

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Návrh zařízení pro přenos obrazového signálu pro
dálkově řízené modely

Bc. Pavel Krýda

Diplomová práce
2012

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Krýda**
Osobní číslo: **I10361**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a řídicí technologie**
Název tématu: **Návrh zařízení pro přenos obrazového signálu pro dálkově řízené modely**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Cílem práce je vytvoření systému přenosu obrazu z kamery nesené vzdáleným prostředkem do přijímací stanice. Řídicí systém do přenášeného obrazu zakomponuje informaci o nadmořské výšce, rychlosti a další parametry získané z nesených čidel formou HUD1. Pro přijímací stanici vytvořte vizualizační SW se schopností ukládat průběžně přijímané informace. Pro systém navrhnete prototyp s vhodným procesorem a perifériemi. Zohledněte požadavky na nízkou spotřebu a hmotnost systému.

Součástí práce bude návrh algoritmů přenosu obrazu a sloučení obrazové informace s informacemi ze senzorů.

V průběhu práce bude

- a) využito stávajícího vývojového kitu s výkonným CPU a operačním systémem
- b) navrhnut prototyp zařízení

Zásady pro vypracování:

Práce by měla realizována ve zhruba následujících etapách:

1. Analýza problematiky a rešerše stávajících způsobů řešení.
2. Zprovoznění WiFi modulu a kamery na vývojovém kitu.
3. Otestování přenosu dat pozemní stanicí.
4. Vytvoření vizualizačního programu pro pozemní stanici.
5. Návrh prototypu zařízení a ověření funkce.
6. Optimalizace algoritmu přenosu s ohledem na zpracování v reálném čase.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] Forsyth D., Ponce J.: Computer Vision: A Modern Approach, Prentice Hall, August 24, 2002, ISBN: 0-130851-98-1
- [2] Castleman K.: Digital Image Processing, Prentice Hall, September 2, 1995, ISBN: 01321146754
- [3] Russ J.: The Image Processing Handbook, Fourth Edition, CRC Press LLC, London, 2002, ISBN:0-8493-1142-X
- [4] Klíma M., Bernas M., Hozman J., Dvořák P.: Zpracování obrazové informace, ČVUT Praha 1999, ISBN: 80-01-01436-3
- [5] Žák L.: Shluková analýza I-III., Automatizace 3/47 ? 5/47., Praha 2004

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Dobrovolný, Ph.D.
Katedra elektrotechniky

Datum zadání diplomové práce: 7. listopadu 2011

Termín odevzdání diplomové práce: 18. května 2012



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan

L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2011

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 1. 5. 2012

Bc. Pavel Krýda

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Univerzitě Pardubice za materiální a finanční podporu při realizaci tohoto projektu, bez které by tento projekt vůbec nemohl vzniknout. Za cenné rady při hardwarové realizaci bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Hájkovi a v neposlední řadě Ing. Martinu Dobrovolnému Ph. D. za vedení práce a za morální a odbornou podporu při řešení problémů.

Anotace

Tato práce se zabývá vytvořením systému přenosu obrazu z kamery, nesené vzdáleným prostředkem, do přijímací stanice. První a druhá část se věnuje teoretickému rozboru a návrhu vlastního řešení. Třetí část popisuje seznamuje čtenáře s prostředím Unixového systému a testováním navrhovaného řešení na vývojovém kitu. Hardwarový návrh systému je popsán ve čtvrté části. Vývoj, funkce a nastavení řídicí a klientské aplikace, které do přenášeného obrazu zakomponují informaci o nadmořské výšce, rychlosti a další parametry získané z nesených čidel formou HUD¹, jsou popsány v páté části. V závěru práce byly zhodnoceny výsledky a zkušenosti s vyvinutým systémem.

Klíčová slova

Linux, ARM, WiFi, HUD, kamera

Title

The Design of the System for Transferring Images by Wireless Network from Remote Control Models.

Annotation

This work deals with creating a system of image transfer from a camera mounted on a remote station. The first and second part deal with theoretical analysis and the design of own solutions. The third section describes the Unix system environment and the testing of the proposed solution on a development kit. The hardware system design is described in the fourth part. The information on altitude, speed and other parameters obtained from sensors will be included in the transferred image. The development, function and setting of the control and client applications are described in the fifth section. The results and experience with the system are evaluated at the end of the thesis.

Keywords

Linux, ARM, WiFi, HUD, camera

¹ Head Up Display

Obsah

1 Rozbor zadání práce a analýza dostupných systémů.....	13
1.1 Rozbor zadání.....	13
1.2 Vlastnosti a požadavky na systém přenosu obrazu.....	13
1.3 Rozbor stávajících komerčních řešení.....	14
2 Základní koncepce navrženého systému.....	18
2.1 Systém přenosu obrazu bez operačního systému.....	18
2.2 Použití mikroprocesoru s ARM jádrem a OS.....	18
2.3 Blokové zapojení navrženého systému.....	19
2.4 Výběr použitých komponent.....	21
2.4.1 Výběr procesoru.....	21
2.4.2 Vývojová deska L9260.....	22
2.4.3 WiFi modul.....	23
2.4.4 GPS modul.....	23
2.4.5 USB Hub.....	23
2.4.6 USB kamera.....	24
3 SW příprava vývojové desky.....	25
3.1 Komunikační rozhraní s vývojovou deskou.....	25
3.2 Nastavení toolchain.....	26
3.3 Kompilace jádra Linuxu.....	26
3.4 Kompilace ovladačů pro WiFi modul.....	28
3.5 Kompilace Wireless Tools for Linux.....	30
3.6 Nastavení sítě.....	31
3.7 Kompilace JPEGlib.....	32
3.8 Kompilace MJPG-streamer.....	33
3.9 Nastavení vývojového prostředí Eclipse SDK.....	34
4 HW návrh zařízení.....	36
4.1 Napájení.....	37
4.2 Paměti.....	39
4.3 Rozšiřující konektory.....	40
4.4 Konfigurační propojky.....	41
4.5 Trojrozměrný návrh desky plošných spojů.....	42

4.6 Osazení základní desky.....	42
4.7 Oživení základní desky.....	43
4.7.1 Změna konfigurace jádra Linuxu.....	43
4.7.2 Nahrání startovacích souborů do paměti.....	45
4.7.3 Nastavení zavádění operačního systému.....	45
4.8 Inerciální jednotka.....	46
4.9 Zhodnocení návrhu.....	49
5 Návrh programů pro řízení systému.....	51
5.1 Programové vybavení vzdálená stanice.....	51
5.2 Programové vybavení pozemní stanice.....	53
6 Řešené problémy.....	55
6.1 Zvětšení dosahu WiFi.....	55
6.2 Měření průběhu hodinového signálu pomocí osciloskopu.....	56
6.3 Doporučení pro další replikaci systému.....	58

Seznam zkratek

USB	Universal Serial Bus
ARM	Advanced RISC Machine
BGA	Ball Grid Array
DPS	Deska Pošných Spojů
FPV	First Person View
GCC	GNU Compiler Collection
GNU	GNU's Not Unix
GPIO	General Purpose Input/Output
GPL	General Public License
GPS	Global Positioning System
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
JPEG	Joint Photographic Experts Group
JTAG	Joint Test Action Group
LED	Light-Emitting Diode
MJPEG	Motion JPEG
MMC	MultiMediaCard
NFS	Network File System
PAL	Phase Alternating Line
SD	Secure Digital
SDRAM	Synchronous Dynamic Random Access Memory
SPI	Serial Peripheral Interface
TCP	Transmission Control Protocol
TWI	Two Wire Interface
UDP	User Datagram Protocol
USART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter
WiFi	Wireless Fidelity

Seznam obrázků

Obr. 1- Příklad zobrazení naměřených dat [1].....	14
Obr. 2- Bloková struktura komerčního vysílače FPV systému [2] [21].....	15
Obr. 3- Bloková struktura komerčního přijímače FPV systému [2] [22].....	16
Obr. 4- Blokové schéma navrženého systému.....	19
Obr. 5- Vývojová deska sam9-l9260 [12].....	22
Obr. 6- Logický postup při softwarové přípravě systému.....	25
Obr. 7- Koncepce navrhovaného systému.....	36
Obr. 8- Schéma zapojení napájení.....	38
Obr. 9- Zapojení DataFlash a paměťové karty.....	39
Obr. 10 - Zapojení rozšiřujících konektorů.....	40
Obr. 11- Zapojení USB Host.....	40
Obr. 12- Trojrozměrný model.....	42
Obr. 13- Inerciální jednotka.....	47
Obr. 14- Zapojení gyroskopu.....	47
Obr. 15- Zapojení akcelerometru.....	48
Obr. 16 - Základní deska.....	49
Obr. 17- Kompletně sestavený systém pro přenos obrazu.....	50
Obr. 18- Programová struktura vzdálené stanice.....	51
Obr. 19- Programová struktura pozemní stanice.....	53
Obr. 20- Výsledky experimentálního měření útlumu WiFi modulu.....	55
Obr. 21- Nekvalitně změřený průběh hodinového signálu SDCLK.....	56
Obr. 22- Způsob připojení sondy.....	57
Obr. 23- Změřený průběh signálu SDCLK.....	58

Seznam Tabulek

Tab. 1- Celkové náklady při použití konkrétního komerčního produktu.....	16
Tab. 2- Mapování sériových linek.....	44

Úvod

Cílem práce je vytvoření systému přenosu obrazu z kamery nesené vzdáleným prostředkem do přijímací stanice. Vzdálený prostředek může být jakékoli zařízení, které je schopné tento systém pro přenos obrazu nést. Tento systém by měl pomocí bezdrátové sítě posílat obrazovou informaci z kamery a datovou informaci z GPS modulu a dalších senzorů do pozemní stanice, kde se bude nacházet obsluha nebo pozorovatel. Pozemní stanice příchozí data zpracuje, do obrazu zakomponuje data ze senzorů a zobrazí je na monitor nebo jiné zobrazovací zařízení. Primární určení tohoto systému je pro dálkově řízené modely, proto byly od počátku zohledňovány kritéria jako energetická úspornost, malé rozměry, nízké výrobní náklady, univerzálnost a váha zařízení. První část se věnuje teoretickému úvodu, rozboru a analýzy stávajících řešení.

Ke zpracování této práce mne motivovala možnost vyzkoušet si pohled ze sedadla pilota letadla bez nutnosti v letadle opravdu sedět. Tato práce mne také zaujala svojí komplexností a náročností, protože jsem musel aplikovat veškeré znalosti, které jsem doposud získal jak ve škole, tak mimo ni a realizovat je v praxi do fyzického zařízení. Komplexnost této práce spočívá v prolínání veškerých technických oborů od znalostí z mechaniky, analogové elektroniky přes digitální elektroniku a programování. Další, zdaleka ne však poslední, motivací je možnost vytvořit systém, který si sám od začátku navrhnu, následně osadím a vyrobím a po dokončení mechaniky naprogramuji a oživím. Tato práce pro mne znamená obrovské rozšíření svých znalostí, zkoumání pro mne nových technik a postupů a v neposlední řadě pomoc dalším studentům, kteří moji práci využijí jako startovací bod pro svůj vlastní projekt.

Druhá část vychází z rozboru dostupných řešení a navrhuje nový systém, který kompenzuje některé zjištěné nedostatky stávajících systémů. K prvotnímu návrhu systému je využita vývojová deska, proto se třetí část věnuje jejímu popisu a nastavení jednotlivých vývojových prostředků, které byly použity pro vývoj aplikací, jak pro vzdálenou stanici, tak pro pozemní stanici.

Čtvrtá část se věnuje hardwarové realizaci zařízení, osazení a oživení vzdálené stanice. V této části je také podrobněji vysvětlena funkce a zapojení důležitých komponentů v systému. Implementaci řídicích programů na vzdálené stanici a vizualizačního programu na pozemní stanici zahrnuje pátá část. V této kapitole je také popsáno ovládání a spuštění celého systému.

V závěru této práce jsou shrnuty veškeré splněné a nesplněné cíle, včetně jejich vyhodnocení a případného doporučení pro vylepšení.

1 Rozbor zadání práce a analýza dostupných systémů

1.1 Rozbor zadání

Každý systém pro přenos obrazu se skládá minimálně ze dvou jednotek, často však právě ze dvou, ze vzdálené stanice a pozemní stanice. Pro širokou veřejnost se pro tento systém ujala všeobecná zkratka FPV (First Person View).

Vzdálená stanice je nesená leteckým, nebo jiným dálkově řízeným modelem. Základní verze obsahuje kameru a vysílač s anténou, který je schopný na určitou vzdálenost (dle výkonu) přenést analogová, nebo digitální obrazová data do pozemní stanice. Velmi často je vysílač schopný vysílat také zvukový signál, který je snímán mikrofonním modulem se zesilovačem. Tato koncepce je naznačena na obrázku níže (Obr. 2). Anténa vzdálené stanici nejčastěji všesměrový dipól, protože model může být vzhledem k pozemní stanici v jakékoli poloze.

Pozemní stanice zahrnuje přijímač s anténou, baterii nebo jiný napájecí zdroj a monitor, nebo virtuální brýle určené pro zobrazování přijímaného obrazu ze vzdálené stanice. Pozemní stanice bývá buď statická, nebo pohyblivá, kdy má obsluha veškeré potřebné vybavení připoutané na zádech. Výhodou pohyblivé stanice je možnost uměle prodlužovat dosah tím, že se pohybuje spolu s modelem. Statická pozemní stanice však může být vybavena daleko komplikovanější a těžší elektronikou. Anténa u pozemní stanice není tak omezena velikostí a typem jako na vzdálené stanici. Pro zvětšení dosahu systému je možné experimentovat s tvary a typy antén dle aktuálních povětrnostních a fyzikálních podmínek. V případě statické stanice je možné, ze známé polohy vzdálené stanice, automaticky polohovat směrovou anténu a tím získat zvětšení přijímací vzdálenosti.

Tato práce tedy popisuje realizaci, jak vzdálené stanice, tak pozemní stanice. Celek pak vytváří systém pro přenos obrazu pro dálkově řízené zařízení.

1.2 Vlastnosti a požadavky na systém přenosu obrazu

Protože se jedná bezdrátový systém je jeden z nejdůležitějších požadavků vysoký dosah systému a spolehlivost jako celku. Vzdálená stanice je pak dále omezená velikostí modelu, který ji nese. Vzdálenou stanici je vhodné napájet z odděleného zdroje, protože motory používané například v leteckých modelech způsobují napěťové výkyvy při změně otáček. Tyto napěťové fluktuace by mohly způsobit výpadek nebo pokles kvality signálu sítě. Navíc je třeba aby byl systém pro přenos obrazu na vzdálené stanici napájen co nejmenším napětím. Vyšší napájecí napětí by znamenalo zvětšit počet napájecích článků a tím váhu vzdálené stanice. Cena celého systému zásadně ovlivňuje kvalitu použitých dílů, možnosti dalšího rozšiřování a vylepšení. Jako u každého zřízení je nutné cenu tlačit co možná nejnižší a minimalizovat náklady na montáž a případné opravy. Kvalita přenášeného obrazu je relativní požadavek v závislosti na použití systému. Pokud se přenášený obraz zaznamenává přímo ve vzdálené stanici, stačí přenášet nižší rozlišení, které je nezbytné

nutné pro orientaci pilota. V případě, že vzdálená stanice nedisponuje možností záznamu je nutné přenášet obraz v plné kvalitě, což výrazným způsobem zatěžuje síť. Jako nadstandardní vlastnost je vhodné spolu s obrazem posílat pozemní stanici údaje z nesených senzorů. Pro určení polohy je ideálním řešením GPS modul, který zároveň poskytne informaci o rychlosti, nadmořské výšce a směru pohybu. Běžně dostupné moduly mají obnovovací frekvenci polohy 1 Hz, což je dostačující pro navigaci v automobilu, ale v kombinaci s FPV změna údajů v tak nízké frekvenci působí rušivě, proto je vhodné použít GPS modul s vyšší obnovovací frekvencí. Systém může být doplněn dalšími údaji jako je napětí na bateriích, proudová spotřeba, teplota a další parametry.

Požadavky na systém přenosu obrazu tedy jsou:

- vysoký dosah sítě,
- nízké rozměry,
- nízké napájecí napětí,
- vysoká kvalita obrazu,
- rychlá obnova dat z GPS modulu,
- možnost připojení dalších senzorů,
- nízká cena.

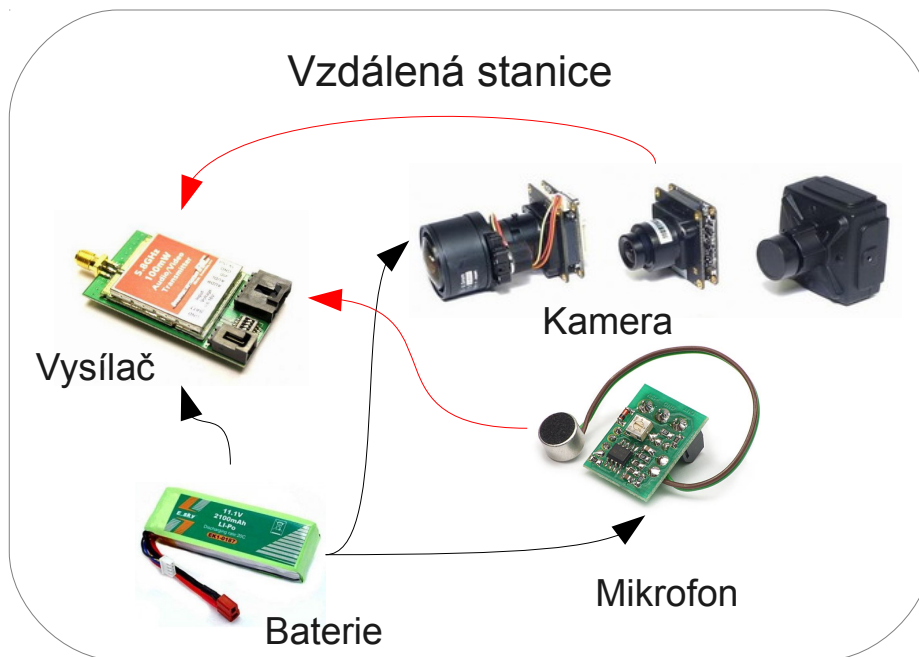
Tyto parametry by měly být vzájemně vyváženy tak, aby bylo celkové řešení optimální v závislosti na požadavcích obsluhy systému. Výsledný obraz by po zobrazení na pozemní stanici mohl vypadat podobně jako na obrázku níže (Obr. 1)



Obr. 1- Příklad zobrazení naměřených dat [1]

1.3 Rozbor stávajících komerčních řešení

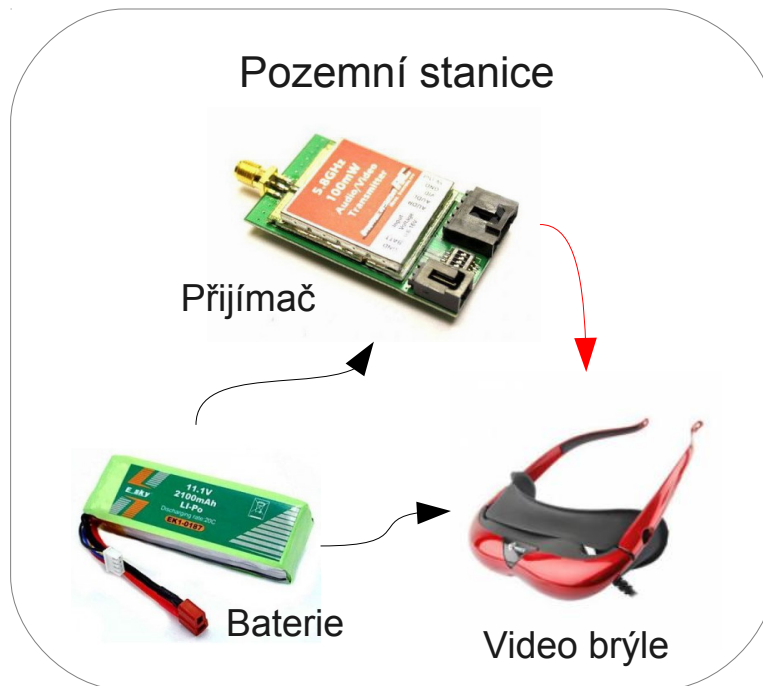
Protože se jedná o velice atraktivní téma (FPV) je tento druh vizualizace velice rychle se rozšiřující mezi modeláři na celém světě. Díky tomuto zájmu vnikly specializované internetové stránky, které nabízejí výrobky umožňující tento systém realizovat. Následující kapitola zkoumá jaké má výhody a nevýhody použití právě těchto komerčně dostupných komponent.



Obr. 2- Bloková struktura komerčního vysílače FPV systému [2] [21]

Základní bloková struktura vysílače je dána obrázkem výše (Obr. 2). Jedná se o nejzákladnější koncepci, kterou je dle požadavků z kapitoly 1.2 nutné doplnit dalšími senzory. Pro výběr komponent byl vybrán anglický internetový obchod [3], který poskytuje kompletní sortiment pro FPV. Jako obrazový snímač byla vybrána kamera SN777 [4], která poskytuje obrazový signál v PAL formátu, při rozlišení 752 na 582 pixelů. Cena této kamery je £81. Další komponentou je audio/video vysílač. Tento prvek zásadně ovlivňuje dosah celého systému, proto byl vybrán výkonnější 100mW model FatShark [5], jehož cena je £54. Tento model poskytuje 5V napájení pro kameru a video vstup je kompatibilní s kamerou SN777. Důležitý je také vstup pro audio kanál, který je možné použít k přenosu zvuku a informací ze senzorů. Doporučené napájení pro tento model je v rozsahu 6 až 16 V. Po připojení baterie a nastavení je tento základní systém schopný již přenášet obraz do pozemní stanice.

Pro vysílání údajů o poloze, napětí, rychlosti a dalších by bylo nutné systém ještě doplnit zařízením EZODS [6], které má za úkol zakomponovat do vysílaného obrazu naměřená data. Tento doplněk se zapojuje mezi kameru a vysílač a je dodáván s vestavěným GPS modulem a modulem pro snímání proudového odběru v palubním rozvodu energie. EZODS disponuje USB portem pomocí něhož je možné měnit parametry zobrazování jednotlivých údajů a také měnit nastavení varování při překročení maximální vzdálenosti. Cena tohoto modulu je £144.



Obr. 3- Bloková struktura komerčního přijímače FPV systému [2] [22]

Na obrázku výše je základní blokové schéma pro přijímací stanici. Jako audio/video přijímač by se mohl použít typ AIRWAVE [7], jehož cena je £35. Jedná se o typ s vysokou citlivostí pro prodloužení dosahu systému a kvality obrazu. Napájení přijímače je dimenzováno na rozmezí 9 V až 12 V. K tomuto přijímači se připojí jakýkoli monitor s analogovým PAL vstupem, nebo virtuální video brýle. Lepším řešením, než skládání pozemní stanice z dílů, je použití hotového kompletního modulu. Jedním takovým může být například FATSHARK DOMINATOR [8]. Jedná se o kompletní řešení pozemní stanice pro FPV. Zahrnuje v sobě přijímač, anténu, zobrazovací jednotku a ovládací prvky. Cena tohoto výrobku je £265.

název	popis	Cena
FATSHARK DOMINATOR	pozemní stanice	£265
FATSHARK	vysílač	£54
SN777	kamera	£81
EZODS	senzory	£144
Celkem: (£1 ≈ 31Kč)		£544 ≈ 17000Kč

Tab. 1- Celkové náklady při použití konkrétního komerčního produktu

V tabulce výše (Tab. 1) jsou uvedeny celkové náklady na realizaci systému pro dálkový přenos obrazu v případě použití komerčních komponent. Toto řešení je spolehlivé, protože se jedná o renomované výrobce. Výhody takového systému jsou:

- **jedná se o otestované a spolehlivé řešení** – při použití komponentů od renomovaných výrobců,

- **minimální rozměry** – komponenty je možné zabudovat do většiny modelů,
- **kompatibilita se standardními kamerami** – pro kamery s PAL výstupem.

Takto sestavený systém sice splní svůj účel, ale má několik nevýhod:

- **pouze jednoúčelové zařízení** – není možné rozšíření o libovolné prvky,
- **komunikace je jednosměrná** – není možná zpětná komunikace se vzdálenou stanicí,
- **vysoké napájecí napětí** – zvyšuje váhu systému,
- **analogový přenos obrazu** – kvalita signálu ovlivňuje jeho kvalitu,
- **absence záznamu** – pro pořízení záznamu musí být připojena videokamera,
- **vysoká cena.**

Uvedené nevýhody jsou poměrně významné, proto byl další vývoj systému směřován na výrobu vlastního systému, který by minimalizoval nalezené nedostatky u komerčního zařízení.

2 Základní koncepce navrženého systému

Tato kapitola se zabývá blokovým návrhem systému pro přenos obrazu a vychází ze zjištěných nedostatků komerčních řešení, které byly popsány v kapitole 1.3. Tyto nedostatky navrhovaný systém minimalizuje, nebo úplně odstraňuje. Na vzdálenou stanici byl naportován Unixový operační systém Debian, z jakého důvodu tak bylo učiněno je popsáno v kapitole 2.2.

2.1 Systém přenosu obrazu bez operačního systému

Splnit zadání této práce by bylo možné několika způsoby. Původně bylo uvažováno použití mikroprocesoru bez operačního systému. Toto řešení by zahrnovalo použití WiFi modulu s nízkourovňovou komunikací po datové sběrnici typu SPI, TWI nebo USART, a použití kamery s paralelním ISI² výstupem nebo s analogovým výstupem. Jednodušší hardwarový návrh takového zařízení je ale vyvážen složitějším naprogramováním a odladěním programu v mikroprocesoru. Bylo by nutné programově realizovat také komunikační protokol na bázi ISO/OSI modelu nebo podobný. Zařízení by bylo jednoúčelové a cenově dražší, protože ve verzi s operačním systémem je možné použít standardní USB periferie pro použití na běžném stolním PC. Jedinou podmínkou je dostupnost ovladačů. Pak není problém USB WiFi modul zprovoznit na vestavěném zařízení.

2.2 Použití mikroprocesoru s ARM jádrem a OS

S rozvojem technologií se vestavěné systémy stávají stále více výkonnějšími a používané programové vybavení stále náročnější na správu a obsluhu, proto je vhodné použít operační systém, který plní funkci supervizora nad prostředky procesoru. Díky komunitě vývojářů unixových operačních systémů, bylo dosaženo značného zjednodušení, protože se podařilo naportovat linuxové jádro na mnoho současných výrobních technologií mikroprocesorů. Mezi nejvýznamnější patří ARM, MIPS, AVR32, Blackfin a další. Největší výhodou je filozofie otevřeného kódu, která se vztahuje na všechny poskytnuté zdrojové kódy pod GNU/GPL licencí.

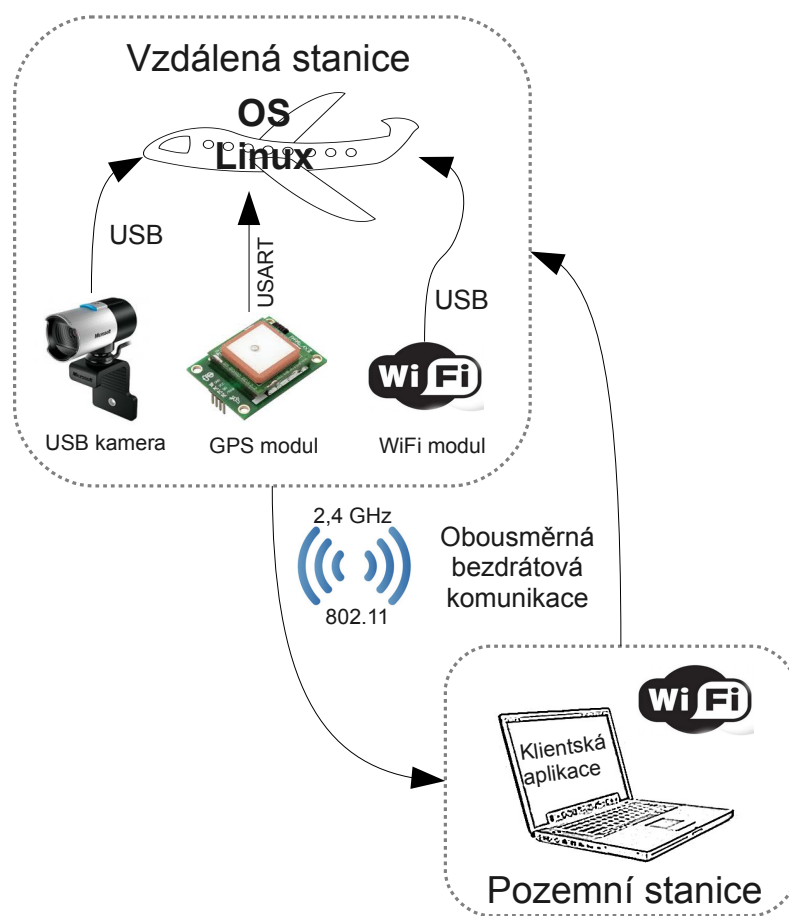
Mikroprocesory s ARM jádrem se rozšířily do mnohých vestavěných zařízení díky své výkonnosti a univerzálnosti. Na světovém trhu existuje několik výrobců, kteří mají v sortimentu mikroprocesory s certifikací ARM. Konstruktor zařízení má možnost vybrat si z mnoha variant, které se liší ve výkonnosti, perifériemi, cenou a dalšími vlastnostmi. Výhody tohoto řešení s OS jsou hlavně extrémní univerzálnost a rozšířitelnost prakticky jakoukoli periférií, která disponuje USB portem, nebo jiným podporovaným rozhraním.

Díky tomu, že je ve vzdálené stanici integrován mikroprocesor, je možné do řídicího algoritmu zakomponovat bezpečnostní kroky při ztrátě konektivity s pozemní stanicí. V případě letadla bezpečně přistát nebo obrátit směr letu do posledního známého místa

s dostatečně silným signálem a v případě automobilu zastavit. Vzdálený systém by mohl být naprosto autonomní a svůj pohyb řídit pouze pomocí dat z GPS a ze zpracování obrazu. Při náhlém povětrnostním poryvu by pomocí detekce horizontu v obrazu z kamery mohla být stabilizována poloha letadla.

2.3 Blokové zapojení navrženého systému

Prvním výrazným nedostatkem v komerčním řešení je prakticky nulová možnost jakkoli přeprogramovat vysílací a přijímací modul. Komunikace v komerčních řešeních je jednosměrná a neumožňuje přímé zpětné řízení polohování serv kamery, zaostřování, zoom či další prvky, které by se mohly ovládat. Z těchto důvodů nebyla využita koncepce přijímač – vysílač, ale komunikace mezi stanicemi byla založena na obousměrné komunikaci pomocí WiFi bezdrátové sítě, která je díky svojí rychlosti schopna přenést velké množství obrazových dat a tím vytvořit iluzi dokonalého zážitku z pohledu kokpitu letadla. Na trhu existuje mnoho variací WiFi modulů lišící se výkonem, zabezpečením a komunikací s nadřazeným prvkem. Protože byl na základní desce instalován operační systém, bylo možné využít standardní USB WiFi modul. Obrázek níže (Obr. 4) naznačuje blokové schéma navrženého systému.



Obr. 4- Blokové schéma navrženého systému

Jako zdroj informací o poloze se využívá GPS modul, který s nadřazeným prvkem komunikuje pomocí sériové linky. Z tohoto důvodu bude muset základní deska obsahovat periférii realizující sériovou linku. Určování polohy pomocí GPS signálu není zcela přesné a závisí na počtu synchronizovaných satelitů, síle signálu a kvalitě GPS modulu. Pro zpřesnění polohy je možné použít další senzory typu akcelerometr, gyroskop, magnetometr a barometrický senzor tlaku. Proto by bylo dobré, kdyby byla schopna vzdálená stanice komunikovat s těmito senzory pomocí sériového rozhraní a byla rozšiřitelná a univerzální.

Další výhodou při použití operačního systému ve vzdálené stanici je možnost použít standardní internetovou kameru s USB komunikačním rozhraním. Tyto kamery jsou podstatně levnější a dostupnější než kamerové moduly typu SN777 (kapitola 1.3). Tyto kamery jsou schopny komprimace obrazu přímo, navíc poskytují obrazovou informaci v digitální formě. Zpracování digitálního obrazu značně zjednodušuje návrh systému, protože není třeba osazovat AD převodník a dále zpracovávat navzorkované hodnoty.

Pro realizaci pozemní stanice může být použit jakýkoliv počítač s nainstalovanou bezdrátovou síťovou kartou. V případě využití přenosného počítače je automaticky vyřešeno i napájení z interní baterie, která zpravidla vydrží déle než potřebnou dobu letu. Zobrazování a vizualizace přijatých dat pomocí bezdrátové sítě je řešena programově, bez nutnosti jakéhokoli další investice či hardwaru. Tímto se značně redukuje náklady na pozemní stanici. Další výhodou je možnost ukládání přijatých dat na pevný disk. V případě použití virtuálních brýlí je možné je připojit pomocí USB portu.

Výhody takto navrženého systému jsou :

- **univerzálnost** – ke vzdálené stanici lze připojit jakékoli zařízení s podporovanou komunikační sběrnici,
- **cena** – použití standardních periférií extrémně snižuje cenu,
- **pozemní stanice** – je řešena programově, což znamená nulové náklady při změně konfigurace,
- **dostupnost dílů** – veškeré komponenty jsou běžně k dostání v počítačových prodejnách,
- **nízké napájecí napětí** – celý systém je napájen pouze 5 V,
- **digitální přenos** – komprimovaný obraz méně zatěžuje síť.

Každý vyvíjený systém má své nevýhody a u tohoto systému to jsou:

- **možný pád operačního systému** – zdrojové kódy operačního systému mají přes 35 tisíc souborů, je tu určité riziko pádu systému vlivem programátorské chyby,
- **komplikovanost** – toto řešení je vhodné pro pokročilejší počítačové uživatele se znalostí elektronických zařízení,
- **ztráta signálu s pozemní stanicí** – obnova síťového spojení je časově náročnější a je jí potřeba programově vyžádat.

Realizace navrženého systému pro přenos obrazu byla rozvržena do těchto kroků:

1. **výběr základních komponent** – více v kapitole 2.4,
2. **naprogramování dílčích částí obsluhy periférií na vývojovém kitu** – tato část zahrnuje seznámení s vývojovým prostředím, programováním aplikací pro vestavěné zařízení, seznámení s použitými komunikačními protokoly a jejich implementaci, seznámení s architekturou vestavěného zařízení,
3. **hardwarový návrh vlastní desky** – tento krok se zabývá fyzickou realizací desky plošných spojů pro vestavěné zařízení s Unixovým operačním systémem, osazením základní desky a její oživení,
4. **naprogramování aplikace pro pozemní stanici** – tato část je věnována popisu hlavní aplikace na pozemní stanici, její struktuře a ovládání,
5. **otestování systému** – poslední část se zabývá vylepšením parametrů přenosu a řešením vzniklých problémů.

2.4 Výběr použitých komponent

Pro hardwarovou realizaci byly vybrány komponenty tak, aby splňovaly požadavky z kapitoly 1.2 a byly vhodné pro použití v navrhovaném systému dle kapitoly 2.3. Zároveň bylo třeba vybírat takové komponenty, aby byla zaručena jejich dostupnost, nebo nahraditelnost v budoucnu při případné replikaci zařízení popisovaného v této práci.

2.4.1 Výběr procesoru

Pro hardwarovou realizaci byl vybrán mikroprocesor AT91sam9260, který tvoří hlavní prvek celého zařízení. Tento mikroprocesor disponuje USB host periférií, bohužel v pouzdru TQFP208 jenom s jedním vyvedeným USB portem, proto musel být použit rozšiřující USB HUB, jak je uvedeno v kapitole 2.4.5. Největším pozitivem, který tento mikroprocesor vyzdvihuje nad ostatní je dostupnost v pouzdru LQFP208, které se lehce zapájí v amatérských podmínkách. Výrobce tohoto mikroprocesoru (Atmel) poskytuje množství dokumentů zabývajících se návrhem desky plošných spojů [9]. Další pozitivní vlastnost je cena a dostupnost vývojových desek. Na tento mikroprocesor bylo již naportováno linuxové jádro, což usnadnilo programové oživení základní desky.

Základní vlastnosti mikroprocesoru AT91SAM9260 [10] jsou:

- 180 MHz ARM926EJ-STM ARM® Thumb® Processor ,
- 8 KBytes Data Cache, 8 KBytes Instruction Cache, MMU ,
- CompactFlash, SLC NAND Flash s ECC ,
- Dvě 4KB SRAM,
- jednu 32KB interní ROM, vestavěný bootstrap program.

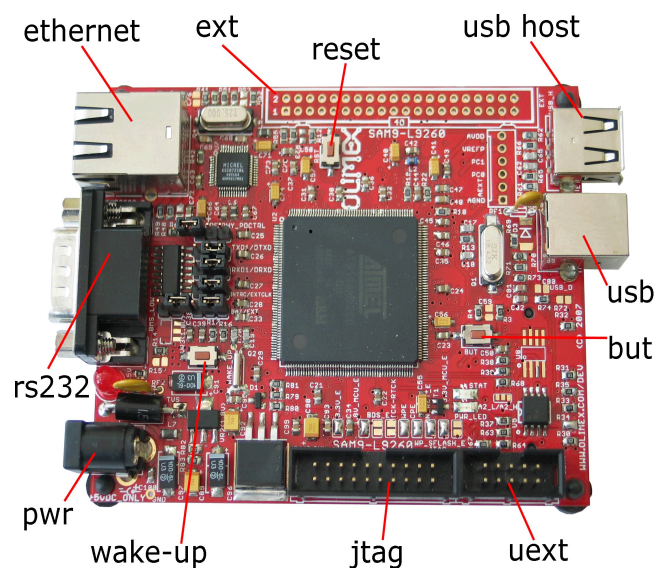
Základní periférie jsou:

- ITU-R BT. 601/656 Image Sensor Interface ,

- USB Device a USB Host,
- 10/100 Mbps Ethernet MAC řadič,
- 2x Master/Slave Serial Peripheral Interfaces ,
- 2x 32-bit čítač/časovač ,
- Two-wire Interface (I2C),
- 4x USART,
- 2x UART,
- 4 kanálový 10-bit ADC ,
- 96 programovatelných I/O linek s přepínatelnými periferiemi .

2.4.2 Vývojová deska L9260

Pro počáteční ověření funkčnosti navrhovaného systému byl vybrán vývojový kit Olimex sam9-l9260, protože je osazen stejným procesorem jako základní deska navrhovaného systému. Identicky se zadáním práce byly napsány dílčí podprogramy pro komunikaci po sériové lince, TCP klient, TCP server a UDP klient, které byly odzkoušeny na PC a následně optimalizovány pro použití na vestavěném zařízení a odzkoušeny. Programové přípravy kytu se podrobněji věnuje kapitola 3.



Obr. 5- Vývojová deska sam9-l9260 [12]

Vývojová deska sam9-l9260 (Obr. 5) je dodávána s CD diskem, který obsahuje zdrojové soubory Linuxového jádra 2.6, komprimovaný kořenový souborový systém a další soubory potřebné pro obnovení smazaných, nebo poškozených dat na vývojové desce. Přímou na vývojové desce je připravený operační systém připravený k použití. Tyto soubory byly také využity pro vyrobený systém přenosu obrazu pro bezdrátové modely.

Jedná se nízko-nákladovou vývojovou desku, která je osazena 64 MB SDRAM, 512 MB, 2 MB DataFlash. Pro komunikaci s okolím disponuje Ethernetovým připojením, USB Host a USB Device konektorem. Pro správu operačního systému je možné využít integrovanou sériovou linku standardu RS-232. Uživatelská data mohou být ukládána na SD/MMC kartu, která má připravený konektor na spodní straně vývojové desky. Vetším rozšiřujícím portem je 40-ti pinový konektor, který je označen jako EXT a sdružuje volné GPIO³ piny. Konektor s názvem UEXT obsahuje sériové sběrnice (USART, SPI, TWI).

2.4.3 WiFi modul

Další použitou periferií je WiFi modul EW-7811Un, který je připojen k zařízení USB Hub. Jedná se o miniaturní model, který je schopný komunikovat po bezdrátové síti rychlostí až 150Mbps, při rozměrech 17 mm na 12 mm a váze 0,6 g bez krytu. Dalším pozitivním parametrem pro výběr tohoto modulu je dostupnost zdrojových kódů ovladače, tím se naskytuje možnost upravit ovladač pro individuální potřebu aplikace, nebo v případě problémů s ovladačem samotným.

2.4.4 GPS modul

GPS modul slouží k určení polohy pomocí družicové satelitní navigace. Pro tuto práci byl vybrán průmyslově vyráběný modul VIA GPS Module [13], který byl zbaven plastových krytů. Protože se jedná o modul určený pro spojení s počítačem pomocí technologie Bluetooth, byly vyvedeny vodiče RX, TX a GND mimo GPS modul, které se spojí s konektorem pro GPS modul na základní desce. Tento modul dokáže současně přijímat signál z dvanácti satelitů. Další pozitivní vlastností je integrovaná baterie, která zachovává v paměti poslední nalezené satelity a tím urychluje synchronizaci při dalším zapnutí. Původně byla baterie z modulu také odstraněna a napájení přivedeno z konektoru základní desky, ale vyhledávání satelitů bez uložených posledních dat trvalo kolem 15-ti minut v závislosti na síle družicového signálu. Z tohoto důvodu byla baterie nainstalována zpět. Nevýhoda tohoto modulu je automatické vypnutí při nespárování s PC pomocí Bluetooth, kterou se podařilo odstranit pouze vytvořením Bluetooth páru s pozemní stanicí. Z těchto důvodů nemůže být vybraný GPS modul doporučen pro další replikaci systému, pro vývoj je však dostačující a byl použit.

2.4.5 USB Hub

Mikroprocesor AT91SAM9260 disponuje pouze jedním vyvedeným USB portem, proto bylo nutné použít rozšiřující USB modul. Původně byla zamýšlena konstrukce vlastního USB hubu, ale cena a rozměry standardně prodávaných modulů jsou tak malé, že by výroba vlastního modulu byla neekonomická. Pro tuto práci byl vybrán USB hub [14], který při rozměrech základní desky 37 mm na 22 mm váží pouze 10 g. Tento miniaturní modul podporuje USB standard 2.0 a 1.1 a poskytuje USB připojení pro webkameru, USB WiFi modul, Flash disk s kořenovým souborovým systémem a jeden USB port je volný.

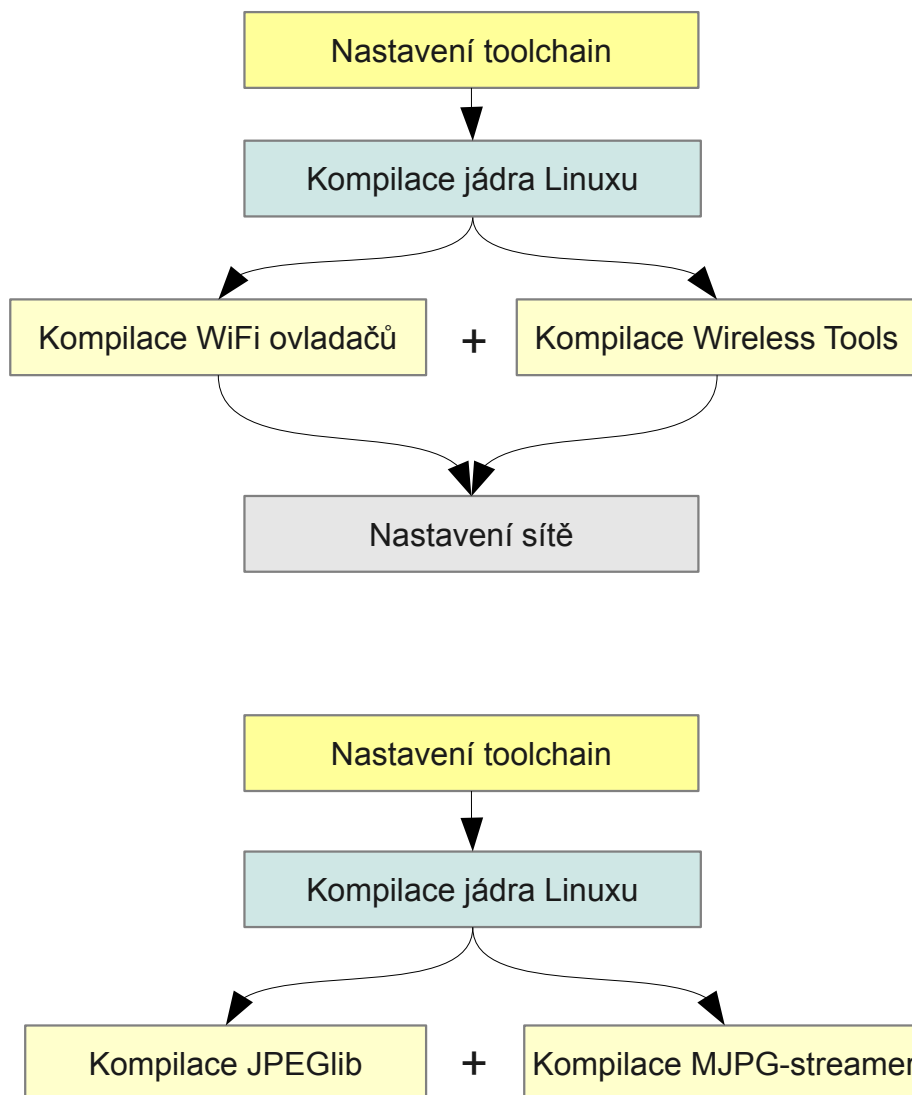
3 General Purpose Input/Output – zkratka pro univerzální vstupně výstupní piny mikroprocesoru

2.4.6 USB kamera

Původní vybraná USB kamera FaceCam 1320 se neosvědčila, protože se nepodařilo upravit ovladač kamery pro vestavěné zařízení tak, aby z ní bylo možné vyčíst větší rozlišení než 160 na 120 pixelů. Tento model také nekomprimuje obraz přímo v kameře, ale je nutné jej zkomprimovat v programové smyčce obsluhy kamery, což vyčerpává prostředky operačního systému. Z těchto důvodů byla pro další vývoj vybrána nová kamera Logitech c210 [15]. Jedná se o USB kameru, která komprimuje snímáný obraz do formátu MJPEG o frekvenci 25 snímků za sekundu při maximálním rozlišení 640 na 420 pixelů. Pro tuto kameru navíc nejsou nutné ovladače, protože podporuje přímo Linux UVC driver.

3 SW příprava vývojové desky

Tato práce má zároveň sloužit jako výukový materiál pro předmět zabývající se použitím a programováním vestavěných systémů. Jednotlivé kapitoly se zabývají dílčími úkoly, kde je popsána podstata problému, podrobné nastavení a použití unixových příkazů. Kapitoly také obsahují odkazy na literaturu pro další studium problematiky, pokud je třeba.



Obr. 6- Logický postup při softwarové přípravě systému

3.1 Komunikační rozhraní s vývojovou deskou

Pro samotnou komunikaci se zařízením se využívá sériová linka, proto je nutné doinstalovat komunikační terminál na PC stanici, která se využívá pro komunikaci s vestavěným zařízením. Jedním z vyhovujících je program *Minicom*, který se po instalaci

implementuje do konzolového terminálu operačního systému. Instalaci komunikačního terminálu lze jednoduše provést přes aplikaci Centrum softwaru pro Ubuntu. Pro spuštění komunikačního terminálu lze kdekoli v systémovém terminálu zadat příkaz:

```
paik@paik-F5R:~$ minicom -s
```

Následuje spuštění komunikačního terminálu, kde je třeba vyplnit parametry komunikace dle nastavení v kitu. K identifikaci sériového zařízení lze použít příkaz *dmesg*, který provede výpis *message bufferu* jádra. Po připojení převodníku USB na sériovou linku může výpis vypadat následovně:

```
[ 4956.976103] USB Serial support registered for pl2303
[ 4956.976158] pl2303 4-2:1.0: pl2303 converter detected
[ 4956.997680] usb 4-2: pl2303 converter now attached to ttyUSB0
[ 4956.997899] usbcore: registered new interface driver pl2303
[ 4956.997907] pl2303: Prolific PL2303 USB to serial adaptor driver
```

Z tohoto výpisu je nejdůležitější poznámka o připojení převodníku na port *ttyUSB0*, který je nutné nastavit v parametrech komunikace.

3.2 Nastavení toolchain

Toolchain je souhrnné pojmenování pro sadu nástrojů, která je určena pro urychlení vývoje aplikací. Toolchain pro vývojový kit sam9-l9260 je dodáván na přiloženém CD. Tato verze codesourcery-armgcc-2009q1 byla používána pro veškerý další vývoj aplikací pro vestavěné zařízení. Zkomprimovaný soubor stačí rozbalit do libovolné (*/home/paik/bin*) složky před křížovou kompilací aplikace pro vestavěné zařízení a provést změnu proměnných *PATH*, *ARCH* a *CROSS_COMPILE*, která může být provedena ručně pomocí příkazu:

```
paik@paik-F5R:~/bin/$ PATH=$PATH:$HOME/bin/codesourcery-armgcc-
2009q1/bin/:$HOME/bin
paik@paik-F5R:~/bin/$ export PATH
paik@paik-F5R:~/bin/$ export ARCH=arm
paik@paik-F5R:~/bin/$ export CROSS_COMPILE=arm-none-linux-gnueabi-
```

nebo jednodušeji spuštěním předpřipravených nastavení pomocí příkazu:

```
paik@paik-F5R:~/bin/$ source
/home/paik/bin/linux_cross_compile.sourceme
```

který všechny změny proměnných provede automaticky v jednom kroku. Nastavení proměnných musí být provedené ve stejném okně terminálu jako pro samotnou křížovou kompilaci.

3.3 Kompilace jádra Linuxu

Vývojový kit SAM9-L9260 je dodáván s předpřipraveným operačním systémem Debian GNU/Linux 5.0, který je nahrán do paměti DataFlash. Výchozí nastavení jádra obsahuje všechny základní příkazy potřebné pro běžnou správu systému, síťové komunikace

a standardních periférií. Výchozí nastavení však neobsahuje moduly pro komunikaci s video zařízeními a ovladače pro testovanou web-kameru. Existuje několik možností jak video zařízení na unixovém systému zprovoznit a to napsáním vlastního ovladače kamery a následně zavedení do jádra jako modul, nebo použití neustále vyvíjené aplikace *Video4linux* určené pro správu multimediálních zařízení.

Video4linux je rozhraní pro komunikaci s ovladači hardwaru kamer, TV tunerů a dalších multimediálních zařízení, které se v současnosti již nepoužívají. Veškeré zdrojové kódy jsou volně dostupné na stránkách vývojářské komunity⁴. Pomocí standardních funkcí lze nastavovat parametry jako je rozlišení, snímací frekvence, barevné schéma, saturaci, jas a mnoho dalších parametrů popsaných v manuálu. Použití tohoto rozhraní značně zjednodušuje použití kamery v operačním systému, protože komunikace je otestovaná a univerzální pro mnoho typů kamer od různých výrobců⁵.

Instalace V4L by byla možná jako modul do jádra, který by se při každém startu vestavěného systému zaváděl. Modul pro jádro se vytvoří pomocí křížové kompilace na hostujícím PC. Při této kompilaci se využívají kompilátory dodávané spolu se zdrojovými kódy jádra. Kompilace by teoreticky byla možná i na vestavěné platformě, ale byla by zdlouhavá, protože ARM procesory většinou nedosahují takového výkonu jako PC. Další možností je kompilace celého jádra se zapnutou podporou multimediálních zařízení. Tento postup je nejjednodušší v případě omezených znalostí o struktuře unixových programů, protože není nutné složitě upravovat *Makefile* jako v případě křížové kompilace modulu a veškeré zdrojové kódy jsou připraveny v zdrojové složce operačního systému, ze kterého se vytváří jádro pro vestavěný systém.

Nejprve je třeba rozbalit zdrojové kódy Linuxu 2.6.31-rc3 dostupné na datovém médiu dodávaném společně s kitem. Do této verze je vývojová deska SAM9-L9260 zakomponována do oficiálních verzí a není nutné upravovat nastavení konfiguračních souborů ani instalovat opravy (patche). Po rozbalení je nutné zálohovat soubor výchozí konfigurace jádra, které je primárně nahráno v kitu. Celý souborový strom má pro zjednodušení orientace pevně danou strukturu, která zjednodušuje orientaci ve zdrojových souborech. Soubor výchozí konfigurace se nachází v cestě */arch/arm/configs/sam9_l9260_defconfig*. Dále je nutné se v terminálu přepnout na místo, ve kterém se nachází zdrojové kódy jádra. Editaci nastavení konfiguračního souboru je možné provést ručně, nebo pomocí grafických pomůcek jako je *menuconfig* nebo *xconfig*. Podpora těchto grafických rozhraní není v různých verzích vždy zaručena. Zadáním příkazu:

```
paik@paik-F5R:~/dipomka/OlimexSource/linux-2.6$ make xconfig
```

se spustí grafické rozhraní, kde je po načtení výchozí konfigurace možné přidávat požadované funkce jádra. Přidání se provádí buď zaškrtnutím sekce, což přidá funkci

4 Zdrojové kódy dostupné na <http://www.ideasonboard.org/uvc/#download>.

5 Seznam podporovaných kamer dostupný na <http://www.ideasonboard.org/uvc/>.

do jádra, nebo po druhém kliknutí se funkce sice zkompile, ale po spuštění vestavěného systému je nutné tuto funkci ručně nahrát do jádra. Pro podporu multimediálních zařízení byly vybrány všechny možnosti v sekci *Multimedia support*. Zahrnutí všech typů driveru nebylo nezbytné, ale vytvoří se tím možnost testovat více typů kamer bez nutnosti rekompile celého jádra. Po dokončení úprav byl uložen konfigurační soubor a v terminálu se zadáním příkazu:

```
paik@paik-F5R:~/dipomka/OlimexSource/linux-2.6$ make uImage
```

spustí samotná kompilace jádra. Doba trvání kompilace se pohybuje kolem deseti minut v závislosti na rychlosti počítače a na množství přidávaných vlastností jádra. Po dokončení se obraz jádra nachází v adresáři */linux-2.6/arch/arm/boot*. Soubor s názvem *Image* je nekomprimované jádro a soubory *zImage* a *uImage* jsou komprimovaná jádra různými technikami. Komprimace se používá z důvodu rychlejšího zapsání a čtení jádra z paměti, protože přesun *uImage* do SDRAM a rozbalení je rychlejší než přesun nekomprimovaného jádra *Image* do SDRAM.

3.4 Kompilace ovladačů pro WiFi modul

Kompilace ovladačů pro USB WiFi modul byla velice důležitým bodem, protože spolehlivost síťového spojení je ve smyslu této práce kritická. Kompilace originálních ovladačů stažených ze stránek výrobce [16] proběhla úspěšně ale síť vykazovala vysoké výkyvy odezvy a často selhalo celé jádro nebo se ovladač vůbec nenačetl správně a vyvolal chybu „*Kernel Panic*“, která zapříčinila pád celého systému. Z tohoto důvodu byly staženy nejnovější ovladače dostupné online [17]. S těmito ovladači je připojení k síti stabilní a spolehlivé.

První krok bylo rozbalení kořenového souborového systému dodávaného na CD disku společně s vývojovým kitem sam9-19260. Rozbalení bylo provedeno z terminálu, protože je nutné jej rozbalovat s právy superuživatele. Pokud by dekomprimace souborů probíhala s právy běžného uživatele, ve složce */dev/* by se nevytvořili všechny potřebné soubory. Rozbalování s právy superuživatele však přepíše veškerá práva všech souborů, proto je třeba zpětně změnit nastavení souboru */etc/securetty*, který obsahuje seznam přístupových bodů odkud je možné se přihlásit do operačního systému. Z hlediska bezpečnosti tento soubor musí být jen pro čtení, pokud tomu tak není superuživatel se nemůže přihlásit do systému, přestože přístupový bod, ze kterého se pokouší přihlásit (např. *ttyS0*) je v seznamu povolených přístupových bodů. Nastavení souboru se provede příkazem:

```
paik@paik-F5R:~/dipomka/OlimexSource/sam9-19260-rootfs/etc$ sudo chmod 644 securetty
```

V takto rozbaleném kořenovém souborovém systému je možné provádět libovolné změny a následně ho zkopírovat na paměťové médium (jako superuživatel) a připojit k vestavěnému systému.

Křížová kompilace tohoto ovladače využívá zdrojové soubory Linuxového jádra, z tohoto důvodu bylo nutné vytvořit aktuální nastavení pro vestavěný systém dle kapitoly 3.3. Dále bylo nutné odstranit neplatné symbolické odkazy na zdrojové soubory jádra originálního kořenového souborového systému. Tento krok se provede příkazem :

```
paik@paik-F5R:/$ rm /home/paik/dipomka/OlimexSource/sam9-19260-  
rootfs/lib/modules/2.6.31-rc3-olimax/build
```

```
paik@paik-F5R:/$ rm /home/paik/dipomka/OlimexSource/sam9-19260-  
rootfs/lib/modules/2.6.31-rc3-olimax/source
```

Na místo těchto neplatných odkazů byly vytvořeny symbolické odkazy na aktuální zdrojové kódy Linuxového jádra pomocí příkazu:

```
paik@paik-F5R:/$ ln -s /home/paik/dipomka/OlimexSource/linux-2.6  
/home/paik/dipomka/OlimexSource/sam9-19260-rootfs/lib/modules/2.6.31-  
rc3-olimax/build
```

```
paik@paik-F5R:/$ ln -s /home/paik/dipomka/OlimexSource/linux-2.6  
/home/paik/dipomka/OlimexSource/sam9-19260-rootfs/lib/modules/2.6.31-  
rc3-olimax/source
```

Posledním krokem byla úprava souboru *Makefile* v zdrojových kódech ovladače USB WiFi modulu. Výrobce přímo nepodporuje používaný vestavěný systém v této práci, proto bylo nutné upravit platformu pro kterou byl driver zkompileován na řádku 37 :

```
CONFIG_PLATFORM_I386_PC = n  
CONFIG_PLATFORM_ANDROID_X86 = n  
CONFIG_PLATFORM_ARM_S3C2K4 = n  
CONFIG_PLATFORM_ARM_PXA2XX = n  
CONFIG_PLATFORM_ARM_S3C6K4 = y
```

a také nastavení cesty ke zdrojovým kódům jádra na řádku 272 :

```
ifeq ($(CONFIG_PLATFORM_ARM_S3C6K4), y)  
EXTRA_CFLAGS += -DCONFIG_LITTLE_ENDIAN  
ARCH := arm  
CROSS_COMPILE := arm-none-linux-gnueabi-  
#KVER := 2.6.34.1  
KSRC ?= /home/paik/dipomka/OlimexSource/sam9-19260-  
rootfs/lib/modules/2.6.31-rc3-olimax/source  
endif
```

Následně byla provedena samotná křížová kompilace pomocí příkazů:

```
paik@paik-F5R:~/dipomka/WiFi/RTL8192CU../driver/rtl8192..$ make clean  
paik@paik-F5R:~/dipomka/WiFi/RTL8192CU../driver/rtl8192..$ make
```

Vytvořený soubor *8192cu.ko* je jaderným modulem, který byl zkopírován do vestavěného zařízení a zaveden pomocí příkazu :

```
sam9-19260:/# /sbin/insmod 8192cu.ko
```

Po připojení USB WiFi modulu do USB konektoru se ovladač aktivuje a jeho pomocí je možné konfigurovat nastavení sítě. Pokud ve vestavěném zařízení není binární soubor `iwconfig` a `iwlist` je nutné je zkompileovat a přidat do systému dle kapitoly 3.5.

3.5 Kompilace Wireless Tools for Linux

Wireless Tools je sada nástrojů, která poskytuje možnost jednodušeji nastavovat parametry bezdrátového adaptéru dostupná online [18]. Jedná se o aplikaci pod licencí GPL, která poskytuje otevřený zdrojový kód s určitými právy. Výhoda těchto nástrojů je variabilita použití pro odlišná bezdrátová zařízení a možnost změny parametrů bez nutnosti restartovat celý operační systém. Pro tuto práci byla využita verze Wireless Tools 29, jejíž upravené a přeložené zdrojové kódy jsou dostupné na přiloženém DVD k této práci.

Pro kompilaci pro vestavěný byl upraven soubor `Makefile` ve adresáři se zdrojovými kódy Wireless Tools. Tento soubor je původně určen pro instalaci na PC, proto byla upravena hodnota `PREFIX` na řádce 8, hodnota `CC` na řádce 14 a `BUILD_STATIC`. Upravený soubor po upravě obsahuje :

```
## Installation directory. By default, go in /usr/local.
## Distributions should probably use /, but they probably know
better...
ifndef PREFIX
    PREFIX = /home/paik/dipomka/WiFi/wireless_tools.29/build
endif

## Compiler to use (modify this for cross compile).
CC = arm-none-linux-gnueabi-gcc

## Uncomment this to build tools using static version of the library.
## Mostly useful for embedded platforms without ldd, or to create
## a local version (non-root).
BUILD_STATIC = y
```

Hodnotu `PREFIX` by bylo možné nastavit do složky `/usr/local/` kořenového souborového systému vestavěného zařízení z kapitoly 3.4. Tím by se instalace provedla přímo a nebylo by nutné ruční kopírování vytvořených souborů. Kompilace Wireless Tools byla provedena příkazem:

```
paik@paik-F5R:~/dipomka/WiFi/wireless_tools.29$ make clean
paik@paik-F5R:~/dipomka/WiFi/wireless_tools.29$ make install
```

Po dokončení překlada se ve složce `PREFIX` vytvoří manuálové soubory, binární soubory, hlavičkové soubory a knihovna `libiw.a`. Všechny tyto soubory byly nakopírovány do `/usr/local/` kořenového souborového systému ve vestavěném zařízení pomocí paměťové karty. Vytvořené binární soubory jsou určeny pro správu bezdrátového zařízení následovně:

- `iwconfig` pro nastavení základních parametrů sítě (ESSID, frekvence, módu, ...),
- `iwlist` pro skenování v dosahu sítě a výpis parametrů nalezených síťových zařízení,
- `iwpriv` pro manipulaci s privátním nastavením ovladače,
- `iwspy` pro zjištění stavu a kvality sítě,

- *ifrename* pro přejmenování zařízení (umožňuje zpětnou kompatibilitu).
Podrobnějšímu nastavení síťového adaptéru se věnuje kapitola 3.6.

3.6 Nastavení sítě

Aby byla zaručena možnost přihlášení do operačního systému ve vestavěném zařízení pomocí bezdrátové komunikace, bylo nutné zařídit automatické zavedení modulu ovladače a automatické nastavení sítě ihned po startu operačního systému. Při startu operačního systému dochází k vykonání skriptů, které jsou umístěny ve složce */etc/init.d/*, proto zde byl vytvořen soubor *startupScript.sh*. Tento soubor byl vytvořen textovým editorem *pico* na vestavěném zařízení a obsahuje seznam skriptů uložených v domácím adresáři, které se mají automaticky vykonat (spustit) při startování operačního systému. Obsah tohoto souboru je :

```
#!/bin/bash
echo "startuji auto skript"
cd /home/olimex/
./zavedeniWifi.sh
./nastaveniWifi.sh
```

Všechny takto vytvořené skripty bylo nutné nastavit jako spustitelné pomocí příkazu:

```
sam9-19260:/# chmod +x /etc/init.d/startupScript.sh
```

Další krok bylo vytvoření skriptu, který automaticky zavede ovladač bezdrátového zařízení, proto byl vytvořen spustitelný skript *zavedeniWiFi.sh* jehož obsah byl:

```
#!/bin/bash
echo "Zavádím WiFi driver"
insmod /home/olimex/8192cu3.ko
lsmod
sleep 3
```

Posledním vytvořeným spustitelným skriptem byl *nastaveniWiFi.sh*, který obsahuje:

```
#!/bin/bash/
echo "Nastavuji WiFi";
ip addr flush wlan0;
ip address add 10.0.1.2/8 brd + dev wlan0;
ip address list wlan0;
ip link set wlan0 up;
sleep 3;
/usr/local/sbin/./iwconfig wlan0 essid ARMSite mode ad-hoc;
sleep 4;
/usr/local/sbin/./iwconfig wlan0;
```

Tento skript vytvoří síť v módu Ad-Hoc, kde má vestavěné zařízení adresu 10.0.1.2/8. Aktivitu sítě naznačuje blikající modrá led na použitém USB WiFi modulu. Pokud je na vestavěném zařízení povoleno *ssh*, je možné se do systému přihlásit pomocí příkazu:

```
paik@paik-F5R:/$ ssh root@10.0.1.2
heslo: olimex
```

Po zadání hesla může uživatel spravovat vestavěný systém na dálku bez nutnosti galvanického spojení se zařízením.

3.7 Kompilace JPEGlib

Instalace tohoto balíčku je nutná v případě použití USB kamery s RAW výstupem a MJPG-streameru. Knihovnu JPEGlib používá výstupní modul pro ztrátovou komprimaci obrazových RAW z kamery. Zdrojové kódy jsou volně dostupné na internetu [19]. V této práci byla využita verze knihovny 8c, která je přiložena na DVD disku. Tyto zdrojové kódy je nutné zkompileovat pro vestavěný systém a výslednou knihovnu vložit do složky `/usr/lib/`, kde se nachází sdílené knihovny, nebo ji zkompileovat jako nesdílenou knihovnu a přiložit ji přímo do složky s výstupními a vstupními moduly MJPG-streameru. Postup s nesdílenou knihovnou byl využit v této práci, proto bude dále popsán.

Nejdříve bylo nutné nastavit proměnné pro křížovou kompilaci, což je podrobněji popsáno v kapitole 3.2. Veškeré další příkazy se provádí pomocí terminálu v místě, kde byly rozbaleny zdrojové kódy JPEGlib. Zdrojovou složku je před kompilací dobré vyčistit od pomocných a nepotřebných souborů, které se vytvářejí při kompilaci. To se provede příkazem:

```
paik@paik-F5R:~/dipomka/Kamera/jpeg-8c-jpeglib$ make distclean
```

Dále bylo provedeno vygenerování *Makefile* pomocí příkazu:

```
paik@paik-F5R:~/dipomka/Kamera/jpeg-8c-jpeglib$ ./configure
--prefix=/home/paik/dipomka/Kamera/jpeg-8c-jpeglib/build/ \
--build=i686-pc-linux-gnu --host=arm-none-linux-gnueabi \
--target=arm-none-linux-gnueabi
```

který nastaví parametry křížové kompilace pro vestavěný systém. Samotná kompilace se spustí příkazem:

```
paik@paik-F5R:~/dipomka/Kamera/jpeg-8c-jpeglib$ make install
```

Tento příkaz vytvoří hlavičkové soubory, manuálové stránky, sdílené knihovny a binární soubory a nakopíruje je do připravené složky *build* zadané parametrem `--prefix`. Obsah složky *build* by bylo nutné nakopírovat do kořenového souborového systému vestavěného zařízení `/usr/`, pokud by uživatel chtěl tyto sdílené soubory využívat v jiných aplikacích. V této práci je bude využívat pouze MJPG-streamer, který byl zkompileován staticky, proto tento krok nebyl nutný. Po nakopírování souborů by bylo nutné ještě zadat příkaz *ldconfig*, který vytvoří symbolické linky pro sdílené knihovny, tak aby mohly být používány v různých aplikacích. Pokud by linkování na sdílenou knihovnu nefungovalo bude nutné příkazem:

```
sam9-19260:/# cat /etc/ld.so.conf
```

zkontrolovat zda soubor *ld.so.conf* obsahuje složku s nakopírovanou knihovnou *libjpeg.so.x.x*.

3.8 Kompilace MJPG-streamer

Původní program s názvem MJPG-streamer vyvinul Tom Stoeveken. Jeho zdrojové kódy jsou volně dostupné pod licencí GPLv2, které je možné stáhnout⁶. Jedná se aplikaci, která stahuje obrázky v JPEG formátu nebo RAW⁷ formátu z digitálních kamer kompatibilních s Linux UVC a sdílí je pomocí výstupního pluginu na síť nebo souborový systém. Vstupních a výstupních modulů je více verzí. Vždy se vybere pouze jeden vstupní a jeden výstupní podle požadavků. Výstupní pluginy poskytují sdílení obrazového proudu pomocí HTTP protokolu, UDP protokolu, sdílení do složky a další. Vstupní modul poskytuje možnost stahovat obrázky z kamery, souborového systému a dalších zdrojů.

Pro tuto práci byl využit vstupní modul *input_uvc.so*, který je schopný načíst obrázek z UVC kompatibilní kamery se zadanou obnovovací frekvencí, rozlišením, kvalitou a dalšími vlastnostmi. Tento modul je schopný komprimovat odrazová data v RAW formátu JPEG ztrátovou kompresí při definované kvalitě. Komprimace je obzvláště vhodná pokud kamera poskytuje pouze obrazová data ve formátu RAW, který není vhodný pro sílení obrazu po síti. Výstupní modul byl zvolen *output_udp.so*, který bylo nutné upravit. Původní verze ukládala obrázek přímo na disk v klientském počítači a to pouze po příchodu příkazu na uložení. Tento způsob sdílení byl nevhodný, proto byl tento výstupní modul upraven tak, aby obrazová data posílal pomocí UDP datagramu klientské stanici, která datagram dále zpracuje. Upravené zdrojové kódy pro kompilaci na vestavěné zařízení jsou dostupné na DVD disku, který je přiložen k této práci.

MJPG-streamer byl nejdříve zkompilován pro PC, protože je ladění aplikace pohodlnější než na vestavěném zařízení. Po odzkoušení funkčnosti byla provedena křížová kompilace pro vestavěné zařízení, která se skládala z několika kroků. První krok bylo nastavení proměnných dle kapitoly 3.2. Dále byl pozměněn *Makefile* v hlavním adresáři. Křížová kompilace se provádí na PC, proto byly provedeny tyto změny:

```
# specifies where to install the binaries after compilation
DESTDIR = $(PWD)

# set the compiler to use
CC = arm-none-linux-gnueabi-gcc

# define the names and targets of the plugins
PLUGINS = input_uvc.so
PLUGINS += output_udp.so
PLUGINS += output_http.so
```

Další změna byla provedena v souboru */mjpg-streamer/plugins/input_uvc/Makefile*, kde byly přidány cesty k hlavičkovým souborům *JPEGLib* z kapitoly 3.7.

```
# Zmena kompilatoru
CC = arm-none-linux-gnueabi-gcc
```

6 Zdrojové kódy dostupné na: <http://sourceforge.net/projects/mjpg-streamer/develop>

7 Surová data ze snímáče

```
# Pridani hlavickovych souboru
CFLAGS += -O1 -DLINUX -D_GNU_SOURCE -Wall -shared -fPIC
-I/home/paik/dipomka/Kamerka/jpeg-8c-jpeglib

# Pridani knihoven
LFLAGS += -L/home/paik/dipomka/Kamerka/jpeg-8c-jpeglib \
-l:$(PWD)/libjpeg.so.8
```

Editaci souboru *Makefile* vyžadují také použité výstupní pluginy *output_udp* a *output_http*. Po těchto úpravách je možné již celý MJPG-streamer zkompileovat pomocí příkazu:

```
paik@paik-F5R:~/dipomka/Kamerka/mjpg-streamer$ make clean
paik@paik-F5R:~/dipomka/Kamerka/mjpg-streamer$ make
```

Ty vytvoří v hlavním adresáři binární soubor *mjpg_streamer* a knihovny *input_uvc.so* a *output_udp.so* a další volitelné moduly, pokud byly zvoleny pro kompilaci. Tyto soubory byly nakopírovány do vestavěného zařízení spolu s knihovnou *libjpeg.so.8.0*.

Spuštění sdílení obrazových dat bylo provedeno příkazem:

```
sam9-19260:/home/olimax/mjpgStreamer# export LD_LIBRARY_PATH="$(pwd) "
sam9-19260:/home/olimax/mjpgStreamer# ./mjpg_streamer
-i "input_uvc.so" -o "output_http.so -p 8080"
```

Pokud byla kompilace úspěšná, lze se na sdílená data po nastavení sítě z kapitoly 3.6, podívat v jakémkoli internetovém prohlížeči zadáním adresy *http://10.0.1.2:8080/?action=stream*.

3.9 Nastavení vývojového prostředí Eclipse SDK

Vývoj aplikací pro vestavěné zařízení probíhal na PC a po odladění byl zkompileován pro vestavěné zařízení. Pro zrychlení vývoje byl pro tuto část využit vývojový nástroj Eclipse Galileo verze 3.5.2, který byl nainstalován pomocí aplikace Centrum softwaru pro Ubuntu. Toto vývojové prostředí (IDE) je určeno pro vývoj aplikací v jazyce Java, jeho flexibilita však umožňuje doinstalování podpory pro ostatní jazyky jako je C++, C nebo PHP. Velkou výhodou je také multiplatformnost.

Pro aplikace určené pro PC nebylo třeba nic upravovat, pro zahájení byl vytvořen nový projekt v jazyce C „Hello world!“, který má připravenou šablonu pro vytvoření. Protože bylo potřeba ladit aplikace jak pro platformu PC, tak pro vestavěný systém byl vytvořen nový profil pomocí správce nastavení projektu (levý Alt + Enter). Následně v záložce *C/C++ Build* a stisknuto tlačítko *Manage configurations*, kde byl vytvořen nový profil s názvem ARM. V záložce *C/C++ Build* bylo také nutné v podkategorii *Settings/Tool Settings* nastavit příkaz pro *GCC C Compiler* z hodnoty *gcc* na hodnotu *arm-none-linux-gnueabi-gcc*. Obdobě bylo nastavení změněno také pro *GCC C Linker* a *GCC Assembler*. Poslední úpravou je přidání proměnné *PATH* v záložce *C/C++ Build* a podkategorii *Environment*. Proměnná *PATH* byla naplněna hodnotou:

```
/home/paik/bin/codesourcery-armgcc-2009q1/bin:
```

Tato hodnota označuje cestu k binárním souborům toolchainu. Následně byla přepnuta aktivní konfigurace pro sestavení z profilu *DEBUG* na *ARM*, která byla vytvořena ručně. Po sestavení (Ctrl + B) vznikl v projektu binární soubor *hello* – [*arm/le*] spustitelný na vestavěném zařízení.

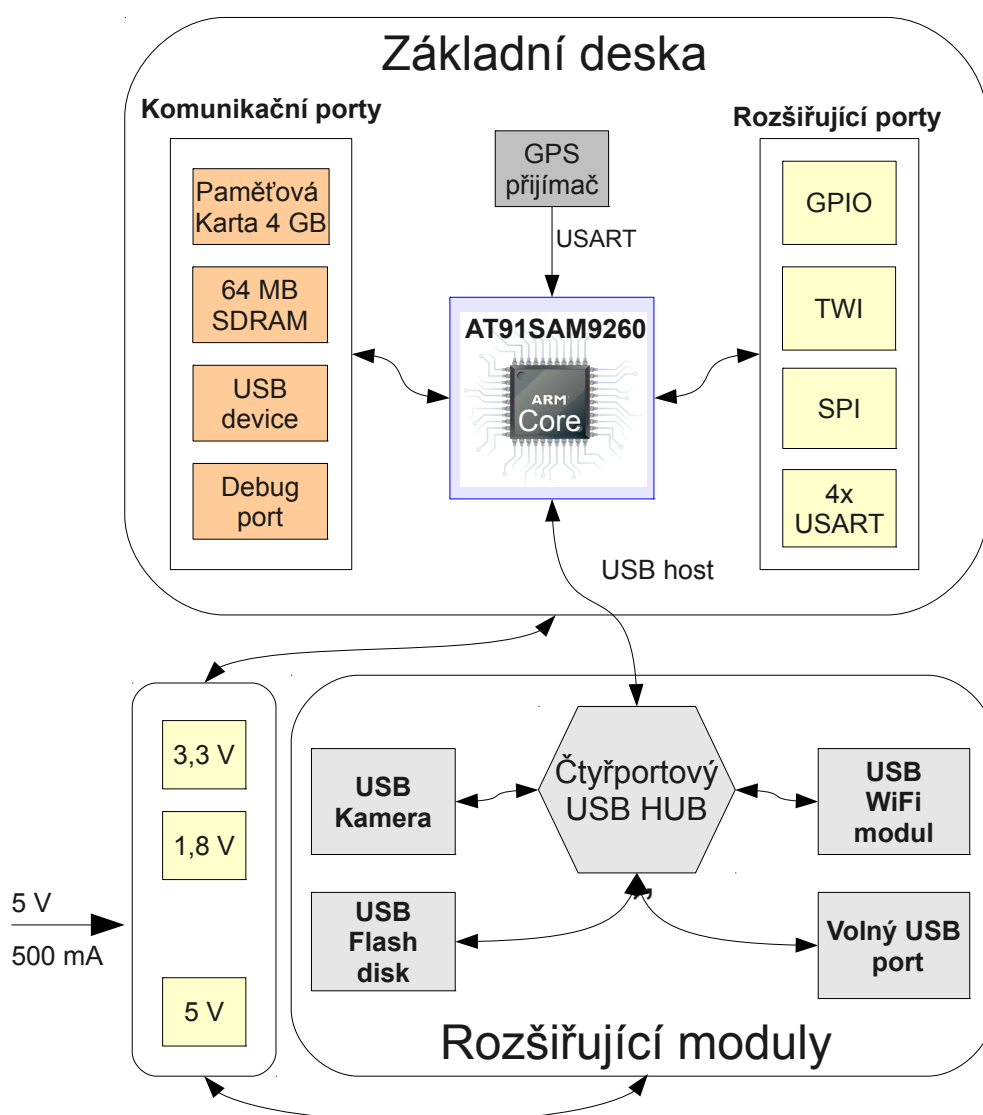
Ladění aplikace umožňuje vývojové prostředí Eclipse i na vzdáleném zařízení. Na vestavěném zařízení byla nastavena síť dle kapitoly 3.6. Zkompilovaný soubor pro platformu ARM byl zkopírován do vestavěného systému a spuštěn pomocí příkazu:

```
sam9-19260: gdbserver 10.0.1.1:2001 hello
```

Tento příkaz se připojí na server (PC) s IP adresou 10.0.1.1 na port 2001. Tyto parametry bylo třeba nastavit také v IDE. V menu *Run* byla zobrazena nabídka *Debug configuration*, kde byla změněna hodnota *Build configuration* z *DEBUG* na *ARM* v záložce *Main*. Dále bylo nutné změnit hodnotu *Debugger* z *gdb/mi* na *gdbserver Debugger* v záložce *Debugger*. Tímto krokem se vytvořila nová záložka *Connection*, kde bylo třeba vyplnit typ spojení TCP, IP adresu na zařízení, na kterém je spuštěna vzdálená aplikace a číslo portu. Poslední změnou nastavení byla úprava cesty k *GDB Debuggeru* z *gdb* na */home/paik/bin/codesourcery-armgcc-2009q1/bin/arm-none-linux-gnueabi-gdb*. Toto nastavení se nachází na stejné úrovni jako nastavení spojení (záložka *Main*). Nyní bylo možné již spustit ladění, jak na straně PC, tak na straně vestavěného zařízení. Tento postup byl odzkoušen jako funkční, ale nebyl využíván, protože veškerý vývoj aplikací bylo možné otestovat přímo na platformě PC. Možnost vzdáleného ladění je však nutná pokud je vyvíjená aplikace přímo vázaná na hardware vestavěného zařízení (časovač, sériová linka, GPIO, ...).

4 HW návrh zařízení

Dle vytyčených cílů je součástí práce vyrobení prototypu zařízení. Protože primární určení tohoto systému je pro dálkově řízené modely, bylo nutné vzít v úvahu váhu zařízení a rozměry. Energetická spotřeba byla dalším faktorem ovlivňující návrh, protože systém bude napájen z bateriových článků. Výběr komponentů byl proveden také dle ceny při kusovém odběru.



Obr. 7- Koncepte navrhovaného systému

Základní bloková koncepce je uvedena na obrázku výše (Obr. 7). Základní desku tvoří mikroprocesor a externí paměti SDRAM, které bylo nutné umístit na spodní stranu plošného spoje z důvodů zmenšení velikosti celé základní desky a zkrácení vodivých cest pro adresové a datové vodiče. Na základní desce je také umístěn konektor pro GPS

přijímač, který v sobě zahrnuje pouze sériovou linku. Dalším rozšiřujícím konektorem je UEXT, který sdružuje sériové sběrnice USART, TWI a SPI. Tento konektor je kompatibilní s konektory vývojové desky sam9-l9260. Posledním rozšiřujícím konektorem je EXP. PORT, zahrnující dvanáct GPIO pinu, sériovou linku, dva vstupy pro integrovaný analogově číslicový převodník, referenční vstup převodníku a napájení.

Periferie USB device je vyvedena na Micro USB konektor. Tento port slouží k počátečnímu nahrání bootstrap, U-Boot, uImage souborů do sériové paměti AT45DB161D-SU (dále DataFlash paměti). Na základní desce je také umístěn USB Host konektor, který slouží k připojení USB zařízení. V tomto případě byl využit pro připojení USB HUBu, který spojuje kameru, Flash paměť s kořenovým souborovým systémem a WiFi modul.

Základní deska musela být navrhována jako čtyřvrstvá, protože bylo třeba zajistit kvalitní rozvod napájení pomocí nízkoimpedančních sítí a zároveň dodržet malé rozměry. Tato verze také značně zjednodušuje samotné kreslení desky plošných spojů, protože je možné napájení realizovat pouze prokovkou přímo u nožičky mikroprocesoru, což je také žádoucí, protože se tím dosáhne minimální délky přívodu napájení k napájecím pinům součástky. Zbývající dvě vrstvy (TOP, BOTTOM) jsou využity pro signálové vodiče a prázdná místa byla vyplněna uzemněnou rozlitou mědí.

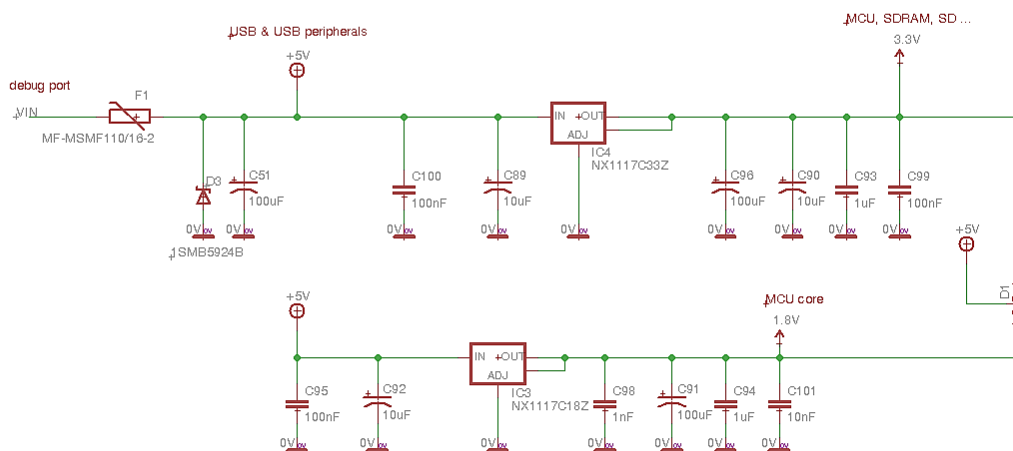
4.1 Napájení

Původně bylo napájení navrženo s rozmezím 7 V až 14 V, které bylo stabilizováno na 5 V a následně rozvedeno do napájecí sítě k dílčím stabilizátorům. Toto řešení se v průběhu návrhu desky plošných spojů ukázalo jako nevhodné, protože nebylo jasné z jakého napájecího zdroje (baterie) bude napájeno. Navíc v době návrhu nebyl ještě znám přesný odběr celého zařízení tak, aby bylo možné dostatečně dimenzovat chladicí plochu pro stabilizátor. V důsledku nedostatku místa na desce plošných spojů, výšky pouzdra stabilizátoru a velkých rozměrů chladicí plochy pro vyšší napájecí napětí byl ze základní desky vypuštěn. Celý systém lze napájet pomocí stabilizovaného externího 5 V zdroje. Proudový odběr celého systému v chodu nepřesahuje 500 mA, což je dostatečně nízký proudový odběr, aby bylo možné stanici provozovat po dobu letu. Stabilizaci napětí z dvoučlánkové Li-pol baterie lze provést pomocí běžného 1 A stabilizátoru LM7805 v pouzdře TO220 s dostatečně dimenzovaným chladičem.

Mikroprocesor pro svojí funkci vyžaduje napájení 1,8 V, které se využívá pro napájení jádra a 3,3 V pro napájení periferií a ostatních funkčních bloků. Napájecí napětí 3,3 V je taktéž využíváno všemi ostatními periferiemi jako je DataFlash, SDRAM, paměťová karta a rozšiřující konektory, proto byla distribuce napájení provedena pomocí nízkoimpedanční sítě ve vnitřní vrstvě.

Hlavní napájecí konektor je sdružen s *Debug portem*, ze dvou důvodů. První důvod je úspora místa na DPS a druhý je potřeba pouze jednoho kabelu při připojení k terminálu operačního systému před tento konektor. Napájecí síť je chráněna vratnou PTC pojistkou,

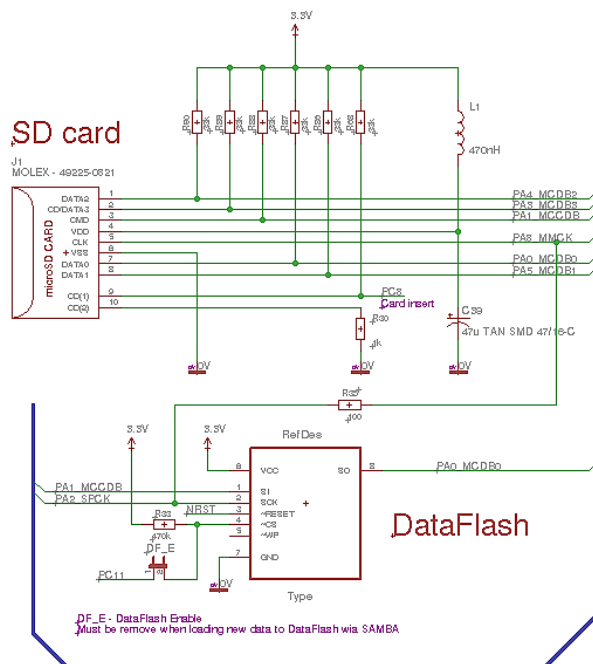
kteřá je dimenzována na proud menší než 1,1 A. Tato hodnota je dostačující pro celý systém v plném chodu. Jako velice jednoduchá a základní ochrana proti přepólování a přepětí slouží kombinace elektronické PTC pojistky F1 a Zenerovy diody D3. Pokud by se dostalo na napájecí konektor vyšší napájecí napětí než 5,6V dojde nárůstu proudu a následnému rozpojení pojistky. Při přepólování je situace obdobná, je třeba ale zdůraznit, že se do napájecí sítě dostane napětí opačné polarity odpovídající úbytku na Zenerově diodě D3 v propustném směru. Dále následuje kondenzátor C51, který je společný pro všechny napájecí sítě a slouží jako hlavní zdroj energie v proudových špičkách. Napájecí napětí 5 V se dále využívá jenom pro připojení USH HUBu a není dále nijak upravováno.



Obr. 8- Schéma zapojení napájení

Napájecí sítě pro jádro mikroprocesoru a ostatní periferie byly zapojeny dle obrázku výše (Obr. 8). Jedná se o standardní doporučené zapojení stabilizátoru NX1117CxxZ. Protože byla použita pouzdra SOT223, které mají velice nízký odvod tepla bez chladiče, muselo být odvedeno do plochy pod stabilizátorem, která je vytvořena rozlitou mědí. Toto zapojení je ještě doplněno o filtrační kondenzátory různých hodnot pro pokrytí veškerých fluktuací napájecího napětí. Zemnicí a napájecí plocha je umístěna na vnitřních vrstvách a vytváří další filtrační kondenzátor, který se chová jako lokální zdroj energie pro napájecí vstupy mikroprocesoru a paměti. Filtrační kondenzátory omezují parazitní indukčnost spojů vedoucí k součástce.

4.2 Paměti



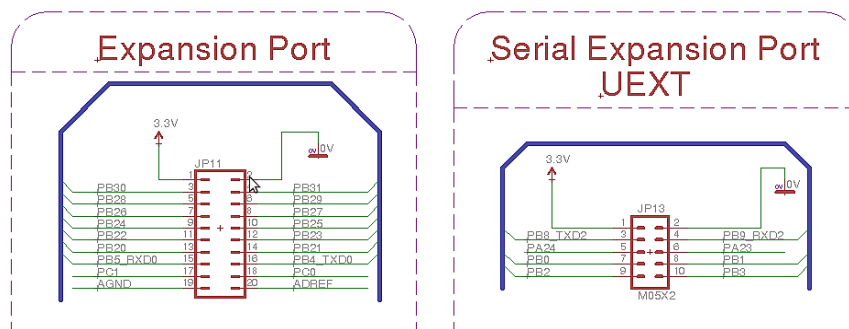
Obr. 9- Zapojení DataFlash a paměťové karty

Paměti jsou na základní desce celkem tři typy. První typ je sériová paměť AT45DB161D označována jako DataFlash. Tato paměť je kompatibilní se sériovým rozhraním SPI. Její kapacita 16 Mb je dostatečná pro nahrání programů potřebných pro správný start celého systému. Tato sériová paměť je připojena na stejnou sběrnici jako paměťová karta (Obr. 9), pouze oba typy pracují v odlišném módu (1 bitový a 4 bitový). Paměť DataFlash nemá zapojenou ochranu proti přepsání, proto je možné kdykoli změnit její datový obsah.

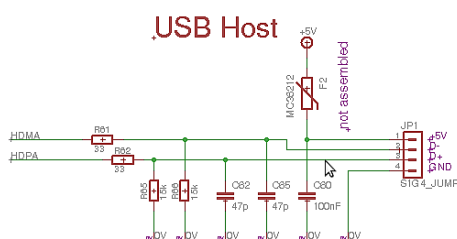
Základní deka disponuje 64 MB operační paměti typu SDRAM, což je dostatečně velký prostor pro běh operačního systému a aplikací pro realizaci funkce přenosu obrazu. Pro tento návrh byly vybrány cenově a běžně dostupné paměti IS42S16160D. Paměti jsou zapojeny v konfiguraci 16 Mb x 16 b, kde jedna tvoří horní část datového slova o šířce 32 b a druhá tvoří jeho spodní část.

Z důvodů úspory finančních prostředků nebyla použita NAND paměť na desku plošných spojů, ale díky modularitě Linuxu byl prostor pro kořenový souborový systém linuxového operačního systému umístěn na USB flash disk, kde je také umístěné jádro Linuxu.

4.3 Rozšiřující konektory



Obr. 10 - Zapojení rozšiřujících konektorů



Obr. 11 - Zapojení USB Host

Základní deska byla osazena čtyřmi rozšiřujícími konektory, aby byla zajištěna rozšiřitelnost a modularita pro jiné aplikace. Hlavní expanzní port obsahuje 12 GPIO pinů, sériovou linku, 2 AD vstupy převodníku, vstup referenčního napětí pro AD převodník a napájení. Sériový rozšiřující port sdružuje sériovou linku, TWI a SPI. V této práci je využít pro připojení inerciální jednotky, která komunikuje se základní deskou pomocí sériové linky nebo TWI. Všechny konektory jsou osazeny typem FEMALE, tak aby nemohlo dojít ke zkratu při náhodném kontaktu s vodivým předmětem. Posledním rozšiřujícím portem je konektor, který obsahuje pouze sériovou linku a napájecí napětí 3,3 V určené pro napájení GPS modulu.

Periferie USB host je vyvedena na konektor JP1 (Obr. 11). Hostitelský USB port spojuje kořenový rozbočovač a transceivery spolu s připojenými USB zařízeními. Tato periferie poskytuje až 127 vysokorychlostních poloduplexních sériových sběrnic schopných komunikovat dle specifikace USB 2.0. Přenosová rychlost může dosáhnout až 12Mb/s a lze připojit zařízení typu klávesnice, myš, tiskárna, externí disk a mnoho dalších podporujících OpenHCI⁸. Napájení USB zařízení je chráněno vratnou proudovou pojistkou 300 mA, která zvýší svůj odpor při překročení tohoto nominálního proudu.

8 Open Host Controller Interface specifikace pro USB

4.4 Konfigurační propojky

Základní deska obsahuje několik pájitelných propojek, které se využívají pro pevnou konfiguraci vlastností zapojení. Ve stávající verzi DPS není ladící JTAG port využíván, proto je konfigurační vstup JTAGSEL stažen odporem na zem. Jednotlivé signály JTAG rozhraní jsou vyvedeny na pájitelné plošky na spodní straně DPS, které je nutné napájet k redukci pro standardní JTAG konektor. V případě použití JTAG by bylo nutné zkratovat propojku JP4 a odstranit odpor R1.

Základní deska je osazena základní filtrací napájení pro analogově číslicový převodník. Současná verze DPS má galvanicky spojenou analogovou a digitální zem. Pokud by bylo žádoucí (např. z důvodu rušení) tyto zemní potenciály galvanicky oddělit, bylo by nutné odstranit odpor R18 s nulovou hodnotou.

Odpor R21, který je připojen k vstupnímu pinu BMS (Boot Mode Select), určuje z jaké paměti bude vykonán program zavaděče. Jako úložiště bootstrap a U-Boot programů se používá externí DataFlash paměť, proto byl tento vstup připojen přes odpor k napájecímu napětí.

Hodinový signál pro SDRAM může dosahovat frekvence až 100 MHz. Jeho vlastnosti a průběh silně ovlivňují parazitní kapacity a návrh vodivé cesty na DSP. Hodnoty přizpůsobovacích odporů a zatěžujících kondenzátorů by se měly určovat dle výsledků simulace DPS pomocí nástroje HypeLynx nebo podobného. Tento nástroj je schopný odsimulovat průběhy signálu v průběhu trasy vodivého motivu na DPS. Simulace probíhá na základě zadaných parametru DPS, polohy vodivých cest a IBIS modelů, které charakterizují vlastnosti vstupních a výstupních budičů jak v SDRAM, tak v mikroprocesoru. Tento postup však nebyl využit, protože kreslicí program EAGLE, ve kterém byla deska plošných spojů realizována, nedisponuje podobným nástrojem pro simulace. Místo toho byla hodnota navržena empiricky a následně změřena na osciloskopu. Na základě měření mohl být vypuštěn odpor R78 a kondenzátor C61, protože tyto součástky ovlivňovali negativně kvalitu hodinového signálu. V případě použití SDRAM od jiného výrobce by mohly být hodnoty zatíženého děliče (R78,R91,C61) odlišné.

Nejdůležitější a nejpoužívanější propojkou je DF_E (Obr. 9). Tato propojka přerušuje signál PC11, což je CS (Chip Select) pro DataFlash paměť. Tato propojka musí být odstraněna před připojením USB device kabelu při nahrávání souborů přes program SAM-BA. Normální stav této propojky je zkrat.

180 °C, aby se minimalizoval teplotní šok při přiložení mikropáječky. Podél všech čtyř stran byla nanесena pájecí pasta spolu s gelovým tavidlem a táhnutím mikropáječky přes všechny piny součástky zapájena. Pokud se mezi piny s roztečí 0,2 mm objeví kapka cínu lze ji jednoduše odstranit pomocí lícny (jemně pletený měděný pásek) a tavidla. Tímto způsobem byla také osazena SDRAM a DataFlash. Všechny ostatní diskrétní součástky byly osazeny horkým vzduchem, protože nejsou tolik citlivé na výkyvy teplot při pájení. Před samotným pájením součástek v blízkosti mikroprocesoru nebo SDRAM je vhodné tyto součástky překrýt vhodným materiálem, tak aby nebyly zbytečně ohřívány.

Kompletně osazená deska byla důsledně zkontrolována pod mikroskopem a po odstranění všech chyb připojena na externí napájecí zdroj. Odběr základní desky bez jakéhokoli programového vybavení se pohyboval kolem 250 mA.

4.7 Oživení základní desky

4.7.1 Změna konfigurace jádra Linuxu

K oživení základní desky bylo nejdříve opravit zdrojové kódy jádra a konfigurační soubory tak, aby odpovídaly navržené desce plošných spojů. Zdrojové kódy jádra byly použity identické jako v kapitole 3.3, která se zabývá kompilací linuxového jádra. Konkrétně je to změna konfigurace sériových portů v souboru `/linux-2.6/arch/arm/mach-91at/board-sam9-l9260`. Původní nastavení odpovídá čtyřem sériovým linkám, z toho jedna plně odpovídá protokolu RS232. Na základní desce realizovaného systému byly realizovány sériové linky pouze s vodiči RX a TX, proto bude konfigurace vypadat následovně:

```
static void __init ek_map_io(void)
{
    /* Initialize processor: 18.432 MHz crystal */
    at91sam9260_initialize(18432000);

    /* DBGU on ttyS0. (Rx & Tx only) */
    at91_register_uart(0, 0, 0);

    /* USART0 on ttyS1. (Rx & Tx only) */
    at91_register_uart(AT91SAM9260_ID_US0, 1, 0); //pouze RX TX

    /* USART1 on ttyS2. (Rx & Tx only) */
    at91_register_uart(AT91SAM9260_ID_US1, 2, 0);

    /* USART2 (wired to UEXT) on ttyS3. (Rx, Tx) */
    at91_register_uart(AT91SAM9260_ID_US2, 3, 0);

    /* set serial console to ttyS0 (ie, DBGU) */
    at91_set_serial_console(0);
}
```

Z této konfigurace je také zřejmé mapování sériových linek na znakové zařízení, které se po startu operačního systému zobrazí ve složce `/dev/`. Toto mapování je přehledně vypsané do tabulky níže (Tab. 2).

Identifikace Atmel	Název pinů	Znakové zařízení	pozice	popis
DBGU	PB14, PB15	ttyS0	Debug port	Hlavní terminál
USART0	PB4, PB5	ttyS1	Expansion port	Sériová linka
USART1	PB6, PB7	ttyS2	Gps port	Příjem GPS zpráv
USART2	PB8, PB9	ttyS3	UEXT	Inerciální jednotka

Tab. 2- Mapování sériových linek

Další změnou v tomto souboru je nastavení pinu pro detekci vložení paměťové karty a odstranění pinu pro ochranu proti zapsání, protože jí micro-SD adaptér nemá realizovanou a na kartu by nebylo možné zapisovat. Změna konfigurace SD/MMC rozhraní je následující:

```

/*
 * MCI (SD/MMC)
 */
static struct at91_mmc_data __initdata ek_mmc_data = {
    .slot_b          = 1,
    .wire4           = 1,
    .det_pin        = AT91_PIN_PC8,
    //.wp_pin        = -1,
    //.vcc_pin       = ... not connected
};

```

Další změnou je namapování informačních led diod na správné piny mikroprocesoru. Základní deska disponuje jednou LED diodou HEART, která bliká v rytmu bijícího srdce v závislosti na vytížení systému. Druhá LED dioda je pojmenovaná jako STAT a dle následující konfigurace jí je přiřazena aktivita na MMC kartě. Přiřazení LED lze provést pro libovolný prvek v systému.

```

static struct gpio_led ek_leds[] = {
    { /* "STAT" led, red*/
        .name          = "led_stat",
        .gpio          = AT91_PIN_PB17,
        .active_low    = 1,
        .default_trigger = "mmc0",
    },
    { /* "HEARD" led, blue */
        .name          = "led_pwr",
        .gpio          = AT91_PIN_PB16,
        .default_trigger = "heartbeat",
    }
};

```

Poslední změnou je odstranění inicializace NAND paměti, protože v realizovaném systému není vůbec osazena. Inicializace po úpravě vypadá následovně :

```

static void __init ek_board_init(void)
{
    /* Serial */
    at91_add_device_serial();
    /* USB Host */
    at91_add_device_usbh(&ek_usbh_data);
    /* USB Device */
    at91_add_device_udc(&ek_udc_data);
}

```

```

/* SPI */
at91_add_device_spi(ek_spi_devices, ARRAY_SIZE(ek_spi_devices));
/* Ethernet */
//at91_add_device_eth(&ek_macb_data);
/* MMC */
at91_add_device_mmc(0, &ek_mmc_data);
/* I2C */
at91_add_device_i2c(NULL, 0);
/* LEDs */
at91_gpio_leds(ek_leds, ARRAY_SIZE(ek_leds));
/* shutdown controller, wakeup button (5 msec low) */
at91_sys_write(AT91_SHDW_MR, AT91_SHDW_CPTWK0_(10)
              | AT91_SHDW_WKMODE0_LOW
              | AT91_SHDW_RTTWKEN);
}

```

Takto upravené zdrojové kódy je možné zkompileovat dle kapitoly 3.3. Výsledný soubor uImage je jádro Linuxu, které je možné bez problému spustit na realizované základní desce z připojeného Flash disku. Veškeré upravené zdrojové kódy k této kapitole jsou přiloženy na CD-ROM k této práci.

4.7.2 Nahrání startovacích souborů do paměti

Tento krok se zabývá nahráním bootstrap souboru a U-Boot souboru do ještě neoživeného systému. Pro tento účel byla využita aplikace Sam-ba CDC, která je volně ke stažení na stránkách firmy Atmel [20]. Pro tuto práci byla využita verze 2.11, která je přiložená na DVD-ROM k této práci včetně upravených souborů.

Před spuštěním programu sam-ba bylo nutné opravit soubor *at91sam9260_demo_linux_dataflash.tcl*, který je dodáván spolu s distribucí tohoto programu. Úprava tohoto skriptu spočívá v odstranění řádků kódu, které nahrávají uImage a obraz kořenového souborového systému do paměti NAND, která není osazena.

Základní deska systému se připojí k PC pomocí mikro-USB kabelu a odstraní se propojka DF_E (více v kapitole 4.4). Po zapnutí napájení byla v PC spuštěna aplikace Sam-ba, která by měla najít zařízení *\usb\ARM0*. Do políčka s výběrem vývojové desky byla vyplněna hodnota AT91SAM9260-EK. V okamžiku, kdy základní deska komunikuje s aplikací Sam-ba je nutné propojku DF_E opět instalovat, protože se do této paměti budou zapisovat data. Po nahrání a spuštění upraveného *.tcl* skriptu proběhne zapsání startovacích souborů do DataFlash paměti. V případě úspěšného postupu se po restartu desky na Debug terminálu objeví inicializace systému s možností vstoupit do nastavení zaváděcího programu U-Boot.

4.7.3 Nastavení zavádění operačního systému

Zavést operační systém má za úkol program s názvem Das U-Boot. Jedná se univerzální zavaděč, který je schopný zavést operační systém na mnoha platformách (PPC, ARM, AVR32, Blackfin, ColdFire, IXP, m68k) například ze sériové linky, NFS, nebo paměťových medií.

Vytvořené upravené jádro Linuxu z kapitoly 4.7.1 lze vložit na USB Flash disk spolu s rozbaleným kořenovým souborovým systémem, který je připravený z kapitoly 3.4. Pro jádro je vhodné vytvořit FAT32 oddíl a pro kořenový souborový systém EXT3. Postup vytvoření těchto oddílů je popsán v [21].

K vestavěnému systému byl připojen sériový terminál na Debug port a zapnuto napájení. V paměti DataFlash se nachází pouze bootstrap a U-Boot binární soubory, proto je nutné po inicializaci U-Bootu stisknout jakoukoli klávesu (během odpočítávání). Tímto se aktivuje terminál pro nastavení a ovládání U-Bootu. Veškeré použitelné příkazy je možné vytisknout na obrazovku pomocí příkazu :

```
uboot > -help
```

Příkazem *printenv* se vytiskne obsah jednotlivých proměnných na obrazovku (do terminálu). Pro zavádění systému je důležitá proměnná s názvem *bootargs*, kterou je potřeba vyplnit pomocí následujícího příkazu:

```
uboot > setenv bootargs mem=64M console=ttyS0,115200 root=/dev/sda2
rootdelay=10
```

Tento příkaz nastaví velikost paměťového bloku, základní připojovací konzoli (*Debug port*), její rychlost a přípojný bod kořenového souborového systému. Protože je uložen na USB Flash disku se dvěma oddíly, hodnota *sda2* označuje druhý oddíl. V případě, že se pouze testuje nová verze jádra je ji možné spustit pomocí příkazů:

```
uboot > usb start
uboot > fatload usb 0 0x22200000 uImage
uboot > bootm 0x22200000
```

První příkaz inicializuje USB subsystem tak, aby se z něho mohl načíst obraz jádra. Druhý příkaz načte soubor s názvem *uImage* ze zařízení *usb 0* do paměti SDRAM na adresu *0x22200000*. Poslední příkaz *bootm* (boot from memory) spustí načtené jádro a zavede systém dle parametrů v proměnné *bootargs*. Ve většině případů je však žádoucí, aby se systém zaváděl automaticky, proto je nutné předešlý postup naplnit do proměnné *bootcmd* zadáním příkazu:

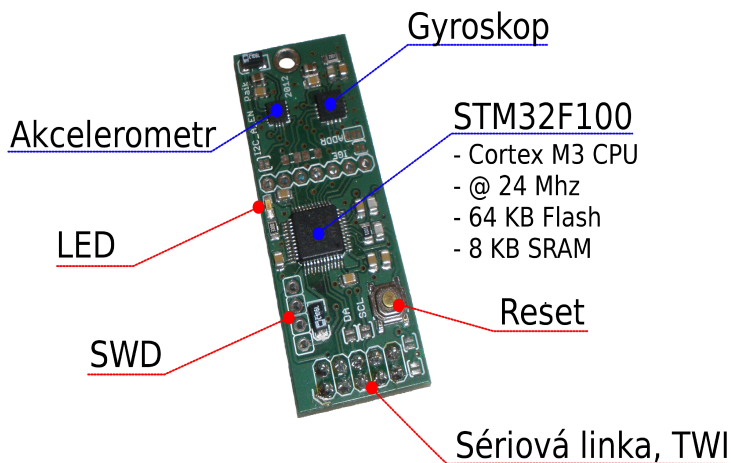
```
uboot > setenv bootcmd 'usb start;fatload usb 0 0x22200000
uImage;bootm 0x22200000'
```

Pro trvalou změnu se však musí všechny změny proměnných zapsat trvale do paměti DataFlash pomocí příkazu *saveenv*. Takto upravený zavaděč již při dalším restartu napájení automaticky zavede operační systém, do kterého je možné se přihlásit pomocí *ssh*.

4.8 Inerciální jednotka

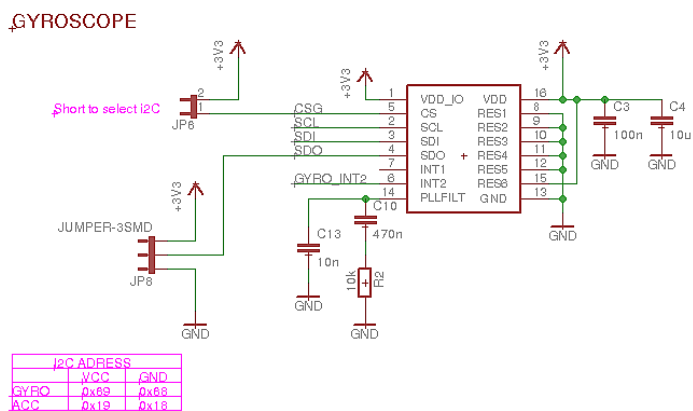
Inerciální jednotka byla navržena pro zpřesnění informace o pozici v intervalu mezi příjmem jednotlivých GPS zpráv. Deska plošných spojů je osazena mikroprocesorem STM32F100, který disponuje dostatečně velkou programovou a datovou pamětí, aby se jeho pomocí mohla realizovat pokročilá filtrace přijatých dat ze senzorů. Inerciální

jednotka může se základní deskou komunikovat pomocí sériové linky nebo TWI. Programování osazeného procesoru se provádí pomocí standardního protokolu pro SWD rozhraní.



Obr. 13- Inerciální jednotka

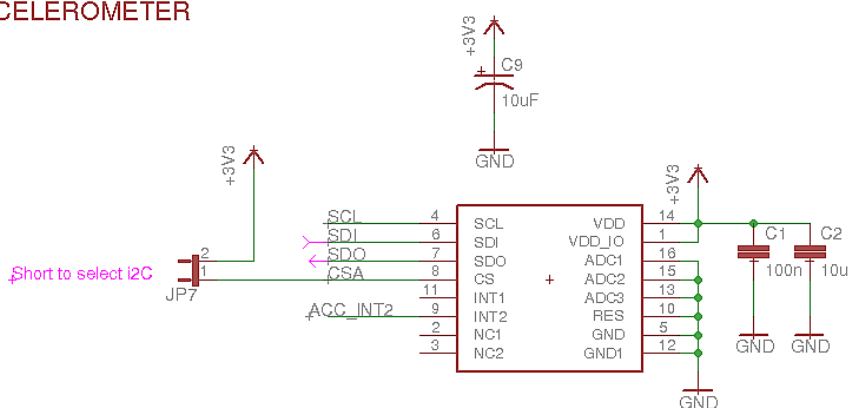
Komunikace s inerciální jednotkou je připravena na straně základní desky a ovládacího programu v pozemní stanici. Naprogramování inerciální jednotky bylo odloženo, protože se jedná o nadstandardní zařízení jehož vývoj není součástí zadání této práce.



Obr. 14- Zapojení gyroskopu

Inerciální jednotka je osazena gyroskopem L3G4200D, který je schopen snímat změny natočení ve třech volitelných senzitivitách. Komunikace s gyroskopem může být realizována buď pomocí SPI nebo I2C (TWI) v závislosti na volbě propojek JP8 (ADDR) a JP6 (IGE) na Inerciální jednotce (Obr. 14). Rozlišení určování změny úhlu je 16-ti bitové. Tento čip také integruje 8-mi bitový snímač teploty.

ACCELEROMETER

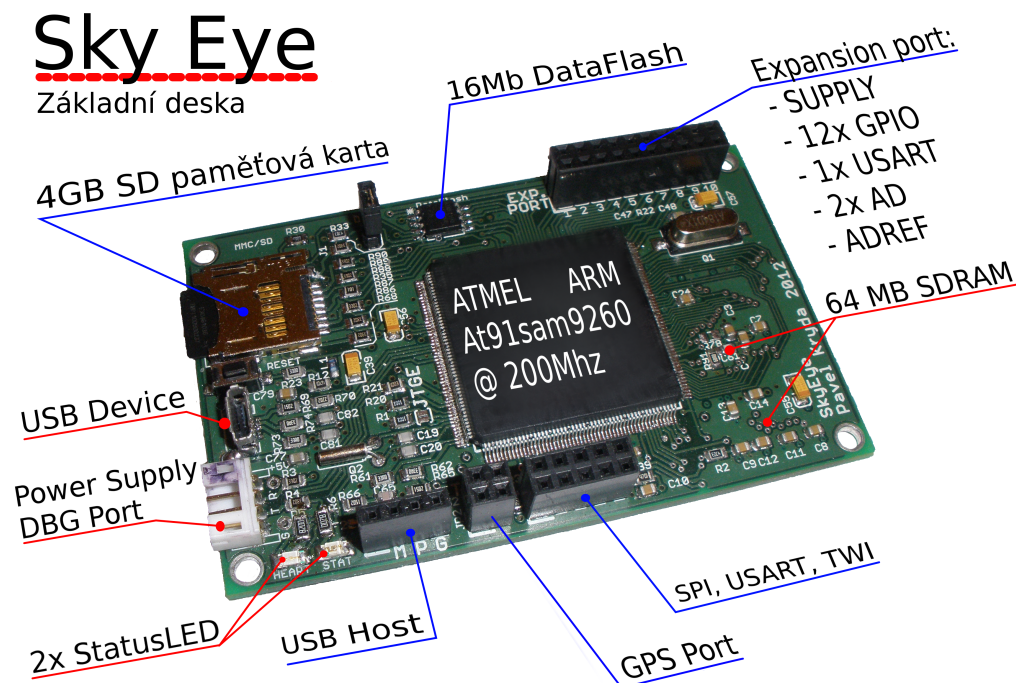


Obr. 15- Zapojení akcelerometru

Inerciální jednotka je také osazena akcelerometrem LIS3DH (Obr. 15), který je schopný snímat změny zrychlení ve čtyřech volitelných citlivostech s 16-ti bitovým rozlišením. Komunikace probíhá opět buď pomocí SPI, nebo I2C s tím, že oba senzory musí být nastaveny propojkami JP6 (IGE), JP7 (I2C_A_EN) a JP8 (ADDR) na stejný typ komunikace.

Celou inerciální jednotku lze za konektorem JP9 odříznout a použít bez mikroprocesoru. V případě, že by bylo nevhodné použít k předzpracování naměřených dat mikroprocesor STM32F100, může být jeho osazení taktéž vynecháno. Pomocí propojek JP2 a JP3 (SDA, SCL) se přesměruje I2C komunikace na konektor JP1, který je kompatibilní s konektorem UEXT na základní desce systému. Odpory R1 a R2 se osazují pouze v případě, že na celé sběrnici nejsou osazeny. Základní deska je osazena pul-up odpory, proto na inerciální jednotce nejsou osazeny. Po zkratování propojek JP4 a JP5 je možné naprogramovat mikroprocesor STM32F100 přes konektor JP1, který tyto signály zahrnuje spolu s napájením.

4.9 Zhodnocení návrhu

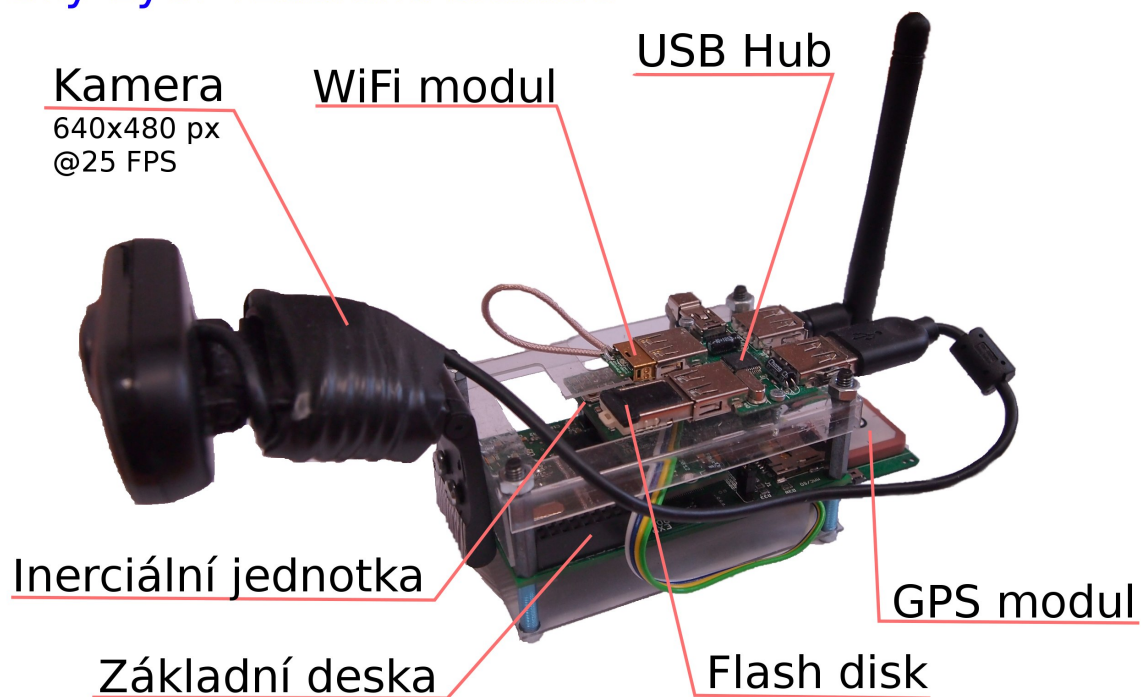


Obr. 16 - Základní deska

Základní desku (Obr. 16) se podařilo minimalizovat na rozměry 86 mm na 54 mm. Jedná se hlavní prvek systému, který sdružuje všechny důležité komunikační rozhraní. Deska je velice dobře osaditelná v amatérských podmínkách. Použité součástky jsou běžně k dostání u lepších prodejců a distributorů. Rozměry desky narostly použitím klasických vývodových součástek pro povrchovou montáž, v případě použití BGA pouzder by se rozměry daly dále minimalizovat. Takto navržená deska je na hranici technologické výrobitelnosti DPS s izolační mezerou 0,15 mm a tloušťkou spoje 0,15 mm. Nejmenší použitá prokovka má průměr vrtání 0,3 mm. Tyto propojky byly používány jenom nezbytně nutných místech, kde byla hustota spojů na tolik velká, že by nebylo možné umístit prokovku s větším průměrem vrtání. Při oživování desky se vyskytly problémy s hodinovým signálem pro SDRAM a mikrokratem mezi vývody mikroprocesoru. Po odstranění těchto chyb funguje vše bez problému.

V rámci hardwarového návrhu byla také navíc vyrobena a osazena inerciální jednotka, která komunikuje se základní deskou pomocí sériového rozhraní. Rozměry této desky jsou optimalizovány pro přímé připojení k základní desce. Inerciální jednotku se podařilo osadit bez problémů na první pokus.

System pro dálkový přenos obrazu Sky Eye: Vzdálená stanice

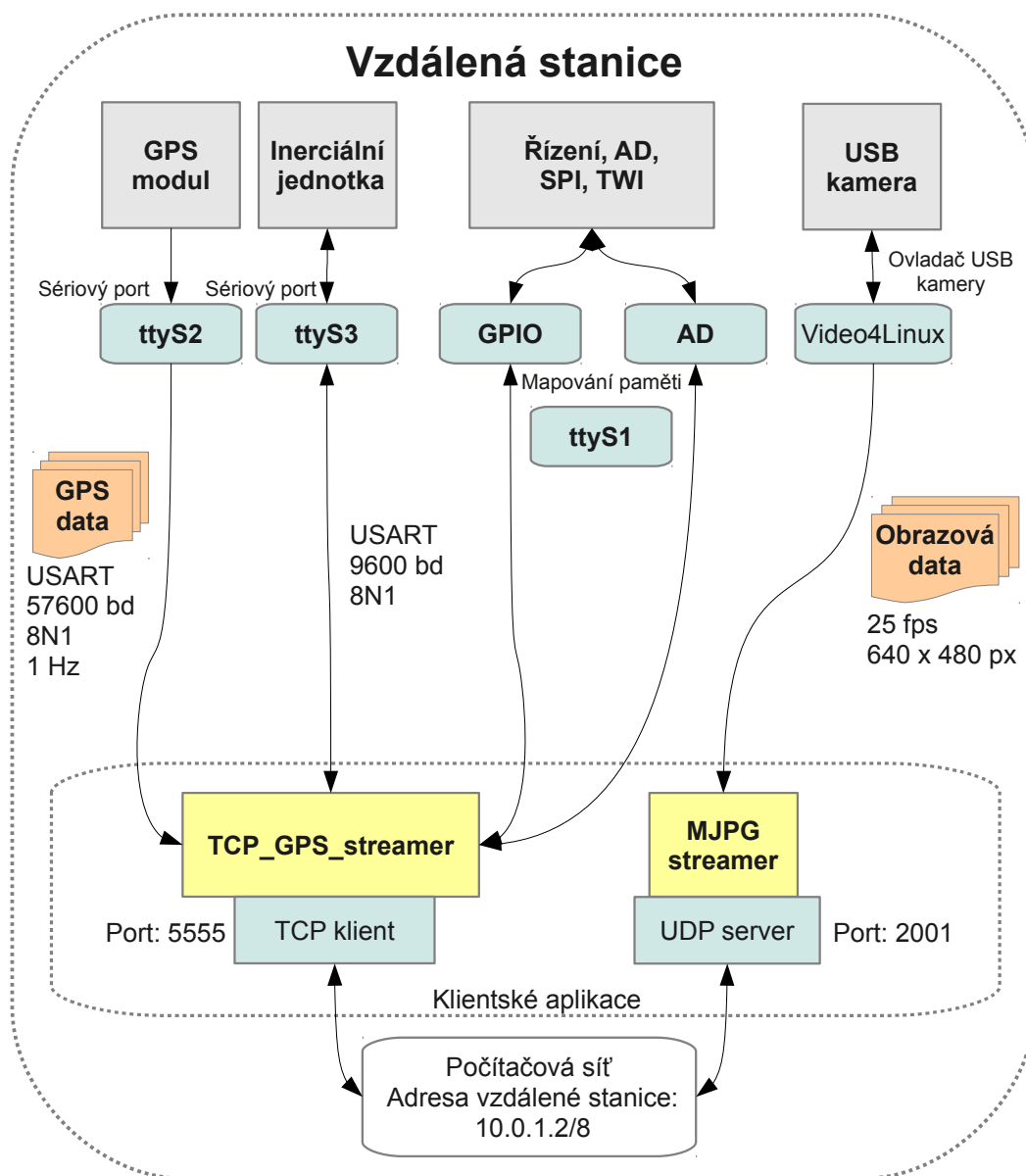


Obr. 17- Kompletně sestavený systém pro přenos obrazu

5 Návrh programů pro řízení systému

Tato kapitola popisuje ovládání vyvinutého programového vybavení systému jak pro pozemní stanici, tak pro vzdálenou stanici. Veškeré zdrojové kódy včetně komentářů jsou přiloženy na CD-ROM k této práci.

5.1 Programové vybavení vzdálená stanice



Obr. 18- Programová struktura vzdálené stanice

Na vzdálené stanici běží operační systém Debian 5.0. Jedná se o plnohodnotný systém obsahující většinu standardních příkazů. Pomocí nichž se ihned po startu systému automaticky nastaví bezdrátová síť podle kapitoly 3.6. Do operačního systému

ve vestavěném zařízení se lze přihlásit jako superuživatel pomocí *ssh* a spravovat jej na dálku pomocí příkazu na pozemní stanici:

```
paik@paik-F5R:~ ssh root@10.0.1.2
password: root
```

Strukturu komunikace aplikací na vzdálené stanici naznačuje obrázek výše (Obr. 18). Přenos informací z GPS modulu a z inerciální jednotky zajišťuje aplikace napsaná v programovacím jazyku C s názvem *TCP_GPS_streamer*. Tato aplikace byla odladěna ve vývojovém prostředí Eclipse jejíž kompletní projekt s přeloženými zdrojovými kódy je dostupný ve složce *TCP_GPS_streamer*. Tento program se připojuje na TCP server, který vytváří pozemní stanice. Dále nakonfiguruje a připojí se na sériový port *ttyS2*, který je fyzicky připojen k GPS modulu. Pomocí sériového portu *ttyS3* by bylo možné komunikovat s Inerciální jednotkou. Tato komunikace však není hotova, protože nebyla součástí této práce. Komunikace s GPS modulem je nastavena na konfiguraci 57600 bd 8N1. V případě použití jiného GPS modulu bude nejspíše nutné tyto parametry upravit. Zprávy z GPS modulu přicházejí v intervalu 1 sekundy. Délka GPS zprávy proměnná a je závislá aktuální pozici, počtu sesynchronizovaných satelitů a počtu zpracovávaných GPS vět. Ve zdrojových kódech jsou zahrnuty i některé funkce, které byly využity jenom pro odladění aplikace. Program *TCP_GPS_streamer* se na vzdálené stanici spustí příkazem :

```
sam9-19260: /home/TCP_GPS_streamer 10.0.1.1 5555 /dev/ttyS2 &
```

Kde 10.0.1.1 je IP adresa TCP serveru na pozemní stanici, který běží na portu 5555. Hodnota */dev/ttyS2* je sériový port na kterém je připojen GPS modul. Znak *&* zaručí, že se program spustí v pozadí a bude možné normálně ovládat systém pomocí terminálu. Pokud není *TCP_GPS_streamer* spuštěn v pozadí, je možné jeho běh přerušit současným stiskem kláves CTRL a C. V případě běhu na pozadí je možné využít výpis běžících aplikací pomocí příkazu *top* nebo příkazem *ps -e*. Ukončení aplikace se provede příkazem *kill*, který má jako parametr identifikační číslo procesu (PID). Aplikaci by bylo možné rozšířit o ovládání GPIO pinů, AD převodníku a dalších periférií, protože pro ně však nebylo využito nebyly tyto periférie naprogramovány.

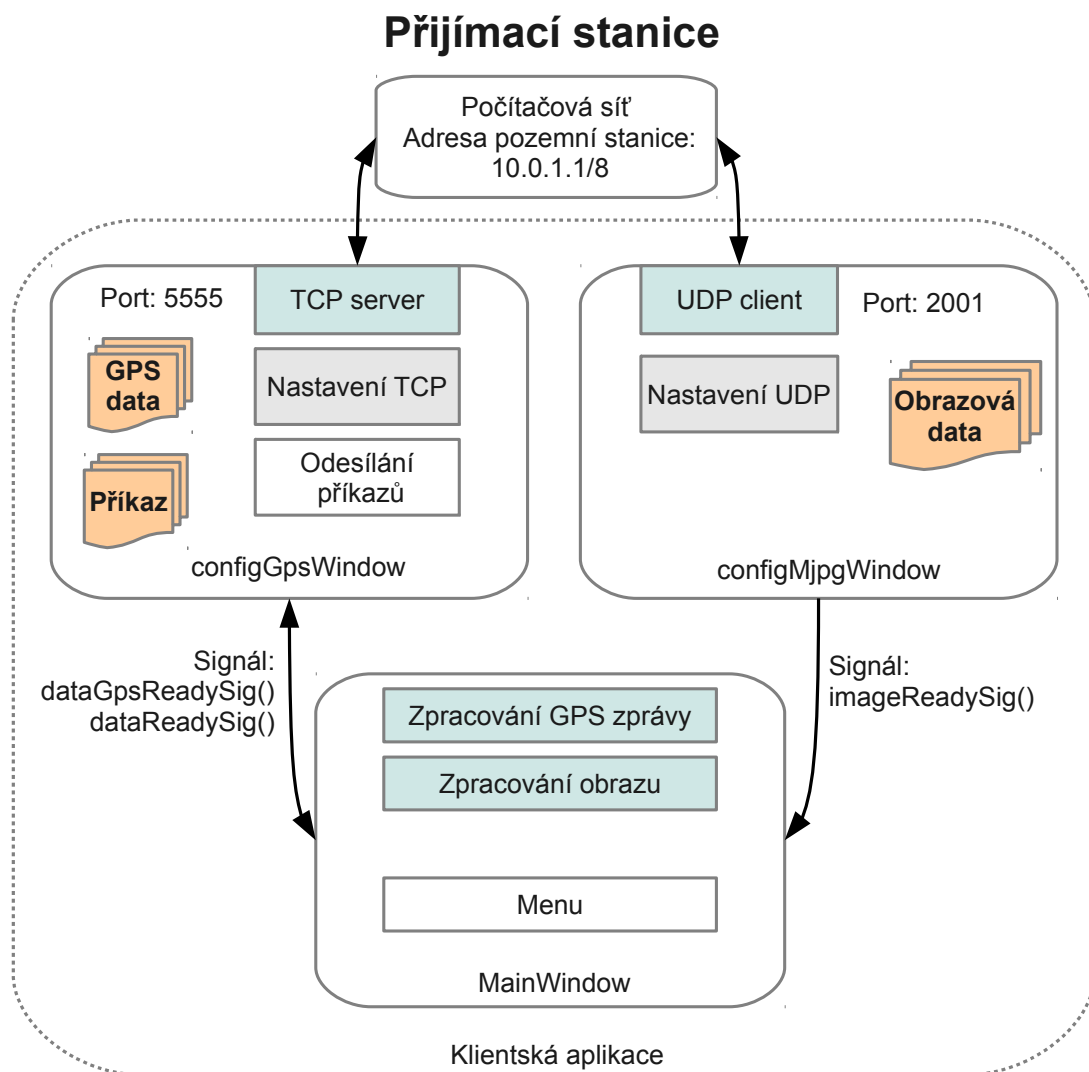
Pro sdílení obrazových dat z kamery byl využit MJPG-streamer (kapitola 3.8). Protože tento program vyžaduje poměrně dlouhý seznam parametrů byl vytvořen skript s názvem *nastaveníMJPGstreameru.sh*, který obsahuje :

```
#!/bin/bash
echo "Zapínám MJPG streamer"
cd /home/olimex/mjpgStreamer
export LD_LIBRARY_PATH="$(pwd)"
./mjpg_streamer -i "./input_uvc.so -f 20" -o "./output_udp.so -p 2001"
```

Tento skript obsahuje export pozice knihoven, které využívá pro svoji funkci a také nastavení programu. Parametr *input_uvc.so* je vstupní plugin, který načítá snímky z kamery o frekvenci 20 Hz. Druhý parametr *output_udp.so* je výstupní plugin, který vytváří UDP server na portu 2001.

5.2 Programové vybavení pozemní stanice

Pozemní stanice vytváří zabezpečenou komunikaci pomocí TCP serveru, která se využívá pro příjem dat z GPS modulu a v budoucnu bude využita pro další funkce jako je polohování serv, komunikace s inerciální jednotkou a dalšími periferiemi. Přenos obrazové informace není kritický, na rozdíl od řídicích signálů. U přenosu obrazu nevadí pokud se snímek nedoručí, proto byl na straně vzdálené stanice vytvořen UDP server a na straně pozemní stanice UDP klient. Tento protokol je méně náročnější na režii, protože se přijatá a odeslaná data nepotvrzují a neopakují v případě chyby.



Obr. 19- Programová struktura pozemní stanice

Aplikace pro pozemní stanici byla napsána ve vývojovém prostředí QT Creator, který využívá objektově orientovaný jazyk C++. Po spuštění přeložených zdrojových kódů se zobrazí hlavní okno (mainWindow). Aby bylo možné na vzdálené stanici spustit klienta TCP serveru, je nutné nejdříve tento server vytvořit. Vytvoření se provede v nástrojové liště *Nastavení – Nastavení GPS*. Nově otevřené okno má dvě záložky. Do záložky

Nastavení serveru je nutné vyplnit IP adresu serveru a port. Zadávání parametrů je ošetřené proti špatnému zápisu, proto se tlačítko *Vytvoř server* aktivuje teprve pokud jsou všechny parametry validní. V případě že se podařilo vytvořit server rozsvítí se zelená šipka s nápisem „Server běží“. Pokud v tuto chvíli zapneme TCP_GPS_streamer v dialogovém okně se zobrazí údaje o příchozím spojení. Výpis programu při spojení bude následující:

```
Pokus o vytvoření serveru v čase: čt 5 10 17:59:50 2012
Naslouchání na adrese: 10.0.1.1 : 5555
Příchozí spojení z :10.0.1.2
Přijímám data od klienta. Příkaz: GPS Hodnota:
$GPGGA,160343.756,,,,,0,00,,,M,0.0,M,,0000*51
$GPGLL,,,,,160343.756,V,N*7D $GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,*1E
$GPGSV,3,1,12,20,00,000,,10,00,000,,25,00,000,,27,00,000,*79
$GPGSV,3,2,12,22,00,000,,07,00,000,,21,00,000,,24,00,000,*79
$GPGSV,3,3,12,16,00,000,,28,00,000,,26,00,000,,29,00,000,*78
$GPRMC,160343.756,V,,,,,,100512,,,N*4D
```

Tento výpis informuje o stavu TCP serveru a také vypisuje aktuální přijatá data z GPS. Po přepnutí do záložky CMD line je možné odeslat zprávu na vzdálenou stanici. Pro odeslání stačí vybrat typ příkazu, nastavit hodnotu do textového pole a zmáčknout tlačítko *Odeslat*. Platné odeslání dat se potvrdí modrým výpisem do dialogového pole vedle, ve kterém se zaznamenává veškerá komunikace mezi stanicemi přes TCP server.

Pro příjem obrazových dat je třeba vytvořit UDP klienta, který se připojuje na vzdálenou stanici. Vytvoření se provede z nástrojové lišty *Nastavení – Nastavení UDP*. V nově otevřeném okně stačí vyplnit IP adresu vzdálené stanice a port, na kterém běží UDP server. Pokud na vzdálené stanici funguje MJPG-streamer v levé části okna se začnou zobrazovat přijaté obrázky.

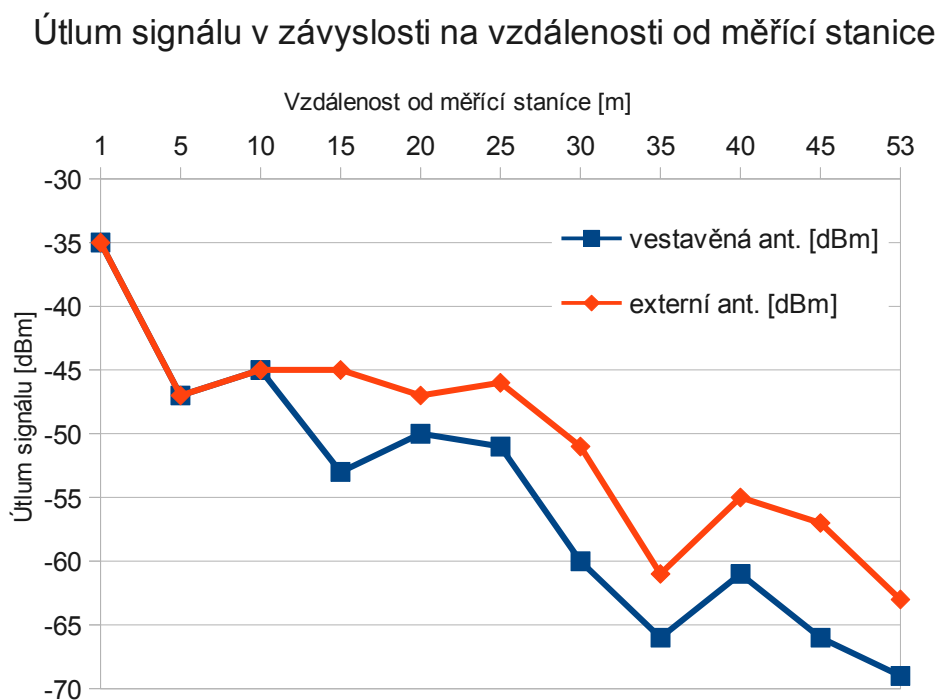
Aby byl zaručen jistý komfort a uživatelská přívětivost aplikace, ukládají se veškerá nastavení do souboru *config.ini*. Konfigurační soubor se při opětovném spuštění aplikace načte a obnoví se poslední použité nastavení.

Veškeré údaje dostupné v GPS zprávách se vykreslují ve hlavním okně a to vždy v okamžiku, kdy přijde nová nezpracovaná zpráva. Ve stejném okamžiku se také ukládají snímky vykresleného okna pokud je zapnuta volba *Nastavení - Ukládat JPEG*. Tyto obrázky se původně ukládaly na disk ihned, ale ukázalo se, že tato metoda byla nevhodná, protože obsluhu GUI zdržoval častý přístup na diskový prostor. Z tohoto důvodu se nejdříve ukládají do bufferu a teprve po naplnění se zapisují na disk.

6 Řešené problémy

6.1 Zvětšení dosahu WiFi

Vzhledem k miniaturním rozměrům a ceně USB WiFi modulu je interní anténa velice malých rozměrů. Utlum signálu je parametr, který silně ovlivňuje dosah a odezvu sítě. Pro zvýšení spolehlivosti a rychlosti přenosu mezi pozemní stanicí a vzdálenou stanicí, byl proveden experiment. Tento experiment měl odpovědět na otázku zda v daném prostředí může mít výměna antény pozitivní vliv na vlastnosti sítě. Experiment se skládal ze dvou kroků. Vzdálená stanice byla umístěna na fotografický stojan. Měřící stanoviště bylo pevně umístěné. První krok spočíval ve změření odezvy a útlumu signálu v přesně daných místech, která byla dána pětmetrovými přírůstků vzdálenosti od měřící stanice. Druhý krok spočíval v odstranění interní antény a nahrazením externí antény, která byla připojena místo původní interní antény. Následně bylo provedeno opakované měření útlumu signálu a odezvy sítě. Úroveň rušení ve všech měřících místech byla -92 dBm, proto nebylo nutné počítat odstup signálu od šumu. Naměřené hodnoty byly zpracovány a graficky zobrazeny v grafu níže (Obr. 20.)



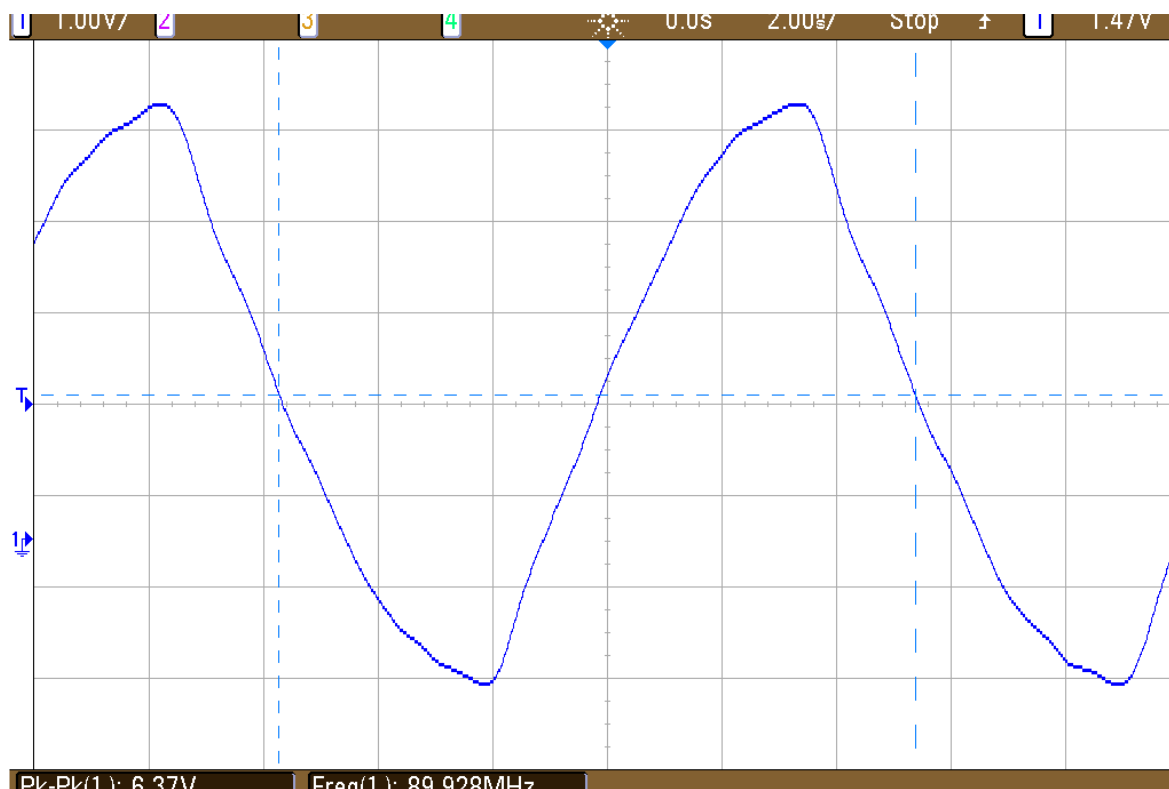
Obr. 20- Výsledky experimentálního měření útlumu WiFi modulu

Výsledky experimentu prokázaly znatelné zlepšení parametrů sítě a zvětšili dosah sítě z 53 metrů na více než 80 metrů. Další měření ve vzdálenosti větší než 80 metrů nemohlo být provedeno z důvodu omezené velikosti prostranství, kde byl experiment proveden. Měření bylo provedeno na prostranství s náhodně rozmístěnými stromy a budovami. Přímá viditelnost byla zaručena do vzdálenosti 35 metrů od měřící stanice. V tomto místě je

z výsledků měření znatelný nárůst útlumu signálu. Další výhodou je také možnost s anténami experimentovat, protože díky výměně antén byl do systému přidán standardní konektor SMA.

6.2 Měření průběhu hodinového signálu pomocí osciloskopu

Návrh základní desky byl navrhován podle kritérií pro vysokofrekvenční DPS (100MHz) a dle zkušeností z minulých realizovaných projektů. Nejkritičtější signálem pro návrh motivu na DPS byl hodinový taktovací kmitočet SDCLK pro SDRAM, který může dosáhnout frekvence až 100 MHz. Návrh motivu a zakončení takového signálu by měl být dle [22] teoreticky vypočten pomocí IBIS modelu pro mikroprocesor a pro vstupní bránu v SDRAM paměti. Motiv DPS by měl být následně přenesen do simulačního nástroje HyperLynx, který je určen pro simulaci elektrických vlastností signálové cesty. V závislosti na výsledcích simulace by se měla navrhnout zakončující impedance, která by se měla pohybovat mezi 50 Ω až 100 Ω . Tento postup však nemohl být proveden, protože návrhový systém, který byl využit pro kreslení základní desky, Eagle 6.1 nedisponuje potřebným simulačním nástrojem. Namísto tohoto postupu byl zvolen postup na základě měření průběhu hodinového signálu pomocí osciloskopu.

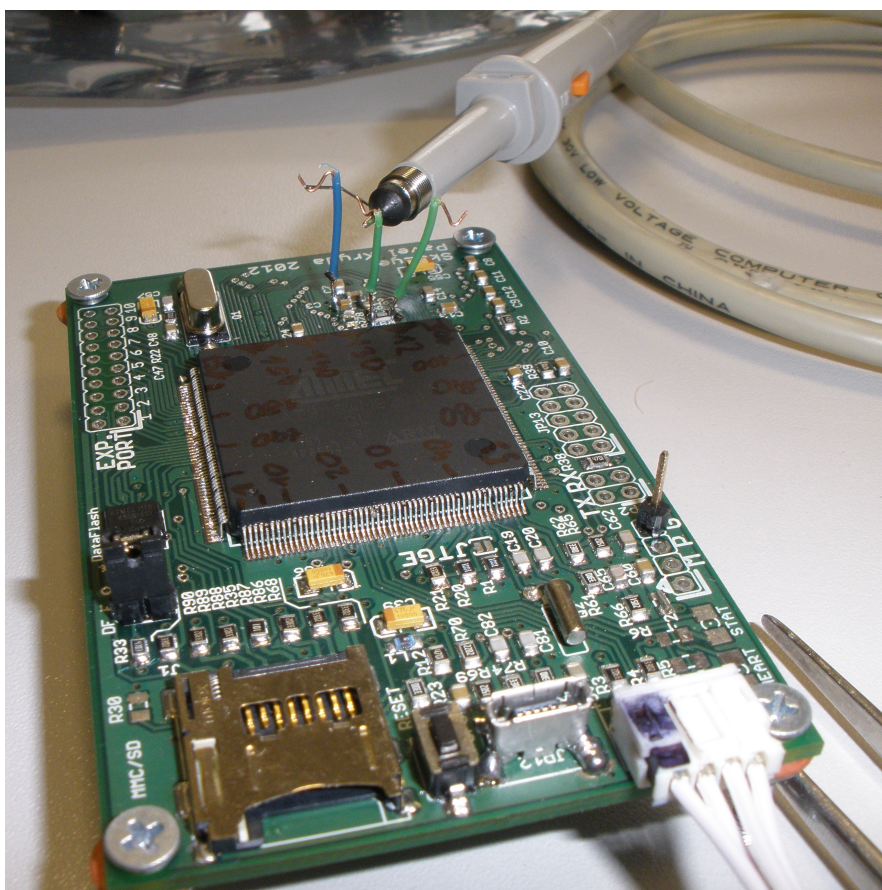


Obr. 21- Nekvalitně změřený průběh hodinového signálu SDCLK

Měření proběhlo na osciloskopu Agilent Technologies MSO7104 a sondami AT 10073C. Vstupní impedance osciloskopu je 1 M Ω / 14 pF. Sonda byla přepnuta na rozsah 10:1 a její impedance je 2,2 M Ω / 12 pF. První měření proběhlo tak, že byl hrot sondy přitlačen do místa v blízkosti výstupního pinu mikroprocesoru (SDCLK) a zemnicí vodič připojen

do společného místa ke konektoru. V průběhu měření a se však ukázalo toto měření značně nepřesné a vůbec neodpovídalo skutečnému průběhu. Při měření dochází ke zkreslení měřeného signálu vlivem vložené impedance v podobě sondy. S tímto zkreslením se musí počítat a je těžké ho odstranit běžně dostupnými technikami nebo vybavením. Další vliv na měřený průběh měl kontakt sondy s organickým materiálem (lidská ruka), přesto že je vyrobena ze silného izolantu. Největší vliv na výsledný průběh však měla délka (cca 6 cm) a místo připojení zemnicího vodiče u sondy. V důsledku těchto zjištění byl změřený průběh na obrázku výše (Obr. 21) prohlášen za nekvalitní a nevěrohodný pro další zkoumání.

Další měření proběhlo se speciálně upravenými měřicími body tak, aby se co nejvíce zkrátila délka zemnicího vodiče sondy a zmenšila se vzdálenost přípojného místa zemnicího vodiče od měřeného signálu SDCLK. Sonda byla připojena k základní desce dle obrázku níže (Obr. 22). Měřicí sonda byla připojena tak, aby ji nebylo nutné držet v ruce.



Obr. 22- Způsob připojení sondy

Výsledek takto změřeného signálu je zobrazen níže (Obr. 23) na záznamu vygenerovaným osciloskopem. Tento průběh byl změřen při stejném nastavení osciloskopu i sond. Jediný rozdíl v měření byl způsob připojení sondy k základní desce a pozice připojení zemnicího vodiče. Rozdíl proti prvnímu měření (Obr. 21) je markantní. Na základě tohoto průběhu byl odstraněn odpor R78, který negativně ovlivňoval hodinový signál SDCLK.



Obr. 23- Změřený průběh signálu SDCLK

6.3 Doporučení pro další replikaci systému

V průběhu realizace systému bylo navrženo několik vylepšení, které by mohly být realizovány v další verzi DPS.

První doporučení je **zvětšení proudové zatížitelnosti Zenerovy diody D3**. V průběhu testování napájecí sítě byla testována i ochrana proti přetížení, zkratu a přepólování. Tato ochrana funguje, ale pouze pro krátkodobé a impulsní jevy. Při delším vystavením záporného napětí se dioda spálí a do systému se po restartování vratné pojistky dostane již plné napájecí napětí opačné polarity.

Přidání vypínače pro hlavní napájecí větev je další doporučení. Celý systém nyní nemá hlavní vypínač napájecího napětí, proto je při připojování napájecího kabelu od baterie vhodné držet tlačítko reset.

Zvětšení pouzder tantalových kondenzátorů v napájecí síti (C51, C89, C92, C92, C91). Některé hodnoty v daných pouzdech se nepodařilo sehnat, proto u těchto kondenzátorů musely být osazeny hodnoty s menší elektrickou pevností nebo kapacitou.

Použití spínaných regulátorů napájecích napětí by zvětšilo efektivitu celého zapojení. Pokud by se použil zvyšující měnič, bylo by možné systém napájet pouze z jednoho bateriového článku.

Závěr

Navrhovaný systém je výsledkem roční práce a bude používán pro výuku v předmětu Programování vestavěných zařízení. Úspěšně se podařilo navrhnout, osadit a zprovoznit celé zařízení, které je univerzální, levné a malé. Cena kusové výroby celého systému včetně kamery, USB Hubu a GPS modulu se pohybuje kolem 4500 Kč. V případě výroby deseti kusů cena klesne o více než třetinu. Základní deska byla navržena tak, aby bylo možné využít maximum periférií mikroprocesoru a tím dát prostor pro další vývoj s jiným či upraveným zadáním na stejné platformě. Použité součástky byly vybrány tak, aby je bylo možné ručně osadit v amatérských podmínkách, což zvětšilo rozměry desky plošných spojů, ale zjednodušilo výrobu a snížilo cenu v kusové výrobě.

Realizace celého systému proběhla dle vytyčených bodů. Během ní se vyskytlo mnoho problému, které se však podařilo zcela odstranit nebo vyřešit. Zadání práce se podařilo splnit bezzbytků. Jedná se však o prototyp, jehož další verze by mohla být sestavena ze součástek s BGA pouzdry, což by zmenšilo rozměry a váhu, aby mohla být nasazena v menších dálkově řízených modelech. Aplikace běžící na pozemní stanici by mohla být vylepšena o přímý záznam videa s komprimací a řídicí aplikace na vzdálené stanici bezpečnostním protokolem v případě ztráty signálu.

Tato práce nejrozsáhlejší projekt, který jsem doposud vyvíjel v oblasti návrhu a realizace elektronických obvodů. Pro úspěšné dokončení bylo nutné nastudovat problematiku návrhu vysokorychlostních desek plošných spojů, práci v Linuxovém prostředí, programování aplikací pro vestavěné systémy, programování aplikací v jazyce C++, 3D modelování, aplikační a technické poznámky k mikroprocesoru a dalším součástkám a mnoho dalších dokumentací. Díky tomu jsem získal velice cenné zkušenosti, které v budoucnu snad využiji v zaměstnání.

Literatura

- [1] Augmented reality hasn't proven itself... yet. In: *roadtovr.wordpress.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://roadtovr.wordpress.com/2012/04/02/augmented-reality-hasnt-proven-itself-yet/hud/>
- [2] MGR. ROMAN PILNÝ. Úvod do teorie FPV. In: *rc-eagle eye* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.rc-eagleeye.cz/rc-eagleeye/5-Theory-Trocha-teorie/4-Introduction-Uvod>
- [3] Home. *FirstPersonView.co.uk* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.firstpersonview.co.uk/>
- [4] SN777. *FirstPersonView.co.uk* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.firstpersonview.co.uk/cameras/sn777-kx550-5v-sony-13-ccd-550-lines-0.05-lux>
- [5] 2.4GHZ 100MW FATSHARK TRANSMITTER. *FirstPersonView.co.uk* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.firstpersonview.co.uk/transmitters/2.4ghz/2.4ghz-100mw-transmitter>
- [6] EZOSD WITH CURRENT SENSOR AND GPS. *FirstPersonView.co.uk* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.firstpersonview.co.uk/on-screen-displays-osd-gps/ezosd-with-current-sensor-and-gps>
- [7] Fatshark Dominator 2.4GHz Receiver Module. *FirstPersonView.co.uk* [online]. 2012 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: <http://www.firstpersonview.co.uk/receivers/airwave-4ch-2.4ghz-receiver>
- [8] FATSHARK DOMINATOR VIDEO GOGGLES. *FirstPersonView.co.uk* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.firstpersonview.co.uk/video-goggles-screens/fatshark-dominator>
- [9] Documents for SAM9260. *Atmel.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/devices/SAM9260.aspx?tab=documents>
- [10] SAM9260 Complete. *Atmel.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc6221.pdf>
- [11] SAM9-L9260 DEVELOPMENT BOARD FOR AT91SAM9260 MICROCONTROLLER. *Olimex.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.olimex.com/dev/sam9-L9260.html>
- [12] SAM9-L9260 users manual. *Olimex.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.olimex.com/dev/pdf/ARM/ATMEL/SAM9-L9260.pdf>

- [13] Celly Bluetooth GPS modul VIA. *Mobilky.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.mobilky.cz/p-49464-Celly-Bluetooth-GPS-modul-VIA.html>
- [14] König mini USB Hub. *Okcomputers.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.okcomputers.cz/zbozi/90326-konig-mini-usb-hub/>
- [15] Logitech Webcam C210. *Logitech.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.logitech.com/en-gb/webcam-communications/webcams/devices/7022>
- [16] EW-7811Un. *Edimax.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://www.edimax.com/en/support_detail.php?pl1_idSelect=support.php%3Fpl1_id%3D1%26mws%3D1&pl1_id=1&pd_id=347&button=Go
- [17] RealTek RTL8188RU Driver v.3.1.2590 for Linux. *Driverscollection.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://driverscollection.com/?aid=43572587289319e911d6511c913>
- [18] Wireless Tools for Linux. *Hpl.hp.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://www.hpl.hp.com/personal/Jean_Tourrilhes/Linux/Tools.html
- [19] Independent JPEG Group. *Ijg.org* [online]. 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.ijg.org/>
- [20] Atmel SAM-BA In-system Programmer. *Atmel.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/tools/ATMELSAM-BAIN-SYSTEMPROGRAMMER.aspx>
- [21] Create a Bootable MicroSD Card. *Developer Center* [online]. 2011 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://gumstix.org/create-a-bootable-microsd-card.html>
- [22] Signal Integrity and Power Integrity Analysis around the SDRAM Bus Activity Using an AT91SAM9260 Microcontroller. In: *Atmel.com* [online]. 2009 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc6386.pdf>
- [21] BATERIE LI-POL 11.1V 2100MAH. In: *Http://www.modelfun.cz/* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.modelfun.cz/660-000179-baterie-li-pol-111v-2100mah.html>
- [22] GNOM - Video brýle. In: *Oxe.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.oxe.cz/nahradni-dily-a-rozsirujici-moduly-gnom-video-bryle/>
- [23] IS42S16160D-7TLI. In: *Farnell.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/integrated-silicon-solution-issi/is42s16160d-7tli/sdram-ind-16m-x-16-3v-54tsop2/dp/1869967>
- [24] 16-megabit 2.5V or 2.7V DataFlash. In: *Atmel.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: www.atmel.com/Images/doc3500.pdf

Seznam příloh:

Schéma zapojení pro :

1. SkyEye, Základní deska,
2. SkyEye, Napájení,
3. SkyEye, Rozšiřující konektory,
4. SkyEye, SDRAM paměť,
5. SkyEye, SD Card & DataFlash,
6. SkyEye, USB Device & USB Host,
7. Inerciální jednotka, Hlavní deska.

Motiv desky plošných spojů:

1. SkyEye, Základní deska, TOP,
2. SkyEye, Základní deska, BOTTOM,
3. SkyEye, Základní deska, IN1,
4. SkyEye, Základní deska, IN2,
5. Inerciální jednotka, Hlavní deska, TOP,
6. Inerciální jednotka, Hlavní deska, BOTTOM.

Osazovací výkresy:

1. SkyEye, Základní deska, TOP,
2. SkyEye, Základní deska, BOTTOM,
3. Inerciální jednotka, Hlavní deska, TOP.

Seznam použitých součástek pro:

1. SkyEye, Základní deska,
2. Inerciální jednotka, Hlavní deska.

Seznam elektronických příloh:

1. vzdalena stanice/**jpeg-8c-jpeglib** – JPEG knihovna,
2. vzdalena stanice/**mjpg-streamer** – předkompilovaný, upravený zdrojový kód,
3. vzdalena stanice/**RTL8192CU...** – předkompilovaný, upravený zdrojový kód pro WiFi ovladač,
4. vzdalena stanice/**TCP_GPS_streamer** – předkompilovaný, upravený zdrojový kód,
5. vzdalena stanice/**linux-2.6.tar.bz2** – upravené zdrojové kódy jádra,
6. vzdalena stanice/**sam9-19260-rootfs.tar.bz2** – kořenový souborový systém,
7. pozemní stanice/**QT4_pozemni_stanice.tar.bz2** – zdrojové kódy pro aplikaci na pozemní stanici,
8. DPS source/**gerber_pragoboard_ready.rar** – motivy DPS připravené pro odeslání na výrobu (Pragoboard),
9. DPS source/**Inerciální jednotka** – schéma a DPS v Eagle 6.1,
10. DPS source/**Sky Eye** – schéma a DPS v Eagle 6.1,
11. DPS source/**PDF schemata** – veškerá schemata v pdf formátu.