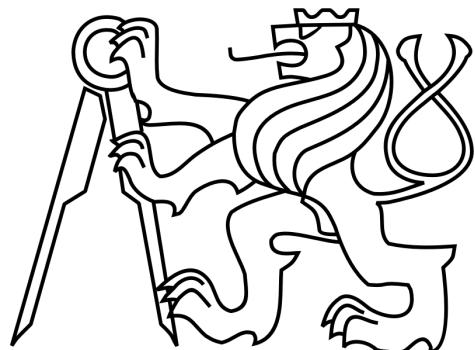


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ŘÍDÍCÍ TECHNIKY



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Orientace v prostředí



Praha, 2006

Ondřej Ton



## ***Prohlášení***

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne 30.6.2006

.....

podpis

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat především Doc. Ing. Jiřímu Bayerovi, CSc. za vstřícnost, přátelský přístup a cenné rady a také Ing. Pavlovi Růžičkovi za odborné konzultace, které mi v této práci pomohly.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, přítelkyni a přátelům, kteří mi jsou oporou po celou dobu mého studia.

Katedra řídicí techniky

Školní rok: 2005/2006

## Zadání bakalářské práce

Student: Ondřej Ton

Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: Orientace v prostředí

### Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte co nejjednodušší způsob orientace mobilního zařízení v prostředí s různými překážkami. Zařízení má umožnit zjištění překážky v okolí do 10 m a vytvořit „mapu prostředí“.
2. Jako základní způsob zvolte metodu „stereovidění“ s možností použití čarového laseru a se zpracováním informací uvnitř resp. mimo mobilní zařízení (přenos předzpracovaného signálu přes BlueTooth). Variantním řešením může být též pasivní metoda „stereovidění“ (bez laseru) s komparací obrazů ze dvou kamer.
3. Navrhněte jednoduchý způsob vyhodnocování existence překážky, měření její vzdálenosti (spec HW nebo mikropočítač) od mobilního zařízení a vytvoření jednoduché „mapy prostředí“ pro následnou realizaci globálních algoritmů řízení jejího pohybu.
4. Pro řízení mobilního zařízení a tím i způsobu orientace v prostředí je požadavkem minimální váha a minimální spotřeba energie. Použití tohoto systému se předpokládá pro řízení heliem plněné vzducholodě.

*Seznam odborné literatury:* Dodá vedoucí práce

**Vedoucí bakalářské práce:** Doc. Ing. Jiří Bayer, CSc.

**Datum zadání bakalářské práce:** zimní semestr 2005/06

**Termín odevzdání bakalářské práce:** 30. 6. 2006

Prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.  
vedoucí katedry



v. z. *[Signature]*  
Prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.  
děkan

V Praze, dne 1. 2. 2006

# **Abstrakt**

V první části této bakalářské práce je cílem popis vhodných metod měření hloubky scény (pole vzdáleností ve scéně) pro orientaci mobilního zařízení – modelu héliem plněné vzducholodi. Model vzducholodi má jistá omezení, na které je kladen důraz. Tyto omezení jsou především nosnost modelu vzducholodi a spotřeba elektronické části. Zařízení umístěné na modelu vzducholodi by mělo být schopno měřit vzdálenosti (respektive překážky umístěné) do 10m.

V druhé části je cílem ověřit možnosti využití jedné z metod měření hloubky scény - aktivní triangulace za použití čarového laseru a CMOS modulu. Z realizovaných částí návrhu je popsána komunikace prostřednictvím paralelního rozhraní osobního počítače s kamerou (CMOS modulem) prostřednictvím sběrnice I<sup>2</sup>C.

# **Abstract**

The first part of this bachelor thesis describes suitable methods of the measuring depth of scene (depth map) for orientation of a mobile device in space – the model of a helium filled airship. The model of the airship has certain limitations on which accent is put. The limitations are especially the lifting capacity of the airship model and consumption of the electronic part. Electronic device located on airship model should be able to measure distances (or the obstacles located) up to 10 meters.

In the second part, the aim is to verify possibilities usage one of the methods of the measuring the depth of scene – the active triangulation by using laser line module and CMOS camera module. Concerning realized parts of the project, the communication via personal computer parallel port, with camera (CMOS module), through an I<sup>2</sup>C bus, is described.



# Obsah

<b>OBSAH.....</b>	<b>1</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>5</b>
<b>2 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI .....</b>	<b>6</b>
2.1. <i>Trojrozměrný svět.....</i>	6
2.2. <i>Reprezentace naměřených vzdáleností ve scéně .....</i>	7
2.3. <i>Základní rozdělení metod .....</i>	7
2.4. <i>Rozdělení nekontaktních metod.....</i>	8
<b>3 POPIS JEDNOTLIVÝCH METOD MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI .....</b>	<b>10</b>
3.1. <i>Měření vzdálenosti při známé ohniskové vzdálenosti .....</i>	10
3.1.1. <i>Hloubka ostrosti .....</i>	10
3.1.2. <i>Nalezení zaostřené oblasti .....</i>	11
3.1.3. <i>Vytvoření hloubkové mapy .....</i>	12
3.2. <i>Metoda „tvar ze stínování“ (Shape From Shading) .....</i>	13
3.3. <i>Metoda stereovidění .....</i>	13
3.3.1. <i>Základní princip stereovidění .....</i>	14
3.3.2. <i>Zjednodušení výpočetní náročnosti .....</i>	14
3.3.3. <i>Praktické použití .....</i>	16
3.3.4. <i>Výpočetní náročnost .....</i>	19
3.4. <i>Metody založené na principu TOF .....</i>	19
3.4.1. <i>TOF .....</i>	19
3.4.1.1. <i>Vylepšení měření doby letu pomocí modulace .....</i>	20
3.4.1.2. <i>CW modulace .....</i>	20
3.4.1.3. <i>Realizace 2D-EOM .....</i>	20
3.4.1.4. <i>Použití TOF v praxi .....</i>	21
3.4.2. <i>PMD technologie .....</i>	21
3.4.2.1. <i>PMD senzor .....</i>	22
3.4.2.2. <i>Provedení PMD senzoru .....</i>	25
3.5. <i>Metody optické interferometrie .....</i>	26
3.6. <i>Aktivní triangulace .....</i>	27
3.6.1. <i>Triangulační trojúhelník .....</i>	27
3.6.2. <i>Rozdělení triangulace .....</i>	28
3.6.3. <i>Problémy triangulačních metod .....</i>	28
3.6.4. <i>3D triangulace .....</i>	29
3.7. <i>Zhodnocení vybraných metod měření vzdáleností .....</i>	30
<b>4 KOMUNIKAČNÍ PROSTŘEDKY I<sup>2</sup>C A LPT .....</b>	<b>32</b>
4.1. <i>I<sup>2</sup>C sběrnice .....</i>	32
4.1.1. <i>Protokol sběrnice .....</i>	32
4.1.1.1. <i>Komunikace na sběrnici I<sup>2</sup>C .....</i>	33
4.2. <i>Popis paralelního rozhraní PC (LPT port) .....</i>	35
4.2.1. <i>Vývoj LPT .....</i>	35
4.2.2. <i>Zapojení vývodů LPT portu .....</i>	36
4.2.3. <i>Úrovně signálu na LPT portu .....</i>	38
4.3. <i>Knihovna pro přístup na paralelní port ve Win XP .....</i>	38
<b>5 NÁVRH A REALIZACE HW .....</b>	<b>40</b>

<i>5.1. Části HW .....</i>	<i>40</i>
<i>5.2. Kamery .....</i>	<i>41</i>
5.2.1. Transchip CMOS modul - TC5747 .....	41
5.2.2. Mircojet CMOS modul – 22T1 .....	42
<i>5.3. Mikroprocesor MSP430 .....</i>	<i>42</i>
5.3.1. Vlastnosti mikroprocesorů řady MSP430 .....	42
5.3.2. Vývojové prostředí pro mikroprocesory řady MSP430 .....	43
<i>5.4. Laserový modul – čarový .....</i>	<i>44</i>
<i>5.5. LPT-I<sup>2</sup>C adaptér.....</i>	<i>44</i>
5.5.1. Proč použít I <sup>2</sup> C sběrnici a paralelní port?.....	44
5.5.2. Napájení adaptéru.....	45
5.5.3. Zapojení LPT-I <sup>2</sup> C adaptéru .....	46
5.5.4. Výsledná deska plošných spojů.....	47
<i>5.6. Program Parallelport.exe .....</i>	<i>48</i>
<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>49</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>51</b>
<b>PŘÍLOHA A – DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ.....</b>	<b>52</b>
<b>PŘÍLOHA B – OBSAH PŘILOŽENÉHO CD .....</b>	<b>53</b>

# Seznam obrázků a tabulek

OBR. 1.1: MODEL HÉLIEM PLNĚNÉ VZDUCHOLODI .....	5
OBR. 2.2: PERSPEKTIVNÍ ZOBRAZENÍ 3D BODU VE SCÉNĚ .....	6
OBR. 2.3: INTENZITNÍ OBRÁZEK (VLEVO) A VZDÁLENOSTÍ OBRÁZEK JAKO ŠEDOTÓNOVÝ (VPRAVO) .....	7
OBR. 2.4: ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ METOD PRO MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI 3D BODU VE SCÉNĚ .....	8
OBR. 2.5: ROZDĚLENÍ NEKONTAKTNÍCH METOD MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI 3D BODU VE SCÉNĚ .....	9
OBR. 3.6: PROJEKCE SVĚTELNÉHO PAPRSKU TENKOU ČOČKOU .....	10
OBR. 3.7: HLOUBKA OSTROSTI V OBRAZOVÉM PROSTORU OPTICKÉ SOUSTAVY .....	11
OBR. 3.8: PŘÍKLAD MÁLO KONTRASTNÍ OBLASTI (NEZAOSTŘENÉ) VLEVO .....	12
A OBLASTI S VYSOKÝM KONTRASTEM (ZAOSTŘENÉ) VPRAVO .....	12
OBR. 3.9: SNÍMKY PRO ZVĚTŠUJÍCÍ SE OSTŘÍcí VZDÁLENOST .....	13
OBR. 3.10: VYTVOŘENÁ HLOUBKOVÁ MAPA Z VÝše ZOBRAZENÝCH SNÍMKŮ A JEJICH KONTRASTU .....	13
OBR. 3.11: TRIANGULACE STEREOSkopických SNÍMKŮ .....	15
OBR. 3.12: EPIPOLÁRNÍ LINIE .....	15
OBR. 3.13: PRINCIP METODY STEREOVIDĚNÍ .....	17
OBR. 3.14: SNÍMEK SCÉNY Z LEVÉ KAMERY .....	17
OBR. 3.15: HLEDÁNÍ KORESPONDENCÍ PRO SNÍMEK Z LEVÉ A PRAVÉ KAMERY .....	17
OBR. 3.16: VÝSLEDNÁ HLOUBKOVÁ MAPA .....	18
OBR. 3.17: PŘÍKLAD FILTROVÁNÍ DISPARITY .....	18
OBR. 3.18: PROBLÉM „UZAVŘENÉHO POVRCHU“ A HLEDÁNÍ KORESPONDENCÍ .....	19
OBR. 3.19: PRINCIP METODY MĚŘENÍ TOF VYUŽÍVÁJÍCÍ FOTODIODU NA STRANĚ PŘIJÍMAČE .....	21
OBR. 3.20: BLOKOVÉ SCHÉMA PMD PIXELU A JEHO SCHÉMATICKÉ ZNAČENÍ .....	22
OBR. 3.21: STRUKTURA PMD SENZORU .....	22
OBR. 3.22: ZAPOJENÍ PMD PIXELU .....	23
OBR. 3.23: ODVÁDĚNÍ NAHROMADĚNÉHO NÁBOJE POMOCÍ STŘÍDAVÉ ZMĚNY POTENCIÁLU .....	23
OBR. 3.24: PRINCIP PMD SENZORU PRO 3D MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI .....	24
OBR. 3.25: PROVEDENÍ PMD SENZORU S FÁZOVÝM ZÁVĚSEM PMD-PLL .....	25
OBR. 3.26: PMD SENZOR PHOTONICS® PMD 1K-S .....	25
OBR. 3.27: MINIATURNÍ 3D TOF KAMERA SR-2 S MOŽNOSTÍ PŘIPOJENÍ USB 2.0 .....	26
OBR. 3.28: BLOKOVÉ SCHÉMA INTERFEROMETRU .....	26
OBR. 3.29: TRIANGULAČNÍ TROJÚHELNÍK A JEHO BÁZE PRO 1D TRIANGULACI .....	28
OBR. 3.30: PROBLÉM VIDITELNOSTI U TRIANGULAČNÍCH METOD .....	29
OBR. 3.31: TECHNIKA SVĚTELNÉHO VZORU U 3D TRIANGULACE .....	29
OBR. 3.32: POROVNÁNÍ METOD PRO MĚŘENÍ VZDÁLENOSTÍ (JEJICH DOSAH A RELATIVNÍ ROZLIŠENÍ) .....	30
OBR. 4.33: PRINCIP PROPOJENÍ SBĚRNICE A MOŽNOST ADRESACE JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ .....	33
OBR. 4.34: START A STOP PODMÍNKY KOMUNIKACE PO I2C, PŘENOS DAT MASTER->SLAVE .....	34
OBR. 4.35: PŘÍKLAD ČTENÍ DAT OD ZAŘÍZENÍ SLAVE .....	34
OBR. 4.36: PROPOJENÍ MEZI INTEGROVANÝMI OBVODY TYPU MASTER A SLAVENA I2C SBĚRNICI .....	34
OBR. 4.37: PŘIŘAzení SIGNÁLŮ LPT PORTU 25 PINOVÉMU D-SUB KONEKTORU .....	36
OBR. 4.38: ROZLOŽENÍ PINŮ NA KONEKTORU A PŘÍSLUŠNOST K DANÉMU REGISTRU .....	36
OBR. 4.39: TYPICKÉ NAPĚŤOVÉ ÚROVNĚ PRO TTL .....	38
OBR. 5.40: BLOKOVÉ SCHÉMA PRO 2D TRIANGULACI .....	40
OBR. 5.41: CMOS MODUL TC5747 A JEHO BLOKOVÉ SCHÉMA .....	41
OBR. 5.42: CMOS MODUL 22T1 .....	42
OBR. 5.43: ARCHITEKTURA MIKROPROCESORŮ ŘADY MSP430 .....	43
OBR. 5.44: MSP430F169 V PATICI PROGRAMÁTORU .....	43
OBR. 5.45: DEVELOPMENT KIT PRO MIKROPROCESORY ŘADY MSP430 .....	43
OBR. 5.46: LASEROVÝ MODUL A OPTIKA VYTVAŘející „ČÁRU“ .....	44
OBR. 5.47: ZAPOJENÍ NAPÁjecíHO OBVODU S LM317 .....	45
OBR. 5.48: INTEGROVANÝ OBVOD SN74HC05 (SN54HC05) .....	46
OBR. 5.49: ZAPOJENÍ LPT-I <sup>2</sup> C ADAPTÉRU .....	47
OBR. 5.50: VÝSLEDNÝ LPT-I <sup>2</sup> C ADAPTÉR .....	47
OBR. 5.51: PROSTŘEDÍ KOMUNIKAČNÍHO SW PARALELPORT.EXE .....	48
OBR. A.1: NÁVRH ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK LPT-I <sup>2</sup> C ADAPTÉRU .....	52
OBR. A.2: NÁVRH ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK ZDROJE 2,8V s IO LM317 .....	52
TAB. 1: PŘIŘAzení PINŮ D-TYPE 25 PIN KONEKTORU PARALELNÍHO PORTU .....	37
TAB. 2: REGISTRY A JEJICH BÁZOVÉ ADRESY .....	37



# 1 Úvod

Mobilní zařízení v 3D prostoru potřebuje pro svoji orientaci v prostředí detekovat překážky a určit konkrétní vzdálenosti v jaké se překážky nacházejí, aby jeho řídící algoritmy byly schopné vybrat vhodný směr pohybu zařízení a mobilní zařízení se v prostoru mohlo pohybovat.

Existuje mnoho rozličných metod, kterými se detekují překážky, měří vzdálenost překážek nebo se zjišťuje celková hloubka scény v 3D prostoru. V první části této práce jsou popsány jednotlivé vybrané metody pro měření hloubky scény (pro vytvoření hloubkové mapy – depth map). V této práci se jsou veškeré kladené požadavky na metodu měření hloubky scény a její elektronickou realizaci zaměřeny na vlastnosti modelu héliem plněné vzducholodi (umístěné v laboratoři v laboratoři K09 na Karlově nám.) - (

Obr. 1.1).

Tato práce se dále zaměřuje především na ověření možnosti použití metody aktivní triangulace v praxi. Dále se zabývá programovým přístupem na paralelní port v OS Windows XP a komunikací paralelní port <-> I<sup>2</sup>C sběrnice. Komunikační protokol I<sup>2</sup>C je použit pro kamery (CMOS moduly), vybrané pro použití v metodě aktivní triangulace nebo pasivní triangulace (stereovidění).



Obr. 1.1: Model héliem plněné vzducholodi

## 2 Měření vzdálenosti

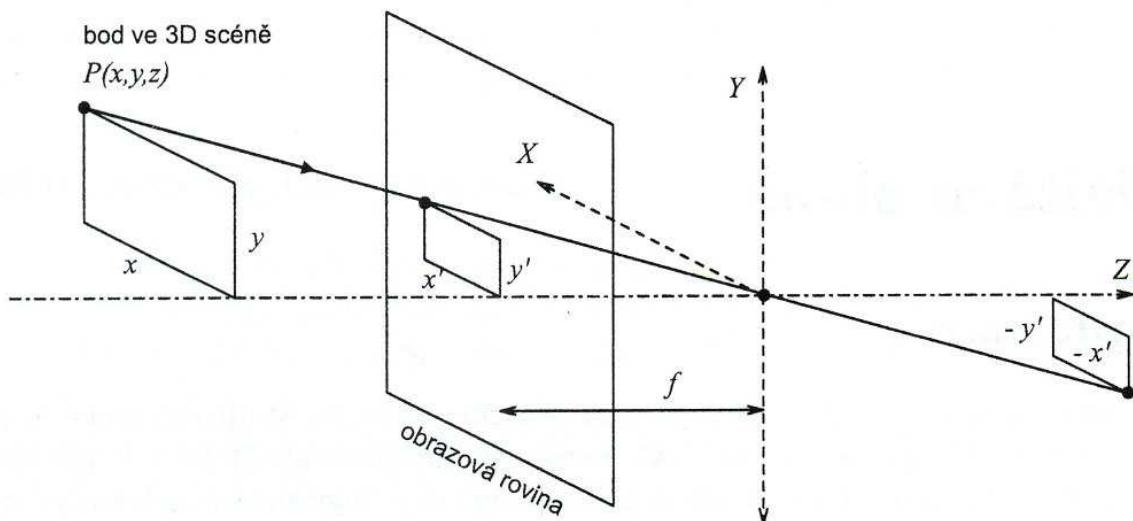
V této kapitole jsou popsány základní bezkontaktní metody měření vzdálenosti, jejich rozdílení. Jsou zde shrnutý výhody a nevýhody pro použití konkrétních metod pro mobilní zařízení – modelu vzducholodi.

### 2.1. Trojrozměrný svět

Svět, který nás obklopuje je trojrozměrný (3D). Obrazová funkce, čili dvojrozměrný obraz sejmutý kamerou nebo zobrazený na sítnici oka, je výsledkem perspektivního zobrazení. Bod promítaný do 2D roviny nechť má souřadnice  $x'$  a  $y'$ , potom díky podobnosti trojúhelníků v perspektivním zobrazení platí

$$x' = \frac{x \cdot f}{z}, y' = \frac{y \cdot f}{z}. \quad (2.1)$$

Perspektivní zobrazení je podle předchozího uvedeného vztahu nelineární. Jelikož se všechny body ležící ve 3D prostoru na jedné polopřímce od středu promítání směrem do scény zobrazují do jediného bodu, tak se v perspektivním promítání ztrácí informace o vzdálenosti (jak je vidět na Obr. 2.2). Perspektivní zobrazení není invertovatelné.



Obr. 2.2: Perspektivní zobrazení 3D bodu ve scéně

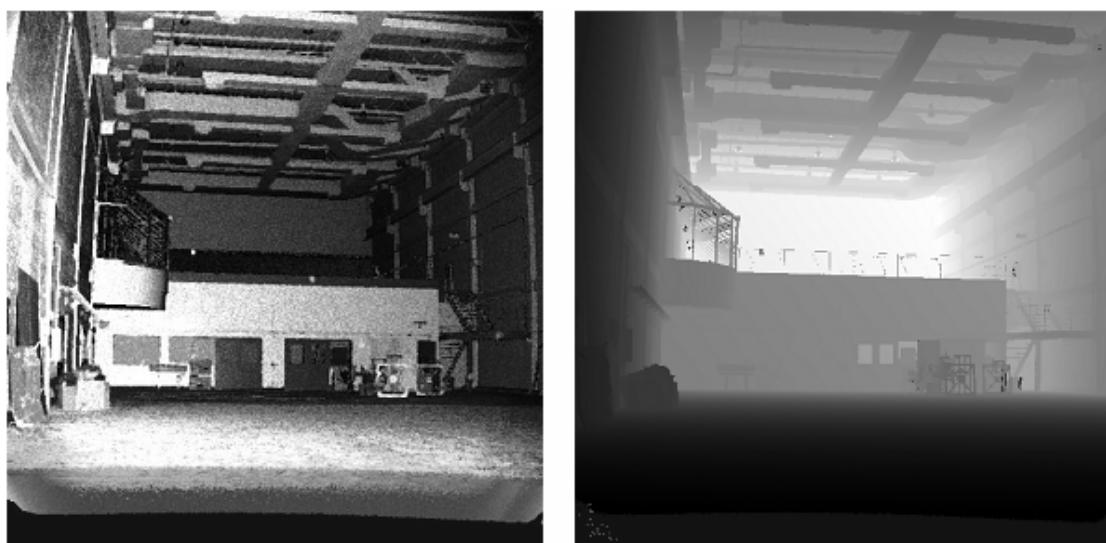
## 2.2. Reprezentace naměřených vzdáleností ve scéně

Nejjednodušším a asi nejpoužívanějším způsobem, jakým lze reprezentovat a ukládat vzdálenosti ve scéně je za použití holoubkové mapy (Depth Map).

Hloubková mapa je tvořena maticí se sloupcí (x) a řádky (y), které udávají pozici měřeného bodu a k ní příslušnou vzdálenost (z).

Pro smysly člověka je vhodné tuto hloubkovou mapu tvořenou maticí vzdáleností zobrazit jako šedotónový obrázek (Obr. 2.3), který je obdobný obrazu sejmutému z ČB kamery, ale informace o intenzitě je zde nahrazena informací o vzdálenosti „bodu“ v prostoru. Další variantou je zobrazení matice barevným obrázkem, kde jsou vzdálenostem přiřazeny různé barvy.

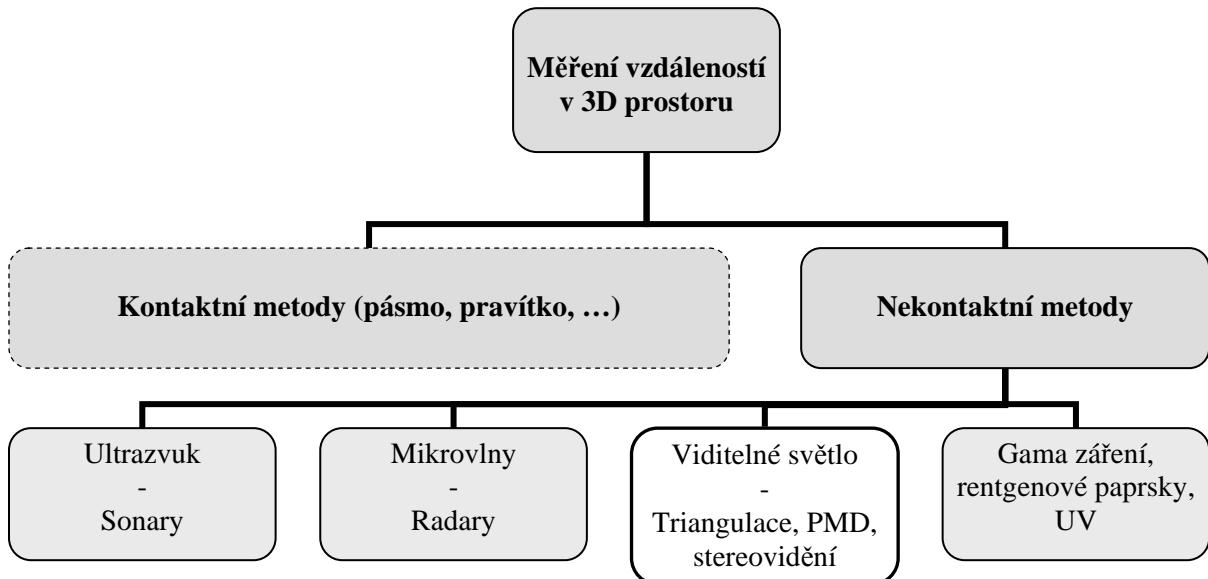
Nejmenší bod v hloubkové mapě nesoucí informaci o vzdálenosti se nazývá pixel, nýbrž VOXEL (Volume Pixel) – prostorový pixel.



Obr. 2.3: Intenzitní obrázek (vlevo) a vzdáleností obrázek jako šedotónový (vpravo)

## 2.3. Základní rozdělení metod

V následujícím diagramu (Obr. 2.4) je znázorněno základní rozdělení metod měření vzdáleností v 3D prostoru. Kontaktní metody pro tuto práci nepotřebujeme, tudíž nejsou dále rozvedené.



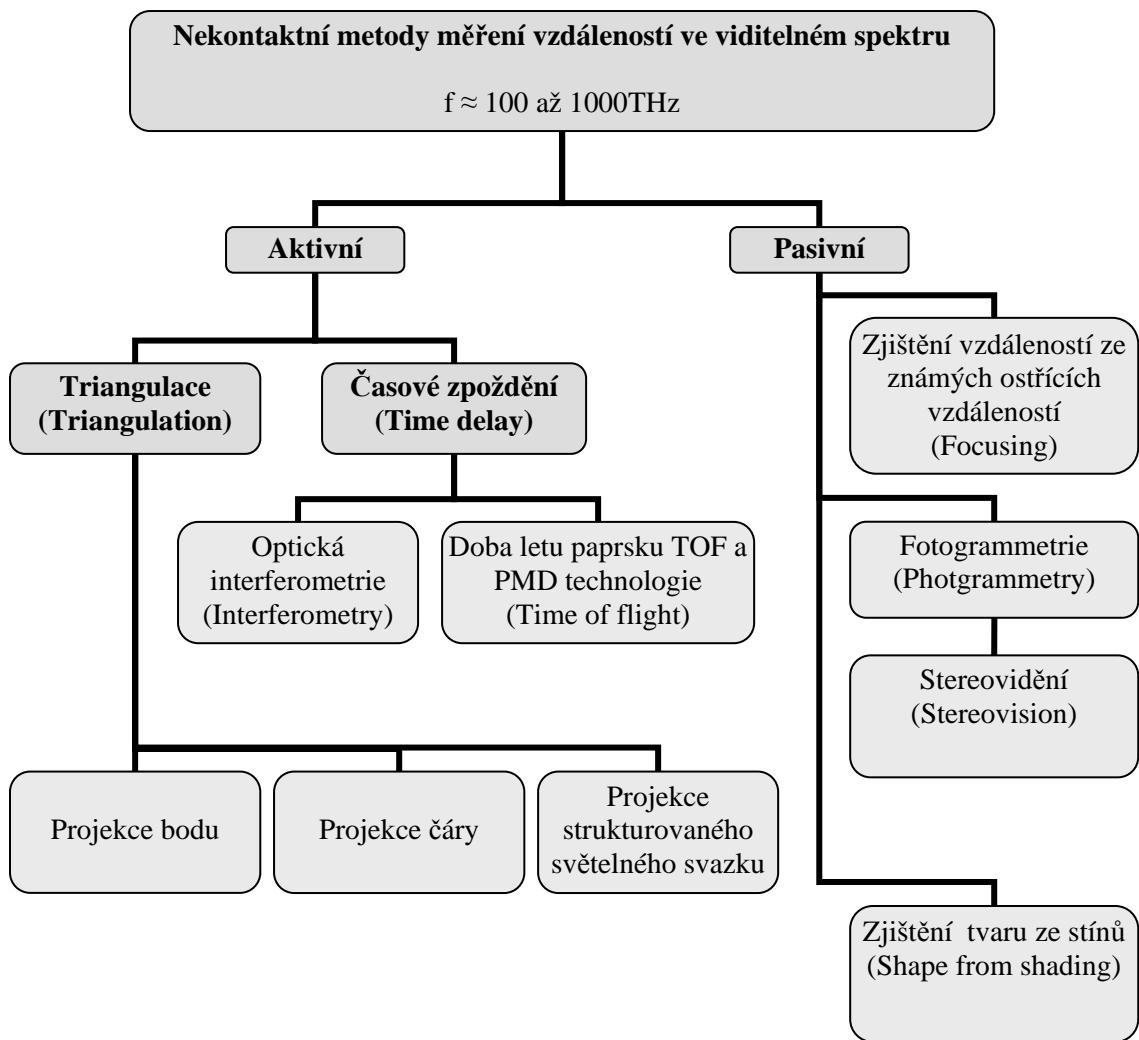
**Obr. 2.4: Základní rozdělení metod pro měření vzdálenosti 3D bodu ve scéně**

Z nekontaktních metod jsou pro nás důležité metody operující ve spektru viditelného světla (nebo blízko viditelného spektra), obsahující metody triangulací, stereovidění, i PMD technologie. Sonary již dále zmiňovány nebudou, protože jsou obsahem jiné diplomové práce.

## 2.4. Rozdělení nekontaktních metod

Základní dělení nekontaktních metod je na pasivní a aktivní. **Aktivní** metody jsou takové, které ke své práci potřebují zdroj signálu (světla) v určité podobě, který samy generují. Takovéto metody jsou např. triangulace s použitím čarového laseru, metoda založena na principu doby letu paprsku (TOF) nebo z ní vycházející **Photonic Mixer Device** technologie.

Naopak metody, které nepotřebují svůj zdroj signálu (není uvažováno geometrické uspořádání osvětlení) pro svoji práci, se nazývají **pasivní**. Jsou to metody jako stereovidění nebo určování vzdálenosti ze známé ostřící vzdálenosti.



**Obr. 2.5: Rozdělení nekontaktních metod měření vzdálenosti 3D bodu ve scéně**

# 3 Popis jednotlivých metod měření vzdálenosti

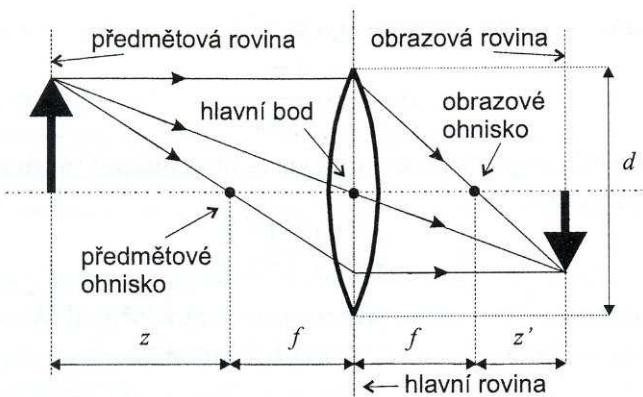
V této kapitole jsou rozebrány jednotlivé vybrané metody měření hloubky scény v prostoru a rozepsán jejich základní princip a vlastnosti. Na závěr je zde uvedeno shrnutí možností použitelnosti metod.

## 3.1. Měření vzdálenosti při známé ohniskové vzdálenosti

Základním principem pro změření hloubkové mapy prostředí, při znalosti známých ostřících vzdáleností, je získání několika snímků. Každý snímek je pořízen v jiné (avšak známé!) ostřící vzdálenosti.

### 3.1.1. Hloubka ostrosti

Úkolem objektivu umístěného v kameře (digitálním fotoaparátu, apod.) je promítat světelné záření na snímač, který ho převeďe na elektrický signál. Pro ideální model dírkové komory si můžeme představit tenkou čočku. U správně zaostřené čočky se procházející paprsky jiných směrů lámou tak, že se protínají s paprskem procházejícím podél optické osy v „hlavním bodě“ (Obr. 3.6). Z rovnice čočky v newtonovském tvaru  $z \cdot z' = -f^2$ , kde  $f$  je ohnisková vzdálenost (vzdálenost mezi hlavním bodem a obrazovým ohniskem),  $z$  je vzdálenost předmětovým ohniskem a předmětovou rovinou a  $z'$  je vzdálenost mezi obrazovým ohniskem a obrazovou rovinou, vidíme nedostatek ideální tenké čočky, že soustřeďuje pouze paprsky vycházející z bodu v rovině kolmé k optické ose ve vzdálenosti  $z$  od středu promítání.

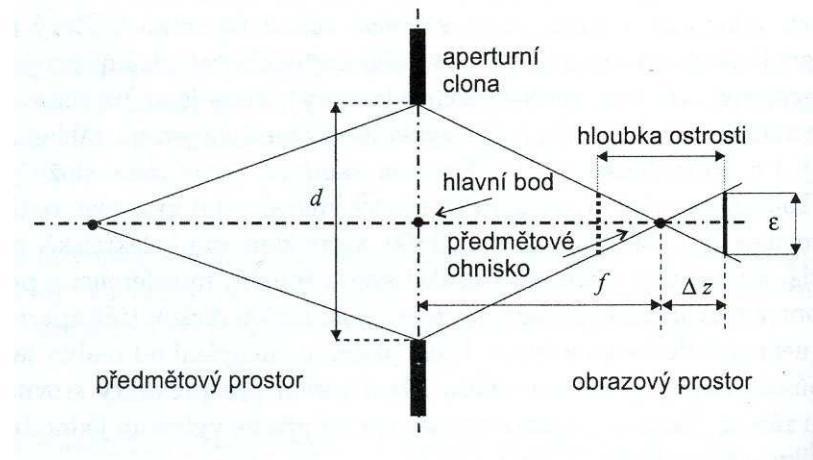


Obr. 3.6: Projekce světelného paprsku tenkou čočkou

V případě, že posuneme obrazovou rovinu mimo obrazové ohnisko, pak se obraz rozostří (bod se zobrazí jako malý kruh o průměru  $\varepsilon$ ). Průměr kruhu  $\varepsilon$  se pak spočítá podle podobnosti trojúhelníků

$$\varepsilon = \frac{d\Delta z}{f + z'} \quad (3.1)$$

Hloubkou ostrosti (Obr. 3.7) je tedy interval povolených posunů obrazové roviny  $\langle -\Delta z, \Delta z \rangle$ , kde je průměr kruhu rozostření menší něž předdefinovaná hodnota. Důležitým pojmem je hloubka pole, která udává rozsah přípustných poloh pozorovaného předmětu při zachovaném požadavku na rozostření maximálně o  $\varepsilon$ .

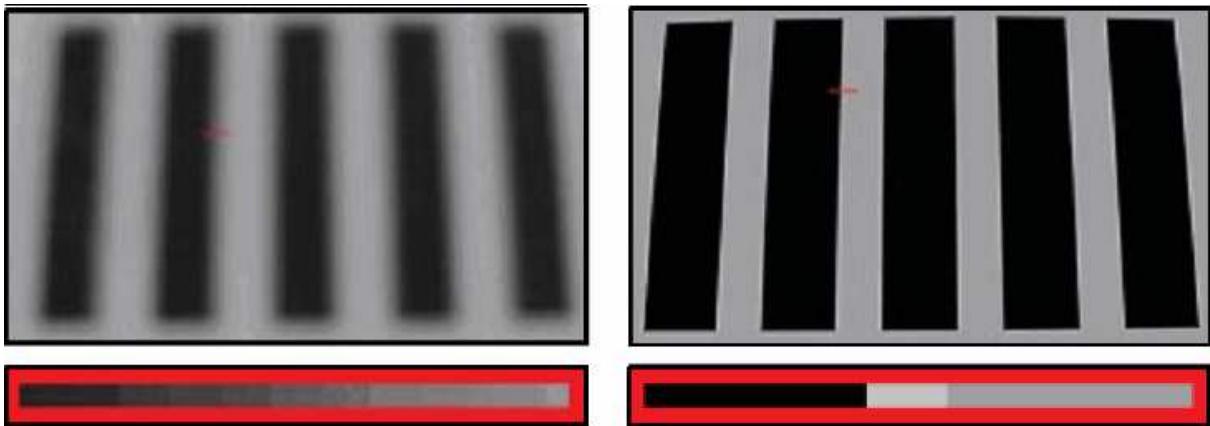


**Obr. 3.7: Hloubka ostrosti v obrazovém prostoru optické soustavy**

### 3.1.2. Nalezení zaostřené oblasti

Pro nalezení kontrastní oblasti hledáme ve snímku vysoké frekvence (náhlé změny jasu, což jsou například hrany). Vysoké frekvence detekujeme frekvenčně citlivými, směrově nezávislými operátory. Tímto operátorem je např. Laplaceův operátor – Lapacián  $\nabla^2 f(x, y)$  (suma druhých parciálních derivací).

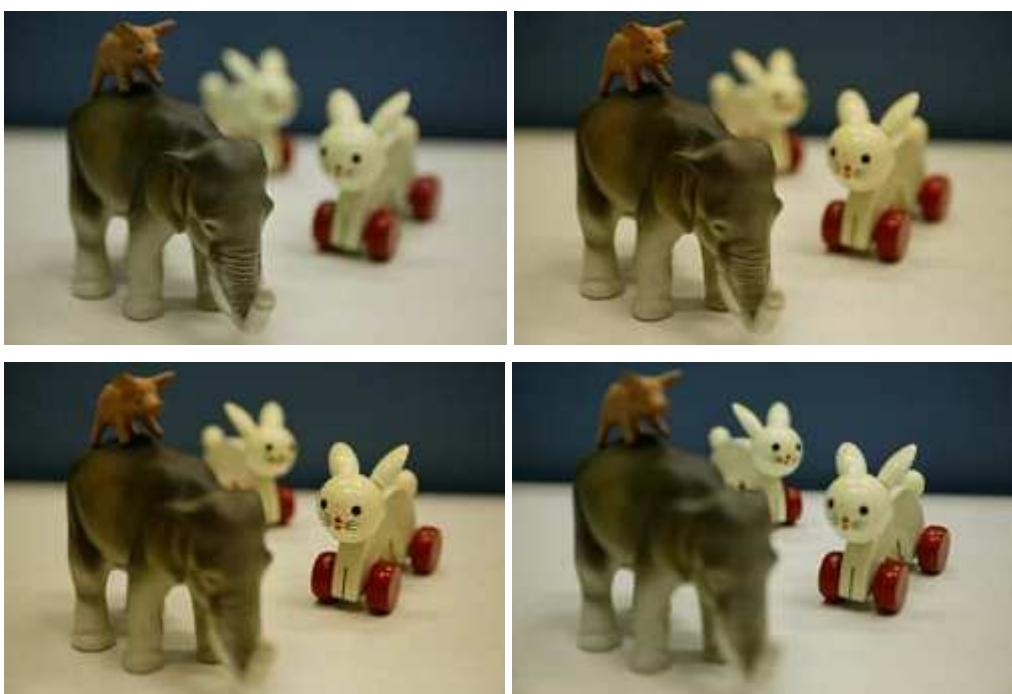
Pro každý jednotlivý pixel snímku známe jeho intenzitu jasu a hledáme takové místo, kde se intenzita skokově mění. Snímek ze souboru se tedy zpracuje algoritmem využívajícím FFT (rychlou Fourierovu transformaci), který ve snímku vyhledá vysoké frekvence. Požadavkem, abychom byli při zpracování úspěšní, jsou dobré světelné podmínky a snímek musí obsahovat dostatek detailů pro určení kontrastu.



**Obr. 3.8: Příklad málo kontrastní oblasti (nezaostřené) vlevo  
a oblasti s vysokým kontrastem (zaostřené) vpravo**

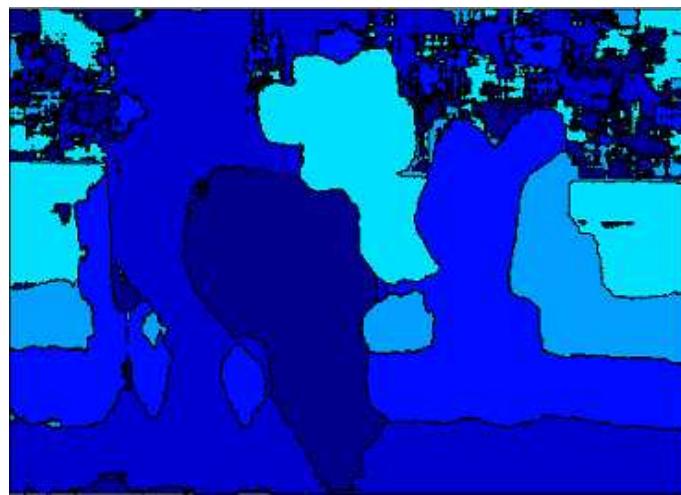
### 3.1.3. Vytvoření hloubkové mapy

Máme tedy soubor snímků z různých, ale známých ostřících vzdáleností. Každý snímek pak obsahuje ostré a rozostřené oblasti. Pokud je oblast zaostřená, znamená to, že ostřící vzdálenost, kterou jsme použili je správná a předmět je tak umístěn ve stejné vzdálenosti, jako je ostřící vzdálenost. Z celého souboru snímků tak lze poskládat hloubkovou mapu a zobrazit ji v šedotónovém nebo barevném obrázku (Obr. 3.10).





Obr. 3.9: Snímky pro zvětšující se ostříci vzdálenost



Obr. 3.10: Vytvořená hloubková mapa z výše zobrazených snímků a jejich kontrastu

### 3.2. Metoda „tvar ze stínování“ (Shape From Shading)

Tyto techniky určují normály povrchových elementů z ozáření, stínů, odlesků na obraze a ze známé pozice kamery a zdrojů světla. Z normál se poté počítají 3D tvary těles. Techniky je možno ještě rozšířit o použití obrazových sekvencí s pohyblivými zdroji světla nebo obrazy s různým osvětlením.

### 3.3. Metoda stereovidění

Metoda stereovidění je ve své podstatě pasivní triangulace. Tato metoda vyžaduje ke svému zpracování 2 stereoskopické snímky pořízené z různých míst. Tyto snímky představují dva perspektivní obrazy. Potřebujeme však znát vzdálenosti a úhly mezi místy pořízení. Ve snímcích se pak hledají korespondence a triangulací se určí vzdálenost bodu v 3D prostoru.

Snímky snímáme v nejjednodušším případě buďto 2 kamerami (nebo kamerou jednou a polopropustným zrcadlem, apod.).

Touto metodou se snažíme napodobit lidské vnímání obrazu – zrak.

### 3.3.1. Základní princip stereovidění

Jak již bylo výše řečeno potřebujeme získat (minimálně) 2 stereoskopické snímky pořízené z různých míst. Bod P v 3D prostoru je charakterizován souřadnicemi x,y,z. Pomocí středové symetrie přes optické středy objektivů se bod  $P(x,y,z)$  promítne na senzory kamer. Hloubkovou mapu pak dostaneme z nalezených korespondujících bodů v obou snímcích. Tato úloha je však velmi výpočetně náročná.

### 3.3.2. Zjednodušení výpočetní náročnosti

Úlohu prohledávání snímků a korespondujících bodů v nich si můžeme značně zjednodušit několika „triky“.

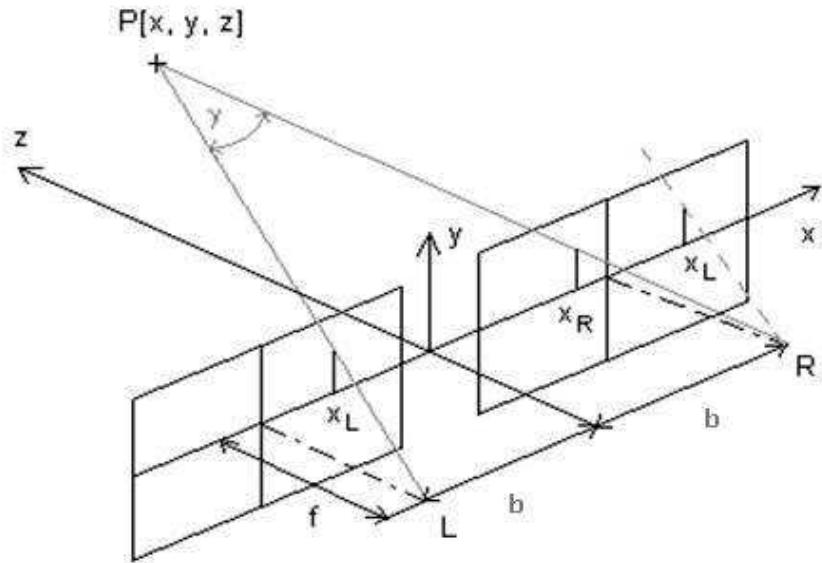
Optické osy a zároveň také řádky obou snímacích kamer budou rovnoběžné. To znamená, že orientace a umístění obou kamer v prostoru bude stejná, pouze druhá kamera bude posunutá po ose x (případně ose y) o vzdálenost  $2b$  (Obr. 3.11). Takto pořízené snímky tvoří *rektifikovaný pár*.

Prohledávání korespondujících bodů bude probíhat od souřadnic hledaného bodu a vyhneme se tak zbytečnému prohledávání oblasti, kde se korespondující bod nalézat nemůže. Při předpokladu známé (nebo námi předdefinované) minimální vzdálenosti hloubky můžeme ještě více omezit prostor prohledávání.

Ve skutečnosti se nepoužívá přímo hledání korespondujících bodů ve snímcích, ale hledání korespondujících (malých) okolí. Čím větší oblast použijeme, tím lépe se dá nalézt korespondence. Tímto krokem však potlačujeme malé předměty ve scéně.

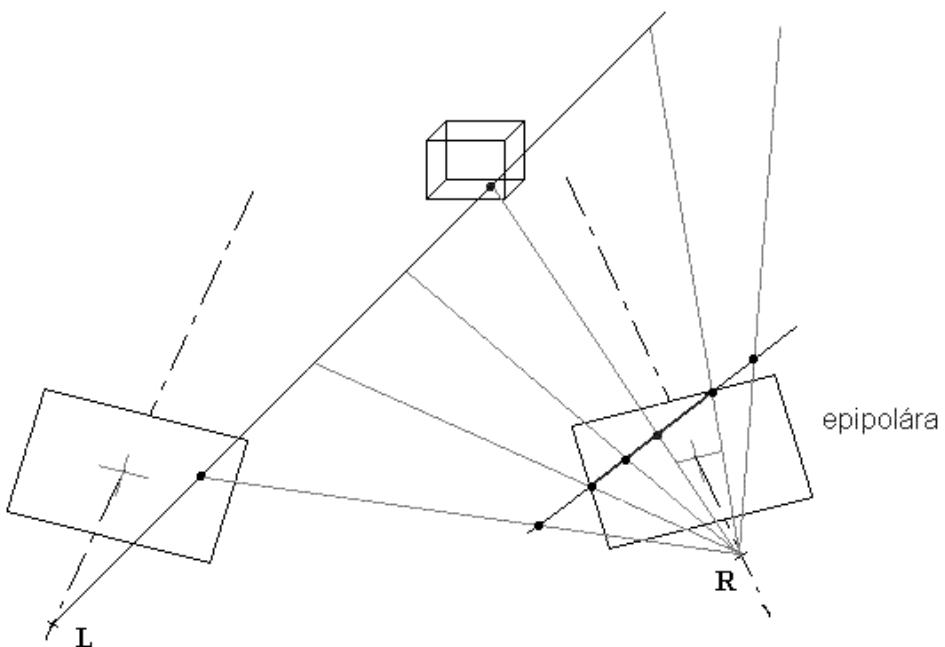
Kamery použité pro metodu stereovidění mohou mít např. rozdílné nastavení jasu nebo kontrastu. Pro hledání korespondujících oblastí se tedy používá algoritmus normalizované vzájemné korelace (NCC – normalized cross correlation).

Abychom dosáhli uspokojivých výsledků při měření, musíme kompenzovat optické vady a zkreslení jednotlivých kamer.



**Obr. 3.11: Triangulace stereoskopických snímků**

Korespondenční problém automatického nalezení bodu v obrazech levé i pravé kamery je zjednodušen tím, že odpovídající body musí ležet na epipoláře (epipolární linie). Je-li určitý bod nalezen na snímku z jedné kamery, leží stejný bod na druhé kameře na úsečce (Obr. 3.12), která vznikne jako průmět myšlené spojnice "ohnisko kamery - nalezený bod ve snímku - označený bod na objektu - nekonečno" do obrazové roviny druhé kamery. Bod po bodu lze pak ze dvou daných sdružených stereoskopických snímků určit celý geometrický prostor.



**Obr. 3.12: Epipolární linie**

### 3.3.3. Praktické použití

Schéma použití metody stereovidění vidíme na následujícím obrázku (Obr. 3.13). Na obrázku jsou vyznačeny obě kamery („Images“) s rovnoběžnými optickými osami, překážka vyznačená šedivou barvou a oba přes sebe překryté snímky s vyznačenou překážkou.  $Z$  (depth) je vzdálenost předmětu a  $(x_L - x_R)$  je tzv. horizontální paralaxa (disparity). Baseline znamená vzdálenost optických středů kamer  $2b$ .

$Z$  trojúhelníkové rovnosti můžeme vyvodit následující tři rovnice:

$$\frac{x_L}{f} = \frac{X + \frac{b}{2}}{Z} \quad (3.2)$$

$$\frac{x_R}{f} = \frac{X - \frac{b}{2}}{Z} \quad (3.3)$$

$$\frac{x_L}{f} = \frac{x_R}{f} = \frac{Y}{Z} \quad (3.4)$$

Odečtením  $(x_L - x_R)$  dostáváme

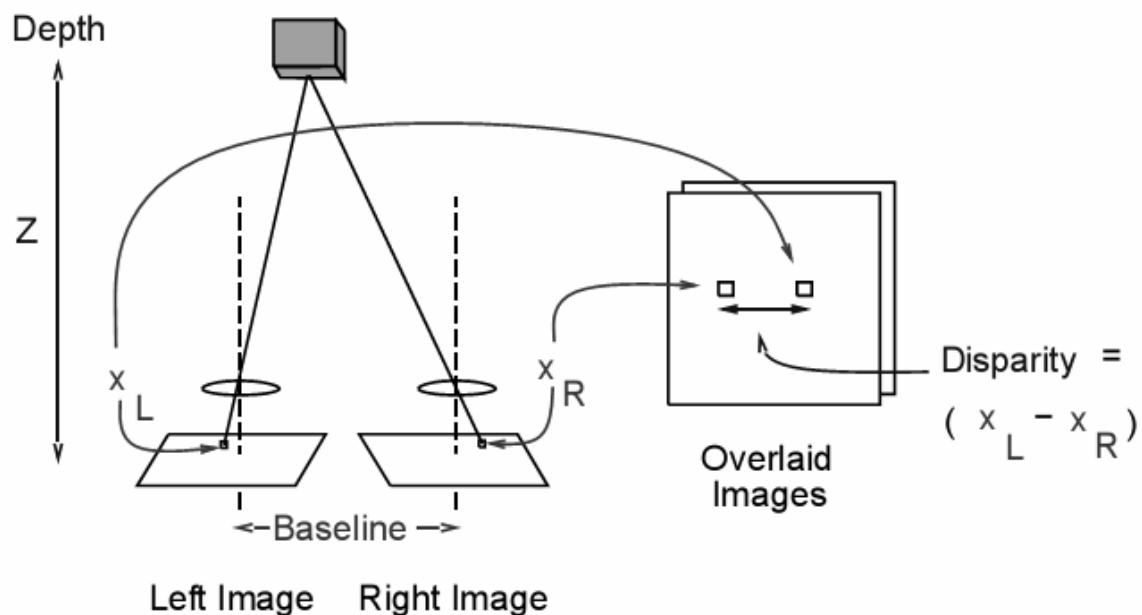
$$\frac{x_L - x_R}{f} = \frac{b}{Z} \quad (3.5)$$

Horizontální paralaxu pak jednoduše získáme vynásobením rovnice  $f$

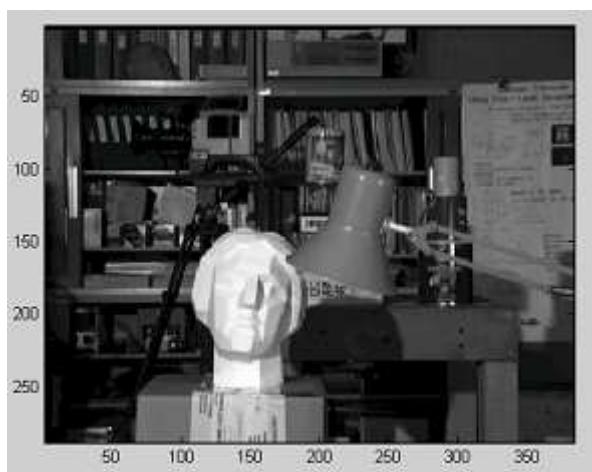
$$x_L - x_R = \frac{f \cdot b}{Z} \quad (3.6)$$

A vzdálenost předmětu upravením do toho tvaru

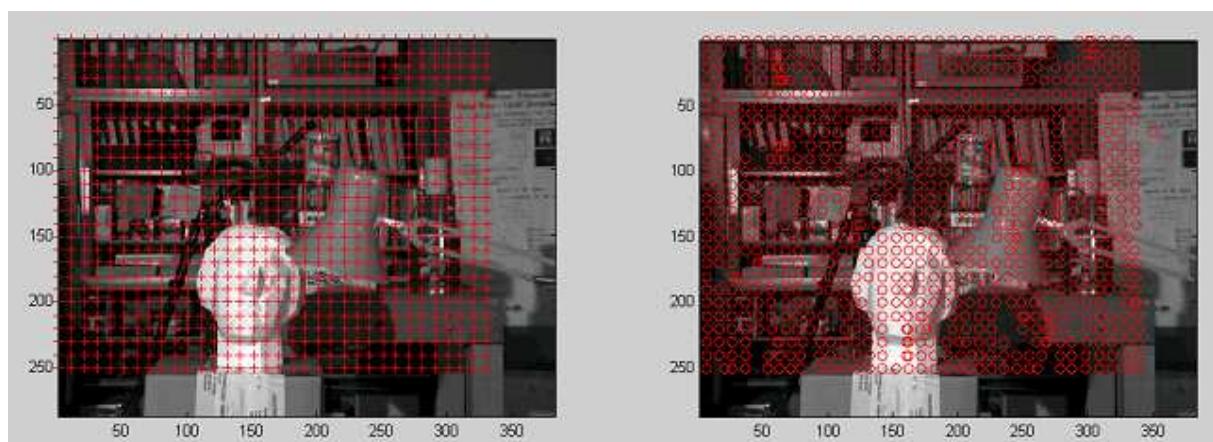
$$Z = \frac{f \cdot b}{x_L - x_R} \quad (3.7)$$



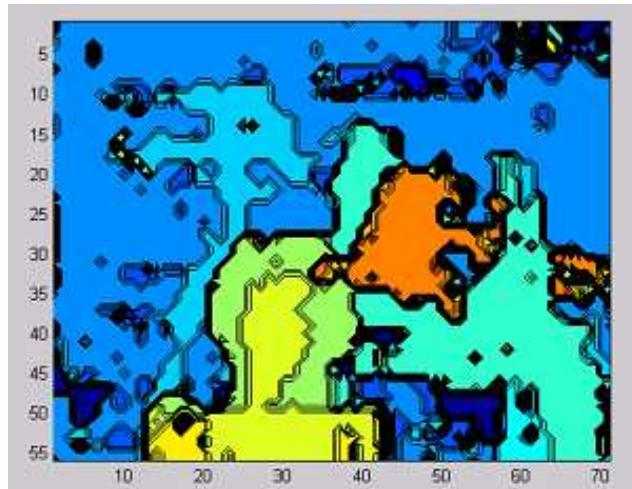
Obr. 3.13: Princip metody stereovidění



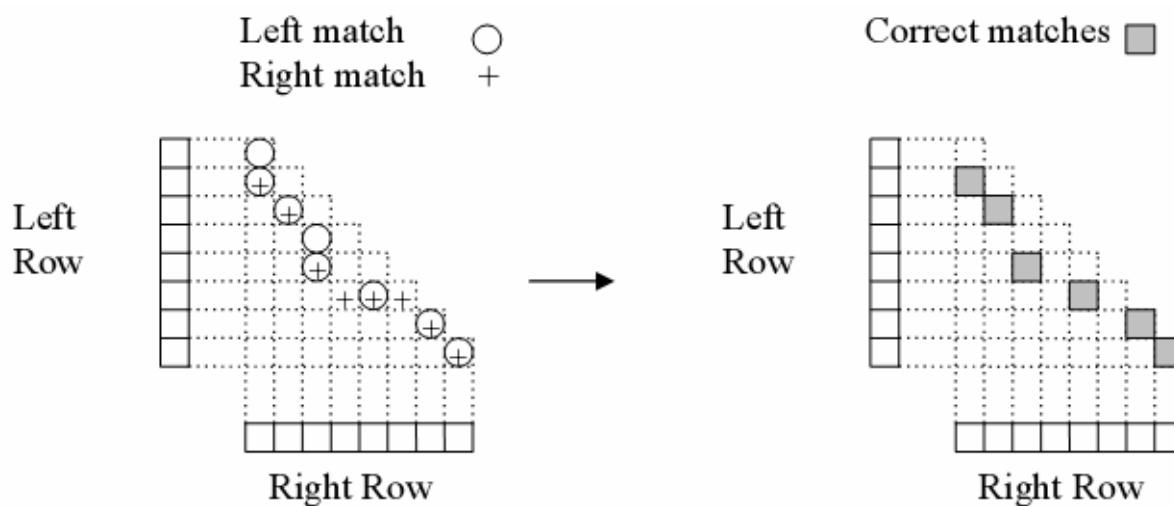
Obr. 3.14: Snímek scény z levé kamery



Obr. 3.15: Hledání korespondencí pro snímek z levé a pravé kamery

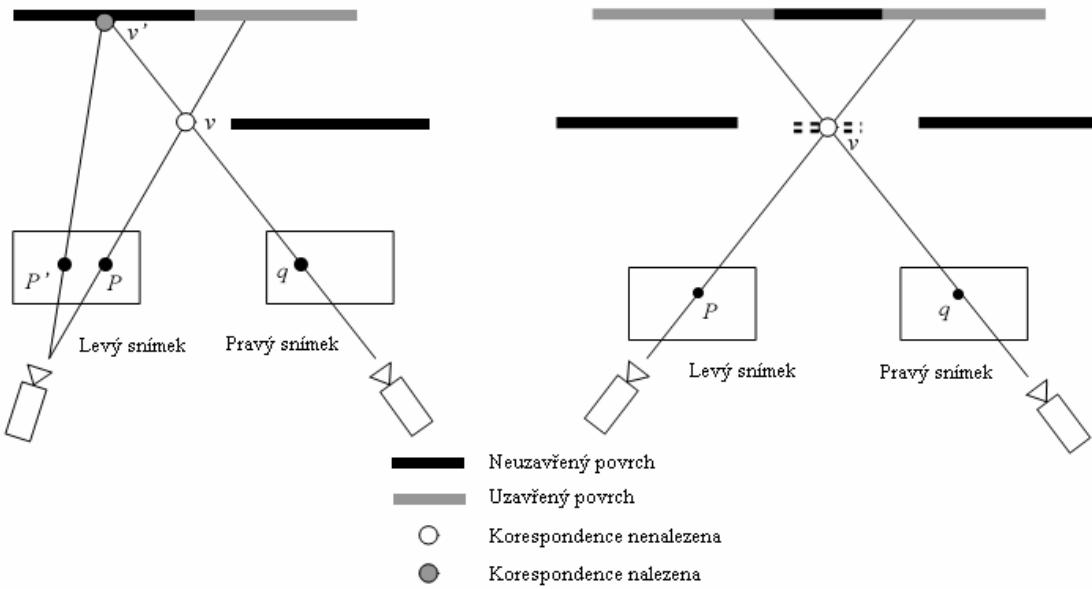


Obr. 3.16: Výsledná hloubková mapa



Obr. 3.17: Příklad filtrování disparity

Problém s vyhledáváním korespondujících bodů může nastat v případě zobrazeném na obrázku (Obr. 3.18). Zde je zobrazen případ, kdy je bod ve scéně vidět oběma kamerami a můžeme tak vyhledat korespondenci mezi oběma snímkama. Dále je zde vidět problém, kdy bod ve scéně je zaznamenán pouze jednou kamerou (v našem případě levou), ale druhá kamera již „uzavřený povrch“ nevidí. Posledním případem je situace, kdy situace s „uzavřeným povrchem“ může nastat pro obě kamery. Stejný problém je také přiblížen v kapitole 3.6 - Aktivní triangulace.



**Obr. 3.18: Problém „uzavřeného povrchu“ a hledání korespondencí**

### 3.3.4. Výpočetní náročnost

I při použití výše uvedených zjednodušení je metoda pro zpracování v „reálném čase“ (**Real Time**) velmi výpočetně náročná. Pro malé rozlišení snímků bychom hůře hledali korespondence a při použití snímků s vysokým rozlišením je časová výpočetní náročnost úměrná přibližně třetí mocnině počtu pixelů a tudíž velmi rychle s vyšším rozlišením roste.

## 3.4. Metody založené na principu TOF

Mezi tyto metody měření vzdáleností patří měření doby letu paprsku (**Time Of Flight** – **TOF**), resp. metoda měření rozdílu fáze mezi vyslaným a přijatým signálem a **PMD** technologie (**Photonic Mixed Device technology**), také založená na stejném principu. Jejich výhodou je přesné měření i na větší vzdálenosti ( $\approx$  několika km).

### 3.4.1. TOF

Metoda Time Of Flight je tedy založena na principu využívaném u zvuku. Měří se doba průchodu paprsku od vysílače k přijímači. Jelikož je rychlosť světla konstantní a známá, tak je doba průchodu paprsku úměrná vzdálenosti, tj.  $t_d = \frac{2 \cdot Z}{c}$ , kde  $c$  je rychlosť světla  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  a  $Z$  je vzdálenost mezi senzorem a předmětem.

Tento způsob je velice jednoduchý. Na problém narazíme při měření času zpoždění mezi vyslaným a přijatým impulsem. Zde pro 1mm vzdálenosti odpovídá doba letu paprsku přibližně 6ps (pikosekundám). Pro použití v průmyslu by měření takového času bylo velmi náročné.

### 3.4.1.1. Vylepšení měření doby letu pomocí modulace

Abychom nemuseli konstruovat takové zařízení, které by dokázalo měřit dobu v pikosekundách, používá se pro měření jiné veličiny. Ta je také spjatá s časem. Je to změna fáze. Tuto veličinu umíme s dostatečnou přesností měřit. Obvykle se toto provádí korelací s vhodným referenčním signálem.

Rozlišujeme tyto druhy modulace signálů: pulsní, pseudonáhodná, spojitá.

### 3.4.1.2. CW modulace

Pokud chceme měřit změnu fáze vyslaného a přijatého signálu, musíme nejdříve vyslaný (světelný) signál namodulovat určitým referenčním napěťovým signálem z oscilátoru. K tomuto účelu můžeme použít LED diod nebo také LASERu.

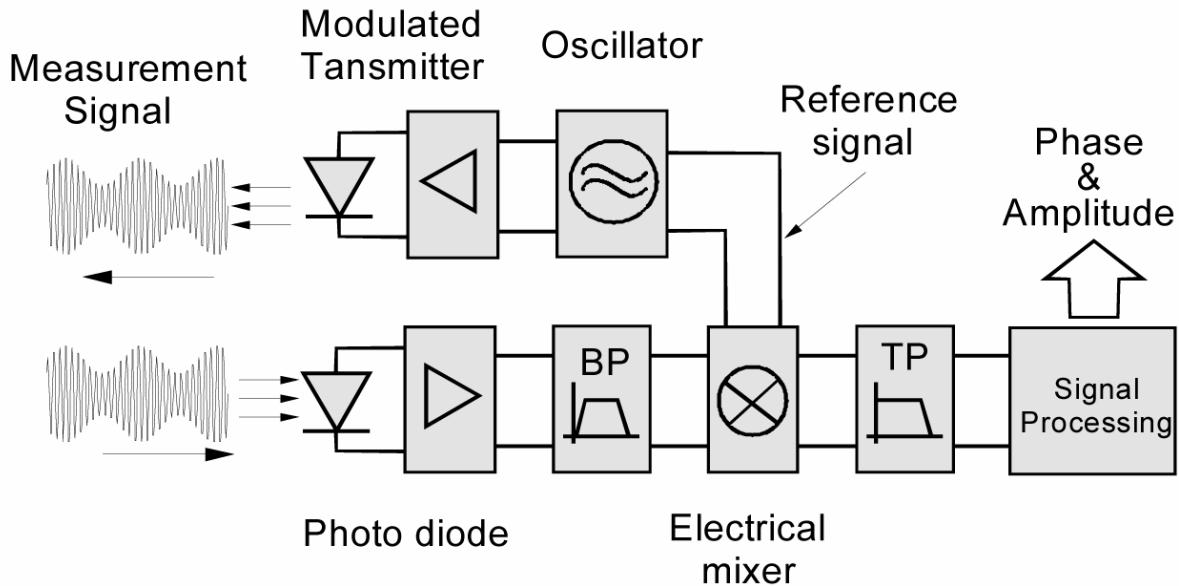
Pokud tento signál vyšleme, na přijímači budeme detekovat signál s posunutou fází. Posuv fáze je úměrný době  $t_d$ , kterou hledáme. V přijímači tak stačí provést srovnání fází referenčního a příchozího signálu a z rozdílu určit hledaný čas. Porovnání fází se provádí tzv. 2D-EOM (Electro-Optical Mixer). Tato metoda se označuje jako CW modulace (Continuous Wave Modulation), tj. modulace kontinuální vlny.

Pro tuto metodu lze použít téměř libovolný zdroj signálu – světla (LED, LASER), s libovolnou vlnovou délku světla. Tato metoda je také méně ovlivnitelná rušením.

### 3.4.1.3. Realizace 2D-EOM

Realizaci 2D-EOM lze provést použitím fotodiody nebo PMD senzoru (o PMD senzoru bude dále uvedená samostatná kapitola).

Realizace pomocí fotodiody (Obr. 3.19) používá fotodiodu jako převodník světla na elektrický signál. Takto přijatý signál se dále frekvenčně omezuje pásmovým filtrem „Band Pass“, kvůli omezení okolního rušení. Po odfiltrování nežádoucích složek se zjišťuje posuv fáze ve směsovači (Electrical Mixer).



Obr. 3.19: Princip metody měření TOF využívající fotodiodu na straně přijímače

#### 3.4.1.4. Použití TOF v praxi

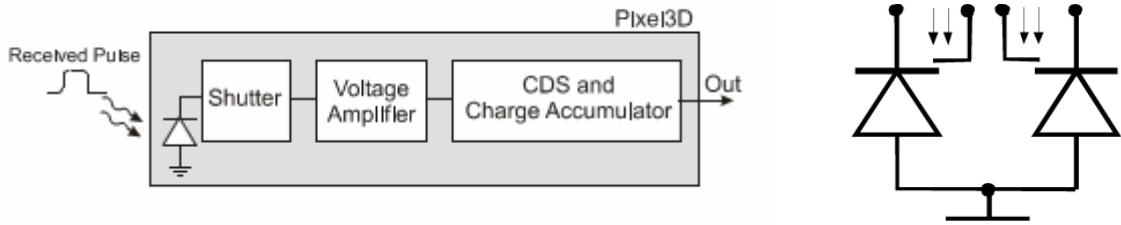
Pro měření hloubkové mapy scény se tedy dá použít i metoda na principu měření doby letu jednoho paprsku (TOF). Pro zjištění hloubky scény bychom ovšem potřebovali paprsek rozmítat ve dvou osách a to je velmi časově náročné.

Pro tyto účely se používají například senzory SICK, avšak jejich hmotnost a velikost přesahují možnosti našeho modelu vzducholodě.

#### 3.4.2. PMD technologie

PMD (Photonic Mixer Device) technologie pracuje na obdobném principu jako výše popsaná metoda TOF. PMD senzor však provádí funkci směšovače již na úrovni dopadajícího světla – fotonů (Obr. 3.20). PMD senzor narozdíl od fotodiody nejenom převádí světlo na elektrický signál, ale zároveň vyhodnocuje změnu fáze. Tímto způsobem na výstupu PMD senzoru dostaneme elektrický signál s informací o změně fáze a intenzitě dopadajícího záření.

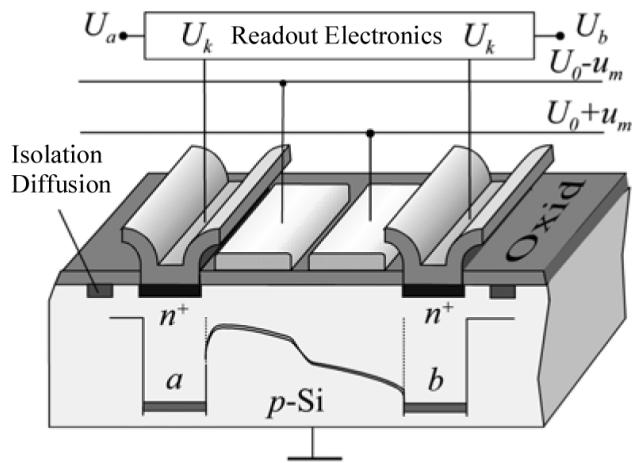
PMD senzor výrazně zjednoduší konstrukci zařízení pro 3D měření vzdálenosti. Použitím PMD senzoru odpadají všechny diskrétní části a prvky od příjmu světla až po obvody zpracování (Signal Processing), viz. na obrázku (Obr. 3.19 a Obr. 3.20).



Obr. 3.20: Blokové schéma PMD pixelu a jeho schématické značení

### 3.4.2.1. PMD senzor

Struktura PMD senzoru, na světlo citlivého prvku, je velmi podobná CCD snímači (Obr. 3.21).



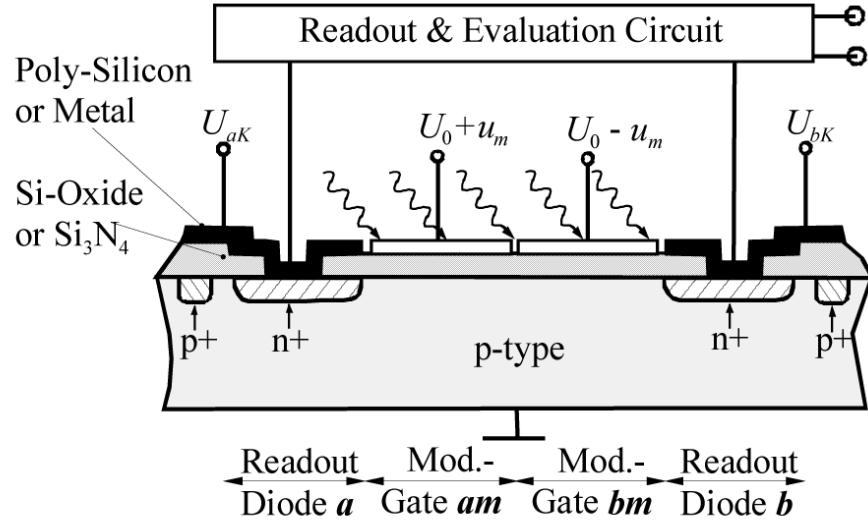
Obr. 3.21: Struktura PMD senzoru

Základem celého senzoru je polovodičový substrát typu P nad nímž jsou umístěny dvě pro světlo průhledné elektrody. Tyto průhledné elektrody jsou od substrátu oddělené oxidem SiO<sub>2</sub>. V tomto místě vzniká potenciálová jáma pro zachytávání náboje dopadajících fotonů. Jáma je zleva i zprava ohraničená sběracími elektrodami tvořenými ostrůvkami polovodiče typu N+ a nakontaktované přes polysilikonové nebo metalické kontakty. Ty jsou pak napojené na čtecí a zpracovávající výpočetní logiku snímače.

Isolační kanálky (Isolation Diffusion) pak vzájemně oddělují jednotlivé pixely pole PMD senzoru. Kombinace polovodičových ostrůvků N+ vůči P substrátu tvoří závěrně polarizovanou diodu, což je naznačeno na schématické značce (Obr. 3.20).

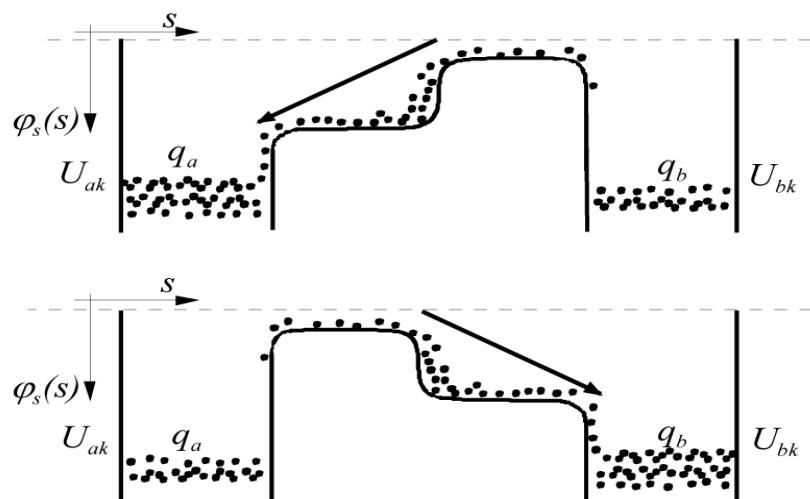
Pro jednotlivé pixely PMD senzoru lze jejich princip popsát následujícím způsobem. Na fotocitlivé elektrody se přivádí referenční modulační napěťový signál  $u_m$ . Tímto signálem byl modulovaný i vysílaný paprsek světla, přičemž na jednu elektrodu se přivádí signál fázově

posunutý o  $180^\circ$  proti vedlejší elektrodě. Elektrody jsou navíc předeplenuty stejnosměrným napětím  $U_o$  pro vytvoření potenciálové jámy pod elektrodou (Obr. 3.22). Levá elektroda napětím  $U_o+u_m$ , pravá elektroda napětím  $U_o-u_m$ .



Obr. 3.22: Zapojení PMD pixelu

Postupnou střídavou změnou potenciálu na obou elektrodách se odvádí nahromaděný náboj z dopadajícího světla buďto na levou nebo na pravou sběrací elektrodu. Tam je náboj snímán čtecí elektronikou.



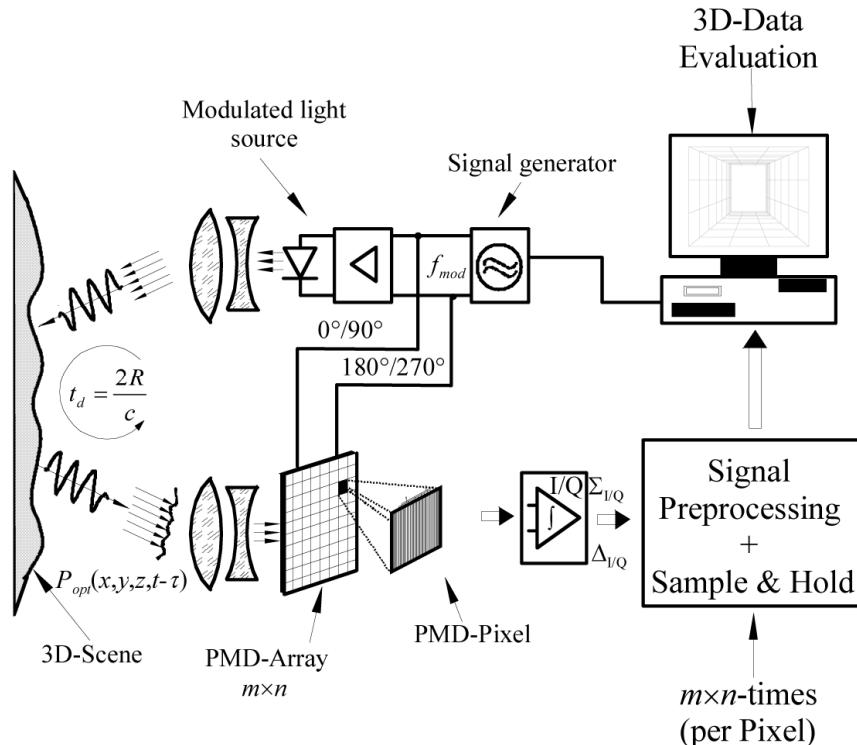
Obr. 3.23: Odvádění nahromaděného náboje pomocí střídavé změny potenciálu

Pokud je modulované dopadající světlo ve fázi s referenčním napěťovým signálem na elektrodách, tj. má stejný tvarový průběh, je vždy při kladné půlvlně náboj odváděn jen na pravou stranu. Pokud je světlo fázově posunuto o  $180^\circ$  je náboj odváděn na levou stranu.

elektrodu. V případě, že by byl fázově posunut o  $90^\circ$  proti referenčnímu signálu, je náboj vzniklý dopadajícím světlem stejnou měřenou vzdáleností odváděn na obě strany (na levou i pravou sběrací elektrodu).

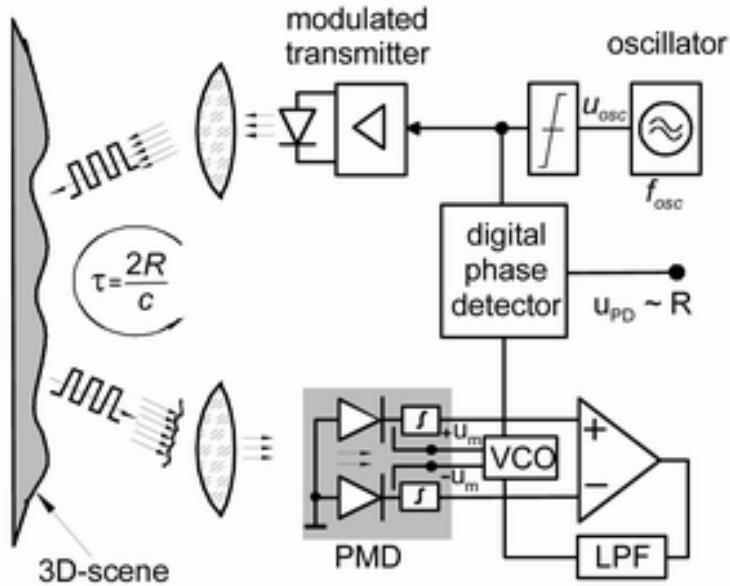
Vzniklé proudy z obou sběrných elektrod ( $i_1$  a  $i_2$ ) v sobě nesou následující informaci: **Součet obou proudů** ( $i_1 + i_2$ ) udává intenzitu dopadajícího záření a tím útlum způsobený odrazem od vzdáleného předmětu. **Rozdíl obou proudů** ( $i_1 - i_2$ ) udává fázový posuv dopadajícího světla na senzor (PMD pixel) proti světlu vyslaném vysílačem. Z tohoto fázového rozdílu zjistíme zpoždění dané dobou průchodu světla, za kterou světelný paprsek urazil měřenou vzdálenost od okamžiku, kdy vysílač světelný paprsek vyslal.

Citlivost měření času (tj. měření fáze) lze zvýšit překládáním referenčního signálu ve více různých fázových posunutích. Například  $0^\circ$  a  $90^\circ$  pro levou fotocitlivou elektrodu,  $180^\circ$  a  $270^\circ$  pro pravou elektrodu (Obr. 3.24).



Obr. 3.24: Princip PMD senzoru pro 3D měření vzdálenosti

Pro ještě přesnější měření vzdálenosti, méně citlivější na rušení a nelinearity, je možné použít provedení s fázovým závěsem *PMD-PLL* (Obr. 3.25). Signálovou hodnotou výstupu PMD snímače se řídí napěťově řízený oscilátor VCO. Ten mění fázi generovaného řídícího signálu pro PMD tak, aby výstupní signál byl maximální. Posun fáze VCO proti referenci dané oscilátorem vysílače tak odpovídá době šíření paprsku světla. Přesnost měření zde závisí hlavně na přesnosti zavěšení fázového závěsu.



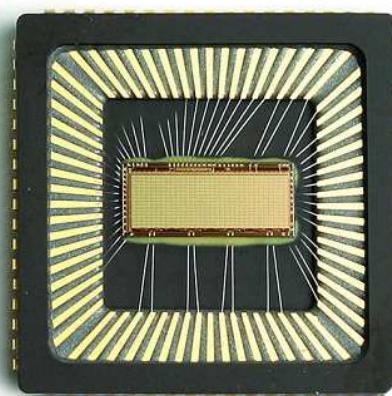
Obr. 3.25: Provedení PMD senzoru s fázovým závěsem PMD-PLL

### 3.4.2.2. Provedení PMD senzoru

PMD senzor je součástka, která je složena z pole jednotlivých PMD pixelů. Na obrázku (Obr. 3.26) je zobrazen PMD senzor *PhotonICs® PMD 1k-S* firmy PMD Technologies GmbH (<http://www.pmdtec.com>).

Vybrané parametry *PhotonICs® PMD 1k-S* senzoru jsou:

- 64 x 16 pixelů, 4:1 panoramatický poměr stran
- šířka pásma >100MHz
- faktor plnění > 20%
- potlačení okolního světla 76dB
- čtecí rychlosť až 2MHz



Obr. 3.26: PMD senzor *PhotonICs® PMD 1k-S*

Takovéto PMD senzory se používají v kamerách, například v miniaturní kameře *SR-2* (Obr. 3.27) od CSEM SA (The Swiss Center for Electronics and Microtechnology) (<http://www.csem.ch>).



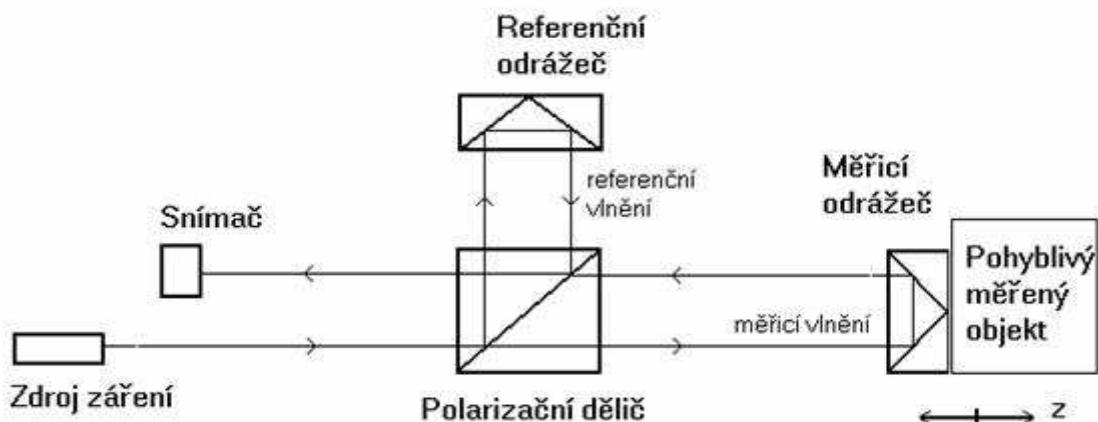
**Obr. 3.27: Miniaturní 3D TOF kamera SR-2 s možností připojení USB 2.0**

Vybrané parametry 3D TOF kamery *SR-2*:

- rozlišení až 124x160 pixelů
- použitá vlnová délka 870nm a optický výkon 800mW
- dosah až 7,5m / 30 snímků za sekundu (fps)
- rozhraní USB 2.0
- spotřeba 18W (12V)
- rozměry 135(W) x 45(H) x 32(D), hmotnost 0,2kg

### 3.5. Metody optické interferometrie

Jedná se o metody, jejichž princip je založen na měření doby letu koherentního záření. Jak ukazuje (Obr. 3.28) je vlnění rozděleno na měřicí (signálové, předmětové) a referenční.



**Obr. 3.28: Blokové schéma interferometru**

Spojí-li se vlna rozptýlená od předmětu s referenční vlnou, mohou spolu interferovat. Pokud je první vlna (předmětová) dáná výrazem  $U_1 = \sqrt{I_1} \cdot \cos(\varphi_1)$ , kde  $I_1$  je intenzita vlny a  $\varphi_1$  je její fáze a pokud toto platí i pro vlnu druhou (referenční), tj.  $U_2 = \sqrt{I_2} \cdot \cos(\varphi_2)$ , vznikne tak vlnění, jehož celková intenzita je dáná tzv. interferenční rovnicí (3.8), kde (3.9) je fázový rozdíl obou vln.

$$I = I_1 + I_2 + 2 \cdot \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \cos(\varphi) \quad (3.8)$$

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (3.9)$$

Protože je měřen fázový rozdíl, neumožňuje metoda měřit absolutní vzdálenost zkoumaných bodů. Jednoznačné určení vzdálenosti objektu můžeme získat jen ve velmi úzkém rozsahu závislém na vlnové délce použitého světla (v rozsahu  $\lambda/2$ ).

Nejvýznamnější principy založené na základech optické interferometrie jsou:

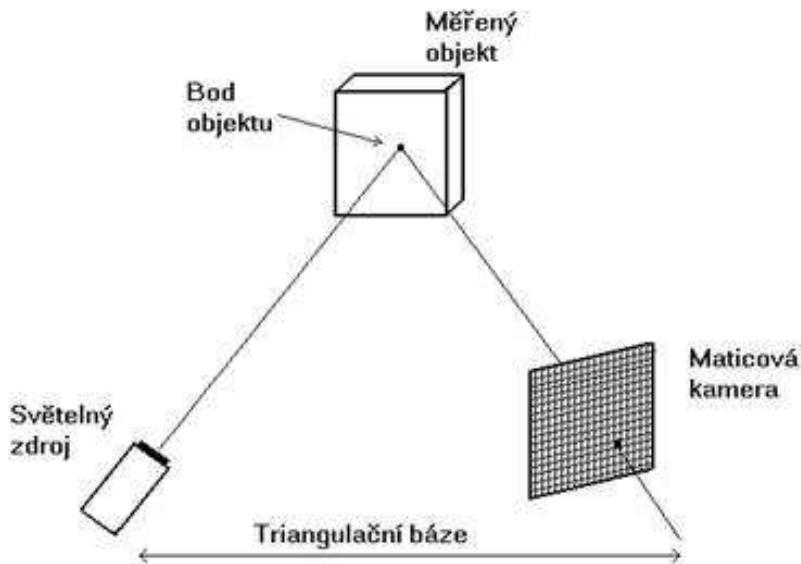
- interferometrie pracující s více vlnovými délkami
- holografická interferometrie
- skvrnová interferometrie
- interferometrie s bílým světlem

## 3.6. Aktivní triangulace

Metoda aktivní triangulace spočívá v rekonstrukci snímaného objektu ozářením jeho povrchu světelným zdrojem a současným snímáním senzorem - kamerou.

### 3.6.1. Triangulační trojúhleník

Zdroj světla spolu se snímačem a osvětleným bodem na zkoumaném objektu tvoří tzv. triangulační trojúhelník (Obr. 3.29). Vzdálenost světelného zdroje a snímače (v našem případě kamery) nazýváme triangulační bází (základnou - base). Na straně zdroje je úhel svíraný s triangulační bází neměnný. Naopak na straně snímače je úhel určen proměnnou pozicí 3D bodu v prostoru. Z velikosti tohoto úhlu a na základě znalosti triangulační báze lze určit vzdálenost bodu v prostoru.



Obr. 3.29: Triangulační trojúhelník a jeho báze pro 1D triangulaci

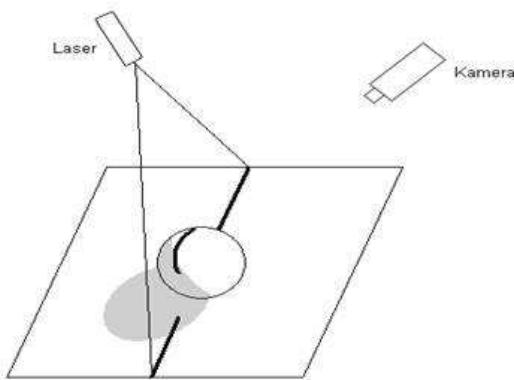
### 3.6.2. Rozdělení triangulace

Triangulaci můžeme rozdělit na:

- použití světelného paprsku - 1D triangulace
- použití světelného pruhu (čáry) - 2D triangulace
- použití strukturovaného světelného svazku - 3D triangulace

### 3.6.3. Problémy triangulačních metod

Jistou nevýhodou triangulačních metod je to, že díky konkavitám v měřeném objektu nemusí být promítaný bod, pruh či vzor vždy viditelný, a tedy nelze v tomto místě nic říci o povrchu objektu. Na Obr. 3.30 je rovina proužku vytvořena laserem a scénu snímá kamera. Sedé plošky na obrázku znázorňují oblast, kterou kamera nevidí („uzavřený povrch“). Dolní část koule není zase osvětlena rovinou z laseru. Jisté problémy mohou činit také povrchy, které jsou téměř rovnoběžné s rovinou proužku. Tyto povrchy budou na snímku špatně zřetelné.



**Obr. 3.30: Problém viditelnosti u triangulačních metod**

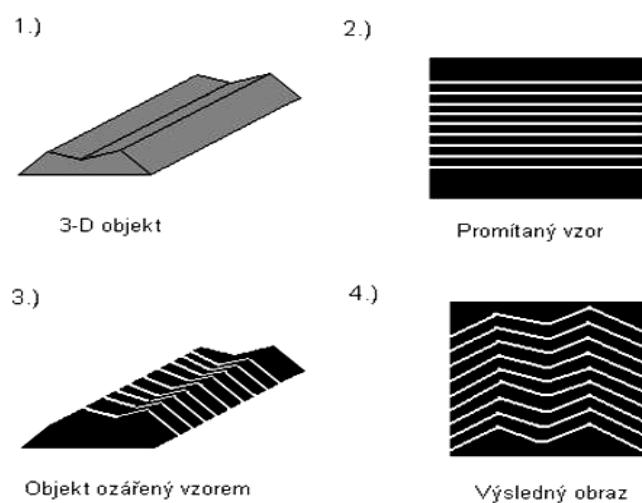
### 3.6.4. 3D triangulace

Použijeme-li strukturovaný světelný svazek, je celý objekt označen najednou, což je velká výhoda oproti metodám 1D a 2D triangulace, kdy je třeba pracně a zdlouhavě skenovat scénu.

Mezi techniky založené na 3D triangulaci patří:

- technika moiré
- technika světelného vzoru
- technika barevného kódu
- technika fázového posuvu

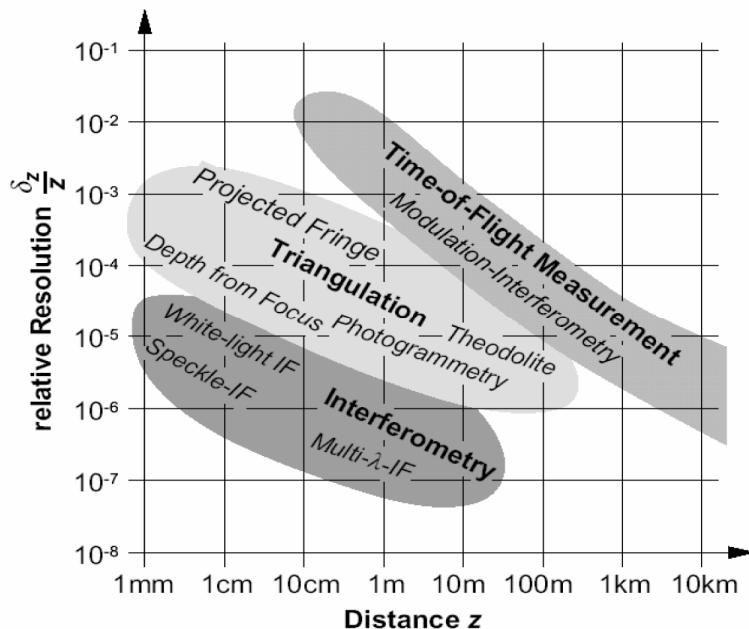
Obr. 3.31 naznačuje jednu z možností 3D triangulace, kdy je na trojrozměrný objekt promítnut vzor (např. pruhy či mřížka). Podle deformací vzoru na objektu lze určit tvar objektu.



**Obr. 3.31: Technika světelného vzoru u 3D triangulace**

### 3.7. Zhodnocení vybraných metod měření vzdáleností

Zde bych chtěl shrnout základní výhody a nevýhody použití jednotlivých vybraných metod měření vzdáleností pro konkrétní aplikaci, tj. pro model héliem plněné vzducholodě. Pro tuto aplikaci byly kladené požadavky především na hmotnost a spotřebu elektronického zařízení použitého na vzducholodi. Přesnost měření naopak nemusí být vysoká, měla by splňovat požadavek na detekci překážek, které by mohly ohrozit pohyb vzducholodě.



Obr. 3.32: Porovnání metod pro měření vzdáleností (jejich dosah a relativní rozlišení)

Metoda určování vzdálenosti ze snímků pořízených při známé ostřící vzdálenosti, by pro naše účely byla vhodující a výsledná hloubková mapa scény by svojí přesností vydovovala. Bohužel rychlosť ostření je malá a při pořizování několika snímků tato metoda svou rychlosťí vůbec nevyhovuje. Také váha aparátu, který by prováděl ostření čoček, by byla značná, čehož se snažíme vyvarovat.

Stereovidění (metoda pasivní triangulace) byla jedna ze základních, které přicházeli v úvahu. Její výhodou je hmotnost, nízká spotřeba elektronického zařízení a poměrně nízká cena. Ovšem i při zjednodušených uvedených při popisu této metody je stereovidění značně výpočetně náročné. Realizace by byla možná při použití výkonného mobilního procesoru a algoritmech vytvářených přímo pro konkrétní procesor.

Metoda aktivní triangulace je sice méně výpočetně náročná, ale problémy nastávají s použitím laserového modulu pro promítání strukturovaného světla (v nejjednoduším případě čáry) do scény. Výkon takového laseru by musel být značný a tím by se zvýšila spotřeba

celého zařízení. Také okolní světlo by bez použití optického filtru činilo velké obtíže. Pro levnější laserové moduly s vlnovou délkou 650, 670nm, tj. odstíny červené barvy, nastavají problémy s výběrem vhodného optického filtru. Tyto levnější moduly nejsou totiž teplotně stabilizované a svojí vlnovou délku částečně mění s okolní teplotou. Naopak optické filtry pro tyto vlnové délky jsou velmi úzké (přibližně 2nm). Teplotní stabilizace laseru by zvýšila spotřebu. Kvůli těmto omezením a dosahu čarového laseru není tato metoda měření vhodná pro model vzducholodě. (Simulace optického filtru by se dala provést temným prostředím, tj. aby okolní světlo neovlivnilo zpracování promítнутého strukturovaného světla.)

Další možnou metodou je metoda „Time Of Flight“. Je to metoda měření vzdálenosti na principu dobu letu paprsku a měření rozdílu fází vyslaného a přijatého světelného signálu. Tato metoda je velice přesná. Samotná metoda TOF však není vhodná pro měření hloubky scény. Museli bychom totiž změřit vybrané body scény změřit jednotlivě. To znamená rozmitat paprsek ve dvou osách, což by bylo časově neúnosné pro zpracování v reálném čase (RT).

Variantou metody TOF je technologie PMD. Tato metoda měří vzdálenost na stejném principu, tj. rozdíl fází vyslaného a přijatého světelného signálu. Její výhodou je, že PMD senzor se skládá z pole PMD pixelů. Každý pixel tak měří ve stejném okamžiku jiný bod ve scéně a můžeme tedy v reálném čase rekonstruovat hloubkovou mapu. Výhodou PMD pixelu je, že odpadají všechny diskrétní části a prvky od příjmu světla až po obvody zpracování (Obr. 3.20). Tím se značně zjednoduší elektronická složitost měřícího zařízení (a mírně i váha). Nevýhodou může být spotřeba zdroje světelných signálů, záleží na rozlišení PMD senzoru.

## 4 Komunikační prostředky I<sup>2</sup>C a LPT

Pro dále navržený HW a jeho komunikaci jsem se rozhodl používat sběrnici I<sup>2</sup>C (IIC), proto je v této kapitole popsáno chování a koncept této sběrnice.

Abych mohl experimentovat s CMOS kamerami TC5747MF24L a komunikací I<sup>2</sup>C, vytvořil jsem si pomocí LPT portu v Microsoft Windows XP univerzální rozhraní, které komunikuje pomocí knihovny *inpout32.dll*. Jako vývojové prostředí jsem využil především Microsoft Visual Studio .NET 2003 - C#.

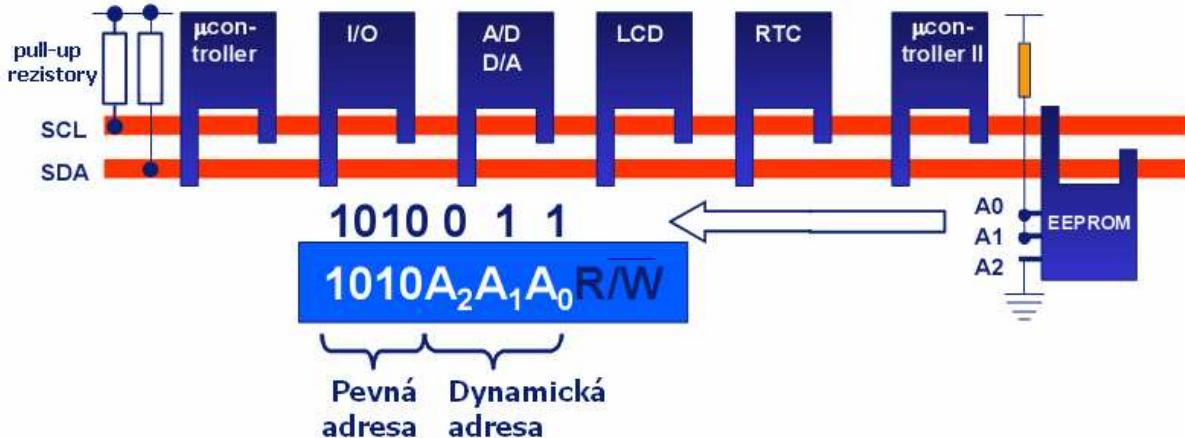
### 4.1. I<sup>2</sup>C sběrnice

I<sup>2</sup>C sběrnice (IIC, Inter-IC bus) je datové propojení mezi jedním nebo několika procesory (Masters) a speciálními periferními součástkami (Slaves), které vyvinula firma Philips. Veškerá komunikace probíhá pomocí dvouvodičového propojení. Všechny součástky jsou připojeny na téže sběrnici a jsou cíleně vybírány pomocí svých adres. Adresy i data se přenášejí stejnými vodiči. Sběrnice umožňuje velmi jednoduché propojení mezi několika integrovanými obvody a především bezproblémové dodatečné rozšiřování.

Mohou být připojeny všechny integrované obvody, které zvládají speciální protokol sběrnice. Mimo integrovaných obvodů RAM, EEPROM, obvodů pro rozšíření portů, A/D a D/A převodníků a obvodů hodinových signálů existuje ještě celá řada speciálních integrovaných obvodů, jako například budiče displejů nebo integrovaných obvodů pro televizní a audio techniku. Všechny tyto součástky je možno v nejjednodušším případě ovládat pomocí dvou linek paralelního rozhraní osobního počítače (LPT), případně při použití několika externích součástek lze využít i sériové rozhraní osobního počítače.

#### 4.1.1. Protokol sběrnice

Sběrnice I<sup>2</sup>C používá sériovou datovou linku SDA a linku hodinového signálu SCL. Data a adresy se přenášejí podobně jako v posuvných registrech společně hodinovými impulsy. Obě linky je možno používat jako obousměrné. Jsou vybaveny zvyšovacím (pull-up) odporem a mohou být každým účastníkem sběrnice staženy na nízkou úroveň výstupem s otevřeným kolektorem nebo drainem.



Obr. 4.33: Princip propojení sběrnice a možnost adresace jednotlivých zařízení

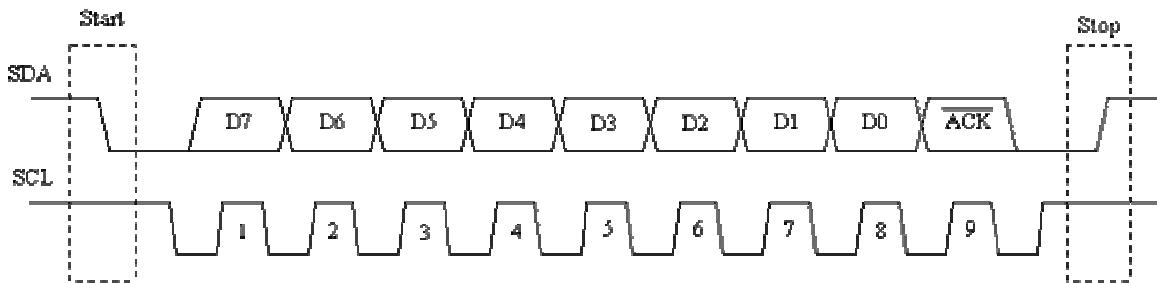
Obrázek (Obr. 4.33) ukazuje princip propojení sběrnice a možnosti adresace jednotlivých zařízení. Neaktivní účastníci sběrnice mají vysokou impedanci. Neustále však vydohodnocují signály na sběrnici. Při použití jednoho Mastera, vydává hodinový signál on. Data jsou vysílána jak Masterem, tak Slavem.

#### 4.1.1.1. Komunikace na sběrnici I<sup>2</sup>C

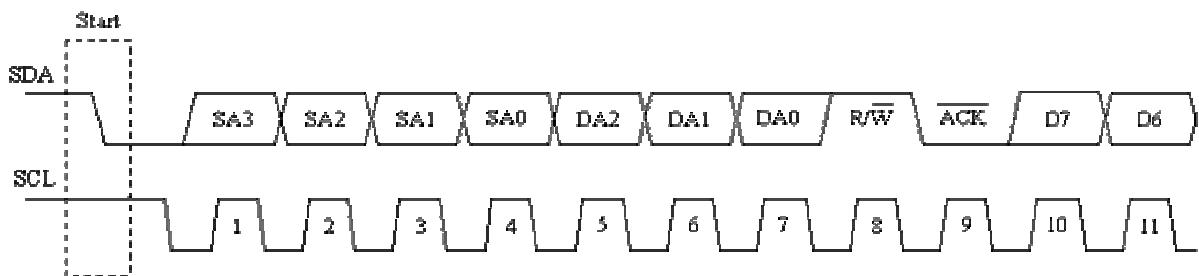
Protokol I<sup>2</sup>C rozeznává řadu přesně definovaných situací, které každému účastníkovi umožňují rozpozнат začátek a konec přenosu a také své možné adresování.

V následujícím textu jsou popsány situace *Klidový stav*, *Podmínka zahájení přenosu*, *Podmínka ukončení přenosu*, *Přenos dat a Potvrzení*.

- *Klidový stav*: SDA i SCL jsou na vysoké úrovni (HIGH) a tudíž neaktivní.
- *Podmínka zahájení přenosu (startu)*: SDA je masterem stažena na nízkou úroveň, zatímco SCL zůstává na vysoké úrovni.
- *Podmínka ukončení přenosu (stop)*: SDA přejde z nízké na vysokou úroveň, SCL zůstává na vysoké úrovni.
- *Přenos dat*: Příslušný vysílač přiveze na datovou linku SDA osm datových bitů, které jsou hodinovými impulsy na lince SCL vysílanými masterem posouvány dále. Přenos začíná bitem s nejvyšší váhou.
- *Potvrzení(acknowledge)*: Příslušný přijímač potvrzuje příjem bytu nízkou úrovní na SDA, dokud master nevyšle devátý hodinový impuls na SCL. Potvrzení současně znamená, že se má přijímat další byte. Požadované ukončení přenosu se musí ohlásit neexistencí potvrzení. Vlastního ukončení přenosu se dosahuje podmínkou stopu.

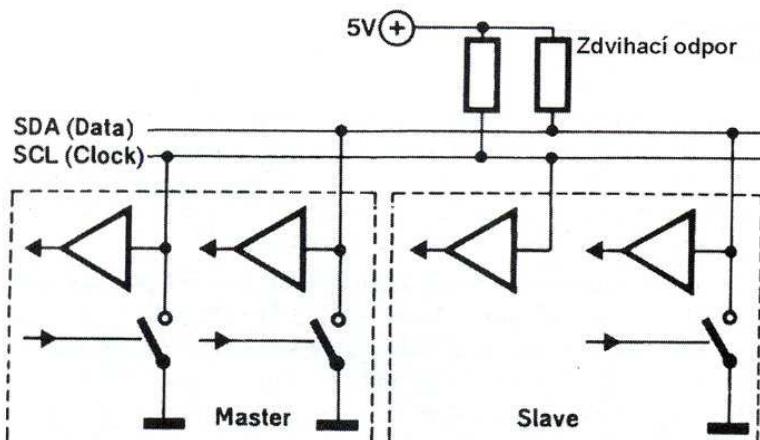


Obr. 4.34: Start a stop podmínky komunikace po I2C, přenos dat Master->Slave



Obr. 4.35: Příklad čtení dat od zařízení Slave

Přenos a potvrzování adres se provádí přesně stejně jako přenos dat. V nejjednodušším případě přenosu dat od mastera k podřízenému zařízení (slave), např. výstupnímu portu, probíhají následující děje: master vytvoří podmínu startu a pak v bitech 7 až 1 přenese adresu portu (součástky) a v bitu 0 požadovaný směr přenosu dat - 0 pro „zápis“, 1 pro „čtení“. Adresované zařízení (slave) adresu potvrdí. Pak master vyšle datový byte, který bude rovněž potvrzen. Master nyní může spojení přerušit zasláním podmínky stopu nebo může témuž zařízení slave posílat další byty (bajty).



Obr. 4.36: Propojení mezi integrovanými obvody typu master a slave na I2C sběrnici

Mají-li se číst data od zařízení slave (Obr. 4.35), musí se adresa přenést s nahozeným bitem přenosu R/W. Master vždy vydá osm hodinových impulsů a dostane osm datových bitů. Potvrdí-li příjem vysláním devátého hodinového impulsu, může přijímat další byty. Přenos je masterem ukončen vynecháním potvrzení a podmínkou stopu.

Každá součástka I<sup>2</sup>C má stanovenou svoji adresu, která je zčásti pro daný typ zařízení (součástky) specifikovaná (SA0...SA3), zčásti dynamická (DA0...DA2). Při třech vyvedených adresních linkách může být na jedné sběrnici I<sup>2</sup>C až osm součástek téhož typu. Maximální hodinový kmitočet pro sběrnici I<sup>2</sup>C je pro většinu integrovaných obvodů 100 kHz. Hodinový kmitočet 100 kHz se nazývá *standart mode*. Použít však můžeme ještě *fast mode*, který pracuje s hodinovým signálem 400 kHz nebo další modifikované rychlosti jako *Hs-Mode* (3,4 Mbit/s), apod.

## 4.2. Popis paralelního rozhraní PC (LPT port)

Paralelní port LPT je standardní součástí běžných počítačů PC pro paralelní komunikaci s perifériemi pomocí 17 digitálních linek. Tyto linky můžeme rozdělit na 8 datových signálů a 9 signálů pro řízení komunikace (handshaking). Jeho vstupy a výstupy jsou kompatibilní s technologií TTL, z výstupů je možno trvale odebírat proud přibližně 10 mA.

Výhodou pro simulaci I<sup>2</sup>C komunikace po LPT portu je teoretické přímé připojení linek bez použití externích součástek. V praxi je doporučeno alespoň LPT port a externí zařízení oddělit (oddělovacím bufferem).

### 4.2.1. Vývoj LPT

Původně byl paralelní port pro PC účelově vytvořen pro komunikaci s tiskárnou, tedy jednosměrný přenos dat od PC do tiskárny. Později však byl dalšími módy uzpůsoben i pro obousměrný přenos dat rychlostí až jednotek MB/s. Paralelní port byl v roce 1994 standardizován pod názvem IEEE 1284. Tento standard definuje 5 módů činnosti:

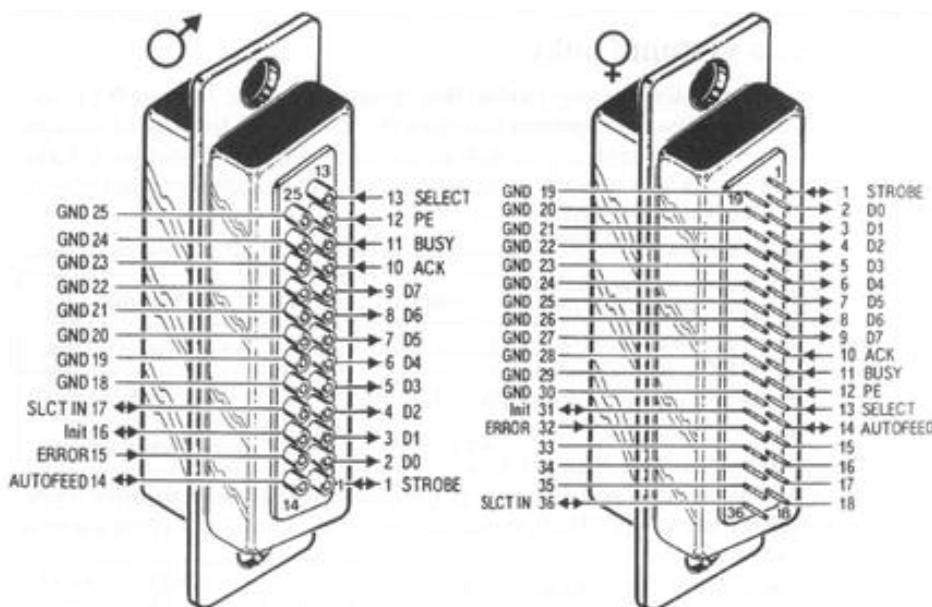
- SPP mode - Compatibility Mode (Centronics mode)
- Nibble Mode
- Byte Mode
- EPP Mode (Enhanced Parallel Port)
- ECP Mode (Extended Capabilities Mode)

#### 4.2.2. Zapojení vývodů LPT portu

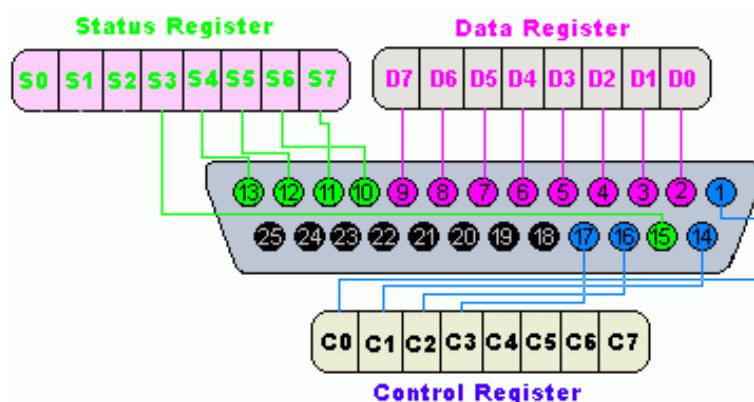
Pro paralelní port se nejčastěji používají 2 typy konektorů:

- 25 pin D-sub female konektor (Obr. 4.37), který je dnes obvykle součástí základní desky PC
- 36 pin Centronics female konektor, který se obvykle vyskytuje na tiskárnách a jiných periferních zařízeních

V tabulce (Tab. 1) je popis jednotlivých pinů a signálů, které je reprezentují. Dále je zde uvedena příslušnost k danému ovládacímu registru PC (Data, Status, Control).



Obr. 4.37: Přiřazení signálů LPT portu 25 pinovému D-SUB konektoru



Obr. 4.38: Rozložení pinů na konektoru a příslušnost k danému registru

# pin (D-Sub)	Signál - název	Směr In/out	Registr	Hardverově invertovaný
1	nStrobe	In/Out	Control	ano
2	Data 0	Out	Data	
3	Data 1	Out	Data	
4	Data 2	Out	Data	
5	Data 3	Out	Data	
6	Data 4	Out	Data	
7	Data 5	Out	Data	
8	Data 6	Out	Data	
9	Data 7	Out	Data	
10	nAck	In	Status	
11	Busy	In	Status	ano
12	Paper-Out / Paper-End	In	Status	
13	Select	In	Status	
14	nAuto-Linefeed	In/Out	Control	ano
15	nError / nFault	In	Status	
16	nInitialize	In/Out	Control	
17	nSelect-Printer / nSelect-In	In/Out	Control	ano
18 - 25	Ground	Gnd		

**Tab. 1: Přiřazení pinů D-Type 25 pin konektoru paralelního portu**

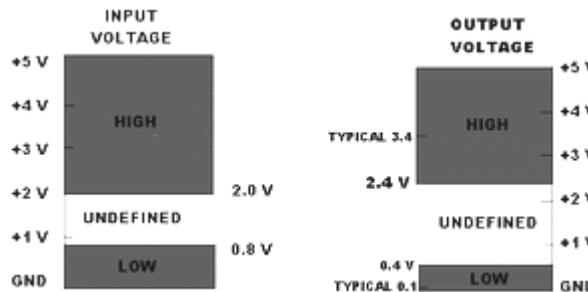
K adresování paralelního portu slouží bázová adresa **BA** (datový registr, zápis). Dále jsou zde ještě dvě adresy, **BA+1** (stavový registr, čtení) a **BA+2** (řídicí registr, čtení i zápis).

Registr	LPT1	LPT2
Data registr (BA + 0)	0x378	0x278
Status registr (BA + 1)	0x379	0x279
Control registr (BA + 2)	0x37a	0x27a

**Tab. 2: Registry a jejich bázové adresy**

#### 4.2.3. Úrovně signálu na LPT portu

Výstupní signály paralelního portu jsou definovány klasickou **TTL logickou úrovni** signálů. Log. 1. odpovídá hladině +3.5V až +5V a log. 0 hladině 0V až +0.4V (Obr. 4.39).



Obr. 4.39: Typické napěťové úrovně pro TTL

Rozdílné hodnoty maximálních zátěžových proudů paralelního portu se liší v závislosti na fyzické realizaci paralelního portu. Maximální hodnoty odebíraného proudu se mohou pohybovat od 4mA do 20mA. Proto je vždy nejvhodnější na paralelním rozhraní komunikujícího zařízení využít oddělovací buffer.

### 4.3. Knihovna pro přístup na paralelní port ve Win XP

Při výběru vhodného přístupu na paralelní port PC byly mými požadavky, aby byl daný způsob využitelný v OS Microsoft Windows XP, byl použitelný pro programovací jazyk C a práce s daným řešením byla co nejjednodušší. S příchodem OS Windows na bázi NT (tj. Win XP) však nastávají problémy s přímým přístupem na paralelním port (i ostatní porty). Programy s přístupem na LPT psané klasickým způsobem pro DOS / Windows 95, 98, Me nelze použít, protože vyvolávají chybovou hlášku a program je přerušen. To je způsobenou ochrannou OS, který pracuje v tzv. chráněném módu, který přiděluje práva k přístupu jen některým programům. Ten rozděluje všechny programy do dvou kategorií *User mode* a *Kernel mode*. Běžně psané programy spadají právě do *User mode*, který neumožňuje přístup na porty příkazy IN, OUT apod. V *kernel mode* tyto omezení nejsou. Proto je nutné použít driver, který zde běží. Tento driver pak může využít běžící uživatelský program pro přístup na port.

Další možností je použít programy dovolující starším aplikacím přístup na paralelní port (např. UserPort nebo PortTalk). Toto řešení je však již méně „elegantní“ a proto jsem od něho upustil.

Z nabízených univerzálních knihoven (inpout32.dll, dlportio.dll,...) jsem si vybral knihovnu inpoud32.dll pracující pod OS Windows XP, ale kompatibilní i se staršími verzemi OS Windows.

Dvě hlavní funkce, které obsahuje knihovna inpout32.dll jsou *Inp32* a *Out32*. Z názvu již vyplývá, že *Inp32* slouží ke čtení dat z portu a *Out32* k zápisu dat na port. Ostatními funkcemi knihovny inpout32.dll jsou *dllMain*, *closeDriver*, *openDriver*, *inst*, *start*, *systemVersion*.

## 5 Návrh a realizace HW

V této kapitole je blíže rozebrán výběr komponent pro návrh řešení metody aktivní 2D triangulace (v rovině), při požadavcích kladených na model heliem plněné vzducholodi.

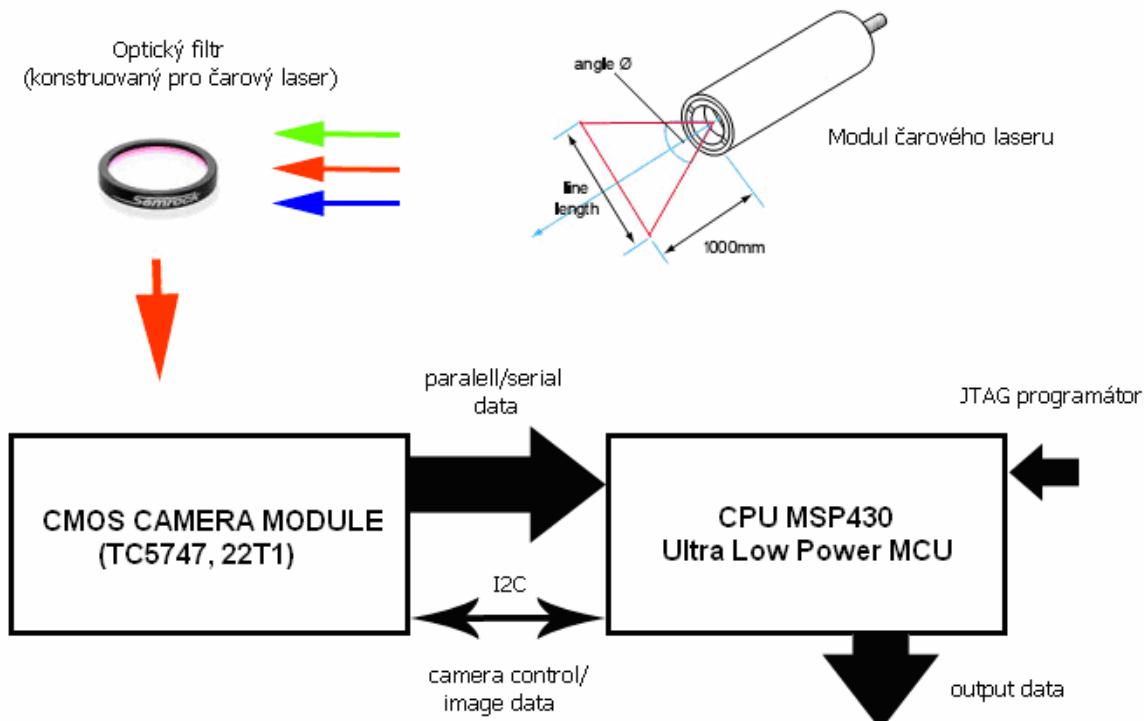
Popsána je zde také komunikace po sběrnici I<sup>2</sup>C, simulována pomocí osobního počítače přes paralelní port (LPT). Tato komunikace je realizována pomocí vyrobeného LPT<->I<sup>2</sup>C adaptérů.

### 5.1. Části HW

Pro návrh blokového schématu (Obr. 5.40) jsem použil následující hlavní části:

- Miniaturen CMOS modul – kamera (TC5747, 22T1)
- Ultra-Low Power mikroprocesor řady MSP430 (TI) – MSP430F169
- Optický (Laser line notch) filtr (pro jedinou čáru)
- Laserový modul s optikou vytvářející čaru

Princip činnosti je zřejmý z blokového schématu (Obr. 5.40). Strukturované světlo, v našem případě čára, je promítнуto do scény. Obraz scény je po odfiltrování nežádoucího světelného záření, přes optický filtr, zachycen kamerou. Obrazová data z kamery jsou předávána μP řady MSP430 (sériově, paralelně nebo po I<sup>2</sup>C sběrnici). μP po obdržení dat pomocí triangulačních metod vypočítá jednotlivé vzdálenosti (v rovině).



Obr. 5.40: Blokové schéma pro 2D triangulaci

Pro přenos dat (vzdáleností) pro následné algoritmy pohybu vzducholodi lze využít sériové komunikace (UART), SPI nebo I<sup>2</sup>C (pro konkrétní µP MSP430F169).

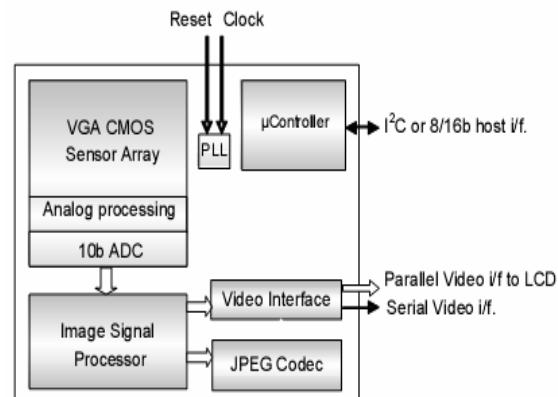
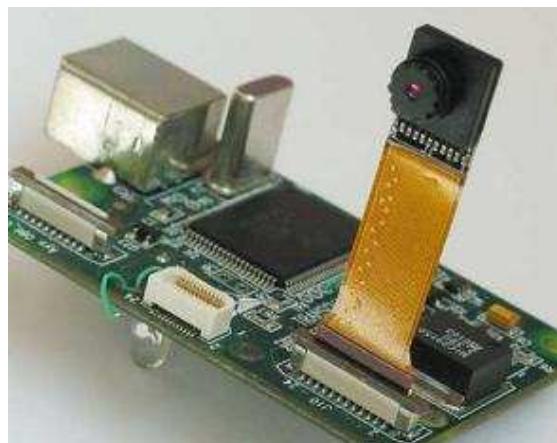
Vlastnosti a parametry jednotlivých částí navrženého HW jsou popsány v samostatných kapitolách (viz. níže).

## 5.2. Kamery

Na trhu existuje mnoho různých CMOS modulů – kamer. Snažil jsem se tedy získat dostupné vzorky kamer, pokud možno s dostatečnou dokumentací pro práci s nimi.

### 5.2.1. Transchip CMOS modul - TC5747

Kamera TC5747 (Obr. 5.41) od firmy Transchip je miniaturní VGA CMOS modul s obrazovým procesorem přímo na chipu s nízkou spotřebou.



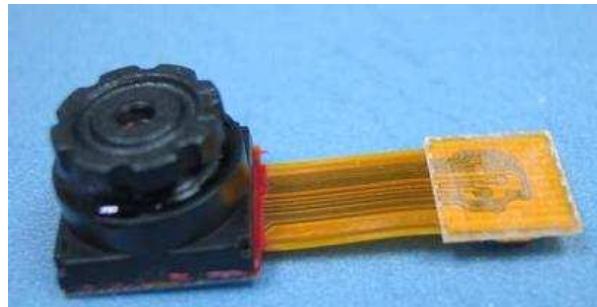
Obr. 5.41: CMOS modul TC5747 s vývojovou deskou a blokové schéma CMOS modulu

Kamera se napájí napětím 2,8V(±10%) a její spotřeba je 85mW (VGA@15fps / 24MHz) s možností přechodu do sleep módu. Modul obsahuje PLL, hodinový signál se pohybuje od 3,68MHz do 32MHz. Data se z kamery mohou číst paralelním nebo sériovým výstupem. Senzor má 648x492 (640x480) aktivních pixelů a 10bit ADC. CMOS modul dále obsahuje přímo v sobě embedded micro-controller (ISP), kterým se dají provádět operace s obrázkem (automatické vyvážení bílé a expozice, gama korekce, 32kB paměti pro program embedded mikrokontroléru,aj.)

Optiku tvoří dvě plastové čočky, ostřící vzdálenost je 25cm až nekonečno a úhel viditelnosti je 60° diagonálně. Modul se připojuje konektorem „flex-cable“ a jeho rozměry jsou 9,8 x 9,45 x 5,5mm.

### **5.2.2. Mircojet CMOS modul – 22T1**

Kamera 22T1 (Obr. 5.41) od firmy Microjet je miniaturní CMOS modul s obrazovým senzorem OV9653 (1,3MPix) a velmi nízkou spotřebou.



**Obr. 5.42: CMOS modul 22T1**

Napájecí napětí kamery je rozděleno do tří částí: jádro se napájí 1,8V( $\pm 10\%$ ), analogové obvody napětím 2,45 až 2,8V a napájecí napětí pro IO je 2,5V až VDD\_A+0,3V. V aktivním módru je spotřeba kamery 50mW a v režimu „stand-by“ 30 $\mu$ W. Vstupní hodinová frekvence modulu je od 10 do 48MHz (typicky 24MHz). Rozlišení CMOS modulu je 1,3MPix (počet aktivních pixelů 1300 x 1024) a má programovatelnou gama korekci obrazu. Výstup dat je možné si vybrat z následujících formátů – YUV/YCbCr 4:2:2, RGB 4:2:2 nebo Raw RGB data. Rychlosť snímkování je pro VGA 30fps a nejvyšší možné snímkování je 120fps při režimu QCIF.

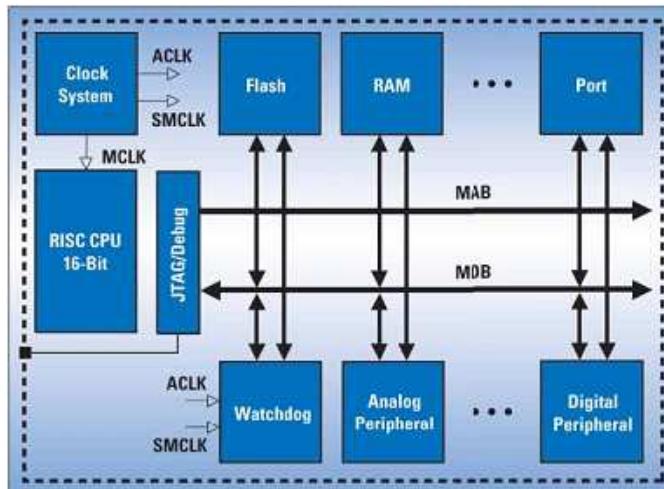
Optickou část modulu tvoří 3 čočky (1G + 2P). Ostřící vzdálenost je 30cm až nekonečno a úhel viditelnosti je 62° diagonálně.

## **5.3. Mikroprocesor MSP430**

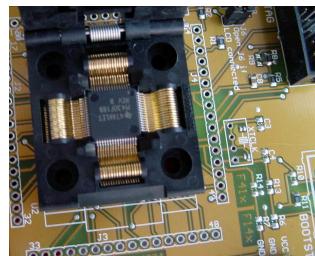
Mikroprocesory řady MSP430 od firmy Texas Instruments mají 16bitovou RISC CPU a velmi malou spotřebu, vyhovující požadavkům na mobilní zařízení. Obsahují mnoho integrovaných periferií, velikost paměti RAM mohou mít až 10kB a pro program můžeme využít od 1kB do 120kB ISP Flash.

### **5.3.1. Vlastnosti mikroprocesoru MSP430F169**

Pro komunikaci s kamerou a její řízení využijeme především možnosti komunikovat po I<sup>2</sup>C sběrnici. I<sup>2</sup>C komunikace je integrovanou periférií mikroprocesoru MSP430F169. Paměti a jednotlivé periferie μP (včetně hlídacích obvodů) mají společný adresový prostor. Také sdílejí společnou adresovou (MAB) a datovou (MDB) sběrnici (Obr. 5.43).



Obr. 5.43: Architektura mikroprocesorů řady MSP430



Obr. 5.44: MSP430F169 v patici programátoru

### 5.3.2. Vývojové prostředí pro mikroprocesory řady MSP430

Pro tyto mikroprocesory (konkrétně pak pro MSP430F169) jsem si také vybral vývojové prostředí IAR Embedded Workbench KickStart a USB programátor MSP FET430 U64 s paticí pro pouzdra 64-LQFP. V IAR Embedded Workbench KickStart pak lze použít programovacího jazyka C nebo assembleru.



Obr. 5.45: Development kit pro mikroprocesory řady MSP430

## 5.4. Laserový modul – čarový

Pro metodu 2D aktivní triangulace je zapotřebí čarového laseru (a pokud možno také optického filtru). Problémem bylo vybrat vhodnou kombinaci vlnové délky laseru a k němu vhodný optický filtr s příslušnými parametry. Při promítání čary vytvořené optikou z bodového laserového modulu nastaly problémy viditelnosti za bežného denního osvětlení uvnitř budovy (použití při běžném venkovním osvětlení bylo ještě horší), protože světelný výkon je rozdělen do celé šíře čáry (v našem případě o úhlu  $60^\circ$ ) a to nerovnoměrně. Největší světelný výkon je soustředován do středu a při krajích intenzita laserové čáry klesá.



Obr. 5.46: Laserový modul a optika vytvářející „čáru“

Z těchto důvodů jsem se již nedostal ke koupi laserového modulu a případného použití, pro simulaci optického filtru, v tmavém prostředí.

## 5.5. LPT-I<sup>2</sup>C adaptér

Zde je popsán LPT<->I<sup>2</sup>C adaptér vytvořený pro komunikaci s kamerou TC5747.

### 5.5.1. Proč použít I<sup>2</sup>C sběrnici a paralelní port?

Sběrnici I<sup>2</sup>C jsem použil především kvůli flexibilnosti a jednoduchosti komunikace. Paralelní port by vybrán z důvodu jednoduchosti a praktičnosti pro I<sup>2</sup>C komunikaci, s minimem použitých externích součástek. Při použití sériového nebo USB portu je složitost a cena vyšší.

Největší nevýhodou paralelního portu je jeho použití v budoucnosti, jelikož většina výrobců osobních počítačů nebo notebooků od paralelních a sériových portů upouští a soustředuje se především na USB porty.

## 5.5.2. Napájení adaptéru

Vstupy a výstupy paralelního portu jsou kompatibilní s technologií TTL (5V) a z výstupů je možno trvale odebírat proud přibližně 10 mA. Aby nebyl paralelní port příliš zatěžován, bylo nutné vyrobit externí napájecí zdroj.

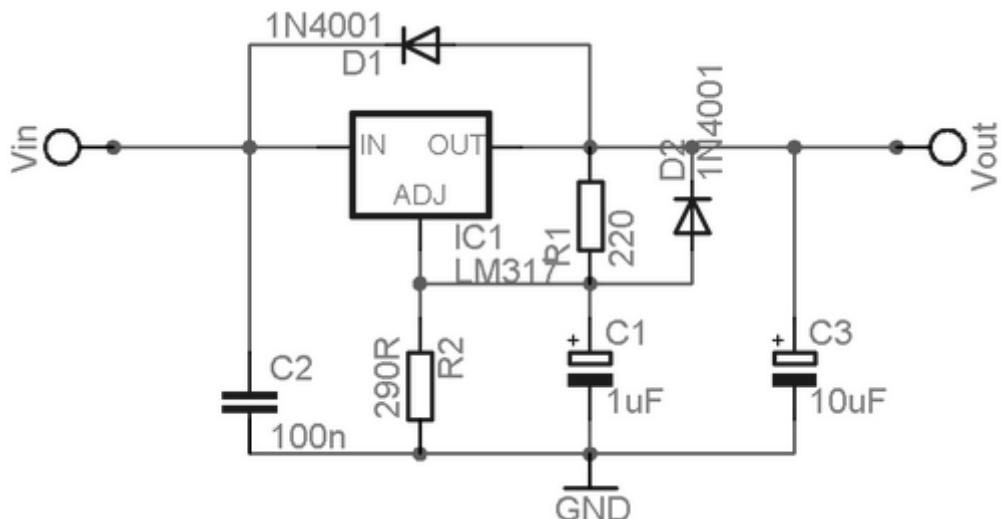
Kamera TC5747 má doporučené napájecí napětí 2,8V (max. 3V). Napájecí napětí zdroje bylo tedy zvoleno na 2,8V. Jako vhodný lineární stabilizátor napětí byl vybrán IO LM317. Je to třísvorkový stabilizátor (v tomto případě v pouzdru TO220) s rozsahem výstupního 1,2V až 37V a s možností dodat proud až 1,5A. Obvod má také ochranu proti zkratu – omezením.

Odpory R1 a R2 tak tvoří napěťový dělič. Výstupní napětí je možné měnit hodnotou rezistoru R2 (velikost odporu R1 je výrobcem doporučena na  $240\Omega$ , v našem případě zvolená na  $220\Omega$ ). Mezi vývody IO 1 a 3 se obvod snaží udržet rozdíl napětí 1,25V. Podle rovnice

$$R2 = R1 \cdot \left( \frac{U_0}{1,2} - 1 \right) \quad (3.10)$$

určíme pro požadovanou hodnotu napětí 2,8V hodnotu odporu  $R2 = 290\Omega$ .

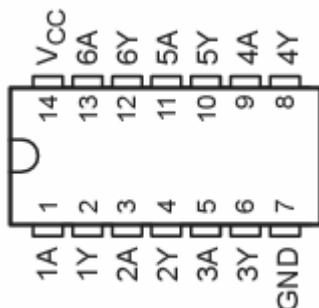
V zapojení doporučeném výrobcem (Obr. 5.47) jsou mimo obvodu LM317 a napěťového děliče tvořeného rezistory R1 a R2 ještě ochranné diody a odrušovací kondenzátory, vylepšující vlastnosti napájecího obvodu.



Obr. 5.47: Zapojení napájecího obvodu s LM317

### 5.5.3. Zapojení LPT-I<sup>2</sup>C adaptéru

Základem tohoto zapojení (Obr. 5.49), modifikovaného zapojení od firmy Maxim, je integrovaný obvod 74HC05 (Obr. 5.48) obsahující v sobě 6 invertovaných hradel s výstupy s otevřeným kolektorem.

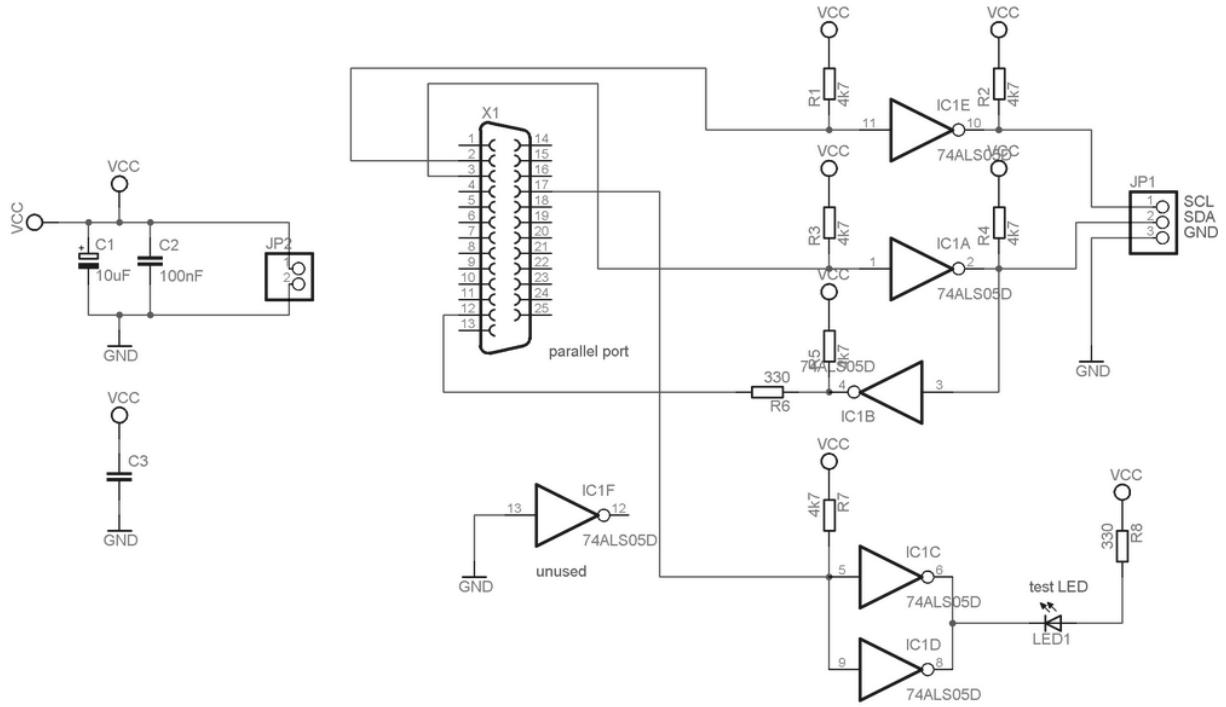


Obr. 5.48: Integrovaný obvod SN74HC05 (SN54HC05)

Tento obvod je zde použit z několika důvodů. Plní především funkci oddělení paralelního portu počítače a obvodů kamery TC5747. Další výhodou tohoto obvodu je rozsah napájecího napětí od 2 do 6V. Obvod tedy slouží díky svému rozsahu napájecího napětí a výstupu s otevřeným kolektorem (potřebným pro I<sup>2</sup>C komunikaci) jako převodník mezi TTL výstupem z paralelního portu a kamerou napájenou napětím 2,8V. Otevřený kolektor je potřebný i pro připojení obousměrného signálu SDA pro jeden vyhrazený vstup a jeden vyhrazený výstup paralelního portu. Zapojením, využívajícím 2 piny (#12, #3) LPT portu, se vyhneme problémům s možným nastavováním paralelního portu v BIOSu počítače. Paralelní port počítače je „Master“ a tudíž nám k hodinovému signálu SCL stačí pouze jeden výstup (pin #2) paralelního portu.

Pro případ, že by úroveň logické 1 na paralelním portu nebyla dostatečná jsou vstupy hradel IC1A a IC1E opatřeny zdvihačími rezistory R1, R3 a R7 o velikosti 4,7kΩ. Stejnými zdvihačími rezistory (R2, R4, R5) jsou opatřeny i výstupy hradel. Tím dosáhneme potřebných předepsaných vysokých logických úrovní.

Zapojení hradel IC1C a IC1D a LED diody LED1 slouží pouze jako test funkce zapojení adaptéru. Kondenzátory C1, C2 a C3 jsou použity k odfiltrování vstupního napájecího napětí. Jelikož v IO 74HC05 je 6 invertorů a my jich používáme pouze 5, jeden zůstane nezapojený. Je tedy vhodné jeho vstup uzemnit, aby výstup byl ve vysoké impedanci.

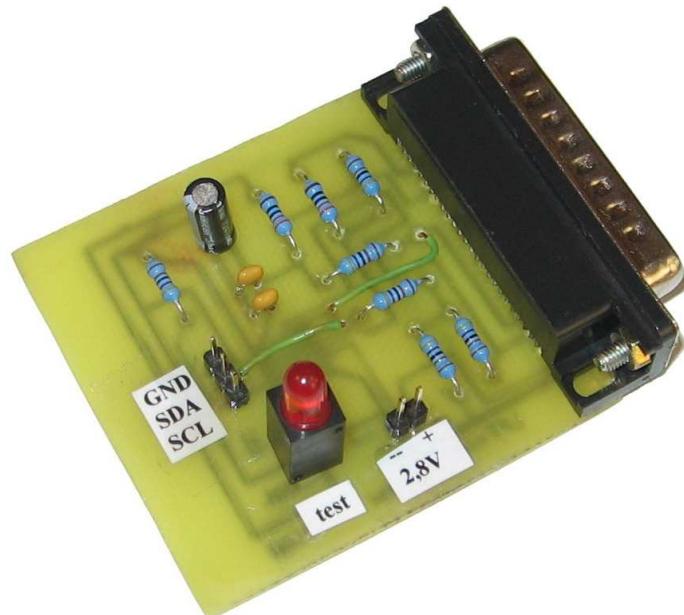


Obr. 5.49: Zapojení LPT-I<sup>2</sup>C adaptéru

#### 5.5.4. Výsledná deska plošných spojů

Návrh elektronické části i desky plošných spojů jsem vypracoval v návrhovém prostředí EAGLE 4.13.

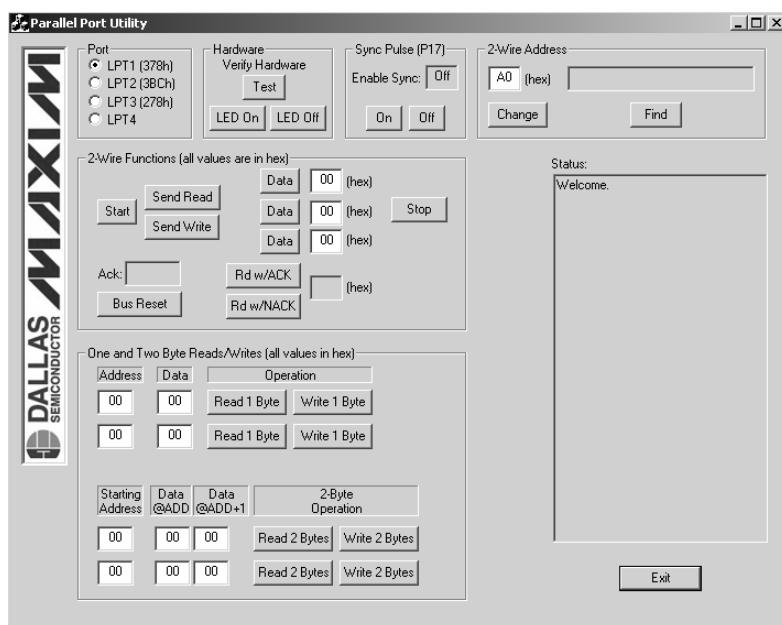
Výsledná deska (Obr. 5.50) se pak obsahuje konektor CANNON 25 90S – vidlice (do plošného spoje), konektor pro připojení externího napájení 2,8V a konektor pro připojení signálů SDA, SCL a GND pro I<sup>2</sup>C komunikaci.



Obr. 5.50: Výsledný LPT-I<sup>2</sup>C adaptér

## 5.6. Program Parallelport.exe

Pro základní komunikaci s LPT-I2C adaptérem jsem použil program Parallelport.exe (Obr. 5.51) od firmy Maxim, dostupný na uvedené webové adresy [http://files.dalsemi.com/system\\_extension/AppNotes/AN3230/ParallelPort.exe](http://files.dalsemi.com/system_extension/AppNotes/AN3230/ParallelPort.exe). Tento program byl vytvořen pro obdobné zapojení přes paralelní port a proto byl vybrán k testování komunikace.



Obr. 5.51: Prostředí komunikačního SW Paralelport.exe

## 6 Závěr

V této bakalářské práci byly popsány jednotlivé vybrané metody vhodné pro měření hloubky scény, zaměřené na konkrétní mobilní zařízení, tj. model héliem plněné vzducholodi. Metody byly vybírány s ohledem na možnosti a požadavky modelu vzducholodi.

Jako nejvhodnější metodu bych hodnotil metodu založenou na principu „Time Of Flight“. Myslím tím technologii PMD (**P**hotonic **M**ixer **D**evice) využívající ke své činnosti pole PMD pixelů, měřících fázový rozdíl vyslaného a přijatého světelného modulovaného signálu. Tento senzor svojí konstrukcí značně zjednodušuje elektronickou realizaci zařízení a dovoluje rekonstruovat hloubkovou mapu v reálném čase. Při všech jeho výhodách splňuje i požadavky modelu vzducholodi na hmotnost a při vhodně zvoleném rozlišení senzoru také na spotřebu.

Metoda aktivní triangulace (blokové schéma 2D triangulace je uvedeno na Obr. 5.40), jejíž použití měla tato práce ověřit, se jeví jako těžko realizovatelná. Požadavky na laserový modul a k němu příslušný optický filtr jsou vysoké a nepodařilo se mi najít vhodnou kombinaci jejich parametrů. Bez použití optického filtru je hledání světelného paprsku ve scéně téměř nemožné, kvůli okolnímu dennímu světlu. Další metodou k ověření byla metoda stereovidění. Tato metoda měření potřebuje vysoký výpočetní výkon a bylo od ní na počátku práce realizačně upuštěno.

Následující částí této práce byla realizace simulace komunikace pomocí I<sup>2</sup>C sběrnice s kamerou. K tomuto účelu byl vytvořen LPT-I<sup>2</sup>C adaptér pro paralelní port osobního počítače. Paralelní port LPT osobního počítače byl vybrán z důvodu použití minimálního počtu externích součástek a jednoduchosti zapojení. U USB nebo sériového portu by bylo zapojení složitější a tím pádem dražší. Uvedený LPT-I<sup>2</sup>C adaptér byl pomocí digitálního osciloskopu odzkoušen a ověřena jeho funkce. Pro testování komunikace byl použit program „Paralell Port Utility“.

Samotná komunikace s kamerou již nebyla plně dovedena do zdárného konce. Naskytly se problémy s parametry VCO pro hodinový signál kamery, způsobem sběru dat a pokračování v realizaci by překročilo doporučený rozsah BP.

Pro praktickou konstrukci zařízení pro měření hloubkové mapy bych se dále ubíral cestou PMD technologií, které nejlépe vyhovují požadavků a možnostem modelu vzducholodi, jak na váhu, spotřebu, tak i zpracování v reálném čase. PMD technologie se v současné době rychle rozšiřují do praktických aplikací a jedním z odvětví, kde se dají

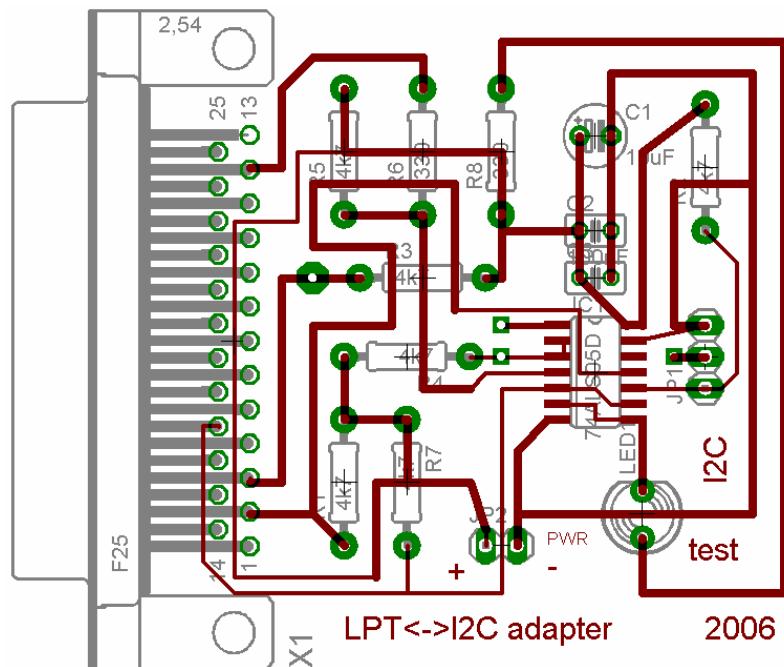
uplatnit je robotika. Během mé bakalářské práce jsem se zkонтакtoval s firmou PMD Technologies GmbH a získal od nich kontakty a informace pro využití této technologie.

# Literatura

- [1] Hlaváč, V., Sedláček, M.: Zpracování signálů a obrazů (2. přepracované vydání), Vydavatelství ČVUT 2003
- [2] H.R. Everett, AK Peters: Sensors for Mobile Robots, Theory and Application, Ltd., 1995
- [3] Mezera, P.: Orientace v prostředí – projekt Zeppelin, Semestrální projekt, ČVUT 2005
- [4] Kalová, I., Horák, K.: Optické metody měření 3D objektů [online]  
<http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/>
- [5] PMD Technologies GmbH [online]  
[http://www.pmdtec.com/e\\_index.htm](http://www.pmdtec.com/e_index.htm)
- [6] CSEM SA, the Swiss Center for Electronics and Microtechnology [online]  
<http://www.csem.ch/>
- [7] PMD senzor & 3D měření vzdálenosti [online]  
1. i 2. část článku  
<http://www.hw.cz/externi/1642/>
- [8] Kainka, B., Bernát, H-J.: Využití rozhraní PC pod Windows (První české vydání), Vydavatelství HEL 2000
- [9] The I<sup>2</sup>C bus specification [online]  
Version 2.1©, January 2000  
<http://www.standardics.philips.com/literature/books/i2c/pdf/i2c.bus.specification.pdf>
- [10] Paralelní port – LPT (IEEE 1284) [online]  
<http://lpt.hw.cz/>
- [11] APPLICATION NOTE 3230 - How to Use a PC's Parallel Port to Communicate with 2-Wire Devices  
[http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/3230](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/3230)

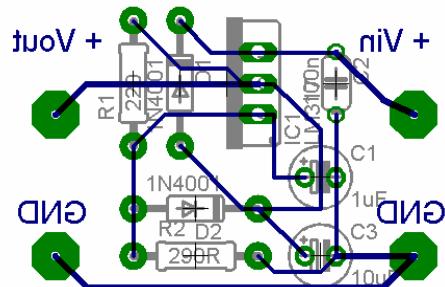
## Příloha A – desky plošných spojů

Návrh rozmístění součástek LPT-I<sup>2</sup>C adaptéru:



Obr. A.1: Návrh rozmístění součástek LPT-I<sup>2</sup>C adaptéru

Návrh rozmístění součástek zdroje 2,8V s IO LM317:



Obr. A.2: Návrh rozmístění součástek zdroje 2,8V s IO LM317

## Příloha B – obsah přiloženého CD

Zde je zobrazena struktura adresářů přiloženého CD:

/bp_ondrej_ton.pdf	- elektronická podoba této práce ve formátu PDF
/bp_ondrej_ton.doc	- elektronická podoba této práce ve formátu DOC
/CMOS_brief/	- informační dokumenty pro CMOS kamery
/CMOS_datasheets/	- datasheets k získaným kamerám
/datasheets/	- datasheets, které byly v této práci použity
/dokumentace/	- popis LPT, I <sup>2</sup> C, MSP430, apod.
/DPS/	- desky plošných spojů (EAGLE 4.13)
/programovani/	- knihovna inpout32.dll
/software/	- volně šířitelný použitý SW
/video_obrazky/	- použité obrázky, video