روش های مختلف حذف دریفت خط زمینه الکتروکاردیوگرام قابل پیاده سازی در سیستم های Embedded

نویسنده: علی حیدرنژاد

کارشناس تحقیق و توسعه شرکت داهیان پزشکی پیشرو

فیلتر حذف دریفت خط زمینه، یکی از فیلترهای شناخته شده در تمامی دستگاه های الکتروکاردیوگراف روز دنیا می باشد. هدف از این فیلتر، حذف اعوجاجات خط زمینه می باشد که عموماً از تنفس یا حرکت الکترودها ناشی می شوند. ماهیت فیلتر مذکور، یک فیلتر بالاگذر است و بسته به دستگاه، یک فرکانس قطع برای آن گزارش می شود. از نقطه نظر استانداردهای اختصاصی دستگاه الکتروکاردیوگراف نظیر IEC 60601-2-25 یا ANSI/AAMI EC 11، دستگاه الکتروکاردیوگراف بایستی قادر باشد که در برابر آفست DC در محدوده ی ۳۰۰ mV± مقابله کند و اجازه ی ورود آن را به دستگاه ندهد[1,2]. عموماً این بخش توسط یک فیلتر RC مرتبه یک با فرکانس قطع ۰/۰۵ هرتز پوشش داده می شود. با این وجود، به دلیل فرکانس قطع پایین این فیلتر، سرعت پاسخ دهی این فیلتر به اعوجاجات خط زمینه پایین است و نیاز می باشد که یک فیلتر در سیستم پیش بینی شود. این نکته قابل ذکر است که در طراحی های روز دنیا، بازه ی فرکانسی ۱۵۰- ۰/۰۵ هرتز در بخش آنالوگ دستگاه های مختلف دریافت می شود و پس از تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال، فیلترهای مختلف روی داده های دیجیتال پیاده سازی می گردد که یکی از این فیلترها، فیلتر حذف دریفت خط زمینه می باشد. از آنجا که حد پایین بازه فرکانسی الکتروکاردیوگرام مطابق با مطالعات صورت گرفته ۰/۶۷ هرتز می باشد، عموماً فرکانس قطع این فیلتر ۰/۵ یا کمتر است.

فیلترهای پیاده سازی شده دیجیتال در دستگاه های مختلف جزو اسرار صنعتی شرکت سازنده می باشند و شرکت ها الگوریتم مورد استفاده در دستگاه های خود را منتشر نمی کنند. در این مقاله سعی شده است که روش های مختلف جهت حذف دریفت خط زمینه بررسی شوند و نقاط ضعف و قوت هر کدام آشکار شود.

فیلتر IIR: شاید یکی از ساده ترین روش های حذف اعوجاج خط زمینه، استفاده از فیلترهای بالاگذر IIR باشد. نقطه قوت فیلترهای IIR، تعداد کم ضرایب آن ها و عدم نیاز به بافر با حجم بالا و بالتبع سرعت بالای پردازش می باشد. نقطه ضعف بزرگ این فیلتر، وجود اعوجاج فاز در محدوده باند گذار است که باعث ایجاد اعوجاج در بخش های فرکانس پایین سیگنال نظیر بازه ST می شود. یک راه حل جهت کاهش اعوجاج، پایین آوردن فرکانس قطع است که اعوجاج خط زمینه را کاهش می دهد ولی در کنار آن، کارایی فیلتر دریفت را نیز کاهش می دهد.

فیلتر FIR: فیلترهای FIR ساده ترین راه حل در برابر مشکل اعوجاج فاز فیلترهای IIR می باشند. خاصیت فاز خطی منجر به آن می شود که هیچگونه اعوجاجی در بخش های فرکانس پایین سیگنال نداشته باشیم. معضل بزرگ این فیلترها، طول بالای آن فیلتر است؛ برای مثال، طول یک فیلتر FIR بالاگذر با فرکانس قطع ۰/۳ هرتز و فرکانس عبور ۰/۵ هرتز و پنجره ی Kaiser [3]با

۲۰ دسی بل تضعیف در باند توقف و رایپل یک دسی بل در باند عبور برابر ۵۸۷۳ نمونه (در فرکانس نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز) است. چنانچه فرکانس نمونه برداری ۱۰۰ هرتز باشد، با همین خصوصیات طول فیلتر برابر ۵۸۸ نمونه می شود. لازم به ذکر است که در این حالت معضل تأخیر باقی می ماند ولی از نظر حجم بافر با کاهش مواجه هستیم.

فیلتر IIR پسرو-پیشرو (Forward-Backward): یکی از روش های استفاده از فیلتر IIR، استفاده از آن به صورت پسرو – پیشرو است. به این ترتیب که سیگنال ورودی ابتدا از یک فیلتر IIR بالاگذر عبور می کند و سپس خروجی آن به صورت قرینه از همان فیلتر عبور می کند. این روند در روابط (۱) تا (۳) آمده است. چنانچه فرض شود که x[n] ورودی سیستم و y[n] خروجی باشد، داریم:

$$z_1[n] = h[n] * x[n] \qquad (۱)$$

$$z_2[n] = h[n] * z_1[n] \qquad (۲)$$

$$y[n] = z_2[-n] \qquad (۳)$$

رابطه (۴) یکی از خواص تبدیل فوریه می باشد:

$$x[-n] \overset{F}{\leftrightarrow} X^*(e^{jw}) \qquad (۴)$$

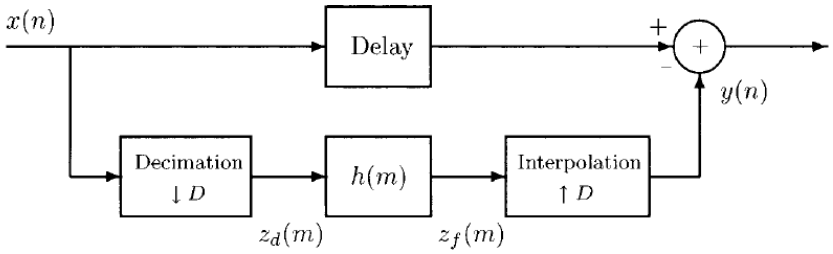
رابطه (۵) بیانگر خروجی بر حسب ورودی در حوزه فرکانس می باشد:

$$Y(e^{jw}) = Z_2^*(e^{jw}) = H^*(e^{jw})Z_1(e^{jw}) = H^*(e^{jw})H(e^{jw})X(e^{jw}) = |H(e^{jw})|^2 X(e^{jw}) \qquad (۵)$$

با توجه به روابط حوزه فرکانس، مشاهده می شود که فاز سیگنال خروجی با فاز سیگنال ورودی یکسان است. این فیلتر علاوه بر مزیت فاز صفر بودن، تمامی مزیت های فیلتر IIR را دارد. مشکل بزرگ این فیلتر آن است که نمی توان آن را برای کاربردهای Online به کار گرفت. در صورت استفاده از آن، باید مدت زمانی سیگنال را ذخیره کرد (در حد چند ثانیه) و سپس بافر مذکور را فیلتر کرد. با این وجود، فیلتر مذکور در کاربردهای Offline گزینه مناسبی می باشد.

روش Decimation-Interpolation:

هدف این روش این است که با تعداد نمونه های کمتر نسبت به فیلتر FIR، دریفت خط زمینه تخمین زده شود و سپس با یک تأخیر از سیگنال اصلی کم می شود. این روش در دو مرحله اجرا می شود: ابتدا سیگنال اصلی Down-sample شده و از فیلتر h عبور داده می شود وسپس خروجی فیلتر درونیابی می شود تا به سیگنال با فرکانس نمونه برداری اولیه برگردد. با نمونه برداری با نرخ کمتر از نرخ نمونه برداری سیگنال اصلی، مولفه های با فرکانس بالای سیستم حذف می شود و در واقع سیستم به یک فیلتر پایین گذر تبدیل می شود که خروجی آن تخمینی از Baseline Wander است. پس از اینکه تخمینی از دریفت درون یابی شد و به فرکانس اولیه بازگشت، با کم کردن آن از سیگنال ورودی، دریفت سیگنال حذف می شود. اگر Down-sampling با نرخ D انجام می شود، برای جلوگیری از Aliasing باید پهنای باند سیگنال ECG در این بازه باشد : $|w| < \frac{\pi}{D}$.



شکل ۱. روش Decimation-Interpolation [4]

روش مذکور نیاز به یک بافر برای ذخیره کردن داده ها دارد و از آنجا که برای تخمین بهتر دریفت خط زمینه، نیاز به نمونه های پیشین و پسین نمونه ی فعلی دارد، یک فیلتر غیرعلّی می باشد. مزیت این روش، فاز خطی آن است.[4] همچنین شایان ذکر است که شرکت Innomed یکی از تولید کنندگان دستگاه الکتروکاردیوگراف از روشی مشابه این روش در دستگاه خود استفاده نموده است.[5] روش فوق از منظر استفاده Online گزینه مطلوبی می باشد و با یک تأخیر اندک می توان خروجی فیلتر را محاسبه نمود.

روش استفاده از اپراتورهای مورفولوژیک:

اپراتورهای مورفولوژیک عموماً در بحث پردازش تصویر کاربرد دارند. با این وجود، می توان تمامی این اپراتورها را که شامل Opening، Closing، Erosion و Dilation می شود را برای سیگنال تعریف نمود و به کمک الگوریتم تعریف شده، خروجی را محاسبه نمود.[6,7] همانند پردازش تصویر، نیاز به یک ساختار تعریف شده جهت اعمال اپراتورها روی سیگنال می باشد. دو مشکل در استفاده از این روش وجود دارد: پردازش نسبتاً سنگین مورد نیاز برای پیاده سازی این روش و ایجاد اعوجاج در شکل موج های غیر از الکتروکاردیوگرام. مورد دوم در تست های استانداردی ممکن است اختلال ایجاد نماید.

بحث و نتیجه گیری:

در تحقیق پیش رو فیلتر های حذف دریفت که کاندیدهای مناسبی برای پیاده سازی روی سیستم های Embedded می باشند، بررسی شد. همچنین فیلترهای مبتنی بر تبدیلات (نظیر تبدیل Wavelet) به دلیل سنگین بودن پردازش مورد نیاز، از بررسی حذف گردیدند. روش FIR نیز تأخیر طولانی در خروجی سیگنال ایجاد می نماید که بحث Real-time بودن سیستم را زیر سوال می برد. تنها روشی که از نظر صنعتی یک روش قابل اتکا به شمار می رود، روش Decimation-Interpolation می باشد.

مراجع:

[1] Diagnostic electrocardiograph devices, ANSI/AAMI, 2007

[2] Medical electrical equipment – Part 2-25: Particular requirements for the basic safety and essential performance of electrocardiographs, IEC, 2011

[3] A. V. Oppenheim, R. W. Schafer, Discrete-Time Signal Processing, Prentice-Hall, 2009

[4] L. Sornmo, P. Laguna, Bioelectrical signal processing in cardiac and neurological applications, Elsevier Academic Press, 2005

[5] S. Hargittai, Efficient and Fast ECG Baseline Wander Reduction without Distortion of Important Clinical Information, Innomed Medical Inc.,Budapest, Hungary

[6] S. H. Oguz, M. H. Asyali, A Morphology Based Algorithm For Baselinr Wander Elimination in ECG Records, Biomedical Engineering Days, Proceedings of the 1992 International, pp 157-160

[7] P. Sun, Q. H. Wu*, A. M. Weindling, A. Finkelstein, and K. Ibrahim, An Improved Morphological Approach to Background Normalization of ECG Signals, IEEE Trans. On Biomedical Engineering, Vol. 50, No. 1, January 2003, pp 117-121