Mikrorendszerek tervezése
házi feladat dokumentáció

Kígyó játék megvalósítása FPGA platformon
MicroBlaze processzor segítségével

Készítette:

Frank János – YHAF2Q

Csőke Lóránt Tibor – EYUNCP

Konzulens:

Raikovich Tamás – BME MIT

Felhasznált eszközök:

- Logsys Kintex 7 board: Kintex 7 - XC7K70T-FBG676-I FPGA
- Logsys VGA, PS/2 and speaker module
- VGA monitor
- USB kábel
- VGA kábel

Tartalomjegyzék

1 Bevezetés:

A félvezető eszközök megjelenése nagyjából az 1950-as 60-es évekre tehető az informatikában. Először a kezdetleges számítógépekben alkalmazott reléket és elektroncsöveket –melyekből némely akár több tízezer darabot is tartalmazott– cserélték le a már kiforrott tranzisztorokra. Később, a félvezetőgyártásban alkalmazott technológia fejlődésének köszönhetően megjelentek az integrált áramkörök, melyek már több tranzisztorból álltak és képesek voltak egyszerű logikai műveletek végrehatására. Az integráltság Moore törvény szerinti fejlődéssel az 1970-es évek elejére megjelentek az LSI, VLSI IC-k velük együtt a mikroprocesszorok mint pl. az Intel 8080-as [1][2]. Ezek a berendezések azonban fix logikai és aritmetikai műveletek (összeadás, kivonás, szorzás, osztás, komparálás…) végrehajtására voltak képesek a bemenő adatokon egy előre meghatározott sorrend szerint, melyet a futtatott program határozott meg.

A programozható hardver iránti igény az 1980-as években jelent meg, melyet először EEPROM-ban megvalósított look-up táblákkal alakítottak ki. Később megjelentek, a CPLD-k –komplex programozható logikai eszköz– melyekben már több tízezer kaput lehetett vezérelni. Ezek az eszközök azonban korlátozott szerkezetűek, nem túl flexibilisek voltak [3]. Az FPGA-k megjelenésével egy sokoldalúan alkalmazható logikai eszközhöz jutott a világ. Az első időszakban a feladataik inkább mikroprocesszoros rendszerekben segédfunkciók ellátása volt, mint pl. memóriák illesztése, vagy matematikai műveletek hardveres gyorsítása. Később integráltságuk növekedésével azonban lehetőség nyílt magát a mikroprocesszort is az FPGA-ban létrehozni, melyet manapság „soft-core” processzornak hívnak [3]. Megjelent a működés közbeni parciális újrakonfigurálás lehetősége, valamint az ún. „hard-core” processzorral ellátott SoC –system on chip– rendszerek[3].

2 Elvégzendő feladatok

A házi feladat a soft-core processzoros rendszerekhez kapcsolódik. A cél egy működő összetett hibrid mikroprocesszoros rendszer tervezése és elkészítése volt, mely a népszerű kígyó játékot futtatja 640x480 pixel felbontásban egy VGA monitoron. A probléma megoldásához a MicroBlaze soft-core processzor IP-t használtuk, melyez AXI-stream interfészen egy saját VGA vezérlőt illesztettünk. A rendszert elláttuk a megfelelő kiegészítő blokkokkal, mint pl. a DDR3 memóriavezérlő vagy az AXI-lite interfészen kapcsolódó 7-szegmenses kijelzőt vezérlő modul. A felhasználóval történő kommunikációhoz PS/2-es billentyűzetet szerettünk volna alkalmazni, azonban erre nem volt lehetőségünk, így készítettünk egy C# alkalmazást, mely figyelte a lenyomott billentyűket és továbbküldte azokat soros terminálon keresztül az FPGA-nak, mely feldolgozta azt. Így tulajdonképpen egy billentyűzet emulátort készítettünk a rendszerhez.

A megoldandó feladatok:

Hardver:

1. MicroBlaze processzor konfigurációja
2. MIG7 – DDR3 memóriavezérlő illesztése, konfigurációja
3. AXI UART modul illesztése, konfigurációja
4. VGA vezérlő modul megírása, illesztése AXI-Stream interfészen keresztül
5. DMA vezérlő konfigurációja, illesztése
6. FIFO buffer létrehozása az DMA és a VGA modul között, konfigurációja
7. AXI – Timer modul illesztése
8. AXI – GPIO modul illesztése
9. 7-szegmenses kijelző vezérlő modul elkészítése, illesztése AXI-Lite buszon keresztül

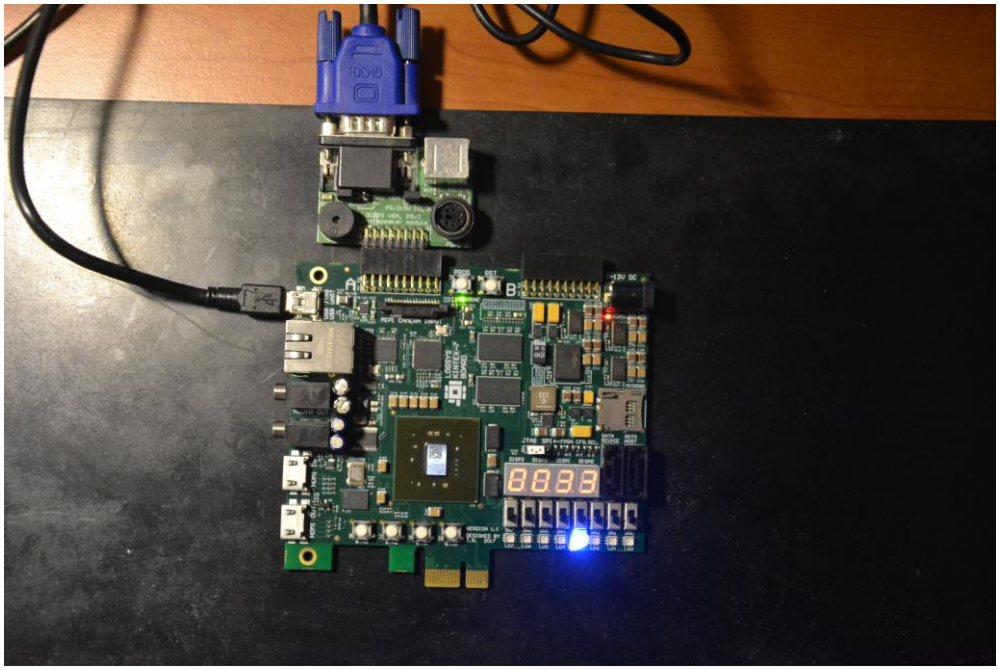
Szoftver:

1. A különböző perifériák inicializálása, felkonfigurálása
2. Képmemória szekciójának létrehozása linker scriptben
3. A játékot megvalósító algoritmus megírása
4. Billentyűzet emulátor készítése C#-ban

3 Felépítés

A feladat megoldása során a MicroBlaze processzorhoz számos külső periféria illesztése volt szükséges. Ezeknek a konfigurációját a gyakorlatokon bemutatottaknak megfelelően végeztük, így azok részletes leírásával most nem foglalkozunk, csak az általunk készített modulokat mutatjuk be. A DDR memória illesztéséhez a MIG7 memória vezérlőt használtuk, mely konfigurációjának útmutatója [4]-ben található.

3.1 Hardver:



3.1 ábra: A Kintex-7 kártya játék közben.

3.2 VGA vezérlő modul:

A feladat egyik fontos része a saját VGA vezérlő modul elkészítése volt. A megoldáshoz segítségül vettük a Logsys VGA és PS/2 vezérlő modulhoz tartozó dokumentációt, melyben megtalálhatóak voltak a szükséges pixel órajelek valamint a vezérlő jelek létrehozásához szükséges információk, adatok [5]. A blockdesign-ba illeszthető vezérlő modul létrehozásához a Vivado IP generátorát használtuk.

A modul AXI-Stream interfészen keresztül fogadja a pixeladatokat a DMA vezérlőtől, egy FIFO bufferen keresztül. A kép pixelei két darab, a külső DDR3 memóriában foglalt tömbben kerültek eltárolásra, melyből a DMA felváltva továbbította az adatokat. Az így megvalósított dupla pufferelt megjelenítés segítségével nem történik hozzáférési ütközés a memóriában, hisz még a processzor az új képhez szükséges adatokat írja addig a DMA vezérlő a másik képet olvassa.

A modul neve: AXI4S_VGA_v1_0_AXI4S_0

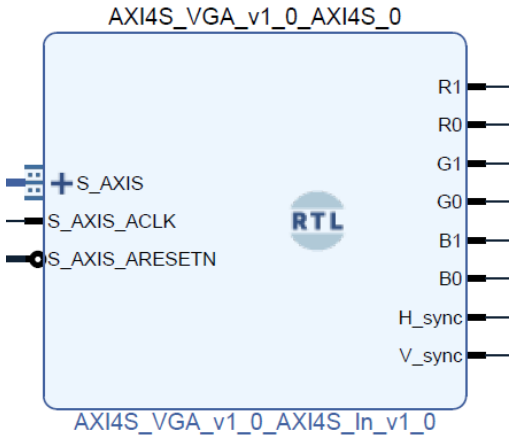
A modul bemeneti portjai:

- S_AXIS
- S_AXIS_ACLK
- S_AXIS_ARESETN

A modul kimeneti portjai:

- R0, R1, G0, G1, B0, B1
- H_sync
- V_sync

Blokkvázlat:



3.2 ábra: VGA vezérlő modul blokkvázlat

3.2.1 7-szegmenses kijelző vezérlő modul:

A Kintex-7 kártyán található egy 7-szegmenses kijelző, melyet a játékban elért pontok megjelenítésére alkalmaztunk [6]. Ehhez írtunk egy egyszerű Verilog kódot, mely megvalósította a kijelző időmultiplexált vezérlését. A megjelenítendő adatokat AXI-Lite

interfészen keresztül juttattuk el a processzortól a modulnak, melyet a Vivado IP Packager-rel illesztettük a blockdesign-ba.

A modul neve: SevenSegmentDriver_0

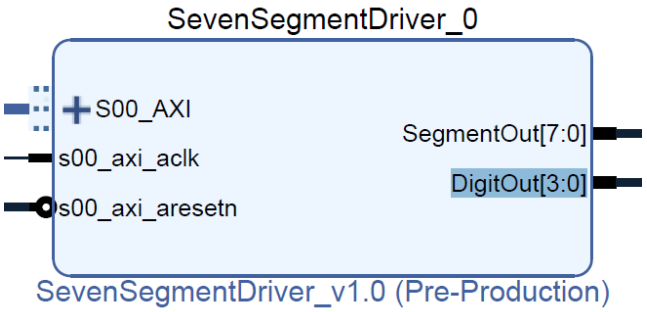
A modul bemeneti portjai:

- S00_AXI
- s00_axi_aclk
- s00_axi_aresetn

A modul kimeneti portjai:

- SegmentOut[7:0]
- DigitOut[3:0]

Blokkvázlat:



3.3 ábra: 7-szegmenses kijelző vezérlő modul blokkvázlat

3.3 Szoftver

A szoftver elkészítéséhez először legeneráltuk a Board Support Ppackage-et (BSP), mely tartalmazza a processzor és a hozzá illesztett perifériák használatához szükséges memóriacímeket, függvényeket. A fejlesztéshez a Vivado beépített SDK-ját használtuk. A képmemória létrehozásához kijelöltünk egy szekciót a linker scriptben, megadva azzal, hogy az adott terület a DDR3-memóriába kerüljön. A szükséges hardver elemek inicializálását követően elindítottuk a játék ütemezéséhez használt AXI Timert, valamint az algoritmust.

3.3.1 Játékmenet vezérlés

A játék egy időzítőre alapul, mely ütemezi a játékmenetet. A különböző szintek közötti előrelépés a timer periódusidejének csökkentésével történik, így gyorsítva a játékot. Minden egyes ütemezéskor a következő frame kiszámolódik, miközben a DMA felváltva továbbítja a képadatokat a VGA vezérlőnek a két pufferből. Új játék indulása esetén a képek törlését darabokban kell elvégezni, mivel a processzor és a DDR memória közötti adatátvitel lassú. Erre azt a megoldást választottuk, hogy míg az egyik kép törlése zajlik, addig a DMA a másik képet továbbítja a vezérlőnek. Így a kép egy rövid időre befagy, majd kezdődik a játék elölről. A kígyó leírását annak töréspontjai eltárolásával oldottuk meg. Az adott pontok között a kirajzoláskor csak egy egyenest kell húzni, így megkapható a kígyó alakzata. Az alakzat mozgatása úgy történt, hogy az utolsó szegmensből (a kígyó farka) elvettünk egy egységet, majd a fejénél kirajzoltattuk. Étel találata esetén az elvétel lépése, azaz a kígyó rövidítése elmarad.

A szükséges lépéseket az időzítő által megszabott periódusonként számoltuk újra, majd írtuk ki az éppen szabad, azaz a DMA által nem olvasott képmemóriába. A játék szinteket a ledek jelenítik meg, míg az aktuális pontokat a 7-szegmenses kijelző.

3.3.2 Adatmodell:

A szoftverben alkalmazott tömbök struktúrák leírása.

picture<#n>:

A linker scriptben megadot *.extmem* memóriaterületen lefoglalt dupla képmemória, mely a dupla pufferelt megjelenítést szolgálja.

```
  unsigned char picture1[480][640] __attribute__((aligned(128),
section(".extmem")));
```

```
  unsigned char picture2[480][640] __attribute__((aligned(128),
section(".extmem")));
```

point_typedef:

A képen megjelenítendő pontokat leíró struktúra.

```
  typedef struct
  {
      int x;
      int y;
  } point_typedef;
```

direction_typedef:

A lenyomott billentyűk és a haladási irány leírására szolgál.

```
  typedef enum
  {
      UP = 0,
      DOWN = 1,
      LEFT = 2,
      RIGHT = 3,
      NONE = 4
  }direction_typedef;
```

fillData_typedef:

Négyzetesen kitöltendő terület leíró struktúrája a megjelenítéshez.

```
  typedef struct
  {
      int x0;
      int y0;
      int x1;
      int y1;
      uint8_t color;
  }fillData_typedef;
```

SEG7:

7-szegmenese kijelző kódolása.

```
  const uint8_t SEG7[10] = {0x3F, 0x06, 0x5B, 0x4F, 0x66, 0x6D, 0x7D, 0x07,
0x7F, 0x6F};
```

3.3.3 Függvények:

Az alkalmazott függvények bemutatása, funkciójuk leírása.

snake.c/.h

```
void swap(int* x, int *y);
```
Két pontkoordináta fölcserélése.

```
void FillRectangle(fillData_typedef* in, uint8_t* picture);
```
Négyzet kirajzolása a kijelzőre.

```
int GetRandom(int min, int max);
```
Visszaad egy random számot „min” és „max” között.

```
int PointFitsLine(point_typedef p, point_typedef l0, point_typedef
l1);
```
Ellenőrzi, hogy rajta van-e a „p” pont az „l0” és „l1” pontok közötti szakaszon;

```
void ShiftPoints();
```
Eggyel lépteti a kígyót leíró pontokat.

```
void StepAhead();
```
A kígyó léptetését számoló függvény. Ez tölti fel az „addHead” és „removeTail” változókat, melyek a képeken történő alakzatok megjelenítését szolgálják.

```
void RemoveTail();
```
A kígyó léptetése során lekezeli, ha egy töréspont „elfogy”.

```
int CheckWall();
```
Fallal való ütközés a megállapítása.

```
int CheckBite();
```
Saját magába harapás megállapítása.

```
void PlaceNewFood();
```
Új élelem elhelyezése.

```
int FoundFood();
```
Étel találata során történő módosítások végrehajtása.

```
int StepSnake();
```
A kígyó léptetésének menedzselése.

```
int ClearScreen(uint8_t *pic, int first);
```
Képernyő törlése, alaphelyzetbe állítás.

```
int ClearManage(int *clearStart);
```
Részekre bontott törlés végrehajtása.

```
void ScanButtons();
```
Lenyomott billentyű parancsértelmező.

```
void UpdateGame();
```
Játékmenet léptetés, új koordináták számolása.

```
void SnakeMain();
```
A játék indítása.

Drivers.c/.h

```
void dma_init(unsigned long baseaddr);
```
DMA vezérlő inicializálása.

```
void dma_mm2s_start(unsigned long baseaddr, void *src, unsigned long
length);
```
DMA transzfer indítása.

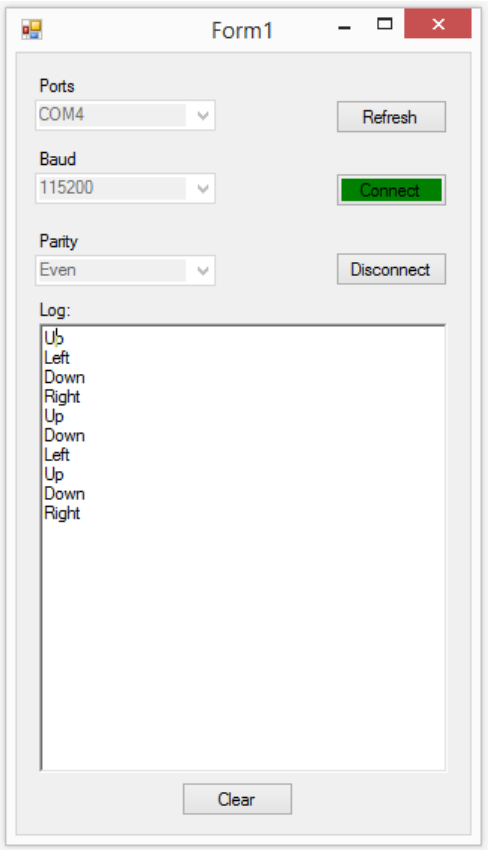
```
uint32_t dma_mm2s_finished(unsigned long baseaddr);
```
Befejeződött DMA transzfer jelentése. Pollingolt megoldás.

```
void timer1_Init();
```
AXI Timer inicializálása.

```
uint32_t GetTick();
```
Aktuális timer érték kiolvasása.

3.3.4 Billentyűzet emulátor

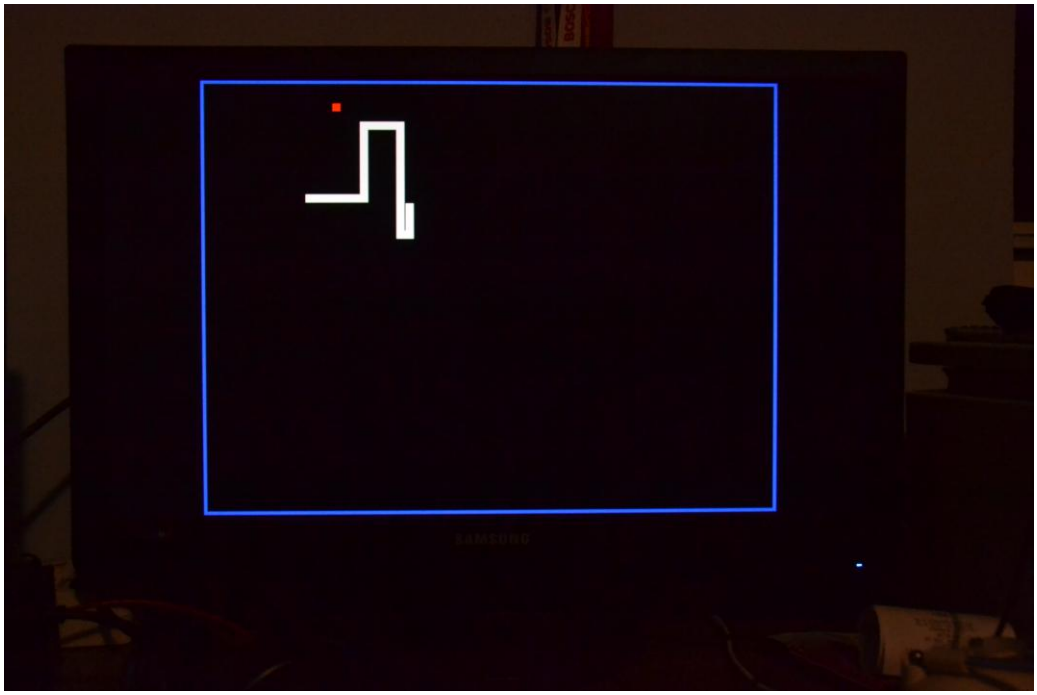
A PS/2 billentyűzet helyett egy C# alkalmazás segítségével lehetőség nyílik soros terminálon keresztül elküldeni a host számítógépen lenyomott billentyűket a kártyának. A program egy egyszerű soros terminált nyit, majd loggolja lenyomott billentyűket és továbbítja azokat az FPGA-nak.



3.4 ábra: Billentyűzet emulátor C# alkalmazás

4 Összefoglalás

A feladat megoldása során rendkívül sok hasznos tapasztalatra tettünk szert egy összetett FPGA-s rendszer tervezésével kapcsolatban. Megismertük a Vivado blockdesign tervezőjét, valamint a szükséges modulok felkonfigurálásának módját. Meg tanultuk hogyan kell saját AXI perifériát készíteni, valamint beilleszteni azt a meglévő projektbe. Rálátást nyertünk, hogyan történik egy hibrid mikroprocesszoros és hardveres rendszer elkészítése, annak tesztelése, szimulációja.



4.1 ábra: A játék futás közben a képernyőn

5 Ábrajegyzék

6 Irodalomjegyzék

1] Wikipedia, „Microprocessor,” 20 11 2018. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Microprocessor. [Hozzáférés dátuma: 25 11 2018].

2] Wikipedia, „Very Large Scale Integration,” 09 11 2018. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Very_Large_Scale_Integration. [Hozzáférés dátuma: 25 11 2018].

3] Wikipedia, „Field-programmable gate array,” 25. 11. 2018.. [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Field-programmable_gate_array. [Hozzáférés dátuma: 25. 11. 2018.].

4] BME-MIT, „A Memory Interface Generator (MIG) beállítása a Logsys Kintex-7 FPGA kártyához,” LOGSYS, Budapest, 2018..

5] BME-MIT, „LOGSYS VGA, PS/2 ÉS HANGSZÓRÓ MODUL FELHASZNÁLÓI ÚTMUTATÓ,” LOGSYS, Budapest, 2010.06.25..

6] BME-MIT, „LOGSYS KINTEX-7 FPGA KÁRTYA FELHASZNÁLÓI ÚTMUTATÓ,” LOGSYS, Budapest, 2018.04.03..

7 Függelék

7.1 VGA vezérlő HDL kódja

```
`timescale 1 ns / 1 ps

    module AXI4S_VGA_v1_0_AXI4S_In
    (
        // Users to add ports here
        output R1,
        output R0,
        output G1,
        output G0,
        output B1,
        output B0,
        output H_sync,
        output V_sync,
        // User ports ends
        // Do not modify the ports beyond this line

        // AXI4Stream sink: Clock
        input wire  S_AXIS_ACLK,
        // AXI4Stream sink: Reset
        input wire  S_AXIS_ARESETN,
        // Ready to accept data in
        output wire  S_AXIS_TREADY,
        // Data in
        input wire [31 : 0] S_AXIS_TDATA,
        // Byte qualifier
        input wire [3 : 0] S_AXIS_TSTRB,
        // Indicates boundary of last packet
        input wire  S_AXIS_TLAST,
        // Data is in valid
        input wire  S_AXIS_TVALID
    );
    // function called clogb2 that returns an integer which has the
    // value of the ceiling of the log base 2.
    function integer clogb2 (input integer bit_depth);
      begin
        for(clogb2=0; bit_depth>0; clogb2=clogb2+1)
          bit_depth = bit_depth >> 1;
      end
    endfunction


    // 640x480 @ 60 Hz
    //Pixel clk 25M MHz
    reg [1:0] R;
    reg [1:0] G;
    reg [1:0] B;
    reg h_sync_reg;
    reg v_sync_reg;
    reg [9:0] h_cntr;
```

```
    reg [9:0] v_cntr;
    reg [1:0] ce;

    assign H_sync = h_sync_reg;
    assign V_sync = v_sync_reg;
    assign R1 = R[1];
    assign R0 = R[0];
    assign G1 = G[1];
    assign G0 = G[0];
    assign B1 = B[1];
    assign B0 = B[0];


    parameter [1:0] waitForTlast = 2'd0, waitForData = 2'd1, inSync = 2'd2;
    reg [1:0] streamSync;

    reg aready;

    reg[31:0] dataIn;
    assign S_AXIS_TREADY = aready;



    always @(posedge S_AXIS_ACLK)
    begin
        if(!S_AXIS_ARESETN || (streamSync != inSync))
        begin
            h_sync_reg <= 0;
            v_sync_reg <= 0;
        end
        else if(ce == 2'b11)
        begin
            h_sync_reg <= !((h_cntr >= (640 + 16 -1)) && (h_cntr < (640 +
16 + 96 -1)));
            v_sync_reg <= !((v_cntr >= (480 + 10 -1)) && (v_cntr < (480 +
10 + 2 -1)));
        end
    end



    wire h_end = h_cntr >= 10'd799;
    wire v_end = v_cntr >= 10'd520;


    always @(posedge S_AXIS_ACLK)
    begin
        if(!S_AXIS_ARESETN)
        begin
            streamSync <= waitForTlast;
        end
        else
        begin
            if(streamSync == waitForTlast)
            begin
                if(S_AXIS_TLAST)
                begin
                    streamSync <= waitForData;
                end
```

```
        end
        else if(streamSync == waitForData)
        begin
            if(S_AXIS_TVALID)
            begin
                streamSync <= inSync;
            end
        end
    end
end

wire visibleArea = !((h_cntr >= 639) || (v_cntr >= 479));

always @ (posedge S_AXIS_ACLK)
begin
    if(streamSync != inSync)
        aready <= 1;
    else
        if((h_cntr[1:0] == 2'b00) && (ce == 2'b00) && visibleArea)
        begin
            aready <= 1;
            dataIn <= S_AXIS_TDATA;
        end
        else
            aready <= 0;
end



always @(posedge S_AXIS_ACLK)
    begin
        if(!S_AXIS_ARESETN || (streamSync != inSync))
        begin
            h_cntr <= 10'd0;
            v_cntr <= 10'd0;
            ce <= 2'b0;
        end
        else
        begin
            ce <= ce + 1;
            if (ce == 2'b11)
            begin
                if (h_end && v_end)
                begin
                    h_cntr <= 10'd0;
                    v_cntr <= 10'd0;
                end
                else if (h_end)
                begin
                    h_cntr <= 10'd0;
                    v_cntr <= v_cntr + 1;
                end
                else
                begin
                    h_cntr <= h_cntr + 1;
                end
            end
        end
    end
```

```
always @ (posedge S_AXIS_ACLK)
begin
    if(ce == 2'b11)
    begin
        if(!visibleArea)
        begin
            R[1:0] <= 0;
            G[1:0] <= 0;
            B[1:0] <= 0;
        end
        else
        begin
            case (h_cntr[1:0])
            2'b00:
            begin
                R[1:0] <= dataIn[5:4];
                G[1:0] <= dataIn[3:2];
                B[1:0] <= dataIn[1:0];
            end
            2'b01:
            begin
                R[1:0] <= dataIn[13:12];
                G[1:0] <= dataIn[11:10];
                B[1:0] <= dataIn[9:8];
            end
            2'b10:
            begin
                R[1:0] <= dataIn[21:10];
                G[1:0] <= dataIn[19:18];
                B[1:0] <= dataIn[17:16];
            end
            2'b11:
            begin
                R[1:0] <= dataIn[29:28];
                G[1:0] <= dataIn[27:26];
                B[1:0] <= dataIn[25:24];
            end
            endcase
        end
    end
end

endmodule
```

7.2 7-szegmenses kijelző vezérlő kódja

???

7.3 Snake.c

```
#include "Snake.h"

unsigned char picture1[480][640] __attribute__((aligned(128),
section(".extmem")));
```

```
unsigned char picture2[480][640] __attribute__((aligned(128),
section(".extmem")));

point_typedef points[100];
int point_cntr = 0;

fillData_typedef removeTail;
fillData_typedef addHead;
fillData_typedef newFood;
int newFoodPlaced;
point_typedef currentFood;

uint32_t last_tick = 0;
uint32_t tick;
uint8_t currentDmaPicture = 1;
int gameEnded = 0;
int clearStart = 0;

int Score;
int Level;
uint8_t gameRunning = 0;
direction_typedef currentDirection;
direction_typedef lastPressedButton = NONE;

const uint8_t SEG7[10] = {0x3F, 0x06, 0x5B, 0x4F, 0x66, 0x6D, 0x7D, 0x07,
0x7F, 0x6F};


void swap(int* x, int *y)
{
    int tmp = *x;
    *x = *y;
    *y = tmp;
}

void FillRectangle(fillData_typedef* in, uint8_t* picture)
{
    if(in->x0 > in->x1)
        swap(&in->x0, &in->x1);
    if(in->y0 > in->y1)
        swap(&in->y0, &in->y1);

    for(int y = in->y0; y <= in->y1; y++)
    {
        for(int x = in->x0; x <= in->x1; x++)
        {
            picture[y * 640 + x] = in->color;
        }
    }
}

int GetRandom(int min, int max)
{
    return rand() / (RAND_MAX / (max-min)) + min;
}

int PointFitsLine(point_typedef p, point_typedef l0, point_typedef l1)
{
    int ret = 0;
```

```
    if((l0.x == l1.x) && (l0.x == p.x))
    {
        if((p.y >= l0.y) && (p.y <= l1.y))
            ret = -1;
        if((p.y >= l1.y) && (p.y <= l0.y))
            ret = -1;
    }
    else if((l0.y == l1.y) && (l0.y == p.y))
    {
        if((p.x >= l0.x) && (p.x <= l1.x))
            ret = -1;
        if((p.x >= l1.x) && (p.x <= l0.x))
            ret = -1;
    }
    return ret;
}

void ShiftPoints()
{
    for(int i = point_cntr; i > 0; i--)
    {
        points[i] = points[i -1];
    }
    point_cntr++;
}

void StepAhead()
{
    if((currentDirection == UP) || (currentDirection == DOWN))
    {
        if(lastPressedButton == RIGHT)
        {
            ShiftPoints();
            points[0].x = points[1].x + 10;
            points[0].y = points[1].y;
            currentDirection = RIGHT;
            addHead.x0 = points[0].x - 5;
            addHead.y0 = points[0].y - 4;
            addHead.x1 = points[0].x + 4;
            addHead.y1 = points[0].y + 4;
            addHead.color = 0xFF;
        }
        else if(lastPressedButton == LEFT)
        {
            ShiftPoints();
            points[0].x = points[1].x - 10;
            points[0].y = points[1].y;
            currentDirection = LEFT;
            addHead.x0 = points[0].x - 4;
            addHead.y0 = points[0].y - 4;
            addHead.x1 = points[0].x + 5;
            addHead.y1 = points[0].y + 4;
            addHead.color = 0xFF;
        }
        else if(currentDirection == UP)
        {
            points[0].y -= 10;
            addHead.x0 = points[0].x - 4;
            addHead.y0 = points[0].y - 4;
```

```
            addHead.x1 = points[0].x + 4;
            addHead.y1 = points[0].y + 5;
            addHead.color = 0xFF;
        }
        else if(currentDirection == DOWN)
        {
            points[0].y += 10;
            addHead.x0 = points[0].x - 4;
            addHead.y0 = points[0].y - 5;
            addHead.x1 = points[0].x + 4;
            addHead.y1 = points[0].y + 4;
            addHead.color = 0xFF;
        }
    }
    else if((currentDirection == RIGHT) || (currentDirection == LEFT))
    {
        if(lastPressedButton == UP)
        {
            ShiftPoints();
            points[0].x = points[1].x;
            points[0].y = points[1].y - 10;
            currentDirection = UP;
            addHead.x0 = points[0].x - 4;
            addHead.y0 = points[0].y - 4;
            addHead.x1 = points[0].x + 4;
            addHead.y1 = points[0].y + 5;
            addHead.color = 0xFF;
        }
        else if(lastPressedButton == DOWN)
        {
            ShiftPoints();
            points[0].x = points[1].x;
            points[0].y = points[1].y + 10;
            currentDirection = DOWN;
            addHead.x0 = points[0].x - 4;
            addHead.y0 = points[0].y - 5;
            addHead.x1 = points[0].x + 4;
            addHead.y1 = points[0].y + 4;
            addHead.color = 0xFF;
        }
        else if (currentDirection == RIGHT)
        {
            points[0].x += 10;
            addHead.x0 = points[0].x - 5;
            addHead.y0 = points[0].y - 4;
            addHead.x1 = points[0].x + 4;
            addHead.y1 = points[0].y + 4;
            addHead.color = 0xFF;
        }
        else if (currentDirection == LEFT)
        {
            points[0].x -= 10;
            addHead.x0 = points[0].x - 4;
            addHead.y0 = points[0].y - 4;
            addHead.x1 = points[0].x + 5;
            addHead.y1 = points[0].y + 4;
            addHead.color = 0xFF;
        }
    }
```

```
}

void RemoveTail()
{
    removeTail.x0 = points[point_cntr - 1].x - 5;
    removeTail.y0 = points[point_cntr - 1].y - 5;
    removeTail.x1 = points[point_cntr - 1].x + 5;
    removeTail.y1 = points[point_cntr - 1].y + 5;
    removeTail.color = 0x00;
    if(points[point_cntr - 1].x == points[point_cntr - 2].x)
    {
        int d = points[point_cntr - 1].y - points[point_cntr - 2].y;
        if(my_abs(d) == 10)
        {
            point_cntr--;
        }
        else
        {
            points[point_cntr - 1].y += (d > 10) ? -10 : 10;
        }
    }
    else
    {
        int d = points[point_cntr - 1].x - points[point_cntr - 2].x;
        if(my_abs(d) == 10)
        {
            point_cntr--;
        }
        else
        {
            points[point_cntr - 1].x += (d > 10) ? -10 : 10;
        }
    }
}

int CheckWall()
{
    if(points[0].x < 0 || points[0].y < 0 || points[0].x > 638 ||
points[0].y > 478)
        return -1;
    return 0;
}

int CheckBite()
{
    int ret = 0;
        for(int i = 1; i < point_cntr - 1; i++)
    {
        if(PointFitsLine(points[0], points[i], points[i + 1]) != 0)
        {
            ret = -1;
            break;
        }
    }
    return ret;
}

void PlaceNewFood()
{
```

```
    int ok = 0;
    while(!ok)
    {
        currentFood.x = GetRandom(0, 20) * 10 + 9;
        currentFood.y = GetRandom(0, 10) * 10 + 9;
        //currentFood.x = GetRandom(0, 63) * 10 + 9;
        //currentFood.y = GetRandom(0, 47) * 10 + 9;
        ok = 1;
        for(int i = 0; i < point_cntr - 1; i++)
        {
            if(PointFitsLine(currentFood, points[i], points[i + 1]) != 0)
                ok = 0;
        }
    }
    newFood.x0 = currentFood.x -4;
    newFood.y0 = currentFood.y -4;
    newFood.x1 = currentFood.x +4;
    newFood.y1 = currentFood.y +4;
    newFood.color = 0x30;
    newFoodPlaced = 1;
}

int FoundFood()
{
    return (points[0].x == currentFood.x) && (points[0].y ==
currentFood.y);
}

int StepSnake()
{
    int ret = 0;
    StepAhead();
    if(FoundFood())
    {
        PlaceNewFood();
        int tmp = Score / 10 + 1;
        Level = tmp < 8 ? tmp : 8;
        if(Score < 9998)
            Score++;
    }
    else
    {
        RemoveTail();
    }
    if(CheckWall() || CheckBite())
    {
        ret = -1;
    }
    return ret;
}

int ClearScreen(uint8_t *pic, int first)
{
    static int state;
    static int line;
    if(first)
    {
        state = 0;
        line = 0;
```

```
}

if(state == 0)
{
    int lineStart = line;
    int j;
    for(j = lineStart; (j < 480) && (j < lineStart + 2); j++)
    {
        for(int i = 0; i < 640; i++)
        {
            *(pic + j * 640 + i) = (unsigned char)(0x00);
        }
    }
    line = j;
    if(j == 480)
        state = 1;
}
else if(state == 1)
{
    for(int i = 0; i < 639; i++)
    {
        *(pic + 0 * 640 + i) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + 1 * 640 + i) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + 2 * 640 + i) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + 3 * 640 + i) = (unsigned char)(0x03);
    }
    state = 2;
}
else if(state == 2)
{
    for(int i = 0; i < 639; i++)
    {
        *(pic + 475 * 640 + i) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + 476 * 640 + i) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + 477 * 640 + i) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + 478 * 640 + i) = (unsigned char)(0x03);
    }
    state = 3;
}
else if(state == 3)
{
    for(int i = 0; i < 479; i++)
    {
        *(pic + i * 640 + 0) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + i * 640 + 1) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + i * 640 + 2) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + i * 640 + 3) = (unsigned char)(0x03);
    }
    state = 4;
}
else if(state == 4)
{
    for(int i = 0; i < 479; i++)
    {
        *(pic + i * 640 + 635) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + i * 640 + 636) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + i * 640 + 637) = (unsigned char)(0x03);
        *(pic + i * 640 + 638) = (unsigned char)(0x03);
    }
```

```
        state = 5;
    }
    else if(state == 5)
    {
        fillData_typedef init;
        addHead.x0 = init.x0 = 315;
        addHead.y0 = init.y0 = 235;
        addHead.x1 = init.x1 = 323;
        addHead.y1 = init.y1 = 195;
        addHead.color = init.color = 0xFF;
        FillRectangle(&init, pic);

        removeTail = addHead;

        points[0].x = 319;
        points[0].y = 199;
        points[1].x = 319;
        points[1].y = 239;
        point_cntr = 2;
        currentDirection = UP;

        FillRectangle(&newFood, pic);
        newFoodPlaced = 0;
        Score = 0;
        Level = 1;
        state = 6;
    }

    return !(state == 6);
}

int ClearManage(int *clearStart)
{
    int ret = 0;
    if(*clearStart == 1)
    {
        dma_mm2s_start(XPAR_AXIDMA_0_BASEADDR, picture2, 640*480);
        ClearScreen((uint8_t*)picture1, 1);
        *clearStart = 2;
    }
    else if(*clearStart == 2)
    {
        dma_mm2s_start(XPAR_AXIDMA_0_BASEADDR, picture2, 640*480);
        if(!ClearScreen((uint8_t*)picture1, 0))
        {
            *clearStart = 3;
        }
    }
    else if(*clearStart == 3)
    {
        dma_mm2s_start(XPAR_AXIDMA_0_BASEADDR, picture1, 640*480);
        ClearScreen((uint8_t*)picture2, 1);
        *clearStart = 4;
    }
    else if(*clearStart == 4)
    {
        dma_mm2s_start(XPAR_AXIDMA_0_BASEADDR, picture1, 640*480);
        if(!ClearScreen((uint8_t*)picture2, 0))
        {
```

```
            ret = 1;
        }
    }
    microblaze_flush_dcache();
    return ret;
}

void ScanButtons()
{
    uint8_t c;
    if(MEM32(XPAR_UARTLITE_0_BASEADDR + 8) & 0x1)
    {
         c = MEM32(XPAR_UARTLITE_0_BASEADDR);
         switch(c)
         {
         case 'U':
             lastPressedButton = UP;
             break;
         case 'D':
             lastPressedButton = DOWN;
             break;
         case 'L':
             lastPressedButton = LEFT;
             break;
         case 'R':
             lastPressedButton = RIGHT;
             break;
         }
    }

    uint32_t in = MEM32(XPAR_AXI_GPIO_0_BASEADDR + 8);
    if(in & 0x01 << 0)
        lastPressedButton = UP;
    if(in & 0x01 << 1)
        lastPressedButton = DOWN;
    if(in & 0x01 << 2)
        lastPressedButton = RIGHT;
    if(in & 0x01 << 3)
        lastPressedButton = LEFT;

    gameRunning = (in & 0x01 << 4);
}

void UpdateGame()
{
    uint8_t* pic;
    if(currentDmaPicture == 1)
    {
        dma_mm2s_start(XPAR_AXIDMA_0_BASEADDR, picture2, 640*480);
        currentDmaPicture = 2;
        pic = picture1;
    }
    else
    {
        dma_mm2s_start(XPAR_AXIDMA_0_BASEADDR, picture1, 640*480);
        currentDmaPicture = 1;
        pic = picture2;
    }
    FillRectangle(&removeTail, pic);
```

```
    FillRectangle(&addHead, pic);
    FillRectangle(&newFood, pic);
    tick = GetTick();
    uint32_t tmp = tick - last_tick;
    int speed = (100000 * (SPEED - Level * 40));
    if(tmp > speed)
    {
        last_tick += speed;
        if(gameRunning)
        {
            gameEnded = StepSnake();
            uint32_t segData = 0;
            int s = Score;
            for(int i = 0; i < 4; i++)
            {
                segData |= (SEG7[s % 10] << (8 * i));
                s /= 10;
            }
            MEM32(XPAR_GPIO_0_BASEADDR) = 0x01 << (Level - 1);
            MEM32(XPAR_SEVENSEGMENTDRIVER_0_S00_AXI_BASEADDR) = segData;
            if(!gameEnded)
            {
                FillRectangle(&removeTail, pic);
                FillRectangle(&addHead, pic);
                if(newFoodPlaced)
                    FillRectangle(&newFood, pic);
                microblaze_flush_dcache();
            }
            else
            {
                clearStart = 1;
            }
        }
        lastPressedButton = NONE;
    }
}

void SnakeMain()
{
        PlaceNewFood();
        ClearScreen((uint8_t*)picture1, 1);
        while(ClearScreen((uint8_t*)picture1, 0))
        {}
        ClearScreen((uint8_t*)picture2, 1);
        while(ClearScreen((uint8_t*)picture2, 0))
        {}

        dma_mm2s_start(XPAR_AXIDMA_0_BASEADDR, picture1, 640*480);

        while(1)
        {
            if(dma_mm2s_finished(XPAR_AXIDMA_0_BASEADDR))
            {
                if(gameEnded)
                {
                    if(ClearManage(&clearStart))
                    {
                        gameEnded = 0;
                        currentDmaPicture = 1;
```


```
                        last_tick = GetTick();
                    }
                }
                else
                {
                    UpdateGame();
                }
            }
            ScanButtons();
        }
}
```

7.4 Snake.h

```
#ifndef SRC_SNAKE_H_
#define SRC_SNAKE_H_

#include <inttypes.h>
#include "Drivers.h"
#include  <stdlib.h>

typedef struct
{
    int x;
    int y;
} point_typedef;

typedef enum
{
    UP = 0,
    DOWN = 1,
    LEFT = 2,
    RIGHT = 3,
    NONE = 4
}direction_typedef;

typedef struct
{
    int x0;
    int y0;
    int x1;
    int y1;
    uint8_t color;
}fillData_typedef;

#define SPEED   325     // ms/10pixel


#endif /* SRC_SNAKE_H_ */
```

7.5 Drivers.c

```
#include "Drivers.h"

void dma_init(unsigned long baseaddr)
{
    //Az MM2S csatorna enged鵟ez鳥: a vez鮪g. RS bitj鮥k 1-be □sa.
    //Megszaksokat nem haszn□nk.
    MEM32(baseaddr + 0x00) = (1 << 0);

    //AZ S2MM csatorna enged鵟ez鳥: a vez鮪g. RS bitj鮥k 1-be □sa.
    //Megszaksokat nem haszn□nk.
    //MEM32(baseaddr + 0x30) = (1 << 0);
}

void dma_mm2s_start(unsigned long baseaddr, void *src, unsigned long
length)
{
    //A forr□be□sa. A felsbit mindig 0.
    MEM32(baseaddr + 0x18) = (unsigned long)src;
    MEM32(baseaddr + 0x1c) = 0;
    //Az adatm鮒t be□sa, ennek hat□ra indul az MM2S DMA ʲitel.
    MEM32(baseaddr + 0x28) = length;
}

uint32_t dma_mm2s_finished(unsigned long baseaddr)
{
    unsigned long status;
    status = MEM32(baseaddr + 0x04);
    return status & (1 << 1);
}
void timer1_Init()
{
    MEM32(XPAR_AXI_TIMER_0_BASEADDR + 4) = 0;
    MEM32(XPAR_AXI_TIMER_0_BASEADDR) = 0x90;
    return;
}

uint32_t GetTick()
{
    return MEM32(XPAR_AXI_TIMER_0_BASEADDR + 8);
}
```

7.6 Drivers.h

```
#ifndef SRC_DRIVERS_H_
#define SRC_DRIVERS_H_

#include <inttypes.h>
#include  <xparameters.h>

#define MEM32(addr)    (*(volatile unsigned long *)(addr))
#define my_abs(x) (x < 0 ? -x : x)

void dma_init(unsigned long baseaddr);
```

```
void dma_mm2s_start(unsigned long baseaddr, void *src, unsigned long
length);

uint32_t dma_mm2s_finished(unsigned long baseaddr);

void timer1_Init();

uint32_t GetTick();

#endif /* SRC_DRIVERS_H_ */
```

7.7 main.c

```
#include <xparameters.h>
#include <mb_interface.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "Snake.h"

int main()
{
    srand(0);
    //Az AXI DMA vez鋘icializ□sa.
    dma_init(XPAR_AXIDMA_0_BASEADDR);

    //Timer init 10ns
    timer1_Init();

    SnakeMain();
    return 0;
}
```

7.8 Billentyűzet emulátor

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;


namespace Keys2UART
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
```

```
        private
        SerialPort sPort = new SerialPort();


        private void Form1_FormClosing(object sender, FormClosingEventArgs
e)
        {

        }

        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            this.KeyPreview = true;
            CBPorts.Items.AddRange(SerialPort.GetPortNames());
            CBBaud.Items.AddRange(new string[] { "115200" });
            CBParity.Items.AddRange(new string[]{"Even", "Odd"});

            CBPorts.SelectedIndex = 0;
            CBBaud.SelectedIndex = 0;
            CBParity.SelectedIndex = 0;

        }

        private void BRefresh_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            CBPorts.Items.Clear();
            CBPorts.Items.AddRange(SerialPort.GetPortNames());
        }

        private void BConnect_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            if (!sPort.IsOpen)
            {
                sPort.PortName = CBPorts.SelectedItem.ToString();
                sPort.BaudRate = Convert.ToInt32(CBBaud.SelectedItem);
                sPort.Parity = Parity.None;
                try
                {
                    sPort.Open();
                    BConnect.BackColor = Color.Green;
                    CBPorts.Enabled = false;
                    CBBaud.Enabled = false;
                    CBParity.Enabled = false;
                    TBLog.Focus();
                }
                catch (Exception ex)
                {
                    MessageBox.Show(ex.Message);
                }
            }
        }

        private void BDisconnect_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            if (sPort.IsOpen)
            {
                try
                {
                    sPort.Close();
```

```
                TBLog.Clear();
                BConnect.BackColor = SystemColors.Control;
            }
            catch (Exception ex)
            {
                MessageBox.Show(ex.Message);
            }
        }

    }

    private void Form1_KeyDown(object sender, KeyEventArgs e)
    {
        try
        {
            switch (e.KeyCode)
            {
                case Keys.Up:
                    System.Diagnostics.Debug.Write("Up\n");
                    //TBLog.Text.Insert(0, "Up");
                    TBLog.Text += "Up\n";
                    //sPort.Write("U");
                    break;
                case Keys.Down:
                    System.Diagnostics.Debug.Write("Down\n");
                    TBLog.Text += "Down\n";
                    //sPort.Write("D");
                    break;
                case Keys.Right:
                    System.Diagnostics.Debug.Write("Right\n");
                    TBLog.Text += "Right\n";
                    //sPort.Write("R");
                    break;
                case Keys.Left:
                    System.Diagnostics.Debug.Write("Left\n");
                    TBLog.Text += "Left\n";
                    //sPort.Write("L");
                    break;
                case Keys.S:
                    //sPort.Write("S");
                    break;
            }
        }
        catch (Exception ex)
        {
            MessageBox.Show(ex.Message);
        }
    }

    private void BClear_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        TBLog.Clear();
        TBLog.Focus();
    }
}
}
```