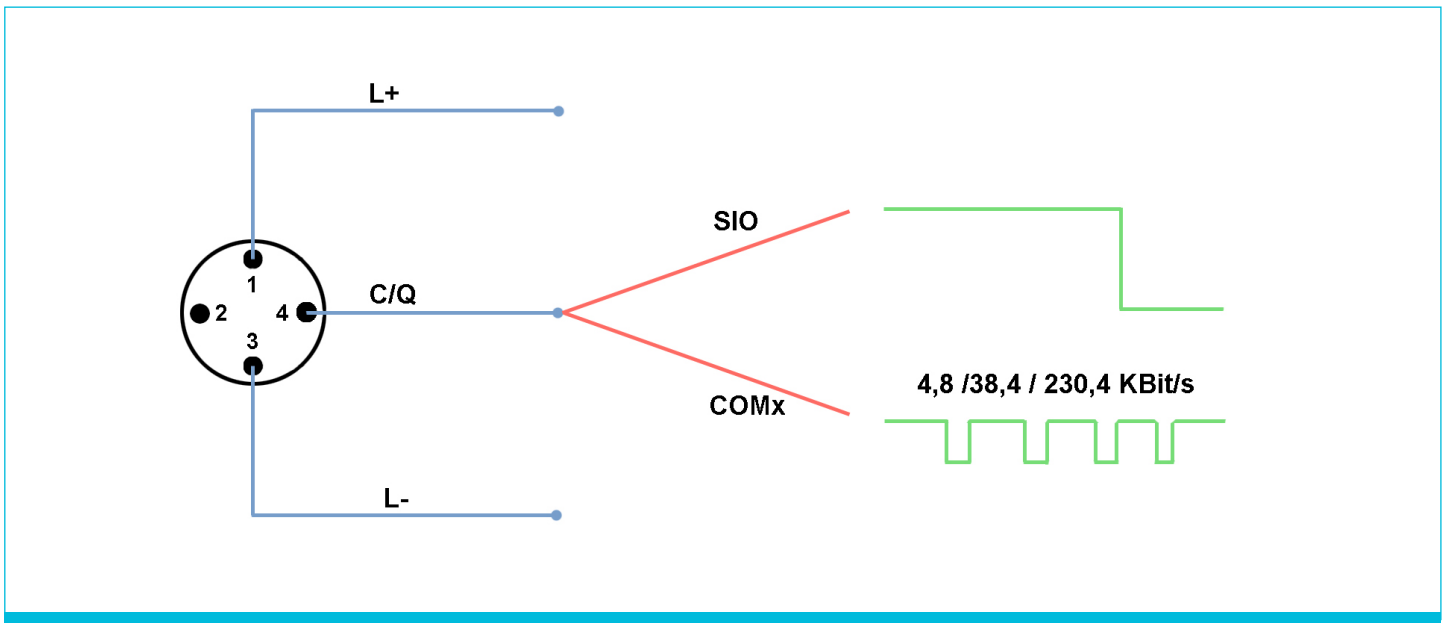
IO-Link je standard pro komunikační rozhraní single-drop (SDCI, Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators), které bylo standardizováno jako IEC-61131-9, přičemž je zajištěna zpětná kompatibilita s binárními snímači - jak je určeno v normě IEC 60974-5-2 (Obrázek 3 a Tabulka 1). Snímače IO-Link mají vlastnosti binárních snímačů, byla ale přidána dvousměrná komunikace. IO-Link master mohou být spojeny s oběma variantami binárních snímačů a snímačů IO-Link, takže IO-Link lze jednoduše přidat ke stávajícímu systému.

Standard IO-Link uvádí, že komunikace musí probíhat na vedení o délce 20 metrů s nestíněným kabelem s průmyslovými standardními konektory. Nejčastěji jsou používány konektory M8 a M12. Komunikace probíhá jako point-to-point a vyžaduje trojvodičové rozhraní (L +, C/Q a L-). Komunikace mezi přístroji master a slave se realizuje poloduplexní s třemi přenosovými rychlostmi: COM1 4800 baudů, COM2 38,4 kbaudů, COM3 230,4 kbaudů.

Rozsah napájecího napětí v systému IO-Link je 20 V až 30 V pro master a 18 V až 30 V pro přístroj (snímač nebo akční člen).

Přístroj IO-Link musí pracovat v rámci 300 ms, jakmile L+ překročilo 18 V. Oba komunikační režimy jsou standardní I/O (SIO) a SDCI (Single-Drop Communication Interface). V režimu SIO je zaručena zpětná kompatibilita s existujícími snímači v provozu, které používají 0 V nebo 24 V pro signalizaci Zap/Vyp na IO-Link master. V režimu IO-Link je komunikace obousměrná a jednou ze tří přenosových rychlostí. Přístroj IO-Link podporuje přenosovou rychlost, zatímco IO-Link master musí zvládat všechny tři přenosové rychlosti. Komunikace probíhá prostřednictvím impulsů 24 V při použití NRZ (nonreturn-to-zero) na vedení C/Q, přičemž logická 0 je mezi CQ a L- 24 V a logická 1 0 V je mezi CQ a L-.

V režimu IO-Link může být Pin 2 v režimu DI jako digitální vstup nebo v režimu DO jako digitální výstup nebo není spojen (NC).



Obrázek 3. Definice IO-Link pin. (Obrázek: channel-e)

Pin	Signál	Označení	Standard
1	L+	24 V	IEC 61131-2
2	I/Q	Nepřipojeno, DI nebo D0	IEC 61131-2
3	L-	0 V	IEC 61131-2
4	Q	Spínací signál (SIO)	IEC 61131-2
	C	Kódované sepnutí (COM1, COM2, COM3)	IEC 61131-9

Tabulka 1. Definice IO-Link pin

Identifikační štítek - IO-Link IODD

Všechny přístroje IO-Link (snímače a akční členy) musí mít k dispozici soubor s popisem přístroje IO-Link (IODD). IO-Link master jej používá k identifikaci, interpretaci dat a ke konfiguraci.

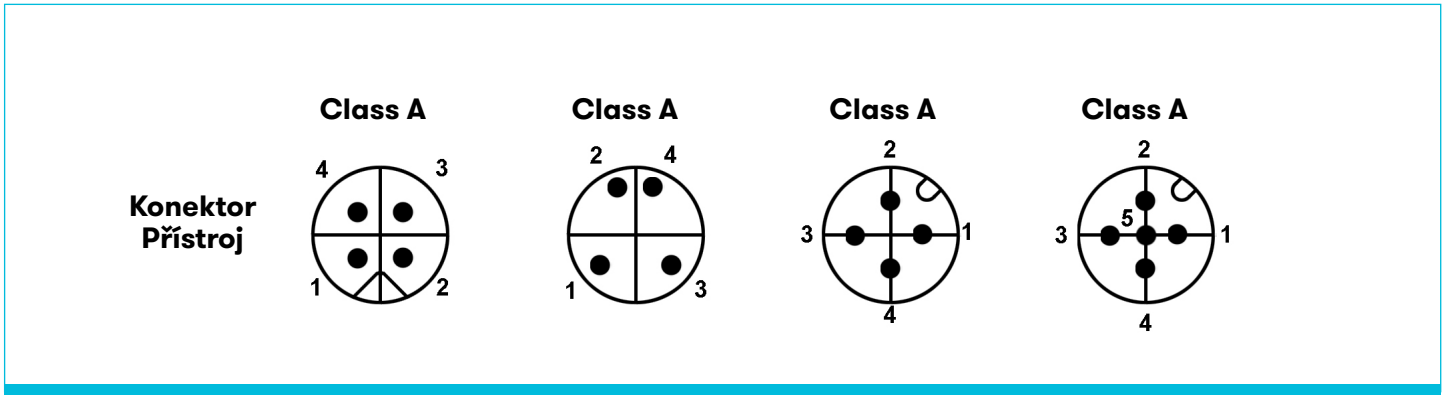
Soubor IODD obsahuje:

- Všechny potřebné informace pro vytvoření komunikace
- Parametry přístroje
- Identifikační informace
- Procesní a diagnostické informace
- Obrázek přístroje a logo výrobce

Soubory IODD jsou XML soubory, jejichž struktura je popsána v samostatné kapitole normy IEC 61131-9. Sdružení IO-Link udržuje na svém webovém serveru (www.io-link.com) centrální databázi dodavatelů se soubory IODD.

Konektory

Standardizované konektory a kabely jsou definovány jako v normě IEC 61131-9. Konektory Port-Class A mají čtyřvodičové přípojky (maximálně) pro podporu trojvodičového spojovacího systému (L+, L-, C/Q) se čtvrtou přípojkou, kterou lze použít jako přídavné signální vedení (DI nebo DO). Konektory Port-Class-B mají pětivodičové přípojky pro přístroje, které potřebují přídavné napájení (Obrázek 4).

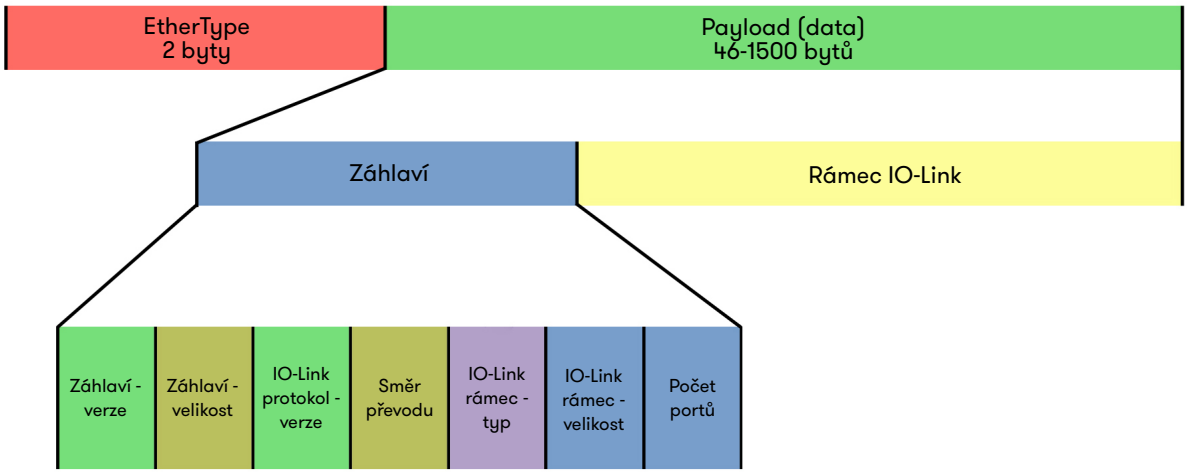


Obrázek 4. Konektory IO-Link. Varianty M12 jsou s kódováním A. (Obrázek: channel-e)

Přizpůsobení IO-Link pro jednopárový Ethernet

IO-Link byl vyvinut jako průmyslové komunikační rozhraní pro provozní sběrnice, snímače a akční členy. Rozhraní poskytuje tři různé přenosové rychlosti a maximální délku kabelu 20 m. Hlavní výhody této komunikační technologie jsou celkem dvě, a to jednoduchá integrace do automatizačních systémů včetně vysokého stupně standardizace společných funkcí a popis koncových přístrojů.

V koncepční studii „Rozšíření IO-Link pro přenos v jednopárovém ethernetu“ se navrhuje zavést jeden EtherType pro I/O-Link. EtherType jsou již například k dispozici pro ProfiNet nebo EtherCat. Jedná se o pole v ethernetovém rámci, které se používá pro zobrazení použitého protokolu v „užitečné zátěži“ rámce. Podle této studie lze tento postup realizovat s malým vynaložením hardwaru a softwaru.



Obrázek 5. Definice IO-Link pin. (Obrázek: channel-e)

Žhavý trend: Jednopárový Ethernet

Jednopárový Ethernet (SPE) je považován za jeden ze zásadních trendů průmyslového přenosu dat a "aktivátor" IIoT a Průmyslu 4.0. Tato technologie může způsobit, že „průmyslový internet věcí“ se stane realitou. Každý snímač nebo akční člen lze dosáhnout prostřednictvím internetového protokolu a může bez bariér přenášet svá data až do cloudu nebo je z něj přijímat.

Řídicí a provozní úroveň v automatizační technice je ovlivněna značně rozdrobenou infrastrukturou sběrnic. Z toho pocházející datové ostrovy vyžadují komplexní brány, které komplikují přístup k datům na přístrojích v provozu. Vyloučením těchto bran by mohly být výrazně sníženy náklady a komplexnost těchto instalací a mohly by být odstraněny datové ostrovy, které kvůli nim vznikly (tabulka 2).

Sběrnice	Přenosová rychlost	Délka kabelu
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	30 m až 1000 m
DeviceNet	125 kb/s až 500 kb/s	100 m až 500 m
AS-Interface	167 kb/s	100 m
CC-Link	10 Mb/s	100 m
IO-Link	230 kb/s	20 m

Tabulka 2. Běžné technologie provozní sběrnice (zdroj: Belden)

Přenosové rychlosti a délky vodičů v normě

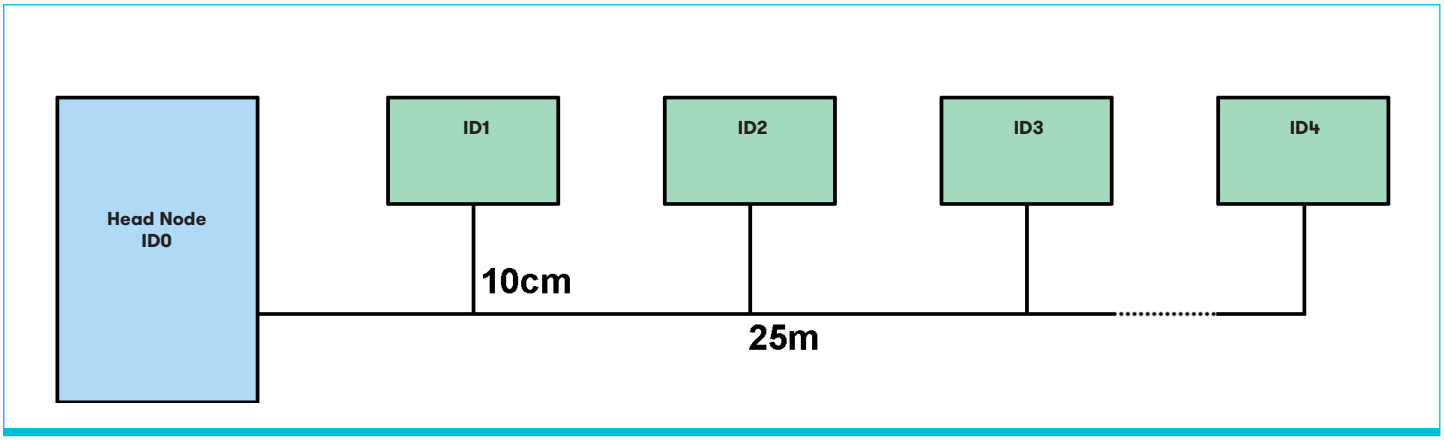
Jednopárový Ethernet nyní umožňuje přenos dat prostřednictvím měděných kabelů rychlostí 10 Mbps, 100 Mbps a 1 Gbps pomocí dvoužilového měděného kabelu a současně elektrické napájení koncových zařízení pomocí Power over Data Line (PoDL). Přenosové rychlosti a délky vodičů jsou tyto:

- 10 MB/s (duplex) až 1000 m, přenos pomocí šířky pásma 20 MHz (10Base-T1L)
- 10 MB/s (poloduplex) až 40 m, přenos pomocí šířky pásma 20 MHz (10Base-T1S)
- 100 MB/s (duplex) až 15 m, přenos pomocí šířky pásma 66 MHz (100Base-T1)
- 1000 MB/s (duplex) až 40 m, přenos pomocí šířky pásma 600 MHz (1000Base-T1)

10Base-T1L je (s příponou L) verze “Long-Range” v normě IEEE 802.3cg standardizovaná varianta jednopárového Ethernetu pro délky kabelu 1000 m. 10Base-T1L pracuje s plným duplexem, což znamená, že zasílané a přijímané signály jsou současně přenášeny jedním párem vodičů. Kompenzací odraženého signálu může stanice odstranit vlastní odesílaný signál z celkového signálu a izolovat přijímaný signál. 10Base-T1L používá dvoužilový kroucený kabel s šířkou pásma 20 MHz a vlnovým odporem 100 Ω.

Dodatečná opatření pro aplikace v procesním průmyslu nabízí Ethernet APL (Advanced Physical Layer). Je založen na 10BASE-T1L podle normy IEEE 802.3cg. Uspořádání se může skládat ze sběrnicového kabelu „trunk“ (svazek kabelů) o délce maximálně 1000 m mezi provozními přepínači v prostorách s nebezpečím výbuchu zóny 1 a maximálně 200 m mezi provozním přepínačem a provozním přístrojem v zóně 0. Ethernet APL obsahuje rozšíření, která jsou přizpůsobena speciálním požadavkům procesního průmyslu, jako je vlastní bezpečnost (IEC TS 60079-47) a profil portu pro volitelné napájení provozních přístrojů.

10Base-T1S je (s příponou S) verze “Short-Range” standardizovaná varianta jednopárového Ethernetu v normě IEEE 802.3cg. 10BaseT1S pracuje v poloduplexním režimu a lze ji provozovat jako point-to-point nebo jako technologii Multidrop (obrázek 6). Je definována délkou sběrnice 25 m s dolaďovacími vedeními o délce 10 cm. V této topologii není potřeba přepínač, protože je použito rozhodovací schéma PLCA (Physical Layer Collision Avoidance), které zajišťuje, že nedochází ke kolizi dat. Norma pamatuje nejméně na osm dolaďovacích vedení, může jich být ale daleko více.



Obrázek 6. 10Base-T1S pracuje v poloduplexním režimu a je provozována jako technologie, která definuje délky sběrnice 25 m s dolaďovacími vedeními o délce 10 cm. (Obrázek: channel-e)

10Base-T1S je topologie, která je zajímavá pro automatizační aplikace v automobilovém průmyslu, v průmyslu a v budovách pro integraci velkého počtu účastníků sítě v úzkém prostoru. Může se provozovat bez přepínačů a potřebuje pro implementaci pouze malý mikroregulátor a relativně nekomplikované PHY.

Struktura sítí 10Base-T1S je velmi jednoduchá: Všichni účastníci „visí" na jednom vodiči, přičemž jeden z účastníků, který ale je také účastník komunikace na sběrnici, je definován jako Head Node (hlavní uzel) s ID 0, všechny ostatní lze potom očíslovat vzestupně. Head Node má za úkol zabránit kolizi dat na sběrnici, což znamená, že organizuje rozhodování prostřednictvím PLCA. K tomuto účelu zasílá výstrahu, takzvaný beacon, od této chvíle „běží čas". Otevře se časové okno o velikosti typicky 25 µs (lze jej ale volně nastavit) pro prvního účastníka (samotný Head Node). V rámci tohoto okna může uzel začít „mluvit komunikovat" (transmit opportunity). Když tento časový interval uběhne, další účastník dostane svých 25 µs až k poslednímu uzlu.

Potom začíná všechno od začátku, Head Node zašle výstrahu (beacon) a časové okno běží od uzlu 0 až k uzlu N. Když účastník zachytí v rámci 25 µs své vysílací právo, může na sběrnici vložit ethernetový rámec. Protože účastníci sběrnice mají různé „požadavky ke sdělení", nelze pro takovou síť Multidrop zadat žádnou pevnou dobu cyklu. Zejména když se cyklus může ještě dále časově změnit prostřednictvím pravidla výjimek. Takže účastníku sběrnice s pomalým MCU je přidělen signál nečinnosti (idle), který mu umožní roztáhnout časové okno (zde 25 µs). Obzvlášť důležitým uzlům je povoleno vložit na sběrnici více než jeden rámec.

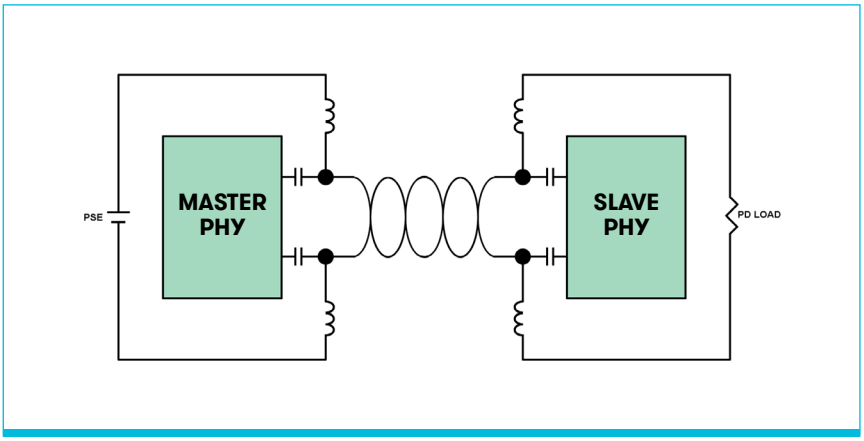
100Base-T1 je standardizována v normě IEEE 802.3bw. Je to varianta jednopárového Ethernetu pro délky kabelu 40 m a přenosovou rychlost 100 Mbit/s. 100Base-T1 pracuje s plným duplexem a používá dvoužilový kroucený kabel s šířkou pásma 66 MHz a vlnovým odporem 100 Ω.

1000Base-T1 je standardizována v normě IEEE 802.3bp. Je to varianta jednopárového Ethernetu pro délky kabelu od 15 m do 40 m (v závislosti na stínění) a přenáší data rychlostí 1 Gbit/s.
1000Base-T1 10Base-T1L pracuje s plným duplexem a používá dvoužilový kroucený kabel s šířkou pásma 600 MHz a vlnovým odporem 100 Ω.

MultiGigBase-T1, která má být určena v normě 802.3ch, je ještě ve fázi standardizace. Má umožnit jednopárový Ethernet s 2,5; 5 a 10 Gbitů/s a překlenutí vzdálenosti až 15 m.

Data PoDL a proud na jednom vedení

Jednou s hlavních vlastností jednopárového Ethernetu je současný přenos dat a napájení prostřednictvím párového vodiče - Power over Dataline (PoDL). V normě IEEE 802.3bu: “Physical Layer and Management Parameters for Power over Data Lines (PoDL) of Single Balanced Twisted-Pair Ethernet“ je určena analogicky k Power over Ethernet (PoE) připravenost dálkového napájení prostřednictvím jednopárového ethernetového kanálu (obrázek 7).



Obrázek 7. Současný přenos dat a napájení prostřednictvím párového vodiče. (Obrázek: channel-e)

Cíle a zadání pro režim PoDL jsou krom jiného tyto:

- Možnost provozu napájeného přístroje také v případě, že neexistují žádná data.
- Podpora úrovní napětí a proudu pro automobilový, dopravní a automatizační průmysl.
- Podpora režimu rychlého spuštění s předem zadanou konfigurací napětí/proudu a volitelným provozem s konfigurací doby provozu napětí/proudu.

Prostřednictvím PoDL lze přenášet energii v 10 třídách napětí/proudu s výkony mezi 0,5 W a 50 W (výkon spotřebiče, napájecí výkon = 63,3 W). Maximální proud je 1,6 A (Tabulka 3). Naplánováno je rozšíření o dalších 5 tříd (Tabulka 4).

Pro tento druh napájení jsou potřebné dvoužilové vodiče s kabely podle normy IEC 61156. Kabely STP kategorie 7 nejsou vhodné.

Třída	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Napětí [V]	5,5–18	5,5–18	14–18	14–18	12–36	12–36	26–36	26–36	48–60	48–60
Proud [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

Tabulka 3. Třídy PoDL (PD= Powered Device)

Třída	10	11	12	13	14	15
Napětí [V]	20–30	20–30	20–30	50–58	50–58	50–58
Proud [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

Tabulka 4. Přídavné třídy PoDL (PD= Powered Device)

PoDL poskytuje jak spolehlivé funkce rozpoznávání a ochrany proti chybám pro identifikaci přístrojů, tak přímou komunikaci s přístroji pro zajištění bezporuchového a bezpečného napájení.

Pro zjištění potřebné třídy napájení je používán doplňkový komunikační protokol: SCCP (Serial Communication Classification Protocol). Prostřednictvím tohoto protokolu dohadují PSD (Power Sourcing Equipment) a PD (Powered Device) potřebu napájení PD. Existenci spotřebiče zjišťuje PSD tak, že provádí kontrolu označení prostřednictvím existence Zenerovy diody 3 V na vstupu PD.

Jako maximální výkon dálkového napájení u standardu PoE normy IEEE 802.3bt platí pro přístroje NEC-Class-2 výkon 100 W. Proto také pravděpodobně budoucí rozšíření PoDL zůstanou pod 100 W a v průmyslové automatizaci použité napájecí napětí 24 V zůstane zaokrouhleno na maximálním špičkovém proudu 4 A.

Pohled do budoucnosti: Prediktivní údržba

Obrázek 8: Realizace sledování stavu, zařízení vyžaduje především pokračující spojení snímačů a součástí. (Obrázek: Analogové přístroje)

Průmysl 4.0 jako trend v oblasti průmyslové výroby představuje změnu paradigmatu, které především usiluje o optimální vytížení výrobních zdrojů. Pro úspěšnou realizaci této změny je nutné jasně definovat veškeré požadavky - co a jak často má být prováděno, stejně jako dostupnost výrobních zdrojů. Stejně tak je nutné znát požadavky na údržbu strojů, a to ideálně několik měsíců dopředu.

Ale také jsou možné další možnosti: Když stroj již není v optimálním stavu, například obráběcí stroj již nedosahuje nejvyšší přesnosti, lze jej přesto naplánovat pro jiné práce, pro které je dosažená přesnost ještě je vyhovující. V centru pozornosti je tedy sledování stavu každého jednotlivého stroje, popřípadě každého jednotlivého procesu, aby bylo možné optimálně a flexibilně naplánovat jejich použití a údržbu. Realizace sledování stavu, například hydraulického zařízení, vyžaduje především nepřetržité spojení snímačů a součástí, a poskytování údajů zaznamenaných pro všechny komponenty a subsystémy v průběhu celého procesu. To vyžaduje především digitalizaci systému snímačů, přičemž vedle čistých naměřených dat musí být na vyžádání k dispozici také metadata, popřípadě další veličiny.

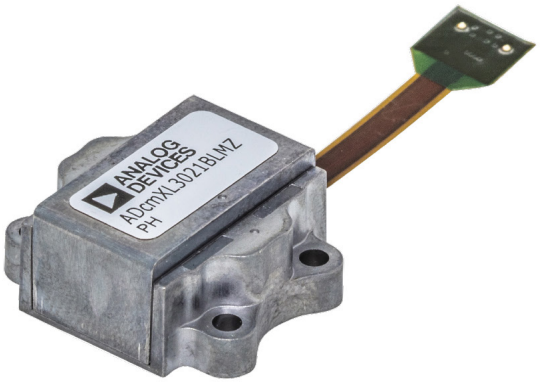
	Vlastní náklady a náklady na instalaci	**Provozní náklady**	**Náklady včetně neplánovaných prostojů**
Reaktivní údržba			€€€€€€€€€€ Neplánovaná přerušení výroby
Preventivní údržba		€€ Zásah na místě podle plánu/systematické výměny spotřebních dílů	€€€€ Protože se neprovádí sledování stroje v reálném čase, dochází k neplánovaným přerušením výroby
Prediktivní údržba	€€ Instalace zvláštních přípravků (vibrační snímače atd.)	€ Znalost stavu stroje, sledování prostřednictvím speciálního softwaru nebo pomocí AI	€ Díky sledování stroje v reálném čase lze perfektně naplánovat přerušení výroby

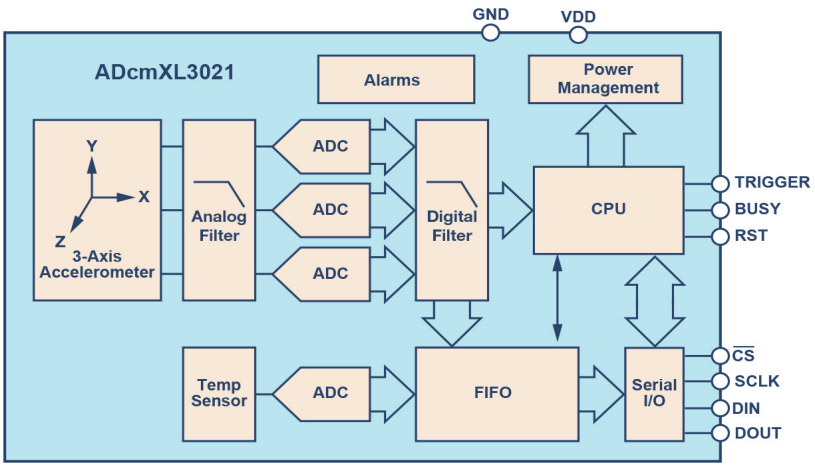
Tabulka 5. Prostřednictvím prediktivní údržby lze minimalizovat celkové náklady.

Pro určení, kdy je správný čas pro zahájení údržby, se používají parametry jako vibrace, hluk a teplota. Při použití měřitelných fyzikálních veličin dodává měření spektra kmitů většinu informací o původu problému v rotujícím stroji (motor, generátor). Zvýšená vibrace může být známkou vadného ložiska ložiska nebo nevývahy. Každý z těchto problémů se projeví určitým příznakem, jako je například zdroj vibrací v rotujícím stroji.

Měření kmitů pomocí snímačů zrychlení

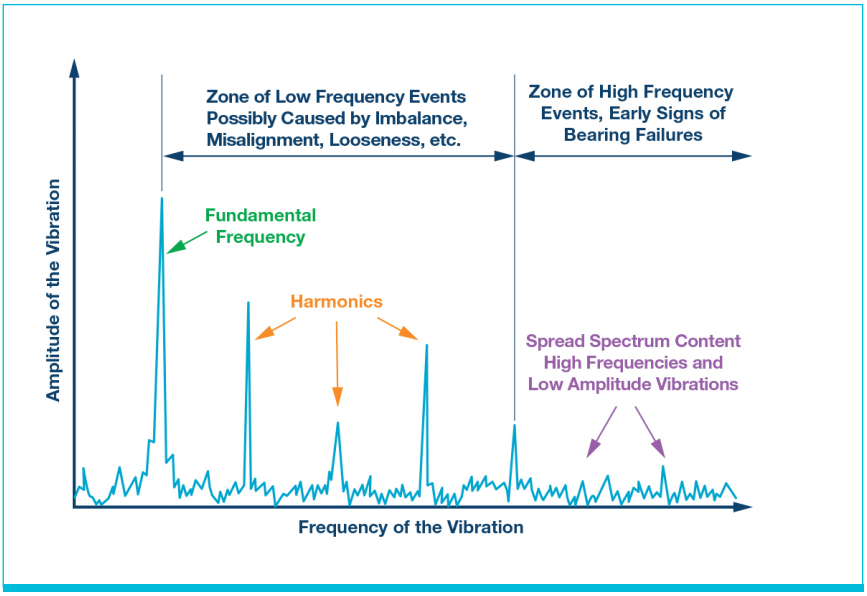
Měření kmitů lze provést pomocí snímače zrychlení, který je umístěn v blízkosti sledovaného prvku. Tento snímač může být piezoelektrický nebo lépe typu MEMS, který poskytuje při nízkých frekvencích nejen lepší odezvu, ale také je menší (Obrázek 9).





Obrázek 9. Modul ADcmXL3021 poskytuje ze snímačů předpoklady pro prediktivní údržbu (Obrázek: Analogové přístroje)

U vadného kuličkového ložiska se vždy při kontaktu kuličky s trhlinou nebo vadou na vnějším nebo vnitřním kroužku projeví náraz, který způsobí vibraci nebo malé posunutí osy otáčení. Četnost těchto nárazů závisí na otáčkách a počtu a průměru kuliček.



Obrázek 10. Spektrální příznak závisí na druhu problému. První příznaky poruchy ložiska lze zjistit u vysokých frekvencí. (Obrázek: Analogové přístroje)

Ale to není všechno. Jakmile se vyskytne chyba, vytvářejí dříve popsané nárazy často slyšitelný hluk, rázovou vlnu, která se projevuje výskytem spektrálních složek s nízkou úrovní a relativně vysokou frekvencí, často větší než 5 kHz a vždy vysoko nad základní frekvencí otáčení.

Když se závada zhoršuje, stoupá úroveň nízkofrekvenčních složek frekvence. V pokročilém stupni lze úroveň vibrací zaznamenat snímačem zrychlení základní třídy. Porucha ale v tomto okamžiku bezprostředně hrozí a tým údržby má ještě trochu času reagovat. Aby nedošlo k překvapení, je důležité první příznaky anomálie rozpoznat pomocí snímače zrychlení s nízkým šumem a s velkou šířkou pásma.

Zdroje kmitů v rotačních strojích

Jeden z problémů, které se často vyskytují u rotačních strojů, je selhání kuličkového ložiska. Spektrální analýza dat měřidla zrychlení v blízkosti ložiska
zobrazuje řadu charakteristik, amplitud a frekvencí, které závisí na otáčkách a příčině závady.

Charakteristické frekvence systému, které lze uvést, zahrnují:

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

Frekvenci ve vztahu k závadě na vnějším kroužku (pevný):

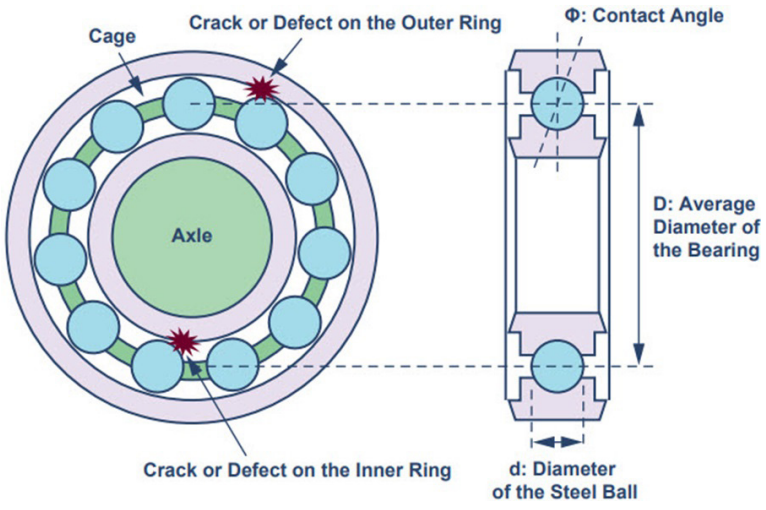
$$f_{ext} = N \times f_{cage}$$

Frekvenci ve vztahu k závadě na vnitřním kroužku (hřídel)

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

V důsledku těchto frekvenčních vlastností způsobí rázová vlna, vytvářená otáčením vadné kuličky (trhlina, odlupování atd.), kmitání s vysokou frekvencí (>5 kHz), které jsou často slyšet.

1. N: Počet kuliček
2. Φ: Kontaktní úhel
3. *f*axle: Frekvence otáčení hřídele
4. d: Průměr kuličky
5. D: Průměrný průměr ložiska



Obrázek 11: Závada kuličkového ložiska (Obrázek: Analogové přístroje)

Existuje řada technik pro analýzu kmitání. Dodatečně k digitálnímu filtrování pro potlačení parazitních kmitů, které jsou způsobeny samotným procesem nebo dalšími součástmi stroje, lze často použít matematické nástroje obsažené v ADcmXL3021 (výpočet střední hodnoty, standardní odchylky, činitele amplitudy, koeficientu špičatosti atd.). Analýzu lze provést v časovém intervalu, ale je to frekvenční analýza, která dodává většinu informací o anomálii a jejím původu. Je možné také využít výpočet cepstra, které lze často zaznamenat ve spektru signálního spektra (inverzní Fourierova transformace, která je použita na logaritmus Fourierovy transformace signálu). Nezávisle na použité metodě analýzy existuje obtíž v optimálním stanovení prahu výstrahy, aby údržba nebyla provedena ani příliš brzy, ani příliš pozdě.

Alternativou k obvyklé konfiguraci prahů výstrahy je zavedení umělé inteligence v procesu rozpoznání chyby. V průběhu strojové učící fáze se používají zdroje z cloudu, aby bylo možné vytvořit reprezentativní modely stroje (založené na datech snímačů vibrací). Jakmile byly vytvořeny modely, můžete je nahrát do lokálního procesoru. Použití vnořeného softwaru umožňuje nejen identifikaci běžících událostí v reálném čase, ale také přechodných událostí, takže lze rozpoznat anomálie.

Snímače v automobilu pro rychlou jízdu

Počet snímačů ve vozidle trvale přibývá, současně stoupá jejich výkonnost. Spotřeba energie se také trvale snižuje a inteligentní funkce jsou trvale na vzestupu. Data snímačů získaná z různých součástí lze sloučením snímačů použít redundantně a kombinovaně a jsou důležitým předpokladem pro zapojení do sítě také mimo vozidlo (V2X).

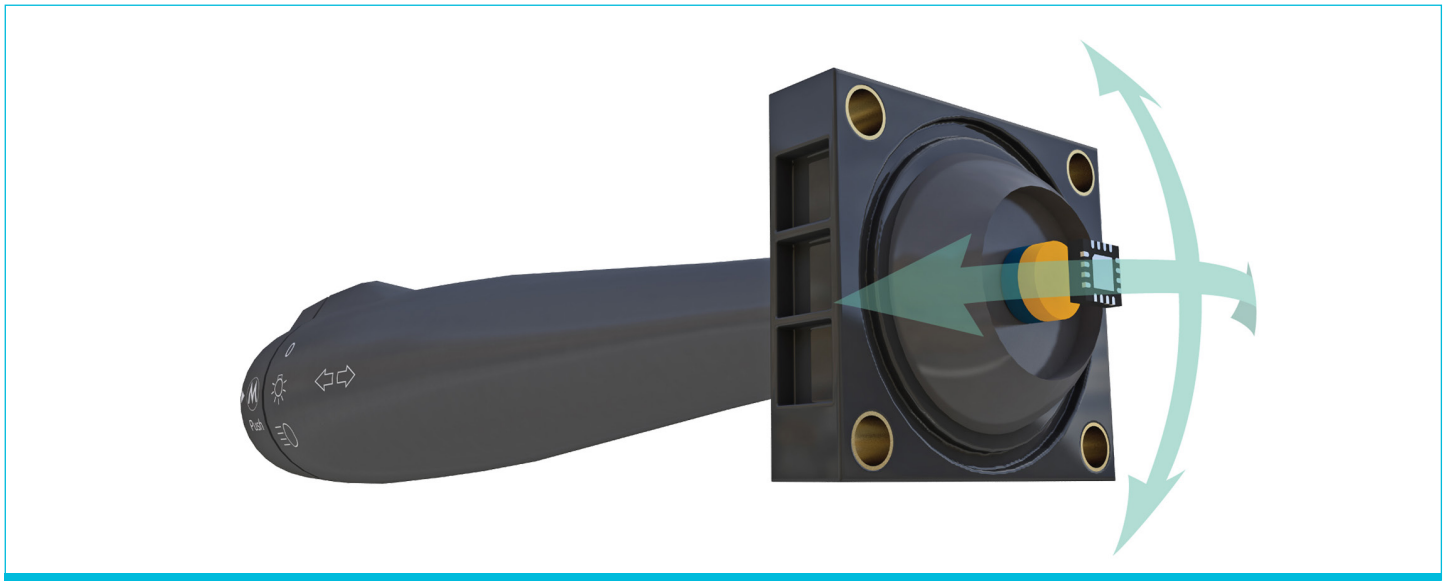
V automobilovém průmyslu snímače podporují, kromě jiného, řízení motoru, regulace výfukových plynů, funkce podvozku a klimatizace, funkce pro autonomní jízdu, asistenční funkce, e-mobilitu, rozpoznání obsluhy (například ovládání gesty), aktivní a pasivní bezpečnost a obecné funkce karoserie. Snímače snímají a sledují elektrické, magnetické, mechanické, elektromagnetické, tepelné a chemické procesy ve vozidle a dávají k dispozici informace na displeji nebo k dalšímu zpracování.

Ve vývoji je koncepce automobilů bez řidiče (autonomní řízení). K tomu je potřeba kromě do sítě propojené infrastruktury mnoho dat v reálném čase ze snímačů rychlosti, zrychlení, polohy a bezdotykových snímačů. Snímače dodávají data, která jsou shromážděna, vyhodnocena, sdružena (sloučení snímačů) a zpracována. Výsledkem je, že vozidlo je v nejlepším případě řízeno bez zásahu řidiče. Snímače v asistenčních systémech již dnes zajišťuji bezpečnost a komfort. Přitom je podporována také koncepce prediktivní údržby.
Snímače jsou používány jak ve vozidle, tak v infrastruktuře pro vozidla. Tímto způsobem se asi 2/3 snímačů stará o hnací ústrojí a řízení motoru. Zaznamenávají přitom změny hmotnosti, teploty, vibrace, hmotnostního proudu, velikosti objemového proudu, točivého momentu, polohy ventilů a otáčivého pohybu a předávají tato data dále do řídicí jednotky.

Vybrané snímače pro stabilitu jízdy a bezpečnost:

- Tlakové snímače
- Snímače otáček a rychlosti (např. hallovy snímače)
- Snímače polohy (snímače úhlu řízení)
- Snímače zrychlení
- Snímače teploty
- Snímače výfukových plynů
- Průtokové měřiče
- Snímače síly
- Snímače obrazu
- IMU (Inertial Measurement Unit - jednotka pro měření zrychlení) - skládá se ze snímačů zrychlení a gyroskopů

Snímače zrychlení, snímače hodnoty otáček a tlakové snímače pro řízení motoru, gyroskopy, IMU a další jsou například k dispozici jako snímače MEMS (Mikro-Elektro-Mechanisches System - mikroelektrický mechanický systém). Obsahují také umělou inteligenci a lze je naučit například gestům podle jednotlivých osob. Podle firmy Bosch je aktuálně v automobilu až 50 snímačů MEMS. Také v nově vyvinutých zařízeních, jako jsou drony a létající taxi, přebírají různé úkoly.



Obrázek 12. Snímač na bázi 3D hallova efektu MLX90395 (Triaxis Magnetometer Node) od firmy Melexis používá hallův efekt pro možnost bezkontaktního snímání v trojrozměrném prostoru. Verze Dual-Die například zajišťuje ve vozidlech redundanci při snímání polohy řadicí páky. (Obrázek: Tiskový obrázek Melexis)

Technik pro bezpečnost při snímání okolí

Stále více snímačů se používá pro automobilové asistenční systémy. Přitom se využívá více typů snímačů pro redundanci. Částečně nebo plně autonomní systémy musí rozpoznat okolí a určit svou polohu. Přitom pomáhají ultrazvukové snímače (rozpoznají překážky na krátkou vzdálenost), radarové snímače (zjišťují polohu a rychlost objektů ve větší vzdálenosti). Lidarové snímače dodávají 3D zobrazení a kamerové systémy snímají barvu a obrysy objektu.

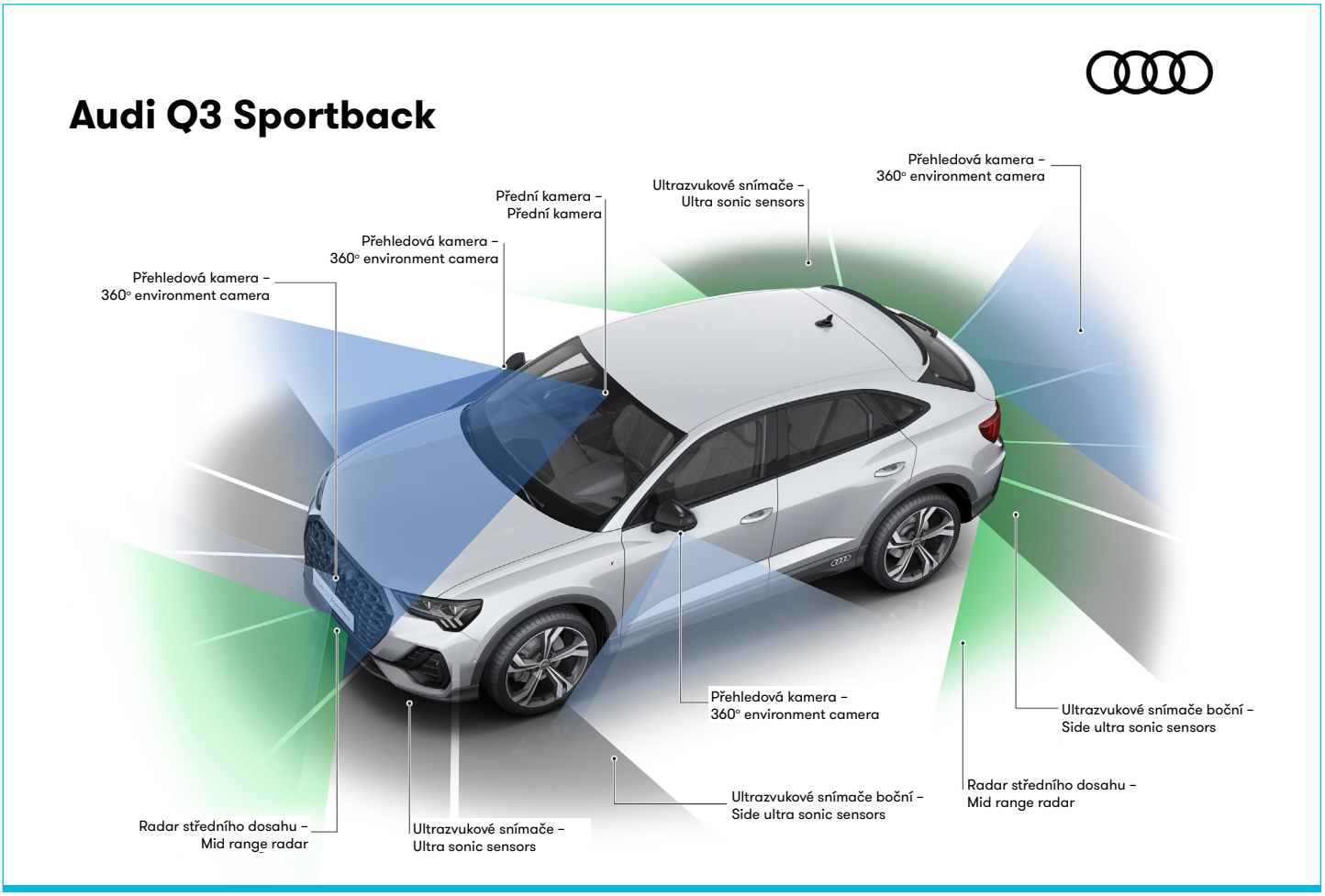
Podle varianty vybavení je například v moderním modelu Volkswagen až 24 snímačů pro rozpoznání okolí pro asistenční systémy řidiče. K nim patří radarové a ultrazvukové snímače, kamery a laserové skenery. Při dalším vývoji asistenčních systémů řidiče až k automatizované jízdě od úrovně 3 jich bude ještě mnohem více.

	Kamera	Radar	Lidar	Ultrazvuk	Radar + Lidar	Kamera + Lidar	Kamera + Radar
Rozpoznání objektu	střední	dobré	dobré	dobré	dobré	dobré	dobré
Klasifikace objektu	dobrá	špatná	střední	špatná	střední	dobrá	dobrá
Měření vzdálenosti	střední	dobré	dobré	dobré	dobré	dobré	dobré
Přesnost hran objektu	dobrá	špatná	dobrá	dobrá	dobrá	dobrá	dobrá
Sledování stopy	dobré	špatné	špatné	špatné	špatné	dobré	dobré
Dohled	střední	dobrý	střední	špatný	dobrý	střední	dobrý
Funkce při špatném počasí	špatná	dobrá	střední	dobrá	dobrá	střední	dobrá
Funkce při nedostatku světla	střední	dobrá	dobrá	dobrá	dobrá	dobrá	dobrá

Tabulka 6. Obzvlášť pro autonomní funkce je potřebné zálohování dat snímačů. Kombinace různých technologií má výhody své výhody i nevýhody. (Zdroj dat: McKinseyCompany)

V budoucnosti vznikne více hybridních řešení snímačů (také pod názvem multisnímače) pro minimalizaci počtů snímačů a nákladů. Vedle kombinovaného řešení z radaru a kamery potřebuje plně autonomní řízení navíc lidar pro zajištění redundance analýzy objektu a lokalizace. Experti očekávají, že v roce 2025 budou pro sériovou výrobu zralé první automobily podle úrovně 5. Tesla již nyní používá osm kamer pro sledování okolí automobilu v rozsahu 360° až do vzdálenosti 250 m a dvanáct ultrazvukových snímačů a má namontovaný radar směrovaný dopředu. Verze s lidarem Tesla v současnosti neplánuje.

Data z kamery, radaru, lidar, infračervených a ultrazvukových snímačů jsou dále zpracovány pomocí různých algoritmů (klíčová slova: umělá inteligence a hluboké učení) a slouží řídicímu systému jako podklad pro jeho rozhodování.



Obrázek 13. Pole snímače sledování okolí v Audi Q3 Sportback (Obrázek: Tiskový obrázek AUDI AG)

Kamery rozpoznají značení, dopravní značky, semafory, osoby a další vozidla. Kromě toho pomáhají při parkování a sledování provozu. V bočním zrcátku se zobrazuje oblast mrtvého úhlu. Kamery s funkcí nočního vidění a infračerveného světla podporují řidiče ve tmě.

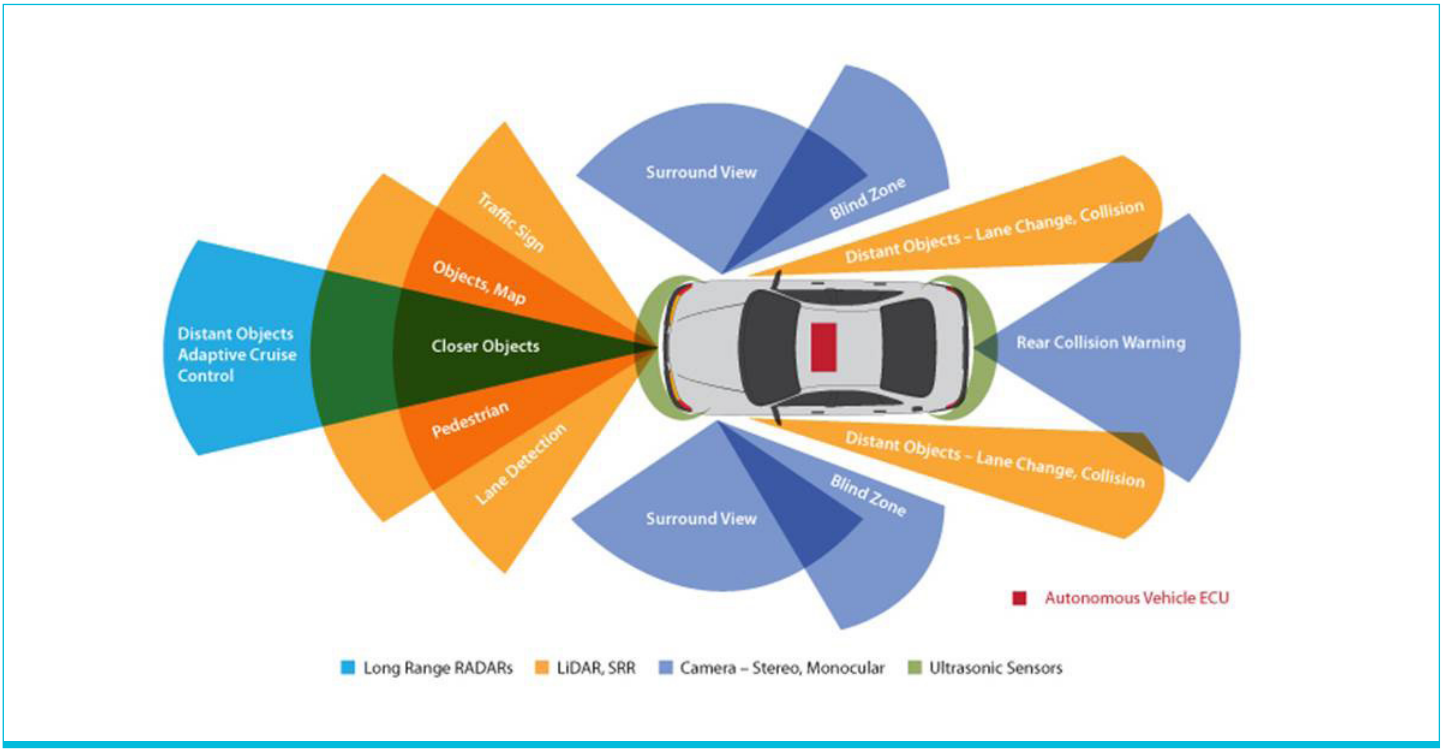
Existují monokamery, které zobrazují dvourozměrný obraz. Přitom chybí hloubka pro měření vzdálenosti a radar a lidar musí dodávat doplňující informace. Stereokamery má dvě čočky. Tímto způsobem lze zobrazit informace a změny v hloubce. Tyto modely jsou dražší než monokamery.

Když se spojí dohromady obrázky z více kamer, vznikne trojrozměrné zobrazení. Přední kamery s dosahem 100 až 240 metrů zobrazují informace, jako je značení, dopravní značky, chodce a cyklisty. Slouží pro kontrolu vzdáleností a rozpoznají nebezpečí, která mohou vyžadovat nouzové brzdění.

3D snímače obrazu jsou v provedení například na principu snímání v reálném čase (princip ToF; Time of Flight). Měří přímo hodnotu hloubky a amplitudy na každý pixel. Tímto způsobem jsou k dispozici 3D data, která lze spolehlivě zaznamenat za všech světelných podmínek okolí (za slunečního světla, za tmy a při měnících se světelných podmínkách).

Použité světelné zdroje mohou být LED nebo laserová dioda (VCSEL; Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser). Kamery ToF se používají jako bezpečnostní snímače a snímače asistenta řidiče. K nim se počítají aplikace, jako jsou aktivní ochrana chodce, asistent nouzového brzdění, ale také v interiéru, například pro kontrolu správné polohy jízdy.

Aktuální kamerová technologie v automobilu (například od firmy Bosch) již má umělou inteligenci. Proto lze rozpoznat objekty a rozdělit je do tříd, jako jsou vozidla, chodci nebo cyklisté, a měřit pohyby. Taková kamera může v nepřehledném městském provozu spolehlivě rozpoznat a zatřídit částečně skrytá nebo křižující vozidla, chodce a cyklisty.



Obrázek 14. Pro řešení L4 a L5 se používají kombinace snímačů pro snímání dopravní situace. (Obrázek: KPIT Technologies GmbH)

Radarové snímače – mistři v měření vzdálenosti

Radar je technologie pro měření vzdálenosti. Radarové snímače v přední a zadní části vozidla rozpoznají jiná vozidla nebo překážky. Zpětný snímač snímá dopravu, která se blíží zezadu a předjíždějící vozidla. Dopravu vpředu sleduje radar dalekého dosahu a radar blízkého dosahu kontroluje bezprostřední okolí. Radar měří rychlost a vzdálenost. Čím rychleji se vrátí vysílané rádiové vlny, tím bližší je měřený objekt. Rychlost je měřena prostřednictvím přiblížení.

Radar lze použít téměř při všech povětrnostních podmínkách. Jestliže silně prší, signál je utlumený, mlha není kritická. Pokročilé radarové snímače poskytují velký dosah snímání, široký otevřený úhel a velkou rozlišovací schopnost úhlu.

Radarové snímače ve frekvenčním rozsahu 77-79 GHz s šířkou pásma až do 4 GHz mohou dodávat rozlišení vzdálenosti až několik centimetrů. Pro lepší rozpoznání objektů jsou použity rychlé signály chirp, které citlivěji reagují na poruchy než pomalejší frekvenčně modulované signály s kontinuální vlnou (FMCW). Radar blízkého dosahu rozpozná objekty až do vzdálenosti asi 30 metrů, systému dalekého dosahu mají dosah až asi 250 metrů.

Radarové snímače (Radio Detection and Ranging) vysílají a přijímají vysokofrekvenční elektromagnetické vlny pro zjištění vzdálenosti a relativní rychlosti k objektu. Impulsní radary vysílají krátké impulsy určité frekvence. Radary s kontinuální vlnou vysílají trvalé signály se změněnou frekvencí. Radarové snímače 24 GHz se používají pro snímání blízkého dosahu (Short Range Radar). Radarové snímače ve frekvenčním rozsahu 77-79 GHz umožňují vysoké vysílací výkony a mohou pokrývat větší vzdálenosti. Používají se pro střední a vzdálený dosah (Mid Range Radar a Long Range Radar). Radarové snímače s milimetrovými vlnami pracují bezdotykově ve frekvenčním spektru 30 až 300 GHz. Z důvodu krátkých vlnových délek dodávají rozlišení pod jeden milimetr při měření vzdálenosti.

Lidarové snímače – 3D svět

Lidarové snímače pracují podobně jako radar, ale místo rádiových vln používají laserové paprsky. Jejich odrazy vytvářejí trojrozměrný světelný obraz okolí automobilu. Data jsou proti radaru více rozprostřena. Rozpoznávají dopravní značky, označení jízdní dráhy a pohyby – v noci pracují dokonce lépe než kamery.

Lidarové snímače se používají například také pro asistenty brzdění. Vysílané laserové paprsky provádějí měření rychlosti a vzdálenosti. Když rozpoznají překážku (osobu, vozidlo atd.), může asistent nouzového brzdění spustit úplné zabrzdění.

Lidar je zkratka „Light Detection and Ranging“, měří tedy vzdálenost ke stojícím a pohybujícím se objektům a dodává trojrozměrné obrázky. Velké a drahé verze laseru (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - zesílení světla stimulovanou emisí záření) s rotujícími zrcadly jsou stále více nahrazovány pevným lidarem „solid state“. Digitálně řízené diodové polovodičové pole přitom nahrazuje pohyblivé díly. Kromě toho se používají zrcadla MEMS. Lidarové systémy pracují se světelnými pulsy z oblasti neviditelného světla (blízko infračervenému, o délce vlny typicky 905 nm). Při dobrých povětrnostních podmínkách mají dosah 200 až 300 metrů, poskytují vysoké úhlové rozlišení a mohou pokrývat až 360 stupňů (střešní verze). Výsledky lidaru a laserového skenování jsou ovlivněny mlhou.

Ke snímačům, které nepoužívají žádné pohyblivé laserové součásti patří Velarray od firmy Velodyne (Obrázek 15 uprostřed), které snímá oblasti ve vodorovném úhlu 120 stupňů, ve svislém úhlu 35 stupňů a s dosahem 200 metrů. Díky množství bodů s vysokým rozlišením snímač přesně rozpozná (jako další produkty výrobce), také při špatných světelných podmínkách, chodníky, obrubníky, vozidla, chodce, cyklisty a další překážky. Protože nerotuje, je vhodný obzvlášť pro integrovanou montáž (zapuštěnou) do podvozku.

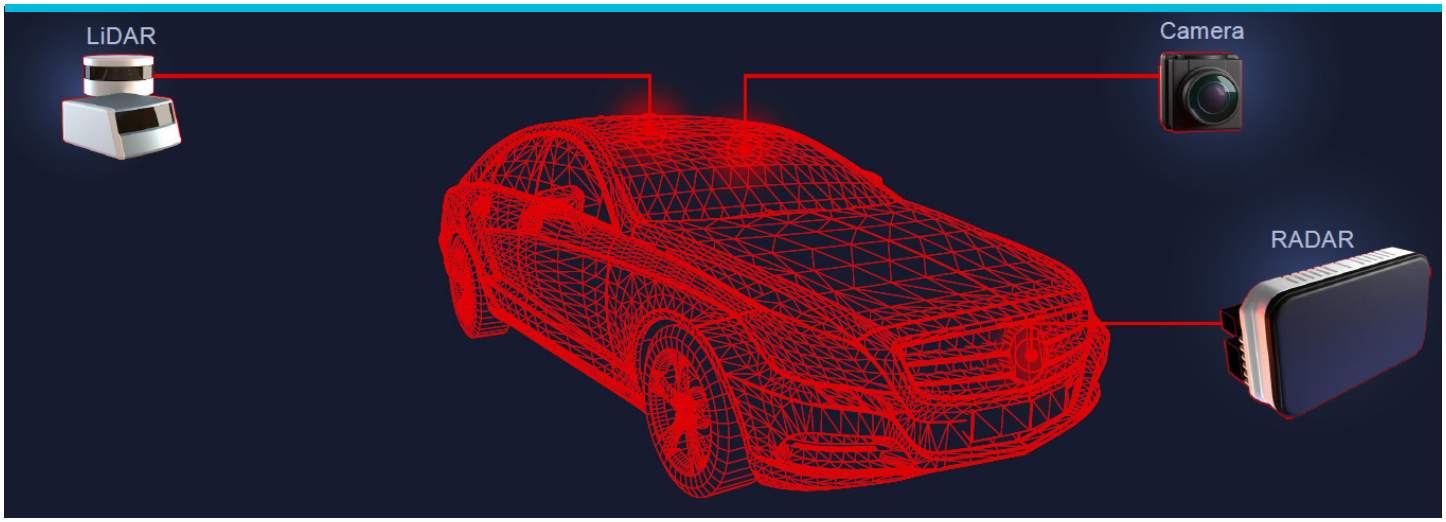
Obrázek 15. Produkt Alpha Prime (vlevo) nahrazuje model HDL-64 výrobce jako referenční/ vyhodnocovací snímač a je určen pro použití pro robotické taxi a nákladní vozidla L4/L5. Produkt VelaDome (vpravo) je snímač pro autonomní vozidla, který snímá oblast polokoule/hemisféru. (Obrázek: Tiskový obrázek Velodyne Lidar)

Obrázek 16. Firma ZF vyrábí pevný (solid state) lidarový systém „ibeoNEXT“ včetně řídicí jednotky (na zakázku firmy Ibeo Automotive Systems GmbH) a v říjnu 2020 začala s jeho dodávkou. Lidarový snímač je založen na fotonové laserové měřicí technologii a je bez pohyblivých dílů (solid state).
(Obrázek: Tiskový obrázek ZF Friedrichshafen AG)

Obrázek 17. Lidarový snímač od Blickfield s označením Cube Range, který rozpozná překážky až do vzdálenosti 250 metrů. Pevný 3D lidar má dosah 150 metrů při odrazivosti 10 procent; možný dosah až 250 metrů při vyšší odrazivosti; rozlišení je 0,18°. Produkt používá zrcadlo MEMS z křemíku. Husté množství 3D bodů se zpracovává softwarovým zásobníkem v reálném čase. Snímač je vhodný pro jízdy rychlostí běžnou na dálnicích. (Obrázek: Blickfeld GmbH)

Integrace lidaru do světlometu umožňuje také 3D mapování v reálném čase a rozpoznání objektu, klasifikaci a sledování. Také při mapování v HD se používá lidar pro snímání topografie velkých ploch pomocí 3D mapování pro autonomní navigaci vozidel.

Radarový systém 4D zobrazování (ARS 540) od firmy Continental, který je připraven do výroby, používá Zynq UltraScale+ MPSoC Plattform od firmy Xilinx. Poskytuje funkce odpovídající normě SAE J3016 Level 2 a lze jej rozšířit až na autonomní jízdní systémy úrovně 5. Radar 4D zobrazování určuje místo objektu na základě dosahu, azimutu, výšky a relativní rychlosti. ARS540 má dosah 300 metrů a viditelné pole ±60°. Umožňuje sledování pro přesnou předpověď v průběhu jízdy, podporovanou několika hypotézami. To je rozhodující pro zvládnutí komplexních scénářů dopravního proudu, jako je detekce stavu pod mosty. Navíc systém umožňuje rozpoznání potenciálně nebezpečných objektů v jízdní dráze a příslušným způsobem reaguje.



Obrázek 18. Prostřednictvím platformy Xilinx může radar firmy Continental (vpravo dole) systémově neutrálně pracovat s již existující konfigurací platformy snímače. Paralelní zpracování v programovatelné logice modulu a velký počet vrstev DSP pro digitální zpracování signálu umožňují hardwarové urychlení vstupních signálů radarového snímače v reálném čase. (Obrázek: Tiskový obrázek Xilinx)

Prognóza

Analytici od firmy Yole předpovídají, že trh lidarů pro aplikace v automobilové branži a průmyslu pro rok 2020 bude mít hodnotu okolo 1,7 miliardy USD. Očekávaný růst je asi 19 %. Pro rok 2025 firma Yole odhaduje obrat na 3,8 miliardy USD. Automobilové aplikace by mohly hlavním motorem pro lidar - s růstem 1,8 miliardy USD v letech 2019 až 2025. Protože jsou již aktivní partnerství mezi výrobci lidaru a vozidel, Yole předpovídá, že do roku 2025 bude technologie lidaru použita v 3,2% nákladních automobilů. Vliv robotických vozidel na vývoj lidaru bude podle firmy Yole mírný, protože počet robotických vozidel neroste tak silně. Také lidary pro nákladní vozidla neporostou rychle, protože výrobci se díky krizi COVID-19 dostali pod silný finanční tlak. Prostřednictvím nařízení pro snížení emisí CO2 se investice přesunou do oblasti elektrifikace. Kromě toho Yole vidí velký vliv Tesly na vývoj autonomních vozidel bez lidaru. (Zdroj: Tiskové sdělení z 27.8.2020 “Lidar musí bojovat s překážkami: Je řešením diverzifikace? - Yole Développement)

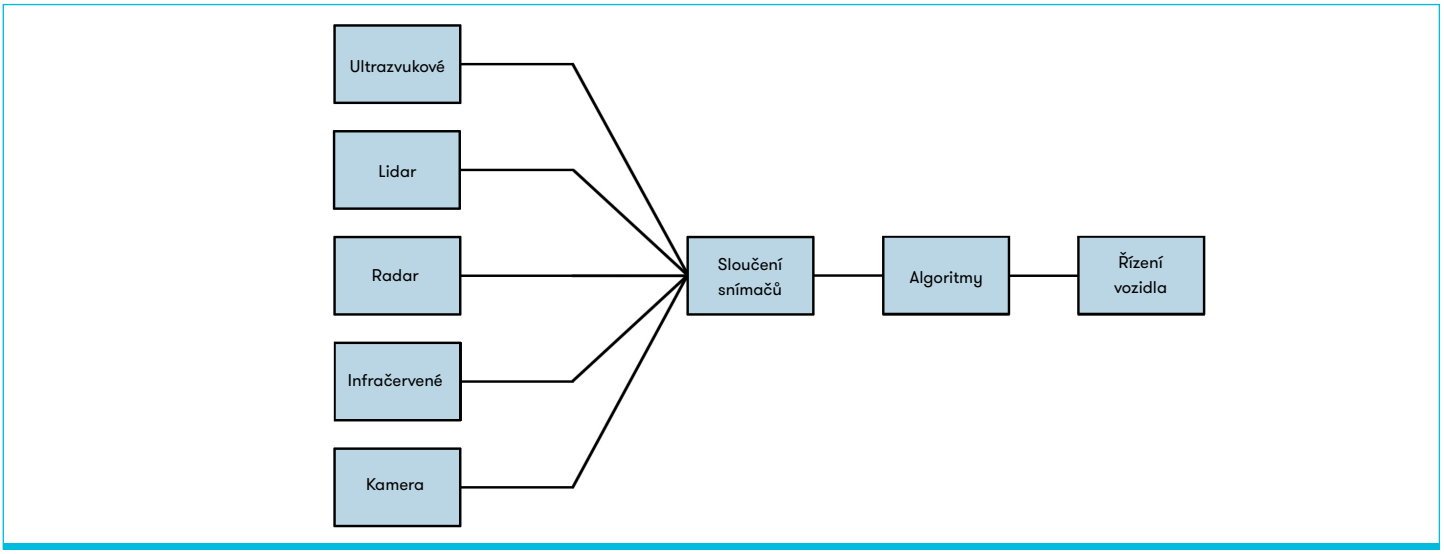
Další snímače

Infračervené snímače umožňují noční vidění. Ultrazvukové snímače slouží jako pomoc při parkování, mohou změřit mezery pro parkování v průběhu jízdy a rozpoznat vozidla ve vedlejším jízdním pruhu. Tímto způsobem lze sledovat mrtvý úhel. Ultrazvukové snímače měří vzdálenost k objektu tím, že měří čas průběhu odražených zvukových impulsů. Jsou kompaktní a robustní a pracují také v noci nebo v mlze. Sníh ovlivňuje výsledky a měření je limitováno na menší vzdálenosti. Pro zlepšení snímání okolí lze použít více ultrazvukových snímačů a použít triangulaci. Prostřednictvím tvarované antény dostanou vysílané ultrazvukové impulsy směrovou charakteristiku pro směrové vyzařování. Vytváří blízké a vzdálené pole.

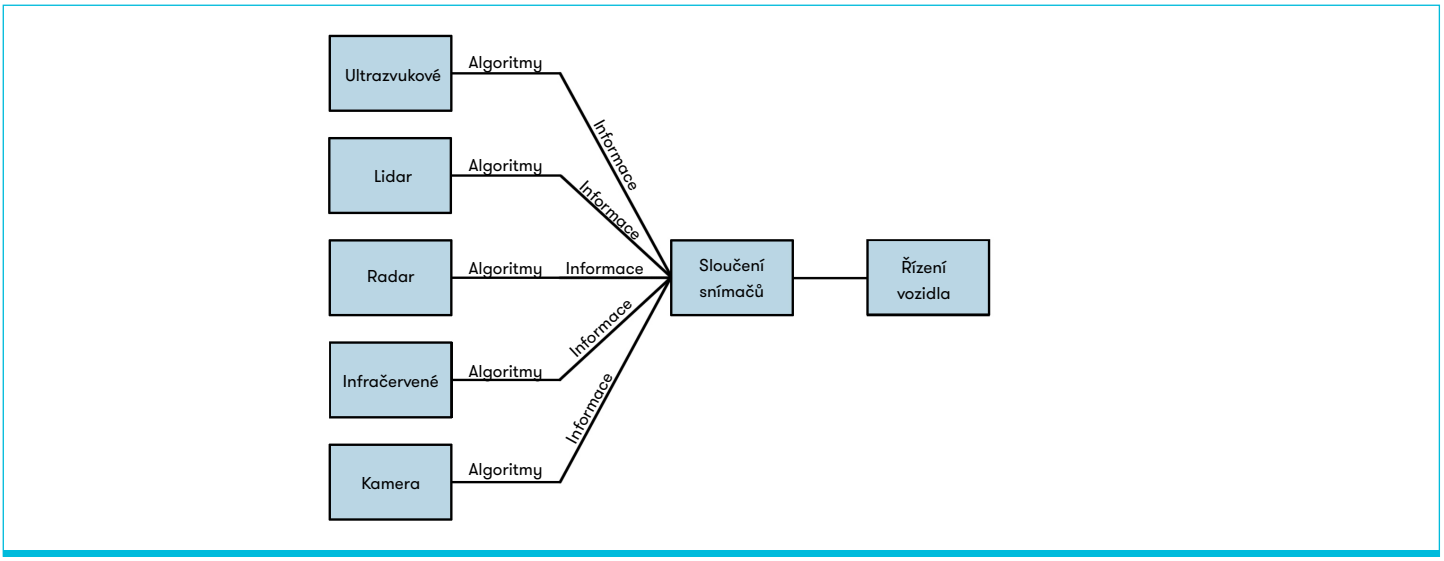
Mnoho námořníků a jeden kormidelník

Snímače mohou být využívány nezávisle na sobě. Když se spojí všechna data současně sloučením snímačů, lze pro ovládání docílit novou kvalitu. Těžiště jsou přitom funkční bezpečnost, redundance a kontrola hodnověrnosti. K tomuto účelu jsou navzájem porovnávány signály snímačů ve vozidle. Je zamezeno chybné interpretaci dat a řídící signál je vydán pouze tehdy, když jsou všechna data zkontrolována.

Důležité je sloučení dat snímačů pro autonomní koncepce vozidel. K tomuto účelu jsou ze všech snímačů (lidar, radar, ultrazvuk atd.) analyzována a porovnávána data v reálném čase. Teprve potom je spuštěna reakce vozidla. Přitom lze provést zpracování dat snímačů kompletně podle jejich sloučení (Obrázek 19) nebo se provede již předběžné zpracování v chytrých snímačích (obrázek 20).



Obrázek 19. Zjednodušené schéma zobrazuje vlevo snímače, které svá data dodávají do jednotky pro sloučení snímačů. Tam jsou pomocí různých algoritmů zpracována a informace o reakci je předána do řídicí jednotky. (Obrázek: channel-e)



Obrázek 20. Zjednodušené schéma zobrazuje vlevo snímače, které již integrují inteligentní funkce zpracování a již předem zpracovaná data dodávají do jednotky pro sloučení snímačů. Tam jsou provedeny porovnávací funkce, vypočítán model okolí a do řídicí jednotky vozidla je předána informace o reakci. (Obrázek: channel-e)

Pro snímání okolí autonomních vozidel jsou tedy kombinovány informace z radaru, ultrazvuku, lidaru a kamery. Naměřené hodnoty jsou vytvořeny asynchronně a řídicí jednotka sloučení snímačů vypočítá vždy v reálném čase aktuální model okolí a potom ovládá systémy řízení, pohonu a brzd.

Čistě formálně se jedná o sloučení komplementární, souběžné a skupinové. Komplementární sloučení kombinuje data více nezávislých snímačů. Množství dat je v tomto případě velmi velké a informace z jednotlivých snímačů se mohou doplňovat s ohledem na oblast snímání a měřicí veličiny (Příklad: více kamer vytváří obraz 360°).

Souběžné sloučení používá shodné informace z více snímačů pro zvýšení přesnosti měření a pro zajištění redundance (Příklad: Spojení předního radaru a předního lidaru). Skupinové sloučení potřebuje informace od různých nezávislých snímačů, které vždy měří částečný aspekt. Zde neexistuje redundance (příklad: Stereokamera používá data ze dvou kamer).

Jaká množství dat se musí zpracovat

Ze všech snímačů přichází velké množství dat. Experti z firmy Infineon to odhadují takto:

HD kamera: dodává prvotní data s rozlišením 1280 × 960 (barevná kamera) s 25 obrázky/s = minimálně 1,2 Gbit/s. V některých systémech je tento prvotní obraz zaslán do centrálního počítače a tam je zpracován, většinou je připojeno více kamer a existují také systémy s vyšším rozlišením než HD, proto jsou data kamery odhadovány na 2 až 6 Gbit/s.

Ale: V mnoha kamerových systémech již jsou videodata „předem zpracována“ a převedena na seznamy objektů a předány dále – proto tyto kamerové snímače dnes vystačí s přenosovými rychlostmi 100 Mbit/s až 1 Gbit/s. Nepřenášejí tedy žádný obraz, ale pouze dynamické seznamy objektů.

Radar: U radaru vznikají dnes ve snímači prvotní data s rychlostí 500 Mbit/s až 2 Gbity/s, jsou ale také ve snímači převedena do detekčních seznamů a seznamů objektů a potom prostřednictvím sběrnice CAN nebo Ethernet (tzn. s rychlostí 5 Mbitů/s, 10 Mbitů/s nebo 100 Mbitů/s) zaslány dále. V budoucnosti chce ale automobilový průmysl raději prvotní data z radarů s vysokým rozlišením zasílat do centrálního počítače, může to být tedy brzy až 48 Gbitů/s.

Lidar: U lidaru vznikají ve snímači – v závislosti na rozlišení, poli pohledu a rychlosti snímání prvotní data s rychlostí 10 až 100 Gbitů/s – také tam již ovšem jsou data předem zpracována do seznamů objektů a nejvýše rychlostí 1 Gbit/s zaslána dále. Proto v blízké budoucnosti také tady zpracování prvotních dat v centrálním počítači přinese výhody pro sloučení snímačů, počítá se s přenosovou rychlostí až 48 Gbitů/s.

Časový faktor u sloučení snímačů

U sloučení na úrovni signálu jsou spojena prvotní nebo předem málo zpracovaná data. Výhoda je, že nedojde k žádné ztrátě informací, nevýhoda obrovské množství dat. Při sloučení na úrovni charakteristiky jsou data snímačů zpracována předem nezávisle na sobě. Extrahované charakteristiky jsou potom sloučeny do vyššího stupně abstrakce. Proto lze spojit různé měřené veličiny a snížit množství dat. Při sloučení na úrovni objektu jsou data jednotlivých snímačů zpracována nezávisle na sobě a teprve nakonec sloučena. Zpracovávané množství dat se přitom minimalizuje, ale vyskytují se ztráty dat.

Velký bratr - sledování snímači v interiéru

Snímače zajišťují také bezpečnost prostřednictvím sledování interiéru. Jedoucí osoby jsou pozorovány různými snímači a jsou tak pod lupou. Cílem je například rozpoznání nadměrné únavy a odchylky (například mikrospánek).

- Zaprvé zde lze sledovat chování řidiče při řízení. Systémy drive-by-wire zjišťují například polohu úhlu a hodnoty otáček. Data přicházejí ze snímačů a jsou zasílána přes rozhraní do mikroregulátoru. Tam jsou data zpracována. Také tady je používán princip inteligentního snímače a data snímačů jsou předem zpracována a tím je odlehčen mikroregulátor. Kombinace s informacemi jako délka jízdy, trvání a čas může předpovědět pravděpodobnou únavu a řidič obdrží upomínku na přestávku.

- 3D obrazové snímače mohou kontrolovat pohyby očí, dech a srdeční frekvenci (neinvazivně).

- Prostřednictvím technologií pro 2D rozpoznávání lze do volantu integrovat dotykové snímače, které rozeznávají gesta. To mohou být například dotyk nebo otření jedním prstem nebo spojení a rotace dvěma prsty. Řidič může tímto postupem vyvolat nastavení, aniž by zvedl ruce z volantu. Pomocí 3D rozpoznávání lze rozpoznat větší gesta ve vzduchu. Je přitom obtížné rozlišit nedůležité pohyby ruky a uvědomělé příkazy gestem. Pro tento účel lze použít například software se stochastickými modely.

- Vizuální snímače: V interiéru vozidla se používají barevné infračervené kamery a kamery RGB-D. Přitom jsou sledovány fyzické parametry, jako jsou poloha hlavy vůči sedadlu a čelnímu sklu, úhel otočení hlavy, pohyb očí, změny na obočí a pohled. Z těchto údajů se vyvodí závěry o úrovni stresu osoby.

- Hmatové snímače: Snímače integrované v sedadle řidiče měří rozložení tlaku hmotnosti řidiče. Rozhraní předává naměřené hodnoty, jejich časový průběh se ukládá. Tyto rohože lze přizpůsobit různým sedadlům vozidla, různým velikostem těla a hmotnosti.

Souhrn

Další vývoj oboru snímačů v oblastech IIoT, automobilového průmyslu, lékařské techniky, automatizace budov, technologie pro životní prostředí, pro osobní elektroniku, všeobecnou komunikaci, chytrá města, chytré měření a všechny ostatní oblasti použití, přináší technologie které jsou stále inteligentnější, energeticky úspornější a stále více připojené do sítě. Ale zdánliví zabijáci trhu, jako je situace s COVID-19, mohou vést k novým aplikacím. V současnosti lze sledovat novinky jako jsou měřiče kvality vzduchu, hlásiče vzdálenosti a samozřejmě případy použití lékařské techniky. Čím rychleji, přesněji a účelněji jsou zpracována data (umělá inteligence), která jsou dodávána snímači, tím větší je hospodářské, technické a humanitární použití, které lze dosáhnout.