

Analyzátor signálu založený na DVB-T USB tuneri

Martin Belica

Abstrakt

Táto práca sa zaobrá problematikou detektie a analyzovania rádiových signálov pomocou DVB-T USB tunera. Na analýzu signálu je nutné najsíkôr nejaký signál zachytiť, v tomto prípade pomocou USB tunera. Ďalej sa nad zachozeným signálom aplikujú rôzne metódy, ktoré nám poskytnú potrebné informácie o danom signále. Základom analýzy je diskrétna Fourierova transformácia, pomocou ktorej sa zobrazuje spektrum signálu. Ďalej sa aplikujú rôzne demodulačné a filtračné algoritmy, ktoré pomáhajú analyzovaný signál lepšie interpretovať užívateľovi.

Kľúčové slová: Software defined radio — SDR — analýza signálov — DVB-T tuner

Priložené materiály: N/A

xbelic06@stud.fit.vutbr.cz, Faculty of Information Technology, Brno University of Technology

1. Úvod

Zachytávanie a analýza rádiových signálov pomocou technológie SDR (softvérovo definované rádio) je v súčasnosti moderná metóda využívaná na rádioamatérské, armádne a ďalšie účely. Hlavnou motiváciou na tvorbu tejto práce bolo preskúmať a preštudovať túto oblasť a tiež pokúsiť sa vytvoriť program, ktorý pomocou lacného zariadenia, dokáže analyzovať rádiové signály. Analýza rádiových signálov má význam napríklad pre rádioamatérov, ktorí pomocou tejto technológie dokážu spracovať širšie spektrum signálov na rozdiel od klasických rádiových prijímačov, ktoré sú prevažne určené na relatívne úzke spektrum. Vo výsledku môže rádioamatér napr. počúvať vysielanie v PMR¹, CB², LPD³ a ďalších pásmach s použitím jediného zariadenia a počítača.

Základom myšlienky SDR je mať jednoduchý a relatívne lacný hardvér, ktorý nám umožní zachytiť požadovaný signál a počítač so špeciálnym softvérom, ktorý sa postará o zvyšok práce. Na to, aby bola možná komunikácia medzi tunerom a počítačom, v našom prípade pomocou USB zbernice, je potrebný ovládač, ktorý umožní jedným smerom prenášať dátá analyzo-

vaného signálu. Druhým smerom zas musí umožniť nastavenie parametrov tunera napr. frekvenciu, šírku pásma, atď.

V tejto práci sa zameriame hlavne na tvorbu počítačovej aplikácie, ktorá rieši všetky potrebné výpočty nad zachozeným signálom a tiež vhodnú interpretáciu analyzovaného signálu. Zvyčajne formou rôznych grafov (histogram a spektrogram). K interpretácii rádiového signálu neodmysliteľne patrí možnosť vypočuť si tento signál. Aby bolo možné si rádiový signál vypočuť, je nutné použiť vhodný typ demodulácie.

Na trhu sa dá nájsť množstvo produktov s podobným zameraním. Jeden z príkladov je systém AKRS (softvér) spolu s IZ225 (hardvér)⁴ od firmy URC, ktorý sa používa prevažne na armádne účely. Tento systém má oproti USB DVB-T tuneru neporovnatne vyšší výkon (rýchlosť spracovania, presnosť, podrobnosť, atď.), ale aj cenu, pretože tento produkt (AKRS a IZ225) stojí približne jeden milión korún.

Existujú aj nekomerčné riešenia, ktoré sú voľne dostupné a určené na rádioamatérské resp. študijné účely podobne ako aj táto práca. Jedným z príkladov je HDSDR.⁵ Všetky tieto nekomerčné a voľne dostupné riešenia obsahujú zopár chýb a nedokonalostí a tiež

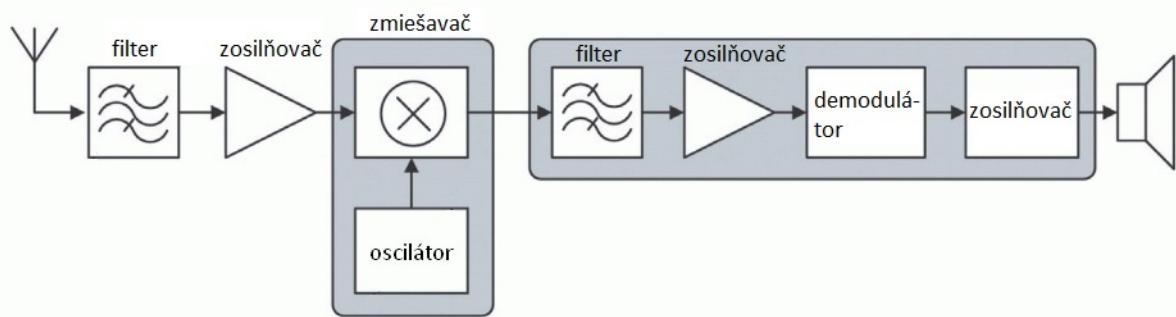
¹PMR - personal mobile radio

²CB - citizen band

³LPD - low power devices

⁴Viac informácií na stránke: <http://www.urc-systems.cz/produkty/commsesm/>

⁵Dostupné na stránke: <http://www.hdsdr.de/>



Obrázok 1. Bloková schéma rádioprijímača realizovaného pomocou hardvérových komponentov

je väčšina z nich príliš zložitá na obsluhu. V niektorých riešeniacach sa dokonca začínajúci rádioamatér nedokáže dostať k základným funkciám bez znalosti tých zložitejších. Cieľom tejto práce je preto vytvoriť čo najjednoduchšie užívateľské rozhranie, ktoré obsahuje iba základné funkcie, ktoré sú dostačujúce pre analýzu a amatérsku prácu so signálmi.

2. SDR

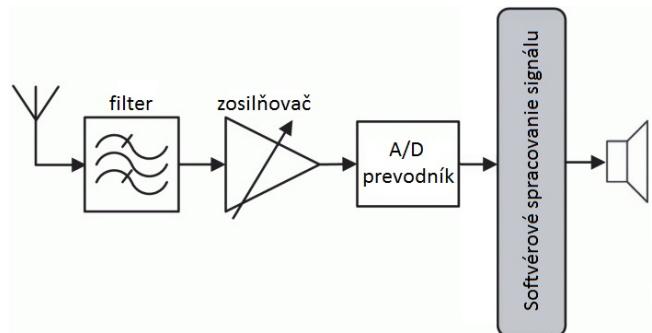
SDR [1] je skratka pre Software Defined Radio, čo je v súčasnosti moderná technológia v oblasti rádiovnej komunikácie. V tomto systéme sú všetky jeho komponenty ako napr. filtrácia, demodulácia atď. implementované pomocou softvéru na osobných počítačoch alebo vo vstavaných zariadeniach. Pojem SDR je sice známy už dlho, ale donedávna iba na teoretickej úrovni, pretože v minulosti sa všetky komponenty rádiovnej komunikácie realizovali pomocou špecializovaného hardvéru. Nástupom vysokého výpočetného výkonu za relatívne malú cenu sa táto teória môže využívať aj v praxi. Hlavne v oblastiach armády, telekomunikačného priemyslu, ale aj na rádioamatérské účely.

Na obrázku 1 je zobrazená bloková schéma bežného rádioprijímača. Z obrázku je zrejmé, že aj jednoduché zariadenie ako je rádioprijímač obsahuje množstvo hardvérových komponentov, pričom každý z nich vykonáva špecifickú činnosť. V prípade, že by sme chceli zmeniť funkčnosť tohto systému napr. zmeniť typ demodulácie, museli by sme pridať ďalšiu súčiastku alebo vymeniť pôvodnú za novú.

V prípade technológie SDR (obrázok 2) je celý systém flexibilný a dá sa prispôsobiť presne na požadovaný účel, bez nutnosti pridávania alebo výmeny hardvérových komponentov. Samozrejme, sú tu isté obmedzenia, ktoré sa týkajú hardvéru (kvalita, rýchlosť a presnosť zachytávania signálu) a tiež nutnosti naprogramovať potrebné algoritmy.

3. USB DVB-T tuner

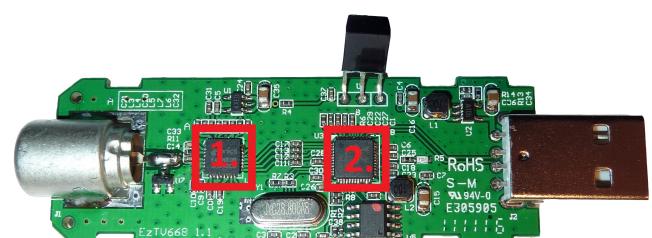
V tejto práci budeme na zachytávanie signálu používať USB DVB-T tuner. Konkrétnie s využitím čipu RTL-



Obrázok 2. Bloková schéma zariadenia na princípe SDR

2832U. Primárne sa toto zariadenie používa na sledovanie televízie alebo počúvanie rádia na osobnom počítači. My sa ale budeme snažiť využiť potenciál tohto tunera naplno. A to tak, že zachytávaný signál nebude iba v pásmi DVB-T a FM, ale v celom rozsahu frekvencií, ktoré fyzicky umožňuje toto zariadenie spracovať.

Celý USB tuner je veľmi jednoduché a relativne lacné zariadenie obsahujúce iba minimum komponentov. Základnými a najdôležitejšími komponentami sú vstupný tuner (R820T) a čipset RTL2832U obsahujúci 8-bitový analógovo-digitálny prevodník. Doska plošných spojov s jednotlivými komponentami je zobrazená na obrázku 3.



Obrázok 3. Doska plošných spojov⁶ (1. - tuner R820T, 2. - čipset RTL2832U)

Zariadenie použité v tejto práci má nasledujúce parametre⁷:

⁶Prevzaté z: <http://osmocom.org/projects/sdr/wiki/rtl-sdr>

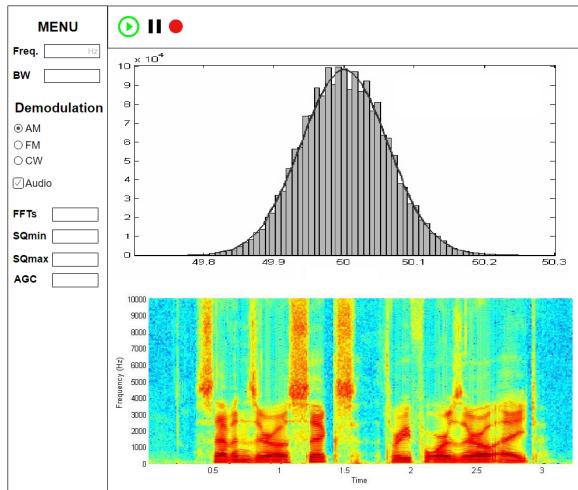
⁷Zdroj údajov: <http://sdr.ipip.cz/rtl-sdr>

- Rozlíšenie A/D prevodníka - 8 bitov
- Maximálna rýchlosť A/D prevodníka - 3,2 Msps⁸
- Dynamický rozsah - 48 dB
- Šírka pásma - približne 2,8 MHz
- Frekvenčný rozsah - približne 25 až 1750 MHz

Na zachytávanie a analýzu rádiových signálov pomocou technológie SDR je možné použiť aj iné zariadenia, priamo postavené na tento účel, avšak riešenie s využitím spomínaného USB tunera je lacnejšie. Na druhej strane je ale potrebné vytvoriť ovládač, ktorý bude komunikovať medzi tunerom a počítačom cez USB zbernicu.

4. Aplikácia

Jadrom tejto práce je softvér, ktorý spracováva zachytený signál z DVB-T USB tunera. Táto aplikácia je písaná v jazyku C++ a obsahuje množstvo komponentov, ktoré zabezpečujú potrebnú funkčnosť ako napríklad knižnica na výpočet rýchlej Fourierovej transformácie, knižnice na tvorbu grafiky apod. Návrh užívateľského rozhrania sa odvíjal od približného náčrtu na obrázku 4



Obrázok 4. Mockup návrh užívateľského rozhrania

4.1 Qt framework

Na tvorbu grafického rozhrania bol použitý Qt framework. Medzi hlavné výhody tohto frameworku patrí, že je kompatibilný s viacerými platformami a na nekomerčné účely je bezplatný. Keďže pri analýze signálov je takmer nevyhnutné pracovať s rôznymi stavmi a zmenami signálu, je veľmi dobré, že tento framework obsahuje množstvo rozšírení a technológií, ktoré umožňujú vykreslovať grafy aj v reálnom čase.

⁸Mega samples per second - počet miliónov vzoriek za sekundu

4.2 I/Q signál

Výstupom USB tunera je I/Q (in-phase/quadrature) signál. Princípom tohto signálu je, že harmonický signál je popísaný rotujúcim vektorom, pričom rotácia prebieha v komplexnej rovine a čase. Signál I odpovedá kosínusovej zložke (in-phase) a signál Q odpovedá sínusovej zložke (quadrature).

4.3 Rýchla Fourierova transformácia

Základným algoritmom pri analýze signálov je rýchla Fourierova transformácia alebo skrátene FFT. Je to veľmi efektívny algoritmus na výpočet diskrétnej Fourierovej transformácie, ktorá je definovaná nasledujúcim vzorcom:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j2\pi\frac{k}{N}n}, \quad k = 0, \dots, N-1$$

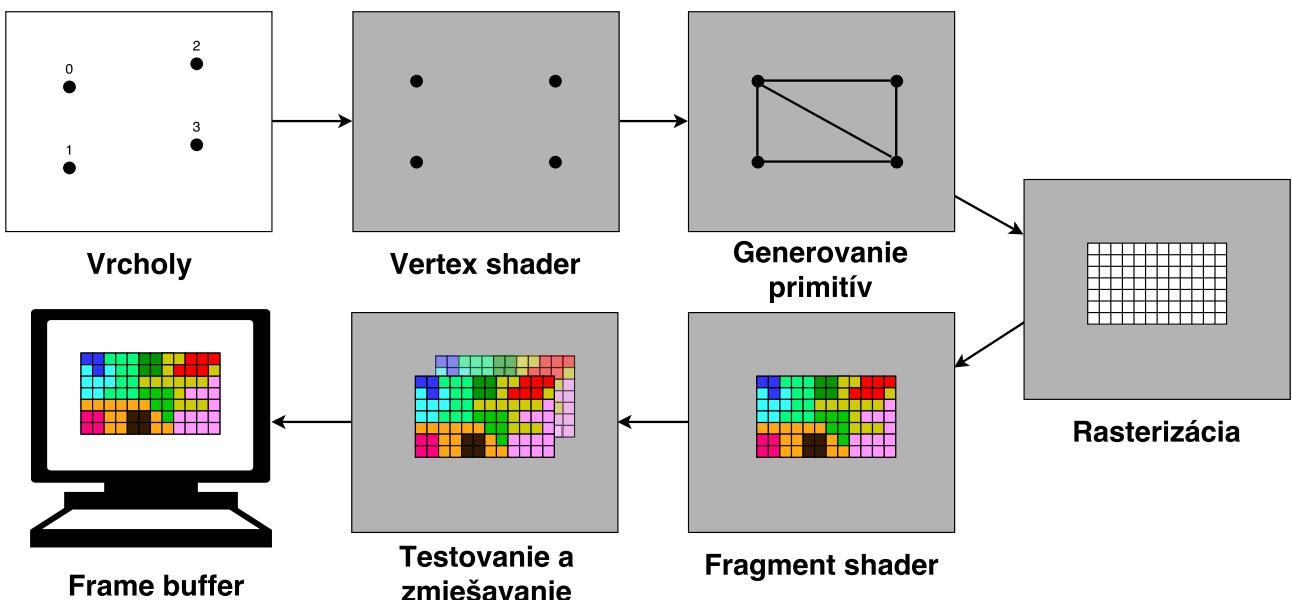
Fourierova transformácia slúži na prevod signálu z časovej oblasti do frekvenčnej. Podrobnejšie informácie o Fourierovej transformácii v súvislosti s analýzou rádiových signálov je možné nájsť v literatúre [2].

Pomocou tejto transformácie dokážeme určiť spektrum zachytávaného signálu. Vypočítané spektrum sa následne zobrazuje pomocou histogramu a spektrogramu. Na výpočet rýchlej Fourierovej transformácie bola v tejto práci použitá knižnica Simple-FFT⁹.

4.4 Spektrogram a histogram

Súčasťou aplikácie je dvojrozmerný graf, ktorý je potrebný v reálnom čase obnovovať s veľkým množstvom dát. Na vykreslenie takéhoto grafu existujú objekty a renderovacie metódy s použitím knižnice Qt. Keďže tieto metódy pracujú na hlavnom vlákne v procesore, tak pri takomto veľkom množstve dát, by spracovanie nebolo optimálne. Preto je nutné hľadať alternatívnu cestu ako vygenerovať tento graf, v ktorom sa obnovuje veľké množstvo dát v malých intervaloch. Riešením je využitie dedičnosti od Qt widget-u s podporou použitia OpenGL funkcií. Rozhodol som sa použiť verziu OpenGL 3.2 (Core Profile), ktorá si vyžaduje napísať vlastný GLSL (Graphic Library Shading Language) program. Tento program sa skladá z Vertex shader-u a Fragment shader-u, ktoré sú implementačne veľmi jednoduché. Najefektívnejším spôsobom ako dosiahnuť takýto pohyblivý graf, je využitie textúr a vďaka dobrej optimalizácií grafickej karty, by sa mal výsledok niekoľkonásobne zrýchliť. Na obrázku 5 je znázornená postupnosť jednotlivých činností, potrebných pre vykreslenie objektu v OpenGL.

⁹Dostupná na: <https://github.com/d1vanov/Simple-FFT>



Obrázok 5. Schéma vykresľovania v OpenGL

5. Záver

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť systém, ktorý dokáže analyzovať rádiový signál zachytený pomocou DVB-T USB tunera. Ciele, ktoré boli vytýčené, sa mi podarilo čiastočne splniť. Základné požiadavky na funkčnosť aplikácie sú naplnené, niektoré rozširujúce časti a funkcie systému je potrebné zdokonaliať a vyladiť pre dosiahnutie čo najlepších výsledkov. V budúcnosti je možné implementovať množstvo ďalších rozširujúcich funkcií, pretože to návrh aplikácie jednoducho umožňuje.

Poděkování

Rád by som poděkoval vedúcemu mojej práce pánoni Doc. Dr. Ing Janovi Černockému za pomoc a podporu pri tvorbě tejto práce.

Literatúra

- [1] Ing. Pavel Míšek. Softwarově definované rádio v provozních souvislostech, Október 2012. http://www.crk.cz/FILES/SDR_V_PROVOZNICH_SOUVISLOSTECH.PDF.
- [2] Simon Haykin and Michael Moher. *An Introduction to Analog and Digital Communications*, 2nd Edition. Wiley, 2007.