

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

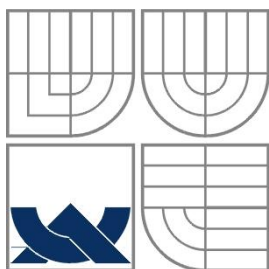
TETRIS 3D – VYTVOŘENÝ POMOCÍ MATIC Z LED DIOD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

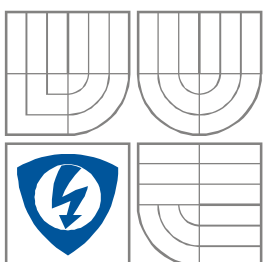
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL PATÁK

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

TETRIS 3D – VYTVOŘENÝ POMOCÍ MATIC Z LED DIOD

TETRIS 3D – MADE OF ARRAY LED DIODE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

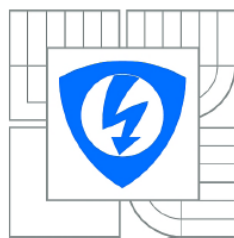
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL PATÁK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADEK ŠEBELA

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Pavel Paták
Ročník: 3

ID: 106696
Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Tetris 3D - vytvořený pomocí matic z LED diod

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Zvolte vhodný mikrokontrolér pro ovládání matic z LED diod. Navrhněte a otestujte mechanické uchycení LED diod, výkonové stupně pro jejich buzení a mechanismus ovládání kostky.

Sestavte matice z LED diod, naprogramujte a odlaďte celý systém. Výstupem práce by měla být průhledná kostka 16 x 10 x 4, v níž bude možné hrát hru Tetris v provedení 3D, kdy hra bude ovládána pomocí náklonu kostky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MANN, B. C pro mikrokontroléry, Praha, BEN - technická literatura, 2003, ISBN 80-7300-077-6

[2] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR-Atmega16, Praha: BEN - technická literatura 2006, ISBN 80-7300-174-8

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 28.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Radek Šebela

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Pavel Paták
Bytem: Kozi 63, Blažovice, 66408
Narozen/a (datum a místo): 1. ledna 1988 v Brně

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☒ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Tetris 3D – vytvořený pomocí matic z LED diod

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Radek Šebela

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 24. května 2010

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem zařízení, na kterém je možné hrát hru tetris v prostorovém provedení. Jako zobrazovací jednotku využívá 3D LED displej – kvádr, uvnitř kterého jsou umístěny LED diody. Rozebírá možnosti zapojení s ohledem na co nejmenší počet ovládacích vývodů. Zabývá se rovněž jeho mechanickou konstrukcí. Pohyb kostek ve hře je ovládán náklonem zařízení, je zde popsán způsob měření náklonu. V práci jsou dále podrobně rozebrány možnosti připojení mikrokontroléru k displeji. Uvedeno je tu jejich porovnání a výběr použitého řešení včetně výběru mikrokontroléru. Popsána je také struktura řídicího softwaru.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hra, tetris, 3D LED displej, náklon, mikrokontrolér

ABSTRACT

This thesis deals with suggestion of device for playing tetris game in 3D. There is used 3D LED display – the ashlar where the LED are situated in its volume. Thesis describes possibilities of display connection with a view to minimal number of control pins. It also describes display mechanical construction. Motion of blocks in the game is controled by tilt of device, thesis describes way of tilt measuring. It also decribes in details possibilities of connection of the microcontroller and the display, comparison of connection ways, selection of one of these solution and selection of the microcontroller. There is also noted the structure of control software.

KEYWORDS

Game, tetris, 3D LED display, tilt, microcontroller

PATÁK, P. *Tetris 3D – vytvořený pomocí matic z LED diod*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 52 s., 5 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Radek Šebela

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Tetris 3D – vytvořený pomocí matic z LED diod jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 24. května 2010

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Radku Šebelovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 24. května 2010

.....
podpis autora

OBSAH

Seznam obrázků

Seznam tabulek

1	Úvod	1
2	Hra	2
2.1	Historie.....	2
2.2	Pravidla	3
2.2.1	Původní Tetris.....	3
2.2.2	Verze 3D tetrisu	4
2.2.3	Vlastní 3D tetris	5
3	3D LED displej	7
3.1	Popis displeje	7
3.2	Zapojení displeje.....	8
3.2.1	Maticové ovládání 2D displeje	8
3.2.2	Úprava maticového zapojení pro 3D displej.....	10
3.3	Mechanická konstrukce	11
4	Ovládání displeje pomocí mikrokontroléru	15
4.1	Možnosti rozšíření počtu výstupních pinů.....	15
4.1.1	Využití multiplexorů.....	15
4.1.2	Vytvoření matice pomocí tranzistorů	17
4.1.3	Použití posuvných registrů.....	18
4.1.4	Využití expandérů portu	20
4.2	Porovnání uvedených řešení	22
5	Měření náklonu	24
6	Mikrokontrolér	26
6.1	Úvod.....	26
6.2	Využití mikrokontroléru v aplikaci.....	26
6.3	Výběr μ C.....	27
6.4	Mikrokontrolér ATmega8.....	29
6.4.1	Programování μ C AVR.....	29

7	Programové vybavení	31
7.1	Požadavky na program.....	31
7.2	Struktura programu	31
7.3	Popis programu	34
8	Závěr	35
	Použitá literatura	36
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	38
	Seznam příloh	39

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1.: Původní hra Tetris z roku 1984 na počítači Electronica 60, převzato z [1].	2
Obr. 2.2.: Hrací pole původní hry Tetris s vyznačeným prostorem pro generaci nových tetromin, tvary tetromin, podle [2].	3
Obr. 2.3: Ukázky různých verzí 3D tetrisu, převzato z [4] a [5].	4
Obr. 2.4: Hrací pole vlastního 3D tetrisu.	5
Obr. 2.5: Možnosti otáčení tetromina.	6
Obr. 3.1: Přiblížení vzhledu LED displeje bez mechanického uchycení a napájení LED diod.	7
Obr. 3.2: Ukázka maticového 2D LED displeje, převzato z [8].	8
Obr. 3.3: Zapojení 2D maticového displeje.	9
Obr. 3.4: Rozměry 3D displeje v počtu bodů (diod).	10
Obr. 3.5: Zapojení 3D displeje (pro přehlednost kostky $3 \times 3 \times 3$).	11
Obr. 3.6: Vybraný typ pouzdra diody SMD 1206, převzato z [10].	12
Obr. 3.7: První přiblížení konstrukce displeje, zobrazena jedna svislá plocha.	12
Obr. 3.8: Naznačení připojení vodičů ploch.	13
Obr. 3.9: Navržený vzhled zařízení, pro přehlednost zakreslena pouze jedna svislá plocha ze čtyř.	14
Obr. 4.1: Princip rozsvěcení diod při multiplexním ovládání ploch i sloupců.	15
Obr. 4.2: Zapojení s multiplexováním ploch i sloupců.	16
Obr. 4.3: Střída signálu na jedné diodě ve zkušební kostce o rozměrech $3 \times 3 \times 3$	17
Obr. 4.4: Princip rozsvěcení displeje při zapojení s tranzistory.	17
Obr. 4.5: Princip zapojení displeje s tranzistory.	18
Obr. 4.6: Struktura posuvného registru 74HC595.	19
Obr. 4.7: Princip rozsvěcení displeje při použití posuvných registrů a multiplexoru	19
Obr. 4.8: Principiální schéma zapojení s posuvnými registry a multiplexorem	20
Obr. 4.9: Zapojení s expandéry portu	21
Obr. 5.1: Osy naklánění zařízení.	24
Obr. 5.2: Způsob připojení spínače náklonu k plošnému spoji pro klidový stav "vypnuto". Plošný spoj odpovídá vodorovné ose. Převzato z [16] (upraveno).	24
Obr. 5.3: Naznačení poloh spínačů, ve kterých musí být zapojeny.	25
Obr. 6.1: Zapojení při ISP programování, podle [17].	29
Obr. 7.1: Vývojový diagram hlavní funkce programu a funkce nová hra	31
Obr. 7.2: Vývojový diagram obsluhy tlačítek a náklonových spínačů.	32

Obr. 7.3: Vývojový diagram funkce pro rychlý posun dolů a rotaci, funkce pro rotaci 3D je obdobná.....	32
Obr. 7.4: Vývojový diagram funkcí pro pohyb s tetrominem	33
Obr. 7.5: Vývojový diagram přerušení od časovače.....	33

SEZNAM TABULEK

Tabulka 4.1: Porovnání různých připojení mikrokontroléru a displeje	22
Tabulka 6.1: Porovnání některých mikrokontroléru z rodiny AVR	27
Tabulka 6.2: Ukázka dovoleného proudového zatížení ATmega2560	28
Tabulka 6.3: Zjednodušené porovnání řešení s μC s velkým počtem vývodů a μC s menším počtem vývodů a využitím externích součástek	28

1 ÚVOD

Na internetu lze nalézt množství fotek a videí prostorových displejů postavených z LED diod. Jsou to průhledné prostorové objekty, většinou krychle, jejichž objem je zaplněn LED diodami. Konstrukce takového displeje je relativně jednoduchý způsob, jak v amatérských podmínkách zobrazit obrazce v prostoru a tím vytvořit zajímavé efekty.

Cílem této práce je navrhnout zařízení využívající podobný displej pro hru tetris v prostorovém provedení. 3D klony klasického tetrisu jsou známé a dostupné jako hry pro počítač, na internetu existuje velký počet různých verzí. Využití 3D displeje z LED diod je však poměrně netradiční.

Vlastní verze 3D tetrisu vychází z původní verze a přidává k ní některé prvky, které jsou možné právě jen v prostoru. Klasická hra se hraje v obdélníkovém hracím poli. Hrací pole prostorové hry je podobné, má tvar kváдру postaveného na výšku (kapitola 2). Tedy i displej bude kvádrový. Protože počet potřebných diod se rovná násobku rozměrů hran v počtu diod, je zřejmé, že jejich počet bude relativně vysoký. Je tedy třeba navrhnout takové zapojení, které co nejvíce sníží počet vývodů, kterými se bude displej řídit, protože mikrokontroléry mají omezené počty výstupních pinů (kapitola 3). Počet ovládatelných vývodů však lze zvýšit pomocí dalších vhodných součástek (kapitola 4).

Zapojení displeje musí brát v úvahu i mechanickou konstrukci, která se jím nesmí příliš komplikovat. Naopak by bylo výhodné, kdyby elektrické zapojení mohlo být využito i pro mechanické upevnění diod, jehož návrh je součástí práce (kapitola 3.3). Konstrukce musí být především pevná a co nejprůhlednější.

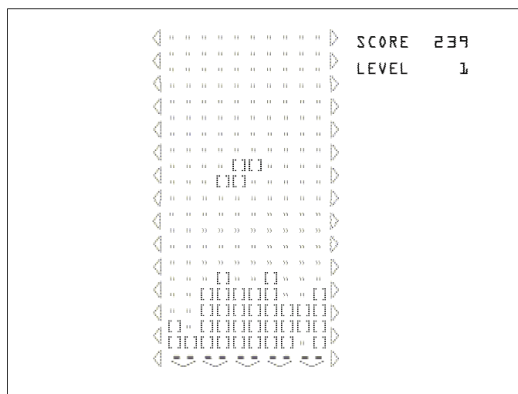
V prostorovém hracím poli bude posun kostek umožněn čtyřmi směry a bude ovládán náklonem celého zařízení. Pro měření náklonu v těchto čtyřech směrech je třeba vybrat vhodná čidla (kapitola 5). Kromě posouvání kostek je však charakteristickým prvkem tetrisu i jejich rotace, v 3D prostoru kolem více os. Pro otáčení kostek budou použita tlačítka.

Komunikace s displejem, zpracování pokynů od hráče a samotný průběh hry bude řízen programem (kapitola 7) vykonávaným mikrokontrolérem (kapitola 6). Na závěr bude celé zařízení realizováno a odzkoušeno.

2 HRA

2.1 Historie

Tetris patří mezi nejznámější počítačové hry. Originální hru vyvinul v roce 1984 Alexej Pažitnov na Ruské akademii věd v Moskvě. Byla napsána v jazyce Pascal pro počítač Electronica 60. Tento počítač měl pouze textový výstup, proto veškerá grafika (hrací pole, kostky) byly tvořeny pouze textovými znaky. Ukázka původního Tetrisu je na Obr. 2.1



Obr. 2.1.: Původní hra Tetris z roku 1984 na počítači Electronica 60, převzato z [1].

Námětem pro Tetris byla desková hra pentomino, kde se skládají různé geometrické tvary složené z pěti malých kostiček do sebe. Pažitnov upravil hrací pole na obdélník a přidal časový limit, do kdy hráč musí kostku umístit. K tomu ho inspirovala jeho oblíbená hra tenis, kde mají hráči na rozhodnutí také pouze krátký čas [2][3].

Název „tetris“ (тétrис), pak vznikl složením slova „tetra“, které v řečtině znamená čtyři (každá kostka ve hře je složena ze čtyř malých kostiček) a slova tenis [3].

Postupem času se hra stala legendární a díky své jednoduchosti ji najdeme v různých úpravách prakticky ve všech počítačích, elektronických hrách, mobilních telefonech, perličkou je její výskyt v některých osciloskopech HP. S jistou nadsázkou lze říct, že pokud má zařízení dostatečně velký displej, je velice pravděpodobné, že v něm tetris bude implementován.

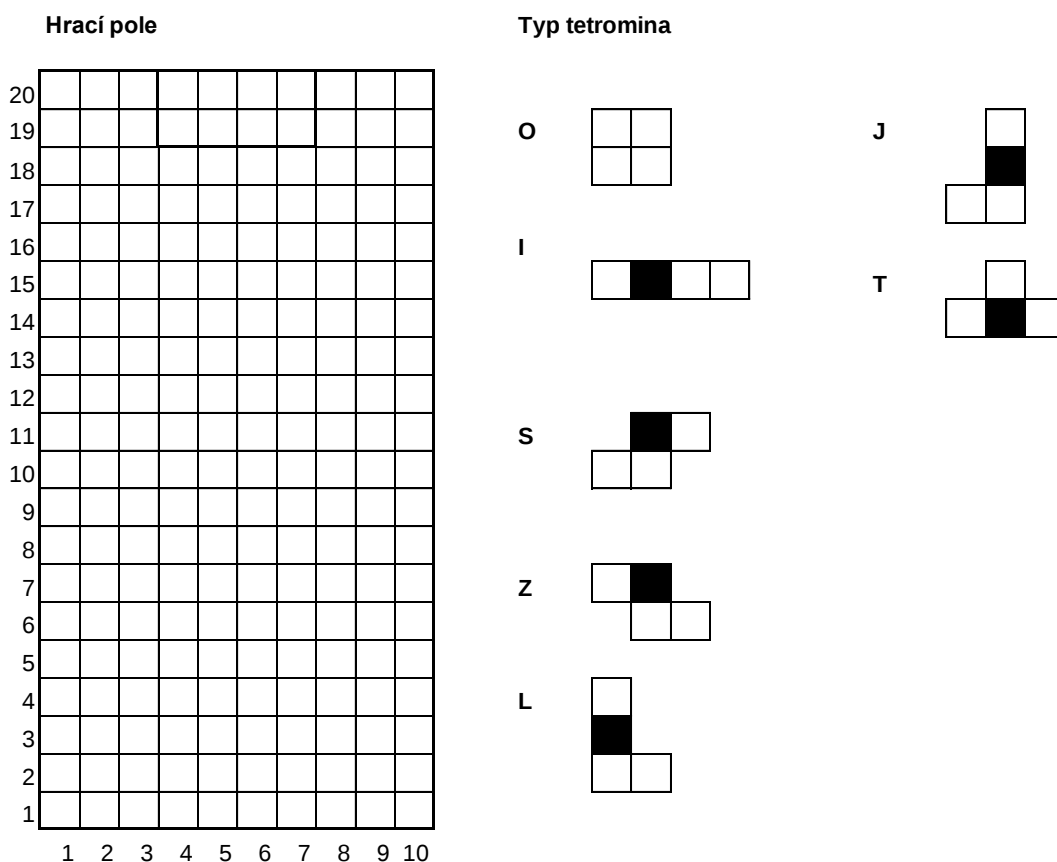
Tetris je ochranná známka Tetris Company, proto by se žádné nové hry tímto slovem označovat neměly. V dalším textu bude označována slovem „Tetris“ (psáno s velkým počátečním písmenem) původní hra. Pod označením „tetris“ (s malým počátečním písmenem) pak bude chápána hra, která vychází z originální verze, půjde tedy spíše o označení typu hry než o její název.

2.2 Pravidla

Pravidla původní hry jsou jistě všem dobře známá. Přesto jsou zde pro pořádek uvedeny, protože z nich vychází upravená pravidla pro vlastní verzi 3D tetrisu.

2.2.1 Původní Tetris

Tetris se podle [2] hraje v obdélníkovém hracím poli o rozměrech 10×20 čtverečků, přičemž hrací pole je postavené na své kratší straně. V prostoru pod horní hranicí (viz Obr. 2.2) se generují hrací kostky, takzvaná *tetromina*. Každé tetromino se skládá ze čtyř kostek, kostka odpovídá jednomu čtverečku hracího pole. Hra obsahuje sedm jejich možných tvarů, které lze charakterizovat písmeny, která připomínají: **O**, **I**, **S**, **Z**, **L**, **J** a **T** (viz Obr. 2.2). Tvary se vybírají náhodně.



Obr. 2.2.: Hrací pole původní hry Tetris s vyznačeným prostorem pro generaci nových tetromin, tvary tetromin, podle [2].

Po určitých časových intervalech tetromino klesá o řádek níže. Hráč s ním může pohybovat vlevo a vpravo, může urychlit jeho pokles a může ho otáčet proti směru hodinových ručiček kolem určené kostky (na Obr. 2.2 označena černě).

Všechny tyto pohyby (včetně poklesu o řádek) jsou dovoleny pouze v rámci hracího pole a navíc políčka, na která se má tetromino posunout, musí být volná (neobsazená jinými kostkami).

Tetromino je umístěno do hracího pole tehdy, když se již nemůže pohnout ve směru dolů. Po jeho umístění s ním už nelze hýbat. V tomto případě je vygenerováno

nové tetromino.

Pokud se hráči podaří zaplnit celou řadu (10 políček), je tato řada odmazána a všechny kostky nad touto řadou se posunou o jeden řádek níž. Protože tetromina se skládají ze čtyř kostek, je možné tvarem I otočeným na výšku smazat naráz nejvíce čtyři řady.

Vždy po smazání deseti řad se zvyšuje úroveň hry a s ním i rychlost padání tetromina.

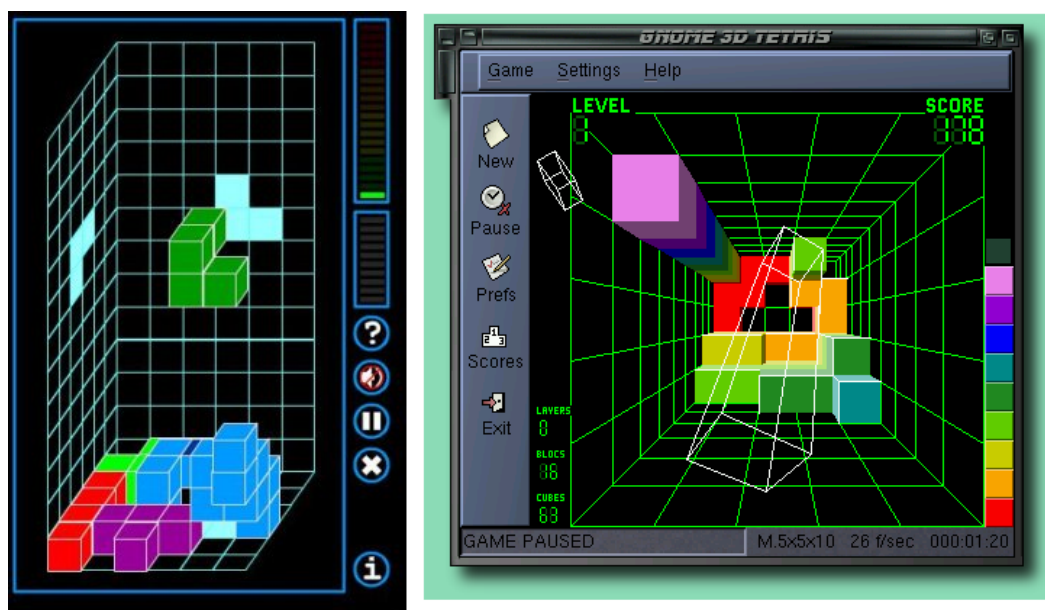
Konec hry nastane tehdy, když má být vygenerováno nové tetromino, ale není pro něho v hracím poli místo (čtverečky pole, v kterých má být vygenerováno, jsou obsazené).

Cílem hry je hrát co nejdéle.

2.2.2 Verze 3D tetrisu

Za 3D tetris označíme hry, které vycházejí z pravidel původního Tetrisu, a jejich hrací pole je rozšířeno o další rozměr.

Na internetu lze vyhledat mnoho verzí tetrisu v prostoru. Jejich hrací pole je většinou menší, než hrací pole klasické hry.



Obr. 2.3: Ukázky různých verzí 3D tetrisu, převzato z [4] a [5].

Tetromina vychází z původních tvarů, případně jsou zjednodušená a je jim přidán třetí rozměr. Lze jimi otáčet ve všech třech osách. To spolu s prostorovým hracím polem tvoří hru velice náročnou.

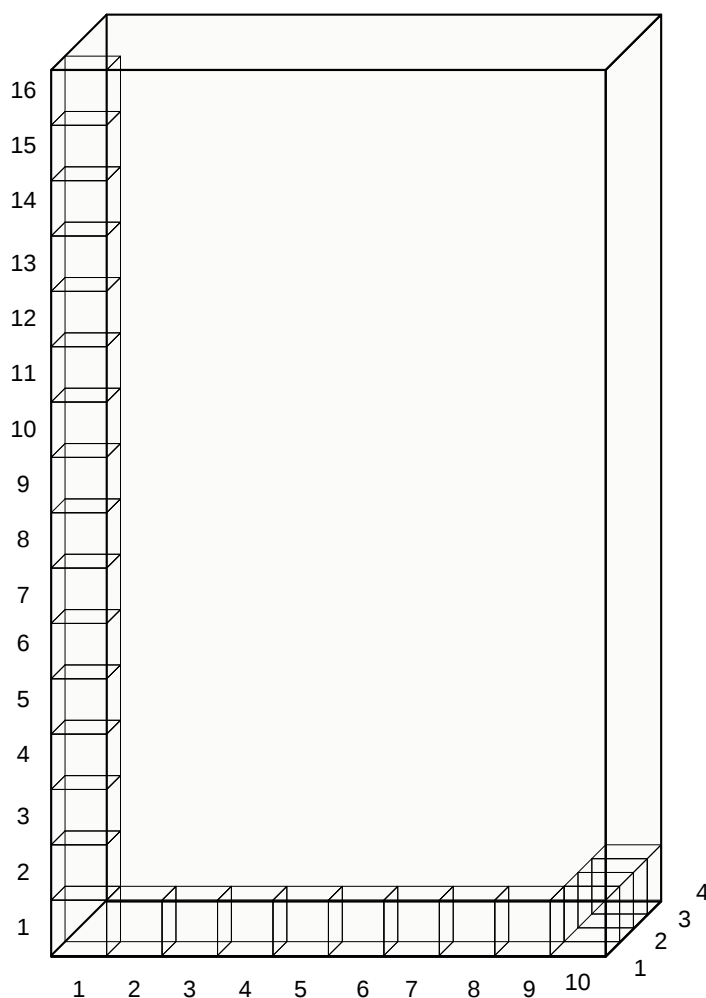
Pohled na hrací pole bývá šikmo zepředu. Lze ale najít i verze, kdy se hráč dívá do hracího pole shora a sleduje, jak tetromino padá směrem od něj. Pravidla bývají shodná s původní verzí, jen se neodmazávají řady, ale celé plochy a rotace tetromin je umožněna zpravidla kolem tří os. Je tedy nutné také kompletovat plochy, ne jen řady. Ukázky z programů jsou na Obr. 2.3.

2.2.3 Vlastní 3D tetris

Původní myšlenka byla vytvořit hru podobnou těm, které byly popsány v předešlém odstavci. Tedy prostorové hrací pole s prostorovými tetrominy. Po zvážení zobrazovacích možností LED displeje však bylo od myšlenky prostorových tetromin upuštěno.

LED displej může disponovat rozlišením potřebným pro zobrazení kostka = bod (tetromino se skládá ze čtyř kostek). Pro dobrou přehlednost by bylo potřeba mít větší rozlišení, než jeden bod na kostku. Tím by však displej nabyl příliš velkých rozměrů a rovněž jeho stavba by byla drahá a zdlouhavá.

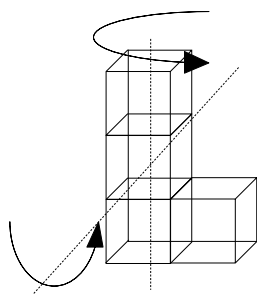
Z těchto důvodů byla hra oproti počítačovým verzím mírně zjednodušena. Na rozdíl od PC verzí, kde mají tetromina různé komplikované tvary, jsou v této hře použita stejná tetromina jako v klasickém 2D Tetrisu, tedy ne prostorová, ale plochá. Hráč tak může více intuitivně odhadovat, kde se nachází tetromino, se kterým pohybuje a co jsou fragmenty již umístěné v hracím poli, protože tvary klasických tetromin jsou dobře známá.



Obr. 2.4: Hrací pole vlastního 3D tetrisu.

Hrací pole vychází z původní verze. Je jím kvádr o rozměrech 16 bodů na výšku, 10 bodů na šířku a 4 body do hloubky. Výška pole byla zmenšena na 16 z důvodu jednoduššího adresování pomocí šestnáctikanálového multiplexoru. Malá hloubka pole (viz Obr. 2.4) byla zvolena z důvodu malé průhlednosti displeje a z toho plynoucí

nepřehlednosti hry, je však dostatečná pro umožnění otáčení tetromin kolem druhé osy.



Obr. 2.5: Možnosti otáčení tetromina.

Pravidla hry jsou velmi podobná klasickému Tetrisu. Tak jak je ale zvykem v 3D verzích, jsou se i zde odmazávat celé plochy, ne jen řady, a to po jejich zkompletování (obsazení všech políček v ploše).

Hráč může tetrominem pohybovat nejen doprava a doleva, ale i vpřed a vzad. Otáčet jimi může kolem dvou os, jak je naznačeno na Obr. 2.5.

Nová kostka je vždy vygenerována v třetí svislé ploše. Konec hry nastane, když se pro obsazenost pole nebude moci vygenerovat nové tetromino.

3 3D LED DISPLEJ

3.1 Popis displeje

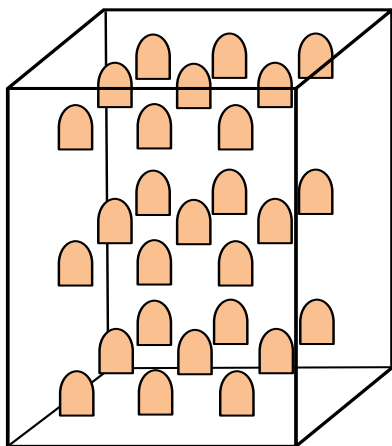
Technologie zobrazení informací v rovině (2D) je dnes již na vysoké úrovni. Je na výběr velké množství zobrazovačů s nízkou i vysokou hustotou informace, jako jsou LED displeje, LCD displeje znakové, grafické, černobílé i barevné a z velkého množství obrazovek založených na různých principech. Výzvou však zůstává zobrazení dat v prostoru, vytvoření 3D displeje.

V amatérských podmínkách lze těžko překonat velké firmy, které vyvíjí složité 3D zobrazovače (založené například na holografii). Relativně jednoduché a cenově dostupné je však vytvoření 3D displeje z LED diod, s kterým se dá dosáhnout pěkných efektů, pokud se lze spokojit s omezeným rozlišením, velikostí a počtem barev [6].

3D LED displej použitý ve hře má tvar kvádru o rozměrech odpovídajících hracímu poli ($16 \times 10 \times 4$) tvořený LED diodami umístěnými v prostoru. Představa vzhledu LED displeje je na Obr. 3.1, kde je zobrazen displej o velikosti $3 \times 3 \times 3$ diody. Jednotlivé diody tvoří zobrazovací body displeje, tzv. *voxely*. Název pochází z anglického slova *volumetric* (objemový) a *pixel*. Tento typ displeje se pak označuje jako *volumetric display* [6]. Požadavky na displej jsou především:

- dostatečné rozlišení pro danou aplikaci
- průhlednost
- mechanická pevnost
- možnost zobrazení potřebného počtu barev

Je zřejmé, že při konstrukci se nevyhneme kompromisům. Nejvíce problematický je požadavek dostatečné průhlednosti. Proti němu totiž stojí oba další zmíněné požadavky. Čím použijeme větší počet diod, a tedy zvýšíme rozlišení, tím bude průhlednost horší, protože v průhledu překáží jak samotné diody, tak vodiče jejich napájení. Stejný problém vyvstane u požadavku na mechanickou pevnost, protože každý mechanický prvek průhlednost také snižuje.



Obr. 3.1: Přiblížení vzhledu LED displeje bez mechanického uchycení a napájení LED diod.

Jednoduché displeje z LED diod bývají většinou jednobarevné. Diodu lze rozsvítit její jedinou barvou a zhasnout. Při vyšších nárocích je možné použít vícebarevné diody. Pomocí dvoubarevných diod lze rozsvítit tři barvy (třetí barva vznikne rozsvícením obou barev diody naráz). Typické je použít červeno-zelené diody. Při společném rozsvícení červené a zelené vznikne oranžová. Ještě větší palety barev umožňuje dosáhnout použití více různě barevných diod, kdy skupina barevných diod tvoří jeden bod, takové diody lze zakoupit v jednom pouzdře (trojbarevné diody). Na tomto principu, při použití diod barvy červené, zelené a modré (RGB) jsou tvořeny rozlehlé LED obrazovky, na kterých lze zobrazit stejný obraz jako na klasických monitorech nebo obrazovkách.

Je samozřejmé, že při použití některého výše uvedeného řešení významně stoupá složitost zapojení displeje i jeho konstrukce. Pro hru 3D tetris postačuje displej jednobarevný, proto bude dále uvažována pouze tato varianta.

3.2 Zapojení displeje

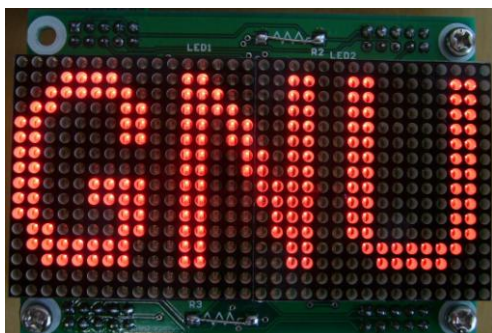
Zapojení displeje musí splnit následující požadavky:

- musí umožnit ovládat kteroukoli diodu samostatně – tak lze vykreslit na displeji libovolný obraz (v rámci možnosti rozlišení)
- minimální počet vývodů – pro obsazení co nejmenšího počtu výstupních pinů mikrokontroléru, respektive minimálního počtu dalších součástek

Zdánlivě nejjednodušším řešením požadavku na samostatné ovládání kterékoli diody je vést ke každé diodě zvlášť vodič. Při uvážení počtu diod (640) je však zřejmé, že toto zapojení je nereálné, zvláště vezme-li se v potaz druhý požadavek. Rovněž mechanická konstrukce by byla příliš složitá.

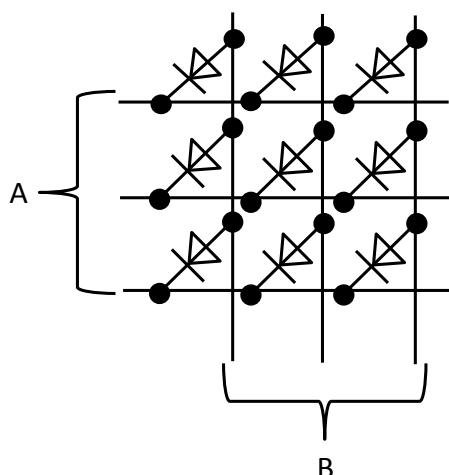
3.2.1 Maticové ovládání 2D displeje

Zapojení 3D displeje vychází z podobnosti s 2D displeji. Tyto displeje se běžně používají pro zobrazování nápisů, typicky jako reklamy, nebo informační panely, například v městské hromadné dopravě. Ukázka displeje je na Obr. 3.2. Pro zmenšení počtu ovládacích vývodů používají takzvané *maticové zapojení* [7].



Obr. 3.2: Ukázka maticového 2D LED displeje, převzato z [8].

V každém řádku mají diody spojeny katody (skupina A), v každém sloupci anody (skupina B), viz Obr. 3.3. Zapojení anod a katod může být samozřejmě i obrácené (prohozeny sloupce a řádky).



Obr. 3.3: Zapojení 2D maticového displeje.

Pro rozsvícení zvolené diody při polarizaci diod uvedené na Obr. 3.3 je třeba přivést kladné napětí na příslušný sloupec a uzemnit příslušný řádek, aby mohl diodou protékat proud.

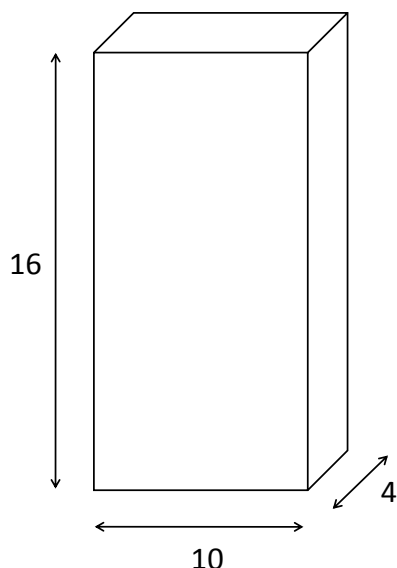
Při přímém ovládání každé diody by bylo potřeba v tomto konkrétním případě devět vývodů plus desátý představující zem. Při maticovém ovládání postačuje 6 vývodů. Se zvyšujícím se počtem prvků v matici výhodnost zapojení stoupá (počet vývodů ve skupině A + počet vývodů ve skupině B versus $A \cdot B$).

Jestliže má vždy svítit jen jedna dioda, nepřináší maticové zapojení žádné komplikace. Jedna svítící dioda však v drtivé většině aplikací nestačí a chceme na displeji vykreslovat složitější obrazy.

Je například potřeba rozsvítit diodu v levém horním a pravém spodním rohu. Kladné napětí je přivedeno na dotýčné sloupce a příslušné řádky jsou uzemněny. To však má za následek to, že se rozsvítí i dioda vlevo dole a vpravo nahoře, neboť i pro ně je splněna podmínka pro rozsvícení (proud poteče i jimi). Vidíme, že již nepostačuje *statické* vysvěcování displeje, ale je nutné použít ovládání *dynamické*.

Dynamické ovládání spočívá v *multiplexování* (postupném spínání) vývodů matice, konkrétně skupiny A. Ve skupině A je uzemněn první řádek. Ve skupině B je pak přivedeno kladné napětí na ty sloupce, ve kterých má dioda v prvním řádku svítit. Po malé chvíli, nutné k rozsvícení diody, se přestane přivádět na skupinu B napětí, odizoluje se první řádek od země, uzemní se druhý řádek a opět se přivede napětí na příslušné vývody skupiny B atd. Tento postup se opakuje stále dokola. Přitom se využívá nedokonalosti lidského oka, kterému se zdá, že diody svítí stálým jasnem, i když ve skutečnosti blikají. Pro dosažení tohoto efektu je nutné rozsvěcovat diody kmitočtem vyšším jak cca 50 Hz (doba, kdy dioda nesvítí, by neměla přesáhnout cca 20 ms).

Rovněž u 3D LED displeje je použito maticové ovládání. Pokud by byly chápány jednotlivé plochy 3D displeje (rozměry $16 \times 10 \times 4$, viz Obr. 3.4.) jako 2D maticové displeje o rozměrech 10×4 nad sebou, tedy zapojení, které právě bylo popsáno, připadlo by na každou plochu 14 vývodů. Matic nad sebou by bylo 16, dohromady tedy $14 \cdot 16 = 224$ vývodů. Toto číslo je příliš vysoké. Je zřejmé, že stejné zapojení nelze použít.



Obr. 3.4: Rozměry 3D displeje v počtu bodů (diod).

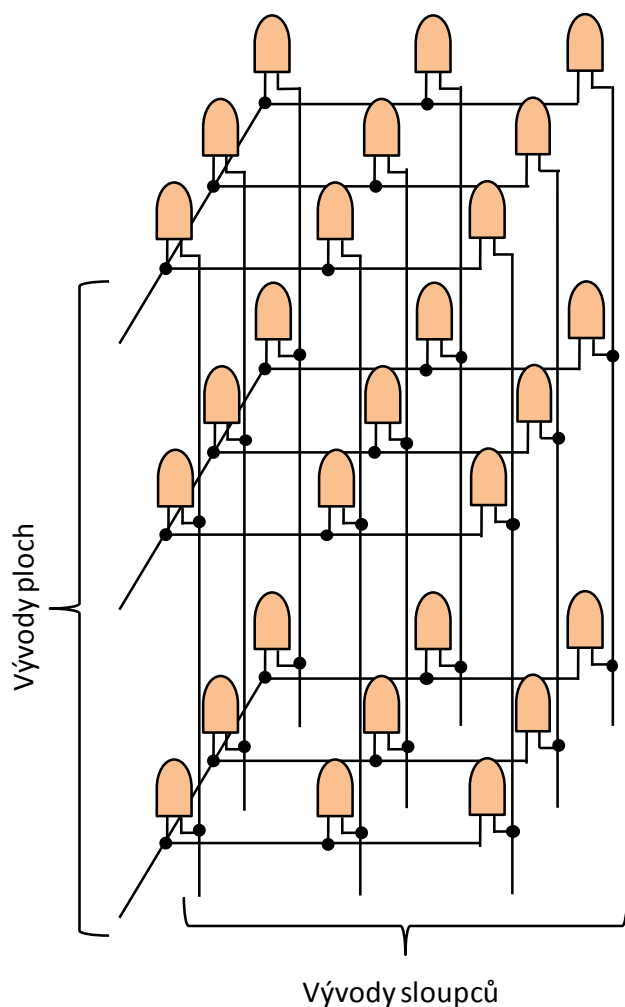
3.2.2 Úprava maticového zapojení pro 3D displej

Oproti zapojení 2D displeje je provedena mírná modifikaci. Ve sloupcích jsou spojeny anody diod a jejich katody jsou spojeny v plochách [9].

Celkový počet vývodů je pak roven součtu počtu sloupců a počtu ploch. Sloupce není nutné chápat svisle dolů, mohou být i vodorovně. Volba této orientace je závislá na počtu sloupců, které takto vytvoříme. Při uvažování vodorovných sloupců jich vytvoříme $16 \cdot 4 = 64$. K celkovému počtu vývodů je nutné ještě přičíst počet vzniklých ploch. Celkem tedy $64 + 10 = 74$ vývodů.

Pokud by byla zvolena orientace sloupců svisle, vznikne jich $10 \cdot 4 = 40$. Počet ploch pak bude 16. Dohromady tedy $40 + 16 = 56$ vývodů, což lze považovat za přijatelný počet. Zapojení displeje je na Obr. 3.5.

Pro rozsvícení zvolené diody je potřeba přivést kladné napětí na sloupec, v němž se dioda nachází a příslušnou plochu spojit se zemí. Pro rozsvícení více diod v různých plochách nestačí přivést napětí na příslušné sloupce a uzemnit příslušné plochy, protože by se rozsvítily i diody, které nemají – v aktivních sloupcích na všech plochách spojených se zemí. Stejně jako u 2D matice je i zde nutné použít dynamické ovládání. Obraz v displeji lze nejrychleji vykreslovat po celých plochách. Na zem je možné vždy připojit pouze jedinou plochu. Přivedením kladného napětí na sloupce se pak rozsvítí zvolené diody. Postupným spínáním všech ploch, které se opakuje stále dokola, je možné rozsvítit libovolné diody.



Obr. 3.5: Zapojení 3D displeje (pro přehlednost kostky $3 \times 3 \times 3$).

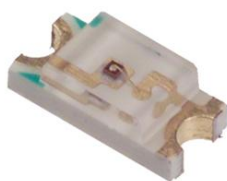
3.3 Mechanická konstrukce

Mechanická konstrukce displeje musí řešit několik protichůdných požadavků, jak bylo krátce zmíněno na začátku kapitoly. Displej musí být především:

- co nejvíce průhledný
- mechanicky pevný
- diody musí být propojeny, tak jak bylo uvedeno (ve sloupcích a plochách)

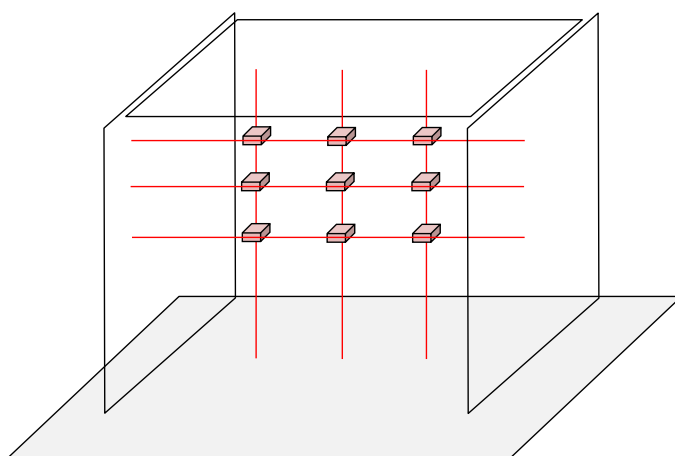
Na internetu lze najít množství návodů na zkonstruování podobných LED displejů (obvykle označovaných jako *LED cube*). Ve většině případů se jedná o konstrukce vypadající podobně jako Obr. 3.5. Bývají sestaveny z 5 mm diod a jsou samonosné, diody jsou napájeny přímo na sobě, případně zpevněny dalšími dráty. Průhlednost takového displeje však nebývá nejlepší.

Cílem je vytvořit displej, který je co nejprůhlednější a obraz dobře viditelný ze všech stran. Diody musí být co nejmenší, protože jsou to právě ony, kdo nejvíce průhlednost snižují. Displej 3D tetrisu je proto vytvořen z LED diod v SMD pouzdře, které jsou připájeny mezi svisle a vodorovně napjaté drátky. Byly vybrány diody v pouzdře SMD 1206, jejichž tvar je na Obr. 3.6.



Obr. 3.6: Vybraný typ pouzdra diody SMD 1206, převzato z [10].

Na diodách svítí celá vystouplá část a jejich svit je tedy dobře viditelný ze všech stran. Na pájecí plošku lze položit drátek, na který má být dioda připájena vodorovně, drátky vedené vertikálně se umístí do prohlubní na ploškách.



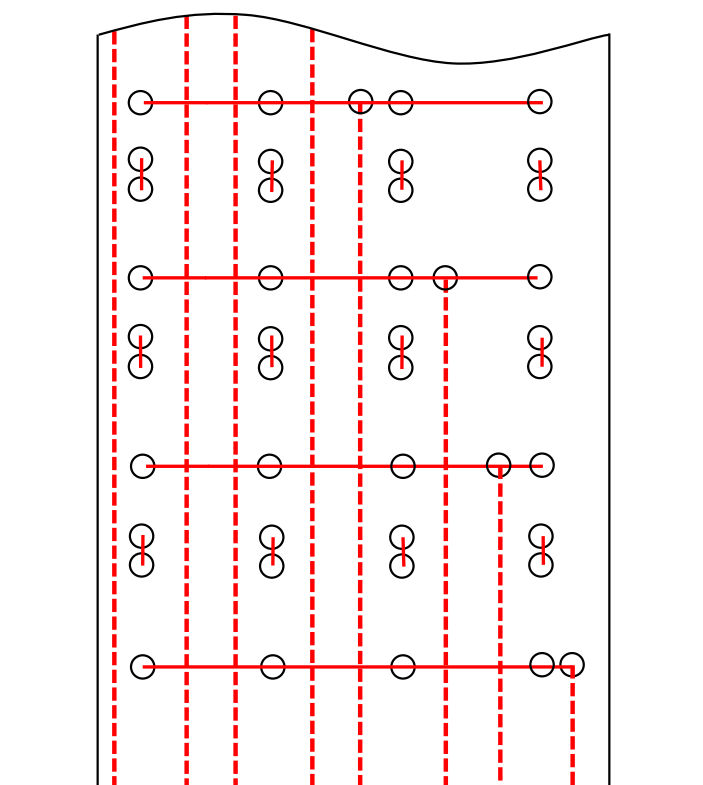
Obr. 3.7: První přiblížení konstrukce displeje, zobrazena jedna svislá plocha.

První přiblížení konstrukce je na Obr. 3.7. Spodní plocha je deska plošného spoje, horní a boční plochy jsou plexisklové. Vrchní plexisklová stěna je držena v příslušné vzdálenosti od plošného spoje pomocí distančních sloupků, boční stěny jsou drženy pravoúhlými úchytkami přichycenými k plošnému spoji. Drátky, které je vhodné použít co nejtenší, jsou v plexiskle uchyceny pomocí smyčky, která se spájí. Použité vodiče jsou jednotlivé drátky rozpletené z lanka silného 1 mm.

Z Obr. 3.7 je patrné, že vodiče sloupců vedou přímo do plošného spoje, kde mohou být připájeny a tím přímo propojeny se svým napájením. U vodičů tvořících uchycení ploch je nutné vyřešit, jak je dovést do plošného spoje, aby mohly být také ovládány.

Každá vodorovná plocha se skládá ze čtyř drátků, protože máme čtyři svislé plochy za sebou. Tyto čtyři drátky jsou na jedné straně plexisklové kostky přichyceny pomocí smyček. Na druhé straně kostky prochází vyvrtanou dírkou na vnější stranu plexiskla a všechny jsou provlečeny další dírkou v plexiskle zpět na vnitřní stranu. Zde jsou připájeny k silnějším drátkům, které vedou na plošný spoj.

Strany, na kterých jsou drátky přichyceny háčky a strany, odkud jsou drátky vedeny do plošného spoje, se postupně u ploch střídají, jak je naznačeno na Obr. 3.8.



Obr. 3.8: Naznačení připojení vodičů ploch.

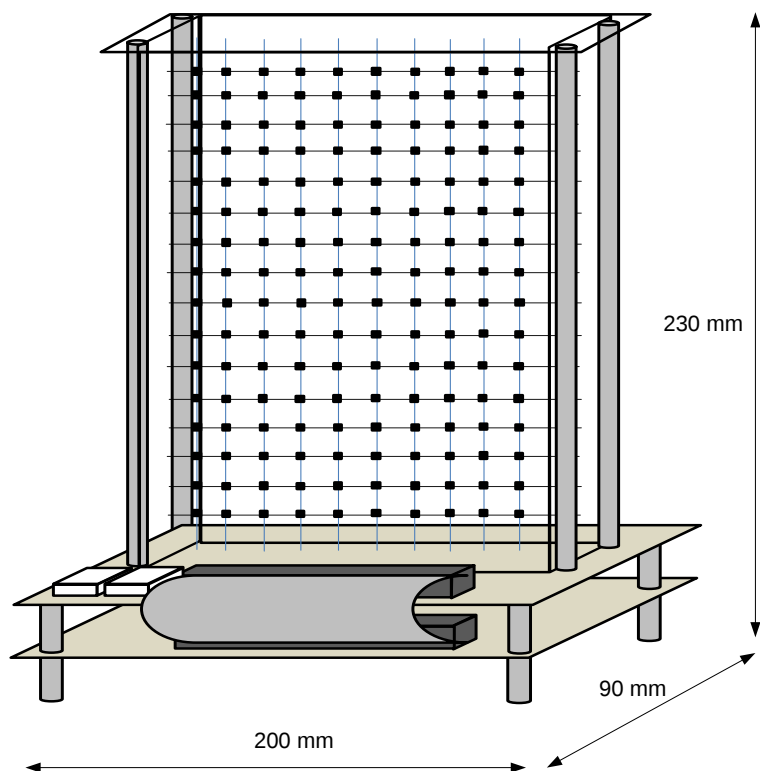
Na Obr. 3.8 je nakreslena část jedné boční stěny kostky z plexiskla viděná z vnějšku. Spodní tlustá čára představuje plošný spoj. Kroužky jsou vyvrtané dírky do plexiskla. Souvislou čarou jsou kresleny vodiče vedoucí na vnější straně plexiskla, přerušovanou čarou vodiče vedoucí po vnitřní stěně.

V místech, kde jsou vyvrtané dvě dírky těsně nad sebou, jsou vodiče uchyceny háčky, v plexiskle na druhé straně by tedy v této úrovni byla jediná dírka.

Vodiče jdoucí do plošného spoje jsou vedeny i v pouhé vzdálenosti 0,5 cm. Původní záměr byl vést po plexiskle přímo svazky drátků, které tvoří plochy. Na delší dráze se však ukázalo problematické udržovat je napnuté a vznikalo velké riziko dotyku s vedlejším svazkem. Osvědčilo se použít tlustší vodiče, u kterých nehrozí, že se vlivem pokroucení na dlouhé vzdálenosti s vedlejším vodičem dotknou.

Protože má displej 16 ploch, na každém plexiskle tvořícím boční stěnu je vedeno osm vodičů. Šest vodičů je vedeno mezi vyvrtanými dírkami, další dva vodiče jsou vedeny na krajích, každý na jedné straně plexiskla,

Návrh vzhledu celého zařízení je naznačen na Obr. 3.9. Skládá se ze dvou plošných spojů umístěných nad sebou. Na spodním plošném spoji se nachází řídicí mikrokontrolér a další elektronika. Na vrchní desce je postaven 3D LED displej. Obě desky propojuje plochý šedesátižilový kabel. Na horní desce se rovněž nachází dvě tlačítka pro ovládání hry. Rozdělením konstrukce na dvě desky se především získá dostatečný prostor pro elektroniku a zařízení se stane modulární. Lze pracovat odděleně na obou blocích, což je výhodné zejména v případě nehody či chyby při sestavování. Na obrázku jsou uvedeny přibližné rozměry.



Obr. 3.9: Navržený vzhled zařízení, pro přehlednost zakreslena pouze jedna svislá plocha ze čtyř.

4 OVLÁDÁNÍ DISPLEJE POMOCÍ MIKROKONTROLÉRU

Jak bylo uvedeno, displej je ovládán pomocí 56 vývodů. Při ovládání takto velkého počtu vývodů mikrokontrolérem se lze vydat dvěma směry. Buď využít mikrokontroléru přímo splňujícího požadavky na počet vstupních a výstupních pinů, nebo použít mikrokontrolér s menším počtem pinů a dalšími vhodnými součástkami zapojení upravit. Výstupem jakékoliv úpravy však nakonec musí vždy být 56 vývodů pro 3D displej.

Výběrem jednoho z těchto řešení se zabývá kapitola 6.3. Zde jsou rozebrány možnosti rozšíření počtu výstupních pinů v případě použití mikrokontroléru s nedostatečným počtem pinů pro přímé propojení.

4.1 Možnosti rozšíření počtu výstupních pinů

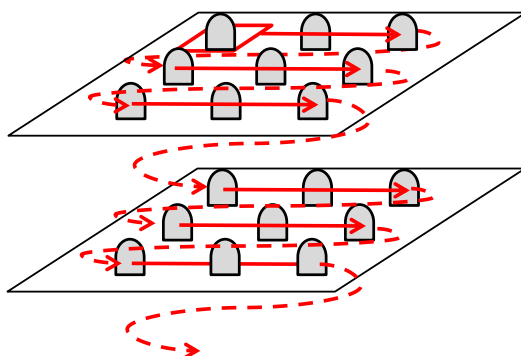
Pro rozšíření počtu výstupních pinů mikrokontroléru můžeme použít například:

- Multiplexory
- Vytvoření matic pomocí tranzistorů
- Posuvné registry
- Expandéry portu

4.1.1 Využití multiplexorů

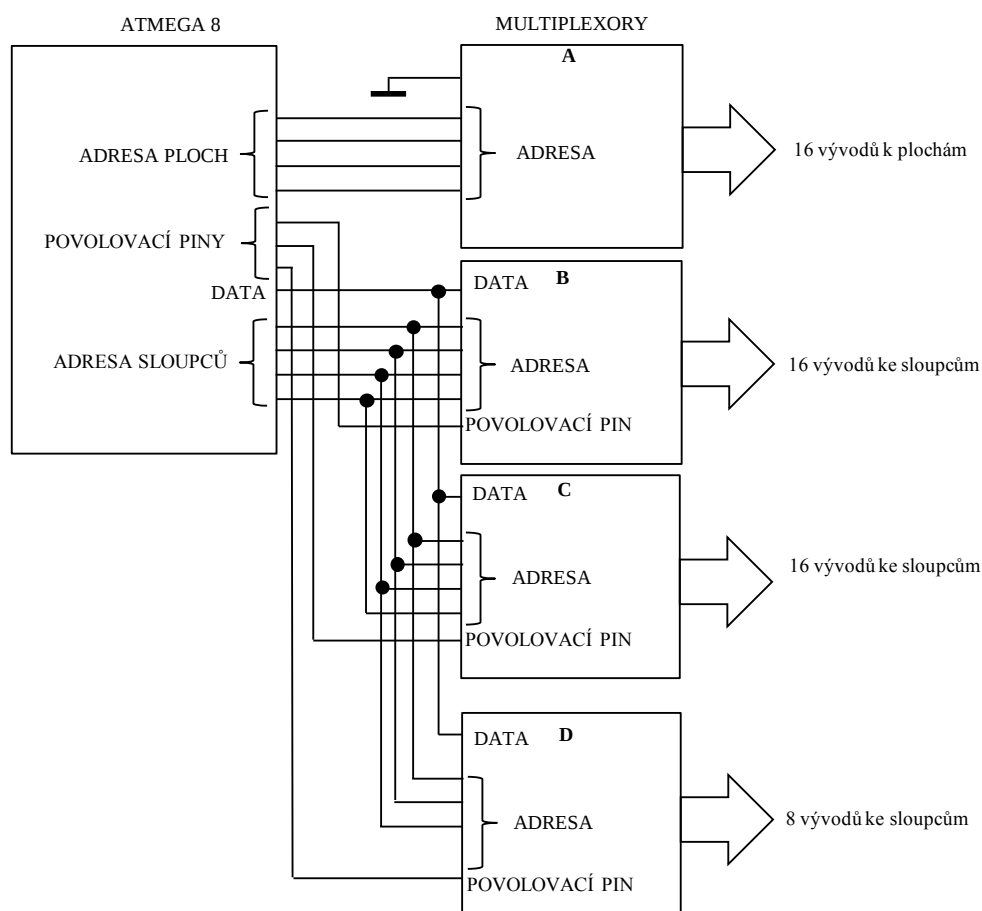
Multiplexory jsou kombinační logické obvody, které podle adresy, jež je na ně přiváděna, propojují vstup na jednotlivé výstupy. Nemůžeme je tedy využít pro stálé zapsání informace na více jejich výstupů, protože s vstupem je vždy propojen právě jeden vstup.

První vývojová verze inspirovaná [9] počítala s multiplexním zapojením jak ploch, tak i sloupců displeje. Byly zvoleny šestnácti kanálové multiplexory HEF4067BP [11] a osmi kanálový multiplexor 74HC4051 [12]. HEF4076BP je jediný běžně dostupný typ šestnácti kanálového multiplexoru v rozumné cenové kategorii (desítky Kč). U obou zmíněných typů se jedná o analogové multiplexory, což znamená, že přímo propojují vstup a výstup (chovají se jako spínač).



Obr. 4.1: Princip rozsvěcení diod při multiplexním ovládání ploch i sloupců.

Digitální multiplexory mají vstup a výstup oddělený (výstupní napětí je generováno obvodem). Pro naše účely je však jedno, zda použijeme multiplexor analogový či digitální.

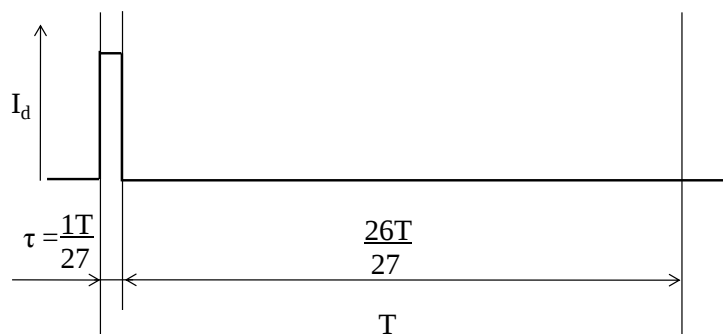


Obr. 4.2: Zapojení s multiplexováním ploch i sloupců.

Princip vysvěcování displeje je patrný z Obr. 4.1: Plochy jsou připojeny na výstupy prvního multiplexoru (A). Sloupce pak na výstupy dalších tří multiplexorů (B, C a D), viz Obr. 4.2. Pomocí multiplexoru A se zvolí příslušná plocha (uzemní se). Multiplexory B a C se pak postupně vybírají všechny sloupce a na vstup se přivádí buď log 1 (pokud dioda má svítit) nebo log 0 (pokud svítit nemá).

Adresa je přiváděna na tři multiplexory B, C a D, aktivní je vždy však pouze jeden, což lze jednoduše zajistit pomocí povolovacího pinu, kterým jsou multiplexory vybaveny. Na mikrokontroléru toto zapojení obsadí 11 pinů, což nejsou ani dva celé porty (každý 8 pinů).

Zapojení bylo testované v malé zkušební kostce ($3 \times 3 \times 3$) s použitím pouze jednoho multiplexoru pro sloupce. Vykreslování fungovalo správně, nicméně byl pozorován snížený jas diod. Důvod je nízká střída signálu přiváděného na diody (viz Obr. 4.3).



Obr. 4.3: Střída signálu na jedné diodě ve zkušební kostce o rozměrech $3 \times 3 \times 3$.

Střída je poměr času trvání impulsu ku době trvání celé periody, v tomto případě tedy 1:26 (celkem 27 diod).

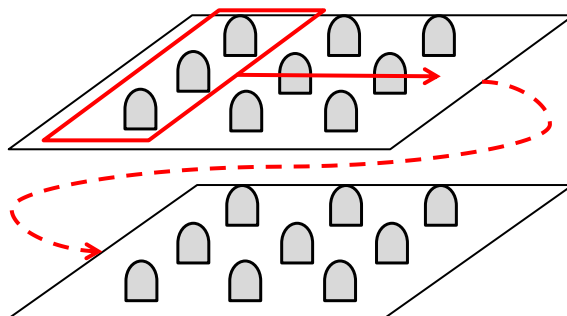
Pokusem bylo zjištěno, že již při střídě 1:124 nelze pozorovat žádný jas a dioda vypadá, jakoby nesvítěla vůbec. Zvyšování kmitočtu, s jakým jsou pulzy na diodu přiváděny, nemá na pozorovaný jas vliv, protože se zvyšujícím se kmitočtem klesá šířka pulzu a střída zůstává nezměněna. Tento problém se nejjednodušeji řeší zvýšením špičkového proudu diodou tak, aby se zvýšila střední hodnota proudu na potřebnou úroveň.

Například v [13], kde je popsáno ovládání kostky z LED diod, je proud na diody přiváděn se střídou 1:63. Uvádí se zde, že má velikost 50 mA. Není sice uveden typ diod, běžně však maximální proud LED bývá 20 mA a již při 5 mA diody většinou dostatečně svítí. I přes toto zvýšení autoři uvádí, že LED svítí slabě. V případě jakékoli chyby programu, kdy by se vysvěcování zastavilo na jedné diodě, by byla vysoká pravděpodobnost destrukce diody (proud diodou by musel být při střídě 1:639 zvýšen na několikanásobek jmenovitého). Jak je zřejmé z kapitoly Konstrukce LED displeje, je výměna diody uvnitř displeje velice složitá. Proto není toto zapojení vhodné pro použití v rozměrných 3D LED displejích a bylo od něho upuštěno.

4.1.2 Vytvoření matice pomocí tranzistorů

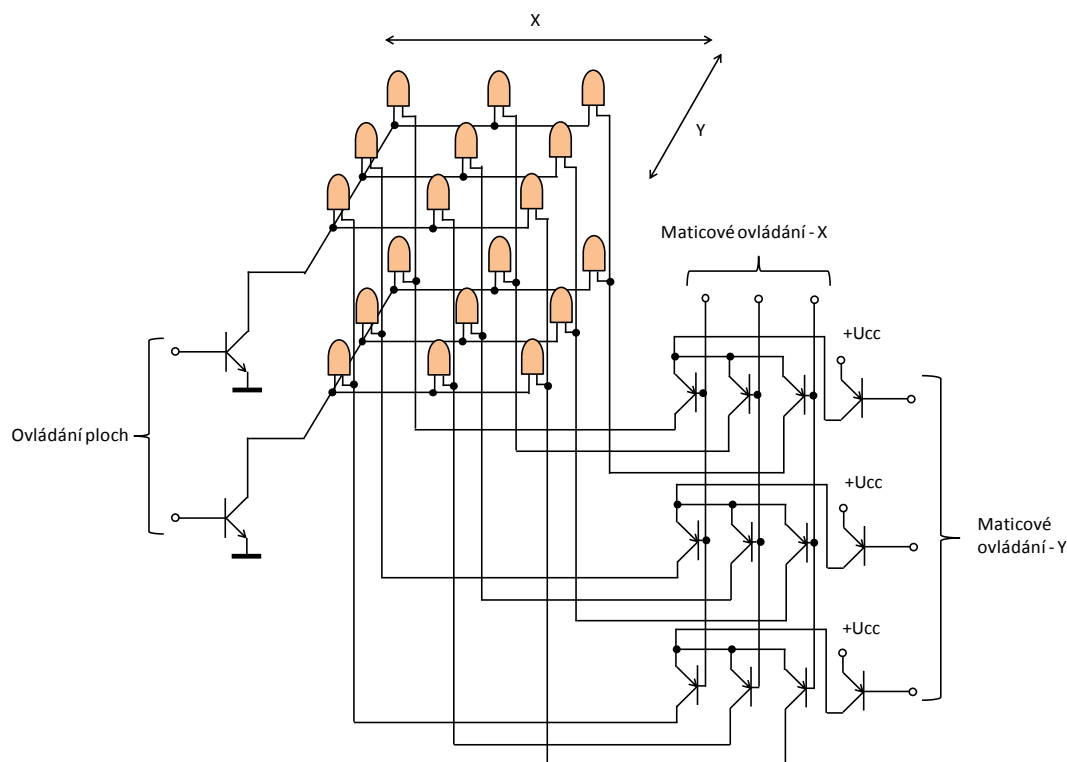
Autoři [13] uvádí zapojení s tranzistory, které převádí vývody sloupců na další matici.

Princip zapojení je patrný z Obr. 4.5. Tranzistory NPN se spínají příslušné plochy (spojují se zemí). Sloupce se volí pomocí matice XY. Otevřením zvoleného tranzistoru sady Y je přivedeno napájecí napětí napříč přes sady X. Otevřením tranzistoru X je pak vybrán konkrétní sloupec a ve spojení s ovládáním ploch se rozsvítí zvolená dioda.



Obr. 4.4: Princip rozsvěcení displeje při zapojení s tranzistory.

Zobrazování obrazů na displeji pak probíhá tak, že se uzemní zvolená plocha a otevře se první PNP tranzistor ze sady Y. Na X pak lze naráz přivést napětí tak, aby se otevřely požadované tranzistory. Po chvíli se tranzistory zavřou, otevře se další s tranzistorů ze sady Y a to se celé opakuje, dokud se neprojde s adresací celá plocha. Pak se uzemní další plocha a děj se neustále opakuje.



Obr. 4.5: Princip zapojení displeje s tranzistory.

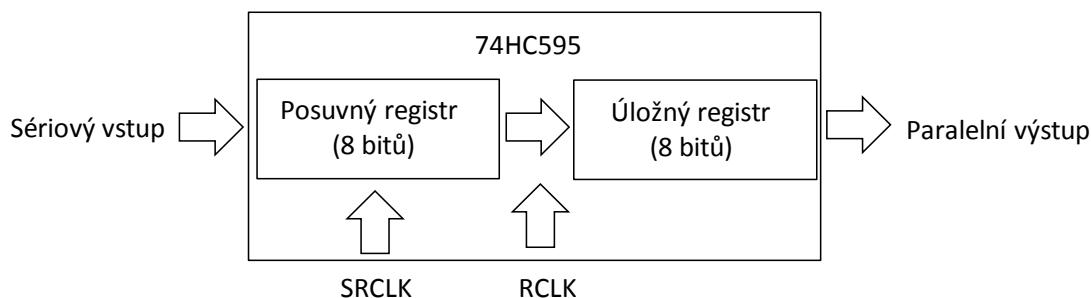
V displeji $16 \times 10 \times 4$ by tedy naráz mohlo svítit 10 diod, při uvažování rozměrů $Y = 4$ a $X = 10$. Postup vysvěcování displeje je patrný z Obr. 4.4. Počet potřebných tranzistorů je 16 NPN a 44 NPN ($4 + 4 \cdot 10$), celkem tedy 60.

Zapojení tedy snižuje počet potřebných pinů mikrokontroléru na číslo odpovídající výšce + šířce + hloubce displeje v rozměru počtu diod. V našem případě tedy $16 + 10 + 4 = 30$ pinů. Tento počet však lze ještě snížit použitím jednoho šestnáctikanálového multiplexoru pro tranzistory spínající plochy a druhého pro spínání tranzistorů v sadě X, i když v druhém zmíněném případě by bylo využito pouze 10 kanálů z 16. Pro spínání tranzistorů v sadě Y by bylo možné použít multiplexor čtyřkanálový. Po těchto úpravách počet potřebných pinů klesne na 4 pro spínání ploch + 4 pro spínání tranzistorů X + 2 pro spínání tranzistorů Y, celkem tedy 10 pinů.

Střída proudů přiváděného na diody by byla 1:63.

4.1.3 Použití posuvných registrů

Další z možností jak snížit počet potřebných pinů na mikrokontroléru je použití posuvných registrů, které fungují jako sério-paralelní převodníky. Data jsou do posuvného registru postupně nasunuta a pak naráz přivedena na paralelní výstup. Běžně jsou k dostání osmibitové posuvné registry, lze je však řetězit za sebe do kaskády.



Obr. 4.6: Struktura posuvného registru 74HC595.

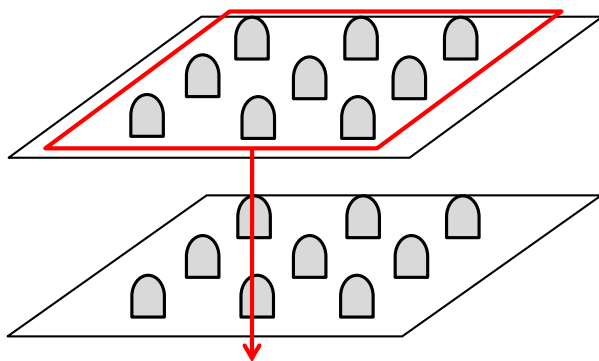
Byl zvolen jednoduchý osmibitový posuvný registr 74HC595 [14]. Jeho struktura je nakreslena na Obr. 4.6.

I když je obvod pojmenován „posuvný registr“, ve skutečnosti se skládá ze samotného posuvného registru a úložného registru. Vnitřní zapojení je kaskáda synchronních klopných obvodů RS. Paralelní výstup přímo odpovídá stavu úložného registru.

Data jsou postupně přiváděna na datový sériový vstup. Vždy potom, kdy je na vstup přiveden bit, je na vstup SRCLK (shift register clock) přivedena náběžná hrana hodinového signálu. Přivedený bit je vložen do první buňky posuvného registru, zatímco data již v registru uložená jsou posunuta o jednu buňku dál. Poslední bit se nikam neukládá a je ztracen. Jelikož je však možné součástky řetězit za sebe, existuje výstup, na který je vždy přivedena hodnota poslední buňky a může tedy sloužit jako sériový vstup dalšího posuvného registru. Přivedením náběžné hrany na RCLK (storage register clock) se celý obsah posuvného registru naráz zkopíruje do úložného registru a tedy i na výstup.

Výhodou uspořádání s úložným registrem je skutečnost, že zatímco na výstupu máme konstantní data, můžeme si do posuvného registru postupně vložit další data, která původní naráz nahradí.

Posuvné registry jsou použity pro spínání sloupců displeje. Protože 74HC595 jsou osmibitové registry, potřebujeme 5 těchto součástek (pro 40 sloupců). Obsah úložného registru odpovídá aktivním sloupcům a tedy rozsvíceným diodám v jedné ploše. Během jejího svícení do posuvného registru nasuneme informace, které sloupce mají být aktivní v další ploše. Tyto informace převedeme do úložného registru, až bude aktivní další plocha. Postup rozsvícení diod je znázorněn na Obr. 4.7.

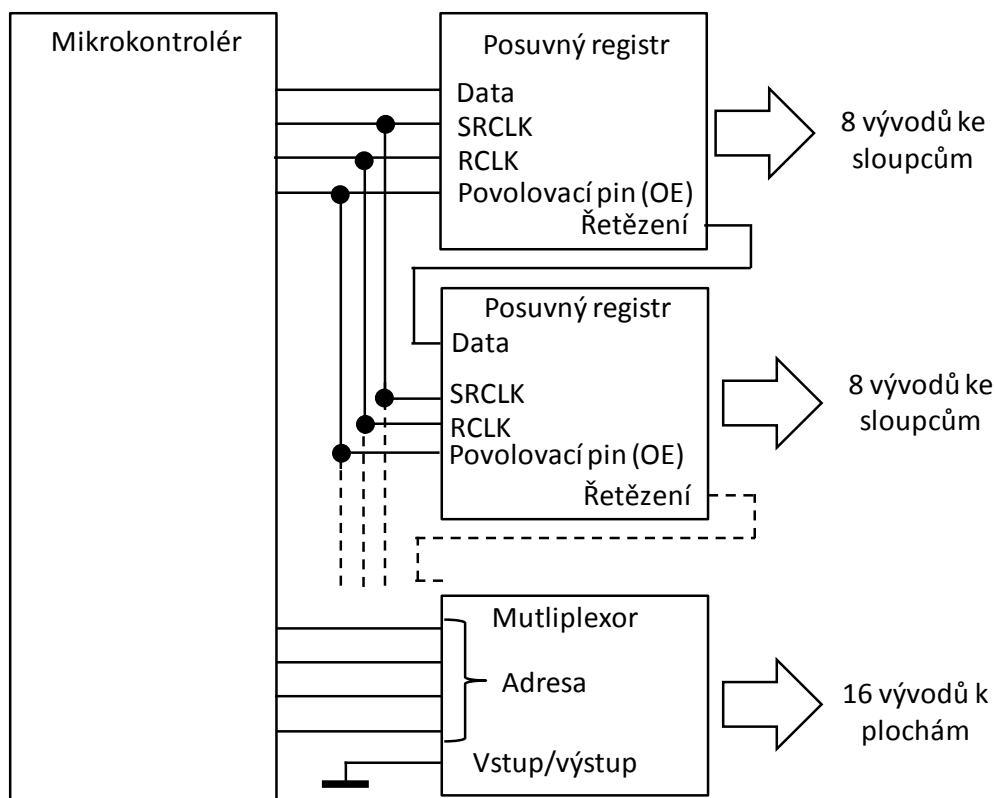


Obr. 4.7: Princip rozsvícení displeje při použití posuvných registrů a multiplexoru

Při přepínání celých ploch odpojíme výstupy posuvných registrů (bude na nich log 0), protože v daný okamžik by na sloupci přiváděly informace patřící předchozí ploše. Odpojení lze provést pomocí pinu OE (Output Enable).

Pro ovládání výběru ploch je vhodné z důvodu úspory potřebných pinů použít šestnáctikanálový multiplexor. Použití posuvných registrů pro jejich spínání by bylo zbytečně komplikované.

Z Obr. 4.8 je patrné, že k ovládání displeje je zapotřebí 8 pinů mikrokontroléru, tzn. jeden port.

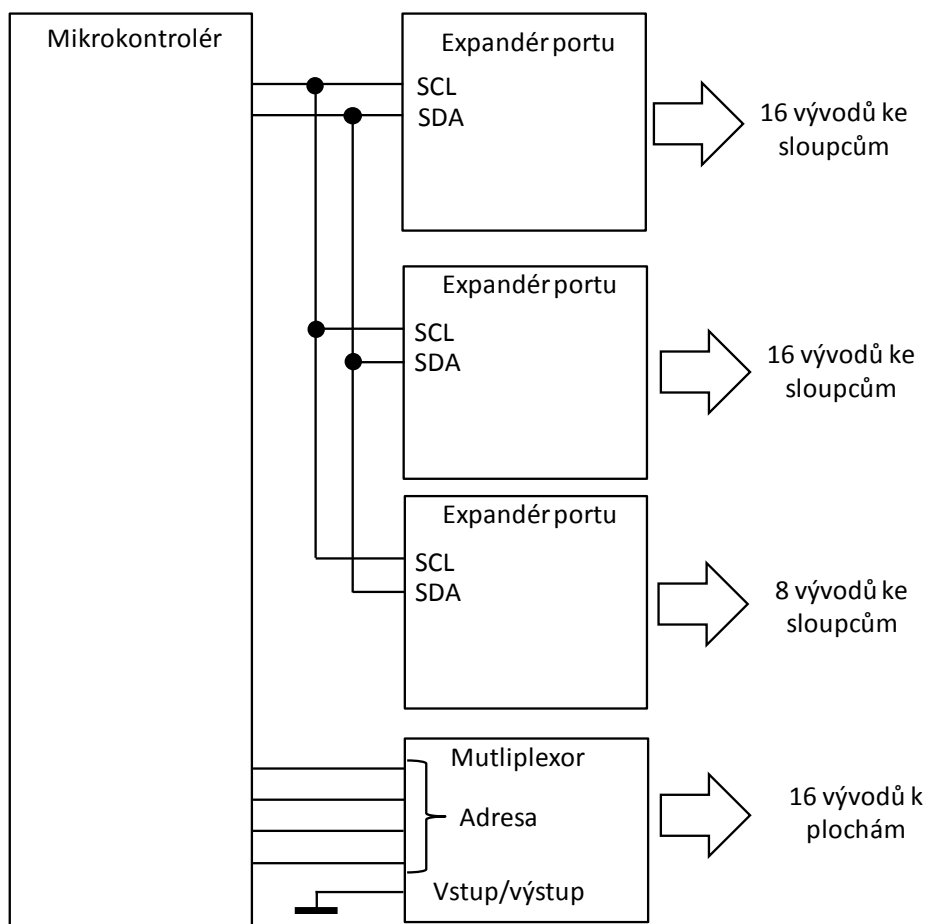


Obr. 4.8: Principiální schéma zapojení s posuvnými registry a multiplexorem

4.1.4 Využití expandérů portu

Expandéry portu jsou součástky rozšiřující počet nejen výstupních ale i vstupních pinů mikrokontroléru, umožňují tedy obousměrnou komunikaci jako sério-paralelní (ve směru od mikrokontroléru) i paralelně-sériové převodníky (ve směru k mikrokontroléru). S mikrokontrolérem komunikují zpravidla pomocí obousměrné sériové linky I²C (u firmy Atmel označované jako TWI). I²C může komunikovat postupně s několika zařízeními, protože používá systém adresování. Je tedy možné použít několik expandérů. Adresu expandérů lze zpravidla nastavit pomocí několika jejich pinů. Běžně jsou k dostání expandéry s vstupně/výstupními osmi a šestnácti piny.

Na Obr. 4.9 je ukázáno připojení mikrokontroléru k displeji pomocí dvou šestnáctibitových a jednoho osmibitového expandéru portu (např. MCP23016-I/SP a MCP23008). Komunikace pomocí I²C vyžaduje pouze dva vodiče.



Obr. 4.9: Zapojení s expandéry portu

Pro spínání ploch je použit multiplexor, bylo však možné použít další šestnáctibitový expandér a tím 4 piny na mikrokontroléru ušetřit. Celý displej by pak bylo možné ovládat pouze dvěma piny.

Postup vykreslování displeje je shodný s předchozím případem, viz Obr. 4.7. Multiplexorem je vybrána vždy jedna plocha. Data, která mají být přivedena na sloupce, jsou vždy poslána po sběrnici I²C konkrétnímu expandéru. Po určité době, kdy diody svítí, jsou na výstupy expandérů nastaveny nuly, multiplexorem je sepnuta další plocha a celý děj se opakuje. Vybrané typy expandérů mají povolený výstupní proud až 25 mA každým pinem, lze je tedy využít přímo jako budiče LED diod.

4.2 Porovnání uvedených řešení

Tabulka 4.1: Porovnání různých připojení mikrokontroléru a displeje.

Použití multiplexorů HEF4067BP a 74HC4051 pro spínání ploch i sloupců	
Počet potřebných pouzder:	4 multiplexory
Další potřebné součástky:	Vhodné použít tranzistory (56), v datasheetu HEF4067BP není uvedeno dovolené proudové zatížení, 1 rezistor
Počet potřebných pinů na uC:	11
Střída proudu jednou diodou:	1:639
Počet náraz svítících diod:	1
Cena:	cca 20 Kč/HEF4067BP, 8 Kč/74HC4051, 1 Kč/tranzistor, 1 Kč/rezistor -> cca 130 Kč

Použití tranzistorů pro vytvoření matice sloupců	
Počet potřebných pouzder:	56 tranzistorů
Další potřebné součástky:	Je vhodné použít multiplexor HEF4067BP pro ovládání ploch, vede ke snížení potřebného počtu pinů, 40 rezistorů
Počet potřebných pinů na uC:	30
Střída proudu jednou diodou:	1:63
Počet náraz svítících diod:	10
Cena:	cca 1Kč/tranzistor, 20 Kč/HEF4067BP, 1 Kč/rezistor -> 120 Kč

Využití posuvných registrů 74HC595	
Počet potřebných pouzder:	5 posuvných registrů
Další potřebné součástky:	1 multiplexor HEF4067BP, 16 tranzistorů pro spínání ploch, 40 rezistorů
Počet potřebných pinů na uC:	8
Střída proudu jednou diodou:	1:15
Počet náraz svítících diod:	40
Cena:	cca 5 Kč/74HC595, 20 Kč/HEF4067BP, 1 Kč/tranzistor, 1 Kč/ rezistor -> 100 Kč

Využití expandérů portu MCP23016-I/SP a MCP23008	
Počet potřebných pouzder:	3 expandéry portu
Další potřebné součástky:	1 multiplexor HEF4067BP, 16 tranzistorů pro spínání ploch, 40 rezistorů
Počet potřebných pinů na uC:	6
Střída proudu jednou diodou:	1:15
Počet náraz svítících diod:	40
Cena:	cca 50 Kč/ MCP23016, 60 Kč/ MCP23008, 20 Kč/ HEF4067BP, 1 Kč/tranzistor, 1 Kč/ rezistor -> 240 Kč

Zapojení s multiplexory potřebuje spolu se zapojením s expandéry portu nejméně dalších součástek. Kvůli střídě proudu přiváděného na diody je však zapojení pro větší displej nepoužitelné. Špičkový proud by musel být příliš velký. Toto zapojení by bylo vhodné použít pro 3D LED displeje o menších rozměrech, kde by střída nebyla natolik kritická. Je však vhodné použít další výkonové prvky (např. tranzistory), protože v datasheetu [11] multiplexoru není uvedeno, jaké proudové zatížení obvod snese. Při zvyšování proudu za účelem kompenzace účinků vysoké střídavy by mohl být obvod příliš proudově namáhán.

Zapojení s tranzistory je poměrně elegantní. V [13] je dokonce uvedena předloha plošného spoje, kde jsou tranzistory umístěny přímo v displeji z LED diod, což zmenšuje rozměry celého zapojení. Tato možnost konstrukčního uspořádání se ukazuje jako výhoda především u rozměrných 3D displejů. Nevýhodou je vysoký počet potřebných pinů na mikrokontroléru. Jejich počet by šel však snadno snížit z 30 na 18 použitím šestnáctikanálového multiplexoru (např. HEF4067BP) pro spínání tranzistorů uzemňujícím plochy, jak je v [13] ostatně uvedeno. Problémy jsou ovšem s jasnou diodou související se střídou proudu diodami.

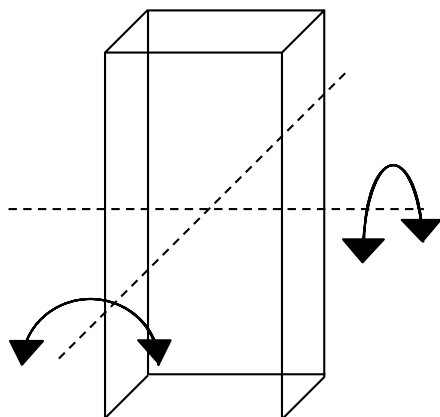
Zapojení s posuvnými registry se vyznačuje nejnižší střídou proudu diodami, není tedy nutné, aby jimi protékal velký proud, byť chvilkový. Výhodou je rovněž nízký počet potřebných pinů na mikrokontroléru. Uvedené posuvné registry je možné využít i jako výkonové budiče, každý pin má dovolenou proudovou zátěž až 35 mA. To však nestačí na sepnutí ploch, kde by pinem protékal proud 40 diod, proto je nutné použít tranzistory.

Zapojení s expandéry portu vyžaduje nejméně pinů na mikrokontroléru. Střída proudu diodami je stejná jako v případě použití posuvných registrů. Podobně lze i expandéry použít přímo jako budiče LED diod. Vyšší je však jejich cena.

Pro aplikaci bylo zvoleno zapojení s posuvnými registry a multiplexorem. Toto řešení zabere pouze jeden port na mikrokontroléru. Na diody je proud přiváděn s nejnižší střídou, a tedy špičkový proud nemusí být tolik velký. Hlavní výhodou tohoto zapojení proti verzi s expandéry portu je jeho cena a jednoduchost komunikace.

5 MĚŘENÍ NÁKLONU

Náklonem celého zařízení je ovládán pohyb tetromin ve hře a to ve dvou osách, vpřed, vzad, vpravo a vlevo, viz Obr. 5.1.



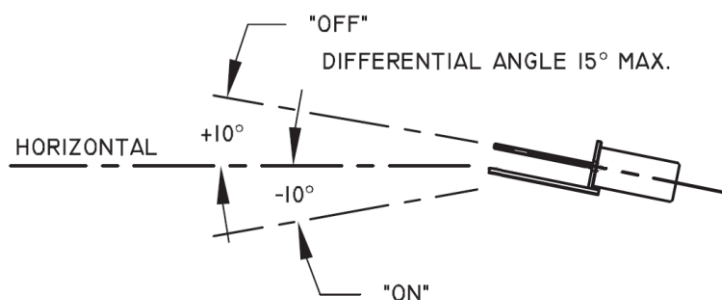
Obr. 5.1: Osy naklánění zařízení.

Pohyb tetromina musí být vyvolán až tehdy, dosáhne-li náklon určité hodnoty. Kolem vyváženého stavu je třeba mít dostatečnou rezervu, aby nebyl pohyb vyvoláván i při malých náklonech, způsobených běžnou manipulací se zařízením.

Pokud je náklon dostatečný, je třeba přivést informaci na mikrokontrolér. Další zvyšování náklonu nemá mít vliv.

Pro měření náklonu se většinou v elektronických zařízeních používají akcelerometry. Jsou to součástky pracující obvykle na piezoelektrickém, tepelném nebo kapacitním principu [15]. Dostupné jsou akcelerometry dvouosé i tříosé. Jejich výstupem bývají buď dva, v případě dvouosého, nebo tři, v případě tříosého, analogové nebo digitální signály, jejichž hodnota je úměrná náklonu v dané ose. Z těchto hodnot je pak náklon třeba vypočítat.

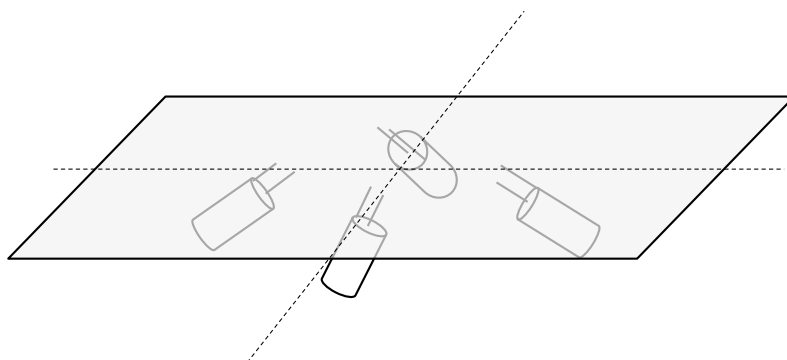
V našem případě by stačilo sledovat, zda signál v daných osách přesáhl hodnoty kritického náklonu. I přes toto zjednodušení je však jejich použití v dané aplikaci zbytečně složité. Obsluha měření náklonu by navíc zbytečně prodlužovala čas, kdy mikrokontrolér nevykresluje obraz do displeje.



Obr. 5.2: Způsob připojení spínače náklonu k plošnému spoji pro klidový stav "vypnuto". Plošný spoj odpovídá vodorovné ose. Převzato z [16] (upraveno).

Jednodušší a přitom požadavkům vyhovující je použití náklonových spínačů. Byl vybrán typ P-CW1300-1 [16]. Jedná se o jednoosý mechanický spínač, který má dva stavy, sepnuto a rozepnuto, závislé na svém sklonu vzhledem k zemi.

Na Obr. 5.2 je ukázáno, v jaké poloze je rozepnutý či sepnutý. Vidíme, že pokud chceme na vodorovně umístěné desce plošného spoje zajistit, aby byl spínač ve vypnuté poloze, je třeba jej přichytit ze spodu plošného spoje a našikmo. Jeho podélná osa je kolmá na osu, v které měří náklon. Naklánění v jiných osách nemá na spínač vliv.



Obr. 5.3: Naznačení poloh spínačů, ve kterých musí být zapojeny.

Pro určení náklonů ve čtyřech směrech jsou potřeba čtyři tyto spínače. Nakláněním na jednu stranu se totiž spínač sepne, nakláněním na druhou stranu bychom však jen prohlubovali stav „vypnuto“.

V každé ose musí být tedy zapojeny dva, každý připojen s opačným náklonem, viz Obr. 5.3. Na mikrokontroléru jsou potřeba čtyři vstupní piny. Spínače budou připojeny stejně jako běžná tlačítka, svým sepnutím uzemní příslušný pin mikrokontroléru, který je jinak v klidovém stavu pomocí pull-up rezistoru držen v logické jedničce.

Protože se jedná o mechanické spínače, vznikají při přepínání na kontaktech záškrtky. Jejich ošetření je provedeno softwarově.

6 MIKROKONTROLÉR

6.1 Úvod

Pokrok v integraci obvodů umožnil vznik součástek zvaných mikropočítače (MPU, μP , μC), často také nazývaných mikrokontroléry (z anglického microcontroller). Na jeden čip (*jednočipové mikropočítače*) je zde integrován procesor (výpočetní jádro), paměti a množství periferních obvodů. Kombinací periferních obvodů, které se používají, je velké množství. Zpravidla všechny mikrokontroléry jsou vybaveny A/D převodníky, které umožňují přímé připojení na různá čidla a na okolní „analogový svět“, analogovými komparátory, čítači a časovači, generátory PWM signálu, různými komunikačními rozhraními (např. UART) atd. a vstupními a výstupními porty. Typická zařízení připojovaná na výstupní nebo vstupní porty jsou tlačítka, klávesnice, LED diody, LED a LCD displeje, logické obvody, při připojení přes vhodný výkonový stupeň (např. tranzistor) i výkonová zařízení jako motorky apod. [17]

Díky uvedené vybavenosti mikrokontrolérů vnitřními periferiemi jím můžeme často přímo ovládat celou aplikaci s minimálním počtem dalších součástek.

Výrobou mikrokontrolérů se zabývá celá řada firem a na trhu je dostupný široký sortiment různých typů. I přes složitost vnitřního zapojení je jejich cena nízká a pohybuje od několika desítek do několika set korun.

Veškerá komunikace uvnitř mikrokontroléru probíhá po sběrnici. Tím je zajištěna stovebnicová koncepce. Je možné jednoduše přidávat další bloky (např. další periferní obvody) bez nutnosti zasahovat do vnitřního zapojení předchozích jednotek. Nevýhoda je, že přístup na sběrnici má vždy jen jeden zdroj dat, a proto nemůžeme zaráz předávat data z více zdrojů více příjemcům. Podle šířky sběrnice, tedy velikosti bitového slova, které můžeme naráz po sběrnici přenést, rozeznáváme mikrokontroléry osmibitové, šestnáctibitové atd.

Pro řízení jednoduchých aplikací vyhovují osmibitové mikrokontroléry. Nabízejí dostatečný výpočetní výkon, počet vstupních a výstupních portů i dalších vnitřních periferií a jejich ovládání a programování je jednoduché.

6.2 Využití mikrokontroléru v aplikaci

Při ovládání složitějších vnějších periferií, jako jsou například LCD znakové nebo grafické displeje, se využívá tzv. *řadič* (driver) tohoto zařízení. V případě displeje se řadič stará o vykreslování dat. Co se má vykreslovat, určuje řídící mikrokontrolér, který se o princip zobrazování nemusí starat a může svůj výkon věnovat pouze potřebným výpočtům. Data pak řadiči předává.

Aplikace 3D tetris však není natolik výpočetně náročná, aby bylo nutné mít zvláštní mikrokontrolér pro výpočty a zvláštní pro vykreslování dat. Obě funkce jsou proto sloučeny do jediného mikrokontroléru. Jeho úkolem je tedy vykreslovat data do displeje a zároveň se starat o výpočty (běh hry).

6.3 Výběr μ C

Při výběru mikrokontroléru pro aplikaci zvažujeme několik základních parametrů:

- Výpočetní výkon
- Velikost programové a datové paměti
- Počet vstupních a výstupních portů
- Dostupnost vnitřních periferních obvodů
- Dostupnost vývojového softwaru

Výběr bude orientován na mikrokontroléry AVR od firmy Atmel, důvodem jsou jak dobré vlastnosti uvedené v další kapitole, tak zkušenosti s jejich programováním. Jejich výpočetní výkon pro relativně jednoduchou aplikaci 3D tetris postačuje. Navíc je k dispozici zdarma vývojový software (AVR studio) a dostupný programátor.

Důležitým kritériem pro aplikaci 3D tetris je počet vstupně/výstupních pinů. Při využití zapojení s posuvnými registry a multiplexorem potřebujeme 8 pinů pro displej + 4 piny pro čidla náklonu + 2 piny pro ovládací tlačítka, celkem 14 pinů. Dalším parametrem, který hraje významnější roli, je velikost paměti programu. Aplikace potřebuje 5874 B paměti programu, 665 B paměti dat a 151 B paměti EEPROM. Mikrokontrolér musí být tedy paměti EEPROM vybaven, což ale je pro většinu mikrokontrolérů běžné. Žádné další zvláštní požadavky na něho kladeny nejsou.

Tabulka 6.1: Porovnání některých mikrokontrolérů z rodiny AVR.

Mikrokontrolér	Max. hod. kmitočet	Velikost paměti programu	Velikost paměti dat	Počet I/O portů
ATtiny 13	24 MHz	1 kB	64 B	8
ATtiny 25	20 MHz	2 kB	128 B	6
ATmega 8	16 MHz	8 kB	1 kB	23
ATmega 16	16 MHz	16 kB	1 kB	32
ATmega 128	16 MHz	128 kB	4 kB	53
ATmega2560	16 MHz	256 kB	8 kB	86

Z porovnání mikrokontrolérů v tabulce 4.1 je patrné, že požadavky na velikost paměti programu i dat splňují obvody vyšší jak ATmega8 [18] včetně. Požadovaný počet vstupních a výstupních pinů přímého propojení splňuje však pouze ATmega2560. Pro připojení pomocí posuvných registrů vyhovuje již ATmega8. Samozřejmě by bylo možné vytvářet různé kombinace těchto řešení, například Atmega128 s šestnáctikanálovým multiplexorem apod.

Při rozhodování, zda použít mikrokontrolér s velkým počtem vývodů a řídit displej přímo, nebo využít menšího mikrokontroléru a přidavných obvodů, bylo postupováno podle následujících kritérií:

- složitost ovládání přidaných obvodů pomocí mikrokontroléru
- plocha zabraná na desce plošného spoje (velikost plošného spoje je dána celkovou konstrukcí zařízení a není vhodné ji zvětšovat)
- složitost plošného spoje
- cena

Výhodou přímého ovládání mikrokontrolérem je jednoduchá obsluha všech portů a snadnější přehled, jaké informace na portech jsou. Není nutné psát žádné části programů obsluhujících externí obvody.

Pokud je potřeba zabrat na plošném spoji co nejméně místa, je vhodné použít mikrokontrolér s dostatečným počtem pinů. I přes to, že je větší, zabere méně místa než další součástky. V našem případě velikost desky není kritický parametr, protože lze předpokládat, že všechny uvažované varianty by se na plošný spoj podařilo rozmístit.

Složitost plošného spoje je menší, pokud použijeme méně součástek. Při použití mikrokontroléru s velkým počtem pinů však je nutné vyřešit výkonové buzení LED diod. Procesory ATmega sice umožňují poměrně velké proudové zatížení, přesto není vhodné je využít jako výkonové budiče. I když je proud jedním vstupně/výstupním pinem dovolen 40 mA, je omezen mnohými dalšími podmínkami, viz Tabulka 4.1. Rozhodující je celkový proud napájecím a zemnicím pinem 200 mA. V displeji může v jeden okamžik svítit nejvýše 40 diod (jedna plocha – vychází z principu zapojení), již při buzení 5 mA dosahujeme maximální dovolené meze. Je potřeba tedy použít externí výkonové stupně, což znamená, že se bez externích obvodů neobejdeme. Jak bylo uvedeno, při použití posuvných registrů 74HC595 můžou tyto obvody sloužit zároveň i jako výkonové budiče.

Tabulka 6.2: Ukázka dovoleného proudového zatížení ATmega2560.

	Maximální dovolený proud
Proud pinem VCC a GND	200 mA
Proud jedním pinem	40 mA
Součet proudu piny J0-J7, A0-A7, G2	200 mA
Součet proudu piny C0-C7, G0-G1, D0-D7, L0-L7	200 mA
Součet proudu piny G3-G4, B0-B7, H0-B7	200 mA
Součet proudu piny E0-E7, G5	100 mA
Součet proudu piny F0-F7, K0-K7	100 mA

Cena součástek řídicí elektroniky je sice ve stínu ceny 640 LED diod, nutných pro postavení displeje, přesto však je vhodné zabývat se i tímto atributem.

Tabulka 6.3: Zjednodušené porovnání řešení s μC s velkým počtem vývodů a μC s menším počtem vývodů a využitím externích součástek.

ATmega2560	ATmega8 + externí součástky
+ Menší zabraná plocha na plošném spoji	- Rozměrnější zapojení na plošném spoji
+ Jednodušší plošný spoj	- Složitější plošný spoj
- Nutnost externích součástek pro výkonové buzení	+ Externí součástky můžou sloužit jako výkonové buzení
- Velký počet nevyužitých pinů	+ Optimálnější využití pinů
- Cena	+ Cena

Cena ATmega2560 se v maloobchodní síti pohybuje asi kolem 400 Kč, je nutné přičíst cenu výkonových budičů, což jsou korunové položky, pokud použijeme tranzistory. Cena ATmega8 je asi 35 Kč. K ní je třeba přičíst cenu součástek

rozšiřujících počet pinů, jak uvádí tabulka 5.1, jedná se asi o 60 Kč.

Pro použití v aplikaci byl zvolen mikrokontrolér ATmega8. Vyhovuje co do velikosti programové i datové paměti. Rovněž počtem vstupně/výstupních pinů vyhovuje s rezervou. Byla dána přednost zapojení s externími součástkami (kaskáda posuvných registrů a multiplexor), které budou sloužit i jako buzení LED diod. I v případě použití mikrokontroléru s dostatečným počtem pinů pro přímé propojení by totiž bylo nutné použít výkonové budiče a varianta s posuvnými registry se bez problémů vejde na plošný spoj.

6.4 Mikrokontrolér ATmega8

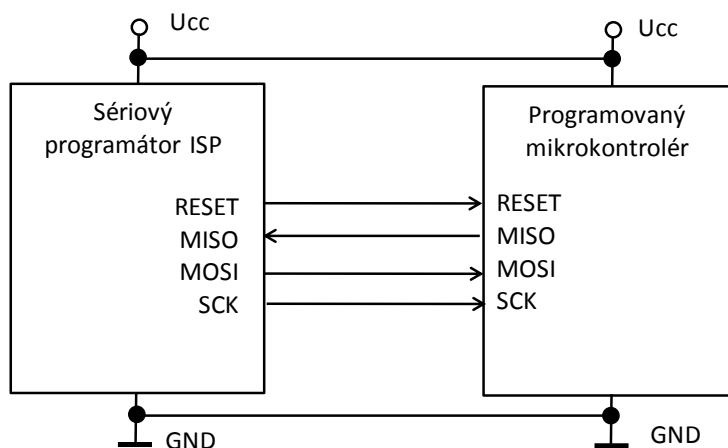
ATmega8 patří mezi oblíbené osmibitové mikrokontroléry firmy Atmel označené písmeny AVR (řady AT90, ATtiny, ATmega). Uvádí se, že díky své architektuře dosahují stejných výpočetních výkonů typických pro šestnáctibitové mikrokontroléry [17].

ATmega8 i AVR obecně obsahují redukovanou instrukční sadu RISC (Reduced Instruction Set Computer), která vznikla z instrukční sady CISC (Complex Instruction Set Computer). Využívá se zde poznatku, že některé složité instrukce z CISC se používají pouze zřídka. Podle provedeného statistického výzkumu byly tyto instrukce zrušeny a v případě potřeby jsou nahrazeny posloupností jednoduchých instrukcí. Tím se snížila hardwarová náročnost řadiče, jehož složitost stoupá s počtem instrukcí, které musí rozeznat. To spolu s konstantní bitovou délkou instrukce (u AVR 16 bitů) umožňuje vykonávat každou instrukci během jednoho hodinového cyklu. Díky tomu se programy pro RISC vykonávají rychleji, než pro CISC, i přesto, že jsou zpravidla delší.

Organizace paměti je podle harvardské koncepce, tedy oddělená paměť pro program a data. Paměť programu je typu FLASH o velikosti 8 kB, paměť dat typu RAM (1 kB), případně EEPROM (je k ní pomalý přístup, využívá se pro data, která je třeba uchovat i po odpojení napájení).

V ATmega8 je zabudovaný vnitřní RC oscilátor pracující do kmitočtu 8 MHz. Pokud nám tento kmitočet stačí, odpadá nutnost připojovat vnější krystal.

6.4.1 Programování μ C AVR



Obr. 6.1: Zapojení při ISP programování, podle [17].

Mikrokontrolér ATmega8 umožňuje ISP (*In System Programming*) programování. ISP využívá sériové periferní rozhraní SPI (*Serial Peripheral Interface*). Zapojení při programování je na Obr. 6.1.

ATmega8 nemá speciální vývody MISO, MOSI a SCK, ale sdílí je s vstupně výstupními porty. Pro aktivaci jejich funkce je potřeba přivést na RESET logickou nulu, což si programátor sám zajistí. Signál SCK udává hodinový kmitočet, který synchronizuje přenos dat. Signál MOSI představuje komunikaci ve směru programátor – mikrokontrolér, MISO naopak [17]. Výhoda tohoto programování spočívá v tom, že mikrokontrolér není třeba vyjímat z aplikace a vkládat do programátoru, ale lze ho programovat přímo v cílovém zařízení. Na desce plošného spoje je proto třeba vyvést programovací vstupy.

7 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Celé zařízení je ovládáno programem běžícím na zvoleném mikrokontroléru ATmega8.

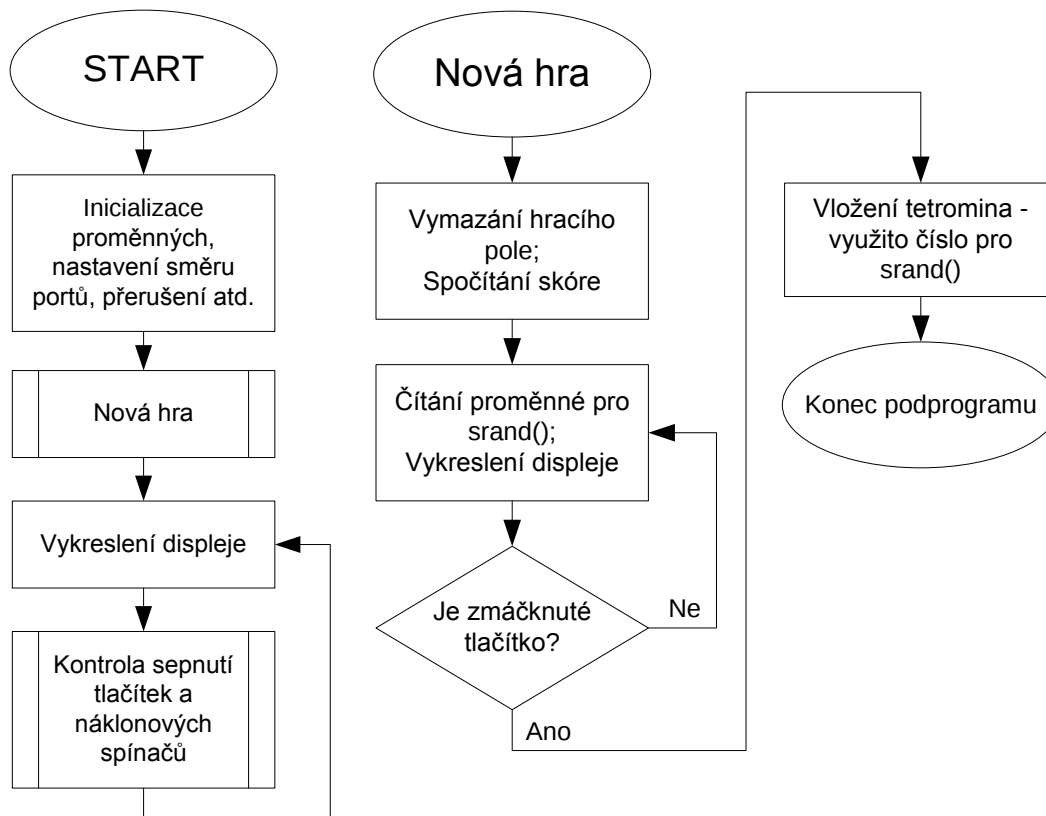
7.1 Požadavky na program

Program musí zajišťovat:

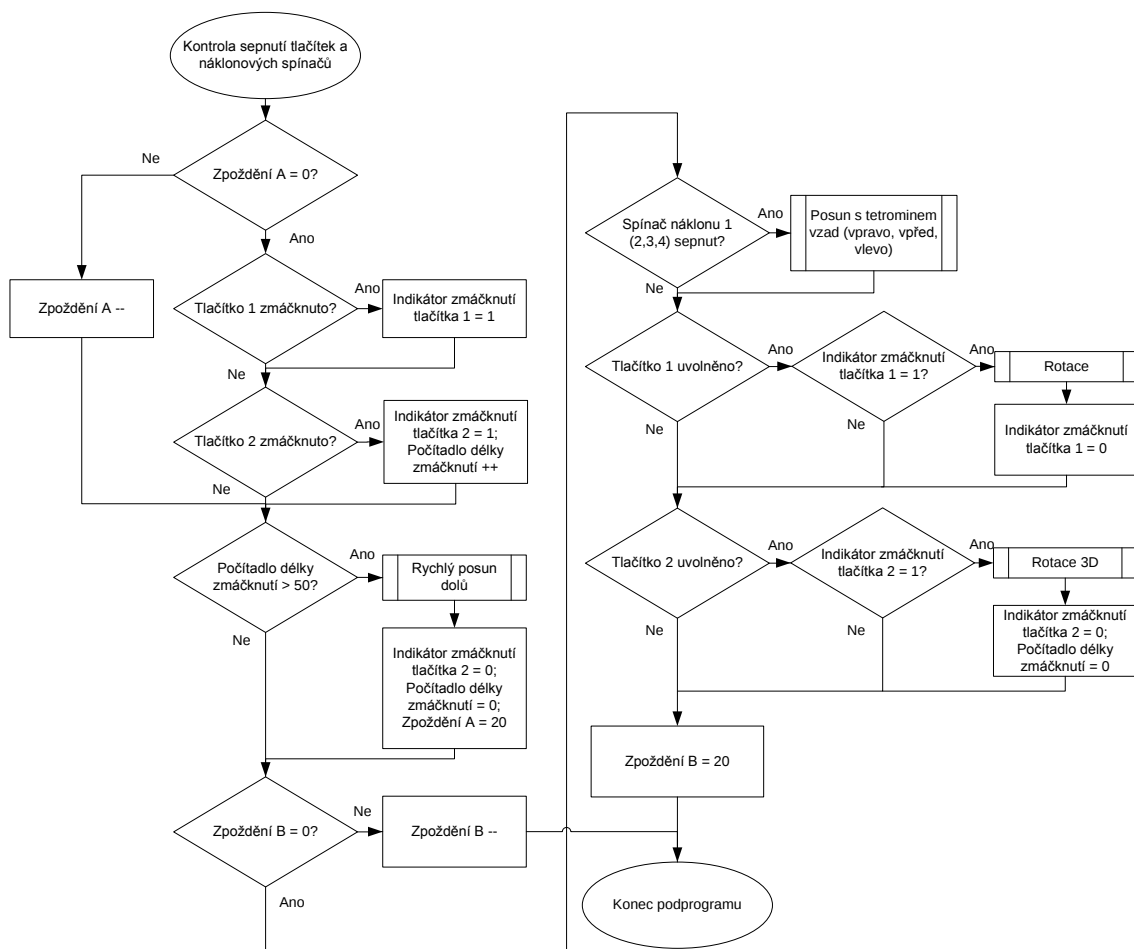
- rozsvěcení 3D LED displeje prostřednictvím posuvných registrů a multiplexoru
- kontrolu stavu náklonových spínačů
- kontrolu stavu tlačítek
- samotný chod hry

Protože je vykreslování displeje dynamické, většinu svého času musí mikrokontrolér věnovat právě této činnosti. Všechny výpočty potřebné pro běh hry a obsluhu spínačů náklonu a tlačítek musí být natolik rychlé, aby uživatel nepoznal, že se vykreslování displeje na chvíli pozastavilo. Pro to, aby člověk nepoznal, že displej bliká, je potřeba – jak už bylo uvedeno – rozsvěcení diod obnovovat s frekvencí větší než asi 50 Hz. Přestávka pro výpočet či obsluhu spínačů a tlačítek by tedy neměla být delší než 20 ms, což je v mikroprocesorové technice relativně dlouhá doba.

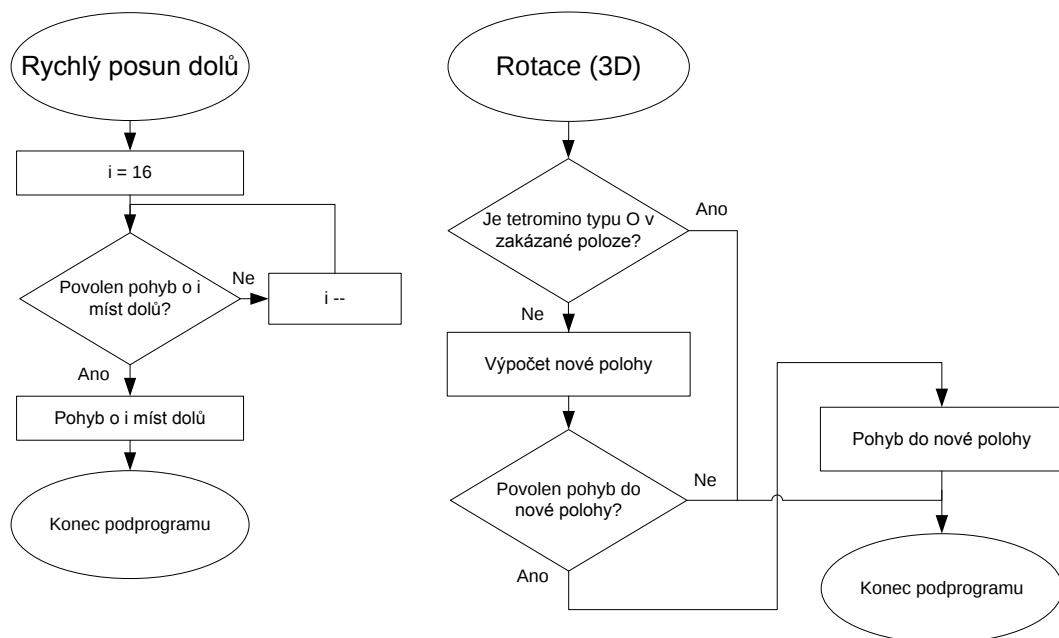
7.2 Struktura programu



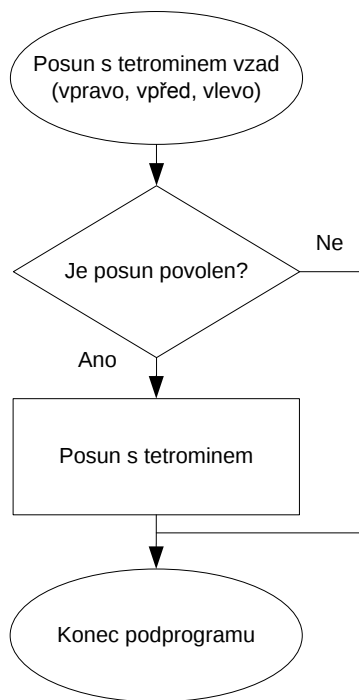
Obr. 7.1: Vývojový diagram hlavní funkce programu a funkce nová hra.



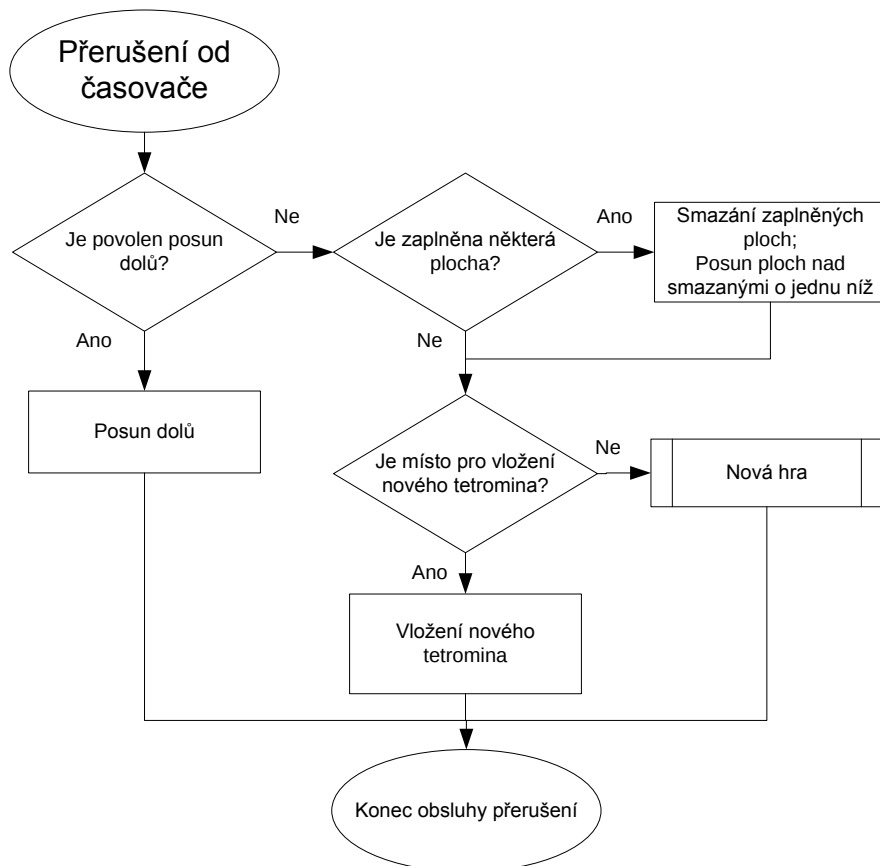
Obr. 7.2: Vývojový diagram obsluhy tlačítek a naklonových spínačů.



Obr. 7.3: Vývojový diagram funkce pro rychlý posun dolů a rotaci, funkce pro rotaci 3D je obdobná.



Obr. 7.4: Vývojový diagram funkcí pro pohyb s tetrominem.



Obr. 7.5: Vývojový diagram přerušení od časovače.

7.3 Popis programu

Program je napsán v jazyce C ve vývojovém prostředí AVR studio. AVR studio slouží k simulaci běhu programu na mikrokontroléru firmy Atmel, kterých je zde na výběr velké množství. Software lze zdarma stáhnout ze stránek Atmelu. Pro překlad z jazyka C byl využit vestavěný překladač GCC. Kompilace byla provedena s optimalizací O1. Program zabírá 5874 B (71,7 %) programové paměti, 665 B (64,9 %) paměti dat a 151 B (29,5 %) paměti EEPROM.

Situace v hracím poli odpovídá obsahu globální proměnné `kostka[16][10][4]`. Obsazené body (v displeji svítící) jsou reprezentovány číslem 1, volné body číslem 0. V globálních proměnných `uk1[3]` až `uk4[3]` jsou uloženy adresy buněk v proměnné `kostka`, které odpovídají právě padajícímu tetrominu (každé tetromino se skládá ze čtyř kostek).

Po úvodním nastavení vstupních a výstupních pinů, časovače apod., je volána funkce `nova_hra`. Je vynulováno (vymazáno) hrací pole, spočítáno skóre (před první hrou samozřejmě nulové) a zapsáno spolu s nejvyšším dosaženým skórem uloženým v paměti EEPROM do proměnné `kostka[16][10][4]`. Program následně čeká ve smyčce na zmáčknutí tlačítka. Ve smyčce je volána funkce `vykresli` zajišťující vypsání obsahu proměnné `kostka[16][10][4]` do displeje a inkrementována integerová proměnná `nahodny_vyber` od nuly do maximální hodnoty a opět znovu od nuly. Po zmáčknutí tlačítka je tato proměnná vložena do funkce `srand`, čímž je vybrána pseudonáhodná posloupnost padajících tetromin. Jelikož člověk nezmáčkne tlačítko nikdy ve stejnou chvíli, lze výběr považovat za skutečně náhodný. K dispozici je 2^{16} různých posloupností. Dále je vloženo nové tetromino (funkce `nova_kostka`) a tím je zahájen vlastní průběh hry.

Ve funkci `main` běží nekonečná smyčka `while`. Po vykreslení obsahu hracího pole do displeje je ve funkci `cidla` zkontrolován stav náklonových spínačů a tlačítek. Funkce obsahuje také ošetření zákmitů, které vznikají na mechanických kontaktech. Tlačítka mají aktivní okamžik uvolnění. Levé tlačítko je určeno pro 3D rotaci, pravé pro klasickou rotaci. Při dlouhém stisku levého tlačítka je aktivována funkce rychlého pádu. V případě jejich aktivace je tedy volána příslušná funkce pro pohyb či rotaci: `vlevo`, `vpravo`, `vzad`, `vpred`, `rotace`, `rotace3D` a `rychly_posun_dolu`. Před vykonáním samotné funkce je ověřeno, zda je pohyb dovolen – nepřesáhl-li by se pohybem obrys hracího pole a jsou-li políčka volná – pomocí funkce `povoleni_pohybu`. Pokud je pohyb dovolen, vykoná se funkce `pohyb` s konkrétními parametry.

Přerušeni od časovače obstarává periodický pokles tetromina. Pokud se v obsluze přerušeni zjistí, že již není možný posun tetromina dolů, je funkcí `kontrola_ploch` zjištěno, zda nebyla zaplněna některá plocha. Pokud ano, je tato plocha funkcí `mazani_ploch` smazána a plochy nad ní jsou posunuty o jednu dolů, přičemž nejvrchnější nová plocha je prázdná. Následně je zjištěno, jestli je v hracím poli místo pro vložení nového tetromina. Pokud ano, je nové tetromino vloženo, pokud místo není, je volána opět funkce `nova_hra`. Celý herní cyklus se takto neustále opakuje.

Detaily programu by měly být zřejmé z komentářů. Zdrojové kódy jsou umístěny na příloženém CD.

8 ZÁVĚR

Pro zobrazení prostorového hracího pole je navržen 3D LED displej. Má tvar kvádru, v jehož objemu jsou rozmístěny LED diody. Rozměry jsou 16 diod na výšku, 10 na šířku a 4 do hloubky. Bylo popsáno jeho vnitřní zapojení, které si klade za cíl co nejvíce snížit počet vývodů, kterými je displej ovládán. Bylo použito upravené maticové zapojení známé z 2D displejů. Počet vývodů potřebných pro rozsvícení libovolného obrazce je 56 a jsou ovládány dynamicky. Propojení displeje je využito pro mechanické upevnění diod, které je rovněž v práci popsáno.

Bylo probráno několik možností připojení displeje k mikrokontroléru. Ze dvou variant – použití mikrokontroléru s potřebným vysokým počtem vstupních a výstupních pinů a použití mikrokontroléru s menším počtem vstupních a výstupních pinů – byla vybrána druhá možnost. Zvolen byl mikrokontrolér ATmega8. Podrobně byly popsány možnosti zvýšení ovládatelných vývodů pomocí omezeného počtu pinů mikrokontroléru. Vybrána byla varianta s posuvnými registry a multiplexorem. Celý displej tak je řízen pomocí 8 výstupních pinů.

Pro zjišťování náklonu zařízení, kterým je ovládán posun tetromin ve hře byly vybrány mechanické spínače náklonu. Náklon je třeba zjišťovat ve čtyřech směrech, je nutné použít čtyři tyto spínače. Pro rychlý pád a otáčení tetromin kolem dvou os jsou použita tlačítka.

Zařízení bylo realizováno (viz přílohu C). Displej je dostatečně průhledný a hra je v něm přehledná. I když jsou diody napájeny pulzně, není patrné blikání.

Pro řízení hry, ovládání displeje, zjišťování stavu spínačů náklonu i tlačítek slouží program vykonávaný mikrokontrolérem. Program byl odladěn a otestovány jeho funkce. Hra je plně funkční. Dostupné jsou všechny běžné funkce známé z klasické verze tetrisu, jako je pohyb tetrominy vlevo a vpravo, jejich otáčení a rychlý pád dolů. Přidány jsou funkce pro pohyb vpřed a vzad a pro rotaci tetromin kolem svislé osy. Oproti 2D verzi se neodmazávají zaplněné řady ale plochy. Po skončení hry se zobrazí počet odmazaných ploch spolu s nejlepším výsledkem uloženým v paměti EEPROM. Zvolený mikrokontrolér výkonově zcela postačuje, taktován je pouze 1 MHz, maximální možný hodinový kmitočet je přitom 16 MHz.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] CMOO Internet Services [online]. [1999] [cit. 2009-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.cmoo.com/snor/weeds/Weeds_LockJaw_Pack_Electronica_60_Tetris.gif>.
- [2] KRAVEC, Martin. Analýza TETRISu ako hry dvoch hráčov. [s.l.], 2009. 44 s. Katedra Informatiky, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského, Bratislava. Vedoucí bakalářské práce L'uboš Steskal. Dostupný z WWW: <http://www.dcs.fmph.uniba.sk/bakalarky/obhajene/getfile.php/bak_prac.pdf?id=98&fid=189&type=application%2Fpdf>.
- [3] DOBROVSKÝ, Pavel. Tetris. *LEVEL*. 2006, č. 136, s. 125-135.
- [4] *SUPER BLOG.JP* [online]. [2008] , 14.1:2008 [cit. 2009-11-28]. Text v angličtině a japonštině. Dostupný z WWW: <<http://www.superblog.jp/mt/archives/2008/01/14-194732.php>>.
- [5] *The Linux game tome* [online]. c1999 [cit. 2009-11-28]. Text v angličtině. Dostupný z WWW: <<http://www.happypenguin.org/show?Gnome%203D%20Tetris>>.
- [6] Freepatentsonline: Volumetric display [online]. 2001 [cit. 2009-11-28]. Text v angličtině. Dostupný z WWW: <<http://www.freepatentsonline.com/6177913.html>>.
- [7] FRÝZA, Tomáš. *Mikroprocesorová technika*. [s.l.] : [s.n.], 2008. 164 s.
- [8] *EHow : How To Do Just About Everything* [online]. c1999 [cit. 2009-11-28]. Dostupný z WWW: <http://www.ehow.com/how-does_4927604_dot-matrix-printers-work.html>.
- [9] *5x5x5 LED Cube - Orientation Independent 3D Display* [online]. [cit. 2009-11-29]. Dostupný z WWW: <http://instruct1.cit.cornell.edu/courses/ee476/FinalProjects/s2008/pae26_rwc28/pae26_rwc28/index.html#Resources>.
- [10] *Digi-Key* [online]. c2009 [cit. 2009-12-13]. Dostupný z WWW: <<http://tw.digikey.com/1/3/blue-t-1-5-leds>>.
- [11] *NXP Semiconductors : HEF4067BP 16- channel analogue multiplexer/demultiplexer* [online]. c2006 [cit. 2009-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/HEF4067B_CNV.pdf>.
- [12] *Texas Instruments : CD74HC4051 High-Speed CMOS Logic Analog Multiplexer/Demultiplexer* [online]. c1999 [cit. 2009-12-15]. Dostupný z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc4051.pdf>>.
- [13] LACIÁN, Petr, MACHÁČEK, Ivan. *Ukázkový projekt do MMIA: LED CUBE 8x8x8* [online]. 2009 [cit. 2009-11-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.urel.feec.vutbr.cz/MMIA/2009/lecian/index.html>>.
- [14] *Texas Instruments : CD74HC595 8-bit Shift Register* [online]. c1999 [cit. 2009-12-15]. Dostupný z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc595.pdf>>.
- [15] HÁJEK, Tomáš. *Snímače náklonu*. [s.l.], 2008. 71 s. , 13. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí bakalářské práce Petr Beneš.
- [16] *Comus International Bvba : CW1300-1 Tilt switch / Motion sensor* [online]. [2000] [cit. 2009-12-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.assemtech.co.uk/products/CW1300-1.pdf>>.
- [17] VERNER, Lukáš. *Jednoduchý programátor jednočipových procesorů*. [s.l.], 2009. 57 s. , 14. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí bakalářské práce Vít Daneček.

- [18] *Atmel : ATmega8* [online]. c1999 [cit. 2009-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf>.
- [19] MANN, Burkhard. *C pro mikrokontroléry*. [s.l.] : [s.n.], 2003. 280 s. ISBN 80-7300-077-6.
- [20] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. [s.l.] : [s.n.], 2004. 160 s.
- [21] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry Atmel AVR AT90S*. [s.l.] : [s.n.], 2003. 375s

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

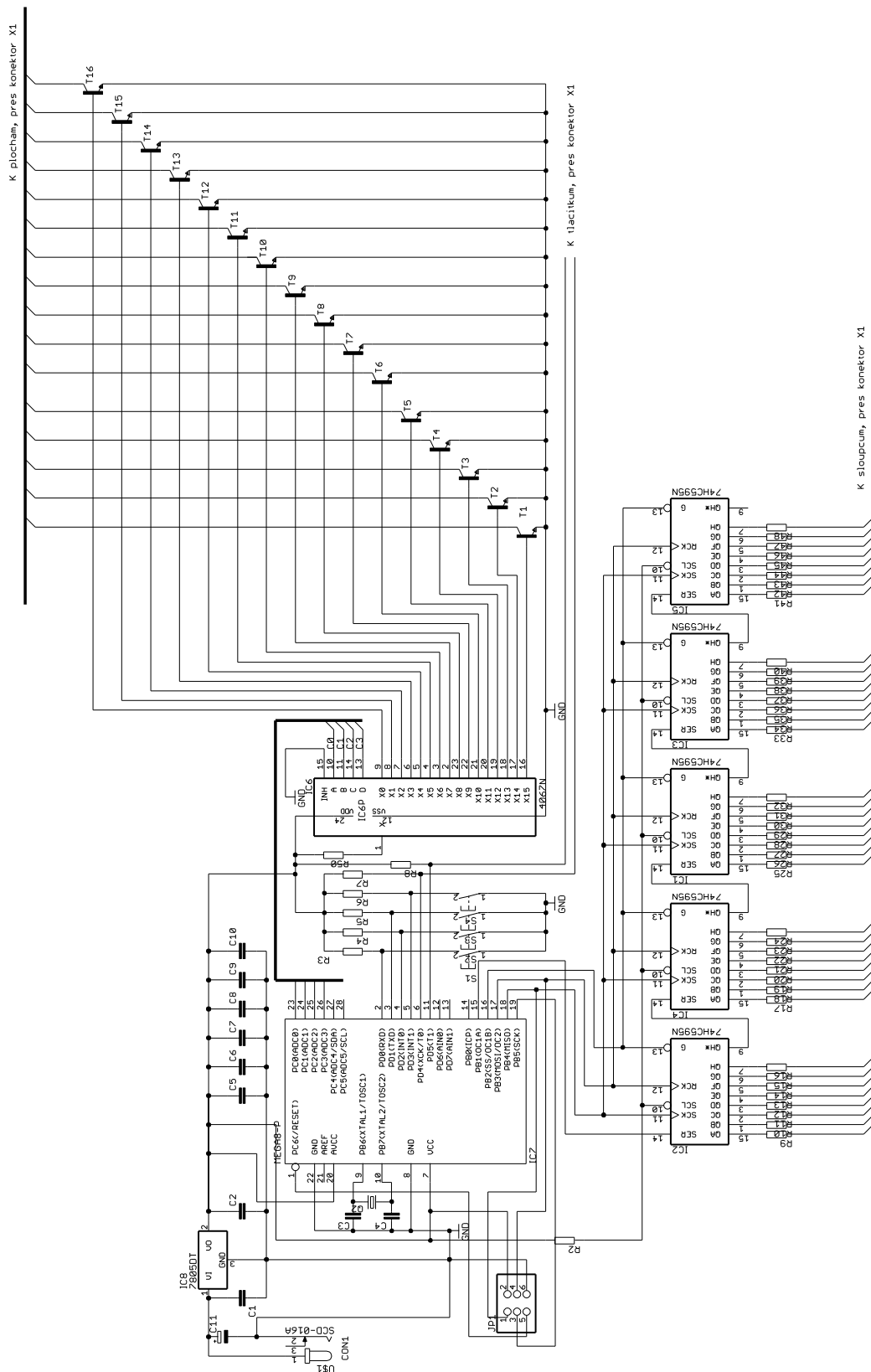
τ	Doba trvání proudového pulzu diodou
T	Perioda opakování pulzů
I_d	Proud diodou
2D	dvojměrné
3D	trojměrné
LED	Light Emitting Diode, světlo vyzařující dioda
SMD	Surface Mount Device, zařízení pro povrchovou montáž
PC	Personal Computer, osobní počítač
LCD	Liquid Crystal Display, displej z tekutých krystalů
RGB	Red, green, blue, označení barev červené, zelené a modré
I ² C	Inter-Integrated Circuit, sériová sběrnice
TWI	Two-wire Serial Interface, sériová sběrnice, obdoba I ² C
SCL	Serial Clock, vstup pro hodinový signál pro sběrnici I ² C
SDA	Serial Data, vstup pro sériová data pro sběrnici I ² C
SRCLK	Shift Register Clock, vstup pro hodinový signál posuvného registru
RCLK	Register Clock, vstup pro hodinový signál výstupního registru
OE	Output Enable, vstup pro odblokování výstupních pinů
μ C	Mikrokontrolér
MPU, μ P	Mikropočítač
PWM	Pulse Width Modulation, pulzně šířková modulace
ISP	In System Programming, systém programování přímo v aplikaci
SPI	Serial Peripheral Interface, rozhraní pro komunikaci s μ C
MISO	Master In – Slave Out, datový signál ve směru Slave – Master
MOSI	Master Out – Slave In, datový signál ve směru Master – Slave
SCK	Serial Clock, hodinový signál
RISC	Reduced Instruction Set Computer, omezená instrukční sada
CISC	Complex Instruction Set Computer, úplná instrukční sada
UART	Universal Asynchronous Receiver/transmitter, standart pro asynchronní komunikaci
GND	Zemní svorka
GCC	GNU Compiler Collection, překladač ze sady projektu GNU
CD	kompaktní disk

SEZNAM PŘÍLOH

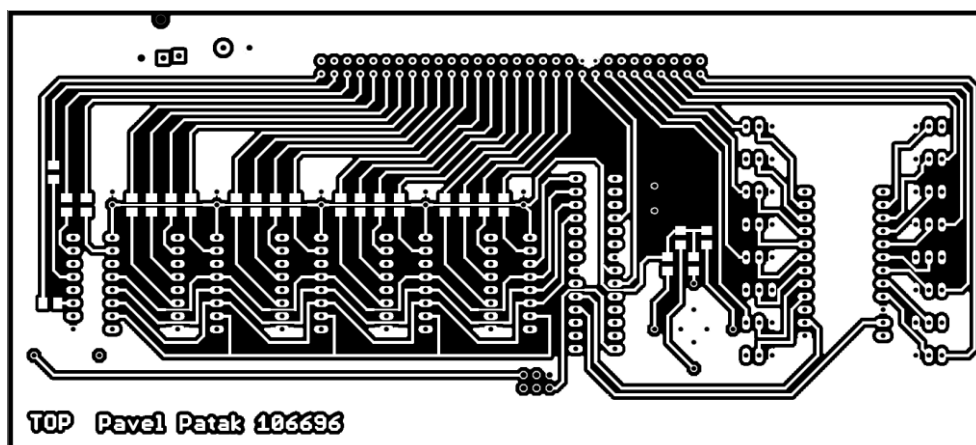
A	Návrh zařízení	40
A.1	Obvodové zapojení	40
A.2	Deska plošného spoje 1 – top (strana součástek).....	41
A.3	Deska plošného spoje 1 – bottom (strana spojů)	41
A.4	Osazovací plán plošného spoje 1 – top (strana součástek)	41
A.5	Osazovací plán plošného spoje 1 – bottom (strana spojů).....	42
A.6	Deska plošného spoje 2 – top (strana součástek).....	42
A.7	Deska plošného spoje 2 – bottom (strana spojů)	42
A.8	Osazovací plán plošného spoje 2 – top (strana součástek)	43
B	Seznam součástek	43
C	Fotogalerie	44

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení

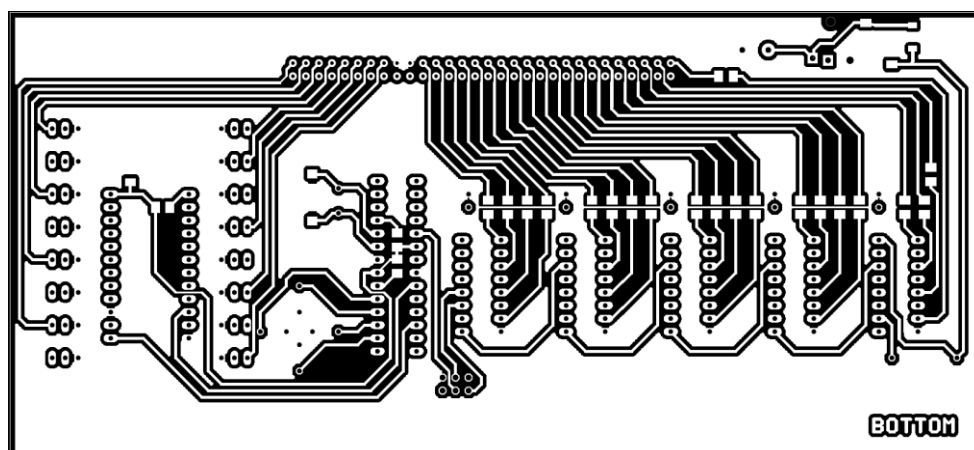


A.2 Deska plošného spoje 1 – top (strana součástek)



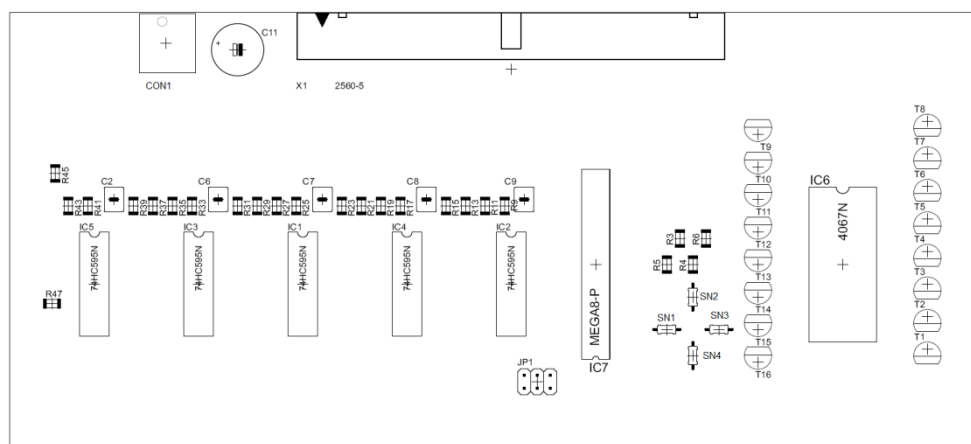
Rozměry desky 190×86 [mm], měřítko M1:1,5.

A.3 Deska plošného spoje 1 – bottom (strana spojů)

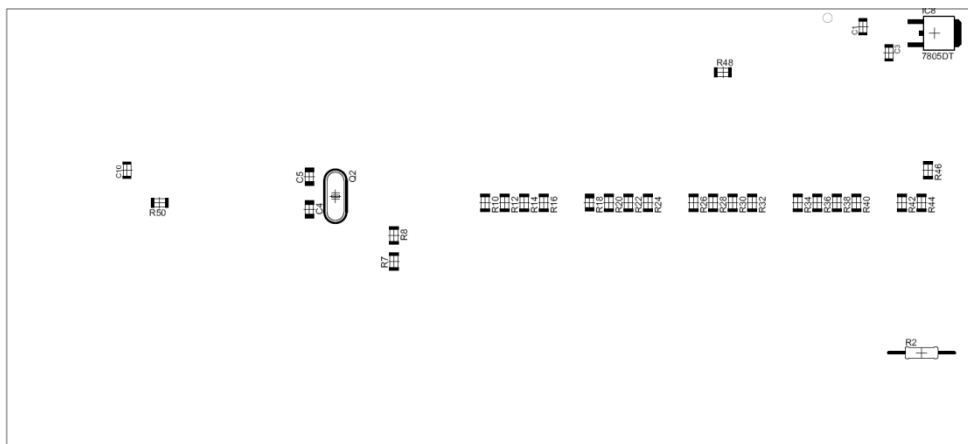


Rozměry desky 190×86 [mm], měřítko M1:1,5.

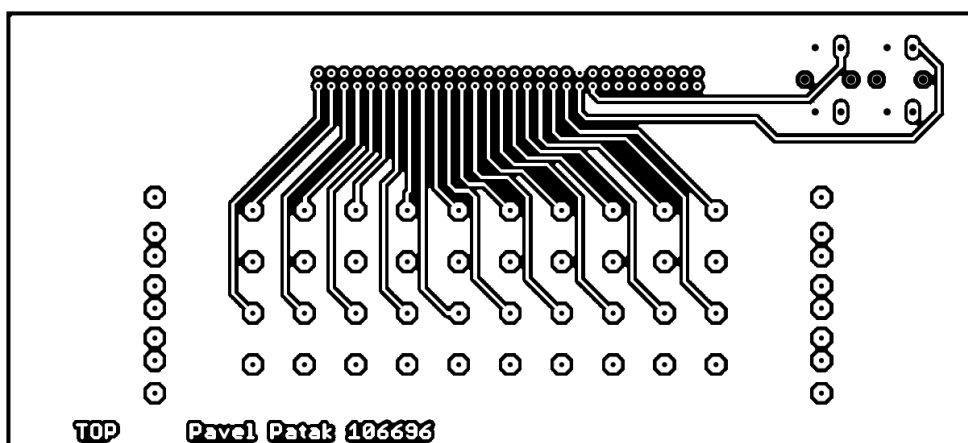
A.4 Osazovací plán plošného spoje 1 – top (strana součástek)



A.5 Osazovací plán plošného spoje 1 – bottom (strana spojů)

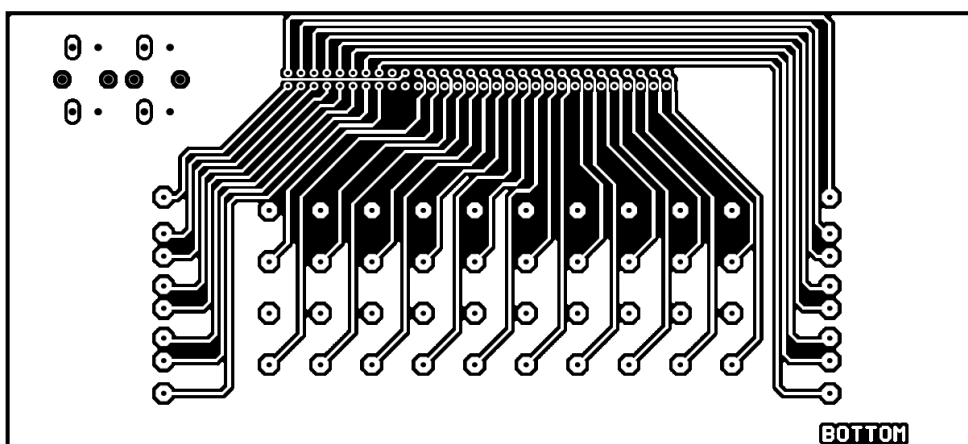


A.6 Deska plošného spoje 2 – top (strana součástek)



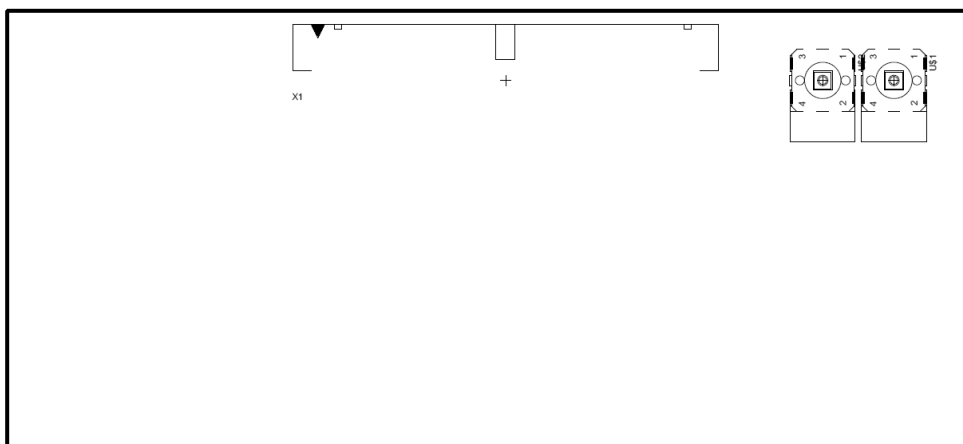
Rozměry desky 190×86 [mm], měřítko M1:1,5.

A.7 Deska plošného spoje 2 – bottom (strana spojů)



Rozměry desky 190×86 [mm], měřítko M1:1,5.

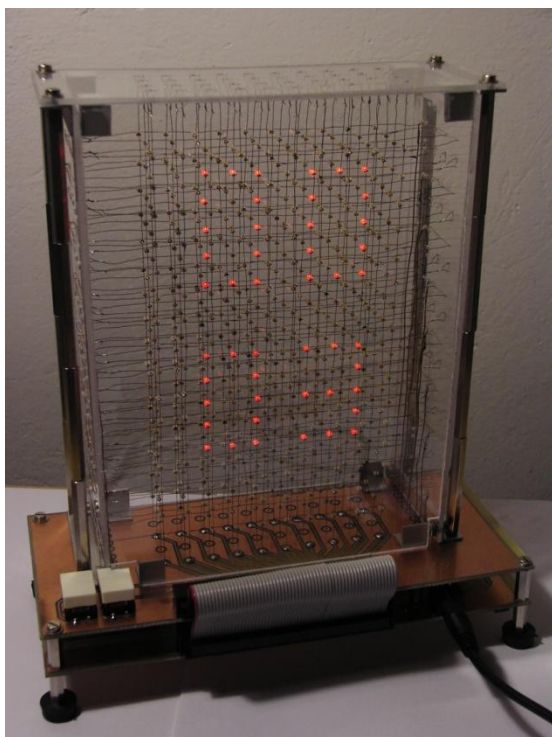
A.8 Osazovací plán plošného spoje 2 – top (strana součástek)



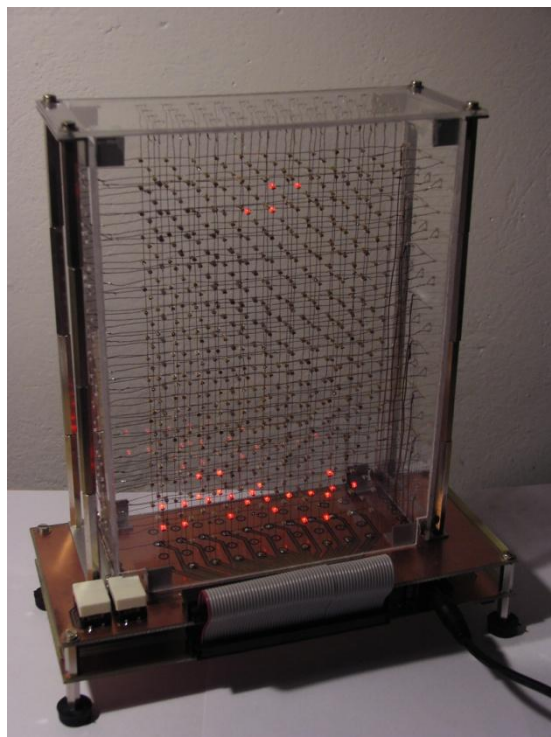
B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Popis
IC1 - IC5	74HC595	8 bitový posuvný registr
IC6	HEF4067BP	16 kanálový multiplexor
IC7	ATmega8	Mikrokontrolér
IC8	7805	Stabilizátor napětí 5V
T1 – T16	BC 337 - 25	Tranzistor NPN
C1 – C2	33 pF	Kondenzátor
C3 – C4	22 pF	Kondenzátor
C5 – C10	100 nF	Kondenzátor
C11	47 uF	Elektrolytický kondenzátor
R1 – R8, R49	1 k Ω	Rezistor
R9 – R48	560 Ω	Rezistor
S1 – S4	P-CW-1300-1	Spínač náklonu
CON1		Konektor napájení
JP1		Konektor, 6 pinů
X1		Konektor, 60 pinů

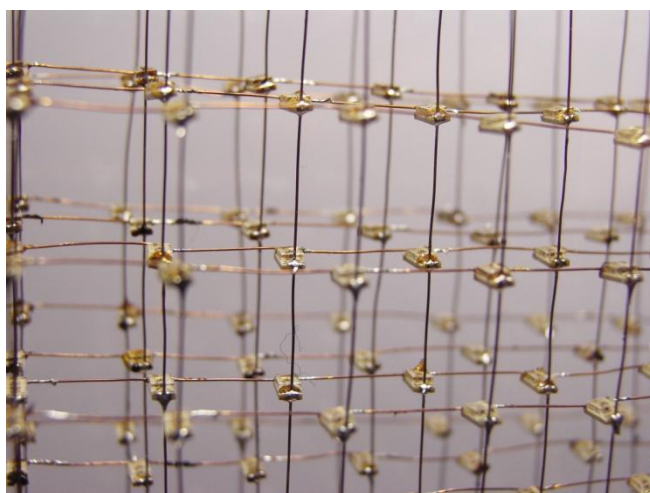
C FOTOGALERIE



Zobrazení skóre - počtu odmazaných ploch.
Nahoře skóre právě uhrané, dole nejvyšší.



Ukázka z průběhu hry.



Detail displeje.