VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

GPS SLEDOVACÍ SYSTÉM

GPS TRACKING SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE JAN HOFMAN
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. PAVEL VYSKOČIL
SUPERVISOR

BRNO 2010

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student:	Jan Hofman	***ID:***	111047
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

GPS sledovací systém

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem, parametry a funkcí systému GPS. Proveďte přehled a rozbor používaných GPS přijímačů pro přesné určování polohy. Zhodnoťte možnosti uložení dat získaných z GPS přijímače. Na základě získaných informací navrhněte koncepci sledovacího systému, který bude zaznamenávat polohu pohyblivého předmětu získanou pomocí GPS a ukládat ji pro další zpracování a vyhodnocení.

Na základě provedeného návrhu systém realizujte. Jako sledovaný pohyblivý předmět může být použit dálkově ovládaný RC model auta. Proveďte měření polohy na předem přesně známé trase a vyhodnocení odchylek a přesnosti. Z měření vytvořte vzorový protokol, který by bylo možné použít pro demonstraci sledovacího systému jako laboratorní úloha pro účel výuky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KAPLAN, E. D., HEGARTY, CH. Understanding GPS: Principles and Applications, 2/E. Norwood: Artech House, 2005.

[2] ČERNÝ, J., STEINER, I. GPS od A do Z. PICODAS, 2006.

Termín zadání:	8.2.2010	***Termín odevzdání:***	28.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Pavel Vyskočil

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení:	Jan Hofman
Bytem:	Jindice 84, Kutná Hora, 285 04
Narozen/a (datum a místo):	3. ledna 1988 v Kutné Hoře

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

   ☐ disertační práce
   ☐ diplomová práce
   ☒ bakalářská práce
   ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
   (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:	GPS sledovací systém
Vedoucí/ školitel VŠKP:	Ing. Pavel Vyskočil
Ústav:	Ústav radioelektroniky
Datum obhajoby VŠKP:	_____

   VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

   ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
   ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizovaní výpisů, opisů a rozmnoženin.

2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.

3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti

   ☒ ihned po uzavření této smlouvy
   ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
   ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
   ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
   ☐ 10 let po uzavření této smlouvy
   (z důvodu utajení v něm obsažených informací)

4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.

2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.

3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísni a za nápadně nevýhodných podmínek.

4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 28. května 2010

……..	……
Nabyvatel	Autor

ABSTRAKT

V práci je popsán základní princip a vlastnosti globálního pozičního systému GPS. Je zde přiblížena problematika určování polohy, rychlosti a nadmořské výšky. Tyto poznatky jsou dále použity pro návrh zařízení, které komunikuje s běžně vyráběným GPS přijímačem a z něj získané informace zpracovává a ukládá do paměti pro pozdější vyhodnocení

KLÍČOVÁ SLOVA

GPS, určování polohy, protokol NMEA

ABSTRACT

The keystone and properties of Global Position System (GPS) are described in this thesis. The thesis explains questions of position, speed and elevation above sea-level determining. These findings are used for the prototype device design which communicates with commonly used GPS receiver. The obtained data from the GPS receiver are processed and stored by the device for later evaluation.

KEYWORDS

GPS, positioning, NMEA protocol

Hofman, J. *GPS sledovací systém*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 39 s., 10 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Pavel Vyskočil.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma GPS sledovací systém jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne ....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Vyskočilovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne ....

(podpis autora)

Obsah

Obsah VIII
Seznam obrázků X
Seznam tabulek XI
Úvod 1
1 GPS 2
1.1 Vývoj GPS 2
1.2 Struktura systému GPS 2
1.2.1 Kosmický segment 2
1.2.2 Řídící segment 3
1.2.3 Uživatelský segment 3
1.3 Signály vysílané družicemi GPS 4
1.3.1 Navigační zpráva 4
1.3.2 C/A kód 5
1.3.3 P-kód 5
1.3.4 Y-kód 6
1.4 GPS přijímače 6
1.5 Metody určování polohy 7
1.5.1 Úhloměrná metoda 7
1.5.2 Dopplerovská metoda 7
1.5.3 Fázová měření 7
1.5.4 Dálkoměrná metoda 8
1.6 Zpřesňování určování polohy 9
1.6.1 Diferenční GPS 9
1.6.2 Průměrování 10
2 Návrh zařízení 11
2.1 Popis funkce přípravku 11
2.2 Blokové schéma 11
2.3 Napájení 12
2.4 ATMEGA128 12
2.4.1 USART 12
2.4.2 SPI 14
2.4.3 Externí přerušení 16

2.5 GPS přijímač ... 17
2.5.1 Protokol NMEA ... 18
2.5.2 RS232 rozhraní ... 21
2.6 FT232RL ... 22
2.7 Paměť ... 23
2.7.1 Mazání paměti ... 24
2.7.2 Zápis do paměti ... 25
2.7.3 Čtení paměti ... 27
3 Program ... 29
3.1 Vývojový diagram ... 29
3.2 Popis programu ... 30
3.2.1 Výběr věty GGA z GPS přijímače ... 30
3.2.2 Komprese dat ... 31
4 Měření a vyhodnocení dat ... 33
4.1 Postup měření ... 33
4.2 Zpracování dat ... 33
4.3 Další možnosti zpracování dat ... 34
Závěr ... 37
Literatura ... 38
Seznam příloh ... 39

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Kosmický segment GPS (převzato z [1]) ... 2
Obr. 1.2 Rozmístění pozemních monitorovacích stanic (upraveno podle [1]) ... 3
Obr. 1.3 Schéma odvozování frekvencí signálů GPS (převzato z [1]) ... 4
Obr. 1.4 Struktura rámce navigační zprávy (převzato z [1]) ... 5
Obr. 1.5 Struktura GPS přijímače (převzato z [1]) ... 6
Obr. 1.6 Závislost mezi chybou polohy na času poslední aktualizace korekčních údajů a vzdálenosti od referenční stanice (převzato z [1]) ... 9
Obr. 1.7 Grafické znázornění odchylky průměrných hodnot od přesné polohy v průběhu 24 hodinového měření (převzato z [1]) ... 10
Obr. 2.1 Blokové schéma ... 11
Obr. 2.2 Struktura registru UCSRnA (převzato z [6]) ... 13
Obr. 2.3 Struktura registru UCSRnB (převzato z [6]) ... 13
Obr. 2.4 Struktura registru UCSRnC (převzato z [6]) ... 13
Obr. 2.5 Struktura registru SPCR (převzato z [6]) ... 15
Obr. 2.6 Struktura registru SPSR (převzato z [6]) ... 15
Obr. 2.7 SPI komunikace (upraveno podle [6]) ... 16
Obr. 2.8 Struktura registru EICRB (převzato z [6]) ... 16
Obr. 2.9 Blokové schéma LR9450 (upraveno podle [8]) ... 17
Obr. 2.10 Zapojení ST232 (upraveno podle [10]) ... 21
Obr. 2.11 Zapojení konektoru RJ11 (spodní pohled) (upraveno podle [8]) ... 22
Obr. 2.12 Zapojení FT232RL (upraveno podle [9]) ... 22
Obr. 2.13 Status registr paměti 25AA512 (převzato z [7]) ... 23
Obr. 2.14 Časové průběhy signálů při mazání paměti (upraveno podle [7]) ... 24
Obr. 2.15 Průběh signálů při zápisu paměti (upraveno podle [7]) ... 25
Obr. 2.16 Čtení status registru (upraveno podle [7]) ... 25
Obr. 2.17 Průběh signálů při čtení paměti (upraveno podle [7]) ... 27
Obr. 3.1 Vývojový diagram ... 29
Obr. 4.1 Zobrazení naměřených hodnot na mapě ... 34
Obr. 4.2 Vyhodnocení změřené trasy ... 35
Obr. 4.3 Odchylka od přesné trasy, počet aktivních družic ... 35
Obr. 4.4 Zobrazení naměřených hodnot (ulice Kolejní) ... 36

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Nastavení parity pro sériový přenos (převzato z [6]) 14
Tab. 2.2 Nastavení počtu datových bitů pro sériový přenos (převzato z [6]) 14
Tab. 2.3 Nastavení frekvence hodinového signálu pro SPI přenos (převzato z [6]) 15
Tab. 2.4 Nastavení externího přerušení (převzato z [6]) 16
Tab. 2.5 Význam symbolů ve větě GGA (převzato z [2]) 19
Tab. 2.6 Význam symbolů ve větě GSA (převzato z [2]) 19
Tab. 2.7 Význam symbolů ve větě GSV (převzato z [2]) 20
Tab. 2.8 Význam symbolů ve větě GLL (převzato z [3]) 20
Tab. 2.9 Význam symbolů ve větě RMC (převzato z [2]) 20
Tab. 2.10 Význam symbolů ve větě VTG (převzato z [3]) 21
Tab. 2.11 Instrukce paměti (převzato z [7]) 23
Tab. 3.1 Znaky pro výběr věty protokolu NMEA 31

Úvod

S potřebou lidí cestovat na větší vzdálenosti, bylo nutné vynalézat stále dokonalejší metody a přístroje určené k zjištění polohy a směru pohybu. Z počátku lidské historie byl jediný způsob určení azimutu pomocí pevných orientačních bodů na povrchu v terénu nebo hvězd na obloze. Prvním převratným vynálezem byl kompas vynalezený ve 4. století v Číně. Dalším přístrojem, jenž byl určen především pro lodní dopravu, byl sextant. Jedná se o optický přístroj, který měří úhel mezi nebeským tělesem a obzorem.

Ve 20. letech 20. století dochází k vývoji prvních radiových navigačních systémů. Ty jsou určeny především pro prudce se rozvíjející leteckou dopravu. Tyto systémy pracují na velmi jednoduchém principu, kdy se pomocí směrových antén určuje azimut k pozemním vysílacím stanicím. Vznikají i další dokonalejší metody určení polohy, ale nevýhodou všech těchto systémů je, že signál těchto pozemních radiomajáků nepokrývá celý povrch Země a není tedy možné pomocí nich určit polohu na kterémkoli místě na Zemi. Tento nedostatek měl vyřešit projekt Navstar GPS. Jedná se o globální poziční systém využívající k určení polohy soustavu družic na oběžné dráze. Tyto družice pokrývají svým signálem celý povrch Země a umožňují tak komukoli, kdo vlastní přijímač GPS signálu, určit svoji polohu s přesností několika metrů.

V první části práce je popsána struktura a princip systému GPS. Jsou zde shrnuty principy určování polohy pomocí signálu z družic. Zmíněny jsou i základní typy GPS přijímačů a princip zpracování signálu.

Další kapitola se zabývá konstrukcí měřícího přípravku pro běžný GPS přijímač. Popsána je konstrukce přípravku i softwarová část. Zařízení musí být schopné zpracovávat signál z GPS, ukládat data a umožnit jejich přenesení do počítače. Tento přípravek je použit pro laboratorní úlohu: Měření trasy GPS přijímače a její vyhodnocení. V úloze je změřena trasa a informace o GPS souřadnicích jsou průběžně ukládány do paměti přípravku. Poté je přípravek připojen k počítači a data jsou pomocí vhodného softwaru vyhodnocena.

1 GPS

1.1 Vývoj GPS

GPS (Global position system) je družicový systém pro přesné určování polohy a přesného časového signálu kdekoli na Zemi i v blízkém kosmickém prostoru, který byl vyvinut a je spravován ministerstvem obrany USA. Vývoj GPS začal počátkem 70. let a probíhal v několika etapách.

První etapa probíhala v letech 1973 až 1979, kdy se testovaly základní principy GPS a možnosti třírozměrné navigace v reálném čase, zatím však jen na zemi. Po úspěšných zkouškách na zemi byly sestaveny první prototypy družic pro testování navigačních technologií. Po jejich vynesení na oběžnou dráhu proběhly i první úspěšné zkoušky.

Druhá etapa byla v letech 1979 až 1985. V těchto letech byly budovány pozemní střediska a zahájen vývoj konečné podoby družic. Proběhly i první testy GPS přijímačů.

Třetí etapa začala v roce 1985 a skončila 17. července 1995. V tomto období bylo na oběžnou dráhu postupně umístěno 24 družic potřebných pro určení polohy kdekoli na Zemi. Od 17. července, kdy byl systém uveden do plného operačního stavu, probíhá čtvrtá etapa. Jedná se o období rutinního provozu a využívání systému GPS. Systém je doplňován dalšími službami a pracuje se na vývoji nových družic.

1.2 Struktura systému GPS

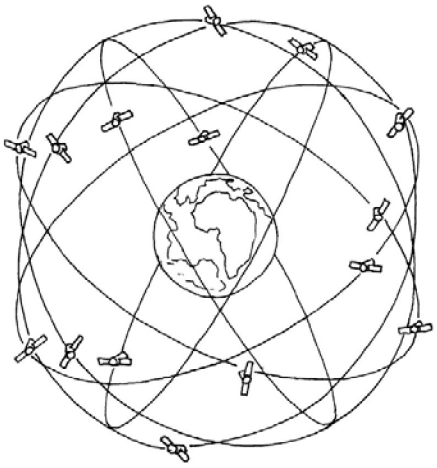
Systém je tvořen třemi základními segmenty[1]

- kosmickým
- řídícím
- uživatelským

Pro správnou funkci GPS je zapotřebí všech tří segmentů, lze je považovat za nezávislé části svázané jen přesným časem, který je pro přesné určení polohy velmi důležitý.

1.2.1 Kosmický segment

Kosmický segment je tvořen družicemi, systematicky rozmístěnými na oběžné dráze, vysílající navigační signály.

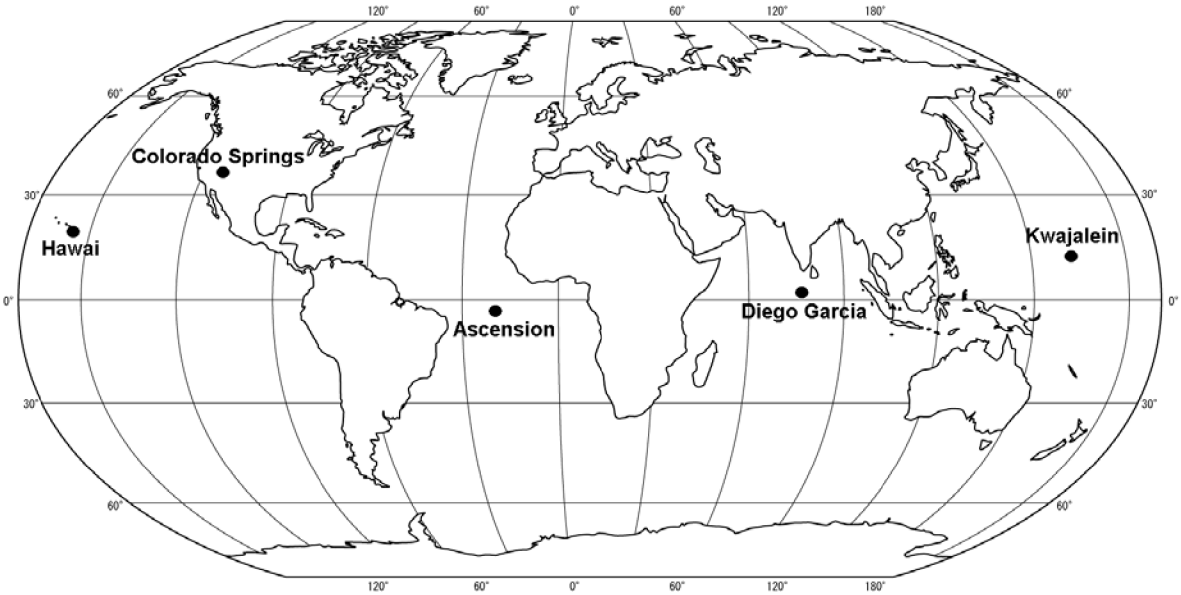


Obr. 1.1 Kosmický segment GPS (převzato z [1])

Pro bezproblémový provoz GPS systému se uvažuje 24 družic (21 družic je třeba k pokrytí celého povrchu Země a 3 aktivní záložní). Družice jsou rozmístěny po čtyřech na šesti oběžných drahách (viz obr 1.1) se sklonem 55° k rovníku. Oběžné dráhy mají stálou polohu vůči rovníku a oběžná doba trvá jednu polovinu siderického dne (11 hodin 58 minut). V tomto uspořádání je zajištěno, že na kterémkoli místě na Zemi je v každém okamžiku dostupný signál z minimálně čtyř družic. Ve většině případů je viditelných více družic, v ideálním případě až 12.

1.2.2 Řídící segment

Řídicí segment je zodpovědný za řízení celého globálního polohovacího systému. Je tvořen soustavou pěti pozemních monitorovacích stanic (Havaj, Kwajalein, Diego Garcia, Ascension a Colorado Springs), které jsou rozmístěny tak, aby se žádná družice nemohla dostat mimo dosah všech řídících stanovišť (viz obr 1.2). Kromě toho řídicí segment obsahuje ještě tři stanice pro komunikaci s družicemi, které umožňují vysílat na družice informace o jejich oběžných drahách, aktualizovat navigační zprávy, nastavovat hodiny a je možné z nich také ovládat družice.



Obr. 1.2 Rozmístění pozemních monitorovacích stanic (upraveno podle [1])

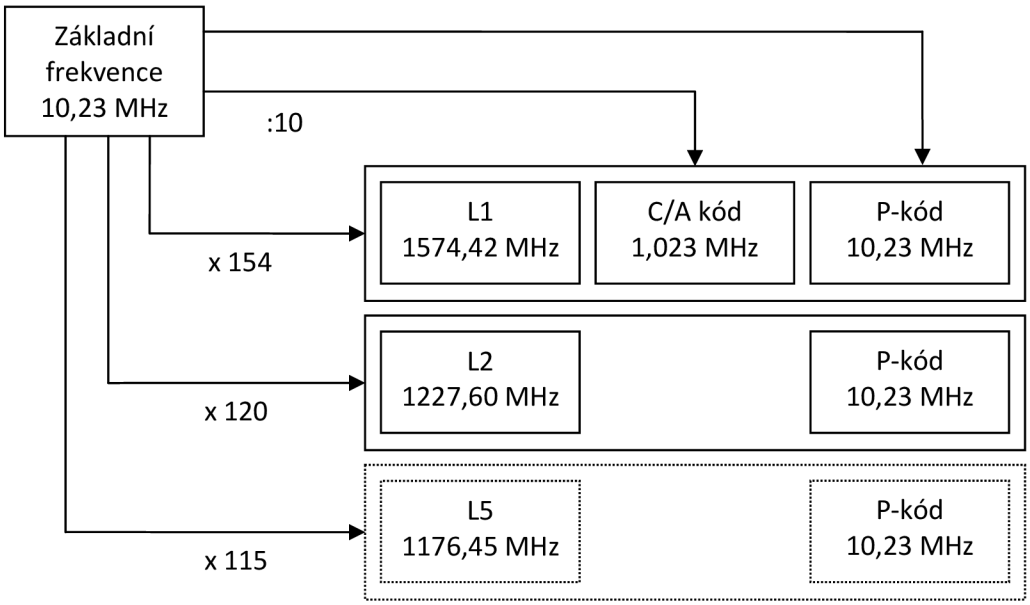
Všechny pozemní monitorovací stanice jsou bezobslužní. Jedná se v podstatě o velice přesné GPS přijímače doplněné o vlastní atomové hodiny. Stanice sledují všechny aktuálně viditelné družice a určují vzdálenosti k nim a ty spolu s navigačními zprávami přenášejí do hlavní řídicí stanice v Colorado Springs. Zde jsou určeny přesné oběžné dráhy jednotlivých družic (tzv. efemeridy) a korekce atomových hodin pro jednotlivé družice. Informace jsou přeneseny do komunikačních stanic a z nich minimálně jednou denně odesílány na jednotlivé družice. Tyto informace o svých drahách a přesném času družice vysílají pomocí radiových vln do GPS přijímačů.

1.2.3 Uživatelský segment

Uživatelský segment se skládá z GPS přijímačů, vyhodnocovacích nástrojů a postupů. GPS přijímač provede na základě získaných informací z družic výpočet souřadnic x,y,z, rychlosti pohybu a určení času. Pro určení přesné polohy potřebuje přijímač signál minimálně od čtyř družic.

1.3 Signály vysílané družicemi GPS

Každý signál vysílaný GPS družicí se skládá z dálkoměrného kódu a navigační zprávy, které jsou modulovány na nosnou frekvenci. Všechny frekvence v signálu GPS družic jsou násobky základní frekvence f_0 = 10,23 MHz (viz obr.1.3), která vychází z kmitočtu atomových hodin. Frekvence nosných kmitočtů jsou definovány jako L1 = 154·f_0 a L2 = 120·f0. Připravováno je také pásmo L5, kde frekvence nosné je L5 = 115·f0. S tímto signálem se počítá ve službách, kde je třeba zaručit vysokou přesnost a možnost okamžitě rozpoznat a eliminovat chyby měření. Frekvence 1176,45 MHz je vyhrazena pro letectví, proto hlavní využití tohoto signálu bude pro navigaci v letecké přepravě.



Obr. 1.3 Schéma odvozování frekvencí signálů GPS (převzato z [1])

1.3.1 Navigační zpráva

Aby GPS přijímač dokázal přesně určit svoji polohu, je nutné, aby znal přesnou polohu družice, vysílající dálkoměrný signál. Informace o oběžných drahách družic jsou obsaženy v navigační zprávě, vysílané jednotlivými družicemi. Dále tato zpráva obsahuje tyto informace [1]:

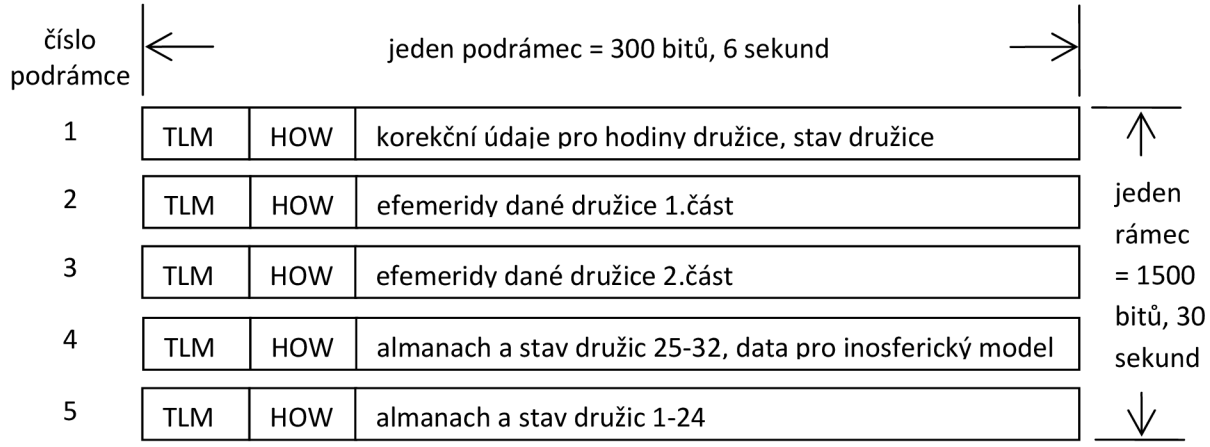
- čas vysílání počátku zprávy
- přesné keplerovské efemeridy družice
- údaje umožňující přesně korigovat čas vysílání zprávy
- almanach
- koeficienty ionisferického modelu
- stav družice

Stav družice informuje uživatele o poruchách na družici a o tom, do jaké míry lze využít signál z družice pro přesné určení polohy.

Almanach obsahuje méně přesné informace o oběžných drahách družic. Díky tomu je přijímač schopen vyhledávat jen družice, které se aktuálně nacházejí v jeho dohledu a zkracuje se tím doba potřebná k nastartování přijímače a získání polohy. Tyto parametry dále přijímač používá k přednastavení Dopplerova posunu nosných frekvencí všech družic.

Koeficienty ionisferického modelu se používají k přibližnému odhadu vlivu refrakce v atmosféře v případě, že není prováděno dvoufrekvenční měření.

Navigační zpráva obsahuje 25 rámců, jejichž odeslání trvá 12,5 minuty. Každý rámec je rozdělen do pěti podrámců (viz obr.1.4) a ty obsahují data nutná k určení polohy.



Obr. 1.4 Struktura rámce navigační zprávy (převzato z [1])

Každý podrámec je rozdělen do 10 slov po 30 bitech. První slovo je vždy telemetrické TLM (Telemetry word) a obsahuje informace o počátku podrámce. Další slovo je převáděcí HOW (Handower word) a obsahuje pořadí rámce v aktuálním týdnu a pořadové číslo rámce v aktuálním podrámci. Z 30 bitů ve slově je datových jen 24 a zbývajících 6 paritních bitů slouží k zabezpečení přenosu kanálového kódování pomocí Hammingova kódu. Díky tomu je možné detekovat tři chybné bity a jeden bit opravit. Doba trvání jednoho bitu je 20 ms, slova 0,6 s, podrámce 6 s a rámce 30 s.

1.3.2 C/A kód

C/A kód nebo také hrubý/dostupný (angl. Coarse/Acquisition) je pseudonáhodná posloupnost 1023 jedniček a nul, která připomíná náhodný šum, ale je jednoznačně definována. Každá družice má přidělený svůj vlastní C/A kód a podle tohoto kódu je identifikována.

C/A kód má frekvenci 1,023 MHz, to znamená, že doba vysílání jedné zprávy je 1 ms (přenosová rychlost 1,023 Mbit/s). Tento kód je modulován na nosnou frekvenci L1.

Rovnice pro dekódování C/A kódu nejsou tajné, proto je tento kód využíván především běžnými civilními aplikacemi.

1.3.3 P-kód

Jedná se opět o pseudonáhodné číslo, jehož délka je přibližně $2{,}35 \cdot 10^{14}$ bitů, které je rozděleno na 38 sekvencí, kde 32 sekvencí je vyhrazeno pro družice a 6 pro jiné účely. Délka jedné sekvence pro jednu družici je $6{,}1871 \cdot 10^{12}$ bitů a při datové rychlosti 10,23 Mbit/s se opakuje jednou týdně. P-kód moduluje obě nosné frekvence.

P-kód umožňuje měření vzdálenosti mezi družicí s vyšší přesností a to především z důvodu [1]:

- rychlejšího a delšího kódu
- díky použití obou nosných frekvencí je možné eliminovat vliv ionosferické refrakce (lom vlnění při průchodu atmosférou)

Rovnice pro dekódování P-kódu nejsou utajovány, kód je přístupný pro civilní aplikace.

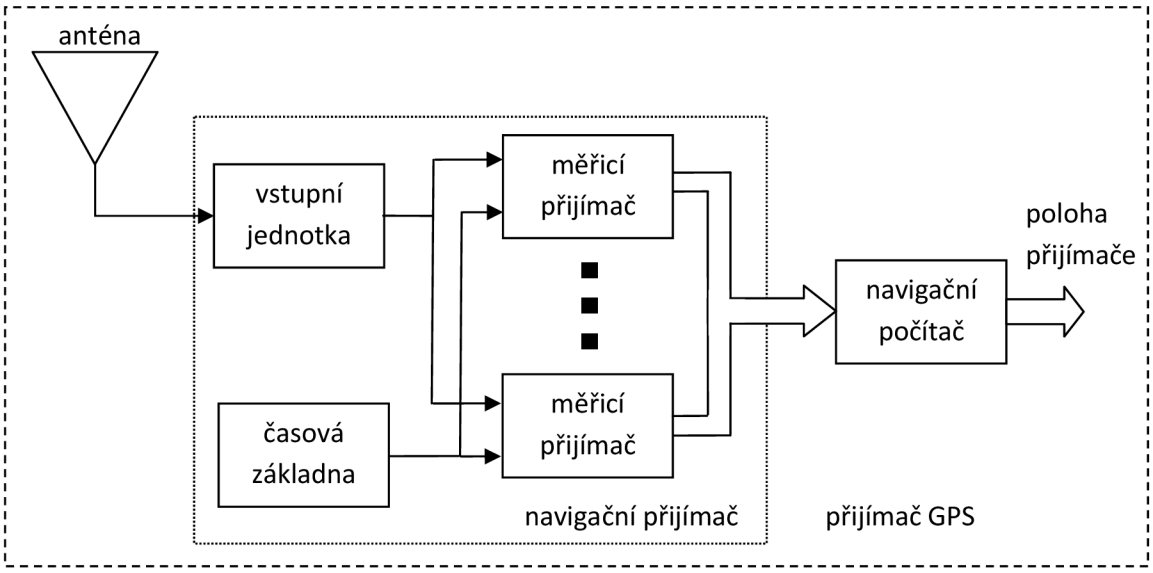
1.3.4 Y-kód

V podstatě se jedná o šifrovaný P-kód, rovnice pro dekódování Y-kódu jsou tajné, znají je jen autorizovaní uživatelé.

1.4 GPS přijímače

GPS přijímač je zařízení, které přijímá navigační zprávy z družic, které zpracuje a jako výstup určí polohu, čas a popřípadě i rychlost. Blokové schéma přijímače je znázorněno na obr.1.5. Přijímač se skládá ze tří hlavních celků [1]:

- anténa
- navigační přijímač
- navigační počítač



Obr. 1.5 Struktura GPS přijímače (převzato z [1])

Navigační přijímač zpracovává signál přijatý anténou a vybírá z něj signály jednotlivých družic. Zpracováním těchto dat získá zdánlivé vzdálenosti k jednotlivým družicím. Navigační přijímač se skládá ze vstupní jednotky, jednoho nebo více měřicích přijímačů a časové základny, což jsou krystalem řízené hodiny. Podle počtu měřicích přijímačů se dělí na [1]:

- jednokanálové
- vícekanálové
- hybridní

Jednokanálové přijímače mají pouze jeden měřicí přijímač. Při sledování více družic, musí přijímač přepínat tento kanál postupně na jednotlivé družice. Přijímač identifikuje ve vstupním signálu dálkoměrný kód vybrané družice, ten zpracuje a poté pokračuje dalšími družicemi. Po provedení měření na poslední viditelné družici předá získaná data navigačnímu počítači, který vyhodnotí polohu.

Vícekanálový přijímač má měřicích přijímačů několik. Zpracování dálkoměrných zpráv z jednotlivých družic v nich probíhá paralelně. Tím, že zpracovávají data ze všech dostupných

družic najednou, mohou při výpadku jedné z nich (například v důsledku zastínění stromem) použít jinou kombinaci družic pro určení polohy. Jedná se o přijímače s lepšími parametry než jednokanálové. Jejich hlavní výhody jsou [1]:

- kratší čas potřebný k vyhledání družic a získání polohy
- větší přesnost určení polohy a to především za pohybu
- průběžné určování polohy i pod hustou vegetací

Hybridní přijímače mají více měřicích přijímačů, ale jejich počet nestačí pro zpracování všech dostupných družic. Proto dochází ke zpracování dálkoměrných zpráv současně a po jejich vyhodnocení přepne každý přijímač na další z dostupných družic. Výhodou hybridních přijímačů oproti jednokanálovým je, že každý měřicí přijímač musí zpracovat menší počet zpráv z družic.

1.5 Metody určování polohy

Při určování polohy pomocí radiových signálů lze použít jednu z následujících metod [1]:

- metody úhloměrná
- metoda dopplerovská
- metoda založená na měření fáze nosné vlny
- metoda dálkoměrná

1.5.1 Úhloměrná metoda

Princip měření je velmi jednoduchý. Z neznámého bodu, jehož polohu chceme určit, změříme pomocí směrové antény elevační úhel a to buď k několika různým družicím nebo k jedné družici s různými časovými odstupy. Přímka, která prochází středem Země a místem, kde se nachází družice v okamžiku měření, tvoří osu kuželu, jehož vrchol je v místě družice. Sklon pláště je určen právě naším změřeným elevačním úhlem. Pokud takto provedeme více měření, můžeme z průsečíků plášťů kuželů určit polohu neznámého bodu.

I přes jednoduchý princip této metody je praktická realizace poměrně složitá, tudíž se tato metoda příliš nepoužívá.

1.5.2 Dopplerovská metoda

Tato metoda používá pro určení polohy Dopplerův jev (změna frekvence signálu, vysílaného pohybujícím se vysílačem nebo přijímačem). Družice vysílá konstantní signál o známé frekvenci. Na tomto signálu jsou v pevně stanovených okamžicích časové značky a informace o oběžných drahách družic, z kterých přijímač určí aktuální polohu družice. Přijímač je schopný na základě přijatého signálu a opakovaných měření určit teoreticky až třírozměrnou polohu. V praxi se však tento princip užívá především pro určování rychlosti přijímače.

1.5.3 Fázová měření

Princip tohoto měření je opět velmi jednoduchý, ale praktická realizace je náročnější. Základní myšlenkou je určit počet vln vysílaného signálu mezi družicí a přijímačem. Při frekvenci nosné L1 1574,42 MHz je vlnová délka 19 cm (respektive pro L2 1227,6 MHz je 24cm) by byla teoretická přesnost v řádu milimetrů. Takto přesně se dá však určit jen desetinná část vlny, vyjádřená jako úhel v rozmezí 0° až 360°. U sinusové vlny se nedá určit jednoznačně počet celých vln. Pro nalezení této nejednoznačnosti je vypracována celá řada postupů, která vychází z předpokladu, že hledáme jen celočíselná řešení, jelikož desetinná část byla určena měřením.

1.5.4 Dálkoměrná metoda

Dálkoměrná metoda používá princip, kdy ze vzdálenosti ke třem známým bodům (družicím) určí aktuální polohu přijímače. Vzdálenost se určuje pomocí změření času od vyslání signálu družicí po příjem pozemním přijímačem. Teoreticky stačí vzdálenost ke třem družicím a pomocí soustavy rovnic o třech neznámých (převzato z [1])

$$t_{d1} \cdot c = \sqrt{(x_1 - X)^2 + (y_1 - Y)^2 + (z_1 - Z)^2} \tag{1.1}$$

$$t_{d2} \cdot c = \sqrt{(x_2 - X)^2 + (y_2 - Y)^2 + (z_2 - Z)^2}$$

$$t_{d3} \cdot c = \sqrt{(x_3 - X)^2 + (y_3 - Y)^2 + (z_3 - Z)^2},$$

kde t_{di} je čas, který signál potřebuje, aby urazil vzdálenost mezi družicí a přijímačem, c je rychlost světla, (x_i, y_i, z_i) souřadnice družic a (X,Y,Z) souřadnice přijímače, lze určit aktuální polohu.

Při příjmu signálu z družic je třeba od sebe jednotlivé signály rozlišit. Lze použít jednu z následujících metod [1]:

- kmitočtové dělení, kdy každá družice vysílá na jiném kmitočtu
- časové dělení, kdy každá družice vysílá v jiný časový okamžik
- kódové dělení, kdy je každé družici přidělen vlastní kód

Dálkoměrné signály se dále dělí na aktivní a pasivní.

Přijímač pro aktivní příjem signálu je vybaven tzv. odpovídačem. Takový přijímač má přidělen vlastní kód, kterým je identifikován. Řídící stanice vyšle prostřednictvím družice tento kód, který přijme vysílač a po ověření identifikačního kódu odešle odpověď. Ta je přes družici odeslána do řídící stanice, kde se vyhodnotí takovéto signály z několika družic a pomocí nich je určena poloha přijímače. Nevýhodou takovéhoto systému je, že může zvládnout jen omezený počet uživatelů a velmi snadno může dojít k jeho přetížení.

Pasivní systém odesílá z družic signál s časovými značkami, z kterého je po zpracování v přijímačích možné určit časové intervaly od odeslání po příjem signálu a z nich vyhodnotit vzdálenosti k družicím. GPS systém je pasivní.

Systém GPS používá především kódové měření. Zaměřme se nyní na zpracování přijatého signálu v přijímači. Na vstupu přijímače je přivedena nosná vlna modulovaná C/A kódem. Přijímač vygeneruje vlastní posloupnost C/A kódu a hledá shodu s přijatým kódem. Tím rozpozná konkrétní družici. Ovšem C/A kód přijatý z družice a kód vygenerovaný v přijímači jsou vůči sobě fázově posunuty. A to jednak nepřesností hodin řízených krystalem v přijímači a jednak proto, že signál z družice je posunutý o čas potřebný k tomu, aby urazil vzdálenost mezi družicí a přijímačem. Proto přijímač posouvá oba signály, dokud nedojde k úplné shodě. Po vyrušení C/A kódu zůstane jen nosný kmitočet modulovaný navigační zprávou.

Družice vysílá C/A kód periodicky v přesně stanovených okamžicích, díky čemuž lze určit v přijímači přesný čas odeslání z družice. A z rozdílu času příjmu a odeslání, následným vynásobením rychlostí šíření elektromagnetických vln, zjistíme zdánlivou vzdálenost přijímače a družice.

Zdánlivá vzdálenost je označena z důvodu zatížení celého měření chybou. Celý princip počítá se synchronizací hodin řídícího, kosmického a uživatelského segmentu. Tato synchronizace však probíhá jen mezi řídícím střediskem a družicemi. Každá družice je osazena několika velice přesnými atomovými hodinami, avšak uživatelské přijímače jsou

řízeny jen krystalovým oscilátorem, jehož přesnost je o několik řádů nižší. Proto informace o opravě času v přijímačích je potřeba dopočítat.

1.6 Zpřesňování určování polohy

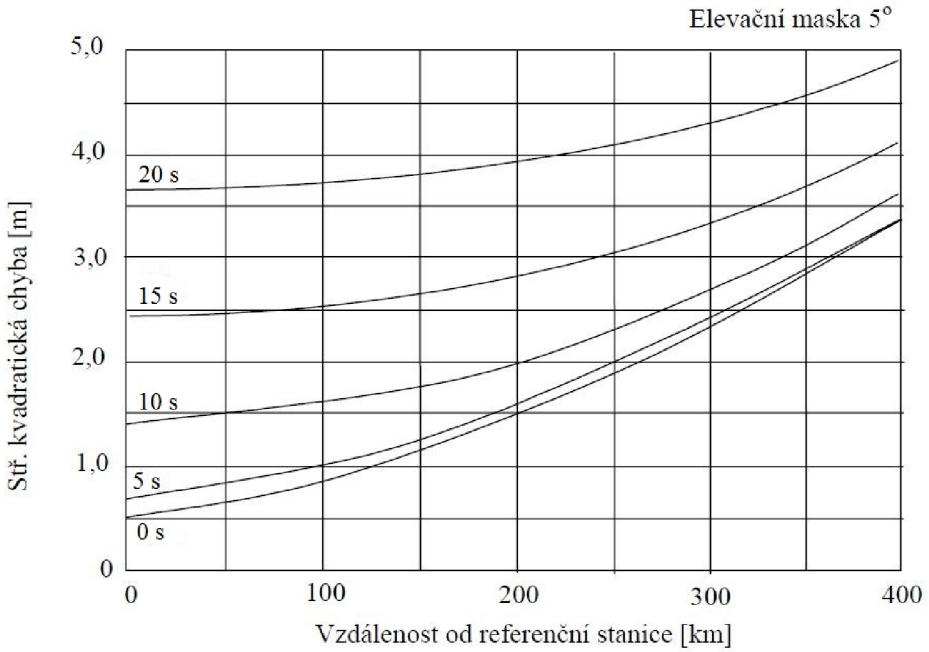
Především pro civilní uživatele, kteří nemají přístup k přesné polohové službě, jsou budovány další služby pro získání přesnější polohy. Zpřesňování lze provést dvěma způsoby, metodikou měření a zpracováním dat (např. průměrování) nebo využitím dalšího technického vybavení (např. diferenční GPS).

1.6.1 Diferenční GPS

Diferenční GPS využívá ke zpřesnění polohy pozemních referenčních stanic. Tyto stanice vyhodnocují odchylky měření GPS od skutečné polohy, poté z těchto odchylek vyhodnotí korekce, které odesílají mobilním GPS přijímačům. Korekční údaje mohou být dvojího typu:

- Korekce polohy
- Korekce zdánlivých vzdáleností

Korekce polohy probíhá tak, že referenční stanice z přijímaného signálu z družic počítá svou polohu. Tu porovnává se skutečným údajem a rozdílem hodnot vytvoří korekce pro souřadnice kartézské soustavy Δx, Δy, Δz, které jsou odeslány mobilním GPS přijímačům a ty je přičtou ke svým změřeným hodnotám. Nevýhodou tohoto principu je, že ideálně by měl být čas určení korekčních údajů a změření polohy mobilního GPS přijímače stejný a k určení obou údajů by měly být použity stejné družice. Tato podmínka je obtížně splnitelná především z důvodu zastínění některých družic, ať už na straně referenční stanice nebo GPS přijímače.



Obr. 1.6 Závislost mezi chybou polohy na času poslední aktualizace korekčních údajů a vzdálenosti od referenční stanice (převzato z [1]).

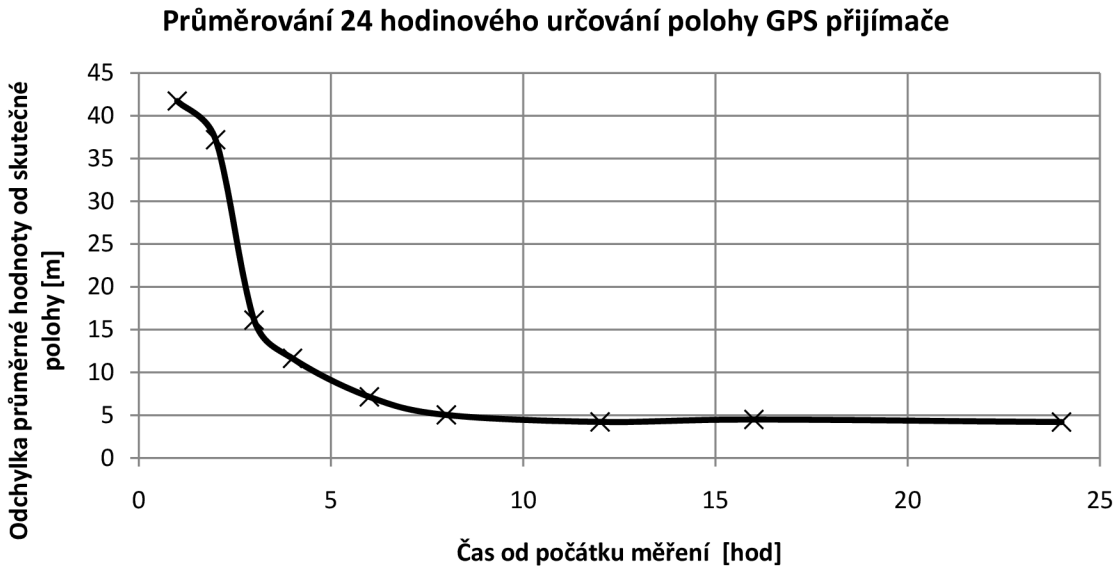
Druhou možností je korekce zdánlivých vzdáleností k jednotlivým družicím. Tento postup je náročnější pro referenční stanici, ale umožňuje vyšší pružnost mobilním GPS přijímačům. Referenční stanice zná svoji přesnou polohu, z přijatých efemerid z družice je možné vypočítat přesné vzdálenosti k družicím. Dále je nutné určit korekci na odchylku hodin

přijímače a teprve potom je možné určit korekce pro zdánlivé vzdálenosti k družicím. Právě údaj pro korekci času je nejobtížnější získat, provádí se buď modelováním chování hodin přijímače nebo je možné doplnit referenční stanici o přesné atomové hodiny, to však výrazně zvýší její cenu.

Korekční údaje je nutné co nejčastěji aktualizovat, jinak klesá přesnost těchto údajů. Aktualizace proto probíhají každých 20 s. Stejně klesá i přesnost údajů se vzdáleností mobilního GPS přijímače od referenční stanice, obvykle doporučená vzdálenost bývá do 100km. Grafická závislost přesnosti měření na vzdálenosti od referenční stanice a času aktualizace korekčních údajů je znázorněna na obrázku 1.6.

1.6.2 Průměrování

Princip této metody je velmi jednoduchý, nevyžaduje jako diferenční měření žádná přídavná zařízení ani služby. GPS přijímač umístíme na měřeném místě a necháme ho opakovaně měřit polohu. Z naměřených hodnot se určí průměr. Přesnost této metody stoupá s počtem měření, její nevýhodou je dlouhá doba pro získání dat. Jak ukazuje obrázek 1.7, metoda dosáhne nejvyšší přesnosti po 8 hodinách měření s intervalem 1 sekunda. Od této doby se přesnost výrazně nemění.



Obr. 1.7 Grafické znázornění odchylky průměrných hodnot od přesné polohy v průběhu 24 hodinového měření (převzato z [1])

2 Návrh zařízení

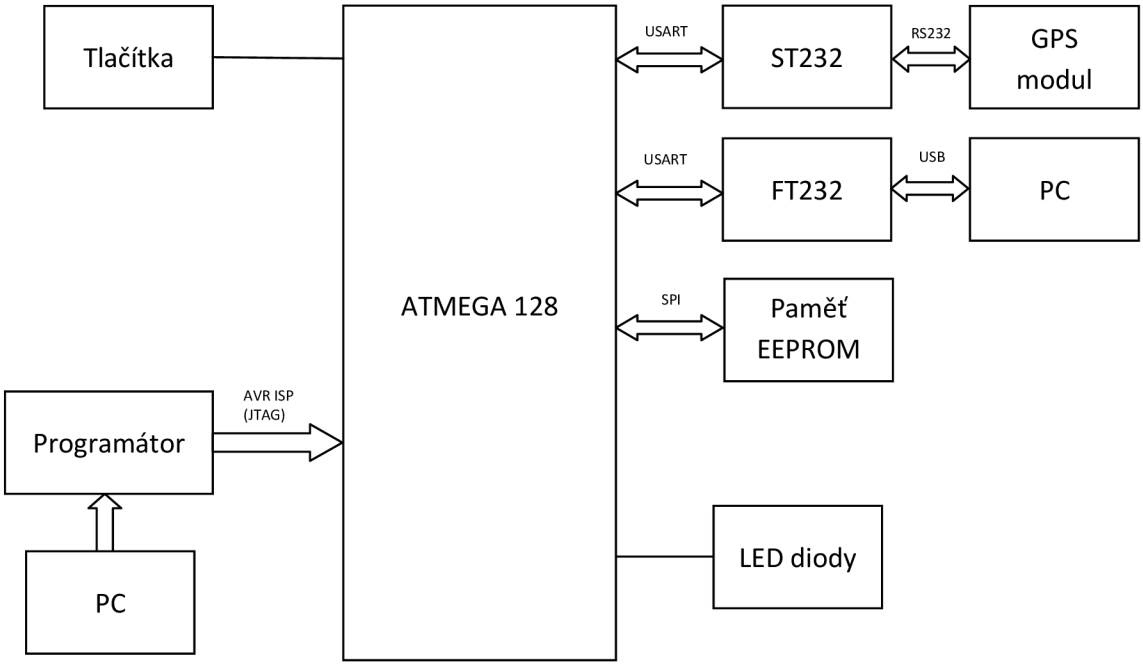
2.1 Popis funkce přípravku

Sestavený GPS sledovací systém má za úkol po startu měření ukládat v pravidelných intervalech polohu a čas změřený zakoupeným komerčním GPS přijímačem. Tato data jsou zapsána na EEPROM paměť. Start a konec měření je ovládán pomocí tlačítek na přípravku a signalizován pomocí LED diod. Po ukončení měření je možné zkopírovat získané informace z přípravku do osobního počítače přes USB port pro další vyhodnocení změřených dat.

Přípravek bude použit k laboratorní úloze. Přípravkem se změří několik hodnot polohy na výchozím bodu. Tyto hodnoty se zprůměrují a budou se brát za referenční a velmi přesné. S přípravkem se projde trasa a na jejím koncovém bodě se opět změří několik hodnot pro průměrování. Po přenesení do počítače, bude naměřená trasa vykreslena do mapy.

2.2 Blokové schéma

Základem přípravku je mikrokontroler ATMEGA128, ke kterému je přes sériový port připojen pomocí převodníku ST232 GPS modul Leadtek GPS smart antenna LR9450. Komunikace s PC probíhá přes obvod FT232RL, což je převodník USB na UART. Jelikož interní datová paměť mikrokontroleru je jen 4 kbit, je pro ukládání dat použita externí EEPROM paměť o velikosti 512 kbit. K mikrokontroleru jsou připojena 4 tlačítka pro ovládání a 4 LED diody pro signalizaci stavu. Pro programování ATMEGA 128 jsou na desce vyvedeny konektory AVR ISP a JTAG.



Obr. 2.1 Blokové schéma

2.3 Napájení

Při popisu konstrukce se nejdříve zaměřme na napájecí část. Ta je tvořena lowdrop stabilizátorem, jehož úbytek napětí je kolem jednoho voltu. K vytvoření napájecího napětí je použit battery pack s napětím U_{CC} = 9 V. Na vstupu je zapojena dioda bránící poškození přípravku při přepólování a obvod je ještě doplněn filtračními kondenzátory. Pro malé rozměry desky tištěného spoje jsou všechny součástky v SMD pouzdrech.

2.4 ATMEGA128

ATMEGA128 je osmi bitový mikrokontroler od firmy ATMEL. Obsahuje celou řadu periferií, dále jsou popsány ty, které jsou nutné pro konstrukci přípravku. Mikrokontroler je možné programovat přímo na vývojové desce (ISP - In-System Programmable). Použit je mikrokontroler v SMD pouzdře s 64 vývody.

Mikrokontroler ATMEGA 128 má více možností k vytvoření taktovacího kmitočtu. Pro vytvoření taktovacího kmitočtu f_{CPU} = 16 MHz je k vývodům XTAL1 a XTAL2 připojen krystal doplněný dvěma kondenzátory.

Všechny napájecí vývody obvodu jsou blokovány kondenzátory o velikosti 100 nF. Nulovací obvod RESET je tvořen tlačítkem P1, kondenzátorem C5 = 100 nF a odporem R10 = 10 kΩ. Při připojení napájení je na resetovací vstup přivedeno +5 V přes rezistor R10. Při stisku tlačítka se vstup uzemní a na resetu je ‘0’. Při odpojení napájení je kondenzátor vybit přes diodu.

K portu PA jsou připojeny 4 LED diody pro signalizaci, zda je GPS modul připraven posílat data, jestli probíhá měření a zda je k modulu připojeno napájení. Diody jsou nízkopříkonové, proto je možné je zapojit vůči zemi a spínat logickou 1. Na portu PE (PE4 až PE7) jsou připojeny 4 tlačítka. Pro zapojení tlačítek je zvolena tato brána, jelikož na pinech PE4 až PE7 se dá vyvolat externí požadavek na přerušení INT4 až INT7.

Pro programování je určen konektor AVR ISP a JTAG. Pro povolení programování je však ještě nutné povolit programovací režim. To se provádí na pinu s označením PEN, během programování je nutné, aby na tomto vstupu byla logická nula. To je zajištěno přepínačem JP2.

2.4.1 USART

Pro sériovou komunikaci s jinými zařízeními obsahuje mikrokontroler dva univerzální synchronní a asynchronní sériové přijímače a vysílače označené zkratkou USART (The Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter). Tato jednotka podporuje plně duplexní přenos, můžeme volit mezi synchronní a asynchronním režimem. Umožňuje širokou volbu přenosové rychlosti, volbu počtu datových bitů a stop bitů. Obsahuje i generátor sudé a liché parity pro vysílač a umožňuje hardwarové testování parity pro přijímač.

Jednotky USART mají na mikrokontroleru vývody s označením TxDn pro vysílač a RxDn pro přijímač. Na bráně PE jsou však tyto piny určeny i pro programování mikrokontroleru pomocí AVR ISP, proto je zapojení doplněno přepínačem, který určuje, zda bude připojen obvod FT232RL určený pro komunikaci s PC, nebo programátor.

Nastavení přenosové rychlosti se provádí s ohledem na řídící frekvenci mikrokontroleru a ukládá se do registrového páru UBRRH, UBRRL, jehož hodnota je dána vztahem [4]

$$UBRRH;L = \frac{f_{CPU}}{16 \cdot SR} - 1 \quad (2.1)$$

,

kde f_{CPU} je řídící frekvence mikrokontroleru a SR je požadovaná hodnota přenosové rychlosti v Bd.

Nastavení ostatních parametrů přenosu se provádí v registrech UCSRnA, UCSRnB a UCSRnC. Malé písmeno v názvu registru se nahrazuje 0 nebo 1 a určuje, zda registr patří k jednotce USART0 nebo USART1. Registry tvoří osm bitů a jejich význam je [6]:

Bit 7	6	5	4	3	2	1	0
RXCn	TXCn	UDREn	FEn	DORn	PEn	U2Xn	MPCMn

Obr. 2.2 Struktura registru UCSRnA (převzato z [6])

- bit 7 RXCn – příznak přijatého slova,
- bit 6 TXCn – příznak odeslaného slova,
- bit 5 UDREn – příznak vyprázdněného bufferu
- bit 4 UDREn – chyba rámce
- bit 3 DOR – nastaví se v případě přeplněného datového bufferu
- bit 2 UDREn – chyba parity
- bit 1 U2Xn – při nastavení asynchronního módu zdvojnásobuje přenosovou rychlost
- bit 0 MPCMn – nastavení multiprocesorového komunikačního módu

Bit 7	6	5	4	3	2	1	0
RXCIEn	TXCIEn	UDRIEn	RXENn	TXENn	UCSZn2	RXB8n	TXB8n

Obr. 2.3 Struktura registru UCSRnB (převzato z [6])

- bit 7 RXCIEn - zápis tohoto bitu povolí přerušení od příjmového kanálu sérové linky,
- bit 6 TXCIEn - zápis tohoto bitu povolí přerušení od vysílacího kanálu sérové linky,
- bit 5 UDRIEn - zápis tohoto bitu povolí přerušení při vyprázdnění datového bufferu,
- bit 4 RXENn - zápis tohoto bitu povolí příjem,
- bit 3 TXENn - zápis tohoto bitu povolí vysílání,
- bit 2 UCSZn2 - slouží pro volbu počtu datových bitů,
- bit 1 RXB8n - ovlivňuje nastavení zápisu devátého datového bitu,
- bit 0 TXB8n - ovlivňuje nastavení čtení devátého datového bitu.

Bit 7	6	5	4	3	2	1	0
-	UMSECn	UPMn1	UPMn0	USBSn	UCSZn1	UCSZn0	UCPOLn

Obr. 2.4 Struktura registru UCSRnC (převzato z [6])

- bit 7 – rezervní bit, zapisuje se „0“,

- bit 6 UMSECn – nastavení přenosového režimu: „0“ asynchronní, „1“ synchronní,
- bit 5, 4 UPMn1, UPMn0 – nastavení parity:

Tab. 2.1 Nastavení parity pro sériový přenos (převzato z [6])

UPMn1	UPMn0	
0	0	bez parity
1	0	sudá parita
1	1	lichá parita

- bit 3 USBSn – nastavení počtu stop bitů: „0“ 1 bit, „1“ 2 bity,
- bit 2, 1 UCSZn1, UCSZn0 – spolu s bitem UCSZn2 v registru UCSRnB slouží k nastavení počtu datových bitů:

Tab. 2.2 Nastavení počtu datových bitů pro sériový přenos (převzato z [6])

UCSZn2	UCSZn1	UCSZn0	Počet bitů
0	0	0	5 bitů
0	0	1	6 bitů
0	1	0	7 bitů
0	1	1	8 bitů
1	1	1	9 bitů

- bit 0 UCPOLn – při synchronním režimu nastavuje polaritu hodin, v asynchronním režimu je zapsán „0“.

GPS přijímač je připojen na jednotku USART1. Jednotku je třeba nastavit na asynchronní přenos s přenosovou rychlostí 4800 baudů, s osmi datovými bity, bez parity a jedním stop bitem. Dosazením přenosové rychlosti do vztahu 2.1, dostáváme obsah registru UBRRH;L. Obsah zbývajících registrů pro sériový přenos bude:

$$UBRRH;L = \frac{f_{CPU}}{16 \cdot SR} - 1 = \frac{16 \cdot 10^6}{16 \cdot 4800} - 1 = (207)_{10} = (11001111)_2 \tag{2.2}$$

```
UBRR1H = 0b00000000;
UBRR1L = 0b11001111;
UCSR1B = (1<<RXEN1)|(1<<TXEN1);
UCSR1C = (1<<UCSZ11)|(1<<UCSZ10);
```

Do registru UCSR1A není třeba zapisovat žádné slovo, slouží především ke kontrole, zda byl předchozí přenos kompletní. Po nastavení kontrolních registrů se přenos provádí zapsáním slova do registru UDRn. Jednotka USART přidá ke slovu start a stop bity, vygeneruje paritní bit, pokud je nastaven a data pošle na výstup TxDn. Při příjmu je zkontrolována parita a datové slovo je zapsáno opět do registru UDRn.

2.4.2 SPI

Další možností sériové komunikace u mikrokontroleru ATMEGA128 je rozhraní SPI (Serial Peripheral Interface). SPI je sériová synchronní sběrnice, která pomocí tří vodičů umožňuje plně duplexní přenos. Nemá tak široké možnosti nastavení jako USART, ale její výhodou je

především její hardwarová jednoduchost. Obsahuje vodiče MOSI pro vysílání, MISO pro příjem a SCK pro hodinový signál. U mikrokontroleru lze definovat, zda se má chovat jako master nebo slave. Pokud je zapojen jako master, řídí komunikaci na sběrnici a generuje hodinový signál.

Pro nastavení přenosu slouží kontrolní registr SPCR a status registr SPSR, význam jednotlivých bitů je:

Bit 7	6	5	4	3	2	1	0
SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0

Obr. 2.5 Struktura registru SPCR (převzato z [6])

- bit 7 SPIE - zápis tohoto bitu povolí přerušení od SPI,
- bit 6 SPI - zápis tohoto bitu povolí SPI,
- bit 5 DORD – pokud je zapsán „1“ je nejdříve vysílán LSB, „0“ nejdříve vysílán MSB
- bit 4 MSTR – pokud je zapsán „1“ mikrokontroler je nastaven jako master, „0“ slave,
- bit 3 CPOL – určuje polaritu hodinového signálu,
- bit 2 CPHA – určuje fázi hodinového signálu,
- bit 1, 0 SPR1, SPR0 – nastavení frekvence hodinového signálu, používá se i bit SPI2X v registru SPSR:

Tab. 2.3 Nastavení frekvence hodinového signálu pro SPI přenos (převzato z [6])

SPI2X	SPR1	SPR0	Frekvence SCK
0	0	0	$f_{osc}/4$
0	0	1	$f_{osc}/16$
0	1	0	$f_{osc}/64$
0	1	1	$f_{osc}/128$
1	0	0	$f_{osc}/2$
1	0	1	$f_{osc}/8$
1	1	0	$f_{osc}/32$
1	1	1	$f_{osc}/64$

Bit 7	6	5	4	3	2	1	0
SPIF	WCOL	-	-	-	-	-	SPI2X

Obr. 2.6 Struktura registru SPSR (převzato z [6])

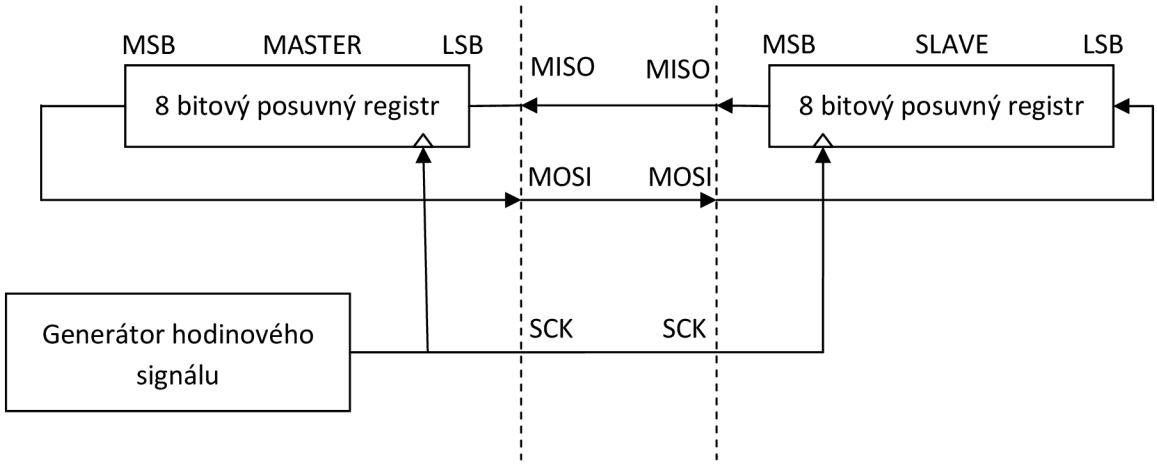
- bit 7 SPIF – příznak kompletního přenosu,
- bit 6 WCOL – je zapsán při kolizi bytů,
- bit 1-5 – rezervní bity, zapisují se „0“,
- bit 0 SPI2X – nastavení frekvence hodinového signálu

Pro nastavení SPI pro komunikaci s externí pamětí, je mikrokontroler v režimu master, jako první je vysílán MSB a frekvence hodinového signálu je $f_{osc}/128$. Piny MOSI a SCK

musí být nastavený jako výstupní. V registru SPCR je tedy zapsáno:

```
SPCR = (1<<SPE)|(1<<DORD)|(1<<MSTR)|(1<<CPOL)|(1<<SPR0);
```

Při odeslání dat stačí jen osmi bitové slovo zapsat do registru SPDR. Tento registru pracuje jako posuvný, podle hodinového signálu jsou data přesouvána na výstup MISO. Pro příjem dat je nutné do registru SPDR zapsat libovolné slovo, to je odesláno k jinému zařízení a na místo odeslaných bitů jsou do registru zapisovány přijaté bity. Princip komunikace je znázorněn na obrázku 2.7.



Obr. 2.7 SPI komunikace (upraveno podle [6])

2.4.3 Externí přerušení

Pro ovládání jsou použita tlačítka. Ty jsou připojena na horní čtyři piny brány E. Na těchto pinech lze vyvolat požadavek na externí přerušení. Pro nastavení přerušení slouží registr EICRB. Struktura a význam registru je:

Bit 7	6	5	4	3	2	1	0
ISC71	ISC70	ISC60	ISC61	ISC51	ISC50	ISC41	ISC40

Obr. 2.8 Struktura registru EICRB (převzato z [6])

- bit 7-0 ISC71-ISC40 – nastavení bitů určuje, jaký stav na vstupním pinu má vyvolat přerušení, nastavuje přerušení 4 až 7 podle tabulky 2.4.

Tab. 2.4 Nastavení externího přerušení (převzato z [6])

ISCn1	ISCn0	Popis
0	0	Přerušení vyvolá nízká úroveň napětí
0	1	Přerušení vyvolá jakákoli logická změna
1	0	Přerušení vyvolá sestupná hrana
1	1	Přerušení vyvolá vzestupná hrana

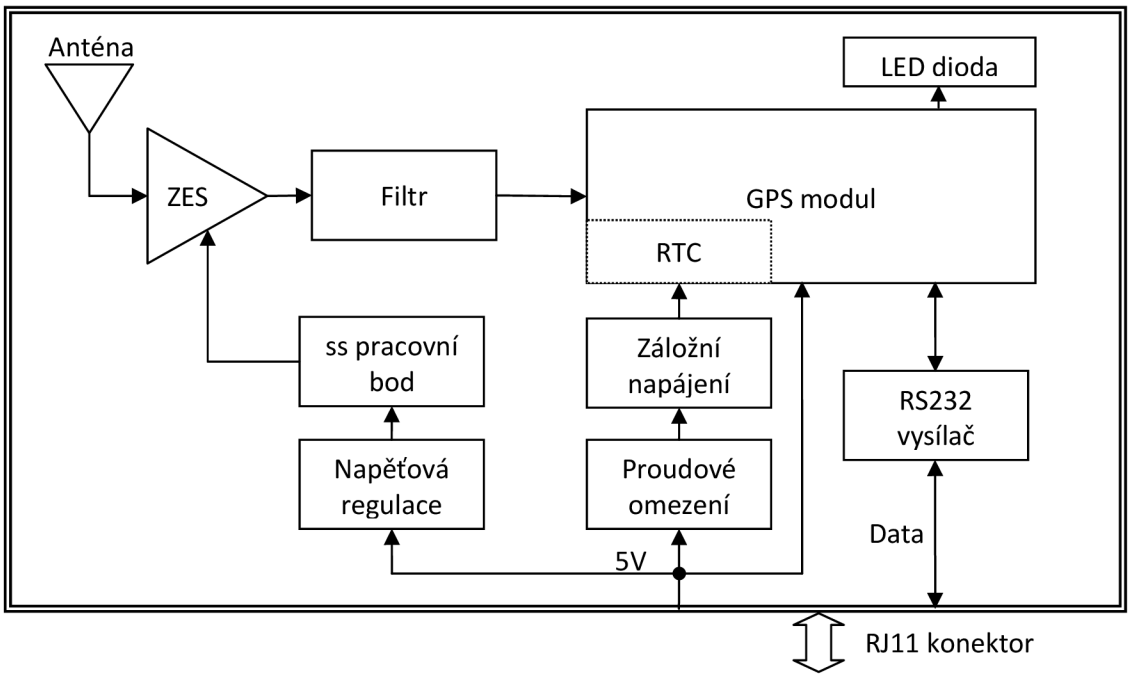
ATMEGA128 obsahuje celkem 8 externích přerušení, zbývající čtyři jsou umístěny na spodních bitech brány D. Nastavují se obdobně v registru EICRA. Po nastavení je nutné konkrétní přerušení povolit v registru EIMSK, který obsahuje bity pro povolení všech osmi přerušení. V hlavním programu je nutné dále povolit globální přerušení příkazem `sei`. Dále je nutné nastavit tyto piny jako výstupní.

Při stisku tlačítka je na piny přivedena „0“, proto je registr EICRB nastaven tak, aby bylo přerušení vyvoláno nízkou úrovní napětí. Při vyvolání přerušení, dokončí procesor aktuální instrukci a skočí na začátek programové paměti, kde jsou umístěny vektory přerušení. Zde je uložena adresa, kde začíná vlastní program přerušení. Po jeho vykonání se vrátí programový čítač zpět do hlavního programu a pokračuje od adresy, kde bylo přerušení vyvoláno.

2.5 GPS přijímač

Jako GPS přijímač byl vybrán LR9450 od firmy Leadtek. Jedná se o malý, velmi citlivý přijímač s nízkou spotřebou energie. Blokové schéma přijímače je na obr.2.9. Přijímač je napájen 5V. Signál je přijímán pomocí malé antény a následně zesilován pomocí nízkošumového zesilovače. Po zesílení jsou odfiltrovány nepotřebné signály a užitečný signál je veden na vstup GPS modulu. Ten zpracovává dálkoměrné zprávy a jeho výstupem je věta, která obsahuje informace o poloze, rychlosti času a podle nastavení i další informace. Důležitou součástí GPS modulu je obvod reálného času (RTC – real time clock), který musí pracovat i po odpojení napájení, proto je zařízení doplněno malým záložním zdrojem.

GPS modul je postaven na SiRFStarIII™ technologii. Komunikace s jinými zařízeními je zajištěna rozhraním RS232 s konektorem RJ11. Přenosová rychlost je 4800 b/s. Protokol pro komunikaci má označení NMEA-0183. Tento protokol používá pro komunikaci s jinými zařízeními věty, které musí dodržet stanovenou strukturu. Zvolený přijímač používá věty s označením GGA, GSA, GSV, GLL, RMC, VTG. Struktura těchto vět je popsána dále. Modul má velké množství nastavení, které lze provádět pomocí obslužného programu na PC.



Obr. 2.9 Blokové schéma LR9450 (upraveno podle [8])

LR9450 pracuje na frekvenci nosné L1 s frekvencí 1575,42 MHz. Využívá dálkoměrnou metodu s kódovým dělením. Obsahuje 20 kanálů, to znamená, že teoreticky dokáže paralelně zpracovávat signál z dvaceti viditelných družic. Přijímač má jako většina civilních přijímačů jen rovnice pro dekódování C/A kódu. Nedosahuje tak vysoké přesnosti jako přijímače s P-kódem. Výrobce ve své technické specifikaci udává přesnost pro měření polohy menší než 2,5m a pro měření rychlosti menší než 0,01m/s.

Po připojení napájecího napětí, není možné s GPS modulem měřit okamžitě. Na modulu se rozsvítí modrá LED dioda, signalizující zapnutí přístroje. Zhruba po 40 sekundách začne blikat. Tím signalizuje, že přijímá signál alespoň ze čtyř družic a začíná s měřením. Při zapnutí je vhodné umístit modul tak, aby viděl na oblohu. Pokud jsme v místnosti, je vhodné ho umístit alespoň do blízkosti okna. Po spuštění a přijmu signálu z družic, začíná sám měřit. Které věty mají být zasílány a jak často lze nastavit příslušným softwarem.

2.5.1 Protokol NMEA

NMEA je protokol pro komunikaci mezi GPS přijímačem a jiným zařízením, např. počítačem. Využívá 8 datových bitů, jeden stop bit a nemá žádný paritní bit. V kódu se mohou objevit jen znaky z ASCII tabulky a znaky konce řádků (<CR> a <LF>). Protokol používá pro komunikaci věty, přičemž každá věta musí být uvozena znakem "$". V protokolu jsou definovány tři základní druhy vět [2]:

- věty ze strany mluvčího (talker sentences)
- proprietární věty (proprietary sentences)
- dotazovací věty (query sentences)

Obecný formát ze strany mluvčího je

```
$ttsss,d1,d2,....<CR><LF>.
```

Po úvodním znaku "$" následují znaky "tt", což jsou identifikátory mluvčího a následující znaky "sss" označují druh věty. Věta pokračuje jednotlivými datovými položkami, které jsou odděleny čárkami. Význam jednotlivých datových položek je definován typem věty. Pokud nejsou data k dispozici, zůstane datové místo prázdné a je zapsána jen oddělovací čárka bez mezery. Po datech následuje jako nepovinný údaj kontrolní součet, který je uvozen znakem "*" a je tvořen dvojicí hexadecimálních čísel, která jsou výsledkem logické funkce XOR od znaku "$" po znak "*". Celá věta je zakončena ukončovacími znaky <CR><LF>. Každá věta může obsahovat i se znaky "$" a <CR><LF> maximálně 83 znaků.

Proprietární věty jsou určeny výrobcům zařízení pro definování vlastní věty. Tyto věty začínají znaky "$P", po kterých následují tři znaky s označením výrobce. Následující znaky jsou datové a platí pro ně stejná pravidla jako u předchozího typu věty.

Dotazovací věty se používají, když posluchač žádá mluvčího o zaslání věty. Obecný formát je

```
$ttllQ,sss<CR><LF>.
```

Po uvozovacím znaku "$" opět následují identifikační znaky "tt" zařízení, které žádá o zaslání věty. Znaky "ll" identifikují zařízení, kterému je určena dotazovací věta. Následuje znak Q, který označuje dotazovací větu. Znaky "sss" označují větu, o níž zařízení žádá. V našem případ mikrokontroler ATMEGA128 žádá GPS přijímač o zaslání informací o poloze, proto tvar dotazovací věty je

```
$CCGPQ,GGA<CR><LF>,
```

kde označení mikrokontroleru je CC a pro označení GPS přijímače se obecně používají

znaky GP. Informace o poloze jsou obsaženy ve větě GGA. Tato věta bude po obdržení dotazovací věty zasílána každou sekundu do doby, než mikrokontroler nepožádá o zaslání jiné věty.

Nyní se zaměřme na strukturu a význam jednotlivých vět používaných naším GPS přijímačem. Věta GGA obsahuje informace o poloze, nadmořské výšce, času a počtu viditelných družic. Struktura věty GGA je

```
$GPGGA,hhmmss.sss,ddmm.mmmm,c,dddmm.mmmm,c,d,dd,d.d,d.d,c,d.d,c,d.d,dddd*xx
```

Tab. 2.5 Význam symbolů ve větě GGA (převzato z [2])

#	Formát	Komentář
1	hhmmss.sss	Čas
2	ddmm.mmmm	Zeměpisná šířka
3	c	Indikátor severní/jižní šířka (N=sever, S=jih)
4	dddmm.mmmm	Zeměpisná délka
5	c	Indikátor východní/západní délka (E=východ, W=západ)
6	d	Indikátor kvality: 0 – nebylo možno určit pozici 1 – pozice úspěšně určena 2 – pozice úspěšně určena (diferenční GPS)
7	dd	Počet viditelných satelitů
8	d.d	Vliv rozestavění družic na určení polohy HDOP (Horizontal Dilution of precision)
9	d.d	Výška přijímače nad geoidem
10	c	Jednotka pro předchozí položku (M=metr)
11	d.d	Rozdíl mezi WGS-84 zemským elipsoidem a střední úrovní moře (geoid)
12	c	Jednotka pro předchozí položku (M=metr)
13	d.d	Stáři poslední aktualizace diferenční GPS, údaj je v sekundách
14	dddd	Identifikační číslo referenční stanice pro diferenční GPS (0000-1023)
15	*xx	Kontrolní součet

Informace o aktivních družicích jsou obsaženy ve větě GSA, jsou zde také informace o vlivu rozestavění družic na určení polohy, tzv. DOP (Dilution of precision). Struktura věty GSA je

```
$GPGSA,c,d,dd,dd,dd,...,dd,d.d,d.d,d.d*xx
```

Tab. 2.6 Význam symbolů ve větě GSA (převzato z [2])

1	c	Přepínání mezi N-rozměrnými módy (A=automatické, M=manuální)
2	d	Počet dimenzí N (2=2D, 3=3D)
3	dd	ID prvního satelitu použitelného pro výpočet
4	dd	ID druhého satelitu použitelného pro výpočet
5	dd	ID třetího satelitu použitelného pro výpočet
6	…	Podle počtu následují ID dalších družic
7	dd	ID n-tého satelitu použitelného pro výpočet
8	d.d	PDOP (Position Dilution Of Precision) v metrech
9	d.d	HDOP (Horizontal Dilution Of Precision) v metrech
10	d.d	VDOP (Vertical Dilution Of Precision) v metrech
11	*xx	Kontrolní součet

Bližší informace o jednotlivých družicích obsahuje věta GSV (Satellites in View).

Množství údajů v této větě záleží na počtu viditelných družic. Maximální délka jedné věty může být jen 80 znaků, proto mohou být informace rozděleny do více vět. Do jedné věty je možné zapsat informace jen ke čtyřem družicím. Struktura vět je

```
$GPGSV,d,d,dd,dd,dd,ddd,dd,…,*xx
```

Tab. 2.7 Význam symbolů ve větě GSV (převzato z [2])

1	d	Celkový počet vět (číslují se od 1)
2	d	Číslo aktuální věty
3	dd	Počet viditelných družic
4	dd	Identifikační číslo družice
5	dd	Úhlová výška kde se daná družice nachází
6	ddd	Azimut kde se daná družice nachází
7	dd	Odstup signálu od šumu. Je-li roven nule nelze danou družici použít pro výpočet polohy.
…	…	Podle počtu viditelných družic mohou následovat další čtveřice údajů 4-7
n	*xx	Kontrolní součet

Věta GLL obsahuje stejně jako věta GSA informace o poloze a času, nejsou v ní však obsaženy žádné další informace. Struktura této věty vychází ze staršího navigačního systému Loran, určeného především pro námořní dopravu. Konkrétní tvar věty je

```
$GPGLL,ddmm.mm,c,dddmm.mm,c,hhmmss,c*xx
```

Tab. 2.8 Význam symbolů ve větě GLL (převzato z [3])

1	ddmm.mmmm	Zeměpisná šířka
2	c	Indikátor severní/jižní šířka (N=sever, S=jih)
3	dddmm.mmmm	Zeměpisná délka
4	c	Indikátor východní/západní délka (E=východ, W=západ)
5	hhmmss.sss	Čas
6	c	Status (A=OK, V=varování)
7	*xx	Kontrolní součet

Věta RMC obsahuje minimální doporučené informace pro navigaci, obsahuje informace o poloze, rychlosti a úhlovém rozdílu mezi směry zeměpisného a magnetického pólu Země (magnetická deklinace). Struktura je

```
$GPRMC,hhmmss.sss,c,ddmm.mmmm,c,dddmm.mmmm,c,d.d,d.d,ddmmyy,d.d,c*xx
```

Tab. 2.9 Význam symbolů ve větě RMC (převzato z [2])

1	hhmmss.sss	Čas
2	c	
3	ddmm.mmmm	Zeměpisná šířka
4	c	Indikátor severní/jižní šířka (N=sever, S=jih)
5	dddmm.mmmm	Zeměpisná délka
6	c	Indikátor východní/západní délka (E=východ, W=západ)
7	d.d	Vodorovná rychlost v uzlech
8	d.d	Kurz pohybu ve stupních
9	ddmmyy	Datum
10	d.d	Magnetická deklinace ve stupních
11	c	Indikátor východní/západní délka (E=východ, W=západ)

12	*xx	Kontrolní součet

Poslední věta používaná naším přijímačem je označena VTG. Jsou v ní obsaženy především informace o rychlosti. Její tvar je

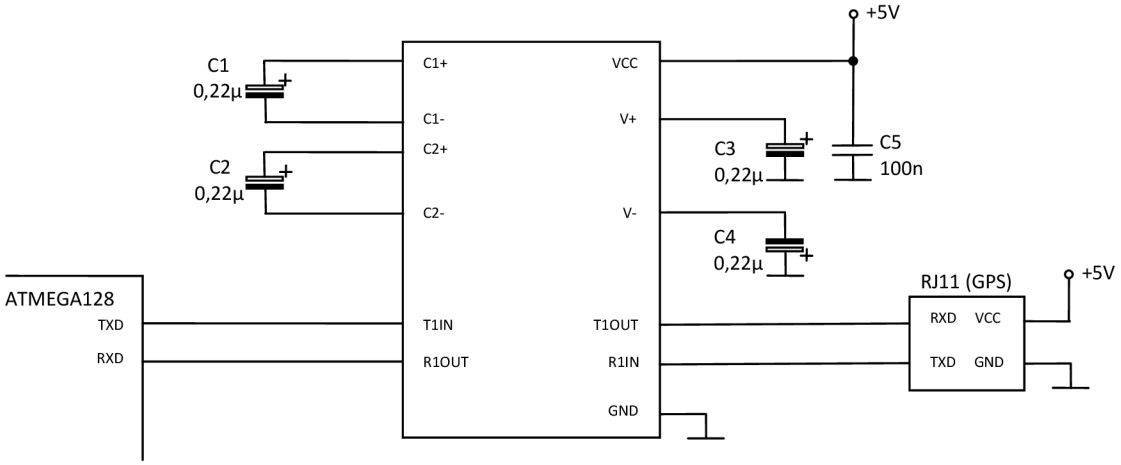
```
$GPVTG,d.d,c,d.d,c,d.d,c,d.d,c*xx
```

Tab. 2.10 Význam symbolů ve větě VTG (převzato z [3])

1	d.d,c	Kurz pohybu ve stupních a indikátor zda je v pořádku (T=true)
2	d.d	Odklon od skutečné dráhy
3	c	Jednotka pro předchozí položku (M=metr)
4	d.d	Vertikální rychlost
5	c	Jednotka pro předchozí položku (N=námořní míle)
6	d.d	Vertikální rychlost
7	c	Jednotka pro předchozí položku (K=Km/h)
8	*xx	Kontrolní součet

2.5.2 RS232 rozhraní

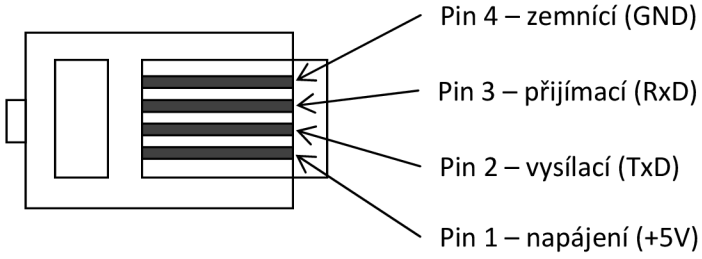
Jak už bylo řečeno, GPS přijímač používá pro komunikaci s jinými zařízeními sériové rozhraní RS232. Pořadí datových bitů je od nejméně významného bitu (LSB) po nejvýznamnější (MSB). Logické úrovně 0 a 1 jsou definovány pomocí napětí ±12V. Tím vzniká problém při komunikaci s ATMEGA128, jehož sériová linka používá rozhodovací úrovně TTL. Proto je do zapojení přidán obvod ST232, jako převodník napěťových úrovní.



Obr. 2.10 Zapojení ST232 (upraveno podle [10])

Obvod obsahuje dva převodníky, v našem zapojení však postačí jen jeden. I přesto, že logické úrovně sériové linky jsou definovány jako ±12V, stačí obvodu napájecí napětí jen +5V. Maximální přenosová rychlost je 220 kbaudu. Obvod vyžaduje pro svoji funkci zapojení kondenzátorů podle obrázku 2.10.

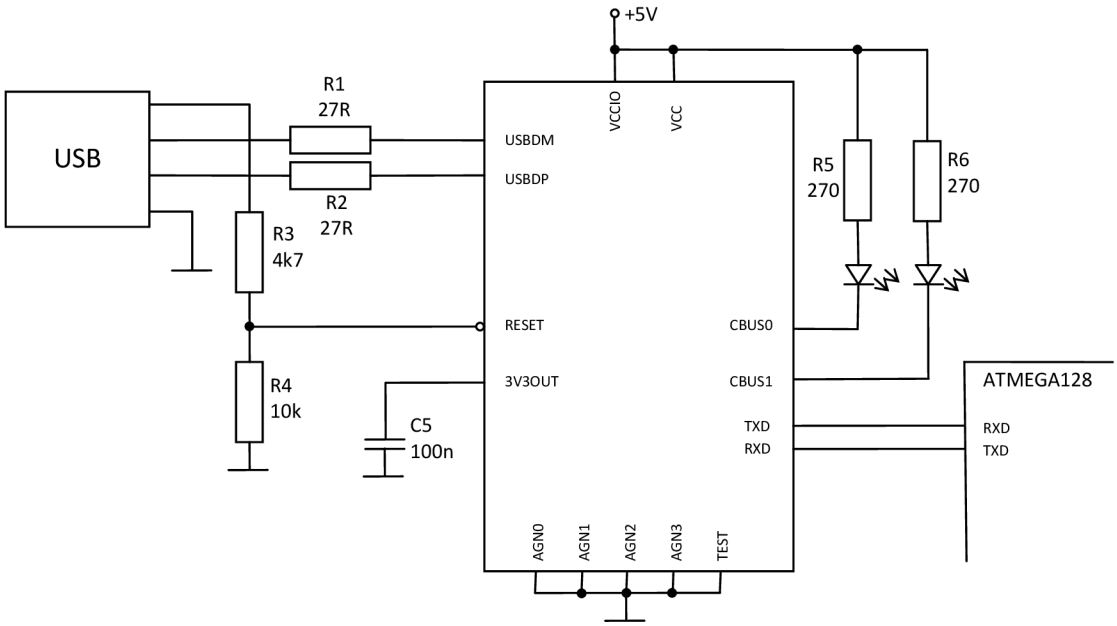
Rozhraní používá 4 vodiče. Pro obousměrnou komunikaci jsou třeba vodiče pro příjem (RxD – receiver) a vysílání (TxD – transmitter). Dalším vodičem je společná zem a pro napájení GPS přijímače je třeba čtvrtý vodič +5V. Zapojení jednotlivých vodičů v konektoru RJ11 je znázorněno na obrázku 2.11.



Obr. 2.11 Zapojení konektoru RJ11 (spodní pohled) (upraveno podle [8])

2.6 FT232RL

Komunikace mikrokontroleru se stolním PC je zajištěna přes USB port s pomocí obvodu FT232RL. Tento obvod je převodník mezi jednotkou USART a USB. Výhodou obvodu je, že není třeba ho nijak programovat, protože veškeré programové vybavení zajistil výrobce při výrobě chipu. Obvod nepotřebuje ani externí krystal pro generování kmitočtu.



Obr. 2.12 Zapojení FT232RL (upraveno podle [9])

FT232RL umožňuje sériový přenos se sedmi nebo osmi datovými bity, jedním nebo dvěma stop bity a sudou nebo lichou paritou. Je navržen pro přenosové rychlosti od 300 baudu do 3 Megabaudu. Podporuje protokol USB 1.1 i USB 2. Napájení je možné volit 3,3 V nebo 5 V, v zapojení je použité napájení 5 V.

Obvod je připojen na jednotku USART0. Stejné výstupy používá i AVR ISP programátor, proto je obvod připojen přes přepínač, kterým se volí programování nebo přenos dat do PC. USB port používá čtyři vodiče - napájení, zem, vysílání a příjem dat. Vodiče pro vysílání a příjem jsou připojeny k obvodu FT232 přímo přes odpory o hodnotě 27 Ω. Napájecí vodič je přes odporový dělič připojen na vstup RESET. Zapojení vodičů je znázorněno na obrázku 2.12. Obvod je ještě doplněn dvojicí LED diod pro signalizaci přenosu dat.

2.7 Paměť

Pro ukládání dat je použita paměť EEPROM od firmy Microchip s označením 25AA512, umístěném v pouzdře s osmi vývody. Velikost paměti je 512 kbit, tato velikost stačí při ukládání vět o délce 40 znaků na 27 minut záznamu. Paměť je připojena přes SPI rozhraní k mikrokontroleru. Rozhraní obsahuje vstupní vodič SI, výstupní vodič SO a hodinový signál SCK. Pro napájecí napětí 5V je možné použít frekvenci hodinového signálu až f = 20 MHz. V mikrokontroleru je nastavena frekvence $f_{osc}/128$ tedy 125 kHz. Dalším vstupem paměti je CS (chip select), tímto vstupem je řízen výběr slave zařízení. Pokud je aktivní vstup HOLD jsou na vstupu paměti ignorována všechna data s výjimkou vstupu pro výběr zařízení CS. Posledním pin WP (Write Protect) slouží k ochraně proti přepsání paměti. Funkce HOLD a ochrana proti přetečení nejsou používány, proto je na tyto piny přivedena neaktivní úroveň „1“.

Operace s pamětí se řídí pomocí osmi bitových instrukcí. Při komunikaci s pamětí je od řídícího zařízení nejdříve poslána instrukce, co má paměť provést, následuje adresa a data. Používané instrukce jsou zapsány v tabulce 2.11. Informace o stavu paměti lze číst v osmi bitovém status registru. Význam bitů v registru je:

Bit 7	6	5	4	3	2	1	0
WPEN	-	-	-	BP1	BP0	WEL	WIP

Obr. 2.13 Status registr paměti 25AA512 (převzato z [7])

- bit 7 WPEN – (Write-Protect Enable) spolu s pinem /WP aktivuje ochranu proti přepsání,
- bit 3, 2 BP1, BP0 – nastavují, která část paměti má být chráněna proti přepsání,
- bit 1 WEL – (Write Enable Latch), povolení zápisu,
- bit 0 WIP – (Write In Progres), pokud je nastaven na „1“ probíhá zápis

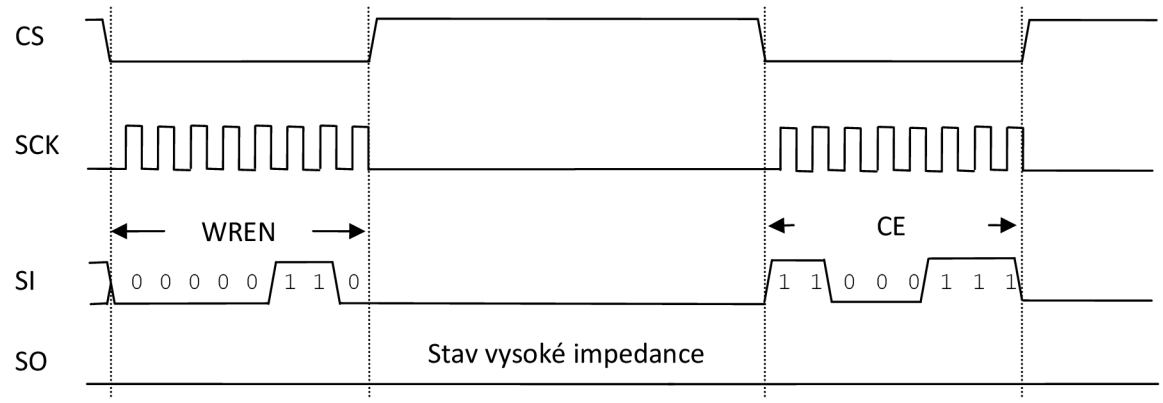
Tab. 2.11 Instrukce paměti (převzato z [7])

Název instrukce	Tvar instrukce	Popis
READ	0000 0011	Čtení z paměti
WRITE	0000 0010	Zápis do paměti
WREN	0000 0110	Povolení zápisu
WRDI	0000 0100	Zakázaní zápisu
RDSR	0000 0101	Čtení status registru
WRSR	0000 0001	Zápis status registru
PE	0100 0010	Mazání jedné stránky
SE	1101 1000	Mazání sektoru
CE	1100 0111	Mazání celé paměti

Registr je možné přečíst a kontrolovat jím, zda byl dokončen předchozí zápis. Tato funkce je velmi důležitá. Nevýhodou EEPROM pamětí je obecně velmi dlouhý čas potřebný pro zápis. Výrobce u této paměti udává dobu až 5 ms. Ovšem tato doba je stejná při zapisování jednoho bytu, nebo celé stránky. Proto je paměť rozdělena na stránky o 128 bytech a doplněna o buffer o velikosti jedné stránky. Při zápisu celé stránky, jsou příchozí data shromažďována v bufferu a teprve po příchodu všech 128 bytů, jsou data zapsána do paměti. Celá operace zápisu opět trvá maximálně 5 ms, ale je zapsáno 128 bytů dat.

2.7.1 Mazání paměti

Před vlastním zápisem je třeba paměť smazat. Lze mazat celou paměť, nebo jen sektor nebo stránku. Při komunikaci s pamětí je třeba nejdříve aktivovat vstup CS. Po aktivaci je možné zasílat na vstup SI instrukce. Před vlastní instrukcí mazání je nutné nejdříve nastavit bit WEL ve status registru na „1“. To se provádí instrukcí WPEN (Write Enable), před zasláním instrukce se CS nastaví do aktivní úrovně a po jejím odeslání zpět do neaktivní. Nyní může následovat instrukce mazání, před jejímž zasláním je opět nutné aktivovat CS. Při mazání sektoru nebo stránky následuje 16 bitů adresy, při mazání celé paměti nejsou zasílány žádné adresní bity. Po odeslání instrukce a adresy se musí pin CS vrátit do neaktivní úrovně. Časové průběhy signálů při mazání jsou znázorněny na obrázku 2.14.



Obr. 2.14 Časové průběhy signálů při mazání paměti (upraveno podle [7])

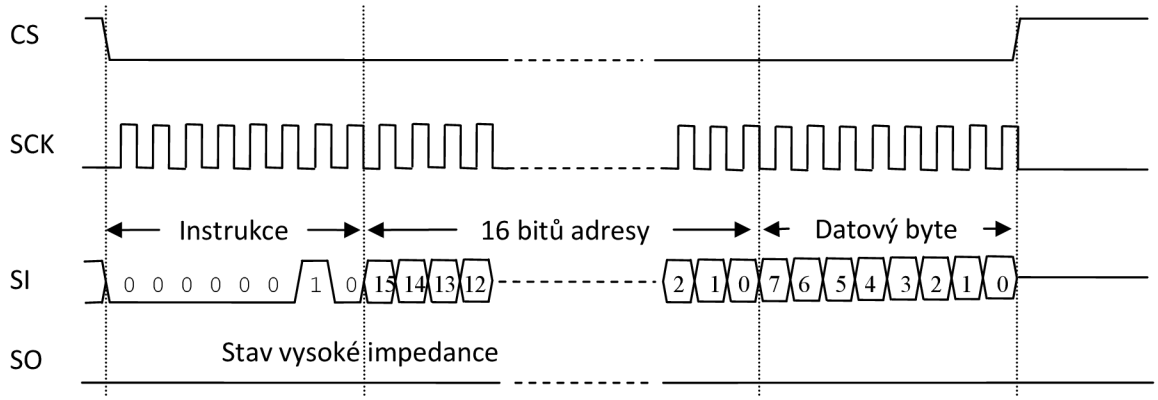
Po příchodu instrukce mazání a přechodu CS do neaktivní úrovně je paměť mazána. Tato operace trvá až 4 s a po tuto dobu není možné s pamětí pracovat. V programu následuje po instrukci mazání zpožďovací smyčka 4 s. Mezi instrukcí WPEN a instrukcí mazání je vložené zpoždění 5 strojních cyklů, aby bylo zajištěno, že signál CS bude okamžik v neaktivní úrovni.

```
#include <avr/io.h>                 //popis mikrokontroleru

int i, j;

int erase_chip(void)
      {
      PORTA=0b000000110;            //led diody
      SPCR = 0b01010011;            //nastaveni SPI
      DDRB = 0b11110111;            //nastaveni vstup/vystup na brane B

      PORTB = 0b01010000;           //aktivace chip select
      SPDR = 0b00000110;            //write enable
      while( !( SPSR &( 1<<SPIF))); //testovani predchoziho prenosu
      PORTB = 0b01110000;           //!CS=0
      for( i=0; i<5;i++);           //zpozdeni 5 cyklu

      PORTB = 0b01010000;           //aktivace chip select
      SPDR = 0b11000111;            //erase chip
      while( !( SPSR &( 1<<SPIF))); //testovani predchoziho prenosu
      PORTB = 0b01110000;           //!CS=0

      for( i=0; i<4000;i++)         //zpozdeni 4s
            for( j=0; j<1000;j++);
```

```
PORTA=0b000000001;            //led diody
}
```

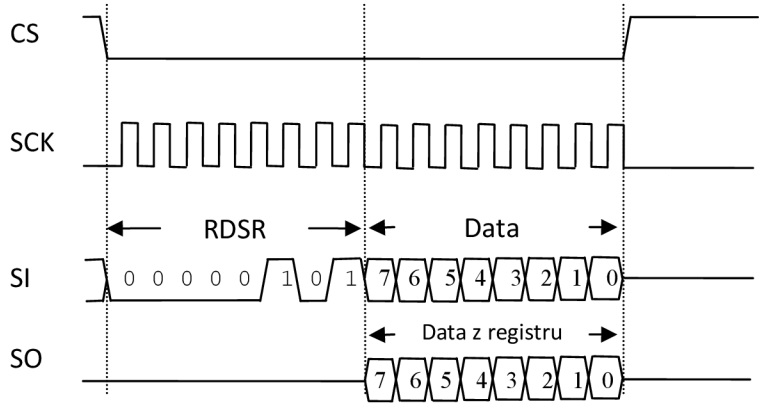
2.7.2 Zápis do paměti

Před instrukcí zápisu se musí opět bit WEL nastavit instrukcí WREN na „1“. Po odeslání instrukce WREN může být zaslána instrukce pro zápis. Signál CS se aktivuje před odesláním prvního bitu instrukce a do neaktivní úrovně se vrací, až po zaslání posledního datového bitu. Za instrukcí pro zápis je odesláno 16 bitů adresy. Jako první je zaslán bit MSB. Následují datové byty. Jak bylo popsáno výše, je možné zapisovat byty jednotlivě nebo po stránkách až o 128 bytech. Časové průběhy signálů pro zápis jednoho bytu jsou znázorněny na obrázku 2.15.



Obr. 2.15 Průběh signálů při zápisu paměti (upraveno podle [7])

Po celou dobu zápisu je bit WIP nastaven do „1“. Po ukončení zápisu je vynulován. Spolu s ním je nulová i bit WEL, proto je třeba před zasláním další instrukce pro zápis povolit zápis instrukcí WPEN. Kontrola zda byla data již zapsána, se provádí pomocí čtením status registru a kontroly bytu WIP (Write in Progres). Před odesláním instrukce pro čtení z registru se aktivuje CS. Po odeslání instrukce se musí z procesoru poslat libovolné slovo, aby byl vygenerován hodinový signál a obratem je z paměti zaslán obsah status registru. Průběh komunikace je znázorněn na obrázku 2.16.



Obr. 2.16 Čtení status registru (upraveno podle [7])

Program pro zápis věty o délce n bytů do paměti s kontrolou status registru, zda byl zápis kompletní lze zapsat takto:

```
#include <avr/io.h>

int k,i,a=1;
char data[n], wait;
unsigned char adresal=0x00, adresah=0x00

int write_memory(void)
{
for( k=0; k<n; k++)
    {
    PORTB = 0b01010000;                    //aktivace chip select
    SPDR = 0b00000110;                     //instrukce write enable
    while( !( SPSR &( 1<<SPIF)));          //testovani predchoziho prenosu
    PORTB = 0b01110000;                    //!CS=0
    for( i=0; i<5;i++);                    //zpozdeni 5 cyklu

    PORTB = 0b01010000;                    //aktivace chip select
    SPDR = 0b00000010;                     //instrukce zapis
    while( !( SPSR &( 1<<SPIF)));          //testovani predchoziho prenosu

    SPDR = adresah;                        //adresa 1.cast
    while( !( SPSR &( 1<<SPIF)));          //testovani predchoziho prenosu

    SPDR = adresal;                        //adresa 2.cast
    while( !( SPSR &( 1<<SPIF)));          //testovani predchoziho prenosu

    SPDR = data[k];                        //data
    while( !( SPSR &( 1<<SPIF)));          //testovani predchoziho prenosu
    PORTB = 0b01110000;                    //!CS=0
    for( i=0; i<5; i++);                   //zpozdeni 5 cyklu

    wait=0xff;
      while( !(wait == 0x00))              //cekani dokud pamet nezapise data
      {
      PORTB = 0b01010000;                  //aktivace chip select
      SPDR = 0b00000101;                   //read status register
      while( !( SPSR &( 1<<SPIF)));        //testovani predchoziho prenosu

      SPDR = 0b00000000;                   //prijem dat z registru
      while( !( SPSR &( 1<<SPIF)));        //testovani predchoziho prenosu
      PORTB = 0b01110000;                  //!CS=0
      wait = SPDR;
      }

    if(adresal<255)                        //citani adresy
      adresal++;

    if(adresal>254)                        //citani adresy
      {
      adresal = 0;
      adresah++;
      }
    if( (adresal==0xfe) & (adresah==0xff) )//po zaplneni pameti ukonci zapis
      k = n;
    }
while(1);                                  //nekonecna smycka
}
```

Takto sestavený program odešle datový byte do paměti a následně čtením status registru

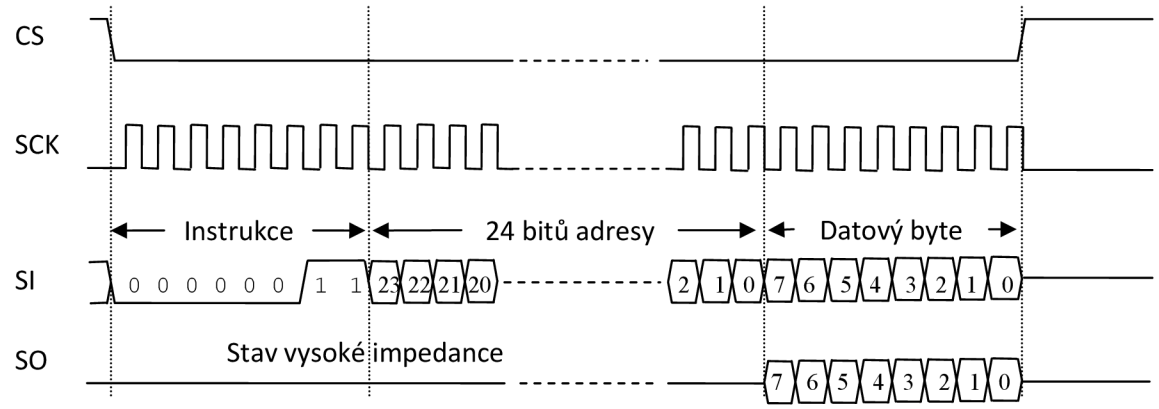
kontroluje, zda byla data zapsána. Data ze status registru jsou zapsána do proměnné wait a ta je porovnávána s hodnotou 0x00. Po splnění podmínky jsou data zapsána do paměti a program pokračuje dále.

Adresa je rozdělena do dvou proměnných. V proměnné adresal je umístěno osm nižších bitů a v proměnné adresah osm vyšších bitů. Pokud je splněna první podmínka (adresal<255), dojde vždy po zapsání datového bytu k inkrementaci nižších bitů adresy. Při splnění druhé podmínky (adresal>254), došlo k naplnění nižší části adresy, a tak je vynulována a inkrementováno je vyšších osm bitů adresy. Nedostatkem tohoto řešení je, že proměnná adresal nemůže nikdy nabýt hodnoty 255. To znamená, že do každé buňky, jejíž adresa obsahuje v nižších osmi bitech 0xff, není zapsáno. Při čtení celé paměti by se však v zapsaném textu objevily tyto byty, na kterých není zapsáno žádné datové slovo. Proto je program čtení doplněn o podmínku, která tyto byty neodesílá do počítače.

Poslední podmínka zajišťuje, aby nedošlo k přetečení paměti. Pokud adresa dosáhne maximální hodnoty (2^{16} adres), je nastaven krok na maximální hodnotu a cyklus je ukončen.

2.7.3 Čtení paměti

Čtení z paměti probíhá obdobně jako zápis. Je nutné aktivovat CS a master musí generovat hodinový signál. Čtení začíná zasláním instrukce READ následované 16 bity adresy, od které se bude číst. Jak bylo popsáno výše, pracuje SPI s posuvnými registry. Aby paměť odeslala data, je třeba odeslat z mikrokontroleru jakékoli datové slovo a data jsou v registrech paměti a mikrokontroleru navzájem přepsána. Po přečtení bytu je čítač adresy inkrementován a může proběhnout čtení dalšího bytu. Časové průběhy signálů při čtení jsou znázorněny na obrázku 2.17.



Obr. 2.17 Průběh signálů při čtení paměti (upraveno podle [7])

Při čtení z paměti není nutné kontrolovat status registr paměti, stačí jen v mikrokontroleru kontrolovat bit SPIF v registru SPSR. Je možné přečíst jakkoli dlouhý úsek paměti. Příklad programu pro přečtení celé paměti a odeslání dat do počítače přes jednotku UART je:

```
#include <avr/io.h>

unsigned int i;

int read_memory(void)
    {
    PORTA = 0b00000100;                    //led diody
```

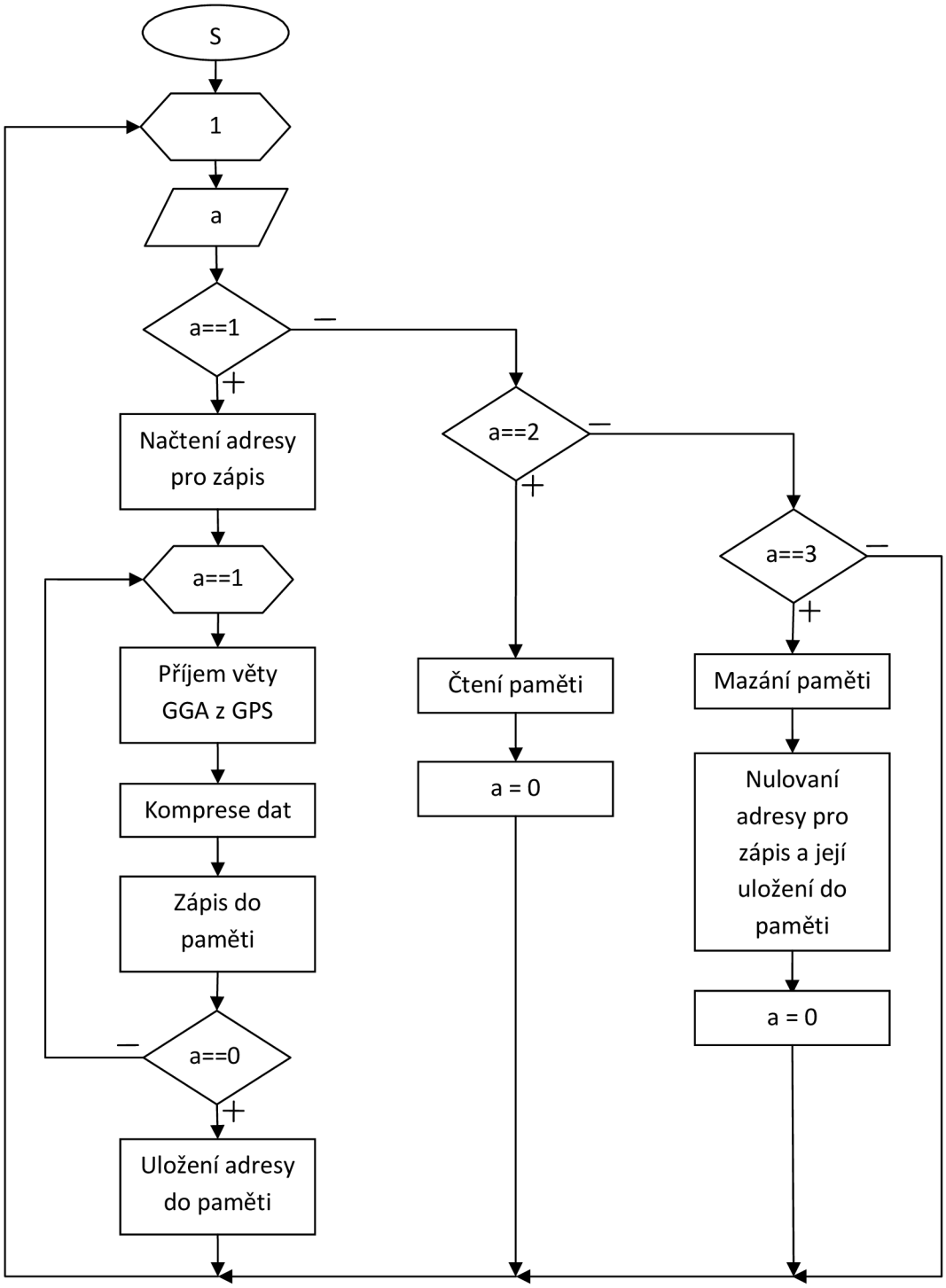
```
UCSR0B = (1<<RXEN0)|(1<<TXEN0);       //povoleni vysilani a prijmu UART0
UCSR0C = (1<<UCSZ01)|(1<<UCSZ00);     //nastaveni prenosu
UBRR0H = 0b00000000;                  //nastaveni prenosovy rychlosti
UBRR0L = 0b11001111;                  //4800 baudu

SPCR = 0b01010011;                    //nastaveni SPI
DDRB = 0b11110111;                    //nastaveni vstup/vystup na braneB

PORTB = 0b01010000;                   //aktivace chip select
SPDR = 0b00000011;                    //instrukce cteni
while( !( SPSR &( 1<<SPIF)));         //testovani predchoziho prenosu

SPDR = 0b00000000;                    //adresa 1.cast
while( !( SPSR &( 1<<SPIF)));         //testovani predchoziho prenosu

SPDR = 0b00000000;                    //adresa 2.cast
while( !( SPSR &( 1<<SPIF)));         //testovani predchoziho prenosu

for(i=0; i<65536; i++)                //cteni cele pameti
  {
  SPDR = 0x00;                        //generovani signalu SCK
  while( !( SPSR &( 1<<SPIF)))        //testovani predchoziho prenosu
  if( !(SPDR==0xff) )                 //neposilat do pc slova 0xff
        {
        UDR0 = SPDR;                  //odeslani bytu do pc
        while( !( UCSR0A & (1<<UDRE0)) );  //testovani prenosu
        }
  }
  PORTB = 0b01110000;                 //!CS=0

  PORTA=0b000000001;                  //led diody
}
```

Příjem dat se opakuje celkem 65 536 krát, protože se jedná o paměť o velikosti 512 kbit a do ní je možné zapsat 2^{16} bytů.

Před odesláním do přijatého slova na UART je podmínkou kontrolováno, zda přijaté slovo nemá hodnotu 0xff. Při smazání paměti jsou v ní zapsány samé „1“. Pokud měřením nezaplníme celou paměť, budou tato slova odeslána do počítače a uložena ve výstupním souboru.

3 Program

3.1 Vývojový diagram



Obr. 3.1 Vývojový diagram

3.2 Popis programu

V předchozí kapitole byly popsány některé části programu, především pro komunikaci s počítačem a externí EEPROM pamětí. Nyní se zaměřme na celý program. Program musí přijímat věty z GPS modulu, z těchto vět vybírat informace o času, poloze a počtu aktivních družic. Po zpracování jsou data zaslána do EEPROM paměti. Po ukončení měření se data z paměti přečtou a odešlou přes sériovou linku do počítače pro další zpracování.

Program se větví do tří částí. První provádí příjem dat z GPS, jejich zpracování a ukládání do paměti. Druhá větev po ukončení měření, čte data z paměti a odesílá je sériovou linkou do počítače. Třetí maže paměť. To, která část programu bude vykonána, záleží na hodnotě proměnné a. Ta je měněna v programech externího přerušení.

Při stisknutí prvního tlačítka je nastavena na hodnotu 3, tím je splněna podmínka pro mazání paměti. Po smazání paměti je hodnota a vrácena na nulu. Při stisku druhého tlačítka je nastavena na 2, a tím je spuštěno kopírování dat do počítače. Po přečtení celé paměti a odeslání dat do PC je hodnota a vrácena na nulu. Při stisku třetího tlačítka je spuštěno měření (a nastaveno na 1). To probíhá v cyklu, dokud není změněna hodnota a. To lze provést stiskem posledního tlačítka, které nuluje a a tím ukončí měření. Měření také skončí samo, pokud je zaplněna celá paměť.

Při přerušení měření a odpojení napájení by byli vynulovány proměnné, v kterých je uložena adresa posledního uloženého slova. Při opětovném spuštění by program začal zapisovat do paměti od nejnižší adresy a přepsal by tak již naměřená data. Proto jsou dva nejnižší byty v EEPROM paměti vyhrazeny pro ukládání adresy zápisu. Při mazání paměti je na tyto adresy zapsáno slovo 0x0002. Při spuštění měření jsou tyto byty přečteny a uloženy do proměnných adresal a adresah, které slouží k čítání adresy pro ukládání. Po ukončení měření jsou aktuální hodnoty z těchto proměnných zapsány zpět do EEPROM paměti.

3.2.1 Výběr věty GGA z GPS přijímače

Po zapnutí začíná GPS modul sám měřit. Každou sekundu odesílá šest druhů vět s různými informacemi. Kompletní navigační zpráva vypadá takto:

```
$GPGGA,093227.000,4913.8921,N,01634.2085,E,1,07,1.3,348.5,M,43.5,M,0.0,
0000*70<CR><LF>
$GPGSA,A,3,13,07,16,02,04,05,10,,,,,,2.4,1.3,2.0*34<CR><LF>
$GPGSV,3,1,11,13,68,053,33,07,55,181,23,23,43,071,12,04,39,229,23*7A<CR
><LF>
$GPGSV,3,2,11,10,39,301,34,02,35,289,39,08,22,199,,16,18,048,24*76<CR><
LF>
$GPGSV,3,3,11,20,14,130,,05,10,305,27,29,02,345,*40<CR><LF>
$GPRMC,093227.000,A,4913.8921,N,01634.2085,E,0.00,7.33,240510,,,A*64<CR
><LF>
$GPVTG,7.33,T,,M,0.00,N,0.0,K,A*0A<CR><LF>
```

V základním nastavení posílá GPS přijímač jen pět druhů vět, nejsou zasílány věty typu GLL. Pomocí programu SirfDemo lze nastavit výběr vět které mají být zasílány a i přenosová rychlost. Program je sestaven tak, aby nebylo nutné měnit nastavení přijímače a vybírá si jen věty typu GGA. Program zachytává každou větu přicházející z modulu a ukládá si jí do řetězce data[80]. Označení věty je na pozicích 3 až 5. Pro výběr věty stačí kontrolovat, zda jsou na těchto pozicích příslušné znaky. Každá věta má však jinou délku, proto kdybychom přijímali pokaždé všech 80 znaků, uložila by se do řetězce celá věta a ještě část následující. Každá věta je však zakončena znaky konce řádků (<CR> a <LF>). Proto jsou poslední dvě pozice kontrolovány, a pokud na nich jsou uloženy tyto znaky, je příjem věty kompletní a program pokračuje dále. Při přijmu jiné věty než GGA se vrací na počátek cyklu a celý příjem

se opakuje. Při přijmu věty GGA program pokračuje dále. Část programu pro příjem a výběr věty vypadá takto:

```
while( !((data[3]==71) & (data[4]==71) & (data[5]==65)) )  //vyber vety GGA
    {
    for(i=0; i<80; i++)                    //prijem 80 znaku z GPS
      {
      while ( !(UCSR1A & (1<<RXC1)) );     //testovani prenosu
      data[i] = UDR1;                      //ukladani znaku do retezce data
        if( (data[i-1]==13) & (data[i]==10) )  //kontrola poslednich znaku
            i=80;                              //ukonceni zaznamu
      }
    }
```

V prvním cyklu je obsažena podmínka pro výběr věty. Dekadická čísla odpovídají znakům GGA v ASCII tabulce. Pro příjem jiného typu věty stačí přepsat čísla podle tabulky 3.1.

Tab. 3.1 Znaky pro výběr věty protokolu NMEA

data[3]	data[4]	data[5]	Věta
71	71	65	GGA
71	83	65	GSA
71	83	86	GSV
71	76	76	GLL
82	77	67	RMC
86	84	71	VTG

3.2.2 Komprese dat

Pro zvýšení času měření je vhodné neukládat celé věty, ale vybírat jen ty informace, které nás zajímají. Pro naše měření jsou postačující informace o čase, poloze a počtu aktivních družic. Nakonec jsou ještě ukládány znaky konce řádků, které oddělují jednotlivé věty. Konkrétní příklad věty GGA se zvýrazněnými informacemi, které se budou zaznamenávat, vypadá takto:

```
$GPGGA,093227.000,4913.8921,N,01634.2085,E,1,07,1.3,348.5,M,43.5,M,0.0,0000
*70<CR><LF>
```

Program pro výběr dat je tvořen cyklem, který prochází celý řetězec o 80 znacích. Pokud index příslušného znaku splňuje podmínku pro výběr, jsou data odeslána do paměti. Program vypadá takto:

```
for( k=0; k<80; k++)          //projdi vsechny znaky v ulozenem retezci data
    {
    if( ((k>6) & (k<42)) || ((k>43) & (k<47)) || ((k>77) & (k<80)) )
      {
      //následuje program pro ukládání do paměti
      }
    }
```

Uložená zpráva obsahuje i se znaky konce řádků přesně 40 bytů. Pokud zkomprimujeme větu uvedenou výše, budou do paměti zapsány tyto znaky:

```
093227.000,4913.8921,N,01634.2085,E,07<CR><LF>
```

Z nich lze určit:

- čas: 09h 32min 27,000s
- zeměpisná šířka: 49°13,8921’ severní šířky
- zeměpisná délka: 16°34,2085’ východní délky

- počet aktivních družic: 7

Ostatní části programu, jako je práce s pamětí, komunikace pomocí sériového rozhraní, přerušení vyvolané tlačítky, jsou popsány v předchozí kapitole.

4 Měření a vyhodnocení dat

4.1 Postup měření

Přípravek je určen pro měření laboratorní úlohy s názvem: Měření trasy GPS přijímačem a její vyhodnocení.

V první části jsou změřeny dva body metodou průměrování. Doba měření je alespoň 10 minut (-600 naměřených hodnot) na každém bodu. Tyto hodnoty jsou přeneseny do počítače a zprůměrovány. Body slouží jako referenční. Mezi těmito body se projde trasa, kterou je vhodné zvolit tak, aby kopírovala pozemní komunikaci zanesenou v mapě.

Po přenesení dat do počítače, jsou data importována do programu OziExplorer a zobrazena na mapě.

4.2 Zpracování dat

Pro přenesení dat z přípravku do počítače je určen program RealTerm. Pro komunikaci s přípravkem stačí jen nastavit port, přenosovou rychlost 9600 baudu, 8 datových bitů bez parity a jeden stop bit. Program umožňuje ukládat data do textového souboru.

K zpracování dat v počítači je použit program OziExploer. Ten však neumožňuje import vět protokolu NMEA, ani vět ukládaných přípravkem. Data se dají importovat do programu EXCEL a upravit na tento tvar:

```
Waypoint,D,n,dd.dddddd,ddd.dddddd, , ,
```

kde `n` je pořadí bodu, první údaj zeměpisná šířka a druhý zeměpisná délka. Informace zda se jedná o severní či jižní šířku, nebo východní či západní délku se vyjadřují kladným nebo záporným znaménkem před stupni. Pro jižní délku a západní šířku mají zápornou hodnotu, pro severní šířku a východní délku kladnou hodnotu.

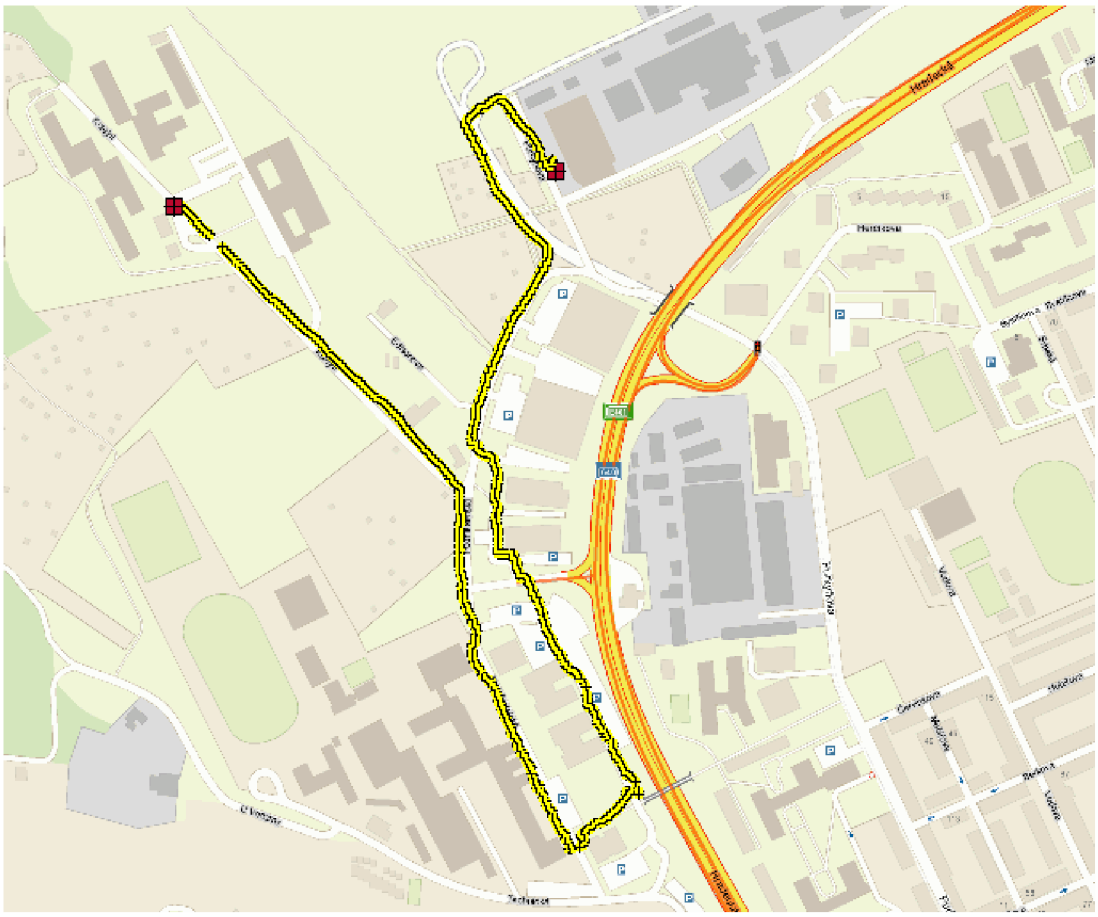
Přepočet polohy z tvaru `ddmm.mmm` (používaný protokolem NMEA), na tvar `dd.dddddd` (používaný programem OziExploer) provádí v programu EXCEL tento vzorec:

```
=((poloha/100-USEKNOUT(poloha/100))*100/60)+USEKNOUT(poloha/100),
```

kde poloha jsou vstupní data ve tvaru `ddmm.mmm`. Funkce `USEKNOUT()` vrací hodnotu čísla s oddělenou desetinou částí.

Po přepočítání hodnot se dokument uloží jako textový soubor. Ten je možné importovat do programu OziExploer. Nejdříve je ale nutné otevřít příslušnou mapu, poté se do ní vloží waypointy. Příklad zobrazení změřené trasy je na obrázku 4.1. Červenými značkami jsou znázorněny referenční body změřené metodou průměrování. Žluté značky tvoří měřenou trasu.

Naměřené hodnoty poměrně přesně kopírují trasu, v některých místech dochází však k výrazným nepřesnostem. Při nahlédnutí do naměřených dat se dá vyčíst, že v těchto místech klesl počet aktivních družic. V některých případech GPS přijímač zasílal informace o tom, že k měření použil i signál ze tří družic a to i přesto, že k určení přesné polohy v systému GPS je zapotřebí alespoň signálu ze čtyř družic. Na trase jsou i místa, kde GPS ztratila signál úplně a přestala zasílat informace o poloze. K těmto případům docházelo především při zastínění výškovými budovami, nebo hustou vegetací.



Obr. 4.1 Zobrazení naměřených hodnot na mapě

4.3 Další možnosti zpracování dat

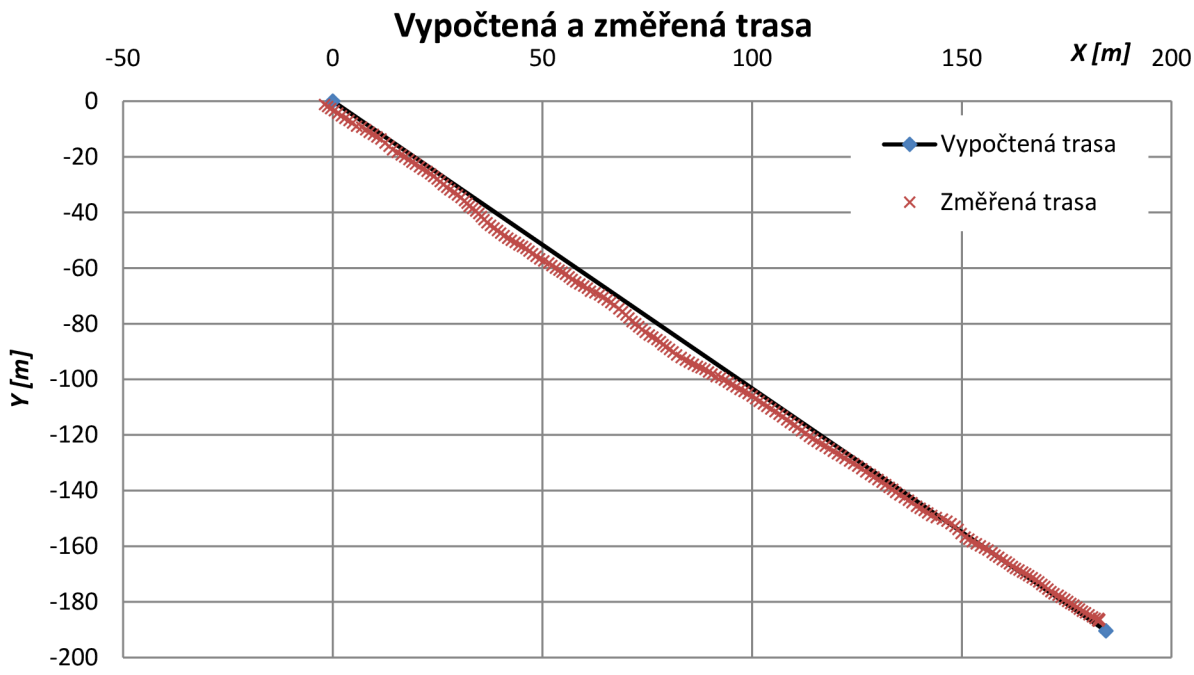
Opět použijeme dva body, jejichž polohu určíme průměrováním. Polohu těchto bodů budeme považovat za přesnou. Body volíme tak, aby mezi nimi bylo možné projít po přímce a vzdálenost mezi body byla desítky až stovky metrů. Po určení referenčních bodů, změříme trasu mezi nimi. Data přeneseme do počítače stejným způsobem, jak bylo popsáno výše a uložíme jako textový soubor.

Pro další zpracování použijeme EXCEL a v něm vytvořený program *vyhodnoceni_mereni*. Slouží především k přepočtu souřadnic ve stupních na souřadnice X;Y v metrech. Pro výpočet je nutné zadat zeměpisnou šířku a zprůměrované souřadnice referenčních bodů. Dále je nutné exportovat data s naměřenou trasou. Zeměpisná šířka je nutná pro přepočet souřadnic, neboť vzdálenost mezi dvěma poledníky je závislá na zeměpisné šířce. Pro naši zeměpisnou šířku 49°14’ je 72,57 km (-1° délky↔72,57 km-). Vzdálenosti mezi rovnoběžkami se nemění a jsou 110,95 km.

Ze dvou referenčních bodů vypočteme rovnici přímky. Tato přímka znázorňuje přesnou trasu a k této přímce budeme počítat vzdálenosti od naměřených bodů podle vztahu:

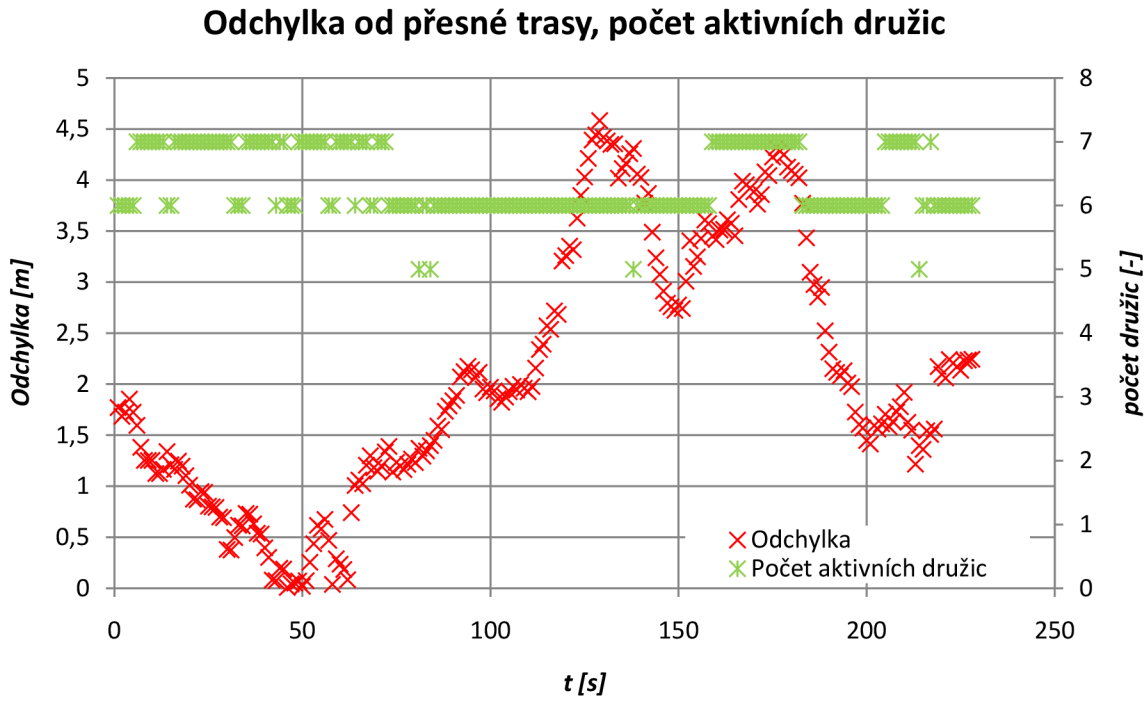
$$\Delta = \frac{|aX_n + bY_n + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \tag{4.1}$$

kde Δ je vzdálenost bodu od přímky, *a, b, c* jsou koeficienty přímky a X_n, Y_n jsou souřadnice bodu. Nyní je možné znázornit vypočtenou trasu s naměřenými hodnotami do grafu:



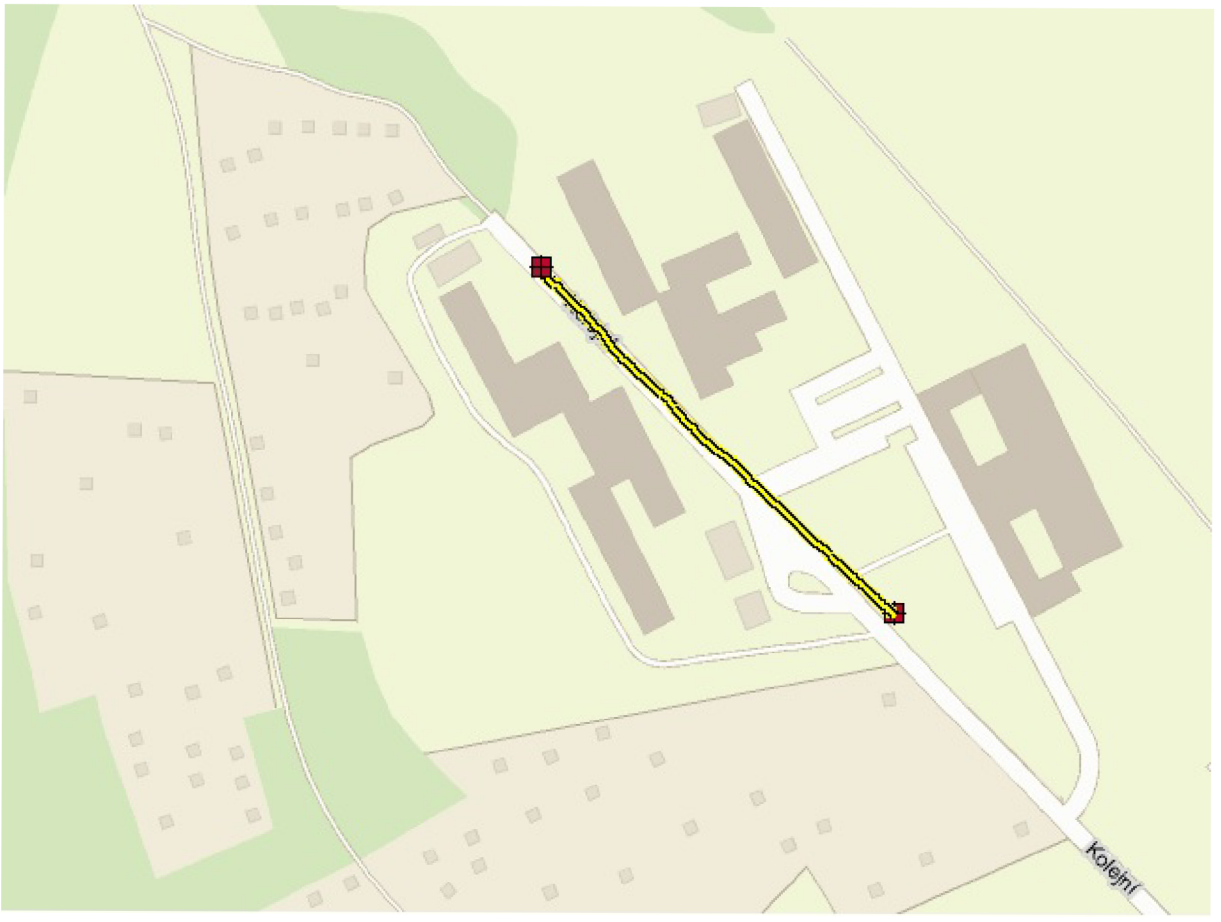
Obr. 4.2 Vyhodnocení změřené trasy

Referenční body jsou v grafu znázorněny modře, černá přímka představuje vypočtenou trasu a červené body jsou změřené souřadnice. V místech, kde se body nejvíce vzdalují od přímky, byl GPS přijímač zastíněn stromy, dosahoval nižší přesnosti, než v otevřené krajině. Závislost odchylky od přesné trasy v čase a počet aktivních družic je znázorněn na obrázku 4.3.



Obr. 4.3 Odchylka od přesné trasy, počet aktivních družic

Maximální odchylka od vypočtené trasy je 4,5 m. Výrobce udává u toho přijímače přesnost určení polohy menší než 2,5m, námi změřená průměrná hodnota je 2,08 m. Při volbě trasy, která by nebyla tak výrazně zastíněna stromy by byla přesnost přístroje vyšší. Na obrázku 4.4 jsou naměřené hodnoty opět importovány do programu OziExplorer a zobrazeny na mapě.



Obr. 4.4 Zobrazení naměřených hodnot (ulice Kolejní)

Závěr

V první kapitole byl popsán základní princip, parametry a metody měření systému GPS. Jsou zde rozebrány i základní typy GPS přijímačů a na základě nich byl vybrán GPS přijímač pro praktickou realizaci GPS sledovacího systému.

V další části je rozebrán vlastní návrh přípravku. Jednotlivé bloky byly navrženy tak, aby splňovaly zadání. Zařízení musí být schopno zaznamenávat průběžně polohu pohyblivého předmětu a ukládat ji do paměti pro další zpracování. Velikost paměti je volena tak, aby bylo možné pořídit alespoň 27 minut záznamu.

Pro zpracování dat a komunikaci s GPS modulem slouží mikrokontroler ATMEGA128. Mikrokontroler má přes SPI rozhraní připojenou externí EEPROM paměť o velikosti 512 kbit. Po stisku tlačítka začne přijímat informace o poloze, komprimovat je a ukládat na paměť. Po ukončení měření se přípravek připojí k počítači a data jsou prostřednictvím obvodu FT232RL (převodník UART/USB) přenesena do počítače

Zařízení je použito pro laboratorní úlohu: Měření trasy GPS přijímačem a její vyhodnocení. S přípravkem se změří metodou průměrování dva referenční body, jejichž poloha se považuje za přesnou. Mezi body je následně zvolena trasa, která se projde se zapnutým přijímačem. Uložené hodnoty se po přenesení do počítače vykreslí prostřednictvím programu OziExplorer do mapy. Další možností měření je zvolit opět dva referenční body, jejichž souřadnice budou změřeny přesně a mezi body projít trasu po přímce. V programu EXCEL lze vyhodnotit odchylku naměřených hodnot od přímky vypočtené z referenčních bodů a z nich vyhodnotit přesnost GPS přijímače.

Byly splněny všechny body zadání. V první části práce je popsán princip GPS systému. Druhá část popisuje hardwarový návrh sledovacího systému. Popsán je i software pro příjem a zpracování dat z GPS přijímače. Poslední kapitola je věnována měření trasy a vyhodnocení naměřených dat. Na základě těchto poznatků byla sestavena laboratorní úloha s názvem: Měření trasy GPS přijímačem a její vyhodnocení.

Literatura

[1] RAPANT, P. Družicové polohové systémy [online]. VŠB-TU Ostrava, 2002. 200 str. ISBN 80-248-0124-8. Dostupné z www: <http://gis.vsb.cz/dokumenty/dns-gps/at_download/file>

[2] MARTÍNEK, J. GPS a komunikační protokol NMEA[online]. Naposled edit.2006-10-10 [cit.2009-12-10], Dostupné z www<http://www.abclinuxu.cz/clanky/ruzne/gps-a-komunikacni-protokol-nmea-3-dekodovani-dat> ISSN 1214-1267

[3] MEHAFFEY,J.BENNETT,P. NMEA data [online]. Naposled edit.2007-10-1 [cit.2009-12-18], Dostupné z www <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>

[4] MATOUSEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL. BEN – technická literatura, Praha, 2006, ISBN 80-7300-174-8

[5] KAPLAN, E. D.,HEGARTY, CH. Understanding GPS: Principles and Applications, 2/E. Norwood: Artech House, 2005. ISBN 1-58053-894-0

[6] Atmel Corporation. ATMEGA128, (září 2009), Dostupné z www < http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?part_id=2018 >

[7] Microchip Corporation. 25AA512, (2008-7-2), Dostupné z www < http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010789 >

[8] Leadtek Corporation. LR9450, (2007-5-21) Dostupné z www < http://www.leadtek.com/eng/gps/download.asp?downlineid=194&pronameid=350&lineid=8&act=3 >

[9] FTDI Chip. FT232RL, (2008-6-7) Dostupné z www < http://www.ftdichip.com/Products/FT232BM.htm>

[10] STMicroelectronics. ST232, (2008-11-2) Dostupné z www < http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/6844/st232ac.htm>

Seznam příloh

Příloha 1 - Obvodové zapojení 1
Příloha 2 - Deska plošného spoje – top 2
Příloha 3 - Deska plošného spoje – bottom 2
Příloha 4 - Seznam součástek 3
Příloha 5 - Osazovací výkres 5
Příloha 6 - Vzorový protokol 6