

VYUŽITÍ MATLABU VE VÝUCE SIGNÁLŮ A SOUSTAV A V BIOMEDICÍNKÉM INŽENÝRSTVÍ NA KATEDŘE MĚŘICÍ A ŘÍDICÍ TECHNIKY NA VŠB - TU OSTRAVA

Štěpán Ožana, Radim Bernatík, Tomáš Štula, Marek Penhaker

Katedra měřicí a řídicí techniky
VŠB - TU Ostrava, FEI

Abstrakt

Obsahem příspěvku je prezentace výsledků vědeckých prací řešených v rámci grantových projektů a při tvorbě výukových materiálů, a to v předmětech Signály a soustavy a Zpracování biosignálů. Pro podporu výuky výše uvedených předmětů byly vytvořeny níže uvedené aplikace v MATLABu.

V oboru Měřicí a řídicí technika, zaměření biomedicína, se jedná o aplikace pro zpracování EKG signálů a neurologické aplikace, v oblasti zpracování signálů jsme se zabývali analýzou signálů a soustav se soustředěnými parametry.

1. Úvod

Je více než jisté, že programové prostředí MATLAB je dnes neodmyslitelnou součástí vědeckých pracovníků a pedagogů a proniká do různých oborů lidské činnosti a zahrnuje jak technické, tak i netechnické vědní obory. V tomto článku chceme prezentovat některé dosud nepublikované aplikace vytvořené v tomto prostředí a demonstrovat šíři jeho použití.

Historie výuky MATLABu a SIMULINKu na VŠB - Technické Univerzitě v Ostravě se datuje od roku 1991, tedy od vzniku Fakulty elektrotechniky a informatiky. V současné době se tento produkt využívá ve většině vyučovaných předmětů, a proto byl v roce 1997 na katedře měřicí a řídicí techniky zaveden nový předmět Použití MATLABu se SIMULINKem v inženýrském studiu.

Jak už z názvu katedry vyplývá, zabýváme se především problematikou měření a regulace, avšak některé aplikace vytvořené v tomto prostředí jsou zaměřeny rovněž na zpracování signálů a na aplikace zdánlivě v MATLABu nerealizovatelné. Jsou to zejména práce vytvořené v rámci semestrálních a diplomových prací.

2. Analýza signálů a soustav

Signály a soustavy je dvousemestrový předmět přednášený pro studenty ve třetím ročníku studia na fakultě elektrotechniky a informatiky. Základním materiálem při výuce předmětu Signály a soustavy je kniha Nevřiva, P. : Analýza signálů a soustav, BEN Praha, Praha 2000. Pro účely laboratorních cvičení z předmětu se právě vydává skriptum Demčáková, B., Ožana, Š.: Signály a soustavy: Sběrka příkladů do cvičení, VŠB-TU Ostrava, Ostrava, plánované vydání 2002, které je zaměřeno na analýzu výkonového a energetického signálu se spojitým a s diskrétním časem a na analýzu lineárních soustav s konstantními soustředěnými parametry se spojitým a s diskrétním časem. V celém textu skripta je řešena konkrétní úloha – analýza zadaného signálu a průchod tohoto signálu zadanou soustavou.

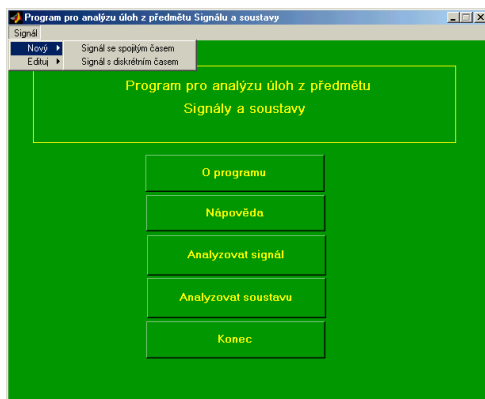
Ve cvičeních se klade důraz na teoretické základy předmětu a také na praktickou a názornou ukázkou cvičené látky v programovém prostředí MATLABu. Používají se Signal Processing Toolbox, Symbolic Toolbox.

Cvičení navštěvují studenti z řady specializací. Ne všichni mají předchozí průpravu v MATLABu. Z tohoto důvodu jsou studentům dány k dispozici programy v jazyce MATLAB, ve kterých mohou cvičení na počítači provádět. Studenti mohou měnit parametry signálů a soustav, simulovat příslušné výsledky a tak si aktivně osvojit látku. Uvedeme zde ukázkou programu, který je doplňkem výše uvedených skript a slouží k analýze uživatelem zadaného periodického nebo finitního signálu, tento signál může být signálem se spojitým časem nebo signálem s diskretním časem. Signál dále může být přiveden na lineární soustavu prvního nebo druhého řádu s konstantními soustředěnými parametry zadanou přenosem nebo diferenciální, resp. diferenční rovnicí a počátečním stavem soustavy. Program je vytvořen v GUI MATLABu. Jeho ovládání je intuitivní a jednoduché, jedná se o efektivní učební pomůcku.

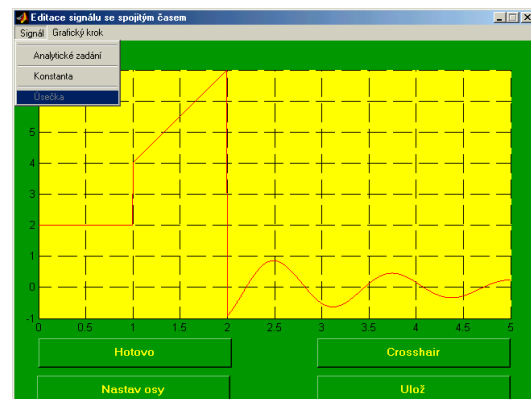
Příklad: Je dán periodický signál $u(t)$, jehož jedna perioda je zadána jako:

$$u(t) = \begin{cases} 2 & \text{pro } x \in \langle 0,1 \rangle \\ 3 \cdot t + 1 & \text{pro } x \in (1;2) \\ 3 \cdot \exp(-0.5 \cdot t) \cdot \cos(5 \cdot t) & \text{pro } x \in (2,5) \end{cases}$$

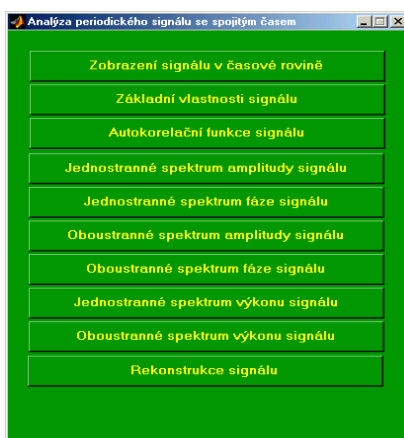
Tento signál je přiveden na soustavu druhého řádu popsanou diferenciální rovnicí $3 \cdot y'' + 2 \cdot y' + 1 \cdot y = 5 \cdot u' + 4 \cdot u$ a počátečním stavem $y(0_-) = 6$, $y'(0_-) = 7$. Úkolem je analyzovat signál $u(t)$ a určit výstupní signál $y(t)$ soustavy.



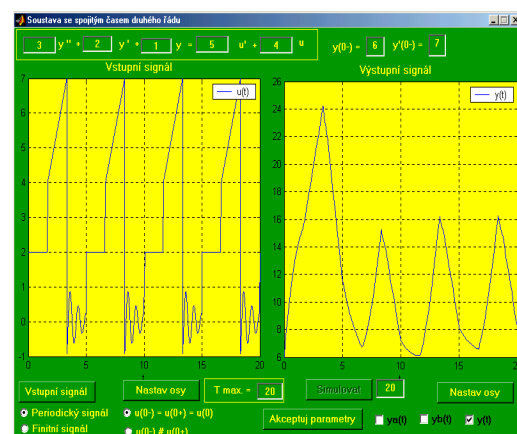
Obr. 1: Úvodní nabídka programu



Obr. 2: Editace a tvorba signálu



Obr. 3: Menu analýzy signálu



Obr. 4: Interaktivní obrazovka pro analýzu soustavy

4. Aplikace pro vyšetřování neurovizuálních projevů

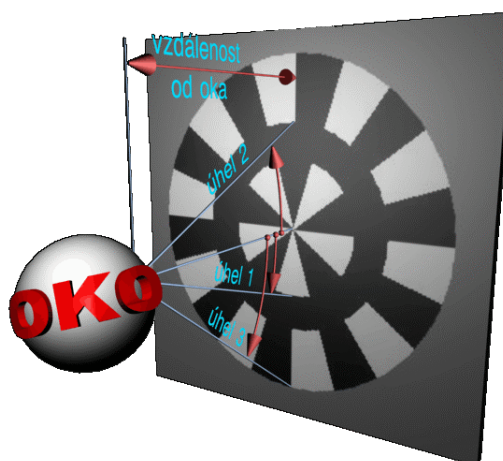
Program slouží jako náhrada lékařského přístroje pro vyšetřování očního nervu. Tento přístroj se používá v oblastech neurologie a oftalmologie. Výhodou programu je spustitelnost na jakékoliv platformě, pro kterou existuje program MATLAB.

Při použití programu (pacient se dívá na monitor počítače) dochází ke stimulaci očního nervu. Oční nerv je stimulován speciálním obrazcem – dvěma soustřednými otáčivými kruhy s bílými a černými úsečemi. Soustředné kruhy se otáčejí definovanou rychlostí i směrem. Rovněž je možné změnit počet úsečí obou kruhů.



Nastavení programu

Uživatelské rozhraní je navrženo přehledně. Z hlavního okna aplikace je možné nastavit směry a rychlosti otáčení jednotlivých kruhů. Přesnější „doladění“ programu se děje prostřednictvím doplňujících dialogů. V dialogu *Další upřesnění* je možné nastavit velikosti jednotlivých úhlů, vzdálenost pacienta od monitoru a počet úsečí jednotlivých kruhů. Situaci demonstruje obrázek. Pro správný výpočet velikosti obrazce je nutné zadat ještě velikost použitého monitoru (v dialogu *Možnosti*), velikost rozlišení obrazovky si už program zjišťuje sám.

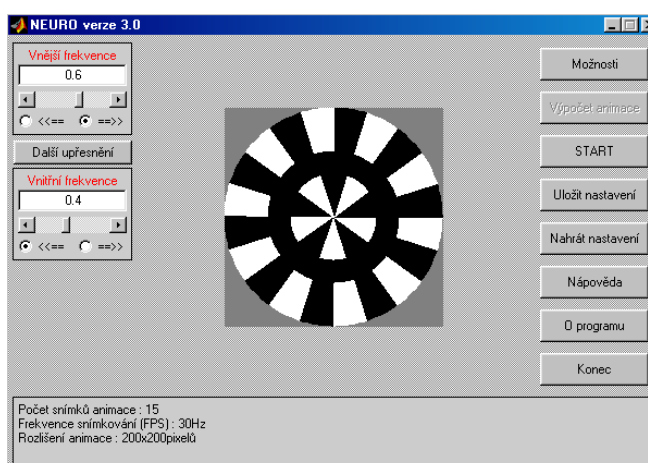


Pro zachování věrnosti zobrazení (tím je myšlena věrnost vůči původnímu lékařskému přístroji) je možné nastavit snímkovací frekvenci pro přehrávání obrazce (minimálně je doporučeno alespoň 25 snímků za vteřinu). Z důvodů zmenšení paměťových nároků programu je omezena i celková délka animace a to maximálním počtem snímků animace. Tyto hodnoty se dají rovněž nastavit v dialogu *Možnosti*.

Funkce programu

Celá koncepce programu je založena na možnostech vizualizace MATLABu. Je až s podivem, co všechno se dá v MATLABu udělat. Začátky tvorby však přesto byly velice obtížné, ale nakonec podařilo nalézt optimální řešení.

Celý problém spočíval v tom, aby se výsledný obraz co nejvíce podobal skutečnému točícímu se soukolí. Tohoto bylo dosaženo využitím funkce **movie**, která jako jediná dokáže **plynule a hlavně s konstantní rychlostí** přehrávat jednotlivé snímky pohybuujícího se soukolí. MATLAB je však více zaměřen na výpočty a ne na vizualizaci, tak i tato funkce poněkud pokulhává, samotné přehrávání není vždycky plynulé. Obzvláště na počátku přehrávání je většinou velice rychle přehrána celá animace a potom jsou teprve se zadanou rychlostí přehrávány její kopie (animace se přehrává dokola).



Obr. 5: Prostředí programu NEURO

Výpočet animace

Ještě než je možno spustit animaci (vlastní stimulace očního nervu), je nutné ji nejprve vypočítat. Výpočet samotné animace je základní kámen celého programu, i když myšlenka není nakonec zas tak složitá, jak se na první pohled zdá. Pro výpočet animace jsou důležité tyto parametry:

- Frekvence a směry otáčení jednotlivých kruhů.
- Počet úsečí jednotlivých kruhů.
- Frekvence snímkování (dále jen FPS), tedy počet snímků přehrávaných za jednu vteřinu.
- Maximální počet snímků animace.
- Přesnost zachování nastavených parametrů.

Pro provedení animace se musí vypočítat tyto hodnoty:

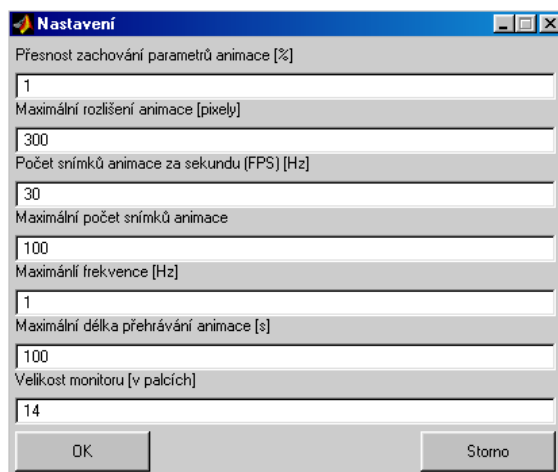
- Skutečné frekvence otáčení kruhů.
- Celkový počet snímků animace.

Výpočet těchto hodnot se však provádí v těchto 3 krocích:

1. **Výpočet rozdílové frekvence.** Jde především o to, zjistit, na kterém snímku se mají jednotlivé kruhy opět setkat v původním stavu, aby se mohla od této pozice opakovat celá animace. Nejde tedy o pouhé odečtení frekvencí, ale odečtení frekvencí, které jsou vynásobeny počtem úsečí kruhů. To proto, aby se zmenšil počet snímků animace. Pokud je náhodou rozdílová frekvence nulová (např. 1 Hz-5 úsečí spolu s 0.5 Hz-10 úsečí), bere se jako rozdílová frekvence, frekvence jednoho z kruhů.
2. **Výpočet konečného snímku.** S vypočtené rozdílové frekvence se určí čas setkání a z této hodnoty a FPS se určí konečný snímek. Ten však nemusí být vždy celé číslo. Proto se provádí zaokrouhlení frekvencí tak, aby byl konečný snímek celé číslo. Toto zaokrouhlování frekvencí a konečného snímku se zpětně testuje tak, aby se nesrovnalosti vešly do vymezené přesnosti zachování nastavených parametrů (tuto hodnotu lze nastavit v dialogu *Možnosti*). Pokud nevyhovuje podmínka přesnosti, tak se ke konečnému času přičte prvotní konečný čas (čas prvního setkání) a testuje se znovu. Přičítání se opakuje tak dlouho, dokud není splněna podmínka přesnosti.
3. **Přepoččet frekvencí** už je banální záležitost, kdy se s konečného počtu snímků, FPS, a času prvního setkání přepočítají zpětně hodnoty frekvencí, se kterými se potom počítá při animování.

Tvorba animace:

Tvorba animace je konečná fáze výpočtů, při které jsou jednotlivé snímky vypočteny a zobrazeny na obrazovce. Po zobrazení se daný snímek uloží do animační proměnné a počítá se další. **Animace je použita z toho důvodu, že při běžném zobrazování snímků dochází k probliknutí celého obrazu, což je pro stimulaci očního nervu nežádoucí efekt.**



Obr. 6: Nastavení parametrů programu

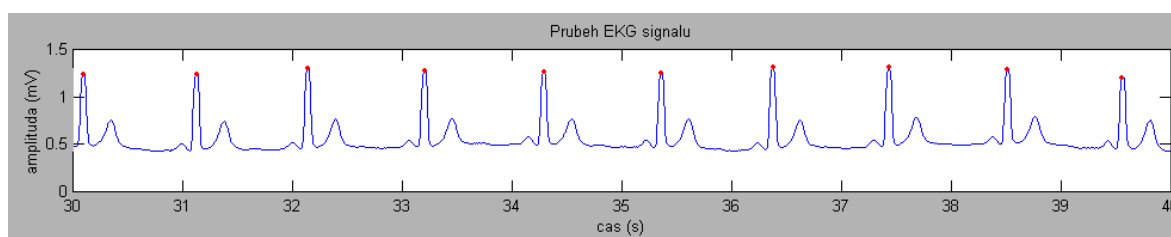
3. EKG Vyhodnocování variability srdečního rytmu

Heart Rate



Variabilita srdečního rytmu (HRV - Heart rate variability) nebo-li tepové frekvence patří k základním a nejčastěji vyhodnocovaným fyziologickým údajům v lékařství. Slouží jako pomocná diagnostická metoda v kardiologii. Je velmi dobrým ukazatelem činnosti a výkonnosti srdce. Pokud dojde ke snížení srdeční frekvence pod určitou úroveň, hovoříme o bradykardii. V opačném případě o tachykardii. Dochází-li k nepravidelnostem v činnosti srdce, pak hovoříme o arytmií. Všechny tyto změny a nepravidelnosti nám vypovídají o tom, že nastala nějaká chyba ve funkci srdečního systému.

Tepovou frekvenci můžeme vyhodnocovat z mnoha biologických veličin, které činnost srdce přímo určují nebo doprovázejí. Jedná se o elektrický signál elektrokardiografu – elektrokardiogram (EKG), akustický signál fonokardiografu – fonokardiogram (FKG) a pletysmografu. Nejčastěji však bývá vyhodnocována z dlouhodobých (24 hodinových) nebo krátkodobých (5 minutových) záznamů EKG.

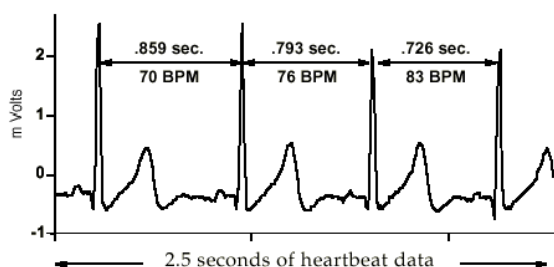


Obr. 7 Průběh EKG s vyznačením místa výskytu R-vlny.

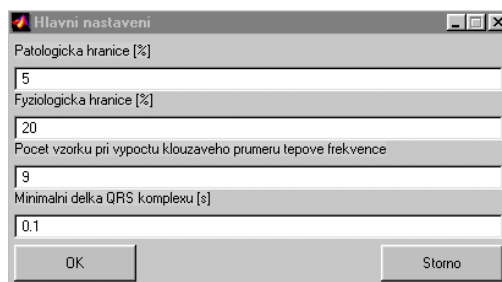
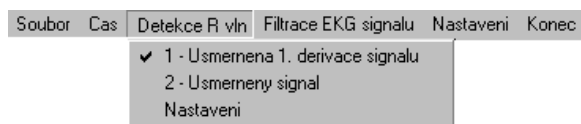
V této práci se omezíme na určování tepové frekvence jen z krátkodobých průběhů elektrokardiogramu. Podnětem pro vytvoření této práce byl požadavek ze strany lékařů sledovat a vyhodnocovat změny tepové frekvence u novorozenců a malých dětí. Je známo, že u této skupiny pacientů může při určité změně srdečního rytmu v čase dojít k syndromu náhlého úmrtí, nebo k ohrožení životně důležitých funkcí.

Úkolem této práce byla realizace softwaru pro analýzu variability srdečního rytmu krátkodobých záznamů srdečního tachogramu z hlediska spektrálních vlastností. To znamená z průběhu elektrokardiogramu určit okamžitou hodnotu tepové frekvence a vypočítat z ní křivku spektrální výkonové hustoty. Pro potřeby výpočtů a grafických zobrazení bylo použito programové prostředí MATLAB verze 5.3.

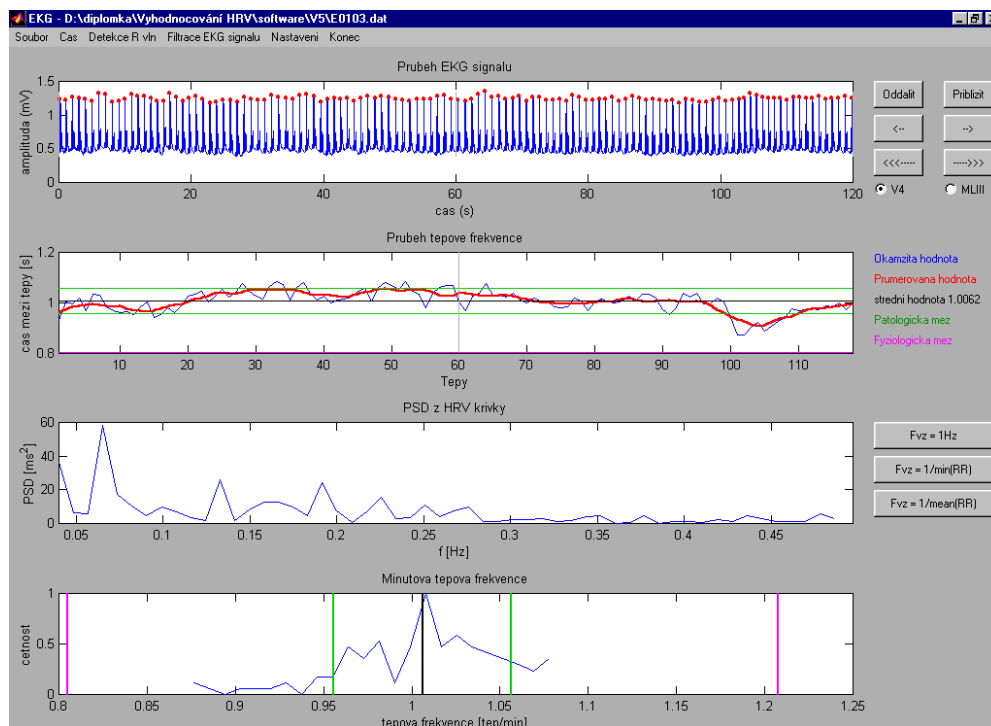
Pro vyhodnocení navržených postupů a metod byly použity testovací průběhy signálu EKG získané z lékařské databáze klinických elektrokardiografických záznamů Physionet (<http://www.physionet.org/physiobank/database/>). Nachází se zde databanka mnoha druhů biologických signálů. Výhodou těchto záznamů je, že jsou již přesně oklasifikovány co do typu poruch a onemocnění.



Pro analýzu okamžité a průměrné hodnoty tepové frekvence je velmi důležité správně detekovat špičky QRS komplexu tzv. R vlnu, a tím určit časovou vzdálenost dvou po sobě jdoucích R-vln. K těmto účelům byly vytvořeny a použity dílčí metody pro detekci těchto špiček komplexu QRS. To se provádí pomocí dvou implementovaných detektorů R vlny.



Konečným výstupem zpracování je klasifikace fyziologické nebo patologické změny srdečního rytmu u měřených pacientů.



Obr. 8 Hlavní okno programu.

Výsledky této práce mohou být přínosné pro zjišťování příčin vzniku syndromu náhlého úmrtí u novorozenců a malých dětí. Zároveň by měly posloužit lékařům jako nástroj k lepšímu pochopení daného problému a také napomoci správnému určení diagnózy pacientů poruchami srdečního systému, které povedou k zlepšení pacientova zdravotního stavu.

Kontaktní informace

VŠB - TU Ostrava, FEI, Katedra měřicí a řídicí techniky
17. Listopadu 15, 708 33, www.vsb.cz, <http://kat455.vsb.cz>
e-mail: Stepan.Ozana@vsb.cz, tel: 59 732 4290

Radim.Bernatik@vsb.cz, tel: 59 732 3461

Tomas.Stula@vsb.cz, tel: 59 732 3461

Marek.Penhaker@vsb.cz, tel: 59 732 3510