



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

## BIOFEEDBACK POMOCÍ 3D PROXIMITNÍHO SNÍMAČE

BIOFEEDBACK USING 3D SCANNERS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

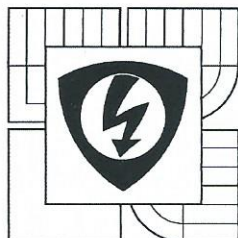
Klára Vačkářová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Biomedicínská technika a bioinformatika

**Student:** Klára Vačkářová

**Ročník:** 3

**ID:** 164218

**Akademický rok:** 2015/16

**NÁZEV TÉMATU:**

## Biofeedback pomocí 3D proximního snímače

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1) Seznamte se s principy proximního snímání pomocí optických snímačů. 2) Seznamte se s programovacím jazykem C# a prostředím Microsoft VisualStudio. 3) Vytvořte program pro zobrazení virtuálního "avata" kopírujícího pohyby člověka na základě dat ze snímače Microsoft Kinect One. 4) Navrhněte sestavu pohybů, které by měl člověk vykonávat a které budou systémem kontrolovány. 5) Vytvořte program pro vizuální biofeedback, který umožní na základě databáze správně předvedených cviků ukázat aktuální odchylky cvičence v reálném čase. 6) Vytvořte trénovací množinu cviků. 7) Otestujte navržený program a trénovací množinu na skupině cvičenců.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

**Termín zadání:** 8. 2. 2016

**Termín odevzdání:** 27.5.2016

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

  
prof. Ing. Ivo Provažník, Ph.D.  
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 částí druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce je zaměřena na tematiku aplikace senzoru Microsoft Kinect v biomedicínské oblasti. V teoretické části práce jsou uvedeny obecné znalosti z oblasti senzorů, dále je konkrétně popsán senzor Kinect. Druhá část se věnuje praktické realizaci programu, který pomocí vizuálního biofeedbacku informuje pacienta o tom, zda provádí daný pohyb správně, či nikoli. Pro tento účel byly vybrány tři cviky. V závěru práce je popsána metodika provedených měření a zhodnocení výsledků.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Microsoft Kinect v 2, snímání pohybu, senzory, fyzioterapie, rehabilitace

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis focuses on the matter of the Microsoft Kinect sensor application within biomedical field. In the first theoretical part of the thesis general knowledge of sensors are mentioned; Microsoft Kinect is described thoroughly. The second part deals with the practical realisation of the program, which with help of visual biofeedback informs patients, whether they perform given movement properly or not. For this purpose three exercises were chosen. In the final part the methodology of realized measurements is described and as well as the measurement evaluation.

## **KEYWORDS**

Microsoft Kinect v 2, motion recording, sensors, physiotherapy, rehabilitation

VAČKÁŘOVÁ, K. *Biofeedback pomocí 3D proximityho snímače*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 31 s.  
Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D..

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Biofeedback pomocí 3D proximitního snímače jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.s

V Brně dně .....

.....

(podpis autora)

# PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu práce doc. Ing. Luděkovi Žaludovi, Ph.D., za odbornou pomoc, trpělivost a poskytnutí rad a informací potřebných k vypracování této bakalářské práce.

# OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Seznam obrázků</b>                                    | <b>v</b>  |
| <b>Seznam tabulek</b>                                    | <b>vi</b> |
| <b>Úvod</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1 Programovací jazyk a prostředí</b>                  | <b>2</b>  |
| 1.1 Jazyk C#.....  | 2         |
| 1.2 Prostředí Microsoft Visual Studio .....              | 3         |
| <b>2 Měřicí řetězec</b>                                  | <b>4</b>  |
| <b>3 Optické měření vzdálenosti</b>                      | <b>6</b>  |
| 3.1 Snímače.....   | 6         |
| 3.2 Parametry snímačů.....                               | 6         |
| 3.3 Optoelektronické snímače polohy .....                | 8         |
| 3.3.1 Triangulační princip.....                          | 9         |
| 3.3.2 Time of Flight princip.....                        | 10        |
| <b>4 Snímač Microsoft Kinect</b>                         | <b>11</b> |
| 4.1 Program pro zobrazení virtuálního avatara.....       | 13        |
| <b>5 Cviky</b>   | <b>14</b> |
| 5.1 Systém funkční stabilizace a mobilizace páteře ..... | 14        |
| 5.2 Testovací cvik .....                                 | 15        |
| 5.3 Trénovací množina cviků.....                         | 16        |
| <b>6 Popis programu „Physioback“</b>                     | <b>20</b> |
| 6.1 Princip fungování programu .....                     | 20        |
| 6.2 Uživatelské prostředí .....                          | 21        |
| <b>7 Měření a experimenty</b>                            | <b>23</b> |
| 7.1 Postup měření .....                                  | 23        |
| 7.2 Vyhodnocení.....                                     | 26        |
| <b>8 Závěr</b>   | <b>27</b> |
| <b>Literatura</b>  | <b>29</b> |
| <b>Přílohy</b>   | <b>31</b> |

# SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| Obr. 2.1 Blokové schéma měřicího řetězce .....                                      | 4  |
| Obr. 3.1 Schéma detektoru s triangulačním principem .....                           | 9  |
| Obr. 3.2 Princip ToF metody .....   | 10 |
| Obr. 4.1 Microsoft Kinect pro Xbox One, model v2 [14] .....                         | 11 |
| Obr. 4.2 Signály v senzoru Kinect .....   | 12 |
| Obr. 5.1 Schéma fyziologického postavení obratlů, upraveno z [18].....              | 15 |
| Obr. 5.2 Schéma provedení cviku č. 1, vpravo zobrazení avatara pomocí Kinectu ..... | 16 |
| Obr. 5.3 Schéma provedení cviku č. 2, vpravo zobrazení avatara pomocí Kinectu ..... | 17 |
| Obr. 5.4 Schéma provedení cviku č. 3, vpravo zobrazení avatara pomocí Kinectu ..... | 18 |
| Obr. 6.1 Uživatelské prostředí .....  | 21 |
| Obr. 7.1 Průběh měření – detekce chyby .....  | 25 |

# SEZNAM TABULEK

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Tab. 7.1 Úspěšnost detekce chyb ..... | 25 |
|---------------------------------------|----|

# ÚVOD

V dnešní moderní době nás jistě nepřekvapí, že technologický pokrok se pomalu ale jistě již dostává i do našich domácností. Nejedná se přitom o televizory, myčky či jiné „užitečné“ věci pro nás již několik desítek let běžné. Jedná se o sebemenší přístroje, které nám více či méně usnadňují náš život, či ho obohacují ve formě volnočasové zábavy.

Velká většina takovýchto zařízení se pro svou snadnou dostupnost začíná používat i v jiných oblastech, než ke kterým byly původně určeny. Za jednou z nejlukrativnějších sekundárních oblastí je možno označit zdravotnictví. Jako příklad můžeme uvést mobilní chytré telefony, které např. monitorují náš tep, srdeční činnost, či kontrolují naši pohybovou aktivitu. Jedním takovým zařízením je i snímač pohybu Microsoft Kinect, jež je klíčovým aspektem mé práce. Původně senzor pohybu určený pro hrací konzole se postupně stal velmi zajímavým pro biomedicínské použití.

Již v roce 2011 lékaři z nemocnice Sunnybrook v Torontu pracovali se senzorem Kinect, aby mohli při operacích onkologických pacientů volně manipulovat s obrazovými medicínskými daty (CT/RTG snímky) skrze gesta. Využili Kinectu k tomu, aby zaměřil pohyb chirurga a ten mohl efektivně pracovat, aniž by narušil sterilitu tím, že by např. musel manipulovat s myší či psát na klávesnici. Použití tohoto snímače ovšem přesáhlo prostředí chirurgických sálů a nyní se pomalu přes ordinace fyzioterapeutů dostává až k pacientovi. Hlavní snahou je přizpůsobit Kinect tak, aby mohl být využit při domácím cvičení jako podpora k rehabilitaci vedené fyzioterapeutem. Druhou složkou je možnost monitorování progresu v pacientově terapii. [1][2][3]

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s možnostmi snímání osob pomocí optoelektronických snímačů polohy, především se senzorem Kinect, a dále vytvořit program, který skrze vizuální biofeedback bude kontrolovat pohyby pacienta při cvičení.

První část se věnuje teoretickým znalostem z oblasti senzorů, samostatná kapitola je věnována principům optického měření vzdálenosti. Dále je pozornost věnována samotnému senzoru Kinect. Druhou část tvoří popis vybraných cviků, jejichž správné provedení bude kontrolováno programem a popis samotného programu. Poslední částí této práce je seznámení s provedenými měřeními a vyhodnocení výsledků měření.

# 1 PROGRAMOVACÍ JAZYK A PROSTŘEDÍ

## 1.1 Jazyk C#

Programovací jazyk C# (čteno jako C sharp) je dnes jeden z nejpoužívanějších jazyků vůbec. Jedná se o velmi flexibilní a účinný nástroj, jenž byl vytvořen korporací Microsoft. Jazyk se velmi podobá jazyku C++ či Java, přičemž využívá, případně zlepšuje, vlastnosti těchto dvou. Úplným předchůdcem byl ovšem jazyk C, který byl vytvořen již v 70. letech minulého století.

Samotný jazyk obsahuje, na rozdíl od základního jazyku C, tzv. *managed* a *unmanaged* části. První část se stará o samotné prostředí, ve kterém je jazyka používáno, tedy částečně chrání před chybou způsobenou vadným programem, což se ovšem projeví na rychlosti. Druhá část je naopak od první rychlejší, nicméně nezabrání případnému ohrožení počítače. Pokud je nějaký program psaný v jazyce C#, jeho *managed* část nám poskytuje informace o případné chybě.

Jazyk C# je objektově orientovaným jazykem. Objektově orientované programování je moderní metodika vývoje softwaru. Jedná se o způsob návržení, designu a implementace, v rámci které se klade důraz na možnost opakovaného použití. Jedná se o metodu, při které se samotný program skládá z dílčích funkčních jednotek. Takovýto přístup je rychlý, spolehlivý a snadno opravitelný. Napsanému kódu také přidává na přehlednosti. Samotný princip psaní kódu můžeme přirovnat k fuzzy logice a výrookům, jež jsou také přiblíženy chápání lidí a lidskému myšlení, oproštěné od větší míry matematické abstrakce. Zde totiž také píšeme kód především tak, aby byl pochopitelný člověku. Základní jednotkou objektového programování je objekt, tedy věc, kterou si můžeme představit. Takovému objektu poté přiřazujeme atributy, neboli vlastnosti a metody. Příkladem může být např. v patientské databázi `JmenoPacienta()` na objektu *string*, který je v reálném prostředí reprezentován textem a to jménem daného pacienta. Dalším důležitým pojmem je také *třída*. Jedná se o jakýsi vzor, na jehož základě vytváříme objekty. Objekt, který poté dle třídy vytvoříme, se nazývá *instance*. Všechny instance patří do stejné třídy, ovšem liší se od sebe svými atributy.

Objektově orientované programování funguje dále na třech principech, a to principu zapouzdření, dědičnosti a polymorfismu.

Princip zapouzdření umožňuje skrýt některé metody či atributy dané třídy, aby mohly být použity pouze vně dané třídy. Obecně chrání před chybou, která by vznikla

přepsáním či jinou změnou daného rozhraní. Objekt je pak používán správně, dle svých charakteristik. Rozhraní (tzv. *interface*) dělíme dle několika modifikátorů přístupu na veřejně přístupné (*public*), soukromé (*private*) a chráněné (*protected*).

Dědičnost slouží k vytvoření nových datových struktur na základě již vytvořených. Díky tomuto principu se můžeme vyhnout redundantnímu kódu, či můžeme rozšiřovat stávající komponenty o nové metody. Pokud změníme atribut v mateřské třídě, automaticky se podědí atd. Obecně tedy předchází vzniku chyb.

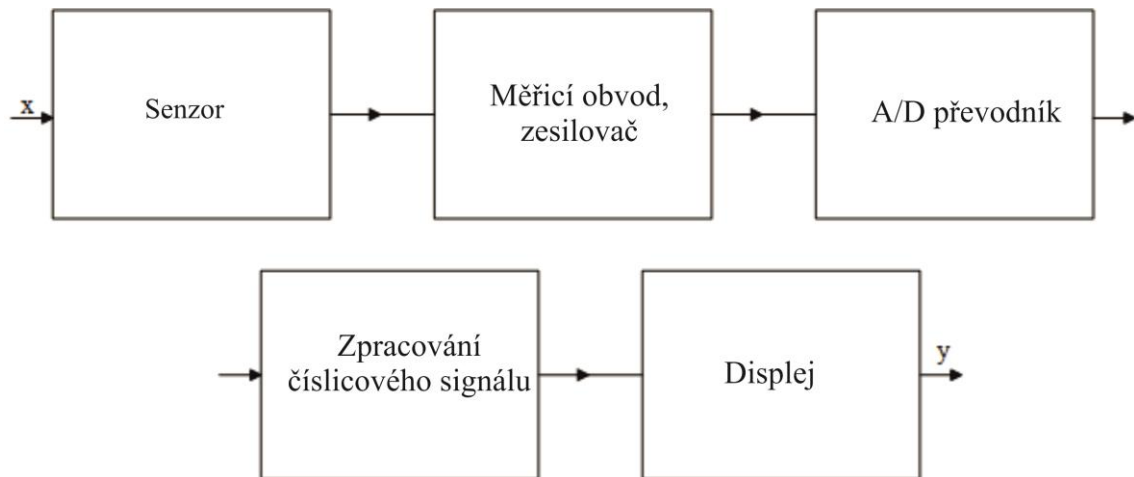
Polymorfismus umožňuje používání jednotného rozhraní při současné práci s různými typy objektů. V principu umožňuje vytvoření metod, jež mají stejnou hlavičku, ale liší se tělem, tedy obsahem. [4] [5]

## 1.2 Prostředí Microsoft Visual Studio

Microsoft Visual Studio je vývojové prostředí, ve kterém, za pomoci daného programovacího jazyka, lze psát kódy a utvářet tak programy, aplikace aj. Obsahuje kompilátor společně s integrovaným editorem a debuggerem. Visual Studio má v sobě vestavěno několik jazyků, jako C++ či C#, ale podporuje víceméně jakýkoliv programovací jazyk. Vestavěný editor kódu automaticky zvýrazňuje syntakticky důležité prvky a automaticky doplňuje námi psaný kód. Týká se to proměnných, funkcí, cyklů aj.

## 2 MĚŘICÍ ŘETĚZEC

Měřicí řetězec (Obr. 3.1) je soustavou měřicích členů, které jsou uspořádány tak, abychom mohli získat co nejlepší informaci o vlastnosti měřené veličiny [6].



Obr. 2.1 Blokové schéma měřicího řetězce

Prvním a nejdůležitějším členem řetězce je senzor. Signál ze senzoru je většinou nedostačující pro další zpracování, proto je nutné jej upravit pomocí zesilovače. Zesilovač zajišťuje dostatečný odstup signálu a šumu senzoru a zesilovače společně s dalšími parazitními vlivy, které na ně působí. Takto upravený signál buď ponecháme a dále s ním pracujeme v jeho analogové podobě, nebo jej upravíme do podoby digitální. Hodnota analogového signálu je přímo zobrazována na přístroji ve standardizovaných rozsazích 0 – 10 V, 0 – 20 mA, nebo 4 – 20 mA. V dnešní době se téměř vždy využívá převodu na číslcový signál. Tento převod probíhá pomocí bloku A/D převodníku v několika krocích, kterými jsou vzorkování, kvantování a kódování.

Při vzorkování odebíráme vzorky z daného signálu po krocích, které jsou dány zvolenou vzorkovací frekvencí, jež musí splňovat Nyquistův teorém. U kvantování je těmto vzorkům přidělena jejich napěťová úroveň a při kódování jsou tyto úrovně převedeny do bitových čísel. Ta jsou dále zpracovávána, např. pomocí mikroprocesorů. Tento způsob poskytuje mnoho výhod. Jedná se především o:

1. větší přesnost,
2. větší citlivost,
3. možnost dálkového měření,

4. větší rychlost měření,
5. možnost záznamu,
6. výstupní signál v analogové či číslicové formě,
7. možnost strojového zpracování výsledků,
8. možnost měření na velkém počtu míst
9. malá hmotnost snímače,
10. malá časová konstanta snímače.

Nicméně ani takováto soustava není ideální. Při každém měření dochází k odčerpání části energie měřeného objektu, tudíž samotný objekt je vždy částečně měřením rušen a nelze dosáhnout bezchybného měření. [7][8][9][10]

# 3 OPTICKÉ MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI

## 3.1 Snímače

Snímač, nebo k němu ekvivalentní pojmy senzor, převodník či detektor, je prvním členem měřicí soustavy. Senzor slouží ke sběru informací a je v přímém styku s měřeným prostředím. Právě tento komponent transformuje neelektrickou veličinu na elektrickou, či přímo na číslicový signál pomocí přesně definovaného principu. Tato veličina může být různého charakteru, a to např. fyzikálního, chemického či biologického.

Senzory obecně můžeme rozdělit dle několika kritérií, a to dle:

1. měřené veličiny (např. senzory teploty, tlaku, radiačních veličin, mechanických veličin),
2. fyzikálního principu (např. odporové, kapacitní, pyroelektrické),
3. styku senzoru s měřeným prostředím (bezdotykové, dotykové),
4. transformace signálu (aktivní, pasivní),
5. výrobní technologie (např. elektromechanické, elektrické, elektrochemické, optoelektronické),
6. principu převodu veličiny (fyzikální, chemický, biochemický).

Dalším důležitým rozlišením senzorů je rozdělení na senzor aktivní a pasivní. Aktivním senzorem je ten, jenž se díky působení dané veličiny sám chová jako zdroj elektrické energie. Pasivní senzor naopak mění působením měřených veličin své parametry. Pro další zpracování signálu pomocí elektronických obvodů je nutné veličinu dále transformovat na analogový napěťový nebo proudový signál, přičemž měřicí veličinou je amplituda, kmitočet, fáze aj. U pasivních senzorů je na rozdíl od aktivních senzorů nezbytné napájení pro tuto transformaci.[7][8]

## 3.2 Parametry snímačů

Mezi základní parametry, které zajišťují správnou funkčnost každého senzoru, patří několik vlastností, jež můžeme rozdělit na charakteristiky statické a dynamické.

## Statické vlastnosti

Statické vlastnosti jsou dány především funkční závislostí  $y=f(x)$  a to mezi vstupní veličinou  $x$  a výstupní veličinou  $y$ . Lepší vyjádření lze napsat takto:

$$y=y_0 + K_I x \quad (1)$$

kde  $K$  je citlivost a  $y_0$  je offset.

- *Citlivost* je definována jako ustálená změna výstupního signálu senzoru  $y$  v důsledku změny měřené veličiny, jinak také  $dy/dx$ .
- *Offset* znamená posun nuly, tj. ze vzorce výše, který je analogií funkčního předpisu lineární přímky, se jedná o posun této závislosti. Jedná se o aditivní chybu.
- Maximální odchylka kalibračního bodu od korespondujícího bodu této (ideální) přenosové charakteristiky se nazývá *linearitou* či chybou linearity.
- *Přesnost* senzoru je často vyjádřena absolutní chybou v procentech.
- *Limit detekce* je nejnižší hodnota měřené veličiny, která vyvolá odezvu senzoru. Z principu by měla být alespoň 3x vyšší, nežli je úroveň šumu, který je vždy při měření přítomen.
- Opakem je pak *plný rozsah*, jenž udává hranici maximální měřitelné hodnoty.
- *Dynamický rozsah* je poté dán těmito dvě hodnotami, jedná se tedy o interval s hranicemi na horním a dolním detekovatelném limitu.
- *Rozlišitelnost* je nejmenší přírůstek výstupu senzoru, jenž senzor zaznamená při změně vstupu [10].

## Dynamické vlastnosti

Dynamické vlastnosti senzorů jsou důležité pro výsledné hodnocení výstupního signálu. Dynamické charakteristiky odpovídají tomu, že se měřená veličina v čase mění. Stejně jako lze statické vlastnosti popsat rovnicí (1), lze dynamické vlastnosti popsat lineární diferenciální rovnicí s konstantními koeficienty, např. v podobě Laplaceovy transformace jako je uvedeno níže:

$$F(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0} \quad (2)$$

kde  $F(p)$  je obraz přenosové funkce,  $Y(p)$  výstup,  $X(p)$  vstup,  $a$  a  $b$  jsou koeficienty,  $p$  je obecně komplexní číslo.

Případně je možné nelineární rovnici linearizovat po úsecích.

Dynamické vlastnosti může charakterizovat:

- *Přechodová charakteristika* je průběh výstupních veličin v závislosti na čase a to při skokové změně vstupní veličiny.
- *Frekvenční charakteristika* udává závislost přenosu a fázového úhlu na frekvenci. Jedná se tedy o frekvenčně závislý rozdíl fáze a amplitudy vstupního a výstupního signálu [10].

### 3.3 Optoelektronické snímače polohy

Optoelektronická soustava se obecně skládá ze zdroje optického záření, modulátoru a senzoru. Dle typu zdroje můžeme rozlišit několik typů, a to soustavy:

1. s elektroluminiscenčními zdroji,
2. s injekčními lasery,
3. s ostatními druhy laserů.

Elektroluminiscenční zdroje, nejčastěji diody, využívají vlastnosti PN přechodu a jevů v homogenním materiálu polovodiče. Elektroluminiscence je vybuzena injekcí minorů z přechodu. Jedná se především o LED (světlo emitující diody). Injekční lasery využívají koherentního zesilování světla pomocí stimulované emise záření v otevřeném PN přechodu. Takovými zdroji jsou laserové diody. Ostatní typy zdrojů nevyužívají PN přechodu, jedná se např. o rubínový či neodymový laser. Modulátor v soustavě slouží k modulaci optického záření, může se jednat např. o modulaci amplitudovou, intenzivní, kmitočtovou, či polarizační. Detektor pak převádí měřenou veličinu na elektrickou (viz kapitola 2). Obecně se uplatňují dva principy, buď fotoelektrický jev, nebo přeměna zářivé energie optické vlny na teplo [11].

K měření pohybu či polohy daného objektu můžeme při využití optometrických senzorů využít jakoukoliv závislost, kdy je výstupní veličina ovlivněna přímým posuvem měřeného objektu. Taková závislost pak může mít podobu:

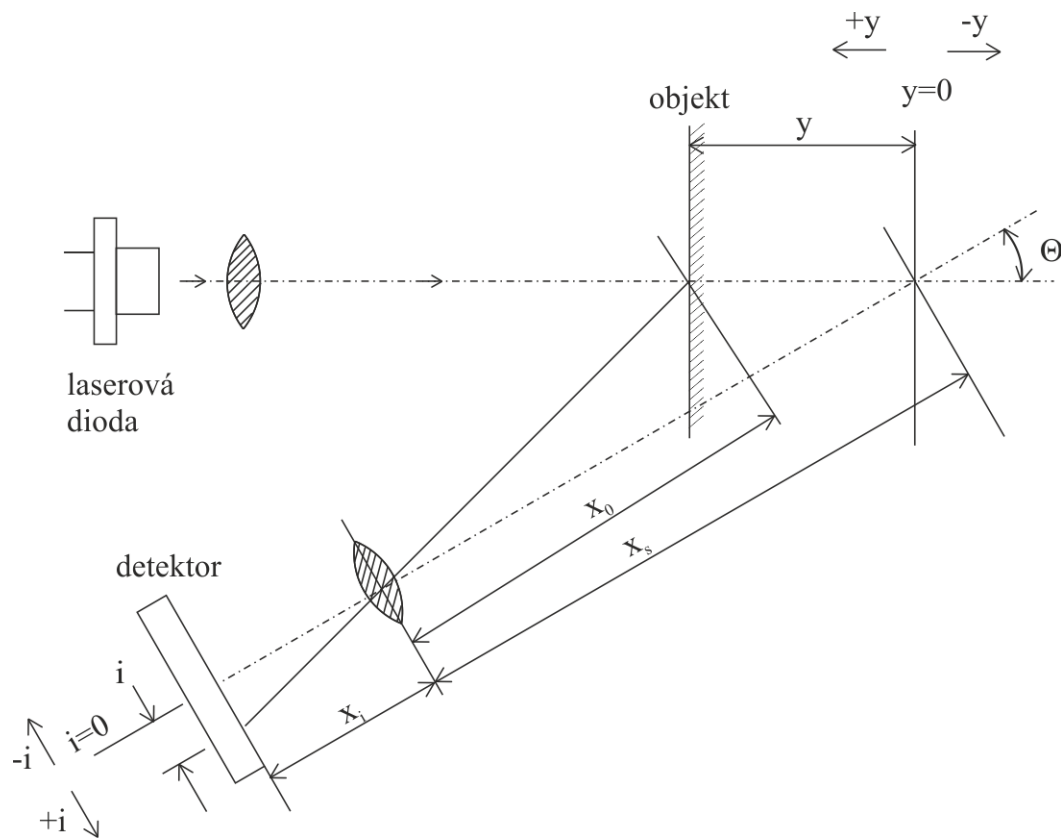
1. změny polohy zdroje světelného záření,
2. zastínění světelného toku mezi zdrojem a detektorem,

3. změnu úhlu odrazu paprsku,
4. interference zdrojového a odraženého paprsku.

Při měření se využívá různých principů, vymyšlených na základě těchto závislostí. Dále budou uvedeny dva principy, které přímo souvisí s měřením hloubky (vzdálenosti) objektu od detektoru [7].

### 3.3.1 Triangulační princip

Triangulační princip měření vzdálenosti vychází z použití odraženého paprsku. Na Obr. 3.1 je patrné typické uspořádání senzoru pracujícím na tomto principu.



Obr. 3.1 Schéma detektoru s triangulačním principem

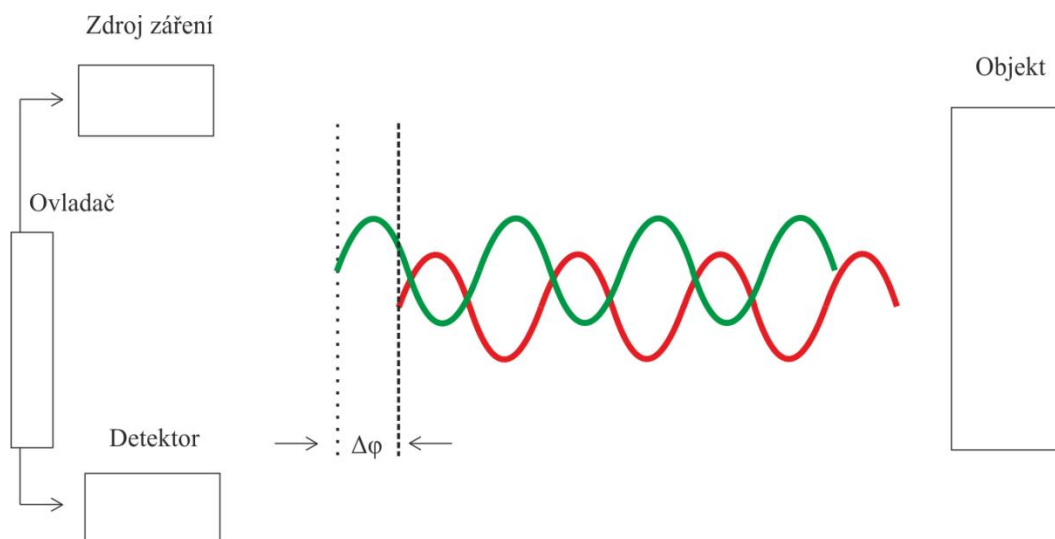
Svazek z infračervené laserové diody dopadá na povrch měřeného objektu, jež má nenulový koeficient odrazu, který je definován jako poměr velikosti určité složky vektoru intenzity vlny, odražené od nehomogenity, k velikosti téže složky vektoru elektrické intenzity vlnění dopadajícího. Přičemž za nehomogenitu bereme objekt, jehož plocha je dostatečně veliká na to, aby jej paprsek nemohl „obejít“, nýbrž aby se od něj odrazil. Tento objekt by měl také mít jiné elektrické parametry a strukturu než prostředí,

kterým paprsek prochází [8]. Pohyb daného objektu pak vyvolá odpovídající stopu na senzoru (většinou řádkový CCD senzor). Jelikož se používají při měření zesilovače (viz kapitola 2), je možno použít i objekty s malou odrazivostí.

Samotný výpočet vzdálenosti pak probíhá na základě použití základních trigonometrických vzorců při známé vzdálenosti diody a senzoru [7].

### 3.3.2 Time of Flight princip

Senzory pracující na principu Time of Flight (dále jako ToF) předávají hloubkový obraz, ve kterém každý pixel určuje vzdálenost ke korespondujícímu bodu v zobrazované scéně. Vlna infračerveného záření, resp. velmi krátký světelný impuls, je směřována na objekt, na detektor pak přichází vlna odražená od objektu. Měřením fázového rozdílu těchto vln jsme pak schopni vypočítat vzdálenost objektu. Předpokladem pro toto měření je známá rychlost světelné vlny. Stejně jako u triangulačního principu je nutné, aby měřený objekt měl jiné vlastnosti než prostředí, kterým vlna prochází. Schéma principu je vyobrazeno na Obr. 3.2 [13], kde zelená vlna představuje paprsek vyslaný a červená paprsek odražený a  $\Delta\varphi$  značí fázový posun těchto vln.



Obr. 3.2 Princip ToF metody

## 4 SNÍMAČ MICROSOFT KINECT

Microsoft Kinect v2 (Obr. 4.1) je snímač pohybu stylu web kamery primárně určený pro hrací konzoli Xbox One. Jedná se o proximitní snímač sestávající z několika dílčích senzorů, kterými jsou infračervená kamera (senzor hloubky), RGB kamera, čtyři mikrofony a tříosý akcelerometr [14]. Nerozeznává tedy jen pohyb, ale také zvuk, resp. hlas.

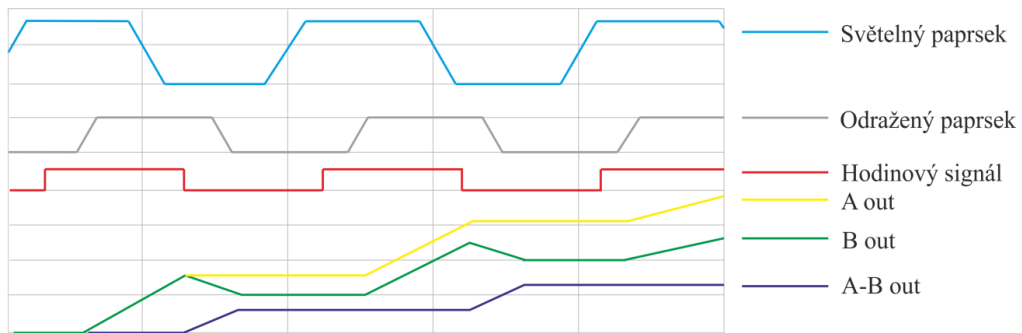


Obr. 4.1 Microsoft Kinect pro Xbox One, model v2 [14]

Senzor byl navržen tak, aby vyhovoval několika kritériím korespondujícím s jeho primárním účelem. Rozlišení je takové úrovně, že senzor je schopen detekovat osoby různé velikosti, od dětí po dospělé jedince. Limit detekce je stanoven na průměr malého dětského zápěstí, což odpovídá přibližně 2,5 cm. Zorné pole kamery je také uzpůsobeno k tomu, aby se uživatel (pacient) mohl v malé místnosti pohybovat blízko kamery a ve větších prostorách naopak relativně daleko. Je nastaveno na 70° horizontálně a 60° vertikálně, relativní apertura je menší nežli 1,1 a operativní rozsah senzoru se pohybuje v rozmezí od 80 cm do 420 cm. Dynamický rozsah umožňuje, aby uživatel nebyl omezován výběrem oblečení, co se týče jak barvy, tak tvaru. Přesnost při měření hloubky se pohybuje v mezích 2 %. Senzor má také vysokou stabilitu, reprodukovatelnost a nízkou latenci (časovou prodlevu) pro přirozenou gestikulaci a pohyb. Expoziční čas dosahuje maximálně 14 ms, přičemž doba latence je menší než 20 ms, vzato od počátku expozice do přenesení dat přes USB do hlavního systémového softwaru. Pro všechny tyto charakteristiky se jedná o vhodný senzor pro kontrolu v rámci rehabilitačních cvičení.

Měření vzdálenosti probíhá na základě principu ToF, viz kapitola 3.2.2, díky níž je zajištěno vysoké rozlišení, nízká latence a také možnost pořídit kvalitní 3D obraz, který je nezávislý na nasvícení. Laserová dioda vysílá paprsek ve formě vlny čtvercového tvaru, tzv. square wave. Časový generátor vytváří modulaci této vlny, jak vyslané, tak přijaté. Systém počítá hloubku ze známé rychlosti světla ve vzduchu, tj. 33 ps/cm. Systém zahrnuje také synchronizační hodiny, které modulují pixelový přijímač. Pokud je úroveň hodinového signálu rovna logické 1, fotony dopadající na pixel zapříčiní nabití na A-out straně daného pixelu, pokud je roven logické 0, nabije se B-out

strana daného pixelu, viz Obr. 4.2. Tyto dva parametry jsou důležité pro tvorbu samotného obrazu.



Obr. 4.2 Signály v senzoru Kinect

$(A+B)$  vytváří šedotónový obraz při normálním pokojovém osvětlení, tzv. ambientní obraz,

- $(A - B)$  vytváří samotný hloubkový obraz,
- $\sqrt{\sum(A + B)^2}$  vytváří šedotónový obraz, který je nezávislý na osvětlení, tzv. aktivní obraz.

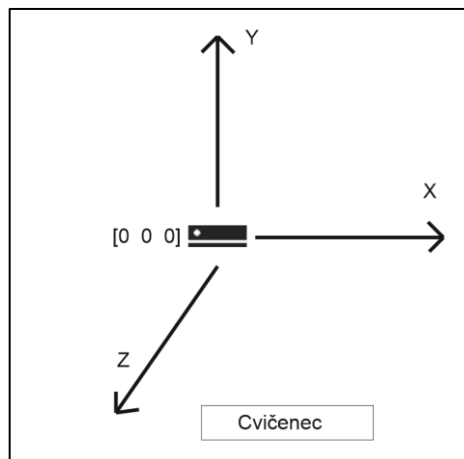
Samotnou kvalitu obrazu pak určuje optické a elektrické parametry čipu.

Samotná hloubka se počítá dle následujícího vzorce:

$$2d = \frac{f_{\text{áze}}}{2\pi} \cdot \frac{c}{f_{\text{mod}}} \quad (3)$$

Kde  $d$  je hloubka,  $c$  je rychlost světla ve vzduchu a  $f_{\text{mod}}$  je modulační frekvence [15].

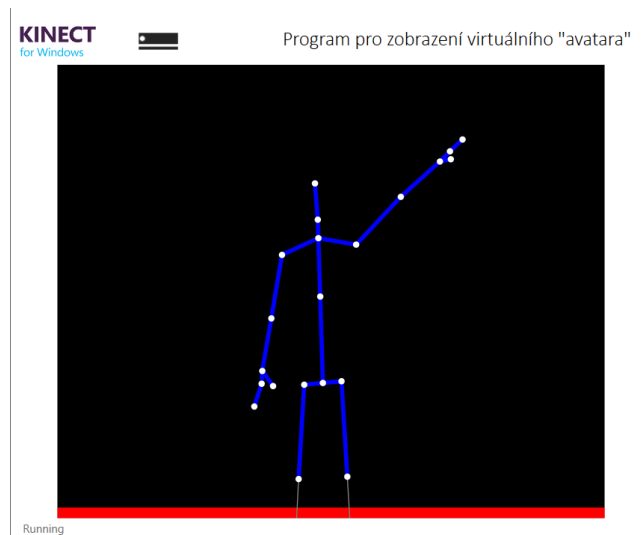
Snímač Kinect pracuje s daty, která jsou vztažena ke kartézskému systému, přičemž sám senzor zastává polohu  $[0 \ 0 \ 0]$ , jak je patrné na Obr. 4.3.



Obr. 4.3 Souřadnicový systém Kinectu

## 4.1 Program pro zobrazení virtuálního avatara

Program, pomocí něhož se zobrazuje virtuální avatar, je založen na vzorovém kódu, který pochází z SDK (software development kit), jež patří k samotnému senzoru Kinect. Kód tohoto programu byl upraven tak, aby se avatar zobrazoval na černém pozadí a byl vykreslen kontrastní modrou barvou tak, že se mezi jednotlivé detekované body (klouby) vykreslí linka, samotné body jsou vykresleny pomocí bílých teček. Pokud není celá postava v zorném poli kamery senzoru, nevykreslí se celá a na hraně zobrazovaného černého pole, kde záběr postavy končí, se vykreslí červená signalizující linka. Části těla, které se vyskytují mimo zorné pole, jsou pak vykresleny pouze slabou šedou linkou (jsou senzorem pouze předpokládáné). Výstup programu můžeme vidět na Obr. 4.4.



Obr. 4.4 Výstup programu zobrazující avatara

## 5 CVIKY

Při rozhodování o typu cviků, které budeme používat pro testování, bylo vycházeno z faktu, že Kinect nejlépe snímá postavu, jež stojí vzpřímeně a to čelem k senzoru. Bohužel cviky, jež by byly prováděny např. na zemi při vzporu klečmo, či v sedu, by nebyly dobře vyhodnoceny. Proto byla pozornost zaměřena na cviky týkající se oblasti zad a paží. V tomto směru má snímač velmi dobrou rozlišovací schopnost i při jemnějších pohybech. Pro porovnání byl přidán i cvik, který zahrnuje nejen pohyb paže, ale i nohy.

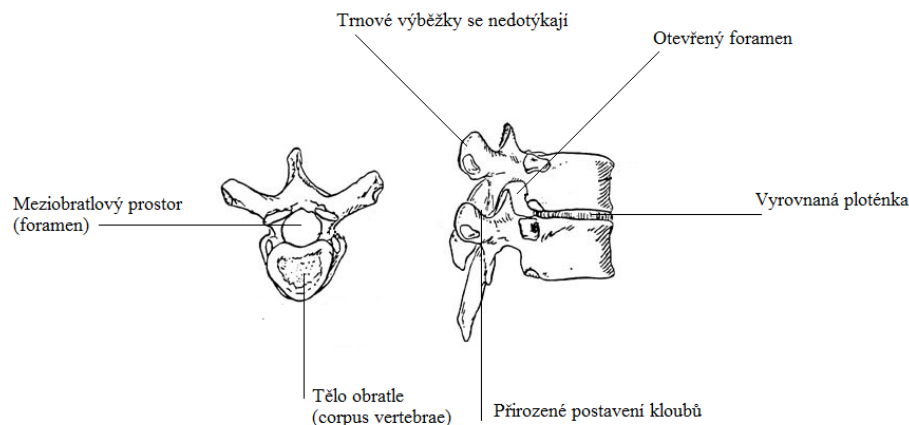
Typ cviků byl zvolen na základě patentovaného systému funkční stabilizace a mobilizace páteře (dále jako SM systém), přesněji dle knihy, jež tento systém popisuje [16].

Primárně jsou cviky prováděny bez užití jakýchkoliv pomůcek, z principu jde o správné provedení pohybu. Nicméně pro větší efekt lze použít elastického lana, které vytváří postupně vzrůstající odpor, při jehož překonávání jsou aktivovány i jiné svalové skupiny, či lehkého závaží.

### 5.1 Systém funkční stabilizace a mobilizace páteře

Funkční stabilizace a mobilizace páteře neboli SM systém vychází z principu spirálně stabilizovaného pohybu. Stabilizaci obecně můžeme rozdělit na vertikální a spirální. Vertikální stabilizace působí především v klidových polohách jako je prosté stání, sezení apod. Zapojují se při ní vertikální svalové řetězce, které vytvářejí komprimující sílu působící směrem dolů. Stabilizace zapříčiněná spirálními řetězci je vhodná pro stabilizaci během pohybu, vytváří naopak trakční sílu směřující nahoru [16]. Svalový řetězec je diferencovaným obrazem funkcí, které vykonávají jednotlivé svaly či svalové skupiny. Vertikální průřez danou soustavou svalů odpovídá svalové smyčce (koordinovanost zapojení jednotlivých svalů řízených centrální nervovou soustavou), horizontální úsek představuje změnu biopotenciálů, tedy činnosti svalů [17].

Příčinou bolestí při pohybu (týká se bolestí zad) je často právě zapojení vertikálních svalových řetězců, které jsou určeny pro klidové polohy. Zvyšuje se při nich napětí těchto svalových skupin a to způsobuje stlačování obratlů k sobě. Spirální řetězec naopak působí protichůdně, tedy obratle se od sebe roztahují, obecně se páteř protahuje směrem nahoru.



Obr. 5.1 Schéma fyziologického postavení obratlů, upraveno z [18]

Hlavní problémy při nesprávném zapojování svalových skupin se projeví na obratlích. Při optimálním pohybu je napětí vazů na přední obratlové straně ve fyziologické míře, foramen (meziobratlový prostor) je otevřený, ploténky nejsou stlačené a jsou vyrovnané, klouby jsou v otevřeném postavení a trnové výběžky nejsou vzájemně zaklíněné (Obr. 5.1).[16]

## 5.2 Testovací cvik

Testovací cvik sloužil jako kontrola programu, který slouží pouze k zobrazení virtuálního avatara. Pomocí něj bylo ozkoušeno, jak Kinect reaguje na cvičící postavu. Jako testovací cvik bylo zvoleno jednoduché vzpažení pravé paže. Při tomto pohybu cvičenec vychází ze základní polohy, tj. pravá ruka je upažena, napnutá, s trupem svírá pravý úhel. Do konečné polohy se dostane prostým vzpažením kopírující zdánlivý pohyb po kružnici, přičemž paže je stále napnutá a rameno se drží ve své základní poloze, tj. cvičenec se nesnaží si ulehčit cvik tím, že by přitahoval rameno směrem k uchu. Možné chyby v provedení tohoto cviku jsou:

1. přitahování ramene směrem k uchu,
2. povolení paže (ohyb v lokti),
3. vychýlení z frontální roviny,
4. špatná pozice výchozí a konečné polohy.

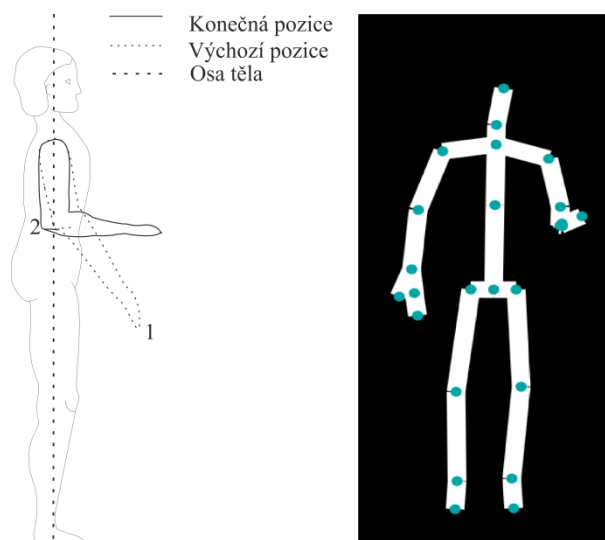
Testovací cvik se zvolil pro svou jednoduchost, lze při něm hodnotit, zda nedochází k chybám č. 2 a č. 4.

### 5.3 Trénovací množina cviků

Trénovací množinou cviků je myšlena skupina tří vybraných cviků, jejichž správné provedení bude kontrolováno programem vytvořeným pro senzor. Tyto byly vybrány z knihy o SM systému (viz [15] v seznamu literatury).

#### Cvik č. 1

Prvním cvikem je tah paží vzad s pokrčenými lokty. Při výchozím postavení cvičenec zaujímá polohu ve stoje s dlaní směřující dolů a lopatkami vytaženými vpřed. Směr pohybu je předozadní. Z výchozí polohy (na Obr. 5.2 značka 1) jsou lopatky s nádechem táhnuty k sobě, směrem dozadu a dolů, dlaň se při pohybu otočí směrem vzhůru, loketní kloub svírá pravý úhel a paže se drží při těle, tj. nedochází k tomu, že by loket byl z bočního pohledu až za páteří (viz značka 2 na Obr. 5.2). Během tohoto pohybu se obratle dostávají z uzavřené blokové pozice do pozice otevřené, viz Obr. 5.1, a uplatňuje se trakční síla [16].



Obr. 5.2 Schéma provedení cviku č. 1, vpravo zobrazení avatara pomocí Kinectu

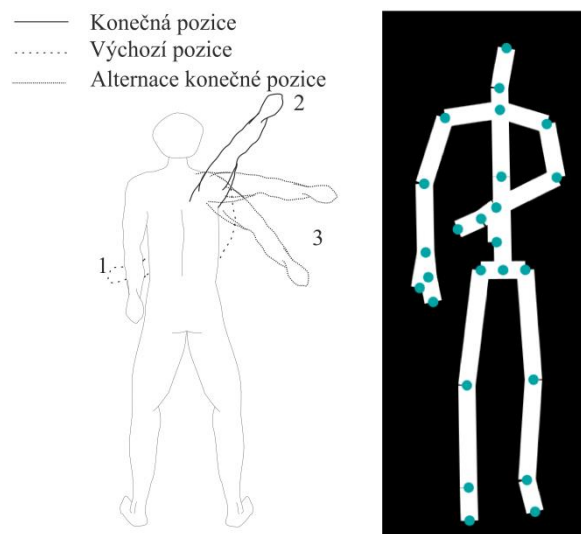
Možné chyby v provedení tohoto cviku jsou:

1. přitahování ramene směrem k uchu,
2. nesprávné natočení dlaní,

3. v konečné pozici loket nesvírá pravý úhel,
4. protažení konečné pozice až za požadovanou hranici, tah paže směrem za záda,
5. příp. záda jsou ohnuta, cvičenec nestojí rovně.

## Cvik č. 2

Cvik č. 2 je boční tah za pomoci jedné paže. Výchozí pozice, viz značka 1 na Obr. 5.3, ukazuje pravou ruku, která leží uvolněně překřížená před tělem, zápěstí se pohybuje cca na úrovni lokte druhé ruky. Lopatka je vytažená vpřed. S nádechem je pravá ruka táhnuta směrem vzhůru, přičemž lopatka je táhnuta dozadu a dolů a rameno by mělo klesat až do konečné pozice (viz značka 2). Možností je alternace (viz značka 3), kdy ruka nekončí v pozici, kde je zvednuta nad hlavu, ale buď tak, že je upažena, nebo směřuje diagonálně dolů [16].



Obr. 5.3 Schéma provedení cviku č. 2, vpravo zobrazení avatara pomocí Kinectu

Možné chyby v provedení tohoto cviku jsou:

1. přitahování ramene směrem k uchu,
2. nesprávná úroveň držení zápěstí ve výchozí pozici,
3. pokrčení paže při tahu,
4. nesprávná úroveň paže v konečné pozici,

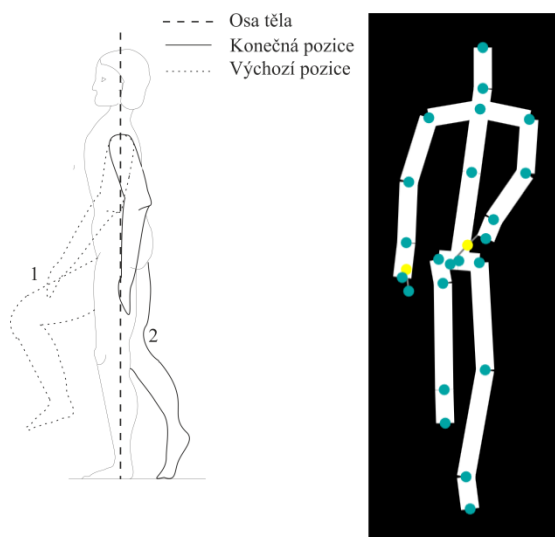
## 5. příp. naklonění těla se směrem tahu.

Detekce bude zaměřena především na body 2. – 4. Přitahování ramene k uchu a naklonění těla by nemuselo být správně zaznamenáno.

### Cvik č. 3

Cvik č. 3 je pohyb, při kterém cvičenec zanoží v kyčli a zároveň provede protipohyb paží. Ve výchozí pozici tedy stojí cvičenec uvolněně, pravé koleno je vpředu a levá ruka se kolene dotýká (viz značka 1 na Obr. 5.4). S nádechem se pravá noha posouvá vzad, během pohybu se špička může dotknout podlahy.

Během tohoto pohybu se vzad dostává i levá ruka, pohyb je proveden tahem lopatky dozadu a dolů. Konečné postavení (viz značka 2) je tedy vyrovnání v zádech,



Obr. 5.4 Schéma provedení cviku č. 3, vpravo zobrazení avatara pomocí Kinectu

jelikož při výchozí pozici jsou lehce natočená, aby se cvičenec mohl dotýkat rukou kolena, pravá noha se opírá o špičku a levá ruka je lehce za osou těla ve svislé poloze [16].

Možné chyby v provedení tohoto cviku jsou:

1. přitahování ramene směrem k uchu,
2. nesprávná úroveň držení zápěstí vůči kolenu ve výchozí pozici,

3. nesprávná úroveň držení kolena,
4. konečné postavení paže je buď před osou těla, nebo příliš vzdálená od osy těla,
5. paže je pokrčená v lokti,
6. postavení nohy v konečné pozici.

Tento cvik je nejkompexnější ze všech. V programu také bude obsahovat nejvíce míst detekce a určování odchylek. Jelikož se při tomto cviku zapojují i dolní končetiny, není zcela jisté, zda bude detekce vždy správná z důvodů, které jsou zmíněny v úvodu kapitoly 5.

# 6 POPIS PROGRAMU „PHYSIOBACK“

## 6.1 Princip fungování programu

Tento program vznikl úpravou předešlého, který pouze zobrazoval cvičencovu postavu (viz kapitola 4.1). V principu se jedná o program, který předává uživateli informace ve formě biofeedbacku, tj. biologické zpětné vazby. Vizualizuje to, co člověk nemůže vnímat jiným způsobem, než např. pomocí obrazu či zvuku.

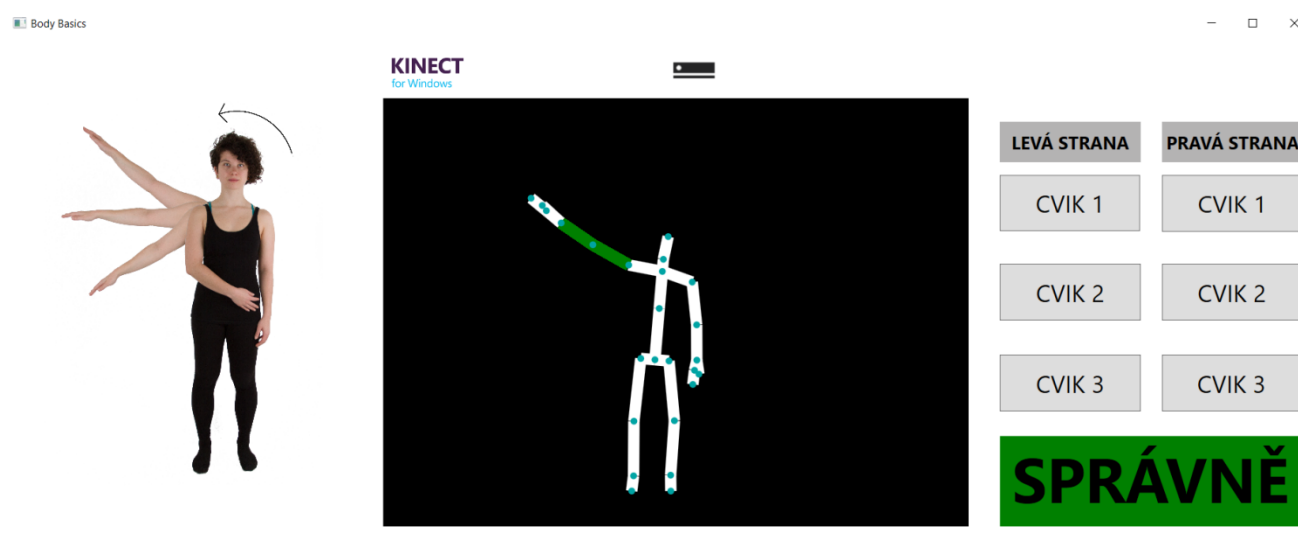
Kód programu obsahuje několik metod, např. pro načtení rámce pro zobrazení avatara, vykreslení těla a kostí či vykreslení rukou. Definování jednotlivých cviků je vloženo ve funkci DrawBone (vykresluje kosti). Jedná se o příkaz (přepínač) *switch* se šesti možnostmi (*case-y*), každý odpovídá jednomu cviku a jedné straně. Každý cvik je charakterizován pomocí několika podmínek typu *if*. V těchto podmínkách jsou vyhrazeny meze cviku na základě naměřených hodnot (viz kapitola 7 a tabulky v příloze A). Avatar je vykreslen bílou tlustší linkou, kloubní spojení a další důležité body jsou zobrazeny jako světle modré tečky. Části těla, které se vyskytují mimo zorné pole, nebo jsou částečně zakryté jinou částí těla, jsou pak vykresleny pouze slabou šedou linkou (jsou senzorem pouze předpokládáné).

Všechny cviky jsou naprogramovány tak, že se u nich detekuje chyba správně, pokud cvičenec stojí čelem k senzoru. Ačkoliv první a druhý cvik by byl pravděpodobně lépe vyhodnocen z bočního pohledu, toto postavení bylo vybráno z praktického důvodu, aby se neustále mezi cviky nemusela měnit poloha senzoru, či zobrazovacího zařízení (počítače, televize), nebo aby cvičenec nemusel otáčet hlavu, což by bylo vzhledem k účelu cviků kontraproduktivní. Dalším důvodem je také problém vykreslení avatara při pohledu z boku. Jako příklad lze uvést zobrazení paže, která je dále od senzoru, tj. částečně zakrytá druhou paží a také vlastním tělem. V tomto případě se paže nevykreslí plně, ale pouze slabě šedě. Mimo toto se také sensor snaží neustále „vystopovat“ všechny potřebné body pro vykreslení, což zapříčiňuje, že tato paže se neustále objevuje a mizí z obrazu, dalším problémem je i „překrytí“ vystopovaných bodů při pohledu z boku. Všechny tyto jevy pak působí na uživatele velmi rušivým dojmem.

Měření vzdáleností a úhlů vychází ze souřadnic, jež jsou vyhodnoceny samotným Kinectem. Výpočet vzdálenosti je pak pouhou absolutní hodnotou rozdílu dvou souřadnic na dané ose. Pro výpočet úhlů byla vytvořena samostatná funkce pro výpočet úhlu mezi dvěma přímkami v prostoru, kde jsou přímky definovány dvěma body v prostoru.

## 6.2 Uživatelské prostředí

Uživatelské prostředí programu tvoří pouze jedno okno (Obr. 6.1). Toto okno je vizuálně rozděleno do tří částí. Prostřední část okna je určena pro zobrazení virtuálního avatara cvičence, a pokud je připojen Kinect k počítači či jinému zařízení, tak se v tomto prostoru objeví černá obdélníková plocha, do které je poté avatar vykreslen. Ve chvíli, kdy se cvičenec postaví do zorného pole Kinectu, vykreslí se avatar bílou barvou. Kloubní spojení a jiné záchytné body (např. prostředek páteře či pánve) se vykreslí jako světle modré tečky. Senzor dokáže také rozeznat palec od ostatních prstů ruky.



Obr. 6.1 Uživatelské prostředí

Pravá část okna slouží k ovládání programu. Nápis „LEVÁ STRANA“ a „PRAVÁ STRANA“ je rozdělena na dva sloupce. Pod prvním nápisem jsou tlačítka, po jejichž stlačení jsou kontrolovány cviky prováděné levou paží, příp. u třetího cviku levou rukou a pravou nohou (viz kapitola 5.3). Obdobně platí to samé pro tlačítka pod druhým nápisem, ta patří pro cviky prováděné pravou paží, u třetího cviku pravou paží a levou nohou.

Pokud uživatel na tlačítko označeného jako „CVIK x“ ukáže myši, zbarví se do světle modra, po stisknutí se na avatru vykreslí zeleně/červeně ta končetina, s kterou je cvičeno a kterou bude program kontrolovat. Pokud je pohyb prováděn správně, končetina je vykreslena zeleně a v pravém dolním rohu okna se objeví pole se zeleným pozadím a nápisem „SPRÁVNĚ“, v opačném případě je pozadí červené a text se změní na nápis „ŠPATNĚ“.

Levá část je pak místem pro zobrazení fotografie, na níž je znázorněn princip pohybu. Směr pohybu je vždy ještě naznačen pomocí šipky. Na fotografii je vždy vidět jak výchozí, tak konečná pozice (ve směru šipky). Pro cviky pro levou a pravou stranu se zobrazují tytéž fotografie, na kterých je cvik předváděn vždy pro stranu pravou.

Cvičenec vždy stojí vzpřímeně čelem k senzoru Kinect; počítač, televizi či jiné zobrazovací zařízení má též před sebou v takové poloze, aby hlava byla volně a nebylo nutné ji natáčet.

## 7 MĚŘENÍ A EXPERIMENTY

Během tvorby samotného kódu ale i pro závěrečný test celého programu bylo nutné provést dvě měření. První měření sloužilo k získání průměrných hodnot ze skupiny čtrnácti osob co možná nejrůznějších rozměrů (výška, BMI). S těmito hodnotami se dále pracovalo při tvorbě kódu. Druhým měřením pak bylo již otestování funkčnosti samotného hotového programu na skupině deseti lidí.

### 7.1 Postup měření

Princip použitý jak při prvním, tak druhém měření je velmi podobný. Nejprve byl participant seznámen s jednotlivými cviky, byla popsána přesná povaha cviku, jeho účel, jak by měl být správně proveden. Poté následoval nácvik správného provedení cviku a následně předvedení cviku před senzorem Kinect. Během předvádění cviku stojí cvičenec čelem ke Kinectu. V tuto chvíli se již jedná o subjektivní hodnocení zajištěné mou osobou na základě základní znalosti z oblasti fyzioterapie a hlubšího nastudování konkrétního cviku z knihy MUDr. Smíška. Při měření participant stál v takové vzdálenost před senzorem, aby celá jeho postava byla v zorném poli kamery senzoru. Tato vzdálenost se liší a je závislá na výšce daného člověka, čím vyšší člověk je, tím dále od senzoru musí stát. Na rozdíl od prvního měření byl při druhém měření použit jako pozadí bílý papír, aby se případně minimalizoval vliv nehomogenního pozadí.

#### Data z prvního měření

Pro získání dat z prvního měření byl upraven původní skript k pouhému zobrazení „avatařa“ tak, aby se mimo něj zobrazovaly i námi požadované hodnoty – jednalo se o velikost úhlu v koleni, kyčli a paži, dále o vzdálenosti bodů (kloubů) v různých osách, např. u třetího cviku vzdálenost kotníků na ose „z“ v konečné pozici či vzdálenost bodů pro loket a rameno na ose „x“ u cviku prvního. Měření tedy nebylo prováděno manuálně, ale přímo pomocí senzoru Kinect. Ten sice do měření zavádí již svou chybu (limit detekce 2,5 cm), ale manuálním měřením by byla zavedena chyba ještě větší, jelikož nevíme, do jakého přesného místa senzor aproximuje umístění jednotlivých bodů. Všechny hodnoty byly zaznamenány a vepsány do tabulek (viz Příloha A). Měření každé hodnoty u každého cviku proběhlo minimálně třikrát a to pro levou i pravou stranu těla.

Ze získaných hodnot byl poté vypočten jejich průměr a směrodatná odchylka. Vymezení přesných hodnot pak probíhalo na základě poměření průměrů a odchylek. Bohužel u některých hodnot byla směrodatná odchylka téměř totožná se samotnou hodnotou průměru. Principiálně se rozsah, ve kterém by se průměrný člověk měl při cvičení pohybovat, určil tak, že se k průměrné hodnotě připočetla a odečetla hodnota směrodatné odchylky. Celkový rozsah se poté ještě upravit pomocí zaokrouhlení, např. pokud při odečtení a přičtení směrodatné odchylky vyšel rozsah povolených úhlů od 141° po 159°, ve skriptu byl použit rozsah zaokrouhlený na desítky, tedy 140°-160°.

Pro zajištění co nejvhodnějších výsledků byla vybrána poměrně nehomogenní testovací skupina. Výška se pohybovala v rozmezí od 157 do 197 cm, váha od 53 do 106 kg, tedy pak hodnota BMI od 19,8 po 32,7 (normální váha až obezita 1. stupně).

### **Data z druhého měření**

Při druhém měření se testovala funkčnost programu z hlediska správného určení chyby. Tyto parametry můžeme rozdělit na klasické hodnoty true positive (TP), false positive (FP), true negative (TN) a false negative (FN). Vzhledem k detekci chyb by tyto hodnoty zastávaly následující případy:

- TP – chyba se vyskytla a program ji vyhodnotil jako chybu,
- FP – chyba se nevyskytla, ale program vyhodnotil chybu,
- TN – chyba se nevyskytla a program ji nevyhodnotil,
- FN – chyba se vyskytla, ale program ji nevyhodnotil.

Jelikož hodnocení bylo subjektivní, založené na postřehu, úsudku a znalosti cviků, nebylo možné hodnotit všechny čtyři parametry současně. Hodnocení se tedy zobecnilo pouze na případ, kdy se hodnotil stav:

- A. pokud se nevyskytla chyba, tak nebyla detekována, a pokud ano, tak detekována byla, tj. TP + TN,
- B. pokud se chyba nevyskytla, tak byla detekována, a pokud se vyskytla, tak byla detekována, tj. FP + FN.

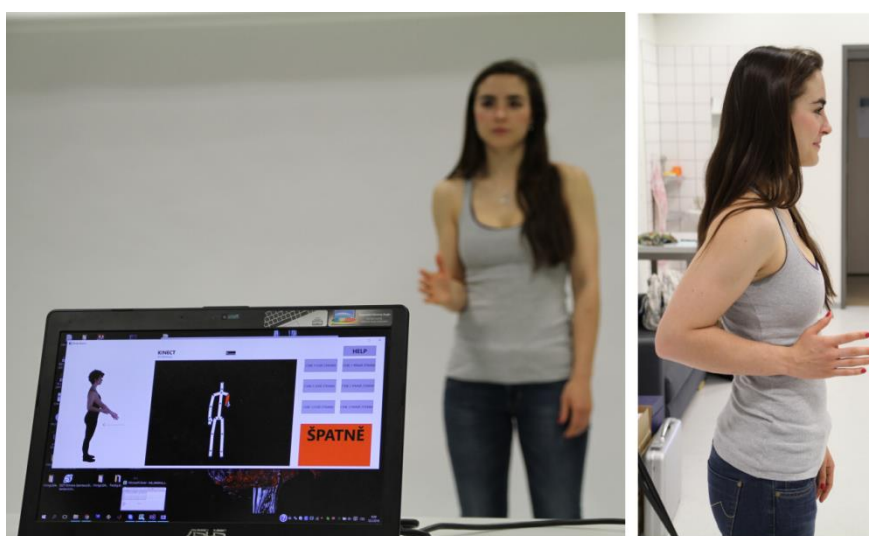
Z tohoto hodnocení vznikla následující tabulka úspěšnosti (Tab. 8.1) detekce chyb. Každý cvik byl daným člověkem předveden čtyřikrát. Tabulka tedy udává, kolikrát během cviku došlo na stav B, tedy chybné určení. Hodnota 1 v Tab. 8. 1 udává,

zda při daném měření došlo na jev A či B, hodnota 0 pak, zda k němu nedošlo. Pro toto měření byla vybrána skupina osob, kteří se neúčastnili měření prvního.

Tab. 7.1 Úspěšnost detekce chyb

| Detekce chyb |           |      |           |         |           |         |
|--------------|-----------|------|-----------|---------|-----------|---------|
|              | cvik č. 1 |      | cvik č. 2 |         | cvik č. 3 |         |
| Stav:        | A         | B    | A         | B       | A         | B       |
| 1            | 1111      | 0000 | 1111      | 0000    | 1111      | 1110    |
| 2            | 1111      | 0000 | 1111      | 1111    | 1111      | 1111    |
| 3            | 1111      | 1000 | 1111      | 1000    | 1111      | 1100    |
| 4            | 1111      | 1000 | 1111      | 0000    | 1111      | 1100    |
| 5            | 1111      | 1111 | 1111      | 0000    | 1111      | 1111    |
| 6            | 1111      | 0000 | 1111      | 1100    | 1111      | 1111    |
| 7            | 1111      | 0000 | 1111      | 0000    | 1111      | 1111    |
| 8            | 1111      | 0000 | 1111      | 0000    | 1111      | 0000    |
| 9            | 1111      | 1100 | 1111      | 0000    | 1111      | 1111    |
| 10           | 1111      | 0000 | 1111      | 0000    | 1111      | 1111    |
| Souhrn       | 100 %     | 20 % | 100 %     | 17,50 % | 100 %     | 77,50 % |

Na Obr. 7.1 můžeme vidět fotografii z průběhu měření. Na počítači je spuštěný program, který ukazuje jaký typ cviku je cvičen a že byla detekována chyba. Jedná se o chybu, kdy při prvním cviku nemá být ruka v konečné pozici zatlačena až za záda, nýbrž má být jen lehce za osou těla (viz kapitola 5.3). V pravé části obrázku je vidět, jak chyba vypadá.



Obr. 7.1 Průběh měření – detekce chyby

Více fotografií, na kterých je vidět průběh měření, se nachází v příloze (část B) bakalářské práce.

## 7.2 Vyhodnocení

První měření sloužilo k tomu, aby byly zjištěny hodnoty (vzdálenosti bodů (kloubů) a úhly v paži, koleni a kyčli), se kterými se pak dále dalo pracovat v rámci samotného kódu. Podrobné výsledky viz tabulky v příloze A. Dobré výsledky vzešly především z měření úhlů, kdy se směrodatné odchylky pohybovaly v hodnotách mezi 2 – 10 % původní hodnoty. U měření hodnot vzdáleností se vyskytla mnohem větší chybovost. Hodnoty směrodatných odchylek nabývaly hodnot mezi 25 – 72 %. Z toho důvodu se některé naměřené hodnoty vůbec nezohlednily při vytváření parametrů daného cviku. Jako příklad lze uvést vzdálenost mezi zápěstím a bodem na páteři v rámci osy  $x$ , kde směrodatná odchylka tvořila 71,5 % původní hodnoty.

Díky druhému měření (průběh viz fotografie v Příloze B) byla ověřena funkčnost programu. Jak je patrné již z Tab. 8. 1 nejlepších výsledků bylo dosaženo u cviku č. 2 a nejhoršího u cviku č. 3. Takový byl i původní předpoklad, který se měřením potvrdil. Dobré výsledky u cviku č. 2 jsou zaznamenány hlavně proto, že cvik je téměř po celou dobu prováděn převážně v rovině  $YX$  souřadnicového systému, pohyb ve směru osy  $x$ . Tato rovina je rovnoběžná s umístěním senzoru, ten pak může dobře detekovat případné chyby. U cviku č. 3 byly špatné výsledky zapříčiněny jednak tím, že v pohybu byla nejen paže, ale i noha a také cvik má směr pohybu po ose  $z$ . Osa  $z$  je v tomto případě osou, která udává hloubku, jež není detekována s takovou přesností jako běžná vzdálenost na ose  $x$  či  $y$ . Samotný cvik byl správně detekován ve výchozí pozici i během pohybu, problém nastal až při pozici konečné, kde jsou noha i paže posunuty ve směru osy  $z$  za vertikální osu těla. U mnohých participantů nebylo ani možnost najít takovou pozici (upravená pozice paže či nohy), jež by Kinect detekoval jako správnou. Hlavním problémem byla nejspíše skutečnost, že musí být splněno několik podmínek charakterizující správný pohyb, aby byl označen za bezchybný.

Při tomto měření sestávala skupina cvičenců z osob o výšce mezi 164 cm a 180 cm. Jelikož hodnoty, se kterými pracuje samotný program, jsou výsledkem průměrování z prvního měření, bylo vyzorováno, že nejmenší bezchybnost je spojena s výškou člověka okolo 170 cm s BMI kolem hodnoty 22-23.

## 8 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce je rozdělena na tři části. První je zaměřena na teoretické znalosti týkající se senzorů obecně a optického měření vzdálenosti, konkrétněji je popsán senzor Kinect, kterému je věnována samostatná kapitola. Druhá část se věnuje typům cviků, které byly vybrány pro použití v programu a popisu samotného programu včetně jeho uživatelského prostředí. Poslední část práce popisuje provedená měření a jejich výsledky.

Cviky zvolené pro vytvoření programu byly vybrány na základě knihy o systému funkční stabilizace a mobilizace páteře (viz seznam literatury [16]). Hlavním důvodem pro jejich výběr byl fakt, že Kinect nejlépe snímá vzpřímeně stojící postavu. První dva cviky vychází pouze z pohybu paží, třetí z pohybu paže a nohy. Ačkoliv jsou některé cviky názornější, pokud je při nich cvičenec pozorován z boku (týká se cviku č. 1 a č. 3), i tyto jsou kontrolovány při postoji čelem k senzoru. Důvodem byl fakt, že při změně polohy detekce by se neustále musela měnit i poloha Kinectu, či zobrazovacího zařízení, nebo by dokonce musel cvičenec natáčet hlavu, aby viděl na obrazovku zařízení, což by působilo kontraproduktivně vzhledem k povaze cviku. Dalším důvodem bylo to, že při pohledu z boku není senzor schopen zaznamenat všechny body, což je způsobeno jejich překrytím (např. ruka je překryta tělem).

Celkově byla provedena dvě měření. Pro každé byla zvolena jiná skupina osob, přičemž v obou skupinách byla snaha vybrat co možná nejrozličnější skupinu, co se váhy a výšky týče. Data z prvního měření, při kterém se měřily úhly v paži, kyčli a koleni a také vzdálenosti mezi různými body na těle v závislosti na typu cviku, sloužila k vytvoření samotného programu. Průměry těchto hodnot s ohledem na jejich směrodatné odchylky definovaly každý cvik, a to konkrétně v jakých rozmezech je cvik ještě definován jako správný. Některá měření, zvláště vzdálenosti bodů, byla ovšem spojena s velkou směrodatnou odchylkou, která v některých případech dosahovala až 70 % původní hodnoty. Z tohoto důvodu nebyly takovéto hodnoty při tvoření kódu nakonec použity. Dobré hodnoty se směrodatnými odchylkami do 10 % byly získány z měření úhlů.

Druhé měření sloužilo k ověření funkčnosti programu. Jak bylo předpokládáno, nejhorší výsledek se vyskytl při kontrole cviku č. 3, kde se v 77,50 % případů vyskytla chyba detekce. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u cviku č. 2 s chybou detekce 17,50 %. Chybovost ovlivňuje především to, ve směru které osy je cvik prováděn a zda jednou či více končetinami. Z měření bylo zjištěno, že nejlépe detekce funguje u osob, kteří měří okolo 170 cm a jejich BMI se pohybuje v hodnotách mezi 22-23.

Tento program by bylo možno dále rozvíjet, např. spuštění krátké videosekvence, na které by bylo natočeno vzorové provedení cviku pro větší názornost. Dále by se mohly využít další funkce Kinectu a program by mohl být ovládán pomocí pohybu ruky, nikoliv pouze myší. Dalším stupněm by mohlo být vytvoření prostředí pro charakterizaci nového cviku a jeho uložení do databáze cviků.

# LITERATURA

- [1] ROUSE, Margaret. What is Kinect? In: *TechTarget* [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://searchhealthit.techtarget.com/definition/Kinect>
- [2] CHOUFFANI, Reda. Microsoft Kinect and its official push for health care. In: *TechTarget* [online]. 2011-06-03 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://searchhealthit.techtarget.com/healthitexchange/meaningfulhealthcareinformaticsblog/microsoft-kinect-and-it%E2%80%99s-official-push-for-healthcare-push/>
- [3] CHUNG-SAYERS, Natalie. Xbox useful to surgeons. In: *Sunnybrook* [online]. 2011-03-14 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://sunnybrook.ca/media/item.asp?i=616>
- [4] ČÁPKA, David. Úvod do objektově orientovaného programování v C#. *ITnetwork* [online]. [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <http://www.itnetwork.cz/csharp/oop/c-sharp-tutorial-uvod-do-objektove-orientovaneho-programovani>
- [5] MILES, Rob. *C# Programming Yellow Book*. "Bananas" Edition 7.0. University of Hull: Department of Computer Science, 2015.
- [6] HRUŠKA, František. *Senzory v systémech informatiky a automatizace*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 177 s. ISBN 978-80-7318-630-2.
- [7] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996, 315 s. ISBN 80-01-01500-9.
- [8] ZEHNULA, Karel. *Snímače neelektrických veličin: vysokoškolská příručka pro vysoké školy technického směru*. 2., upravené a dopln. vyd. Praha: SNTL, 1983, 371 s.
- [9] PENHAKER, Marek. *Snímače a senzory v biomedicíně*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013, 220 s. ISBN 978-80-248-3104-6.
- [10] RIPKA, Pavel. *Senzory a převodníky*. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 136 s. ISBN 978-80-01-04696-8.
- [11] FEKT VUT V BRNĚ. *Optoelektronika*. Brno: UMEL. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/oks/cz/pdf/skripta.pdf>
- [12] RAIDA, Zbyněk. Koeficient odrazu, koeficient prostupu. In: *Elektromagnetické vlny, mikrovlnná technika: Multimediální učebnice*. FEEC VUT Brno. [cit. 2016-01-02]. Dostupné z: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=def>
- [13] HANSARD, Miles. *Time-of-flight cameras: principles, methods and applications*. New York: Springer, 2013, x, 96 pages. SpringerBriefs in computer science. ISBN 1447146573.

- [14] JAMES, Dick. Inside the Xbox One Kinect. *Chipworks* [online]. 2013-11-28 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <https://www.chipworks.com/about-chipworks/overview/blog/inside-xbox-one-kinect>
- [15] SELL, John a Patrick O'CONNOR. *The Xbox One System on a Chip and Kinect Sensor*. DOI: 10.1109/MM.2014.9. ISBN 10.1109/MM.2014.9. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6756701>
- [16] SMÍŠEK, Richard, Kateřina SMÍŠKOVÁ a Zuzana SMÍŠKOVÁ. *Spirální stabilizace: 12 základních cviků: léčba a prevence bolestí zad metodou SM-systém : funkční stabilizace a mobilizace páteře*. Praha: R. Smíšek, 2009, [11], 149, [7] s. ISBN 978-80-904292-0-8.
- [17] BERNACIKOVÁ, Martina, Lenka BERÁNKOVÁ a Miriam KALICHOVÁ. Svalové smyčky a řetězce. *Základy sportovní kineziologie* [online]. Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity [cit. 2015-12-04]. Dostupné z: [http://is.muni.cz/do/1451/e-learning/kineziologie/elportal/pages/svalove\\_smycky\\_retezce.html#retezce](http://is.muni.cz/do/1451/e-learning/kineziologie/elportal/pages/svalove_smycky_retezce.html#retezce)
- [18] *Organization of the Nervous System: An introduction for students in the Human Anatomy Course* [online]. Emory University [cit. 2015-12-04]. Dostupné z: [http://www.emory.edu/ANATOMY/AnatomyManual/nervous\\_system.html](http://www.emory.edu/ANATOMY/AnatomyManual/nervous_system.html)

# PŘÍLOHY

- A. Tabulky naměřených hodnot
- B. Fotodokumentace průběhu měření
- C. Návod k použití programu