

Telemedicína jako součást výuky lékařské elektroniky

Jan HAVLÍK¹, Jan DVOŘÁK¹, Jakub PARÁK¹, Lenka LHOTSKÁ²

¹ Katedra teorie obvodů, Fakulta elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze, Technická 2, 166 27 Praha 6, {xhavlík|dvoraj45|parakjak}@fel.cvut.cz

² Katedra kybernetiky, Fakulta elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze, Technická 2, 166 27 Praha 6, lhotska@fel.cvut.cz

Abstrakt. Příspěvek představuje sadu telemedicínských modulů, které byly vytvořeny za účelem podpory laboratorní výuky lékařské elektroniky v klasických elektrotechnických studijních programech na FEL ČVUT v Praze. Smyslem navrženého zařízení je seznámit studenty s možnostmi moderních systémů pro snímání a bezdrátový přenos biomedicínských signálů. Navržený systém je modulární, složený ze vstupních modulů, řídicí jednotky a telekomunikačních modulů. Vstupní moduly umožňují snímání a předzpracování (především zesílení a filtraci) vybraných biologických signálů, např. elektrokardiogramu, oscilometrických pulzací nebo signálů pulsní oxymetrie. Jejich výstupem je analogový signál. Řídicí jednotka je jádrem celého systému, zajišťuje digitalizaci a zpracování měřeného signálu a prostřednictvím telekomunikačního modulu odesílá data do vzdáleného PC systému. Vstupní i výstupní rozhraní řídicí jednotky jsou velmi striktně definována, což poskytuje možnost výběru vstupního i telekomunikačního modulu z připravené sady modulů, resp. velmi snadnou záměnu jednotlivých vstupních a komunikačních modulů. Hardwarové řešení je doplněno softwarovou částí obsahující firmware řídicího modulu a softwarovou aplikaci na straně PC přijímajícího naměřená data. Přestože je navržený systém určen primárně pro výukové účely, je možné ho použít i jako základ pro rozsáhlejší telemedicínský systém např. v oblasti asistivních technologií nebo inteligentního bydlení.

Klíčová slova: telemedicína, telemonitoring, biomedicínské inženýrství, lékařská technika, lékařská elektronika.

I. ÚVOD

Telemedicína (příp. telemonitoring) je velmi moderní postup užívaný v lékařství, domácí péči nebo sociálních službách umožňující vzdálený dohled na vitální funkce (příp. obecně zdravotní stav) sledované osoby. Je zřejmé, že takovýto přístup ke sledování zdravotního stavu může v mnoha ohledech zkvalitnit život pacientů (např. minimalizovat počet nezbytných návštěv u lékaře), ale i výrazně zjednodušit práci lékařům. Navíc, kromě ryze medicínských aplikací je takovýto přístup možné s výhodou využít i v oblasti asistivních technologií, domácí péče, v oblasti inteligentního bydlení apod.

Vlastní pojem telemedicína je definován na mnoha místech, obvykle jako soubor prostředků z oblasti telekomunikací, lékařské techniky (příp. obecně medicíny) a informačních technologií [1].

Obecná definice telemedicíny je mimo jiné uvedena i v Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evrop-

skému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů o přínosu telemedicíny pro pacienty, systémy zdravotní péče a společnost. Zde je uvedeno cituji [2]: „Telemedicína je poskytování zdravotnických služeb s využitím IKT v situacích, kdy se zdravotník a pacient (nebo dva zdravotníci) nenacházejí na stejném místě. Zahrnuje bezpečný přenos lékařských údajů a informací v textové, zvukové, obrazové nebo jiné podobě nutné k prevenci, diagnóze, léčbě a sledování pacientů.“

Významnou výhodou pro pacienty, a především pak pro zdravotní systém obecně, vyplývající z využití telemedicíny je především zvýšení dostupnosti poskytovaných služeb a úspora nákladů. Přitom možnosti využití telemedicíny jsou v podstatě neomezené, což lze i snadno doložit na vybraných příkladech aplikací telemedicíny v praxi.

Zajímavým využitím telemedicíny v čistě lékařské aplikaci je implementace telemedicínského systému jako podpory pro urgentní a úrazovou medicínu [3].

Velmi často jsou telemedicínské a telemonitorovací systémy využívány i mimo čistě zdravotnické prostředí, především v oblasti asistivních technologií [4] a péče o stárnoucí nebo handicapované spoluobčany [5], případně v oblasti domácí péče. Příkladem takového systému může být např. pilotní projekt systému Telemon, který umožňuje podporu pacientů v domácí péči prostřednictvím telemonitoringu a telekonzultací [6].

Z uvedeného výčtu vyplývá, že návrh, vývoj a realizace telemedicínského systému je úloha vyžadující mezioborovou spolupráci minimálně z oblastí medicíny, systémové integrace, telekomunikací, teorie obvodů a zpracování signálů [7].

Je tedy zřejmé, že telemedicína a telemonitoring jsou moderní a velmi významné oblasti na pomezí medicíny a techniky, které vyžadují zvýšenou pozornost. Tato pozornost by ale neměla být zaměřena výhradně na možnosti praktického využití těchto systémů, ale měla by být směřována i na jejich integraci do vzdělávacího procesu tak, aby studenti měli možnost se v rámci přednášek, seminárních cvičení a laboroří seznámit se základními principy, možnostmi využití, výhodami a nevýhodami, ale i problémy spojenými s těmito systémy.

Tento článek předkládá popis systému telemedicínských modulů, který byl navržen a realizován za účelem podpory výuky lékařské elektroniky v magisterském studiu na Fakultě elektrotechnické Českého vysokého učení technického v Praze.

II. ZÁKLADNÍ POŽADAVKY A NÁVRH SYSTÉMU

Zamýšlený účel použití telemedicínského systému jako učební pomůcky pro vysokoškolské studenty v rámci laboratorních cvičení z předmětů zaměřených na lékařskou elektroniku definuje rámec základních požadavků, které by měl navržený systém splňovat. Nejdůležitější z těchto požadavků jsou především:

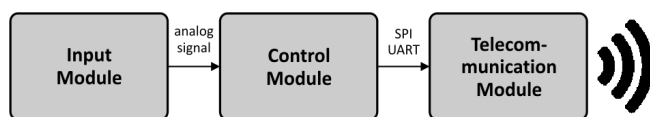
- moderní řešení navrženého systému,
- modularita tohoto systému
- a snadnost jeho použití.

Návrh systému by měl co možná nejvíce odpovídat soudobým trendům, aby bylo možné při výuce demonstrovat řešení, která se v praxi aktuálně opravdu využívají, případně se využívat začínají.

Navržený systém by měl být modulární, snadno přizpůsobitelný konkrétnímu požadavku na funkčnost. Studenti mají mít v co možná nejširší míře možnost sami si na začátku práce zvolit, k čemu má právě jejich telemedicínský systém sloužit a následně mají v rámci výuky z dostupných modulů takový systém postavit a oživit.

Použití jednotlivých modulů má být co možná nejsnazší, jejich rozhraní musí být jasně definována, komunikace na nich co možná nejsnáze ověřitelná. Pokud moduly pro svoji funkci vyžadují nějaké softwarové vybavení (typicky se jedná např. o firmware řídicí jednotky), měl by tento software být připraven na úrovni knihoven funkcí a být tak v podstatě také modulární. Studenti musí mít možnost pracovat se systémem bez detailních znalostí jednotlivých součástí, bez jejich katalogových listů nebo bez detailní znalosti instrukčních sad jednotlivých programovatelných součástí, které systém obsahuje.

S přihlédnutím k výše uvedeným požadavkům byl laboratorní telemedicínský systém navržen jako modulární systém skládající se ze tří částí – vstupních modulů, řídicí jednotky a výstupních telekomunikačních modulů (viz obr. 1). Navržený systém umožňuje monitorování vybrané životní funkce sledované osoby (např. elektrokardiogramu, neinvazivního krevního tlaku nebo kyslíkové saturace), zpracování naměřených signálů a jejich přenos do nadřazeného PC systému (např. pracovní stanice, přenosný počítač nebo přístupový bod počítačové sítě) prostřednictvím zvoleného standardního komunikačního kanálu (např. Bluetooth, WiFi nebo GSM). Zpracování přijatých dat na straně PC systému již není předmětem tohoto projektu.



Obr. 1. Obecný koncept telemedicínského systému

III. REALIZACE SYSTÉMU

Jak již bylo uvedeno v předcházející kapitole, navržený systém je modulární a skládá se ze tří hlavních částí – vstupních modulů, řídicí jednotky a telekomunikačních

modulů, nedílnou součástí systému jsou však i připravené knihovny funkcí umožňující snadné a rychlé oživení celého systému.

A. Vstupní moduly

Vstupní moduly převádí měřenou veličinu na analogový signál (napětí) s definovaným amplitudovým rozsahem a zatížitelností (výstupní impedancí), případně na digitální signál v definovaných napěťových úrovních. Výstupní signál může být jedno i vícedimenzionální (např. EKG svody nebo signály v červené i infračervené cestě při měření pulsní oximetrie). Řídicí jednotka musí být schopna patřičný počet signálů na svém vstupu přijmout a následně zpracovat.

V rámci projektu budou postupně připraveny moduly pro měření EKG (Eithovenovy svody + zpětná vazba zavedená napájením pravou nohou pro potlačení souhlasného rušení), krevního tlaku (neinvazivní měření pomocí oscilometrické metody) a kyslíkové saturace (pulsní oximetrie). Návrh a realizace dalších modulů bude součástí témat závěrečných prací studentů.

B. Řídicí jednotka

Řídicí jednotka je jádrem celého systému. jejím úkolem je současně obsloužit několik činností, především pak:

- zajistit snímání a analogově-digitální převod signálů ze vstupních modulů,
- zpracování a/nebo parametrizaci těchto signálů,
- přípravu datových paketů pro přenos prostřednictvím telekomunikační linky,
- řízení telekomunikační linky a přenos připravených dat
- a v neposlední řadě i poskytovat uživatelské rozhraní celého systému.

Na základě dobrých zkušeností z předchozích projektů byl jako řídicí jednotka zvolen vývojový kit STM32 Primer2 od výrobce STMicroelectronics [8]. Tento modul je osazen procesorem ARM Cortex-M3, pamětí typu flash s kapacitou 512 kB, Li-Ion akumulátorem, dotykovým displejem, 3D MEMs akcelerometrem, analogovými i digitálními vstupy, sběrnicemi SPI, I2C, USB a USART a patičí pro SD kartu. Kromě vstupních a výstupních signálů je na externí sběrnici vývojového kitu vyvedeno i napájecí napětí získané ze zabudovaného akumulátoru, což umožňuje připojit další obvody bez nutnosti zajistit externí napájení, což je pro daný účel velmi vhodné.

Vývoj aplikací na platformě STM32 Primer2 je široce podporován výrobcem i prostřednictvím elektronických fór určených pro vývojové pracovníky, což zaručuje dostatečnou podporu i pro studenty, kteří by chtěli řídicí modul systému využít pro vlastní projekty.

C. Telekomunikační moduly

Poslední hardwarovou částí systému jsou telekomunikační moduly zajišťující přenos dat mezi telemedicínským systémem (řídicí jednotkou) a nadřazeným PC systémem. Pro účely prezentovaného projektu byly vytvořeny moduly pro přenos signálu prostřednictvím

Bluetooth technologie (založeno na modulu KC Wirefree KC21 [9]), WiFi sítě (ConnectOne Nano Socket iWiFi [10]) a GSM sítě (Cinterion TC65i [11]). Nezbytná konfigurace modulů je provedena předem a při základním oživení systému se o ní studenti nemusejí starat.

Zvolená kombinace modulů umožňuje přenos signálu v lokálním prostředí (Bluetooth, WiFi) i na velké vzdálenosti (GSM).

D. Softwarové knihovny

Hardwarová realizace modulů je doplněna připravenými softwarovými knihovnami. Tyto knihovny obsahují vzorové kódy pro řídicí jednotku, předpřipravená nastavení pro komunikační moduly a softwarovou aplikaci pro PC umožňující přijmout a uložit odeslaná data a v základních náhledech tato data vizualizovat.

Hlavním smyslem takto připravených knihoven funkcí a softwarových bloků je poskytnout studentům podporu při vývoji jejich vlastních aplikací a umožnit jim tak snadno vytvářet aplikace bez nutnosti detailních znalostí registrů a instrukčních sad jednotlivých použitých programovatelných obvodů – procesoru v řídicím modulu a programovatelných obvodů v komunikačních modulech.

Navíc, jak vyplývá z dřívějších zkušeností, pouze úlohy, které jsou řešitelné s omezeným úsilím a dostatečně rychle mohou zaujmout studenty natolik, aby byli ochotni se dané problematice věnovat s plným úsilím a dostat se tak postupně i k řešení složitějších úkolů. Správnost takového přístupu samozřejmě může být předmětem diskuse, zdá se však, že je velmi efektivní a vede k zaujetí studentů, kterého by jinak nebylo možné dosáhnout.

IV. VYUŽITÍ VE VÝUCE

Prezentovaný systém telemedicínských modulů slouží k podpoře výuky lékařské elektroniky v klasických elektrotechnických studijních programech a případně i pro studenty biomedicínského inženýrství. Smyslem projektu je umožnit studentům seznámit se s moderními přístupy v oblasti snímání a bezdrátového přenosu biologických signálů.

Hlavní využití telemedicínských modulů leží především v projektově orientované výuce v průběhu laboratorních cvičení. Úkolem studentů bude navrhnout, realizovat a oživit jednoduchý telemedicínský systém. Výběr monitorovaného signálu a technologie přenosu dat je úkolem studentů.

Výše popsáný způsob použití ale není jedinou možností, jak lze při výuce telemedicínské moduly využít. Jednotlivé moduly mohou být jako celek, ale případně i samostatně, využity jako základ pro rozsáhlejší studentské projekty v oblasti asistivních technologií a inteligentního bydlení. Tyto projekty mohou být řešeny například jako semestrální projekty studentů, jako závěrečné práce nebo jako součást disertačních projektů.

V. ZÁVĚR

Prezentovaný telemedicínský systém slouží k podpoře výuky lékařské elektroniky. Systém je navržen jako modulární a je možné ho rozdělit na tři hlavní části – vstupní moduly, řídicí jednotku a telekomunikační moduly. Rozhraní jednotlivých modulů jsou striktně definována a moduly na jednotlivých pozicích jsou tak vzájemně nahraditelné. Studenti tak při práci se systémem mohou volit, jaký biologický signál chtějí v konkrétní konfiguraci systému měřit (na výběr jsou moduly pro měření EKG, krevního tlaku a kyslíkové saturace) a s využitím které bezdrátové technologie chtějí snímání signál přenášet do nadřazeného PC systému (na výběr jsou moduly pro přenos prostřednictvím Bluetooth, WiFi a GSM).

Hardwarová i softwarová část systému jsou navrženy jako otevřené řešení umožňující modifikace, přidávání dalších modulů, případně využití stávajících modulů jako součástí jiných projektů.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla za podpory grantu FRVŠ TO F3a č. 2122/2011 poskytnutého Fondem rozvoje vysokých škol. Podpořena byla i z prostředků výzkumného záměru Českého vysokého učení technického v Praze č. MSM 6840770012 uděleného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

REFERENCE

- [1] Guler NF, Ubeyli ED. Theory and applications of telemedicine. *J Med Syst.* 2002 Jun;26(3):199-220.
- [2] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on Telemedicine for the Benefit of Patients, Healthcare Systems and Society. COM(2008)689 final. Brussels, 2008.
- [3] Garshnek V, Burkle FM. Applications of telemedicine and telecommunications to disaster medicine. *Journal of the American Medical Informatics Association.* 1999 January 01;6(1):26-37.
- [4] Chan M, Esteve D, Escriba C, Campo E. A review of smart homes – present state and future challenges. *Comput Methods Programs Biomed.* 2008 7;91(1):55-81.
- [5] Dang S, Golden AG, Cheung HS, Roos BA. Telemedicine applications in geriatrics. In: *Brocklehurst's Textbook of Geriatric Medicine and Gerontology (SEVENTH EDITION).* Philadelphia: W.B. Saunders; 2010. p. 1064-9.
- [6] Costin H, Rotariu C, Morancea O, Andtuseac G, Cehan V, Felea V, et al. In: *Complex telemonitoring of patients and elderly people for telemedical and homecare services. New aspects of biomedical electronics and biomedical informatics; August 20 - 22; ; 2008.* p. 183-7.
- [7] Celler BG, Earnshaw W, Ilsar ED, Betbeder-Matibet L, Harris MF, Clark R, et al. Remote monitoring of health status of the elderly at home. A multidisciplinary project on aging at the university of new south wales. *Int J Biomed Comput.* 1995 10;40(2):147-55.
- [8] Online: <http://www.stm32circle.com/resources/stm32primer2.php> [2011-03-22].
- [9] Online: <http://www.kcwirefree.com/data.html> [2011-03-22].
- [10] Online: <http://www.connectone.com/products.asp?did=73&pid=98> [2011-03-22].
- [11] Online: <http://www.cinterion.com/tc65i> [2011-03-22].