

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Principy lokalizace a měření polohy živých a neživých objektů v prostoru.

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Vladimír Ryženko, Ph.D.

Autor práce: Denny Idehen

Praha 2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Denny Idehen

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Principy lokalizace a měření polohy živých a neživých objektů v prostoru.

Název anglicky

Principles of position and location measurements for living and non-living objects in space.

Cíle práce

Provést analýzu současného stavu problematiky lokalizace a měření polohy a popsat konstrukční provedení různých typů senzorů polohy v závislosti na oblasti jejich použití. Vypracovat porovnání různých způsobů měření polohy a lokalizace z hlediska jejich výhod a nevýhod. Popsat způsob měření polohy objektu v prostorů pomocí akcelerometrů a hygroskopického senzoru.

Metodika

Seznámení s řešenou problematikou, zdůvodnění volby tématu a vymezení cílů bakalářské práce. Zpracování současného stavu dané problematiky s využitím odborných informačních zdrojů. Vypracování přehledu různých druhů senzorů polohy (odporové, indukční, indukčnostní, kapacitní, optické, ultrazvukové, magnetostrikční), popsat jejich fyzikální princip a praktické použití v technické praxi. Provedení vzájemného srovnání všech druhů snímačů polohy, včetně popisu výhod a nevýhod vybraných druhů senzorů. Popis způsobů měření polohy objektu v prostorů pomocí akcelerometru a hygroskopického senzoru. Zpracování principů používání běžných systémů pro lokalizaci (GPS, WiFi, Bluetooth) a popis možnosti určování polohy pohyblivých objektů pomocí rádiového měření vzdáleností objektu od pevných bodů. Zhodnocení použití různých způsobů lokalizace objektů pro různé účely.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

Snímač polohy, hyroskop, akcelerometer, lokalizace

Doporučené zdroje informací

Fraden, J.: Handbook of Modern Sensors: physics, designs, and applications. Springer; 3rd edition (September 21, 2001)

http://homel.vsb.cz/~jur286/prostredky_aut_rizeni/preklad.htm

<https://automatizace.hw.cz/clanek/2006010401>

<https://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>

<https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/tunely/bezdratove-komunikacni-systemy-pro-lokalizaci-osob-a-predmetu-v-tunelech-a-rozsahlych-stavbach>

<http://www.snimace.xf.cz/>

Martínek, R.: Senzory v průmyslové praxi. Praha: Vydavatelství BEN, 2004. 200 s., ISBN: 80-7300-114-4

Reza Zekavat, R. Michael Buehrer: Handbook of Position Location: Theory, Practice and Advances.

Wiley-IEEE Press (October 2011), 1264 pages, ISBN: 978-0-470-94342-7

Ripka, P., Kreidl, M. aj.: Senzory a převodníky. ČVUT Praha, 2005

Ripka, P., Típek, A. (Eds.): Modern Sensors Handbook. ISTE 2007, ISBN: 978-1-905209-66-8

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

Vladimír Ryženko, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 28. 1. 2019

Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 26. 12. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Principy lokalizace a měření polohy živých a neživých objektů v prostoru“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. V. Ryženkovi, Ph.D. za veškerou pomoc poskytnutou během vedení práce.

Abstrakt: Bakalářská práce se zabývá popisem vybraných typů polohových snímačů z hlediska jejich fyzikálních principů a konstrukčních řešení. Součástí práce jsou také některé systémy, určující polohu objektů ve větším měřítku, jako GPS. Pro každý typ vybraných polohových snímačů je provedeno zhodnocení jejich výhod a nevýhod s menším přehledem jejich praktického využití.

Klíčová slova: Snímač polohy, gyroskop, akcelerometr, lokalizace

Summary: The bachelor thesis deals with the description of selected types of position sensors in terms of their physical principles and design solutions. Part of the work are also some systems that determine the position of objects on a larger scale area such as GPS. For each type of selected position sensors an evaluation of their advantages and disadvantages is done with a overview of their practical use.

Key words: Position sensor, gyroscope, accelerometer, localization

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	3
3	Metodika práce.....	4
4	Polohové snímače a lokalizační systémy	5
4.1	Odporový snímač	5
4.2	Indukční snímač	8
4.3	Kapacitní snímač	10
4.4	Optický snímač.....	13
4.5	Ultrazvukový snímač.....	16
4.6	Magnetostrikční snímač	19
4.7	Magnetický snímač	22
4.8	Radiolokace.....	25
4.9	Akcelerometr.....	28
4.10	Gyroskop	30
4.11	Global positioning system – GPS.....	32
4.12	Wi-Fi positioning system	36
5	Závěr.....	37
6	Seznam zdrojů.....	38
7	Použité obrázky	40

1 Úvod

Pojmy senzor a snímač mají obecně stejnou definici, jedná se o zdroj informací, poskytovaných k dalšímu zpracování pro vyhodnocovací jednotku. I když pod pojmem senzor se rozumí jen převodník jedné fyzikální veličiny na jinou, pod pojmem snímač se myslí senzor společně s obvodem pro vyhodnocování signálu. Je možné tvrdit, že se jedná o zařízení, která určitou fyzikální veličinu převádí na signál. Signál se přenáší sdělovacím kanálem a dále se zpracovává v měřicích či řídicích systémech. Moderní snímače vytvářejí elektrický signál, který je nejvhodnější pro následující zpracování. [1]

Při využívání snímačů k měření polohy se vlastně měří vzdálenosti od snímacích částí, které však určují polohu jen v jedné ose. Na zjištění výšky hladiny vody to postačuje. Je-li ale potřeba získat více informací, například je-li objekt na zemi nebo ve vzduchu, nasazuje se vyšší počet snímačů, kdy už je možné zjišťovat i trojrozměrnou pozici. Polohou však nejsou myšleny pouze vzdálenosti. Například letadlo potřebuje znát svoji letovou výšku, ale potřebuje také vědět, nachází-li se ve vodorovné poloze se zemí, aby mohlo bezpečně přistát. Rozumí se polohou tedy i vybočování, náklony nebo převrácení, kdy v takovém případě je snímač umístěn na sledovaném objektu.

Způsobů nebo hledisek, podle kterých lze rozdělovat senzory do různých kategorií existuje několik. Jednou z možností je dělení dle vstupní (měřené) veličiny, jako je teplota, poloha, rychlost nebo tlak. Dalším by mohlo být dělení podle fyzikálních principů převodu vstupní veličiny na elektrický signál, tedy podle fyzikálního jevu, jako magnetostrikční jev nebo Hallův jev. Tato práce se zabývá právě polohovými senzory, pracujícími na základě různých fyzikálních jevů.

Snímače jsou naprostým základem automatizované činnosti. Zajišťují hlavní průběh výroby, určují rychlost produkce a mnohdy i to, zdali bude činnost vůbec probíhat. Jejich využití však nekončí pouze u výrobní činnosti. Naopak, jejich použití je tak široké, že není možné s nimi nepřijít do kontaktu. Naprosto běžná použití jsou v mobilních telefonech při určování jejich orientace, automobilech nebo automaticky otevíraných vchodových dveřích supermarketu. A právě rozsáhlé a všestranné využití těchto snímačů bylo důvodem výběru tohoto tématu.

Základním cílem bakalářské práce je poskytnout čtenáři přehled o funkčnosti běžně používaných polohových senzorů. Čtenář by se měl například dozvědět, jakým způsobem vzniká ultrazvuk u ultrazvukových snímačů, a jak se jeho pomocí měří vzdálenost. Jak funguje snímač odporový – nejjednodušší polohový senzor. Jak satelitní družice dokážou sledovat pozici kdekoli na povrchu země, nebo to, že běžné Wi-Fi přístupové body lze také využívat k lokalizaci objektů v prostoru.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo vypracovat přehled o vybraných typech polohových snímačů z hlediska jejich fyzikálních principů. Popsat jejich konstrukční provedení využívané v praxi. Provést zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých typů snímačů a uvést příklady jejich využití v technické praxi.

3 Metodika práce

Bakalářská práce je zpracována formou literární rešerše. Všechny informace získané pro tvorbu, pochází z dostupných webových či literárních zdrojů a zpracovány jsou do jednotlivých celků. To znamená, že práce je dělena na části, z nichž každá představuje popis jednoho snímače. Každá kapitola začíná popisem funkčnosti snímače. Pokračuje představením nejdůležitějších technických parametrů, ovlivňujících přesnost měření. Dále je představen výčet výhod a nevýhod již zmíněných senzorů s krátkým přehledem jejich využití.

4 Polohové snímače a lokalizační systémy

4.1 Odporový snímač

Odporové snímače jsou zařízení, u kterých při změně snímané polohy sledovaného objektu dochází ke změně odporu v elektrickém obvodu. Takové lze dělit podle toho, zda se měřená veličina mění lineárně nebo skokově na:

- Spojité
- Nespojité

Spojité snímače

Spojité odporové snímače jsou nastavitelné odpory s jejichž posuvným či otočným jezdcem je spojen předmět u kterého je zjišťována jeho poloha. Takové senzory jsou realizovány pomocí potenciometrů, kterými lze snímat úhel natočení předmětu (otočný potenciometr) nebo měření posuvné vzdálenosti (posuvný potenciometr). Fungují jako napěťový dělič, a tedy změnou polohy jezdce dochází ke změně hodnoty napětí na vývodech. [1][2]

Konstrukce

Samotný potenciometr je konstruován z odporové dráhy, kterou představuje izolační podložka, na které je navinutý drát, po kterém se jezdec pohybuje nebo je na podložce nekovová odporová vrstva (vodivý plast). Pohyb jezdce po dráze mění vzdálenost mezi kontakty a tím je regulován odpor mezi nimi. Pro specifické účely se může vnější provedení lišit. Na obrázku 1 jsou provedení rotačního víceotáčkového a posuvného potenciometru. [1]



Obrázek 1 Provedení rotačního(vlevo) a posuvného(vpravo) potenciometru [3][4]

Vlastnosti potenciometrů

- Rozlišovací schopnost – jde o schopnost potenciometru zaznamenat určitou změnu v posunu jezdcem. Nejvyšší rozlišení nabízejí potenciometry vrstvé a to až 0,01 % svého rozsahu.

- Šum – vzniká pohybem jezdcce po odporové dráze. Způsoben může být sníženou životností, korozí, vlhkostí, nečistotami či odskakováním jezdcce.
 - Linearita – udává největší odchylku výstupního napětí. Je udávána v procentech napájecího napětí. Otočné potenciometry dosahují linearity až 0,002 % u posuvných potenciometrů je to v rozmezí 0,05-0,1 %.
 - Životnost – udávána je v počtu otočení jezdcem za daných provozních podmínek a dodržování provozních vlastností v určitých mezích.
 - Provozní krouticí moment – největší krouticí moment, který je potřeba k rovnoměrnému točení jezdcem v celém rozsahu.
 - Teplotní koeficient odporu – u drátových potenciometrů je dán největší poměrnou změnou odporu odpovídající stoupanutí teploty o 1 °C v celém rozsahu provozních teplot.
- [1][2]

Nespojitě snímače

Nespojitě odporové snímače rozlišují polohu měřeného předmětu náhlou změnou odporu způsobenou přepnutím kontaktů. Výstup je v podobě dvou hodnot jako: „vypnuto – zapnuto“.

Vyhodnocuje se pouze přítomnost předmětu v požadované poloze. Jsou to různá tlačítka, koncové spínače či přepínače. Příkladem je běžný přepínač vpravo a rtuťový spínač na obrázku 2 vlevo. Při náklonu rtuťová kapka vodivě kontakty spojuje. [1]



Obrázek 2 Mechanické spínače – rtuťový a páčkový [5][6]

Výhody a nevýhody [1][3]

- Jednoduchá konstrukce
- Snadná údržba
- Naměřená hodnota zůstává zachována i při výpadku napájecího napětí u potenciometrů
- Nízká cena, v případě opotřebení lze jednoduše vyměnit za nový
- Nevýhodou je, že jsou kontaktní, jejich životnost je mnohem nižší oproti bezkontaktním snímačům
- Náchylné na velké otřesy, u potenciometrů hrozí odskakování jezdců

Využití odporových snímačů [1]

- Kontrola hladiny vody
- V regulovaných soustavách např.: ovládání hlasitosti TV či otáček motoru
- Kontrola dovírání mechanických závor
- Ovládání polohy částí strojů

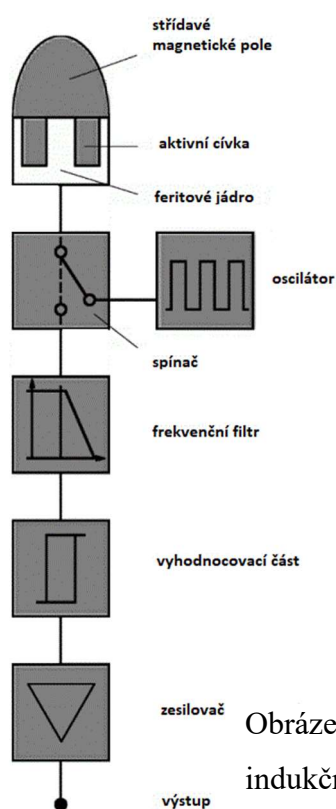
4.2 Indukční snímač

Indukční snímače jsou bezkontaktní zařízení detekující přiblížení elektricky vodivých materiálů.

Indukční snímače jsou tvořeny z několika částí – oscilátor, vyhodnocovací obvod a koncový stupeň. Tou hlavní z nich je oscilátor, který funguje na principu změny činitele jakosti, což je poměr mezi napětím na cívce a celkovým napětím v obvodu. Při přiblížení elektricky vodivého materiálu dochází k útlumu kmitů. Změnu kmitočtu vyhodnotí A/D převodník u spojitého snímání nebo komparátor pro získání logické funkce. Po vzdálení předmětu od aktivní části snímače se u oscilátoru kmitů obnoví na svoji původní frekvenci.

Cívka je hlavním prvkem indukčního snímače. Spolu s kondenzátorem tvoří oscilátor. Cívkou, umístěnou na feritovém jádře protéká střídavý proud z oscilátoru o vysokém kmitočtu a vytváří tak magnetické pole před snímačem. Vstupem cizího elektricky vodivého předmětu do aktivní zóny snímače dochází k deformaci magnetického pole cívky. Změna tohoto pole je způsobována vířivými proudy indukujícími se ve vodivém materiálu, které působí zpětně na cívku a mění tak její impedanci. [1][7]

Konstrukce indukčních snímačů



Běžně dostupné indukční snímače, jsou tvořeny za sebou stavenými elektrickými obvody (obrázek 3 vlevo) zabalenými v kovovém či plastovém pouzdru válcového nebo kvádrového tvaru s vysokým stupněm krytí (obrázek 3 vpravo). Pro lepší umístění jsou také často opatřeny závitem na svém těle. [7]



Obrázek 3 Blokové schéma (vlevo) a konstrukční provedení (vpravo) indukčního snímače [7]

Výhody a nevýhody [1][7]

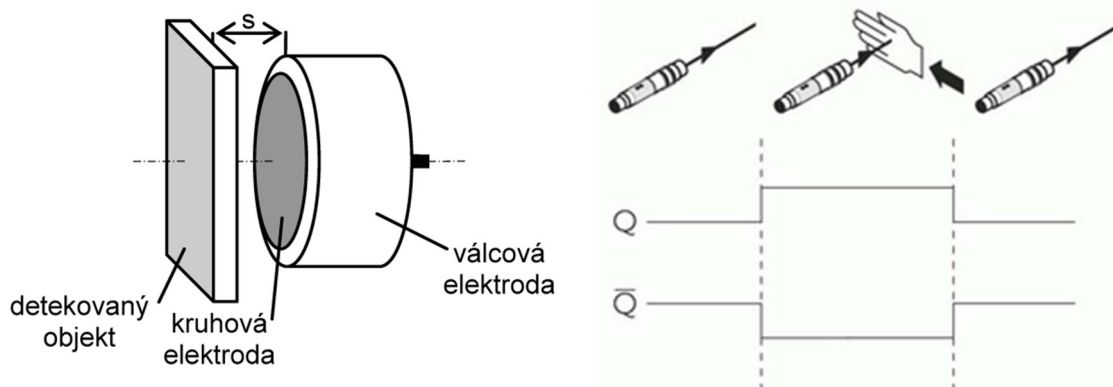
- Dlouhá životnost díky tomu, že nepřichází do kontaktu s měřeným předmětem
- Ocelové pouzdro poskytuje snímači vysokou odolnost vůči nepříznivým podmínkám jako prašné prostředí nebo ponoření ve vodě
- Zvládne detekovat předmět uložený v pouzdru
- Nevýhodou může být vliv kovových předmětů v okolí na průběh snímání

Využití indukčních snímačů [1][7]

- Strojní průmysl – obráběcí stroje, řízení svářecích robotů, dopravníků, detekce posunu, dorazy, detekce tloušťky materiálu
- Potravinářský průmysl – míchací stroje, balící stroje, plnicí stroje, posuvné dopravníky
- Automobilový průmysl – detekce pohybu kol automobilů

4.3 Kapacitní snímač

Hlavním prvkem kapacitních snímačů je kruhová elektroda vně válcového pouzdra (Obrázek 4 vlevo). Společně tvoří kondenzátor se základní kapacitou. Princip je založen na vyhodnocování kmitů oscilačního RC obvodu. Vnikáním měřeného tělesa do elektrostatického pole vytvořeného kondenzátorem se mění kapacita obvodu a tím amplituda jeho kmitů. Výstup na oscilátoru v podobě napěťového signálu se usměrňuje a získává jeho stejnosměrná složka, která se poté porovnává s referenční hodnotou v komparátoru pro nespojitě měření. Tím je získána logická funkce, která říká, zdali se předmět před snímačem nachází nebo ne (obrázek 4). U spojitých snímačů se používá převodník frekvence-napětí, u kterých výstup představuje závislost mezi přiblížením předmětu a napětím (proudem). [1][8]



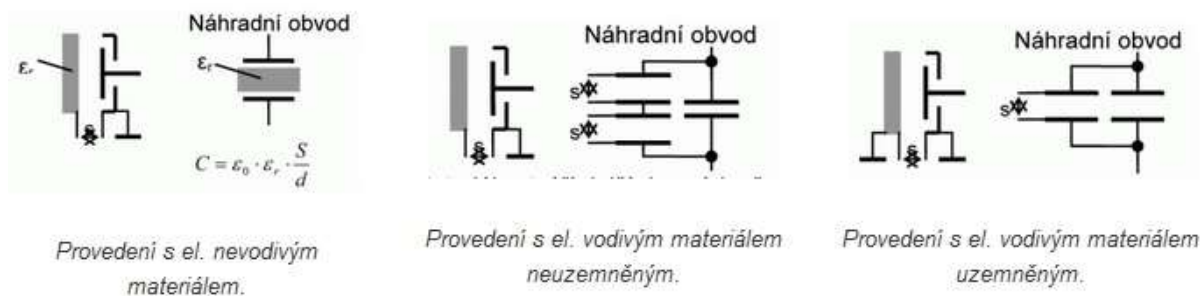
Obrázek 4 Princip snímání objektu [8]

Na základě objektu přibližujícího se ke snímači (obrázek 5) lze rozdělit principy měření na:

Přiblížení elektricky nevodivého materiálu s danou permitivitou – náhradní obvod se chová jako klasický kondenzátor s dielektrikem.

Přiblížení elektricky vodivého neuzemněného materiálu – předmět se stává další elektrodou a hraje zde roli jen permitivita vzduchu mezi snímačem a předmětem. Obvod se chová jako sériově zapojené vzduchové kondenzátory.

Přiblížení elektricky vodivého uzemněného materiálu – předmět se stává uzemněnou elektrodou. Uplatňuje se pouze permitivita vzduchu mezi snímačem a předmětem. Obvod se chová jako paralelně zapojené vzduchové kondenzátory. [8]



Obrázek 5 Náhradní obvody snímače s různým provedením materiálu [8]

Na obrázku 5:

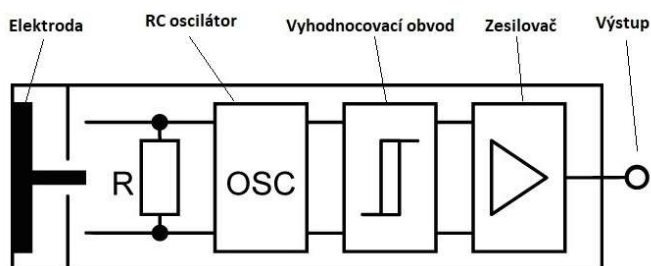
- C [F] Kapacita kondenzátoru
- S [m²] Plocha desek kondenzátoru
- D [m] vzdálenost mezi deskami
- ε₀ [F/m] permitivita vakua
- ε_r [1] relativní permitivita předmětu

Vlivy rušení

Maximální detekovatelná vzdálenost závisí na materiálu měřeného předmětu. Tato vzdálenost se mění o násobek tzv. redukčního činitele. Je také ovlivněna relativní permitivitou předmětu, a teplotou okolního prostředí. Nežádoucím se stává též vlhkost, která může způsobit chybné vyhodnocení snímaného předmětu.[1][8]

Konstrukce

Konstrukčně je kapacitní snímač (obrázek 6) velice podobný indukčnímu. Provedení je ve válcovém či kvádrovém tvaru z plastu nebo kovu, případně opatřený závitem. [8]



Obrázek 6 Blokové schéma a provedení kap. snímače [8]

Výhody a nevýhody [8]

- Výhodou je možnost detekovat jakýkoliv materiál oproti indukčnímu, který pracuje jen s vodivým materiálem
- Mají vyšší citlivost než indukční snímače
- Malé konstrukční rozměry
- Nevýhodou je větší vliv rušení
- A nižší spínací frekvence než u indukčních

Využití kapacitních snímačů [8]

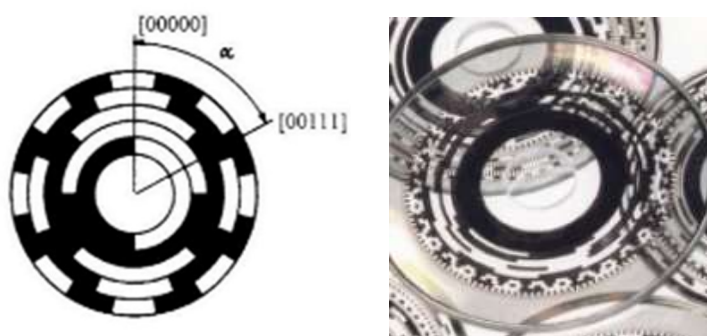
- Snímání polohy nekovových materiálů. Pro kovové slouží indukční
- Strojní průmysl – dopravníky, detekce posunu, detekce tloušťky materiálu.
- Potravinářský průmysl – míchací stroje, balící stroje, plnicí stroje
- Dřevoobráběcí stroje. Např.: Měření tloušťky obrobku
- Montážní linky – nastavení pozice.
- Textilní stroje
- Sledování a detekce úrovně hladiny různých materiálů
- Detekce pohybu a posuvu na dopravníkovém pásu
- Detekce malých kovových plošek, díky vyšší citlivosti, než při použití indukčního snímače

4.4 Optický snímač

Optické snímače pracují na principu vysílání a následném vyhodnocení světelného paprsku. Ten může buďto osvětlovat vzdálený detektor nebo se paprsek odrazí a dopadá zpět na přijímač zabudovaný v jednom zařízení společně s vysílačem. Vyhodnocuje se změna polohy zdroje, zastínění mezi vysílačem a přijímačem nebo rušení zdrojového a odraženého paprsku. Přesněji se měří amplituda či světelný výkon. Ty se poté porovnávají s požadovanou hodnotou. Zdrojem těchto záření jsou prvky jako LED nebo laserové diody. Přijímačem zase fotodiody nebo fototranzistory. [1][9]

Absolutní prosvětlovací snímač

Absolutní optický snímač je osvětlován zdrojem světla. Výstupem je signál s úplnou informací o poloze udávané k referenčnímu bodu. Řešené jsou pomocí kódových obrazců (obrázek 7) v podobě kotoučů pro rotační pohyb a pravítka pro přímočarý. Sestávají z průhledných a neprůhledných ploch. Procházející světlo kotoučem dopadá na přesně rozmístěné snímače (fototranzistory, fotodiody) pod ním, které vytváří informace o poloze v elektronické podobě. [1]

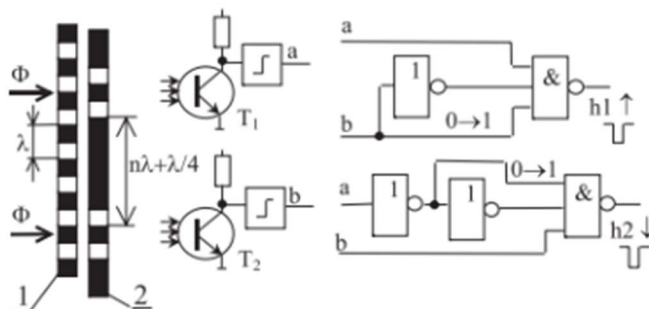


Obrázek 7 Kódové kotoučky s Grayovým kódem [1][10]

Inkrementální prosvětlovací snímač

Inkrementální snímače poskytují relativní informaci o poloze. Jejich výstupem je posloupnost dvou impulsů zvyšujících nebo snižujících obsah čítače. Na obrázku 8 je inkrementální snímač se stíněním světelného toku Φ . Světelný paprsek prochází otvory posuvného pravítka a pevné masky a dopadá na dvojici fototranzistorů. Pohybem pravítka se mění napětí na kolektorech. Ty vytvářejí dvě posloupnosti pulzů s posunem o čtvrtinu periody, což je způsobeno posuvem dvou systémů otvorů masky o čtvrtinu λ vzhledem k pravítku. Rozteče λ jsou kombinací náběžných a sestupných hran dělené na čtyři části, citlivost je tak zvýšena čtyřikrát.

K inkrementálnímu měření se musí přidat referenční značka určující začátek měření, protože nepodává informace o absolutní poloze. [1]



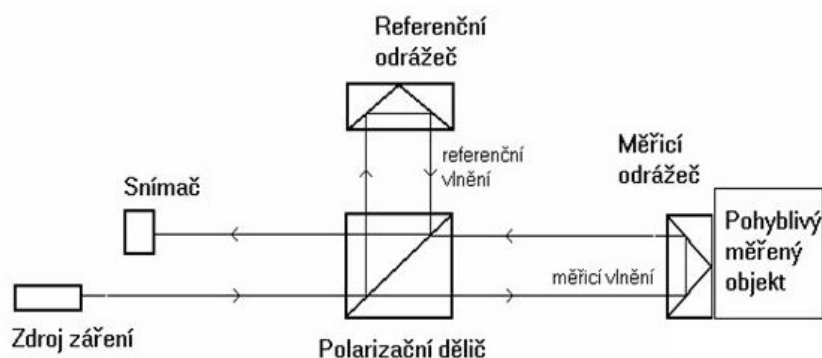
Obrázek 8 Inkrementální fotoelektrický snímač [1]

Optická závora

Optická světelná závora je snímač detekující přerušení světelného paprsku. Hodnotí se pouze, zdali se předmět nachází na požadované pozici. Vytvářena je pomocí LED, laseru nebo jiného druhu světla, které dopadá na přijímač tvořený fototranzistorem. Může být závora reflexní, kdy se paprsek ze zdroje odráží od vzdálené odrazky zpět na přijímač nebo jednocestná, kde namísto odrazky je umístěn přijímač. [9]

Interferometrický snímač

Laserový interferometrický snímač na obrázku 9 vyhodnocuje rušení (interferenci) světelného paprsku. Skládá dvě vlny, jednu měrnou a druhou referenční. Rovnoběžné paprsky procházejí polopropustnou plochou pod úhlem 45°. Část paprsků tedy prochází na pohyblivé zrcadlo, spojené s měřeným objektem, a další část se odráží na pevné zrcadlo. Odražené paprsky vytvářejí interferenční kroužky na polopropustné ploše tak, že při posunu o vlnovou délku záření se objeví na výstupu dva impulzy. Rozlišení těchto snímačů se pohybuje v jednotkách nanometrů a dokážou měřit v řádu desítek metrů. [1]



Obrázek 9 Interferometrický snímač [11]

Výhody a nevýhody [9]

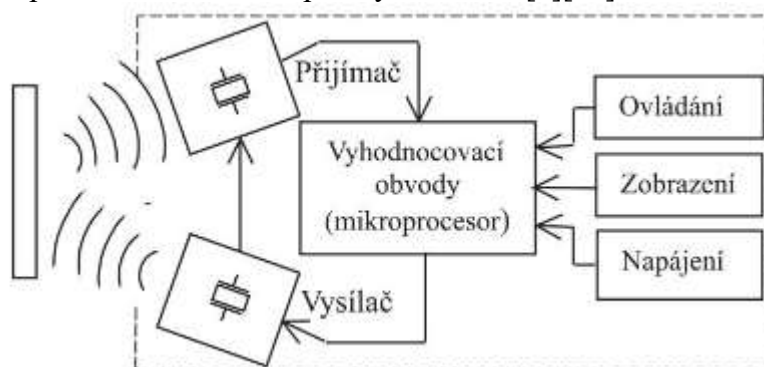
- Je nejpoužívanějším snímačem
- Viditelný paprsek ulehčuje instalaci
- Velký měřicí dosah v řádu desítek i stovek metrů
- Oproti ultrazvuku lze měřit i ve vakuu
- Vysoká přesnost
- Nevýhodou je náchylnost k znečištění a vlhkosti, které by bránili paprsku

Použití optických snímačů [9]

- Detekce polohy téměř libovolných materiálů
- Detekce na vzdálenosti až stovek metrů
- Detekce obrovských i malých objektů
- Strojní průmysl – dopravníky, detekce posunu, kontrola kvality
- Montážní linky – nastavení pozice, počítání dílů
- Zjišťování množství odvíjeného materiálu na roli v balírnách
- Potravinářský průmysl – např. zjišťování přítomnosti pečiva na výrobní lince, kontrola obsahu krabic
- Sledování a detekce otvorů ve výrobcích
- Kontrola velikosti předmětů

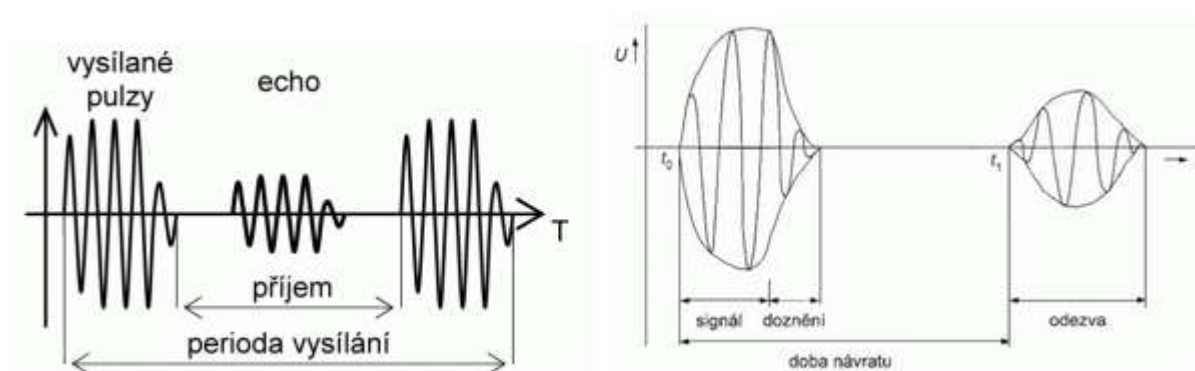
4.5 Ultrazvukový snímač

Ultrazvukové snímače vyhodnocují odraženou ultrazvukovou vlnu od měřeného předmětu, jak ukazuje blokové schéma na obrázku 10. Může být také v provedení, kdy je vysílač oddělen od přijímače. Vysílač bývá z piezokeramického materiálu (piezoelektrický měnič), schopného měnit svůj rozměr po přivedení elektrického napětí na něj (mění elektrickou energii na mechanickou). Snímač je v provedení s keramickým kotoučem spojeným s kovovým nebo skleněným kotoučem o stejné velikosti. Pod vlivem elektrického napětí keramika mění svůj rozměr a dochází ke střídavému ohýbání kovového disku, kdy vzniklé vibrace vytvářejí ultrazvukové vlnění. K napájení se používá krátkodobě spínaný oscilátor. [1][12]



Obrázek 10 Blokové schéma ultrazvukového snímače [12]

U měření vzdáleností se pracuje s časovou prodlevou (obrázek 11) mezi vysláním a detekcí zvuku. Měnič vysílá krátkodobě řadu impulzů, šířících se v prostředí s rychlostí zvuku. Při střetu ultrazvukových vln s předmětem se část vlny odrazí a po určité době se vrací zpět na snímač. [12]



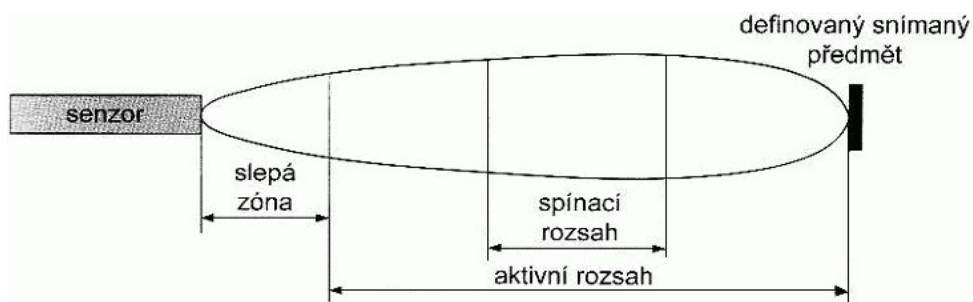
Obrázek 11 Časová prodleva u detekce odražené vlny [12]

Při realizaci s jedním měničem musí snímač sám vyslat a také zpracovat odezvu. V takovém případě se objevuje časové okno, kde se čeká, než měnič dokmitá a až poté je možné zachytit odezvu. Tím vzniká tzv. slepá zóna, ve které snímač není schopen zachytit odraženou vlnu. [12]

Parametry ultrazvukového snímače: [12]

Některé z níže uvedených parametrů ultrazvukových snímačů jsou znázorněny na obrázku 12:

- Aktivní rozsah – největší dosah, ve kterém je snímač schopen detekovat přítomnost měřeného předmětu.
- Slepá zóna – je to prostor mezi vysílačem a spodní mezí aktivního rozsahu, což je způsobeno dokmitáváním měniče, kdy ještě nelze snímat.
- Snímací rozsah – část z aktivního rozsahu, ve kterém při detekování předmětu dochází k aktivaci výstupu.
- Úhel odklonu – největší možné odklonění roviny předmětu k bezpečné detekci.
- Rychlost přeběhu – maximální rychlost pohybu předmětu ve snímacím rozsahu, kdy je detektor ještě schopen jej zachytit. Jedná se o směr kolmý na vysílání.
- Reakční doba – maximální doba mezi vysláním impulsu a aktivováním výstupu.
- Maximální přibližovací rychlost – maximální rychlost předmětu, kdy je detektor schopen jej zachytit ve směru vysílání impulzů.



Obrázek 12 Dosahy ultrazvukových snímačů [12]

Vlivy na přesnost snímání

Za provozu má hrubost povrchu snímaného předmětu největší vliv na funkci snímače. Úhel dopadu a úhel odrazu jsou stejné v případě, kdy je vlnová délka ultrazvuku menší, než je hrubost povrchu. Je proto třeba dodržovat kolmost plochy objektu a signálu. U hrubších povrchů je požadavek na kolmost nižší, tedy ladění senzoru je jednodušší, avšak dosah se krátí. Dalšími faktory ovlivňující kvalitu snímání je tvar předmětu, teplota a prostředí, ve kterém se ultrazvuk šíří. Protože se ultrazvuk šíří postupným stlačováním a roztahováním vzduchu nebo látky ve které se nachází, tak z principu nelze použít ultrazvukový snímač ve vakuu. [12]

Konstrukční provedení

Obrázek 13 vpravo ukazuje jedno z běžných provedení ultrazvukových snímačů. Opět je velice podobné indukčním a kapacitním snímačům. Je opatřen ocelovým pouzdem se závitem a ochranou membránou na snímací hlavě proti agresivním kapalinám. [12]



Obrázek 13 Provedení ultrazvukového snímače [13]

Výhody a nevýhody ultrazvuku [12]

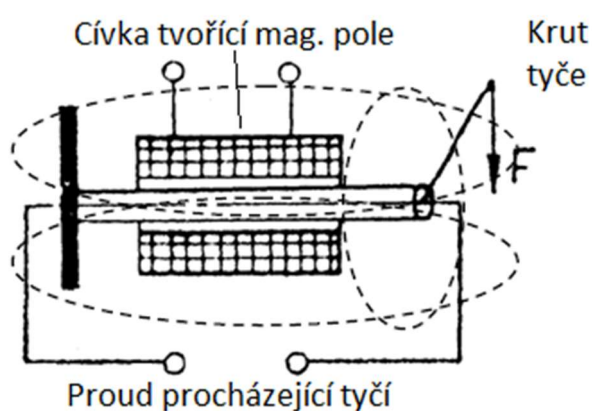
- Ultrazvukové snímače lze použít na větší vzdálenosti než indukční nebo kapacitní snímače
- Lze snímat jakýkoliv materiál
- Není příliš ovlivněn prachem ani vlhkostí
- Výhoda velmi přesné kalibrace měření, možnost dobře potlačit nežádoucí vyhodnocení pozadí
- Při použití pod vodou má větší dosah, než snímače rádiové
- Nemožnost použití ve vakuu
- Nižší snímací dosah oproti optickým sensorům
- Nevýhodou je vznik slepé zóny před snímačem

Využití ultrazvuku [14]

- Parkovací senzory – Do zadního nárazníku automobilu je zabudováno několik čidel pro vysílání a příjem ultrazvuku. Při couvání vysílají ultrazvukové vlny, které se odrážejí od případných překážek za vozem.
- Ultrazvuková defektoskopie – V průmyslu se využívá ke kontrole kvality. Zjišťuje se jím nestejnoroďost materiálu, bubliny, praskliny a jiné vady kovových výrobků. Zkoušeným výrobkem se nechá procházet ultrazvukový signál, který se na rozhraní s vadou odráží nebo pohlcuje.
- Měření hladiny – Využívá se k měření výšky hladiny v nádržích. Senzor je připevněn na vrchu nádrže a vysílá signály k hladině kapaliny. Nemusí se jednat jen o kapaliny.
- Poplachové systémy – Senzory tříštění skla. Při rozbití vznikají ultrazvukové frekvence, které detektor zachytí a vyhlásí poplach.

4.6 Magnetostrikční snímač

Tyto snímače pracují na základě magnetostrikčního jevu, který se objevuje u feromagnetických materiálů jako železo a také magnetoelastického jevu zvaného Villariho jev. Magnetostrikce (Wiedemannův jev) se jeví jako deformace tenké feromagnetické tyče krutem, nachází-li se v podélném magnetickém poli a prochází-li jí proud (obrázek 14). Dochází-li ke změně magnetických vlastností feromagnetické tyče jako například permeabilita, a to důsledkem její podélné deformace, nazýváme tento jev jako Villariho (magnetoelastický jev). Tyto snímače měří dobu šíření mechanické vlny vlnovodu (feromagnetická tyč) způsobenou právě jeho elastickou deformací. [15]

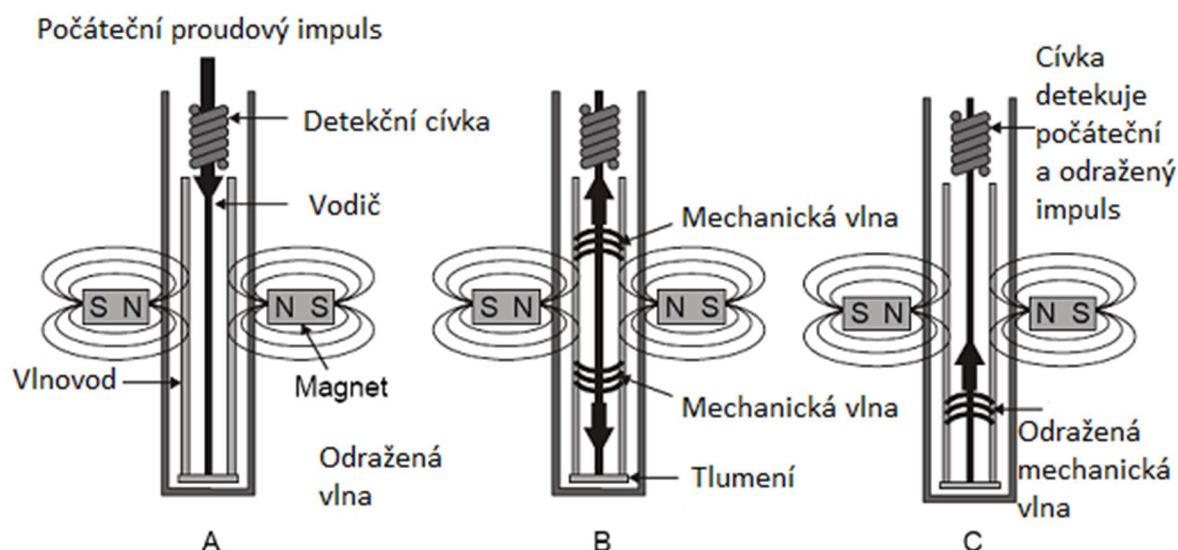


Obrázek 14 Vliv Wiedemannova jevu na tenkou válcovou tyč [15]

Měření začíná krátkým průchodem elektrického proudu vodičem vedeným uvnitř vlnovodu (obrázek 15-A). Ten vytváří magnetické pole kruhového charakteru šířící se kolem vlnovodu. Permanentní magnet určený ke snímání vytváří silové pole ve směru kolmém na pole vzniklé průchodem proudu. K deformaci vlnovodu dochází v místě střetu dvou magnetických polí. To se v podobě mechanického vlnění šíří v tyči oběma směry (obrázek 15-B). Rychlost takového vlnění je 3000 m/s a je takřka nezávislé na okolních vlivech.

U první části vlny, která se dostane ke konci vlnovodu bývá snižována intenzita vlnění tlumicím prvkem. V jiných provedeních vlna tlumena není, odrazí se tedy normálně a je využita ke zpřesnění měření (Obrázek 15-C). Druhá část vlny je směřována ke konci, kde je umístěn senzor mechanické vlny (Obrázek 15-B). Ten převádí zachycené vlnění na elektrický signál, využívá tedy magnetoelastického jevu. [15]

Doba šíření mechanické vlny od místa vzniku k signálovému konvertoru je přímo úměrná vzdálenosti mezi magnetem a signálovým konvertorem. Avšak měří se raději časová prodleva mezi začátkem torzního a proudového impulsu, protože rychlost mechanického vlnění se blíží rychlosti zvuku zatím co proudový impuls rychlosti světla. To umožňuje určit vzdálenosti s velmi vysokou přesností až 1 mikrometr. [15]



Obrázek 15 Funkce magnetostrikčního snímače [15]

Konstrukce

Na obrázku 16 vlevo, je předvedena běžná konstrukce lineárního tyčového magnetostrikčního snímače. Ten se vždy skládá z vlnovodu s ochranným pouzdrém, kolem kterého se pohybuje snímací permanentní magnet. Vodič, procházející vlnovodem, je napájen generátorem pulsů, který je společně s vyhodnocovací elektronikou umístěn v robustním pouzdru. Vpravo na obrázku je zase vnější provedení profilového magnetostrikčního snímače. [15]



Obrázek 16 Provedení magnetostrikčního snímače [16]

Výhody a nevýhody [15][16]

- Dlouhá životnost způsobena bezkontaktním měřením
- Snadná instalace
- Takřka bezúdržbový, elektronika je zabudována v těle přístroje
- Přesnost v řádu jednotek mikrometrů
- Není ovlivněn znečištěním ani vlhkostí
- Nelze použít pro velké rychlosti

Použití magnetostrikčních snímačů [15][16]

- Plovákové snímače hladiny kapalin
- Při tváření materiálů na válcovací stolici
- Hydraulické lisy
- Snímání polohy v hydraulických válcích

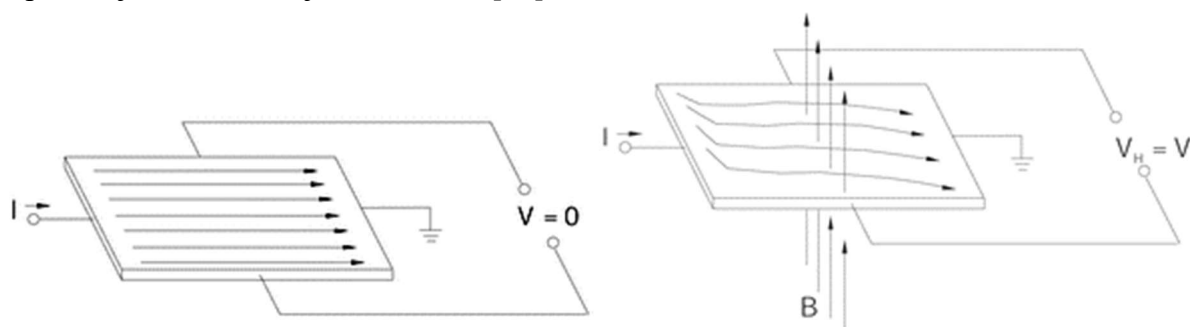
4.7 Magnetický snímač

Magnetický snímač s Hallovou sondou

Tyto snímače reagují na změny v magnetickém poli a poskytují informace o jeho intenzitě a pozici sledovaného objektu vůči tomuto poli.

Hallův snímač je tenká destička z polovodičového materiálu typu P. Pohyb v magnetickém poli vyvolává magnetický tok přesouvající elektrony a díry ke stranám polovodiče (obrázek 17 vpravo). Tak je generováno rozdílové napětí na bočních stranách destičky. Toto napětí je úměrné intenzitě magnetického pole.

Nepůsobí-li v blízkosti polovodiče žádné magnetické síly, pohybují se nosiče nábojů v přímce. Pokud polovodičem protéká proud o konstantní velikosti a není vystaven magnetickému poli, napětí na jeho svorkách je rovno nule. [17]



Obrázek 17 Působení magnetického pole na Hallův snímač [18]

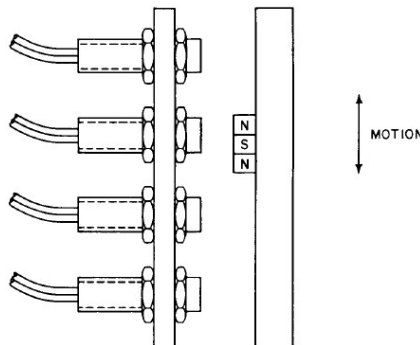
Dostane-li se snímač do blízkosti magnetického pole, působí na elektrony procházející polovodičem Lorentzova síla, která způsobuje jejich vychylování z přímého směru k boční straně. Tím dochází k přeskupení náboje, kdy vzniká rozdílný elektrický potenciál na obou stranách destičky (každá ze stran má rozdílnou koncentraci nosičů náboje). Tak vzniká elektrické pole a na svorkách vzniká tzv. Hallovo napětí. Takové napětí lze měřit a kalibrovat pro detekování jak přítomnosti magnetického pole, tak i určování orientace jeho magnetických indukčních čar. [17][18]

Hallové snímače lze dělit dle provedení na: [18]

- Přímý magnetický senzor s Hallovým snímačem
- Senzor s vychýleným Hallovým snímačem

Přímý Hallův snímač

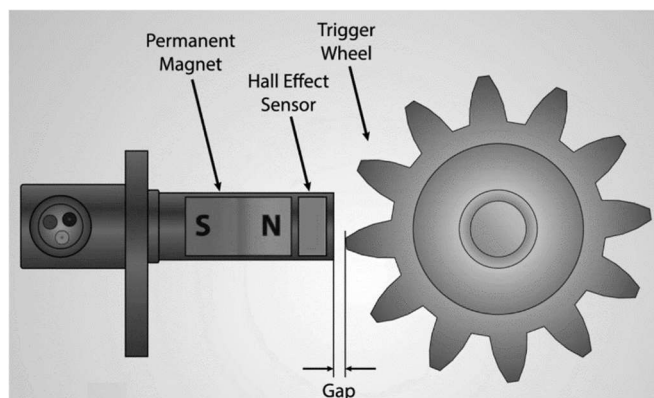
Přímý senzor detekuje přiblížení magnetu, který tedy musí být umístěn na měřeném předmětu jako na obrázku 18. Sami na kovové předměty nereagují, takže umožňují měření předmětů uvnitř kovových materiálů. [18]



Obrázek 18 Detekce posunu přímým senzorem [18]

Vychýlený Hallův snímač

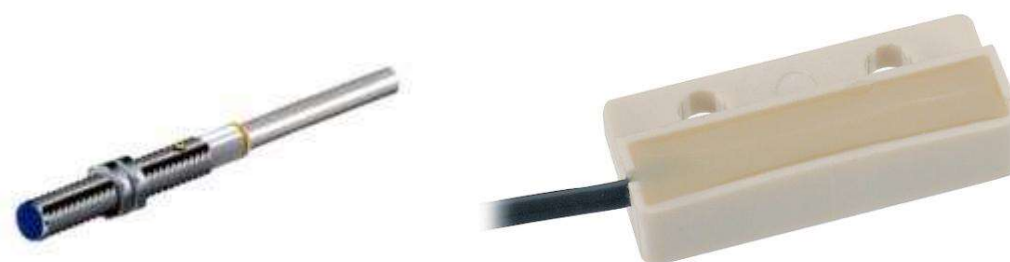
Senzor s vychýleným Hallovým senzorem k detekci už nepotřebuje žádné vnější magnetické pole. K rozpoznávání polohy stačí feromagnetický materiál, jakým je například železo. U tohoto typu senzoru se používá magnet, který je zabudován v zařízení a umístěn za Hallovým snímačem, jak je znázorněno na obrázku 19. To při přiblížování kovu vyvolává potřebné magnetické pole. [18]



Obrázek 19 Konstrukce s vychýleným hallovým snímačem [18]

Reedův senzor

Dalším z magnetických snímačů je tzv. Reedův senzor na obrázku 20. Ten je složen ze dvou feromagnetických kontaktů ve skleněné baňce s inertním plynem. Kontakty jsou citlivé na působení magnetických sil způsobované permanentními magnety, cívkami nebo blízkým elektrickým polem. Přiložením magnetu se na kontaktech indukuje elektrické pole, kdy každý jazýček má opačnou polaritu. Tím se kontakty přitáhnou k sobě a vytvoří vodivé spojení. Jazýčky jsou tvořeny z magneticky měkkého materiálu, a to znamená, že po odstranění magnetického pole, jazýčky zcela ztrácí svoji přitažlivou sílu a jsou rozepnuty vlastní tuhostí. [19]



Obrázek 20 Provedení reedova senzoru – válcové a závrtné do dveří [19]

Výhody a nevýhody [18][19]

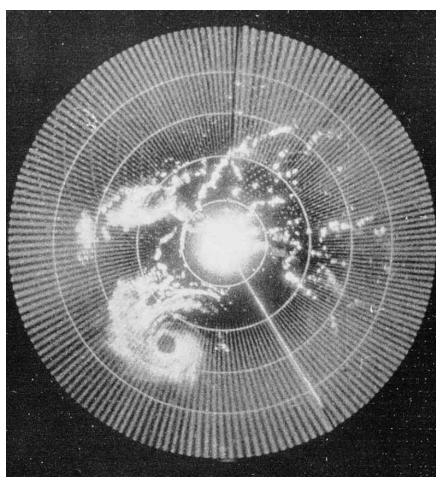
- Vysoká odolnost vůči prachu, vodě a vibracím
- Vysoce spolehlivé
- Téměř bezúdržbové
- Je možné snímat předměty s vysokou rychlostí
- Náchylné na okolní magnetická pole
- Příliš vysoké teploty mohou ovlivňovat měření

Využití magnetických snímačů [18][19]

- Hallova sonda se používá při detekci otáčení rotoru u stejnosměrných bezkartáčových motorů, pro správné přepínání polarity elektromagnetů ve statoru
- V mobilních telefonech pro ztmavení obrazu při použití flipového pouzdra s magnetem
- Zabezpečovací systémy – jako závrtný kontakt do dveří a oken
- V automobilech pro kontrolu sedadla vůči volant, aby air-bag nebyl spuštěn s příliš velkou silou.

4.8 Radiolokace

Vysokofrekvenční elektromagnetické impulsy vytvářené ve vysílači jsou přes anténu odesílány do prostoru ve svazku. Frekvence takových impulsů se řadí pod mikrovlny. Zdrojem záření bývá například magnetron, což je zařízení generující právě mikrovlny. Šířka takového svazku určuje přesnost měření a intenzita el. mag. energie ve směru šíření, má vliv na dosah snímání. Šířka svazku vyzařované energie u přehledového lokátoru (surveillance radar) je v rozmezí $1-2^\circ$ v horizontální rovině a $20-45^\circ$ ve vertikální rovině. Vlny se odrážejí od objektu pod úhlem dopadu. Zpět na anténu se tedy dostanou jen vlny, které dopadli kolmo na povrch sledovaného objektu. Ostatní záření nedopadá na anténu a nemůže proto vytvořit žádný obraz signálu. Na obrázku 21 je vytvořený obraz mračna z odražených signálů na monitoru. [20]



Obrázek 21 Obraz z radaru měřící srážky [21]

Přesnějšího obrazu se dosahuje, je-li anténa větší oproti vlnové délce záření. Maximální dosah je dán výkonem vysílače, velikostí efektivní odrazné plochy, útlumem prostředí a citlivostí přijímače. Zachytí-li se odraz později, než je vyslán další impuls, nemůže jednoznačně určit vzdálenost. Těchto principů lze uplatnit pouze tehdy, je-li vlnová délka dostatečně malá oproti ploše, na kterou dopadá. Pokud rozměry měřeného objektu a vlnové délky jsou přibližně stejné, dochází k odrazu díky rezonanci elektromagnetického vlnění na objektu. V takovém případě se vlny odráží zpět i bez ohledu na úhel dopadu. Jeho efektivní plocha je tedy větší než jeho plocha skutečná. Rádiové vlnění se ovšem nešíří přímočaře, ale vlivem atmosféry a země vzniká ohyb vln. Na to je brán zřetel především při použití lokátoru na delší vzdálenosti. Těchto „deformací“ je užito při tzv. zahorizontální radiolokaci, kde se krátkovlnné záření odráží od ionosféry a je přijímáno stovky až tisíce kilometrů za horizontem vysílače.[20]

Radar lze dělit podle toho, zda signál jen přijímá nebo zároveň také vysílá na:

Aktivní radar – Primární

Je to aktivní radar, u kterého vysílač vyzařuje mikrovlny v krátkých impulzech nebo jako stálá vlna. Přijímá se až v době mezi jednotlivými impulsy. V případě, že nejsou vysílány impulsy ale stálá vlna, bývají anténní systémy pro vysílání a příjem zpravidla oddělené. Použití stálé vlny umožňuje precizní měření radiální rychlosti na základě Dopplerova jevu.[20]

Aktivní radar – Sekundární

K činnosti sekundárního radaru je zapotřebí dalšího zařízení nazývaný se odpovídač. Ten je umístěn v letadle, jehož poloha je zjišťována. Další část zařízení je dotazovač, ten se nachází mimo objekt i společně s přijímačem pro odpovídač. V pravidelných intervalech dotazovač posílá signály odpovídačům v dosahu a ti zpětně odesílají kód, přidělený pro daný let. [20]

Pasivní radar

Pasivní radar se svým okolím nekomunikuje, jenom sleduje veškerý rádiový přenos letadla, rušení a vyzařování způsobované motorem a elektronikou letadla. Používá se palubních radiolokátorů (odpovídačů) pro identifikaci objektů (IFF). Minimálně dvou stanovišť je zapotřebí pro získání alespoň souřadnic bez výšky, které musí být v dostatečné vzdálenosti pro přesné měření. Tyto informace se zobrazují společně na jednom zařízení. [20]

Výhody a nevýhody [20]

- Může operovat i ve vakuu na rozdíl od ultrazvukových snímačů
- Rychlejší odezva, než je tomu u ultrazvuku, kde se vlny šíří jen rychlostí zvuku
- Dokáže rozlišit stacionární a pohyblivý objekt
- Dokáže zaměřit více objektů najednou
- Vlnění prochází izolátory jako guma nebo plast a nedělá problém ani mlha či mračno

- Nelze využívat za ionosférou, od které se signál odráží
- Neumožňuje rozlišit charakter objektu
- Nedokáže detekovat velmi malé objekty

Využití radiolokace [22]

- Meteorologie – Radary zachycují a zpracovávají signály, odražené od mraků s dešťovými kapkami nebo sněhovými vločkami. Pro spolehlivé předpovídání počasí jsou výsledky radarových měření velmi důležité.
- Letecká, lodní a pozemní doprava – Pomocí primárních a sekundárních radiolokátorů se kontroluje a řídí provoz na letištní ploše i ve vzdušném prostoru. Zvláště důležitá je možnost navigace letadel i při nepříznivém počasí a v noci. Stejně potřebné jsou radary pro zajištění bezpečné plavby a navigace námořních i říčních lodí.
- Snímač hladiny – Využívá se k měření výšky hladiny ve velkých uzavřených nádržích, například v podzemních zásobnících pohonných hmot. V horní části nádrže je nainstalována radarová anténa, která vysílá impulzy směrem k hladině kapaliny.
- Zeměměřičství – Radarová měření slouží zeměměřičům k přesnému měření polohy objektů v terénu a vzdáleností mezi nimi. Slouží k trojrozměrnému radarovému mapování zemského povrchu.
- Měření rychlosti – Může se uplatnit například při ovládání světelných semaforů tak, aby se zvýšila plynulost jízdy aut v hustém městském provozu.

4.9 Akcelerometr

Akcelerometry jsou zařízení měřící zrychlení. Lze jimi měřit odstředivé nebo setrvační účinky, ale je možné jimi určovat i polohu těles. Tyto akcelerometry lze rozlišovat podle principu.[23]

Piezoelektrický akcelerometr

Funguje na principu piezoelektrického jevu, tedy pokud je takový materiál mechanicky namáhán vzniká v něm elektrický náboj, který je přímo úměrný rychlosti jeho deformace. Takže hlavní části jsou nějaký piezokrystal či keramika a seismická hmota. Ta převádí zrychlení na sílu podle 2. Newtonova zákona. Vytvářený náboj se měří buďto elektronikou s vysokou vstupní impedancí nebo je náboj přeměněn na napěťový výstup s nízkou impedancí, který je měřen uvnitř zařízení. Pro měření zdánlivě konstantního zrychlení je nelze použít. To jsou frekvence nižší jak 0,1 Hz.[23]

Piezorezistivní akcelerometr

Hlavním prvkem je piezorezistivní materiál jako křemík. U toho dochází ke změně odporu vznikající deformací materiálu. V integrovaném akcelerometru se používá obvod zapojený jako Wheatstoneův můstek což je právě obvod používaný pro měření malých změn odporu. Piezorezistivní akcelerometry zvládají měřit i stálé zrychlení, tedy frekvence změn od 0 Hz.[24]

Tepelný akcelerometr

Tepelné akcelerometry využívají teplého plynu vytvářeného topným tělískem s konstantní teplotou. Plyn se pohybem rozkládá ve vzduchové komoře. Rozložení plynu je měřeno teplotními snímači v závislosti na vzdálenosti od topného tělíska. Teplotní snímače jsou tvořeny řadou křemíkových polykrystalických prvků umístěných ve žlábků uvnitř komory a s určitou roztečí. Tímto způsobem je možné měřit také statické zrychlení jako náklon zařízení, kdy na plyn působí pouze gravitační síla.[25]

Akcelerometr s proměnnou kapacitou

Hlavním prvkem akcelerometru je vzduchový kondenzátor o třech elektrodách. Dvě elektrody jsou pevné a třetí pohyblivá. Ta je závislá na zrychlení a svým pohybem mění kapacitu kondenzátoru. Volná elektroda je upevněna v akcelerometru pomocí pružiny, což zajišťuje její pohyb. Opět je tak možné měřit i statické zrychlení.[26]

Výhody a nevýhody

Vyrábějí se v miniaturních velikostech (MEMS), použitelné v široké oblasti činností. Lze je díky tomu pořídit za velmi nízkou cenu.

Piezoelektrický [23]

- Jednoduchá konstrukce umožňuje senzor napojit na jednoduchý vyhodnocovací obvod
- Nelze je použít pro konstantní zrychlení

Piezorezistivní [24]

- Dokážou měřit i konstantní zrychlení, změnu orientace
- Jednoduchá konstrukce
- Vysoká přesnost
- Závislé na teplotě

Tepelný [25]

- Dokáže pracovat ve velkém teplotním rozsahu
- Snese zrychlení až 50 000 g
- Nižší přesnost než u ostatních akcelerometrů
- Špatně realizovatelné měření ve třech osách

Kapacitní [26]

- Vysoká přesnost
- Velmi citlivé
- Velký teplotní rozsah
- Vhodnější použít jen pro nižší zrychlení

Využití akcelerometrů [23]

- Navigační systémy raketoplánů
- Ovladače herních konzolí
- Detekce náklonu mobilních telefonů
- Detekce pohybové aktivity, krokomeř
- Stabilizační systémy v automobilech

4.10 Gyroskop

Gyroskop je zařízení, které si dokáže udržovat svoji orientaci v prostoru, a to bez ohledu na to, jak se s ním pohybuje. Gyroskopy lze dělit podle principu na mechanické, využívající Coriolisovy síly a gyroskopy optické fungující na principu Sagnacova jevu.

Mechanický gyroskop

Gyroskop je těleso tvaru kovového prstence, nebo kovové desky rychle rotující kolem osy na toto těleso kolmé. Není-li gyroskop ovlivněn vnějšími silami, udržuje jeho rotační osa v prostoru stálý směr. Pokud je setrvačnický umístěn na povrchu Země, je unášen spolu s rotující Zemí, a tím se obecně mění směr jeho rotační osy. Setrvačnický na to reaguje tak, že se snaží srovnat svou rotační osu s rotační osou Země. Stabilizovaný setrvačnický svou osou ukazuje k severu a vytyčuje tak jedno rameno azimutu. Gyroskop na rozdíl od kompasu nereaguje na blízkost železných předmětů a vysokého napětí.[1]

Optický vláknový gyroskop

Optický gyroskop používá vlastnosti optického záření k určení úhlové rychlosti a smyslu otáčení. Funguje na principu Sagnacova interferometru, kterým prochází laserové paprsky vedené v opačném směru na stejné optické dráze. Tato dráha je tvořena optickým vláknem navinutým ve formě cívky. Ve chvíli, kdy se cívka tvořící dráhu interferometru otáčí určitou rychlostí, dochází ke změně rychlostí paprsků v optickém vlákně. Tak vzniká fázový posun, jež je pozorovatelný na výstupu interferometru.[27]

Coriolisův vibrační gyroskop

Základem je periodicky se pohybující struktura přesně dané hmotnosti upevněná pomocí pružin v rámu. Směr pohybu musí však vždy být kolmý ke směru otáčení. Za těchto podmínek vzniká a na hmotnou pohybující část snímače působí Coriolisova síla jejíž velikost je úměrná úhlové rychlosti otáčení. Ta způsobuje stlačení vnějších pružin rámu a vzájemný posuv měřících plošek fungujících jako elektrody vzduchových kondenzátorů. Na výstupu je tedy změna kapacity úměrná úhlové rychlosti otáčení.[28]

Výhody a nevýhody

Mechanický gyroskop [1]

- Konstrukčně nejjednodušší
- Bývá velký a těžký

Optický gyroskop [29]

- Gyroskop s velmi vysokou přesností
- Není závislý na inerciální vztažné soustavě
- Neobsahuje žádné pohyblivé části
- Dlouhá životnost
- Náchylné vůči vibracím, tomu se zamezuje jejich kombinací s akcelerometry
- Je potřeba více gyroskopů k měření v dalších osách

Coriolisův vibrační detektor [29]

- Výhodou je jeho populární zpracování MEMS, což je technologie konstrukční minimalizace do podoby integrovaného obvodu
- V této podobě je také poměrně levný
- Nižší odolnost vůči teplotám
- Není zdaleka tak přesný jako optický

Využití gyroskopu [29]

- Zpřesnění informací z GPS satelitů, bez nich by vznikali velké odchylky
- V mobilních telefonech společně s akcelerometry
- Stabilizace dálkově ovládaných či autonomních dronů
- Určování opravdového severu v námořní plavbě (gyrokompas)
- Určování vodorovné polohy s povrchem země v letectví jako umělý horizont
- Součást zaměřovacích systémů u naváděných střel

4.11 Global positioning system – GPS

GPS je systém využívající umělé družice na běžné dráze země, který dokáže určit polohu na zemi. Celý princip systému lze rozdělit na tři funkční segmenty.[30]

Kosmický segment

Kosmický segment je představován družicemi na šesti kruhových drahách se sklonem 55° k rovníku ve vzdálenosti 22 200 km. Družice se kolem země pohybují rychlostí kolem 11 300 km/h. Každá z oběžných drah má pět pozic pro umístění satelitů. To znamená, že maximální počet je třicet. Pátá pozice u každé dráhy je však jako záložní. Pro plnohodnotnou funkčnost GPS stačí alespoň 24 družic.

V každém satelitu je několik velmi přesných atomových hodin s cesiovým nebo rubidiovým krystalem (3 nebo 4 na satelit). Činností těchto hodin je zajišťovat dlouhodobou stabilní frekvenci vysílaného signálu. Základní hodnota frekvence je 10,23 MHz. Každý satelit vysílá dvě nosné frekvence, které vznikají po násobení základní frekvence hodnotami 154 (1575,42 MHz) a 120 (1227,60 MHz). Nosná vlna je modulována fázovou modulací. Pro modulaci se využívá pseudonáhodných kódů. Ty jsou pro každou družici unikátní.

Navigační zpráva je jedním z důležitých kódů, které satelit vysílá. Ta obsahuje informace o dráze každé družice a různá korekční data. Zpráva je posílána o velikosti 1500 bitů na frekvenci 50 Hz a jako celek se skládá z pěti částí (subframe). První tři části jsou jedinečné pro každou družici. Čtvrtá a pátá část je stejná u všech družic.

K určení polohy jen o zeměpisné délce a šířce stačí signál ze tří družic. U třetího rozměru je potřeba minimálně zpráva ze čtyř. Vyšší počet družic přesnost zvyšuje a při menším počtu, než je minimální, již polohu nelze určit.[30]

Řídící segment

Řídící část je tvořena monitorovacími stanicemi, rozmístěnými rovnoměrně po obvodu země. Jsou to pozemní stanice poblíž rovníku v čele s hlavním střediskem ve Spojených státech. Náplní řídicího segmentu je obstarávání přehledu o pohybu satelitů a jejich atomových hodin. Dále provádí úpravy v dráze letu družic a vysílaném signálu a synchronizaci atomových hodin.[30]

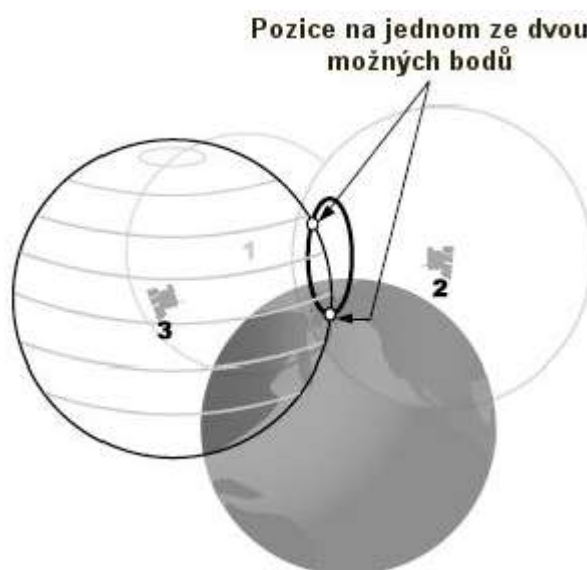
Uživatelský segment

Uživatelský segment tvoří všechny GPS přijímače dostávající signály ze satelitů se svojí polohou. Přijímače jsou pouze pasivní. To znamená, že nevysílají žádný signál zpět na družice proto, aby nebyly zjistitelné nepřitelem. Navíc je díky tomu možné obsluhovat neomezený počet přijímačů.[30]

Způsob měření

GPS lokátor musí zjistit vzdálenosti ke každé družici a na základě těchto údajů vypočítat polohu. K tomu se používá matematický princip protínání kružnic s názvem trilaterace.

Použití trilaterace u GPS funguje následovně: vzdálenost přijímače od družice je poloměrem jedné teoretické koule jejíž střed je družice. Přijímač se tedy nachází někde na plášti této koule. Přidáním dalšího satelitu vzniká další koule, která když se protne s první, vytváří kružnici. Se třetím kruhem protínající předchozí dva vznikají dva možné body s polohou přijímače. Proto běžně přijímač vyhledává alespoň 4 satelity pro zpřesnění výpočtu a určení výšky. Pro představu, obrázek 22 ukazuje využití trilaterace.



Obrázek 22 Použití trilaterace u GPS [30]

V určitém čase vysílají satelity signál (pseudonáhodný kód). Přijímač kód analyzuje ve stejném okamžiku. Signál ze satelitu po dosažení přijímače se vždy přijímá s určitou časovou prodlevou. Toto časové okno představuje dobu, kterou signál potřebuje k překonání vzdálenosti mezi přijímačem a satelitem. Ze znalosti rychlosti šíření elektromagnetických vln může přijímač spočítat vzdálenost po vynásobení času s rychlostí světla.

K provádění takových výpočtů je zapotřebí, aby GPS přijímač i vysílač měli přesně stejný čas. Museli by být tedy synchronizováni. Vzhledem k ceně atomových hodin není reálné každému přijímači jedny obstarat. Vyřešeno je to tak, že zatím co každá družice má atomové hodiny, přijímače mají běžné křemíkové, které neustále resetují. Přijímač analyzuje signály ze čtyř a více družic a měří vlastní nepřesnost.

Vzhledem k tomu, že přijímače provádějí výpočty pomocí vlastních hodin, vzdálenosti jsou poměrně nepřesné (koule se neprotínou v jednom bodě). Přijímač však zvládne přepočítat změny tak, aby se koule zmíněné dříve protínaly v jednom bodě. Pomáhá si tím, že své hodiny resetuje tak, aby byly synchronizovány s atomovými. To provádí přijímač neustále a díky tomu se stává téměř tak přesný jako hodiny v satelitech.

Aby byly potřebné informace kdykoliv k dispozici, přijímač musí být informován o poloze satelitů. To je řešeno tak, že součástí signálu vysílaného družicí je tzv. almanach (almanac), který mimo jiné obsahuje informaci o poloze všech družic na oběžné dráze. Přitažlivosti slunce a měsíce dráhu letu nepatrně mění, avšak tyto odchylky jsou monitorovány pozemními stanicemi a správné údaje jsou rozesílány do všech přijímačů jako část signálu družic. [30]

Vznik nepřesností

Vzhledem k tomu, že se počítá s konstantní rychlostí šíření vln, stává se toto jedním z důvodů vzniku nepřesností. Zemská atmosféra totiž částečně zpomaluje el. mag. vlnění, a to především při prostupu ionosférou. Měření je také závislé na poloze přijímače. Problémem jsou odražené vlny od velkých objektů jako jsou mrakodrapy, kdy satelit vyhodnotí vzdálenost nepřesně nebo uzavřené prostory, kde se lokalizace nemusí uskutečnit vůbec.[30]

Výhody a nevýhody [30]

- Hlavní výhodou je dostupnost. Používání služby je zdarma. K využití je potřeba jen GPS přijímač, který je dnes ale obsažen ve většině mobilních zařízení
- Možnost lokalizace za jakékoliv denní doby a bez ohledu na počasí
- Nevýhodou je potřeba být v otevřeném prostranství, v budově je lokalizace zhoršena či přímo znemožněna
- Sám o sobě může být systém dosti pomalý. Než zjistí polohu, může to trvat i 12 minut (To je řešeno asistenčními systémy jako A-GPS)

Využití GPS [30]

Zemědělství – Satelitní navigace pomáhá zemědělcům k vyšší produktivitě práce a ke zlepšování metod obdělávání půdy. Slouží k řízení speciálních postupů, zejména při aplikaci chemických a průmyslových hnojiv.

Životní prostředí – Za pomoci satelitní navigace je možné vyhodnocovat přesné informace o přírodních jevech, které probíhají na velkých plochách. Je možné předpovídat rychlost postupu lesních požárů, vzdušných vírů a jiných nebezpečných jevů a chránit tak životy i majetek na dotčených územích.

Čas – Díky přesnosti atomových hodin, používaných v družicích je satelitní navigační systém využíván k synchronizaci hodin a mnoha významných událostí po celém světě.

Pozemní doprava – Satelitní navigace pomáhají při řešení všech činností, týkajících se plánování pozemní dopravy. Jsou využívány ke sledování pohybu a polohy vozidel, k plánování nejefektivnějších tras.

Letectví – Navigační systémy letadel pomáhají při řízení téměř všech manévřů, která jsou letadla nucena provádět. Jedná se o pomoc při vzletu i přistávání, stroje jsou pod neustálou GPS kontrolou i během svého pobytu ve vzduchu, trasy letadel jsou pevně naplánované předem na definovanými body.

Záchranný systém – Satelitní navigace se rychle stává standardem i v jednotkách záchranného systému. Možnost rychlého určení místa nehody, požáru nebo ztroskotání lodi nebo letadla a následná schopnost být na toto místo rychle naveden se stává novou cestou pro zlepšení a zefektivnění práce.

4.12 Wi-Fi positioning system

Jedná se o polohový systém využívající vlastnosti okolních bezdrátových přístupových bodů (Access point) ke zjištění polohy zařízení. Využívá se tam, kde je obtížné nebo nemožné získat informace ze satelitních systémů jako například uvnitř budov nebo v podzemních komplexech. Nejpoužívanější metodou určování polohy je měření síly signálu přístupových bodů (RSSI – Received signal strength indication) a metoda „fingerprinting“ [31]

Metoda RSSI

Tato metoda je založena na měření intenzity signálu mezi zařízením s Wi-Fi a jednotlivými přístupovými body. Síla signálu (RSSI) je hodnota vyjadřována jako záporné číslo. Čím nižší je tato hodnota, tím slabší je signál, a naopak pro hodnotu nejbližší nule je signál nejsilnější. Pomocí této hodnoty společně s vysílacím výkonem a ztrátovou konstantou se dopočítá přibližná vzdálenost od přístupových bodů v dosahu.

Společně se známými polohami těchto bodů a vzdálenostmi od každého z nich, lze opět použít metodu trilaterace (viz GPS), k určení polohy zařízení.[31]

Metoda fingerprinting

Fingerprinting je doplnění předchozí techniky měření. Jedná se o mapování signálů od všech přístupových bodů na přesně daných pozicích za vzniku referenční databáze. Pokud chce zjistit zařízení svoji polohu, porovná přijímané signály se signály z referenční databáze. Nejbližší shoda je brána jako současná poloha. [31]

Výhody a nevýhody [31]

- Výhodou je možnost použití v budovách, tunelech nebo jiných špatně dostupných oblastech, kam běžná GPS nemá šanci dosáhnout
- Přístupové body vysílají i na vzdálenosti dosahující 150 m
- Nízké náklady na implementaci, a to díky bezdrátovosti a faktu, že Wi-Fi přístupové body jsou dnes instalovány na mnoha veřejně přístupných místech (restaurace, obchodní domy, hromadná doprava, ...)
- Nevýhodou je nižší přesnost. Při použití RSSI metody je to 2-4 m. Společně s fingerprinting metodou se přesnost zvyšuje na 0,6-1,3 m
- Další nevýhodou je možnost zneužití systému pro ilegální sledování osob

5 Závěr

Bakalářská práce se zabývá tematikou snímačů měřících polohu objektů na principu základních fyzikálních jevů. Výběr takových snímačů může být pro konkrétní účely obtížnější, jelikož závisí na mnoha faktorech. Patří mezi ně požadovaná přesnost měření, provozní podmínky (práce ve vodě nebo ve vzduchu, či při zvýšených teplotách), nebo rozměrová a hmotnostní omezení. Mnohdy rozhoduje i pořizovací cena takového přístroje. Je tedy určitě na místě mít přehled o dostupných senzorech a znát základní fyzikální jevy, využívané u jednotlivých snímačů pro svou činnost. Vzhledem k výše uvedeným informacím je zpracování bakalářské práce provedeno tak, aby i čtenář neseznámený s touto problematikou mohl získat veškeré potřebné informace z různých zdrojů na jednom místě.

Práce je rozdělena na podkapitoly, v nichž je vždy popsán jeden snímač. Na úvod je vždy jeho představení a vysvětlení fyzikálního principu, na kterém daný snímač funguje. Uvedeno je také další možné dělení s odpovídajícím popisem.

V následující části práce je uveden seznam základních technických parametrů, charakterizujících jednotlivé snímače s následným popisem faktorů, ovlivňujících kvalitu měření. Součástí práce je také uvedení konstrukčního uspořádání funkčních bloků snímačů a jejich vnějších provedení. Na závěr je představení výhod a nevýhod jednotlivých snímačů z hlediska jejich principu nebo konstrukce, a následně popis jejich využití v technické praxi.

Vhodným doplněním práce by mohli být způsoby komunikace jednotlivých snímačů s řídicími jednotkami a využívané k tomu protokoly. Nebo vypracování rozboru používané kabeláže s konektory pro jejich připojení a přenos dat, ale vzhledem k omezení počtu stránek, výše uvedená informace do bakalářské práce zahrnuta nebyla.

Vývoj snímačů se už nějakou dobu ubírá směrem tzv. inteligentních senzorů (smart sensors). Patří k tomu částečné vlastní rozhodování a strojové učení pro zefektivnění práce. Komunikace je již bezdrátová a snímače mohou být ovládány skrze internet. Tyto senzory hrají velice důležitou roli ve čtvrté průmyslové revoluci (Průmysl 4.0), jejíž plný nástup je už pár let očekáván.

6 Seznam zdrojů

- [1] VYLEGALA, Pavel. *Roboti: Ve škole pro praktickou výuku, motivaci i zábavu* [online]. 2014 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: http://www.sse-najizdarne.cz/projekty/roboti/dokumenty/u_text_ss.pdf
- [2] *Snímače polohy – odporové* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1576>
- [3] *Lineární snímače polohy* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.megatron.cz/linearni-snimace-polohy>
- [4] *Víceotáčkové hybridní potenciometry HH21* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.megatron.cz/hh21>
- [5] *Páčkový spínač s červeným podsvícením* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.vpcentrum.eu/image/cache/data/prods/prod17/208905-packovy-spinac-20a-s-cervenym-podsvicenim-1-500x500.jpg>
- [6] *Rtuťový spínač polohy* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.ponpron.cz/spionazni-technika-2050/rtutovy-spinac-polohy-4mm>
- [7] VOJÁČEK, Antonín. *Princip běžného indukčního snímače* [online]. In: . [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimace-priblizeni-obecny-popis.html>
- [8] VOJÁČEK, Antonín. *Bezkontaktní kapacitní snímače přiblížení* [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/bezkontaktni-kapacitni-senzory-priblizeni-obecny-popis.html>
- [9] VOJÁČEK, Antonín. *Princip optického senzoru / závory* [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005121901>
- [10] *Snímače polohy a otáček pro standardní rotační a lineární pohony* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/snimace-polohy-a-otacek-pro-standardni-rotacni-a-linearni-pohony-2003_03_28745_2559/
- [11] KALOVÁ, Ilona a Karel HORÁK. *Optické metody měření 3D objektů* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html#kap2.1.1>
- [12] VOJÁČEK, Antonín. *Princip běžného ultrazvukového senzoru* [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/ultrazvukove-senzory-priblizeni-funkce-provedeni-pouziti.html>
- [13] VOJÁČEK, Antonín. *Novinka - Ultrazvukové měření hladiny s odolností proti chemikáliím* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace-tiskove-zpravy/novinka-ultrazvukove-mereni-hladiny-s-odolnosti-proti-chemikaliim.html>
- [14] *O vlnění: Aplikace ultrazvuku* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k13.htm

- [15] VOJÁČEK, Antonín. *Princip funkce magnetostrikčních lineárních snímačů* [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/magnetostrikcni-linearni-snimace-pohybu>
- [16] *Magnetostrikční snímače* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.megatron.cz/kategorie/senzorika/linearni-snimace-polohy/magnetostrikcni-snimace>
- [17] *Princip Hallova senzoru* [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/princip-hallova-senzoru>
- [18] VOJÁČEK, Antonín. *Magnetické senzory přiblížení - 2. díl* [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-priblizeni-2-dil.html>
- [19] VOJÁČEK, Antonín. *Magnetické senzory přiblížení - 1. díl: Klasický Reedův magnetický senzor přiblížení* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-priblizeni.html>
- [20] Radar. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Radar>
- [21] *Weather radar* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Weather_radar.jpg
- [22] *Aplikace radaru: Hlavní oblasti aplikací* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k32.htm
- [23] VOJÁČEK, Antonín. *Principy akcelerometrů - 1. díl - Piezoelektrické* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>
- [24] VOJÁČEK, Antonín. *Principy akcelerometrů - 2. díl - Piezorezistivní* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2007012601>
- [25] VOJÁČEK, Antonín. *Principy akcelerometrů - 3. díl - Tepelné akcelerometry* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2007040901>
- [26] VOJÁČEK, Antonín. *Jak pracují nové 3D MEMS akcelerometry Freescale ?* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/soucastky/jak-pracuji-nove-3d-mems-akcelerometry-freescale.html>
- [27] FEJT, Radek. *Optický vláknový gyroskop* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://senzory.aspone.cz/ovg.htm>
- [28] VOJÁČEK, Antonín. *Integrované MEMS GYROSKOPY* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/integrované-mems-gyroskopy>
- [29] PAO, Charles. *Exploring the Application of Gyroscopes* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.ceva-dsp.com/ourblog/exploring-the-application-of-gyroscopes/>
- [30] *Jak funguje GPS?* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/jak-funguje-gps/21826>
- [31] Wi-Fi positioning system. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_positioning_system

7 Použité obrázky

Obrázek 1 Provedení rotačního(vlevo) a posuvného(vpravo) potenciometru [3][4]	5
Obrázek 2 Mechanické spínače – rtuťový a páčkový [5][6]	6
Obrázek 3 Blokové schéma (vlevo) a konstrukční provedení (vpravo) indukčního snímače [7]	8
Obrázek 4 Princip snímání objektu [8].....	10
Obrázek 5 Náhradní obvody snímače s různým provedením materiálu [8]	11
Obrázek 6 Blokové schéma a provedení kap. snímače [8].....	11
Obrázek 7 Kódové kotoučky s Grayovým kódem [1][10]	13
Obrázek 8 Inkrementální fotoelektrický snímač [1].....	14
Obrázek 9 Interferometrický snímač [11]	14
Obrázek 10 Blokové schéma ultrazvukového snímače [12]	16
Obrázek 11 Časová prodleva u detekce odražené vlny [12]	16
Obrázek 12 Dosahy ultrazvukových snímačů [12]	17
Obrázek 13 Provedení ultrazvukového snímače [13].....	18
Obrázek 14 Vliv Wiedemannova jevu na tenkou válcovou tyč [15].....	19
Obrázek 15 Funkce magnetostrikčního snímače [15]	20
Obrázek 16 Provedení magnetostrikčního snímače [16].....	20
Obrázek 17 Působení magnetického pole na Hallův snímač [18].....	22
Obrázek 18 Detekce posunu přímým senzorem [18]	23
Obrázek 19 Konstrukce s vychýleným hallovým snímačem [18].....	23
Obrázek 20 Provedení reedova senzoru – válcové a závrtné do dveří [19]	24
Obrázek 21 Obraz z radaru měřící srážky [21].....	25
Obrázek 22 Použití trilaterace u GPS [30]	33