



Fakulta Elektrotechnická
Katedra radioelektroniky

Bakalářská práce

Interaktivní hra využívající IoT prostředky

Interactive Game Based on IoT Technology

Jan Závorka

Vedoucí práce: **Ing. Stanislav Vítěk Ph.D.**

Studijní program: **Elektronika a komunikace**

Praha, Květen 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Závorka** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **466133**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra radioelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Interaktivní hra využívající IoT prostředky

Název bakalářské práce anglicky:

Interactive Game Based on IoT Technology

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je návrh a implementace platformy, která bude demonstrovat možnosti využití levných a energeticky nenáročných zařízení v IoT sítích. Aplikace bude mít podobu interaktivní hry pro více hráčů. Koncová zařízení budou založena na kitu Arduino (nebo podobném) s potřebnými periferiemi (dotykový displej) a budou pomocí protokolu navrženém studentem komunikovat s centrální jednotkou.

Seznam doporučené literatury:

- [1] WAHER, Peter. Learning internet of things. Packt Publishing Ltd, 2015.
[2] IEEE INTERNET INITIATIVE, et al. Towards a definition of the Internet of Things (IoT). Revision-1, on-line: http://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Stanislav Vítek, Ph.D., katedra radioelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne 14. května 2019

.....

Podpis

Poděkování

Abstrakt

Tato práce se zabývá vývojem a výrobou jednoduchého zařízení, které umožňuje demonstrovat využití energeticky nenáročných zařízení v IoT sítích. Zařízení má podobu jednoduché hry pro více hráčů - piškvorek a je postaveno na platzformě Arduino. Zařízení je realizováno pomocí tří koncových zařízení (klientů) s dotykovými displeji pro interakci s uživatelem a jednoho centrálního řídicího prvku (serveru). V práci je popsán konkrétní použitý hardware včetně návrhu krabiček. Dále je zde podrobně rozepsán vytvořený software včetně možnosti úprav pro použití s jinými moduly. Nakonec je uveden i návod na oživení a obsluhu.

Klíčová slova: Arduino Ethernet, IoT demonstrátor,

Abstract

Nedokončeno, doplnit !!!

Obsah

1	Úvod	2
2	Hardware	3
2.1	Zařízení typu server	3
2.2	Zařízení typu klient	5
3	Popis softwaru	7
3.1	Knihovny	7
3.2	Konfigurační hodnoty	7
3.2.1	Konfigurace serveru	8
3.2.2	Konfigurace klienta	9
3.3	Komunikace server - klient	12
3.4	Komunikace klient - server	12
3.5	Sestavení spojení	14
3.5.1	Příprava serveru	14
3.5.2	Příprava klient	14
3.5.3	Sestavení pojení	15
3.6	Řízení průběhu hry	15
4	Oživení a obsluha	17
4.1	Ovládání klienta	17
4.2	Ovládání serveru	20
5	Závěr	23
	Reference	25
	Seznam použitého softwaru	26
A	Zdrojový kód server	27
B	Zdrojový kód klient	28
C	STL soubory krabiček	29

Seznam obrázků

1	Schéma zapojení jednotlivých zařízení do sítě, zdroj [1, 2, 3, 4]	3
2	Schéma zapojení periferií u serveru	4
3	Návrh krabičky pro server	4
4	Zkompletovaná krabička pro server	5
5	Návrh krabičky pro klienta	6
6	Zkompletovaná krabička pro klienta	6
7	Obrazovka klienta po úspěšném spuštění	17
8	Obrazovka klienta při připojování k serveru	18
9	Obrazovky dvou různých klientů po úspěšném připojení k piškvorkovému serveru	18
10	Obrazovka klienta po započaté hře (a) čekající hráč, (b) hrající hráč . .	19
11	Rozehraná hra dvou hráčů	19
12	Zobrazená hláška na displeji výherce (a) a ostatních hráčů (b), barva textu se shoduje s barvou vítězného hráče	20

Seznam tabulek

1	Rozložení pole <i>board</i> pro přenos dat a řízení hry mezi serverem a klientem	13
2	Rozložení packetu pro komunikaci klient - server	14
3	Seznam příkazů dostupných pro server	21
4	Význam stavů svítivé diody na serveru,	21

1 Úvod

Cílem práce bylo vytvořit zařízení, které by demonstrovalo využití jednodeskových počítačů v IoT sítích. Pro realizaci byla zvolena platforma Arduino. Důvodem pro zvolení této platformy bylo především její rozšíření mezi uživateli a dostupnost doplňkových periferií. Samotné zařízení by mělo mít funkci hry pro více hráčů. Koncová zařízení budou vybavena budou vybavena dotykovým displejem pro interakci s uživatelem. Celá hra pak bude řízena jednou centrální jednotkou taktéž založenou na platformě Arduino. Komunikace mezi jednotlivými zařízeními pak bude probíhat po Ethernetové síti. Pro dobrou názornost a nenáročnost (co se týče složitosti implementace, tak i potřebného hardwarového výkonu) byla zvolena hra piškvorky.

Nějaké obecné věci o IoT

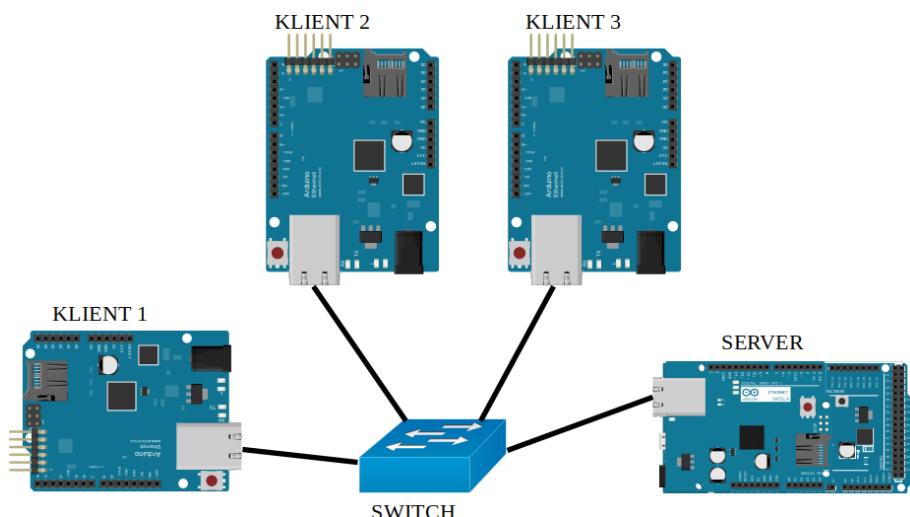
Samotný pojem IoT („Internet of things“ - Internet věcí) označuje propojení fyzických zařízení prostřednictvím internetu. Jako koncová fyzická zařízení jsou většinou používány různé vestavěné systémy vybavené samotným řídicím mikrokontrolérem a řadou senzorů. Tato zařízení dokáží komunikovat jak mezi sebou, tak se zeřízením uživatele (mobilním telefon) nebo dokáží předávat naměřená data na cloud.

Nedokončeno, doplnit !!!

2 Hardware

Celá platforma se skládá z jednoho řídicího prvku (viz. kapitola 2.1) a třech (maximální počet klientů je hardwarově limitován na čtyři) klientských zařízení (viz. kapitola 2.2). Datové spojení je realizováno hvězdicovou topologií (schéma na obrázku 1). Jako centrální prvek byl použit switch D-Link DGS-105. Celá demonstrační sestava se pak skládá z:

- 1x switch D-Link DGS-105
- 1x server s Arduino DUE
- 3x klient s Arduino Ethernet a dotykovým displejem
- 4x propojuvací UTP kabel
- 1x napájecí adaptér pro switch (5 V/1 A součástí balení)
- 4x napájecí adaptér 12 V/1500 mA



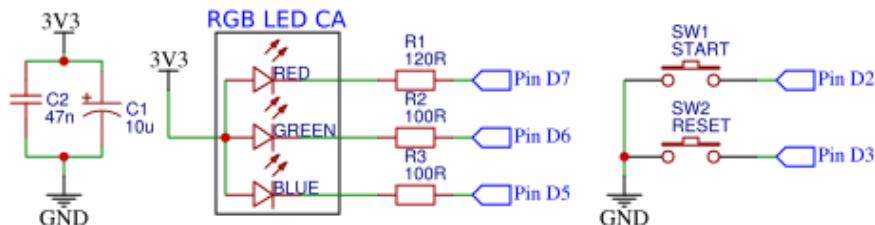
Obrázek 1: Schéma zapojení jednotlivých zařízení do sítě, zdroj [1, 2, 3, 4]

2.1 Zařízení typu server

Zařízení je založeno na desce *Arduino Due*, které obsahuje mikrokontrolér Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 s 512 kB flash paměti a nabízí dostatečný výkon pro správné fungování serveru. Původní varianta totiž počítala s nasazením desky *Arduino Ethernet* i jako serveru. To se ovšem vzhledem k omezeným prostředkům ukázalo jako problematické, proto byla zvolena právě deska *Arduino Due*.

Pro připojení do sítě je použit Ethernetový shield s čipem Wiznet W5100, který je přímo napojen na Arduino. Tímto je dána ona limitace maximálně na 4 hráče, protože dle datasheetu výrobce čipu [6] je maximální počet spojení právě čtyři. Ethernetový shield komunikuje s Arduinem pomocí SPI sběrnicí

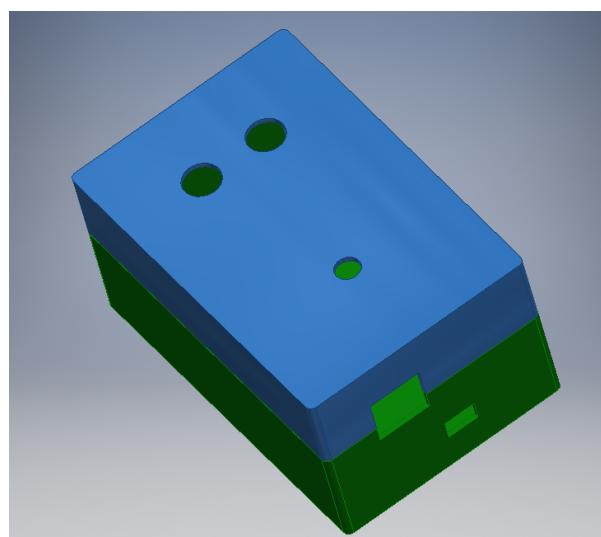
Pro pohodlné ovládání jsou k serveru připojena dvě tlačítka a jedna barevná svítivá dioda. Význam jednotlivých stavů svítivé diody a funkce tlačítek je popsána v kapitole 4. Propojení těchto periferií s Arduinem je realizováno pomocí jednostrané DPS, schéma zapojení je pak na obrázku 2.



Obrázek 2: Schéma zapojení periferií u serveru

Napájení je řešeno externím adaptérem, dle stránek výrobce [5] je možné použít napětí 6 - 16 V (využívá se interní stabilizátor), přízemž odběr je kolem 140 mA při napájení 12 V. V případě, že je pro ovládání použita sériová linka (server je připojen USB kabelem k počítači, ovládání tímto způsobem je popsáno v kapitole 4), postačuje napájení dodané přes USB kabel a není potřeba připojovat externí napájecí zdroj.

Celé zařízení je pak umístěno v krabičce jejíž návrh je na obrázku 3 a realizace na obrázku 4. Krabička byla navrhнута в programu Autodesk Inventor Professional 2019 Student Edition a realizovaná 3D tiskem na tiskárně Original Prusa i3 MK3S. Krabička je osazena červeným a zeleným tlačítkem, barevnou sívitou 5 mm diodou (se společnou anodou) a souosým napájecím konektorem 5,5x2,1 mm. Pro upevnění Arduina jsou použity šrouby M2,5x10 a závitové vložky M2,5x6 vtavené do připravených otvorů v krabičce. Arduino deska sice nabízí montážní otvory o průměru 3 mm, ale vzhledem k rozložení součástek zde není dostatek místa pro hlavu šroubu M3.



Obrázek 3: Návrh krabičky pro server



Obrázek 4: Zkompletovaná krabička pro server

2.2 Zařízení typu klient

Zařízení je založeno na desce Arduino Ethernet, která je vybavena mikrokontrolérem ATmega328 s 32 kB flash paměti. Tato deska byla zvolena především kvůli tomu, že má vestavěný ethernetový kontrolér, který tak nezabírá piny pro připojení shieldu s displejem. Malá flash paměť se však během vývoje ukázala jako značně limitující, protože při nahrání všech potřebných knihoven (popsáno v kapitole 3.1) zůstalo k dispozici 30 % programové paměti. I z tohoto důvodu byla zvolena jako hra piškvorky, která není programově příliš složitá a také bylo nutné vynechat složitější menu například s nastavením barvy nebo změny IP adresy serveru (to se nyní musí provádět změnou v kódu a přeprogramováním Arduina, více v kapitole 3.2.2).

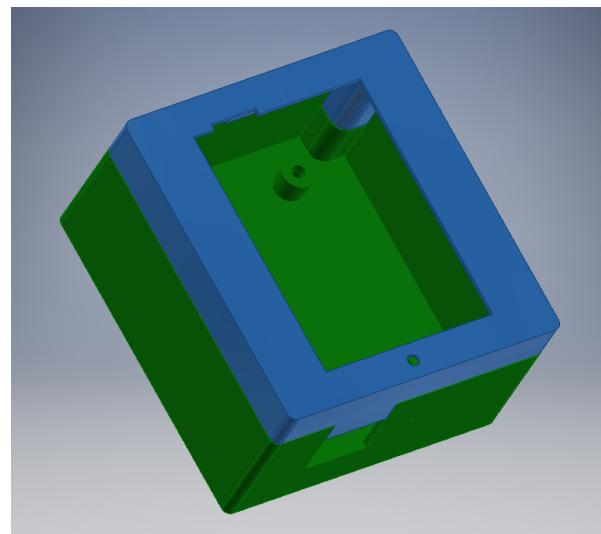
Jak už bylo zmíněno výše, tato deska má vestavěný ethernet kontrolér WIZnet, konkrétně typ W5100. U klienta není maximální počet spojení limitující (klient drží pouze jedno spojení se serverem), jedinou nevýhodou kontroléru W5100 tak zůstává, že neobsahuje registr, ve kterém je uložena informace o fyzickém připojení ethernetového kabelu k desce [6]. Tím je zkomplikována detekce připojení a odpojení kabelu a zůstává tak pouze možnost vizuální kontroly pomocí svítivých diod na konektoru RJ-45.

Pro interakci s uživatelem je klient vybaven 2,4" barevným TFT LCD displejem s rozlišením 320x240 pixelů s rezistivní dotykovou plochou. Displej je vybaven řadičem SUM74HC245T. Vzhledem k rozměrům (výšce) RJ-45 konektoru, který je umístěn na desce, je nutné pro správné připojení použít lištu oboustrannými kolíky o délce kolíku minimálně 15 mm. Protože u displejů použitých v tomto projektu byly kolíky připájeny už od výrobce, byla dodatečně vyrobená patice s dutinkové lišty a lišty s oboustrannými kolíky.

Pro napájení byl zvolen externí napájecí adaptér, avšak připojení na integrovaný stabilizátor není možné, protože Arduino s displejem při 5 V odebírá přibližně 400 mA, což integrovaný stabilizátor nedokáže poskytnout (vlivem velého ztrátového výkonu dochází k jeho značnému zahřívání). Napájení přímo napětím 5 V není také příliš vhodné, protože vlivem například ztrát přívodních vodičů může dojít ke kolísání napětí,

tím dojde i k pohybu reference AD převodníku připojenému k dotykové vrstvě displeje a tak může docházet k nesprávnému vyhodnocení stisku (může se lišit reálné místo stisku od toh, které vyhodnotil mikrokontrolér). Jako nejlepší varianta se ukázalo použití modulu se snižujícím DC-DC měničem. Modul obsahuje spínací regulátor MP1584 a dle dodavatele je schopen pracovat s napětím 6 - 25 V (při výstupním napětí 5 V) a dodat proud až 1,5 A, což je pro tuto aplikaci dostačující.

Stejně jako v případě serveru je celé zařízení umístěno ve vytištěné krabičce, návrh a realizovaná krabička jsou na obrázcích 5, 6. Princip uchycení Arduina je stejný jako v případě serveru, pro napájení je opět osazen souosý napájecí konektor 5,5x2,1 mm. Dále je z boku výřez pro konektor RJ-45 pro připojení do ethernetové sítě a na vrchu se nachází výřez pro displej vedle kterého se je umístěn otvor pro přístup k resetovacímu tlačítku.



Obrázek 5: Návrh krabičky pro klienta



Obrázek 6: Zkompletovaná krabička pro klienta

3 Popis softwaru

3.1 Knihovny

Pro realizaci byly použity následující knihovny:

- *Ethernet library*: knihovna slouží pro připojení Arduina k internetu. Jak je uvedeno na webových stránkách [7] jsou podporovány desky a shieldy založené na konrolérech W5100, W5200, W5500. Tato knihovna je použita jak u serveru tak i u klientů. U serveru připojený ethernet shield obsadí piny 10, 11, 12, 13. Komunikace Arduina se shieldem (ethernet kontrolérem) probíhá po SPI sběrnici.
- *MCUFRIEND_kbv library*: knihovna slouží k ovládání displeje u klienta. Pro správnou funkci je nutné, jak se zmiňuje autor na domovské stránce knihovny [8], mít k dispozici také knihovnu *Adafruit_GFX* [9]. Pro použití displeje se nejdříve vytvoří instance třídy *UTFGLUE*, kde je nutné správně definovat piny pro daný shield, v tomto případě *UTFTGLUE LCD(0x0154, A2, A1, A3, A4, A0);*. Pro řízení displeje jsou pak volány patřičné metody formou *LCD.metoda(parametry);*, například pro vyplnění celého displeje černou *LCD.clrScr();*. Pomocí ukázkového zdrojového kódu z této knihovny (*examples/TouchScreen_calibr_kbv*) byly získány kalibrační hodnoty pro dotykovou plochu displeje.
- *Adafruit_TouchScreen*: slouží k zaznamenání hodnot ze čtyřvodičové dotykové plochy. Stejně jako u knihovny pro displej je nejdříve nutné vytvořit instanci dané třídy *TouchScreen* v tomto případě tak *TouchScreen Touch(XP, YP, XM, YM, 300);*, kde *XP, YP, XM, YM* jsou piny, na které je vyvedena dotyková plocha (pro použitý shield jsou to: *XP = 6, YP = A1, XM = A2, YM = 7*). Hodnota 300 by pak dle popisu knihovny [10] označuje elektrický odpor dotykové plochy X (měřeno multimetrem mezi piny XP a XM). Pro použité shiledy je hodnota přibližně 300Ω . Dále je třeba určit minimální a maximální tlak pro vyhodnocení dotyku pomocí *#define MINPRESSURE* a *#define MAXPRESSURE*. Vyhovující jsou hodnoty uvedené v ukázkových kódech pro knihovnu a to konkrétně 10 pro *MINPRESSURE* a 1000 pro *MAXPRESSURE*.
- *SimpleTimer Library for Arduino*: jednoduchá knihovna, která slouží k řízení určitých časových událostí (kde není třeba velká přesnost), například pro zobrazení a skrytí chybových hlášek, blikání indikační svítivé diody u serveru. Dle webových stránek [11] je knihovna založená na funkci *millis();* (vrací počet milisekund od začátku běhu programu) a nevyužívá přerušení ani harwarový timer.

3.2 Konfigurační hodnoty

V této kapitole jsou popsány jednotlivé konfigurační hodnoty, která by mohlo být třeba upravit pro správnou funkci celého zařízení. Změny se vždy provádí přímo ve zdrojovém kódu, vždy pouze v hlavní souboru: *piskvorky_MP_client.ino* pro klienta a *piskvorky_MP_server.ino* pro server. Jak už bylo zmíněno v kapitole 2.2, nebylo možné, kvůli malé paměti pro program, implementovat menu, proto je nutné změny

provádět přímo ve zdrojovém kódu a dané zařízení pak přeprogramovat. V případě serveru je k dispozici microUSB konektor, který je dostupný skrze obdélníkový otvor na boku zařízení. V případě klienta je nutné demontovat víko, odpojit napájecí modul (v modré bužírce) a připojit Arduino k počítači pomocí převodníku USB - UART.

Jednotlivé konfigurační bloky jsou vždy ohraničeny komentáři mezi nimiž se nacházejí jednotlivé proměnné a popis jejich funkce a omezení hodnot. Níže je uveden příklad ohraničení bloku pro nastavení sítě (IP adresa a port):

```
/* ----- KONFIGURACE - nastavení sítě -----*/
/* ----- KONEC - nastavení sítě -----*/
```

3.2.1 Konfigurace serveru

V prvním případě je nutné vybrat síťový režim, v případě *ETHMODE_STATIC* je použita IP adresa, která je uložena v proměnné *serverAddress*. V případě volby *ETHMODE_DHCP* je adresa přiřazena DHCP serverem a je nutné dodržet aby se přiřazená adresa neměnila a byla zároveň nastavená u jednotlivých klientů.

Dále je třeba nastavit příslušnou MAC adresu, v případě použitého nebyla přiřazena výrobcem, takže je nutné nějakou zvolit. Vzhledem k tomu, že zařízení se provozuje na samostatné lokální síti, byla MAC adresa vybrána náhodně, v případě, že v síti jsou další zařízení, je možné vybrat MAC adresu například podle postupu popsáného v [13]. Vezme se MAC adresa nějaké zařízení v síti a poslední bajt se zvětší o jedna a takto vzniklá MAC adresa se přiřadí shieldu. Vybraná MAC adresa je v poli *mac*.

Jako poslední je potřeba přiřadit port, na kterém budou zařízení komunikovat. Dle normy [12] je možné zvolit jakoukýkoliv dynamický port (49152-65535), protože tyto porty nebudou nikdy přiřazeny žádné službě. Port je uložen v proměnné *localPort* a stejný port musí být nastaven i u clientů.

```
/* !!! ----- KONFIGURACE - nastavení ethernetu ----- !!! */
#define ETHMODE_STATIC //Variandy: ETHMODE_DHCP; ETHMODE_STATIC
byte mac[] = {
    0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEE, 0xFE, 0x00
};
IPAddress serverAddress(10, 0, 0, 8);
unsigned int localPort = 3333;
/* !!! ----- KONEC nastavení ethernetu ----- !!! */
```

Blok konfigurace ethernet shieldu pro server

Jak je popsáno v kapitole 2.1, jsou k serveru připojena dvě tlačítka a jedna barevná svítivá dioda. V případě, že je nutné tyto periferie připojit jinak, je možné změnit čísla pinů v konfiguračním bloku *nastavení pinů a LED*. Tlačítka využívají interní pull-up rezistory a jejich zapojení je uvedeno na obrázku 2.

```
/* !!! ----- KONFIGURACE - nastavení pinu a LED ----- !!! */
//Piny tlačítka start a reset
#define startPIN 2
#define resetPIN 3
```

```

//  

//Piny na kterych jsou pripojenr jednotlive barvy LED, musi podporovat  

//PWM  

#define LED_red 7  

#define LED_green 5  

#define LED_blue 6  

//  

//Nastaveni maximalniho jasu vsech LED, interval <0; 100>  

const byte LED_br = 40;  

/* !!! ----- KONEC nastaveni pinu a LED ----- !!! */

```

Blok konfigurace pinů pro svítivou diodu a tlačítka

Jako poslední je možné nastavit jakou barvu budou mít jednotliví klienti. V ukázkové případě jsou barvy přiřazeny z výběru, který je uveden v kódu, ale je možné také definovat vlastní ve formátu RGB565 (16-bit barva).

```

/* !!! ----- KONFIGURACE - nastaveni barev hracu ----- !!!  

 */  

#define PLAYER1COLOR RED           //0xF800  

#define PLAYER2COLOR GREEN         //0x07E0  

#define PLAYER3COLOR PURPLE        //0x780F  

#define PLAYER4COLOR GREENYELLOW   //0xAFE5  

#define PLAYER5COLOR OLIVE          //0x7BE0  

/* !!! ----- KONEC nastaveni barev hracu ----- !!! */

```

Blok konfigurace jednotlivých barev pro klienty/hráče

3.2.2 Konfigurace klienta

Klientů se v celé sestavě nachází několik (v tomto případě tři) a liší se pouze určitým nastavením (IP adresa, MAC adresa, kalibrační hodnoty displeje) proto jsou vytvořeny profily pro jednotlivé klienty (softwarově omezeno na pět). Každému profilu se nastaví požadované parametry a při nahrávání programu do Arduina se pak profily mění pomocí `#define CLIENTx`, kde x je číslo jednotlivých klientů/profilů. Pokud není zvolen žádný profil, použití je defaultní hodnoty a uživatel je o tom informován při překladu pomocí direktivy `#warning` (zobrazí se hlášení, ale překlad neukončí).

```

/* ----- KONFIGURACE - nastaveni schemat-----*/  

#define CLIENT1 //Vyber profilu pro klienta  

/* ----- KONEC - nastaveni schemat-----*/

```

Blok výběru profilu pro klienta

V této části se přiřazují jednotlivé MAC adresy daným profilům. Výhodou oficiálních Arduino Ethernet desek je, že mají MAC adresu přidělenou výrobcem a je možné jí nalézt na bílém štítku ze spodní strany.

```

#ifndef CLIENT1
//Klient 1
byte mac[] = {

```

```

    0x90, 0xA2, 0xDA, 0x11, 0x08, 0x18
};

#if defined(CLIENT2)
//Klient 2
byte mac[] = {
    0x90, 0xA2, 0xDA, 0x11, 0x09, 0x78
};
#endif defined(CLIENT3)
//Klient 3
byte mac[] = {
    0x90, 0xA2, 0xDA, 0x11, 0x08, 0xA0
};
#endif defined(CLIENT4)
//Klient 4
byte mac[] = {
    0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEE, 0xFE, 0xBD
};
#endif defined(CLIENT5)
//Klient 5
byte mac[] = {
    0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEE, 0xFE, 0xAD
};
#else
//Defaultni hodnoty
#warning "Je pouzita defaultni MAC adresa"
byte mac [] = {
    0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEE, 0xFE, 0xAB
}
#endif
/* ----- KONEC - nastaveni mac adres-----*/

```

Blok přiřazení MAC adres jednotlivým klientským profilům

Stejně jako v případě serveru i zde je možné vybrat ze dvou režimů sítě a to *ETHMODE_STATIC* a *ETHMODE_DHCP*. V případě volby *ETHMODE_DHCP* není na adresu přiřazenou DHCP serverem kladen žádný zvláštní nárok. V případě použití *ETHMODE_STATIC* je ještě nutné dodefinovat IP adresy pro jednotlivé klienty. Opět lze s výhodou využít profilů, pokud se použije defaultní, je o tom uživatel opět při překladu informován. Kromě toho je ještě nutné doplnit IP adresu serveru, ke kterému se budou klienti připojovat. Ta byla nastavena při konfiguraci serveru (kapitola 3.2.1) stejně tak jako port, který je také nutné zvolit stejný.

```

/* ----- KONFIGURACE - nastaveni site -----*/
#define ETHMODE_STATIC //Variandy: ETHMODE_DHCP; ETHMODE_STATIC

#ifndef ETHMODE_STATIC
#ifndef CLIENT1
IPAddress clientAddress(10,0,0,138);

#endif defined(CLIENT2)
IPAddress clientAddress(10,0,0,139);

#endif defined(CLIENT3)
IPAddress clientAddress(10,0,0,140);

```

```

#ifndef _TCP_H_
#define _TCP_H_

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <PubSubClient.h>

// Nastaveni IP adresy serveru
IPAddress clientAddress(10,0,0,141);
IPAddress clientAddress(10,0,0,142);
IPAddress clientAddress(10,0,0,100);

#warning "Pozor - je pouzito defaultni nastaveni IP, pro kazdeho
          klienta nutno zmenit"
#endif
#endif

IPAddress serverAddress(10,0,0,8); //Nastaveni IP adresy serveru
unsigned int localPort = 3333; //Port
/* ----- KONEC - nastaveni site -----*/

```

Blok nastavení sítového režimu a IP adres

Jako poslední je nutné nastavit kalibrační hodnoty dotykové plochy displeje. Nejednodušší způsob jejich získání je použít ukázkový program v knihovně *MCUFRIEND_kbv library*, který lze nalézt v (*examples/TouchScreen_calibr_kbv*). V ukázkovém programu je třeba upravit podle použitého shiledu nastavení pinů. Poté stačí postupovat podle pokynů na displeji a výsledek se vypíše na sériovou linku (lze použít integrovaný v Arduino IDE - *Tools->Serial Monitor*). Krom kalibračních hodnot je také nutné doplnit orientaci displeje (`#define TOUCH_LANDSCAPE` nebo `#define TOUCH_PORTRAIT`), v případě, že nebude zvolena ani jedna možnou, překlad budou ukončen a vypsána chybová hláška (direktiva `#error`). I v tomto případě lze s výhodou využít profilů.

```

/* ----- KONFIGURACE - kalibrace displeje -----*/
#ifndef _TOUCH_H_
#define _TOUCH_H_

// Klient 1
#define TOUCH_XMIN 221
#define TOUCH_XMAX 950
#define TOUCH_YMIN 200
#define TOUCH_YMAX 950
#define TOUCH_LANDSCAPE
#if defined(CLIENT2)
// Klient 2
#define TOUCH_XMIN 233
#define TOUCH_XMAX 937
#define TOUCH_YMIN 210
#define TOUCH_YMAX 910
#define TOUCH_LANDSCAPE
#endif
#if defined(CLIENT3)
// Klient 3
#define TOUCH_XMIN 230
#define TOUCH_XMAX 960
#define TOUCH_YMIN 220
#define TOUCH_YMAX 920
#define TOUCH_LANDSCAPE
#endif
#if defined(CLIENT4)
// Klient 4
#define TOUCH_XMIN 230
#define TOUCH_XMAX 960
#define TOUCH_YMIN 220
#define TOUCH_YMAX 920
#define TOUCH_LANDSCAPE
#endif
#endif

```

```

#define TOUCH_XMIN 0
#define TOUCH_XMAX 100
#define TOUCH_YMIN 0
#define TOUCH_YMAX 100
#elif defined(CLIENT5)
//Klient 5
#define TOUCH_XMIN 0
#define TOUCH_XMAX 100
#define TOUCH_YMIN 0
#define TOUCH_YMAX 100
#else
//Defaultni nastaveni, je nutne upravit
#define TOUCH_XMIN 0
#define TOUCH_XMAX 100
#define TOUCH_YMIN 0
#define TOUCH_YMAX 100
#endif
/* ----- KONEC - kalibrace displeje -----*/

```

Blok nastavení kalibračních hodnot dotykové plochy

3.3 Komunikace server - klient

Server komunikuje s klienty pomocí pole *board*. Jedná se o jednorozměrné pole typu *byte* o velikosti 136 (velikost musí být dělitelná osmi). V tomto poli jsou vyplněné všechny důležité informace o stavu hry i jednotlivých hráčích, význam jednotlivých hodnot v poli *board* je popsán v tabulce 1.

Při odesílání je toto pole rozděleno na části po osmi bajtech. Každá tato část je vybavena pořadovým číslem a dvoubajtovým kontrolním součtem (v něm je zahrnuto i pořadové číslo) a následně odeslána připojeným klientům.

Klienti postupně přijímají všechny části a v případě bezchybného příjmu data vyhodnotí. V případě, že klient na základě kontrolního součtu identifikoval chybnou část, odešle podle pravidel komunikace klient - server (popsáno v kapitole 3.4). Server pak v případě přijetí požadavku odešle danému klientovi vyžadovanou část pole.

3.4 Komunikace klient - server

Klient komunikuje se serverem, až na výjimku při sestavení spojení, prostřednictvím dvoubajtového pole. Popis jednotlivých částí pole je v tabulce 2. Pro kontrolu přenosu se každá zpráva odešle třikrát. Na straně serveru se pak porovnají dvě ze tří přijatých zpráv a ostatní přijatá data se zahodí. Klient může poslat data maximálně jednou za sekundu (posláním dat se rozumí odeslání tří stejných zpráv).

Pokud při porovnání server zjistí, že přijeté zprávy nejsou stejné, odešle danému klientovi znova herní desku. V případě, že byl daný hráč na tahu a přenos požadavku na vyplnění pole se nezdařil, je mu prostřednictvím znovaodeslání pole znova aktivován tah.

Tabulka 1: Rozložení pole *board* pro přenos dat a řízení hry mezi serverem a klientem

Index	Hodnoty	Popis
0-89		Každý index odpovídá jednomu čtverečku na herní desce piškvorek
	0	Pole je prázdné (neobsazené)
	1-5	Obsazeno některým hráčem/klientem
90		Přenos řídicí informace pomocí kódu
	0	nic nedělat
	1	Překreslit obrazovku, nějaký hráč je na tahu (herní mříž)
	1	Pouze překreslit obrazovku (herní mříž)
	3	Příprava nové hry, zobrazit úvodní obrazovku
	9	Informace pro hráče, že bude odpojen
	100	Hra skončila remízou
	10x	Hodnota podle hráče, který vyhrál: 101-105 ('x' je číslo hráče)
	20x	Problémy/odpojení s daného hráče: 201-205 ('x' je číslo hráče)
91	1-5	Číslo hráče, který je na tahu, pokud je 0, nikdo nehráje
93	0-89	Počet odehraných kol (vyplňuje server)
95-96	Kód barvy	Barva hráče 1
97-98		Barva hráče 2
99-100		Barva hráče 3
101-102		Barva hráče 4
103-104		Barva hráče 5
105-108	IPv4 adresa	IP adresa hráče 1
109-112		IP adresa hráče 2
113-116		IP adresa hráče 3
117-120		IP adresa hráče 4
121-124		IP adresa hráče 5

V případě, že klient přijal od serveru chybná data, odešle požadavek ve tvaru $\{20, x\}$, kde x je číslo chybně přijaté části pole. Pokud je toto serverem správně přiato, odešle požadovanou část znovu (dle pravide komunikace server -klient, kapitola 3.3)

Tabulka 2: Rozložení packetu pro komunikaci klient - server

Index	Hodnoty	Popis
0	10	Jedná se o informaci, že další přenesený bajt bude číslo vyplněného pole (čtverečku) pole <i>boardu</i> ,
	20	Žádost klienta o poslání dané části herního pole (board), v další bajtu je číslo dané části <i>boardu</i>
1	0-89, 0-16	Podle hodnoty předchozího bajtu: index vyplněného pole nebo pořadí packetu, který má být poslán znovu

3.5 Sestavení spojení

3.5.1 Příprava serveru

Při spuštění serveru dojde nejprve k identifikaci ethernet kontroléru. V případě, že je identifikován kontrolér WIZnet W5200 nebo WIZnet W5500, je k dispozici funkce `Ethernet.linkstatus()`, která umožnuje získat informaci v fyzickém připojení kabelu. Pokud není kabel připojen, je to signalizováno blikáním signalizační svítivé diody červenou barvou (viz. tabulka 4) a program nepokračuje dále, dokud není kabel připojen. Ostatní ethernet kontroléry bohužel neposkytují, jak je popsáno v kapitole 2.2, informaci o připojení kabelu, takže je celá tato sekvence přeskočena.

V případě, že server získává adresu z DHCP serveru, je možné ještě ověřit správné připojení pomocí kontroly získané adresy. V knihovně Arduino Ethernet [7] je toto řešeno návratovou hodnotou funkce `Ethernet.begin(mac)` (v režimu DHCP má pouze jeden parametr a to lokální MAC adresu, jinak funkce `Ethernet.begin(mac)` nemá návratovou hodnotu).

Pokud je však nastaven mód se statickou IP adresou a je použit shield s ethernet kontrolérem například WIZnet W5100 (jako je tomu v této práci), není zde žádná vhodná možnost kontroly správného připojení. Jedna z možností by byla, že by se server pokusil poslat zprávu *Echo Request* nějakému známému zařízení v síti a očekávat odpověď *Echo Reply*. Ale vzhledem k tomu, že jako centrální prvek je v tomto zapojení zvolen switch a žádné další zařízení v síti není, je tato možnost nepoužitelná.

V této fázi je příprava serveru dokončena, postup navázání spojení s clientem je popsán v následující kapitole 3.5.3.

3.5.2 Příprava klient

Příprava probíhá obdobně jako u serveru, ale vzhledem k tomu, že použité Arduino Ethernet desky mají kontrolér WIZnet W5100, je vynechána část s kontrolou připojení kabelu. Jediná možná detekce správného připojení připojení kabelu je tak pouze v režimu, kdy je IP adresa získávána z DHCP serveru. V takovém případě se na displeji

vypíše zpráva *Zkontrolujte připojení kabelu* a klient čeká dokud IP adresu neobdrží. V opačném případě je přepnuto na úvodní obrazovku.

V této fázi je klient připraven a čeká na příkaz uživatele připojit se k serveru.

3.5.3 Sestavení pojení

Pokud nastavení a spuštění serveru proběhlo správně, server v nekonečné smyčce (`void loop() {}`) pravidelně ověřuje, zda nějaké zařízení nevyžaduje připojení. To je realizováno metodou z knihovny [7] - `server.accept()`. V případě příchodního spojení vrátí tato metoda objekt typu `client`, v opačném případě `NULL`. To je uloženo do proměnné `newClient`. Metoda `server.accept()` vrací data o daném příchodního spojení pouze jednou a proto je nutné je uložit do extra proměnné.

Připojení klienta spustí uživatel stisknutím příslušného tlačítka na displeji. Klient se v pravidelných intervalech pokouší o navázání spojení funkcí `client.connect(serverAddress, localPort)`. V případě, že je připojení k serveru úspěšné, pošle klient serveru zprávu „100“. Tento kód informuje server, že se jedná o klienta pro piškvorky, pokud by server přijal jiná data, spojení zruší.

Pokud server zaznamená nové příchodní spojení, spustí kontrolu nového hráče. V první zkонтroluje, zda je ještě k dispozici místo pro dalšího, následně ověří, zda klient se stejnou IP adresou není již připojen a zkonzoluje, zda klient poslal kód „100“. Pokud klient úspěšně projde všemi testy, je zařazen do pole `clients[]` (pole aktivních klientů) a jeho IP adresa je uložena do herního pole `board` a toto pole se odešle všem hráčům. Pokud klient některému testu nevyhoví, je spojení ukončeno (`newClient.stop()`).

V této fázi se čeká na připojení dalších klientů. Pravidelně je také kontrolováno, zda se nějaký klient neodpojil. V případě, že ano, jsou jeho data smazána jak z pole `clients[]` tak z herního pole `board` a o této skutečnosti jsou ostatní klienti informováni zprávou (odeslání pole `board`) s kódem $20x$, kde x je číslo odpojeného klienta. Tato zpráva je zobrazena na displejích klientů po dobu 4000 ms (nastaveno v proměnné `clientErrMessageLast`).

Nyní se čeká na zahájení hry ze strany uživatele (stisk zeleného tlačítka na serveru nebo příkazemn přes sériovou linku, viz. kapitola 4).

3.6 Řízení průběhu hry

Po příkazu ke spuštění hry se nejdříve ověří, zda jsou k dispozici alespoň dva hráči. Pokud tomu tak není, hra se nezahájí a uživatelé jsou tímto informováni indikační svítivou diodou (viz. tabulka 4).

V případě, že je k dispozici dostatečný počet hráčů, je náhodně vybrán (funkce `random()`) první hráč a všem hráčům se rozešle pole `board` s vyplněným herní kódem (1) a číslem hráče (metoda odeslání popsána v kapitole 3.3). Jednotliví hráči porovnají pořadí svých IP adres v poli `board` a zjištěný index porovnají s číslem hráče vyplněným na pozici 91 v poli `board`, hráč, který nalezne shodu, je na tahu, ostatní vyčkávají.

Server nyní čeká dokud mu hrající hráč neodešle pozici, kterou si přeje vyplnit. Komunikace klienta se serverem se řídí podle pravidel popsaných v kapitole 3.4. Přeskočit

daného hráče lze pomocí stisku zeleného tlačítka na serveru. V případě, že si hrající uživatel přeje vyplnit danou pozici, stiskne patřičné místo na displeji. Klient zkонтroluje, zda je daná pozice volná a pokud ano okamžitě vyplní žeton a následně odešle informaci o vyplnění serveru. Okamžité vykreslení žetonu před potvrzení serverem je implementováno, protože při delší odezvě serveru může docházet ke zpoždění vykreslení (v poměru s dotykem), což je uživatelsky nekomfortní. Pokud by klient odeslal serveru žádost na vyplnění již obsazeného pole, server odešle všem klientům pole *board* a na pozici hrajícího hráče (*board[91]*) ponechá sejného hráče. Na straně klienta se při vykreslování neobsazené pozice vykreslí žeton s barvou pozadí (černou), čímž se vymaže nesprávně umístěný žeton.

Pokud výběr a obsazení pozice proběhlo v pořádku, server odešle všem pole s kódem (2) - pouze překresli obrazovku, nikdo nehraje. Následně server zkонтroluje stav hry: zda je počet odehraných kol menší než počet pozic v poli (jinak odešle kód (100) - remíza), zkонтroluje zda hráč, který odehrál kolo nespojil dostatečný počet žetonů (definováno v proměnné *crossNum*, defaultně pět). V případě, že by spojil a měl tak nárok na výhru, všem se odešle pole *borad* s kódem 10x (*x* je číslo hráče, který vyhrál) a klient vypíše na displej danou informaci. V opačném případě hra pokračuje, server vyplní na pozici hrajícího hráče (*board[91]*) číslo dalšího hráče, zvětší počet kol o jedna (*board[93]*) a všem hráčům opět odešle pole s kódem (1).

Celý tento systém se opakuje, dokud nějaký hráč nevyhrál, hra neskončila remízou nebo hra není ukončena ze strany serveru.

Neustále se také ověřuje, zda se nějaký hráč během hry neodpojil, pokud ano, jeho IP adresa je smazána z pole a na straně serveru nezabírá místo v poli aktivních klientů (*clients[]*). Během hry se však žádný klient nemůže připojit ani v případě, že ve hře při jejím započetí byl. Žetony odpojených klientů zůstávají ve hře. Pokud by došlo k odpojení všech klientů, server hru ukončí.

4 Oživení a obsluha

Příprava ke spuštění probíhá v několika krocích:

1. Připraví se centrální jednotka (v tomto případě switch) a k ní se pomocí síťového kabelu připojí všechna zařízení (klienti i server). Zapojení znázorněno na obrázku 1.
2. Připojit napájení k serveru i klientům, pro server napájení 6 - 16 V DC schopné dodat alespoň 250 mA, pro klienty 6 - 25 V DC alespoň 500 mA.
3. Pokud je vše v pořádku, na serveru svítí svítivá dioda modrou barvou a na displejích klientů je úvodní obrazovka s tlačítkem „*PRIPOJIT*“ (viz. obrázek).

4.1 Ovládání klienta

1. Po úspěšném zapnutí se vykreslí úvodní obrazovka. (obrázek: 7). Zobrazeny jsou informace o nastavené IP adrese serveru a o IP adrese klienta (podle režimu přiřazena DHCP serverem nebo ručně).



Obrázek 7: Obrazovka klienta po úspěšném spuštění

2. Připojení k piškvorkovému serveru lze spustit stisknutím tlačítka „*PRIPOJIT*“. Připojování je indikováno pomocí displeje (obrázek 8). Připojování může být kdykoliv přerušeno stiskem tlačítka „*PRERUSIT*“. Připojování bude dokončeno pokud na serveru není rozehraná hra.



Obrázek 8: Obrazovka klienta při připojování k serveru

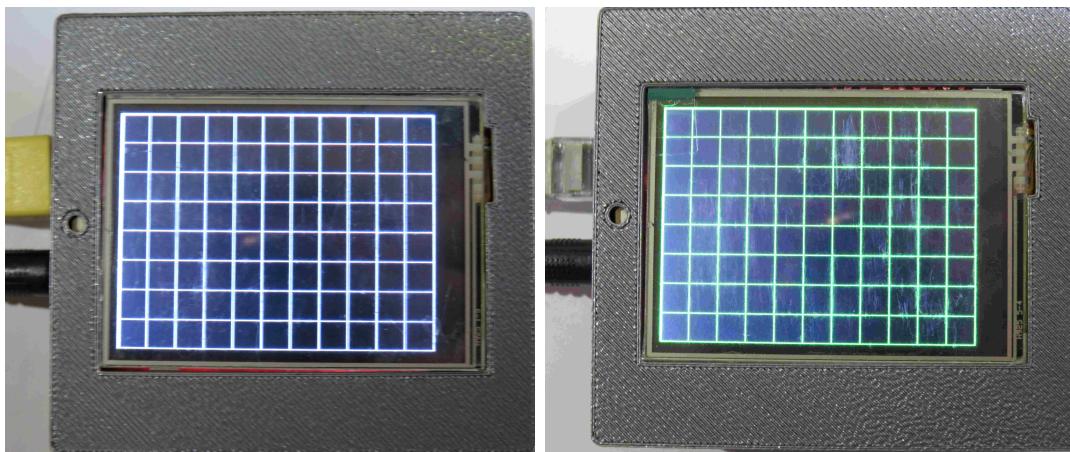
3. Pokud připojení proběhlo úspěšně, klient má od serveru přiřazené číslo a barvu. To je indikováno pomocí displeje (obrázek 9), kde barva textu odpovídá barvě hráče. Než započne hra je možné se ze serveru odpojit stiskem tlačítka „*ODPOJIT*“. Nyní se čeká na zahájení hry.



Obrázek 9: Obrazovky dvou různých klientů po úspěšném připojení k piškvor-kovému serveru

4. V případě, že ze strany serveru byla započata hra (příkazem nebo stiskem zeleného tlačítka), vykreslí se na obrazovce herní pole (obrázek 10).

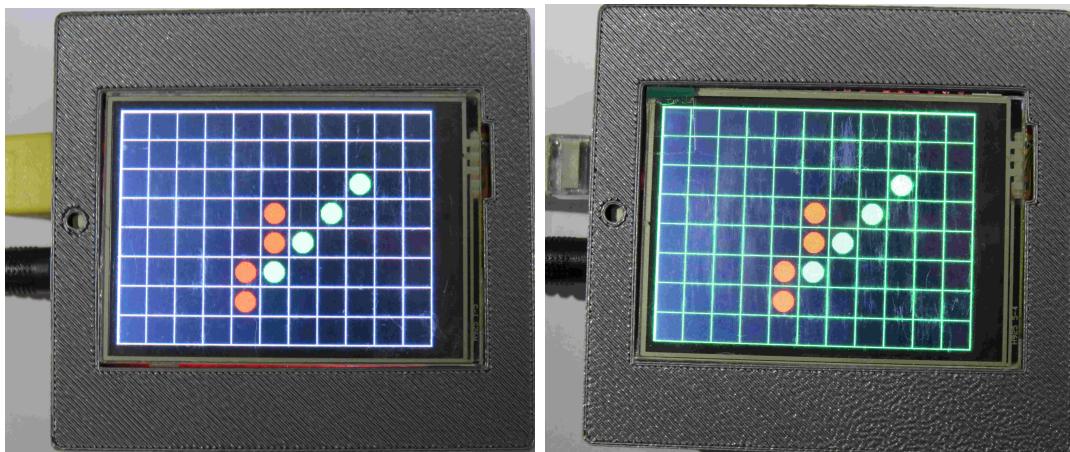
Jednotlivé čtverce mají pro tento typ displeje fyzický rozměr přibližně 0,5x0,5 mm. Tato velikost byla zvolena proto, že je možné na takto malý displej umístit do statečně velké pole (11x8 čtverců) a zároveň je možné jej bez problém ovládat stylusem a případně i prstem.



Obrázek 10: Obrazovka klienta po započaté hře (a) čekající hráč, (b) hrající hráč

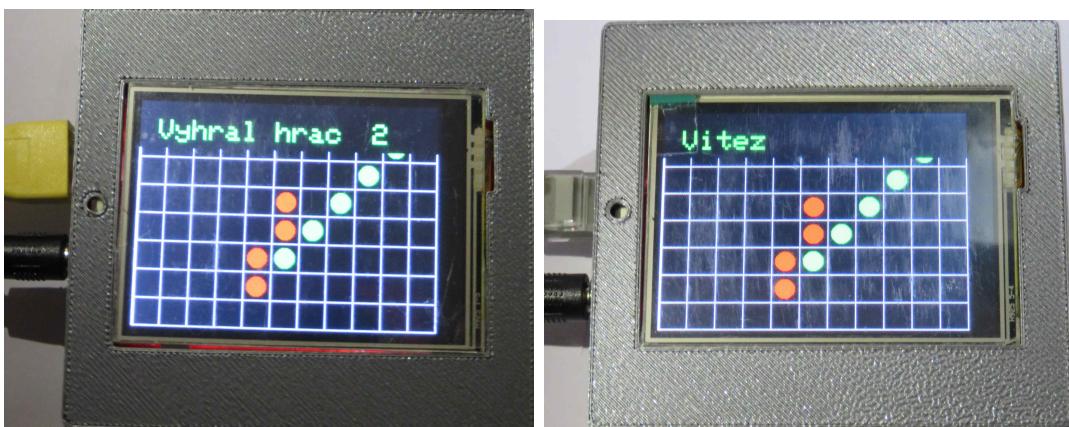
5. Během hry: pokud je mřížky šedá, hraje jiný hráč, pokud má mřížka nějakou barvu (barva se shoduje s barvou hráče) je na tahu daný hráč. Ten má za úkol stiskem libovolného volného čtverečku umístit svůj žeton.

Když uživatel stiskne čtverec, dojde k jeho vyplnění příslušným žetonem (barevným kruhem), mříž zešedne a je na řadě další hráč. Rozehraná hra je vidět na obrázku 11.



Obrázek 11: Rozehraná hra dvou hráčů

6. Hráči se střídají do té doby než: jsou všechna pole vyplněna (ukončeno remízou) nebo některý hráč spojil požadovaný počet žetonů (v základní nastavení pět). O výsledku hry jsou hráči informováni hláškou na displeji (obrázek 12). Tato hláška po deseti sekundách zmizí (nastaveno v proměnné `clientMessageLast` v milisekundách) a hra přechází do fáze 3.



Obrázek 12: Zobrazená hláška na displeji výherce (a) a ostatních hráčů (b), barva textu se shoduje s barvou vítězného hráče

4.2 Ovládání serveru

Server lze ovládat dvěma způsoby. Prvním z nich je ovládání pomocí dvou tlačítek.

Pokud je stisknuto červené tlačítko, dojde k přerušení hry aktuálně běžící hry (dosavadní stav hry je resetován).

Pokud je stisknuto zelené tlačítko a neběží hra (indikační LED svítí modře) - stiskem tlačítka dojde ke spuštění hry (s ověřením zda je k dispozici dostatek hráčů). Pokud hra již běží (indikační LED svítí zeleně) stiskem zeleného tlačítka dojde k posunutí tahu na dalšího hráče.

Druhým způsobem ovládání je posílání příkazů přes sériovou linku. V tomto případě je nutné serverem připojit k počítači pomocí micro USB kabelu (konektor z přední strany serveru). K zobrazení dat lze použít nástroj *Serial monitor* přímo v Arduino IDE nebo například sériový terminál *RealTerm*¹. Nastavení je následují: rychlosť 9600 baudů, Data Každý příkaz musí být zakončen novým řádkem (LF). Seznam příkazů je v tabulce 3.

Informování uživatele o stavu serveru je realizováno pomocí barevné svítivé diody. Význa jednotlivých stavů je v tabulce 4. Symboly: svítivá dioda svítí, svítivá dioda bliká.

¹Domovská stránka: <https://realterm.sourceforge.io/>

Tabulka 3: Seznam příkazů dostupných pro server

Příkaz	Význam
help	Vypíše návod (dostupné příkazy)
info	Vypiší informace o serveru (HW, verze SW, apod.)
players	Zobrazí čísla a IP adresy připojených hráčů
kick 'x'	Odpoji hráče číslo <i>x</i>
nextP	Přepne na dalšího hráče
start	Spustí hru (ekvivalent zeleného tlačítka)
reset	Přeruší a resetuje hru (ekvivalent červeného tlačítka)

Tabulka 4: Význam stavů svítivé diody na serveru,

Stav svítivé diody	Význam
	server je vypnutý/nemá napájení
	server je připraven
	nový klient připojen
	klient se odpojil/byl odpojen
	aktuálně běží hra
	hra ukončena (výhra/remíza)
	chyba (nedostatek hráčů pro hru)
	chyba sítě (připojení kabelu)

5 Závěr

Podařilo se sestrojit zařízení, které zábavnou formou demonstruje možnosti komunikace nízkoenergetický jednočipových počítačů (Arduin) po síti a tím i prezentovat možnosti komunikace v IoT sítí, kdy mezi jednotlivými zařízeními není potřeba přenášet velké množství dat.

Během realizace projektu se vyskytlo několik problémů, některé z nich bylo možné úplně eliminovat, jiné vedly k určitým kompromisům. Všechny tyto problémy jsou pak zmíněny v této práci včetně zvoleného řešení. I když zařízení bylo během vývoje pravidelně testováno, nevylučuje se, že by mohlo obsahovat chyby. Opravené kódy pak budou zveřejňovány na autorově [GitHubu](#)², kde má celý projekt od počátku vytvořenou stránku. Kromě všech zdrojových kódů, lze na ní nalézt i tuto práci a další materiály, například soubory krabiček (stl soubory i soubory pro program Autodesk Inventor). Krom oprav chyb zde budou umístěna i případná vylepšení.

²Adresa: https://github.com/janzavorka/BP_PROJ

Reference

- [1] Fritzing Parts: Arduino_Ethernet. In: *Paulvollmer* [online]. c2018, 2013 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: https://paulvollmer.net/FritzingParts/parts/Arduino_Ethernet.html
- [2] Using the SD library to create and remove files on a SD card. In: *Arduino* [online]. c2019, 2015/08/18 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/tutorial/files>
- [3] Lan Switch Icon #83279. In: *Free Icons Library* [online]. c2018-2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://chittagongit.com/icon/lan-switch-icon-25.html>
- [4] Fritzing Parts: Arduino_DUE_V02b. In: *Paulvollmer* [online]. c2018, 2013 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: https://paulvollmer.net/FritzingParts/parts/Arduino_DUE_V02b.html
- [5] Arduino store: ARDUINO DUE. *Arduino* [online]. c2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/due>
- [6] W5100 Datasheet. *WIZnet* [online]. c2009-2011, 8.1.2016 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: https://www.wiznet.io/wp-content/uploads/wiznethome/Chip/W5100/Document/W5100_Datasheet_v1.2.7.pdf
- [7] Arduino: Ethernet library. *Arduino* [online]. c2019 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Reference/Ethernet>
- [8] PRENTICEDAVID. MCUFRIEND_kbv library. In: *Github* [online]. c2019 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: https://github.com/prenticedavid/MCUFRIEND_kbv
- [9] BURGESS, Phillip. Adafruit GFX Graphics Library: Overview. *Adafruit* [online]. 29.6.2012 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/adafruit-gfx-graphics-library/overview>
- [10] ADAFRUIT. Adafruit_TouchScreen library. *Github* [online]. c2019 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: https://github.com/adafruit/Adafruit_TouchScreen
- [11] ROMANI, Marcello. SimpleTimer Library for Arduino. *Arduino* [online]. c2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://playground.arduino.cc/Code/SimpleTimer/>
- [12] IETF [INTERNET ENGINEERING TASK FORCE], IANA [INTERNET ASSIGNED NUMBERS AUTHORITY]. *Service Name and Port Number Procedures: rfc6335, BCP165.* 2011, 33 s. ISSN: 2070-1721. Dostupné také z: <https://tools.ietf.org/html/rfc6335>
- [13] MALÝ, Martin. Arduino: webový server i klient do ruky. *Root.cz* [online]. 27. 7. 2010 [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/arduino-webovy-server-i-klient-do-ruky/>

Seznam použitého softwaru

1. TeXmaker, TeXLive
2. Tables Generator
3. Citace PRO
4. Photopea
5. Autodesk Inventor Professional 2019 Student Edition
6. PrusaControl
7. Ardunino IDE
8. Atom IDE
9. RealTerm
10. EasyEDA
11. Linux Mint 19.1 Cinnamon 64-bit
12. Windows 10 Home 64-bit

A Zdrojový kód server

Nedokončeno, doplnit !!!

B Zdrojový kód klient

Nedokončeno, doplnit !!!

C STL soubory krabiček

Nedokončeno, doplnit !!!

