

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Dálkové ovládání s inerciálními senzory

Josef Kříž

Bakalářská práce
2013

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef Kříž**
Osobní číslo: **I09034**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Dálkové ovládání s inerciálními senzory**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Vytvoření dálkového ovládání využívajícího inerciální sensor(y) namísto klasického přístupu. V teoretické části bude rozbor použitelných inerciálních senzorů (gyroskop, akcelerometr, inklinometr) v porovnání s přirozenými gesty člověka ovládající nějaký model. Dále přehled a srovnání použitelných rozhraní pro dálkové ovládání. Praktická část se bude zabývat realizací ukázkové aplikace s dálkovým řízením pomocí zařízení s inerciálními čidly vlastní volby. Dálkové ovládání se dá realizovat kompletně nebo je možno použít vhodné zařízení které již tato čidla má, například telefon s bluetooth a akcelerometry.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

Kreidl, M.; Měření teploty - senzory a měřicí obvody, BEN, ISBN 80-7300-145-4

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

DAŘO, S.; KREIDL M.Senzory a měřicí obvody; Praha : Vydavatelství ČVUT, 1999 ISBN 80-01-02057-6

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Rozsival
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

21. prosince 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

10. května 2013



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. března 2013

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 21. 8. 2013

Josef Kříž

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Pavlu Rozsivalovi za pomoc a rady, které mi pomohly při tvorbě bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat své rodině za podporu během mého studia.

Anotace

Tato bakalářská práce je věnována inerciálním senzorům a jejich využití pro ovládání modelu auta. Teoretická část je věnována popisu akcelerometru, gyroskopu a inklinometru. Dále jsou popsány základy technologie Bluetooth, WiFi a GSM. Praktická část se zabývá návrhem dálkově ovládaného modelu auta. K ovládání je použit chytrý mobilní telefon s akcelerometrem. Pro bezdrátový přenos je použita technologie Bluetooth.

Klíčová slova

dálkové ovládání, akcelerometr, mobilní telefon, Android, Bluetooth

Title

Remote control with inertial sensors

Annotation

This thesis is devoted to inertial sensors and their use for controlling a model car. The theoretical part is devoted to describing the accelerometer, gyroscope and inclinometer. It further describes the basics of Bluetooth, WiFi and GSM. The practical part deals with remote controlled model cars. A smartphone with accelerometer is used as a controller. The wireless Bluetooth technology is used.

Keywords

remote control, accelerometers, mobile phone, Android, Bluetooth

Obsah

Seznam zkratek.....	8
Seznam obrázků.....	9
Seznam tabulek.....	9
Úvod.....	10
1 Inerciální senzory	11
1.1 Akcelerometry	11
1.1.1 Piezoelektrické akcelerometry.....	12
1.1.2 Piezorezistivní (tenzometrické) akcelerometry	13
1.1.3 Tepelné akcelerometry	13
1.1.4 Kapacitní akcelerometry.....	14
1.1.5 Určení náklonu akcelerometrem.....	15
1.2 Gyroskopy	17
1.2.1 Rotační gyroskop.....	17
1.2.2 Optický gyroskop	18
1.2.3 Jaderný gyroskop.....	19
1.2.4 Elektronický gyroskop.....	19
1.2.5 Určení náklonu gyroskopem.....	20
1.3 Inklinometry	21
1.3.1 Provedení inklinometrů	21
1.3.2 Určení náklonu inklinometrem.....	21
2 Bezdrátová rozhraní.....	22
2.1 Bluetooth	22
2.1.1 Historie a vývoj technologie Bluetooth.....	22
2.1.2 Technologie přenosu Bluetooth.....	23
2.1.3 Uspořádání sítě	24
2.1.4 Navázání spojení.....	24
2.1.5 Bluetooth protokoly.....	25
2.1.6 Bluetooth profily	25
2.2 WiFi.....	26
2.2.1 Historie a vývoj WiFi	26
2.2.2 Technologie přenosu WiFi	27

2.2.3	Zabezpečení WiFi sítě	28
2.3	GSM	28
2.3.1	Historie GSM sítí.....	28
2.3.2	Využívaná kmitočtová pásma.....	28
2.3.3	Struktura sítě GSM	29
2.3.4	Volba rozhraní pro dálkové ovládání modelu	31
3	Použité komponenty	32
3.1	Mikroprocesor ATmega168	32
3.1.1	Čítače/Časovače a generování signálu PWM.....	33
3.1.2	Sériové rozhraní USART	38
3.1.3	ISP	39
3.2	Bluetooth modul BTM-112	40
3.3	Ukázka parametrů akcelerometru BMA150.....	41
3.4	Stabilizátory napětí	42
3.4.1	Stabilizátor LF33CV	42
3.4.2	Stabilizátor L7805	42
3.5	H-můstek L298N.....	42
3.6	Servo Hextronix HTX900	43
4	Stavba dálkově ovládaného modelu auta	44
4.1	Aplikace pro mobilní telefon.....	44
4.1.1	Základní údaje aplikace	44
4.1.2	Popis aplikace	44
4.1.3	MainActivity.java	45
4.1.4	BtConnectionService.java	46
4.1.5	DeviceListActivity.java.....	47
4.2	Model auta	47
4.2.1	Návrh a realizace desky plošného spoje.....	47
4.2.2	Model auta	50
4.2.3	Řídící program.....	50
	Závěr	54
	Příloha A – Model auta	57
	Příloha B – Obsah DVD	58

Seznam zkratek

AP	Access point
BBS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
DQPSK	Differential Quadriphase (Quadrature) Shift Keying
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HID	Human interface device
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ISP	In System Programing
LAN	Local Area Network
MEMS	Micro Electro Mechanical System
MS	Mobilní stanice
PAN	Personal Area Network
PWM	Pulse Width Modulation
QAM	Quadrature amplitude modulation
SPI	Serial Peripheral Interface
SPP	Serial Port Profile
TDMA	Time Division Multiple Access
TWI	Two Wire serial Interface
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver and Transmitter
WLAN	Wireless Local Area Network
WWAN	Wireles Wide Area Network

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Princip piezoelektrického akcelerometru [4].....	13
Obrázek 2 - Princip piezoelektrického akcelerometru	13
Obrázek 3 - Princip tepelného akcelerometru [4].....	14
Obrázek 4 - Princip kapacitního akcelerometru [7].....	15
Obrázek 5 - Výpočet úhlu α pomocí funkce tangens	16
Obrázek 6 - Setrvačnick v Cardanově závěsu [10]	18
Obrázek 7 - Sagnacův interferometr [11]	19
Obrázek 8 - Princip Coriolisovy síly na mechanický gyroskop [13].....	20
Obrázek 9 - Příklad spojení dvou pikosítí (M – Master, S – Slave).....	24
Obrázek 10 - Bluetooth protokoly a profily [18].....	26
Obrázek 11 - Buňková síť [24].....	29
Obrázek 12 - Základní struktura sítě GSM [25].....	30
Obrázek 13 - ATmega168 popis vývodů [26]	32
Obrázek 14 - Blokové zapojení mikroprocesoru ATmega168 [26]	33
Obrázek 15 - CTC mód (časový diagram) [26].....	34
Obrázek 16 - Fast PWM (časový diagram) [26]	35
Obrázek 17 - Phase correct PWM (časový diagram) [26].....	36
Obrázek 18 - Přehled pracovních módů čítače/časovače 0	36
Obrázek 19 - Phase and Frequency Correct PWM (časový diagram) [26]	37
Obrázek 20 - přehled pracovních módů čítače/časovače 1.....	38
Obrázek 21 - Příklad rámce USART [26]	39
Obrázek 22 - Zapojení programovacího ISP konektoru.....	40
Obrázek 23 - Zapojení desky s Bluetooth modulem BTM-112 [28].....	41
Obrázek 24 - Pouzdro akcelerometru BMA150 [29]	41
Obrázek 25 - Zapojení vývodů L298N [30]	42
Obrázek 26 - Úvodní obrazovka aplikace - zapnutí bluetooth	44
Obrázek 27 - Ovládací aplikace.....	45
Obrázek 28 - Menu ovládací aplikace	45
Obrázek 29 - Schéma zapojení přijímače	48
Obrázek 30 - Plošný spoj přijímače.....	49
Obrázek 31 - Schéma zapojení řízení motoru	49
Obrázek 32 - DPS s H-můstkem	50

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přehled standardizovaných verzí Bluetooth.....	23
Tabulka 2 - Dělení Bluetooth zařízení dle výkonu.....	23
Tabulka 3 - Přenosové rychlosti Bluetooth	24
Tabulka 4 - Přehled standardů IEEE 802.11	27

Úvod

Vývoj výrobních technologií umožnil vyrábět senzory obsahující i pohyblivé mechanické části v integrovaném provedení. To umožnilo osazení senzorů jako je akcelerometr nebo gyroskop například do mobilních telefonů či tabletů.

Cílem této bakalářské práce je vytvoření dálkově ovládaného modelu auta řízeného pomocí mobilního telefonu s integrovaných inerciálním senzorem. Téměř každý dotykový mobilní telefon obsahuje nějaký inerciální senzor, který slouží například k rozpoznání naklonění přístroje. U levnějších telefonů bývá zpravidla integrován akcelerometr.

Teoretická část bakalářské práce je rozdělena do dvou kapitol. První kapitola se zabývá vybranými inerciálními senzory. Popisuje základní principy funkce akcelerometru, gyroskopu a inklinometru. Popis obsahuje základní provedení jednotlivých senzorů a možnosti určení naklonění.

Druhá kapitola se zabývá bezdrátovými technologiemi, které obsahuje moderní mobilní telefon. Jsou zde popsány technologie Bluetooth, WiFi a GSM, které je možné využít pro dálkové ovládání modelu.

Třetí kapitola se věnuje praktické části práce. Popisuje jednotlivé součástky, které jsou využity pro realizaci dálkově ovládaného modelu auta.

Poslední, čtvrtá kapitola popisuje vlastní návrh a výrobu dálkově ovládaného modelu auta řízeného pomocí mobilního telefonu s operačním systémem Android a integrovaným akcelerometrem. Nejprve je popsána řídicí aplikace pro mobilní telefon. Aplikace pro mobilní telefon obsluhuje zpracování dat z akcelerometru a jejich odeslání pomocí technologie Bluetooth. Druhá část poslední kapitoly je věnována návrhu a výrobě modelu auta. Závěr kapitoly popisuje program pro mikroprocesor ATmega168, který obsluhuje příjem dat z mobilního telefonu a řízení auta.

1 Inerciální senzory

Inerciální senzor vychází z fyzikálního popisu pro vztažnou soustavu. Za inerciální vztažnou soustavou je považována soustava, v níž platí první Newtonův pohybový zákon. Zákon říká, že pokud na těleso nepůsobí žádné vnější síly nebo je výslednice působících sil nulová, těleso setrvává v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu. Senzor lze chápat také jako inerciální vztažnou soustavu. Z toho vyplývá, že senzor, který je v klidu neměří žádnou hodnotu.

1.1 Akcelerometry

Akcelerometry jsou senzory měřící statické a dynamické zrychlení těles. Statické zrychlení vzniká působením gravitačního pole země. Mezi dynamická zrychlení patří akcelerace (vibrace) tělesa. Zrychlení tělesa je úměrné velikosti síly působící na dané těleso a je popsáno druhým Newtonovým zákonem:

$$F = m \cdot a \quad (1.1)$$

kde: F - síla působící na těleso [N]

m - hmotnost tělesa [kg]

a - zrychlení tělesa [$m \cdot s^{-2}$]

Princip činnosti lze vysvětlit seismickou hmotou (závažím) pružně zavěšenou v ose citlivosti akcelerometru. Pružné zavěšení je realizováno například pružinou nebo membránou a tlumícím prvkem. Je-li tlumení pružného zavěšení malé, objeví se na výstupu akcelerometru překmitý a klesá maximální hodnota měřitelného zrychlení. Opakem je příliš velké tlumení kmitů, kdy se snižuje frekvenční rozsah senzoru a neúměrně roste fázový posun. Hmotnost seismické hmoty musí být malá vzhledem k hmotnosti měřeného objektu. Pohyb seismické hmoty je přímo úměrný působícímu zrychlení na akcelerometr. Pro vyhodnocení zrychlení je nutné dráhu seismické hmoty vhodně převést například na elektrický signál. [1]

Akcelerometry můžeme rozlišovat například podle způsobu snímání zrychlení. Další dělení může být podle počtu snímaných os nebo typu výstupu (analogový, digitální). U analogových akcelerometrů je výstupní napětí spojitě a úměrně působícímu zrychlení. Digitální akcelerometry mají jako výstupní signál obdélníkový průběh. Šířka pulzu je úměrná působícímu zesílení (PWM). [1]

Příklady použití akcelerometrů:

- Měření náklonu nebo natočení
- Měření vibrací a nárazů
- Měření zrychlení (akcelerace), odstředivé síly a rychlosti
- Měření seismické aktivity
- Automobilový průmysl - aktivace airbagů nebo stabilizačních systémů ESP

1.1.1 Piezoelektrické akcelerometry

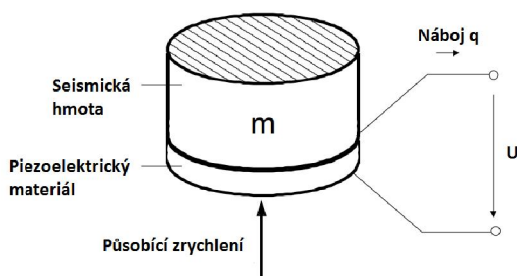
Piezoelektrický jev se projevuje vznikem elektrického náboje na plochách krystalu, který je mechanicky namáhán. K jevu dochází u krystalických látek, jejichž elementární buňky nemají elektrický střed symetrie. Mezi tyto látky patří například přírodní křemen nebo uměle vytvořené keramické materiály. Velikost a polarita vzniklého napětí závisí na velikosti a směru působící deformace na krystal. Napětí se objevuje na mechanicky namáhaných plochách a je v řádu $10^{-7} \text{V} \cdot \text{Pa}^{-1}$. Piezoelektrický krystal je vyráběn vybroušením destičky z daného materiálu tak, aby kladné a záporné náboje byly soustředěny na protilehlé plochy destičky. Destička se pak stává zdrojem elektrostatického pole. Intenzita vzniklého elektrického pole je úměrná plošné povrchové hustotě nábojů a vzdálenosti nábojů uvnitř destičky. Mechanickým namáháním dochází ke změně polohy jednotlivých molekul uvnitř struktury destičky. Následkem změn se mění intenzita elektrostatického pole uvnitř destičky a tím i velikost generovaného napětí. [2]

Nepřímým piezoelektrickým jevem je elektrostriktce. Působením elektrického pole na krystal dochází k jeho deformaci. Připojením střídavého napětí dochází k rozkmitání krystalu, díky kterému můžeme generovat zvuk nebo ultrazvuk. Periodicky rozkmitaný krystal je také využíván ke stabilizaci rezonančního kmitočtu elektrického obvodu. Frekvenci kmitání lze nastavit vhodnou velikostí plochy krystalu, tloušťkou a použitým materiálem. [2]

Piezoelektrický akcelerometr se skládá ze seismické hmoty umístěné na piezoelektrický materiál. Celek je pak umístěn na pevnou podložku. Vyhodnocení zrychlení se provádí změřením vygenerovaného náboje na plochách piezoelektrického materiálu. Pro změření vygenerovaného náboje je zapotřebí použití vyhodnocovacích obvodů s vysokou vstupní impedancí. Častěji se využívá senzorů s integrovaným vyhodnocovacím obvodem. [3]

Výhodou piezoelektrických akcelerometrů je nízká citlivost snímače na změny magnetického pole, rozsah pracovních teplot a vysoký rezonanční kmitočet. Rezonanční kmitočet je dán konstrukcí zavěšení a hmotností seismické hmoty. Redukcí seismické hmoty se zvětšuje šířka pásma měřitelných kmitů. To má však za následek snížení citlivosti snímače. Piezoelektrické akcelerometry nemohou být použity pro měření

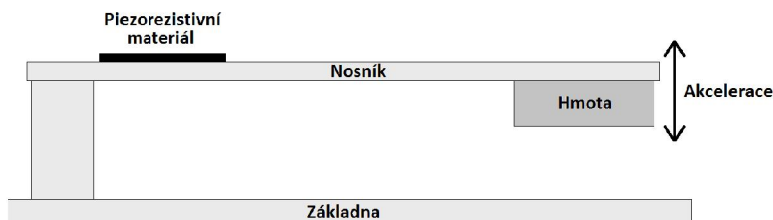
konstantního zrychlení. Jsou použitelné pro měření kmitů v rozsahu 0,1Hz až 10kHz a velmi vysokých hodnot dynamického zrychlení. [3] [4]



Obrázek 1 - Princip piezoelektrického akcelerometru [4]

1.1.2 Piezorezistivní (tenzometrické) akcelerometry

Akcelerometry jsou vyrobeny z piezorezistivního materiálu, který mění s mechanickým namáháním svůj elektrický odpor. Provedením piezorezistivního akcelerometru může být například hmota zavěšená na vetknutém nosníku (nosník pevně uchycený jen na jedné straně). Působením zrychlení dochází k ohybu nosníku a prodlužování/zkracování piezorezistivního materiálu umístěného u kořene nosníku. V integrovaném provedení snímače je do piezorezistivního materiálu vyleptáno hned několik snímačů zapojených do Wheatstonova můstku. Výhodou piezorezistivních akcelerometrů je možnost měření i statického zrychlení. [5]



Obrázek 2 - Princip piezoelektrického akcelerometru

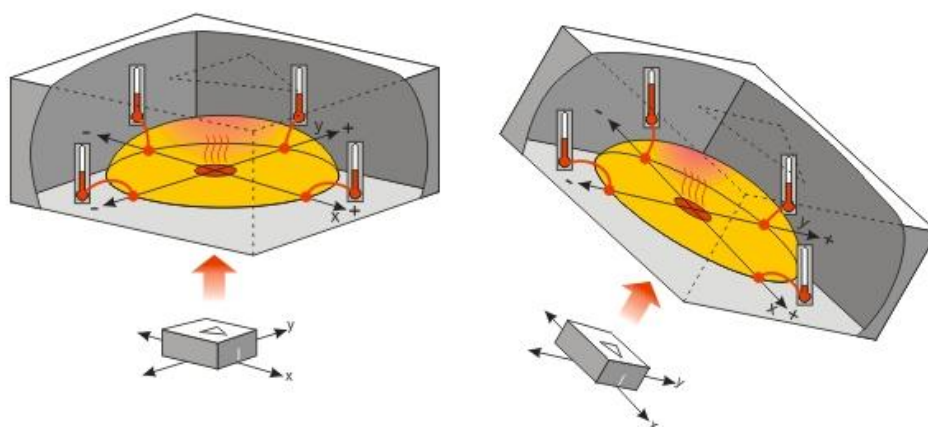
Piezorezistivní akcelerometry se vyznačují citlivostí pro zrychlení menší než setina gravitačního zrychlení, velkou šířkou pásma, lineárním výstupem a teplotní stabilitou. Výhodou je i vysoká spolehlivost, malá velikost pouzdra a nízká cena. [5]

1.1.3 Tepelné akcelerometry

Tepelné akcelerometry využívají přenos tepla v plynu a snímání změny rozložení teploty v okolí tepelného zdroje. Topné tělísko ohřívá teplotně vodivý plyn ve vzduchové komoře na konstantní teplotu. V klidu akcelerometr snímá pouze tíhové zrychlení. Teplý vzduch stoupá vzhůru uprostřed komory a teplota je ve všech měřených bodech stejná. Natočením akcelerometru nebo působením zrychlení stoupá teplý plyn mimo střed a rozložení teploty uvnitř komory již není stejné. Rozložení teploty je měřeno soustavou termočlánků

umístěných v pravidelných rozstupech v prohlubni vyleptané do křemíkového substrátu. Termočlánky jsou tvořeny spojením hliníku a polykrystalického křemíku. V pouzdru akcelerometru jsou také integrovány vyhodnocovací obvody. [6]

Hlavní výhodou tepelných akcelerometrů je mechanická odolnost (nemají pohyblivé části), spolehlivost, odolnost proti rušení a možnost měřit velká zrychlení. Nevýhodou je mnohem menší citlivost akcelerometru na zrychlení v porovnání s kapacitními nebo piezoelektrickými akcelerometry. Nevýhodou je také teplotní závislost akcelerometru na změny okolní teploty, které je nutné pro správnou funkci kompenzovat. [4] [6]



Obrázek 3 - Princip tepelného akcelerometru [4]

1.1.4 Kapacitní akcelerometry

Základem kapacitních akcelerometrů je proměnný kondenzátor s pevnou a pružně zavěšenou pohyblivou (hmotnou) deskou. Působením zrychlení na akcelerometr dochází k vychýlení hmoty a pohyblivé desky kondenzátoru z rovnovážného stavu. Pohybem desek se mění vzdálenost desek a tím se mění kapacita kondenzátoru. Kapacita kondenzátoru je dána permitivitou, plochou a vzdáleností desek kondenzátoru. Protože se jedná o vzduchový kondenzátor, je permitivita rovna přibližně $8,854 \cdot 10^{-12} \text{F.m}^{-1}$. Výpočet kapacity kondenzátoru je dán vztahem (1.2).

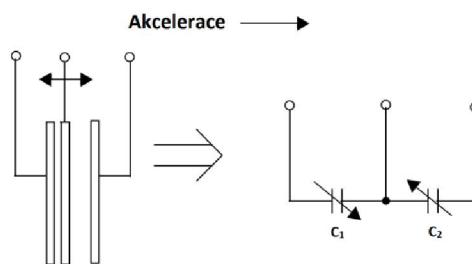
$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \quad (1.2)$$

kde: C - kapacita kondenzátoru [F]

ε - permitivita [F.m^{-1}]

S - plocha desek kondenzátoru [m^2]

d - vzdálenost desek kondenzátoru [m]



Obrázek 4 - Princip kapacitního akcelerometru [7]

Příkladem kapacitních akcelerometrů jsou moderní senzory v integrovaném provedení označované jako MEMS. Akcelerometr je vyroben z polykrystalického křemíku. Výrobní technologií je do monokrystalu vytvořena mikromechanická struktura. Z jednoho materiálu jsou vytvořeny nosné i pružné části senzoru pohybující se na povrchu monokrystalu. Vedle mechanických částí akcelerometru jsou na monokrystalu výrobní technologií integrovány i vyhodnocovací obvody. Vrstvením těchto struktur získáme senzor schopný detekovat zrychlení ve více osách. [7]

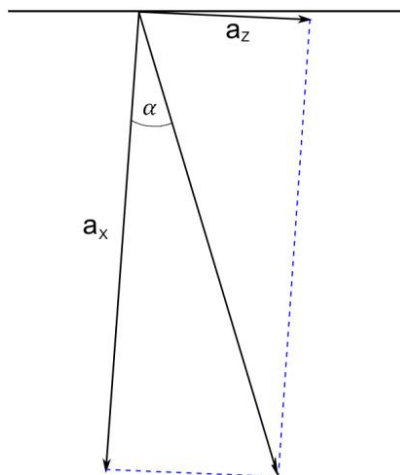
Základem je tříelektrodový vzduchový kondenzátor s prostřední pohyblivou deskou. Kondenzátor tvoří dělič pro dva obdélníkové signály stejné amplitudy. Budící signály jsou vzájemně posunuty o 180° . Zrychlení způsobí posunutí desky a tím i změnu dělicího poměru kondenzátoru. Velikost výstupního obdélníkového signálu je úměrná hodnotě působícího zrychlení. Fáze signálu nese informaci o směru působení zrychlení v měřené ose. Oproti piezoelektrickým akcelerometrům mají kapacitní akcelerometry větší citlivost a stabilitu. Mohou měřit dynamické i statické zrychlení. [7]

1.1.5 Určení náklonu akcelerometrem

Jak již bylo napsáno, akcelerometr je senzor měřící zrychlení. Pro zjištění náklonu předmětu se využívá vyhodnocení gravitačního zrychlení na jednotlivých osách. Hodnota gravitačního zrychlení je rovna přibližně $9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. V případě měření náklonu je výstupem z akcelerometru hodnota zrychlení 0 až $\pm 9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ (nebo také $1g$). Znaménko u zrychlení značí směr natočení.

Příkladem může být měření náklonu v jedné ose označené X. V případě, že je osa orientovaná vodorovně se zemí, je hodnota zrychlení v této poloze rovna nule. Bude-li osa orientována kolmo k zemi, bude hodnota gravitačního zrychlení rovna $\pm 9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ v závislosti na směru náklonu. Úhel, o který se osa naklonila vůči výchozí vodorovné poloze lze snadno určit přepočtem (90° odpovídá $9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$).

Druhá možnost měření náklonu je za pomoci výpočtu hodnot zrychlení na dvou vůči sobě pravouhlých osách. Pro výpočet náklonu osy X je použit vztah (1.3). Je nutné znát hodnotu zrychlení naměřenou osou X a osou Z. Výhodou takto určeného náklonu je vyšší citlivost na zrychlení při maximálním vychýlení v zjišťované ose X.



Obrázek 5 - Výpočet úhlu α pomocí funkce tangens

$$\alpha = \arctan\left(\frac{a_x}{a_z}\right) \quad (1.3)$$

kde: α - hledaný úhel [°]

a_x - zrychlení ve směru osy X [m.s⁻²]

a_z - zrychlení ve směru osy Z [m.s⁻²]

Při měření náklonu akcelerometrem vzniká chyba v případě, že na akcelerometr působí i dynamické zrychlení. Například ve formě vibrací. Akcelerometr nerozezná statické zrychlení od dynamického a vibrace se promítnou do naměřených hodnot náklonu.

Měření dynamického zrychlení lze použít pro ovládání gesty v prostoru. V takovém případě se vyhodnocuje dynamické zrychlení v dané ose. Znaménko u hodnoty zrychlení udává směr pohybu. Z velikosti zrychlení je možné stanovit rychlost pohybu (1.4) případně i dráhu (1.5) kterou senzor při vytváření gesta urazil z výchozí pozice.

$$v(t) = \int a(t).d(t) \quad (1.4)$$

$$s(t) = \int v(t).d(t) \quad (1.5)$$

kde: $v(t)$ - rychlost v čase

$a(t)$ - zrychlení v čase

$s(t)$ - dráha za čas

1.2 Gyroskopy

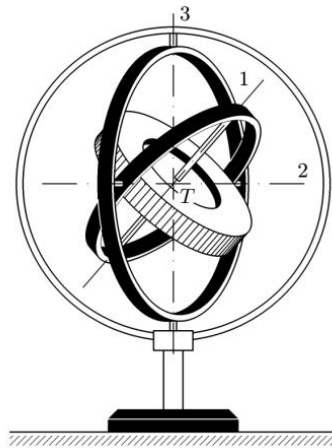
Gyroskop je zařízení schopné určit orientaci měřeného tělesa v prostoru. Základem gyroskopu je velkou rychlostí rotující setrvačnick, který zachovává osu rotace v inerciálním prostoru. Historie vývoje gyroskopu sahá až do roku 1817. Gyroskopy byly nejdříve využívány pro navigaci v námořní dopravě. S příchodem elektromotoru a následným vývojem našly gyroskopy uplatnění v navigaci (letadel – umělý horizont). Významný krok ve vývoji gyroskopů znamenal příchod výrobní technologie MEMS, díky které mají gyroskopy miniaturní rozměry a mohou být integrovány do zařízení jako je například mobilní telefon nebo ovladač herní konzole. Gyroskop na rozdíl od akcelerometru měří úhlovou rychlost náklonu v měřené ose. Proto je možné určit náklon i u předmětu, který se pohybuje se zrychlením. [8]

Příklady použití gyroskopů:

- Detekce a měření rotačního pohybu
- Měření náklonu
- Stabilizace předmětů
- Stabilizační systémy automobilů
- Zpřesňování pozice systémů GPS
- Navádění a řízení raket, letadel nebo robotů

1.2.1 Rotační gyroskop

Základem rotačního gyroskopu je volně se otáčející hmotný setrvačnick ve tvaru disku. Setrvačnick je obvykle konstruován tak, aby jeho hmotnost byla soustředěna po obvodu disku. Jako gyroskop se chová například i roztočené kolo z automobilu. Středem disku vede osa, kterou je setrvačnick pevně zavěšen do rámu. Při konstrukci je kladen velký důraz na přesné vyvážení setrvačnicku, umístění závěsů i na eliminaci ztrát třením vznikajících na pohyblivých částech gyroskopu. Obvyklá konstrukce zavěšení setrvačnicku do rámu je řešena pomocí takzvaného Cardanova závěsu. Setrvačnick je zavěšený uprostřed rámu a má takzvaně tři stupně volnosti. Rám tvoří soustavu tří na sebe kolmých os. Používá se i varianta zavěšení se dvěma stupni volnosti. [9]

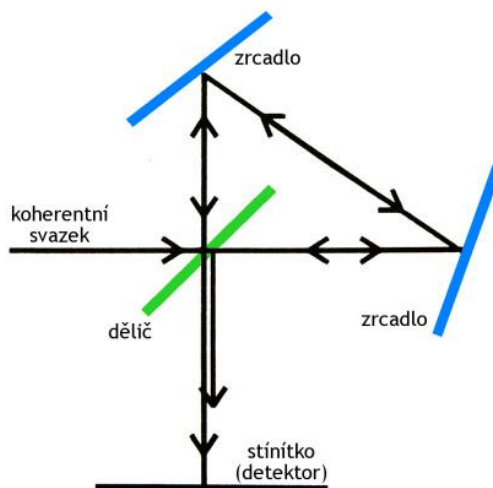


Obrázek 6 - Setrvačnick v Cardanově závěsu [10]

Roztočením setrvačnicku je vyvolán moment setrvačnosti, který udržuje směr osy otáčení v inerciálním prostoru (gyroskopický jev). Díky tomu, že osa otáčení nemění svoji polohu, získáváme informaci o náklonu předmětu. Pokud v gravitačním poli zavěsíme na provázek roztočený gyroskop, bude osa otáčení setrvačnicku svírat s provázkem pravý úhel. Každé rotující těleso má tendenci dostat se do polohy s největším momentem setrvačnosti. Pro rotující disk je to rotace kolem osy, která je kolmá k ose disku. Tento typ pohybu se nazývá precese a s rostoucí velikostí a rychlostí otáčení disku je precese výraznější. První Newtonův zákon říká, že těleso, které je v klidu nebo v pohybu, zůstává v setrvačném stavu, dokud na něj nezačne působit vnější síla. Z prvního Newtonova zákona vyplývá, že směr osy gyroskopu zůstává neměnný, pokud na setrvačnick nepůsobí vnější síla. Přesnost gyroskopu závisí na míře udržení konstantních otáček setrvačnicku i na přesnosti rámu a závěsů. [9]

1.2.2 Optický gyroskop

Tento druh gyroskopu využívá ke zjištění úhlové rychlosti a směru rotace šířením světla v prostoru. Gyroskop pracuje na principu Sagnacova interferometru, který vede světelné svazky proti sobě na stejné optické dráze. Otáčením prostředí, které tvoří dráhu interferometru, dochází díky relativistickému skládání rychlostí k různé rychlosti šíření světelných svazků ve směru a proti směru otáčení. Rozdílnou rychlost protiběžných světelných svazků detekujeme jako fázový posun na výstupu z interferometru. Optická dráha uvnitř světelného gyroskopu je realizována pomocí optického vlákna navinutého ve tvaru cívky. Jako zdroj světelného paprsku se využívá laseru. Výhodou optických gyroskopů oproti mechanickým je vyšší odolnost proti změnám teploty, zrychlení a vibracím. Mezi další výhody patří například nižší energetické nároky, rychlé uvedení do provozu (není nutné roztáčet setrvačnick), vyšší spolehlivost a životnost. [11]



Obrázek 7 - Sagnacův interferometr [11]

1.2.3 Jaderný gyroskop

Jaderný gyroskop pracuje na principu paramagnetismu látek například vody, helia nebo rtuť. Atomy a molekuly těchto látek mají v základním stavu magnetický moment daný spiny jader. Spin zastupuje vlastní moment hybnosti jádra a jeho hodnota je dána celočíselnými násobky Planckovy konstanty $h = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$. Působením vnějšího magnetického pole na jádra dojde k natočení těchto jader dle směru působení magnetického pole. Tuto pozici (magnetický moment) si jádra nějaký čas zachovají i po odstranění vnějšího magnetického pole nezávisle na změně polohy senzoru. [12]

1.2.4 Elektronický gyroskop

Elektronický gyroskop je vyráběný pomocí výrobní technologie MEMS. Gyroskop je integrován v malém pouzdru spolu s vyhodnocovacími obvody. Výstupní signál může být dle provedení snímače analogový nebo digitální. Gyroskopy MEMS pracují na principu Coriolisovy síly. Coriolisova síla je takzvaná virtuální síla, která působí na libovolný předmět, který se pohybuje rychlostí v v soustavě rotující kolem své osy úhlovou rychlostí ω . [13]

$$F_C = -2 \cdot m \cdot \omega \times v \quad (1.6)$$

kde: F_C - Coriolosova síla [N]

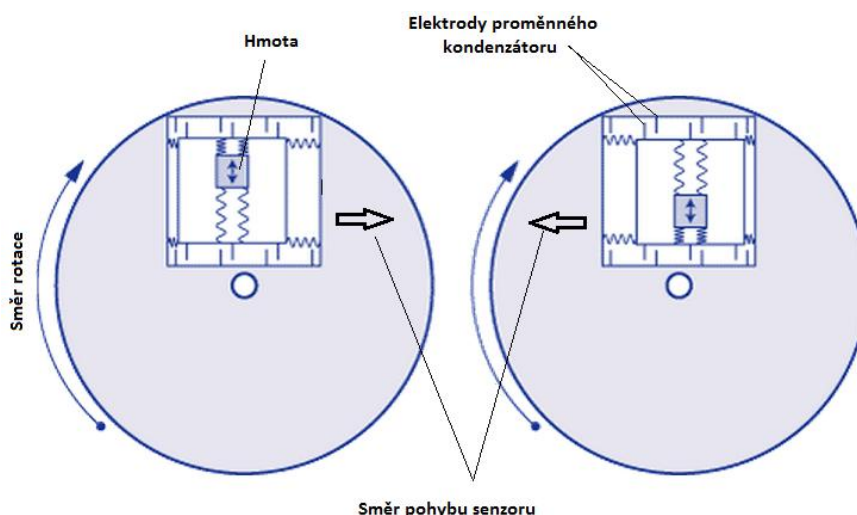
m - hmotnost tělesa [kg]

ω - vektor úhlové rychlosti otáčení soustavy [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]

v - vektor rychlosti tělesa [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

\times - označení vektorového součinu

Základem integrovaných gyroskopů je periodicky se pohybující struktura přesně dané hmotnosti (hmota) pružně spojená s rámem. Směr pohybu musí být kolmý ke směru otáčení. Na pohybující se část působí Coriolisova síla, jejíž velikost je přímo úměrná úhlové rychlosti otáčení. Na pevném i pružně zavěšeném rámu jsou umístěny elektrody, které vytvářejí proměnné vzduchové kondenzátory. Rychlost otáčení ve $^{\circ} \cdot s^{-1}$ je úměrná změně kapacity kondenzátorů. Moderní MEMS gyroskopy jsou schopny měřit úhlovou rychlost v rozsahu až $\pm 2000^{\circ} \cdot s^{-1}$. [13]



Obrázek 8 - Princip Coriolisovy síly na mechanický gyroskop [13]

1.2.5 Určení náklonu gyroskopem

Určení náklonu pomocí gyroskopu lze na první pohled vypočítat pomocí integrace úhlové rychlosti podle času (1.7). U reálného gyroskopu, který je v klidu, však výstupní hodnota úhlové rychlosti osciluje okolo nulové hodnoty. Tyto oscilace se následně projeví při integraci podle času, kdy zjišťovaný úhel natočení roste. Jev je označován jako drift gyroskopu a je nutné ho dále kompenzovat. Jednou z možností kompenzace zmíněného driftu je použití kombinace gyroskopu a akcelerometru. Kombinací gyroskopu a akcelerometru lze pak určit naklonění i dráhu, kterou zařízení vykonalo.

$$\alpha(t) = \int \omega(t) \cdot dt \quad (1.7)$$

kde: $\alpha(t)$ - úhel natočení v čase t

$\omega(t)$ - úhlová rychlost natočení v čase t

1.3 Inklinometry

Inklinometr je senzor schopný detekovat odklon od horizontální nebo svislé osy. Výstupem je hodnota odklonu od měřené osy udávaná ve stupních. U elektronických inklinometrů je odklon reprezentován hodnotou výstupního napětí senzoru.

1.3.1 Provedení inklinometrů

Mechanických provedení inklinometru je několik. Asi nejjednodušším příkladem inklinometru je závaží zavěšené na provázku. Díky gravitaci směřuje provázek se závažím kolmo k zemi a pomocí stupnice odečteme odklon. Samozřejmě v letectví by byl takovýto inklinometr nepoužitelný. Pro tyto účely je při konstrukci inklinometru použit gyroskop, který vytváří a udržuje stálou osu, od které je následně odklon měřen. Přesnost inklinometru pak závisí na kvalitě použitého gyroskopu. Jako příklad lze uvést variantu inklinometru s kyvadlovým gyroskopem se třemi stupni volnosti. Kyvadlové inklinometry jsou použitelné pro měření s pomalými změnami náklonu. Díky neustálému vývoji jsou i inklinometry vyráběné v integrovaném provedení technologií MEMS využívajících kapacitních gyroskopů a akcelerometrů. Mezi inklinometry lze zařadit i senzory určující náklon pomocí snímání bubliny pohybující se v baňce s kapalinou. Další variantou je baňka naplněná elektrolytem. Přelíváním elektrolytu při naklonění baňky se mění odpor mezi měřicími elektrodami. [14]

Inklinometry se využívají například pro měření náklonu výškových budov v závislosti na působení klimatických vlivů. Dále například měření sklonu podzemních šachet, tunelů nebo v letectví.

1.3.2 Určení náklonu inklinometrem

Určení naklonění pomocí inklinometru je snadné s tím, že výstupní veličina inklinometru již reprezentuje hodnotu náklonu (odklonu) od výchozí polohy.

2 Bezdrátová rozhraní

2.1 Bluetooth

2.1.1 Historie a vývoj technologie Bluetooth

Technologie Bluetooth slouží pro bezdrátové propojení dvou nebo více zařízení na krátkou vzdálenost. Spadá do kategorie osobních počítačových sítí, takzvaných PAN. První definice technologie Bluetooth byla představena v roce 1994 firmou Ericsson jako náhrada za sériové rozhraní RS-232. V roce 1998 byla založena skupina BSIG (Bluetooth Special Interest Group), kterou tvořili zástupci výrobců elektroniky Ericsson, IBM, Intel, Nokia a Toshiba. Postupem času se ke skupině připojilo mnoho dalších významných společností. První specifikaci Bluetooth 1.0 představila skupina BSIG v polovině roku 1999. V prosinci roku 1999 byla vydána verze 1.0b. [15] [16]

Bluetooth verze 1.1

V roce 2001 byla vydána verze 1.1 která odstranila závažné chyby verzí 1.0 a 1.0b jako například problémy s párováním zařízení a vzájemnou kompatibilitou. Bluetooth verze 1.1 byl v roce 2002 schválen jako standard IEEE 802.15.1. [15]

Bluetooth verze 1.2

Bluetooth verze 1.2 z listopadu roku 2003 je zpětně kompatibilní s verzí 1.1. Mezi vylepšení patří například vyšší přenosová rychlost (až 0,7Mbit/s). Novinkou je adaptivní přeskokování nosných frekvencí AFH (Adaptive Frequency Hopping), které zamezuje přeplnění nosných kanálů a zvyšuje odolnost proti rušení. Dále byla přidána podpora HID zařízení pro připojení periférií jako je myš nebo klávesnice k osobnímu počítači a také přibyla podpora pro třídrátové rozhraní USART. [15]

Bluetooth verze 2.0 + EDR

Dnes jedna z nejrozšířenějších verzí Bluetooth je verze 2.0 EDR (Enhanced Data Rate), která byla standardizována v roce 2004. Verze 2.0 je zpětně kompatibilní se staršími verzemi Bluetooth 1.1 a 1.2. Hlavní novinkou této verze je použití fázové modulační techniky $\pi/4$ -GQPSK s teoretickou rychlostí přenosu dat až 2,1 Mbit/s. [15] [16]

Bluetooth verze 2.1 + EDR

Verze 2.1 z roku 2007 umožňuje rychlejší párování zařízení a zvyšuje zabezpečení přenosu. Jednou z novinek verze 2.1 je podpora standardu NFC (Near Field Communications), který slouží pro spojení dvou zařízení na krátkou vzdálenost. Například pro bezkontaktní platby mobilním telefonem přiloženým ke čtečce. [15]

Bluetooth verze 3.0 + HS

V dubnu roku 2009 byl uveden standard Bluetooth verze 3.0 + HS. Zařízení s příponou HS jsou schopna přenášet data teoretickou rychlostí až 24 Mbit/s. V tomto případě ale slouží technologie Bluetooth pouze k navázání spojení mezi zařízeními. Vlastní data jsou přenesena technologií WiFi. [15]

Bluetooth verze 4.0

Tato verze byla představená v roce 2010. Maximální přenosová rychlost zůstává stejná jako u předchozí verze 3.0, tedy 24 Mbit/s. Hlavní zaměření nové specifikace je snížení spotřeby a miniaturizace Bluetooth zařízení. Verze 4.0 je určen pro malá zařízení, u kterých není kladen důraz na rychlost přenosu, ale je vyžadována nízká spotřeba. V takovém případě jsou data přenášena pouze pomocí technologie Bluetooth. Nově byla přidána podpora šifrování AES-128. [15]

Tabulka 1 - Přehled standardizovaných verzí Bluetooth

Verze	Rok vydání	Rychlost přenosu dat	Maximální propustnost
Verze 1.2	2003	1 Mbit/s	0,7 Mbit/s
Verze 2.0 + EDR	2004	2,1 Mbit/s	1,4 Mbit/s
Verze 3.0 + HS	2009	24 Mbit/s	-
Verze 4.0	2010	24 Mbit/s	-

2.1.2 Technologie přenosu Bluetooth

Bluetooth pracuje v bezlicenčním ISM pásmu 2,4 GHz – 2,4835 GHz. V tomto pásmu pracuje kromě technologie Bluetooth i technologie WiFi, RC vysílače nebo lékařské přístroje. Pásmo je proto značně přeplněné a různé technologie se mohou vzájemně rušit. Pro přenos se využívá metody kmitočtových skoků rozprostřeného spektra FHSS. V pásmu 2,4 GHz je definováno 79 frekvencí (slotů) s rozestupem 1 MHz, mezi kterými se několikrát za sekundu přepíná. Základní délka vysílání na jedné frekvenci je rovna 625 μ s. Pokud to přenos vyžaduje, může být délka vysílání slotu trojnásobná nebo pětinasobná. Metoda FHSS zvyšuje odolnost přenosu proti rušení. Dosah technologie je v rozmezí jednotek až desítek metrů v závislosti na podmínkách (uvnitř budov to jsou řádově metry). Bluetooth zařízení jsou rozdělena do tříd podle maximálního vysílaného výkonu (Tabulka 2). [15] [16]

Tabulka 2 - Dělení Bluetooth zařízení dle výkonu

Třída	Maximální povolený výkon		Teoretický dosah (m)
	mW	dBm	
Class 1	100	20	100
Class 2	2,5	4	10
Class 3	1	0	1

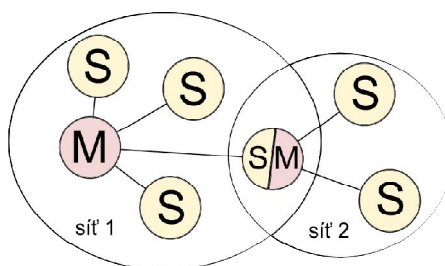
Přenos dat je obousměrný a realizovaný pomocí paketů, které mohou být jednoslotové nebo multislotové. V případě přenosu telefonních služeb probíhá přenos mezi zařízeními synchronně. Přenos může být realizován i asynchronně. Podle aplikace je pak přenosový kanál rozdělen symetricky nebo asymetricky. Přenosové rychlosti jednotlivých módů jsou uvedeny v Tabulce 3. [15] [16]

Tabulka 3 - Přenosové rychlosti Bluetooth

Typ kanálu	Typ přenosu	Rychlost (kb/s)	Využití
Asynchronní	Symetrický	432,6	Přenos dat
	Asymetrický	721 / 57,6	
Synchronní	-	64 / 64	Přenos zvuku

2.1.3 Uspořádání sítě

Síť Bluetooth využívá hierarchie Master – Slave. Master je nadřazeným zařízením, které sestavuje a řídí komunikaci pro 1 až 7 podřízených zařízení Slave. Master spolu se zařízeními Slave tvoří takzvanou pikosíť (piconet). Několik pikosítí lze dále sdružovat do rozprostřených sítí označovaných jako scatternet. Při spojení dvou pikosítí (Obrázek 9) se zařízení společné pro obě sítě chová vůči síti 1 jako Slave a pro síť 2 jako Master. [16]



Obrázek 9 - Příklad spojení dvou pikosítí (M – Master, S – Slave)

2.1.4 Navázání spojení

Každé zařízení se v síti identifikuje pomocí své 48bitové adresy BD_ADDR. Dále poskytuje informace o výrobci, použité Bluetooth specifikaci nebo seznam podporovaných služeb. Pokud zařízení Master zaznamená ve svém dosahu aktivní zařízení a zná konkrétní adresu BD_ADDR, začne na 16 frekvencích vysílat takzvanou Page (zpráva pro vytvoření spojení). Nezná-li Master adresu dostupného zařízení, vysílá takzvanou Inquiry (zpráva pro vyhledání okolních zařízení). Nedostane-li od druhého zařízení odpověď, začne vysílat na jiných 16 frekvencích. Zabezpečení přenosu dat je řešeno pomocí autentizace, kdy navázaná komunikace je přesně adresována pomocí fyzické adresy zařízení. Pro důležitá data obsahuje technologie Bluetooth vestavěnou podporu 128 bitového šifrovacího kódu. Používá se dvou tajných 128 bitových klíčů a náhodného 128 bitového čísla generovaného pro každou novou operaci. Před vlastním přenosem dat je nutné nejprve Bluetooth zařízení spárovat pomocí zadání shodného PINu na obou zařízeních. Je to způsob zabezpečení přenosu, protože spojení mohou navázat jen navzájem si známá zařízení. Zpravidla je při procesu párování uživatel vyzván, aby potvrdil připojení

konkrétního zařízení. Jistou míru zabezpečení dat poskytuje už samotný princip přenosu pomocí frekvenčních skoků, který znesnadňuje odposlouchávání komunikace. [15]

Bluetooth zařízení je tvořeno hardwarovou částí, kterou tvoří rádiový vysílač a přijímač. Přijátá data jsou následně zpracovávána kaskádou protokolů (Bluetooth protocol stack) a profilů. Protokoly na nejnižších vrstvách zajišťují rádiové spojení a komunikaci mezi zařízeními. Protokoly na vyšších vrstvách se zabývají řešením konkrétních problémů. Například protokol SPP (vychází z vrstvy RFCOMM) emuluje sériovou linku RS-232. [15] [16]

2.1.5 Bluetooth protokoly

Protokol HCI (Host Control Interface) zajišťuje vyšším protokolům přístup k hardwaru Bluetooth zařízení (vysílač, přijímač). Obsahuje monitor stavu hardwaru a řadu registrů.

Dalším protokolem je L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) zajišťující segmentaci a spojování paketů, multiplexování spojení pro přístup vyšších vrstev. L2CAP má také na starosti přenosovou rychlost a odhad zpoždění mezi komunikujícími zařízeními.

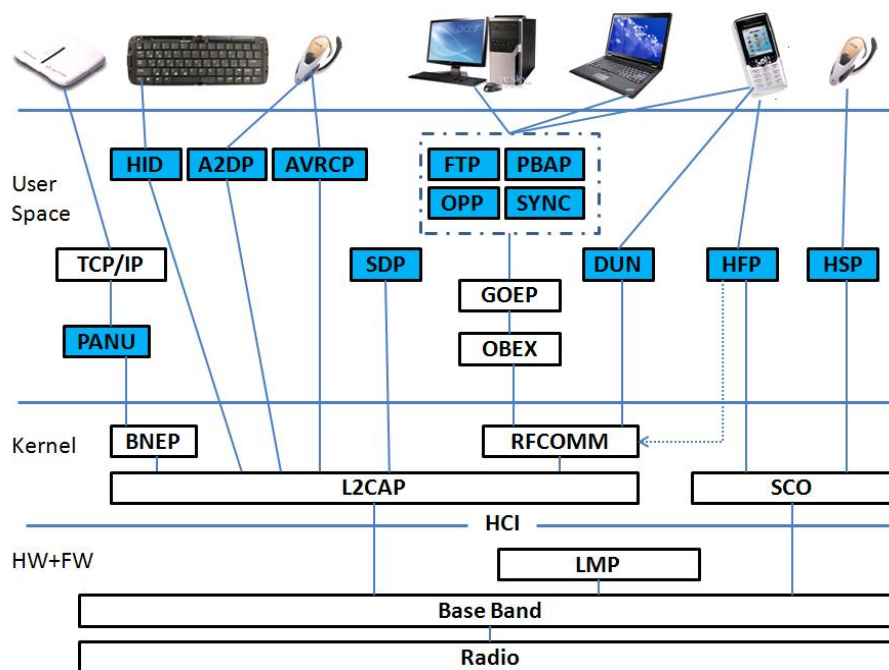
RFCOMM (Radio Frequency Communication) provádí emulaci sériového portu RS-232 přes rádiové rozhraní. Poskytuje kompatibilitu pro širokou škálu aplikací, které používají ke komunikaci sériový port.

Protokol SDP (Service Discovery Protocol) poskytuje informace o dostupných službách Bluetooth zařízení.

Protokol TSC (Telephony Control Specification) slouží pro připojení telefonního přístroje. Obsahuje například funkci vyzvednutí a zavěšení hovoru, ovládání hlasitosti reproduktoru a mikrofonu případně generování vyzváněcího tónu. [17]

2.1.6 Bluetooth profily

Každý Bluetooth profil přesně definuje použití a zamezuje tak případné nekompatibilitě komunikujících zařízení. Nejdůležitější profil GAP (Generic Access Profile) zajišťuje spojení mezi bluetooth zařízeními. Má na starosti vyhledávání Bluetooth zařízení v okolí a navazuje komunikaci se základním zabezpečením. SDAP Profil (Service Discovery Application Profile) spolupracuje s protokolem SDP a je využíván pro vyhledávání služeb na okolních Bluetooth zařízeních. SPP (Serial Port Profile) využívá protokol RFCOMM a poskytuje podporu pro virtuální sériové porty. [17]



Obrázek 10 - Bluetooth protokoly a profily [18]

2.2 WiFi

Pojmem WiFi rozumíme označované bezdrátové sítě (Wireless LAN). Hlavní myšlenkou WiFi byla dostupnost počítačové sítě i v místech, kde nebylo možné použít klasické drátové sítě LAN. V poslední době jsou bezdrátové sítě WiFi převážně využívány k šíření internetového připojení pro mobilní zařízení jako je notebook, tablet nebo chytrý telefon.

2.2.1 Historie a vývoj WiFi

Technologie přenosu dat v sítích WiFi je popsána několika standardy IEEE 802.11. První specifikace standardu 802.11 byla vydána v roce 1997. O dva roky později byly uvedeny standardy 802.11a a 802.11b. V roce 2003 následoval standard 802.11g s teoretickou přenosovou rychlostí 54 Mbit/s. Dnes je velmi rozšířený standard 802.11n specifikovaný v roce 2008. Jednou z jeho předností je technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output), která využívá více vysílačů a více přijímačů umístěných v jednom zařízení. Tím je dosaženo kvalitnějšího přenosu a vyšších teoretických přenosových rychlostí až 600Mbit/s při 4x4 MIMO (zařízení obsahuje 4 vysílače a 4 přijímače). Nejběžněji se dnes setkáme se zařízeními, která podporují přenosové rychlosti 150 Mbit/s nebo 300Mbit/s. Posledním a zatím ještě neoficiálním je standard 802.11ac, který pracuje na frekvenci 5GHz a dosahuje teoretických rychlostí až 1800Mbit/s. Standard 802.11y pracuje na frekvencích 3,65 – 3,70GHz. Jedná se o volné pásmo v USA. Přehled teoretických přenosových rychlostí je zaznamenán v Tabulce 4. [19]

Tabulka 4 - Přehled standardů IEEE 802.11

Standard IEEE 802.11	Pásmo (GHz)	Maximální rychlost (Mbit/s)
Původní standard (1997)	2,4	2
a (1997)	5	54
b (1997)	2,4	11
g (2003)	2,4	54
y (2008)	3,7	54
n (2009)	2,4 nebo 5	až 600

Technologie WiFi je využívána v sítích označovaných jako WLAN. WLAN síť je možné využívat jako prodloužení firemních sítí LAN, případně může kabelové síť zcela nahradit. Dalším využitím je například šíření připojení k internetu v rámci domácnosti nebo na veřejných místech (kavárna, nádraží, obchodní centrum) pomocí takzvaných hotspotů.

2.2.2 Technologie přenosu WiFi

Technologie využívá bezlicenčního pásma 2,4GHz a 5GHz. Standardy IEEE 802.11 pracují v ISM pásmu 2,4GHz. Pásmo je rozděleno do 13 kanálů se šířkou 22 MHz a s odstupem nosných frekvencí 5 MHz. Z toho vyplývá, že pouze tři kanály (1, 6 a 11) se nepřekrývají. Použití překrývajících se kanálů může způsobit zhoršení kvality signálu. Kanál číslo 1 má nosnou umístěnou na kmitočtu 2,412 GHz a kanál číslo 13 na kmitočtu 2,472 GHz. K dosažení vysokých přenosových rychlostí využívá WiFi několik modulačních technik. [20]

Modulační techniku DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) využívá například standard 802.11b. DSSS využívá pro přenos přímého rozprostřeného spektra. Vysílaný signál je rozprostřen do větší části rádiového spektra. Signál je pak méně náchylný k rušení. [21]

Modulační technika OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing) využívá pro přenos dat několik (až stovky) subnosných frekvencí, které jsou dále modulovány například modulacemi QPSK, 16-QAM nebo 64-QAM. Modulační techniku OFDM využívají standardy 802.11a, 802.11g nebo 802.11n (kombinuje OFDM a MIMO). [21]

Každá vytvořená WiFi síť se identifikuje pomocí SSID (Service Set Identifier). SSID tvoří řetězec o délce až 32 ASCII znaků. SSID může být v pravidelných intervalech vysílán jako broadcast. Broadcast je zpráva, která je adresována všem připojeným síťovým rozhraním. Uživatel díky tomu vidí dostupné WiFi sítě v okolí. Pro sdílení připojení k internetu pro více uživatelů se vytváří takzvaná infrastrukturní síť. Vlastní síť tvoří jeden nebo několik přístupových bodů AP (Access Point). AP mohou mít různá nebo stejná SSID. Další variantou je síť typu Ad-hoc. Síť slouží pro spojení několika klientů, kteří jsou v rovnocenné pozici (spojení peer-to-peer). Ad-hoc síť se používá pro vytvoření malé sítě nebo pro jednorázové připojení mezi klienty. [19] [21]

2.2.3 Zabezpečení WiFi sítě

Nejjednodušším zabezpečením WiFi je zákaz vysílání SSID, kdy se SSID sítě neobjeví uživateli v seznamu dostupných sítí. Zkušenější uživatel toto zabezpečení dokáže obejít. Další možností jak zabezpečit WiFi síť je kontrola MAC adres klientů, kteří se chtějí připojit do sítě. Přístupový bod pak umožní připojení pouze těm klientům, jejichž MAC adresa je v přístupovém bodu nastavena. Nicméně ani tento způsob zabezpečení sítě není stoprocentní. Dalším stupněm zabezpečení je šifrování přenosu. [21]

První metoda šifrování komunikace byla označena WEP (Wired Equivalent Privacy). Princip spočívá na ručním zadání klíče na obou stranách bezdrátového spojení. Šifra je ale poměrně snadno prolomitelná, proto bylo zavedeno šifrování WPA (WiFi Protected Access). Nejnovější šifrovací metoda WPA2 využívá pro zabezpečení šifrování AES (Advanced Encryption Standard), které je ale náročnější na výpočetní výkon WiFi zařízení, a proto není kompatibilní s předchozími způsoby šifrování. [21]

2.3 GSM

2.3.1 Historie GSM sítí

První základní definice mobilní sítě byla představena v roce 1987 standardizační skupinou GSM (Groupe Special Mobile). Později, v roce 1989, byl vývoj standardu mobilní sítě přesunut na Evropský telekomunikační normalizační institut (ETSI). O rok později byla specifikace fáze 1 sítě GSM standardizována. První komerční GSM síť byla spuštěna v polovině roku 1991. V České republice byla první GSM síť zprovozněna v roce 1996 společností Eurotel. [22]

2.3.2 Využívaná kmitočtová pásma

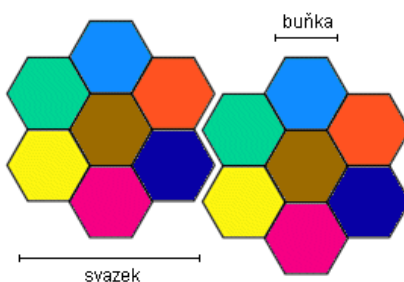
V Evropě jsou využívány mobilní sítě GSM 900 a GSM 1800, v USA pak GSM 1900. Číslo v názvu sítě označuje používané frekvenční pásmo. Systém GSM 900 využívá dvě subpásma o šířce 25MHz s odstupem 45MHz. Pro směr od uživatele (uplink) se využívá pásmo 890–915MHz a směrem k uživateli (downlink) se využívá pásmo 935–960MHz. Obě subpásma jsou rozdělena do 125 kanálů s odstupem 200kHz. Pro přenos hovorů jsou využívány páry kanálů (uplink a downlink) označených absolutním číslem frekvenčního kanálu ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number) 1–124. Nultý kanál se pro přenos hovorů nevyužívá. Později vznikla novější varianta E-GSM (Extended-GSM), která rozšiřuje základní subpásma GSM 900 o 10MHz na 880–915MHz (uplink) a 925–960MHz (downlink). Dolní kmitočty obou subpásem byly ještě rozšířeny o 4MHz pro komunikační systém využívaný v železniční dopravě GSM-R (GSM Railway). Systém GSM 1800 (případně DCS 1800) využívá subpásma na kmitočtu 1710–1785MHz (uplink) a 1805–1880MHz (downlink). Subpásma mají v tomto případě šířku 75MHz a odstup 95MHz. GSM 1800 vytváří 375 radiových kanálů ARFCN číslovaných od 512 do 885. GSM 1900 využívá pásma o šířce 60MHz a odstupem 80 MHz na frekvencích 1850–1910MHz (uplink) a 1930–1990MHz (downlink). Systém využívá 300 radiových

kanálů ARFCN číslovaných v rozsahu 512 až 810 a dále obsahuje 2400 uživatelských kanálů. [23]

Radiový kanál je pomocí metody TDMA (Time Division Multiple Access) rozdělen na 8 časových slotů (timesloty), což u GSM 900 znamená 992 duplexních kanálů a 3000 duplexních kanálů pro GSM 1800. Na jedné nosné frekvenci lze provozovat až 16 hovorových kanálů. Časová perioda jednoho TDMA rámce složená z 8 timeslotů je dlouhá 4,615ms. Vysílána jsou vlastní hovorová data doplněná a pomocné bity. Datový tok jednoho TDMA rámce je přibližně 270,833kbps. Pro GSM signály se používá gaussovské modulace signálu GMSK (Gaussian Minimum frequency-Shift Keing). Zavedením kombinace frekvenčního multiplexu FDMA (Frequency Division Multiple Access) a časového multiplexu TDMA lze získat až 16 hovorových kanálů.

2.3.3 Struktura sítě GSM

Sít GSM je takzvaná buňková síť využívající subsystém základnových stanic. Jednotlivé dílčí buňky jsou rozděleny podle pokrytého území. Pro efektivní využití přiděleného frekvenčního spektra využívá GSM takzvaný celulární – buňkový systém, díky němuž lze signálem pokrýt rozsáhlé území (dvě sousední buňky pracují vždy na jiném kanálu). [23]



Obrázek 11 - Buňková síť [24]

Mobilní uživatelská stanice MS (Mobile Station)

Základy mobilního telefonu tvoří vysílač a přijímač komunikující se základnovou stanicí BTS, řídicí obvody, mikrofon, reproduktor, klávesnice a display. Každá mobilní stanice má vlastní identifikační číslo IMEI (International Mobile Equipment Identity). IMEI bývá napsán v prostoru baterie, případně jej lze zjistit zadáním kódu *#06#. V rámci sítě se mobilní stanice identifikuje pomocí SIM karty (Subscriber Identification Module). SIM karta poskytuje potřebné údaje pro připojení do GSM sítě a také prostor pro uložení telefonních čísel a zpráv. Důležité je, že SIM kartu lze vyjmout a použít v jiném mobilním telefonu. [25]

Subsystém základnových stanic BBS (Base Station Subsystem)

Základnová stanice propojuje bezdrátovým rozhraním jednotlivé mobilní stanice. BBS je tvořena částí BTS (Base Transceiver Station) a řídí jednotkou BSC (Base Station Controller). Jedna BTS tvoří jednu buňku systému. Subsystém základnových stanic BBS

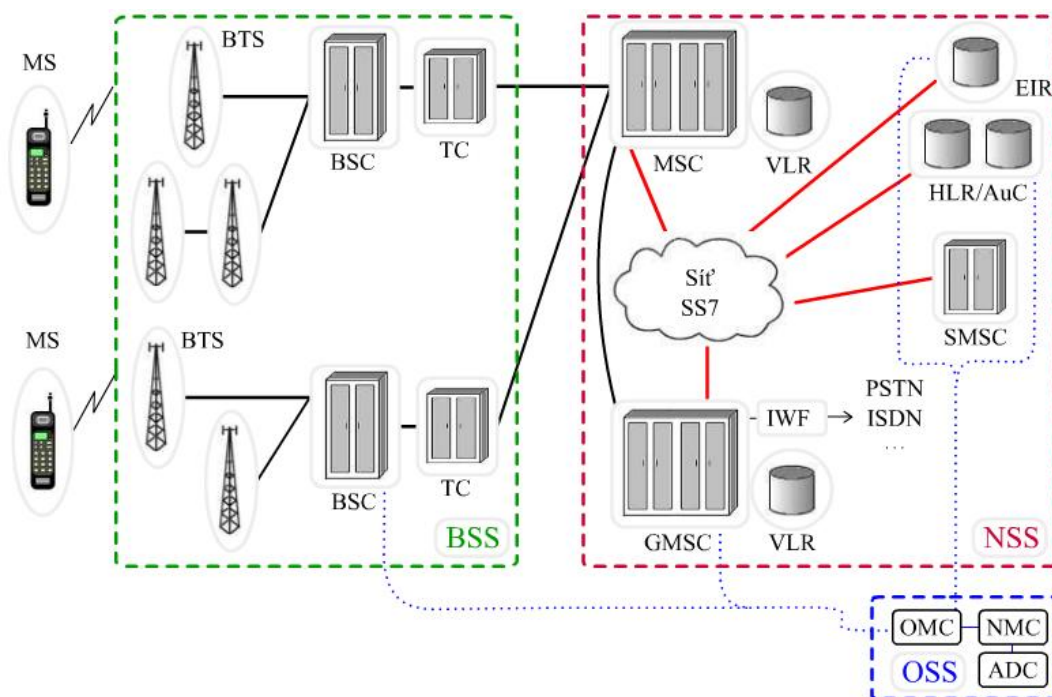
řídí jednu nebo několik stanic BTS. BBS řídí přidělování kanálů mobilním stanicím. Dále zajišťuje takzvaný handover – předání spojení mezi BTS. [25]

Sít'ový spojový subsystém NSS (Network Switching Subsystem)

NSS je možné přirovnat k radiotelefonní ústředně, která provádí přepojování telefonních služeb, registraci připojených MS do sítě nebo určení jejich polohy. NSS obsahuje několik registrů (databází) s informacemi nutnými pro uskutečnění připojení MS do sítě a zjištění podporovaných služeb. HLR (Home Location Register) obsahuje informaci o všech účastnících sítě. Například informace o službách předplacených uživatelem. Registr VLR (Visitor Location Register) obsahuje základní informace, které potřebuje ústředna, která obsluhuje danou MS. Informace o uživateli jsou udržované jen po dobu aktivity mobilní stanice v oblasti spravované danou ústřednou. [25]

Operační a podpůrný subsystém OSS (Operational and Support Subsystem)

OSS zajišťuje správnou funkci celého systému GSM a propojuje síť GSM s externími složkami. [25]



Obrázek 12 - Základní struktura sítě GSM [25]

2.3.4 Volba rozhraní pro dálkové ovládání modelu

Pro všechny tři popsané bezdrátové technologie je možné zakoupit příslušný modul a s jeho pomocí ovládat nějaký model. Je ale nutné zvážit, která technologie bude nejvhodnější.

Z pohledu maximálního dosahu nabízí technologie GSM téměř neomezený dosah. Její nevýhodou je však zpoplatnění služeb. Technologie WiFi a Bluetooth budou mají ve volném prostoru dosah v řádu jednotek až desítek metrů v závislosti na použitém modulu.

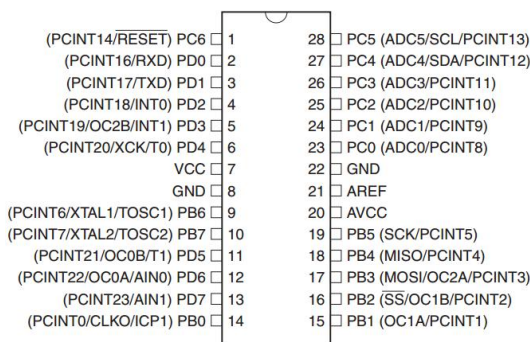
Z pohledu maximální rychlosti přenosu dat je nejlepší volbou technologie WiFi. Navrhovaný model v praktické části této práce bude ovládaný pouze směrově. Proto nebude datový tok tak velký a přenosová rychlost technologie Bluetooth je pro zmíněné řízení modelu dostatečná.

Při rozhodování, kterou bezdrátovou technologii zvolit, je také třeba zvážit náročnost připojení a podporu bezdrátové komunikace ze strany mobilního telefonu a mikroprocesoru umístěným v ovládaném modelu. V tomto případě nabízí nejjednodušší obsluhu technologie Bluetooth. V případě volby Bluetooth modulu pracujícího s profilem SSP (virtuální sériová linka) obsluhuje mikroprocesor v ovládaném modelu pouze sériovou linku a zpracování dat.

3 Použité komponenty

3.1 Mikroprocesor ATmega168

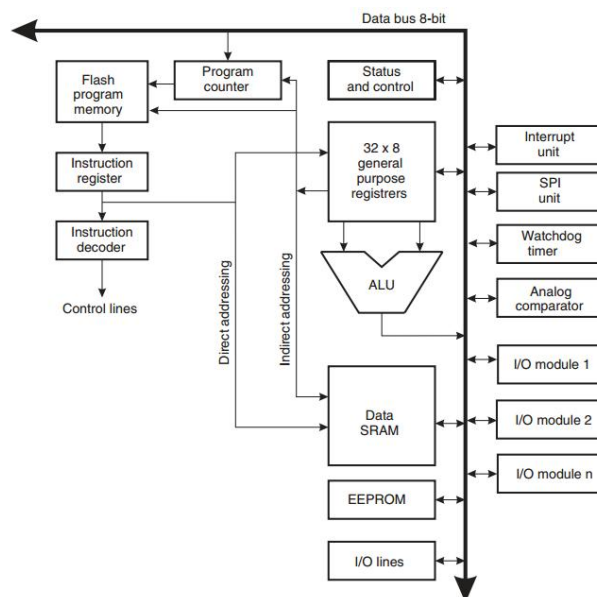
Mikroprocesor ATmega168 je vyráběný firmou Atmel. Jedná se o 8b mikroprocesor využívající Harvardské architektury, kde paměť dat a paměť programu je oddělená. ATmega168 využívá redukovanou sadu instrukcí, obecně RISC, která obsahuje 131 instrukcí.



Obrázek 13 - ATmega168 popis vývodů [26]

Základní parametry:

- 8-bitový mikroprocesor
- Napájecí napětí 2,7 - 5,5V
- Maximální frekvence 20MHz (10MHz při napájení pod 4,5V)
- 16kB programové paměti Flash
- 512B paměti EEPROM
- 1kB paměti SRAM
- 131 instrukcí
- 32 pracovních registrů se šířkou 8b
- Sběrnice USART, SPI, TWI (I²C)
- 2x 8bitový a 1x 16bitový čítač/časovač
- Časovače mohou generovat až 6 PWM signálů
- 10bitový A/D převodník
- Pouzdro 28 pinů, 23x programovatelný I/O pinů
- Pracovní teplota -40°C až +85°C



Obrázek 14 - Blokové zapojení mikroprocesoru ATmega168 [26]

3.1.1 Čítače/Časovače a generování signálu PWM

ATmega168 obsahuje tři čítače/časovače. Dva 8bitové a jeden 16bitový čítač pojmenovaných TCNT n , kde n je číslo příslušného čítače (0, 1 nebo 2). Každý čítač obsahuje dva samostatné kanály rozlišené písmeny A nebo B. Každý kanál čítače může nastavit svůj vlastní pin pojmenovaný OC n x , kde n je číslo čítače a x použitý kanál čítače. Řídící impulzy čítače jsou přivedeny buď z vnitřních hodin mikroprocesoru doplněných o předděličku nebo z vnějšího zdroje. Čítač porovnává dosaženou aktuální hodnotu s registrem OCR n A nebo OCR n B (dva nezávislé kanály čítače) a v případě shody může být nastaven výstupní bit (generování PWM) nebo vyvoláno přerušení. V popisu čítačů/časovačů jsou v katalogovém listu používány pojmy BOTTOM, MAX a TOP. BOTTOM znamená "dno" čítače/časovače a má hodnotu 0x00. Hodnota MAX je dána maximálním možným číslem zapsatelným do registru. Pro 8bitový čítač/časovač je to hodnota 0xFF (dekadicky 255) a 16bitový čítač/časovač je to hodnota 0xFFFF (dekadicky 65535). Hodnota TOP je dána režimem, ve kterém pracuje čítač/časovač. Může být rovna hodnotě MAX nebo hodnotě registru OCR n x . V případě 16b čítače/časovače může být hodnota TOP nastavena hodnotou registru ICR1 nebo pevnou hodnotou 0x00FF, 0x01FF nebo 0x03FF podle zvoleného módu. [26] [27]

Čítač/časovač 0

Jde o 8b čítač, tedy maximální hodnota, do které čítač čítá, je 255. To je poměrně malá hodnota vzhledem k tomu, že mikroprocesor ATmega 168 může pracovat s hodinovým kmitočtem až 20MHz. Proto je čítač vybaven předděličkou, která krátí hodinový signál podle zvolené hodnoty 1, 8, 64, 256 nebo 1024. Nastavení čítače 0 se provádí pomocí registru TCCR0A, kde lze pro každý kanál čítače nastavit požadované chování výstupu při dosažení shody čítače a hodnoty registru OCR0 x . Spodní dva bity společně s třetím bitem z registru TCCR0B slouží k nastavení hodnoty TOP v jednotlivých módech.

Dále se v TCCR0B nastavuje hodnota předděličky a v případně externího zdroje impulzů hrana, při které dochází k inkrementaci hodnoty čítače. Povolení přerušení lze nastavit v registru TIFR0. Příznaky přerušení lze získat z registru TOV0. [26]

Mód CTC (Clear Timer on Compare)

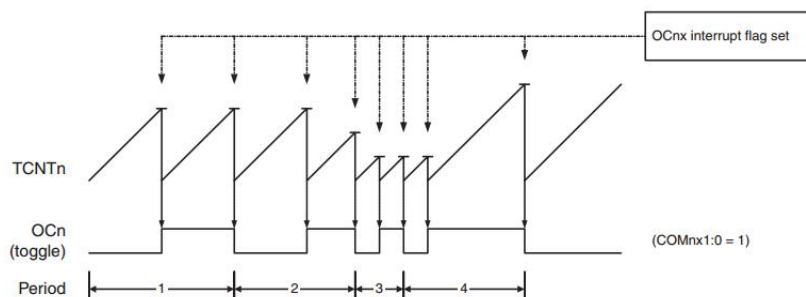
Mód, ve kterém je hodnota registru OCR_{nx} brána jako horní mez čítače. Po dosažení shody hodnoty čítače s hodnotou uloženou v registru OCR_{nx} je čítač vynulován. Změnou hodnoty registru OCR_{nx} dochází ke změně frekvence a střídy generovaného signálu (Obrázek 15). Frekvence výstupního signálu je dána vztahem (3.2). [26] [27]

$$f_{ocnx} = \frac{f_{clk I/O}}{2 \cdot N \cdot (1 + OCR_{nx})} \quad (3.1)$$

kde: $f_{OC_{nx}}$ - výstupní frekvence generovaného signálu

$f_{clk I/O}$ - frekvence vnitřních hodin

N - hodnota předděličky (1, 8, 64, 256 nebo 1024)



Obrázek 15 - CTC mód (časový diagram) [26]

Mód Fast PWM

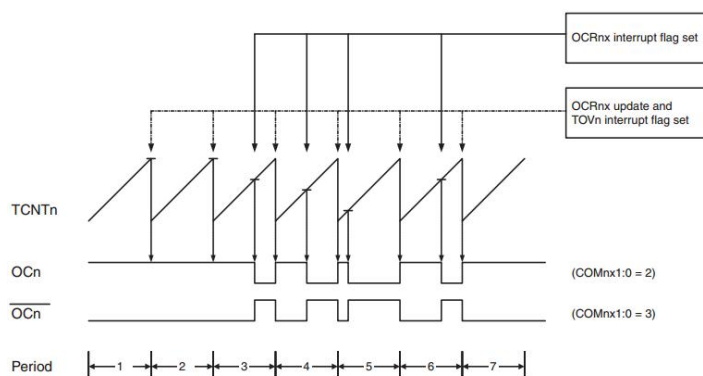
Fast mód na rozdíl od CTC nevynuluje čítač při dosažení hodnoty uložené v registru OCR_{nx} , ale pouze nastaví příslušný bit do nuly. Při přetečení čítače (dosažení hodnoty TOP) nastaví příslušný bit do logické jedničky (u invertujícího módu je to obráceně). Změnou hodnoty registru OCR_{nx} se mění šířka generovaného pulzu (střída signálu). Pokud je potřeba měnit za běhu programu i výstupní kmitočet generovaný čítačem, je zde možnost požit čítač jako jednocanálový. Pak registr OCR_{nA} určuje maximální hodnotu, do které se čítá. Frekvence generovaného signálu je dána vztahem (3.2). [26] [27]

$$f_{OCnxPWM} = \frac{f_{clk I/O}}{N \cdot 256} \quad (3.2)$$

kde: $f_{OCnxPWM}$ - výstupní frekvence generovaného signálu

$f_{clk I/O}$ - frekvence vnitřních hodin

N - hodnota předděličky (1, 8, 64, 256 nebo 1024)



Obrázek 16 - Fast PWM (časový diagram) [26]

Mód Phase Correct

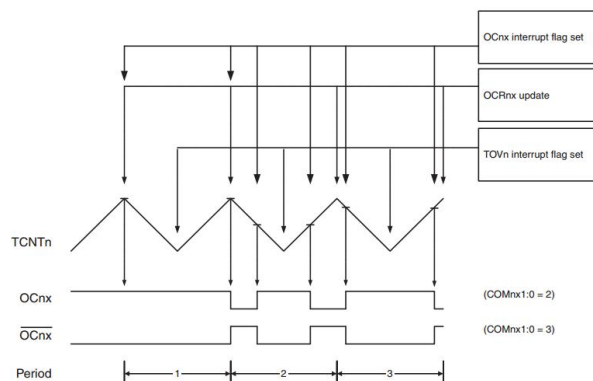
Třetí mód generování PWM signálu označený jako Phase Correct pracuje tak, že čítač nejprve počítá směrem nahoru do dosažení hodnoty uložené v registru $ICRn$. Poté začne počítat směrem dolů až do hodnoty nula. Dojde-li při čítání směrem nahoru ke shodě aktuální hodnoty čítače a hodnoty registru $OCRnx$, je výstupní bit nastaven do logické nuly. Nastavení výstupního bitu do logické jedničky dojde opět při shodě aktuální hodnoty čítače s hodnotou uloženou v registru $OCRnx$ při čítání směrem dolů (platí pro neinvertovaný režim). Hodnota registru $ICRn$ tedy udává frekvenci generovaného průběhu a hodnota registru $OCRnx$ určuje šířku pulzu (střídu). Průběh generovaného signálu je znázorněn na obrázku (Obrázek 17). Pro správnou funkci je nutné zapisovat novou hodnotu registru $OCRnx$ až po dosažení maximální hodnoty, kdy dochází ke změně směru čítání. Výsledná frekvence výstupního signálu je oproti módu Fast PWM poloviční. [26] [27]

$$f_{OCnxPCPWM} = \frac{f_{clk I/O}}{N \cdot 510} \quad (3.3)$$

kde: $f_{OCnxPCPWM}$ - výstupní frekvence generovaného signálu

$f_{clk I/O}$ - frekvence vnitřních hodin

N - hodnota předděličky (1, 8, 64, 256 nebo 1024)



Obrázek 17 - Phase correct PWM (časový diagram) [26]

Mode	WGM02	WGM01	WGM00	Timer/counter mode of operation	TOP	Update of OCRx at	TOV flag set on
0	0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	0	1	PWM, phase correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	0	1	0	CTC	OCRA	Immediate	MAX
3	0	1	1	Fast PWM	0xFF	BOTTOM	MAX
4	1	0	0	Reserved	-	-	-
5	1	0	1	PWM, phase correct	OCRA	TOP	BOTTOM
6	1	1	0	Reserved	-	-	-
7	1	1	1	Fast PWM	OCRA	BOTTOM	TOP

Obrázek 18 - Přehled pracovních módů čítače/časovače 0

Čítač/Časovač 1

Jedná se o 16b čítač, což přináší větší rozsah hodnot a tím přesnější generování signálu PWM. Navíc obsahuje záchytný registr (Input Capture Register). Registr zachycuje stav čítače/časovače 1 v momentu výskytu události na pinu ICP1 (pin PB0) nebo změně stavu napěťového komparátoru. Záchytný registr se využívá například pro měření času mezi dvěma událostmi. Způsoby generování PWM jsou stejné jako u čítače/časovače 0. Liší se pouze výpočet u módu Fast PWM (vztah (3.4)) a módu Phase Correct PWM (vztah (3.5)). Navíc je přidán mód Phase and Frequency Correct. [26] [27]

$$f_{OCnxPWM} = \frac{f_{clk\ I/O}}{N \cdot (1 + TOP)} \quad (3.4)$$

$$f_{OCnxPCPWM} = \frac{f_{clk\ I/O}}{2 \cdot N \cdot TOP} \quad (3.5)$$

kde: $f_{OCnxPWM}$ - výstupní frekvence generovaného signálu

$f_{OCnxPCPWM}$ - výstupní frekvence generovaného signálu

$f_{clk\ I/O}$ - frekvence vnitřních hodin

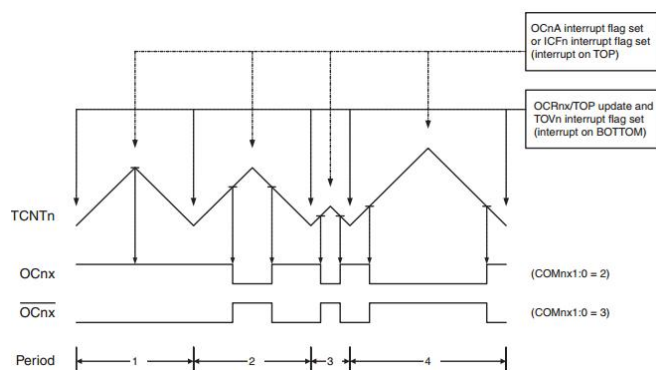
N - hodnota předděličky (1, 8, 64, 256 nebo 1024)

Drobné úskalí nastává v tom, že pracujeme s mikroprocesorem se šířkou sběrnice 8b. Proto je pro zápis a čtení 16b slova vytvořen dočasný pomocný registr a zápis nebo čtení pak probíhá dvoufázově. Tento pomocný registr je společný pro všechny zápisy 16b čísel. Při zápisu je nutné dodržet pravidlo, že nejprve zapíšeme vyšší byte a až potom byte nižší. Při zápisu nižšího bytu je zároveň zapsán vyšší byte, který je uložen v dočasném registru. Před vlastním zápisem 16b je také nutné zakázat přerušení, protože k zápisu do 16b registru je nutné použít dvě instrukce. Vyvolané přerušení by mohlo například změnit hodnotu v pomocném registru. [26] [27]

Pro základní nastavení čítače/časovače 1 je nutné opět nastavit registry TCCR1A a TCCR1B. Prvním zmíněným registrem se stejně jako u čítače/časovače 0 nastavuje chování výstupu obou kanálů při dosažení shody hodnoty čítače s hodnotou uloženou v registru OCR1x. Spodními dvěma bity pak společně s bity 4 a 3 z registru TCCR1B lze nastavit mód čítače. Čítače/časovače 1 nabízí celkem 14 módů. V prvním módu pracuje jako klasický čítač a zbylých třináct slouží pro generování PWM. Dolními třemi bity se volí hodnota předděličky. Šestý bit slouží pro nastavení hrany, na kterou má čítač reagovat při zapnutém externím vstupu, a bit 7 slouží k zapnutí omezovače šumu na vstupního pinu ICP1. Pro nastavení přerušení čítače/časovače 1 slouží registr TIMSK1. Stejně jako u čítače/časovače 0 lze zapnout přerušení při přetečení čítače, při shodě hodnoty čítače a hodnoty registru OCR1x a povolení přerušení při příchodu impulsu na vstupní pin ICP1. V případě, že dojde k popsaným přerušením jsou v registru TIFR1 nastaveny příslušné bity. [26] [27]

Mód Phase and Frequency Correct

Jak už název napovídá, udržuje tento mód symetrii fáze i frekvence generovaného PWM signálu. K nastavení hodnoty registru čítače dochází při dosažení hodnoty BOTTOM. Nastavení hodnoty TOP je možné registrem OCR1A i registrem ICR1. To umožňuje využít pro generování PWM signálu oba kanály čítače. [26] [27]



Obrázek 19 - Phase and Frequency Correct PWM (časový diagram) [26]

$$f_{OCnXPWM} = \frac{f_{clk I/O}}{2 \cdot N \cdot TOP} \quad (3.6)$$

kde: $f_{OCnXPWM}$ - výstupní frekvence generovaného signálu

$f_{clk I/O}$ - frekvence vnitřních hodin

N - hodnota předděličky (1, 8, 64, 256 nebo 1024)

Mode	WGM13	WGM12 (CTC1)	WGM11 (PWM11)	WGM10 (PWM10)	Timer/counter mode of operation	TOP	Update of OCR1x at	TOV1 flag set on
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, phase correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, phase correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, phase correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCR1A	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8-bit	0x00FF	BOTTOM	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9-bit	0x01FF	BOTTOM	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10-bit	0x03FF	BOTTOM	TOP
8	1	0	0	0	PWM, phase and frequency correct	ICR1	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, phase and frequency correct	OCR1A	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, phase correct	ICR1	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, phase correct	OCR1A	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICR1	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	(Reserved)	-	-	-
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICR1	BOTTOM	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCR1A	BOTTOM	TOP

Obrázek 20 - přehled pracovních módů čítače/časovače 1

Čítač/Časovač 2

Je to opět dvoukanálový 8b čítač, který může pracovat i v asynchronním režimu. Čítač tak může pracovat jako obvod reálného času. K tomu je mikroprocesor vybaven vnitřním oscilátorem pro krystal 32,768kHz. Při použití čítače v asynchronním režimu je nutné dodržet pokyny napsané v katalogovém listu, jinak může být čítač zdrojem nepředvídatelného chování. Čítač/časovač 2 lze také využít jako generátor PWM signálu. Obsahuje stejné módy generování PWM jako čítač/časovač 0. Pracuje-li čítač v klasickém režimu, je nastavení registrů shodné s nastavením časovače/čítače 0 (názvy registrů se liší číslem). Pro nastavení asynchronního režimu je připraven registr ASSR. [26] [27]

3.1.2 Sériové rozhraní USART

Rozhraní USART je univerzální obousměrné sériové rozhraní, které nabízí dva asynchronní a jeden synchronní režimu přenosu. Rychlost přenosu dat je udávaná v baudech (maximální počet změn logického stavu za jednu sekundu). Logickou nulu představuje napětí 0V a logickou jedničku představuje napájecí napětí zařízení s USART. V klidovém stavu (zařízení čeká na příjem/vyslání dat) je na pinech RxD a TxD logická jednička. Vysílání je zahájeno vysláním start-bitu, který má hodnotu logické nuly. Následuje vysílání sekvence dat od nejnižšího bitu. Sekvence je zakončena stop-bitem, který má hodnotu logické jedničky. Rozhraní má integrovaný přijímač, vysílač

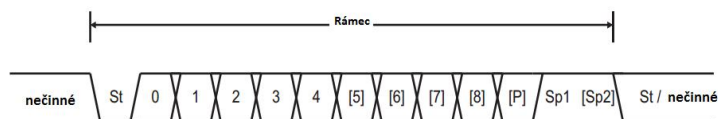
a generátor přenosové rychlosti, který umožňuje snadné nastavení přenosové rychlosti pomocí hodnoty registru $UBRRn$. Výpočet hodnoty registru $UBRRn$ pro normální asynchronní režim je dán rovnicí (3.7). Protože se jedná o 16b registr, je rozdělen na $UBRRnH$ a $UBRRnL$ a je nutné dodržet pravidla pro zápis do 16b registru popsaná u čítače/časovače 1.

$$UBRRn = \frac{f_{osc}}{16 \cdot BAUD} - 1 \quad (3.7)$$

kde: f_{osc} - kmitočet vnitřních hodin mikroprocesoru

$BAUD$ - požadovaná přenosová rychlost [$b \cdot s^{-1}$]

USART podporuje několik variant formátu dat. Podporovány jsou datové rámce s jedním start-bitem s délkou 5 až 9 bitů a volitelnou paritou. Zakončení rámce je jedním nebo dvěma stop-bity. Ukázka rámce obsahující 8 datových bitů, paritní bit a dva stop-bity je na obrázku (Obrázek 21).



Obrázek 21 - Příklad rámce USART [26]

kde: St - start-bit

0–8 - datové bity

P - paritní bit

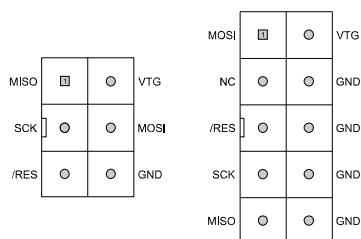
Sp1 a Sp2 jsou stop-bity

Formát datového rámce je nutné nejprve nadefinovat. K tomu slouží registr $UCSRnC$ a dolní dva bity registru $UCSRnA$. Zbývající bity registru $UCSRnA$ slouží k monitorování aktuálního stavu sériové linky a signalizaci případných chyb při přenosu. Povolení nebo zákaz přerušování vyvolaných sériovou linkou lze provést v registru $UCSRnB$, kde se také povoluje vlastní přijímač a vysílač sériové linky. V případě datového rámce s 9b datovým rámcem, je devátý bit načten nebo zapsán do spodních dvou bitů registru $UCSRnB$ (nultý bit pro odesílání a první bit pro čtení). Pro příjem a vysílání dat je určen registr $UDRn$, který spolupracuje s buffrem sériové linky. [26]

3.1.3 ISP

Rozhraní pro programování vnitřní paměti mikroprocesoru FLASH a EEPROM. Konektor obsahuje pin napájecího napětí, ovládání resetu, vodič SCK pro synchronizaci přenosu, vodič MOSI pro sériový zápis paměti a vodič MISO pro sériové čtení obsahu paměti. Výhodou programování mikroprocesoru přes rozhraní ISP je možnost naprogramovat

mikroprocesor přímo v aplikaci. Standardní rozmístění pinů konektoru pro propojení programátoru ISP je znázorněno na obrázku (Obrázek 22).



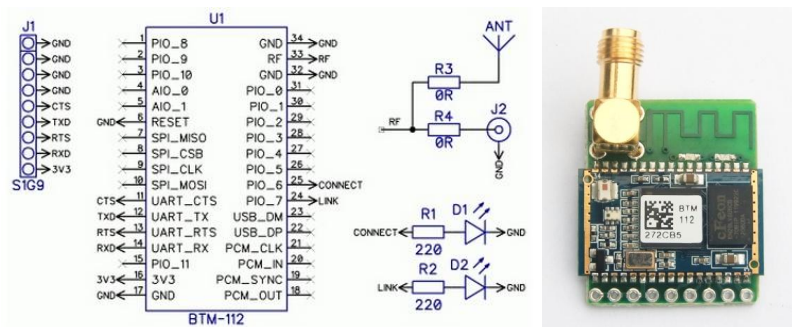
Obrázek 22 - Zapojení programovacího ISP konektoru

3.2 Bluetooth modul BTM-112

Bluetooth modul BTM-112 je vyráběn firmou Rayson. Jedná se o modul pracující se standardem Bluetooth 2.0. Data jsou přenášena pomocí sériové linky protokolem SPP. Modul může být nakonfigurovaný jako Master schopný zajistit připojení až sedmi zařízení Slave. Případně může být nastaven jako zařízení Slave. Modul pracuje s 3,3V logickými úrovněmi, proto je nutné, pracuje-li připojené zařízení například s 5V úrovněmi, použít vhodné propojení zařízení nebo převodník úrovní. Modul BTM-112 se prodává v několika variantách například internetový obchod Pandatron.cz. Modul je dodáván samostatný nebo připájený na plošný spoj o rozměrech 2,7 x 2,3 mm. Protože modul BTM-112 nemá integrovanou anténu, je u varianty na plošném spoji vyrobena anténa pomocí vhodné vyleptané cesty a pro případné zvýšení dosahu je osazen i konektor pro externí anténu typu SMA. Plošný spoj dále obsahuje dvě LED diody indikující stav modulu.

Základní parametry:

- Napájecí napětí 3,0V - 3,6V
- Interní regulátor napětí 1,8V
- Bluetooth standard v2.0 + EDR
- Výkon maximálně 4dBm (Class 2)
- Firmware pro SPP protokol, s možností nastavení pomocí AT příkazů
- Rozhraní USART - RS232 s logickými úrovněmi 3,3V
- Rozměry 25 x 14,5 x 2,2 mm



Obrázek 23 - Zapojení desky s Bluetooth modulem BTM-112 [28]

3.3 Ukázka parametrů akcelerometru BMA150

Jedná se o moderní tří-osý MEMS akcelerometr určený pro snímání malých hodnot zrychlení vyráběný firmou Bosch Sensortec. Je umístěn v pouzdru LGA (3x3x0,9mm). Díky malým rozměrům je předurčen pro instalaci do mobilních zařízení. Obsahuje ho například i mobilní telefon Sony Ericsson Xperia Neo, který je použit v praktické části práce. Využití akcelerometru v mobilních zařízeních je rozmanité. Například detekce náklonu přístroje, funkce krokoměru, detekce otřesů nebo detekce volného pádu. [29]



Obrázek 24 - Pouzdro akcelerometru BMA150 [29]

Základní parametry:

- Napájecí napětí 2,4 - 3,6V
- Spotřeba 200 μ A (napájecí napětí 2,5V)
- Proud při nečinnosti 1 μ A, doba probuzení 1ms
- Přepínatelný rozsah $\pm 2, 4, 8g$
- Rozlišení 10bit = 4mg (rozsah $\pm 2g$)
- Rozhraní SPI (3-wire/4-wire) a rozhraní I²C (slouží také pro nastavení parametrů akcelerometru)
- Šířka pásma 25Hz - 1500Hz
- Teplotní rozsah -40° až +85°

3.4 Stabilizátory napětí

3.4.1 Stabilizátor LF33CV

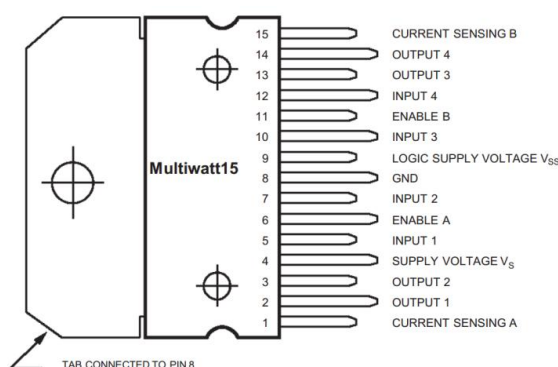
Lineární regulátor napětí 3,3V s maximálním proudovým odběrem 0,5A. Jedná se o stabilizátor s malým úbytkem napětí pracující se vstupním napětím v rozmezí 4,3V až 16V (při odběru 0,5A je minimální vstupní napětí 4,6V). Stabilizátor má být dle katalogu doplněn elektrolytickými kondenzátory s kapacitou 2 a 10 μ F. Při případném použití keramických kondenzátorů je nutné ke kondenzátoru připojit do série rezistor s odporem 0,1 až 10 Ω .

3.4.2 Stabilizátor L7805

Lineární regulátor napětí s výstupním napětím 5V a maximálním odebíraným proudem 1A. Minimální vstupní napětí je dle katalogového listu 7V. Rozsah vstupního napětí je v rozmezí 7 až 35V. Pro správnou funkci musí být stabilizátor v obvodu doplněn kondenzátorem 330nF připojeným ke vstupní svorce a kondenzátorem 100nF připojeným na výstupu. Pouzdro součástky je TO-220 stejně jako u stabilizátoru LF33CV. Rozmístění pinů při pohledu zepředu (potisk) je: vlevo V_{IN} , uprostřed GND a vpravo V_{OUT} .

3.5 H-můstek L298N

Jedná se o dvoukanálový výkonový budič určený pro spínání stejnosměrných motorů, krokových motorů a jiných induktivních zátěží. H-můstek je napájen dvěma napětími V_{SS} a V_S . Na svorku V_{SS} se přivádí napětí 5V (max. 7V) a slouží pro napájení logické části obvodu. Napětí přivedené na pin V_S slouží pro napájení výkonové části obvodu a může být až 50V. Maximální dovolený trvalý proud tekoucí do zátěže je roven 2A pro každý kanál můstku. H-můstek L298N je umístěn v pouzdru Multiwatt15. Rozmístění pinů je na obrázku (Obrázek 25).



Obrázek 25 - Zapojení vývodů L298N [30]

Popis funkce pro řízení stejnosměrného motoru

Každý kanál řídí tři logické vstupy ENABLE 1 (2), INPUT 1 (3) a INPUT 2 (4). Logická nula na vstupu ENABLE znamená odpojení výkonové části můstku od napájení. Logické hodnoty na vstupech INPUT jsou ignorovány. Pro řízení zátěže musí být na vstup

ENABLE přivedena logická jednička. Pro roztočení motoru musí být vstup INPUT 1 v logické jedničce a INPUT 2 v logické nule. Pro opačný směr otáčení stejnosměrného motoru (přepólování výstupu) je nastavení logických hodnot na vstupech INPUT 1 a INPUT 2 opačné. Připojením stejné logické hodnoty na oba vstupy INPUT jsou oba póly motoru uzemněny nebo připojeny na napájecí napětí. Tím jsou póly motoru zkratovány a otáčející se motor je brzděn. V případě potřeby řízení jednoho motoru s proudovým odběrem větším než 2A je možné oba kanály H-můstku spojit paralelně. [30]

Vzhledem k nebezpečí zničení obvodu proudovým přetížením jsou spodní konce H-můstků vyvedeny na pin 1 a 15. Pro omezení zkratového proudu lze mezi pin 1 a 15 připojit výkonově dimenzovaný rezistor, pro omezení zkratového proudu, nebo pojistku. V případě jiného jištění je nutné oba piny propojit se zemí. Struktura obvodu L298N neobsahuje integrované ochranné diody na výstupu. Protože stejnosměrný motor je induktivní zátěž, je nutné připojit ke každému výstupu rychlé rekuperační diody (výstup proti zemi a výstup proti napájecímu napětí). Vhodné jsou například diody UF4007. [31]

3.6 Servo Hextronix HTX900

Díky nízké ceně je toto analogové servo velmi rozšířené mezi leteckými modeláři. Je vhodné pro ovládání malých modelů letadel (rozpětí cca 1m), řízení malých modelů aut a podobně. Pohyb páky serva je řízen PWM signálem o frekvenci 50Hz se šířkou pulzu od 1ms do 2ms, což jsou hodnoty pro krajní polohy páky serva.

Základní parametry

- Rozměry 23 x 12 x 29 mm
- hmotnost 9g
- síla 1,6 kg
- rychlost 0,12s / 60°(při 4,8V)
- pracovní napětí 3 až 6V

4 Stavba dálkově ovládaného modelu auta

4.1 Aplikace pro mobilní telefon

Pro ovládání modelu auta byl zvolen mobilní telefon se systémem Android obsahující integrovaný akcelerometr. Konkrétně se jedná o mobilní telefon Sony Ericsson Xperia NEO se systémem Android verze 4.0.4.

Aplikace pro ovládání modelu auta byla vytvořena ve vývojovém prostředí Eclipse Standard 4.3, do kterého je nutné nainstalovat doplněk ADT (Android Development Tools). Návod, jak přesně postupovat při instalaci prostředí, je dostupný zde¹.

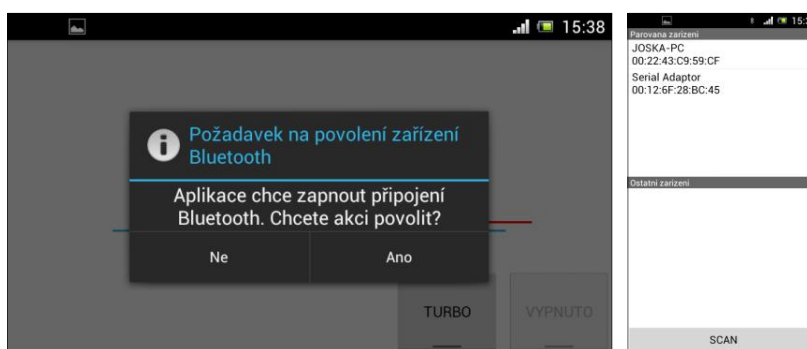
4.1.1 Základní údaje aplikace

Aplikace, pojmenována CarControl, je navržena pro ovládání modelu auta pomocí dat z akcelerometru odesílaných pomocí Bluetooth. Pro řízení je výchozí poloha telefonu na šířku a displejem vzhůru. Ovládání modelu auta se provádí náklonem telefonu vpřed/vzad (osa X) a vlevo/vpravo (osa Y). Náklony kopírují pohyb auta jedoucího směrem uživatele.

Kompletní zdrojový kód aplikace se nachází na přiloženém DVD.

4.1.2 Popis aplikace

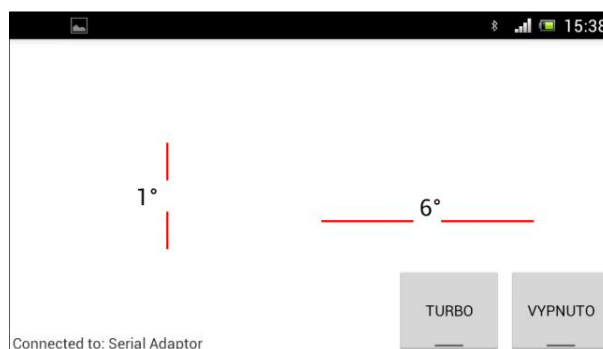
Po spuštění aplikace je nejprve testováno, zda je zapnuté rozhraní Bluetooth. V případě že není, je uživatel vyzván k potvrzení zapnutí rozhraní a výběru zařízení, ke kterému se chce připojit.



Obrázek 26 - Úvodní obrazovka aplikace - zapnutí Bluetooth

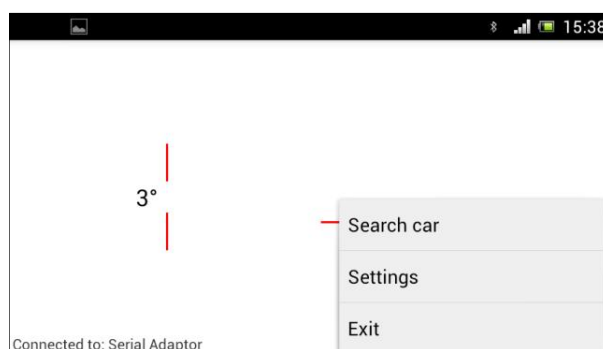
Obrazovka ovládací aplikace (Obrázek 27) obsahuje dvě tlačítka. Tlačítko TURBO slouží pro zapnutí vyšší rychlosti jízdy auta. Pravým tlačítkem VYPNUTO/ZAPNUTO se povoluje vysílání údajů o náklonu telefonu. Obrazovka dále obsahuje informaci o náklonu telefonu v dané ose a název připojeného Bluetooth modelu.

¹ <http://developer.android.com/sdk/installing/installing-adt.html>



Obrázek 27 - Ovládací aplikace

Vyvoláním nabídky menu (Obrázek 28) příslušným tlačítkem na mobilním telefonu je možné položkou Search car znovu vyhledat a navázat přerušené spojení s autem (například při výměně baterií). Položka Settings obsahuje nastavení frekvence načínání dat z akcelerometru. Položka Exit provede ukončení aplikace. V případě, že byl Bluetooth telefonu zapnut aplikací CarControl, bude při ukončení aplikace přes menu automaticky vypnut.



Obrázek 28 - Menu ovládací aplikace

Řídící část zdrojového kódu se nachází ve třech souborech pojmenovaných MainActivity.java, DeviceListActivity.java a BtConnectionService.java.

4.1.3 MainActivity.java

Soubor MainActivity.java obsahuje nastavení vzhledu aplikace a přiřazení funkce tlačítkům. Vysílaný řetězec znaků je vždy zakončen středníkem a znakem nového řádku. To umožňuje přehlednější kontrolu, zda jsou vysílaná data přes Bluetooth správná. K zobrazení byl použit program Hercules². Středník je v programu auta rozeznáván jako ukončovací znak v případě přijímaného řetězce znaků s hodnotami náklonu.

² http://www.hw-group.com/products/hercules/index_cz.html

Ukázka obsluhy tlačítka TURBO:

```
private void speedToggle(boolean isChecked) {
    if (null != btService && btService.getState() ==
        BtConnectionService.STATE_CONNECTED) { String speed = "";
        if (isChecked) { // Při stisknutí tlačítka odešle znak "T"
            speed = "T";
        }
        else { // Při vymáčknutí tlačítka odešle znak "s"
            speed = "S";
        }
        speed = speed.concat(";\n"); //vložení znaku nového řádku
        btService.write(speed.getBytes()); // Odeslání znaku
    }
}
```

4.1.4 BtConnectionService.java

Zdrojový kód BtConnectionService.java provádí obsluhu a odesílání dat přes Bluetooth. Návod popisující základy, jak vytvořit komunikaci přes bluetooth a který byl při programování použit, je dostupný zde³.

Načtení hodnot zrychlení na jednotlivých osách akcelerometru:

```
public void onSensorChanged(SensorEvent event) { // Událost změny polohy
    telefonu
        if (event.sensor.getType() != Sensor.TYPE_ACCELEROMETER) {
            return;
        }
        if (getState() != STATE_CONNECTED) {
            return;
        }
        // Načtení hodnoty zrychlení v ose X,Y a Z
        float mSensorX = event.values[0];
        float mSensorY = event.values[1];
        float mSensorZ = event.values[2];

        String location = getLocationString(mSensorX, mSensorY,
        mSensorZ);
        if (null != location) {
            write(location.getBytes());
        }
    }
}
```

Výpočet úhlu náklonu je vypočítán pomocí funkce `arkustangens`. Protože funkce `atan()` má jako výstup hodnotu úhlu v radiánech, je výsledná hodnota převedena na celé stupně v rozsahu $\pm 90^\circ$.

³ <http://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth.html>

Funkce pro naformátování řetězce z hodnot náklonu telefonu:

```
private String getLocationString(float sensorX, float sensorY, float
sensorZ) {

    if (sensorZ == 0) {
        return null;
    }

    Log.d(LOG_TAG, String.format("X:%f Y:%f Z:%f", sensorX, sensorY,
sensorZ));
    // Výpočet úhlu natočení, RAD_TO_DEG definuje 180/pi
    double sX = RAD_TO_DEG * Math.atan(sensorX / sensorZ);
    double sY = RAD_TO_DEG * Math.atan(sensorY / sensorZ);

    int sXint = (int) Math.round(sX); // Zaokrouhlení na celé stupně
    int sYint = (int) Math.round(sY);
    int sZint = (int) Math.round(sensorZ);
    // Zamezení hodnoty -0 vycházející z arctan()
    if (Math.abs(sXint) == 0) {
        sXint = 0;
    }
    if (Math.abs(sYint) == 0) {
        sYint = 0;
    }

    return String.format(COORDINATES_MESSAGE_FORMAT, sXint, sYint,
sZint);
}
```

Formát vysílaného řetězce je ve tvaru:

```
private static final String COORDINATES_MESSAGE_FORMAT = "P-%dY%dZ%d;\n";
```

4.1.5 DeviceListActivity.java

DeviceListActivity.java vytváří seznam dostupných Bluetooth zařízení a provádí jejich připojení. V případě potřeby obsluhuje proces párování.

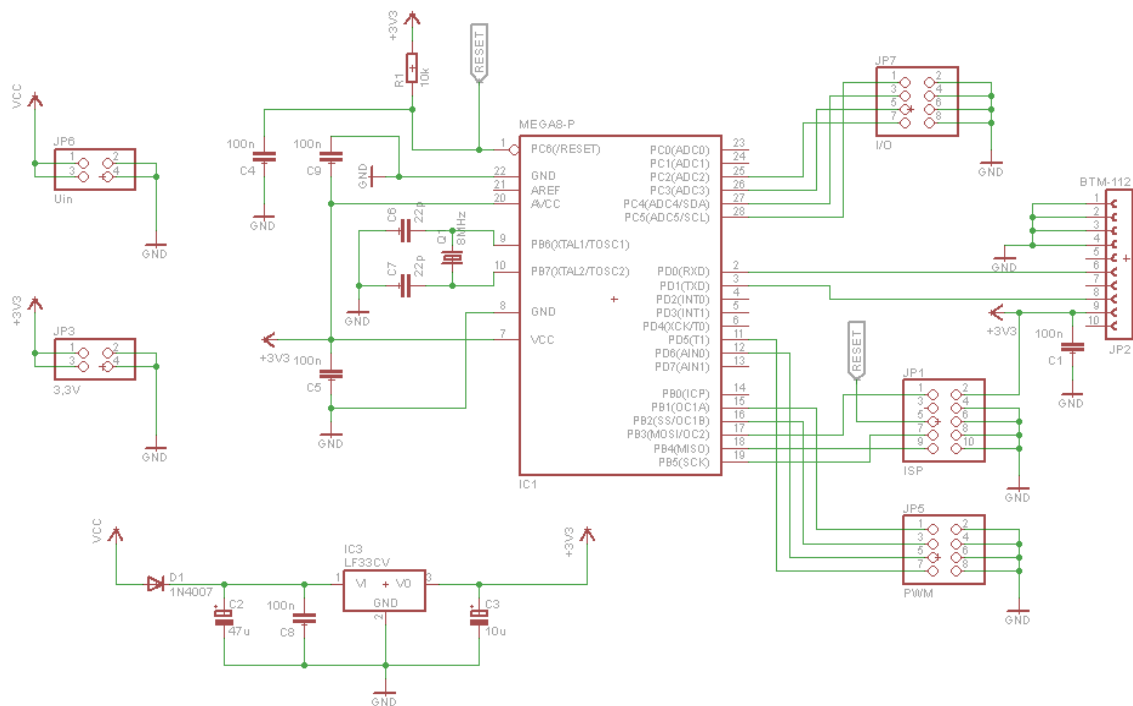
4.2 Model auta

4.2.1 Návrh a realizace desky plošného spoje

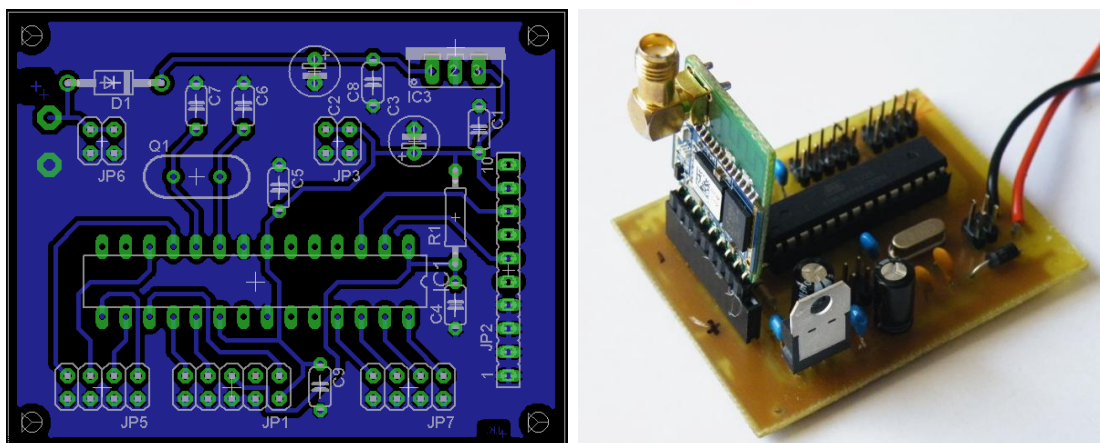
Pro návrh schéma zapojení a desky plošného spoje (dále jen DPS) byl použit program EAGLE 6.4.0. Návrh DPS byl proveden s ohledem na co nejjednodušší výrobu, proto byly při návrhu použity klasické součástky. Hodnoty součástek jsou zvoleny dle doporučení výrobce použitých integrovaných obvodů. Jako první byla navrhována a vyrobena DPS pro přijímač s pomocí pana Ing. Pavla Rozsívala. Druhá DPS pro řízení motoru byla vyrobena v domácích podmínkách. Výroba probíhala vytisknutím navrhnutého obrazce zapojení na laserové tiskárně na lesklý papír a přezhelením na desku cuprextitu. Pak již následoval klasický postup leptání DPS v roztoku chloridu železitého, vrtání otvorů pro součástky a osazení.

Deska přijímače

Model auta je řízen mikroprocesorem ATmega168. Řídící povely jsou přenášeny pomocí technologie Bluetooth modulem BTM-112. Protože modul BTM-112 je napájen napětím 3,3V, je toto napětí použito i pro napájení mikroprocesoru. Tím je zajištěno dodržení stejných logických úrovní mezi Bluetooth modulem a mikroprocesorem. Jako zdroj hodinového taktu mikroprocesoru je osazen externí krystal s frekvencí 8MHz. Pro nahrání řídicího programu je na desce vyveden 10pinový ISP konektor. Pro ovládání modelu auta jsou na desce vyvedeny výstupní piny od čítače/časovače 0 a 1 (PD6 , PD5 a PB2 pro řízení H-můstku a PB1 pro řízení serva). Dále jsou na desce vyvedeny 4 piny z portu C pro případné budoucí vylepšení auta. Na obrázku (Obrázek 29) je vyobrazeno schéma zapojení přijímače. Rozměry vytvořeného DPS přijímače jsou 4,9x6,3cm.



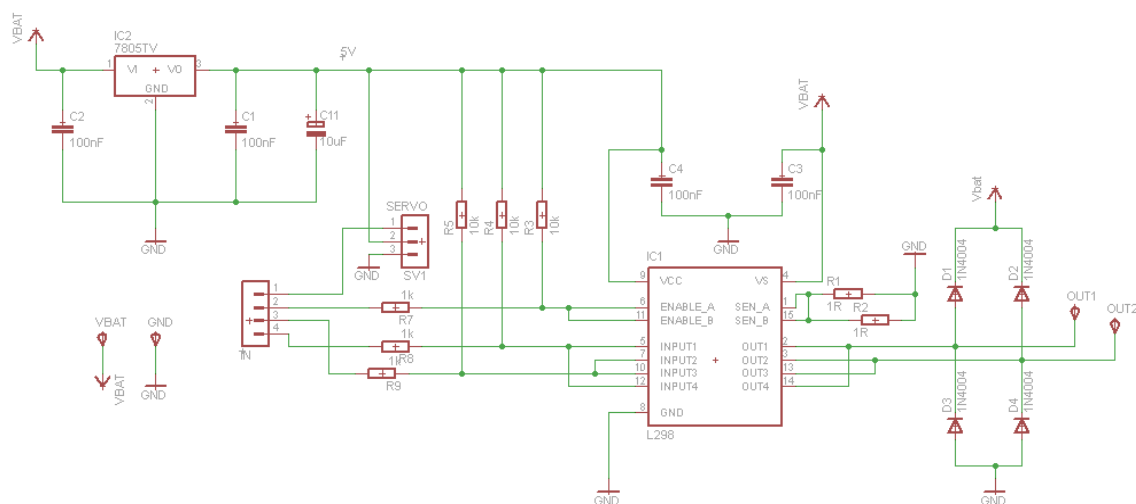
Obrázek 29 - Schéma zapojení přijímače



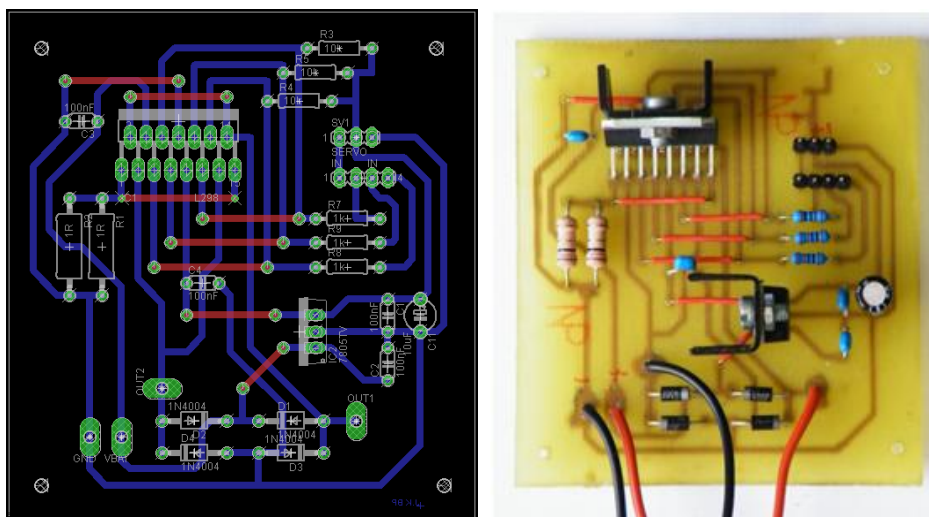
Obrázek 30 - Plošný spoj přijímače

Deska ovládání

Na druhé DPS je umístěna výkonová část řízení modelu auta. Obsahuje H-můstek L298N v paralelním zapojení vstupů a výstupů s maximálním trvalým výstupním proudem 4A. Deska také obsahuje 5V stabilizátor L7805 pro napájení logické části můstku L298N a napájení serva. Logické signály pro H-můstek jsou přivedeny přes 1k Ω rezistor. K řídicím signálovým cestám je možno v případě potřeby připojit pull-up rezistory (R3, R4 a R5). Protože ale můstek rozlišuje logickou jedničku od úrovně 3V, nebylo nutné pull-up rezistory osadit. Obvod H-můstku nemá integrovanou ochranu proti proudovému přetížení. Proto jsou mezi dolní konce můstku a zem připojeny ochranné rezistory (R1 a R2) s odporem 1 Ω , které omezí případný zkratový proud. Zapojení obvodu s H-můstkem L298N je na obrázku (Obrázek 31). Rozměry DPS jsou 8,0x7,2cm.



Obrázek 31 - Schéma zapojení řízení motoru



Obrázek 32 - DPS s H-můstkem

4.2.2 Model auta

Podvozek modelu auta byl získán z RC hračky. Původní neproporcionální řízení zatáčení předních kol bylo nahrazeno servem HTX900. Pro použité auto má dostatečnou sílu. Je nutné dát pozor na případné velké nárazy do přední nápravy, které by mohly poškodit plastové převody serva. Pohonná jednotka zůstala původní. Stejnsměrný motor je odrušen třemi keramickými kondenzátory s kapacitou 100nF, připojenými mezi póly motoru a mezi póly a plášť motoru. Plášť elektromotoru je uzemněn. K napájení elektroniky a pohonu slouží šest tužkových baterií, kterými byla napájena i původní hračka, a je pro ně uvnitř těla auta vyroben držák.

4.2.3 Řídicí program

Program pro ovládání auta byl vytvořen v jazyku C v programu Atmel Studio 6.0. Založený projekt byl pojmenován CarControl_ATMEGA168. Do mikroprocesoru byl vytvořený soubor s příponou .hex nahrán pomocí programu eXtreme Burner - AVR a ISP programátoru AVR USBasp.

Inicializace USART

Po zapnutí (resetu) provede program nejprve inicializaci USART a čítače/časovače 0, 1 a 2. Nejprve je provedeno nastavení přenosové rychlosti USART zapsáním hodnoty vypočítané podle vztahu (3.7) do registru UBRR0. Přenosová rychlost byla nastavena podle defaultní hodnoty nastavené výrobcem Bluetooth modulu BTM-112 na 19200b. Pro správný příjem je nutné nastavit formát datového rámce na 8bitu dat a jeden stop-bit bez parity.

```

UBRR0H = (unsigned char) (ubrr>>8);
UBRR0L = ubrr;
UCSR0B |= (1<<RXEN0); // Povolení přijímače UART
UCSR0C |= (3<<UCSZ00); //Přenášená data 8bitu 1 stop bit

```

Inicializace čítače/časovače

Pro řízení serva je využit 16b čítač/časovač 1 v módu Fast PWM. Protože vnitřní hodiny mikroprocesoru běží na frekvenci 8MHz a frekvence generovaného signálu má být 50Hz, je využito předděličky s hodnotou 8. Hodnota registru ICR1 je nastavena dle vztahu (3.4) na 19999.

```

DDRB = 0b00000110; // nastavení pinu čítače jako výstupní
TCCR1A |= (1<<WGM11) | (1<<COM1A1) | (1<<COM1A0); // nastaví výstup OC1A
do "1" při shodě čítače
TCCR1B |= (1<<WGM12) | (1<<WGM13) | (1<<CS11); //předdělička 8, mode 14,
ICR1 = 19999; // TOP

```

Pro řízení motoru je využit 8b čítač/časovač 0 v módu Fast PWM. Využívány jsou oba kanály čítače. Předdělička je nastavena na hodnotu 256. Výsledný kmitočet generovaného PWM signálu je přibližně 122Hz. Čítač nastaví příslušný výstupní pin při shodě čítače s hodnotou OCRNx a do logické nuly nastaví výstupní pin při dosažení hodnoty TOP, která má v tomto případě hodnotu 255.

```

TCCR0A |= (1<<COM0A1) | (1<<COM0A0) | (1<<COM0B1) | (1<<COM0B0) | (1<<WGM00)
| (1<<WGM01); //8b fast PWM mode, povoleny oba kanály
TCCR0B |= (1<<CS02); // předdělička 256

```

V programu je využíván i 8b čítač/časovač 2, který pracuje v klasickém režimu. Čítač čítá do maximální hodnoty 255 (TOP) a při přetečení je vyvoláno přerušení. Čítač je využíván pro zastavení modelu auta v případě ztráty spojení s mobilním telefonem.

```

TCCR2B |= (1<<CS22) | (1<<CS21) | (1<<CS20); // předdělička 1024

```

Příjem dat

Přijmutí znaku přes USART vyvolá přerušení. V podprogramu přerušení je příchozí znak nejprve testován, zda se nejedná o jeden ze čtyř významných znaků. Znak **E** (End) znamená přerušení vysílání dat nebo ukončení aplikace na vysílači. Znak **E** provede zastavení motoru, natočení předních kol do neutrálu a vynulování ochranného intervalu. Znak **S** (Slow) nebo **T** (Turbo) přepíná rychlost motoru. Po zapnutí je defaultně nastavena rychlost **S**. Znak **P** (Počátek) signalizuje začátek řetězce hodnot náklonu v ose X, Y a Z. Příchozí znaky řetězce jsou postupně načteny do pole *buff*. Přenos je zakončen středníkem. Po kompletním načtení dat je nastavena proměnná *nacteni* a tím povoleno další zpracování přijatých dat.

```

ISR (USART_RX_vect) {

    zakaz_uart_irs(); // zakázání přerušeni od UART

    hledej = USART_Receive();

    if (hledej == 'E') { // 'E' ukončovací znak
        nacteni = 0;
        xx = 0; yy = 0; zz = 3; cas = 0;
    }
    else if (hledej == 'T') { // 'T' rychlý pojezd
        rychlost = 2;
    }
    else if (hledej == 'S') { // 'S' pomalý pojezd
        rychlost = 1;
    }
    else if (hledej == 'P') { // 'P' začátek dat se souřadnicemi
        for (i = 0 ; i < 16 ; i++) {
            buff[i] = USART_Receive();
            if (buff[i] == ';' ) {
                nacteni = 1;
                break;
            }
        }
    }
    else {
        nacteni = 0;
    }
}

```

V hlavní smyčce programu jsou zpracována přijatá data. Po dobu zpracovávání dat je dočasně zakázáno přerušeni od USART. Řetězec znaků uložený do pole *buff* je převeden pomocí funkce **sscanf** na dekadické číslo a je přiřazeno dané proměnné *xx* a *yy*. Formát řetězce uloženého v poli *buff* je "-XúhelYúhelZzrychleni;".

```

if (nacteni == 1) {
    sscanf(buff, "-X%dY%dZ%d;", &xx, &yy, &zz); // zpracování řetězce
    cas = 0; // data byla přijata, ochranný interval se vynuluje
}

```

Posledním krokem programu je nastavení výchylky serva a nastavení otáček motoru. Proměnná *xx* a *yy* může nabývat hodnoty ± 90 . Pro rozumné ovládání auta nezačíná motor pojezdu "zabírat" od nuly, ale až od $\pm 20^\circ$ naklonění vpřed/vzad. Dále je potřeba omezit velké hodnoty náklonu. Nejvíce se osvědčilo omezit náklon na cca $\pm 55^\circ$ a náklony nad $\pm 85^\circ$ úplně ignorovat.

Pro dosažení maximální výchylky předních kol je nutné hodnotu náklonu vynásobit 5x. Velikost vychýlení kol určuje hodnota registru OCR1A, který při shodě s hodnotou čítače nastaví do logické jedničky výstupní pin čítače. Shoda ICR1 s hodnotou čítače znamená nastavení výstupního pinu čítače do nuly. OCR1A tedy určuje šířku pulzu generovaného PWM signálu. V tomto konkrétním případě jsou kola auta v neutrálu při ICR1 - 1460.

```
OCR1A = ICR1 - 1460 + 5*yy;
```

Směr otáčení motoru určuje kombinace logických jedniček a nul na vstupech H-můstku INPUT 1, 2 a vstupu ENABLE. V případě logické nuly na vstupu ENABLE motor stojí, výstup můstku je odpojen a nereaguje na vstupy INPUT. Nastavením vstupu ENABLE do logické jedničky je směr otáčení motoru řízen kombinací logické jedničky na jednom vstupu INPUT a PWM signálu na druhém vstupu INPUT. Řízení otáček je plynulé a nastaveno tak, aby měl motor od začátku dostatek síly pro rozjezd. Pomocí tlačítka TURBO je možné přepínat rychlost otáček motoru. Čím menší hodnota registru OCR0x, tím větší je šířka pulzu generovaného PWM signálu a vyšší rychlost otáček motoru.

```

if (zz>=2) { // ignorování velkých náklonů
    if ((xx > 55) && (xx < 85)) {
        xx = 55;
    }
    if (xx>=0) {

        if (xx < 20) { // znecitlivění středu
            DDRD = 0x00; // zakázání výstupních pinů čítače 0
            PORTD = 0x00;
            PORTB = 0x00; // zakázání ENABLE pro H-můstek
        }
        else {

            PORTB |= (1<<PB2); // povolení ENABLE pro H-můstek
            DDRD = 0x00;
            DDRD |= (1<<PD6); // povolení výstupního pinu čítače 0
            OCR0A = 240 - rychlost * xx; // nastavení šířky pulzu
        }
    }
}

```

V případě výpadku řídicího signálu z mobilního telefonu na dobu delší než cca 0,7s dojde k zastavení modelu auta. Pro další jízdu je nutné vypnout a zapnout vysílání dat na mobilním telefonu. Při použití 8b čítače, krystalu 8MHz a předděliče 1024 přeteče čítač za 0,03464s. Pro dosažení časového intervalu cca 0,7s je tedy nutné počítat 20x.

```

ISR(TIMER2_OVF_vect) {

    cas++;
    if (cas > 20) { // čas cca 0,7s
        xx = 0; yy = 0; zz = 3;
    }
}

```

Závěr

Výroba a zprovoznění dálkově ovládaného modelu auta řízeného pomocí mobilního telefonu s Bluetooth a akcelerometrem, vyráběného v rámci této bakalářské práce, proběhla bez velkých problémů. Pouze po vyrobení plošných spojů a přípravě na osazení do podvozku auta jsem zjistil, že instalace serva do vybraného auta by znamenala velké zásahy do konstrukce podvozku. Proto byl nakonec k osazení použit jiný podvozek, který je však menší a DPS s H-můstkem se nevešla do prostoru v trupu tak, jak bylo původně zamýšleno. Elektroniku by bylo vhodné zakrýt krytem, který by zároveň upevnil Bluetooth modul, který je pouze zasunut v dutinkové liště. Vlastní zapojení auta pracovalo napoprvé. Bylo pouze nutné doladit nastavení generování PWM signálu pro servo a motor tak, aby měla přední kola plnou výchylku a auto nejelo příliš rychle.

Dosah auta byl změřen a je přibližně 8 až 9 metrů na volné ploše. Hodnota dosahu byla podobná jak při použití integrované antény na plošném spoji s Bluetooth modulem, tak při použití externí antény. V tomto případě dosah Bluetooth omezuje vysílací výkon mobilního telefonu.

Pro řízení auta byly vyzkoušeny obě popsané varianty určení hodnoty náklonu pomocí akcelerometru. První varianta převodu zrychlení na stupně (přepočtem zrychlení na stupně) je pro řízení modelu plně použitelná. Výhoda tohoto způsobu určení náklonu je, že pokud nakloníme telefon o více než $\pm 90^\circ$ začne se hodnota náklonu vracet zpět k nule. Proto větší náklon telefonu nemá na ovládání auta velký vliv. Při výpočtu náklonu pomocí funkce \arctan jsou hodnoty náklonu na ose X a Y počítány vzhledem k ose Z. Při náklonu větším než $\pm 90^\circ$ změní hodnota náklonu znaménko a začne se vracet k nule. To má za následek změnu směru otáčení a vychýlení kol. Proto je při určení směru otáčení motoru a vychýlení kol testována hodnota zrychlení osy Z, která je pro polohu telefonu displejem vzhůru kladná.

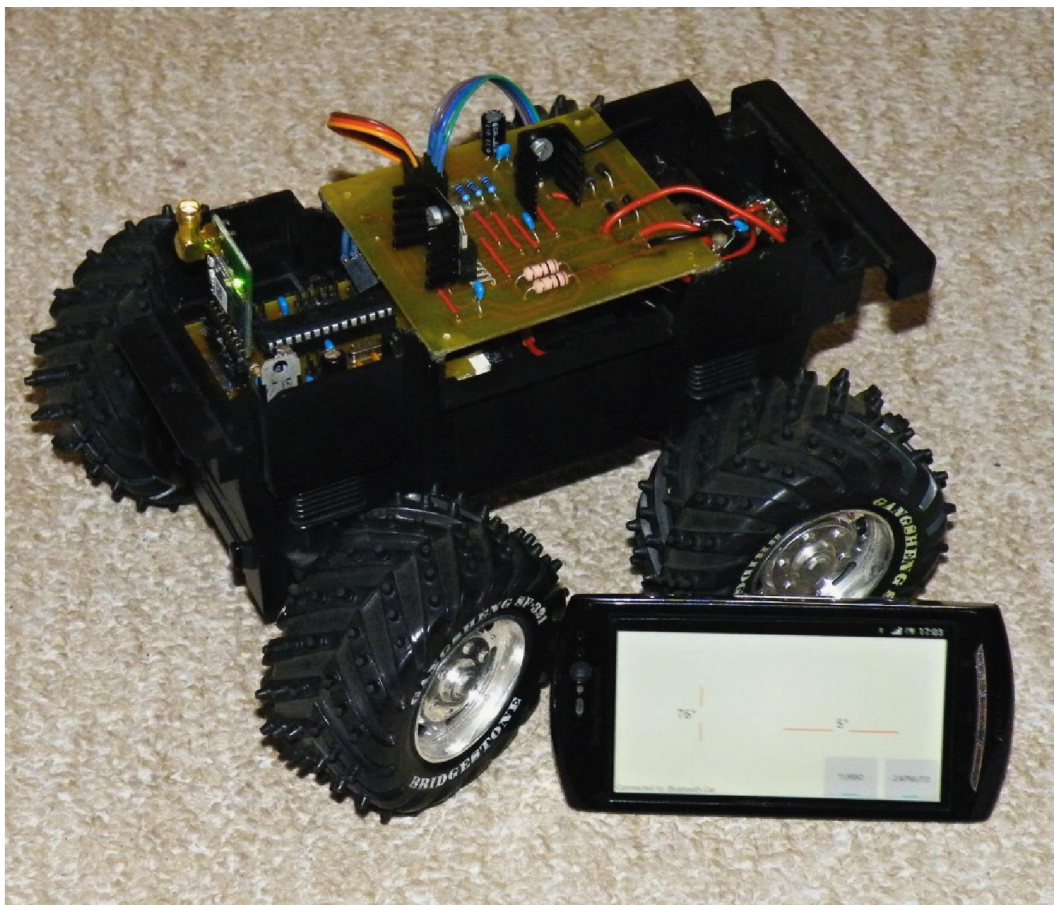
Během řízení modelu auta se projevuje nevýhoda volby akcelerometru pro určení náklonu mobilního telefonu. Při řízení je akcelerometr v mobilním telefonu citlivý na vibrace a rychlé pohyby. Nejlépe je to pozorovatelné na servu, které při poklepání na telefon poskočí. Z tohoto pohledu by bylo vhodné přijatá data s informací o náklonu telefonu ještě před nastavením serva a motoru dále zpracovat. Pro praktickou ukázkou řízení modelu akcelerometrem postačuje použité řešení nastavení kol a motoru podle příchozích dat.

Možným vylepšením modelu auta je použití pro pohon například Lithium-polymerový akumulátor. Je zde také možnost využití obousměrné komunikace technologie Bluetooth pro zobrazení napájecího napětí na displeji telefonu. Hodnotu napětí lze získat pomocí integrovaného A/D převodníku mikroprocesoru ATmega168.

1. **Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.** 8. Akcelerometry. [Online] [Citace: 25. 3 2013.] <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>.
2. **Reichl, Jaroslav.** Piezoelektrický jev. *Encyklopedie fyziky*. [Online] 17. 8 2007. [Citace: 1. 4 2013.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/418-piezoelektricky-jev#>.
3. **Vojáček, Antonín.** Principy akcelerometrů - 1. díl - Piezoelektrické. *automatizace.hw.cz*. [Online] 14. 1 2007. [Citace: 1. 4 2013.] <http://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>.
4. **Juránek, Martin.** Prostředky automatického řízení Překlad - Akcelerometry. [Online] [Citace: 4. 4 2013.] http://homel.vsb.cz/~jur286/prostredky_aut_rizeni/preklad.htm.
5. **Vojáček, Antonín.** Principy akcelerometrů - 2. díl - Piezorezistivní. *automatizace.hw.cz*. [Online] 26. 1 2007. [Citace: 1. 4 2013.] <http://automatizace.hw.cz/clanek/2007012601>.
6. —. Principy akcelerometrů - 3.díl- Tepelné akcelerometry MEMSIC. *automatizace.hw.cz*. [Online] 9. 4 2007. [Citace: 5. 5 2013.] <http://automatizace.hw.cz/clanek/2007040901>.
7. —. Jak pracují nové 3D MEMS akcelerometry Freescale ? *hw.cz*. [Online] 30. 4 2007. [Citace: 8. 4 2013.] <http://www.hw.cz/soucastky/jak-pracuji-nove-3d-mems-akcelerometry-freescale.html>.
8. Gyroskop. *Wikipedie*. [Online] 26. 12 2006. [Citace: 8. 4 2013.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Gyroskop>.
9. Gyroskop. *Fyzmatik*. [Online] 30. 9 2008. [Citace: 4. 4 2013.] <http://fyzmatik.pise.cz/633-gyroskop.html>.
10. **Vybíral, Bohumil.** SETRVAČNÍKY A JEJICH APLIKACE. *Fyzikální olympiáda*. [Online] [Citace: 5. 4 2013.] <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/setrv.pdf>.
11. **Fejt, Radek.** Optický vláknový gyroskop. *Senzory*. [Online] 2012. [Citace: 5. 4 2013.] <http://senzory.aspone.cz/ovg.htm>.
12. **Lachnit, Zdeněk.** Inerciální snímače pro zpřesňování odometrie mobilních robotů. [Online] 12. 6 2007. [Citace: 25. 6 2013.] http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2007/BP_Lachnit.pdf.
13. **Vojáček, Antonín.** Integrované MEMS GYROSKOPY. *automatizace.hw.cz*. [Online] 11. 11 2009. [Citace: 6. 4 2013.] <http://automatizace.hw.cz/integrované-mems-gyroskopy>.
14. **Papaj, Jan.** Bakalářská práce Analýza dat z magnetometru. [Online] 2011. [Citace: 25. 6 2013.] http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/zaverecne_prace/BP_2011_Papaj_locked.pdf.
15. Bluetooth. *Wikipedie*. [Online] 25. 6 2005. [Citace: 6. 4 2013.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>.
16. **Čepička, David.** Základy technologie Bluetooth: původ a rozsah funkcí. *PCWorld*. [Online] 10. 2 2009. [Citace: 15. 4 2013.] <http://pcworld.cz/hardware/Zaklady-technologie-Bluetooth-puvod-a-rozsah-funkci-6635>.

17. **Svoboda, Jiří.** Bluetooth - vrstvy a protokoly. *Jirka Svoboda*. [Online] [Citace: 15. 6 2013.] <http://www.jirkasvoboda.com/publikace.htm>.
18. Quality/TestSuite/MCTS/MeeGo Bluez Test Plan. *MeeGo Wiki*. [Online] 9. 6 2011. [Citace: 31. 7 2013.] http://wiki.meego.com/Quality/TestSuite/MCTS/MeeGo_Bluez_Test_Plan.
19. Wi-Fi. *Wikipedie*. [Online] 24. 5 2013. [Citace: 28. 6 2013.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Wifi>.
20. Wikipedie. *IEEE 802.11*. [Online] 17. 3 2013. [Citace: 5. 28 2013.] http://cs.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11.
21. **Bartáček, Jiří.** Bezdrátové sítě. *Stránky o elektronice a počítačích*. [Online] [Citace: 25. 7 2013.] <http://www.barts.cz/index.php/pocitace/site/29-bezdratovesite.html>.
22. Global System for Mobile Communications. *Wikipedie*. [Online] 29. 4 2013. [Citace: 6. 5 2013.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/GSM>.
23. **Richtr, Tomáš.** Rádiové rozhraní systému GSM. *Technologie pro mobilní komunikaci*. [Online] [Citace: 30. 7 2013.] <http://tomas.richtr.cz/mobil/gsm-radio.htm>.
24. —. Princip buňkového systému. *Technologie pro mobilní komunikaci*. [Online] [Citace: 27. 6 2013.] <http://tomas.richtr.cz/mobil/bunk-princip.htm>.
25. —. Základní struktura sítě GSM. *Technologie pro mobilní komunikaci*. [Online] [Citace: 20. 4 2013.] <http://tomas.richtr.cz/mobil/gsm-strukt.htm>.
26. Datasheet ATmega48/88/168. [Online] 5 2011. [Citace: 26. 3 2013.] <http://www.atmel.com/images/doc2545.pdf>.
27. ATmega48, ATmega88 a ATmega168. *FK Technics*. [Online] 1. 8 2008. [Citace: 26. 6 2013.] http://www.fkt.cz/cz/clanky/soucastky/chap_169/print_1/art_100/lay_3/atmega48-atmega88-a-atmega168.aspx.
28. PBTM s externí anténou. *Pandatron.cz*. [Online] [Citace: 1. 4 2013.] http://pandatron.cz/?shop&sla=062&pn=90104&tx=pbtm_s_externi_antenou.
29. **Bier, Lukáš.** Nový mikromechanický senzor zrychlení BMA150. *hw.cz*. [Online] 17. 12 2007. [Citace: 6. 4 2013.] <http://www.hw.cz/soucastky/novy-mikromechanicky-senzor-zrychleni-bma150.html>.
30. Datasheet L298N. [Online] 1998. [Citace: 6. 7 2013.] <http://www.gme.cz/img/cache/doc/332/005/l298n-datasheet-1.pdf>.
31. Aplikační poznámky k L298. *Robodoupě web o robotice*. [Online] 30. 10 2011. [Citace: 14. 7 2013.] <http://robodoupe.cz/2011/aplikacni-poznamky-k-l298-integrovanemu-h-mustku/>.

Příloha A – Model auta



Příloha B – Obsah DVD

KrizJ_DalkoveOvladani_PR_2013.pdf – text práce

Adresář Eagle – návrh DPS

Adresář Aplikace – obsahuje zdrojové kódy aplikace pro systém Android

Adresář ATmega168 – obsahuje zdrojový kód pro mikroprocesor