

Wühl Tibor: DSP algoritmusok hiba felderítése

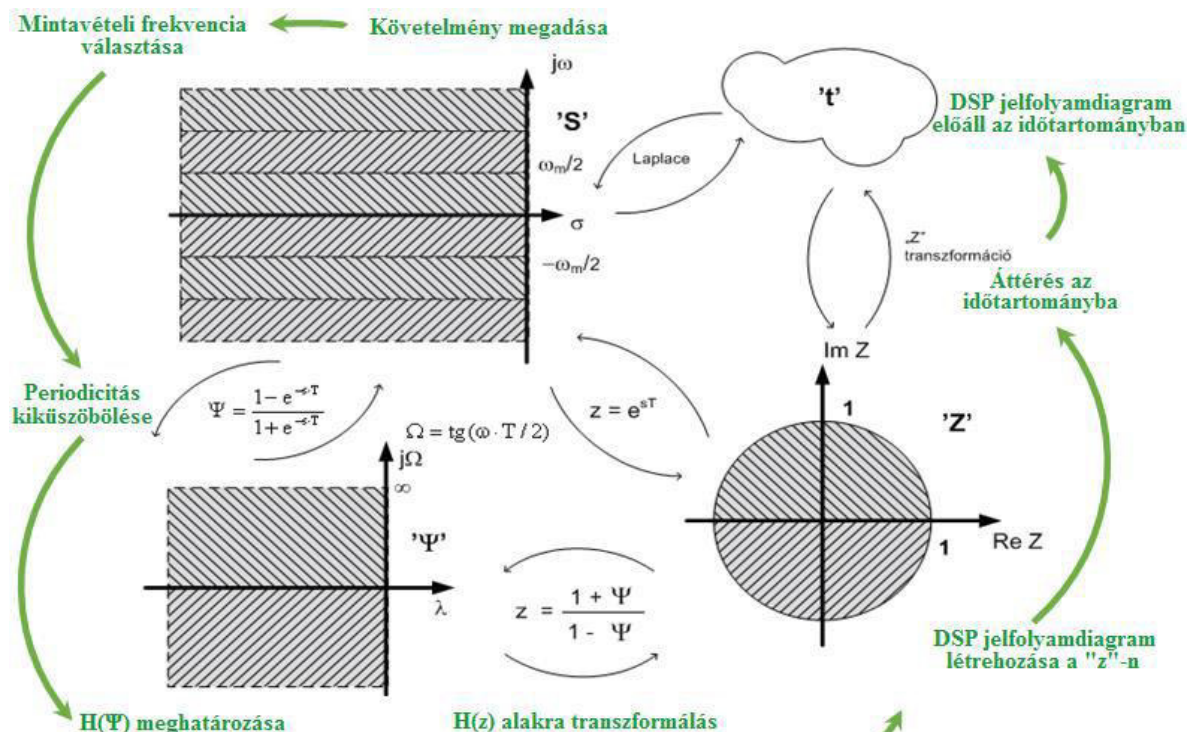
Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
(orcid.org/0000-0002-7522-3511)

Absztrakt: A Digitális jelfeldolgozás (DSP – Digital Signal Processing) a villamosmérnöki gyakorlat szinte minden területén alkalmazásra kerül. A jelfeldolgozó áramkörök beágyazott vezérlőkkel, vagy FPGA eszközökkel valósulnak meg. Ezen áramkörök alapját a DSP algoritmusok adják. Az algoritmus szintézis direkt struktúrájú tervezési elvek, vagy hullámdigitális tervezési elvek alapján történik. A tervezés lépéseit lineáris környezetben végezzük el. Az eredmény visszaellenőrzése elsősorban a tervezési hibákat hivatott felfedni. A lineáris körülmények között tervezett algoritmus működés helyességének ellenőrzése idő- és frekvenciatartományban valósítható meg. Az algoritmus realizálása véges bitszámon, sok esetben erősen kvantált környezetben jön létre. A lineárisan próbára tett algoritmus a nemlineáris működési környezetben hibákat rejthet, gerjedhet, illetve határciklusos választ adhat a beneti gerjesztésre.

Kulcsszavak: DSP, algoritmus, határciklus, gerjedés

Bevezetés

A DSP algoritmusokat tipikusan lineáris környezetben tervezzük. A tervezés egyes lépései különböző transzformációs síkokon jönnek létre. Az elvárt működést, és az azt leíró követelményt a feladattól függően az idő- vagy a frekvencia tartományban definiáljuk. A tervezés síkjait tipikusan lineáris transzformációk kapcsolják össze.



1. ábra Tervezés síkjai és a közöttük lévő lineáris transzformációk

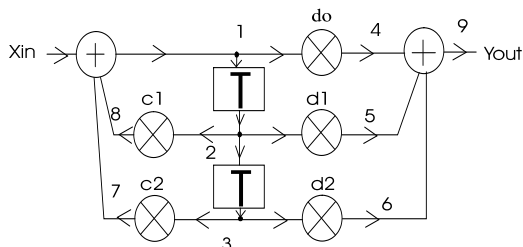
A fenti síkokon az algoritmus szintézis direkt struktúrájú tervezési elvek [1], vagy hullámdigitális tervezési elvek[1] alapján történik. A digitális számábrázolási sajátosságok és a véges bitszám nemlineáris működési környezetet jelent az algoritmusok számára. A nemlineáris hatások, túlsordulás, kvantálás hibás működést eredményezhet. A hiba felderítés a DSP algoritmus működési környezetének ismeretében szimulációs módszerrel valósítható meg

Szimulációs elv

Sok esetben jó eredményt ad a rendszer súlyfüggvényének vizsgálata. Analóg esetben a súlyfüggvény számítás egy elképzelt, a gyakorlatban nem előállítható, úgynevezett Dirac-delta gerjesztő jellel történik, melynek Laplace transzformáltja konstans egy.

Digitális környezetben, tulajdonságait figyelembe véve az ezzel ekvivalens jelet Kronecker-delta jelnek nevezzük és ez a jel a gyakorlatban is előállítható egy $t=0$ időpillanatban megjelenő egységnyi amplitúdójú jelet szimbolizáló digitális számmal, majd ezt követően minden időpillanatban nulla amplitúdó értékű mintákkal. Az így előálló gerjesztő jel diszkrét Laplace transzformáltja is egy lesz. A digitális rendszereket, algoritmusokat, ha Kronecker-delta jellel gerjesztjük, akkor arra azok súlyfüggvénnyel válaszolnak. A súlyfüggvény spektrális összetevői az algoritmus átviteli függvényét írja le.

A fentiek értelmében a DSP algoritmust célszerűen az időtartományban leírt differencia-egyenlet rendszerrel jellemezzük. Példaképp nézzünk egy másodfokú direkt struktúrát és leíró egyenleteit:



$$y1(k) = xin(k) + y7(k) + y8(k)$$

$$y2(k) = y1(k-1)$$

$$y3(k) = y2(k-1)$$

$$y4(k) = d0 y1(k)$$

$$y5(k) = d1 y2(k)$$

$$y6(k) = d2 y3(k)$$

$$y7(k) = c2 y3(k)$$

$$y8(k) = c1 y2(k)$$

$$y9(k) = yout(k) = y4(k) + y5(k) + y6(k)$$

2. ábra Másodfokú alaptag és az azt leíró egyenletek minden csomópontra

A fenti egyenletrendszer az algoritmus összes csomópontja közötti összefüggést megadja.

Az egyenlet rendezését követően felírhatjuk az úgynevezett mátrix-vektor alakot:

$y1(k) - y7(k) - y8(k) = xin(k)$ $y2(k) = y1(k-1)$ $y3(k) = y2(k-1)$ $-d0 y1(k) + y4(k) = 0$ $-d1 y2(k) + y5(k) = 0$ $-d2 y3(k) + y6(k) = 0$ $-c2 y3(k) + y7(k) = 0$ $-c1 y2(k) + y8(k) = 0$ $-y4(k) - y5(k) - y6(k) + y9(k) = 0$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -d0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -d1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -d2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -c1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y1(k) \\ y2(k) \\ y3(k) \\ y4(k) \\ y5(k) \\ y6(k) \\ y7(k) \\ y8(k) \\ y9(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} xin(k) \\ y1(k-1) \\ y2(k-1) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$
---	---

A fenti egyenletrendszer egyszerűen leírt alakja a következő:

$$\underline{\underline{M}} \cdot y = g$$

Ebből az egyenletrendszerből ismert az „M” rendszermátrix, hiszen ez írja le az algoritmust és ismert lehet a „g” gerjesztési vektor, ami a bemeneti gerjesztő jelet és a kezdeti feltételeket tartalmazza. Az adott gerjesztésre az algoritmus minden csomópontja által adott választ az „y” vektor tartalmazza.

A megoldhatósághoz át kell rendeznünk az egyenletrendszert a következő alakra:

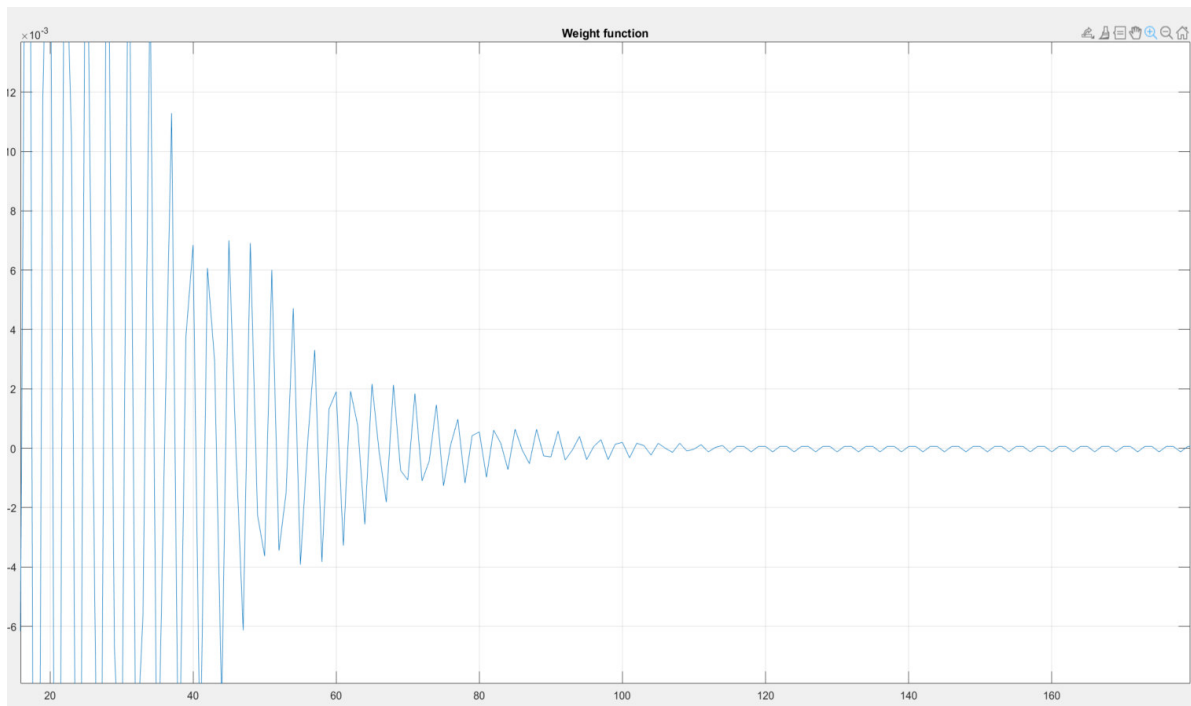
$$\underline{\underline{M}}^{-1} \cdot g = y$$

Az általam kialakított szimulációs módszerek Matlab® környezetben működnek [2] és alkalmasak a túlsordulási pontok, valamint a gerjedési és határciklus problémák kimutatására.

A kerekítésből, kvantálásból eredő jelenségek kimutatásához a kvantálási pontokra újabb építőelemek –**kvantáló építőelem**– beszúrásával szükséges bővíteni a DSP algoritmust leíró egyenletrendszert. Ezek a pontok tipikusan a szorzó áramkörök kimeneti pontjai lehetnek, de ez a DSP algoritmust megvalósító áramkörtől függ.

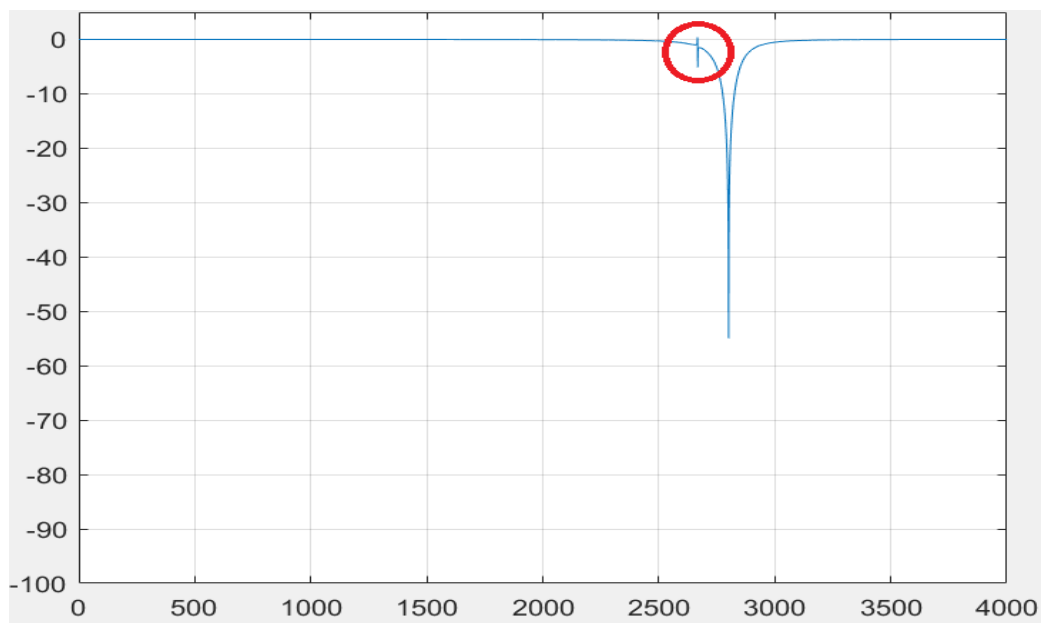
A kvantáló építőelem be és kimenete között nemlineáris összefüggés, kerekítés, csonkolás stb. adható meg. A nemlineáris összefüggésnek természetesen a megvalósítási környezet nemlinearitását kell tükröznie.

Az így futtatott szimuláció eredményeképp, ha az algoritmus ezen hardver körülmények között hibás, akkor például a következő ábrán kapott impulzus válasz jelenik meg:



3. ábra Határciklusban ragadó súlyfüggvény

Az impulzusválasz frekvenciatartományba transzformálásával megfigyelhető a határciklus, vagy az esetleges fennmaradó gerjedés:



3. ábra Határciklus, vagy gerjedés jelenség kimutatása az algoritmus átviteli függvényében

A kimutatott problémák elemzésével a működési hibák elháríthatók skálázással [3], valamint a passzivitás megtartásával [4].

Összegzés, konklúzió

A lineáris körülmények között jól működő DSP algoritmus a nemlineáris körülmények között gyorsan csődöt mondhat. Teljes működésképtelenség esetén a hiba gyorsan megmutatja magát, de gyakori esetben előfordul, hogy az algoritmus jó működést mutat, de a minőségi paraméterei nem az elvárt értéket adják. A nem szembetűnő hibák rossz minőségű berendezéseket és rendszereket jelentenek. Ezen hibák gondos analízissel javíthatók.

Hivatkozások

- [1] Wühl Tibor: Hullámdigitális jelfeldolgozás alapjai; Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem (2010), 124 p.
- [2] Wühl Tibor: Introduction to the use of MATLAB®: Communications and Signal processing
Budapest, Magyarország : Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar(2014),75 p
- [3] Gazsi, Lajos, “Explicit Formulas for Lattice Wave Digital Filters”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, Vol. 32, No. 1, pp. 68-88, January 1985.
- [4] Fettweis, Alfred, “Wave Digital Filters: Theory and Practice”, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 74, pp. 276-327, February 1986.