

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a

humanitních věd

**Využití technologie sledování očních pohybů pro
ekonomické analýzy**

Diplomová práce

Vedoucí práce:

RNDr. Kateřina Helisová, Ph.D.

Odborný konzultant:

Ing. Vratislav Fabián, Ph.D.

Student:

Ing. Petr Fukal

květen 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Fukal Petr

Studijní program: elektrotechnika, energetika a management
Obor: ekonomika a řízení elektrotechniky

Název tématu: Využití technologie sledování očních pohybů pro ekonomické analýzy

Pokyny pro vypracování:

- analýza technologie a porovnání s obdobnými zahraničními řešeními
- matematická definice problému a studium příslušné literatury
- tvorba a ověření validity matematického modelu na provedeném experimentu
- typické aplikace pro použití v praxi a jejich ekonomické výhody
- případové studie nasazené technologie a vyvození závěrů užitečných pro praxi

Seznam odborné literatury:

Rayner K.: Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. Psychological Bulletin 124, 1998

Duchowski A.T.: A breadth-first survey of eye tracking applications. Behavior Research Methods, Instruments & Computers (BRMIC) 3, 2002

Goldberg J.H., Kotval X.P.: Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructions. International Journal of Industrial Ergonomics 24, 1999

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Kateřina Staňková Helisová, Ph.D. – ČVUT FEL, K 13101

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2014/2015



Doc. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 11.2.2014

Prohlášení

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 12. 5. 2014

Ing. Petr Fukal

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí práce RNDr. Kateřině Helisové, Ph.D. za její cenné rady, čas, ochotu a konstruktivní návrhy, které mi pomohly při tvorbě této práce.

Anotace:

Diplomová práce „Využití technologie sledování očních pohybů pro ekonomické analýzy“ se zabývá popisem technologie a jejími souvislostmi v různých oborech lidské společnosti. V práci jsou popsány jednotlivé metody, kterými se pohyby očí měří, i důležité parametry měření. Dále jsou zde zmíněny oblasti ekonomického využití v praxi a případové studie. V praktické části je popsán matematický postup výpočtu modelu transformační funkce pro zařízení umístěné na FEL ČVUT.

Klíčová slova:

eye-tracking, lineární regrese, mobilní eye-tracking, oční pohyby, transformační funkce

Abstract:

The diploma thesis „Using of eye-tracking technology for economic analyses“ deals with the description of eye-tracking technology and its connection in various spheres in human society. In thesis there are described various kinds of methods based on eye movement measurements together with important measurement parameters. Fields of economic application in practical use and number of case studies are mentioned as well. In the practical part is described mathematical calculation procedure of transformational function model for device placed in FEL CTU.

Keywords:

eye movements, eye-tracking, linear regression, mobile eye-tracking, transformation function

Obsah

1	ÚVOD.....	9
1.1	Historie.....	10
2	ZRAK	13
2.1	Pupila	16
2.2	Vizuální pozornost.....	17
2.3	Postupný vývoj měření pozornosti	18
2.3.1	Hermann Von Helmholtz – „kde“	18
2.3.2	William James – „co“	18
2.3.3	James Gibson – „jak“	19
2.3.4	Donald Broadbent – „selektivní filtr“	19
2.3.5	Diana a Anthony Deutsch – „vážený význam“	19
2.3.6	Gaetano Kanizsa.....	20
2.3.7	Alfred Yarbus, David Noton a Lawrence Stark - „pozorované cesty“	20
2.3.8	Michael Posner – „světelný bod“	21
2.3.9	Anne Treisman – „integrace vlastností“	21
2.3.10	Stephen Kosslyn – „okno“	21
3	MĚŘENÍ OČNÍCH PARAMETRŮ.....	23
3.1	Zpoždění sakády a ostrost.....	26
3.2	Oční pohyby při čtení	26
3.2.1	Řízení pohybu očí při čtení	29
3.3	Eye-tracking systémy.....	29
4	EKONOMICKÉ APLIKACE	37
4.1	Marketingový výzkum.....	37
4.2	Eye-tracking v marketingových aplikacích	38
4.2.1	Reklama.....	40
4.2.2	Webové stránky.....	42
4.2.3	Design značky/obalu	44
4.2.4	Supermarket	44
5	MATEMATICKÁ ANALÝZA.....	48
5.1	Získávání dat.....	48
5.2	Lineární regrese	50
5.2.1	Metoda nejmenších čtverců.....	52
5.3	Aplikace	52
6	ZÁVĚR.....	60
7	ZDROJE	61
8	PŘÍLOHA.....	66

Seznam obrázků

Obr. 1: Spektrum světelného záření [3].....	13
Obr. 2: Struktura lidského oka [5]	14
Obr. 3: Citlivost lidského oka na barvy [6]	15
Obr. 4: Optický klam – dle Kanizy [11].....	20
Obr. 5: Yarbusovy pozorované cesty [12].....	21
Obr. 6: Grafické znázornění jednotky očí [13].....	25
Obr. 7: Statický systém.....	31
Obr. 8: Princip elektrookulografie [27]	33
Obr. 9: Světelné odrazy od oka [29].....	35
Obr. 10: Středy zornic zaznamenané kamerou [10]	35
Obr. 11: Rozdělení eye-trackyngových systémů	39
Obr. 12: Zlatý trojúhelník.....	43
Obr. 13: Heat mapa produktů Unilever [38].....	45
Obr. 14: Tobii eye-trackingové brýle [40]	46
Obr. 15: Kalibrační body monitoru	48
Obr. 16: Snímací část – čelní pohled.....	49
Obr. 17: Snímací část – boční pohled.....	49
Obr. 18: Základní set dat proložený regresní přímkou	51
Obr. 19: Pořadí ukládání bodů.....	53
Obr. 20: Naměřená data dle Tab. 5.....	54
Obr. 21: Zobrazované (modrá) vs. vypočtené body (červená)	57
Obr. 22: Naměřená data dle Tab. 8.....	58
Obr. 23: Zobrazované vs. vypočtené body	59

Seznam tabulek

Tab. 1: Srovnání parametrů při různých činnostech [17]	24
Tab. 2: Parametry jednotlivých druhů pohybů [13]	25
Tab. 3: Techniky získávání informací z textu [17].....	28
Tab. 4: Převodní tabulka.....	50
Tab. 5: Vstupní data výpočetního modelu.....	53
Tab. 6: Výsledné parametry transformační funkce	56
Tab. 7: Přepočet parametrů dle transformační funkce.....	56
Tab. 8: Vstupní data výpočetního modelu.....	57
Tab. 9: Výsledné parametry transformační funkce	58
Tab. 10: Přepočet parametrů dle transformační funkce.....	59

1 Úvod

Pro zpoplatnění některých internetových služeb slouží ukazatele, které dávají správci webu informace o zájmu uživatele na jeho internetové stránce. Za každou reklamu, která je na webu zobrazena, má poskytovatel stránek právo chtít finanční částku, ovšem naskytá se otázka, jakým způsobem měřit účinnost této reklamy. Doposud je hojně využívaný princip platby za klik, který monitoruje každé kliknutí myši v předem vymezené oblasti a určí tak, kolik potencionálních zájemců reklama oslovila. Často se ovšem stane, že uživatel se na reklamu pouze podívá, sice jí zaregistruje, ovšem nikde není zaznamenáno, že reklama měla kýžený účinek. To je jeden z důvodů, proč se světové korporace rozhodly investovat do znalosti pohybu lidských očí a věnovat se tomuto tématu čím dál intenzivněji.

Využití technologie snímání pohybu lidských očí je velmi široké a zabíhá do několika společensko-vědních oborů. Vychází ze snahy pochopení a modelování lidského zraku, proto je ke kompletnímu pochopení nutná znalost oborů lékařství, bioinženýrství, kybernetiky, biofyziky a matematiky. Následná aplikace této metody přináší obrovský průlom v monitorování myšlenek lidí a tím i obrovské marketingové i ekonomické zhodnocení. Informace o tom, co si člověk myslí, a co jej zajímá, má obrovskou hodnotu a právě proto vznikla tato práce za účelem přiblížení této technologie praktickému využití.

V první části práce jsou popsány fyziologické základy lidského oka, aby bylo možné se v problematice lépe orientovat. Dále je doplněn postupný vývoj sledování pohybu lidských očí a parametry měření, jakožto i podmínky pro korektnost měření. Stejně tak jsou i rozebrány jednotlivé oční pohyby a jejich vlastnosti při čtení a při měření.

Druhá část práce popisuje některé možné aplikace využití technologie snímání pohybů očí v praxi. Každá aplikace je pro člověka přínosem, tudíž má i ekonomický význam. Nejvýraznější oblastí, pro kterou má tato technologie význam, je marketing, a to zejména v oblasti reklamy, proto se také výrobci zařízení technologie snímání pohybu lidských očí specializují hlavně na tuto oblast a přizpůsobují tomu svá zařízení.

Pro lepší pochopení této technologie a zpřesnění výsledků je na FEL ČVUT sestaven vědecký tým, který provádí měření pohybu lidských očí. Na základě poznatků a naměřených dat je v této práci vytvořen matematický model, který přepočítá souřadnice zaznamenané kamerou na souřadnice světelného zdroje. Celý tento model včetně odvození a výpočtu je uveden v závěru práce.

1.1 Historie

První zmínky o eye-trackingu jsou ztotožňovány s výzkumem oftalmologa Louise Émila Javala z roku 1879. Ten se doposud domníval, že při čtení textu vykonává lidské oko kontinuální pohyb po celé délce čteného textu, ovšem při svém výzkumu zjistil, že tomu tak není. Lidské oko při čtení vykazuje sérii nepravidelných pohybů rozdělených krátkými přestávkami zvanými fixace a sakády. Lidský mozek dokáže vyhodnotit obraz právě na základě fixací, které je schopen přijmout pomocí zrakového vjemu. Tato převratná myšlenka se začala rozvíjet, a proto již na počátku 19. století počíná první etapa vývoje technologie eye-trackingu. Dodnes je možné pozorovat nekontinuální pohyb očí na testovaných objektech s různými časovými fixacemi na jednotlivé oblasti pozorování.

Na počátku 20. století Edmund Burke Huey použil pro svůj výzkum kontaktní čočku, která měla uprostřed díru umístěnou tak, aby světelné paprsky dopadaly přímo na pupilu. Tato kontaktní čočka byla elektronicky propojena s hliníkovým ukazovátkem a to zaznamenávalo pohyb pupily. V roce 1901 byla vyvinuta první neinvazivní technika měření, která využívala odrazu světla od rohovky. Tento systém používali Dodge a Cline pro zaznamenávání očních pohybů za podmínek nehybnosti lidské hlavy, ovšem vzhledem k dosavadním omezeným znalostem pouze horizontálních. Logicky vyplývá, že jeden směr pohybu očí nestačil, a proto se další výzkum ubíral právě touto cestou. Následně v roce 1905 byla poprvé použita další metoda, kdy Judd, McAllister a Steel dokázali zaznamenat dvoudimenzionální pohyb pomocí malé bílé kuličky umístěné mezi oky měřeného účastníka.

První období výzkumu se datuje až po rok 1920. Přineslo přitom spoustu nových objevů, mimo zmíněné fixace a sakády taktéž sakádové zpoždění (čas na reakci lidského oka) a velikost zorného pole.

Miles Tinker se svým výzkumným týmem začal v roce 1930 používat fotografické techniky pro zkoumání pohybů lidských očí. Vytvořil řadu zkušebních vzorků, které se lišily v typu písma, rozložení obsahu na stránce, případně velikosti formátu a pozoroval rychlost čtení a vzory pohybu očí. Paralelně s ním se na základě stejného principu zajímal Bushwell o výzkum v oblasti vnímání zobrazené scény nejen čteného textu, ale i dalších grafických obrazců. V roce 1948 použili Hartridge a Thompson jako první při svém výzkumu kameru, která byla umístěna na hlavě pozorovaného člověka. To znamenalo obrovský pokrok ve své době, protože celé měření se odprostilo od dosud velice přísných podmínek na omezení pohybu hlavy. Následně v roce 1950 Fitts, Jones a Milton začali používat kameru pro záznam pohybu očí leteckých pilotů při přistávání, aby určili, jak jsou schopni využívat zařízení kokpitu stíhačky. Ve své závěrečné zprávě uvádí Tinker, že všechny dosavadní výzkumy již byly provedeny a není možné objevit nic nového v oblasti měření pohybu lidských očí, proto se v této druhé fázi vývoje dále neobjevují žádné další měřicí metody a po dobu cca dvaceti let se nevyskytuje žádná zmínka o výzkumu v této oblasti [1].

V 70. letech 20. století výzkum eye-trackingu rapidně vzrostl z pohledu vývoje jak v technologii snímání očních pohybů, tak i psychologickém spojení kognitivních procesů a snímání očních pohybů [2]. Vývoj není patrný pouze v získávání naměřených dat, ale i v jejich následné analýze a vyhodnocení. Většina pokusů z této doby byla prováděna na půdě americké armády. Zároveň byl kladen důraz na zpřesnění snímacích systémů tak, aby byly nezávislé na očních parametrech měřených lidí. Ve stejný okamžik, nezávisle na sobě pracovaly na zpřesnění záznamu očních pohybů dva týmy, jedním z nich byla armáda US podporovaná vládou a státními organizacemi, zatímco druhý tým společnosti Honeywell byl podporovaný soukromým subjektem. Výsledkem obou týmů bylo využívání eye-tracking technologie v reálném čase (doposud byla naměřená data využita pouze zpětně) a možnosti využití interakce člověka s počítačem, což je chápáno jako jeden z milníků vývoje.

V roce 1980 přišli Just a Carpenter s teorií, která skloubila fyzický pohyb oka s psychikou. Jejich teorie vznesla tvrzení, že pokud se člověk dívá na nějaký text či obrázek, vnímá jej i kognitivně a po stejný časový úsek pozorování se na něj fixuje.

Třetí fáze přinesla zpřesnění naměřených výsledků a hlavně vzájemné propojení měřících systémů s počítači. Tato možnost znamenala zaznamenávání a uchovávání všech naměřených dat k následné analýze.

V dnešní době roste využití technologie eye-trackingu i její vývoj a výzkum. V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé reálné příklady využití a hlavně efekt, který přináší. Technologie pomáhá webmasterům a marketérům pochopit, kam se potencionální zájemce o danou stránku či reklamu dívá, a tím lze vyvodit vhodná místa, kam jednotlivé důležité prvky umístit na jejich webu nebo médiu. Tím dokáží určit například efektivnost reklamy na webové stránce, která část stránky časopisu nebo plakátu byla nejčastěji pozorována, které části byly aktuálně přečteny a kolik času na nich pozorovaný objekt strávil. Jednou z používaných zařízení pro provádění marketingových výzkumů v dnešní době je Tobii Technologie.

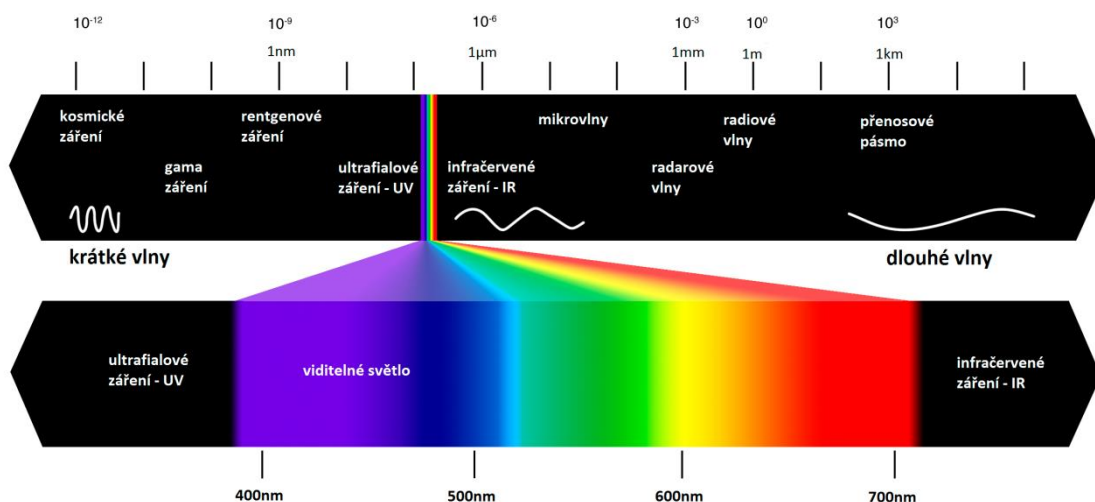
Vývoj aplikací technologie eye-tracking by se dal shrnout do čtyř generací, jak se celá technologie vyvíjela postupně až po dnešní dobu:

1. první generace - měření pozice oka vůči hlavě; použití technik měření bělma, kontaktní čočky, elektro okulografie,
2. druhá generace - foto a video okulografie,
3. třetí generace - analogové video v kombinaci s měřením odrazu od pupily/rohovky,
4. čtvrtá generace - digitální video v kombinaci s měřením odrazu od pupily/rohovky, rozšíření počítačovým viděním a signálovým zpracováním (DSP).

2 Zrak

Je obecně známo, že člověk má 5 smyslů, kterými vnímá, a to hmat, chuť, sluch, čich a zrak.

Nejdůležitějším ze jmenovaných je zrak, díky němuž je člověk schopný vnímat až 80% všech okolních informací. Mezi vnímané informace patří barva, intenzita světla, tvar pozorovaného objektu, jeho rozměr, pohyb a další. Jak je vidět z Obr. 1 jsme schopni vnímat pouze část elektromagnetického vlnění v rozmezí od 380 do 740nm. Záření o kratší vlnové délce je pohlcováno oční čočkou, naopak delší vlnové délky jsou pohlcovány rohovkou.



Obr. 1: Spektrum světelného záření [3]

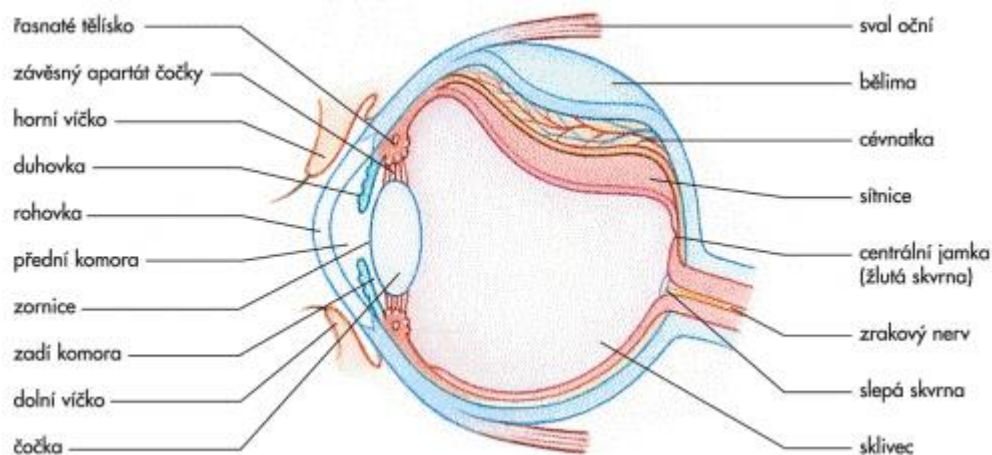
V orgánu lidského oka rozeznáváme složky sensorickou (zrakově smyslovou) a motorickou (pohybovou). Činnost obou těchto složek je řízena oblastí centrálních nervů. Pro úplný popis oka nelze zapomenout na tzv. přídavné orgány oka, kterými jsou víčka, spojivka a slzný aparát.

Senzorická část oka tvoří [4]:

- periferní část - oční bulba,
 - povrchová vrstva – vazivová (rohovka, bělma),
 - střední vrstva – cévnatá (duhovka, řasnaté tělísko, cévnatka),

- vnitřní vrstva – nervová (sítnice),
- zraková dráha – slouží k propojení oka se zrakovým centrem, které je uloženo v mozgovém laloku. Ve zrakovém centru vznikají zrakové vjemy,
- zrakové centrum mozkové kůry – nervové podráždění probíhá v opačném směru než je tomu u složky sensorické, tedy od motorických center k okohybným svalům. Každé oko má 4 přímé a 2 příčné svaly, které umožňují dokonalou pohybovou souhru obou očí.

Průměr oka je přibližně 25mm již od mládí a se vzrůstem jedince se prakticky nemění. Lidské oko přijímá okolní světlo, které dopadá na sítnici a vytváří tak otočený obraz pozorovaného předmětu. Nejprve světlo prochází rohovkou, což je tenká struktura na vnější straně oka, která pomáhá zaostřit příchozí světlo. Na Obr. 2 je zobrazena kruhová membrána, která se nazývá duhovka. Společně s čočkou od sebe odděluje přední a zadní oční komory, což je její hlavní funkce. Uprostřed duhovky se nachází otvor zvaný pupila neboli zornice, která se rozevívá a zavírá v závislosti na intenzitě dopadajícího záření. Jednoduše řečeno má funkci clony. Prostor mezi rohovkou a duhovkou je vyplněn komorovou vodou.



Obr. 2: Struktura lidského oka [5]

Dopadem světelného paprsku dochází k podráždění receptorů a takto vzniklé vzruchy jsou následně pomocí zrakového nervu přeneseny do zrakového centra. V závislosti na místě dopadu světelného paprku lze rozlišit 2 skupiny vidění. Pokud paprsek dopadá na žlutou skvrnu, jedná se o centrální vidění. K druhému typu vidění

dochází v případě, že světelný paprsek dopadá mimo žlutou skrvnu, v tomto případě je využito periferní vidění.

Dopadající záření vyvolá na sítnici fotochemickou reakci, která je dále pomocí zrakového nervu přenesena do mozku a ten jí vyhodnotí. Existují 2 typy smyslových buněk sítnice:

- tyčinky - cca 130mil buněk, které dokáží rozeznat pouze odstíny šedé. Nejvíce jsou využíváné za nočního vidění, proto jsou i citlivější na světlo,
- čípky - cca 7mil buněk, které dokáží rozeznat barevné vidění - barvocit. Každý barevný odstín je poskládán ze 3 základních barev: červená, zelená a modrá. Vykazují menší citlivost než tyčinky.



Obr. 3: Citlivost lidského oka na barvy [6]

Schopnost vnímání intenzity světla je obsažena ve zrakové křivce viz Obr. 3. Mimo ní záleží na předchozím prostředí, kde se jedinec pohyboval. Například vstoupí-li člověk do osvětlené místnosti z temného prostředí, v prvních okamžicích není schopen vnívat vůbec nic, až postupem času se celkové vnímání zlepšuje. Při tomto procesu dochází k postupné adaptaci celého nerovného systému oka, přitom nejprve se adaptují čípky a až následně tyčinky. Tento proces popisuje duplicitní teorie vidění, která využívá vždy jen jednoho systému vidění, v temných místech skotopické vidění (k rozboru obrazu jsou využívány pouze tyčinky), naopak nad určitou úroveň osvětlení využívá fotopické vidění (použity pouze čípky). Přechod mezi oběma systémy vidění není skokový, využívá se tzv. mezopického vidění.

Další důležitou vlastností zraku je schopnost rozeznat od sebe různé předměty. Dle definice [7] je rozlišovací schopnost minimální vzdálenost dvou bodů v prostoru, které v určité vzdálenosti oko rozezná. Ostrost lze měřit pomocí 3 typů měření a to jsou Snellovy optotypy, Landoltovo písmeno nebo struktury s pruhy. Všechny tyto typy měření vychází z faktu, že na zobrazených obrázcích jsou různě velké detaily, jejichž velikost je odstupňována po 1° škále. Například lékařská tabulka s písmeny je konstruována tak, že jednotlivé skupiny písmen jsou uspořádány v různých velikostech po 1° a jsou tak viditelná z různých vzdáleností. Nejčastěji při vyšetření zrakových vad se využívá vzdálenost 6 metrů, ke kterým se následně vztahuje.

Při dopadu světelného paprsku na rozhraní dvou prostředí dochází k jeho lomu. V případě zraku se tímto rozhraním myslí vzduch a rohovka. Ze zákonů optiky platí pravidlo lomu: z prostředí řidšího se paprsek láme ke kolmici, z prostředí hustšího se láme od kolmice. Fyzikální veličina, která popisuje šíření světla na rozhraní dvou prostředí, se nazývá index lomu a je bezrozměrná.

Celý oční aparát se skládá z několika prostředí, přičemž každé má jiný index lomu. Optický svazek při průchodu optickou soustavou se láme do ohniska. Oční optická soustava má několik ohniskových bodů a několik uzlů. Znalost těchto bodů je důležitá pro stanovení mohutnosti oka, která je udávána v dioptriích (D). Při mohutnosti oka 1 dioptrie (1D) je ohnisková vzdálenost 1 metr. Při poruše vidění se mění právě ohnisková vzdálenost dopadu paprsků a je třeba ji pomocí přidané čočky či rozptylky vrátit do správné vzdálenosti.

Zrakové vjemy nevznikají okamžitě při dopadu světelného paprsku na rohovku, ale se zpožděním cca 100ms. Podobně je to i se zánikem, který i po skončení ozařování ještě 0,1s trvá. To je způsobeno právě chemickou reakcí na sítnici. Tuto skutečnost je třeba mít při reálném měření na paměti a přizpůsobit tak měřicí systémy, aby naměřené vzorky v těchto okamžicích neukládaly.

2.1 Pupila

Jelikož měření očních pohybů vychází z měření polohy pupily, je jí proto věnována zvláštní pozornost v této kapitole. Černá barva pupily je způsobena absorpcí záření vnitřními tkáněmi nebo difúzními odrazy uvnitř oka. Jak již bylo zmíněno, nachází

se uprostřed duhovky. Její velikost ovlivňuje sítnicové osvětlení, kvalitu sítnicového obrazu a hloubku ostroty [8].

Pupila se nenachází přesně ve středu duhovky, ale blíže k nosu a směrem dolů od středu duhovky. Její velikost je proměnlivá od 2mm až po 8mm. Na její velikosti mají podíl dva antagonistické svaly (pohybující se proti sobě):

- sphincter pupillae - svěrač, zužuje zornici,
- dilator pupillae - rozvěrač, rozšiřuje zornici.

Činnost těchto svalů není ovládána lidskou vůlí. Pokud dopadá více světla, zornice se zmenší, tím pádem dopadá úzký svazek paprsků a prohloubí se tak ostrost vidění. V případě ozáření pouze jednoho oka reagují na podnět obě oči. Na velikost pupily mají vliv i další podněty, které vychází z chemické reakce lidského mozku a mohou být dány např. stresem, požitím drog nebo způsobeny otravou. Stejně tak i pocity (úžas, strach, aj.) mají vliv na velikost zornice. Vlivem strachu se zornice rozšíří, aby byl vjem co nejdetajnější. Někteří obchodníci jsou si vědomi faktu, že při úžasu nad výrobkem se člověku zvětší zornice a oni tak snadno vypozerují zájem jedince o nabízené zboží a mohou si dovolit zvýšit jeho cenu.

2.2 Vizuální pozornost

V případě, kdy dochází k pohybu pozorovaného bodu v zorném poli, mění se lidská pozornost. Za účelem zobrazení detailů všech bodů, které jsou v centrálním zorném poli člověka, dochází k pohybům očí. Při vnímání celé šíře obrazu se soustředíme vždy jen na jeden bod celého zorného pole, a pokud se tedy podaří zaznamenat oční pohyby jedince, je tak patrné, na které body se soustředí, které vnímá. Tato znalost dokáže jednoduše rozpoznat, co který jedinec preferuje, která místa jsou pro něj zajímavá nebo na jaké barvy je citlivější.

Na tomto místě je nutné definovat co je to pozornost. Dle [9] je pozornost „Zaměřenost a soustředěnost duševní činnosti na určitý objekt nebo děj“. Jinak také řečeno se jedná o mentální proces, který poskytuje lidskému vědomí určitý počet informací z okolního prostředí. Pozornost nejlépe vystihuje W. James svojí frází „Pluribus intentus, minor est ad singula“ neboli „Mnoho přeměněno na málo k vjemu.“

2.3 Postupný vývoj měření pozornosti

Historie vývoje technologie eye-tracking byla popsána již v první kapitole. Tato kapitola se zabývá spíše zaměřením jednotlivých výzkumů, kterých se ubírali vědci v průběhu vývoje této technologie.

2.3.1 Hermann Von Helmholtz – „kde“

Ve druhé polovině 19. století Von Helmholtz umístil vizuální pozornost jako mechanismus vizuálního vnímání. Ve své publikaci s názvem *Treatise on Psychological Optics* uvádí myšlenku, kde nechá lidské oči skenovat souvisle skrz celý obzor, protože to je jediná cesta, jak je možné vidět co možná nejlépe všechny jednotlivé části zorného pole a tím pádem vnímat všechny umístěné objekty. Pozoroval přirozený sklon údivu člověka k novým věcem. Také poznamenal, že pozornost může být řízena vědomě a s dobrovolným úsilím tak, aby pozornost na objekty, které jsou umístěny periferně od oka, byly zpozorovány bez očních pohybů na jednotlivé objekty. Nejvíce se soustředil na prostorové umístění, z toho vychází původní „kde“ [10].

2.3.2 William James – „co“

V porovnání s názory Von Helmholtze, Jamesovy myšleny spočívají více skrytě uvnitř jedince, podobně jako představitivost nebo myšlenka člověka. Definoval pozornost spíše jako „co“, detailní totožnost, význam a očekávání od místa soustředění pozornosti. Upřednostňoval aktivní a dobrovolné aspekty pozornosti, na druhou stranu si byl vědom jejich pasivních, reflexivních a nedobrovolných vlastností [10].

Oba dosud zmíněné modely se vzájemně nevylučují, ovšem významně záleží na aktuálních podmínkách vizuální pozornosti. Jamesův model spíše odpovídá foveálnímu způsobu vidění, zatímco Von Helmholtzův model odpovídá parafoveálnímu. V případě, že jedinec pozoruje obraz, soustředí se na určité oblasti, které jej něčím zaujmou. Tím pádem objekty, které jsou umístěny periferně, jsou zaznamenány na základě modelu „kde“ a strhnou následnou pozornost pro zkoumání většího detailu pomocí modelu „co“. Oba tyto modely pokládají základ všem počítačovým modelům zkoumání pozornosti.

2.3.3 James Gibson – „jak“

Gibson přidává další faktor ovlivňující vizuální pozornost, a tím je úmysl. Vychází z očekávání, co člověk uvidí a na základě toho si pak obraz doplní. Jednoduše, pokud předem bude pozorovaný jedinec vědět, že uvidí názvy měst, pak nápis „Msot“ vyhodnotí jako „Most.“ Tento model specifikuje co dělat, jak se zachovat na základě pozorovatelských předsudků [10].

2.3.4 Donald Broadbent – „selektivní filtr“

Pozornost je vnímána jako filtr. Ten reguluje všechny přichozí informace, které prochází informačním kanálem s omezenou kapacitou. Broadbent právě teorii filtru zkoumal na audio příkladech, kdy pozorované osobě pouštěl do uší trojice čísel tak, že do levého ucha zněla jiná kombinace čísel než do pravého. Následně pak zkoumal, kterou trojici pozorovaná osoba zaznamená jako první, jestli levou nebo pravou [10].

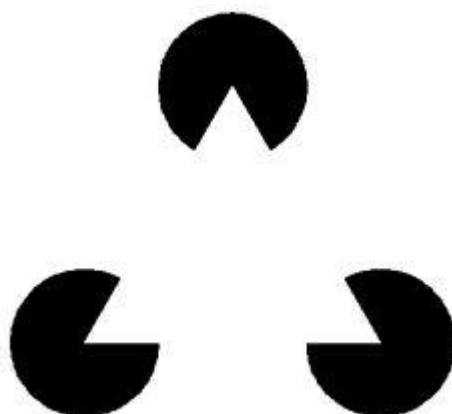
2.3.5 Diana a Anthony Deutsch – „vážený význam“

Všechny smyslové vjemy jsou analyzovány na té nejvyšší úrovni, což vylučuje potřebu Broadbentova selektivního filtru. S tím souvisí úplné zamítnutí teorie selektivního filtru a omezené kapacity systému pozornosti, kterou by případný filtr musel mít. Na druhou stranu tato teorie vychází z předpokladu, kdy existují struktury, které mají pevně nastavené významové váhy, pomocí kterých se provádí selekce. Uvádí, že vážený význam má běžnou roli pro lidskou pozornost a jedná se o vzájemnou interakci s informací.

I přesto, že se teorie Broadbentova a Deutschových nijak neshodují, podařilo se Anne Treisman tyto teorie sloučit a definovat základní složky pozornosti. Filtr pozornosti, který vychází z předem nastavených vah u jednotlivých hodnot. To znamená, že některé přijaté zprávy nejsou zcela vnímány, ale jsou adekvátně potlačeny na základě prahů důležitosti, relevance a kontextu. Z její teorie vychází otázka, jak je možné, že jsme schopni vyobrazit celé zorné pole skrz selektivní filtr, který má pouze omezený rozsah. Například pokud se učitel dívá na třídu žáků, není schopen v jednom okamžiku všechny detailně zaregistrovat, ale je schopen mít přehled o všech a dát si tak celé pozorované pole dohromady [10].

2.3.6 Gaetano Kanizsa

Podobný problém s integrací zorného pole řeší Kanizsa ve svém výzkumu. Na Obr. 4 si představíte trojúhelník, i když zde není zcela vyobrazen a je vyznačen pouze výřezy v kruzích. Prozatím není nijak vysvětleno, jak je vůbec celá tato iluze možná a čím je způsobená. Do dnešní doby také nebylo zcela vysvětleno, jak dochází ke složení celého mentálního obrazu. Částečné vysvětlení podává psychologie vzhledu, která udává, že poznání celé scény se skládá z několika paralelních jednokrokových procesů, tedy pohybu očí. A právě toto byla motivace pro další zkoumání pohybu očí.



Obr. 4: Optický klam – dle Kanizy [11]

2.3.7 Alfred Yarbus, David Noton a Lawrence Stark - „pozorované cesty“

První měření pohybu očí vyvrátila fakt, že by se jednalo o jednokrokové procesy. Celý proces je alespoň po částech sériový. V roce 1967 provedl Yarbus měření subjektů na základě otázek týkajících se pozorovaného obrazu, např. zda jsou postavy v nějakém rodinném kruhu, co mají na sobě, a další. Na základě těchto otázek bylo zřejmé, že oči měřených jedinců se při každé otázce soustředí na jiný bod obrazu. Tím finálně vznikly tzv. „pozorované cesty“, dle kterých bylo možno usoudit pohyby očí měřené osoby.

Noton a Stark prováděli svoje vlastní měření, při kterém zaznamenávali tzv. „pozorované cesty“. V porovnání s měřením Yarbuse zjistili, že i bez pokládání otázek si lidské oko vybírá určité detailní oblasti, na které se fixuje. Tyto oblasti se nazývají informativní detaily. Celou teorii následně aplikovali tím, že měřeným

subjektům ukazovali různé rohy čtverce a sledovali, jak se dráhy pohybu pupil jednotlivců liší i když rohy byly zobrazovány v naprosto totožném pořadí [10].



Obr. 5: Yarbusovy pozorované cesty [12]

2.3.8 Michael Posner – „světelný bod“

Obecně lze říci, že než na oblast „co“ se Posner a kolektiv orientují na oblast „kde“. Jejich mechanismus, který přirovnává pohyb očí k pohybu bodového světla, vychází z faktu, že světlo má omezený prostorový rozsah. Rozdělili dvě kategorie pozornosti a to na orientaci a detekci pozornosti. Orientace může být centrálním aspektem pozornosti, oproti detekci, která je závislá na kontextu. Ten vyžaduje kontakt mezi paprskem pozornosti a vstupním signálem. Orientace není vždy stejná a závislá na pohybu očí. Dle Posnera a kolektivu musí orientace přicházet paralelně po detekci [10].

2.3.9 Anne Treisman – „integrace vlastností“

Tato teorie vychází z předpokladu, že pozornost integruje oddělené vlastnosti v částech umístění tak, že objekt je vnímán jako jeden celek. Její teorie integrace vlastností vychází z toho, že vybírá jednotlivé vlastnosti z celkové mapy vlastností a ty pak pomohou rozlišit pozorované objekty do jednotlivých kategorií, např. barva, velikost, rozměr atd. [10].

2.3.10 Stephen Kosslyn – „okno“

Kosslynova teorie „okna“ vznikla v roce 1994, kdy definuje pozornost jako selektivní hledisko procesu vnímání. Navrhuje tak „okno“, které vybere určité vzory do „pozornostní zásoby“. Zavádí toto „okno“ z důvodu větší informační kapacity v pozornostní zásobě, než je člověk schopen vnímat, a proto je třeba ji selektivně alokovat. Tím pádem část informace prochází ke zpracování mozku, zbytek

je odfiltrován. Na první pohled se může zdát toto okno podobné Broadbentovu selektivnímu filtru, případně Treismanové útlumovému filtru, ale rozdíl spočívá v tom, že právě Kosslynovo okno je škálovatelné a jeho velikost se může zvětšovat [10].

3 Měření očních parametrů

Nejčastější používaná metoda v dnešních technologiích pro měření očních pohybů využívá odrazu od zornice a rohovky. Zornice je pro měření nejdůležitější částí avšak i rohovka, která nebývá tak často zmiňovaná, hraje neméně důležitou roli. Důvod je ten, že rohovka pokrývá celý povrch oka a je tedy první vrstvou, která přichází do kontaktu s okolním prostředím. Například i při focení obličeje způsobuje efekt „červených očí“ rohovka, od které se zpět do objektivu fotoaparátu odráží světlo blesku. Při vlastním měření je třeba získat jeden oční odraz (u některých aplikací jsou zapotřebí dva a více odrazů – viz dále v textu), proto se jako nejčastější zdroj světelné energie používá infračervené světlo, abychom předešli přirozeným odrazům. Odrazu od rohovky se říká záblesk nebo někdy také první Purkyňův odraz, který bývá často značený jako P1.

Při samotném měření v podstatě nejde o měření pohybu očí, ale po získání naměřených dat se vyhodnocuje stav, kdy oči jedince setrvají po určitý časový okamžik na jednom místě (například při zaostření slova v textu). Tento stav se nazývá fixace a jeho trvání se pohybuje od jednotek milisekund až po několik sekund [13].

Pro upřesnění fixace je nutno rozebrat typy mikro pohybů očí [14]:

- tremor (nystagmus) – krátký pohyb o frekvenci 90Hz,
- mikro sakády – těmito pohyby se oko vrátí do původní polohy,
- drifty – pohyby, pomocí kterých se oko vychýlí z centra fixací.

Nejvýraznější pohyby, které jsou zároveň viditelné pouhým okem, jsou sakády. Jedná se o makropohyby, které oko vykoná při změně zobrazované části mezi jednotlivými fixacemi. Například při čtení textu při přechodu z jednoho čteného slova na druhé. Jsou to nejrychlejší lidské pohyby, které trvají 30-80ms a při vykonání tohoto pohybu se oko otočí až o 50° za vteřinu [15]. Při sakádách člověk nezíská žádnou novou informaci [16]. S nadsázkou by se dalo říci, že právě v okamžiku těchto pohybů je člověk slepý. I přesto, že v okamžiku sakády není člověk schopen vnímat zrakem, není na tomto místě žádné spojení s mentální aktivitou, tzn. i v případě sakády lze vnímat dalšími smysly, nebo přemýšlet. Rychlost sakády je přímo úměrná vzdálenosti, kterou oko vykoná při svém natočení. Funkce rychlosti natočení stoupá

z počátečního stavu do svého maxima, které nastává před dosažením poloviny natočení, odkud zase klesá. Při sakádě lidské oko nezastaví přímo v místě, ze kterého bude následně číst text, ale tzv. zakolísá, to znamená, že toto místo o malou část přejede a následně se vrátí zpět. Tento zpětný pohyb se nazývá klouzavý pohyb.

Tab. 1: Srovnání parametrů při různých činnostech [17]

Typ činnosti	Průměrná doba fixace (ms)	Průměrná velikost sakády (°)
četba potichu	225	2
četba nahlas	275	1,5
oční vyhledávání	275	3
vnímání obzoru	330	4
četba not	375	1
psaní	400	1

Zcela odlišný od sakád je pohyb zvaný mimovolný pohyb, který lidské tělo vykoná, pokud sleduje určitý objekt. Pro srovnání např. pokud pozorujeme projíždějící autobus, jsou využity mimovolné pohyby, pokud pozorujeme bílou zeď, případně v období šera, zaznamenáme sakády. Rychlost mimovolných pohybů je výrazně nižší než u sakád, v případě, že se sledovaný předmět pohybuje rychle skrz zorné pole pozorovatele, bývá využito sakád k udržení pozornosti se sledovaným předmětem [18].

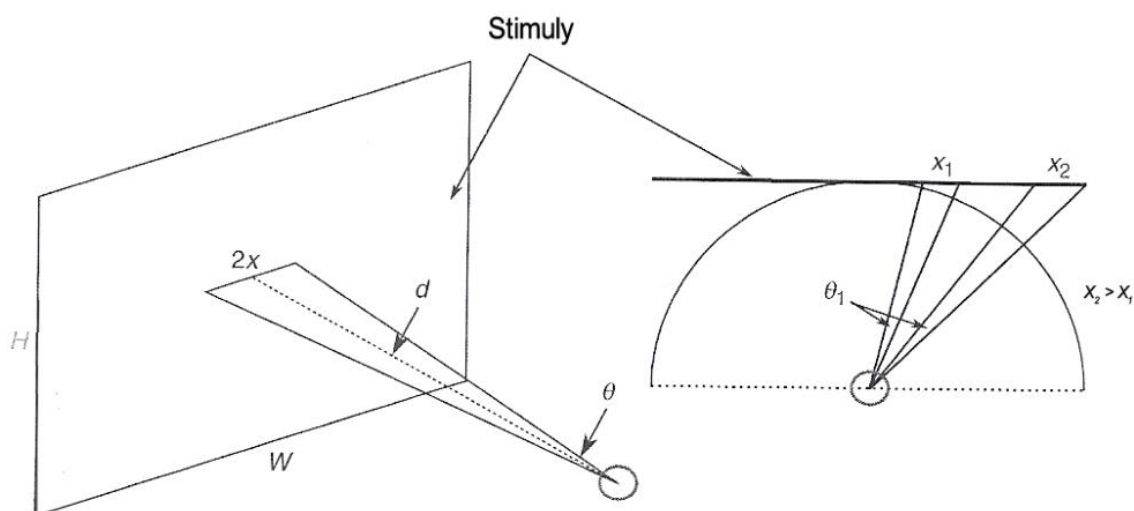
Dalším očním pohybem je vergence. Tento pohyb nastává v případě, kdy se dva lidé dívají jeden na druhého velice z blízka. Dochází při ní k pohybu očí na opačnou stranu. Rozlišují se dva typy: divergence – v tomto případě se oči rozbíhají a konvergence – oči se sbíhají. Posledním druhem jsou vestibulární oční pohyby, které nastávají, pokud se oči otáčí, aby tak vyrovnaly fyzikální pohyb hlavy nebo těla při určitých činnostech.

V Tab. 2 jsou uvedeny typické hodnoty parametrů pro různé druhy pohybů.

Tab. 2: Parametry jednotlivých druhů pohybů [13]

Typ pohybu	Doba trvání [ms]	Amplituda	Rychlost
Fixace	200 – 300	-	-
Sakáda	30 – 80	4 – 20°	30 – 500°/s
Klouzavý pohyb	10 – 40	0,5 – 2°	20 - 140°/s
Mimovolný pohyb	-	-	10 – 30°/s
Mikro sakáda	10 – 30	10 – 40'	15 – 50°/s
Tremor	-	<1'	20'/s (maximum)
Drift	200 - 1000	1 – 60'	6 – 25'/s

V Tab. 2 lze pozorovat jednotku, ve které se vyjadřují pohyby očí. Jedná se o vizuální stupně, případně minuty. Názornější je Obr. 6, kde lze pozorovat vyjádření měření úhlu pohledu.



Obr. 6: Grafické znázornění jednotky očí [13]

Přepočítání zorného úhlu na jednotku délky na stimulu lze provést dle

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{x}{d}, \quad (3.1)$$

kde

d... vzdálenost pozorování a θ ... zorný úhel.

V případě použití monitoru, jehož rozlišení je udáváno v pixelech (x_1, x_2) a jeho fyzická velikost (X_1, X_2) v mm, pak 1 mm odpovídá x_1/X_1 resp. x_2/X_2 pixelům.

3.1 Zpoždění sakády a ostrost

Sakády jsou oční pohyby, které vykonává oční svalstvo. Pro vykonání jedné sakády je třeba znát, kdy a kam se má oko hnout, a i v případě, že oba zmíněné parametry jsou známy, dochází ke zpoždění minimálně 100ms [19]. Z výše uvedeného vyplývá, že tento proces probíhá paralelně s procesem porozumění v četbě. Dle [20] se jedná o samostatné rozhodnutí, kdy a kam se oko natočí. V případě více sakád, které následují ihned po sobě, má první z nich větší zpoždění, na druhou stranu s rostoucí dobou zpoždění úměrně roste přesnost místa zaměření. Pokud dojde k sakádě pro zachycení dvou různých předmětů, které jsou velmi blízko u sebe, je první sakáda směřována ne na první z předmětů, ale do prostoru mezi oba předměty. Podobné vychýlení pak nastává, když jeden z předmětů je větší než druhý – sakáda směřuje blíže k většímu z předmětů.

Pokud se člověk dívá před sebe na obzor, lze toto zorné pole rozdělit na tři skupiny dle použitého systému vidění:

- foveální – 2° zorného pole,
- parafoveální – 5° zorného pole,
- periferní – zbytek.

Vzhledem k limitům v přesnosti jsou sakády užívány tak často. Nejpřesnější z výše uvedených druhů je foveální vidění, za ním parafoveální a nejméně přesné je periferní vidění. V případě parafoveálního vidění je rychlejší sakáda tj. natočení oka k lepšímu zaostření slova, než natočení celé hlavy, případně těla [21]. V roce 1993 rozdělil Sanders zorné pole na tři části dle potřeby natočení očí pro zachycení obrazu, není třeba natočení očí, je třeba natočení očí, je třeba natočení celé hlavy. V mnoha případech není nutný fyzický posun očí, ale stačí pouze přesunout pozornost.

3.2 Oční pohyby při čtení

Dle Tab. 2 lze pozorovat, že je určitý rozdíl mezi tichým čtením a čtením nahlas. Při čtení nahlas trvají fixace déle, délka jedné sakády bývá 7-9 písmen. Míra délky

sakád určená dle počtu písmen je nejběžněji používaná, protože při čtení toho stejného textu několikrát po sobě nedochází k výrazným rozdílům. Nejdůležitějším úkolem sakády je přenést část čteného textu do prostoru foveálního vidění. Při čtení není nutné mít ve foveálním prostoru každé slovo, je možné i některá slova přeskočit. Dle [22] jsou důležitá obsahová slova pozorována 75% času fixace, na rozdíl od doplňkových slov, na ty je vyhrazeno 25% času. Tak vysoký rozdíl v času pozorování je způsoben tím, že doplňková slova jsou kratší. Lze tedy dokázat, že s rostoucí délkou slova roste i čas fixace.

Většina fixací má stejný směr, jako je směr čtení textu, cca 10% fixací jsou obrácené (oko se vrací na již přečtený text). Jedná se převážně o krátká slova, případně slova, kterým čtenář ne zcela přesně porozuměl při prvotním čtení. Při přechodu z konce řádku na nový čtenář často předčasně udělá malý pohyb směrem doleva. Posledních 5 až 7 písmen starého i nového řádku jsou automaticky přeskočeny. První fixace na řádku bývá delší, naopak poslední bývá kratší. Navíc v prázdných místech mezi větami nemá čtenář tendenci fixace. Dalším znakem, který může rozlišit délku fixací a sakád je typ písma, případně uspořádání celého textu. Vliv má i kvalita tisku, délka řádku nebo velikost řádkování. V případě velkých skoků částí textu je trvání fixace delší, sakády jsou kratší.

K získávání užitečné informace při čtení textu není využita celá doba čtení. Wolverton a Zola připravili speciální čtecí display s proměnlivými znaky, aby byli schopni během čtení určitou část textu změnit. Ve svých výzkumech zaměňovali řádky textu za jiný řádek textu, náhodná písmena nebo řádek pouze písmen X. Tyto změny zobrazovali po dobu 20ms na display pro sakády i fixace, poté se objevil opět čtený text. V případě, že záměna nastala v době fixace, čtenář jí zaznamenal a přerušil čtení. Naopak, pokud změna nastala v době sakády, čtenář nic nezaznamenal a pokračoval dál v čtení textu [23]. Na základě této vlastnosti byl prezentován maskovací vzor, který byl umístěn v různých bodech fixací. Čtenář hladce tento vzor přeskočil a nezaznamenal žádné rozrušení od čtení, pokud trvání celého vzoru bylo rovno 50ms nebo v případě, že text byl na počátku maskovacího vzoru. Na druhou stranu dle [24] je obsahová informace z textu získávána vizuálně v jakémkoliv cyklu. Důkazem toho byla záměna podobných slov v textu (heslo – veslo) a následná volba čtenáře, zda viděl tato slova v textu. Výsledkem z měření je přímá úměra ve smyslu, že čím delší slovo bylo zaměněno, tím pravděpodobněji jej čtenář rozeznal. I další testy jako například záměna

textu zprava doleva, případně text vzhůru nohama neprokázaly, že by se čtení textu při foveálním vidění měnilo.

Existuje několik metod, jak posoudit, kolik informace dokáže lidské oko z textu vstřebat. Nejčastěji se tato míra určuje podle technik postupného zobrazování oknem, tj. vybraná část textu, který je následně pozměněný. Zobrazovaný text je rozrušený mimo zobrazované okno v okolí bodu fixace. Při prvotním pohledu je celý text čitelný, ovšem mimo vymezené okno je text nějakým způsobem pozměněn. Jedinec má možnosti zaostřit kteroukoliv část textu, ovšem při každém pohybu očí se jiná část textu ustálí a předchozí zřetelná část přerozdělí. V některých případech může být okno stanoveno dle počtu písmen nebo lze stanovit jeho velikost podle počtu ucelených slov. Výsledkem metody zobrazovacího okna je, že pokud je okno stejně velké jako čtená oblast, ze které čtenář získává informaci, nedochází k žádnému rozdílu jako v případě nepřítomnosti okna.

Další metodou může být metoda posuvné masky. Je založená na podobném principu jako zobrazovací okno s tím rozdílem, že při fixaci maska zakryje text kolem bodu fixace, zatímco normální text je mimo toto okolí zobrazen. Stejně jako v předchozím případě se velikost masky může lišit.

V případě využití techniky hranice slov je vždy vybráno jedno konkrétní slovo a to je nahrazeno jiným slovem. Pokud jedinec sakádou projde skrz předem stanovenou hranici, dojde k záměně slov v textu. Východisko této techniky spočívá v tom, že pokud jedinec získá informaci již z původního zobrazovaného slova, není zde žádná protiváha mezi tím, co je zobrazeno při fixaci, po překročení hranice a při předcházející fixaci. Studie těchto technik dokazují, že velikost pole vnímání je relativně malá. Liší se při čtení latinské abecedy (Čeština, Němčina, Angličtina) a jiných jazykových znaků (Ruština, Hebrejščina).

Tab. 3: Techniky získávání informací z textu [17]

Normální text	Pes běží po poli a honí míč
Posuvné okno	XXX XXXX po poli a XXXX XXX XXX XXXX XX XXli a honí míč
Posuvná maska	Pes běží po <u>XXXX</u> a honí míč Pes běží po poli a <u>XXXX</u> míč
Hranice slov	Pes <u>běží</u> po poli a honí míč Pes běží po <u>trávě</u> a honí míč

V Tab. 3 je zobrazen příklad použitých technik. V prvním řádku je zobrazen normální text s podtrženým bodem fixace. Následující dva řádky zobrazují metodu posuvného okna s oknem velikosti 9 znaků. Poslední 2 řádky znázorňují hranici slov. Hranicí je v první větě slovo běží (podtržené) a ve druhé větě je zobrazena změna slova poli -> trávě.

Velikost rozpětí užitečné informace vnímané při čtení ovlivňuje mimo jiné i systém písma. Japonci mají rozpětí 13 znaků, což je méně, než mají Češi. Obecně platí, že rozpětí je větší pro kombinaci ideografického a fotografického písma pro text tvořený pouze fotografickým písmem poměrem 14:10 znaků. Stejně tak je rozpětí ovlivněno zkušenostmi čtenáře, začínající čtenář dosahuje 12 znaků, zatímco zkušený čtenář 14 až 15. To ovšem neznamená, že tak daleko od fixace je člověk ještě schopen identifikovat slovo. Levá hranice rozpětí je dána začátkem prvního slova fixace, pravá hranice se pak liší na základě počtu písmen.

3.2.1 Řízení pohybu očí při čtení

Sakády a fixace jsou spolu časově spojené. Délka aktuální fixace a následující sakády jsou spolu vzájemně provázané hodnoty. S tím souvisí, kdy a kam člověk přemístí oči při čtení textu. Jak již bylo uvedeno výše, kam člověk natočí své oko, je závislé na množství uvedené informace v textu. Důležitá jsou písmena napravo od fixace, pomocí kterých se dá určit, zda jedinec to konkrétní slovo přečetl nebo jej přeskočil. Největší podíl na určení, kam se oko natočí, mají hranice jednotlivých slov, následná délka sakády je určena dle délky fixace a slovu napravo od fixace [25].

3.3 Eye-tracking systémy

Existuje mnoho různých eye-tracking systémů, které lze k vlastnímu měření očních pohybů použít. Drtivá většina z nich využívá video systémů k záznamu odrazů paprsků směřujících od zornice k rohovce. Na trhu existuje několik kombinací použitého zařízení pro měření. Některé jsou základní, bez kterých se samotné měření neobejde, jiné rozšiřují tyto základní komponenty o další funkce, případně umožní uživateli využít více druhů eye-trackingových systémů za použití stejných zařízení.

Dle [26] existují dva způsoby, jak měřit oční pohyby. Prvním z nich je měření pozice očí vzhledem k pozici hlavy a druhý měří pozici očí v prostoru. Druhý způsob

se typicky využívá v případě, že z celé zobrazované oblasti je kladen důraz na rozpoznání prvků v zorném poli.

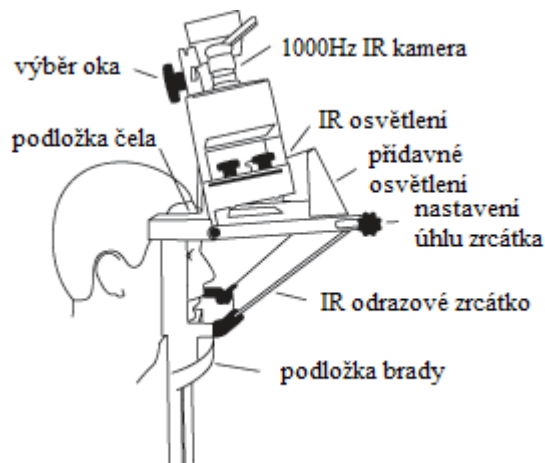
Základní sestava pro měření očních pohybů obsahuje infračervený zdroj osvětlení a oční video kameru. Tento zdroj s kamerou může být umístěn buď přímo před měřeným objektem anebo uchycen na jeho hlavě. Tyto variace v umístění rozdělují celý systém na skupiny nejen podle místa snímání, ale hlavně podle typu dat, které měří, a podle druhu analýzy výstupu [13, 17]:

1. Statický systém

Jedná se o nejpoužívanější systém. Vychází ze staticky umístěného světelného zdroje a kamery před měřeným objektem. Skupinu statických systémů lze dále rozdělit podle vzdálenosti umístění kamery na:

- blízké (ve velmi blízkém kontaktu s hlavou, znatelně omezí vliv pohybů hlavy),
- vzdálené (umístěné ve větší vzdálenosti měřeného).

Již pouze ze základní znalosti technologie vyplývá, že je mnohem lepší použít systém, který omezí vlivy pohybů hlavy znatelně. První z těchto systémů používaly skusové tyče, do kterých se měřený objekt zakousl právě z důvodu, aby se při měření vyloučila chyba pohybu hlavy. Modernější systémy již mají pouze opory čela a brady (jako např. při vyšetření v optice nebo při rentgenu) a tím omezí pohyby hlavy nenásilnou formou. V takovém případě je kamera součástí tohoto držáku a měří tak velmi přesné výsledky, avšak za vyšší pořizovací cenu.



Obr. 7: Statický systém

Další skupinou statických systémů jsou systémy, které mají umístěnou kameru dál od hlavy měřeného člověka, nedochází tak k fyzickému kontaktu člověka a kamery. Ve většině případů je kamera přímo na zdroji záření (obraz, plátno, monitor, aj.). Větší vzdáleností se zanáší do měření chyba vlivem možných pohybů hlavy a také tím, že záznam nemá až takové rozlišení, tudíž jsou naměřená data méně kvalitní, než v prvním případě. Řešením může být dvojitě měření vlastními očima a k tomu navíc polohy hlavy. Tento princip implementovaly některé systémy tak, že na čelo měřeného přidají zdroj infračerveného záření a tím měří, kde se přesně hlava nachází. Na trhu existují i další zařízení, které dokáží zpřesnit pozici hlavy, např. přístroje fungující na magnetické bázi, ale v praxi se nevyužívají. Výhodou těchto systémů je jednoduchá manipulace, žádný přídavný aparát, který by měřený objekt na sobě pociťoval, takže při měření se chová mnohem více přirozeně a bez předsudků. Výsledkem jsou daleko autentičtější data měření. Pomocí tohoto systému lze provádět měření i na velmi malých dětech. V případě, že se měřený člověk pohne dále od středu své osy při měření nebo zavře oči na delší dobu, jeho zrak již nebude v zorném úhlu kamery. Po návratu systém potřebuje určitý čas k regeneraci, aby mohl znovu přijímat signál.

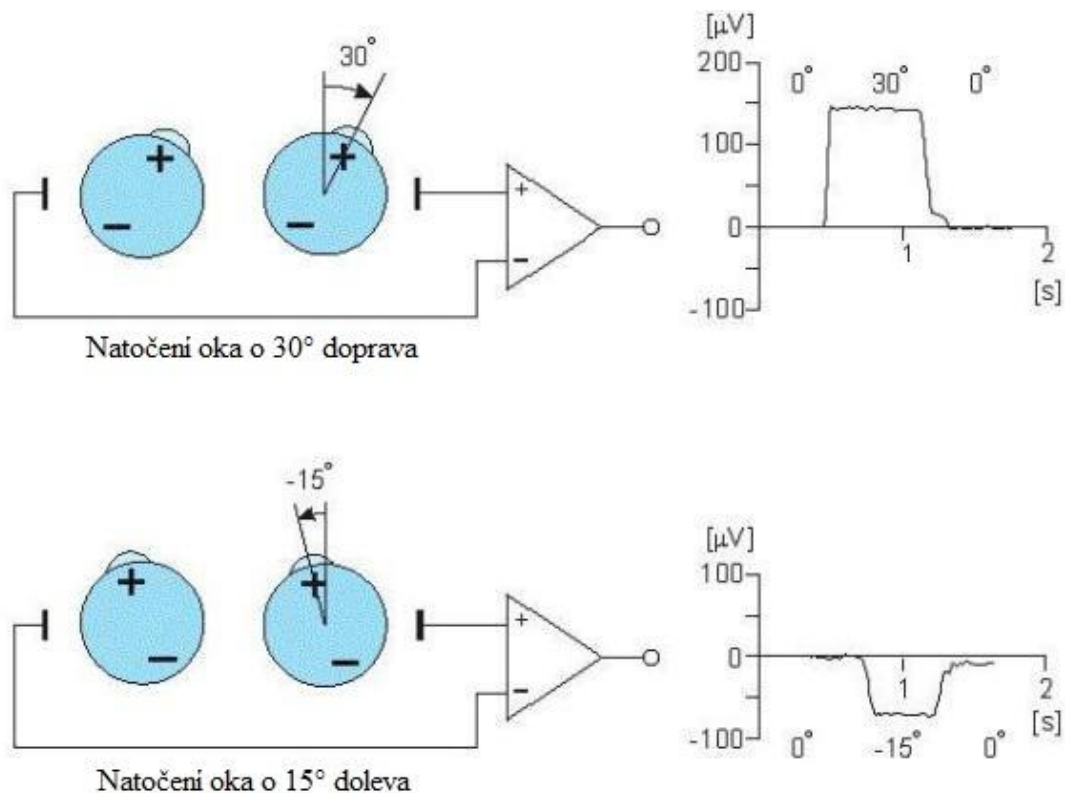
2. Náhlavní systém

Princip náhlavního systému spočívá v tom, že kamera je připevněna na hlavě měřeného člověka (pomocí helmy, speciální konstrukce, čepice, případně brýlí)

a zaznamenává zdroj záření – zorné pole měřeného. Pokud je celý systém stabilně přichycen, lze provádět měření i při běžných činnostech, například jízda na motorce, v autě nebo na kole, nakupování nebo i při určitých sportech. Tento typ systémů se považuje za univerzální, navíc pokud je zabudovaný v brýlích, případně i kontaktních čočkách, není zjevné, že dotyčný cokoliv používá. Některé náhlavní systémy používají magnetický systém pro záznam pohybů celé hlavy. Tento systém vypočte všechny pohyby hlavy a zohlední tak výpočet pohybu očí. Výsledkem je tak kombinovaný vektor pohybů očí a hlavy. Dalším způsobem, jak rozlišit zorné pole náhlavního systému, je použití speciálních znakových vzorů, které jsou umístěny na pozorovaném obraze. Tyto znaky jsou zaznamenány stejně jako ostatní body obrazu. Následně vyhodnocovací systém podle několika bodů rozpozná, kam se pozorovaný dívá. Nejznámější zařízení tohoto typu je SMI EyeLink I 250Hz. Vychází z výše uvedeného principu, kdy v rozích obrazu jsou umístěny 4 LED diody, uživatel má kameru na hlavě a pomocí diod systém vyhodnocuje pohyby hlavy, které pak bere v úvahu při výsledné kalkulaci.

3. *Elektrookulografie (EOG)*

Elektrookulografie je nejpoužívanější metoda v 60. letech 20. století, přitom se používá ještě dnes. Její princip spočívá v měření elektrických potenciálů lidské kůže, nejlépe ji vystihuje Obr. 8. Potenciál se měří pomocí elektrod rozmístěných nad nebo pod, případně vlevo a vpravo od očních bulv jedince. Oči jsou jednoduchý dipól, kde přední část je nabitá kladně a zadní část je nabitá záporně. Při pohledu doleva se hodnoty na elektrodách umístěných na vnější straně levého oka snižují, naopak při pohledu doprava se hodnoty na elektrodách umístěných směrem ke kořenu nosu zvyšují. Výsledný signál je dán rozdílným napětím v přední a zadní části oka a nazývá se elektrookulogram. Rozdíl napětí naměřený při pohybu očí kolísá v rozsahu 15-200 μ V, při natočení očí o 1° dochází ke změně o 20 μ V. Tato metoda měří polohu očí relativně vůči poloze hlavy, takže pokud není přesně měřena i poloha hlavy, jsou naměřené údaje nepřesné.



Obr. 8: Princip elektrookulografie [27]

4. Sklerální kontaktní čočka

Tato metoda využívá indukční cívku zabudovanou přímo do kontaktní čočky. Vzhledem k těsné přilnavosti čočky k oku se jedná o jednu z nejpřesnějších metod vůbec. Čočka je v porovnání s obyčejnou kontaktní čočkou větší tak, aby pokrývala celou rohovku, a také širší. Měření spočívá na principu magnetického pole zabudované cívky. Dle [26] je přesnost tohoto mechanismu 5 až 10 obloukových sekund. Vsazení čočky na oko je věcí praxe, čočka s přidanou cívku může být pro uživatele poněkud nekomfortní.

5. Fotookulografie (PhotoOculoGraphy POG) a Videookulografie (VOG)

Jak je zřejmé z názvu, fotookulografie vyhodnocuje měření na základě jednotlivých pořízených snímků oka, naopak videookulografie vyhodnocuje kontinuální záznam, jinak se metody principiálně od sebe neliší. Obě tyto metody jsou zajímavé tím, že dokáží zaznamenat i rozdílné vlastnosti lidských očí, např. tvar zornice nebo světelné odrazy od rohovky. Tyto metody nevyhodnocují místo pohledu měřeného jedince. Měření může nebo nemusí být

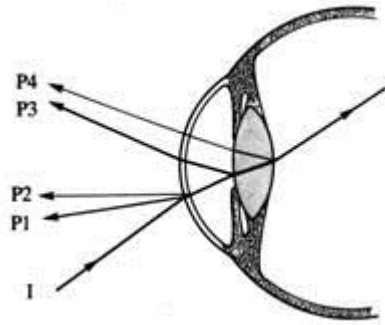
automatizováno (např. kontrola otevřených očí), ovšem neautomatické měření znamená procházet obrázek po obrázku, což je velice zdlouhavé a v neposlední řadě náchylné k chybám. Jako světelné zdroje se nejčastěji používají LED diody umístěné velmi blízko očí.

6. Odrazy od zornice a rohovky zaznamenávané videem

Výhoda této metody spočívá v tom, že měří i místo pohledu člověka. K tomu je ovšem nutných několik požadavků na měření: hlava musí být pevně přichycena, aby se během měření nehnula, oko tak zůstane stále ve stejné pozici vůči hlavě. Takto je možné vyhodnotit odraz od rohovky (nejčastěji používaný zdroj infračerveného záření) nebo identifikovat střed zornice.

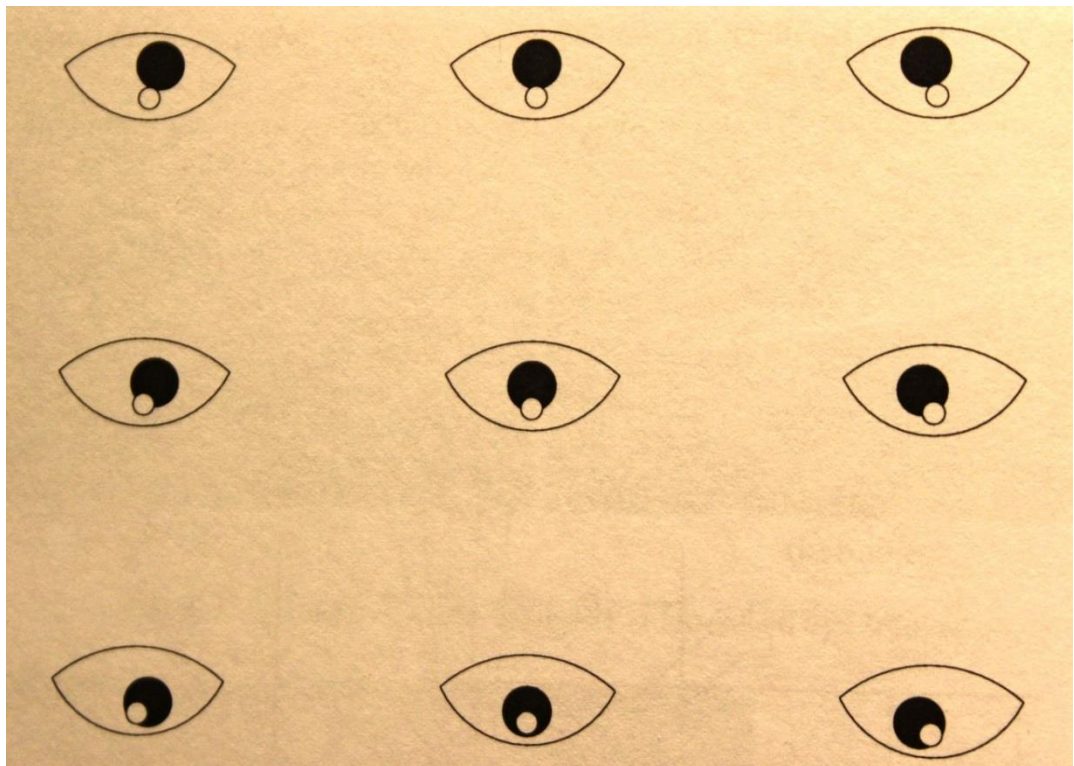
Ke snímání je použita kamera a další zařízení na zpracování obrazu. Díky této konfiguraci je možné provádět výpočet v reálném čase. Celá měřicí soustava se používá jak v náhlavním uchycení, tak i se speciálně sestrojenými držáky, které jsou pevně spojeny s pevnou podložkou. Tyto zařízení se postupem času staly více a více dostupné pro uživatele, mj. protože jsou vhodné pro použití v interaktivních systémech.

Měření světelných odrazů od rohovky se porovnává se středem zornice. Tyto odrazy jsou známy jako Purkyňovy odrazy nebo také Purkyňovy obrazy [28]. Vzhledem k tvaru lidského oka se tvoří 4 tyto obrazy, viz Obr. 9 (odraz od povrchu rohovky, zadní strany rohovky, přední a zadní strany čočky), ovšem eye-trackingové systémy založené na bázi zaznamenávání videa umí typicky zaměřit pouze první Purkyňeho obraz. Po patřičné kalibraci je možné dopočítat konkrétní místo pohledu měřeného jedince. Tato kalibrace vychází ze zobrazení určitého počtu sledovaných bodů a z nich odvození místa pomocí výpočtu úhlu pohledu.



Obr. 9: Světelné odrazy od oka [29]

Pro rozlišení pohybu hlavy od pohybu oka jsou zapotřebí dva měřené referenční body na oku. Rozdíl umístění středu zornice a odrazu od rohovky je závislý na pohybu očí, avšak v porovnání s pohyby hlavy zůstává konstantní. Na Obr. 10 je názorná ukázka, jak mohou vypadat středy zornic vůči odrazům od rohovky. Purkyňův odraz znázorňuje bílý kruh nedaleko zornice (černý kruh).



Obr. 10: Střed zornic zaznamenané kamerou [10]

Dle [28] existují nové generace zařízení pro měření očních pohybů nazvané Generace V, které dokáží změřit mimo prvního i čtvrtý Purkyněho obraz tím, že jsou schopny rozlišit translační a rotační pohyb oka. Oba odrazy jsou

zaznamenány stejně díky stejné vzdálenosti k zaměřovacímu zařízení při translačnímu pohybu oka, ovšem při rotačnímu pohybu jsou tyto vzdálenosti rozdílné. Toto měření je náročné na dodržení velmi přísných podmínek, které spočívají hlavně v absolutní nehybnosti hlavy měřeného jedince. Z toho důvodu jsou používány výlučně se stabilizátory hlavy, které ji drží v nehybné poloze.

4 Ekonomické aplikace

V této části práce je popsána souvislost technologie snímání pohybu lidských očí s několika aplikacemi, které se používají v praxi. Aplikací využití je celá spousta, proto je na místě věnovat se té, která má nejzásadnější ekonomický dopad a tou je marketing. Pro marketingové účely byly vyvinuty i speciální přenosné systémy tak, aby co nejvíce odpovídaly realitě a uživatelé se tak mohli při měření cítit co možná nejpřirozeněji.

4.1 Marketingový výzkum

Každý prodejce, ať už živnostník nebo korporace o velikosti desítek tisíců zaměstnanců, má stejný obchodní cíl, a tím je zisk. Zisk je považován z hlediska ekonomie za jeden z ukazatelů úspěšnosti společnosti na trhu a je dán rozdílem výnosů a nákladů. Dnešní vývoj společnosti si žádá neustálou orientaci na trhu a znalost prostředků, pomocí kterých lze uspět v tržních vztazích. Nelze se spoléhat pouze na intuici v době, kdy nabídka převažuje poptávku. Nezbytná je proto znalost potencionálních zákazníků a kupců, ale i konkurence a dalších možných článků vstupujících do prodejního řetězce. Právě získávání aktuálních a pravdivých údajů o všech zmíněných subjektech je důležitou rolí marketingového výzkumu. A právě proto by měl být marketingový výzkum nedílnou součástí všech podnikatelských jednotek.

Existuje několik definic marketingového výzkumu. Některé z nich lze považovat za pravdivé, jiné je třeba brát s nadsázkou. Dle Philipa Kotlera je marketingový výzkum [30]: „Systematicky prováděný sběr, úprava, zpracování, analýza, interpretace a prezentace informací, které slouží k identifikaci a řešení různých marketingových situací v podniku nebo organizaci.“ Miroslav Foret uvádí definici [31]: „Marketingový výzkum zahrnuje plánování, sběr a analýzu dat, která jsou relevantní pro marketingové rozhodování a komunikaci výsledků této analýzy řídicím pracovníkům.“ Případně také: „Marketingový výzkum poskytuje informace pomáhající marketingovým manažerům rozpoznávat a reagovat na marketingové příležitosti a hrozby.“ John Milton definuje marketing poněkud obecněji, než jeho kolegové [32]: „Krást myšlenky od jedné osoby je plagiátorství, krást myšlenky od mnoha lidí je výzkum.“

Pro jasné vyložení pojmů je na tomto místě třeba poznamenat, že v praxi se velice často zaměňují pojmy marketingový výzkum a výzkum trhu. Tyto pojmy není možné zaměňovat, jelikož nejsou synonyma. Výzkum trhu je nutno chápat jako jednorázovou činnost, která má za cíl ověřit, zda jsou splněny marketingové strategie, které si ekonomický subjekt stanovil. V případě marketingového výzkumu se jedná o dlouhodobou, systematickou činnost a z určitého hlediska jej lze chápat jako slovo nadřazené výzkumu trhu.

Marketingový výzkum se skládá z několika částí, které na sebe postupně logicky navazují. V prvotní fázi se jedná o definici problému návrhu marketingového výzkumu. V tomto návrhu jsou přesně definovány požadavky, které je nutno získat ke splnění předem zadaných cílů. Příkladem těchto požadavků může být typ informace, od koho a kým se tyto informace získají případně k jakým účelům. Další fáze spočívá v určení způsobu marketingového výzkumu. Pro různé aplikace je výhodnější využití primárního výzkumu (např. telefonické dotazování spokojenosti se službami společnosti) nebo sekundárního výzkumu. Následně lze aplikovat část sběru dat, tj. přímé dotazování nebo pozorování. Následuje analýza výsledků výzkumu a jejich vyhodnocení. Poslední fázi jsou pak poučení a závěry, které z výzkumu vyplynuly (např. tvorba směrnic apod.).

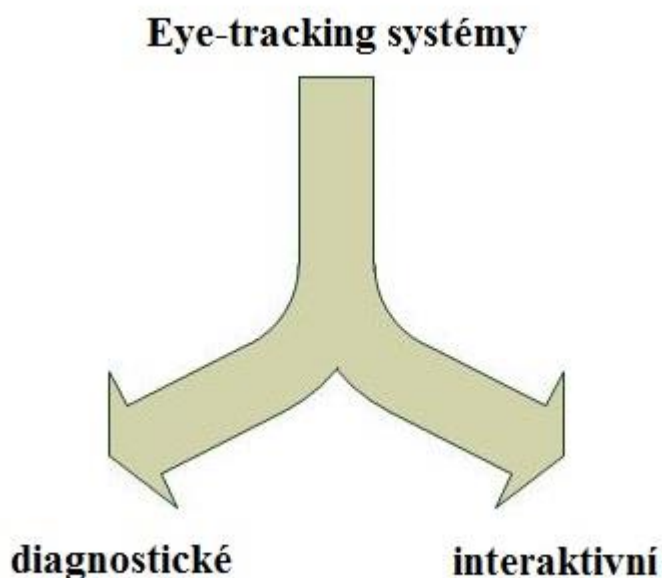
4.2 Eye-tracking v marketingových aplikacích

Do odvětví marketingových výzkumů nepatří pouze telefonáty nebo písemné dotazníky, které jsou asi ze všech nejznámější široké veřejnosti. V poslední době si v marketingu prosazuje svoje místo i nervový a biologický výzkum. Získávání dat probíhá při činnostech, které lidé dělají bez uvědomění (v případě eye-trackingu je to zrak). Existují i další metody nervového výzkumu, které se specializují vyloženě na mozkovou činnost, snad nejznámější z nich je magnetická rezonance, která postupem času expandovala z původního využití ve zdravotnictví i do oblasti businessu a marketingu. Nejznámější použití nervového výzkumu využily značky Coca-Cola a Pepsi-Cola.

Na tomto místě je nutné zmínit, že 20-50% mozkových činností je spojeno se zrakovým aparátem [33]. Z tohoto důvodu je právě zraku věnována tak silná pozornost. Stejně tak i nejsilnější média jsou spojena se zrakem, protože televizní reklamy, webové prezentace, billboardy a další inzertní plochy mají na spotřebitele

největší váhu. Pro rozpoznání jednotlivých oblastí zájmu a tím i efektu reklamy je využití měření pohybu očí velmi vhodnou metodou. Doposud se jako ověření efektu reklam využívaly dotazníky různých forem, které mohly podávat subjektivní informace, ovšem při kombinaci dotazníkové formy s měřením očních parametrů lze lépe rozhodnout, zda televizní reklama splnila svůj účel či nikoliv.

V předešlém odstavci byly zmíněny možné aplikace využití technologie eye-trackingu. Všechny tyto aplikace lze rozdělit do několika skupin dle Obr. 11.



Obr. 11: Rozdělení eye-trackyngových systémů

Diagnostické systémy poskytují kvantitativní a objektivní záznamy o zorném poli a pozornosti měřeného jedince. Mají za cíl zjistit vzory pozornosti uživatelů a přispět tak k ekonomickému zvýšení efektivity. Typicky nijak nezasahují do činností uživatele, tj. při procházení webových stránek je čistě na uživateli, kam bude směřovat svůj zájem, než aby měl předem zvýrazněné pole a to jej zaujalo. Tím je zajištěno to, že uživatel si není vědomý přítomnosti záznamu jeho činnosti. Příkladem mohou být experimenty přítomnosti či nepřítomnosti reklamního banneru na webové stránce, kde díky zakomponování eye-tracking technologie lze celý experiment podtrhnout objektivními výsledky. Typická statistická měření sčítají počet fixací, které vykoná lidské oko při prohlížení webové stránky za předem daný časový okamžik.

Interaktivní systémy mohou být součástí aplikací, jako přídavné moduly, a v rámci využívání aplikace jsou data uchovávána pro pozdější analýzy. Při zaznamenávání dat využívají komunikace s uživatelem. Jedná se o jakousi formu odpovědi na uživatelský krok. Jako příklad lze uvést moderní technologie využity v mobilních telefonech, které na základě snímání pohybu očí umožní přejít na další stránku, případně scrollovat čtený text. Z výše uvedeného příkladu vyplývá, že nejčastější oblasti použití jsou počítačová grafika nebo vizuální displaye.

Využití technologie eye-tracking pro marketingové účely se stává stále častější. Dle [34] existují 4 principy, které se dají měřit:

1. monitorování procesů, které člověk dělá nevědomě,
2. analýza reklamy na jednotlivé fáze,
3. konkurence pravidel,
4. kombinace měření oční kamerou a dalších marketingových nástrojů.

4.2.1 Reklama

Motivace pro využití eye-tracking technologie v oblasti reklamy je porozumění zákaznických potřeb. Záměrem reklamy je podat informaci o nabízeném produktu zákazníkovi takovým způsobem, aby zákazníka navnadil a vyvolal v něm potřebu získání inzerovaného artiklu nebo při nejmenším větší povědomí o nabízeném zboží. V případě, že potencionální kupec ucítí potřebu nějakého produktu a bude informován, že takový produkt existuje, přikloní se k jeho nákupu, než kdyby vůbec neměl ponětí a teprve v případě potřeby jej začal vyhledávat. Na všechny zákaznické rozhodnutí mají vliv jak externí (podpora prodeje produktu, dostupnost, distribuce) tak i interní faktory. Dalšími faktory, které ovlivňují rozhodování zákazníka, jsou environmentální (deštníky se ve Velké Británii budou prodávat mnohem lépe než v ČR) nebo příslušnost k určité značce (spor Apple vs. Samsung). Právě rozpoznání potřeby jedince může napomoci k nabídce vhodného produktu.

V první řadě je nezbytné pochopit, jaký typ informace zákazník vyžaduje. Pokud je možné měřit proces vnímání během doby informování, lze přizpůsobit podávanou informaci dle potřeb marketéra. Eye-tracking může pomoci přinést hlubší porozumění, jak zákazník vnímá různé druhy reklamy, na některé reaguje méně, na jiné více. Dnešní technologie dokáže označit pozorovaná místa v tištěných médiích, případně

i v televizních reklamách a na webových stránkách. Právě z toho důvodu využívají společnosti, které se zabývají tvorbou reklam, této technologie ještě před nasazením reklamy do informačního kanálu a otestují si tak její případnou budoucí účinnost na vybraném vzorku populace.

Již bylo provedeno několik experimentů v tištěné inzerci, které dokazují příznivý dopad využití eye-trackingu. Nejčastěji sledovanými místy jsou titulek (nadpis), ilustrace, vlastní text a postranní sloupky. Z měření je důležité znát počátek zájmu a jeho trvání společně s jednotlivými frekvencemi sakád. Trvání pozornosti, případně zájmu, se liší v závislosti na jednotlivých prvcích reklamy. S přibývajícím textem se jeho trvání zvyšuje, zatímco při obrázkové verzi je doba pozornosti kratší. Doba, za kterou člověk poprvé udělá fixaci na určitou část reklamy, je závislá na počtu prvků reklamy. Tyto doby jdou postupně za sebou od horní části článku, tj. titulek je nejkratší, následuje obrázek, text a nejdelší je doba první fixace u bočních sloupků. Pozorované cesty se opakují a jsou popsány Markovským řetězcem [35].

I přesto, že je měření očních pohybů významným ukazatelem pozornosti, není možné určit, zda se obdržená informace uloží i do dlouhodobé paměti. Wedel a Pieters vytvořili model, který získané informace z reklamního článku přiřazuje jednotlivým značkám. Tento model je jednoduše vysvětlitelný na příkladu, kdy je vložen obrázek jedné značky do časopisu a po přečtení časopisu jedinec uvede, zda zpozoroval známou značku či nikoliv. To lze ověřit zaznamenáváním počtu fixací na použitý obrázek značky umístěný v textu časopisu. Výsledný počet fixací určuje množství uložené informace o značce. Závislost umístění reklamního prvku značky nesouvisí s tím, zda je umístěn napravo nebo nalevo od textu, ale na komplexním obsahu celého inzerovaného prostoru.

Dle [36] existuje několik pravidel, kterými se tvůrci reklamy řídí, aby jejich dopad byl co nejširší:

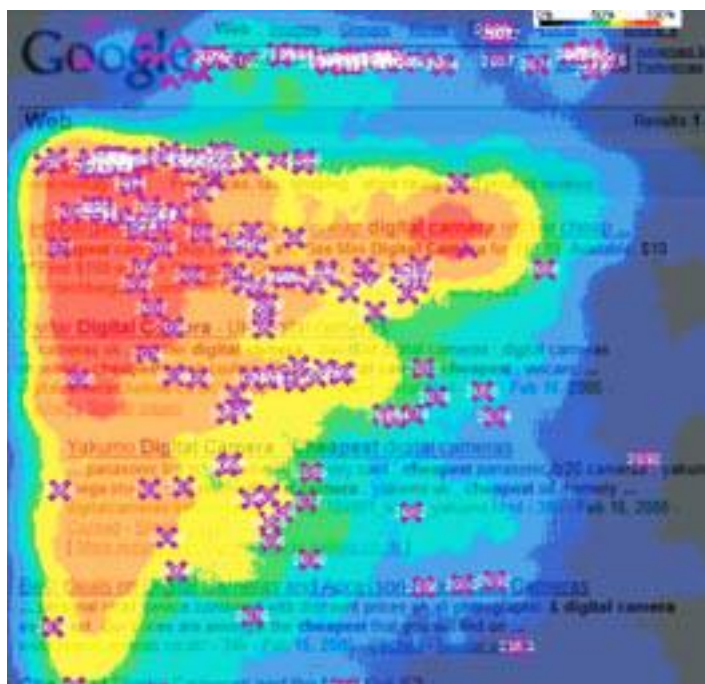
- barva - uživatele zaujme použití jakýchkoliv barev před všemi ostatními druhy zvýraznění reklamy. Barevné reklamy jsou zachyceny mnohem rychleji a vjem informace trvá kratší dobu než u černobílých,
- grafická podoba - použití grafických prvků k „oživení“ reklamy zvyšuje její dopad ve srovnání s reklamou, která je tvořena pouze holým textem,

- velikost - při vyhodnocení velikosti informačních plakátů platí přímá úměra, větší plakát více zaujme,
- umístění - při čtení textu často uživatel ani nedočne do konce, proto umístění má obrovský vliv. Zde platí zásada, že čím výš u titulku stránky je reklamní část, tím se zvyšuje její efektivita.

Typické aplikace pro využití eye-trackingu jsou při monitorování zobrazení reklamy na kostce uprostřed hřiště při sportovním utkání (fotbal, baseball). V přerušení hry nebo o přestávkách běží na těchto velkoplošných obrazovkách reklamy. Při měření osoby, která je přítomna takovému utkání lze dosáhnout objektivního podkladu pro statistiky efektivnosti takové reklamy. Dalším způsobem využití může být měření pozornosti vlivu tlumočnicka zpráv, případně pruhu, který je umístěn v dolní části obrazovky a jsou v něm promítány důležité novinky, nadpisy, počasí, případně další informace.

4.2.2 Webové stránky

Webové aplikace jsou v dnešní době nejvíce zadávaným tématem pro eye-trackingové marketingové výzkumy. Ze všech zmíněných druhů reklamy je jim také věnována stále větší a větší pozornost. Oproti tištěné reklamě mají webové stránky daleko více možností, jak předat informaci pozorovateli, například blikáním reklamního banneru nebo změny barev pozadí. Tyto jevy způsobí přilákání pozornosti pozorovatele. Je dokázáno, že při vyhledávání určitého obsahu na internetové stránce míří uživatel svůj pohled nejprve do levého horního rohu. Tím pádem si v prvním okamžiku nevšimne reklamních bannerů po pravé straně. V případě změny pozice, přemístění reklamních bannerů do levého horního rohu, je situace zcela opačná a uživatel při vyhledávání obsahu si v první řadě všimne pouze banneru a ne vyhledávacího odkazu. Z toho důvodu přítomnost reklamy v tomto případě může narušit efektivitu vyhledávání. Google provedl rozsáhlou studii pomocí technologie eye-tracking, která se týkala způsobu, jakým uživatelé internetu hledají informace na internetu. Výsledkem této studie vzešel vzor prohledávání označovaný písmenem „F“. Je to způsobeno právě tím, že při hledání informace uživatelé začnou v levém horním rohu, čtou celý řádek a pak se přemístí o řádek níž. Takto postupně ztrácejí zájem dočíst celý řádek a přeskakují rovnou na další vyhledaný odkaz.



Obr. 12: Zlatý trojúhelník

Tohoto vzoru se Google drží, a proto při vyhledávání informace je možné sledovat, že všechny relevantní výsledky jsou umístěny od levého horního rohu směrem dolů dle hodnocení. Tento tvar je prezentován jako „zlatý trojúhelník“ neboli se jedná o trojúhelníkovou výseč, kam uživatelé nejčastěji směřují svoji pozornost.

Dalším bodem, kde eye-tracking nalezne své uplatnění je testování webových stránek. Lze tak dosáhnout lepšího grafického návrhu stránek tak, aby se v nich uživatel lépe vyznal a orientoval. Eye-tracking pomáhá tvůrcům webových stránek pochopit, jak jejich uživatelé vidí tyto stránky. Testování použitelnosti často vykazuje potřebu, aby měřený objekt nahlas sdělil svoje myšlenky. Takto lze získat to, co zákazník vidí a to, co říká, že vidí. Klasické testování webových stránek probíhá tak, že pozorovatel se dotazuje pozorovaného na základě jeho chování. Otázky jsou obecné, nezachází zbytečně do hloubky předmětu, např. „Na co se právě díváte?“ V případě využití eye-trackingu nejsou tyto otázky třeba a měřený uživatel tak není rušen okolním elementem. Případně jej lze využít pouze jako ověření místa pozornosti nebo dojmu. Při těchto testech je vhodné používat jak kvantitativní tak i kvalitativní metody vyhodnocení.

Způsoby vyhledávání informací na webu se liší. Lze využít služeb několika internetových vyhledávačů, z nichž některé jsou lokální, jiné globální. Díky technologii eye-tracking lze zkoumat i rozdíly mezi způsobem vyhledávání různých národností. Při analýze dat naměřených pro Španělsko a Arábii vyplývá, že při hledání zadaného

výrazu na Googlu Španělé procházejí výsledky vertikálně, zatímco Arabové horizontálně. Rozdílný je i čas strávený pozorováním výsledku vyhledávání. Španělé pro nalezení požadované informace využijí první odkaz bez nějakého hlubšího čtení, obyvatelé Arabských zemí jsou více trpěliví a všechny nalezené odkazy si nejprve detailně přečtou a až poté zvolí ten, který si vyberou. Na základě těchto poznatků jsou vývojáři schopni přizpůsobit obsah stránek národu, pro který bude následně určen, aby tak zajistili co nejsnazší způsob získávání informací [37].

4.2.3 Design značky/obalu

Další oblastí využití technologie eye-trackingu v marketingu je design etiket produktů. Každý výrobce dbá na to, aby již obal výrobku byl zajímavý, protože právě obal prodává. Pomocí mobilního zařízení, které je umístěné na hlavě měřeného uživatele, lze získat přehled o jeho zájmu o nabízených značkách již v první uličce supermarketu. Z dosavadních výzkumů se ukázalo, že při změně designu značky trvají fixace delší dobu. Z toho plyne, že měřený jedinec musí vyvinout větší snahu objevit značku, pokud jí právě hledá. Proto dochází u výrobků tak často ke změnám designu obalu značky, případně cenovek a další grafiky.

4.2.4 Supermarket

Zařazení privátní značky je pro maloobchodní řetězec nejdůležitější ve statistikách prodeje. Proto je neustále věnována pozornost na umístění privátních produktů v regálech tak, aby byly pro zákazníky co nejpřitažlivější a nejzajímavější. Na Obr. 13 je znázorněná tzv. heat mapa produktů drogerie od společnosti Unilever, která pravidelně monitoruje umístění svých výrobků v maloobchodech. Stejným způsobem si zpracovávají analýzy očních pohybu nejen výrobci (Unilever, Procter & Gamble), ale i prodejci v maloobchodě (Lidl).



Obr. 13: Heat mapa produktů Unilever [38]

Historie českého trhu v oblasti maloobchodu napovídá, že správnost rozhodnutí vedoucích k vítězství je obrovsky náročné. V zásadě se jedná o množství nabídek jednotlivých produktů umístěných v obchodě, které vytváří potřebu u svého zákazníka. K poznání zákazníka nejlepší možnou cestou je právě pozorování jeho chování a myšlení. Stále existuje ještě jeden úhel pohledu, než co zákazník chce koupit, a to co zákazník koupí. Častokrát je vidět na seznamu k nákupu 5 položek, ovšem zákazník si před sebou tlačí plný košík zboží. Je to způsobeno mimo jiné i velkým počtem stimulů, které v průběhu nákupu na zákazníka působí a jeho rozhodnutí k nákupu pak není zcela racionální, ale psychické.

Technologie vytvořená pro účely poznání maloobchodních zákazníků se nazývá PRS Mobile Eye-Tracking. Jedná se o 2 páry brýlí, případně náhlavní masky. Tato zařízení zaznamenávají činnosti po celou dobu procházení uliček se zbožím až k zaplacení u pokladen. Následná analýza je provedena ze dvou úhlů pohledů makroskopický, který se zaměřuje na komplexní procházení uličkami a vyhledávání oblasti nabízeného zboží, a mikroskopický, který se zabývá čistě výběrem výrobku ze stejné kategorie artiklů. Jednoznačná výhoda, která z výše uvedeného vyplývá, je ta, že marketér se vžije do role zákazníka, doslova má jeho oči. Tato možnost dává bohatší zkušenosti s průběhem celého průchodu prostředím celého obchodního centra.

Technologie mobilního eye-trackingu se zdá velmi užitečná, pro kompletní zachycení jsou zde uvedeny výhody a nevýhody [39]:



Obr. 14: Tobii eye-trackingové brýle [40]

Výhody:

- dokáže marketérovi přiblížit myšlení tisícovky zákazníků. Pokud společnosti ví, jaký produkt zákazník chce, o co má zájem, dokáže lépe upozorňovat či prezentovat samotné zboží,
- vědci dokáží porozumět psychologii rozhodování zkoumáním procesů, které uživatelé vykonávají v různých situacích,
- naměřená data jsou zaznamenána a mohou tak být poskytnuta pro různé druhy testů.
- není třeba další přídavný HW

Nevýhody:

- při sběru dat je nutné splnit několik podmínek tak, aby okolní počasí nebo osvětlení nezpůsobilo zkreslení výsledků. Toto omezuje možná pole působení mobilního eye-trackingu,
- neexistuje žádné spojení mezi tím, na co se člověk dívá a co si právě myslí,
- zatím jsou pořizovací náklady na vybavení a měření vysoké, takže si jej nemůže dovolit každý obchodní řetězec.

Z produktů nabízených na trhu se jako vhodný nástroj nabízí firma Tobii eye-tracking brýle Obr. 14, které vychází z nejmodernějšího technologického vývoje. Kalibrace brýlí trvá méně než minutu a lze ji provádět před měřením nebo po měření. Součástí brýlí je rekordér, který celý průběh zaznamená a software, pomocí kterého lze následně vyhodnotit naměřená data. Více podrobností je možné nalézt na stránkách výrobce: <http://www.tobii.com/en/eye-tracking-research/global/products/hardware/tobii-glasses-eye-tracker/>

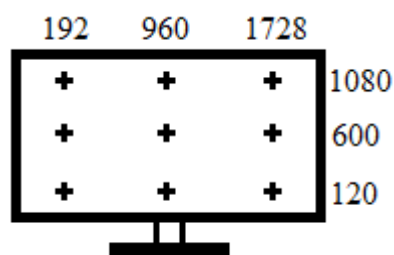
5 Matematická analýza

Tato kapitola se zaměřuje na matematický popis reálného systému pro snímání očních pohybů. Jsou zde uvedeny části matematického aparátu, který je následně aplikován na reálná data a z nich vypočtena transformační funkce, čili převodní funkce mezi souřadnicemi monitoru a kamery.

5.1 Získávání dat

V rámci této diplomové práce byl osloven tým, který vede Ing. Vratislav Fabián, Ph.D. z Katedry fyziky, FEL ČVUT. Celý tento tým se zabývá vývojem eye-tracking systému, který by sloužil pro široké spektrum možných aplikací. Nyní je systém funkční, bylo pomocí něj naměřeno více než 1000 měření, která sloužila k ověření funkčnosti a analýze chyb systému.

Aktuálně je řešen problém přesnosti systému již ve fázi kalibrace měřeného jedince. Jak je uvedeno v předchozích kapitolách, kalibrace měření je velmi důležitá část, při které se dají odstranit systematické chyby, které by zkreslovaly naměřené hodnoty. Jednotliví členové týmu se zabývají např. vlivem fixace hlavy při měření, vlivem pozice kamery vůči oku, optimalizací výpočetních algoritmů a v neposlední řadě i výpočtem transformační funkce souřadnic zdroje a cíle. Poslední zmíněný úkol je právě náplň této diplomové práce.



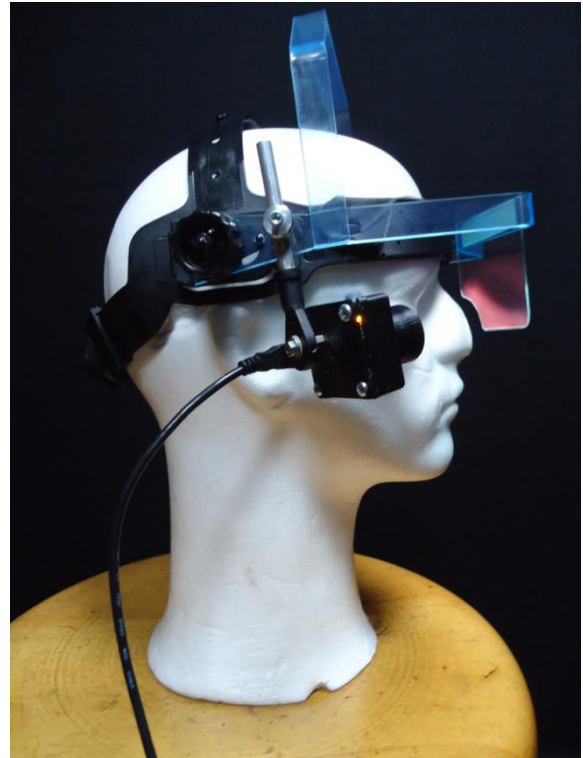
Obr. 15: Kalibrační body monitoru

Celý systém je umístěn v laboratoři v budově na Zikově ulici a disponuje monitorem, který slouží jako zdroj vysílaných signálů, a záznamovou kamerou, která monitoruje pohyb oka a tyto pohyby nahrává. Při kalibraci je postupně na monitoru zobrazeno 9 bodů, které se zobrazují v předem nastavené posloupnosti

s časovým odstupem po sobě. Tyto body včetně pixelových souřadnic jsou zobrazeny na Obr. 15.



Obr. 16:Snímací část – čelní pohled



Obr. 17:Snímací část – boční pohled

Snímání pohybu oka kamerou probíhá skrz odraz od infračerveného sklíčka. Celý tento aparát je umístěn na náhlavní konstrukci, kterou si každý jedinec při měření nasadí na hlavu. Na naměřené výsledky má vliv velikost kořene nosu, protože na základě té je kamera umístěna u každého člověka výš nebo níže a tím pádem snímá jinou část obličeje. Problematika nasazení snímací náhlavní části je taktéž optimalizována týmem Ing. Fabiána, Ph.D. Vzhledem k mechanickému uchycení kamery ke konstrukci pomocí kloubového uchopení dochází k pohybu kamery a tím jsou i výsledky pro každého člověka naměřeny odlišně. Z toho důvodu aktuálně není možné získat sadu stejných dat pro statistické vyhodnocení a je nutné tak vyhodnocovat každého jedince zvlášť.

Z prvních kalibračních měření vzešla referenční tabulka, pomocí které výzkumný tým doposud převáděl souřadnice mezi monitorem a kamerou. Tato tabulka je zobrazena v Tab. 4.

Tab. 4: Převodní tabulka

Měřený bod	Monitor X	Monitor Y	Kamera X	Kamera Y	
0	0	192	120	273	166
1	0	960	120	341	160
2	0	1728	120	383	158
0	1	192	600	278	196
1	1	960	600	347	188
2	1	1728	600	420	178
0	2	192	1080	283	228
1	2	960	1080	352	225
2	2	1728	1080	423	216

Po prvotní ukázce laboratoře a zařízení byly předány naměřená data ve formátu výstupu z Matlabu (*.mat). Z těchto dat jsou pro výpočet zásadní středy pupily naměřené kamerou.

5.2 Lineární regrese

Úkolem lineární regrese je stanovit model vztahu dvou proměnných proložených přímkou, tj. jde o určení míry změny jedné proměnné při změně jiných proměnných. Tyto proměnné se nazývají vysvětlovaná proměnná (obvykle značená y), resp. vysvětlující proměnné (značené x_1, \dots, x_n). V literatuře je možné nalézt také označení závisle proměnná y a nezávisle proměnné x_1, \dots, x_n .

Před samotnou regresí je třeba určit míru závislosti proměnných pomocí koeficientu vzájemné korelace

$$\rho_i = \text{corr}(x_i, y), \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (5.1)$$

Korelační koeficient nabývá hodnot v intervalu $\langle -1, 1 \rangle$ přičemž x_i taková, že ρ_i je blízké 0 (viz statistické metody např. [41]) lze z modelu vynechat a snížit tak dimenzi problému. V tomto případě však k takové situaci z podstaty naměřených dat nedochází.

Model lineární regrese lze zapsat takto

$$y = a_1 + a_2x_1 + a_3x_2 + \dots + a_{n+1}x_n + \varepsilon, \quad (5.2)$$

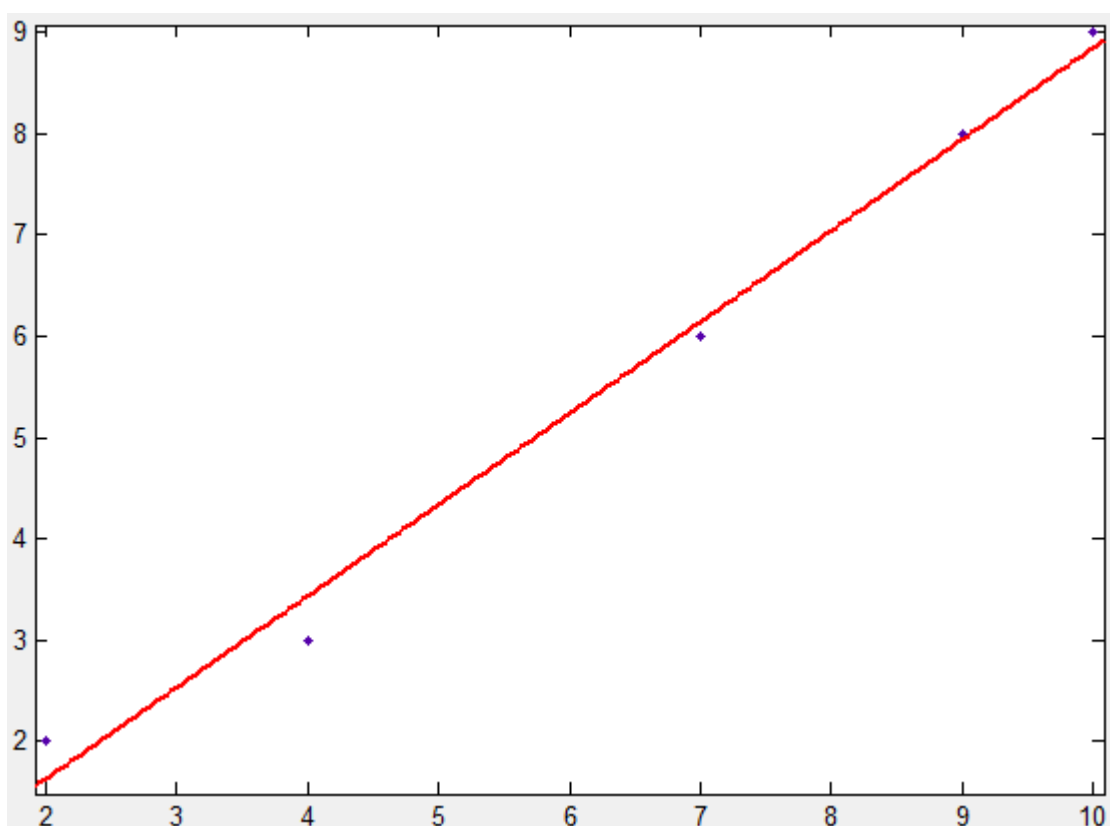
kde y je hodnota závislé proměnné, x_1, \dots, x_n jsou hodnoty nezávislých proměnných, a_1, \dots, a_n jsou parametry modelu, které hledáme, a proměnná ε je reziduální

složka. Jejím úkolem je zahrnutí ostatních vlivů, které nejsou implicitně zahrnuty v rovnici, případně chyby v měření.

Výše uvedený vztah může v případě více vstupujících závislých proměnných být nepřehledný, proto je výhodné použít maticový zápis. Ten počítá s proměnnými, které jsou složeny ve vektoru a tyto vektory vstupují jakožto matice do výpočtu. Maticový tvar vypadá takto

$$\mathbf{y} = \mathbf{Ax} + \varepsilon \quad (5.3)$$

kde $\mathbf{y} = (n \times 1)$, $\mathbf{x} = (m \times 1)$, $\mathbf{A} = (n \times m)$ a $\varepsilon = (n \times 1)$.



Obr. 18: Základní set dat proložený regresní přímkou

Na Obr. 18 je znázorněn jednoduchý set dat (fialové body) a proložená regresní přímkou (červená). Samotný výpočet probíhá na základě znalosti jednotlivých bodů, které mají být proloženy a příslušných funkčních hodnot. Nejvhodnější metodou pro odhad parametrů je metoda nejmenších čtverců.

5.2.1 Metoda nejmenších čtverců

Jedná se o metodu, která vychází z minimální sumy čtverců vertikálních odchylek jednotlivých zadaných datových bodů od proložené křivky. Jednoduše lze vyjádřit na příkladu. Mějme naměřené hodnoty $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$. Proložená křivka $f_\theta(x)$ závislá na vektoru parametrů $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_k)$ má odchylky od naměřených hodnot y_1, \dots, y_n

$$d_1(\theta) = y_1 - f_\theta(x), \quad (5.4)$$

$$d_2(\theta) = y_2 - f_\theta(x), \quad (5.5)$$

⋮

$$d_n(\theta) = y_n - f_\theta(x). \quad (5.6)$$

Pak cílem je minimalizovat reziduální součet čtverců definovaný vztahem

$$S_n(\theta) = d_1^2(\theta) + d_2^2(\theta) + \dots + d_n^2(\theta) = \quad (5.7)$$

$$= \sum_{i=1}^n d_i^2(\theta) = \sum_{i=1}^n [y_i - f_\theta(x)]^2 \Rightarrow \text{MIN},$$

minimalizace reziduálního součtu čtverců lze dosáhnout derivací dle jednotlivých proměnných

$$\frac{\partial S_n(\theta)}{\partial \theta_1} = 0, \quad (5.8)$$

$$\frac{\partial S_n(\theta)}{\partial \theta_2} = 0, \quad (5.9)$$

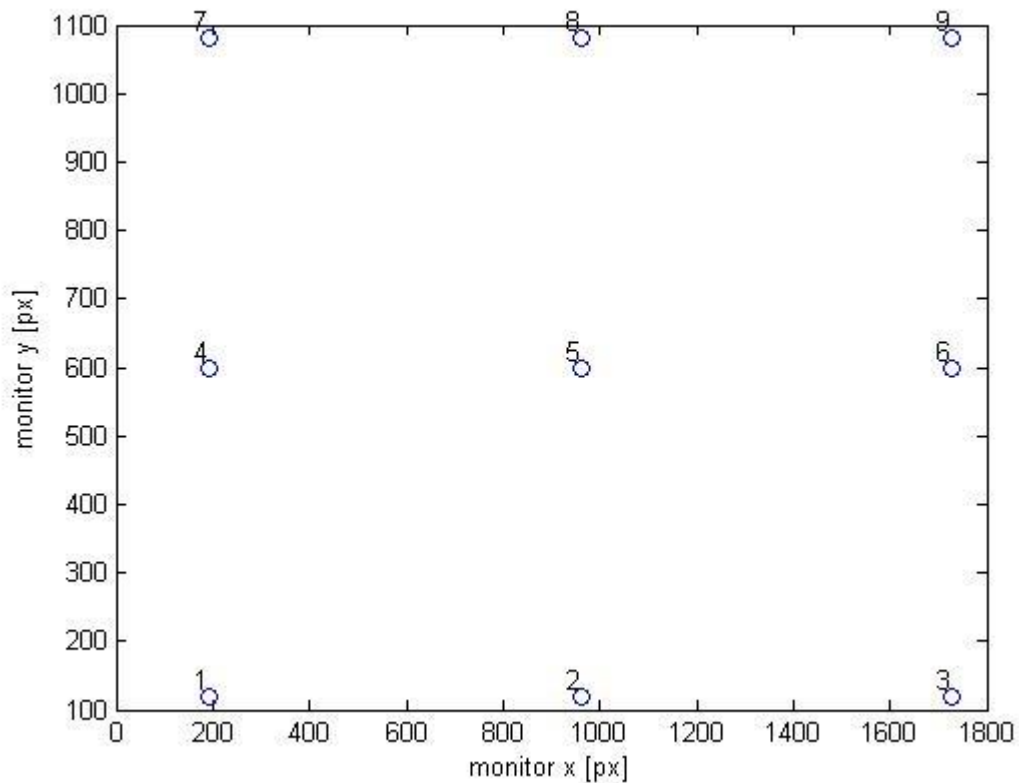
⋮

$$\frac{\partial S_n(\theta)}{\partial \theta_k} = 0, \quad (5.10)$$

tj. řešíme soustavu k rovnic o k neznámých.

5.3 Aplikace

Před samotným výpočtem je nutné uspořádat poskytnutá data do uspořádaných devític. Na Obr. 19 jsou zobrazeny jednotlivé body s pořadím jejich zobrazení měřenému objektu.



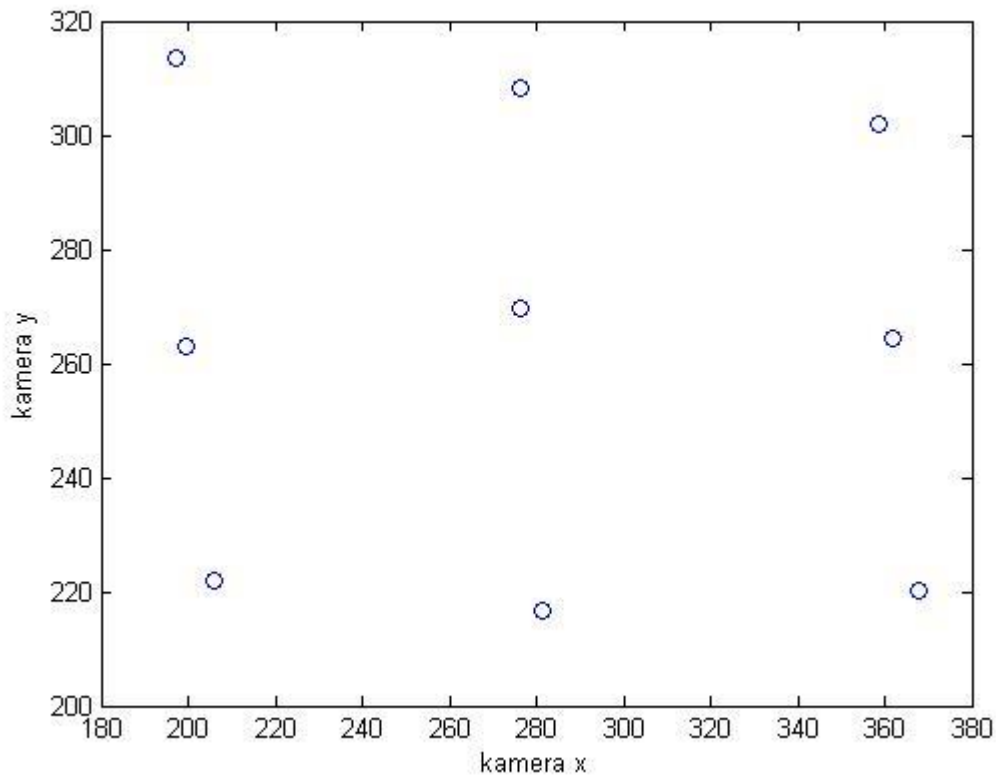
Obr. 19: Pořadí ukládání bodů

V tabulce Tab. 5 jsou zobrazeny dvojice souřadnic Monitoru a Kamery pro jedno pozorování. Je vidět 9 dvojic bodů, ze kterých následně bude spočtena transformační funkce. Pro vstup do matematických rovnic jsou jednotlivé proměnné značené tak, že souřadnice na monitoru $[x_1, x_2]$ a souřadnice na kameře $[y_1, y_2]$. Proto jsou v Tab. 5 textové značení, aby se čtenář lépe orientoval, o který reálný rozměr se jedná, a ve druhém řádku jsou již jednotlivé proměnné.

Tab. 5: Vstupní data výpočetního modelu

Bod	Monitor X		Kamera Y	
	x_1	x_2	y_1	y_2
1	192	120	206.07	221.94
2	960	120	281.52	216.72
3	1728	120	367.87	220.17
4	192	600	199.51	262.87
5	960	600	276.39	269.62
6	1728	600	361.90	264.40
7	192	1080	197.09	313.39
8	960	1080	276.12	308.25
9	1728	1080	358.51	302.08

Pro lepší představivost naměřených dat jsou na Obr. zobrazena naměřená data, která odpovídají Tab. 5.



Obr. 20: Naměřená data dle Tab. 5

Transformační funkce by měla převést souřadnice z monitoru na kameru, ale i obráceně. Pro tuto diplomovou práci bylo zadání ze souřadnic kamery určit souřadnice monitoru, proto i v následujících výpočtech je postupováno tímto směrem. Proto transformační funkce je taková funkce, pro kterou platí

$$x = f(y). \quad (5.11)$$

Rovnice 5.11 lze rozepsat na jednotlivé složky

$$x_1 = f_1(y_1, y_2), \quad (5.12)$$

$$x_2 = f_2(y_1, y_2). \quad (5.13)$$

Jelikož zobrazení naměřených dat a následné porovnání se zobrazovanými kalibračními body vykazovalo lineární závislost, byly obě výše zmíněné funkce dále uvažovány jako lineární, platí tedy

$$x_1 = a_1 y_1 + a_2 y_2 + a_3, \quad (5.14)$$

$$x_2 = b_1 y_1 + b_2 y_2 + b_3. \quad (5.15)$$

Dle kapitoly 5.2.1 lze rozvést vzorec pro součet odchylek

$$S_{x_1} = \sum_{i=1}^n [x_{1i} - a_1 y_{1i} - a_2 y_{2i} - a_3]^2, \quad (5.16)$$

$$S_{x_2} = \sum_{i=1}^n [x_{2i} - b_1 y_{1i} - b_2 y_{2i} - b_3]^2, \quad (5.17)$$

přičemž oba tyto součty je následně třeba zderivovat podle každého parametru a položit rovny nule. Níže jsou uvedeny již uspořádané rovnice dle parametrů, první trojice je pro x_1

$$a_1 \sum y_1^2 + a_2 \sum y_1 y_2 + a_3 \sum y_1 = \sum x_1 y_1, \quad (5.18)$$

$$a_1 \sum y_1 y_2 + a_2 \sum y_2^2 + a_3 \sum y_2 = \sum x_1 y_2, \quad (5.19)$$

$$a_1 \sum y_1 + a_2 \sum y_2 + n = \sum x_1. \quad (5.20)$$

V případě druhého součtu S_{x_2} jsou rovnice totožné jen se záměnou proměnných

$$b_1 \sum y_1^2 + b_2 \sum y_1 y_2 + b_3 \sum y_1 = \sum x_2 y_1, \quad (5.21)$$

$$b_1 \sum y_1 y_2 + b_2 \sum y_2^2 + b_3 \sum y_2 = \sum x_2 y_2, \quad (5.22)$$

$$b_1 \sum y_1 + b_2 \sum y_2 + n = \sum x_2. \quad (5.23)$$

Jak již bylo zmíněno, vstupní soubor dat byl ve formátu *.mat, takže vhodný pro výpočetní software Matlab, z toho důvodu je i výpočet parametrů prováděn v prostředí Matlab. Pro zadání do programovacího kódu je výhodnější použít maticového zápisu a rozdělit tak soustavy rovnic na levé a pravé strany. Následně bude vypočten vektor parametrů a i b . Matici levé strany při výpočtu parametrů a bude značena A , obdobně matice levé strany při výpočtu parametrů b bude značena B , vektor pravých stran je značen c pro parametr a a d pro parametr b .

$$A_{x_1} a_{x_1} = c_{x_1} \quad (5.24)$$

$$B_{x_2} b_{x_2} = d_{x_2} \quad (5.25)$$

Výsledné vektory a_{x_1} a b_{x_2} pak vyjdou z výpočtu a jsou zobrazeny v Tab. 6

$$a_{x_1} = A_{x_1}^{-1}c_{x_1} \quad (5.26)$$

$$b_{x_2} = B_{x_2}^{-1}d_{x_2} \quad (5.27)$$

Tab. 6: Výsledné parametry transformační funkce

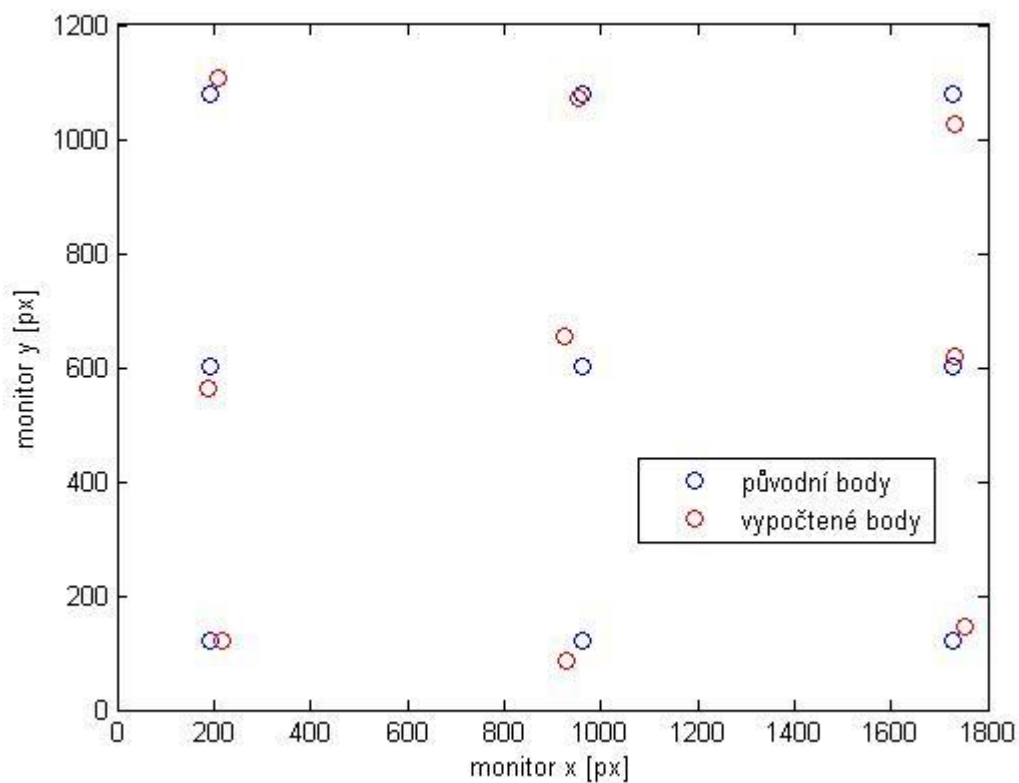
a₁	9.4994	b₁	0.2565
a₂	0.8490	b₂	10.8142
a₃	-1929.5	b₃	-2331.1

V Tab. 7 jsou uvedeny vstupní a vypočtené parametry měření. Jedná se o údaje získané od jednoho člověka. S přihlédnutím na princip měření nelze změřit dva lidi a porovnat výsledky mezi sebou, protože každý člověk je individuální, a proto i výsledná transformace bude mít svoje individuální parametry.

Tab. 7: Přepoččet parametrů dle transformační funkce

Monitor X	Monitor Y	Kamera X	Kamera Y	Model pro X	Model pro Y	Odchylka [px]
192	120	206.07	221.94	216.41	121.91	24.48
960	120	281.52	216.72	928.68	84.82	47.10
1728	120	367.87	220.17	1751.90	144.30	34.09
192	600	199.51	262.87	188.88	562.85	37.28
960	600	276.39	269.62	924.93	655.61	65.74
1728	600	361.90	264.40	1732.76	621.02	21.55
192	1080	197.09	313.39	208.76	1108.55	33.11
960	1080	276.12	308.25	955.14	1073.29	8.29
1728	1080	358.51	302.08	1732.52	1027.65	52.55

Lepší porovnání výsledků je v grafické podobě na Obr. 20. Zde jsou zobrazeny původní body z monitoru modrou barvou a červeně jsou zobrazeny vypočtené body za pomoci použití transformace.

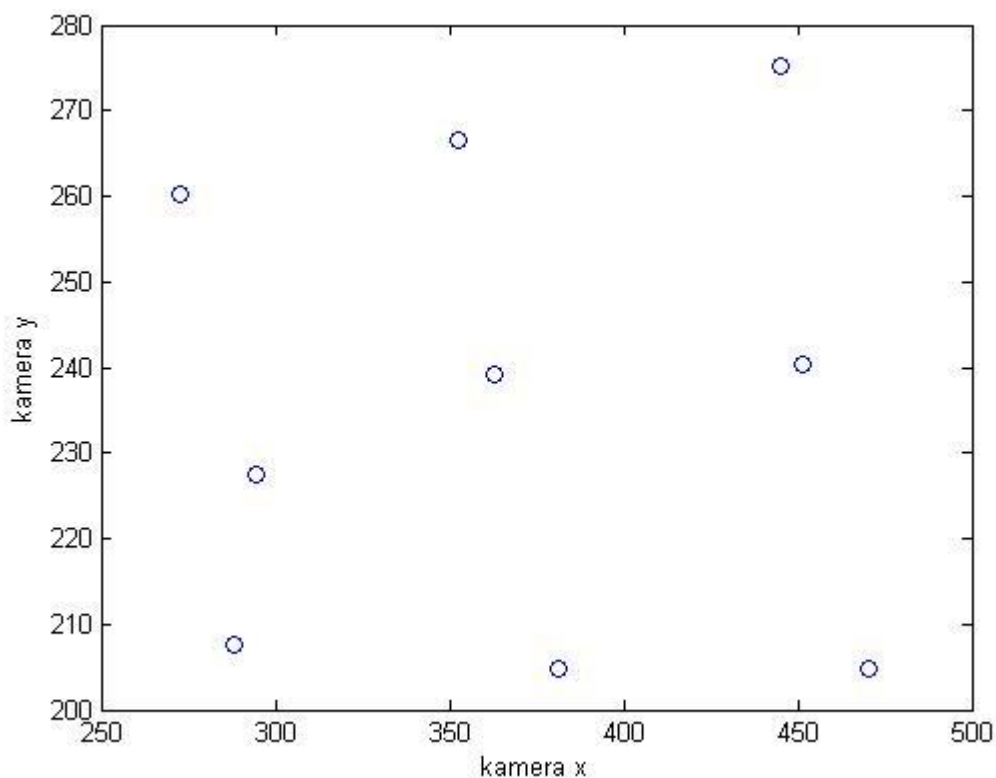


Obr. 21: Zobrazované (modrá) vs. vypočtené body (červená)

Na druhou stranu nastala i situace, kdy naměřené hodnoty zcela neodpovídaly kalibračním bodům zobrazovaným na monitoru. To může být způsobeno špatným nasazením náhlavní soustavy nebo nepozorným měřením (pro případ, kdy je měřeno dítě). Naměřená data pro tento případ jsou zobrazena v Tab. 8. Na Obr. 22 je možné pozorovat rozložení naměřených hodnot v grafické podobě.

Tab. 8: Vstupní data výpočetního modelu

Bod	Monitor X	Monitor Y	Kamera X	Kamera Y
	x_1	x_2	y_1	y_2
1	192	120	288.41	207.54
2	960	120	381.11	204.77
3	1728	120	470.34	204.80
4	192	600	294.49	227.38
5	960	600	362.86	239.11
6	1728	600	451.68	240.46
7	192	1080	272.69	260.25
8	960	1080	352.86	266.53
9	1728	1080	444.90	275.14



Obr. 22: Naměřená data dle Tab. 8

Výpočet v tomto případě probíhá podle stejných vzorců, jako v minulém případě, Tab. 9 znázorňuje vypočtené parametry modelu

Tab. 9: Výsledné parametry transformační funkce

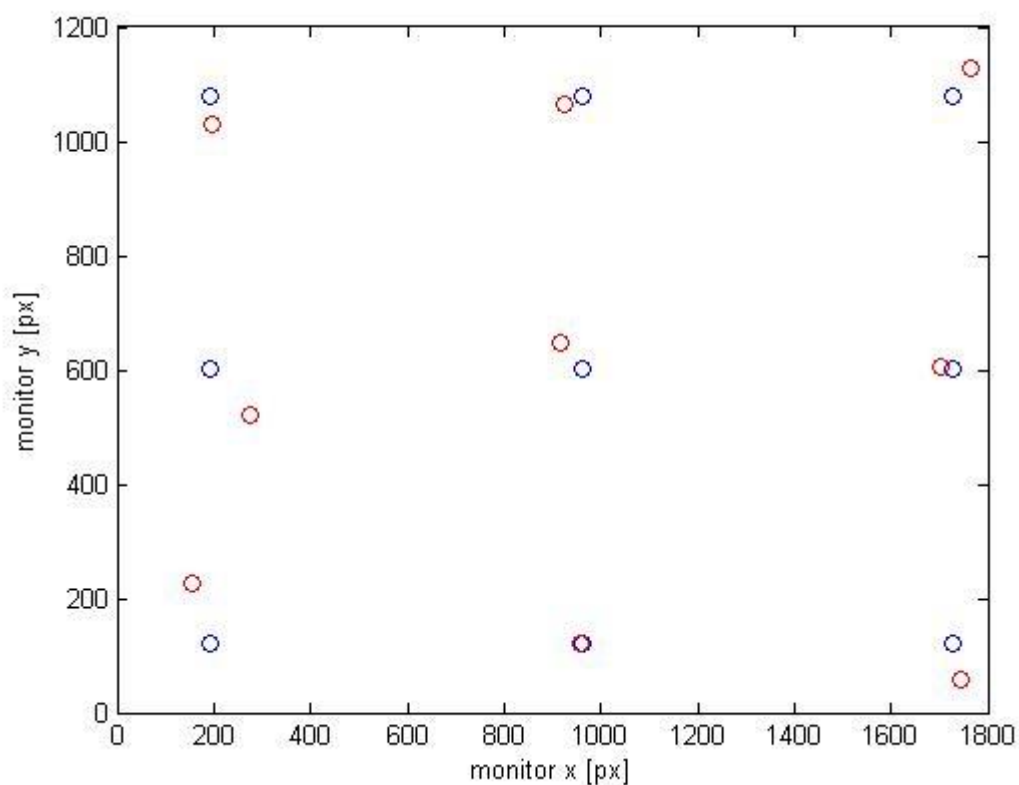
a_1	8.8072	b_1	-0.7090
a_2	3.4422	b_2	14.9860
a_3	-3101.3	b_3	-2678.5

Tab. 10 zobrazuje naměřené hodnoty i vypočtené hodnoty pro tento model. Pro srovnání obou případů je zde i vzdálenost vypočtených bodů od zobrazovaných.

Tab. 10: Přepočet parametrů dle transformační funkce

Monitor X	Monitor Y	Kamera X	Kamera Y	Model pro X	Model pro Y	Odchylka [px]
192	120	288.41	207.54	153.13	227.21	114.04
960	120	381.11	204.77	960.00	120.00	0.00
1728	120	470.34	204.80	1745.96	57.11	65.40
192	600	294.49	227.38	275.00	520.25	115.10
960	600	362.86	239.11	917.47	647.56	63.81
1728	600	451.68	240.46	1704.43	604.82	24.06
192	1080	272.69	260.25	196.14	1028.19	51.97
960	1080	352.86	266.53	923.85	1065.54	38.93
1728	1080	444.90	275.14	1764.03	1129.30	61.06

Na Obr. 23 jsou graficky znázorněny zobrazované body (modrá barva) a vypočtené hodnoty (červená barva). V tomto případě je odchylka v bodu 2 nulová, ovšem odchylky v ostatních bodech jsou větší ve srovnání s prvním případem.



Obr. 23: Zobrazované vs. vypočtené body

6 Závěr

Tato diplomová práce je zaměřena na velmi aktuální téma, které se týká technologie měření pohybu lidských očí. Doposud není eye-tracking v České republice příliš rozšířeným nástrojem při srovnání s ostatními státy jako např. Velká Británie, kde je již běžně využíván. Jeho výsledky lze reprezentovat v lékařství, psychologii, informačních technologiích, marketingu a dalších oborech.

I přesto, že tato technologie zatím není běžně dostupná, přináší řadu ekonomických výhod. Většina z nich se týká marketingu a reklamy. Dosavadní zahraniční praktické aplikace se zaměřují na využití především v maloobchodě a na internetu. Toto se zdá být cesta, kterou se i nadále bude technologie eye-trackingu šířit dál.

V této práci byl představen matematický model, který byl aplikován na reálná data z měření očních parametrů. Byly pozorovány dvě situace a jejich výsledky byly prezentovány i s odchylkou naměřených a vypočtených hodnot.

Aktuálně je třeba porovnat vypočtené výsledky s naměřenými daty celého prostoru zobrazovaného monitoru, nikoliv pouze s kalibračními body. V případě, že by přesnost modelu nebyla dostačující, je třeba aplikovat další metody tvorby modelu a sledovat míru shody s naměřenými daty. Nicméně každý člověk je individuální, proto lze předpokládat, že model, který vyhovuje jednomu člověku, může pro druhého být naprosto nevyhovující. Tento problém je otázkou dalšího zkoumání.

7 Zdroje

- [1] Eye tracking in human-computer interaction and usability research [online]. [cit. 2014-01-20] Dostupné z WWW: <<http://www.cs.tufts.edu/~jacob/papers/ecem.pdf>>
- [2] The history of eye-tracking studies and technology [online]. [cit. 2014-01-22] Dostupné z WWW: <<http://www.looktracker.com/blog/eye-tracking-technology/the-history-of-eye-tracking-studies-and-technology/>>
- [3] Desert highlands paranormal research [online]. [cit. 2013-04-05] Dostupné z WWW: <<http://deserthighlandspr.com/is-infrared-light-a-problem/>>
- [4] Anatomie a fyziologie zraku [online]. [cit. 2014-02-03] Dostupné z WWW: <<http://www.ortoptikahk.wbs.cz/Anatomie-a-fyziologie-zraku.html>>
- [5] Fyziologické schéma oka [online]. [cit. 2014-02-05] Dostupné z WWW: <http://is.muni.cz/th/272420/lf_m/Bakterialni_biofilm_u_nositelu_kontaknich_ocek_e7duq.txt>
- [6] Citlivost lidského oka na barvy [online]. [cit. 2014-02-09] Dostupné z WWW: <http://www.fotoroman.cz/techniques2/light/lidska_citlivost.jpg>
- [7] BOGOUSZÁKOVÁ, J.: *Zrak a vidění* [online]. [cit. 2014-02-13] Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23169>
- [8] ANDREASSI, J. L.: *Psychophysiology: human behavior and physiological response*. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2007. 5th ed. ISBN 08-058-4951-3.
- [9] HARTL, P., HARTLOVÁ, H.: *Psychologický slovník*. Praha: Portál, 2000. ISBN 80-7178-303-X.
- [10] DUCHOWSKI, A. T.: *Eye Tracking Methodology, Theory and Practice, Second edition*. London: Springer, 2007. ISBN 978-1-84628-608-7.
- [11] Multiscale Edge Detection and Reconstruction [online]. [cit. 2014-02-20] Dostupné z WWW: <<http://popsych.org/wp-content/uploads/2012/07/Kanizsa.jpg>>
- [12] YARBUS, A. L.: *Eye Movements and Vision*. New York: Plenum Press, 1967. ISBN-10: 0306302985.
- [13] HOLMQVIST, K. a kol.: *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford: Oxford University Press, 2010. ISBN: 9780199697083.

- [14] MARTINEZ-CONDE, S., MACKNIK, S. L., HUBEL, D. H.: *The role of fixational eye movements in visual perception*. Nature reviews Neuroscience 2004, 5(3).
- [15] ABRAMS, R. A., MEYER, D. E., KORNBLUM, S.: *Speed and accuracy of saccadic eye movements: Characteristics of impulse variability in the oculomotor system*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 15, 529-543. 1989.
- [16] UTTAL, W. R., SMITH, E.: *Recognition of alphabetic characters during voluntary eye movements*. Perception & Psychophysics, 3, 257-264. 1968.
- [17] RAYNER, K.: *Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research University of Massachusetts at Amherst, American Psychological Association, Inc. 0033-2909/98, 1998, Vol. 124, No. 3, 372-422*.
- [18] WHITE, C. W.: *Visual masking during pursuit eye movements*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2, 469-478. 1976.
- [19] ABRAMS, R. A., JONIDES, J.: *Programming saccadic eye movements*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 14, 428-443. 1988.
- [20] ASLIN, R. N., SHEA, S. L.: *The amplitude and angle of saccades to double-step target displacements*. Vision Research, 27, 1925-1942. 1987.
- [21] JACOBS, A. M.: *Eye movement control in visual search: How direct is visual span control?* Perception & Psychophysics, 39, 47- 58. 1986.
- [22] CARPENTER, P. A., JUST, M. A.: *What your eyes do while your mind is reading*. In K. Rayner (Ed.), Eye movements in reading: Perceptual and language processes (pp. 275-307). New York: Academic Press. 1983.
- [23] ISHIDA, T., IKEDA, M.: *Temporal properties of information extraction in reading studied by a text-mask replacement technique*. Journal of the Optical Society A: Optics and Image Science, 6, 1624- 1632. 1989.
- [24] BLANCHARD, H.E., McCONKIE, G.W., ZOLA, D., WOLVERTON, G.S.: *The time course of visual information utilization during fixations in reading*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 10, 75-89. 1984.
- [25] O'REGAN, J. K.: *Eye guidance in reading: Evidence for the linguistic control hypothesis*. Perception & Psychophysics, 25, 501 - 509. 1979.

- [26] YOUNG, L. R., SHEENA, D.: *Survey of eye movement recording methods*. Behavior research methods & Instrumentation, 7(5), 397-429.
- [27] Electrooculography: a study of biological signal [online]. [cit. 2014-04-26].
Dostupné z WWW:
<<http://electrooculography.files.wordpress.com/2009/08/eyerotation.jpg?w=595>>
- [28] CRANE, H. D., STEELE, C. M.: *Generation-V Dual-Purkinje-Image Eye-tracker*. Applied Optics, 24(4), 527-537. 1985.
- [29] Dual Purkinje Eyetrackers [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z WWW:
<<http://ppw.kuleuven.be/home/english/research/lep/resources/purkinje>>
- [30] KOTLER, P., ARMSTRONG, G.: *Marketing*. Grada: Expert, 2003. ISBN:978-80-247-0513-2.
- [31] FORET., M.: *Marketingový výzkum: jak poznávat své zákazníky*. Praha: Grada, 2003, 159 s., 1. vy. ISBN 80-247-0385-8.
- [32] KOZEL, R. a kol.: *Moderní marketingový výzkum*. Praha: Grada Publishing a.s., 2005. ISBN 80-247-0966-X.
- [33] SUZUKI, Y., SHIRAHADA, K., KOSAKA, M.: *A new marketing methodology by integrating brain measurement, eye tracking, and questionnaire analysis*. School of knowledge science Japan Advanced Institute of Science and Technology. Nomi city, Japan.
- [34] KLIMEŠ, J.: *Oční kamera a její využití v marketingu* [online]. [cit. 2014-04-28]
Dostupné z WWW:
<http://klimes.mysteria.cz/clanky/psychologie/ocnikamera_marketing.pdf>
- [35] ROSBERGEN, E., WEDEL, M., PIETERS, R.: *Analysis Visual Attention to Repeated Print Advertising Using Scanpath Theory*. University Library Groningen, SOM Research school. (#97B32).
- [36] LOHSE, G. L.: *Consumer Eye Movement Patterns on Yellow Pages Advertising*. Journal of advertising. 26(1), 61-73.
- [37] Eye-tracking research shows cultural differences viewing web pages [online]. [cit. 2014-04-23] Dostupné z WWW:
<<http://eyetrackingupdate.com/2013/08/20/eye-tracking-research-shows-cultural-differences-viewing-web-pages/>>
- [38] Supermarkets Use Retina Trackers To Monitor Your Shopping Choices [online]. [cit. 2014-04-23] Dostupné z WWW:

- <<http://www.popsoci.com/technology/article/2012-07/marketers-tap-eye-tracking-and-brain-monitoring-get-inside-consumers-heads>>
- [39] Mobile Eye Tracking [online]. [cit. 2014-04-24] Dostupné z WWW: <<http://eyetrackingupdate.com/2013/08/22/mobile-eye-tracking-pros-cons/>>
- [40] Advertising research and eye tracking [online]. [cit. 2014-04-27] Dostupné z WWW: <<http://www.tobii.com/en/eye-tracking-research/global/research/advertising-research/>>
- [41] ANDĚL, J.: *Základy matematické statistiky*. Praha: MatfyzPress, 2011. ISBN 9788073781620.
- [42] Eye tracking history [online]. [cit. 2014-02-05] Dostupné z WWW: <<http://eyetracking.com.ua/eng/history/>>
- [43] PRS perception research services, Bringing Eye-Tracking to the Store [online]. [cit. 2014-04-07] Dostupné z WWW: <<http://www.prsresearch.com/prs-insights/article/bringing-eye-tracking-to-the-store/>>
- [44] PRS perception research services, Getting The Most From Eye-Tracking [online]. [cit. 2014-04-07] Dostupné z WWW: <<http://www.prsresearch.com/prs-insights/article/getting-the-most-from-eye-tracking/>>
- [45] Eye tracking web usability study reveals golden triangle [online]. [cit. 2014-03-29] Dostupné z WWW: <<http://eyetrackingupdate.com/2010/06/14/eye-tracking-web-usability-study-reveals-golden-triangle/>>
- [46] Video Replay of Eye Tracking as a Cue in Retrospective Protocol [online]. [cit. 2014-04-04] Dostupné z WWW: <http://thinkeyetracking.com/cms/wp-content/uploads/2011/08/Lizzie-Maughan-PEEP-Poster-for-ECCEM_SWAET-07.pdf>
- [47] Linear regression [online]. [cit. 2014-04-25] Dostupné z WWW: <<http://www.stat.yale.edu/Courses/1997-98/101/linreg.htm>>
- [48] Curve fitting, regression [online]. [cit. 2014-04-26] Dostupné z WWW: <https://www.efunda.com/math/least_squares/least_squares.cfm>
- [49] KARLÍK, K.: *Metoda nejmenších čtverců při nepřesných datech: diplomová práce*. Praha: Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta, 2008.
- [50] MARVAN, L.: *Využití eye trackingu v internetovém marketingu: diplomová práce*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta multimediálních komunikací, 2013.

- [51] CIPRA, T.: Finanční ekonometrie. Praha: Ekopress, 2008. ISBN 978-80-86929-43-9.

8 Příloha

Výpočetní kód programu Matlab

```
load vysledky

%% Nacteni vstupnich dat

body=[
    192 120; ...
    960 120;...
    1728 120;...
    192 600; ...
    960 600; ...
    1728 600; ...
    192 1080; ...
    960 1080; ...
    1728 1080; ...
];

body2=[
    960 600; ...
    1728 1080; ...
    1728 600; ...
    1728 120;...
    960 120;...
    192 120; ...
    192 600; ...
    192 1080; ...
    960 1080; ...
];

% nacteni = [];
% for k=1:length(v);
%     temp = [body(:, :) v{k}.stredy];
%     nacteni=[nacteni; temp];
% end
nacteni=[body(:, :) v{1}.stredy]; %vzorek 1 nevhodne namereny, vzorek
14 vhodne namereny
%% Vypocet
x1=nacteni(:,1);
x2=nacteni(:,2);
y1=nacteni(:,3);
y2=nacteni(:,4);

A_x1 = [sum(y1.^2) sum(y1.*y2) sum(y1);sum(y1.*y2) sum(y2.^2)
sum(y2);sum(y1) sum(y2) length(x1)];
C_x1 = [sum(x1.*y1); sum(x1.*y2); sum(x1)];
a_x1 = inv(A_x1)*C_x1;

B_x2 = [sum(y1.^2) sum(y1.*y2) sum(y1);sum(y1.*y2) sum(y2.^2)
sum(y2);sum(y1) sum(y2) length(x2)];
C_x2 = [sum(x2.*y1); sum(x2.*y2); sum(x2)];
b_x2 = inv(B_x2)*C_x2;
%% Overeni bodu
over_x1=[];
over_x2=[];
vzdalenost=[];
```

```

for i=1:length(y1)

    temp2=a_x1(1)*y1(i)+a_x1(2)*y2(i)+a_x1(3);
    over_x1=[over_x1;temp2];
end
for j=1:length(y1)

    temp3=b_x2(1)*y1(j)+b_x2(2)*y2(j)+b_x2(3);
    over_x2=[over_x2;temp3];
end
nacteni(:,5)=over_x1;
nacteni(:,6)=over_x2;
for k=1:length(y1)

    temp4=sqrt((x1(k)-over_x1(k))^2+(x2(k)-over_x2(k))^2);
    vzdalenost = [vzdalenost;temp4];
end

%% Zobrazeni
figure(1);
scatter(x1,x2);
box on;
xlabel('monitor x [px]');
ylabel('monitor y [px]');
labels = cellstr( num2str([1:9]') );
text(x1,x2, labels, 'VerticalAlignment','bottom', ...
      'HorizontalAlignment','right')

figure(2);
scatter(y1,y2);
box on;
xlabel('kamera x');
ylabel('kamera y');

figure(3)
scatter(x1,x2,'b');
box on;
xlabel('monitor x [px]');
ylabel('monitor y [px]');
hold on
cekej=2;
pause(cekej);
scatter(nacteni(:,5),nacteni(:,6),'r');

```