

# SBĚR A ZPRACOVÁNÍ ANALOGOVÝCH SIGNÁLŮ NA POČÍTAČÍCH ŘADY PC

Pavel CAGAŠ, Jan CHOCHOLA

## • ÚVOD

Jak pro studium fyzikálních objektů, tak i pro jejich případné řízení jsou zapotřebí informace odrážející vlastnosti a stav těchto objektů. Získávání těchto informací (tj. sběr dat) může mít rozličné formy: od manuální (člověk s papírem a tužkou) přes jednoduché automatické přístroje (zapisovače) až po univerzální zařízení, která využívají číslicových počítačů.

Se sběrem dat velmi úzce souvisí také jejich analýza a případné dlouhodobé uchovávání. V této oblasti jsou počítače jednoznačně dominující. Stejně tak se uplatňují i při řízení.

V našem příspěvku se sice zabýváme sledováním a zpracováním analogových signálů, ale mnohé se možno snadno zobecnit i pro binární signály (stavy spínačů a pod.) a výstup binární a analogové informace právě v oblasti řízení. Týká se to zejména návaznosti těchto systémů na osobní počítač (jeho technické vybavení a způsoby komunikace).

## 1 OSOBNÍ POČÍTAČ A ANALOGOVĚ-DIGITÁLNÍ PŘEVODNÍK

### 1.1 Rozdělení systémů pro sběr dat

V zásadě je možno vydělit 2 základní skupiny zařízení pro sběr dat (tj. i A/D převodníků): externí a interní.

Externí systémy se k počítači připojují nepřímou prostřednictvím standardního interface (např. seriového RS232). Přístroj je umístěn v samostatné skříňce a má i vlastní napájecí zdroj. Toto řešení má následující výhody:

- \* možnost značné rozšiřitelnosti (neomezují vnitřní rozměry počítače, velikost adresového prostoru, ...),
- \* možnost umístění v blízkosti sledovaného procesu (rušení,
- \* snížení zátěže počítače (pomocí vlastního řídicího mikroprocesoru),
- \* možnost připojení k libovolnému typu počítače (vybavenému daným interface).

Nevýhodami jsou:

- \* vyšší cena (skříňka, zdroj, interface),
- \* větší rozměry a hmotnost,
- \* rychlost snímání může být podstatně omezena přenosovou kapacitou použitého interface.

Interní systémy se připojují přímo na sběrnici (resp. obecněji kanál a pod.) počítače. Využívají také napájecího zdroje počítače. Výhody tohoto systému:

- \* vyšší dosažitelná rychlost,
- \* nižší cena,
- \* menší rozměry.

Nevýhody interního připojení:

- \* omezená rozšiřitelnost.

- \* omezená flexibilita (pevný počet vstupních kanálů a úrovně,
- \* lze je použít jen pro systémy s kompatibilní sběrnicí (připojením).

V dalším se zaměříme jen na interní systémy pro počítače typu IBM PC/XT/AT (dále jen PC) a Kompatibilní (včetně možnosti rozšíření, tj. volných pozic pro přídatné desky). V tomto případě máme opět dvě možnosti připojení systému podle způsobu jeho adresace - buď I/O-mapped (tj. v uživatelském V/V adresovém prostoru, jak je u PC časté), nebo memory-mapped (tj. v paměťovém prostoru, kde je také několik použitelných "oken"). Každá metoda má své výhody; prvá například v univerzálnosti nebo v jednodušším dekodéru, druhá ve větším výkonu (úplný instrukční soubor pro spolupráci s pamětí) i větším adresovém prostoru. Při zvláště vysokých požadavcích na rychlost mohou převodníky používat i techniky DMA (přímého přístupu do paměti).

## 1.2 Realizovaný A/D převodník

Základem popisované konstrukce je IO AD574 (výrobce Analog Devices), který v sobě obsahuje úplný dvanáctibitový A/D převodník s postupnou aproximací, řídicí obvody a kompletní interface pro osmi- i šestnáctibitové mikroprocesorové sběrnice. Převodník pro PC je postaven na jedné oboustranné desce plošných spojů a zabírá i pozici (konektor) na hlavní desce PC. Deska převodníku obsahuje analogovou část (ochranné obvody, multiplexer, zesilovače, převodník), číslicovou část (řízení převodníku, obvody připojení ke sběrnicí) a napájecí (zdroje ±15V).

Z hlediska uživatelského představuje deska 16 V/V adres v druhé polovině prostoru pro prototypovou desku (adresy 310h až 31Fh). První čtveřice je obsazena obvodem PPI 18255, druhá sadou registrů obvodu 18253 (trojice čítačů). Zbývajících 8 adres není obsazeno žádnými registry, ale slouží k asynchronnímu programovému spuštění převodu (výstupní adresy 318h až 31Bh) a k inicializaci a nulování obvodů přerušeni (výstupní adresy 31Ch až 31Fh).

Převodník umožňuje programově zvolit jeden z 8 ekvivalentních vstupů, délku převodu 8 nebo 12 bitů, uvolnit generování žádosti o přerušeni. Jak vyplývá z předchozího, obsahuje deska i 3 programovatelné čítače. První dva jsou zapojeny v kaskádě; sestupná hrana na výstupu druhého z nich spouští převod. Je tak umožněno cyklické měření v intervalech od řádové 10<sup>-6</sup>s do více než 2 hodin. Kromě toho lze převod spustit i asynchronně aktivací startovacího signálu (vyveden na konektor) nebo programově. Minimální interval mezi převody je dán jednak dobou převodu (typ. 16 $\mu$ s pro 8 bitů a 25 $\mu$ s pro 12 bitů), přechodnými ději při vzorkování a přepínání vstupů a rychlostí programové obsluhy.

Ukončení převodu (a vzestupná hrana na výstupu třetího, jinak nevyužitého čítače) umožňuje generovat požadavek na přerušeni (volitelně IRQ2 až IRQ7). Přerušeni je možno zakázat na desce převodníku nebo maskovat v systémovém řadiči (18259).

### 1.3 Programová obsluha převodníků

V následující části jsou rozebrány jednotlivé používané způsoby oviádání A/D převodníků a provedeno jejich srovnání z hlediska rychlosti. Základními používanými technikami jsou polling a využití přerušeni.

#### 1.3.1 Polling

Metoda pollingu spočívá v periodickém testování obsahu stavového registru. Z výsledku testu je možno rozhodnout, zda zařízení vyžaduje (nebo umožňuje) obsluhu, nebo ještě zpracovává předchozí požadavek. Tato technika je velmi jednoduchá, snadno pochopitelná a odladitelná. Výhodou je zároveň její minimální režie spojená s vlastním sběrem dat. Nevýhodou je fakt, že programátor musí zajistit, aby doba mezi dvěma testy (resp. odběry dat) byla dostatečně krátká vzhledem k rychlosti převodu resp. změn ve sledovaném procesu. Z toho též vyplývají omezení na množství i druh ostatní činnosti, kterou je možno při sběru provádět. Problém činí i přesné časování.

#### 1.3.2 Přerušeni

Při využití (technického) přerušeni si zařízení (převodník) samo vyžádá obsluhu tehdy, když je to aktuální. Je tak zajištěna rychlá reakce systému i přesné časování a procesor může mezitím provádět jinou činnost. O to je však složitější odstranění případných chyb v obslužné rutině. Při přijetí požadavku na obsluhu přerušeni je řízení předáno podprogramu, jehož adresa se nachází v tabulce vektorů přerušeni. Celá akce poněkud připomíná proces volání podprogramu, takže je možno snadno obnovit vykonávání přerušeno programu. U systémů na bázi mikroprocesorů Intel 8088 a 80286 se tabulka vektorů nachází na počátku paměti a zabírá 1KB. Každá položka má délku 4 byte, první slovo je offset, druhé segmentová adresa obslužné rutiny. Pro technická přerušeni jsou rezervovány vektory 8h až 0Fh (u AT též 71h až 77h), ostatní jsou vyhrazeny pro programová přerušeni (instrukce 'INT n'). Navíc je nutno vždy oznámit ukončení obsluhy přerušeni řadiči 8259 (hodnota 20h na port na adrese 20h). Režie spojená s obsluhou přerušeni narůstá také o nutnost zachování obsahu všech registrů přerušeno programu, nejdříve v zásobníku. Dalším nepříjemným jevem je nerecentrantsnost DOSu, takže jen obtížně (a "pololegálně") můžeme využívat služeb operačního systému.

#### 1.3.3 Vyrovnávaný vstup/výstup

Technika vyrovnávaného V/V (buffered I/O) využívá obou dříve popsaných metod: aplikační program využívá pollingu nad kruhovým (uzavřeným) bufferem; při přečtení dat posouvá ukazatel začátku (hlavy) seznamu dat. Obslužná rutina přerušeni se stará o plnění vyrovnávací paměti; v její správě

Je ukazatel konce (ocas) seznamu. Pokud nejsou ve vyrovnávací paměti žádná data, procedura implementující polling může buď čekat nebo vrátit řízení aplikaci. Při správném poměru rychlosti plnění a vyprazdňování bude buffer obsahovat vždy jen několik položek; při jeho přeplnění je nutno signalizovat chybu.

### 1.3.4 Příspěvek přístupu do paměti (DMA)

Podobně jako u přerušení, i při DMA je nutná podpora technického vybavení na straně počítače i převodníku. Tato technika spočívá ve vyloučení účasti relativně pomalého procesoru z přenosu dat mezi pamětí a převodníkem. Data jsou přenášena v blocích, procesor je informován (prostřednictvím pollingu nebo přerušení) o ukončení přenosu celého bloku. Dosahuje se tak snadno značně vysokých přenosových rychlostí (běžně řádově megabity za sekundu). Protože tato metoda vyžaduje komplikovaný hardware, je doménou velmi kvalitních profesionálních zařízení, a dále se jí zabývat nebudeme. Jen pro úplnost dodejme, že u PC je k dispozici nevyužitý kanál 3 systémového řadiče DMA.

### 1.3.5 Výběr správné strategie

Na adekvátním výběru použité metody závisí jak maximálně dosažitelná rychlost, tak i využití procesoru a "pohodlí" obsluhy převodníku. Pro nejrychlejší aplikace je nutno použít krátkou smyčku a metodu pollingu; pro pomalejší je výhodnější přerušení.

Abychom mohli posoudit výkon (resp. dosažitelné rychlosti), napsali jsme pro oba způsoby přístupu programovou podporu, a to vždy v JSI (assembleru) a v jazyce C. Jednalo se o naplnění úseku paměti 8 dvanáctibitovými vzorky, kvůli rychlosti posunutými o 4 bity vlevo. Předpokládali jsme použití popsaného převodníku s autonomním spouštěním čítačem a bez přepínání kanálů. Také jsme zanedbali čas potřebný pro odeznění přechodových dějů po ukončení převodu. V jazyce C (systém Turbo C, verze 2.0) jsme použili v maximální míře registrové pseudoproměnné a in-line funkce; pro srovnání jsme použili překlad do JSI. V následující tabulce jsou dosažené výsledky.

	JSI	C
průchod smyčkou-úspěšný test	18 cyklů/3.8µs	24 cyklů/5.0µs
průchod smyčkou-neúspěšný test	22 cyklů/4.6µs	28 cyklů/5.9µs
ostatní režie cyklu	43 cyklů/9.0µs	72 cyklů/15.1µs
obslužná rutina přerušení	246 cyklů/51.6µs	397 cyklů/83.2µs

Počty strojových cyklů byly stanoveny pro procesor 8088. Absolutní časové údaje jsou vypočteny pro standardní hodinový kmitočet 4.77MHz. Reálné hodnoty se však budou o něco lišit. Vliv má například fronta vybraných instrukcí (pre-fetch queue).

obsazení sběrnice při obnově obsahu dynamických pamětí a pod.  
v kritických situacích je proto vždy nutno provést měření.

### 1.3.6 Časování vzorkování

Při sběru dat je prakticky vždy nutno určitým způsobem řídit (nebo zaznamenat) okamžik převodu. Za tímto účelem bývají převodníky vybaveny programovatelnými nebo pevně nastavitelnými časovači. Pokud však převodník nemá interní časování, je možno někdy využít systémových hodin PC.

Fyzicky jsou tyto hodiny tvořeny čítačem s obvodem 8253 (V/V adresa 40h) na hlavní desce PC. Řídící registr obvodu má adresu 43h. Tento čítač dělí signál o kmitočtu 1.19318MHz číslem 65536; výstupní signál (s periodou cca 55ms) slouží k vyvolání přerušování čísla 0. Obslužná rutina tohoto přerušování udržuje systémový čas a stará se i o jiné záležitosti (např. vypínání motorů mechanik). Uživateli je k dispozici programové přerušování iCh, kam může umístit svou rutinu. Ta pak bude při každém "tiku" hodin vyvolána. Na konci své rutiny by měl uživatel na oplátku vyvolat původní rutinu pro vektor iCh, čímž je umožněno zřetězení obslužných rutin. Jinou možností, zejména pro rychlejší děje, je nahrazení původní rutiny pro vektor 0 (hodinové přerušování) vlastním podprogramem a přeprogramování čítače. Opět je nutno po patřičném počtu "tiků" (t), s periodou asi 55ms) předat řízení původní rutině. O nutnosti zachování obsahu registrů snad není třeba příliš mluvit.

## 2 Sladování oběhových veličin

Impulsem pro vznik popisovaného A/D převodníku a programového vybavení pro spektrální analýzu fyziologických signálů byla spolupráce s katedrou fyziologie lékařské fakulty UJEP v Brně při studiu vztahů mezi oběhovými rytmy (dýchání, periferního průtoku, tepových intervalů, krevních tlaků) a dynamiky těchto rytmů.

### 2.1 Identifikace pulsů

Vstupními signály celého systému jsou analogové výstupy zapisovače, nesoucí informaci o okamžitém krevním tlaku, o periferním průtoku a hloubce nádechu. Z průběhu krevního tlaku se získávají hodnoty systolického (maximum), diastolického (minimum), tepového (rozkmit) a středního tlaku a délka tepového intervalu pro každý puls. Z průtoku se vybírá maximální hodnota mezi diastolou a systolou; v dechovém kanálu se provádí jen vzorkování s konstantním krokem 0.5s.

Vzorkování tlaku probíhá s frekvencí 500Hz (pomocí interních čítačů) s využitím přerušování. Z každých pěti vzorků se bere minimum a maximum, zároveň se provede převod i pro ostatní kanály. Efektivní kmitočet vzorkování je tedy 100Hz.

Kritickými místy při vyhledávání jednotlivých pulsů jsou oblasti diastoly a systoly. Zhruba jsou určeny změnami

znaménka derivace (diference mezi za sebou následujícími vzorky), přesně vyhledáním lokálního extrému v blízkosti těchto změn. Puls je nakonec verifikován pomocí experimentálně stanovených kritérií vzhledem k předchozímu pulsu. Nalezené hodnoty tlaků, tepového intervalu a maxima průtoku se nakonec lineárně interpolují (opět s krokem 0.5s).

## 2.2 Spektrální analýza

Zpracování průběhů jednotlivých signálů spočívá v odstranění pomalého driftu (drift je aproximován polynomem nízkého řádu), normalizací dat, výpočtu hodnot autokorelačních a korelačních funkcí a jejich následné spektrální analýze. Pro vzájemná spektra se provádí i analýza koherence, pro vlastní spektra se provede převod na amplitudu a denormalizace výkonových spektrálních hodnot.

## 3 Sledování pomalých dějů

Aby bylo možno snadno sledovat pomalé děje, byl vytvořen driver na úrovni operačního systému (MS DOSu). Obsluhuje 9 logických zařízení: 'ADC0' až 'ADC7' (jednotlivé vstupy převodníku, přesnost 12 bitů, převod "na žádost" bez přerušování) a 'ADC'. Posledně jmenované zařízení je určeno pro mírně náročnější aplikace a pomocí systémových služeb IOCTL dovoluje ovládat způsob funkce. A/D převodník tak může pracovat v módu "na žádost" i v cyklickém módu; zároveň může být obsluhována sekvence až osmi kanálů. Pro cyklický režim je možno nastavit dobu mezi jednotlivými převody (resp. jejich sekvencemi). Lze též programově ovládat délku převodu (8 nebo 12 bitů). Driver pro toto zařízení obsahuje i buffer pro až 32\*8 (64\*8) hodnot délky 12 (8) bitů.

Pro zpracování naměřených dat se nabízejí hotové programové systémy. Mezi ně patří např. StatGraph nebo Lotus 1-2-3.

## 4 Doporučení

Následujících pár řádků je určeno těm, kteří budou vytvářet náročnější aplikace pro A/D převodníky. Předpokládáme, že do podobných projektů se nebude pouštět začátečník, takže jen heslovitě:

- \* nezapomeňte na nereentrantnost DOSu - pro vaše programy platí stejné zásady, jako pro rezidentní (TSR) programy,
- \* při větších požadavcích na velikost zásobníku (nezapomeňte, že i vy můžete být přerušeni!); raději dočasně instalujte zásobník vlastní,
- \* při programování přerušování ve vyšším jazyku nezapomeňte vypnout kontrolu zásobníku,
- \* při použití instrukcí 'IN' a 'OUT' na AT ponechte obvodům více času (vloďte za ně instrukci 'JMP \$+2' nebo 'NOP'),
- \* na AT je místo vstupu IRQ2 na sběrnici vstup IRQ9 druhého (kaskádního) řadiče a BIOS obsahuje patřičné přesměrování, které ovšem stojí čas,
- \* při násilném ukončení procesu pomocí Ctrl Brk (vektor 23h)

nezapomeňte zakázat přerušovací mód převodníku,  
\* nezapomeňte, že PC nemá výkonu nazbyt; nečekejte tedy  
zázraky.

## 5 Závěr

V naší krátké práci jsme se pokusili seznámit čtenáře s problematikou méně tradičního využití PC. Popsali jsme obecně platná fakta i vlastní řešení jak hardware, tak i software. Závěrem lze tedy říci, že počítače řady PC lze celkem dobře použít i pro sběr dat. Problémy technického rázu lze řešit svépomocí nebo zakoupením převodníku (v zahraničí nebo brzy snad i z domácí produkce). K zakoupenému převodníku je vždy k dispozici firemní programové vybavení; pro většinu aplikací by mělo být alespoň pro fázi sběru dat dostatečné.

Jak již bylo řečeno, popsany převodník vznikl původně pro katedru fyziologie. Později o něj projevil zájem také Šmeralovy závody, Brno, se kterými také spolupracujeme. Po definitivním dokončení chtějí tento převodník i příslušnou programovou podporu prodávat na čs. trhu. Součástí dodávky by v budoucnu měi být i vlastní systém pro numerické zpracování dat.

### Literatura:

The Handbook of Personal Computer Instrumentation,  
Burr-Brown Corporation, Tucson 1988

BLACKMAN, R. B.: The Measurement of Power Spectra,  
Dover Publications, Inc., New York

DAVIES, R.: Mapping the IBM PC and PCjr,  
COMPUTE! Publications, Inc., 1986

IBM PC Hardware Manual,  
IBM Corp., 1984