طراحی و ساخت سیستم ارسال تلفنی سیگنال های قلبی

محمد حسن مرادی
استادیار

جلیل مظلوم
دانشجوی دکترا

دانشکدهٔ مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیده

با گسترش استفاده از سیگنال الکترو کاردیوگرام برای آشکارسازی و تشخیص بیماری های قلبی، انتقال مؤثر این سیگنال بر روی خطوط تلفن یا موبایل، هر چه بیشتر اهمیت می یابد. یك متخصص در یك بیمارستان بزرگ می تواند با استفاده از آن، اطلاعاتی را از یك بیمار در یك ناحیه روستایی و دور افتاده دریافت نموده و یك برنامه درمانی مشخص را برای او تجویز کند. در این مقاله، مراحل مختلف طراحی و ساخت یك سیستم انتقال تلفنی هوشمند ECG با دوازده اشتقاق بیان شده است که شامل دو بخش سخت افزار و نرم افزار است. نرم افزار نوشته شده برای قسمت میکروپرسسوری امکان شماره گیری بیمارستان و انتقال یا دریافت داده های سریال به مودم را فراهم می کند. نرم افزار نوشته شده برای کامپیوتر بیمارستان با استفاده از یك الگوریتم زمان واقعی، سیگنال ECG را رسم کرده و با فشرده سازی آن به چهار روش آن را در دیسك سخت کامپیوتر ذخیره می کند.

کلمات کلیدی

الکتروکاردیوگرام، اشتقاق، فیلترهای آنالوگ و دیجیتال،تشخیص کمپلکس QRS، مودم دیجیتال، فشرده سازی سیگنال ECG

Design and Construction of a System for Telephonic Transmission of ECG Signals

M. H. Moradi
Assistant Professor

J.Mazloum
Ph.D. Student

Department of Biomedical Engineering,
Amirkabir University of Technology

Abstact

With the growing use of Electrocardiogram signal for detection and diagnosis of heart disorders, the efficient transmission of this signal over telephone lines or mobile radio is becoming more and more important. A specialist in a major hospital can use the system and receive information on a patiend in a rural area and send back a plan of treatment specific for that patient.

In this article,we present different stage for design and fabricate an intelligent telephonic transmission System with 12-Lead ECG. This paper includes two sections on hardware and software. The digital hardware circuitry takes benefit of an microprocessor. Microprocessor software takes hospital telephone number and transmit/receive serial data to modem. In software section a real time algorithm is used to draw ECG signal and save this digital data to remote computer hard disk and compression ECG signal via four algorithms.

Keywords

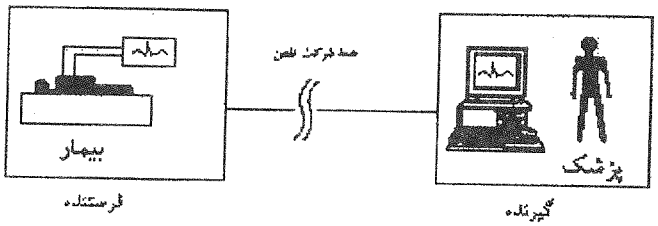
Electrocardiogram (ECG), lead, analog and digital filters,QRS detection, digital modem, ECG signal compression.

مقدمه

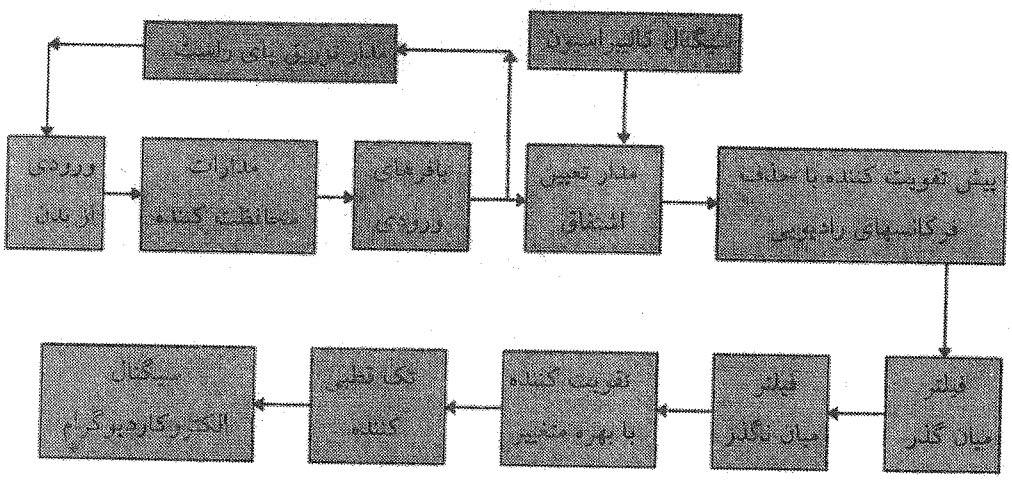
در جهان امروز علیرغم پیشرفت های قابل توجه در پزشکی، هنوز هم بیماری های قلبی از مسائل حائز اهمیت و از علل شایع مرگ و میر بیماران می باشد. بر اساس اطلاعات منتشر شده توسط پزشکان هندی در سیمنار «شما و قلبتان»، حدود ۴۰ میلیون نفر از مردم سراسر جهان از بیماری های قلبی رنج می برند. در کشور ما بنا بر آماری که از سازمان بهشت زهرا منتشر شده است ۱۸۶۷۴ نفر از ساکنان تهران در سال ۱۳۷۵ بر اثر سکته قلبی جان سپرده اند [۱]. بر اساس اظهار نظر پزشکان هنوز هم الکتروکاردیوگارام ثبت شده از ۱۲ اشتقاق استاندارد، مفیدترین روش تشخیص بیماری های قلبی است. بطوریکه سادگی تفسیر و غیر تهاجمی بودن و در عین حال جامع بودن اطلاعات بدست آمده از این روش باعث شده است که با پیشرفت تکنولوژی ارزش خود را حفظ کرده و کاربرد بیشتری داشته باشد [۲]. با توجه به اهمیت این مسئله، امروزه در جوامع پیشرفته توجه روز افزونی به سیستم های سیار الکتروکاردیوگرافی می شود [۳و۴]. وظیفه این سیستم ها دریافت سیگنال قلب بیمار و ارسال آن از طریق خطوط ارتباطی به بیمارستان یا کلینیک تخصصی می باشد. این امر موجب کاهش اتلاف وقت و ارزیابی سریع وضعیت بیمار می شود، چرا که روش درمان بیمار قبل از ورودش به بیمارستان طراحی شده است و همه چیز آماده ورود بیمار می باشد [۶و۷]. هدف از ارائه این مقاله، نحوه طراحی دستگاهی است که توانایی ارسال سیگنال های الکتروکاردیوگرام را از خط تلفن بصورت خودکار داشته باشد و برای ارسال این سیگنال ها، بیمار نیازی به کامپیوتر نداشته باشد و دستگاه تمامی مراحلی را که منجر به برقراری ارتباط تلفنی با کامپیوتر بیمارستان می شود را انجام دهد. در آنصورت این سیستم می تواند جزء یکی از دستگاه های لازم جهت بررسی وضعیت بیماران اورژانسی و بیماران واقع در شهرهای دور بحساب آید.

۱ـ بلوک دیاگرام کلی سیستم

در حالت کلی دستگاه مزبور به دو بخش فرستنده و گیرنده تقسیم می شود (شکل ۱). قسمت فرستنده یک سیستم کوچک ریزپردازنده ای با قابلیت های ویژه است که وظیفه کنترل سخت افزار، دریافت سیگنال قلب و ارتباط آن با خط تلفن را بر عهد دارد. قسمت گیرنده از یک سیستم کامپیوتری و کارت دریافت کننده سیگنال از طریق خط تلفن و نمایش، ذخیره سازی و فشرده سازی بلادرنگ اطلاعات توسط نرم افزار نوشته شده را تشکیل می دهد. هر یک از این قسمت ها بطور جداگانه بررسی می شوند.



شکل (۱) بلوک دیاگرام سیستم طراحی شده.



شکل (۲) بلوک دیاگرام دریافت سیگنال الکتروکاردیوگرام.

۲ـ معرفی بلوک های دریافت سیگنال های قلب

شکل (۲) تمامی بلوک های لازم جهت دریافت سیگنال های الکتروکاردیوگرام را نشان می دهد. وظیفه هر بلوک بصورت خلاصه بیان می شود.

۲ـ۱ـ الکترودهای نصب شده بر روی بدن

برای دریافت ۱۲ اشتقاق استاندارد قلبی، توسط ده عدد الکترود پزشکی پتانسیل های الکتریکی از سطح بدن جمع آوری می شود که چهار عدد از آنها دست ها و پاه ها و شش عدد دیگر روی سینه نصب می شوند.

۲ـ۲ـ مدارات محافظت کننده

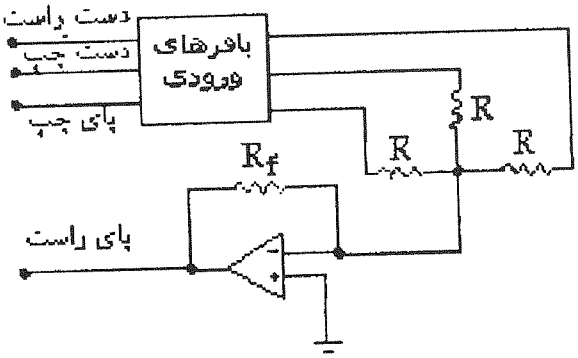
در مواردی که لازم است از این دستگاه در بیمارستان ها استفاده شود وجود اینگونه مدارات برای محافظت از اعمال ولتاژهای بالای دستگاه های شوک الکتریکی الزامی می باشد. اینگونه مدارات از لامپهای نئون و دیودهای نیمه هادی ساخته می شود.

۲ـ۳ـ بافرهای ورودی

علت استفاده از بافر، امپدانس ورودی خیلی زیاد آن می باشد که در حالت ایده ال هیچ جریانی از الکترودها کشیده نمی شود و بیمار رفتار طبیعی از خود نشان می دهد.

۲ـ٤ـ مدار ترزیق پای راست

در اغلب سیستم های الکتروکاردیوگرافی بیمار اصلاً زمین نمی شود و در عوض پای راست بیمار به خروجی یک تقویت کننده فرعی متصل می شود. در این حالت ولتاژهای مشترک روی بدن بیمار با فیدبک منفی به پای راست تزریق می گردد که منجر به کاهش امپدانس معادل پای راست نسبت به زمین به اندازه ضریب تقویت کننده می شود. این مدار در شکل (۳) نمایش داده شده است [۸].



شکل (۳) مدار تزریق پای راست.

۲ـ۵ـ مدار تعیین اشتقاق

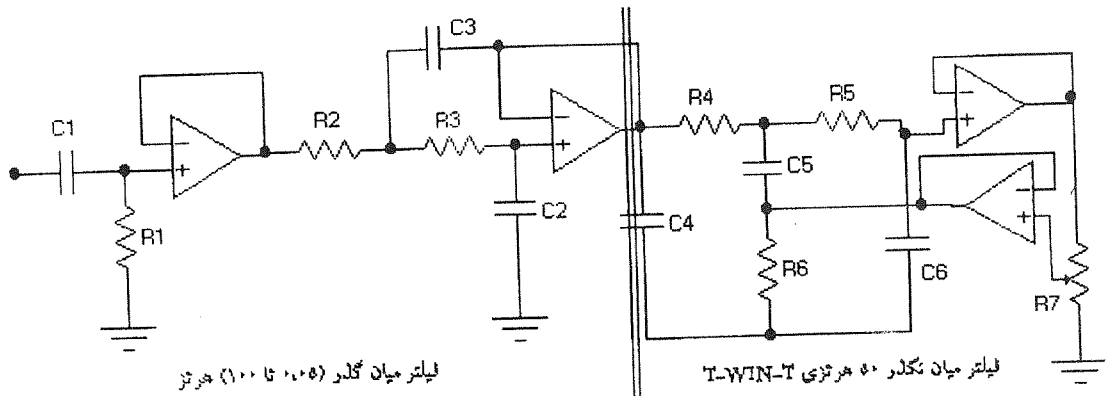
این مدار به منظور انتخاب هر یک از ۱۲ اشتقاق استاندارد قلبی توسط سخت افزار بوسیله کلیدهای آنالوگ قابل کنترل از طرف ریز پردازنده می باشد. در صورت انتخاب هر اشتقاق عملیات های بعدی فقط روی آن اشتقاق انجام می شود.

۲ـ۶ـ اعمال سیگنال کالیبراسیون

از خصوصیات هر سیستم پزشکی، قابلیت کالیبراسیون دقیق آن است که در این طرح، کاربر می تواند توسط کامپیوتر سیستم را کالیبره کند.

۲ـ۷ـ پیش تقویت کننده با حذف سیگنال های رادیویی

با توجه به ماهیت تفاضلی سیگنال های الکتروکاردیوگرام، بوسیله یک تقویت کننده ابزار دقیق با امپدانس ورودی و نسبت حذف مد مشترک (CMRR) بالا، سیگنال بدست آمده تا این مرحله را به میزان کمی تقویت می کنیم (به علت وجود سیگنال DC روی سیگنال الکتروکاردیوگرام، تقویت در یک مرحله انجام نمی شود). البته قبل از اعمال این سیگنال به پیش تقویت کننده بوسیله یک فیلتر پائین گذر فرکانس های



شکل (۴) مدار کامل فیلترهای مورد استفاده در مدار.

رادیوئی از سیگنال کاملاً حذف می شود و سپس عملیات تقویت تفاضلی انجام می شود.

۸ـ۲ـ فیلترها

با توجه به اینکه محدوده فرکانسی سیگنال قلب در حدود ۰/۰۵ تا ۱۰۰ هرتز است، بوسیله یک فیلتر میانگذر این محدوده فرکانسی انتخاب می شود و همچنین برای تضعیف نویز برق شهر فیلتر میان نگذر ۵۰ هرتزی فرکانس های مزاحم برق شهر را تا حد ممکن کاهش می دهد. با این اوصاف سیگنال فاقد از هر گونه نویزی آماده تقویت شدن نهایی است (شکل ۴).

۹ـ۲ـ تقویت کننده کلی با بهره متغیر

از آنجایی که محدوده دامنه سیگنال قلب برای افراد مختلف فرق می کند، لزوم طراحی تقویت کننده با بهره متفاوت احساس می شود. بوسیله مدارهای کنترلی، کاربر توانایی تقویت سیگنال به مقدارهای معینی را دارد.

۱۰ـ۲ـ تک قطبی کننده

اگر تا مرحله قبل تمامی طراحی صحیح باشد، سیگنالی در محدوده مثبت و منفی بدست می آید که بوسیله این مدار سیگنال را مقداری به بالا شیفت داده تا سیگنال در محدوده کار برای مدارات دیجیتال برسد.

۳ـ معرفی بلوکهای بخش دیجیتال

شکل (۵) بلوک دیاگرام لازم جهت ارسال دیجیتال اطلاعات به وسایل جانبی را نمایش می دهد. این بلوک همچنین وظیفه کنترل مدار تعیین اشتقاق و تقویت کننده کلی را نیز به عهده دارد که وظیفه هر بلوک تشریح می شود.

۱ـ۳ـ مبدل آنالوگ به دیجیتال

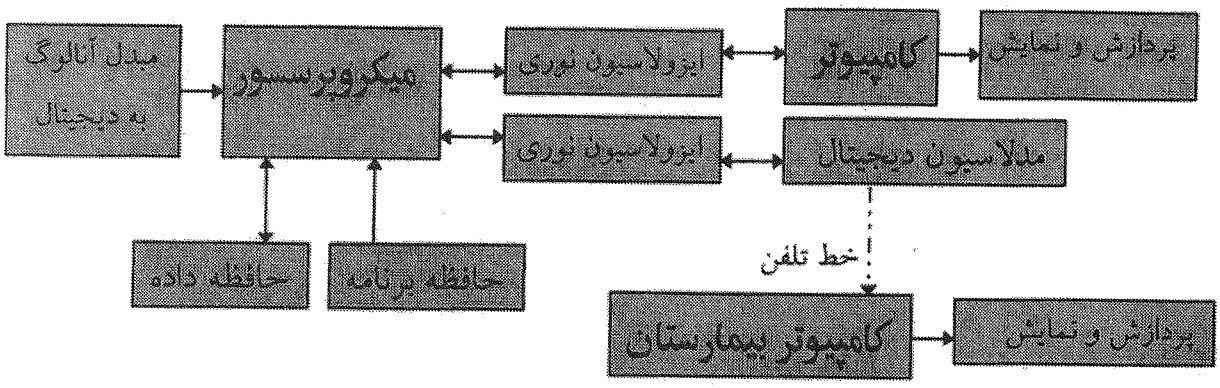
بخش دیجیتال سیستم با عملیات تبدیل آنالوگ به دیجیتال شروع می شود. این مدار مجتمع سیگنال را از قسمت آنالوگ دریافت کرده و به ارقام باینری تبدیل می کند. با توجه به پهنای باند سیگنال (۰/۰۵ تا ۱۰۰ هرتز) و طبق قضیه نمونه برداری شانون ـ نایکویست، فرکانس نمونه برداری ۲۵۰ هرتز انتخاب گردید. فرامین خواندن داده در هر ۴۰ میلی ثانیه از طرف ریز پردازنده صادر می شود.

۲ـ۳ـ ریز پردازنده

تمامی فرامین کنترلی بخش های قبلی و ارتباط تلفنی با کامپیوتر بیمارستان توسط این بلوک انجام می شود [۵]. بوسیله برنامه موجود در حافظه برنامه، سیستم تمام این قابلیت ها را انجام می دهد. همچنین سیستم قادر به ذخیره سازی اتوماتیک ۱۳ ثانیه از هر ۱۲ اشتقاق استاندارد ECG را در حافظه داده داخلی خود دارد. در آنصورت این وسیله در هر مکانی می تواند مورد استفاده قرار بگیرد و فقط باید بعد از استفاده، اطلاعات از این حافظه به کامپیوتر منتقل شود یا اینکه از خط تلفن به ایستگاه ثابت بیمارستان ارسال شود.

۳ـ۳ـ اتصال مستقیم به کامپیوتر

این سیستم قابلیت اتصال مستقیم به کامپیوتر شخصی از طریق پورت سریال RS-232 را دارد. در این حالت سیگنال الکتروکاردیوگرام مستقیماً از بیمار دریافت می شود و بصورت بلادرنگ روی مانیتور کامپیوتر نمایش داده می شود. علاوه بر نمایش، عملیات ذخیره سازی و پردازش سیگنال و فشرده سازی روی سیگنال انجام می شود. از آنجایی که باید هر واحد از دستگاه های جانبی بصورت کامل



شکل (۵) بلوک دیاگرام بخش دیجیتال سیستم طراحی شده.

ایزوله باشد توسط کوپل نوری، سیگنال بیمار وارد کامپیوتر می شود و هیچ اتصالی بین دو سیستم وجود ندارد.

٤-٣- اتصال مستقیم به خط تلفن

در صورتی که کاربر مایل به استفاده از این حالت باشد، با اتصال مستقیم دستگاه به خط تلفن عملیات مانیتورینگ از منزل شخصی به بیمارستان انجام می شود. در این حالت سیستم ابتدا باید عملیات شماره گیری تلفنی را انجام دهد و بعد از برقراری ارتباط با کامپیوتر موجود در بیمارستان عملیات مانیتورینگ از راه دور از طریق خط تلفن انجام می شود. بوسیله مدارات مجتمع مودم، سیگنال دیجیتالی که بصورت سریال تبدیل شده است به سیگنال های صوتی قابل عبور از خط تلفن تبدیل می شود و در قسمت گیرنده این سیگنال دوباره به اطلاعات دیجیتالی تبدیل شده و وارد کامپیوتر می شود. باز هم به منظور ایزولاسیون دستگاه از خط تلفن توسط کوپل نوری دو قسمت از یکدیگر جدا شده اند.

٤- معرفی بلوکهای قسمت گیرنده

قسمت گیرنده از یک کامپیوتر با کارت واسطه ای که داخل اسلات کامپیوتر نصب می شود، تشکیل شده است. این کارت قابلیت تشخیص سیگنال زنگ تلفن را دارد به این صورت که به محض خوردن زنگ تلفن با دادن وقفه به کامپیوتر، زیر برنامه عملیات دریافت سیگنال را فعال می کند. سپس سیگنال الکتروکاردیوگرام بیمار طبق یک پروتکل ارتباطی از راه دور وارد کامپیوتر می شود و آناً عملیاتهای نمایش و پردازش و فشرده سازی و ذخیره سازی اطلاعات انجام می شود. قطع عملیات دریافت داده، از طرف بیمار یا پزشک موجود در اتاق کامپیوتر بیمارستان یا بصورت اتوماتیک می تواند انجام شود.

٥- پردازش سیگنال

همانطوریکه اشاره شد، در حین دریافت سیگنال باید پردازش هایی روی آن به صورت بلادرنگ انجام‌شود. این پردازش ها شامل حذف نویز برق شهر [٩]، تشخیص کمپلکس QRS سیگنال الکترودیوگرام [١١و١٢]، و فشرده سازی سیگنال [١٠و١٣] می باشد.

با توجه به اینکه در حین ارسال سیگنال هنوز تداخل های نویز برق شهر روی سیگنال اثر می گذرد، بوسیله یک فیلتر دیجیتالی این نویز کاملاً از سیگنال پاک می شود. همینطور به منظور مانیتورینگ تعداد ضربان قلب بیمار، بوسیله عملیات های پردازشی کمپلکس QRS در هر دوره تناوب استخراج می شود. همینطور با توجه به اینکه عملیات نمایش برای مدتها باید ادامه داشته باشد، الگوریتم های فشرده سازی سیگنال بمنظور کاهش حجم، بدون از بین رفتن اطلاعات مهم کلینیکی و اثر گذاشتن روی تشخیص پزشک انجام می شود. در این راستا یک الگوریتم جدید فشرده سازی روی سیگنال ها انجام شد که این روش از ترکیب کدگذاری هافمن با پیشگویی خطی مرتبه اول بدست می آید و با روش های معمول فشرده سازی داده ها مقایسه گردید که در این روش بدون هیچگونه تغییر در سیگنال اولیه بعد از عمل گسترده سازی، حجم داده ها به میزان بیشتر از ٥٠ درصد کاهش می یابد [١٤].

٦- نرم افزار سیستم

نرم افزار سیستم از دو قسمت تشکیل شده است. قسمت اول مربوط به نرم افزار موجود در حافظه برنامه سخت افزار بیمار می باشد. این برنامه که به زبان اسمبلی نوشته شده است وظیفه کنترل سخت افزار و ارتباط با خط تلفن را بعهده دارد. قسمت اعظم نرم افزار به کامپیوتر موجود در بیمارستان مربوط می شود، که به زبان برنامه نویسی C++ نوشته شده است. بوسیله این نرم افزار تمامی عملیات های پردازش، فشرده سازی، ذخیره سازی و نمایش سیگنال انجام می شود. این نرم افزار کاملاً در محیط گرافیکی نوشته شده است و به کاربر اجازه نمایش مجدد سیگنال های دریافت شده را می دهد. همینطور کاربر قادر به مدرج کردن صفحه نمایش و استفاده از موس می باشد. شکل (٦) نمونه ای ازسیگنال دریافت شده از خط تلفن بوسیله سیستم ساخته شده و محیط گرافیکی نرم افزار نوشته شده را نشان می دهد. از آنجائیکه خطای ارسال و دریافت اطلاعات صفر می باشد سیگنالی که در این شکل دیده می شود با سیگنالی که در منزل بیمار گرفته شود برابر می باشد.

٧- نتیجه گیری

در این مقاله سعی شد تا تمامی اجزای یک سیستم ثبت پتانسیل های قلبی و ارسال آن از طریق خط تلفن بیان شود. از جمله مواردی که باعث پیچیدگی کار در حین انجام طراحی سیستم با مشخصات توضیح داده شده در قسمت های قبل می شد، وجود نویزهای مختلف از جمله نویز ٥٠ هرتز برق شهر بود که با رعایت تکنیک کاهش نویز در طراحی مدار چاپی، توانستیم سیگنال پایدار و تمیزی برای ECG بدست آوریم. از آنجائیکه هر سیستم عملی بعد از ساخت می بایستی مورد آزمایش قرار بگیرد، سخت افزار و نرم افزار پس از تکمیل شدن برای مشخص شدن قابلیت های آن در بیمارستان امام خمینی و جواهری تحت آزمون قرار گرفت و

کیفیت سیگنال ثبت شده از هر ۱۲ اشتقاق و راحتی استفاده از سخت افزار و نرم افزار از طرف بیمار و پزشک متخصص از هر نظر مورد تائید واقع شد، که لازم است از زحمات همهٔ متخصصان قلب آن دو بیمارستان خصوصاً دکتر میرخانی رئیس مجتمع بیمارستانی امام خمینی و دکتر محمد حسنی فوق تخصص بیماریهای قلبی بیمارستان جواهری تشکر کنم.

۸ـ پیشنهادات

در جهت ادامه کار و تکمیل طرح، چند پیشنهاد ارائه می گردد:

۱ـ افزایش قابلیت های سیستم در ارسال و دریافت سیگنال های صوتی و تصویری بیمار و پزشک معالج علاوه بر سیگنال الکتروکاردیوگرام بیمار.

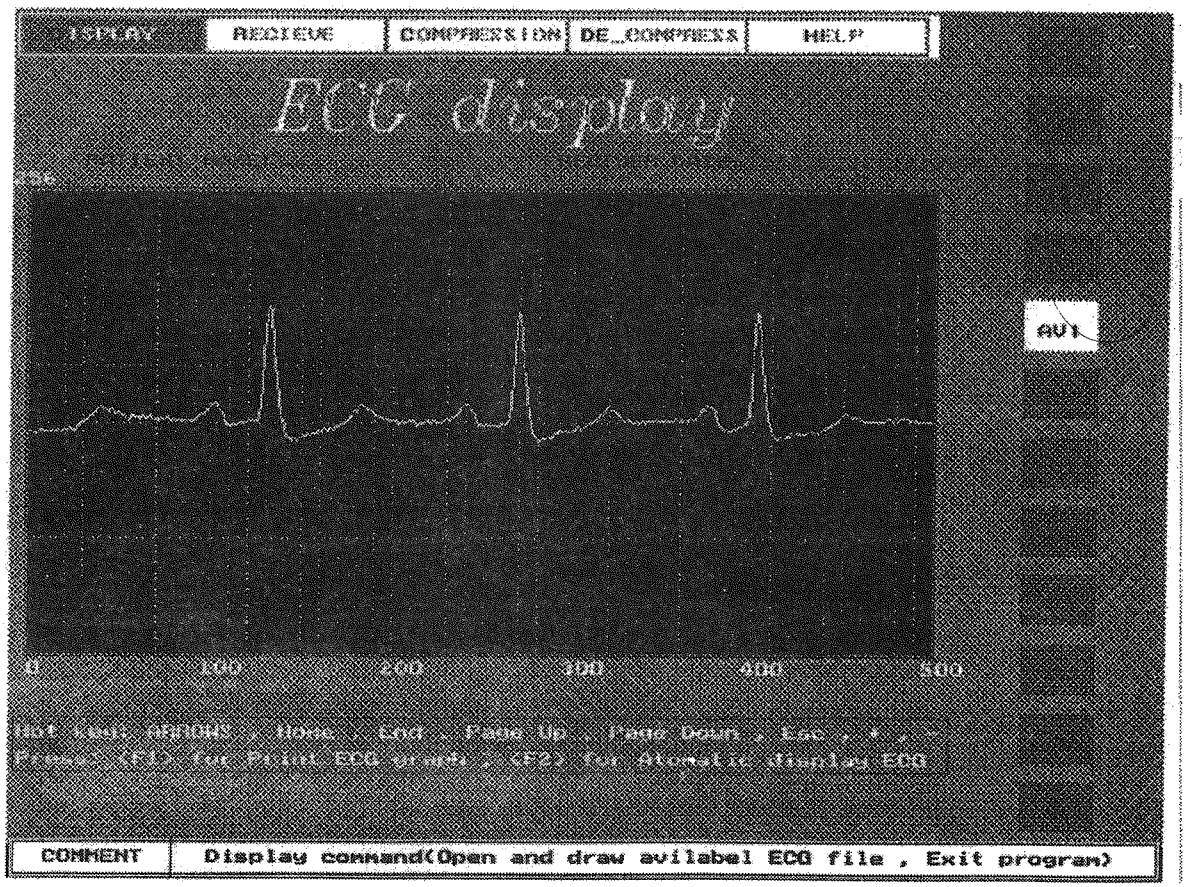
۲ـ ارسال پارامترهای کلینیکی مهم دیگر نظیر فشار خون، صدای قلب، حجم تنفسی و ... از طریق خط تلفن.

۳ـ قرار دادن نمایشگر LCD کوچک در قسمت فرستنده بمنظور ایجاد حالت روانی در ارسال سیگنال از بیمار به بیمارستان و نمایش اطلاعات مهم بر روی این نمایشگر.

۴ـ طراحی سیستمی با قابلیت ارسال پارامترهای کلنیکی از طریق شبکه تلفنی سیار (موبایل)، که این وسیله جزء واحدهای سیار مراقبت های پزشکی در آمبولانس ها می تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

۵ـ طراحی یک سیستم مدرن پزشکی بمنظور استفاده آن در شهرهای کوچک برای جلوگیری از مراجعه بیماران غیر ضروری به شهرهای بزرگ.

۶ـ تکمیل نرم افزار سیستم در جهت تشکیل بانک های اطلاعاتی بیماران و استفاده از الگوریتم های تشخیص بیماری با استفاده از کامپیوتر.



شکل (۶) نمونه ای از سیگنال دریافت شده از دستگاه در محیط نرم افزاری نوشته شده به زبان C++.

مراجع

[۱] جمشید پوراسکندر، «سکته قلبی مهاجمی با قربانیان بی شمار»، روزنامه همشهری

[2] W. Astarita, Diagnostic Accuracy of Physician for Identifing Patients with AMI without ECG, Cardilogy (1995).

[3] P. Friedmanh, D. Aam, Portable System for Acquisition and Transmission of ECG Parameters, PP. 57-62, Medical & Biological Engineering (Jan

1992).
[4] Mitchel M.rhde, Spencer l.Bement, ECG Boy: Hand - Held Entertainment Computers, Biomedical Instrumentation & Technology (Sep 1998).
[5] W. j. Tompkins, J. G. Webster, Design of Microcomputer Base Medical Instrumention, Prinitce - Hall (1988).
[6] J. Mckee, E.Evans, J.owens, A Simulataneous Full-Duplex Speech and Electrocardiogram Commonication System, Accession Number:5093477, IEEE Engineering in Medical and Biology Society (1994).
[7] Jing Bai, Yonghog Zang, Delin Shen, A Portable ECG and Blood Pressue Telemonitoring System, IEEE Engineering in Medicine and Biology (July 1999).
[8] M. S. Enrique, H. M. Nolberto, A. M. Miguel, A Transconductance Driver-Rigth-leg Circuit, vol. 46, IEEE Transaction on Biomedical Engineering (1999).
[9] Mohammad Ferdjallah, Ronald Barv, Adaptive Digital Notch Filter Design on The Unit Circuit for Removal of Power Line Noise From Biomedical Signal, Vol. 41, IEEE Transaction on Biomedical Engineering (1994).
[10] M. S. Jalaledine, G. Hutchens, D. Strattan, ECG Data Compression Techniques-A Unified Approch, Vol. 37, IEEE Transaction on Biomedical Engineering, (1991).
[11] W. Englese, Asingle scon algoritm for QRS detection and feature Extraction, PP. 37-42, IEEE comput card (1979).
[12] P.S.Hamilton, W. J. Tompkins, Quantitative investigation of QRS detection rules using the MIT/BIH arrytmia database, Vol. 33, PP. 1157-1165, IEEE Trans. Biomed. Eng (1986).
[۱۳] جلیل مظلوم، فشرده سازی سیگنال های حیاتی، سمینار کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
[۱۴] جلیل مظلوم،طراحی و ساخت سیستم ارسال تلفنی سیگنال های قلبی، پروژه کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر.