

Adaptív kiegyenlítő a négyzetes átlaghiba minimalizálására II. rész

ETO 621.372.55:621.395.38:681.327.8

E cikk a négyzetes átlaghibat minimalizáló alapsávi adaptív kiegyenlítő alapvető megvalósításait kívánja tárgyalni. Az ismertett módszerek és eredmények kiterjeszthetők mindazon adatátviteli rendszerekre, amelyeknek létezik alapsávi ekvivalensük.

Az 1. részben összefoglaltuk a négyzetes átlaghibat minimalizáló adaptív kiegyenlítő tárgyalásához szükséges alapokat (1., 2., 3. szakasz), továbbá ismertettünk három döntésirányítású rendszert (4. szakasz).

Az 5. szakaszban a döntésvisszacsatolt, a 6. szakaszban a párhuzamos struktúrájú rekurzív döntésirányítású kiegyenlítőt mutatjuk be. A 7. szakaszban a keretezés módszerét ismertetjük, végezetül pedig értékeljük a bemutatott megoldásokat.

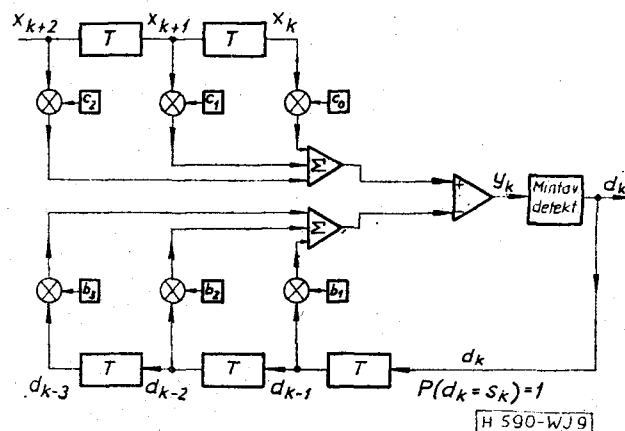
5. Döntésvisszacsatolt adaptív kiegyenlítő [11]

Tételezzük fel azt, hogy a $g(t)$ kiegyenlítendő súlyfüggvénynek csak három zérustól különböző mintája van: g_{-1}, g_0, g_1 . Ekkor zajmentes esetben (2) alapján a kiegyenlítő kimenőjele:

$$y_k = s_{k-1} \cdot g_1 + s_k \cdot g_0 + s_{k+1} \cdot g_{-1}. \quad (34)$$

A k -edik mintavételi időpontban „várt” $s_k g_0$ nagyságú kimeneti jelmentát a megelőző s_{k-1} a súlyfüggvény lecsengése, a következő s_{k+1} pedig a súlyfüggvény felfutása révén zavarja. Általában, valamely előző s_{k-m} adat a lecsengés g_m mintája, valamely s_{k+m} következő adat a felfutás g_{-m} mintája következtében okoz jelátlapolódást, amennyiben ezek a súlyfüggvény minták zérustól különböznek.

Bármely időpillanatban az előzőleg vett adatok a vétel helyén ismertek. Ha ezeket megbízhatóan detektáltuk, és belőlük a súlyfüggvény lefutásának megfelelő számú kérésletetű láncba vezetve tárolunk,



9. ábra. A döntésvisszacsatolt kiegyenlítő alapsémája

segítségükkel az általuk okozott jelátlapolódás csökkenthető. A jelátlapolódás csökkentése várhatóan a négyzetes átlaghiba csökkenését vonja maga után. Természetesen ily módon az ezután jövő minták által okozott hibát nem tudjuk kiküszöbölni, ezért szükség van a döntésirányítású rendszereknél megszokott késleltető láncra is, amelyet előreccsatoló láncnak nevezünk. A kiegyenlítő szabályozó rendszer nélküli alapsémája a 9. ábra szerinti lesz.

A felépítésben bekövetkezett változásokat a jelölésekkel is kifejezzük. Az előreccsatolásban nincs szükség a már vett adatminták hatásának figyelembevételére, amire a súlyozó együtthatók indexelésénél is tekintettel voltunk. Az előreccsatolás N db késleltető tagból áll, amelyekhez balról jobbra számozva a $c_j, 0 \leq j \leq N$ súlytényezők tartoznak. A visszacsatolást M db késleltető tagból építjük fel, a súlytényezők $b_i, 1 \leq i \leq M$. Valamennyi késleltetés továbbra is T idejű. A késleltető láncok tagszámának páros vagy páratlan voltára nem teszünk kikötést.

A 9. ábra jelöléseivel a kimenőjele:

$$y_k = \sum_{j=0}^N c_j \cdot x_{j+k} - \sum_{i=1}^M b_i \cdot d_{k-i}, \quad (35)$$

és a négyzetes átlaghiba:

$$e = E_k \{ (y_k - s_k)^2 \} = E_k \{ e_k^2 \} \quad (36)$$

A négyzetes átlaghiba a b_i és c_j együtthatóknak egyaránt konvex függvénye [11]; így globális minimuma van. A minimumhely megkereséséhez elvégezzük a gradiensképzést, a kiegyenlítés feltétele az előreccsatolásra:

$$E_k \{ e_k \cdot x_{j+k} \} = 0, \quad j \leq 0 \leq N, \quad (37)$$

a visszacsatolásra:

$$-E_k \{ e_k \cdot s_{k-i} \} = 0, \quad 1 \leq i \leq M. \quad (38)$$

Az e_k hibajelet az előzőekben megismert módon [(10), (11) összefüggések] határozzuk meg.

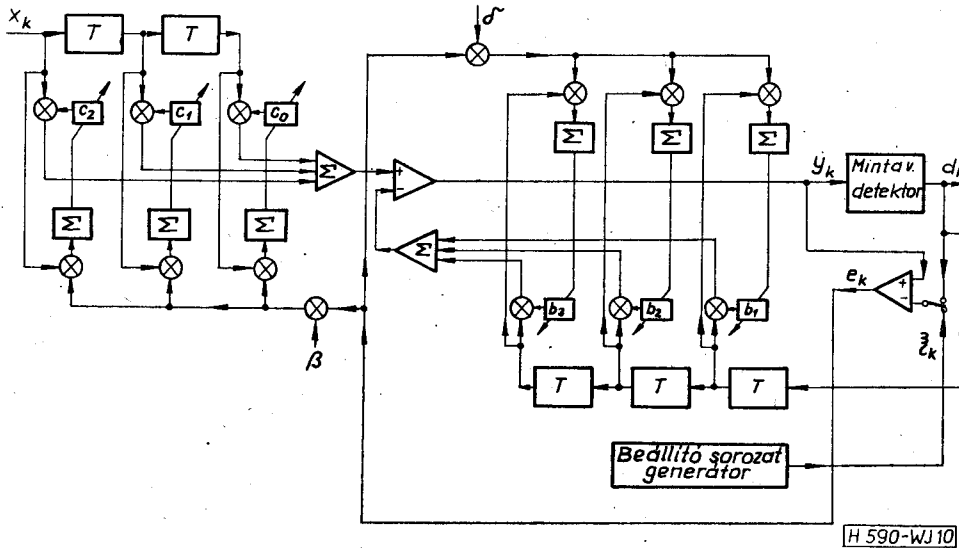
Mindkét feltétel — eltekintve a betűcseréktől — lényegében azonos a döntésirányítású rendszer kiegyenlítési feltételével. Gyakorlatilag változtatás nélkül alkalmazható tehát a gradiens típusú léptető algoritmus. Ennek alakja az előreccsatolásra, figyelembe véve a betűcseréket:

$$c_j(m+1) = c_j(m) - \beta(m) \cdot E_k^{(m)} \{ e_k \cdot x_{j+k} \}, \quad 0 \leq j \leq N, \quad (39)$$

a visszacsatolásra:

$$b_i(m+1) = b_i(m) + \delta(m) \cdot E_k^{(m)} \{ e_k \cdot d_{k-i} \}, \quad 1 \leq i \leq M, \quad (40)$$

ahol tekintetbe vettük azt, hogy az $\{s_k\}$ sorozat a



10. ábra. Döntésvisszacsatolt adaptív kiegyenlítő

{d_k} sorozattal becsülhető. β(m) és δ(m) értékére ugyanazon megfontolások érvényesek, mint a döntésirányítású rendszerben β(m)-re. A (39) és (40) beállító algoritmus segítségével felépített döntésvisszacsatolt kiegyenlítőt a 10. ábrán rajzoltuk meg. A működés hasonló ahhoz, mint amit a döntésirányítású rendszernél megismertünk.

Első pillanatra úgy tűnik, hogy a kiegyenlítőnél felléphetnek stabilitási problémák, hiszen a döntő áramkör kimenete vissza van csatolva. Könnyen beláthatjuk azonban, hogy stabilitási problémával nem kell számolnunk. Ehhez az adatátviteli összeköttetés vázlatát a 11. ábrán rajzoltuk meg újból. Az ábrán T(p) jelöli a c_n együtthatókkal állítható karakterisztikájú előreccsatolás átviteli karakterisztikáját, V(p) pedig a b_n együtthatókkal állítható visszacsatolását.

Tételezzük fel, hogy a mintavételező detektor hibátlanul detektálja a vett jeleket. Ekkor a csatorna és a kiegyenlítő T(p) előreccsatoló láncának késleltetése következtében a kimeneten a t₀-val késleltetett s(t) bemenőjel jelenik meg.

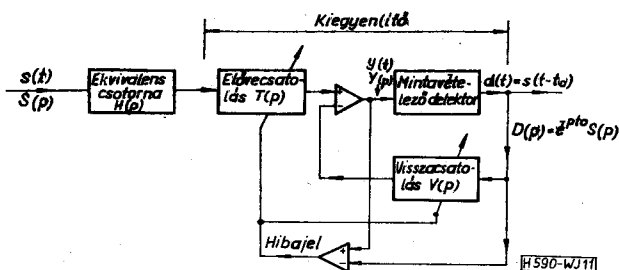
$$d(t) = s(t - t_0). \quad (41)$$

A Laplace-transzformáció eltolási tételének alkalmazásával:

$$D(p) = e^{-pt_0} \cdot S(p). \quad (42)$$

Ekkor:

$$Y(p) = H(p) \cdot T(p) \cdot S(p) - V(p) \cdot e^{-pt_0} \cdot S(p), \quad (43)$$



11. ábra. Az adatátviteli rendszer vázlatát döntésvisszacsatolt kiegyenlítővel

amiből a teljes rendszer átviteli karakterisztikája:

$$\frac{Y(p)}{S(p)} = H(p) \cdot T(p) - e^{-pt_0} \cdot V(p). \quad (44)$$

A T(p) és a V(p) karakterisztikák egyaránt egy-egy T-szűrő karakterisztikái, tehát csak zérusaik vannak. Így új pólust a H(p) csatorna-karakterisztika már meglévő pólusai mellé nem hoztunk be a kiegyenlítő beiktatásával, tehát nem rontottunk a stabilitáson.

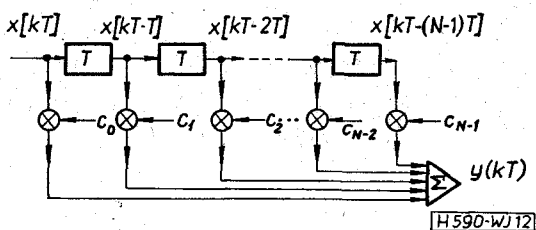
A döntésvisszacsatolt és a döntésirányítású kiegyenlítőket összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a működést mindkét típusnál a kimeneten megjelenő jelek — a d_k döntések — irányítják, de a döntésvisszacsatolt rendszerben az előző N döntés is hatással van a működésre.

A k-adik mintavételi időpontban kiegyenlítendő mintát követő hatását mindkét típusnál azonos módon vesszük figyelembe úgy, hogy a csatornáról érkező x_k mintákat tároljuk és a c_n együtthatókkal súlyozzuk. Az előző jelek hatását a döntésirányítású kiegyenlítő ugyanígy korrigálja. A döntésvisszacsatolt rendszerben azonban az x_k-t megelőző x_{k-i}-k helyett ezek döntés utáni értéke játszik szerepet a korrekcióban, ez indokolja az eltérő elnevezést.

Azonos kiegyenlítendő súlyfüggvény esetén a döntésirányítású és a döntésvisszacsatolt kiegyenlítőkhöz szükséges T-idejű késleltető elemek száma körülbelül azonos. A döntésvisszacsatolt rendszerrel azonban valamivel kisebb négyzetes átlaghiba érhető el.

6. Párhuzamos tagokból felépített rekurzív kiegyenlítő [12]

A kiegyenlítő felépítéséhez a 12. ábra transzverzális szűrőjét véges memóriájú rekurzív szűrővé transzformáljuk. A vett jel mintáit az eddigiekkel szemben x_k helyett x(kT)-vel jelöljük, y_k helyett y(kT)-t írunk stb.



12. ábra. T-szűrő a rekurzív szűrővé transzformálásához

A transzverzális szűrő átviteli függvénye:

$$T(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} c_n \cdot \exp(-j\omega nT). \quad (45)$$

Mintavételező rendszerről lévén szó, alkalmazhatjuk a z-transzformációt, ahol $z = \exp(j\omega T)$:

$$T(z) = \sum_{n=0}^{N-1} c_n \cdot z^{-n}. \quad (46)$$

A (46) transzfer függvény rekurzív alakba is átvihető [12], [13]:

$$T(z) = (1 - z^{-N}) \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \frac{K_i}{1 - z^{-1} \exp(j \frac{2\pi i}{N})}, \quad (47)$$

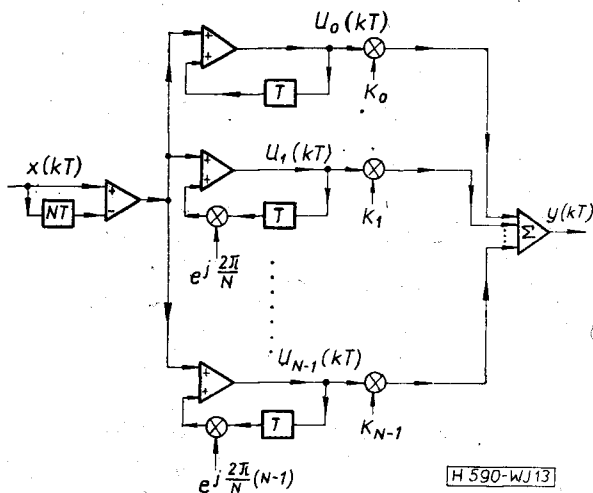
ahol K_i a $T(z)$ transzfer függvény

$$\omega_i = \frac{2\pi i}{N \cdot T}; \quad i = 0, 1, \dots, N-1, \quad (48)$$

ekvidisztáns frekvenciákhoz tartozó értékeinek $1/N$ -szerese:

$$K_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} c_n \cdot z^{-n} \Big|_{z=e^{j\omega_i T}} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} c_n \cdot \exp(-j \cdot \frac{2\pi i n}{N}). \quad (49)$$

Ezzel a transzverzális szűrőt rekurzívvá transzformáltuk, ezt a rekurzív szűrőt a 13. ábrán rajzoltuk meg. A szűrő az $(1 - z^{-N})$ fésűszűrő és az N darab párhuzamos elsőfokú szűrő kaszkád kapcsolása. A fésűszűrő zérusai az egységkörön, a $z_n = \exp(j2\pi n/N)$ pontokban vannak és egybeesnek a párhuzamos szűrőcsoport pólusaival.



13. ábra. T-szűrőből transzformált véges memóriájú rekurzív szűrő elsőfokú tagokból

Az ábra jelöléseivel a kimenet és az $u_i(kT)$ jelek kapcsolata:

$$y(kT) = \sum_{i=0}^{N-1} K_i \cdot u_i(kT). \quad (50)$$

Ez az összefüggés nagyon hasonló a transzverzális szűrő ki- és bemenetét összekapcsoló (12) egyenlethez, amely itt alkalmazott jelöléseinkkel a 13. ábra alapján az

$$y(kT) = \sum_{n=0}^{N-1} c_n \cdot x[(k-n) \cdot T]. \quad (51)$$

alakban írható fel.

A fenti két összefüggés alaki hasonlósága módot nyújt arra, hogy a döntésirányítású rendszer algoritmusait alkalmazzuk. A (32) sztochasztikus algoritmus megfelelője a betűcserék figyelembevételével:

$$f_i(k+1) = f_i(k) - \beta(k) \cdot e(kT) \cdot u_i(kT), \quad (52)$$

ahol $0 \leq i \leq N-1$.

A 13. ábrából kitűnik azonban, hogy a kiegyenlítő működtetéséhez a komplex $\exp(j2\pi i/N)$ és K_i mennyiségekkel kellene szorzást végezni. A komplex mennyiségekkel való műveletvégzést elkerülhetjük azonban c_n valós voltának felhasználásával; ekkor $K_i = K_{N-i}^*$ [12], ahol a „*” konjugáltat jelöl.

A konjugált komplex párokra tett fenti megállapításaink alapján (47) alakja, ha N páratlan:

$$T(z) = (1 - z^{-N}) \left[\frac{a_0}{1 - z^{-1}} + \sum_{i=1}^{\frac{N-1}{2}} \frac{a_i + b_i z^{-1}}{1 - 2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi i}{N}\right) \cdot z^{-1} + z^{-2}} \right], \quad (53)$$

ahol: $a_0 = K_0$,

$$a_i = K_i + K_{N-i},$$

$$b_i = K_i \cdot \exp\left(-j \frac{2\pi i}{N}\right) + K_{N-i} \cdot \exp\left(j \frac{2\pi i}{N}\right) \quad (54)$$

és $1 \leq i \leq \frac{N-1}{2}$. Az összefüggések páros N -re is felírhatók [12].

Az (53) szűrőt a 14. ábrán rajzoltuk meg. A fésűszűrő változatlanul megmaradt, a párhuzamos ágak száma $(N-1)/2 + 1$ -re csökkent, de az elsőfokú szűrők másodfokúra változnak. Az egyszerűség kedvéért csak két párhuzamos ágat rajzoltunk ki. Ugyanakkor feltüntettük a szűrő adaptív kiegyenlítőként való működéséhez szükséges hibajelképzés módját is.

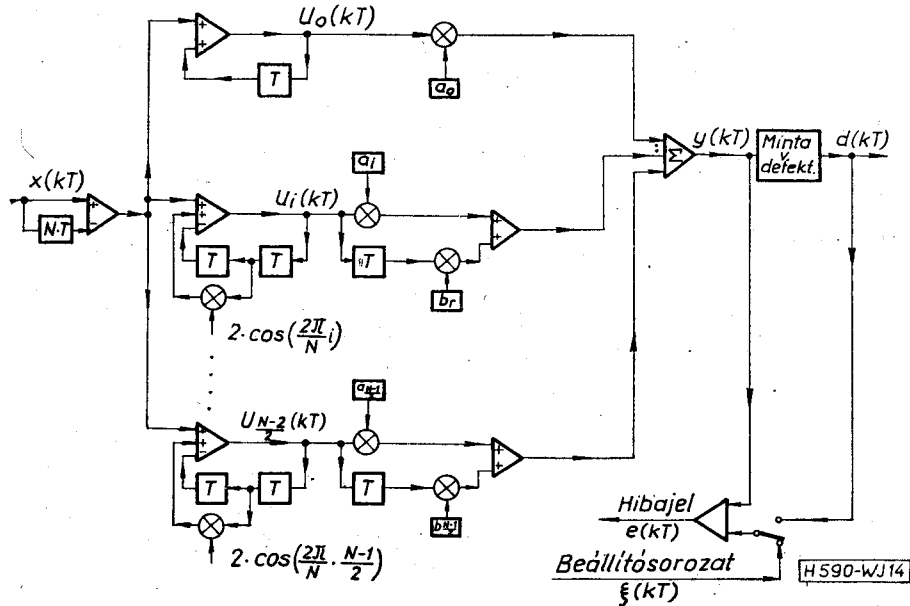
A sztochasztikus algoritmus megfelelőjét (52)-ből kaphatjuk, figyelembe véve azt, hogy K_i meghatározza a_i -t és b_i -t:

$$a_i(k+1) = a_i(k) - \beta \cdot e(kT) \cdot u_i(kT) \quad (55)$$

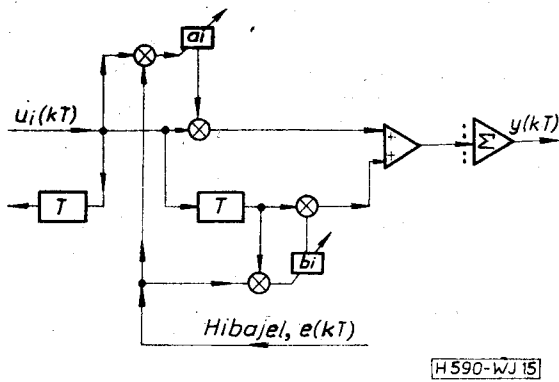
$$b_i(k+1) = b_i(k) - \beta \cdot e(kT) \cdot a_i(kT - T), \quad (56)$$

ahol feltételeztük, hogy $\beta_k = \beta = \text{konstans}$.

A kiegyenlítő vázlatát a 14. ábra kiegészítésével kaphatjuk. Nem rajzoltuk fel a teljes, adaptív rendszert, csupán a szükséges kiegészítő részleteket áb-



14. ábra. Másodfokú tagokból felépített véges memóriájú rekurzív szűrő



15. ábra. A 14. ábra szűrőjének adaptívává tételéhez szükséges kiegészítések

rázoltuk a 15. ábrán. Ezzel kiegészítve a 14. ábra struktúráján valamennyi párhuzamos szűrőágat, megkapjuk a rekurzív kiegyenlítő. Az ábrák összevetéséből könnyen azonosítható, hogy melyik blokk hová kapcsolódik.

A rekurzív kiegyenlítőnél is szükség van a beállító sorozatra. A beállító sorozatot célszerű a

$$\xi(n) = \sum_{n=0}^{N-1} \xi_n \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{NT} \cdot t + \varphi_n\right) \quad (57)$$

alakban felvenni, ahol ξ_n véges készletből választható. A beállító sorozat hatására a kiegyenlítő együtthatói olyan értéket vesznek fel, hogy a csatorna és a kiegyenlítő együttes karakterisztikája az

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{NT} \quad (58)$$

pontokban négyzetes átlag értelemben közelítse legjobban a jelátlapolódás mentes karakterisztikát.

A kiegyenlítő együtthatói a párhuzamos struktúra miatt egymástól függetlenül állíthatók. A rekurzív szűrő megvalósításához több áramkörti elem kell, mint pl. a döntésirányítású rendszeréhez.

A fésűszűrő zérusai és pólusai ugyanazon helyeken, az egységkör

$$z_n = \exp\left(j \frac{2\pi n}{N}\right) \quad (59)$$

pontjaiban vannak, ami a stabilitás határa.

A zérusoknak a pólusokat törölniük kellene, de a $\cos(2\pi i/N)$ szorzótényező pontatlansága és a műveletvégzések közben keletkező kvantálási zaj hatására ez nem történik meg pontosan. Ettől a rendszer könnyen instabillá válhat. Az instabilitás megszüntethető, ha a zérusokat és a pólusokat valamivel az egységkörön belülré helyezzük. Ez matematikailag valamennyi egyenletben z^{-1} helyett $\exp(-\alpha) z^{-1}$ -et jelent. Az irodalom szerint elegendő, ha $\exp(-\alpha) = 1 - \exp(-12)$.

7. A keretezés módszere [10]

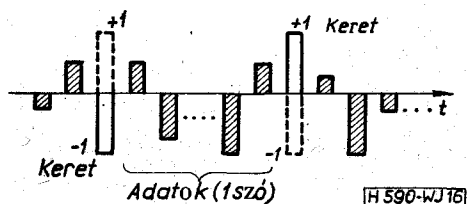
Az előző szakaszokban ismertetett megoldásoknál minden esetben a kiegyenlítő kimenetén megjelenő, becslőt adatjelet használtuk fel a működtetéshez.

A vevő számára ideális referenciajelet állíthatunk elő azonban akkor, ha az információt blokkokra bontjuk, és minden blokkot egy előre ismert keretező jellel zárunk le. Egy blokk hosszúsága például egy kódszó hossza, a keretet az adási és vételi oldalon is keretező generátorok (például álvéletlen generátor) állítják elő. A két generátornak szinkronban kell lennie egymással. A kiegyenlítést csak a keretező jel segítségével végezzük.

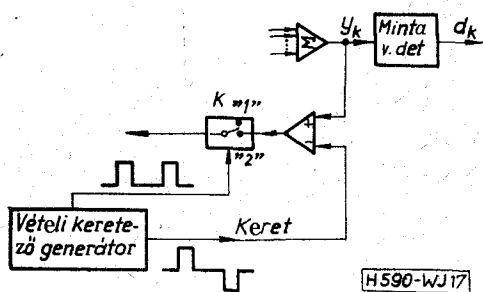
Az elvet a 16. ábrán szemléltetjük, ahol a keret elemei két-, az adatok többszintűek.

Az elv bármely adaptív rendszerben alkalmazható. A 17. ábrán a döntésirányítású rendszerben szükséges kiegészítő részleteket rajzoltuk meg.

A hiba meghatározását a vételi oldali keretező generátor segítségével végezzük. Ez a generátor a



16. ábra. A „keretezés” elve



17. ábra. A „keretezés” elvének alkalmazása

kétszintű keretező sorozat mellett ad egy unipoláris sorozatot is, amelynek segítségével a K kapcsoló vezérlése történik. Amikor véletlen adat, tehát valamely szó egy eleme érkezik a kimenetre, a K kapcsoló 1 állásban van, hibabecslés nem történik. Ha a kimeneten a keretező jelet várjuk, a K kapcsolót az unipoláris impulzus 2 állásba vezérli, a hibajel eljut a keresztkorrelátorokhoz. A kiegyenlítő a keretre nézve tehát adaptív, az adatszavakra nézve preset működésű.

Az együtthatók konvergálnak optimális értékükhöz, amennyiben az alapeljárás — a döntésirányítású algoritmus — önmagában konvergens. A konvergencia sebessége kisebb, mint a közönséges döntésirányítású rendszerben. A vevőnek pontosan ismernie kell a keretet, a vett keretező jelnek és a vételi oldalon előállított keretező jelnek pontosan együtt kell futnia. A keretezés módszerét elsősorban pont — pont közötti összeköttetésekben célszerű alkalmazni.

8. Összefoglalás

A cikkben néhány, az alapsávi adatátviteli rendszerekben alkalmazott adaptív kiegyenlítőt mutatunk be a négyzetes átlaghiba minimalizálására.

A kiegyenlítést végző mintavételező szűrő együtthatóinak beállítása — könnyű megvalósíthatósága következtében — leggyakrabban iterációval történik. Mivel a négyzetes átlaghiba az együtthatóknak konvex függvénye, így a kiegyenlítő beállításához jól felhasználható a négyzetes átlaghiba gradiense.

Az egyik legismertebb és legegyszerűbb adaptív kiegyenlítő típus a döntésirányítású rendszer. Az együtthatók állítása a kiegyenlítőt követő döntő áramkör — a mintavételező detektor — kimenő jelének, a becsült adatoknak a segítségével történik. A dolgozatban bemutatott rendszernél a gradiens típusú léptető algoritmust alkalmaztuk a T -szűrő súlytényezőinek beállítására. Mivel a kiegyenlítő transzverzális szűrőre épül, itt stabilitási probléma

nem lép fel. Közepes és kis jel/zaj viszony esetén többszintű átvitelre is alkalmazható.

Különösen kapcsolt hálózatban történő alkalmazásnál jelenthet problémát az, hogy a kiegyenlítendő csatorna súlyfüggvénye a vétel helyén nem ismert elég pontosan. Ahhoz, hogy az eljárás konvergenciáját ilyenkor is biztosítani lehessen, a kiegyenlítés kezdetén a vétel helyén is ismert beállító sorozatot kell a csatornán átküldeni, amely a működtetéshez ideális referenciajelként szolgál.

A kezdeti beállítás alatt a hasznos információközlés szünetel, így ennek ideje csökkenti az adatátviteli csatorna kihasználtságát.

A kezdő beállítás ideje a ciklikus kiegyenlítő alkalmazásával csökkenthető.

A ciklikus kiegyenlítőnél a beállító sorozat vétele után a kiegyenlítőnek a csatornával való kapcsolata megszakad. A kiegyenlítést végző T -szűrő ki- és bemenetét összekapcsolva a T -szűrőben tárolt mintákat hurokba zárjuk. A vezérlést az adatórától egy nagysebességű óra veszi át, ennek segítségével a hurokba zárással végtelenített beállító sorozatra a kiegyenlítés rövid idő alatt megtörténhet. Az ily módon végrehajtott ciklikus beállítással a kiegyenlítő együtthatói elég jó kezdeti értéket kapnak a véletlen adatok fogadására. A T -szűrő zárt hurkát megszakítva a kiegyenlítő újra a csatornához kapcsolódik, és a vezérlést az adatóra veszi át. A további működés azonos az egyszerű döntésirányítású kiegyenlítőével.

A ciklikus kiegyenlítőknél két változatát mutattuk be. A gradiens típusú léptető algoritmussal működőnél van átlagolás, így ez lassúbb és megfontoltabb, mint a sztochasztikus algoritmussal működő. Ez utóbbi a gradiens típusú léptető algoritmus elfajult esetének tekinthető, mivel az átlagolás hosszát egységnyire választjuk, azaz nem végzünk átlagolást. A sztochasztikus algoritmus a ciklikus beállítás alatt nem mindig konvergens, azonban a gyakorlatilag számba jöhető csatornakarakterisztikákra a konvergencia feltétele teljesül. Előnye, hogy az átlagolás elhagyása miatt csökken a tárolószükséglet.

A ciklikus kiegyenlítők előnye az egyszerű rendszerekkel szemben az is, hogy a kezdő beállításhoz nem kell megvárni, amíg a vett és a kiegyenlítő beállító sorozat-generátorában tárolt beállító sorozat szinkronba kerülnek. Sőt, a kezdő beállítás után a kiegyenlítő jelzi azt is, hogy a szinkronhiba a T mintavételi időnek hányszorosa. Ennek a képességnek a csatorna karakterisztikája és a zaj nagysága szab határt. A gyakorlati ellenőrzés az adott alkalmazásban számba jöhető csatornakarakterisztikákra, különböző jel/zaj viszonyok mellett végrehajtott számítógépes szimulációval hajtható végre.

A döntésvisszacsatolt kiegyenlítőt a döntésirányítású rendszerhez hasonlóan a pillanatnyi döntések irányítják. A működést azonban az előző M döntés, azaz a becsült adatsorozat utolsó M eleme is befolyásolja oly módon, hogy késleltető láncba vezetve visszacsatoljuk a detektor kimenetét. Bár visszacsatolás van, a rendszer mégsem rekurzív. Ennek oka, hogy nem a mintavételező szűrő, hanem a döntő áramkör kimenetét — azaz a csatorna bemenetére kerülő adatsorozat egy elég jó becsülését — csatoljuk vissza. Ezért stabilitási problémával sem kell számolnunk.

A döntésvisszacsatolt kiegyenlítővel kisebb négyzetes átlaghiba érhető el, mint a döntésirányítású rendszerrel.

Ismert, hogy a T -szűrő véges memóriájú rekurzív mintavételező szűrővé transzformálható. A transzformáció után kapott párhuzamos struktúrájú szűrő felhasználásával is építhető kiegyenlítő. Az általunk bemutatott rendszer döntésirányítású volt és a sztochasztikus algoritmussal működött. Kiegyenlítősi tulajdonságai körülbelül a T -szűrőre épülő döntésirányítású kiegyenlítőével azonosak. Hátránya azonban toleranciaérzékenysége. A rekurzív struktúra miatt gondot kell fordítani arra is, hogy a rendszer ne váljon instabillá. További hátránya, hogy azonos képességek mellett bonyolultabb, mint a transzverzális szűrővel realizált kiegyenlítő.

Végezetül a döntésirányítású kiegyenlítőn bemutatott a „keretezés” módszerét, amely egyébként független a kiegyenlítő struktúrájától. Itt a kiegyenlítés csak a szabályos időközönként érkező keretező jelekre történik, melyek a vétel helyén is pontosan ismertek. Az eljárás hátránya, hogy a konvergencia lassúbb, mint az alapalgoritmus. Előnye azonban, hogy az alkalmazott áramkörü elemektől megkivánt működési sebesség kisebb. Használata elsősorban pont-pont közötti összeköttetéseken célszerű, mivel itt az egymást követő kapcsolatfelvételek során várhatóan sokkal kisebb eltéréseket kell korrigálni, mint kapcsolt hálózatban.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki dr. Sallai Gyula kandidátusnak értékes megjegyzéseiért.

IRODALOM

- [1] *Lucky, R. W.—Salz, J.—Weldon, E. J.*: Adatátvitel. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [2] *Gordos G.—Varga A.*: Adatátvitel és adatfeldolgozás. BME jegyzet, J5—771
- [3] *Sallai Gy.*: Adatátviteli összeköttetések kiegyenlítése transzverzális szűrővel. Híradástechnika, XXII. évf. 1971. 4. szám
- [4] *Lucky, R. W.*: Automatic Equalization for Digital Communication. The Bell System Technical Journal, Vol. XLIV, April 1965.
- [5] *Hirsch, D.—Wolf, W. J.*: A Simple Adaptive Equalizer for Efficient Data Transmission. IEEE Trans. on Communications, COM—18, 1970. Febr.
- [6] *Lucky, R. W.—Rudin, H. R.*: An Automatic Equalizer for General Purpose Communication Channels. The Bell System Technical Journal, Vol. XLVI, Nov. 1967.
- [7] *Mueller, K. H.—Spaulding, D. A.*: Cyclic Equalization — A New Rapidly Converging Equalization Technique for Synchronous Data Communication. The Bell System Technical Journal, Vol. 54, No. 2. Febr. 1975.
- [8] *Niessen, C. W.*: Adaptive Equalizer for Pulse Transmission IEEE Trans. on Communications, COM—18, Number 2, Aug. 1970.
- [9] *Butler, P.—Cantoni, A.*: Noniterativ Automatic Equalization. IEEE Trans. on Communications, COM—23, Number 6, June 1975.
- [10] *Eggimann, F.*: Computer Simulation of an Automatic Adaptive Equalizer for Real Telephone Channels and Free Data Format. IEEE Trans. on Audio, AU—18, Number 4, Dec. 1970.
- [11] *George, D. A.—Boluen, R. R.—Storey, J. R.*: An Adaptive Decision Feedback Equalizer. IEEE Trans. on Communications, COM—19, Number 3, June 1971.
- [12] *Proakis, J. A.*: Adaptive Digital Filters for Equalization of Telephone Channels. IEEE Trans. on Audio, AU—18, Number 2, June 1970.
- [13] *Sallai Gy.*: A mintavételező (digitális) szűrők osztályozása. Híradástechnika, XXVII. évf. 7. szám, 1976. július
- [14] *Sallai Gy.*: A digitális szűrők tervezésének alapelvei. Híradástechnika, XXVII. évf. 9. szám, 1976. szept.
- [15] *Gordos G.*: AM rendszerek torzításainak transzformációja szorzó demoduláció esetén. Híradástechnika, XXI. évf. 1970. 4. szám
- [16] *Mark, J. W.—Haykin, S. S.*: Adaptive equalisation for digital communication. Electronics Record, Vol. 118, Dec. 1971.
- [17] *Proakis, J. G.—Miller, J. H.*: An Adaptive Receiver for Digital Signaling Through Channels With Intersymbol Interference. IEEE Trans. on Information Theory, IT—15, Number 4, July 1969.