

КОМПЮТЪРНО БАЗИРАНА ЕКГ СИСТЕМА

Тодор Стоянов

Институт по биофизика и биомедицинско инженерство,
Българска академия на науките
ул. “Акад. Г. Бончев”, блок 105, София 1113, България
e-mail: tstoyanov72@gmail.com

Резюме: Разработена е записваща ЕКГ система за персонален компютър (ПК), която приема синхронно сигналите от всички електроди чрез допълнително изолиран усилвател. Отстранява мрежовите смущения и потиска дрейфа на нулевата линия, представя в реално време на екрана записвания сигнал. Приетите сигнали се записват в паметта на ПК и после, след края на записа, се записват на твърдия диск за понататъшна обработка и анализ.

Ключови думи: Електрокардиографски сигнал, Времеви анализ.

1. Въведение

Съвременните компютърни системи (КС) притежават достатъчно мощност и голям брой различни възможности за цифрова обработка, както и визуализация на цифрови сигнали в реално време. В тази статия е застъпена КС за запис на електрокардиографски сигнали (ЕКГ), които са част от биологичните сигнали в човешкото тяло.

Една КС за запис на ЕКГ сигнали трябва да притежава възможност за визуализация в реално време на 12 стандартни ЕКГ отвеждания или избрана група от тях от 6, 4 или 2 отвеждания, както и да записва сигнала в оригинален вид, т.е. необработен, за последваща обработка и анализ извън реално време. Следните анализи могат бъдат изпълнени:

- Проверка на *late potentials*;
- Хис потенциал;
- Сърдечен варибилитет;
- Стрес тест;
- Други анализи.

Разработената КС е базирана на предишна система и има следните характеристики:

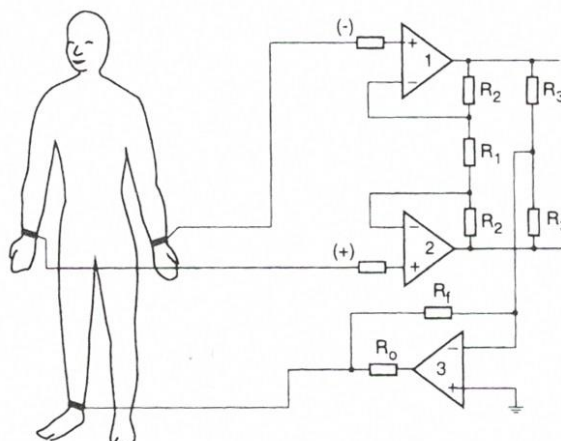
- Синхронен запис на избрани 2 отвеждания (с възможност за 12 отвеждания), с честота на дискретизация 2 kHz;
- Изобразяване на ЕКГ сигнала в реално време с филтриране на мрежовите смущения и потиснат дрейф на нулевата линия.

- КС съдържа и възможност за провеждане на специфични тестове – Валсалва маньовър, *handgrip* тест, 5 мин. записи в легнало положение.
- Извън реално време може да се обработват и преглеждат записаните сигнали, както и да се прави QRS детекция за анализ на изменението на сърдечния ритъм.

Тази система се състои от два модула: изнесен изолиран (с цел електрическа безопасност) усилвател, и приемаща част – персонален компютър със специализиран софтуер. Връзката между двата модула се осъществява с помощта на USB port.

2. Изолираният модул

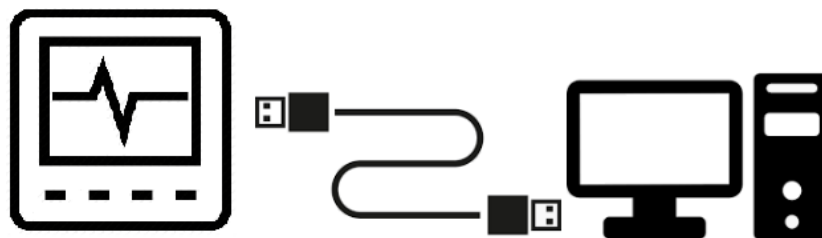
Този ЕКГ модул работи на зададена предварително честота на дискретизация (2 kHz), разделителната способност на всеки канал е 24 бита, тя се осигурява от 24-битов многоканален аналогово-цифров преобразувател.



Фиг. 1

Главен компонент на хардуерната част е реализирана, като е използван специално проектиран и изработен чип от фирмата Texas Instruments – ADS1298ECG. Този чип има вграден 8-канален, прецизен усилвател за биологични сигнали. Всеки от каналите може да се конфигурира самостоятелно – коефициент на усиление, честота за дискретизация до 32kHz в нашия случай 2kHz и включени входни RC филтри. Този чип има (съдържа) и друга възможност, а тя е – измерване на импеданса на гръдния кош – за детекция на дихателната активност на пациента. Допълнителна функция на този чип е „управляваният десен крак“, тази способност се използва за намаляване влиянието на мрежовото смущение (Фиг. 1, [3,4]). Избират се отделни отвеждания, от които се взима средна потенциална точка, и се подава този потенциал на инвертиращ буфер. Инвертираният сигнал се подава на десния крак и по този начин допълнително се възпрепятства проникване на мрежово смущение в приемания ЕКГ сигнал.

Управляващата роля на този изолиран ЕКГ модул се изпълнява от ARM базиран микроконтролер от серията STM – STM32F103. Този микроконтролер приема команди от персоналния компютър, а връща обратно пакети с данни от дискретизираните ЕКГ канали. За този микроконтролер е написана първата софтуерна част – *firmware* за „изнесения“ модул.



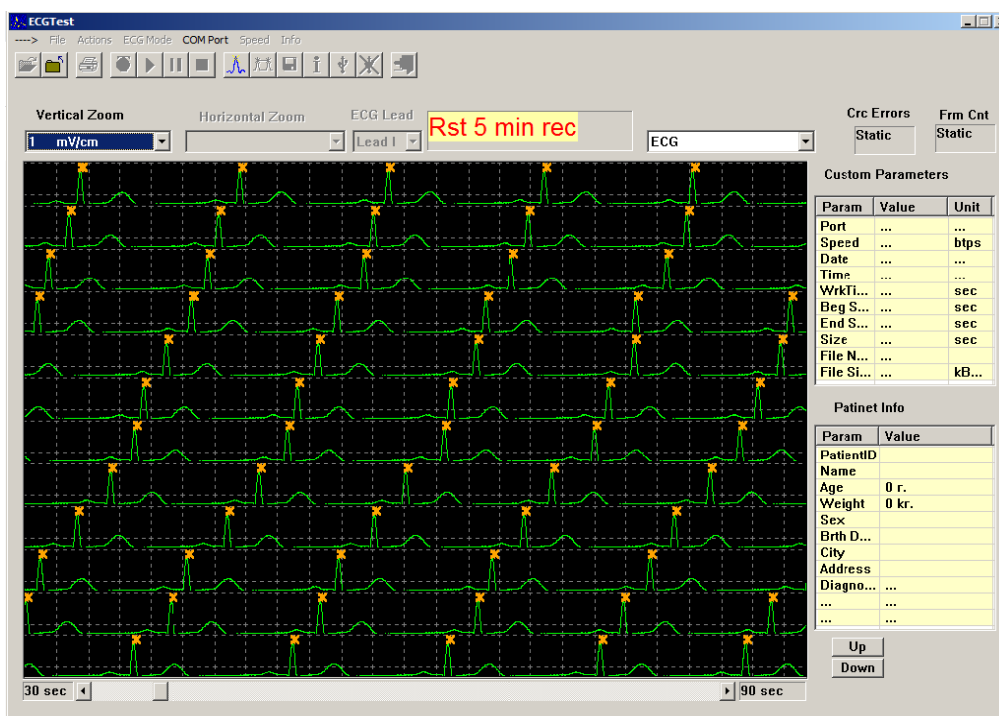
Фиг. 2.

Изнесенният модул притежава също и специализиран чип за USB връзката с ПК (Фиг. 2), т.е. този изнесен модул притежава два микроконтролера, може да се каже “многопроцесорна система”. Този комбиниран компонент се предлага от фирмата *Future Technology Devices International Ltd*, базирана в Обединеното кралство (FTDI). Той съдържа сериен порт за връзка към микроконтролера а от другата страна USB порт за връзка към ПК, няколко пинове за общо ползване. Комуникационният компонент се произвежда заедно със заводски записана програма (*firmware*), както и драйвери за ПК, които осигуряват виртуален СОМ порт или директна връзка с компонента, когато се изискват по-високи скорости на предаване на данни, какъвто е и настоящият случай. Високата скорост е необходима, за да гарантира целостта на получените данни: загубата и на един пакет данни (10 мс част от сигнала) е неприемлива и опорочава целия процес на събиране на данни. Изнесенният модул има възможност да забави предаването на данни за известен период от време (милисекунди), тъй като windows операционна система не е система, работеща в реално време. Понякога приемащата нишка на приемащата програма може да забави своето обръщане към комуникационния порт – драйвера.

Персонален компютър: Софтуера за ПК е създадена в среда на VisualC++ 6.0 приемащо-записваща част, както и анализ на ЕКГ сигналите (QRS детекция) и MatLab – само анализираща част. Приемащият софтуер е разделен на отделни модули – нишки. Приемащ модул, отговорен за приемане на данните от външния модул посредством USB порт, записва данните в оперативната памет на ПК и предава суровите данни на командния модул. Командният модул приема данните от приемащия, обработва ги (филтриране на мрежовите смущения и потискане на дрейфа на нулевата линия), и ги предава на модула за визуализация в реално време. Модулът за визуализация показва сигнала с известно закъснение – по-малко от 1 секунда, това се прави с цел сигналът винаги да се визуализира плавно на екрана без задръжки в случай, когато приемащата нишка се забави с приеманите данни. Командният модул също е отговорен и за подаване на команди към приемащото устройство.

Програмата в ПК съдържа в себе си 3 нишки – отделна нишка за всеки модул, като с най-висок приоритет е нишката, отговорна за визуализирането на ЕКГ сигнала. Главният панел на програмата (Фиг. 3) съдържа меню с опция за избор на порт за

комуникация. Главното ToolBox меню се използва основно за работа на програмата. Това меню съдържа три групи бутони: първа група е за отваряне и затваряне извън реално време на записаните сигнали; втората група, състояща се от 4 броя бутони – е за управление на записа по време на приемане на пакетите данни; третата група бутони се използва за анализ на записания сигнал – QRS детекция и старт на времеви анализ. Последната група бутони се използва за връзка на програмата към комуникационния USB порт. На главния панел също има и три главни падащи менюта. Чрез тях може да се конфигурират различни режими на работа на КС, накратко описани в следващата точка.



Фиг. 3

3. Видове тестове и режими на работа

1. ECGMode – тук се избира режимът на запис (стандартен 12-канален или двуканален), като при него каналът за запис се избира от падащото меню ECGLead.
2. ECGTestMode – тук се избира последователно кой тест да бъде приложен върху пациента (Фиг. 4).
 - a. 5 минути запис в легнало положение;
 - b. StandUP тест – 1 мин седнал и 1 мин изправен;
 - c. Тест за дълбоко дишане – продължителност 30 секунди;
 - d. Валсалва маньовър тест;

- e. *Handgrip* тест;
 - f. 5 минути запис на ЕКГ в изправено положение.
3. ECGLead – активен когато се записва само двуканално ЕКГ.

ECG Mode	ECG Test Mode	ECG Lead
ECG Test Mode	StandingUp Test	Lead I
Ch 1	5 min Rest record StandingUp Test Deep breathing Test	
Ch 2	Valsalva manoeuvreTest Hand grip Test 5 min StandUp record	
Ch 3		

Фиг. 4

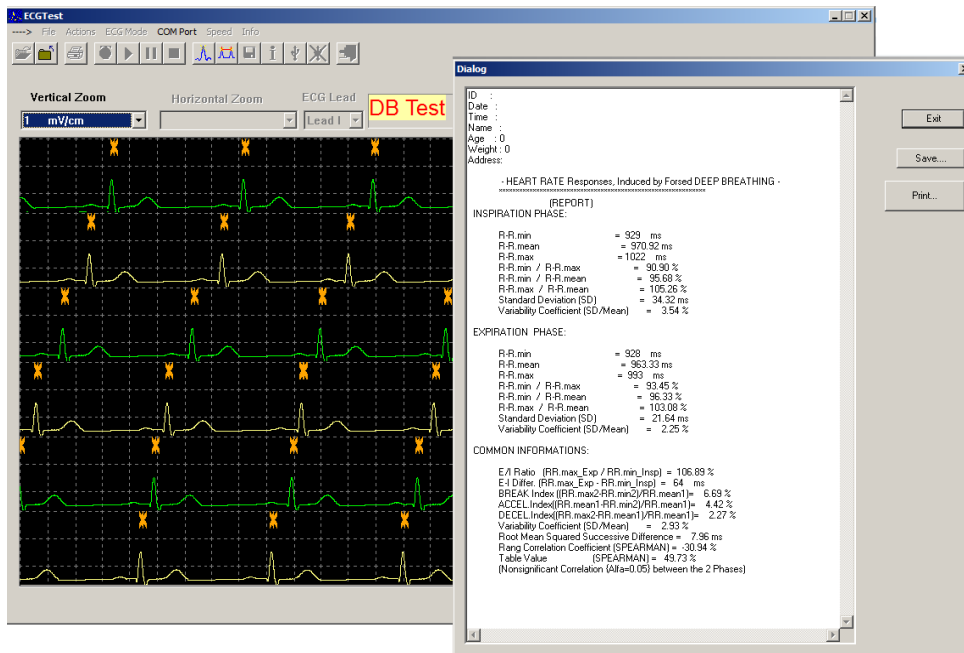
4. Видове обработка и анализ

Записаният ЕКГ сигнал основно се обработва и анализира извън реално време с цел да се подобри качеството на диагностичните параметри за финална оценка. В извънреално време може да се използват различни по вид и тежест филтри и други инструменти за цифрова обработка на сигнала, [2]. Също така могат да се прилагат различни процедури за анализ – времеви и честотни сигнални параметри едновременно. Предимството е, че винаги има запазен ЕКГ сигнал, достъпен за други анализи и съставяне на база данни.

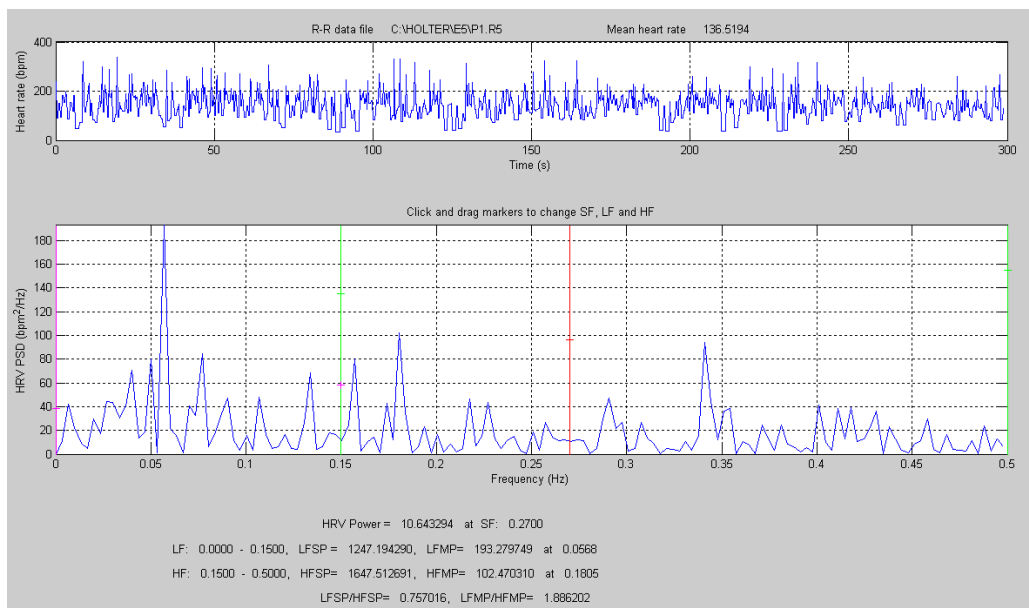
Програмата е създадена също в средата на VisualC++ – при отваряне на ЕКГ запис подлага сигнала на филтрация и чрез команда от главното меню прави първична QRS детекция, [2]. Потребителят има възможност да разгледа анализирания сигнал и да нанесе корекции, ако е необходимо – добавяне на нови или премахване на излишни QRS марки.

Ако се анализират записаните ЕКГ записи от тестовете от групата **b, c, d, e**, споменати по-горе, тази програма изпълнява и по-нататъшен анализ. Този анализ е времеви, като изследва RR интервалите на записаните ЕКГ сигнали, отделя минималния, средния и максималния RR интервал, както следва: RRmin, RRmean и RRmax. Извършва някои математически изчисления и показва резултата в табличен вид в отделен модален диалог, както е показано на Фиг. 5. На фигурата е показан пример с анализ на запис на ЕКГ сигнал с продължителност 60 сек от тест *DeepBreathing* тест. Показани са параметрите във вдишваща и издишваща фаза, както и общи параметри.

В случай когато сигналът е 5-минутен запис (проведен запис в легнало положение), програмата отново прави QRS детекция, преглеждане на записа, записват се детектираните RR интервали в специален файлов формат и се подават на друга програма за анализ – MatLab, която е скриптово базирана. Тя анализира файла с RR интервалите и прави честотен анализ и извежда резултат от анализа в специален прозорец в средата на MatLab, както е показано на Фиг. 6. На малката графика са показани всички RR интервали



Фиг. 5.



Фиг. 6

на целия 5-минутен запис с цел да се види дали има проблематични интервали, т.е. сгрешена QRS детекция. На втория прозорец (Фиг. 6) са показани стойностите (мощностите) на отделните честоти в размерност brm^2/Hz – отчетливо се вижда влиянието на дихателна активност върху изменението на сърдечния ритъм – честота около 0.35 Hz.

5. Заключение

Като заключение може да се изтъкнат предимствата и възможността за бъдещо развитие на тази система. Предимства са лесното използване, ниската цена и лесната преносимост на системата. Като бъдещо развитие може да се изтъкне, че тази ЕКГ система може да се разшири и надгражда за други анализи, както времеви, така и честотни. Тя притежава възможността да се повиши и честотата на дискретизация до 32 kHz: с тази висока честота на дискретизация може да се подобрят и диагностичните параметри, като например при ЕКГ вектор кардиографията, след QRS детекция от сборния усреднен QRS комплекс се изобразяват вектор кардиографските бримки в различните равни с висока разделителна способност.

В момента се работи по разширение на базата данни: освен събиране на ЕКГ сигнали ще се събират и допълнителни данни като например: възраст на пациента, пол, наследствена обремененост, регион на местоживеене т.н. Това се прави с цел да се използват пълните възможности на интеркритериалния анализ (вж. напр. [1]). Друго значимо приложение на интеркритериалния анализ е прилагането му за анализ на криви и образи с цел анализ на записаните вече записи в ЕКГ база данни.

Благодарности

Авторът благодари за подкрепата на проект КП-06-H22/1/2018 г. „Теоретични изследвания и приложения наинтеркритериалния анализ (ТИПИКА)“, финансиран от Фонд „Научни изследвания“.

Литература

- [1] Atanassov, K., Mavrov, D., Atanassova, V., Intercriteria Decision Making: A New Approach for Multicriteria Decision Making, Based on Index Matrices and Intuitionistic Fuzzy Sets. *Issues in Intuitionistic Fuzzy Sets and Generalized Nets*, Vol. 11, 2014, 1–8.
- [2] Christov, I., Stoyanov, T., Steep slope method for real time QRS detection. *10th Conference with International Participation "ELECTRONICS - ET 2001"*, Sozopol, September, 2001.
- [3] Levkov, C. L., Amplification of biomedical by body potential driving. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 20, 1982, 248–250.
- [4] Levkov, C. L., Amplification of biomedical by body potential driving. Analysis of the circuit performance. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 26, 1988, 389–396.
- [5] Доцински, И., Даскалов, И., Потискане на мрежови смущения в електрокардиограмата. *Електроника и електротехника*. No 5/6, 1996, 32–38.