

Távközlési Kutató Intézet

Digitális szűrők alkalmazása EKG jelek számítógépes feldolgozásában

Balog Barnabás, Szebeni János

A biológiai folyamatokat kísérő elektromos jelenségek vizsgálata fontos feladat, ha a folyamatokról pontos értesüléseket akarunk szerezni. Akár arra törekszünk, hogy a jelenségekről nyert információk minél pontosabban tükrözzék a valóságot, akár a vizsgálat gyorsítását, automatizálását tűzzük ki célul, kézenfekvőnek látszik, hogy a számítógépet hívjuk segítségül.

Ahhoz, hogy biopotenciálokat digitális számítógéppel dolgozhassunk fel, létre kell hozni a biopotenciálok generálódási helyét és a számítógépet összekötő információs csatornát. Ez a csatorna, amely tartalmazza a megfelelő erősítő és átalakító berendezéseket, a bementére kerülő jelet egyrészt eltorzítja, másrészt zajt szuperponál rá. Ilyen torzulás és zajosodás azonban létrejön a mérés helyén is, ahol a környezet fejti ki hatását. A zavaró tényezők csökkentése a mérési körülmények befolyásolásával, az anyagi ráfordítások növelésével, végül a mérési módszerek helyes megválasztásával érhető el.

Ez utóbbi célt segíthetik hatásosan a digitális szűrők, de alkalmazhatók bizonyos számítási feladatok kiváltására is, ahol a számítás bonyolultságának vagy idejének csökkentését eredményezik.

Mint ahogy Intézetünkben kísérleti számítógépes EKG diagnosztikai mintaállomás üzemel, mi is szembetalálkoztunk az előbb említett problémákkal. Rendszerünk kapcsolt telefonvonalas jelátvitelen alapszik. Ez azt vonja maga után, hogy a hagyományos EKG gyakorlatból jól ismert zavarokon kívül még egyéb, az átviteli berendezések okozta zavarok is fellépnek. Ezek egy része, mégpedig a hálózati feszültség okozta brumm, a nagyobb frekvenciás sztohasztikus zajok és a telefonvonal impulzus zajainak egy része szűréssel csökkenthető. Kézenfekvőnek látszik, hogy ha már az EKG-jeleket a számítógép részére úgy is át kell alakítani digitális formába, akkor a szűrési feladatokat is számítással, digitális szűrők segítségével oldjuk meg.

A tény, ami a digitális szűrés mellett dönt, az, hogy az analóg megvalósításokkal szemben nagyobb stabilitást, nagyobb jóságot sok esetben fázistolás nélkül lehet elérni. Mondhatjuk, hogy amilyen szűrő megvalósítható analóg áramkörökkel, az biztosan digitális szűrőkkel is, de fordítva már nem igaz.

EKG-jelek feldolgozásánál a két leggyakrabban használatos szűrőtípus az aluláteresztő szűrő - a magasabb frekvenciájú zajok leválasztására - valamint a sávszűrő a brummfeszültség csökkentésére (1).

Ismeretesek bonyolultabb, úgynevezett adaptív digitális szűrők, melyek segítségével például az izommozgások okozta járulékos jelek bizonyos mértékben leválaszthatók az EKG-jelről. Megfelelő programozással pedig sávszűrőkkel frekvencia-analizist is végezhetünk (2).

A digitális szűrő mintavételezett és kvantált jeleket dolgoz fel. Szűrőtulajdonságát súlyozással és összegezéssel valósítja meg. Attól függően, hogy a kimenőjelek csupán a bemenőjelek egy halmazától, vagy pedig ezenkívül előző kimenőjelektől is függenek, hagyományos, illetve rekurzív di-

gitális szűrőkről beszélhetünk.

Míthogy a rekurziv szűrők átlalában sokkal kevesebb elemen igényelnek számítás, mint a nonrekurziv szűrők, használatuk sok esetben előnyösnek látszik.

Tervezésük előnyösen a frekvenciasíkon történik úgy, hogy a kívánt pólus-zérus elhelyezkedést meghatározzuk. Ezekután nem a Laplace, hanem az ugynevezett Z-transzformációt alkalmazva mérjük az átviteli függvényt. A Z-transzformáció előnyös tulajdonsága, hogy a segítségével nyert átviteli függvényből könnyű áttérni az időfüggvényre.

Realizálni nem csak számítógépre irt programokkal /software uton/ lehetséges, hanem a feladatokra speciálisan kialakított digitális hálózattal /hardware uton/, mondhatni célszámítógéppel (3, 4). A hardware realizálás nagyon előnyös lehet, ha sebességnövekedést és a számítógéptől való nagyfokú függetlenséget akarunk elérni. A sebességnövekedés eredményezheti azt is, hogy a hardware-vel realizált szűrő kimenő jeleit a bemenő jelekkel azonos gyakorisággal szolgáltatja, így idővesztéséget a szűrés nem okoz. Természetesen, gyors számítógépet felhasználva, vagy alacsonyabb mintavételező frekvenciát választva ugyanezt software-uton is el lehet érní. Mindez nagyon vonzó tulajdonság.

Kísérleti rendszerünkben ez ideig simításra és brummszűrésre alkalmaztunk digitális szűrőket, jó eredménnyel. Míthogy az utóbbi feladat hatásossága a legszembetünőbb, különösen ha az EKG jelre aránylag nagy brumm szuperponálódik, sávszűrőket vizsgáltunk elsősorban.

Példaképpen érdemes megnézni egy rekurziv szűrőt ezek közül, amely a legtöbb ilyen típusu feladatra jól alkalmazható.

A kimenő és bemenő jelek közötti kapcsolatot leíró egyenlet a következő:

$$y(n) = c_1 y(n-1) + c_2 y(n-2) + x(n) + c_3 x(n-1) + c_4 x(n-2),$$

ahol $x(n)$ az n -edik időpillanatban mért bemenőjel, $y(n)$ pedig a n -edik időpillanatban számított kimenőjel. A szűrő paramétereit jelöljük a következőképpen:

B: sávszélesség

f: a kívánt középfrekvencia

C: átvitel értéke az "f" középfrekvencián

T: mintavételi periódusidő

A rekurzív képlet együtthatói ezek alapján megadhatók:

$$c_1 = 2(1-b)\cos 2Tf$$

$$c_2 = -(1-b)^2$$

$$c_3 = -2(1-a)\cos 2Tf$$

$$c_4 = (1-a)^2, \text{ ahol}$$

$$b = TB$$

$$a = bC$$

Biztosítani kell, hogy a és b értéke ne haladja meg a 0.1-es értéket ahhoz, hogy a szűrő még a követelményeknek megfelelően viselkedjen. Ebben az esetben az együtthatók értéke majdnem egységnyi, és emiatt legalább öt értékes számjeggyel kell a számításokat végezni. A szűrő fázistolása a középfrekvencia környezetétől eltekintve elhanyagolható. Ezekben a helyeken átviteli értéke is közel egységnyi.

Az eltérés általában elhanyagolható, de ha nem, akkor korrekciót lehet végezni. A korrekciót sok esetben az teszi szükségessé, hogy az egyenáramu átvitel pontosságát kell szem előtt tartani. Bevezetve egy korrekciós tényezőt, a kimenő jel, amit $y'(n)$ -el jelölhetünk, a következőképpen származtatható:

$$y'(n) = ky(n) \quad , \text{ ahol,}$$

$$k = \frac{(1-c_1-c_2)}{(1-c_3-c_4)}$$

A szűrő tranziens viselkedését paraméterei befolyásolják. Nem szabad elfeledkezni arról, hogy tranziens jelenség, belengés lép fel akkor is amikor a bemenő jelet a szűrőre vezetjük. A lengés mértékét a szűrőparamétereken kívül a kezdeti feltételek is befolyásolják. Mivel az optimális kezdeti feltételeket nem tudjuk biztosítani, a kimenő jelet figyelmen kívül kell hagyni mindaddig, amíg a tranziensek elhanyagolható mértékűre csökkennek.

A tranziens viselkedés előnyös is lehet. EKG-jelek feldolgozása során például, ha a továbbított jelek kalibrálására hitelesítő négyszögimpulzusokat is szolgáltatunk, a digitális szűrő belengéssel válaszol. A lengés amplitudója arányos a négyszögimpulzus amplitudójával, és könnyebben meghatározható mint a négyszögimpulzusé.

Sávszűrők felhasználására egy további példa az EKG jelen szereplő brumm-feszültség mérése. Az ismertetett algoritmus járulékosan szolgáltathatja a kiszűrt jelet egyetlen további műveletvégzés útján, ha a bemenő jel és a kimenő jel különbségét képezzük:

$$z(n) = x(n) - y(n) \quad .$$

Ezáltal sáváteresztő szűrőhöz jutunk. Segítségükkel megállapítható például, hogy egy jelkomplexum milyen mértékben tartalmaz bizonyos frekvencia-komponenseket. Ezek alapján Fourier-analízis is végezhető az eddig ilyen címszó alatt szereplő matematikai eljárásoktól eltérő módon.

Aluláteresztő szűrők EKG jelek feldolgozása során használhatók nemcsak a nagyfrekvenciájú zavarok csökkentésére, hanem például alapvonal keresésére is. Feladat ugyanis az EKG jel jellemző paramétereinek, időtartamok és amplitúdók mérése. A mérés elvégzéséhez elengedhetetlen az alapvonal meghatározása. Sokfajta erre a feladatra alkalmas egyszerű szűrőalgoritmus ismeretes, melyek további előnye, hogy fáztolás nélküli kimenő jelet szolgáltatnak.

Az eddigiekben egyszerű példákon keresztül megpróbáltunk képet adni a digitális szűrők széleskörű alkalmazási lehetőségeiről. Ezek a példák EKG jelek számítógépes feldolgozása során adódó feladatokat segítették. Minthogy az EKG jelek alapvetően nem különböznek más biológiai jelektől, biztosak vagyunk, hogy a digitális szűrőkben az orvostudomány számos területén hasznos segítséget találnak a számítástechnikában járatos szakemberek.

I r o d a l o m

- (1) Lynn: Recursive Digital Filters for Biological Signals.
Med. and biol.Engng.Vol.9,pp.37-43. /1971/.
- (2) Weaver: Digital Filtering with Applications to Electro-
cardiogram Processing.
IEEE Tr. on Audio and Electroacoustics Vol.
AU-16 /1968/
- (3) Zohar:New Hardware Realizations of Nonrecursive Digital
Filters. IEEE Tr. on Comp. Vol. C-22, No.14.
/1973/.
- (4) Anderson: Programable Digital Filter Performs Multiple
Functions. Elektronics Vol. 43, No.22.
pp.78-84 /1970/