

Videoton TV COMPUTER

megszakításból működő valódi kétcsatornás hanggenerátor CRTC szinkronnal

© 2021 by Szalontai Béla (Fast and Force software)

Miután a 123 bájtos valódi idejű kétcsatornás hanggenerátort megírtam, sokat gondolkoztam, hogy hogyan lehetne azt megoldani, hogy valódi több szólamú zene szóljon (nem váltogatott hangokkal) és mégis maradjon processzoridő is egy játék futtatásához.

Egy olyan megszakításból működő megoldáson gondolkoztam, ami elvégzi a 2 szólamú hang generálást és mixelést. Elkészítettem egy kalkulációs Excel táblát, osztottam, szoroztam, végül azt találtam ki, hogy megszakításból fogom generálni a hangot. Hogy maradjon processzor idő a főprogram tevékenységére megelégedtem a 2 csatornával és a négyszög jellel.

Miután a négyszögjel generálás a legkevésbé költséges eljárás (gyakorlatilag 1-eket és nullákat kell csak mixelni és ez mindösszesen kettő periódusba kerül) 2 csatornát egy nagyobb mintavételi frekvenciával (megszakítás frekvenciája) számláló segítségével generálok majd keverem össze. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a megszakítás "1"-et ad az adott hang csatornára amíg egy számláló (osztó) le nem számol, majd "0"-t, amíg ugyanaz a számláló le nem számol újra. Minden csatornának más-más osztója van természetesen annak megfelelően, hogy milyen frekvenciájú hangot szeretnék az adott időpillanatban az adott csatornán megszólaltatni. Arra gondoltam, hogy a főprogram a zene programjának megfelelően változtatná ezeket a számlálókat, a megszakítás pedig csak a mixeléssel és a számlálók léptetésével foglalkozna. Ha jól sejtem a SID-player program is hasonlóan működik.

Az első kihívás egy olyan mintavételi frekvencia megtalálása volt, amiben még kellő hangmagasságot el lehet érni kellő frekvencia pontosság mellett, ugyanakkor marad elég CPU idő is a játék vezérlésére, grafikára. Itt azért kompromisszumot kellett kötni. Ha magas frekvenciájú hangokat szeretnék előállítani, akkor a megszakításnak is magas frekvencián kell üzemelnie, így nem fog maradni processzor idő.

A második még nagyobb probléma, ami megoldásra várt, hogy hogyan lesz a CRTC megjelenítés szinkronizálva. Miután a TVC megszakítás kezelő hardver sajnos nem tudja eldönteni, hogy a kurzor vagy a hanggenerátor számlálója okozta-e a megszakítást, így **a legnagyobb kihívást a CRTC szinkronizációja okozta**. A CRTC megszakítást tiltani kell, de valahogy szólni kell a főprogramnak a magas frekvenciájú megszakításból, hogy itt az idő képernyőt frissíteni. És mivel a CRTC megszakítás periódus ideje 20,096 ms, ami 49,76115 Hz frekvenciának felel meg, a hanggenerátor számláncával pedig semmilyen osztóval nem lehet ennek a tizedes frekvenciának egész számú többszörösét előállítani, így trükközni kellett.

Összefoglalva tehát három problémát kellett egyszerre megoldani:

1. A CRTC kurzor szinkront megoldani
2. Egy olyan frekvenciát találni, ahol minél több zenei hang lehetőleg pontosan, azaz csak minimális frekvencia hibával előállítható
3. Maradjon elég processzoridő két képernyő frissítés közötti

SIKERÜLT!

Az optimális mintavételi (megszakítás) frekvencia: 4882 Hz, ahol a CRTC szinkron csúszás minimális és nagy frekvencia pontossággal előállítható 30 db hang, ami 2,5 oktáv átfogás az alsó tartományból + még néhány pontosan előállítható hang a felsőbb oktávokból.

Számítsuk ki, hogy a 2 hang csatorna generálása mellett mennyi gépi ciklus áll rendelkezésre két képernyő frissítés között. Ehhez először kiszámoljuk, hogy két képernyő frissítés között hány gépi ciklus van, majd ebből kivonjuk a két frissítés között fellépő megszakítások által elfogyasztott CPU időt (a megszakítás leghosszabb lefutásával, azaz a worst-case-el számolva):

A megszakítás rutin sok optimalizálás után 334 utasítás ciklus időt fogyaszt.

$(20,096 \text{ ms} / 0,00032 \text{ ms}) - ((4882,8125 \text{ Hz} / 49,76115 \text{ Hz}) * 334) =$

$62800 - 32774 = 30026$ **gépi ciklus maradt két képfreissítés között, azaz a processzoridő 47 %-a felhasználható marad!**

Osztó	Megszakítás frekvenciája	Pontos zenei hangok száma	Eltérés a CRTC frekvenciájától	Két megszakítás közötti összes gépi ciklus idő	CPU idő felhasználás %
40	4882 Hz	30 (C1..F#3)	0,0634 Hz	640 Gépi Ciklus	53%

CRTC szinkronizáció:

- alapvetően a kurzor megszakítás tiltva van
- a fenti frekvenciával minden 98. megszakításnál kellene lennie egy kurzor megszakításnak
- **ÖTLET: számoljunk le 97 megszakítást, majd átállítva a megszakítás forrást CRTC kurzor megszakításra, a 98.-at már egy Z80 HALT utasítással várjuk be.**
- a játékokban használt HALT utasítás helyett egy egyedi HALT szubrutin oldja meg a szinkronizálást
- a megszakítás leszámol 97 megszakítást, és jelzi a főprogramnak, hogy a 97. megszakítás is megtörtént
- a főprogramban a HALT szubrutin vár erre a szignálra, majd:
 - engedélyezi a kurzor megszakítást
 - letiltja a hang megszakítást
 - vár egy HALT Z80 utasítással a kurzor megszakításra
 - majd újból engedélyezi a hang megszakítást és tiltja a kurzor megszakítást
- **azaz a 98. megszakítást már a kurzor okozza és pont akkor, amikor szükség van rá**
- **és kész, SZINKRONBAN vagyunk a CRTC-vel!**

Az 53%-os CPU kihasználtság azt jelenti, hogy ha két képfreissítés között kell a programnak mindent megoldania (például hardver scroll-ozós játékoknál), akkor a CPU idő 53%-a foglalt a hanggeneráláshoz, 47%-a rendelkezésre áll. Ha viszont olyan játékot írunk (például: mászkálós, logikai stb. játékok), ahol nem muszáj 20ms alatt mindent kiszámolni és kipakolni a képernyőre, akkor például két frissítés, azaz 40ms alatt már dupla annyi időnk maradt a játék folyamatára és így tovább.

A megszakítás csak a hang generálásával és mixelésével foglalkozik. Ezért a főprogramnak etetni kell a lejátszót, azaz a zene rekordjait be kell olvasnia és betölteni a mixerbe, valamint a hangerővel és annak időtartamával is foglalkoznia kell.

A program (nevezhetjük library-nek is), amit most közreadok 5 részből áll:

1. IT_HANDLER

A megszakítás kezelő két csatornás hanggenerátor és keverő. Másodpercenként 4882-szer hívódik és az utasítás ciklus hossza változik a lefutás függvényében. A legrosszabb esetben maximum 334 ciklus ideig fut.

2. START_MUSIC_MIXER

Szubrutin, ami inicializálja és aktiválja a megszakítást. **Ennek a meghívása után már nem él a régi megszakítás, így annak minden funkcióját manuálisan kell elvégezni, gondolok itt például a billentyűzet mátrix kiolvasásra stb.** A MUSIC_MIXER megszakításkezelő elindításával a HALT parancs sem használható többé a megszokott módon. Helyette a 3. pontban ismertetett szubrutint kell használni

3. CUSTOM_HALT

Szubrutin, ami vár egy CRTC kurzor megszakításra. **A Z80 HALT utasítása helyett kell használni.**

4. STOP_MUSIC_MIXER

Szubrutin, ami leállítja a MUSIC_MIXER megszakítást és visszaállítja az eredeti megszakítást.

5. MUSIC_PLAYER

Szubrutin, ami eteti a MUSIC_MIXER megszakítást, azaz a zene rekordjait, valamint az egyes hangok hangerejét beolvassa és bemásolja a megfelelő helyre, továbbá a rekord hang hosszával is foglalkozik. 20 ms-onként kell meghívni, **azaz érdemes minden CUSTOM_HALT után meghívni!** A legrosszabb esetben maximum 359 ciklus ideig fut (20ms-onként).

Zenei rekord felépítése

Bájt	Leírás
1. byte	1-es csatorna frekvencia osztó
2. byte	2-es csatorna frekvencia osztó
3. byte	hang hossza 20ms lépésekben
4. byte	1-es csatorna hangereje (16 értéket vehet fel: \$3C,\$38,\$34,\$30,\$2C,\$28,\$24,\$20,\$1C,\$18,\$14,\$10,\$0C,\$08,\$04,\$00)
5. byte	2-es csatorna hangereje (16 értéket vehet fel: \$3C,\$38,\$34,\$30,\$2C,\$28,\$24,\$20,\$1C,\$18,\$14,\$10,\$0C,\$08,\$04,\$00)

Ha egy csatornát nem szeretnénk megszólaltatni (szünet), akkor 0-s frekvencia osztóval, \$00-s hangerőt kell beállítani!

Természetesen ezzel a lejátszóval is lehetőség van váltogatni a hangokat, amivel akár 3-4 csatornás zene is szimulálható, illetve rövid hangokkal akár hangeffektek is létrehozhatók. Ezen kívül a hangerő váltogatásával burkológörbét is adhatunk a "hangszerünknek". Ugyanakkor egyszerűen lehet írni hozzá egy tracker-es lejátszót, hosszabb zenék esetén, memória takarékosági okokból.

Frekvencia osztók:

Hang	Osztó decimálisan	Osztó hexadecimálisan
C1	75	\$48
C#1	70	\$46
D1	67	\$43
D#1	63	\$3F
E1	59	\$3B
F1	56	\$38
F#1	53	\$35
G1	50	\$32
G#1	47	\$2F
A1	44	\$2C
A#1	42	\$2A
B1	40	\$28
C2	37	\$25
C#2	35	\$23
D2	33	\$21
D#2	31	\$1F
E2	30	\$1E
F2	28	\$1C
F#2	26	\$1A
G2	25	\$19
G#2	24	\$18
A2	22	\$16
A#2	21	\$15
B2	20	\$14
C3	19	\$13
C#3	18	\$12
D3	17	\$11
D#3	16	\$10
E3	15	\$0F
F3	14	\$0E
F#3	13	\$0D
G#3	12	\$0C
A3	11	\$0B
B3	10	\$0A
C#4	9	\$09
D#4	8	\$08
F4	7	\$07
G#4	6	\$06
H4	5	\$05
D#5	4	\$04
G#5	3	\$03
D#6	2	\$02
D7	1	\$01

Ha egy hang nem előállítható, akkor érdemes az alacsonyabb oktávú párjával helyettesíteni!

A forráskódban benne van a szabadon felhasználható lejátszó library, a leírás és a kalkulációs segéd excel tábla.

A közreadott library tartalmaz egy demó programot is (main címke a kódban), ami így épül fel:

- beállítja a CRTC kurzort a képernyő tetejére (csak vizuális demó céllal)
- inicializálja a hanggenerátor megszakítást
- egy főciklusban vár a SPACE lenyomására, és addig:
 - vár egy CRTC kurzor megszakításra (custom HALT szubrutin, lásd leírás)
 - eteti a hanggenerátor a zene rekordjaival, azaz meghívja a MUSIC_PLAYER szubrutint
 - majd ugyancsak vizuális demonstrációs céllal 255-ször egy ciklusban állítgatja a keret színét.
 - a CRTC szinkron jól látszik abból, ahogy a keret színezés mindig ugyanott kezdődik
- ha lenyomták a SPACE-t, akkor visszaállítja a megszakítást, majd kilép

A zene rekordok demonstrációs céllal 1,5 másodperces szünetekkel egymás után az alábbiakat tartalmazzák:

- | | |
|-----------------|---|
| - Hang effekt 1 | - Intró hang, Interferencia, majd lehalkulás |
| - Hang effekt 2 | - Lézer lövések hangja |
| - Hang effekt 3 | - Robbanás |
| - Zene demó 1 | - sima két csatornás egyszerű hangok ADSR burkológörbe nélkül |
| - Zene demó 2 | - két csatornás hangok 1. csatorna pulzál, 2. csatorna lehalkuló hangszerekkel operál |