

Програмна система за спектрален анализ на звукови сигнали от доплерова ехография

Румен Русев

Abstract: A software system for spectral analysis of sounds waves from Doppler sonography:

This paper describes the work principles of medical devices for Doppler sonography. It examines the diagnostic information, which is obtained from them. A solution is suggested for the use of the developed module for spectral analysis of sound signals for the Doppler sonography devices that don't have built-in tools for analysis. The developed software application can be used in the practices of medical doctors, who work outside of hospital facilities.

Key words: *Doppler sonography, spectral analysis, sound signal sampling, digital processing of signals, visual representation of the spectrum.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Сигналите са функции на една или повече независими променливи и обикновено съдържат информация за поведението или природата на явленията около нас. Анализът на такива сигнали може да помогне за по-доброто разбиране и изучаване на същността на явленията. Много уреди като резултат от работата си генерират изходна величина, която е функция на времето. Едно такова устройство е доплер-ехографът, който се използва за диагностична дейност в медицината. Бързото развитие на съвременните компютри, позволява сигналите, които имат непрекъснат (аналогов) характер да се преобразуват в цифров вид и да се съхраняват и обработват чрез универсални компютри или специализирани цифрови устройства.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Ултразвуковия доплерографски уред представлява локационно устройство, чийто принцип на работа се състои в излъчването на сондиращи сигнали в тялото на пациента, в приемането и обработката на ехосигнали, отразени от движещите се елементи на кръвоносния поток в съдовете. В доплерографията се използва ултразвук с честотата в диапазона от 2MHz до 20MHz. Функционирането на доплерографския уред е аналогично на работата на всяко друго локационно устройство за движещи се обекти с най – различни приложения, например радар за откриване и следене на самолети, сонари за следене преместването на подводници. При работа на доплерографския уред се излъчва ултразвукова вълна на меките тъкани (фиг. 1), след което се осъществява прием и анализ на отразените ехосигнали от движещите се елементи на кръвта в кръвоносните съдове (най-вече червените кръвни телца).

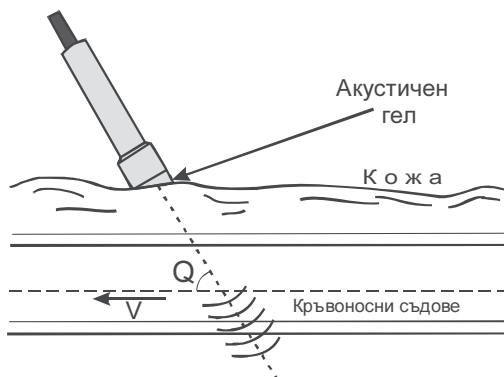
Принципа на работа на доплерографския уред се основава на използването на ефекта на Доплер, същността на който се състои в изменението на честотата на отразената вълна за сметка на взаимното движение на източника и приемника на вълните. В дадения случай в ролята на източник и приемник на вълни последователно се явяват датчик и кръвопоточен елемент. Първоначално източника на вълни се явява трансдюсер, който обезпечавя излъчването на изходната ултразвукова вълна в тъканите. След това елементите на кръвопотока, разсейват излъчената от източника ултразвукова вълна, се явяват в качеството на приемник и на източника на обратната ултразвукова вълна, която се приема на свой ред от датчика.

Ако отразяващия елемент на кръвния поток се движи към датчика със скорост V под ъгъл Q относително направление на разпространението на вълните от датчика, то за сметка на движението на отразяващия елемент се увеличава числото на отразените периоди на изходната вълна за единица време или с други думи

увеличава се честотата на отразената вълна. При това доплерово отместване честотите на отразената вълна постъпваща в датчика, зависи от честотата F_0 , излъчена от ултразвуквата вълна, скоростта на разпространения на вълната, скоростта на движение на елемента V , ъгъла Q между посоката на вектора на скоростта и посоката на излъчване на вълните от датчика. Разликата между честотата $F_{отп}$ и честотата F_0 се определя от израза:

$$F_0 - F_{отп} = 2 F_0 V \cos(Q) / C,$$

където C е скоростта на разпространение на ултразвук в тъканите.



Фигура 1. Принцип на работа на дуплерографския прибор.

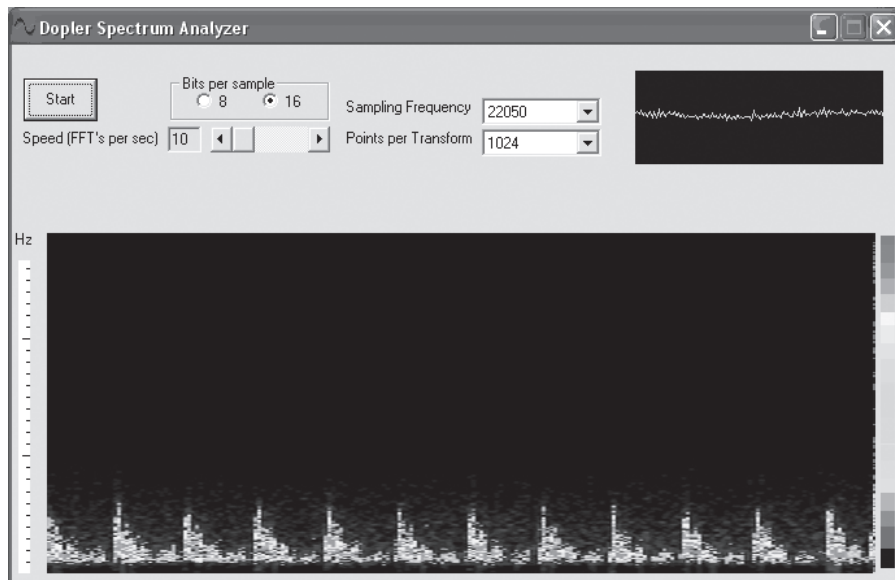
При движението на отразяващите елементи със скорост V по направление в посока от датчика честота, приема от датчика отразена вълна намаляваща се в степен определена от по-горе описаната формула. За скоростта на движението в системата на кръвообращението на човека и използваните честоти на излъчване на доплеровските честоти се намират в звуковия диапазон. Така движението на стените на съдовете и сърцето произвеждат доплерово отместване в диапазона от 0 до 12000Hz. Нормално кръвния поток предизвиква доплерово отместване в диапазона от 0 до 5 KHz. Докато приемането на ехосигнала не се извежда от една точка, а от обема от ултразвуковите лъчи, то ехосигналят съдържа спектъра на доплеровите честоти, обусловени от движението на отделните елементи на кръвотока в анализирания обем. Затова за получаване на подробна информация за характера на движението на елементите на кръвотока в доплеровите ехографи е удачно да се използва спектрален анализ на получените сигнали със звукова честота.

Методът на спектралния анализ [2,5,6] позволява да се получи разпределение по скоростите на елементите на кръвотока чрез еднозначно свързано с тях честотно разпределение на доплерографските сигнали. Всяка честотна съставяща на изхода на спектралния анализатор съответства на определена скорост на движение на елементите на кръвотока, при което амплитудата на спектралната съставяща характеризират количеството на елементите на кръвотока в измерителен обем имащи дадена скорост.

На пазара за медицинска техника се предлагат множество евтини доплерови ехографи, които по описания принцип извеждат само звуков сигнал. От него опитния лекар би могъл да прави изводи за състояние на сърцето, големи кръвоносни съдове, сърдечна дейност на плода при бременност. За да се повиши диагностичната стойност на получените от уреда данни може да се използва програмен модул за спектрален анализ на звукови сигнали [4]. Това е особено

удобен подход, защото компютри има в почти всеки лекарски кабинет, а за оценяване на доплеровия спектър не е необходима прецизна измервателна платка – звуковата карта е достатъчна за това приложение. Устройството има вграден високоговорител и изхода за включване на слушалки/тонколони. Този изход се включва към входа на звуковата карта, за да може софтуера да получи данните от измерването с апарата.

На фиг. 2 е показан интерфейсът на програмата, реализираща спектралния анализ. Тя има контроли, които позволяват да се управляват някои от параметрите на дискретизация и на преобразование на Фурие – честота на семплиране, брой битове за дискретизация на ниво, брой точки за FFT. Честотата на дискретизация може да се избере от падащ списък между стойности: 11025, 22050 и 44100 Hz. С радиобутон може да се избере броя на битовете при дискретизация по ниво. Програмата дава възможност да се изберат и броя на точките за бързото преобразование на Фурие – падащ списък с възможност за избор между 256, 512, 1024 и 2048. Има възможност да се укаже чрез плъзгач и броя на преобразованията за секунда. За конкретното приложение на програмата е достатъчно да се използва честота на семплиране 22050 Hz. За по-голяма прецизност е желателно използването на 16 бита за стойност при преобразуването на сигнала в цифров. Софтуерната реализация на спектралния анализатор не позволява данните да се обработват в реално време. Независимо от това се гарантира, че закъснението между постъпването на сигнала и визуализацията ще е еднакво както за формата, така и за спектъра. За да се намали това закъснение е желателно при по-бавен компютър да се използват по-малки стойности за брой преобразования в секунда и брой точки за преобразование.



Фигура 4. Общ вид на програмата за спектрален анализ на доплерови сигнали

Стартирането на анализа се извършва от бутон Start/Stop. Резултатът от дискретизацията е серия от стойности. Тази серия (форма на сигнала) се

изобразява от програмата за анализ в горната дясна зона. Програмата показва резултатите от измерването за определен интервал от време. След достигане на десния край на областта изчертаването започва отново от ляво надясно, като по екрана се движи вертикална линия, отделяща предходния интервал от новия. Този принцип е заимстван от доплеровите ехографи с вградена функция за анализ. Същевременно софтуера записва до данните на до 10 такива интервала. Ако изследването продължи по-дълго новите данни циклично заменят старите (по начин подобен на подхода при дискретизацията на звука с използването на циклична опашка от буфери).

Визуализацията формата на вълната не е прецизна и няма калибровка за ниво на сигнала. Тя се използва само за да се оцени наличието на сигнал и неговата амплитуда. Важен при този уред е спектърът на сигнала, който се изобразява в долният правоъгълник. Кодирането се извършва по схема с псевдоколеризация [4], като поради спецификата на медицинското изследване стойности на модула $|F(u)| < 16$ се изобразяват в черно. За по-големите стойности се използва цветовата схема, посочена на фиг. 2 Самата цветова скала е изобразена от дясната страна на зоната, а в лявата е разграфена линейна скала на честотите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разработката се използва софтуерен модул, който позволява чрез универсален персонален компютър да се извършва спектрален анализ на звукови сигнали от доплерова ехография. Поради факта, че за дискретизация на сигнала се използва универсална звукова карта, не може да се разчита на прецизност и точност на резултатите, но решението може успешно да се приложи в много области – възпроизвеждане на звук, анализ на глас, учебен процес, доплерова ехография и други. С помощта на примерният модул бе тестван със звуков сигнал от евтин доплеров апарат, предназначен за грубо предварително диагностициране на съдови заболявания. Данните от тестовете с такъв клас апарати по мнение на лекари специалисти в областта, показват висока достоверност на анализа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Kruglinski D., G. Shepherd, S. Wingo, Programming Microsoft Visual C++ , Microsoft Press, 1999.
- [2]. Oppenheim A., A. Willsky, (Author), S. Hamid, Signals and Systems (2nd Edition), Prentice Hall, 2003.
- [3]. Richard B., V.Lazzarini (Editor), M. Mathews, The Audio Programming Book, Massachusetts Institute of Technology, 2011
- [4]. Rumen Rusev, Ana Kaneva, Software module for spectral analysis of audio signals, Proceedings of the Union of Scientists – Ruse, Book 5, Volume 9, 2012, Ruse, Bulgaria
- [5]. Smith S., The Scientist & Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing, 1997
- [6]. Sophocles J., Introduction to Signal Processing, Prentice Hall, 2010.

За контакти:

Гл. ас. Румен Русев, Катедра *Информатика и информационни технологии*, Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 326, e-mail: rir@ami.uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.