

UNIVERZITA PARDUBICE  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Využití světla pro komunikaci a měření

Radek Janečka

Bakalářská práce  
2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radek Janečka**  
Osobní číslo: **I09020**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**  
Název tématu: **Využití světla pro komunikaci a měření**  
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

S rozvojem miniaturních radiových modulů ať už pro přenos, detekci, měření začíná upadat použití jiných principů jako například přenos pomocí světla. Neznamená to ale, že by se vývoj zařízení používajících přenos pomocí světla přestal vyvíjet. Spousta více výrobců implementuje podporu pro např. IR přenos přímo do jejich procesorů, čímž odpadá práce s externími obvody, snižují cenu výsledného zařízení, roste výkon a dosah zdrojů. Právě jednoduchost nasazení světla pro přenos, detekci a měření dělá ze světla stále atraktivní volbu.

Teoretická část bude obsahovat popis použití světla pro přenos informací, měření vzdáleností a detekci překážek, případně jiných veličin, praktická část se pak bude zabývat návrhem jednoduchého vozítka využívajícího světelných senzorů a IR dálkového ovládní.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[www.robotika.cz](http://www.robotika.cz)

[www.parallax.cz](http://www.parallax.cz)

RIPKA, P.; TIPEK, A. Master Book of Sensors. Praha : BEN, 2003. ISBN  
0-12-752184-4

Stanislav Ď.; Marcel K. Senzory a měřicí obvody; Praha : Vydavatelství ČVUT,  
1999 ISNB 80-01-02057-6

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Pavel Rozsival**  
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

**15. prosince 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**11. května 2012**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.  
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. března 2012

## **Prohlášení autora**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 18. 5. 2012

Radek Janečka

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Pavlu Rozsivalovi, za poskytnuté odborné rady a připomínky během zpracování této práce a všem ostatním lidem, kteří mě podporovali. Dále o to však srdečněji, velice děkuji svým rodičům a přítelkyni, kteří respektovali a trpělivě snášeli mé věčné zapojení do vytváření této práce, a kteří mne velmi podporovali.

## **Anotace**

Tato práce pojednává o možnostech využití svítivých diod a optických elektronických součástí jako senzorů světla. Záměrem bylo navrhnout zařízení využívající světelných senzorů a IR dálkového ovládání. Funkci celého robota řídí mikrokontroler, který je připojen na řídicí desce a upevněn na modelu robota, který přijímá data z mikrokontroleru po sériové lince. Připojen je i popis a schéma zapojení robota. Jako důkaz využitelnosti IR senzorů pro snímání světla je předložen senzor čáry, senzory detekce překážek a senzory detekce okraje arény.

## **Klíčová slova**

LED, senzor, IR, vlnová délka, záření

## **Title**

Usability of light for communication and measurement

## **Annotation**

This thesis concerns about using of the LEDs and optical components of electronic as sensors. The intention was to design a device that uses light sensors and IR remote control. The function which controls the robot is the microcontroller that is connected to the control board and mounted on a robot model that receives data from the microcontroller via a serial line. Attached is a description and diagram of the robot. As evidence of the usability of IR sensors for sensing light, sensor of lines is presented, obstacle detection sensors, and sensors detecting the edge of the arena.

## **Keywords**

LED, sensor, IR, emission, wavelength

## Obsah

<b>Seznam zkratk</b> .....	<b>8</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>9</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>10</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Infračervené záření</b> .....	<b>12</b>
1.1 Elektromagnetické záření .....	12
1.2 Rozdělení IR záření a jeho využití .....	12
1.3 Vliv infračerveného záření na člověka.....	14
<b>2 Použití světla pro měření fyzikálních veličin</b> .....	<b>15</b>
2.1 Měření vzdálenosti.....	15
2.2 Přenos dat a informací .....	16
2.3 Měření otáček.....	17
2.4 Měření teploty.....	18
<b>3 Optické snímače</b> .....	<b>19</b>
3.1 Typy snímačů .....	19
3.2 Základní vlastnosti a použití .....	19
3.3 Optické principy snímání .....	22
3.4 Použití LED jako senzoru v praxi .....	23
<b>4 Praktická část</b> .....	<b>25</b>
4.1 Umík robot.....	25
4.1.1 Základní vlastnosti .....	25
4.1.2 Hlavní specifikace mikrokontroléru PIXACE 18X .....	26
4.1.3 Elektronika robota a popis funkčních bloků .....	27
4.1.4 Ovládání motorů.....	32
<b>5 IR dálkové ovládání</b> .....	<b>35</b>
5.1 Dekódování protokolu Sony .....	35
<b>6 Funkce robota</b> .....	<b>37</b>
6.1 Robot ve funkci hledání čáry.....	37
6.2 Robot ve funkci detekce překážek .....	40
6.3 Robot ve funkci dálkového ovládání .....	41
<b>7 Softwarové řešení</b> .....	<b>43</b>

7.1 Vývojové prostředí mikrokontroléru PIXACE 18X .....	43
<b>Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>46</b>
<b>Příloha A – Popis přílohy .....</b>	<b>47</b>



## Seznam zkratk

IR	infračervené záření (Infrared nebo Infrared radiation)
LED	dioda emitující světlo (Light-Emitting Diode)
NIR	blízké infračervené záření (Near infrared)
SWIR	krátká vlnová délka infračervené záření (Short-wavelength infrared)
MWIR	střední vlnová délka infračervené záření (Mid-wavelength infrared)
LWIR	dlouhá vlnová délka infračerveného záření (Long-wavelength infrared)
FIR	vzdálené infračervené záření (Far infrared)
UV	ultrafialové záření (ultraviolet)
IrDA	komunikační infračervený port
CCD	charge coupled device
RONJA	reasonable optical near joint access
FD	full duplex
TTL	tranzistorově tranzistorová logika (transistor-transistor-logic)
PWM	pulzně šířková modulace
SIRC	Serial Infra-Red Control (protokol Sony)

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rozdělení záření .....	13
Obrázek 2 - Vliv IR záření na člověka – (10).....	14
Obrázek 3 - Funkce optických měřičů vzdálenosti – (4).....	15
Obrázek 4 - Optická vlákna .....	16
Obrázek 5 - Blokové schéma systému RONJA – (6) .....	17
Obrázek 6 - Snímání otáčení .....	17
Obrázek 7 - Funkce infračerveného měřicího systému – (7).....	18
Obrázek 8 - Strom fotocitlivých součástek .....	19
Obrázek 9 - VA charakteristika fotorezistoru – (11).....	20
Obrázek 10 - VA charakteristika fotodiody při různém osvětlení – (11).....	21
Obrázek 11 - VA charakteristika fototranzistoru – (11).....	21
Obrázek 12 – Princip autokolimace – (3).....	22
Obrázek 13 - Princip jednocestné optické závory – (3).....	23
Obrázek 14 - Princip reflexní optické závory –(3).....	23
Obrázek 15 - Luminiscenční dioda LED.....	24
Obrázek 16 - Umík robot.....	25
Obrázek 17 - Řídící deska .....	27
Obrázek 18 - Napájecí deska .....	28
Obrázek 19 - Podvozek UMU-01 .....	28
Obrázek 20 - IR LED a její vyzařovací diagram .....	29
Obrázek 21 - Přijímač SFH5110 .....	29
Obrázek 22 - Senzory pro sledování čáry.....	30
Obrázek 23 - Reflexní senzor QRD1114.....	30
Obrázek 24 - Princip rozeznání barev .....	31
Obrázek 25 – Senzory detekce okraje arény .....	31
Obrázek 26 - H-můstek L293D – (4).....	32
Obrázek 27 - Plný spínací H-můstek – (4) .....	33
Obrázek 28 - Poloviční H-můstek – (4).....	33
Obrázek 29 - Pulzní šířková modulace PWM – (9).....	34
Obrázek 30 - Dálkový ovladač TVR010 .....	35
Obrázek 31 - Packet protokolu Sony SIRC .....	36
Obrázek 32 - Kódování bitů – (8).....	36
Obrázek 33 - Robot na čáře – (8) .....	38
Obrázek 34 - Robot vyjíždí z čáry – (8) .....	38
Obrázek 35 - Robot hledá čáru – (8) .....	39
Obrázek 36 - Princip detekce překážek .....	41
Obrázek 37 - Funkce tlačítek na ovladači .....	42
Obrázek 38 - Ukázka vývojového prostředí .....	44

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 - Parametry IR LED.....	29
Tabulka 2 - Parametry motoru.....	34

## Úvod

Cílem mé práce bylo přiblížit využití infračerveného záření v robotice, tak optice. Infračervené záření bývá často považováno jako tepelné záření, avšak je pro člověka neviditelné. Toto záření může pomáhat, ale také škodit. Lidé se toto záření naučili využívat ke svým vlastním potřebám. Nejvýznamnější uplatnění má v lékařství a v elektrotechnice.

S rozvojem nových technologií pro přenos dat, měření a detekci začalo pomalu upadat využití principů využití světla. Neznamená to ale, že by se využití světla přestalo vyvíjet. Vědci experimentují s využitím viditelného světla z komerčních LED diod k bezdrátovému přenosu dat o rychlosti až 230 Mbps. Možnosti bezdrátové komunikace pomocí LED diod jsou sice zkoumány již několik let, nicméně rychlost 230Mbps lze považovat za rekordní, avšak je zatím ve fázi výzkumu.

Signál z LED je generován slabým současným blikáním všech světel, milionkrát rychlejším, než jaké může lidské oko vůbec zachytit. Toto záření využívá pro přenos informací velmi krátkou vzdálenost, nejčastěji v mobilních telefonech nebo v dálkových ovladačích. Na delší vzdálenosti se používají optické kabely složené z optických mikrovláken. Přenos dat v optickém vlákne se děje šířením světla v optickém vlnovodu. Jsou však i takové technologie přenosu, které umožňují přenos dat vzduchem (např. technologie RONJA), ale tato technologie je náchylná na změny počasí (děšť a husté sněžení), také vyžaduje výbornou viditelnost mezi jednotlivými optickými spoji, než je tomu třeba u Wi-Fi.

Ve třetí kapitole se věnuji současným trendům a možnostem v jednoduché optické senzorce, kde jsou svítivé diody doposud používány téměř výhradně jako zdroje světla. Existuje pouze málo zmínek o schopnosti svítivých diod světlo také přijímat, převádět na elektrický signál a tak sloužit taktéž jako senzory.

Hlavním cílem bylo ověření vlastností infračervených senzoru a jejich následná aplikace na pojízdného robota. Za tímto účelem byl zakoupen robot pracující s infrasenzory. Robot by měl být schopen se orientovat v neznámém prostředí jen za pomoci infrasenzorů, detekovat překážky a následně se jim vyhnout, najít černou čáru v neznámém prostředí, kopírovat její trajektorii a přijímat povely z dálkového ovladače.

# 1 Infračervené záření

## 1.1 Elektromagnetické záření

Z čistě fyzikálního hlediska je infračervené záření elektromagnetické vlnění o vlnové délce větší než je vlnová délka viditelného světla, a kratší než vlnová délka mikrovln. Je vyzařováno rozžhavenými tělesy, např. Sluncem. Záření je pro nás neviditelné a vnímáme ho jen jako tepelné záření. Infračervené záření a světlo jsou součástí elektromagnetického spektra, obsahují svůj rozsah vlnových délek a tvoří spektrum elektromagnetického záření. Podle vlnové délky nebo frekvence elektromagnetického záření rozlišujeme několik druhů elektromagnetického vlnění. Mezi jednotlivými druhy není ostrá hranice, přechody jsou plynulé nebo se oblasti jednotlivých druhů záření i překrývají.

Rozdělení záření:

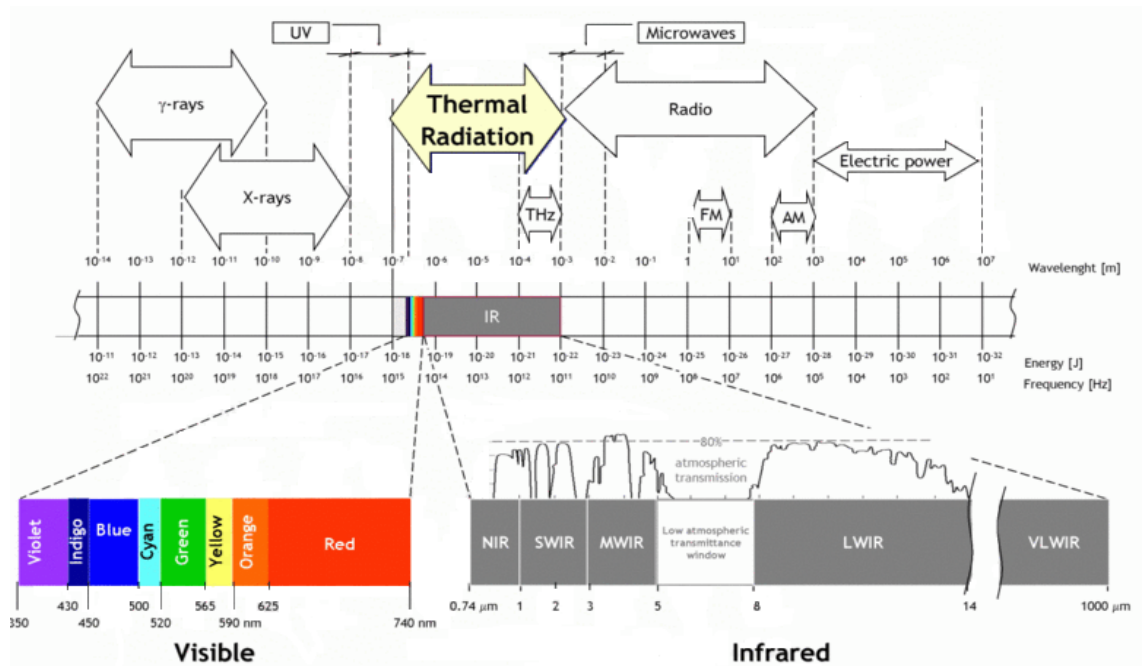
- rozhlasové vlny - dlouhé, střední, krátké
- mikrovlny - mikrovlnné záření
- infračervené vlny - infračervené záření
- ultrafialové vlny - ultrafialové záření
- paprsky X - rentgenové záření
- paprsky  $\gamma$  - kosmické a radioaktivní záření

## 1.2 Rozdělení IR záření a jeho využití

Technické využití infračerveného záření je v současnosti velmi široké, od infračervené sledovací a zobrazovací techniky, až po vysoko výkonnostní lasery. Důležitým oborem lidské činnosti, v němž je infračervené záření s úspěchem využíváno, je medicína. Infračervené záření našlo uplatnění také v elektronice a sdělovací technice. Příkladem mohou být různé senzory a čítače (např. senzor u automaticky otevíraných a zavíraných dveří) nebo dálkové ovládání.

Infračervené záření se dělí na jednotlivá pásma. Toto dělení ovšem není jednoznačně dané a v různých pramenech bývá uváděno různě. Zaujímá oblast mezi nejkratšími radiovými vlnami ( $\lambda < 10^{-3}$  m) a viditelným světlem ( $\lambda > 780$  nm, což odpovídá červenému konci viditelného spektra).

V současné době se IR záření (tak bylo nazváno po původním označení jako ultračervené) dělí z technologického hlediska podle vlnového rozsahu na pásma A, B, C.



Obrázek 1 - Rozdělení záření

Blízké (near) infračervené záření neboli NIR

- IR-A podle normy DIN, vlnová délka 0,76 až 1,4  $\mu\text{m}$ , definováno podle vodní absorpce (často používané v telekomunikacích u optických vláken)
- IR krátké vlnové délky (short wave) neboli SWIR
- IR-B podle DIN, vlnová délka 1,4 až 3  $\mu\text{m}$ , při 1450 nm značně roste vodní absorpce
- IR střední vlnové délky (medium wave) neboli MWIR
- IR-C podle DIN, též prostřední (intermediate-IR neboli IIR), 3 až 8  $\mu\text{m}$
- IR dlouhé vlnové délky (long wave) neboli LWIR
- IR-C podle DIN, 8 až 15  $\mu\text{m}$  infračervené topné panely Sun of Hope

Vzdálené (far) infračervené záření neboli FIR 15 až 1000  $\mu\text{m}$  [2].

Další často používané rozdělení je toto:

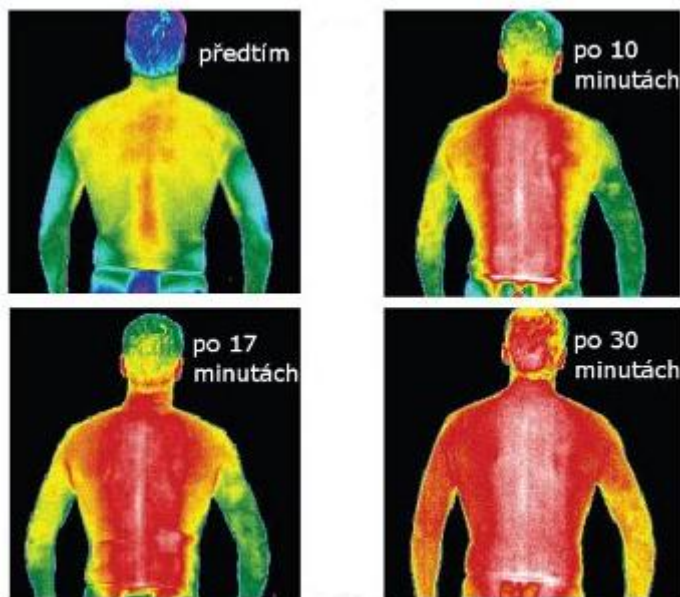
- blízké (0,7 až 5  $\mu\text{m}$ )
- střední (5 až 30  $\mu\text{m}$ )
- dlouhé (30 až 1000  $\mu\text{m}$ )

### 1.3 Vliv infračerveného záření na člověka

Základním a největším zdrojem sálavého tepla na Zemi je Slunce. Díky této energii, kterou Zemi dodává, zde může existovat život. Infračervené záření vyzařují všechna tělesa a dokonce i naše tělo. Ovšem v porovnání se Sluncem na větších vlnových délkách. Lidské oko není citlivé na tyto vlnové délky, protože samotné lidské tělo (tedy i nitro oka) září a oko by bylo oslepeno svým vlastním zářením.

Infračervené záření má výrazné tepelné účinky. Pro člověka jsou sice neviditelné, ale registrujeme je jako tepelný vjem. IR záření vyvolává v místě absorpce zahřátí tkáně, což způsobuje pocit tepla a pálení. Nejvýraznějším přímým účinkem krátkovlnného IR záření na kůži při vyšším jednorázovém ozáření je spálenina. Prakticky se však nevyskytují, neboť bolest v místě ohřátí tkáně vede k úhybné reakci.

Krátké vlny infračerveného záření naše tělo ohřejí rychleji. Dlouhovlnné infračervené záření proniká skrz kůži až do buněk v podkoží, kde je efektivně absorbováno. Viditelné světlo je odraženo povrchem kůže. Naproti tomu krátkovlnné infračervené záření je z větší části kůží absorbováno, což má za následek zvyšování její teploty. Veškeré teplo, které naše tělo cítí, je přepravováno prostřednictvím infračervených paprsků, ať se jedná o žár kamen, žárovky či tělesné teplo druhého člověka [10].



Obrázek 2 - Vliv IR záření na člověka – (10)

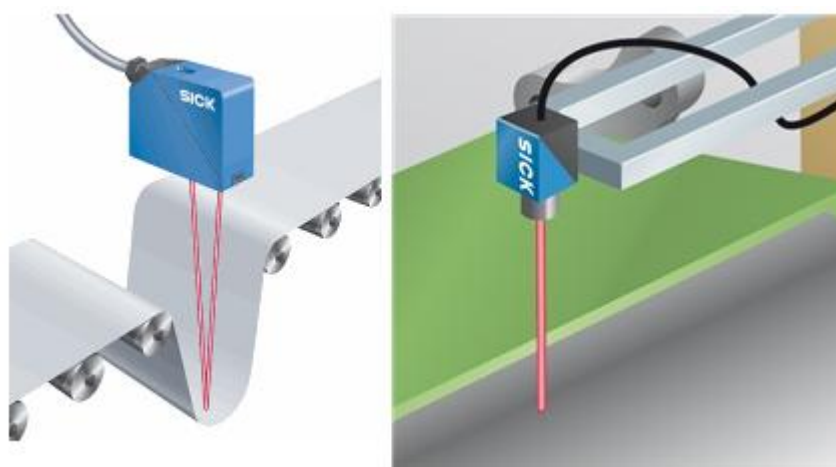
Člověk se však naučil využívat i dalších zdrojů. Prvním a nejjednodušším zdrojem infračerveného záření, které člověk využil, bylo ohniště. Pak přešel od otevřeného ohniště přes dokonalejší krby a kachlová kamna a postupem času až k dnešním infračerveným topným panelům.

## 2 Použití světla pro měření fyzikálních veličin

V následující čtyřech podkapitolách stručně vysvětlím problematiku založenou na bezdotykovém měření některých fyzikálních veličin a přenosu dat a informací za pomoci světelných paprsků.

### 2.1 Měření vzdálenosti

Elektronické bezkontaktní měření malých vzdáleností (v rámci několika mm, cm nebo metrů) je docela běžné. Pro optické měření vzdálenosti je využití základního principu difúzních nebo reflexních optozávěr. Konkrétně jde o vyslání optického paprsku na vzdálený předmět či plochu a čekání na jeho zpětný odraz. Tento způsob umožňuje realizovat senzor jako kompaktní "krabičku" obsahující jak optický vysílač, tak přijímač. To na rozdíl od systému s odděleným provedením výrazně zjednodušuje instalaci a údržbu senzoru. Zatímco však u klasických optozávěr dochází pouze ke zjištění přítomnosti objektů před snímačem (výsledkem je stav ANO / NE), u senzorů vzdálenosti se přímo měří a vyhodnocuje vzdálenost k objektu, na který je snímač namířen, nebo který se mu dostane do cesty. A to je často nutné provádět velmi přesně, někdy až s rozlišením menším než je desetina procenta celkového měřicího rozsahu. Z laserového vysílače se vysílají časově velmi krátké impulsy světla, které se po odrazu na vzdálené ploše opět zachytávají přijímačem. Přesně odměřený čas potřebný k průchodu impulsu je pak přímo úměrný dvojnásobku vzdálenosti mezi senzorem a vzdáleným objektem. Protože je rychlost světla poměrně dost konstantní a málo závislá na změně okolních podmínek (např. teploty), lze při přesném odměření času vzdálenost určit velmi přesně. Samozřejmě je k tomu nutná přímá viditelnost na měřený předmět a jeho dostatečná odrazivost pro senzorem vysílané světlo, aby byl odražený světelný impuls optopřijímačem zaznamenán ještě v dostatečné kvalitě. Při měření do několika stovek i více metrů však již výrobce musí senzor vybavit kvalitním objektivem, který zajistí výbornou vyzařovací charakteristiku, aby i na té obrovské vzdálenosti byla na cílovém objektu světelná stopa dostatečně malá a tedy dosti intenzivní paprsek k odrazu (dostatečně vysoký optický výkon na plochu). Navíc na hodně velké vzdálenosti již a ni toto moc nepomůže a je nutné cílovou plochu, na kterou bude senzor namířen, opatřit kvalitní odrazkou [4].

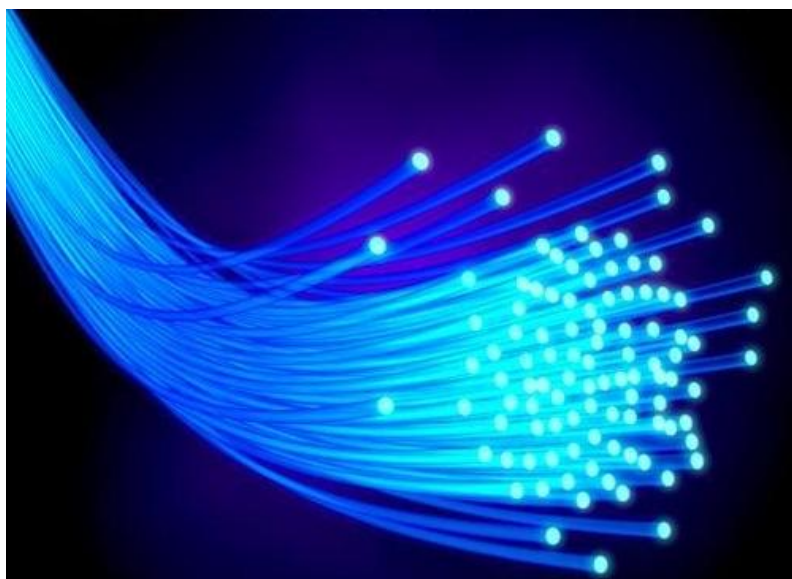


Obrázek 3 - Funkce optických měřičů vzdálenosti – (4)



## 2.2 Přenos dat a informací

Lidé chtěli být v kontaktu s ostatními od pradávna a tím pádem čím byli vyspělejší, tím potřeba komunikace rostla a lidé vynalézali stále složitější technologie. Jedna z neznámějších metod optického přenosu dat a informací je za pomoci optických vláken. Optická vlákna jsou široce využívána v komunikacích, kde umožňují přenos na delší vzdálenosti a při vyšších přenosových rychlostech dat než jiné formy komunikace. Vlákná se používají místo kovových vodičů, protože signály jsou přenášeny s menší ztrátou a zároveň jsou vlákna imunní vůči elektromagnetickému rušení. Optické vlákno je dielektrický vlnovod, ve kterém se šíří elektromagnetické vlny (zpravidla světlo) ve směru osy vlákna s využitím principu totálního odrazu na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu. Vnitřní část vlákna se nazývá jádro, okolo jádra je plášť a primární ochrana. K vazbě optického signálu na jádro musí být index lomu jádra vyšší, než má obal. U optických vláken používaných v datových sítích se udává průměr jádra a pláště v mikrometrech, a používají se mnohavidová vlákna o průměrech 50 až 125  $\mu\text{m}$  (standardizováno ITU-T podle G.651). Dnes se v telekomunikacích výhradně používají jednovidová vlákna o průměru 9 až 125  $\mu\text{m}$ . Jsou výhodná zejména na dlouhé vzdálenosti, protože světlo prochází přes vlákno s malým útlumem ve srovnání s elektrickými kabely s kovovými vodiči. Kromě toho můžeme dosahovat rychlosti přenosu až 111Gbps, i když v aplikovaných systémech jsou typické rychlosti 10 nebo 40Gbps. Každé vlákno může přenášet mnoho nezávislých signálů, každý s použitím jiné vlnové délky světla[5]. Vytváření sítí na krátké vzdálenosti pomocí optických kabelů, jako například v budově, šetří prostor v kabelovém vedení, protože jediné vlákno může přenášet mnohem více dat než jeden elektrický kabel.

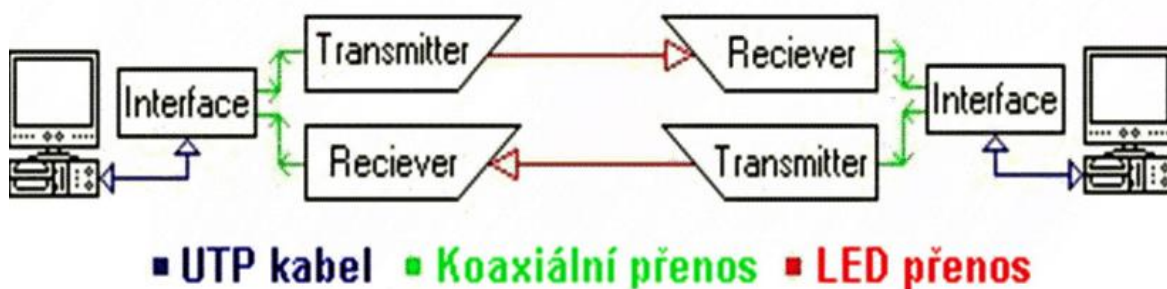


Obrázek 4 - Optická vlákna

### Optické pojítko Ronja

Pro účely bezdrátového přenosu dat a informací jako příklad bych uvedl optické pojítko RONJA (Reasonable Optical Near Joint Access). Je to optické zařízení, které umožňuje bezdrátově propojit dva body (point-to point) počítačové sítě, až na vzdálenost 1300m, při zachování konstantní přenosové rychlosti 10Mbps. Jelikož vysílač a přijímač jsou dvě oddělené části, RONJA pracuje v režimu FD (Full-Duplex), což znamená, že je schopna vysílat a přijímat signál v jednom časovém okamžiku. Provoz systému RONJA je

spolehlivý a imunní proti rušení. RONJA je plně kompatibilní k zapojení do switche nebo ethernetové karty kompatibilní s RJ45 konektorem. Nelze odposlouchávat nebo rušit přenos, jako u WiFi, protože vysílá úzký světelný paprsek. Největší nevýhodou je, že nefunguje za velmi špatného počasí, jako je mlha, velmi hustý déšť nebo silné sněžení. Tuto technologii vyvinulo několik bývalých studentů Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy [6].

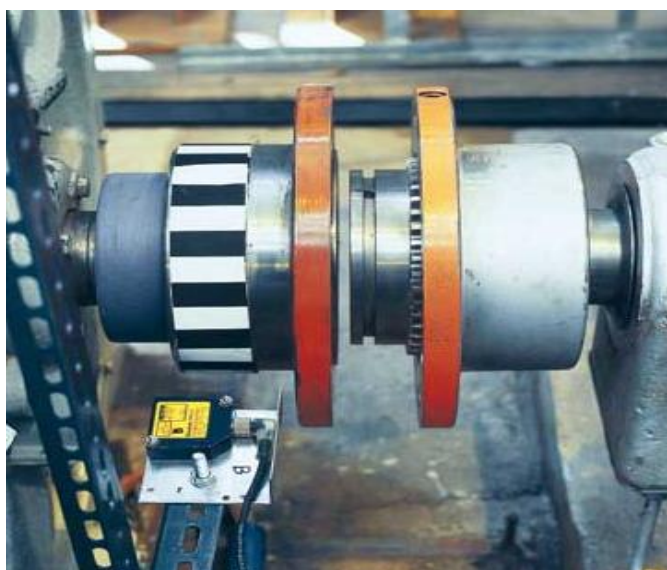


Obrázek 5 - Blokové schéma systému RONJA – (6)

### 2.3 Měření otáček

Měření otáček je v průmyslu dosti častým úkolem. Tyto úkoly lze provádět různými způsoby a to buď dotykovým měřením otáček nebo bezdotykovým měřením otáček. Vzhledem k tématu práce popíšeme druhý způsob a to bezdotykové měření otáček, které je realizováno za pomoci světelného paprsku.

Přístroje pro bezkontaktní měření otáček využívají v zásadě dvou principů. U prvního z nich přístroj vysílá trvalý světelný paprsek, obvykle laserový, který je odražen speciální odrazkou nalepenou na rotující součásti. Zpět k přístroji se tedy vrací paprsek pulzující. Tyto světelné impulzy jsou snímány a v čítači přístroje je vyhodnocována jejich frekvence. Těmto přístrojům se říká bezkontaktní otáčkoměry. Vzhledem k tomu, že není potřebný mechanický kontakt, je toto měření ve většině případů jednodušší a rychlejší.



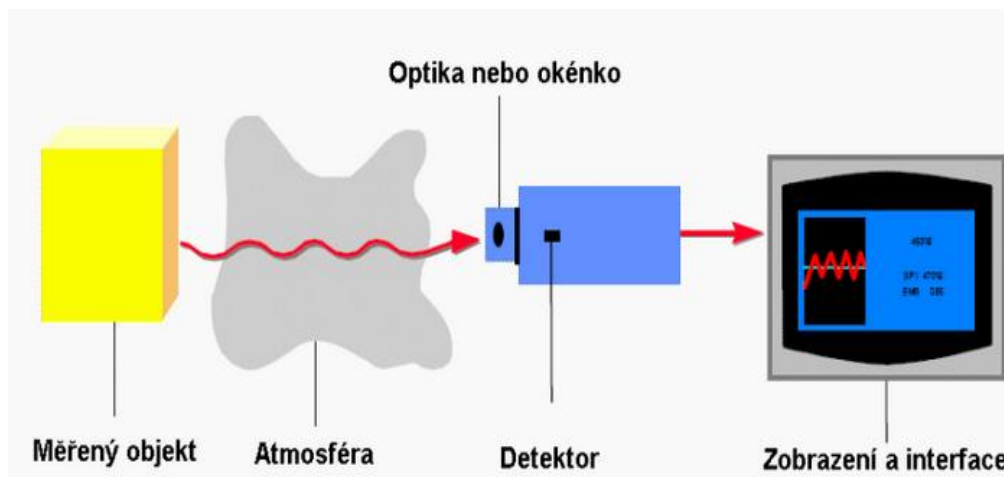
Obrázek 6 - Snímání otáčení

## 2.4 Měření teploty

V oblasti bezdotykového měření teploty se v poslední době dosáhlo značného pokroku, a to díky pokroku v elektronice a optice. Přístroje pro bezdotykové měření teploty (pyrometry) nacházely původně uplatnění v takových provozech, kde bylo zapotřebí měřit vysoké teploty (obvykle nad 500 °C např. v metalurgii). Infračervený teploměr lze přirovnat k lidskému oku. Oční čočka představuje optiku, skrz kterou záření (proud fotonů) z měřeného objektu dopadá přes atmosféru na fotocitlivou vrstvu (oční sítnici). Zde je přeměněno na signál, který je vysílán do mozku.

### Infračervený měřicí systém

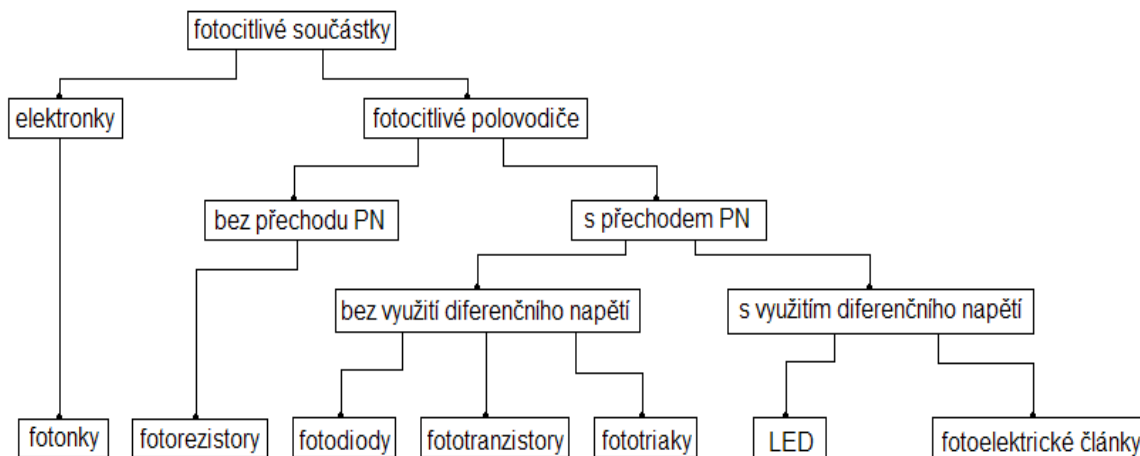
Při bezdotykovém měření teploty se využívá infračerveného záření měřeného objektu. Toto záření je optickým systémem soustředěno na vhodný detektor, jehož elektrický signál je dále zpracován v elektronických obvodech a výstupem je údaj na displeji vyhodnocovacího zařízení [7].



Obrázek 7 - Funkce infračerveného měřicího systému – (7)

### 3 Optické snímače

#### 3.1 Typy snímačů



Obrázek 8 - Strom fotocitlivých součástek

#### Základní typy součástek citlivých na světlo jsou:

- fotorezistor – pomalá součástka, dobrá citlivost od zelené po blízké IR,
- fotodioda – rychlá součástka nyní již dostupná i v oblasti UV, standardně IR,
- fototranzistor – v provedení pro viditelné a IR záření,
- fototryistor – pouze spínání, nevhodný pro spojitě snímání plynulých změn,
- fotovoltaický článek, principiálně shodný solární článek,
- svítivá dioda – LED – v oblasti snímání téměř zapomenutá součástka; katalogové listy bez charakteristik ve 3. a 4. kvadrantu, bez časů reakce,
- fotonka – ke své funkci vyžaduje vysoké napětí, příkon pro žhavení.

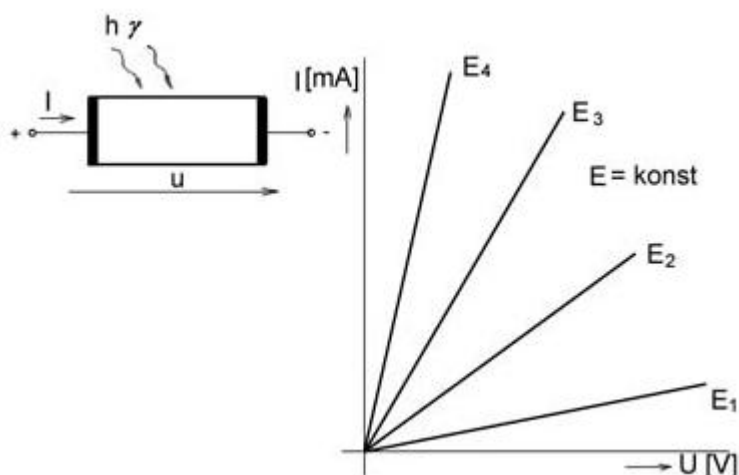
#### 3.2 Základní vlastnosti a použití

V této práci jsem zaměřen na využití světelných senzorů a proto zde nebudu popisovat principy a funkce všech typů součástek, ale porovnáám jen první tři základní spolu s jejich VA charakteristikami.

## Fotorezistor

Jde o pasivní elektronickou součástku bez přechodu PN, jejíž elektrický odpor se snižuje se zvyšující se intenzitou dopadajícího světla, resp. elektrická vodivost se zvyšuje. Pro výrobu fotorezistoru se používá např. InSb, GdS.

Fototranzistory jsou svou pomalou reakcí s dobou odezvy jednotek až desítek sekund předurčeny k využití v procesech, kde buď prodleva nevádí, nebo kde je dokonce potřebná. Při silném osvětlení reaguje rychleji, při malém osvětlení trvá ustálení odporu až sekundy. Odpor ve tmě je přibližně  $1\text{ M}\Omega$ . Používají se pro indikaci a měření neelektrických veličin (např. detekce neviditelného IR záření, převodník světla na elektrické napětí, měření osvětlení aj.) [1].

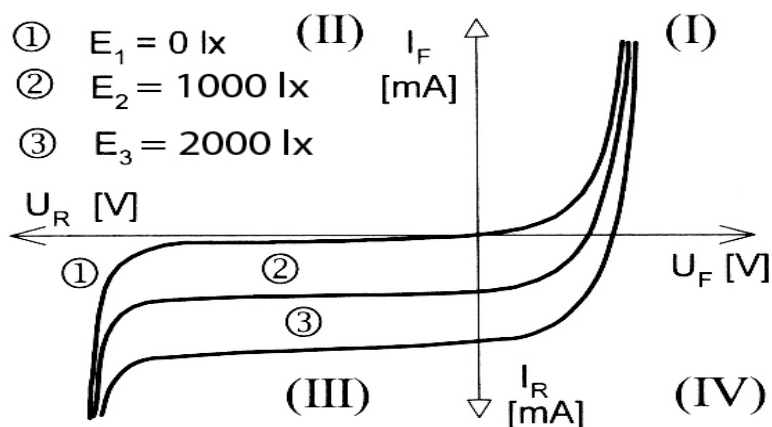


Obrázek 9 - VA charakteristika fotorezistoru – (11)

## Fotodioda

Nejrychlejší fotocitlivé součástky jsou fotodiody. U diod v neprůsvitném pouzdře existuje několik základních variant: PN, PIN, Schottky, lavinová. Ať jako přijímače dálkových ovladačů, nebo v transeiverech IrDA v mobilních telefonech, počítačích nebo mini vrtulnicích jsou určeny pro přenos dat velkou rychlostí. Fotodioda reaguje na změny osvětlení velmi rychle, řádově  $10^{-6}$  až  $10^{-9}$  s. VA charakteristika fotodiody se při osvětlení liší od běžné diody tím, že neprochází počátkem a vykazuje proud v závěrném směru, který je úměrný osvětlení.

Fotodiody používáme k měření osvětlení, snímání dat, v automatizaci. Rychlé fotodiody se používají v optických spojích, optronech apod [1].

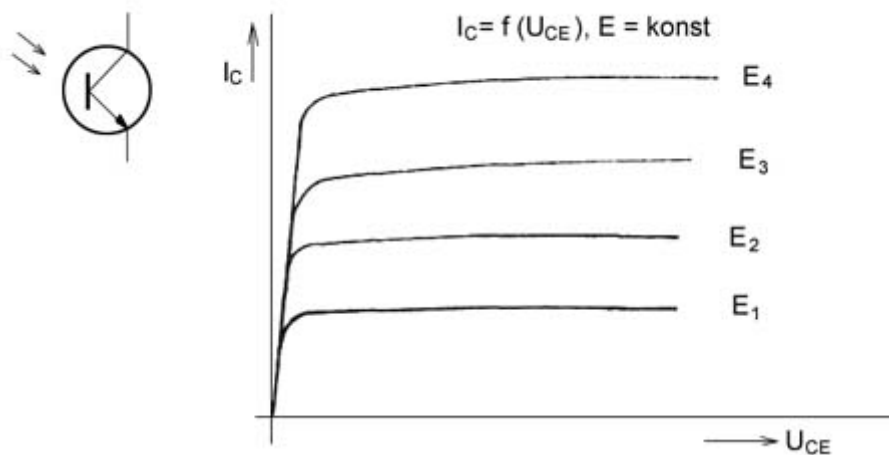


Obrázek 10 - VA charakteristika fotodiody při různém osvětlení – (11)

### Fototranzistor

Jedná se o bipolární křemíkový tranzistor, jehož emitorový přechod je přístupný světlu. Zapojuje se společným emitorem, vnější zdroj se připojuje mezi kolektor a emitor tak, aby kolektorový přechod byl polarizován závěrně. Fototranzistory jsou také děleny na součástky určené pro práci ve viditelném spektru a jiné pro IR. Fototranzistory pro oblast IR jsou přibližně 100x – 1000x pomalejší než IR fotodiody (například v pomalejších optických spojích).

Voltampérové charakteristiky mají tvar výstupních charakteristik bipolárního tranzistoru, parametrem je zde namísto proudu báze osvětlení  $E$ .



Obrázek 11 - VA charakteristika fototranzistoru – (11)

### 3.3 Optické principy snímání

Světlo jako snímací médium se používá v mnoha oblastech technologie, každodenního života v kontrolních a řídicích aplikacích. Jako zdroj záření se ve viditelné oblasti záření ( $\lambda = 0,4 \mu\text{m}$  až  $0,7 \mu\text{m}$ ) používají žárovky s optickou soustavou nebo luminiscenční diody LED. V infračervené oblasti ( $\lambda > 700 \text{ nm}$ ) se používají GaAs luminiscenční diody. Ve funkci detektoru záření se jak v oblasti viditelného, tak v oblasti infračerveného spektra používají fotodiody, fototranzistory, CCD snímače a CMOS snímače. Obecně je změna intenzity optického paprsku (mezi přijímačem a vysílačem) způsobena tím, že jej zacloní cílový objekt. V závislosti na vlastnostech tohoto objektu a na charakteristice optického paprsku je světelný paprsek buď přerušován nebo odražen, popř. rozptýlen.

Optoelektronické snímače obvykle používají následující vysílací komponenty:

- Červené světlo LED je viditelné světlo, výhodné pro zaměření a nastavení snímače
- Infračervené světlo LED (IR) je neviditelné světlo s vyšší energií
- Červené světlo Laser je viditelné světlo, které je díky svým fyzikálním vlastnostem ideální pro snímání malých dílů a dlouhé dosahy

#### Autokolimace

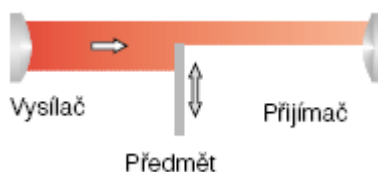
Vysílač i přijímač pracují se společnou čočkou. Vysílané světlo prochází rozdělovacím zrcadlem a čočkou na odrazku. Odrazka odráží vysílané světlo zpět na čočku. Tím je dosaženo toho, že reflexní optické závory s autokolimací mají malý kruhový profil paprsku. To má ještě další výhodu: tyto snímače nemají mrtvou oblast pro snímání i pro umístění odrazky, lépe rozlišují malé předměty a jejich spínací charakteristika je nezávislá na směru přiblížení.



Obrázek 12 – Princip autokolimace – (3)

#### Jednocestná optická závora

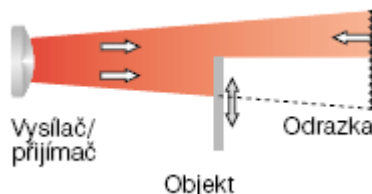
Skládá se z vysílací a přijímací jednotky, které musí být umístěny na opačných stranách snímací cesty. Předmět přerušuje světelný paprsek a způsobuje sepnutí přijímače bez ohledu na vlastnost svého povrchu. Tato provedení optických závor jsou nejlepší pro nepříznivé podmínky (např. prach, vlhko, oleje). Mohou být dosaženy rozsahy až do 50 metrů.



Obrázek 13 - Princip jednocestné optické závory – (3)

### Reflexní optická závora

Reflexní optické závory mají vysílač a přijímač ve společném pouzdře. Odrazka umístěná na opačné straně odrazí paprsek zpět do přijímače. Snímaný objekt přeruší odražený světelný paprsek a způsobí změnu stavu výstupního signálu. U lesklých povrchů je doporučováno, aby světlo odražené od objektu bylo filtrováno polarizačním filtrem před přijímačem a tím se předešlo vzniku falešných signálů. Dosah může být až 12 metrů [3].



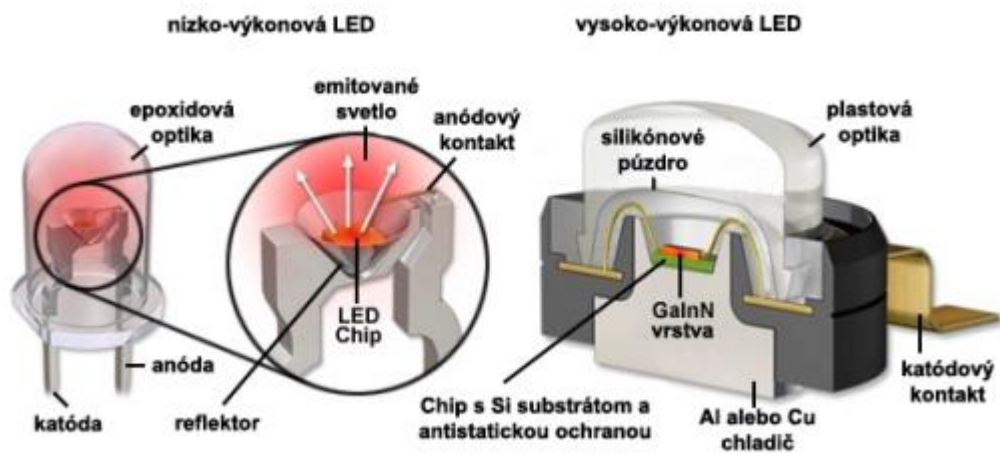
Obrázek 14 - Princip reflexní optické závory –(3)

## 3.4 Použití LED jako senzoru v praxi

Během tvorby této práce jsem se dočetl a setkal s mnoha součástkami pracujícími jak pro detekci světla, tak i světelné vyzařování. Ve většině případech se využívá fotodiody připojené například na dva piny procesoru s předřadným odporem a naopak méně často jsem se setkal s využitím fototranzistoru. Každá LED vyrobená pouze z jednoho druhu polovodiče má svou charakteristickou vlnovou délku, na níž emituje světlo. To znamená, že dokáže vyzařovat pouze jednu barvu. Pro změnu spektrální odezvy jsou využívány barevné filtry buďto umístěné přímo na ploše snímacího čipu, nebo v optické soustavě, kde je možná výměnná konstrukce. Během letní brigády ve firmě ELAN Hranice s.r.o. jsem se setkal s realizací optického IR detektoru pohybu na principu optické závory. Světelné závory detekují přerušení světelného svazku nebo změny kontrastu či osvětlení vyvolané přítomností nebo pohybem v objektu. Princip optické závory jsem vysvětlil v oddíle optických principů snímání.

Dále mám zkušenosti s realizací kamerového systému v objektu za pomoci osvětlení pomocí IR reflektoru, který se skládá z 3x5 LED. IR reflektor produkuje pro lidské oko neviditelné IR záření, které osvětlí sledovaný prostor a vytvoří pro monitorovací kameru dobré snímací podmínky. Infračervené diody LED se jako senzor hojně využívají v robotice a to nejen jako senzory detekce překážek, ale i jako přijímače IR, které jsou součástí mé práce.





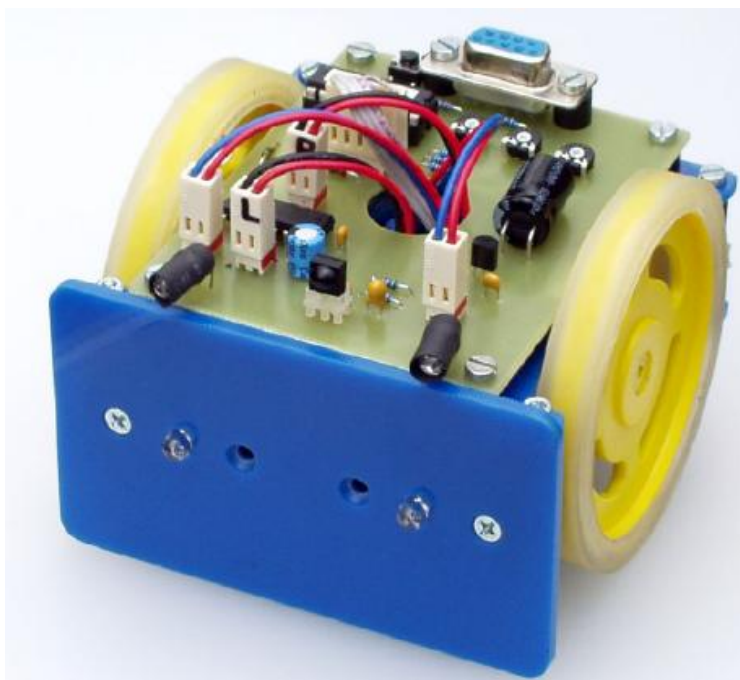
Obrázek 15 - Luminiscenční dioda LED

## 4 Praktická část

### 4.1 Umík robot

Robot navržen a postaven firmou Snail Instruments, skládá se z univerzální pohonné jednotky UMU-01 obsahující stavební spojovací materiál z plexi, na kterém je uchycena veškerá elektronika robota včetně dvou GM8PW motorů, které jsou opatřeny odrušovacími kondenzátory. Podvozek je uzpůsoben tak, aby na něj šly případně přidělat další části, jako jsou různé čidla a senzory, které slouží pro jeho lepší orientaci v prostoru. Součástí UMU-01 je také ocasní kulička a radlice.

Systém je vyvinut na základě dlouhodobých zkušeností. Je řízen vylepšenou verzí procesoru PICAXE a může být tedy snadno opakovaně přeprogramován při testování. Všechny I/O části jsou umístěny na řídicí desce. Řídicí deska je odnímatelná, lze jí použít také v jiných aplikacích nebo lze kombinovat různé produkty této firmy dohromady. Robot se dá snadno sestavit, má přívětivé vývojové prostředí, do kterého se dají snadno a rychle zapsat jednoduché, ale přesto účinné aplikace.



Obrázek 16 - Umík robot

#### 4.1.1 Základní vlastnosti

- **Cílová skupina:** Slouží pro vzdělání nebo robotové nadšence, případně díky svojí jednoduchosti i pro začátečníky. Stavebnice je vhodná pro konstruktéry přibližně od 12 let a výše, individuálně podle znalostí a zručnosti. Vhodné pro střední, vysoké, odborné školy nebo jako koníček pro domácnost.

- **Napájení:** 6 AAA baterií pro PICAXE 18X mikrokontrolér a řízení motorů
- **Čas potřebný k sestavení a programování:** 4-6 hodin, Umík robot se sestavuje z připravených součástí k montáži a velice užitečná je dodávaná příručka pro programátora, která obsahuje popis jednotlivých funkcí a příkazů.
- **komponenty:** IR-LED, startovací tlačítko, trimry, rezistory a kapacity, infra přijímač, reflexní infračervené senzory.
- **Detekce překážek:** Detekce překážek je umožněna pomocí dvou infradiod pracujících na principu odrazení infračerveného záření.
- **Detekce čáry:** Detekce čáry je umožněna pomocí dvou reflexních infračervených senzorů, v každém pouzdru je jedna LED dioda a fototranzistor, citlivost těchto senzorů se nastavuje pomocí trimrů.
- **Dálkové IR ovládání:** Dálkové ovládání robota je zrealizované speciálním ovladačem od firmy PICAXE plně kompatibilním s PICAXE mikrokontroléry a infra přijímačem pracujícím na frekvenci 38kHz.
- **Rozšíření:** Robota je možno rozšířit o další zařízení a moduly jako je třeba gyroskop nebo různé doplňkové senzory.

#### 4.1.2 Hlavní specifikace mikrokontroléru PICAXE 18X

- Napájecí napětí: 4V do 5.5V
- Velikost paměti Flash: 256Bytes
- Počet I/O pinů: 14 + 2 určené pro sériovou komunikaci
- Frekvence procesoru: 8 MHz,
- I2C rozhraní: pro napojení externí EEPROM a dalších zařízení
- Programová velikost EEPROM: 600 řádků
- Zátěž celku: 100mA
- Zátěž jednoho I/O: 25mA / 25mA
- Zdroj čipu: do 200mA
- Pouzdro: 18pin DIP

### 4.1.3 Elektronika robota a popis funkčních bloků

#### Řídící deska

Srdcem robota je 18pinový mikrokontrolér PICAXE-18X v pouzdře DIP, který je usazen v patici pro snadnější usazení do desky a případně jednoduší výměny za výkonnější mikrokontrolér. Aby tento čip pracoval, je k němu připojeno napájení 5V. Další důležitou součástí řídicí desky je H-můstek L293D. Tento obvod obsahuje dva můstky, tudíž slouží pro řízení dvou motorů, jelikož samotný mikrokontrolér tohoto řízení není schopný. Obvod obsahuje dvě indikační LED diody, z nichž zelená LED indikuje zapnutí robota a žlutá LED indikuje stav výstupu Out0, ke kterému je připojena. Svítí při vysoké úrovni. Tato LED se využívá při ladění vlastního programu k indikaci, že program prošel určitým místem. Startovací tlačítko je připojeno na vstup In6, při jeho prvním sepnutí se rozbíhá běh programu, druhé stisknutí způsobí, že se program zastaví a při třetím sepnutí program běží opět od začátku. V klidovém stavu je úroveň vstupu vysoká, zajištěná zdvihacím odporem R11, při stisku tlačítka je vstupní úroveň nízká. K propojení robota s PC slouží sériový kabel 1:1 opatřený konektory Cannon 9, díky němuž jsem schopný přesunout program z programovacího vývojového prostředí PC do paměti mikrokontroléru. Trimry P1-P3 slouží k nastavení citlivosti vstupů. Otáčením doleva zvyšujeme citlivost senzorů, kdežto naopak otáčením doprava citlivost snižují. Posledním důležitým obvodem je infrasenzor SFH5110 nejčastěji používaným ve spotřební elektronice jako přijímač.



Obrázek 17 - Řídící deska

#### Napájecí deska

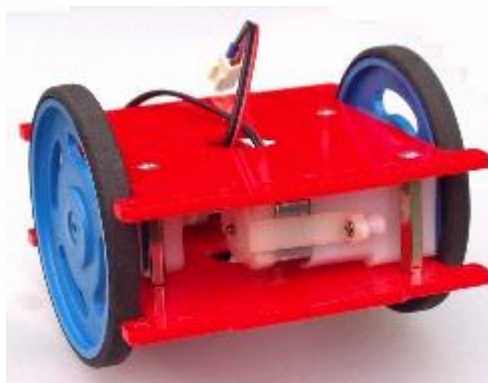
Slouží k napájení celého systému robota. Na cuprex desky jsou přišroubované tři držáky pro dvě AAA baterie v sérii. Pro lepší stabilitu jsou baterie umístěny blíže k závěsné kuličce. Z napájecí desky je vyveden kabel na konci zakončený polarizovanými pin konektory, které se prostrčí kabelovou šachtou o průměru 18mm a zapojí na řídicí desce na pin konektor J2. Rozměry desky jsou 68x88mm.



**Obrázek 18 - Napájecí deska**

## **Podvozek**

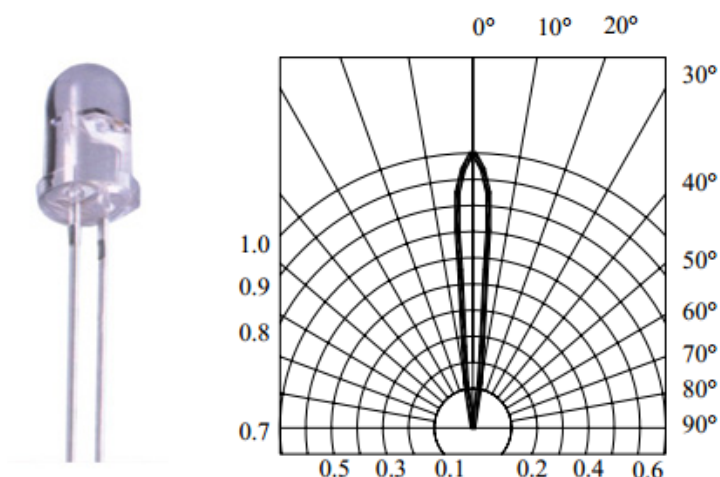
Podvozek UMU-01 je vyroben z materiálu plexi (Perspex) tloušťky 3mm. Osazen dvěma motory GM8PW s převodovkou opatřeny odrušovacími kondenzátory a napájeny 6V. Motory jsou osazené kolečky PW65 speciálně dělanými pro tyto typy motorů. Na modelářské plexi desky je možno upevnit jakékoli elektronické zařízení a vyrobit si tak funkčního robota dle libosti. Můj robot má ve spodní části podvozku umístěnou napájecí desku, a to takovým způsobem, aby byly držáky umístěny blíž k vlečné kuličce kvůli stabilitě robota. Na horní část je upevněna řídicí deska. Senzory čáry a senzory detekce okraje arény jsou zachyceny v přední části podvozku. Jako nárazník slouží radlice, ve které jsou umístěny infradiody LED detekující překážky před robotem. Veškerá kabeláž je protažená kabelovou šachtou podvozku nahoru až k řídicí desce, a tam jsou zapojeny na příslušné konektory.



**Obrázek 19 - Podvozek UMU-01**

## **Senzory detekce překážek**

Senzor překážek se skládá ze dvou IR LED diod a detektoru SFH5110, který je citlivý pouze při frekvenci 36-38 kHz. Díky tomu nemůže detektor sepnout při osvětlení slunečním světlem. Bohužel může sepnout při kontaktu s dálkovým ovladačem třeba od televize, protože většina ovladačů pracuje právě na frekvenci 36kHz. Proto je potřeba vyřešit odolnost proti externím zdrojům softwarově.



Obrázek 20 - IR LED a její vyzařovací diagram

Zda IR LED blikají, se dá přesvědčit následovně. Jelikož infračervené záření nelze vidět pouhým okem, použil jsem webovou kameru, pomocí které jsem si ověřil funkčnost jednotlivých diod. V následující tabulce (Tabulka 1) jsou vypsány parametry IR LED diody.

Tabulka 1 - Parametry IR LED

Vlnová délka	940 nm
Vyzařovací úhel	20°
Průměr	5 mm
Napájení	10 – 20 mA

Přijímač SFH5110 je součástka sloužící, jak už název napovídá, pro příjem a dekódování povelů infračerveného záření. V jediném pouzdře je spojena funkce přijímací diody, zesilovače, limitéru, kmitočtového filtru a demodulátoru. Daný signál je po přijetí diodou zesílen, a prohnán kmitočtovým filtrem. Ten zamezí průchodu neúčinného signálu, na nějž je nastaven (zejména denního světla). Limitérem je přizpůsoben na požadovanou úroveň a následně demodulován.



Obrázek 21 - Přijímač SFH5110

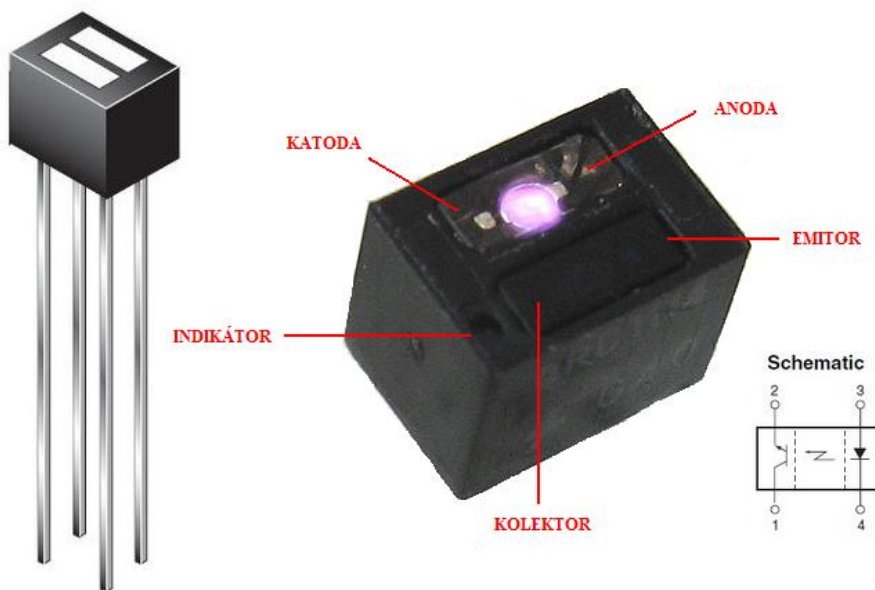
## Senzory čáry

Snímač čáry je externí senzor pro zajištění primární funkce robota. Jsou zde použity reflexní IR senzory QRD1114, pracující v infračervené oblasti spektra a složené z IR-LED diod, která emituje světlo pro tranzistorový detektor. Jedná se tedy o senzor aktivní, který obsahuje zdroj světla. Báze tranzistoru je vlastně přijímač, který sepne tranzistor, pokud na jeho bázi dopadá světlo. Celý snímač na čáru je složen ze tří kusů QRD1114.



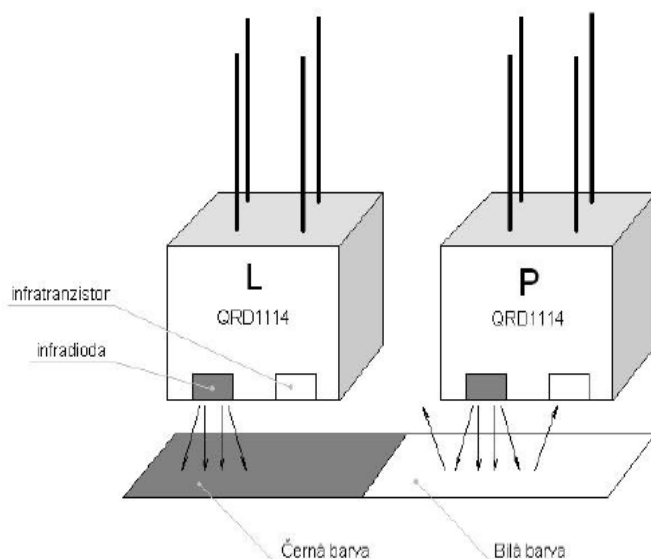
Obrázek 22 - Senzory pro sledování čáry

Každý senzor dokáže rozpoznat, zda se nachází nad vodící čarou či nikoliv. Zatímco od světlého podkladu se infračervený paprsek odráží, černá čára světlo pohlcuje, takže je snadno rozlišitelná. Všechny senzory jsou umístěny těsně u sebe a tvoří jednoduchý senzorový modul, který není širší než vodící čára. Robot nepřetržitě kontroluje stav senzorů a podle toho ovládá motory. Princip senzoru je znázorněn na (Obrázek 23).



Obrázek 23 - Reflexní senzor QRD1114

Podle polohy čáry se mění množství světelného toku, který se odrazí do snímacích tranzistorů. Fototranzistor je zapojen v napěťovém děliči a jeho výstupní napětí je zpracováváno A/D převodníkem v mikrokontroléru.



**Obrázek 24 - Princip rozeznání barev**

Levý senzor (L) se nachází nad černou plochou, do báze tranzistoru nedopadá infračervené světlo, vyhodnoceno jako log1. Pravý senzor (P) je nad plochou bílou, do báze infračervené světlo dopadá, vyhodnoceno jako log0. Tyto stavy vyhodnocuje mikrokontroler.

### **Senzory detekce okraje arény**

Jsou použity stejné senzory jako v případě detekce čáry, pracující na stejném principu. Robot nacházející se ve vymezeném prostoru ohraničeného černou čarou, nepřejede danou oblast. Oba senzory, uchyceny na spodní části podvozku, detekují okraje vymezené plochy černou čarou. V případě její detekce robot zastaví, začne couvat po dobu cca 1s a otočí se o 90° doprava, poté pokračuje ve své jízdě dopředu. Tenhle senzor se využívá například v soutěžích mini sumo robotů, kde je hlavním cílem vytlačit protivníkovu robota z vyznačené arény ven. Pomocí trimrů se dá citlivost senzorů nastavit tak, aby reagovali na tmavou (černou) nebo naopak světlou (bílou) čáru.

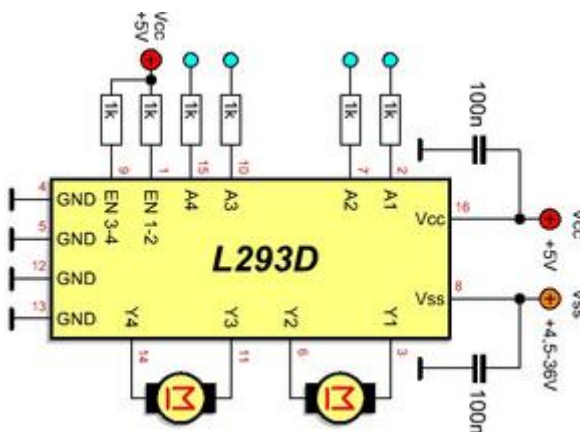


**Obrázek 25 – Senzory detekce okraje arény**



#### 4.1.4 Ovládání motorů

Motory musí být řízeny speciálním silovým budičem, tzv. H-můstkem. Samotný mikrokontrolér je nemůže přímo ovládat, a to ze dvou důvodů: Motory protéká poměrně velký proud. Mikrokontrolér pracuje jen s digitálními signály a není na vysoké proudové odběry konstruován (zaručeně by došlo k jeho zničení). Kromě toho by takové zapojení neumožňovalo otáčení motorků v opačném směru. Změna smyslu otáčení stejnosměrných motorků je závislá na změně polarity jejich napájení, což u digitálního TTL signálu provést nejde. Oba motorky jsou proto ovládány dvojitým H-bridge L293D a teprve ten je řízený digitálními signály z výstupů mikrokontroléru. IO L293D, který je uložen v pouzdře DIL16, obsahuje dva můstky, každý se samostatným ovládáním. V názvu součástky „D“ znamená, že v IO jsou použity ochranné diody, což minimalizuje počet součástek na řídicí desce. Ochranné diody chrání výkonové tranzistory uvnitř obvodu před poškozením špičkami indukovaného napětí, které vzniká při běhu elektromotorku.



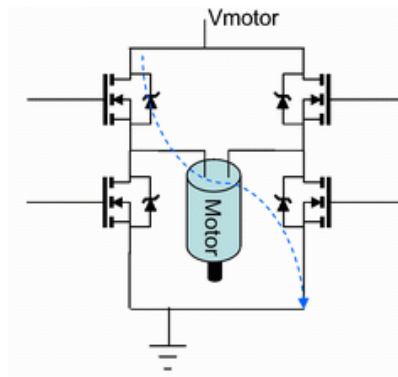
Obrázek 26 - H-můstek L293D – (4)

**V praxi jsou běžné následující můstky:**

#### Plný spínací H-můstek

Umožňuje provoz motorů v obou směrech, využívá rychlého spínání MOSFET tranzistorů. Pro ochranu Back-EMF a indukce se připojují diody. Pro řízení bipolárních krokových motorů jsou potřeba dva plné H-můstky.

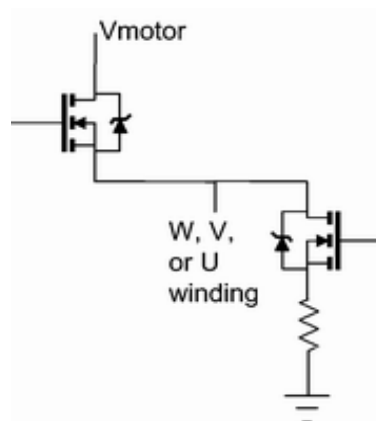
Back-EMF (bezsensorové snímání = sensorless) - měří napětí indukované v zrovna nenapájených vinutích, které se v tu chvíli chovají jako generátor, tzn. točivé mag. pole v nich indukuje napětí úměrné jeho velikosti, které je tak úměrné rychlosti otáčení motoru. Jeho nevýhoda je nutnost dlouhého snímání. Po převodu napětí A/D převodníkem lze pomocí komparátoru vytvořit impulsní signál, jehož frekvence je úměrná rychlosti otáčení.



Obrázek 27 - Plný spínací H-můstek – (4)

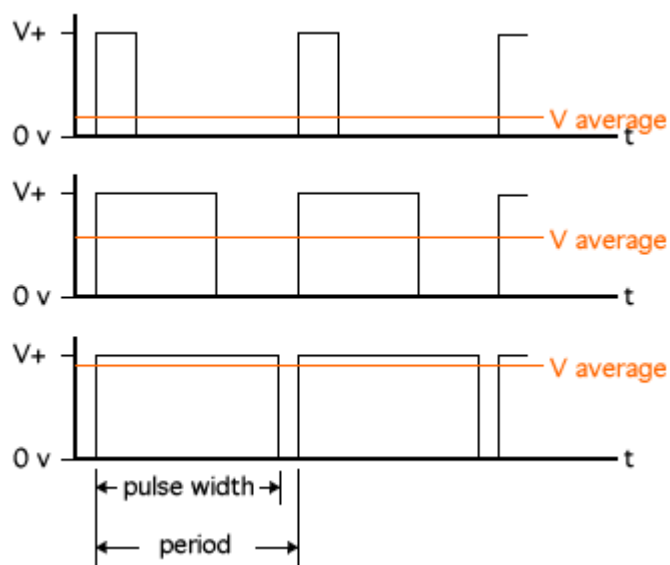
### Poloviční H-Můstek

Využívá se pro řízení třífázových a některých stejnosměrných motorů. Zde se využívá tři polovičních H-můstků, jeden pro každé vinutí U, V a W. Konce každého vinutí jsou společně spojeny a musí být u řízení spínání tranzistorů zajištěno, aby nebyly zároveň otevřeny oba tranzistory - generování tzv. mrtvého pásma (Dead-Band), tj. překrývání doby PWM impulsů [4].



Obrázek 28 - Poloviční H-můstek – (4)

Řízení rychlostí motorů by šlo vyřešit tzv. pulzně-šířkovou modulací (PWM), která je založena na principu rychlého střídání aktivního a neaktivního stavu. Mikrokontrolér ve velmi krátkých časových intervalech motory zapíná a vypíná a pokud budou oba časové úseky stejně dlouhé, bude rychlost motorů přesně poloviční. Změnou střídání signálu je pak možné nastavit požadovanou rychlost.



Obrázek 29 - Pulzní šířková modulace PWM – (9)

Pohonnou jednotkou jsou, jak už jsem psal, dva stejnosměrné elektromotory s označením GM8. Součástí motoru je i převodovka. Parametry motoru jsou v (Tabulka 2).

Tabulka 2 - Parametry motoru

Převodový poměr	143:1
Rychlost otáčení při 5V	70 ot./min.
Proudový odběr bez zátěže	58 mA
Proudový odběr při 0 ot./min.	670 mA
Točivý moment při 0 ot./min.	0,3 Nm
Rozměry	55x44x23
Hmotnost	32g

Při běžné jízdě má motor odběr okolo 150mA, ale při rozjezdu dosahuje hodnot mnohem vyšších. Proto je třeba motory budit silovými budiči. Zvoleny jsou už zmiňované H-můstky L293D obsahující dva můstky. Pro každý motor je potřeba právě jeden tento můstek, aby bylo možné změnit směr otáčení neboli polaritu napětí na svorkách motoru.

## 5 IR dálkové ovládání

Snad všechny ovladače spotřební elektroniky používají k přenosu informace modulovaný infračervený paprsek. Modulace signálu zajišťuje zvýšenou odolnost proti rušivým vlivům (např. Slunce, osvětlení, topení aj.). Během usilovné práce rozchození IR dálkového ovládání robota jsem se setkal s několika problémy. Prvním problémem bylo, že jsem si rozkódoval satelitní dálkový ovladač od firmy HUMAX typu RS101-P, který používal kódovací protokol RC5. Aplikací jeho jednotlivých kódů od každého tlačítka do vytvořeného programu se mi nepodařilo robota přinutit k činnosti. Problém spočíval v tom, že příkazy INFRAN kompatibilní s mikrokontrolérem PICAXE 18X pro IR dálkové ovládání fungují jen pro příjem kódovacího protokolu Sony a samotný mikrokontrolér pracuje jen s tímto protokolem. Měl jsem tedy dvě možnosti: vyměnit mikrokontrolér za výkonnější, nebo zakoupit speciální ovladač TVR010 od firmy PICAXE. Rozhodl jsem se pro zakoupení ovladače a to z důvodu, že stál o polovinu méně.

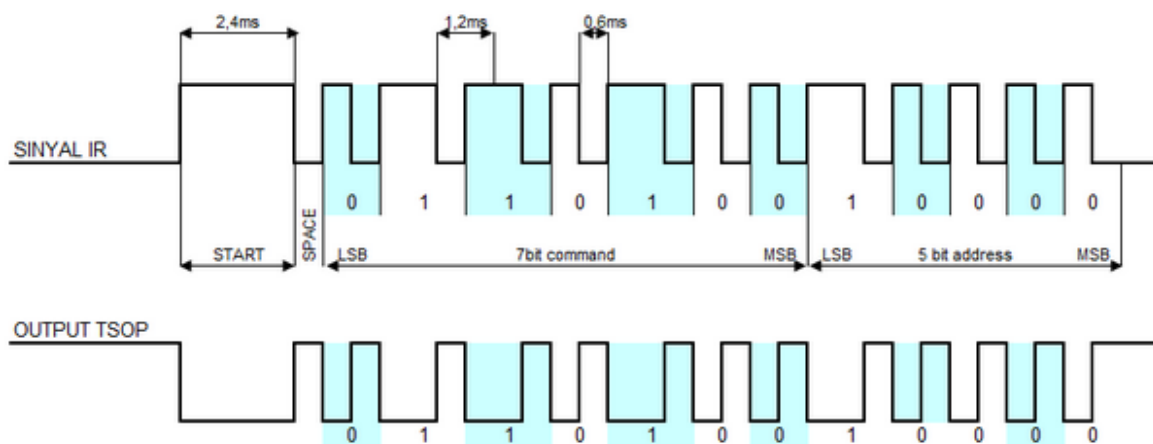
Po rozkódování ovladače a jeho aplikace na robota se vyskytl další problém. Spočíval v tom, že samotný IR přijímač SFH5110 reaguje pouze na infračervené světlo modulované určitou frekvencí, čímž je potlačen příjem parazitních signálů. Výstupem přijímače je demodulovaný digitální signál, který mikrokontrolér dále zpracovává. IR přijímač na robotovi pracuje standardně na frekvenci 36 - 38 kHz, tudíž se mi povedlo robota ovládat jen na několik centimetrů. Tento problém by se dal vyřešit zakoupením výkonnějšího IR přijímače, nejlíp pracující na frekvenci 56 kHz. Od výrobce robota jsem dostal doporučení na dobře fungující přijímač GP1UM26XK s ovladačem TVR010, avšak tento přijímač byl k sehnání pouze v USA, tak jsem od tohoto řešení upustil a ponechal stávající IR přijímač robota.



Obrázek 30 - Dálkový ovladač TVR010

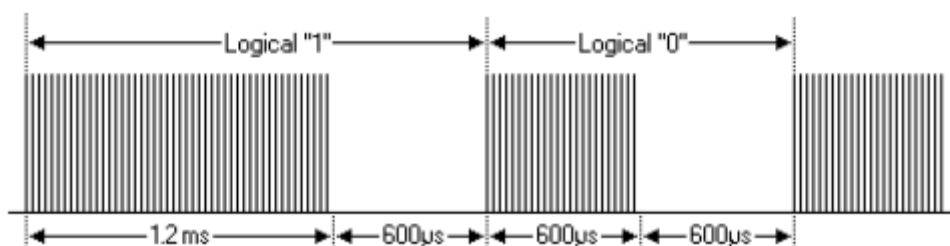
### 5.1 Dekódování protokolu Sony

Různé dálkové ovladače kódují přenášená data různými protokoly. Pokud chci použít existující dálkový ovladač k ovládání vlastního zařízení, musím přesně vědět, jak ovladač komunikuje. Jediným spolehlivým způsobem jak toto zjistit, je odposlechnout signál „ze vzduchu“ a pak ho podrobit analýze – zjistit délku jednotlivých pulzů a najít znaky typické pro daný protokol např. osciloskopem, nebo nějakým druhem programu. Na obr. 31 je znázorněn packet protokolu Sony SIRC [8].



Obrázek 31 - Packet protokolu Sony SIRC

Protokol definuje, kde začíná zpráva, jakým způsobem jsou kódovány bity a jak mají být tyto bity interpretovány příjemcem. Například výše uvedený protokol kóduje bit „1“ jako puls délky 1200µs za kterým následuje mezera 600µs. Bit „0“ je kódován jako puls a mezera stejné délky 600µs. Znárodně na obr. 34.



Obrázek 32 - Kódování bitů – (8)

V kompletním datovém rámci je vysílání zahájeno start bitem trvajícím 1800µs. Za start bitem následují data. Prvních sedm bitů určuje stisknuté tlačítko na dálkovém ovladači. Z toho vyplývá, že ovladač může mít až 128 tlačítek. Následující pětice bitů identifikuje zařízení, kterému je informace určena. Zařízení mívají odlišné adresy a reagují jen na signály z určitého ovladače. Proto není možné přepínat televizi dálkovým ovládáním od DVD přehrávače. I když by obě zařízení používala stejný protokol, liší se v adrese. Televize signály z cizího ovladače sice přijme, ale nebude na ně reagovat. Podle posledních pěti bitů pozná, že nejsou určeny pro ni.

## 6 Funkce robota

### 6.1 Robot ve funkci hledání čáry

Sledování černé čáry je možné realizovat pouze dvěma jednoduchými senzory, avšak v mém případě jsou použity tři reflexní IR senzory QRD1114. Senzor dokáže rozpoznat, zda se nachází nad vodící čarou nebo ne. Od světlého podkladu se infračervený paprsek odráží, ale černá čára světlo pohlcuje, takže je snadno rozlišitelná. Všechny tři senzory jsou umístěny těsně u sebe a tvoří jednoduchý sensorový modul, který není širší než vodící čára. Robot nepřetržitě kontroluje stav sensorů a podle toho ovládá motory.

Na začátku programu jsou konstantám a různým proměnným přiřazena různá jména bez diakritiky funkcí Symbol, což přispívá k lepší čitelnosti programu.

Ukázka definice konstant:

```
Symbol lbot = pin2 ' levý senzor
Symbol mbot = pin0 ' střední senzor
Symbol rbot = pin1 ' pravý senzor
Symbol botled = 1 ' spodní leds
```

IR reflexní senzory QRD1114 jsou příkazem `hight botled` aktivovány a svítí. Jednotlivé senzory je poté nutno naladit na správnou citlivost, aby detekovali černou čáru. Celý program pak prochází testovací částí, kde se jednotlivé senzory testují jestli se nachází nad tmavou či světlou plochou dráhy.

Ukázka testovací části programu:

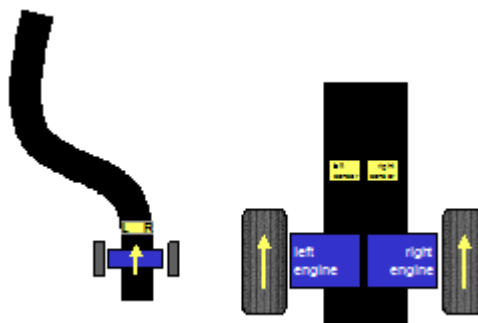
```
TEST:
  if lbot=0 and mbot=0 and rbot=0 then goto HLEDAT
  pause 10
  if lbot=1 and mbot=1 and rbot=1 then goto VPRED
  pause 10
```

Program na základě toho v jaké úrovni se jednotlivé senzory nachází tzn. jestli jsou v 1 nebo v 0 (tj. 1 detekce čáry, 0 není na čáře) dá povel ke skoku na jiné místo programu. Vykoná se příkaz a opět se skočí na začátek testovací smyčky. V následujících řádcích nastíním možné situace, které mohou nastat při pohybu robota po čáře.

**Mohou nastat následující situace:**

**a) Robot na čáře**

Oba senzory jsou nad vodící černou čarou a tedy v úrovni 1. V takovém případě se obě kola točí dopředu, robot jede rovně, dokud nezačne vodící čára zatáčet a jeden ze senzorů neztratí kontakt s čarou.



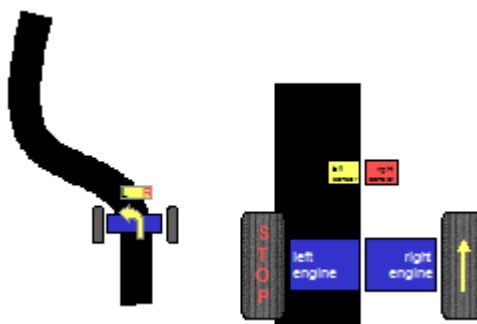
**Obrázek 33 - Robot na čáře – (8)**

Ukázka programu:

```
if lbot=1 and mbot=1 and rbot=1 then goto VPRED
... skok na
VPRED:
pause 10
backward a 'pravy motor vpred
backward b 'levy motor vpred
goto TEST 'skok na test
```

**b) Robot vyjíždí z čáry**

Jakmile je robot v zatáčce, pravý senzor ztratí kontakt s čarou. Mikrokontrolér zastaví levý motor, takže začne zatáčet doleva a senzor se opět přibližuje k čáře.



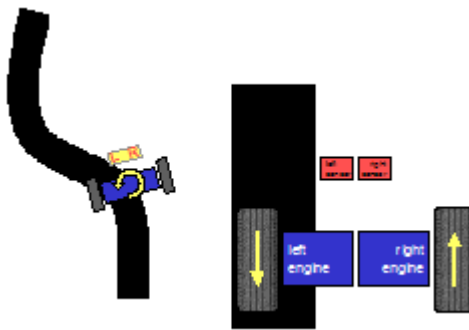
**Obrázek 34 - Robot vyjíždí z čáry – (8)**

Ukázka programu:

```
if lbot=0 and mbot=1 and rbot=1 then goto VLEVO
... skok na
VLEVO:
pause 10
halt a          'pravy stat
backward b      'levy motor zpet
goto TEST      'skok na test
```

### c) Robot hledá čáru

Pokud je však zatáčka příliš prudká, nestihne robot včas zatočit a i levý senzor ztratí kontakt s čárou. Robot si však pamatuje, kde viděl čáru naposledy a začne se tím směrem otáčet, dokud se levý senzor nedostane opět na čáru. Z toho vyplývá, že dojde-li robot na konec čáry, otočí se o 180° a vrací se po čáře zpátky.



Obrázek 35 - Robot hledá čáru – (8)

Ukázka programu:

```
if lbot=1 and mbot=0 and rbot=0 then goto DOPRAVA
... skok na
DOPRAVA:
pause 10
halt b          'levy stat
forward a       'pravy motor vpred
goto TEST      'skok na test
```



#### d) Robot ztratil kontakt s čarou

Málokdy je robot hned po zapnutí v kontaktu s čarou. Ve svém okolí musí nejprve vodicí čáru najít, aby ji poté mohl sledovat. Robot má však o okolním prostředí jen velmi málo informací a černou čáru rozpozná teprve ve chvíli, kdy na ní najede senzorem umístěným v podvozku. Protože netuší, kterým směrem by čára mohla být, musí systematicky prozkoumávat své okolí. Nejdříve se otočí kolem své vlastní osy a hledá čáru ve svém bezprostředním okolí. Není-li nalezena, začne objíždět počáteční místo v čím dál větších kruzích, takže se ve výsledku pohybuje po spirále. Je téměř jisté, že se spirála v nějakém bodě s čarou protne. Díky dvěma předním sensorům se robot při hledání čáry dokáže vyvarovat kolizí s nějakým objektem [8].

Ukázka programu:

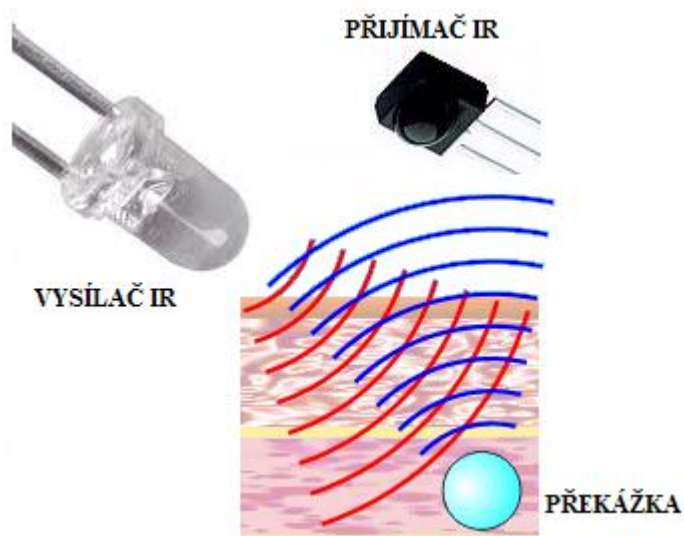
```
if lbot=0 and mbot=0 and rbot=0 then goto HLEDA
... skok na

HLEDA:
pause 10
forward a      'pravy vpred
pause 1000    'ceka 1 vterinu
forward b      'levy motor vpred
goto TEST     'skok na test
```

## 6.2 Robot ve funkci detekce překážek

Detektor překážek při pohybu robota neznámým prostředím pracuje na bázi sledování odrazení infračerveného světelného paprsku od případné překážky. Jako zdroj světla je použita běžně dostupná infračervená dioda IRLED20 s vlnovou délkou 940nm a vyzařovacím úhlem 20°, což má rozhodující vliv na vlastnosti a schopnosti detektoru. Při běžném denním osvětlení je průměrný maximální dosah jednotlivých sensorů cca 20cm. Použité součástky mají vliv i na velikost prostoru, ve kterém se musí nacházet překážka, aby byla senzorem detekována. Úspěšnost detekce případné překážky závisí na tom, jak moc pohlcuje povrch materiálu světlo o vlnové délce 940nm a jak moc ho odráží zpět k senzoru. Z toho vyplývá, že překážky s lesklým a světlým povrchem (světlý plast, kovy atd.) budou zaznamenány ve větší vzdálenosti, než materiály s nerovným tmavým povrchem (textilie, vegetace atd.).

Další významný faktor ovlivňující funkci modulu je úhel pod jakým dopadá vyslané světlo na překážku. Tato IR dioda je vhodným zdrojem signálu pro přijímač SFH5110. Ten vyhodnocuje příjem na základě dopadu infračerveného světla blikajícího na frekvenci 36kHz. Infradiody tudíž musí blikat na této frekvenci. Mikrokontrolér vyhodnotí sběrem dat z přijímače překážku a vyšle příkaz k zastavení motoru a poté následnému vyhnutí překážky.



Obrázek 36 - Princip detekce překážek

Jelikož infradiody slabě vyzařují světlo i do stran, infrapřijímač vyhodnocuje příjem, aniž by došlo ke zpětnému odrazu světla od překážky. Tento problém jsem vyřešil navlečením infradiod do černých smršťovacích bužírek tak, aby mohlo infračervené světlo svítit pouze pod malým úhlem.

V následujícím fragmentu programu je použito pouze jedno přední čidlo. Příkaz `pwmout` generuje pulsně modulovaný výstupní signál na zvoleném vývodu s využitím interního hardware kontroleru. Tento signál zůstává aktivní i po ukončení tohoto příkazu. Pokud je infrapřijímač `sfh` v úrovni 1, robot nedetekuje žádnou překážku a jede vpřed, ale jakmile začne přijímat odražené infračervené záření od překážky zastaví oba motory.

Ukázka programu:

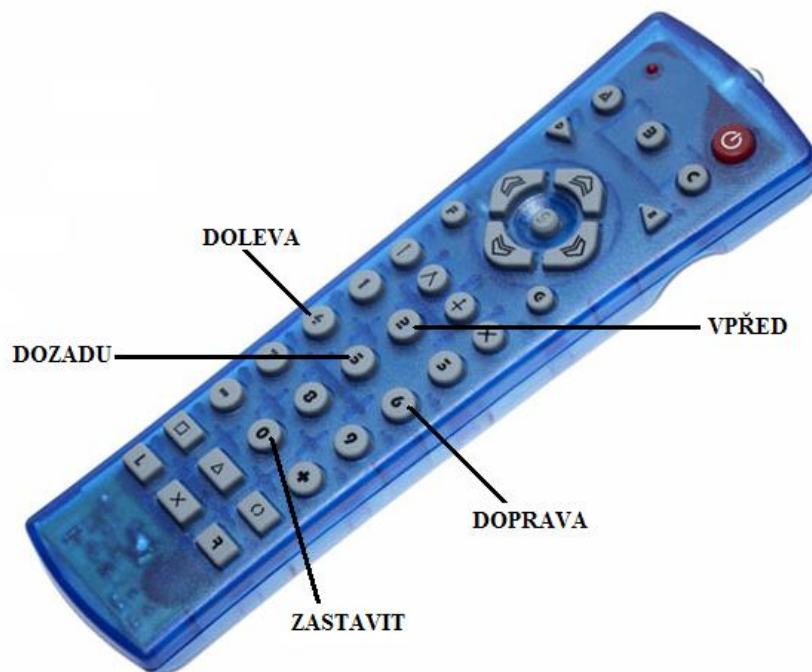
```

high pwmright          'prave cidlo sviti
do
  pwmout pwmpin,26,62
  pause 10
  if sfh=1 then        'zadna prekazka
    forward a          'prevy motor vpred
    forward b          'levy motor vpred
  else                  'detekce prekazky
    halt a             'pravý motor stat
    halt b             'levý motor stat
  endif

```

### 6.3 Robot ve funkci dálkového ovládání

Dálkově ovládaný robot pomocí IR ovladače TVR010 pracuje na podobném principu, jako výše zmiňovaná detekce překážek, avšak s tím rozdílem, že přijímač nepřijímá odražené infračervené záření od překážky, nýbrž dálkového ovladače. Každé tlačítko na ovladači má jiný kód vysílaného paprsku, ten je zpracován v přijímači a data jsou poslány do mikrokontroléru, který je zpracuje a následně vyše příslušný příkaz.



Obrázek 37 - Funkce tlačítek na ovladači

Během programování je nutné, aby byl přijímač infračerveného záření připojen na vstup procesoru input0. Pomocí funkce infrain, který podporuje pouze protokol Sony, robot čeká na příjem znaku z dálkového ovládače. Přijatý kód je v proměnné infrain. Veškeré zpracování signálu se zastaví, až s dalším povelům z dálkového ovládače. Příkaz, který robot obdržel je umístěn v předdefinované proměnné infra. Tento příkaz funguje pouze při pracovní frekvenci procesoru 4MHz. Jakmile dálkový ovladač vyšle signál infrapřijímač jej dekóduje a provede nadefinovanou činnost.

Ukázka programu:

```
main:
infrain                                'ceka na signal
    if infra = 1 then VPRED             'skok na navesti VPRED
    if infra = 2 then STAT              'skok na navesti STAT
....
VPRED:
forward a                               'pravy motor vpred
forward b                               'levy motor vpred
goto main

STAT:
halt a                                  'pravy motor stat
halt b                                  'levy motor stat
goto main
```

## 7 Softwarové řešení

K propojení robota s PC slouží sériový kabel opatřený konektory Cannon 9. Jelikož jsem veškeré programování prováděl prostřednictvím mého notebooku, který bohužel neměl sériový port pro komunikaci s PC, byl jsem nucen zakoupit převodník USB na sériový port (COM) kompatibilní s USB 2.0. Přenosová rychlost dosahuje až 1Mbps.

Základním úkolem mikrokontroléru je v pravidelných časových okamžicích zapínat a vypínat motory a to za pomoci sbírání dat z infrasenzorů. Před samotným začátkem programování bylo nutné zkontrolovat funkčnost všech obvodů robota. V kontroléru PICAXE byl z výroby instalován program, který umožňuje otestovat tyto jednotlivé obvody. Na každý další krok v testu obvodů se přejde stiskem tlačítka Start. Funkčnost senzorů se indikuje blikáním žluté LED diody. Testovací program robota je vložen jako ukázka v příloze A na CD spolu s ostatními programy.

### Testování probíhá v pořadí:

- Žlutá LED – bliká v intervalu 1s.
- Levý motor – opakuje se sekvence 1s dopředu, 1s stojí, 1s dozadu, 10s stojí.
- Pravý motor – opakuje se sekvence 1s dopředu, 1s stojí, 1s dozadu, 10s stojí.
- Levé spodní čidlo – jeho stav se kopíruje na žlutou LED. Na tmavém podkladu LED svítí, na světlém nesvítí.
- Prostřední spodní čidlo – LED indikuje stav. U varianty mini-sumo není prostřední čidlo využité, trvale svítí.
- Pravé spodní čidlo – LED indikuje stav.
- Levé přední čidlo – LED indikuje, že čidlo zachytilo odraz od překážky či soupeře.
- Pravé přední čidlo – LED indikuje stav stejným způsobem.

Po jednotlivých několika testech jsem se přesvědčil, že jednotlivé obvody fungují správně. Nyní jsem tak přešel k vlastnímu testování a simulaci robota ve vývojovém prostředí. Než však přejdu k programování, napíši několik málo slov v další podkapitole o vývojovém prostředí, ve kterém jsem robota programoval.

### 7.1 Vývojové prostředí mikrokontroléru PICAXE 18X

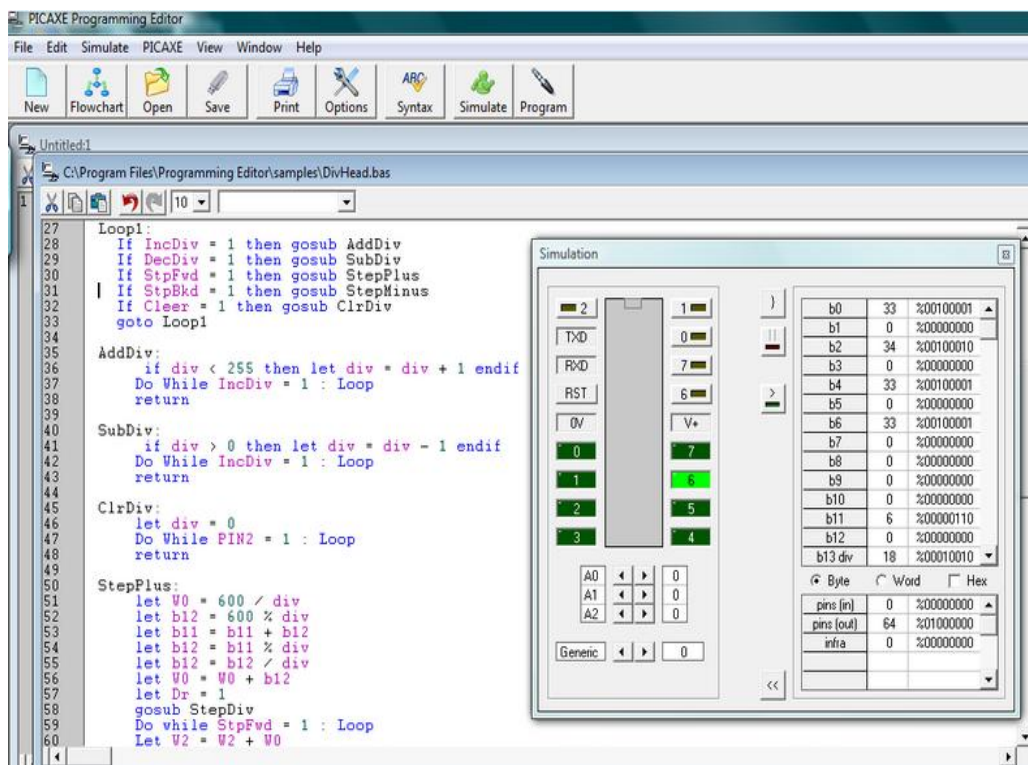
PICAXE Programming editor poskytuje kompletní programovací prostředí pro vytváření programů v jazyce BASIC pro mikrokontroléry PICAXE. Programy se můžou upravovat, kompilovat a nahrávat do všech variant PICAXE v rámci jednoho programu.

Editor umožňuje jak tvorbu programu přímo pomocí příkazů jazyka BASIC, tak i pomocí vývojových diagramů. Vývojové diagramy se tak mohou vytvářet a simulovat na obrazovce a pak automaticky převést do jazyka BASIC.

## Vlastnosti editoru:

- Vytváření vývojových diagramů, programů v jazyce BASIC, logických diagramů, programů v assembleru.
- Simulace funkce programů v jazyce BASIC a ve vývojových diagramech.
- Nahrávání programů do všech variant PICAXE pomocí USB a sériového kabelu.
- Vestavěný BASIC-assembler interpret, takže programy v jazyce BASIC mohou být automaticky převedeny do assembleru (vyžaduje sériový programátor PIC)
- Vývojové prostředí pro psaní v assembleru spolu se snadno použitelným rozhraním a programátorem.

Editor je zdarma pro výukové (nekomerční) využití a může být nainstalován na všech typech školních sítí nebo na domácích počítačích studentů. Editor lze spustit na jakémkoli systému řady MS Windows. Žádné jiné platformy (DOS, Linux, Mac atd.) podporovány nejsou, ačkoli verze pro Linux je ve vývoji.



Obrázek 38 - Ukázka vývojového prostředí

## Závěr

Podařilo se mi zprovoznit a otestovat funkčního robota využívajícího světelných senzorů. Při stavbě robota se vyskytlo několik problémů, se kterými jsem nepočítal, jako například různá rušení, která ovlivňovala funkci senzorů nebo dekodování ovladače.

Robot je závislý na osvětlení a na dráze, po které se pohybuje a je nutné pro každou situaci použít individuální nastavení. Jediným zklamáním byla komunikace robota s dálkovým ovladačem. Infrapřijímač pracující na frekvenci 36-38kHz komunikoval s dálkovým ovladačem TVR010 pouze na vzdálenost několika centimetrů. Pro větší dosah by se dalo použít výkonnějších přijímačů pracujících na frekvenci 56kHz.

Funkce robota, které jsem otestoval a naprogramoval mají velké uplatnění v průmyslu. Funkce sledování čáry se aplikuje na pojízdné manipulátory, které po skladištích rozváží materiál po předem definované trase a senzory detekce překážek jsou používány například jako hlavní bezpečnostní prvky rolovacích průmyslových vrat. Uplatnění by se našlo samozřejmě ještě více.

Při stavbě jsem získal mnoho zkušeností, jak z oblasti světelných senzorů využívající infračervené záření tak i ze stránky programátorské, které jistě využiji při stavbě dalšího robota.

## Literatura

- [1] VOLEK, Lukáš. *Využití LED jako senzoru*. Pardubice, 2010. Dostupné z: [http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/36439/1/VolekL\\_VyuzitiLED\\_RP\\_2010.pdf](http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/36439/1/VolekL_VyuzitiLED_RP_2010.pdf). Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Pavel Rozsival.
- [2] Infračervené záření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2012 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Infra%C4%8Derven%C3%A9\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Infra%C4%8Derven%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD)
- [3] BALLUFF CZ S.R.O. *Optoelektronické snímače* [online]. 2011 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: [http://www.balluff.cz/bos\\_principy-definice.asp](http://www.balluff.cz/bos_principy-definice.asp)
- [4] VOJÁČEK, Antonín. Přesné optické měření velkých vzdáleností. *Přesné optické měření velkých vzdáleností* [online]. 2008, č.1 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/presne-opticke-mereni-velkych-vzdalenosti-i-pres-1-km>
- [5] Optické vlákno. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Optick%C3%A9\\_vl%C3%A1kno](http://cs.wikipedia.org/wiki/Optick%C3%A9_vl%C3%A1kno)
- [6] NĚMEC, Filip. Optické pojítko RONJA. *Optické pojítko RONJA* [online]. 2008 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.chrudim.info/ronja/>
- [7] HUŠEK, Miloš. QTEST. *Princip bezdotykového měření teploty* [online]. 2009-2012 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-mereni-teploty.htm>
- [8] STANĚK, Ondřej. Jak stavím kapesního robota. *Ostan* [online]. 2007 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.ostan.cz/>
- [9] Schematics - How H-bridges work. In: *Society of robots* [online]. 2005-2012 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: [http://www.societyofrobots.com/schematics\\_h-bridgedes.shtml](http://www.societyofrobots.com/schematics_h-bridgedes.shtml)
- [10] Infra sauny. VIRSAS S.R.O. *BeFitClub* [online]. 2011 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://benefitclub.cz/?p=clu&s=i>
- [11] Optoelektronické součástky. *Učební texty pro výuku předmětu mikroelektronické systémy* [online]. 2009 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://352lab.vsb.cz/ServerFinalVer/Tonhauser/opto.html>

## **Příloha A – Popis přílohy**

Příloha 1 – CD:

obsah adresáře:

JaneckaR\_VyuzitiSvetla\_PR\_2012.pdf – vlastní text práce

složka Software:

- Minisumo – obsahuje software robota ve funkci mini sumo
- IR\_remote\_control – obsahuje software pro dálkové ovládání robota
- Sledovani\_cary – obsahuje software pro navigaci robota po čáře
- Test – obsahuje výrobní software pro test jednotlivých obvodů
- PICAXE Programming Editor – vývojové prostředí

složka Schéma – obsahuje podklady pro výrobu desek plošného spoje navržené firmou Sail Instruments