

Digitální zpracování radiových signálů

Ing. Josef Šroll

Digitální zpracování slabých radiových signálů je dnes celkem běžná záležitost zejména v zařízeních vyráběných ve velkých sériích. Jejich použití má řadu významných předností, ale také slabín, které mohou vést u neznalých uživatelů vést až k odmítání této pokrokové technologie.

Zařízení pro digitální zpracování signálu se obvykle nazývá digitální signálový procesor a používaná zkratka je DSP (Digital Signal Processing). Vstupní signál je analogový, výstupní signál většinou požadujeme také v analogovém tvaru. Vlastní procesor je, jak název napovídá, číslicový. Pro převod signálů se používají převodníky – A/D pro převod na digitální formu, D/A pro převod do analogového tvaru. Tyto dva převodníky se často vyrábí jako jediná společná součástka, nazývaná kodek. Hned na začátku je třeba říci, že tato technologie není příliš vhodná pro domácí tvorbu, neboť vlastní zpracování signálu spočívá na spektrálních transformacích, bez jejichž znalostí se při vývoji tohoto zařízení prakticky nelze obejít. Znalost základních principů však umožní využívat jejich možností až do krajnosti, což u radiových spojení EME není nic neobvyklého.

Již u těchto převodníků můžeme sledovat několik důležitých základních parametrů platných pro celý DSP. Prvním z nich je taktovací frekvence, se kterou zařízení pracuje. Převodník A/D převádí vstupní analogový signál v pravidelných časových intervalech na čísla, která reprezentují jeho momentální velikost (amplitudu). Už zde narážíme na protichůdné požadavky: z hlediska co nejlepší aproximace vstupního signálu požadujeme co nejvíce vzorků v jednom časovém úseku, které však následující DSP nestačí zpracovávat. Obecně platí, že pro analogový signál, jehož nejvyšší kmitočtovou složku označíme f_{\max} potřebujeme vzorkování s kmitočtem $2f_{\max}$ (Nyquist-Shannonova věta). Proto se se zpracováním signálů pomocí DSP setkáváme až v nízkofrekvenční části zařízení, zpracování na mezifrekvenčním kmitočtu zatím není běžné, i když se již používá. Pro tento účel bývá často mezifrekvenční kmitočty snižován dalším směřováním až na málo běžné hodnoty (pod 100 kHz).

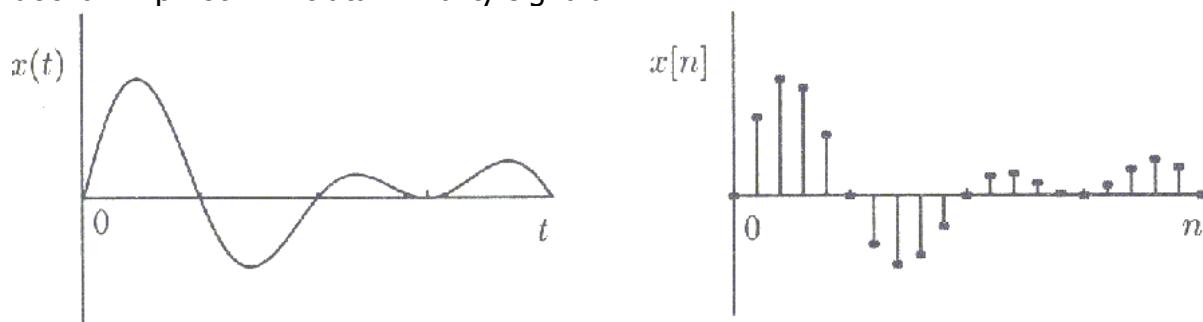
Nejznámější výrobci DSP jsou [Texas Instruments](#), [Analog Devices](#) a [Motorola](#).

Vlastní zpracování číslicového signálu probíhá na frekvencích mnohem vyšších, než byla frekvence vzorkovací. Při lineárním zpracování se obvykle nejprve provede některá ze spektrálních transformací, např. FFT, Hilbertova či DCT. Při zpracování se vychází ze známých vlastností spekter některých signálů. Zejména je důležitá spektra bílého šumu, který má stejnou amplitudu na všech kmitočtech přenášeného pásma. Již pouhé odečtení konstanty od jednotlivých složek spektra způsobí radikální pokles úrovně šumu výstupního signálu. Tato úprava bývá nazývána Noise Reduction. Dalším významným počinem je vyhledání spektrálních čar, které se v čase nemění. To jsou spektra různých, často i velmi silných kmitočtů, které dokáží užitečný signál úplně zamaskovat. Oříznutí spektra tohoto signálu se projeví jako účinek velmi úzkého a velmi jakostního filtru, který by s použitím klasických součástek nebyl realizovatelný.

Mimo těchto základních operací se však prostřednictvím DSP realizují další nelineární a netypické úpravy signálu podle specifického zařazení. O těchto úpravách však výrobci zařízení zarytě mlčí, neboť v nich je realizována mnohá zkušenost mnoha odborníků. Ve finálním provedení se často používají DSP realizované v jediném pouzdru i s paměťmi, ze kterého lze algoritmy zpracování zjistit již jen velmi obtížně.

Na obr.1 je blokové schéma typického DSP. Vidíme, že vychází z architektury von Neumanna, prakticky přesně kopíruje tzv. Super Harwardskou architekturu.

Jak již bylo řečeno, vstupním prvkem pro zpracování DSP je převodník A/D. Pro oblasti zpracování audiofrekvencí a videofrekvencí se nabízí široká paleta obvodů od mnoha výrobců. Převodníky A/D a D/A dnes již nejsou limitujícím faktorem při realizaci DSP, pomocí nich lze osvětlit některá specifika zpracování, neboť již zde dochází k prvotním ztrátám kvality signálu.



Obr.1 Analogový signál a posloupnost vzorků

Na Obr.1 je znázorněn rozdíl mezi analogovým signálem a posloupností vzorků v ekvidistantních časech. Taktovací frekvence vzorků bývá určena možnostmi dalšího zpracování signálu, nikoliv samotného převodníku.

Další problém, se kterým se setkáváme už při převodu signálu na číslicové vzorky, je konečná množina amplitudových hodnot. Jejich počet je dán počtem bitů zpracovávaného číslicového signálu. To nám určuje počet amplitudových hladin signálu. Např. při délce slova 8 bitů máme k dispozici 256 různých hladin. Samozřejmě platí, čím více, tím lépe. Pro vlastní DSP však rychle vzrůstají nároky na rychlost zpracování. Nutno uvážit, že během jednoho taktu převodníku je zapotřebí často provést i několik set výpočtů ve vlastním procesoru, a to se všemi bity zpracovávaných slov. Z toho plyne již zmiňovaný problém práce DSP na vyšších (např. mezifrekvenčních) kmitočtech. Na Obr.2 je znázorněna aproximace signálů s pomalým a rychlým vzorkováním.

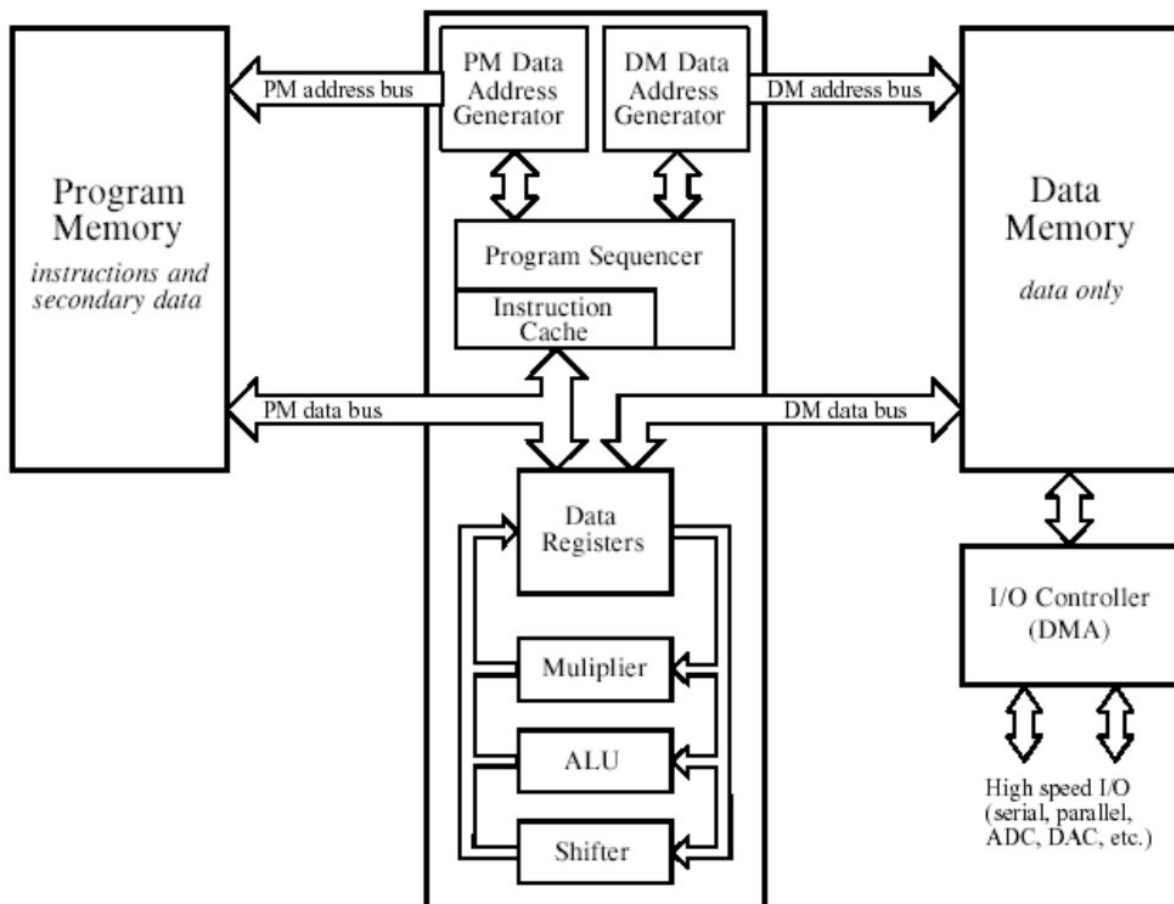


Obr.2 Aproximace spojitého průběhu

Z toho plyne další důležitý poznatek, a to je velmi malá, přímo nepatrná dynamika při amplitudových měřeních. Proto se nikdy nesetkáme s DSP za prvním směřovačem či u vstupních přijímacích obvodů, kde užitečný signál měříme ve zlomcích mikrovoltů a v tomtéž bodě můžeme mít stovky milivoltů rušivého signálu od místního rozhlasového vysílače, i když je na mnohem odlišnější frekvenci. To je úloha pro klasické krystalové filtry.

Po převodu vstupního signálu do číslicového tvaru je další zpracování v principu stejné, jako v klasickém počítači. Architektura DSP se však od běžného PC liší. Pro

zvýšení výkonu se často provádí několik operací současně (paralelně) v samostatných jednotkách. Také použité paměti mají svá specifika, důraz není kladen na kapacitu, ale na rychlost. Na Obr.3 je blokové schéma typického představitele DSP.



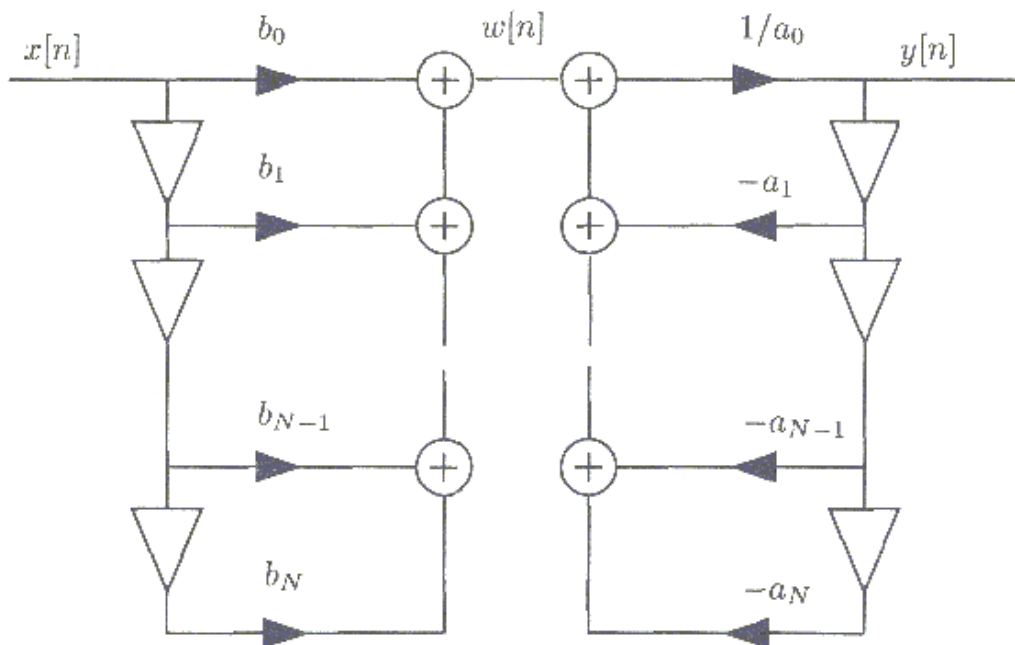
Obr.3 Blokové schéma DSP

Při zpracování číslicových signálů se samozřejmě využívají teorie číslicových filtrů, což se však již dost vymyká náplni této konference. Případní zájemci jistě najdou dostatek informací v literatuře [1],[2]. Přesto je dobré znát některé základní pojmy: Kauzální filtr (obvod) má na svém výstupu signály v čase stejném či spíše pozdějším, než příslušný vstupní signál. Neboli na výstupu se nemůže objevit odezva dříve, než se vstupní signál vůbec objeví. To není úplná samozřejmost, při matematických odvozeních k takovým situacím můžeme dojít. Takový filtr by byl nerealizovatelný, nicméně se toto poměrně elegantně obchází tím, že se do cesty vstupnímu signálu vloží zpožďovací členy před vlastním zpracováním a signál, který přivedeme přímo můžeme potom považovat za ten potřebný, který má přijít dříve. Další pojem je konečná a nekonečná odezva. Jak z názvu plyne, může jeden časově omezený vstupní signál vyvolat na výstupu nekonečně dlouhý sled jiných, třeba slábnoucích, výstupních signálů.

Z mnoha různých způsobů realizace odvozených matematických vztahů bych uvedl přímou realizační strukturu na Obr.4. Když si příslušný matematický vztah upravíme

$$\text{do tvaru } y[n] = \frac{1}{a_0} \left\{ \sum_{k=0}^N b_k x[n-k] - \sum_{k=1}^N a_k y[n-k] \right\}$$

Potom už nic nebrání v realizaci. Koeficienty b_k patří nerekurzivní části, a_k patří rekurzivní (zpětnovazební) části.



Obr.4 Přímá realizační struktura

Tato struktura je dobře pochopitelná, i když jiné (zejména kanonické) mají menší nároky na počet zpožďovacích elementů.

Příspěvek si neklade za cíl podat vyčerpávající výklad o DSP, ale umožnit náhled do problematiky a poněkud přiblížit tuto technologii všem uživatelům zejména z pohledu zpracování radiového signálu zatíženého šumem.

Literatura:

- [1] Uhlíř, Sovka: Číslíkové zpracování signálů, ČVUT 2002, ISBN 80-01-02613-2
- [2] Brigham, E. O. The Fast Fourier Transform. Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1974