

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

Diplomová práce

Snímače pohybu

vedoucí práce: Doc. Ing. Vlastimil Beran, CSc.

2012

autor: Bc. Jaroslav Eliáš

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2011/2012**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav ELIÁŠ**
Osobní číslo: **E10N0023P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Snímače pohybu**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište principy snímačů pohybu.
2. Uveďte možnosti jednotlivých principů a jejich aplikace.
3. Ověřte vlastnosti miniaturního snímače pohybu fy.: Panasonic.
4. Porovnejte přednosti a nedostatky současných komerčně vyráběných snímačů polohy.

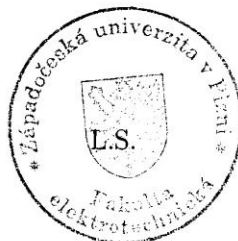
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


- 1. Přednášky předmětu KET/MNV.**
- 2. Prospekty a podniková literatura firem vyrábějících snímače pohybu.**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Vlastimil Beran, CSc.**
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou snímání pohybu. Popisuje principy snímačů určené k tomuto účelu, jejich možnosti a aplikace v praxi. Dále jsou zde popsány vlastnosti komerčně vyráběných snímačů a to z hlediska jejich předností či nedostatků. Vlastnosti dvou miniaturních snímačů firmy Panasonic jsou prakticky ověřeny a zhodnoceny.

Klíčová slova

pohyb, poloha, snímač, systém, snímání pohybu, detekce

Annotation – Motion sensors

This master thesis deals with problems of motion sensors and describes the principles of motion sensors designed for this purpose, their possibilities and applications in practice. Then there are described properties of commercially available sensors in terms of their advantages and disadvantages. Properties of two sensors by Panasonic are practically verified and evaluated.

Key words

motion, position, sensor, system, motion capture, detection

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne 9.5.2012

Jaroslav Eliáš

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Doc. Ing. Vlastimilu Beranovi, CSc. za vedení práce, užitečné rady a připomínky. Dále mé poděkování patří společnosti PANASONIC Electric Works Czech s.r.o. za poskytnutí snímače pohybu k otestování. Jmenovitě jejím zástupcům panu Janu Váchovi a Ing. Tomáši Podivínskému za ochotnou komunikaci a zprostředkování tohoto snímače. Na závěr mé díky patří rodině a známým, kteří mě po celou dobu mého studia na ZČU v Plzni podporovali.

OBSAH

ÚVOD	6
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	7
1 ÚVOD DO SNÍMAČŮ	8
1.1 DĚLENÍ SNÍMAČŮ	9
1.2 INTELIGENTNÍ SNÍMAČE	10
1.3 BEZDRÁTOVÝ PŘENOS SIGNÁLU ZE SNÍMAČE	10
1.4 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY PŘI VÝBĚRU SNÍMAČE	11
2 SNÍMAČE POHYBU / POLOHY V PRŮMYSLOVÉ PRAXI	12
2.1 ODPOROVÉ SNÍMAČE POLOHY	12
2.1.1 Potenciometrické	12
2.1.2 Kontaktní	13
2.2 KAPACITNÍ SNÍMAČE POLOHY	14
2.3 MAGNETICKÉ SNÍMAČE POLOHY	16
2.3.1 Snímač s Hallovým článkem	16
2.3.2 Magnetorezistivní sondy	17
2.3.3 Jazyčková relé	19
2.4 INDUKTIVNÍ SNÍMAČE POLOHY	20
2.4.1 Induktivní snímače s proměnnou vzduchovou mezerou	21
2.5 OPTICKÉ SNÍMAČE POLOHY	22
2.6 ULTRAZVUKOVÉ SNÍMAČE POLOHY	23
3 SNÍMÁNÍ POHYBU	25
3.1 VYUŽITÍ TECHNOLOGIE	25
3.2 OPTICKÝ SYSTÉM	26
3.3 MAGNETICKÝ SYSTÉM	29
3.4 MECHANICKÝ SYSTÉM	30
3.5 INERČNÍ SYSTÉM	31
3.6 OPTOELEKTRICKÝ SYSTÉM	32
4 ZABEZPEČENÍ OSOB A MAJETKU	34
4.1 PASIVNÍ INFRAČERVENÉ SNÍMAČE (PIR)	35
4.2 AKTIVNÍ INFRAČERVENÉ SNÍMAČE (AIR)	38
4.3 ULTRAZVUKOVÉ SNÍMAČE (US)	38
4.4 MIKROVLNNÉ SNÍMAČE (MW)	40
4.5 DUÁLNÍ SNÍMAČE	40
4.6 DALŠÍ SNÍMAČE	41
4.6.1 Infračervené závory a bariéry	42
4.6.2 Mikrovlnné bariéry	42
4.6.3 Štěrbinové kabely	43
4.7 CCTV - VIDEODETEKCE	43
4.7.1 Principy videodetekce	44
4.8 VIDEODETEKCE NA ZÁKLADĚ ANALÝZY SNÍMANÉHO OBRAZU	45
4.8.1 Detekce pohybu na základě změny jasu buněk	45
4.8.2 Detekce pohybu na základě rozdílu obrazů	46
5 SATELITNÍ SLEDOVÁNÍ POHYBU / POLOHY (GPS)	48
5.1 ALTERNATIVA GPS	51
6 OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ SNÍMAČŮ	51
6.1 SNÍMAČ NAPICA	51
6.2 SNÍMAČ NAPION	56

7 ZÁVĚR	66
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:	68
ZDROJE OBRÁZKŮ:	71

Úvod

V dnešní moderní době se setkáváme s různými typy snímačů, které se postupně staly neodmyslitelnou součástí našeho každodenního života, i když si to mnohdy neuvědomujeme. Těchto snímačů postupem času přibývá, stávají se dokonalejšími, a proto rostou i jejich aplikační možnosti. Jelikož jich existuje nepřehledné množství, což by několikanásobně převýšilo rozsah této práce, zaměřím se konkrétně na snímače pohybu a také polohy, jenž spolu souvisí. O této problematice existuje bezesporu množství kvalitních publikací, proto není snahou mé práce pouze toto téma souhrnně popsat a vytvořit všeobecný přehled, ale také poukázat na některé moderní či zajímavé aplikace těchto snímačů přímo v praxi. Snímače pohybu můžeme nacházet v mnoha odvětvích lidské činnosti od průmyslové výroby pro účely automatizace či regulace procesů, kdy je potřeba sledovat polohu či pohyb určitého objektu, přes moderní aplikace v zábavním průmyslu při tvorbě zvláštních efektů her a filmů až po oblast vědy, jakou může být sledování tahu velryb či pohybu planet.

Cílem práce je čtenáře blíže seznámit s těmito snímači a technologiemi jejich výroby. Snímače jsou v práci rozděleny do čtyř hlavních témat podle jejich využití. Těmito zmíněnými tématy jsou: oblast průmyslové výroby, snímání pohybu s následným vytvořením 3D modelu objektu, zabezpečení osob a majetku a satelitní sledování polohy.

Práce je tedy rozdělena přibližně do čtyř tematických částí. V první části je nejprve stručný úvod do problematiky snímačů, kde jsou snímače popsány poněkud obecněji. Druhá část popisuje principy snímačů a jejich možnosti aplikace v uvedených skupinách. Jsou zde uvedeny charakteristické vlastnosti jednotlivých systémů. Na závěr jsou ověřeny vlastnosti miniaturního snímače společnosti Panasonic.

Seznam použitých zkratk

S/Š	Signál / Šum
MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)	Mikro-Elektro-Mechanické Systémy
A/Č	analogově/číslicový převodník
MP	mikropočítač
R	rozhraní
P	nadřazený výpočetní systém
MoCap (Motion Capture)	snímání pohybu
EZS	elektronický zabezpečovací systém
PIR (Passive Infra Red) snímač	pasivní infračervený snímač
AIR (Active Infra Red) snímač	aktivní infračervený snímač
US (Ultrasonic) snímač	ultrazvukový snímač
MW (Microwave) snímač	mikrovlnný snímač
IR záření	infračervené záření
CCTV (Closed Circuit Television)	uzavřený televizní okruh, systémy průmyslové televize
DVR (Digital Video Recorder)	digitální videorekordér
NVR (Network Video Recorder)	síťový videorekordér
HDD (Hard Disk Drive)	pevný disk počítače
GPS (Global Positioning System)	globální polohový systém (USA)
NAVSTAR (Navigation Signal Timing and Ranging)	americký družicový navigační systém
SA (Selective Availability)	opatření proti zneužití navigačního systému
MSC (Master Control Station)	řídící středisko GPS
USAF (United States Air Force)	letectvo spojených států amerických
NGA (National Geospatial-Intelligence Agency)	ministerstvo národní obrany USA, bezpečnost USA a navigace
GNSS Galileo (Global Navigation Satellite System)	globální navigační satelitní systém (Evropa)
GLONASS (Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema)	globální navigační satelitní systém (Rusko)

1 Úvod do snímačů

Pro pojem snímač lze nalézt v různé literatuře ekvivalentní názvy jako senzor, detektor či převodník. Jedná se o funkční prvek, který je v přímém styku s měřeným objektem. Jde o jednu z nejdůležitějších částí měřicího řetězce nebo automatizovaných soustav zejména proto, že obvykle představuje omezující část kanálu (cena, přesnost, výrobní nebo materiálová náročnost).

Snímač je primární zdroj informace, který snímá sledovanou fyzikální, chemickou či biologickou veličinu. Tato veličina je převáděna nejčastěji na elektrický signál. Převod je řízen určitými principy a podléhá určitým pravidlům [1], [2].

Na obr.1 je základní schéma měřicího řetězce se snímačem. Výstupní transformovaný signál snímače je nutné zesílit a zajistit odstup signál/šum (S/Š) snímače a zesilovače od parazitních signálů. To může být realizováno např. speciálním zapojením zesilovačů, frekvenčním omezením signálů, modulací a následnou synchronní demodulací signálu nebo číslicovým zpracováním signálu. Dále bývá signál zpracováván analogovými obvody nebo po převodu na číslicový signál mikroprocesorem či mikrořadičem [1].



Obr. 1 Blokové schéma měřicího řetězce se snímačem převzato z [1].

A/Č – analogově / číslicový převodník včetně vzorkovacích zesilovačů, multiplexerů atd.

MP – mikropočítač

R – rozhraní

P – nadřazený výpočetní systém

1.1 Dělení snímačů

Snímače lze obecně dělit podle různých hledisek do různých skupin či podskupin. Toto dělení dává obecnou představu o různých typech snímačů, z nichž některé mohou být využívány častěji, jiné méně často.

Nejpoužívanější dělení snímačů je následující:

dle měřené veličiny:

- geometrická veličina - poloha, posunutí, pohyb ...
- mechanická veličina - rychlost, akcelerace, síla, tlak, průtok, mech. napětí ...
- teplotní veličina - teplota, tepelný tok ...
- optická veličina - radiační veličiny ve viditelném, infračerveném či jiném pásmu
- chemická veličina - analýza látek, kapalin, plynů
- biologická veličina
- elektrická a magnetická veličina aj.

dle fyzikálního principu:

- odporové
- induktivní
- indukční
- kapacitní
- magnetické
- piezoelektrické
- pyroelektrické
- optoelektronické
- optické vláknové
- chemické
- biologické aj.

dle výrobní technologie:

- elektromechanické
- mechanické
- pneumatické
- elektrické
- elektronické
- elektrochemické
- polovodičové
- mikroelektronické
- optoelektronické
- MEMS aj.

dle generace:

- 1. generace - využití základních fyzikálních jevů
- 2. generace - využití polovodičů
- 3. generace - optické vláknové a optoelektronické systémy, další vývoj

dle transformace signálu:

- aktivní - působením snímané (měřené) veličiny se snímač chová jako zdroj elektrické energie
- pasivní - působením snímané veličiny se mění některý z jeho parametrů, oproti aktivním je zde nezbytné napájení

dle styku snímače s měřeným prostředím:

- dotykové (taktilní)
- bezdotykové (proximitní)

dle převodu neelektrické veličiny:

- s jednoduchým převodem - vstupní (měřená) veličina se mění na výstupní přímo
- s několikanásobným převodem - vstupní veličina se mění nejprve na jinou veličinu, ta se mění dále na veličinu výstupní

[1], [2], [3], [4].

1.2 Inteligentní snímače

Jde o snímače často známé také pod názvem Smart senzor. Jejich „inteligence“ spočívá v tom, že obsahují elektronické obvody či funkce pro zpracovávání měřených dat, jejich přenos, automatickou korekci a další. To vše je integrováno na jediném čipu. Tato skupina snímačů patří dnešní v dnešní době mezi velmi využívanou a dále rozvíjenou [1], [5].

Mezi základní funkce Smart senzoru patří:

- měření vstupních veličin - jejich analogové a číslicové zpracování
- konfigurace svých parametrů
- kontrola činnosti senzoru (autodiagnostika)
- obousměrná komunikace s nadřazeným systémem pomocí sběrnice [5]

1.3 Bezdrátový přenos signálu ze snímače

Další důležitou skupinou, která je v současnosti často využívána a neměla by být tedy opomíjena je skupina snímačů s bezdrátovým přenosem informace. Tyto snímače se používají především v rozsáhlých provozech a v podmínkách, kde je velmi obtížné či nemožné realizovat komunikaci pomocí vodičů. To nastává v případech přenosu signálu z

mobilních a pohybujících se či rotujících strojů nebo jejich částí. Ačkoliv bezdrátová technika má mnoho výhod a v budoucnosti se počítá s jejím dalším rozvojem, existují aplikace, kde její použití není vhodné. Stále tak není bezdrátová technologie plnou náhradou „drátové“ [6].

Charakteristické vlastnosti bezdrátových přenosů a bezdrátové sítě:

- snadné použití
- spotřeba energie (nutnost baterií, u mobilních soustav)
- schopnost zvládnout poruchu uzlu v síti
- dynamická topologie sítě
- možné komunikační selhání
- bezobslužná činnost
- odolnost vůči vlivům prostředí [7]

1.4 Základní požadavky při výběru snímače

Při výběru snímače se řídíme skupinou základních parametrů:

- jednoznačná, lineární závislost výstupní veličiny na veličině vstupní
- velká citlivost snímače
- požadovaná přesnost snímače
- velká časová stálost snímače
- minimální závislost na parazitních vlivech (teplota, vlhkost, tlak ...)
- minimální zatěžování měřeného obvodu
- maximální spolehlivost snímače
- jednoduchá konstrukce
- jednoduchá údržba
- minimální parazitní vliv snímače na okolí nebo obsluhu
- nízká cena snímače

Jelikož ale mohou být mnohé požadavky protichůdné a jejich splnění je v některých případech velmi obtížné či nemožné, je nutné při výběru volit určité kompromisy. Velmi často se tak nejdůležitějšími požadavky při výběru stávají cena a přesnost. Důležité je při

výběru snímače zohledňovat také vlastnosti celého měřicího řetězce a pohlížet na celý měřicí řetězec komplexně [2].

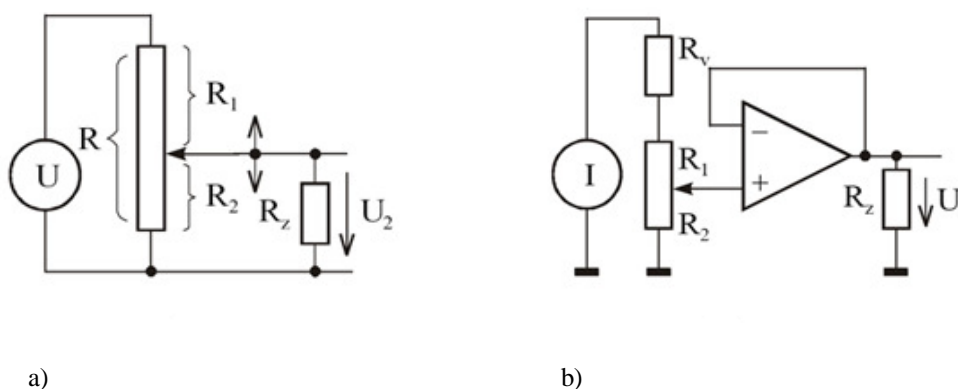
2 Snímače pohybu / polohy v průmyslové praxi

Jelikož je tato problematika velmi obsáhlá a svým rozsahem by vydala na samostatnou práci, je zde vybrána pouze určitá část, z níž některé technologie jsou využívány více a jiné méně. Více informací či detailnější popis lze nalézt v příslušné literatuře k dané technologii.

2.1 Odporové snímače polohy

2.1.1 Potenciometrické

Princip tohoto snímače je založen na změně polohy pohyblivého kontaktu neboli jezdce, mechanicky ovládaného měřenou veličinou. Dochází zde tedy ke změně odporu mezi jezdcem a začátkem popř. koncem odporové dráhy. Odporové dráhy jsou vinuté z odporového drátu nebo z vodivých plastů, které se používají častěji [8]. Je zde využíváno několik typů jezdců. Nejčastěji je využíván potenciometr s rotačním pohybem jezdce pro měření úhlového natočení, přímočarého posuvu jezdce pro měření polohy nebo lineárního posunutí a také spirálového pohybu jezdce pro měření úhlové polohy s velkou rozlišovací schopností. Odporový snímač se chová jako napěťový dělič s dělicím poměrem, který je určen polohou jezdce [1].



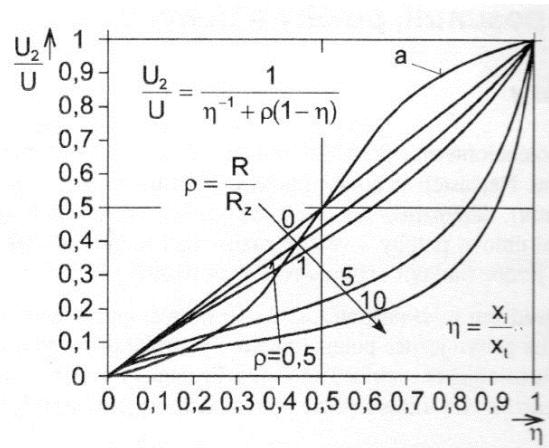
a)

b)

Obr. 2 Náhradní schéma odporového snímače polohy a), měřící obvod (napěťový sledovač) b) převzato z [1].

Z náhradního schématu lze odvodit také převodní charakteristiku tohoto odporového snímače (obr.3). Kde x_i reprezentuje vzdálenost jezdce od začátku odporové dráhy a x_t

celkovou vzdálenost odporové dráhy. Znázorněn je zde poměr výstupního napětí k vstupnímu napětí, v závislosti na poměru η neboli vzdálenosti jezdce od začátku odporové dráhy k celkové vzdálenosti odporové dráhy.

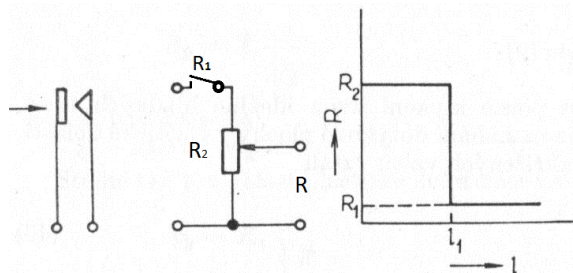


Obr. 3 Převodní charakteristika odporového snímače polohy převzato z [1].

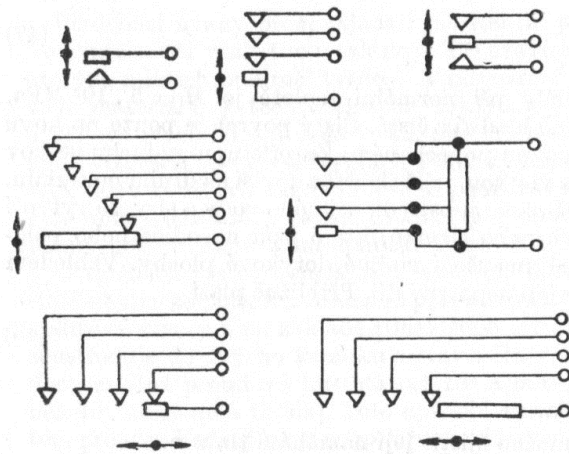
Tyto snímače se vyznačují svou jednoduchostí, přesností a spolehlivostí. Velký důraz je také kladen na jejich životnost, proto musí být dokonale mechanicky provedeny [9].

2.1.2 Kontakové

Kontakové snímače patří k nejjednodušším snímačům vůbec. Při změně polohy zde dochází ke skokové změně odporu. K této skokové změně dochází přepínáním jednoho nebo i celé skupiny kontaktů [1]. Nejde zde o měření vstupní veličiny, ale dochází zde k indikaci jedné či více hodnot posunutí. Princip kontakového snímače je znázorněn na obr. 4, kde hodnota odporu R_2 je dána izolací kontaktu a hodnota odporu R_1 závisí na přechodovém odporu při spojení kontaktu. Příklady základního uspořádání kontaktů lze vidět na obr.5.



Obr. 4 Princip kontakového snímače a závislost odporu na posunutí kontaktu převzato z [2].



Obr. 5 Základní uspořádání kontaktů převzato z [2].

Důležité parametry jako jsou přesnost, spolehlivost a doba životnosti jsou závislé na vlastním kontaktu snímače. Velký důraz je tedy brán na materiál, konstrukci a provedení kontaktů. Obecně požadovanými vlastnostmi jsou malý přechodový odpor, stálost při malých proudech a napětích, minimální opotřebení kontaktů a také odolnost vůči vlivům prostředí. Důležitý parametr, jakým je přechodový odpor, výrazně ovlivňuje povrchová vrstva kontaktů. K omezení všech nežádoucích vlivů jsou proto voleny materiály kontaktů jako stříbro, zlato, platina a další [9].

2.2 Kapacitní snímače polohy

Princip těchto snímačů patří mezi nejstarší, neboť první práce, které se jimi zabývají, se objevují již roku 1912. Jejich značnými výhodami jsou jednoduchost, malé rozměry a hmotnost. Základ tvoří kondenzátor skládající se ze dvou či více elektrod, kde minimálně jedna je pohyblivá.

Pro popis vlastností a funkce je použito základního vztahu pro kapacitu rovinného deskového kondenzátoru s homogenním polem [9].

$$C = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{d} \quad [F; -, F \cdot m^{-1}, m^2, m] \quad (2.1)$$

C [F] – kapacita

ε_0 [F.m⁻¹] – permitivita vakua

ϵ_r [-] – poměrná permitivita

d [m] – vzdálenost elektrod

S [m²] – plocha překrytí elektrod

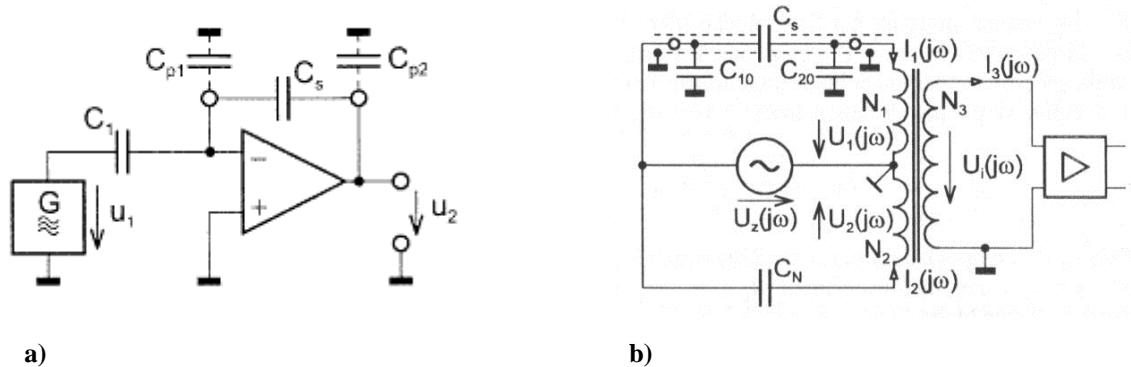
Při změně polohy může docházet ke změně hodnoty poměrné permitivity, plochy překrytí elektrod nebo vzdálenosti elektrod. Působením neelektrických veličin lze tedy měnit mezeru mezi deskami, plochu desek nebo dielektrikum [9]. Základní typy kapacitních snímačů jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Přehled principů kapacitních snímačů převzato z [8].

Typ snímače	schema	funkční vztahy	charakteristika
deskový jednoduchý s proměnnou mezerou		$C = \epsilon \frac{S}{d(x)}$; $\frac{\Delta C}{\Delta d} \approx -\frac{C}{d} \left(1 - \frac{\Delta d}{d}\right)$	
deskový diferenční s proměnnou mezerou		$C_1 = \epsilon \frac{S}{d + \Delta d}$ $C_2 = \epsilon \frac{S}{d - \Delta d}$ $\frac{\Delta C}{\Delta d} \approx -\frac{C}{d} \left[1 + 2 \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2\right]$	
deskový s proměnnou tloušťkou dielektrika		$C = \frac{\epsilon_1 S}{d_0 - d(x) \left(1 - \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}\right)}$	
deskový s proměnnou plochou překrytí		$C = \epsilon \frac{S(x)}{d}$; $\frac{\Delta C}{\Delta l} \approx -\frac{C_{max}}{l_{max}} \left(1 + \frac{\Delta d}{d}\right)$	
deskový diferenční s proměnnou plochou překrytí		$C = \epsilon \frac{S(x)}{d}$; $\frac{\Delta C}{\Delta l} \approx -\frac{C_{max}}{l_{max}} \left[1 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2\right]$	
válcový s proměnnou plochou překrytí		$C = \epsilon \frac{2\pi \cdot l(x)}{\ln \frac{D_1}{D_2}}$; $\frac{\Delta C}{\Delta l} \approx -\frac{C_{max}}{l_{max}} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2\right]$	
diferenční s proměnnou plochou překrytí		$C = \epsilon \frac{S(\alpha)}{d}$	

Jelikož jsou vlastnosti kapacitních snímačů výrazně ovlivněny parazitními kapacitami přívodů od snímače k měřicímu obvodu, což také patří k jejich nevýhodě, je nutné tento vliv vyloučit. Nežádoucí parazitní kapacita má vliv jak na zmenšení citlivosti snímače, tak na zavedení chyby při změnách polohy. Nejjednodušší opatření proti těmto vlivům je zkrácení přívodů na minimum tím, že se měřicí obvod umístí přímo do snímače. To však není vždy možné, a proto je nutné parazitní kapacity vyloučit pomocí speciálních měřicích obvodů.

Mezi jedny z nejpoužívanějších patří např. zpětnovazební dělič napětí, transformátorový můstek a další [1].



Obr. 6 Vyloučení vlivu parazitních kapacit a) zpětnovazební dělič napětí, b) transformátorový můstek převzato z [1].

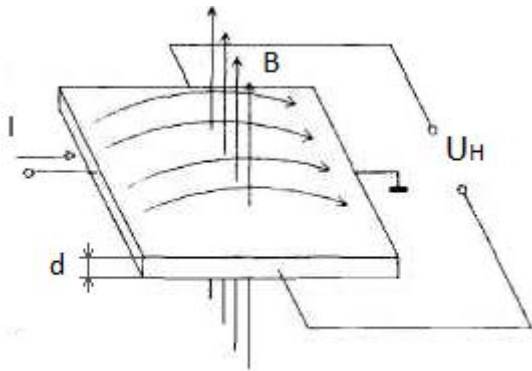
V průmyslu nejsou tyto kapacitní snímače oproti induktivním tolik využívány. Důvody jsou velká závislost na teplotě a značné působení rušivých vlivů. Nezastupitelné jsou tyto snímače v hlídání hladiny kapalin a sypkých hmot. Velmi často se používají také jako tlačítka, kde stačí lehký dotek či pouhé přiblížení ruky k sepnutí [10].

2.3 Magnetické snímače polohy

Tato kapitola je věnována nejrozšířenějším typům magnetických snímačů polohy. Je zde využíváno magnetického pole permanentního magnetu. Mezi nejznámější v této skupině patří snímač využívající Hallova jevu [9]. V průmyslu lze tuto skupinu snímačů využít k mnoha aplikacím jako např. měření otáček, detekce natočení a otáčení, snímání poloh pneumatických a hydraulických válců, v elektromechanických, jeřábových, manipulačních systémech a mnoha dalších [11].

2.3.1 Snímač s Hallovým článkem

Zde je využíváno Hallova jevu, který spočívá v tom, že magnetické pole (B) působí a je kolmé na elektrický proud (I) procházející polovodičovou destičkou a dojde tak ke vzniku Hallova napětí (U_H), měřeného na elektrodách viz. obr.7.



Obr. 7 Princip Hallova jevu [3].

$$U_H = R_H \cdot \frac{I \cdot B}{d} \quad (2.2)$$

U_H [V]- Hallovo napětí

R_H [$m^3 A^{-1} s^{-1}$] - Hallova konstanta

I [A]- elektrický proud

B [T]- magnetická indukce

d [mm]- tloušťka polovodiče

Polohu pomocí Hallova článku lze snímat dvěma způsoby:

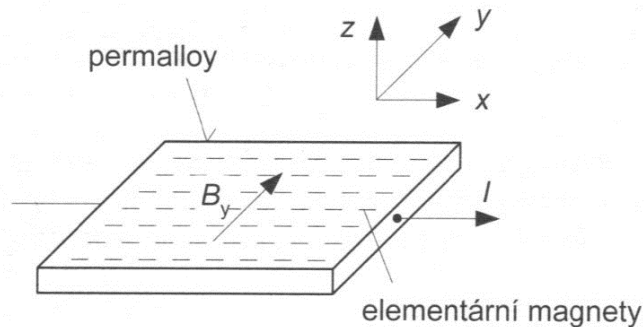
1. Pohybuje-li se Hallův článek v nehomogenním magnetickém poli, dochází ke změně Hallova napětí v závislosti na změně polohy článku. Těchto typů snímačů je využíváno pro měření polohy v rozsahu jednotek milimetrů.
2. Hallův článek je umístěn mezi pólovými nástavci permanentního magnetu. Pohybující se těleso z feromagnetického materiálu v blízkosti rozptylového pole naruší magnetickou indukci procházející Hallovým článkem. Tím dojde ke změně Hallova napětí. Tyto typy snímačů jsou vhodné pro bezdotyková snímání polohy, zjišťování úhlu natočení a také např. pro vnitřní části robota [9]. Mezi časté aplikace Hallova článku patří hlídání a měření otáček [10].

2.3.2 Magnetorezistivní sondy

Tyto sondy jsou velmi podobné Hallovo článku a jejich využití je stejné. Opět jde o polovodičovou destičku (často z InSb s příměsí NiSb) protékanou el. proudem, u které je využíváno zvyšování jejího odporu působením magnetického pole. Nepůsobí-li na destičku magnetické pole, prochází jí proud nejkratší cestou. Začne-li na ní magnetické pole působit, proud je stranově vychýlen, musí tedy urazit delší dráhu a dojde tak ke zvýšení odporu destičky.

Existuje také varianta destičky vyrobené z feromagnetického materiálu - permalloye,

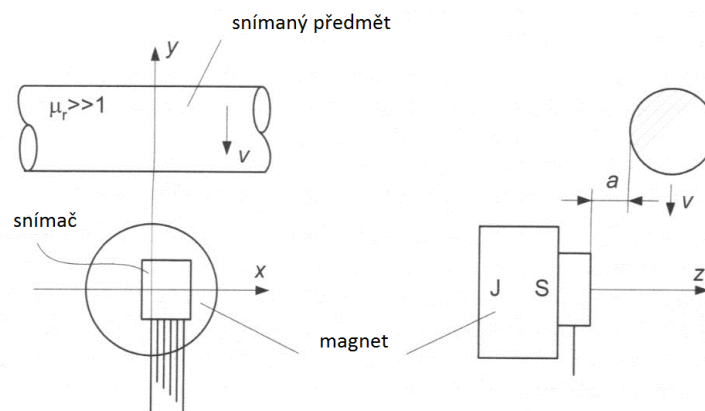
který je už od výroby zpracován tak, že elementární magnety mají jednu prioritní orientaci a to v podélném směru jak je vidět na obr. 8.



Obr. 8 Magnetorezistivní snímač z permalloye převzato z [4].

Odpor destičky je největší nepůsobí-li žádné magnetické pole. Čím větší je hodnota indukce magnetického pole, tím je odpor destičky nižší. Správnou konstrukcí destičky lze v přijatelném rozsahu dosáhnout zlinearizování této závislosti.

Jako příklad aplikace tohoto systému v praxi, lze uvést potřebu detekce pohybujícího se feromagnetického předmětu kolem snímače. Po přiblížení tohoto předmětu ke snímači dojde k deformaci mag. pole ve směru osy y a k aktivaci snímače. Snímač je přilepen na magnet, který splňuje dvě funkce. První je vytvoření mag. pole, směřovaného tak, že snímač není ovlivněn. Druhou je potřebná předmagnetizace snímače v x -ové souřadnici. Mezi jedinou nevýhodou této aplikace patří možné působení magnetického pole na feromagnetický předmět [10].



Obr. 9 Příklad aplikace magnetického snímače v praxi převzato z [4].

2.3.3 Jazýčková relé

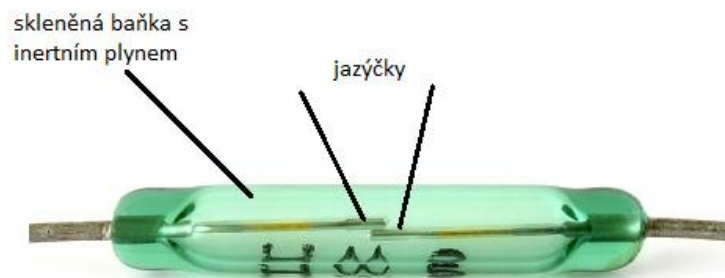
Jde o jednoduchý snímač, který je ovládán magnetickým polem. Kontakty jsou zhotovené z plíšků z magneticky měkkého materiálu. Oba jsou zataveny do skleněné baňky plněné pod nízkým tlakem inertním plynem. Při uzavírání magnetického toku Φ [Wb] přes jazýčky vzniká síla F_M [N]. Jazýčky s tuhostí k a plochou styku S [mm²] se deformují a počáteční mezera δ_0 [mm] se změní na δ [mm]. Tím vzniká direktivní síla F_P [N]. Tyto síly jsou určeny vztahy:

$$F_M = \frac{\Phi^2}{2 \cdot \mu_0 \cdot S} \quad F_P = k \cdot \frac{\delta_0 - \delta}{2} \quad (2.3)$$

μ_0 [H/m] – permeabilita vakua

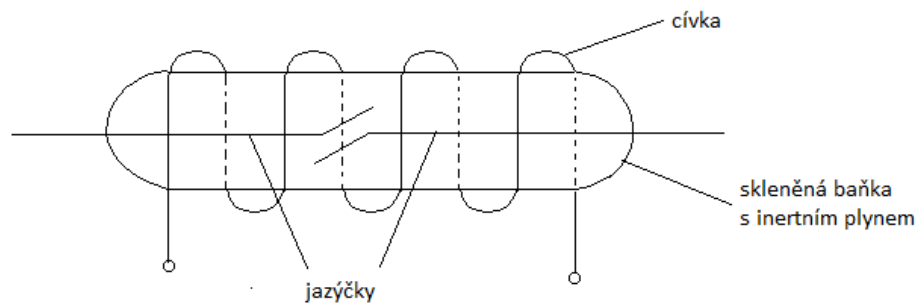
Na kontakty pak působí síla F_k [N], která je rozdílem těchto sil.

$$F_k = F_M - F_P \quad (2.4)$$



Obr. 10 Jazýčkové relé převzato z [5].

Jazýčky bývají pokryty na povrchu vrstvou vzácných kovů (zlato, stříbro, platina). Přesnost určení polohy může být značně ovlivněna hysterezí, při které ovládací permanentní magnet vyvolá sepnutí či rozepnutí kontaktů. Zmenšení hystereze a vyloučení vícenásobného sepnutí kontaktů lze zabránit změnou vzdálenosti magnetu a relé. Kontakty lze také ovládat cívkou, kdy při průchodu el. proudu cívkou dojde k jejich zmagnetování.



Obr. 11 Jazýčkové relé ovládané cívkou převzato z [42].

Jazýčková relé se hodí pro mnohé aplikace v oblasti měření jako je např. měření počtu otáček, zjišťování polohy objektů, detekci úrovně hladiny. Výhodou je jejich jednoduchost, spolehlivost, životnost a možnost použití např. ve vlhkém či prašném prostředí [1].

2.4 Induktivní snímače polohy

Jde o širokou skupinu pasivních snímačů, jejichž princip je založen na převodu měřené veličiny (polohy či pohybu) na změnu indukčnosti (např. snímač s proměnnou vzduchovou mezerou) nebo vzájemné indukčnosti (např. transformátorové). Snímače jsou zapojeny do obvodu se střídavým napájením a vlastní snímač je tvořen cívkou či systémem cívek bez feromagnetického jádra nebo s feromagnetickým popř. neferomagnetickým elektricky vodivým jádrem. Při měření polohy dochází ke vzájemnému posunutí těchto částí, což vyvolá již zmíněnou změnu [1]. Tyto snímače mají díky řadě výhod v průmyslu široké využití. Mezi tyto výhody patří např. odolnost vůči vlivům provozního prostředí, spolehlivost, vysoká životnost, poměr cena/výkon [12]. V průmyslu lze tyto snímače využít také jako inkrementální snímač otáček. Jedinou nevýhodou těchto snímačů v porovnání s ostatními je detekce polohy objektů pouze u elektricky vodivých materiálů.

Induktivních snímačů je několik druhů:

- s otevřeným magnetickým obvodem
- s konstantní vzduchovou mezerou a proměnnou μ (tzv. magnetické)
- s proměnnou vzduchovou mezerou
- transformátorové

- na principu vířivých proudů
- selsyny a resolvery
- induktosyn [1]

2.4.1 Induktivní snímače s proměnnou vzduchovou mezerou

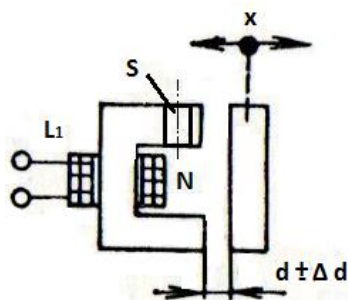
Tento typ snímače patří k nejrozšířenějším induktivním snímačům vůbec. Jeho princip je velmi jednoduchý a spočívá na změně indukčnosti cívky při změně velikosti či plochy vzduchové mezery. Ta se mění pohybem feromagnetické části snímače. Jelikož je závislost L na d hyperbolická, snímač se využívá pouze v oblasti, kde je charakteristika přibližně lineární. Proto se tyto snímače používají pro měření malých posuvů. Diferenciálním uspořádáním lze oproti základnímu dosáhnout až zdvojnásobení citlivosti a zmenšení nelinearity [1]. Obě uspořádání jsou vidět na obr.12.

Pro výpočet magnetické reluktance platí:

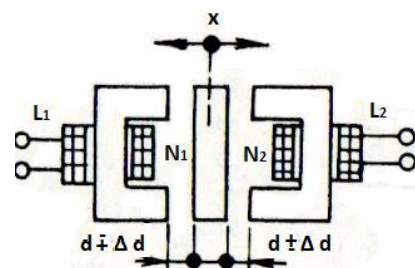
$$R_m = \frac{l_{Fe}}{\mu_0 \cdot \mu_{Fe} \cdot S_{Fe}} + \frac{2d}{\mu_0 \cdot S_d} \quad [H^{-1}] \quad (2.5)$$

Pro výpočet indukčnosti cívky snímače platí:

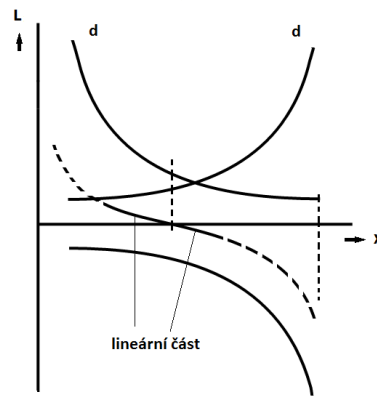
$$L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{N^2}{2d} \cdot \mu_0 \cdot S_d \quad [H] \quad (2.6)$$



a)



b)



Obr. 12 Induktivní snímače s proměnnou vzduchovou mezerou a charakteristika: a) základní uspořádání b) diferenciální uspořádání převzato z [2].

2.5 Optické snímače polohy

Optické či přesněji nazývané optoelektronické nebo fotoelektronické snímače patří v dnešní době k nejvyužívanějším snímačům v průmyslové oblasti vůbec. Jejich výhody a také důvody stále častější aplikace jsou stále se zmenšující rozměry, jednoduchost, stoupající výkonost (citlivost), odolnost vůči elektromagnetickému rušení. Nevýhodami jsou malá odolnost vůči vlhkosti a silnému znečištění, u některých systémů složitější instalace, nastavení a cena [10].

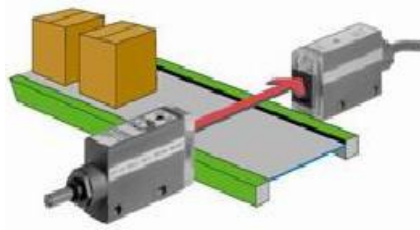
Pro snímání polohy či pohybu lze využít závislosti mezi zdrojem a detektorem optického záření, která se tímto pohybem mění. Všechny typy těchto snímačů vycházejí z několika případů, podle kterých lze pohyb vyhodnotit. Těmito případy jsou:

- změna polohy zdroje světelného záření
- přerušování nebo zeslabení světelného toku mezi zdrojem a detektorem
- změna úhlu odrazu paprsku zdroje
- interference zdrojového a odraženého paprsku [1]

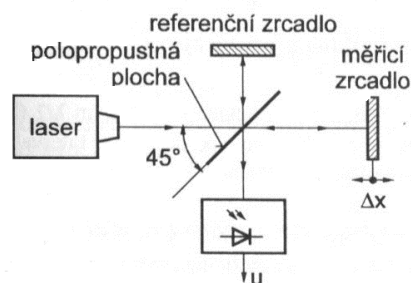
Optických snímačů polohy existuje velké množství a patří mezi ně například:

- polohově citlivé snímače (PSD)
- optoelektronické snímače s nábojově vázanou strukturou (CCD)
- optické závory
- inkrementální optické snímače polohy
- absolutní optické snímače polohy

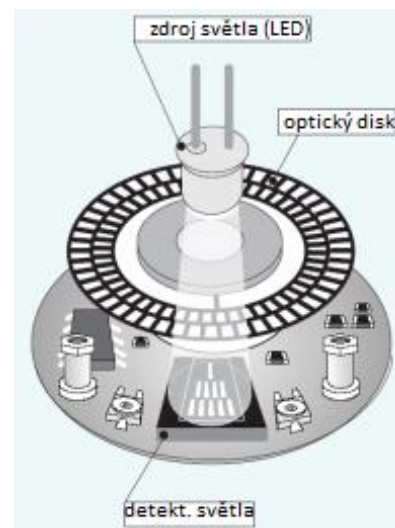
- optoelektronické snímače polohy s triangulací
- optoelektronické snímače na interferometrickém principu
- optická vlákna a další [1], [10]



1



2

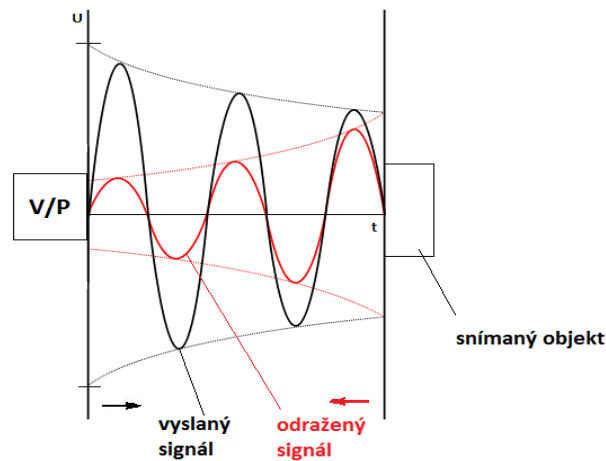


3

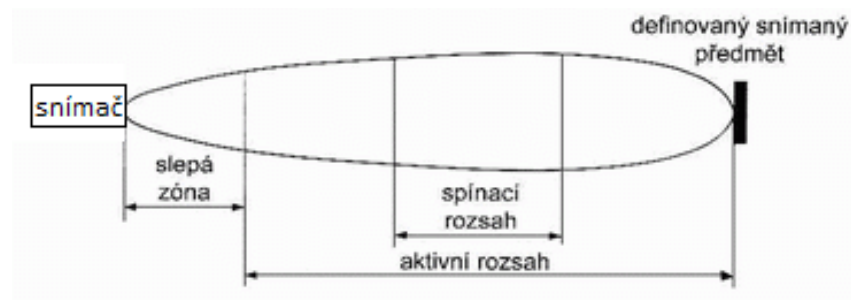
Obr. 13 Optické snímače polohy (1 optická závora , 2 opt. snímač na interferometrickém principu, 3 inkrementální opt. snímač) převzato z [6], [1], [7].

2.6 Ultrazvukové snímače polohy

Princip těchto snímačů je založen na měření doby od vyslání ultrazvukového impulsu směrem k objektu, do přijetí tohoto impulsu odraženého od objektu. To umožňuje zjištění polohy nebo i tvaru měřeného objektu. Jako měniče zvuku se pro tyto snímače nejčastěji využívají piezokeramické měniče. Rychlost šíření vln nezávisí na kmitočtu, ale na vlastnostech prostředí (vzduchu) jako je tlak, teplota a vlhkost.



Obr. 14 Princip detekce objektu ultrazvukovým snímačem



Obr. 15 Rozsah ultrazvukového snímače, vyzářovací charakteristika převzato z [10].

Mezi nevýhody jednodušších systémů patří tzv. mrtvý čas, což je doba od vyslání impulsu do jeho možného příjmu, po kterou musí snímač nečinně čekat, kdy měnič dokmitává. Následkem toho se v těsné blízkosti ultrazvukové snímače nachází tzv. mrtvá či slepá zóna, ve které snímač odezvu nedetekuje. U snímače s dosahem 1 m činí mrtvá zóna 20 cm, dosah 6 m je roven asi délce 80 cm mrtvé zóny. Složitějším systémem lze mrtvou zónu podstatně zúžit. Další nevýhodou může být vzájemné ovlivňování více snímačů, což lze však vyřešit synchronizací. Tato vlastnost se ale může stát i výhodou v případě, kdy je potřeba objekt detekovat a je přítom jedno, který ze snímačů to provede.

Výhodami jsou nezastupitelnost v určitých aplikacích jako je detekce průhledných předmětů, měření pohybu hladin tekutých či sypkých materiálů a možnost použití v prašných, vlhkých či chemických prostředích. Avšak je-li to možné od jejich aplikace se upouští a využívá se spíše snímačů optických [10].

3 Snímání pohybu

Snímání pohybu je známo pod pojmem Motion Capture, používaná zkratka je MoCap. V podstatě jde o metodu či technologii získávající informace o pohybu lidí, zvířat nebo libovolných objektů. Tyto informace jsou dále zpracovávány a nejčastěji slouží k vytvoření 3D modelu snímaného objektu [13], [14].

V současnosti má tato technologie největší využití v zábavním průmyslu, především při tvorbě zvláštních efektů ve filmech a počítačových hrách, ale nachází využití v dalších odvětvích (kapitola 3.1.). Snímání pohybu pro tento účel lze realizovat pomocí několika systémů.

3.1 Využití technologie

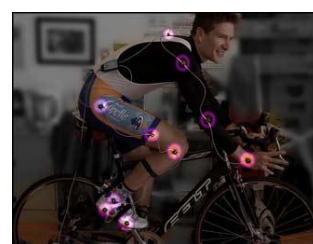
- zábavní průmysl - filmy, počítačové hry, reklamy, virtuální realita
- zdravotnictví - rehabilitace, analýza chůze a celé stavby těla
- sport - analýza pohybů sportovce, předcházení zdravotním problémům
- vojenství - trenažéry, simulace
- zoologie - analýza pohybu zvířat, vývoj kostry působením stáří
- průmysl - doprava - aerodynamika letadel, podvodní analýza lodí,
nastavení mechanických částí automobilů
- řídicí systémy - manipulace jeřábů s břemeny, průmyslové roboty [14], [15].



1



2



3



4



5

Obr. 16 Oblasti využití technologie MoCap (1-zdravotnictví, 2-počítačové hry, 3-sport, 4-průmysl, 5-navrhování designu automobilů) převzato z [8], [9], [10], [11], [12].

3.2 Optický systém

Optické systémy patří v současnosti mezi nejvyužívanější a nejdokonalejší systémy MoCap. Tento systém využívá ke snímání pohybu objektu několika kamer. Tyto kamery snímají buď pouze značky tzv. markery připevněné na objekt, nebo snímají přímo objekt jako celek a pomocí počítačových algoritmů rozpoznávají jeho pohyb. Tento systém proto lze rozdělit na systém využívající značky a systém bez značek [16], [17]. Významnými producenty optických systémů pro MoCap jsou např. firmy OptiTrack, Vicon a další.

a) Systém využívající značky:

Značka je nejčastěji v podobě kuličky, která se připevňuje na sledovaný objekt. Značky se nejčastěji připevňují na speciální obleky nebo je také lze v případě menších částí těla, jakými jsou části obličeje, přilepit přímo na snímanou část. Jejich velikost závisí na způsobu využití, typu objektu nebo na části objektu. Pro snímání pohybu člověka se průměr kuličky pohybuje od cca 3 mm do 20 mm.

Z hlediska značek lze systém dále rozdělit na značky aktivní a pasivní. Pasivní značka je pokryta reflexním materiálem a pouze odráží světlo, které je snímáno kamerami. Aktivní značka toto světlo vytváří. Zdrojem světla u aktivních značek je často infračervená LED dioda. Jelikož docházelo k situacím, kdy proměnné světelné podmínky stěžovaly identifikaci těchto značek, přešlo se od světelných zdrojů viditelného spektra ke spektru infračervenému [17]. Výhodami aktivních značek oproti pasivním jsou např. rozpoznatelnost na několikanásobně větší vzdálenost, možnost identifikace jednotlivých značek na objektu, možnost použití v terénu při slunečním záření. Oproti tomu nevýhodami jsou větší rozměry (dle typu aktivní značky), částečné omezení pohybu při měření a nutnost vlastního zdroje energie (kabeláž a baterie) [18].



Obr. 17 Značky optického Motion capture systému zleva pasivní, aktivní převzato z [13], [14].

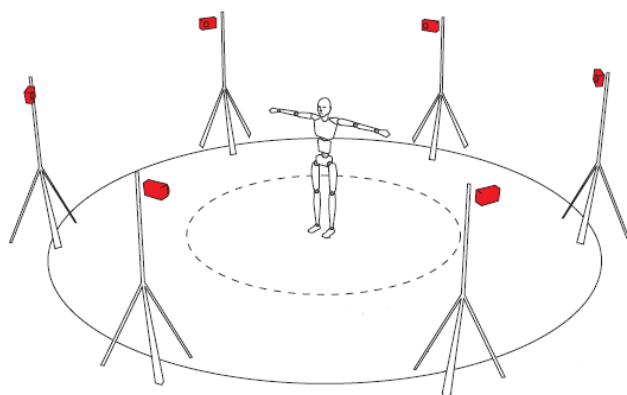


Obr. 18 Snímání mimiky obličeje pomocí značek převzato z [15].



Obr.19 Oblek pro uchycení značek převzato z [16].

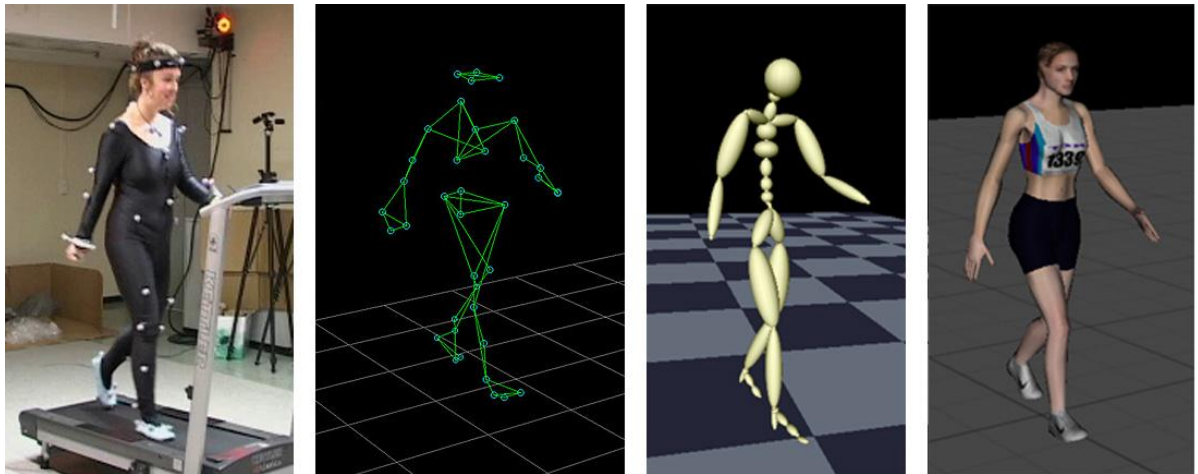
Princip snímání pohybu u obou typů značek je podobný a probíhá následovně. Systém se skládá z několika kamer, které snímají objekt z různých perspektiv. Počet kamer závisí na velikosti snímaného prostředí a odvíjí se od něj přesnost měření. Po instalaci značek na objekt je nutné celý systém zkalibrovat a zesynchronizovat kamery. Poté již kamery jednotlivé značky snímají. Pomocí algoritmů dojde k vypočtení polohy a následnému vytvoření 3D modelu. Pro určení přesné polohy musí být značka snímána minimálně dvěma kamerami. Pro MoCap je typická vzorkovací frekvence kamery 100-120 snímků / s [19].



Obr. 20 Rozestavení kamer optického systému OptiTrack převzato z [16].



Obr. 21 Kamera OptiTrack - V100:R2 převzato z [17].



Obr. 22 Fáze Motion Capture optického systému (zleva: snímání kamerami, jednoduchý model, propracovanější 3D model, finální 3D model) převzato z [18].

b) Systém bez značek:

Moderní vývoj a nejnovější systémy již dokážou sledovat pohyb objektu bez nutnosti jakéhokoliv označení značkami nebo použití speciálních obleků pro rozlišení částí těla. To vše je možné díky stále vyvíjeným speciálním počítačovým algoritmům a technice, které dokáží například rozpoznávat lidskou postavu a její pohyby. Tento systém může nahradit systém využívající značky tam, kde není nutná rozpoznatelnost malých a detailních pohybů jako jsou mimika obličeje, pohyby prstů atd. Avšak v praxi je stále využívanější snímání pohybu s použitím značek. Aby byl plnohodnotně nahrazen, musí být systém bez značek dále vyvíjen a zdokonalován [14], [17].

Výhody:

- vysoká přesnost
- flexibilita - žádné omezení pohybu snímaného objektu
- možnost snímání v terénu na přímém slunečním světle - u modernějších systémů
- rychlost - vysoká vzorkovací frekvence kamer
- možnost snímání více objektů v jednom prostoru
- rozmanitost použití - lze snímat vše, na co lze připevnit značky
- lze použít ve velkých prostorech
- snadné použití - instalace, nastavení, provoz

Nevýhody:

- nutná viditelnost značky min. dvěma kamerami
- zastínění značky = ztráta dat - řešení zvýšením počtu kamer
- zastínění značek při určitých pohybech - např. lenutí na zem
- možná záměna markerů uživatele a předmětu - u pasivních značek
- citlivost na cizí a proměnné světelné zdroje - starší systémy
- náklady spojené s pronájmem studií a hal - viz. předchozí bod
- vysoká cena

3.3 Magnetický systém

Magnetický systém je využíván tehdy, není-li možné nebo je-li obtížné snímání pohybu realizovat optickým systémem. Systém využívá k vypočítávání a následnému určení polohy magnetického toku tří cívek [13]. Tyto cívky jsou na sebe vzájemně kolmé a jsou umístěny jak ve vysílači, tak v přijímači. Vysílač generuje elektromagnetické pole. To je přijímačem ve snímači umístěným na těle (obleku) uživatele zachycováno. Snímače jsou propojeny s řídicí jednotkou. Při pohybu uživatele je řídicí jednotkou zjištěna změna polohy a orientace přijímače vůči vysílači [20]. Dále jsou tato pohybová data předávána do počítače k dalšímu zpracování. Mezi přednosti systému patří značný počet výhod. Prvotní nadšení je však vykoupeno velkým počtem nevýhod jako je třeba náchylnost na rušení ze zdrojů elektrického nebo magnetického pole vyskytujících se v blízkosti a požadavek speciálního odstíněného prostředí [17]. Při volbě zda použít magnetický systém je nutné pro konkrétní účel všechny tyto výhody a nevýhody zvážit.

Výhody:

- přesnost
- zpracování dat v reálném čase
- orientace v prostoru
- možnost zaznamenání rotace snímače
- nevadí zakrytí snímače lidskou tkání či nekovovými předměty - nebrání v šíření elmag. pole
- není potřeba časté kalibrace
- relativně levné - levnější než optický systém

Nevýhody:

- omezená vzdálenost snímání - deformace elmag. pole
- chyba v přesnosti - vznik při rušení
- náchylnost k interferenci mag. polí - např. kov ve zdech, monitory ...
- nutnost odstíněného prostředí - viz. předchozí bod
- omezení pohybu uživatele - propojení snímačů na těle + propojení s jednotkou kabely
- vzorkovací frekvence - nízká pro využití ve sportu

3.4 Mechanický systém

Mechanický systém využívá kovových nebo plastových tyčí, které jsou navzájem spojeny pomocí kloubů a připevněny na tělo uživatele [21]. Vše je navrhováno a musí se přizpůsobit danému uživateli tak, aby tyče korespondovaly s končetinami a spojení mezi nimi s klouby uživatele. To připomíná jakousi lidskou kostru nazývanou také jako exoskeleton [17].

Ke snímání pohybu dochází tak, že s pohybujícím se uživatelem dochází ke změně úhlů mezi jednotlivými částmi těla. Tyto úhly jsou měřeny nejčastěji potenciometry, které předají naměřená data do počítače. V současnosti je k přenosu naměřených dat využíváno bezdrátové technologie. Jelikož počítač nemusí provádět zvlášť obtížné výpočty, v reálném čase jsou tedy známy pozice a rotace jednotlivých končetin a následně tak postoj celého těla. Systém však nemá orientaci v prostoru, nedokáže tak rozlišit určité pohyby jako je např. skákání a musí být kalibrován [22]. Často je proto doplňován systémem jiného typu jako je např. inerční systém



Obr. 23 Zařízení na těle uživatele převzato z [19].



Obr. 24 Zařízení mechanického systému pro snímání pohybu- Gypsy 7 převzato z [20].

Výhody:

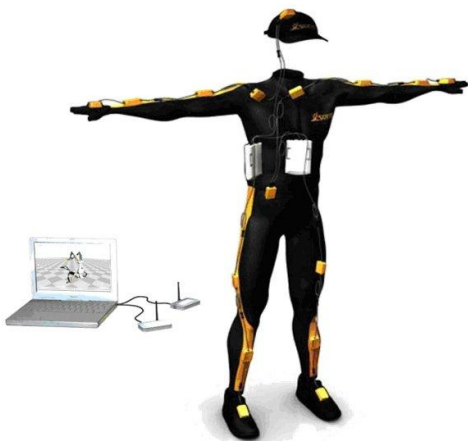
- přesnost
- bez vlivů okolního prostředí
- zpracování dat v reálném čase
- téměř neomezený prostor - bezdrátový přenos
- jednoduchost
- relativně nízká cena

Nevýhody:

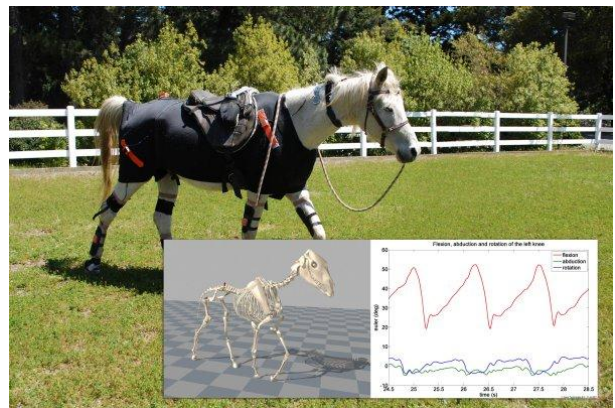
- orientace v prostoru
- nutnost časté kalibrace - není-li použita jako doplněk jiná technologie
- značné omezení pohybu uživatele - použití u zvířat vyloučené
- pouze pro pohyb člověka – nelze snímat např. předměty, které člověk bere do ruky

3.5 Inerční systém

Inerční systém patří k nejjednodušším systémům MoCap a často bývá užíván v kombinaci s jiným systémem. Ke snímání polohy je zde využito dvou typů snímačů. Jedním je gyroskop, který registruje změnu úhlové rychlosti a zjišťuje tedy rotaci měřeného objektu. Tím druhým je akcelerometr, který registruje změnu pohybové rychlosti a následně tak zjišťuje polohu objektu. Pro výpočet trojrozměrné polohy je zapotřebí tří akcelerometrů a tří gyroskopů. To vše je v podobě malých čipů připevněno na snímáný objekt a získaná data převáděny do počítače, kde dochází k jejich následnému zpracování [17].



Obr. 25 Inerční systém (oblek + snímače, přenos dat do počítače) převzato z [21].



Obr. 26 Světově první 3D inerční MoCap koně v pohybu (společnosti XSENS) převzato z [22].

Výhody:

- téměř neomezený prostor - bezdrátový přenos
- není potřeba dalšího zařízení - pouze snímače, PC, popř. oblek
- bez vlivů okolního prostředí
- rychlost- vysoké obnovovací frekvence (tisíce dat/s)
- vhodné použití u zvířat
- kombinace s jinými technologiemi
- nízká cena

Nevýhody:

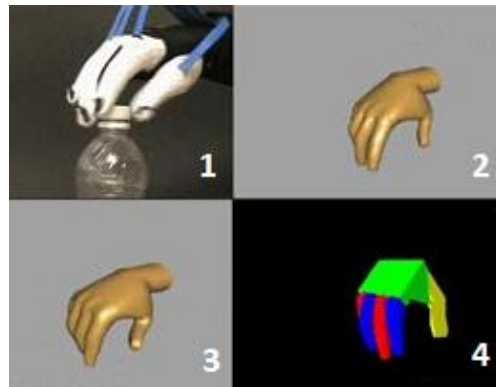
- nižší přesnost - pro pomalé změny pozice
- akumulace chyb měření - lineární zvýšení odchylky měřených dat od skutečných s dobou měření

3.6 Optoelektrický systém

Principu optoelektrického systému lze využít v případech, kdy je použití např. optického nebo magnetického systému nemožné. Takové případy mohou nastat při snímání pohybů prstů ruky. Jelikož jsou prsty a jejich pohyby pro magnetické snímače příliš malé a optické značky by mohly v pohybu značně překážet nebo by mohlo docházet k jejich zakrytí a kamery by tudíž pohyb nemohly vůbec zaznamenat či korektně vyhodnotit. Optoelektrický systém avšak neměří pohyb nebo rotaci přímo. K vyhodnocení pohybu dochází pomocí optického vlákna, které je při pohybu deformováno a mění tak svou světelnost [23]. V praxi lze najít použití tohoto systému v podobě datové rukavice právě pro popisovaný případ a to snímání pohybu prstů. Tuto technologii lze však také využít ke snímání pohybu celého těla. Optických vláken využívá např. technologie ShapeHand a ShapeWrap od společnosti Measurand [24].



Obr. 27 Rukavice technologie ShapeHand převzato z [23].



Obr. 28 Vytvoření modelu (1 snímání pohybu, 2 hrubá data 3D modelu, 3 upravený 3D model, 4 hrubá data jednoduchého 3D modelu) převzato z [24].



Obr. 29 Technologie pro snímání pohybu těla ShapeWrap převzato z [25].



Obr. 30 Fáze převedení snímaného pohybu do 3D modelu převzato z [26].

Výhody:

- přesnost
- lze využít i pro snímání pohybu celého těla
- jednoduchost
- bezdrátový přenos

Nevýhody:

- částečné omezení pohybu
- pro snímání pohybu celého těla existují dokonalejší systémy

4 Zabezpečení osob a majetku

Tento obor získal označení EZS neboli elektronický zabezpečovací systém či elektronická zabezpečovací signalizace. Systém lze dělit podle mnoha aspektů např. dle činnosti, trhu, legislativy, stupně zabezpečení atd., avšak popisovat je všechny by bylo neúčelné. Popsáno zde bude pouze část dělení za účelem úvodu do EZS.

V první řadě má systém za úkol chránit zdraví či život osob a v řadě druhé střežit jejich majetek.

Důvody použití EZS mohou být následující:

- informační - narušení střež. prostoru, únik plynu, zdravot. potíže, přepadení atd.
- preventivní - odradit narušitele, znesnadnit vnik
- monitorovací - systémy průmyslové televize

Základem celého systému je ústředna, která se dá nazvat mozkiem celého systému. Ústředna má několik typů (smyčkové, s přímou adresací, hybridní ...).

Jejich základními funkcemi jsou:

- příjem a vyhodnocení výstupních signálů snímačů
- napájení snímačů (u napájených) a dalších prvků
- ovládání signalizačních, přenosových či dalších zařízení systému
- diagnostika systému
- uvedení systému do stavu střežení nebo klidu

Mezi další prvky systému EZS patří:

- snímače (PIR, AIR, US, MW, speciální ...)
 - drátová, bezdrátová
 - pro vnitřní prostory
 - pro venkovní prostory
 - aktivní - působí na své okolí, registrují změnu takto vytvořeného prostředí
 - pasivní - nepůsobí na prostředí, pouze registrují změnu prostředí
- tísňové hlásiče (veřejné, osobní, speciální, automatické...)
- signalizační zařízení (maják, siréna ...)
- přenosová zařízení (drát., bezdrát. ...)

- další prvky (magnetické kontakty, poplachové fólie...)

Ochranu systému proti neoprávněnému zásahu či sabotáži je možno zajistit několika způsoby. Jedním z nejjednodušších je ochrana pomocí tzv. tamperu. Tamper je kontakt v krytu snímače, v krabici ústředny a v montážní krabici a po uzavření je sepnut. V okamžiku neoprávněného otevření se kontakt rozpojí. To vede k detekci neoprávněné manipulace i v případě, kdy je systém v klidovém režimu. Mezi nejznámější výrobce a dodavatele zabezpečovacího zařízení v ČR patří firma Jablotron.



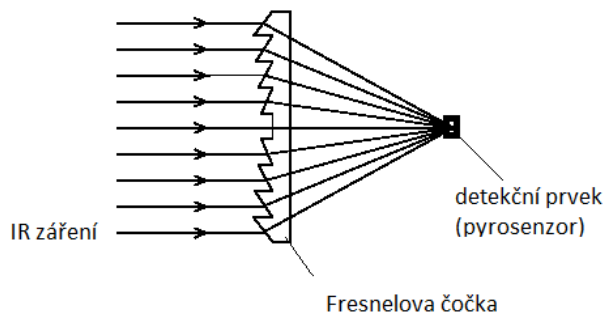
Obr. 31 prvky EZS systému firmy Jablotron převzato z [27]

4.1 Pasivní infračervené snímače (PIR)

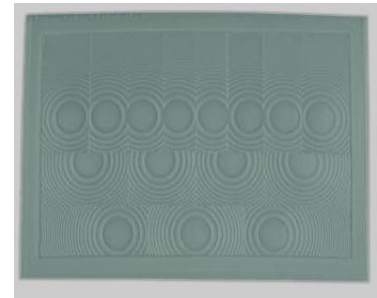
Princip tohoto snímače patřícího mezi nejpoužívanější je založen na snímání a detekci změn záření v infračerveném pásmu kmitočtového spektra elektromagnetického vlnění. Zdrojem tohoto záření je každé těleso, jehož teplota je vyšší než absolutní nula ($T = -273,15$ °C) a nižší než 560 °C. S vyššími teplotami se spektrum posouvá ke kratším vlnovým délkám do oblasti viditelného spektra. To se projevuje změnou vnímání takového vlnění z tepla na světlo. Teplota lidského těla (35°C) má charakteristickou vlnovou délku 9,4 μm , čehož se využívá k detekci pohybu člověka ve snímaném okolí.

Jako detektor je zde použit materiál, ve kterém dochází k pyroelektrickému jevu. Detekční prvek je citlivý na změnu dopadajícího záření, nedokáže detekovat stálou úroveň

záření. Na plochu detektoru je obraz snímaného prostoru převeden optickým prvkem, který má podobu Fresnelovy čočky [25].

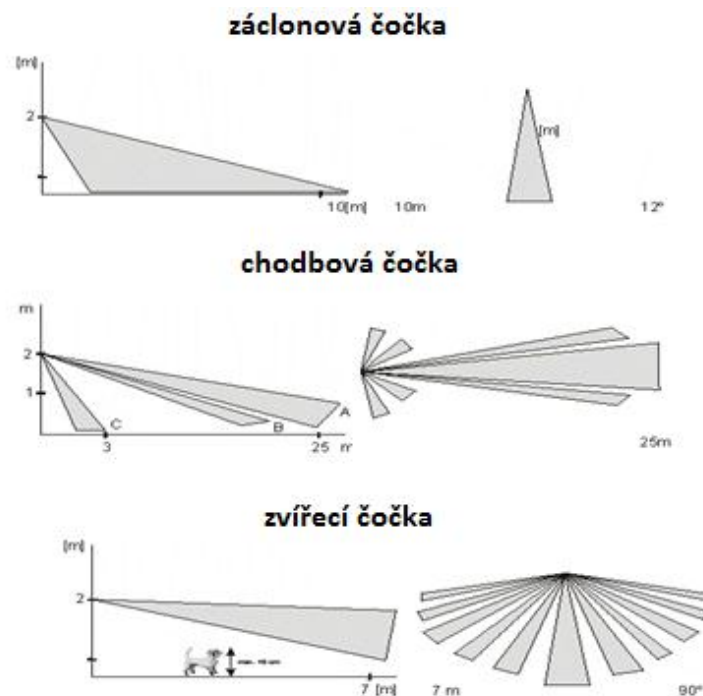


Obr. 32 Fresnelova čočka převzato z [28].



Obr. 33 Typ Fresnelovy čočky převzato z [29].

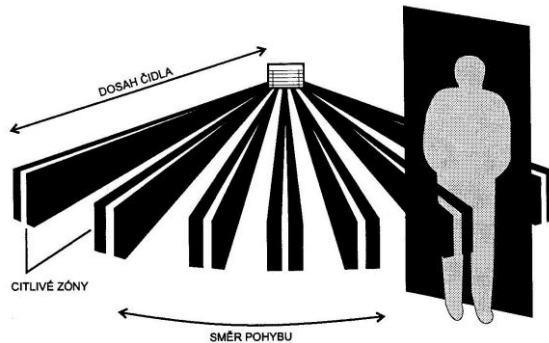
V současné době lze díky úpravám těchto optických prvků či novým funkcím snímače přizpůsobit více svým potřebám, dosáhnout lepších vlastností pro zvolenou oblast a minimalizovat tak výskyt falešných poplachů. Typů čoček existuje velká řada, záleží tedy na konkrétním systému.



Obr. 34 Různé typy čoček převzato z [30].

K detekci změny snímaného okolí a tudíž k detekci pohybu dochází následovně. Zorné pole snímače je rozděleno na aktivní a neaktivní zóny, pohybuje-li se těleso s odlišnou teplotou od teploty okolí v zorném poli snímače, snímač zachycuje změny při přechodu tělesa

z aktivní do neaktivní zóny a naopak. Takovýto pohyb mezi těmito zónami je elektronikou vyhodnocen a dojde tak k detekci pohybu a následné signalizaci poplachu či další akci [25].



Obr. 35 Princip detekce pohybu PIR snímačem převzato z [31].



Obr. 36 PIR snímač převzato z [32].

Obecné výhody a nevýhody těchto i ostatních snímačů pohybu plynou z jejich principu a ze zásad instalace, které je nutné pro správnou činnost snímače dodržovat. Tyto zásady bývají popsány v dokumentaci od výrobce či dodavatele. Pro zjištění bližších specifikací je třeba analýza konkrétního snímače. Trendem moderních snímačů je co možná největší eliminace falešných poplachů a přesun k bezdrátové technice. To usnadňuje instalaci, avšak zvyšuje pořizovací cenu.

Výhody:

- velký dosah
- nastavitelná snímací charakteristika (nastavením či použitím určitého optického prvku)
- stropní snímač = pokrytí prostoru v rozsahu 360°
- odolnost proti snímání pohybu zvířat
- nízká cena
- nehrozí vzájemné ovlivňování dvou čidel v jednom prostoru
- možnost nastavení citlivosti
- snadná instalace, údržba

Nevýhody:

- možnost vzniku falešných poplachů (lze minimalizovat či eliminovat)
- ovlivnění funkce snímače objekty vyzařující IR záření (topení, podlahové vytápění atd.)
či prouděním vzduchu
- nehodí se do všech prostor

4.2 Aktivní infračervené snímače (AIR)

Jelikož se jedná o aktivní snímač, obsahuje oproti PIR ještě navíc vysílač. AIR využívá opět optického prvku pro přenos vlnění na snímací prvek. Vysílač vysílá do prostoru elektromagnetické vlnění v infračerveném pásmu, které se odráží od překážek zpět do přijímače. Aktivní snímače dokáží detekovat i pohyb tělesa nevyzařující IR záření [26]. Elektronika na základě pohybu narušitele v prostoru vyhodnotí, zda došlo ke změně tohoto signálu oproti signálu původnímu, uloženému v paměti. Výstupní informace čidla je poté předána do ústředny.

Výhody:

- velký dosah (vhodné pro rozsáhlé venkovní prostory)

Nevýhody:

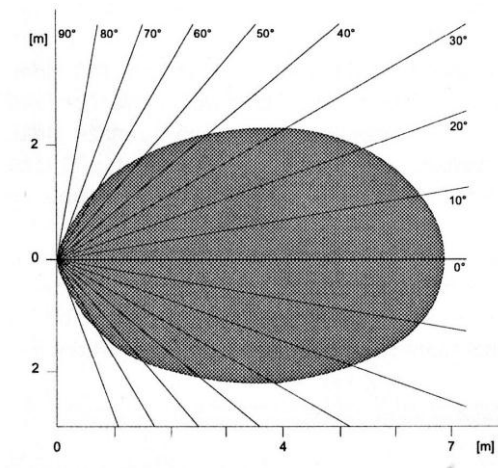
- možnost vzniku falešných poplachů (lze minimalizovat či eliminovat)
- ovlivnění funkce snímače vlivy jako je pára, mlha atd.
- nutnost kalibrace či častější údržby (venkovní prostory)

4.3 Ultrazvukové snímače (US)

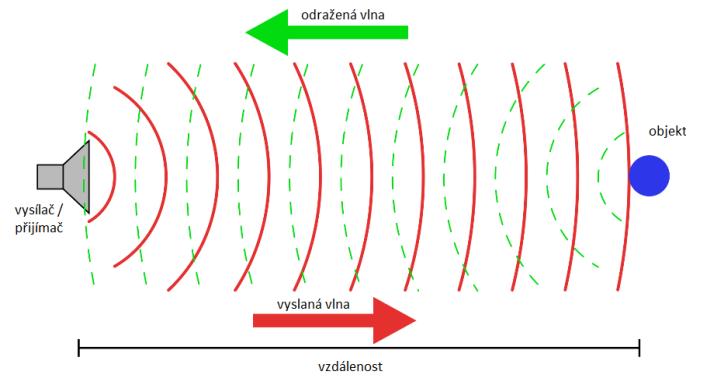
Tyto snímače využívají k detekci pohybu ultrazvuku. Přesněji jde o vlnění nad kmitočtem slyšitelným lidským uchem (16 Hz – 20 kHz).

Snímač se skládá z vysílače, který vysílá do okolí vlnění o konstantním kmitočtu a přijímače, který přijímá vlnění odražené od překážek ve snímaném prostoru. Je tedy zřejmé, že se jedná o snímač aktivní. Pohybuje-li se v tomto prostoru libovolné těleso, není již přijatá vlna ve stejném vztahu k vlně vyslané, dochází ke změně fáze těchto signálů. Změna fáze je elektronikou vyhodnocena, což vede k signalizaci či další akci. V tomto případě se v podstatě

jedná o využití Dopplerova jevu [25].



Obr. 37 Typická charakteristika US snímače ve volném prostředí převzato z [31].



Obr. 38 Princip US snímače převzato z [33].

Výhody:

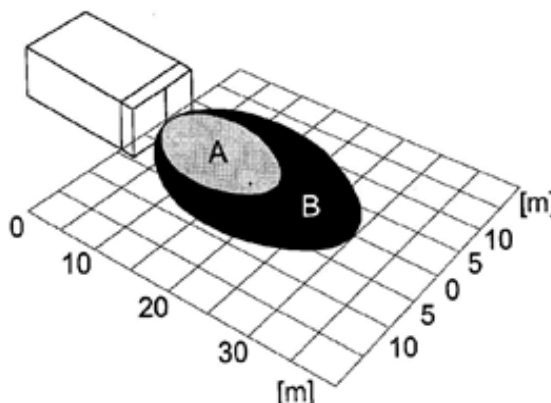
- spolehlivé snímání pohybu - při dodržení zásad instalace a precizním nastavení
- po synchronizaci lze použít více snímačů v jednom prostoru bez vzájemného ovlivňování

Nevýhody:

- mnoho kritérií pro vznik falešných poplachů (tepl vzdušné topení, pohyb zvířat, zdroje se širokým kmitočtovým spektrem, volně zavěšená tělesa v prostoru)
- možnost působení na sluch zvířat
- nutnost uzavřeného střeženého prostoru (dosah snímače by přesahoval mimo tento prostor)
- citlivost snímače závislá na absorpci vlnění objekty či rozestavení objektů ve střeženém prostoru
- nehodí se pro prostory s často se měnícími interiéry (sklady apod.)
- nutnost pravidelné údržby (kontrola změn akustických vlastností prostoru)

4.4 Mikrovlnné snímače (MW)

Tyto snímače vycházejí ze stejného fyzikálního principu jako snímače ultrazvukové. Nejedná se zde však o vlnění v pásmu ultrazvuku, ale jak již lze odvodit z názvu snímače pracují v kmitočtovém pásmu, vlnění elektromagnetického a to nejčastěji v pásmech 2,5 GHz, 10 GHz, 24 GHz. Princip detekce pohybu je tedy shodný s US snímači. Tyto snímače však mají rozdílné vlastnosti v oblasti praktického použití a závisí tak na konkrétních potřebách a požadavcích.



Obr. 39 typická charakteristika MW snímače ve volném prostředí (A, B varianty s nižším a vyšším dosahem) převzato z [31].

Výhody:

- odlišné frekvence vysílačů umožní použití více snímačů v jednom prostoru
- spolehlivé snímání pohybu - při dodržení zásad instalace a správného nastavení

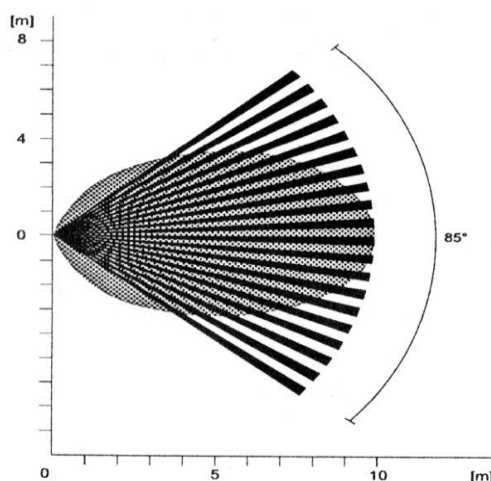
Nevýhody:

- mikrovlny mohou proniknout skleněnými plochami, tenkými stěnami např. ze dřeva, papíru, plastu - vede k nežádoucí aktivaci snímače (projíždějící auta, výtahy, pohyb vody v plastových trubkách)
- výrazná změna detekční charakteristiky odrazem vln od velkých kovových objektů

4.5 Duální snímače

Duální snímače, známé také pod názvem kombinované, kombinují dvě rozdílné technologie v jednom zařízení. Vznik těchto snímačů vychází ze znalosti fyzikálních principů jednotlivých snímačů a nabízí se tak kombinace snímačů PIR + US a PIR + MW (nebo další např. PIR + GBS (Glass Break - snímač tříštění skla)).

K nasazování této technologie dochází nejčastěji v prostorách s velmi obtížnými podmínkami, kde by různými negativními vlivy mohlo docházet ke generaci falešných poplachů. Korektní poplach je tedy generován až při splnění podmínek pro vyhlášení poplachu od obou čidel. Vznik falešných poplachů u těchto snímačů není vyloučen, avšak pravděpodobnost současného vzniku jevů, které by falešný poplach vyvolaly je zanedbatelná.



Obr. 40 typická charakteristika duál. snímače (PIR + US) převzato z [31].

Výhody:

- minimalizace falešných poplachů
- použití v prostorech, kde by jednosystémové snímače nebylo možné použít

Nevýhody:

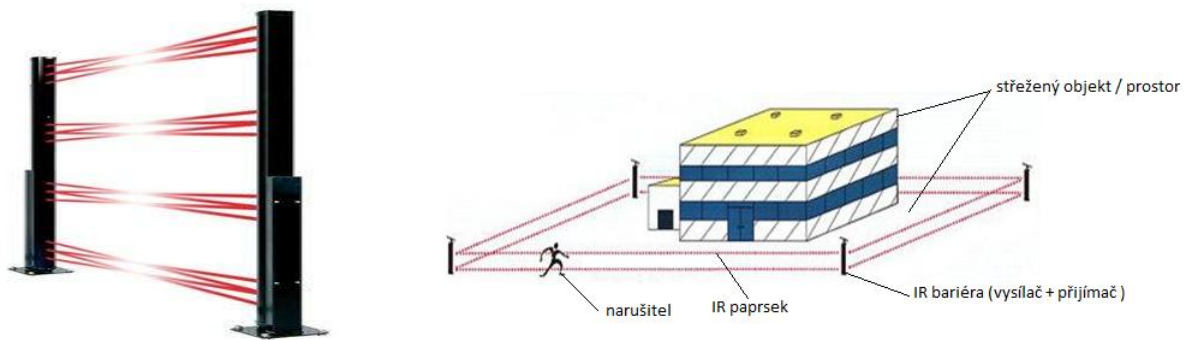
- práh detekce pohybu je oproti jednosystémovým snímačům posunut výše
- je třeba dbát na zásady instalace použitých jednotlivých snímačů

4.6 Další snímače

V této kapitole budou popsány další typy snímačů, které jsou určeny primárně k ochraně venkovní či obvodové (perimetrické). Některé však lze použít i do vnitřních prostor. Jejich charakteristickou vlastností je vyšší dosah a vyšší odolnost proti nepříznivým vlivům.

4.6.1 Infračervené závory a bariéry

Princip: Vyhodnocení přerušení infračerveného paprsku probíhajícího nejčastěji v pulsním režimu mezi vysílací a přijímací částí. Pulsního režimu je zde využito pro zvýšení odolnosti proti cizím zdrojům světla [25]. Výhodou je nižší cena oproti MW bariérám a míra spolehlivosti. Nevýhodou je náročnější instalace a potřeba rovného terénu mezi vysílačem a přijímačem.



Obr. 41 IR závory a jejich použití převzato z [34], [35].

4.6.2 Mikrovlnné bariéry

Princip spočívá ve vytvoření elektromagnetického pole mezi vysílačem a přijímačem. Vnik osoby do tohoto prostředí způsobí změnu tohoto pole, která je vyhodnocena přijímačem a dochází k detekci pohybu [25]. Výhodou je spolehlivé zajištění střeženého prostoru a dosah. Nevýhodou je relativně vysoká cena.



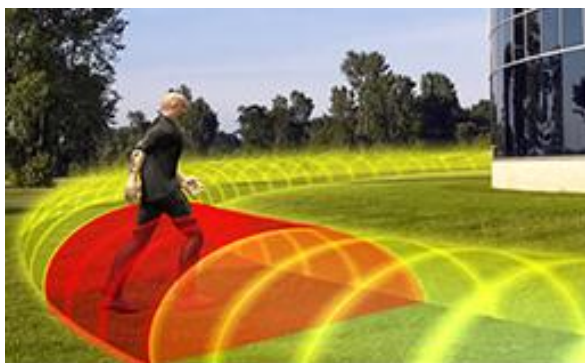
Obr. 42 MW bariéry a jejich použití převzato z [36].

Stejně jako v předchozím případě lze zde využít kombinaci obou technologií, získáme tak bariéry duální.

Jak již bylo zmíněno, výše uvedené snímače pohybu lze také doplnit kamerovým systémem, kde kamerový systém slouží pouze pro záznam a detekce pohybu je zde realizována snímači. Detekce pohybu kamerovým systémem bude popsána v kap. 4.7.

4.6.3 Štěrbinové kabely

Principem je uložení páru štěrbinových detekčních kabelů (koaxiální kabely v definovaném odstupu) do země. První kabel vytváří a vyzařuje elektromagnetické pole, druhý kabel toto pole snímá a vyhodnocuje jeho případné změny, ke kterým dochází vnikem osoby do střeženého prostoru [25]. Nevýhodou může být zásah do prostředí a náročnější instalace. Výhodou je možnost kopírování terénu.



Obr. 43 Detekce pohybu pomocí štěrbinových kabelů převzato z [37].

4.7 CCTV - Videodetekce

Tato metoda a technika s ní spjatá spadá do oblasti se souhrnným označením CCTV. Anglická zkratka CCTV je známa jako uzavřené televizní okruhy nebo jako systémy průmyslové televize.

V současné době patří CCTV mezi rychle se rozvíjející oblast a tvoří tak důležitou část ochrany života, zdraví či majetku. Bezpečnostní kamery se tak stále častěji stávají součástí elektronického zabezpečovacího systému, díky tomu se tak bezpečnostní systém stává jednodušší a efektivnější. Další výhodou jsou stále klesající ceny kamer a vybavení. To však nic nemění na tom, že pro určitou skupinu subjektů je tento systém stále nedostupný.

Součástí systému CCTV:

- kamery (analogové, digitální, černobílé, barevné, bezdrátové, otočné, speciální...)
- příslušenství kamer (objektivy, kryty, polohovací hlavice, mikrofony...)
- prostředky pro přenos videosignálu (vedení, zařízení bezdrátové technologie...)
- zařízení pro zpracování videosignálu (monitory, kamerové přepínače, videodetektor...)
- zařízení pro záznam obrazu (DVR, NVR, HDD ...)
- software [25]

V ohledu snímání obrazu, jeho přenosu a záznamu lze CCTV dělit na:

- analogový systém
- digitální systém
- hybridní systém - integrace předchozích případů [27]



Obr. 44 Základní architektura jednoduchého kamerového systému (hybridní systém) převzato z [38].

Při volbě typu systému musí být zohledněny požadavky uživatele, provozní prostředí, způsob instalace a mnohé další důležité aspekty.

4.7.1 Principy videodetekce

Nejčastěji se okamžitě po detekci pohybu ve střežené zóně spustí řada nadefinovaných akcí. Mezi nejzákladnější patří např. záznam kamery, přepnutí dění aktivní kamery na monitor, dojde také k vyhlášení poplachu a předání informace o narušení na příslušné místo. Výhodou je, že systém v případě detekce pohybu, stejně jako u EZS, nabízí vysokou

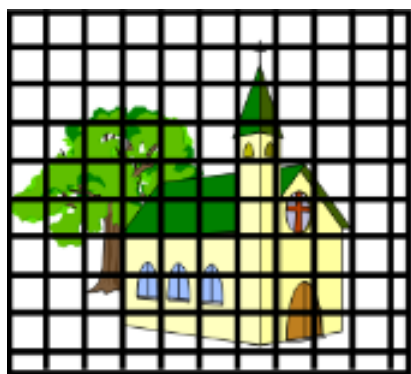
variabilitu interakcí, jakými může být např. řada preventivních opatření (rozsvícení světla, zvuková indikace atd.). Tato opatření mohou vést k zastrašení narušitele, k případnému zabránění vniknutí do objektu, poškození či odcizení majetku.

Systém také velkou měrou přispívá k dopadení pachatele v co nejkratší možné době. Vše záleží tedy na vlastnostech daného systému a na nastavení závislém na požadavcích uživatele. Metod pro řešení této problematiky existuje více. Zde jsou popsány základní myšlenky, od kterých se odvozuje i většina dnešních algoritmů.

4.8 Videodetekce na základě analýzy snímaného obrazu

4.8.1 Detekce pohybu na základě změny jasu buněk

K detekci pohybu ve střežené zóně dochází na základě náhlé změny jasových hodnot v nadefinované části obrazu. Obraz z kamery je v digitální podobě uložen, zbaven šumu a rozdělen na buňky (pixely). Pomocí softwarových algoritmů dochází ke sledování a vyhodnocování jasových změn těchto buněk aktuálního snímku oproti referenčnímu obrázku. Zaregistrování změny v nadefinovaných buňkách vede ke zvolené interakci [28].



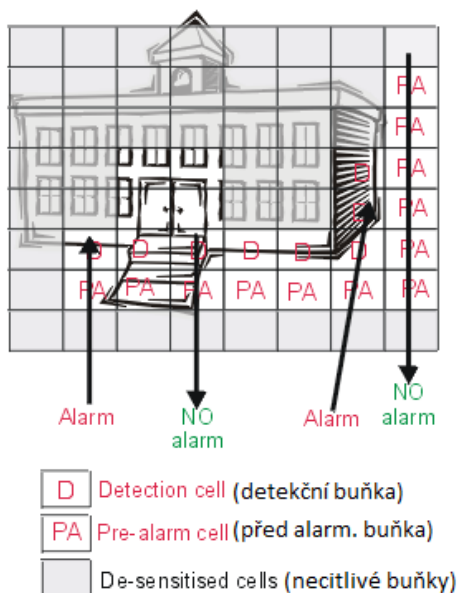
Obr. 45 Rozdělení obrazu na buňky [39].



Obr. 46 Definice části obrazu (střežené zóny) [39].

V počátcích této technologie mohlo docházet k chybnému vyhodnocování či nezaregistrování změny v buňkách. To ztěžovalo nasazování této metody v prostorách s proměnnými podmínkami, jako je změna světla v závislosti na denní době. V současnosti již pro tento problém díky zdokonalení systému a vyhodnocovacích algoritmů je řešení např. v podobě častější časové aktualizace snímané scény či zdokonalených výpočetních metod [29].

Mezi další zdokonalení, které může vést k redukci falešných poplachů a usnadnit dohled, patří algoritmus, který obsahuje tzv. inteligentní buňky. Vychází se zde z předpokládaného směru pohybu osob. Systém obsahuje dvě identifikační buňky tzv. před alarmovou a detekční. Alarm je vyhlášen tehdy, projde-li osoba nejprve před alarmovou buňkou a poté hned detekční buňkou. Pohyb v opačném směru alarm nevygeneruje. Tímto způsobem lze například sledovat pouze pohyb osob vcházejících do budovy [28].



Obr. 47 Inteligentní buňky - princip převzato z [39].

4.8.2 Detekce pohybu na základě rozdílu obrazů

Do detektoru přichází aktuální snímek, který je porovnáván s referenčním. Pohyb je vyhodnocen jako rozdíl pixelů těchto snímků. V aktuálním obraze jsou uloženy informace o objektech v popředí, v referenčním obraze informace o pozadí. V nejsložitějším případě zde může docházet k porovnávání všech pixelů u obou snímků. To vede ke zvýšení nároků na výpočetní výkon. Často se tak pro zjednodušení a zrychlení výpočtu volí převedení barevného obrazu do odstínu šedi či použití dalších filtrů, aniž bychom ztratili informaci o snímaném prostoru. Výpočtovým algoritmem dochází k vyhodnocení rozdílu [29]. Princip této metody je patrný z obrázků 48 až 53 na následující stránce. Výhodou je velká spolehlivost systému, kdy při kvalitním hardwaru a správném nastavení je vznik falešných poplachů téměř vyloučen. Další výhodou je, že lze systém použít pro velkou střeženou oblast, což také umožňuje instalovat kamery dál od střežené zóny, kde by hrozilo její poškození či zničení.

Všechny funkce či vlastnosti se samozřejmě odvíjí od typu a ceny systému.



Obr. 48 Referenční snímek převzato z [40].



Obr. 49 Aktuální snímek převzato z [40].



Obr. 50 Snímek převeden do stupně šedi převzato z [40].



Obr. 51 Rozdíl snímků převzato z [40].



Obr. 52 Použití dalších filtrů (filtr Threshold) převzato z [40].



Obr. 53 Použití dalších filtrů (filtr Erosion) převzato z [40].

5 Satelitní sledování pohybu / polohy (GPS)

Tento pojem drtivá většina lidí zná, setkává se s ním nebo ho používá, aniž by si vlastně uvědomovala, co znamená nebo jak funguje. Podívejme se tedy na GPS blíže. Zkratka GPS znamená Globální polohový systém (z angl. Global Positioning System) a v případě civilního využití je určen právě pro sledování pohybu / polohy objektů pomocí družic. Vývoj systému a jeho další testování, jehož původní název je NAVSTAR GPS, započal v roce 1973 Ministerstvem obrany Spojených států amerických primárně pro armádní účely. Od roku 1978-1985 začalo vypouštění 11 družic. Avšak úplné začátky má družicová lokalizace o několik let dříve. Americká armáda systém provozovala s několika opatřeními pro omezení jeho zneužití. Jedním z těchto opatření bylo např. SA, které záměrně způsobovalo chybu v přesnosti při určování polohy. Toto opatření mělo zabránit např. možnosti navádět balistické rakety. Postupem času se systém vyvíjel, byl zdokonalován a s globálním rozvojem bezdrátových sítí a dalších technologií bylo zřejmé, že systém GPS bude mít revoluční využití i v civilní oblasti. Kongres Spojených států schválil zrušení opatření SA a 2.května 2000 bylo toto opatření definitivně zrušeno, což mělo příznivý dopad na přesnost určení polohy, která se zvýšila až desetinásobně. Použitím dalších metod lze získat přesnost v jednotkách centimetrů, v případě civilního použití v jednotkách metrů.

Celý GPS systém lze rozčlenit do tří segmentů:

- kosmický
- řídicí a kontrolní
- uživatelský

Kosmický segment

Základem tohoto segmentu je dnes již 32 družic. Družice obíhají přibližně ve výšce 20 200 km nad povrchem Země na 6. oběžných dráhách se sklonem 55° a se sklonem dráhy 60° . Družice se na střední oběžné dráze pohybují přibližně rychlostí 3,8 m/s s dobou oběhu kolem Země 11 hodin 58 minut. V České republice je nejčastější viditelnost 8 družic, minimum je 6 družic. Každá družice je vybavena přijímačem, vysílačem, ale také řadou speciálních obvodů. Důležitou součástí všech družic jsou velmi přesné atomové hodiny, které se starají o dlouhodobou frekvenční stabilitu vysílaného signálu. Družice vysílá na 5. kmitočtech, které jsou označovány L1 – L5. Pásmo L1 (1575,42 MHz) je určeno k civilním účelům a je nejpoužívanější, L2 (1227,62 MHz) slouží k vojenskému využití, L3

(1381,05 MHz) detekce startů balistických raket, jaderných výbuchů a zdrojů infračerveného záření, L4 (1841,40 MHz) eliminace ionosferické refrakce, L5 (1176,45 MHz) oblast letecké navigace. Samotný princip určování polohy systémem GPS je tedy následující. Družice vysílá signály v podobě složitěho kódu. Každá družice vysílá zprávy o své poloze a přibližné polohy družic v systému. K určení polohy poté přijímač na Zemi počítá tzv. pseudovzdálenost přijímače od viditelných družic. K získání skutečné vzdálenosti je potřeba z pseudovzdálenosti opravit řadu chyb, které se projevují při výpočtech. Pro určení dvojrozměrné polohy (nejčasněji zeměpisná délka a šířka) postačí příjem signálu z min. 3. družic (výpočet tří pseudovzdáleností), pro určení trojrozměrné polohy (navíc výška) minimálně ze 4. družic. Příjem menšího počtu družic znemožňuje výpočet polohy, vyšší počet družic naopak určení polohy dále zpřesňuje.

Řídící a kontrolní segment

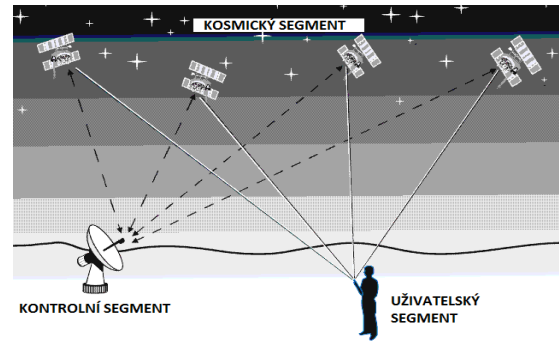
Řídící a kontrolní segment slouží k monitorování funkcí družic, získané údaje předává zpět družicím, provádí jejich manévry a údržbu atomových hodin. Nejdůležitější částí systému je velitelství Navstar Headquarters, které se nachází na letecké základně Los Angeles v Californii v USA. Tento segment obsahuje několik dalších částí : řídicí středisko neboli MSC, na letecké základně Schriever USAF v Colorado Springs, 3 povelové stanice, které jsou umístěny na základnách USAF: Kwajalein, Diego Garcia, Ascension Island případně i Cape Canaveral, 18 monitorovacích stanic, které jsou umístěny na základnách USAF: Havaj, Colorado Springs, Cape Canaveral, Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein a dále stanice spravující NGA: Fairbanks (Aljaška), Papeete (Tahiti), Washington DC (USA), Quito (Ekvádor), Buenos Aires (Argentina), Hermitage (Anglie), Pretoria (Jižní Afrika), Manama (Bahrain), Osan (Jižní Korea), Adelaide (Austrálie) a Wellington (Nový Zéland).

Uživatelský segment

Tato část celého systému GPS se skládá z přijímače, který přijímá signály z jednotlivých družic nacházejících se v daném okamžiku nad obzorem. Komunikace probíhá směrem od družice k přijímači, GPS přijímač je tedy pasivním prvkem komunikace. Z přijatých dat lze poté vypočítat přesnou polohu, rychlost, nadmořskou výšku, přesný datum a čas [30].



Obr. 54 Oběžné dráhy GPS družic převzato z [41].



Obr. 55 Segmenty GPS převzato z [41]

Využití:

- sledování polohy a pohybu (lokalizace objektů - lidé, zvířata, automobily...)
- vesmírné projekty (výzkum, kontrola a řízení satelitů, sledování pohybu planet...)
- vojenské účely (označování cílů, navádění raket)
- zemědělství (aplikace chemických a průmyslových hnojiv, sledování vlastností půdy)
- doprava (navigace, kontrola polohy)
- životní prostředí (informace o přírodních jevech)
- záchranný systém (lokalizace polohy nehod a zraněných)
- volný čas (sport, turistika...) a další

Výhody:

- používání služby není zpoplatněno
- zjištění polohy nezávislé na počasí, denní či noční době
- celkem velká přesnost - při vyšším počtu zachycených satelitů
- velká oblast využití

Nevýhody:

- nutná přímá viditelnost na oblohu
- nehodí se pro lokalizaci v budovách
- možné problémy s příjmem signálu - ve městech mezi vysokými budovami, v údolí atd.
- přesnost - odchylky při nižším počtu zachycených satelitů

5.1 Alternativa GPS

Americký systém GPS je v současnosti nejvyužívanějším a nejznámějším satelitním systémem na určování polohy, není však systémem jediným. Další používané či vyvíjené systémy jsou GLONASS (Rusko), BeiDou-1, vývoj BeiDou-2 (Čína), IRNSS (Indie), QZSS (Japonsko) a pro evropské státy je modernější a nezávislou alternativou GPS GNSS Galileo (Evropa) [31].

GNSS Galileo je projekt Evropské kosmické agentury (GSA), odstartoval již v roce 1999 a má být určen především pro civilní účely. První satelit GIOVE-A odstartoval r. 2005 a r. 2008 odstartoval druhý satelit s označením GIOVE-B. Tyto satelity slouží pouze pro testování navigačního systému a satelitů. Kompletní systém má obsahovat satelitů 30. První optimistické odhady spuštění systému byly na rok 2008. Předpoklady o přehnaném optimismu se však potvrdily a spuštění systému se dále posouvá na roky 2012, 2014 a 2017. Na konci roku 2010 rozhodla Evropská unie o přesunu administrativní části Evropské vesmírné agentury z Bruselu do Prahy. V současné době je plnohodnotné spuštění systému plánováno na rok 2019 a jeho náklady by měly odhadem dosahovat 5-6 miliard eur. Hlavními cíli tohoto projektu jsou zvýšení přesnosti či dostupnosti signálu, vyšší využití díky dodatkovým funkcím a nezávislost na americkém systému, i když spolupráce Galilea s GPS či GLONASS není vyloučena [32].

6 Ověření vlastností snímačů

Pro ověření vlastností jsou k dispozici dva miniaturní snímače, oba vyrobené společností Panasonic. První snímač s označením NaPiCa byl k dispozici na Katedře technologií a měření (FEL ZČU), druhý snímač NaPiOn přímo poskytla zmíněná společnost. Možnosti jejich aplikace a vlastnosti jsou popsány níže.

6.1 Snímač NaPiCa

Snímač NaPiCa je miniaturní vysoce citlivý snímač jasu od společnosti Panasonic. Tento snímač má zabudovaný optický filtr pro spektrální odezvu podobnou lidskému oku, fotoelektrický proud je úměrný intenzitě světla (lineární) a snímač je velice šetrný k životnímu prostředí. Typické aplikace pro jeho použití jsou např.:

- detekce jasu pro LCD displeje (LCD TV, navigace, notebooky, mobilní, telefony)
- automatické osvětlení (svítidla, pouliční osvětlení, jízdní kola)
- úspora el. energie (denní/noční režim) - klimatizace, ohřívače vody

Charakteristika:

výrobce: Panasonic Electric Works s.r.o.

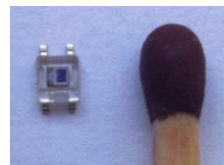
typ: SMD

označení: AMS104Y

rozměry (D x Š x V): 3,2 mm x 2 mm x 1mm

napájecí napětí (rozsah): 0,5 - 8 V (typické 5V)

provozní teplota: -30°C - +85°C



Obr. 56 Snímač jasu NaPiCa vlevo- převzato [43]. (vpravo detail - porovnání s hlavičkou sirky)

Použité měřicí přístroje a pomůcky:

Zdroj napětí: stabilizovaný zdroj 5V DIAMETRAL U105P50N

V-metr: UNI-T UT50A

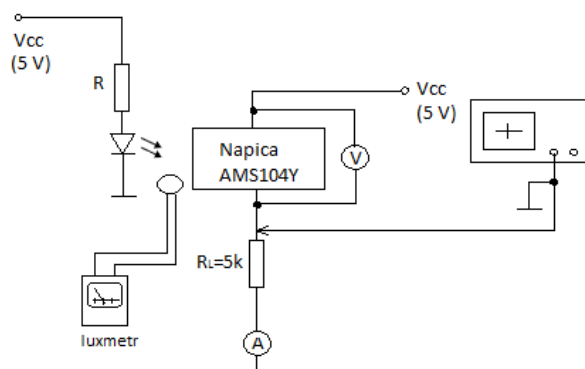
A- metr: VOLTCRAFT VC 220

Luxmetr - analogový

Osciloskop: WON PDS 5022S

Zdroj osvětlení: LED dioda (bílá), LED svítilna (bílá-stroboskopický režim 7000 K),
halogenová žárovka 50W (2500 K)

Schéma zapojení:



Obr. 57 Schéma zapojení - ověřování vlastností snímače Napica



Obr. 58 Foto - ověřování vlastností snímače Napica.

Naměřené hodnoty:

teplota prostředí $t = 25^{\circ}\text{C}$

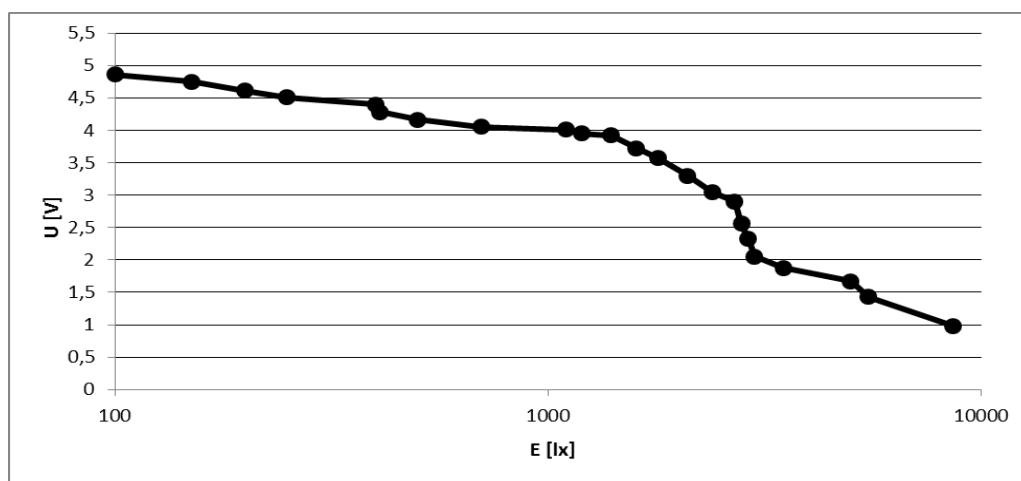
1) Měření závislosti napětí a proudu na intenzitě osvětlení snímače.

Tab. 2 Závislost napětí na intenzitě osvětlení.

E [lx]	0	100	150	200	250	400	410	500
U [V]	4,98	4,86	4,75	4,61	4,51	4,4	4,28	4,16

E [lx]	700	1100	1200	1400	1600	1800	2100	2400
U [V]	4,05	4,01	3,95	3,92	3,72	3,57	3,3	3,04

E [lx]	2700	2800	2900	3000	3500	5000	5500	8600
U [V]	2,9	2,56	2,32	2,05	1,88	1,67	1,43	0,98



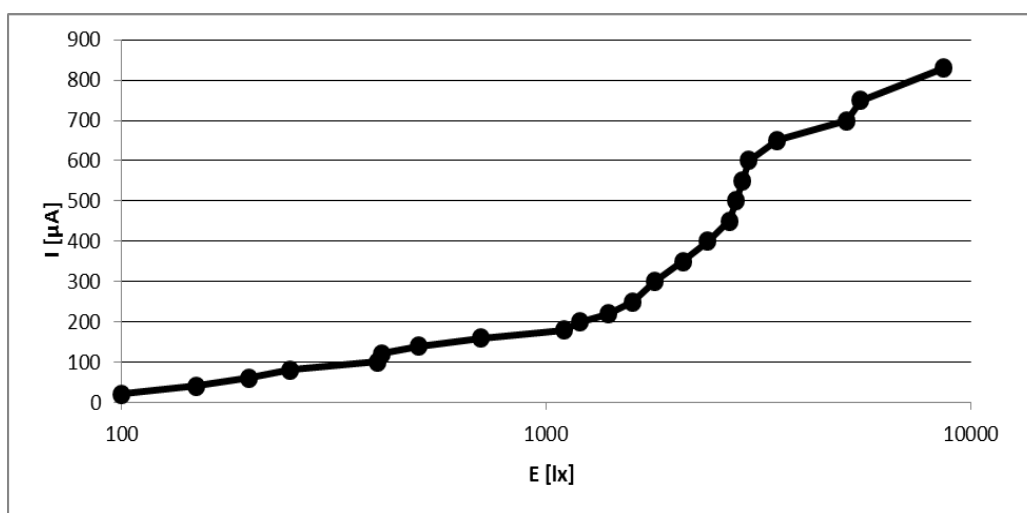
Obr. 59 Graf závislosti napětí na intenzitě osvětlení.

Tab. 3 Závislost proudu na intenzitě osvětlení.

E [lx]	0	100	150	200	250	400	410	500
I [μ A]	0,7	20	40	60	80	100	120	140

E [lx]	700	1100	1200	1400	1600	1800	2100	2400
I [μ A]	160	180	200	220	250	300	350	400

E [lx]	2700	2800	2900	3000	3500	5100	5500	8600
I [μ A]	450	500	550	600	650	700	750	830

**Obr. 60** Graf závislosti proudu na intenzitě osvětlení.

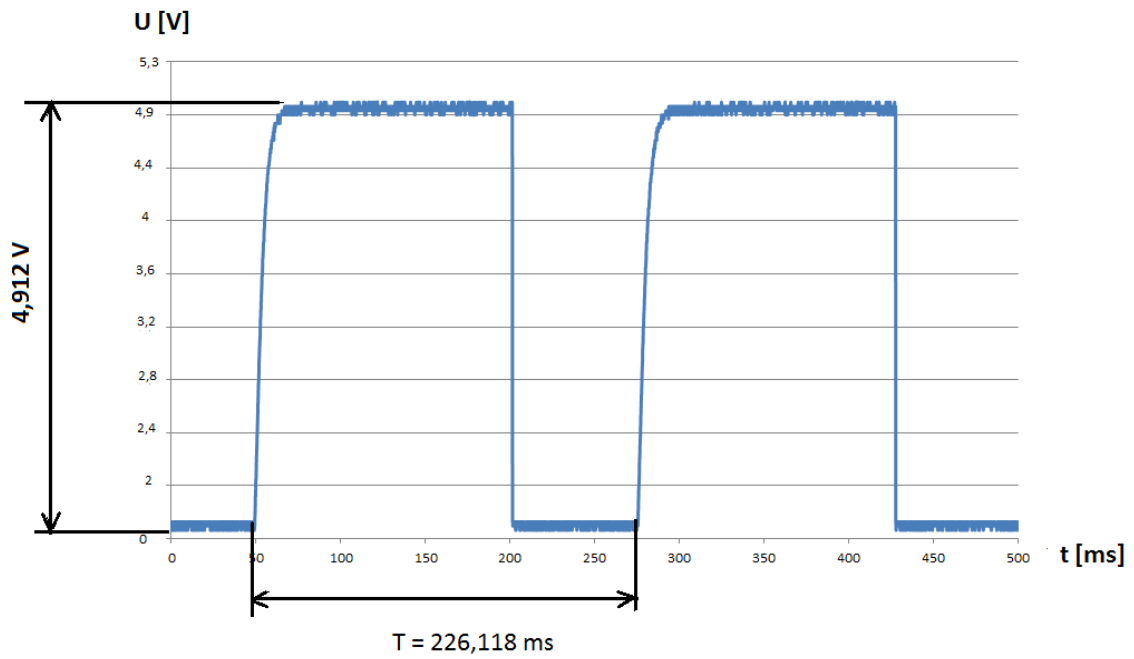
2) Měření doby reakce snímače na prudké změny osvětlení

Jako zdroj byla použita LED svítidla s bílou LED diodou se zapnutým stroboskopickým efektem. Bylo zjišťováno, zda snímač dokáže na tyto prudké změny osvětlení reagovat a měření čas reakce na osciloskopu.

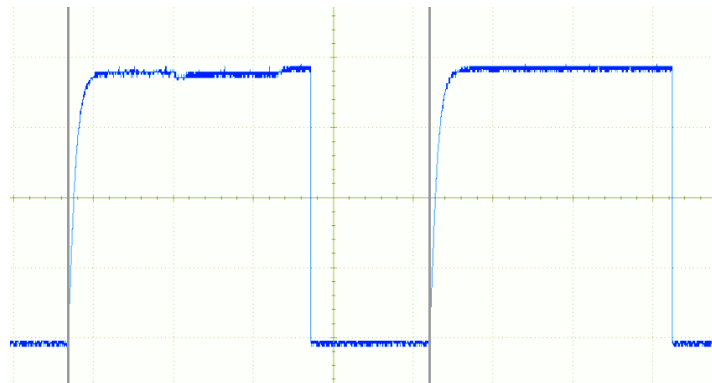
T signálu = 226, 118 ms

$U_{\text{š}} = 4,912$ V

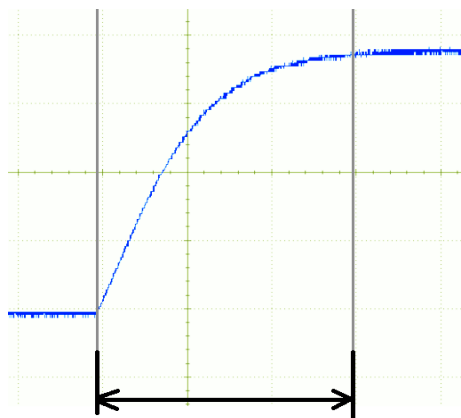
$t_{\text{rise}} = 15,091$ ms



Obr. 61 Graf závislosti napětí na čase - reakce snímače na skokovou změnu osvětlenosti.



a)



b)

Obr. 62 Signál na osciloskopu a) měření periody - T b) reakce na skokovou změnu osvětlenosti t_{rise} .

Závěr z testování:

Uvedené grafy jsou závislosti proudu a napětí na zvyšující se intenzitě světla. Podle popsaných vlastností a tabulkových hodnot je ideálně reakce, fotoelektrického proudu snímače na intenzitě světla, lineární. Pohledem na tyto grafy je patrná odchylka. Ta může být důsledkem ne zcela ideálních podmínek měření, či použitými přístroji.

Byla ověřena citlivost i na mírnou změnu jasu okolí snímače, avšak okem lze tuto vlastnost zjistit spíše při prudší změně světelných podmínek. Pro použití snímače v typických aplikacích je v praxi snímač připojen k mikroprocesoru a dalším obvodům. Velmi vhodné je použití např. pro zvýšení jasu displeje mobilního telefonu při působení slunečního světla nebo naopak rozsvícení jeho klávesnice při přechodu do tmy. Aby však tento snímač reagoval jako snímač pohybu, musel by se tento pohyb uskutečnit pouze několik cm od něj, což však ztrácí smysl, neboť pro účel snímání pohybu není vhodný a určený.

6.2 Snímač NaPiOn

Snímač NaPiOn je miniaturní vysoce citlivý snímač pohybu a je určen především pro detekci pohybu člověka. Jeho princip je založen na snímání a detekci změn záření v infračerveném pásmu (PIR snímač). Pro převedení snímaného obrazu na plochu snímače je zde využito Fresnelovy čočky. Snímač je navržen pro detekci i menších pohybů, což je zajištěno snímací částí skládající se ze čtyř pyroelektrických prvků v jednom pouzdře. To také přispívá k minimalizaci falešných poplachů.

Typické aplikace pro jeho použití jsou např.:

- automatické osvětlení, spínače (klimatizace, topení...)
- elektronický zabezpečovací systém

Charakteristika:

výrobce: Panasonic Electric Works s.r.o.

označení: AMN 31111

rozměry: V = 14 mm, Ø = 9,5 mm

napájecí napětí: 3 - 6 V (typické 5 V)

provozní teplota: -30°C - +60°C

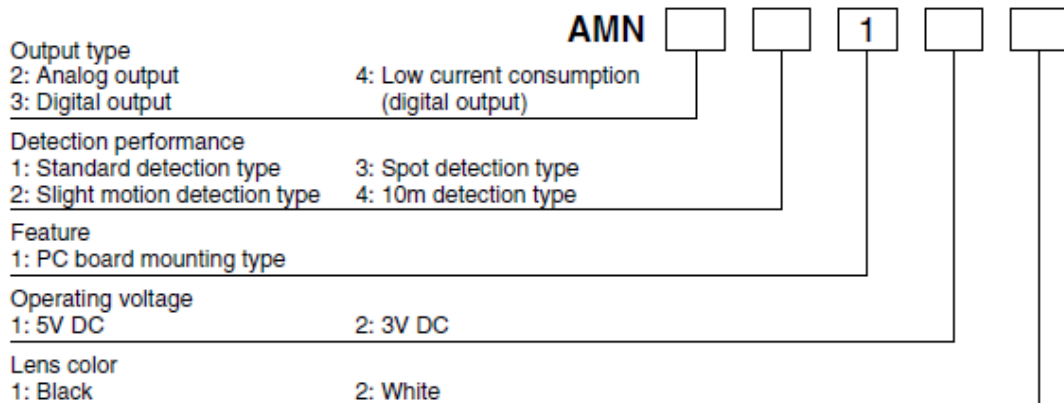
detekční vzdálenost: 5 m

stabilizační čas obvodu: 7 – 30 s



Obr. 63 Snímač pohybu Napion vlevo -převzato z [44]
(vpravo detail – porovnání s hlavičkou sirky).

Jelikož je snímač pohybu Napion vyráběn v mnoha provedeních pro přehled je zde uvedeno jejich označení a klíčové vlastnosti.



Obr. 64 Informace o příslušném typu snímače pohybu řady AMN převzato z [45].

Použité měřicí přístroje a pomůcky:

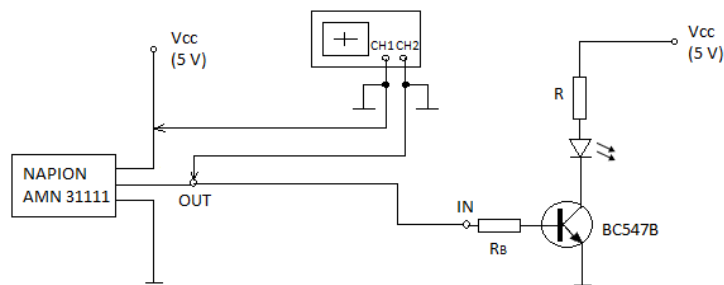
Zdroj napětí: stabilizovaný zdroj 5V DIAMETRAL U105P50N

Osciloskop: WON PDS 5022S

metr, úhloř, teploměr, fén

fotografický stativ Manfrotto 486

Schéma zapojení:



Obr. 65 Schéma zapojení - ověřování vlastností snímače Napion

6.2.1 Ověření detekčních vlastností

Detekční vlastnosti snímače jsou ověřovány následovně. Snímač je upevněn pomocí fotografického stativu do výšky 2 m a několika různými pohybovými zkouškami jsou ověřovány jeho detekční schopnosti např. detekční vzdálenost, odezva snímače na pohyb, reakce snímače na různé velikosti či rychlosti pohybu atd. Aby při pohybových zkouškách

bylo možné zjistit, zda snímač pohyb detekuje, byl snímač připojen k jednoduchému obvodu obsahující LED diodu sloužící právě k indikaci detekce pohybu snímačem. Všechny pohybové zkoušky jsou realizovány člověkem, v jedné z nich figuruje zvíře (pes). Výsledky jsou pro lepší interpretaci vždy doplněny obrázky.



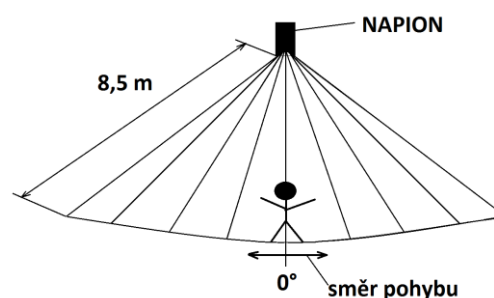
Obr. 66 Měření detekčních vlastností snímače pohybu NAPION

Maximální detekční vzdálenost:

Maximální detekční vzdálenost je maximální dosah snímače, při kterém je ještě schopen detekovat pohyb. Avšak tento pohyb musí být opravdu velký a snímač na něj vždy nemusí spolehlivě reagovat. Jedná se tedy spíše pouze o informativní údaj, který ani není uveden v dokumentaci snímače.

Výsledek:

max. dosah = 8,5 m



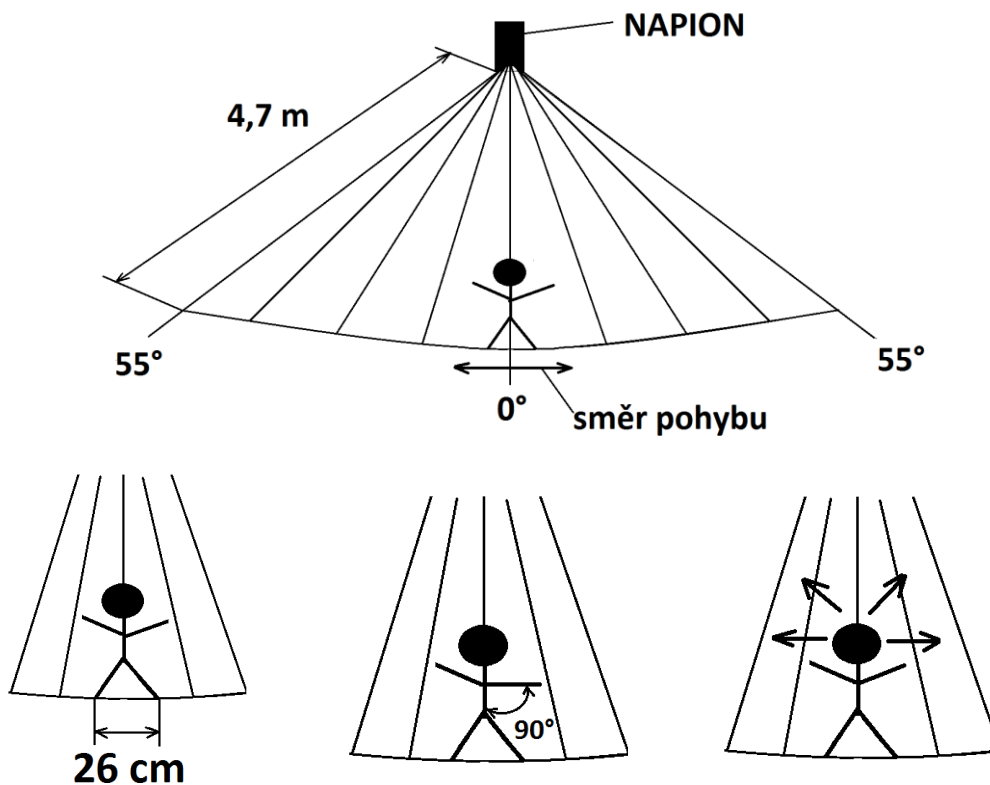
Obr. 67 Měření maximálního dosahu snímače

Optimální detekční vzdálenost:

Optimální detekční vzdálenost je dosah snímače, při kterém dojde ke spolehlivé detekci pohybu. Vzdálenost je nazvána optimální právě kvůli tomu, že v této vzdálenosti byla při pohybových zkouškách zjištěna spolehlivá reakce snímače na pohyby. Tyto pohyby nemusely být nijak velké. V této vzdálenosti probíhaly další pohybové zkoušky pro zjištění toho, jak velký či rychlý pohyb je snímač schopen detekovat.

Výsledek:

- optimální dosah = 4,7 m
- úhlový záběr = 55°
- nejmenší detekovaný pohyb těla (úkrok) = 26 cm
- snímač reaguje na pohyb ruky, je-li tento pohyb moc rychlý či pomalý, snímač jej nezaregistruje
- různé pohyby pouze hlavou snímač nedetekuje
- lehké kývání těla snímač nedetekuje



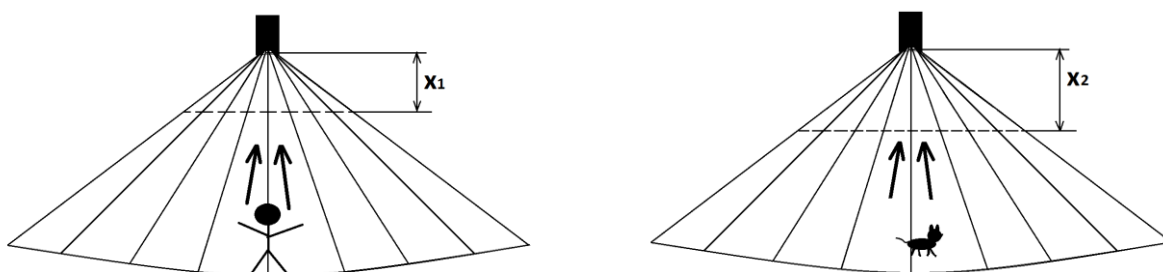
Obr. 68 Ověřování detekčních vlastností snímače pohybu

Další pohybové zkoušky:

V těchto zkouškách je snímač testován na pohyb, který se uskutečňuje v ose směrem ke snímači. Jsou zde uvedeny další zkoušky, které ukazují v jaké vzdálenosti od snímače je snímač schopen detekovat i velmi malé pohyby. Tato vzdálenost je označena jako x_1 a od této vzdálenosti směrem ke snímači jsou detekovány i velmi malé pohyby. Vzdálenost x_2 je detekční vzdálenost, kde snímač detekuje pohyb psa.

Výsledek:

- $x_1 = 1,45$ m
- vzdálenost od snímače $> x_1$ na velmi malé kroky směrem ke snímači, snímač nereaguje
- vzdálenost od snímače $\leq x_1$ snímač detekuje i malé pohyby - lehké pohyby hlavou, pohyb prstů (otevírání / zavírání dlaně) namířených na snímač
- $x_2 = 2,4$ m



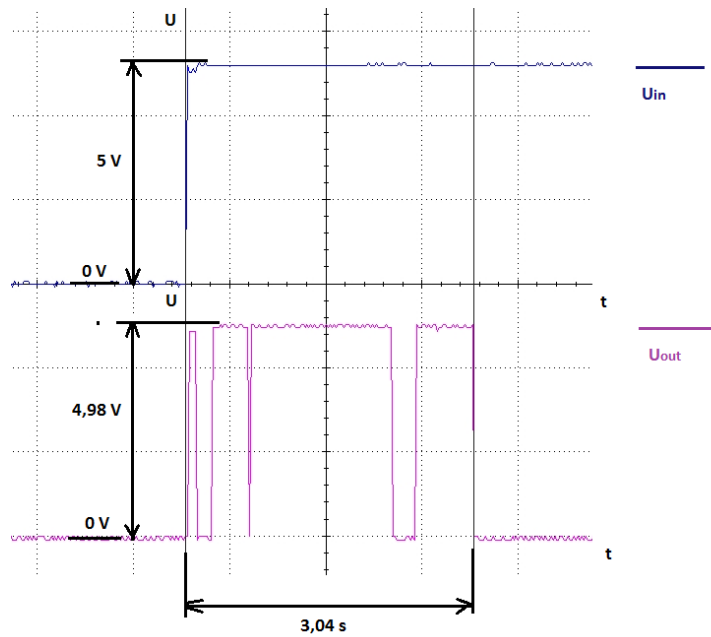
Obr. 69 Pohybové zkoušky snímače Napion

6.2.2 Ověření elektrických vlastností snímače:

V tomto testu byly pomocí osciloskopu měřeny el. vlastnosti snímače. Měřen byl stabilizační čas, tzn. čas snímače po zapnutí napájení do stabilizace snímače, v tomto čase snímač pohyb nedetekuje. Měření stabilizačního času probíhalo několikrát, průměrná hodnota vychází pod 5 s. Dále bylo opakovaně měřeno napětí na výstupu snímače (U_{out}) a reakce snímače na 2 různé pohyby (mávnutí rukou - cca 30 cm od snímače a pohyb člověka v detekční zóně snímače - cca 1,5 m od snímače). Podle dokumentace ke snímači by výstupní napětí snímače mělo být v rozsahu U_{in} (U napájecí) – 0,5 V. Stabilizační čas je uváděn takto - typický 7 s, maximální 30 s.

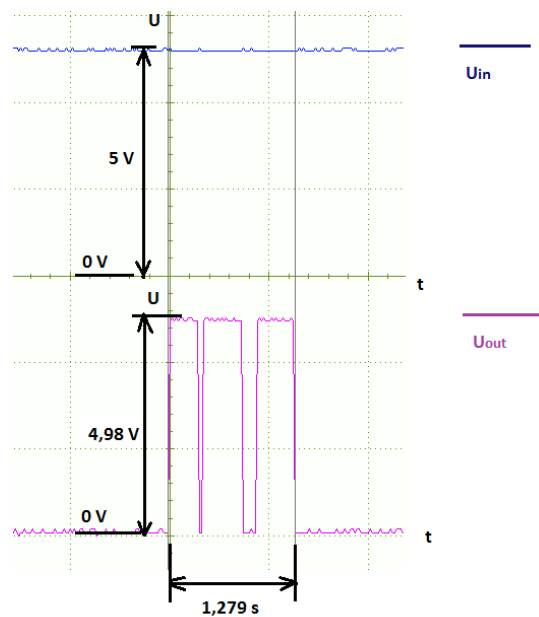
Výsledek:

- průměrný stabilizační čas snímače < 5 s (na obr. stab. čas = 3,04 s)
- $U_{out} = 4,98 \text{ V}$

**Obr. 70** Měření stabilizačního času snímače osciloskopem

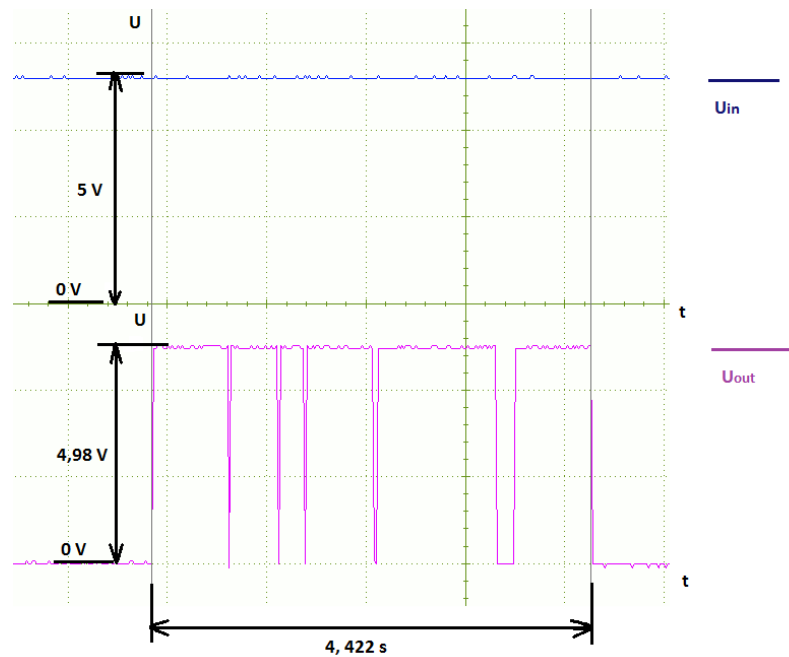
$$U_{out} = 4,98 \text{ V}$$

doba reakce na pohyb ruky = 1,279 s

**Obr. 71** Doba reakce snímače na pohyb ruky

$$U_{out} = 4,98 \text{ V}$$

$$\text{doba reakce na pohyb těla} = 4,422 \text{ s}$$



Obr. 72 Doba reakce snímače na pohyb těla

6.2.3 Ověření funkce antimasking:

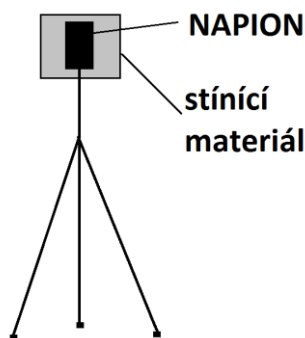
Funkce antimasking je ochrana snímačů proti neoprávněnému zakrytí (přestříkání, zabarvení...) a znemožnění tak jejich funkce. Při zakrytí musí u PIR snímačů obsahující tuto funkci dojít ke generaci poplachového či speciálního signálu. Ověření této funkce probíhá tak, že přímo na snímač je aplikován stínící materiál.

Použité stínící materiály:

- průhledná fólie
- list papíru (bílý)
- černé desky

Výsledek:

- u všech použitých stínících materiálů je po překrytí snímače okamžitě generován poplach
- po zakrytí snímače průhlednou fólií, snímač detekuje pohyb i přes tento stínící materiál, přes ostatní materiály snímač pohyb nedetekuje



Obr. 73 Ověřování reakce snímače na zakrytí

6.2.4 Další vlivy působící na snímač:

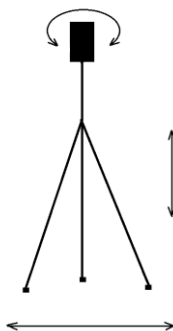
Jde o testování, zda snímač generuje poplach v závislosti na něj působících vlivů. Kromě testu manipulace se snímačem je u zbytku testů generování poplachu nežádoucí, protože právě tím vznikají falešné poplachu.

Manipulace se snímačem:

V této zkoušce je se snímačem pohybováno (otáčeno atd.) a testuje se, zda je snímač na změnu své polohy schopen reagovat. To může nastat v případě sabotáže pachatelem např. při snaze o nasměrování detekčního pokrytí snímače mimo střeženou oblast. Avšak při instalaci tohoto snímače na pevné stanoviště (zapuštěním do zdi) je tato manipulace celkem nemožná.

Výsledek:

- poplach generován: ANO



Obr. 74 Manipulace se snímačem

Vibrace:

Na podklad nainstalovaného snímače jsou aplikovány postupně zvyšující a zrychlující se úder. To může nastat v případě instalace snímače na stavebně nepevný podklad, což v případě vibrací u některých typů snímačů může vést k falešným poplachům.



Obr. 75 Test snímače na vibrace

Výsledek:

- poplach generován: NE

Proudění teplého vzduchu:

Zkoumání vlivu proudění teplého vzduchu směrem ke snímači. Jako zdroj tohoto vzduchu je použit fén, který je v určité vzdálenosti od snímače.

$t_{\text{vzduchu místnosti}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$

$t_{\text{max. zdroje}} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$

Výsledek:

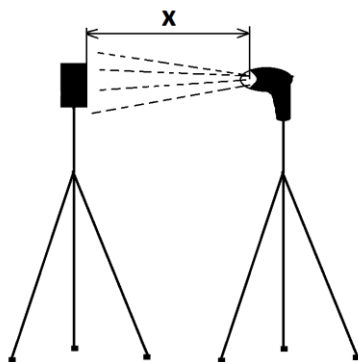
- v ose směrem ke snímači:

Tab. 4 Reakce snímače na proudění teplého vzduchu v závislosti na vzdálenosti

x [cm]	poplach generován
35	ANO
90	ANO
150	NE

x - vzdálenost zdroje teplého vzduchu od snímače

- snímač detekuje změnu téměř okamžitě a pouze ihned po zapnutí / vypnutí zdroje teplého vzduchu
- při umístění zdroje vzduchu z boku snímače, snímač na proudící teplý vzduch nereaguje



Obr. 76 Testování vlivu proudícího teplého vzduchu na snímač

Závěr z testování:

Testováním snímače byly zjištěny jeho vlastnosti, jejichž výsledky jsou popsány vždy u příslušných testů. V praxi se snímač často připojuje k mikroprocesoru či dalším obvodům, čímž se také zvyšují jeho aplikační možnosti. Výhod Napionu je hned několik. Mezi největší patří miniaturní rozměry, které jsou oproti klasickým PIR snímačům pohybu několikanásobně menší aniž by snímač v něčem zaostával, ba naopak. Miniaturní rozměry a nízká váha umožňují např. instalaci snímače tam, kde by to v případě klasických snímačů bylo obtížné, neestetické nebo nebylo vůbec možné. Snímač se doporučuje instalovat zapaštěním do zdi či panelu, kde pro optimální funkci je min. přesah snímače 3,5 mm. To je výhodné i proto, že snímač zbytečně nebudí pozornost jako je to u větších PIR snímačů, kterých si nelze nevšimnout. Také to znemožňuje případnému sabotérovi se snímačem manipulovat. Další výhodou je reakce snímače na pohyb, která byla, odehrál-li se pohyb v detekované oblasti a detekovatelným pohybem, téměř okamžitá. Rozměry snímače jsou vykoupeny nevýhodou v podobě ceny, která je oproti nejlevnějším klasickým PIR snímačům až trojnásobná. Při volbě snímače tak záleží na účelu použití.

7 Závěr

Tato diplomová práce měla cíle v teoretické části popsat principy či technologie výroby snímačů pohybu, uvést možnosti jednotlivých principů a možnosti jejich aplikace. Dále všechny tyto poznatky vyhodnotit a určit výhody a nevýhody jednotlivých systémů. V praktické části této práce je cílem ověřit vlastnosti miniaturních snímačů společnosti PANASONIC. Při představě celkem obecného tématu, jakým snímače pohybu jsou, jsem si dal za cíl vytvořit souhrnný popis, který poukazuje nejen na základní použití snímačů pohybu, ale také na použití těchto snímačů v moderních aplikacích. Tato část byla tedy rozdělena na čtyři skupiny, v kterých jsou stručně popsány nejpoužívanější systémy. Popis musel být zestručněn, protože již jedna skupina by při detailnějším rozepisování hravě přesáhla rozsah této práce. Ještě před popisem snímačů ve zmíněných skupinách byl však nejprve čtenář uveden do problematiky snímačů obecně.

První skupina byla nazvána průmyslová praxe proto, že většina zde popisovaných snímačů slouží právě pro tento účel. Jde o snímače, z nichž většina využívá základních fyzikálních principů. Při popisu této skupiny nebyl problém v dostupnosti literatury, nejčastěji bylo čerpáno z její knižní podoby či skript. Avšak narazil jsem na občasné problémy týkající se chybné či rozdílné terminologie v různých zdrojích, kdy například induktivní (či indukčnostní) snímač byl v jiných zdrojích označován jako indukční. Nejpoužívanějšími snímači s velkou budoucností jsou v této skupině v dnešní době snímače optické.

Další skupinou byla technologie snímání pohybu s jeho následným převedením do 3D modelu nazývaná Motion Capture. Tato část byla na zpracování nejnáročnější, ale pro mě nejzajímavější. Dostupné literatury bylo sice celkem velké množství, ale kvalitativně se od sebe lišila. V knižní podobě jsem téměř nenalezl žádnou literaturu, proto jsem byl odkázán především na elektronické zdroje - internet, kde bylo potřeba odfiltrovat mylné či polopravdivé informace. Bylo zjištěno, že nejpoužívanější a největší budoucnost v této oblasti má optický systém, který je dnes hojně využíván v zábavním průmyslu, nejvíce při tvorbě filmů a počítačových her. Využití také nachází stále častěji ve zdravotnictví, sportu a dalších odvětvích. Ke snímání pohybu se zde využívá kamer a značek, dalším zdokonalením v budoucnosti již značky nebudou potřeba.

Třetí skupina je věnována elektronickému zabezpečovacímu systému sloužícímu k ochraně osob a majetku. Nejvyužívanějšími snímači pohybu jsou zde pasivní infračervené snímače známé jako PIR snímače. Zde jsem v používané literatuře našel chybný údaj v řádu jednotky char. vln. délky teploty lidského těla uváděné jako 9,4 mm, ze znalostí o IR

záření lze dokázat, že je tento řád opravdu chybný. Správná hodnota činí zhruba 9,4 μm .

Snímat pohyb pro tyto účely lze také pomocí videodetekce, jejíž popis a vlastnosti lze nalézt v příslušné kapitole této části.

Poslední skupina je věnována satelitnímu polohovému systému zvanému GPS. V této kapitole se zabývám problematikou mé bakalářské práce, ze které jsem i zčásti čerpal. Část je věnována historii a budoucnosti navigačního systému Evropské unie GNSS Galileo, který je alternativou amerického systému GPS a s jehož plnohodnotným spuštěním se počítá v roce 2019.

V praktické části je nejprve testován snímač společnosti Panasonic zvaný Napica, který mi byl dán k dispozici Katedrou technologií a měření (FEL ZČU). Jelikož mi byla známa náročnost této práce, věnoval jsem se tedy zpočátku spíše teoretické části a až po bližším seznámení a ověření vlastností tohoto snímače jsem došel k závěru, že není ke snímání pohybu určen. Nalezl jsem snímač přímo k tomu určený (Napion) a zkontaktoval jsem společnost PANASONIC Electric Works Czech s.r.o., jejíž zástupci mi vyšli maximálně vstříc a tento vyhovující snímač zdarma poskytli, čehož si velmi vážím. Část praktického testování snímačů byla nejenže poučná, ale i zábavná. Závěrem lze testování pohybového snímače vyhodnotit jako úspěšné, snímač odpovídá vlastnostem popsáných v dokumentaci ke snímači. Detailnější informace o těchto snímačích, způsobu jejich testování a výsledky jsou popsány v příslušné kapitole.

Všechny cíle této práce byly splněny a myslím si, že práce dala vzniknout něčemu novému a zajímavému. Při celkem náročném zpracování tématu jsem se dozvěděl mnoho zajímavých a užitečných informací, které takto mohou posloužit i čtenáři této práce.

Seznam použité literatury:

- [1] ĎAĎO, S., KREIDL M.: *SENZORY a měřicí obvody*. Praha: ČVUT, 1999.
ISBN 80-01-02057-6
- [2] ZEHNULA, K.: *Snímače neelektrických veličin*. 2. vyd., upravené a doplněné. Praha: SNTL, 1983. ISBN (váz.).
- [3] ADÁMEK, M.: *Mikrosenzory a mikromechanické systémy: Obecné rozdělení senzorů*. In: [online]. [cit. 2012-04-16]. Dostupné z:
http://147.229.68.118/~adamek/uceb/DATA/s_1_2.htm
- [4] ŠŤASTNÝ, F.: *Zpracování experimentálních dat: Senzory*. In: [online]. [cit. 2012-04-16].
Dostupné z: http://amper.ped.muni.cz/jenik/nejistoty/html_tree/node16.html
- [5] BENEŠ, P.: *Inteligentní snímače*. In: [online]. [cit. 2012-04-16]. Dostupné z:
<http://www.roznovskastredni.cz/dwnl/pel2009/09/benes.pdf>
- [6] BARTOŠÍK, P.: *Automa: Proč bezdrátové snímače?*[online]. Praha, 2007 [cit. 2012-04-16]. ISSN 1210-9592. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34245
- [7] Wikipedia: *Wireless sensor network: The main characteristics of a WSN include*. In: [online]. 2012 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z:
http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network
- [8] RIPKA, P., ĎAĎO, S., KREIDL, M., NOVÁK, J.: ČVUT. *Senzory a převodníky*. 1.vyd. Praha: ČVUT fakulta elektrotechnická, 2005. ISBN 80-01-03123-3.
- [9] ZEHNULA, K.: *Čidla robotů*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00563-9.
- [10] MARTÍNEK, R.: *SENZORY v průmyslové praxi*. Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-114-4
- [11] VOJÁČEK, A.: *Magnetické senzory přiblížení*. In: *Automatizace.HW.cz* [online]. 2006 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006012901>
- [12] *Automa: Indukční snímače slaví 50 let od svého vzniku*. [online]. Praha, 2008 [cit. 2012-04-16]. ISSN 1210-9592. Dostupné z
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37779
- [13] BŘEZINA, P.: *Motion Capture*. In: *Pavka.shotzone.cz* [online]. [cit. 2012-04-16].
Dostupné z: <http://pavka.shotzone.cz/motioncapture/motioncapture.html#motioncapture-optoelektricky-system>
- [14] Wikipedia: *Motion capture*. In: [online]., 2001-2012 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z:

- http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture
- [15] Motion capture system: Aplikace. *Qaulysis* [online]. 2006-2008 [cit. 2012-04-16].
Dostupné z: <http://casri.cz/qualisys/applications.htm>
- [16] ORMAN, M.: *High Definition Motion Capture: Optical systems*. In: *Tyrell innovations* [online]. 2009 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: http://www.tyrell-innovations-usa.com/shop/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=8
- [17] VINKLER, M.: *Snímání a rekonstrukce pohybu postavy*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně.
- [18] SOUMAR, L.: *Kinematická analýza*. Ústí nad Labem, 2011. ISBN 978-80-7414-399-1. Publikace. Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem.
- [19] REPKA, M.: *Motion capture - řešení pro zrychlení animace: Jak pracuje motion capturing*. In: *Spafi* [online]. 2011 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.spafi.org/cs/animace-obecne/motion-capture-reseni-pro-zrychleni-animace>
- [20] MIKŠOVIC, M.: *Displej s pohyblivým pozorovatelem*. Plzeň, 2008. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni Fakulta aplikovaných věd.
- [21] ZACHAR, M.: *Motion capture: tak takhle se animují postavy*. In: *Magazin.stahuj.centrum.cz* [online]. 14.12.2008 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://magazin.stahuj.centrum.cz/motion-capture-tak-takhle-se-animuji-postavy/tisk/>
- [22] FURNISS, M.: *Motion Capture*. In: *Mit communications forum* [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://web.mit.edu/comm-forum/papers/furniss.html>
- [23] *Motion Capture - teorie i praxe. Pixel*. 2008, č. 135. Dostupné z: www.pixel.cz/1736-motion-capture-teorie-i-praxe
- [24] ShapeWrap and ShapeHand. *Measurand* [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: http://www.measurand.com/ShapeWrap_ShapeHand_Promo.html
- [25] KŘEČEK, S. a kol.: *Příručka zabezpečovací techniky*. Praha: BEN, 2002. ISBN 80-902938-2-4.
- [26] ŠTĚPÁNEK, M.: *Edukační materiál pro prvky, zařízení a technologie využívané v elektronických zabezpečovacích systémech – čidla aktivní*. Zlín, 2006. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [27] Bezpečnostní systémy: Kamerové systémy. *HENIG* [online]. 2012 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.henig.cz/cs/bezpecnostni-systemy/cctv/>
- [28] CCTV Information: Video Motion Detection. *CCTV Information* [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: http://www.cctv-information.co.uk/i/Video_Motion_Detection
- [29] JELÍNEK, T.: *Detekce pohybujících se objektů ve video sekvenci*. Brno, 2007.

Diplomová práce. Vysoké technické učení v Brně.

[30] ELIÁŠ, J.: *Dohledový systém pro živé objekty*. Plzeň, 2010. Bakalářská práce.

Západočeská univerzita v Plzni.

[31] Wikipedia: *Globální družicový polohový systém*. In:[online]. 2001-2012 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Glob%C3%A1ln%C3%AD_dru%C5%BEicov%C3%A9_polohov%C3%A9_syst%C3%A9my

[32] *Navigovat: Galileo* [online]. 2000–2012 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z:

<http://navigovat.mobilmania.cz/>

Zdroje obrázků:

- [1] ĎAĎO, S., KREIDL, M.: *SENZORY a měřicí obvody*. Praha: ČVUT, 1999. ISBN 80-01-02057-6
- [2] ZEHNULA, K.: *Snímače neelektrických veličin*. 2. vyd., upravené a doplněné. Praha: SNTL, 1983. ISBN (váz.).
- [3] www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/05.Hall.pdf
- [4] MARTÍNEK, R.: *SENZORY v průmyslové praxi*. Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-114-4
- [5] akela.mendelu.cz/~xnovot11/rele.jpg
- [6] home.zcu.cz/~formanek/mmvyuka/Data/opticke_snimace/optika5.jpg
- [7] www.odbornecasopisy.cz/imagesold/a0305601.gif
- [8] www.qub.ac.uk/research-centres/media/Media,222255,en-250x275.jpg
- [9] cdn2.gamefront.com/wp-content/uploads/2011/05/LANoire6.jpg
- [10] sunshinebike.com/images/retul/Slipstream-thigh-knee-mar2.jpg
- [11] upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Factory_Automation_Robotics_Palettizing_Bread.jpg
- [12] www.autoblog.com/photos/ford-human-occupant-package-simulator/#photo-2556905/
- [13] shop.mocapsolutions.com/product.sc?categoryId=1&productId=15
- [14] www.qualisys.com/wp-content/uploads/2011/08/short-range-active-marker-closeup-1.jpg
- [15] www.mocaplab.com/wp-content/medias/images/facial2_grd.jpg
- [16] www.naturalpoint.com/optitrack/static/documents/ARENA%20Quick%20Start%20Guide.pdf
- [17] www.login.co.th/images/middle/FLEXV100R2.jpg
- [18] casfxblock2.files.wordpress.com/2011/07/mocap1.jpg
- [19] www.metamotion.com/gypsy/gypsy-motion-capture-system-workflow.htm
- [20] www.metamotion.com/images/gypsy7_shipping.jpg
- [21] blogs.sun.ac.za/news/files/2011/02/Figure-1.Schef.jpg
- [22] hufgefluester.eu/files/wys/users/3/CANADA_OFFICE/MediaRelease_Pictures2011/MVNEquine_graphs.jpg
- [23] www.vrealities.com/shapehand1.jpg
- [24] www.measurand.com/apics/unscrew.jpg
- [25] www.measurand.com/images/measurand_r7_c1.jpg
- [26] www.youtube.com/watch?v=tNVr3j3iMfs

- [27] files.jacompany.cz/200000030-e8577e9516/EZS%20Final.jpg
- [28] www.ladyada.net/images/sensors/linearfresnel.gif
- [29] image.ec21.com/image/senbacds/OF0012776447_2/Sell_PIR_Sensor_fresnel_lens_with_high_quality.jpg
- [30] www.rojka-alarm.cz/ezs/detektory-dratove/pohybu-pir/
- [31] KŘEČEK, S. a kol.: *Příručka zabezpečovací techniky*. Praha: BEN, 2002. ISBN 80-902938-2-4.
- [32] www.accom.my/images/products/100_1.jpg
- [33] www.kerrywong.com/blog/wp-content/uploads/2011/01/2000px-Sonar_Principle_EN.svg.png
- [34] img.directindustry.com/images_di/photo-m2/infrared-barriers-for-intruder-detection-394821.jpg
- [35] development.anunaydahal.com/gforce/wp-content/uploads/2010/04/multi_beam.jpg
- [36] www.gforcesystems.com/products/perimter-protection/
- [37] www.southwestmicrowave.com/images/microtrack2-poster.jpg
- [38] support.nuuo.com/mediawiki/upload/3/3b/NUUO_NVR_diagram.jpg
- [39] www.cctv-information.co.uk/i/Video_Motion_Detection
- [40] JELÍNEK, T.: *Detekce pohybujících se objektů ve video sekvenci*. Brno, 2007. Diplomová práce. Vysoké technické učení v Brně.
- [41] ELIÁŠ, J.: *Dohledový systém pro živé objekty*. Plzeň, 2010. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [42] dlabos.wz.cz/tz/rele.html
- [43] www3.panasonic.biz/ac/e/control/sensor/illuminance/napica/index.jsp
- [44] pewa.panasonic.com/components/built-in-sensors/passive-infrared-sensors/napion/
- [45] pewa.panasonic.com/assets/pcsd/catalog/napion-catalog.pdf