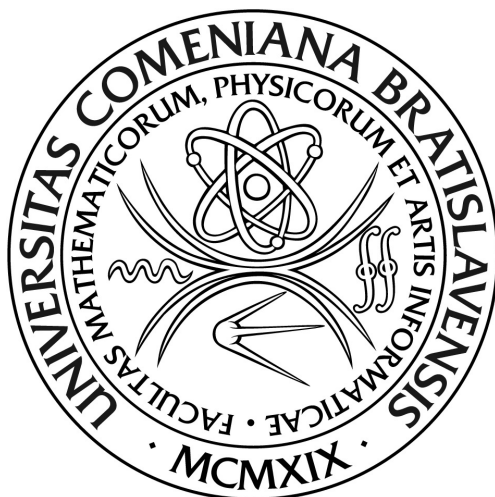


UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



TVORBA KRUHOVÝCH CESTIČIEK PRI SKUPINOVEJ CHÔDZI
V NEZNÁMOM TERÉNE.

BAKALÁRSKA PRÁCA

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

**TVORBA KRUHOVÝCH CESTIČIEK PRI SKUPINOVEJ
CHÔDZI V NEZNÁMOM TERÉNE.**

BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program: Ekonomická a finančná matematika
Študijný odbor: 1114 Aplikovaná matematika
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky
Vedúci práce: Mgr. Katarína Boďová, PhD.

Bratislava 2013

Mário Miglierini



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Mário Miglierini
Študijný program: ekonomická a finančná matematika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)
Študijný odbor: 9.1.9. aplikovaná matematika
Typ záverečnej práce: bakalárska
Jazyk záverečnej práce: slovenský

Názov: Tvorba kruhových cestičiek pri skupinovej chôdzi v neznámom teréne

Cieľ: Viacero experimentálnych aj teoretických štúdií sa venuje priamočiarej chôdzi ľudí v prostredí bez orientačných pomôcok (slnko, kopce, atď.). Spoločným záverom týchto prác je, že človek nie je schopný udržať priamy smer a vytvára pretínajúcu trajektóriu so slučkami. Cieľom práce je skúmať, ako na charakteristiky pohybu vplyva to, že ľudia chodia v skupine (dvaja, traja, ...). Niektoré výstupy pre chôdzu jedného človeka je možné nájsť v minulých bakalárskych prácach J. Džúrika a M. Jánošiho. Práca by mala pozostávať z prevedenia dôkladných experimentov a následného vyhodnotenia týchto dát spolu s formulovaním hypotéz pre základ matematického modelu.

Vedúci: Mgr. Katarína Boďová, PhD.
Katedra: FMFI.KAMŠ - Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky
Vedúci katedry: prof. RNDr. Daniel Ševčovič, CSc.
Dátum zadania: 10.10.2012

Dátum schválenia: 03.11.2012

doc. RNDr. Margaréta Halická, CSc.
garant študijného programu

.....
študent

.....
vedúci práce

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som sa chcel pod'akovať v prvom rade svojej vedúcej bakalárskej práce: Mgr. Kataríne Bod'ovej, PhD. za jej ochotnú pomoc a odborné vedenie počas prípravy experimentov, merania ale aj písania bakalárskej práce. Ďalej chcem pod'akovať mojej rodine, za ich trpezlivosť a podporu pri písaní práce. Moja vďačnosť patrí aj všetkým meraným dobrovoľníkom, ako aj tým, ktorý mi pomohli pri ich meraní, pretože obetovali svoj čas, bez nároku na odmenu a bez nich by som nebol schopný zadovážiť si získané dáta. Konkrétne sa na meraniach podieľali: Veronique Svitková, Mária Mészárosová, Ján Janočko, Ján Moják, Tomáš Jasenovec, Juraj Muravský, Sabína Šilharová, Kristína Biláková, Michal Švehlík, Viktor Gregor a ďalší, ktorým patrí rovnaká vďaka napriek tomu, že na tomto mieste nie sú menovaní. Touto cestou sa chcem pod'akovať aj Katedre Telesnej výchovy a športu Univerzity Komenského a Univerzitnému pastoračnému centru sv. Jozefa Freinademetza za poskytnuté priestory na vykonanie experimentov. V neposlednom rade chcem pod'akovať Bohu, ktorý mi dal schopnosť tvorivo uvažovať a prekonávať prekážky, ktoré som počas experimentovania a vypracúvania svojej práce musel prekonať [1].

Abstrakt v štátnom jazyku

MIGLIERINI, Mário: *Tvorba kruhových cestičiek pri skupinovej chôdzi v neznámom teréne* [Bakalárska práca], Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky; školiteľ: Mgr. Katarína Boďová, PhD., Bratislava, 2013, 45s.

V našej práci študujeme chôdzu skupiny ľudí v teréne bez orientačných bodov. Cieľom práce je zistiť, či má skupina lepšiu schopnosť udržovať vopred zadaný smer chôdze ako jednotliviec. Za týmto účelom boli nami vykonané experimenty s jednotlivcami aj so skupinami. Meraní dostali za úlohu kráčať v úzkom koridore bez možnosti zrakovkej orientácie a bol im zmeraný čas a vzdialenosť v ktorej tento koridor opustili. Skupiny mali možnosť vzájomnej kooperácie, ktorú predstavoval prístroj vydávajúcí pravidelný zvuk, ktorý mal každý meraný u seba. Táto práca spracúva a vyhodnocuje výsledky z experimentov. Nami merané skupiny ľudí, používali dve rozdielne stratégie. Buď sa snažili o vzájomnú kooperáciu alebo sa jeden zo skupiny stal dominantným a udával smerovanie skupiny. Dáta z experimentov neboli dostatočné na porovnanie dvojíc a jednotlivcov, pretože sa stávalo, že účastník experimentu prešiel na koniec meranej oblasti bez opustenia koridoru a teda nám chýbal údaj, v akej vzdialenosti by tento koridor opustil. Za účelom vygenerovania potrebných dát sme skonštruovali stochastickú simuláciu, ktorá bola schopná simulovať pohyb každého meraného v koridore až po jeho opustenie. Z vygenerovaných dát môžeme usudzovať, že ak sa v skupine nachádza dominantný človek, ktorý má dobrú schopnosť udržovať priamy smer chôdze a táto jeho schopnosť je známa ostatným dobrovoľníkom, skupina dosahuje v plnení zadanej úlohy výsledky podobné najlepšiemu jej členovi, niekedy dokonca lepšie. Vzájomná spolupráca v skupine sa neukázala ako dobrá stratégia, nakoľko skupiny s takouto stratégiou dosiahli horšie výsledky, ako členovia skupiny osobitne. Tento výsledok môže byť spôsobený tým, že človek nie je schopný len na základe sluchu dostatočne presne odhadnúť smer a vzdialenosť, z ktorej zvuk pochádza na to, aby dokázal počas experimentov určiť polohu svojho partnera.

Kľúčové slová: Kruhové trajektórie, chôdza človeka, orientácia v priestore, výstupná vzdialenosť, stochastický algoritmus

Abstrakt v cudzom jazyku

MIGLIERINI, Mário: *Tvorba kruhových cestičiek pri skupinovej chôdzi v neznámom teréne* [Bachelor Thesis], Comenius University in Bratislava, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Department of Applied Mathematics and Statistics; Supervisor: Mgr. Katarína Boďová, PhD., Bratislava, 2013, 45p.

In our work, we study a group of people walking on the ground without navigational cues. Aim of this study is to research whether the group has a better ability to maintain a pre-specified direction of walking as an individual. For this purpose we have performed experiments with individuals and with groups. Volunteers were asked to walk in a narrow corridor without visual orientation. Time and distance in which they left this corridor were measured. Groups have the option of cooperation, which was based on auditory cues, obtained from devices emitting the periodical sound, which was given to every participant. This paper evaluates the processes and results of experiments. Measured groups were using two different strategies. Either they cooperate or one of the members of a group became dominant and set the direction of the group. Experimental data were not sufficient to compare groups and individuals, since some participants reached the end of the measured area, without leaving the corridor and thus we lacked information about distance, in which volunteer would leave this corridor. For the purpose of generating the necessary data, we have constructed a stochastic simulation, which was able to simulate the movement of each measured along the corridor until it was left. From generated data we can conclude that if the group includes the dominant participant with a good ability to maintain fixed course of walking and this ability is known among the other participants, the group reaches task result similar to the best of its members, sometimes even better. Mutual cooperation in the group has not been proved as a good strategy, because with such a strategy, group achieved worse results than all members of the group separately. This fact may be caused by the incapability of people to estimate the direction and distance from which the sound comes, only by hearing, so volunteers were not able to determine the location of their partners.

Keywords: Circular trajectory, human gait, navigational ability, exit distance, stochastic algorithm

Obsah

Obsah	6
Úvod	9
1 Experimentálna časť	12
1.1 Faktory ovplyvňujúce schopnosť človeka udržovať vytýčený smer chôdze	12
1.2 Prvý experiment.....	14
1.2.1 Návrh experimentu.....	14
1.2.2 Priebeh experimentu	15
1.2.3 Netradičné situácie.....	16
1.3 Druhý experiment.....	16
1.3.1 Návrh experimentu –výber dvojíc	16
1.3.2 Návrh experimentu.....	17
1.3.3 Priebeh experimentu	18
1.3.4 Netradičné situácie.....	18
2 Spracovanie získaných dát	20
2.1 Získané dáta.....	20
2.1.1 Rýchlosti jednotlivcov	20
2.1.2 Grafy výstupných vzdialeností	23
2.2 Porovnanie účastníkov.....	26
2.2.1 Fotografie z experimentov	26
2.2.2 Porovnanie priemerných výstupných vzdialeností	28
2.2.3 Stratégie dvojíc	29
3 Algoritmus na dokončenie trajektórií	31
3.1 Algoritmus.....	31
3.1.1 Motivácia a teoretická príprava	31
3.1.2 Nastavenie parametrov a výber algoritmu	32
3.1.3 Inicializácia.....	33
3.1.4 Priebeh algoritmu.....	34
3.2 Analýza výsledkov algoritmu.....	35
3.2.1 Vypočítané priemery.....	35
3.2.2 Distribúcie výstupných vzdialeností.....	38
Záver	42
Zoznam použitej literatúry	44

Zoznam ilustrácií

Obr. 1. Trajektórie v experimentoch J. Soumana a kol.	10
Obr. 2. Meraná oblasť pre experiment jednotlivcov.....	15
Obr. 3. Meraná oblasť, experiment dvojíc.....	17
Obr. 4. Výpočet prejdenej dráhy.....	21
Obr. 5. Graf výstupných vzdialeností, 1. koridor.	23
Obr. 6. Graf výstupných vzdialeností jednotlivcov, 2. koridor.	24
Obr. 7. Graf výstupných vzdialeností jednotlivcov, 3. koridor.	24
Obr. 8. Graf výstupných vzdialeností jednotlivcov, 4. koridor.	25
Obr. 9. Graf výstupných vzdialeností dvojíc, 1. koridor.	25
Obr. 10. Graf výstupných vzdialeností dvojíc, 2. koridor.	25
Obr. 11. Experiment jednotlivcov meraný MM.....	26
Obr. 12. Experiment jednotlivcov, meraný TJ.....	26
Obr. 13. Experiment dvojice JJ/TJ.....	27
Obr. 14. Experiment dvojice MM/MH.....	27
Obr. 15. Príklad multinomického stromu.....	32
Obr. 16. Priradenie prechodových pravdepodobností.....	33
Obr. 17. Príklad simulácie.....	34
Obr. 18. Histogram meraných JJ a VS.....	39
Obr. 19. Histogram meraných MM a JM.....	39
Obr. 20. Histogram meraných MH a TJ.....	40
Obr. 21. Histogram meraných dvojíc JJ/TJ a MM/TJ.....	40
Obr. 22. Histogram meraných MM/MH a VS/MH.....	41

Zoznam tabuliek

Tab. 1. Počet meraní v experimentoch dvojíc.....	18
Tab. 2. Rýchlosti frekvencie a dĺžky kroku.	20
Tab. 3. Rýchlosti jednotlivcov.	22
Tab. 4. Priemerné výstupné vzdialenosti.	28
Tab. 5. Priemery vypočítané zo simulácie.	36
Tab. 6. Predpokladané výsledky dvojíc na základe stratégie	37

Úvod

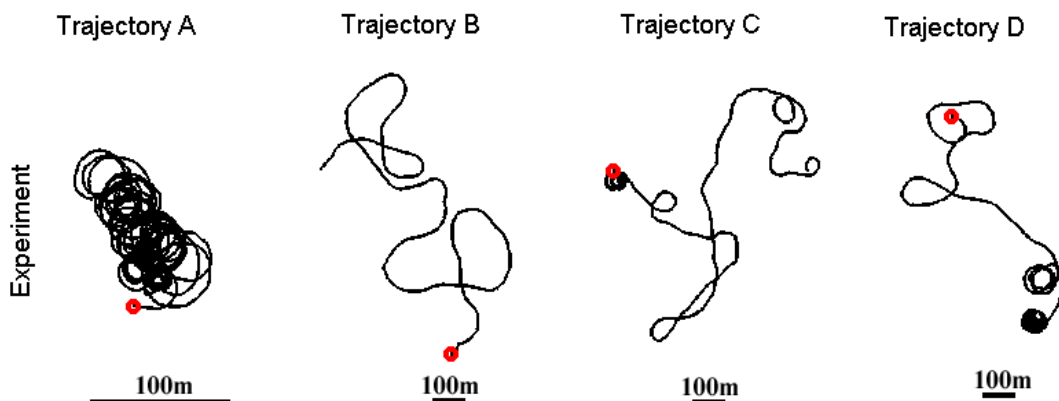
Práca sa zaoberá pohybom ľudí v teréne, v ktorom nie je možnosť orientácie na základe vonkajších vnemov. Človek pohybujúci sa v neznámom teréne často využíva k svojej navigácii orientačné pomôcky ako sú napríklad mapy, GPS, alebo kompas. V prípade, že tieto prostriedky nemá, ale pozná smer, ktorým má ísť, snaží sa udržať si tento smer, k čomu môže využívať aj slnko, mesiac, hviezdy, nerovnosti terénu a iné. Ak človek nemá k dispozícii žiadne orientačné body, je na mieste otázka, či je schopný priamej chôdze. V práci Schaeffer, A. A. [2] pozoroval, že človek, ktorý má na očiach šatku, nedokáže kráčať, plávať, alebo viesť čln priamo, ale vytvára pretínajúce sa trajektórie, v ktorých je možné pozorovať slučky a približné kružnice. Súhrnne ich budeme nazývať kruhové trajektórie.

Kruhové trajektórie boli pozorované aj u zvierat. V práci [3] sa H. Kaiser venuje popisu letu vážok, pri ktorom bol pozorovaný tento jav. Štúdiu modelu, ktorý popisuje trajektóriu zvierat, vypracoval P.M. Kareiva [4], ktorý sledoval trajektórie letu motýľov. Zo získaných dát vyhodnotil tieto trajektórie ako korelované náhodné prechádzky, teda pohyb, pri ktorom sa v každom diskretnom časovom intervale subjekt vychýli od predošlého smeru o náhodný uhol z daného pravdepodobnostného rozdelenia a následne sa posunie o stanovený fixný alebo náhodný krok. Uhol medzi polpriamkou, ktorá by predstavovala pokračovanie pohybu v nezmenenom smere a polpriamkou, ktorá predstavuje odklon od priameho smeru nazvime výchylka. V našej práci, ktorá nadväzuje na práce [5] a [6] používame nasledovný prístup. Nech f predstavuje funkciu odozvy, teda systematickú zložku výchylky a funkcia g amplitúdu náhodnej zložky výchylky α , kde ξ udávajúce náhodnosť pohybu, pochádza z daného pravdepodobnostného rozdelenia. Za týchto predpokladov môžeme pohyb popísať diferenčnou rovnicou v tvare:

$$\alpha_{n+1} = f(\alpha_n) + g(\alpha_n)\xi_n$$

Odlíšne pravdepodobnostné rozdelenie stochastickej zložky ξ generuje rôzne trajektórie. Odlíšnosť trajektórií môže byť spôsobená rozdielnosťou funkcií f a g , ktoré spoločne tvoria dynamiku pohybu. Výrazná systematická výchylka a rovnako aj výrazná náhodná zložka pohybu generuje pretínajúce sa trajektórie.

Experimentálne sa problémom kruhových trajektórií pri ľudskej chôdzi zaoberal J. Souman a kol. [7], ktorý nechal niekoľkých dobrovoľníkov kráčať v neznámom teréne bez navigačných pomôcok niekoľko hodín. Ich trajektóriu zaznamenával pomocou GPS systému a boli pozorované trajektórie, podobné slučkám, ktoré by sa, v niektorých prípadoch dokonca zmestili do kruhu s polomerom menším ako 20m. Niektoré z trajektórií z práce [7] sú zobrazené na obrázku:



Obr. 1. Trajektórie v experimentoch J. Soumana a kol.

Na obrázku sú štyri trajektórie dobrovoľníkov meraných v práci J. Soumana a kol. [7]. Červený krúžok symbolizuje začiatkový bod trajektórie. Pod každou trajektóriou je mierka.

Experimenty ukazujú, že človek nie je schopný udržať si priamy smer bez orientačných pomôcok, ale z priameho smeru postupne vybočuje a tak sa dokonca môže vrátiť na miesto, cez ktoré už pred tým prešiel. Je to spôsobené tým, že človek pri každom kroku urobí výchylku (chybu) od priameho smeru. Výchylka môže byť spôsobená faktormi ako napríklad anatomická nerovnakosť nôh, a je u každého človeka individuálna. Keďže sa táto výchylka postupom času kumuluje, môžu vzniknúť aj vyššie spomenuté pretínajúce sa trajektórie obsahujúce slučky.

J. Dzúrik vo svojej bakalárskej práci [5] prezentoval jednoduchý matematický model, ktorý popisuje chôdzu človeka snažiaceho sa udržať vopred zadaný smer chôdze, bez toho, aby mal možnosť kontrolovať priebežne svoje vychýlenie. Ukázalo sa, že aj veľmi jednoduchý stochastický model generuje trajektórie podobné nameraným J.Soumanom. M. Jánoši vo svojej práci [6] študoval údaje z experimentov J.Soumana. Rozšíril pôvodný matematický model o vplyv dĺžky kroku a porovnal modely so získanými dátami a na základe čoho potvrdil, že dáta implikujú konštantné alebo lineárne funkcie f a g , pre ktoré modely veľmi dobre vystihujú dáta namerané J. Soumanom a kol.

Naším cieľom je zistiť, či má skupina ľudí lepšiu schopnosť udržovať priamy smer ako jednotlivec, vďaka vzájomnej interakcií. V súčasnosti nám nie je známa žiadna experimentálna štúdia popisujúca chôdzu väčšieho počtu jednotlivcov v neznámom teréne bez orientačných pomôcok. Preto si táto práca dala za cieľ previesť najprv dôkladnú experimentálnu štúdiu v tejto oblasti a potom jej následné využitie na vytvorenie modelu, popisujúceho chôdzu skupiny ľudí, ktorá má za úlohu kráčať vo vopred zadanom smere, v teréne bez orientačných bodov.

Bolo potrebné najprv previesť experimenty s jednotlivcami. Počas druhej série experimentov boli merané dvojice, ako najmenšia možná skupina. Na rozdiel od meraní jednotlivcov, dvojica mala medzi sebou možnosť komunikácie. Získané výsledky jednotlivcov a skupín sme porovnali.

Na popisanie schopnosti ľudí chodiť priamo sme zvolili experiment, kde meraný dobrovoľník (prípadne skupina) kráča v úzkom koridore bez vonkajších vnemov a bol mu zaznamenaný čas a vzdialenosť, kedy sa vychýlil z priameho smeru natoľko, že tento koridor opustil. Tento problém je v oblasti diferenciálneho počtu známy ako tzv. first passage process (skrátene FPP), teda proces exitu cez hranicu. FPP, ako je

popísaný v úvode [8] je stochastický proces, popisujúci náhodný pohyb, v stanovených hraniciach, ktorý končí v čase, keď je daná hranica dosiahnutá prvý krát. Prístup FPP je spomenutý napríklad v diele P. Glassermana, [9], kde je použitý na oceňovanie aktív firmy. Dôležitým cieľom práce je odhadnutie distribúcií rozdelení výstupných vzdialeností, teda vzdialeností v ktorých účastník prvý krát opustil daný koridor.

Keďže v našich experimentoch mal koridor fixnú dĺžku, distribúciu pravdepodobnostného rozdelenia výstupných vzdialeností sme dokázali odhadnúť len na intervale určenom dĺžkou koridoru. Odhady na tomto intervale ale dostatočne nezodpovedali realite, pretože meraní, ktorí mali dobrú schopnosť udržiavať priamy smer chôdze, viackrát prešli koridor bez jeho opustenia. Chýbajúcu vzdialenosť v ktorej by daný účastník opustil koridor, ak by mal väčšiu dĺžku, sme vygenerovali pomocou stochastickej simulácie v tvare multinomického stromu v ohraničenej oblasti s vhodnou okrajovou podmienkou.

Členenie práce a ciele, ktoré si práca stanovuje:

1. Prvá kapitola je venovaná experimentálnej časti práce. Študujeme v nej otázku, čo ovplyvňuje človeka snažiaceho sa udržať si priamy smer. Snažíme sa eliminovať všetky vonkajšie vplyvy, aby sme dostali čo najrelevantnejšie výsledky. Sú v nej obsiahnuté návrhy oboch experimentov, ich priebeh, ale aj zhodnotenie vzniknutých netradičných situácií.
2. V druhej kapitole je analýza experimentálnych dát. Prvá časť kapitoly je venovaná skúmaniu rýchlosti účastníkov experimentov. V ďalšej časti sú študované výstupné vzdialenosti.
3. V tejto kapitole sa zaoberáme odhadom distribúcií rozdelení výstupných vzdialeností. Na ich zistenie používame stochastickú simuláciu. Táto kapitola sa zaoberá jej konštrukciou a prehľadom vygenerovaných výsledkov.

1 Experimentálna časť

Primárnym cieľom našich experimentov bolo zistiť či má skupina alebo jednotliviec lepšiu schopnosť udržať si vopred stanovený smer chôdze pri absencii orientačných pomôcok.

Okrem tejto otázky sme študovali aj ďalšie, ktoré sa dajú formulovať nasledovne:

- Ako je ovplyvnená rýchlosť chôdze človeka ak má zaviazané oči?
- Aký je spôsob rozhodovania sa v skupine, ktorá dostala takúto úlohu a stratégia zvolená na jej splnenie?

Za týmto účelom bolo potrebné navrhnuť experiment, ktorý bude spĺňať nasledovné protichodné podmienky, nami zvolený prístup je teoreticky popísaný v článku M. Gazdu [10]:

- **Relevantnosť.** Získané dáta z experimentu musia mať potenciál odpovedať na naše otázky a je potrebné dosiahnuť maximálnu možnú presnosť meraní. Dôležité je eliminovať všetky vonkajšie vplyvy, ktoré môžu ovplyvniť získané výsledky, ale nesúvisia z cieľom bádania.
- **Jednoduchosť.** Relevantné dáta chceme získať, čo najjednoduchším spôsobom. Návrh experimentu musí rešpektovať naše finančné, časové a organizačné možnosti. Dáta musíme získať za čo najkratší čas, minimalizujeme počet meraní, rovnako počet osôb v organizačnom tíme, materiálové zabezpečenie a režijné náklady.

Vychádzajúc z týchto podmienok sme sa rozhodli vykonať dva experimenty. V prvom experimente sme merali jednotlivcov, ktorých merania nám slúžili ako porovnávací vzorka. V rámci druhého experimentu boli merané dvojice, ako najmenšia možná skupina. Meranie väčšieho počtu jednotlivcov by bolo organizačne aj časovo príliš náročné.

Schopnosť človeka udržať si vopred stanovený smer chôdze pri absencii orientačných pomôcok, bolo potrebné vhodne kvantifikovať. Rozhodli sme sa merať čas a vzdialenosť, ktorú meraný dokáže prejsť vo vnútri koridoru s fixnou šírkou. Túto vzdialenosť nazvime „výstupná vzdialenosť“ (skrátene VV). Rovnako bolo zaznamenané, či bol koridor opustený na pravej alebo ľavej hranici.

Skúmali sme aj stratégiu dvojice a spôsob jej rozhodovania, z toho dôvodu sme v experimentoch dvojíc dali účastníkom možnosť dvakrát si vyskúšať danú úlohu. Z dôvodu skúmania stratégie sme počas všetkých meraní zaznamenávali netradičné situácie. V experimentoch dvojíc bolo zaznamenané, kto z dvojice opustil daný koridor. Okrem týchto experimentov sme s každým účastníkom urobili jedno meranie, v rámci ktorého sme mu určili dĺžku kroku, rýchlosť a frekvenciu chôdze.

Keďže meranie jednotlivcov a dvojíc sa navzájom líšilo, návrhu a priebehu každého z experimentov je venovaná samostatná podkapitola.

1.1 Faktory ovplyvňujúce schopnosť človeka udržovať vytýčený smer chôdze

Na udržovanie priameho smeru chôdze človek využíva schopnosť priestorovej orientácie. Faktormi, ktoré ovplyvňujú túto schopnosť sa zaoberal vo svojej práci T. Wolbers a M. Hegarty [11], v tomto odseku budeme vychádzať z ich pozorovaní.

Priestorová orientácia je proces, pri ktorom ľudský mozog spracúva vnemy získané z viacerých senzorov. Keď vezmeme do úvahy zložitú vnemov ktoré človek musí v rámci tohto procesu vyhodnotiť, aby si zvolil smer, ktorým sa bude pohybovať, nie je prekvapivé, že je schopnosť priestorovej orientácie u každého človeka rozdielna. Existujú ľudia, ktorí majú výborný orientačný zmysel, rovnako ľudia, ktorí ľahko stratia pojem o správnom smere.

Ak chceme vylúčiť všetky vonkajšie faktory ovplyvňujúce schopnosť človeka udržiavať vytýčený smer chôdze, je potrebné správne ich identifikovať. V nasledujúcej podkapitole sa snažíme sumarizovať poznatky o danej problematike potrebné na návrh experimentov.

Orientácia v priestore môže byť založená na externých zdrojoch ako sú napríklad mapy a GPS, alebo na interných, akými sú zmyslové vnemy [11]. Medzi najdôležitejšie zmysly pri priestorovej orientácii patrí zrak a sluch. Zrakové vnemy sú často používané na získanie predstavy o pozícií, kde sa človek nachádza v priestore a predstavy o smere, ktorým sa pohybuje. Proces spracúvania vizuálnych informácií je nedokonalý, takže je potrebné odhad smeru a pozície rekalibrovať, často na základe vizuálnych vnemov akými sú významné orientačné body, napríklad vysoké vrchy [11]. Túto teóriu experimentálne potvrdil J. Souman a kol. [7], ktorý nechal kráčať 6 dobrovoľníkov v rozsiahlom lese, bez významných orientačných bodov, niekoľko hodín. Ich úlohou bolo snažiť sa ísť čo najpriamejšie, smerom, ktorý im bol vopred zadaný, bez použitia navigačných pomôcok. Štyria kráčali počas zamračeného dňa. Títo štyria chodili v kruhoch, opakovane prekrížili svoju trajektóriu bez toho aby si to všimli. Na rozdiel od nich dvaja, ktorí kráčali počas slnečného dňa, kedy bolo slnko dobre viditeľné, dokázali takmer presne udržiavať určený kurz. Tieto výsledky naznačujú, že dostupnosť spoľahlivého zdroja informácie o smere pohybu je najdôležitejším faktorom ovplyvňujúcim schopnosť udržať si správny smer chôdze. V prípade experimentov J. Soumana a kol. [7] túto informáciu poskytovala viditeľnosť slnka. Dostatočne veľký priestor bez orientačných bodov ako mal J. Souman a kol. k dispozícií, sa nám nepodarilo nájsť a experimenty prebiehali v mesiacoch, kedy by mohli byť merania ovplyvnené poveternostnými podmienkami ako vietor dážď, alebo nízka teplota. Z týchto dôvodov sme účastníkom našich experimentov zaviazali oči šatkou, čo je najjednoduchší spôsob ako zamedziť vizuálnu orientáciu.

Sluch nedokáže dať človeku rovnako kvalitnú (z hľadiska orientácie) informáciu o priestore ako zrak [12]. Napriek tomu, pomocou sluchu je človek schopný získať informáciu o povahe priestoru v ktorom sa nachádza [13]. Človek dokáže vyhodnotiť z ktorého smeru prichádza zvuk, takže bolo potrebné počas experimentov vylúčiť riziko, že meraní dobrovoľníci budú počuť zvuky z okolia, na základe ktorých by mohli nanovo získať informáciu o vopred zadanom smere. Z týchto dvoch dôvodov mali účastníci, počas celého merania, na ušiach slúchadlá. Schopnosť, zistiť z akej vzdialenosti a akého smeru prichádza zvuk, bola kľúčová v experimentoch dvojíc, kde účastníci získavali informáciu o polohe svojho partnera na základe sluchového vnemu, ktorým bolo zariadenie vydávajúce pravidelný zvuk, ktoré mal každý meraný pri sebe.

J. Bredin a kol. [14] vo svojej práci testoval ako presne dokážu ľudia dosiahnuť zo zaviazanými očami cieľ vo vzdialenosti 10m. Experimenty boli vykonávané pri troch rozdielnych rýchlostiach chôdze. Pri rôznych rýchlostiach boli dosiahnuté rozdielne výsledky, čo naznačuje, že na schopnosť človeka udržať priamy smer, bez zrakovej orientácie, vplýva aj rýchlosť ktorou sa pohybuje. Okrem toho ľudia disponujú zotrvačnosťou. Jedinec pohybujúci sa rýchlo má väčšiu hybnosť a teda má menšiu tendenciu vychýliť sa zo smeru v ktorom sa pohybuje. Koncept zotrvačnosti použil vo svojej práci aj M. Jánoši [6], ako predpoklad pre model, ktorý popisoval chôdzu človeka

bez orientačných pomôcok. Aby sme v experimentoch predišli vplyvu rýchlosti, účastníci experimentov dostali za úlohu kráčať prirodzeným tempom chôdze. Ak niektorý z účastníkov viditeľne zrýchlil, bolo to zaznamenané ako netradičná situácia.

Jedným z možných vysvetlení, prečo človek vytvára kruhové trajektórie, sú biomechanické asymetrie ľudského tela ako napríklad rozdielna dĺžka nôh alebo väčšia sila jednej nohy. V štúdií J.Soumana a kol. [7] bol tomuto problému venovaný samostatný experiment. Pätnásť ľudí kráčalo, bez možnosti sluchovej a zrakovej orientácie, 50 min v smere, ktorý im bol ukázaný na začiatku chôdze. Meraní jednotlivci kráčali buď 10 krát po dobu 5min, alebo 5 krát po 10min. Ich trajektórie boli zaznamenávané pomocou GPS systému. Iba traja (z 15) účastníkov preukázali silnú tendenciu zahýbať do jednej strany, čo malo za následok, vytvorenie pretínajúcich sa trajektórií. Vplyv biomechanických asymetrií ľudského tela sa nám v našich meraniach nepodarilo vylúčiť.

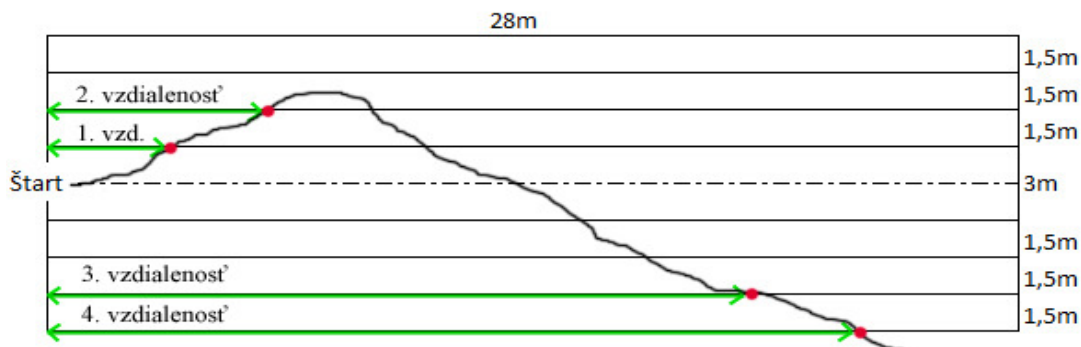
Je všeobecne známym faktom že pohyb človeka v strmom alebo členitom teréne je fyzicky náročnejší ako pohyb po rovine. Stúpanie a klesanie povrchu teda môže človeku poslúžiť ako orientačný bod (vnem), ktorý dokáže využiť aj pri absencii zrakových vnemov. Aby sme zamedzili vplyvu tohto faktoru, boli naše experimenty vykonávané v miestnostiach a na bezpečnosť meraných dohliadal organizačný tím.

1.2 Prvý experiment

1.2.1 Návrh experimentu

Cieľom experimentu bolo zistiť, ako vedia jednotlivci udržať zadaný smer chôdze pri absencii orientačných pomôcok. Zmeraných bolo šesť dobrovoľníkov vo veku od 21 do 23 rokov, ktorí písomne súhlasili s účasťou na experimente, z toho štyria muži (JJ, JM, MH, TJ) a dve ženy (VS, MM). S každým meraným dobrovoľníkom bolo uskutočnených 30 samostatných meraní.

Dôležitým parametrom experimentov bola šírka koridoru. Pre príliš úzky koridor by všetci účastníci experimentu skončili v približne rovnakej vzdialenosti, takže by sa nedali porovnať. Príliš široký koridor by účastníci experimentov prešli celý po dĺžke bez jeho opustenia. Aby sme sa vyvarovali obidvom prípadom, rozhodli sme sa merať každého účastníka v štyroch koridoroch s rôznou šírkou. V záujme skrátenia času experimentu sme realizovali všetky štyri experimenty naraz, v štyroch vnorených koridoroch. Opustenie ľubovoľných dvoch koridorov bola nezávislá udalosť, pretože vzdialenosť bola meraná od štartovej línie a účastník nezistil, že opustil vnútorný koridor, mohol pokračovať ďalej bez prerušenia experimentu. Na lepšiu predstavu o tvare meranej oblasti slúži nasledovný obrázok. Červené body označujú miesta, kde meraný dobrovoľník opustil daný koridor a zaznamenal sa mu čas a vzdialenosť.



Obr. 2. Meraná oblasť pre experiment jednotlivcov.

Na obrázku sú zobrazené všetky hranice koridorov. Meraná oblasť teda mala 28x12m. Plné čiary zobrazujú línie, ktoré boli vyznačené aj reálne počas merania. Je zobrazená aj jedna trajektória, červené body označujú miesta, kde meraný dobrovoľník opustil daný koridor a zaznamenal sa mu čas a vzdialenosť (vyznačená zelenými šípkami).

Vnútrotný koridor bol široký 3m, druhý 6m, tretí 9m a najširší 12m. Trať bola vyznačená útržkami z lepiacej pásky vo vzdialenosti jeden meter od seba, podľa ktorých sa merala výstupná vzdialenosť s presnosťou 0,5m. Dĺžka trate bola limitovaná dĺžkou telocvične, trať mala teda dĺžku 28m.

1.2.2 Priebeh experimentu

Experiment bol vykonaný 2.11.2012 v telocvični FMFI UK v Mlynskej doline. Tento priestor bol zvolený kvôli tomu, aby meraný nebol vystavený vplyvom počasia ako je slnko a vietor. Podlaha telocvične bola bez nerovností, ktoré by mohli vychýliť meranie. Experiment sa začal o 8:10 (miestneho času) a trval približne do 13:00.

Meraný MH a TJ boli meraný paralelne na druhej identickej trati, ktorá bola postavená vedľa prvej, za účelom skrátenia času experimentu. Vďaka lepšiemu spôsobu merania, ktorý bol vyvinutý počas experimentov, boli na tejto trati zaznamenané presnejšie výsledky. Na jednej trati boli zaznamenané výsledky s presnosťou 0,5m, na druhej s presnosťou 0,1m.

Na začiatku merania bol s každým meraným urobený jednorazový test, zmeral sa počet krokov a čas, za ktorý účastník prešiel 28m. Z týchto dát sa dala vypočítať rýchlosť, frekvencia a dĺžka kroku.

Samotný experiment prebiehal nasledovne. Meraný dobrovoľník sa postavil na štart (Obr. 2) do stredu koridoru so šírkou 3m. Bol inštruovaný, aby sa snažil ísť, čo najrovnejšie, prirodzeným tempom. Sám si pozrel priamy smer, dal si šatku na oči a slúchadlá na uši. Potom čakal na signál, ktorý dostal 10 sekúnd po tom, ako si zakryl oči. Oči boli zakryté šatkou a ako zvuková kulisa bola použitá hudba skupiny Einstürzende Neubauten - Ozean und Brandung. Počas experimentu bolo zamračené ale kvôli tomu, aby účastníci necítili svetlo prichádzajúce z boku, cez okná telocvične, boli v telocvični zapnuté halogénové svetlá a účastníci mali na sebe klobúky. Trojčlenný organizačný tím sa pohyboval v tesnej blízkosti meraného. Zaisťoval presnosť výsledkov a bezpečnosť meraného. Niektoré merania (približne polovica) boli merané z opačnej strany trate, tak že meraný sa postavil na koniec meranej oblasti do stredu vnútorného koridoru a pokračoval smerom naspäť.

Problémom experimentov, ktorý bol zistený až na konci merania bolo to, že meraní si mohli dať dole šatku z očí hneď po vystúpení z najširšieho koridoru. Mali teda informáciu o tom, kde skončili a mohli svoje správanie medzi meraniami upravovať

v závislosti od úspešnosti v predošlých meraniach, čím mohli dosiahnuť lepšie výsledky. Výhodou tohto nedostatku bolo, že v experimentoch dvojíc, (kde sme sa tejto chybe vyvarovali), mohli dvojice zvoliť lepšie stratégiu na základe toho, že vedeli niektoré informácie o svojich výsledkoch. Napríklad všetkým meraným bola známa dobrá schopnosť MM udržovať si zadaný smer v experimentoch.

1.2.3 Netradičné situácie

Účastník JM bol šesť týždňov po operácii pravého kolena a počas experimentu viditeľne kríval. Napriek tomu nebolo pozorované výnimočné vychýlenie do jednej strany. Okrem toho meraný JM bol ku koncu meraní unavený, a viditeľne zrýchľil napriek pripomenutiu zo strany organizátorov, že úlohou je kráčať prirodzenou rýchlosťou. Malo to za následok, že 26.-29. meranie prešiel celú meranú oblasť, bez opustenia ktoréhokoľvek z koridorov. To súhlasí z teóriou o zotrvačnosti, ktorú sme spomenuli v kapitole 1.1, kde sa predpokladá, že človek pohybujúci sa rýchlo má menšiu tendenciu vychýliť sa zo smeru pohybu. Túto teóriu podporuje aj fakt, že účastník JM mal zo všetkých meraných najväčšiu hmotnosť. O vplyve váhy na schopnosť udržovať vytýčený smer chôdze nám nie je známa žiadna štúdia, takže tento problém ostáva ako podnet na ďalší výskum.

Účastník MM mal najviac meraní (17), v rámci ktorých prešiel celú meranú oblasť bez opustenia koridoru. Je zaujímavé, že účastník mal najmenšiu rýchlosť zo všetkých meraných, čo nezodpovedá poznatkom o vplyve rýchlosti z kapitoly 1.1. Táto nezvyčajná presnosť sa nám nepodarila vysvetliť.

Napriek tomu, že meraný vedeli, že sa v ich blízkosti pohybuje organizačný tím, dobrovoľník VS počas experimentov viackrát deklaroval strach, že narazí do steny telocvične, pri čom spomalil chôdzu. Strach z narazenia vyjadril slovne aj meraný JJ.

1.3 Druhý experiment

Cieľom experimentu bolo zistiť, nakoľko dokážu dvojice udržovať zadaný smer chôdze pri absencii orientačných pomôcok.

1.3.1 Návrh experimentu –výber dvojíc

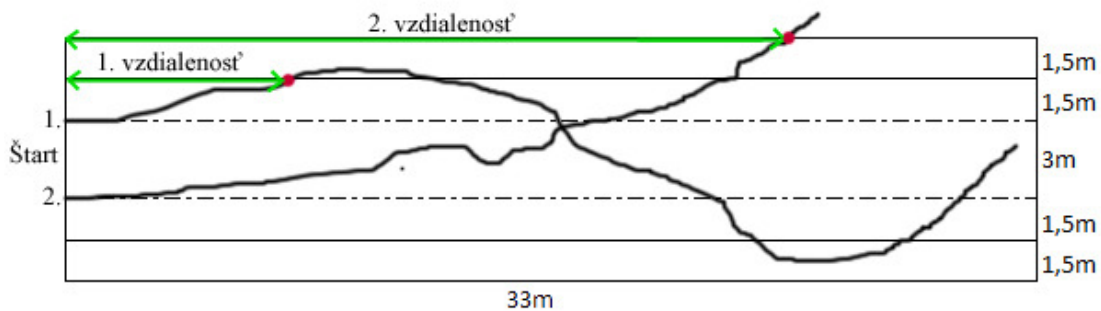
Zmerané boli štyri dvojice vytvorené z dobrovoľníkov, ktorí sa zúčastnili na prvom experimente. Dvojice sme vyberali na základe priemernej rýchlosti a priemernej výstupnej vzdialenosti, vypočítanej z dát získaných z prvého experimentu. Vybrali sme vždy buď najrozdielnejší prípad alebo dvojicu s najpodobnejšími hodnotami. Okrem toho sme dbali na to, aby žiadny človek nebol vo viac ako dvoch skupinách nakoľko meranie skupín bolo pre účastníkov náročné, pretože bolo realizovaných 30 opakovaných meraní a pohyb so zaviazanými očami je únavný. Vybrali sme nasledujúce dvojice.

- Dvojica MM/TJ mala najrozdielnejšiu rýchlosť. Účastníkovi MM sme počas úvodného testu (bez zrkovného obmedzenia) namerali rýchlosť $1,08\text{ms}^{-1}$, kým účastník TJ dosiahol najvyššiu rýchlosť $1,50\text{ms}^{-1}$.
- Dvojica MH/VS mala najpodobnejšiu rýchlosť. MH dosahoval priemernú rýchlosť počas úvodného testu $1,29\text{ms}^{-1}$, kým účastník VS sa pohyboval rýchlosťou $1,26\text{ms}^{-1}$.
- Dvojica JJ/TJ mala najpodobnejšiu priemernú výstupnú vzdialenosť pre výstupy na pravej strane koridoru. Priemer JJ bol 18,17m priemer TJ bol 17,82m.

- Dvojica MM/MH mala najrozdielnejšiu celkovú priemernú výstupnú vzdialenosť (CPVV). CPVV bola vypočítaná ako priemer všetkých výstupných vzdialeností a za každé meranie, kedy účastník prešiel celý koridor bez jeho opustenia, bola dosadená dĺžka koridoru. CPVV účastníka MH bola 16,79m. Relatívne veľkú CPVV dosiahli meraní MM (20,8) a JM (20,93). Z nich sme vybrali dobrovoľníka MM, pretože prešiel koridor bez jeho opustenia až 17 krát, zatiaľ čo účastník JM, len 7 krát, napriek tomu že mal vyššiu CPVV.

1.3.2 Návrh experimentu

Počas experimentov dvojíc bola dvojica posudzovaná spoločne, to znamená, že sa zaznamenával iba čas a vzdialenosť, v ktorej prvý z meranej dvojice opustil daný koridor. Na rozdiel od merania jednotlivcov v meraní dvojíc prebiehali iba dva experimenty naraz, v dvoch vnorených koridoroch. Tretí a štvrtý koridor sa v experimentoch jednotlivcov ukázal ako príliš široký. Keďže v tomto prípade sa nachádzali naraz v koridore dvaja meraní, bolo potrebné zväčšiť šírku koridoru.



Obr. 3. Meraná oblasť, experiment dvojíc.

Na obrázku sú zobrazené všetky hranice koridorov. Meraná oblasť teda mala 33x12m. Plné čiary zobrazujú línie, ktoré boli vyznačené aj reálne počas merania. Sú zobrazené aj trajektórie jednej meranej dvojice. Červené body označujú miesta, kde meraný dobrovoľník ako prvý a prvý krát opustil daný koridor a zaznamenal sa mu čas a vzdialenosť (vyznačená zelenými šípkami).

Vnútorň koridor bol široký 6m, vonkajší 9m (Obr. 3). Trať bola vyznačená útržkami z lepiacej pásky vo vzdialenosti jeden meter od seba, na ktorých bola naznačená vzdialenosť od štartovacej čiary. Podľa týchto značiek sa merala výstupná vzdialenosť s presnosťou 0,5m.

Podstatným rozdielom oproti meraniu jednotlivcov bola komunikácia medzi dvomi meranými. Táto komunikácia prebiehala na báze sluchu, z toho dôvodu účastníci experimentov síce mali na ušiach slúchadlá, aby nepočuli zvuky okolia, ale nemali v nich pustenú hudbu ako v prvom experimente. Každý z dvojice mal v ruke mobilný telefón značky Samsung gt-i5500. Počas celého experimentu telefón prehrával mp3 nahrávku pozostávajúcu zo sekvencie 1kHz sínusového 0,5s trvajúceho zvuku a následne 2,5s ticha. Nahrávky ("pípanie") boli pustené asynchrónne takže účastníci mohli, na základe sluchovej orientácie v priestore (podkapitola 1.1), určiť približnú polohu druhého meraného z dvojice.

Keďže meraní dobrovoľníci neboli dokonale odhlučnení, nemohli sa v ich blízkosti pohybovať organizátori, ktorí by zaznamenávali dáta. Namiesto toho bol po obvode meranej oblasti rozmiestnený 10 členný organizačný tím, tak, aby aspoň jeden z organizátorov dokázal správne odčítať výstupnú vzdialenosť bez ohľadu na to, kde

meraný opustil daný koridor. Jeden z organizátorov meral čas, a dvaja dohliadali na bezpečnosť meraných.

Experiment bol vykonaný 1.3.2013 v Univerzitnom Pastoračnom centre v Mlynskej doline. Začal o 8:00 (miestneho času) a trval približne do 13:00. Zmeraných bolo päť dobrovoľníkov, ktorí písomne súhlasili s účasťou na experimente.

1.3.3 Priebeh experimentu

Na začiatku merania bol s každým meraným urobený jednorazový test, kde bola zistená frekvencia a rýchlosť jeho chôdze rovnako ako v prvom experimente. Zmeral sa počet krokov a čas, za ktorý účastník prešiel 28m. Okrem toho každá dvojica mala možnosť dvakrát si experiment vyskúšať a otestovať si spoločnú stratégiu. Počas týchto meraní nebola spozorovaná žiadna výnimočná stratégia.

Samotný experiment prebiehal nasledovne. Meraná dvojica sa postavila na štart do stredu vo vzdialenosti 3m od seba. Boli inštruovaní, aby sa snažili ísť čo najrovnejšie a prirodzeným tempom chôdze. Sami si pozreli priamy smer, dali si šatku na oči a slúchadlá na uši. Potom čakali na signál, ktorý dostali niekoľko sekúnd po tom ako si zakryli oči šatkou. Počas experimentu bolo zamračené, ale kvôli tomu, aby účastníci necítili svetlo prichádzajúce z vonku, boli v miestnosti zatiahnuté závesy a zapnuté svetlo. Keď meraný opustil vonkajší koridor, bol jedným organizátorom odvedený približne do stredu meranej oblasti niekoľkokrát pootáčaný a až potom mu bola daná dole šatka z očí. Tento úkon bol vykonávaný preto, aby meraný nemal predstavu o tom, kde skončili. Niektoré merania (približne polovica) boli merané z opačnej strany trate, tak že sa meraný postavil na opačný koniec koridoru a pokračoval smerom späť. Po každom meraní sa účastníci vystriedali, teda každý meraný začínal striedavo na ľavej a pravej strane koridoru. Počet meraní bol z časových dôvodov rozdielny. Tabuľka udáva počet meraní v experimente dvojíc.

TJ/JJ	MM/TJ	MM/MH	MH/VS
30	25	20	30

Tab. 1. Počet meraní v experimentoch dvojíc.

Tabuľka udáva počet jednotlivých meraní pre experimenty dvojíc.

1.3.4 Netradičné situácie

Počas experimentov dvojíc vznikali pozoruhodné situácie častejšie ako v experimente jednotlivcov. Štúdiom stratégie dvojíc sa preto zaoberá osobitná podkapitola práce 2.2.3. V tejto kapitole budú teda spomenuté len situácie, ktoré sa stali jednorázovo a nesúvisia zo stratégiou dvojice.

Dvojica TJ/JJ sa v jednom meraní zrazila, čo nie je prekvapujúce nakoľko v mnohých meraniach účastníci prekročili svoje trajektórie. Pozoruhodné je, že napriek tejto zrážke nestratili pojem o správnom smere a celú meranú oblasť prešli bez opustenia koridoru, čo sa im podarilo iba v troch meraniach.

Dvojica MM/TJ dospela k stretu dokonca v štyroch meraniach v troch prípadoch TJ narazil do MM zozadu ale nevychýlil ho zo správneho smeru, v jednom prípade MM narazil do TJ ale rovnako nebolo pozorované veľké vychýlenie zo správneho smeru. Vo dvojici bol dominantný účastník MM, ale v jednom meraní MM nasledoval TJ. Nie je nám známe čím bola táto zjavná zmena dominancie podmienená.

V dvojici MM/MH sa účastník v jednom meraní otočil o 90° od smeru, v ktorom kráčal, čo malo za následok, že sa pohyboval smerom späť a opustil prvý koridor vo väčšej VV ako druhý. Po experimente svoje konanie odôvodnil tým, že mal pocit, že účastníka počuje z opačnej strany, ako ho počul na začiatku. Toto tvrdenie bolo pravdivé, MM a MH si počas merania prekřížili trajektóriu a vymenili pozície, ale účastník MH z neho vyvodil nesprávny záver. Keďže účastník MH sa vo väčšine experimentov pohyboval za MM v jednom meraní si dal signalizačné zariadenie za chrbát, aby lepšie počul signál MM. V rámci tohto merania dosiahol účastník veľmi dobrý výsledok (výstupná vzdialenosť 29m), takže môžeme tvrdiť, že bola táto stratégia úspešná. V ďalších experimentoch sme premiestnenie signalizačného zariadenia nepovolili.

V jednom meraní MH/VS sa medzi dvojicou vytvoril veľký odstup a vznikla situácia, že meraný VS prešiel celú dĺžku koridoru bez opustenia. Účastníka VS sme nechali zo zaviazanými očami stáť na mieste, kde skončil. Účastník MH sa nesnažil priblížiť k VS a zvolil nesprávny smer čo malo za následok, že na konci meranej oblasti opustil vnútorný koridor (výstupná vzdialenosť 31m).

2 Spracovanie získaných dát

2.1 Získané dáta

2.1.1 Rýchlosti jednotlivcov

Študovať rýchlosť meraných dobrovoľníkov bolo užitočné z viacerých dôvodov. Naším hlavným cieľom bolo zistiť ako vplyva rýchlosť na schopnosť udržovať určený smer. Zistené rýchlosti jednotlivcov sme rovnako použili ako kritérium pri výbere dvojíc pre druhý experiment. V experimentoch dvojíc sme študovali, kto z dvojice udával počas meraní rýchlosť.

Na začiatku merania každého účastníka bol účastníkovi zmeraný čas (ozn. t) za ktorý prešiel 28m (s), pri tom si spočítal počet krokov ktoré urobil (n). Na základe týchto údajov sa dá vypočítať rýchlosť jeho chôdze (v) podľa známeho vzorca ako:

$$v = \frac{s}{t}$$

Priemernú dĺžku kroku vypočítame nasledovne:

$$l = \frac{s}{n}$$

Pomocou známeho vzorca, vypočítame frekvenciu chôdze:

$$f = \frac{n}{t}$$

Vypočítaná rýchlosť chôdze (v), frekvencia (f) a priemerná dĺžka kroku (l), sú zaznamenané v nasledujúcej tabuľke:

Meraný:	n	$t(s)$	$v(ms^{-1})$	f	$l(m)$
JJ	40	23,48	1,19	1,70	0,70
VS	40,5	22,25	1,26	1,82	0,69
MM	42	25,97	1,08	1,62	0,67
JM	42	25,11	1,12	1,67	0,67
MH	38	21,68	1,29	1,75	0,74
TJ	33	18,61	1,50	1,77	0,85

Tab. 2. Rýchlosti frekvencie a dĺžky kroku.

V tabuľke n označuje počet krokov urobených na vzdialenosti 28m, t je nameraný čas za ktorý účastník prešiel túto vzdialenosť. Premenná v označuje rýchlosť, f frekvenciu chôdze a l dĺžku kroku. V zátvorkách sú jednotky v ktorých sú premenné merané.

Podobné experimenty, vykonal J. Bredin a kol. [14]. Meral atlétov a ako kontrolnú skupinu použil ľudí, ktorí nepestovali aktívne žiadny šport. Rýchlosť atlétov bola 1.22 ± 0.13 m/s (priemer \pm štandardná odchýlka) s otvorenými očami a 1.09 ± 0.13 m/s so zakrytými očami. Priemerná rýchlosť kontrolnej skupiny bola s otvorenými očami 1.20 ± 0.11 m/s so zakrytými očami 1.06 ± 0.15 m/s. V našej skupine sa výnimočne rýchlo pohyboval účastník TJ a výnimočne pomaly účastník MM, oproti výsledkom J. Bredina a kol.

Počas druhého experimentu sme s každým účastníkom tento test zopakovali (okrem JM, ten sa nezúčastnil druhého experimentu). V Tab. 3 sú vypočítané rýchlosti v týchto testoch pre obidva experimenty a priemerné rýchlosti počas experimentov pre každý koridor. Na výpočet rýchlosti počas štandardného experimentu sme použili nasledovný prístup: Nech k označuje číslo koridoru, pre ktorý chceme vypočítať rýchlosť, $k = \{1,2,3,4\}$. Prejdenú dráhu môžeme odhadnúť pomocou viacnásobnej Pytagorovej vety. Výstupný čas a vzdialenosť pre daný koridor označíme t a d .

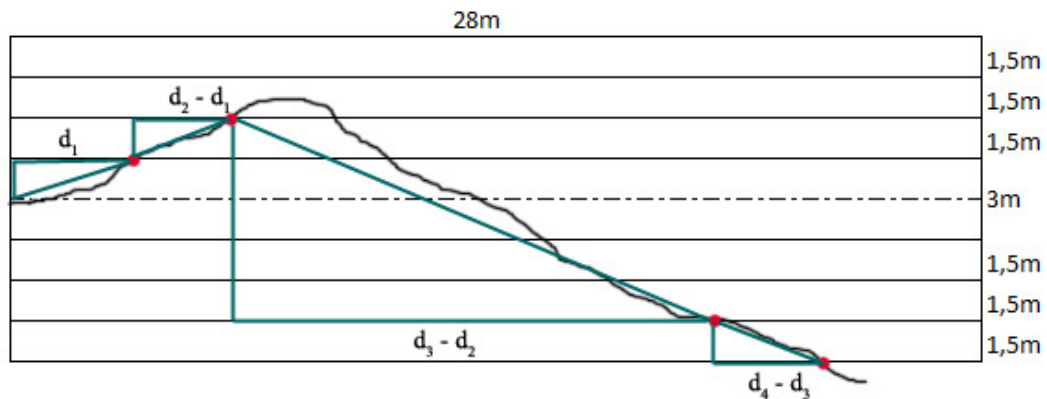
$$s_1 = \sqrt{d_1^2 + 1,5^2}$$

$$s_k = s_{k-1} + \sqrt{(d_k - d_{k-1})^2 + (l)^2} \text{ pre } k = \{2,3,4\}$$

$$l = \begin{cases} 1,5 & \text{ak bol exit realizovaný na rovnakej strane ako predošlý} \\ 3 * (k - 1) + 1,5 & \text{ak bol exit realizovaný na opačnej strane ako predošlý} \end{cases}$$

$$v_k = \frac{s_k}{t}$$

Spôsob počítania vzdialenosti, ktorú meraný prešiel počas experimentu, je zobrazený na Obr. 4.



Obr. 4. Výpočet prejdenej dráhy

Na obrázku je znázornený spôsob počítania vzdialenosti, ktorú meraný prešiel počas experimentu. Červené body označujú miesta, kde meraný dobrovoľník ako prvý a prvý krát opustil daný koridor a zaznamenala sa mu vzdialenosť. Obrázok môže slúžiť aj na lepšie pochopenie počítania premennej l .

Tento prístup na výpočet rýchlosti sa ukázal ako správny, pretože rýchlosti pre všetky koridory majú podobnú hodnotu pre každého účastníka. To súhlasí s tým, že počas experimentov nebolo pozorované, že by meraný po prejení nejakého koridoru viditeľne zrýchľil alebo spomalil.

Údaje sú v ms^{-1}	JJ	VS	MM	JM	MH	TJ
1.exp. zač. test	1,19	1,26	1,08	1,12	1,29	1,50
2.exp. zač. test	1,43	1,25	1,17	-	1,21	1,56
1.exp. 1.koridor	1,03	1,10	0,99	1,18	1,00	1,33
1.exp. 2. koridor	1,06	1,12	1,05	1,12	1,07	1,30
1.exp. 3. koridor	1,05	1,13	1,03	1,12	1,09	1,33
1.exp. 4. koridor	1,02	1,11	1,15	1,06	1,11	1,27
Priemer pre koridory	1,039	1,115	1,054	1,120	1,067	1,308

Tab. 3. Rýchlosti jednotlivcov.

V tabuľke je vypočítaný priemer rýchlosti zo všetkých meraní (v ktorých bolo realizované opustenie koridoru) pre každého účastníka. Rýchlosti sú v jednotkách ms^{-1} .

Skratka exp. znamená experiment, 1. je experiment jednotlivcov a 2. je experiment dvojíc. Údaje sú zobrazené na dve desatinné miesta, okrem posledného riadku, ktorý je zobrazený na tri desatinné čísla. Prvé dva riadky udávajú vypočítanú rýchlosť v rámci začiatkových testov (Tab. 2). Posledný riadok udáva celkovú priemernú rýchlosť, ktorá je vypočítaná ako priemer priemerných rýchlostí pre všetky štyri koridory.

Podobným spôsobom ako boli vypočítané aj rýchlosti dvojíc. Namiesto polovice šírky koridoru sme ale použili vzdialenosť meraného od najbližšej hranice koridoru. Vzdialenosť, ktorú účastník prešiel sa teda počítala rovnako ako vzdialenosť pre prvý a druhý koridor.

Údaje sú v ms^{-1}	TJ/JJ	MM/TJ	MM/MH	MH/VS
2.exp. 1.koridor	1,23	1,27	0,90	0,98
2.exp. 2.koridor	1,22	1,28	0,83	0,99
Priemer pre koridory	1,226	1,277	0,869	0,985

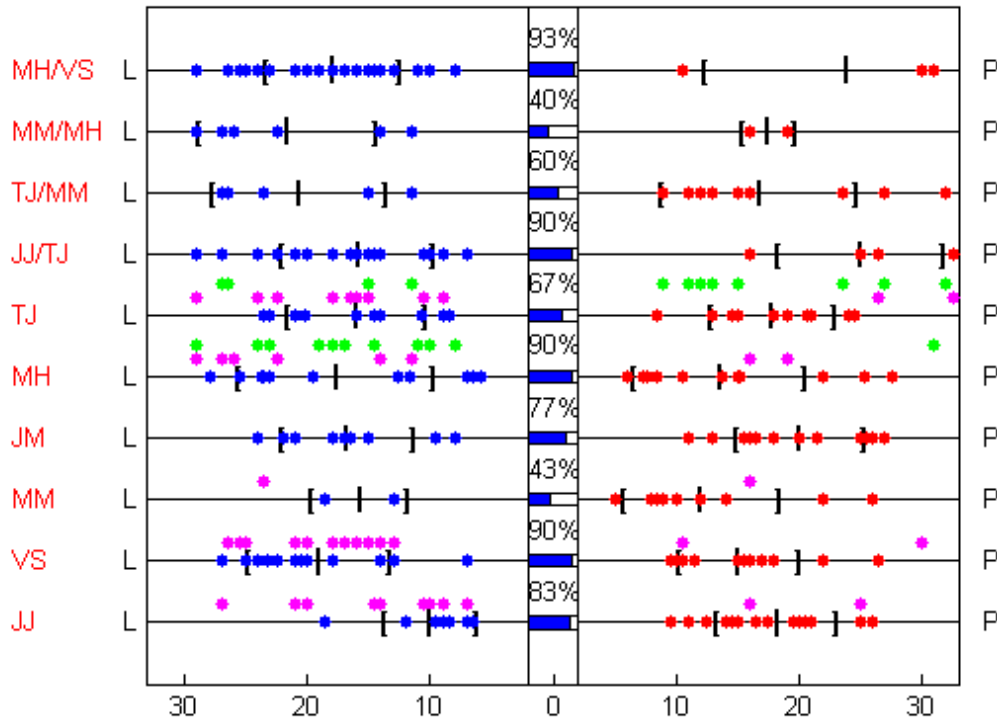
Tab. 4. Rýchlosti dvojíc.

V tabuľke je vypočítaný priemer rýchlosti zo všetkých meraní (v ktorých bolo realizované opustenie koridoru) pre dvojice. Rýchlosti sú v jednotkách ms^{-1} . Skratka exp. znamená experiment. Posledný riadok udáva celkovú priemernú rýchlosť, ktorá je vypočítaná ako priemer priemerných rýchlostí obidva koridory.

Z uvedených hodnôt je možné pozorovať, že účastníci kráčali rýchlejšie s otvorenými očami (zač. test) ako so zviazanými šatkou (koridor). V práci J. Bredina a kol. [14] bol tiež pozorovaný tento jav. Meraný ho vysvetľujú tak, že sa obávajú pádu napriek tomu, že si boli vedomí toho, že kráčajú po voľnom parkovisku. V našich meraniach tieto obavy slovne vyjadrili meraný JJ a VS, keď počas experimentov viackrát oznámili, že sa boja, že narazia do steny telocvične. Tieto výsledky súhlasia s meraním, ktoré vykonal D. Nico a kol. [15]. Vo svojej práci zaznamenal obavy a strach, keď sa meraný pohybuje poslepiacky. S. Glauser a kol. [16] rovnako pozoroval, že sa meraný pohybuje pomalšie ak nevidia. Zaujímavým predmetom ďalšieho výskumu by mohlo byť testovanie nevidiacich jednotlivcov. Predpokladáme, že ich schopnosť udržovať vopred zadaný smer chôdze by bola oveľa lepšia oproti nami meraným dobrovoľníkom.

2.1.2 Grafy výstupných vzdialeností

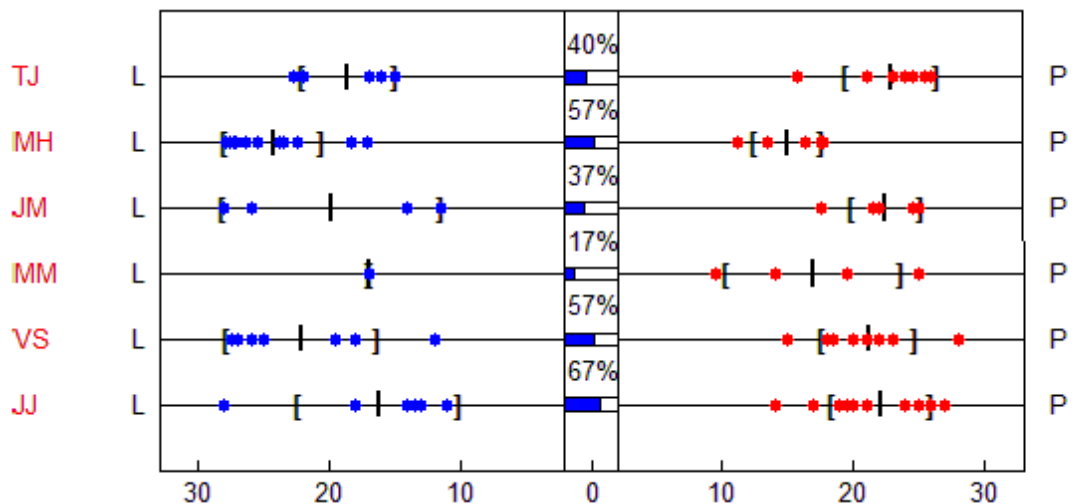
Vzdialenosti pre každý koridor, sú zobrazené v nasledujúcich grafoch. Prvý graf zobrazuje súčasne výsledky z experimentov jednotlivcov aj dvojíc pre prvý koridor. Ostatné grafy sú rozdelené podľa jednotlivých koridorov a na experimenty jednotlivcov a experimenty dvojíc.



Obr. 5. Graf výstupných vzdialeností, 1. koridor.

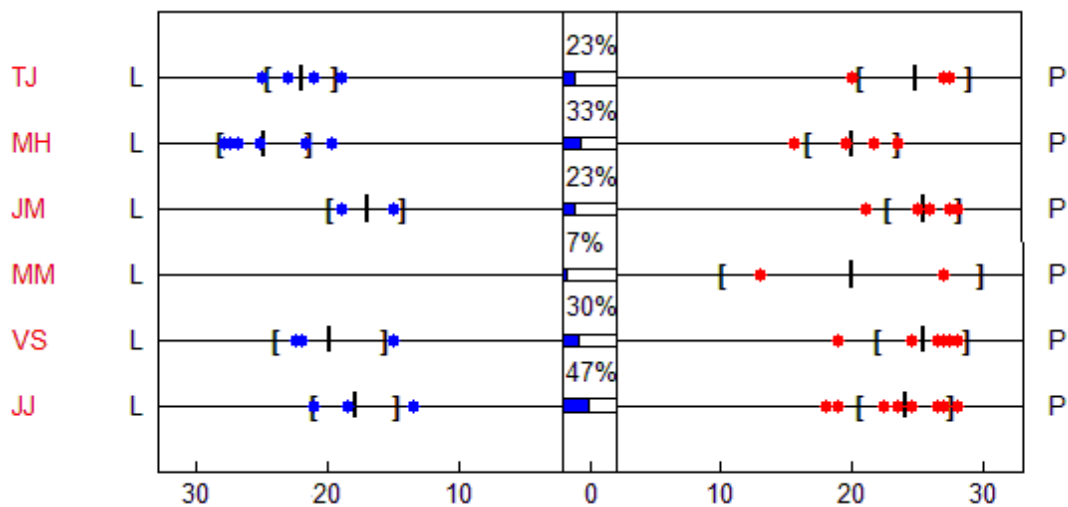
Na grafe sú zobrazené namerané dáta pre prvý koridor (experiment jednotlivcov aj dvojíc). V každom riadku grafu sú zobrazené hodnoty pre jedného účastníka (príp. dvojicu). Modré body zobrazujú opustenie daného koridoru vľavo, červené vpravo.

Vertikálnou krátkou čiernou čiarou je medzi dátami vyznačený priemer. Hranaté zátvorky symbolizujú priemer plus mínus štandardnú odchýlku, v prípade, že táto hodnota presahuje 33m nie je zobrazená. Vzdialenosť je v metroch. Číslo v strede udáva v koľkých percentách meraní (zaokrúhlené na celé čísla) účastník experimentu opustil daný koridor. Tento počet symbolizuje aj modrý pás pod číslom. Biely pás teda komplementárne symbolizuje pomer meraní, kde účastník v danom koridore prešiel až na koniec meranej oblasti. Nad meraniami každého jednotlivca sú fialovými bodmi zobrazené výstupné vzdialenosti dvojíc, v ktorých daný jednotlivec opustil koridor ako prvý z dvojice. V prípade, že sa jednotlivec zúčastnil vo dvoch meraniach dvojíc, čo sa týka MH a TJ, druhé meranie dvojíc (MM/TJ a MH/VS) je zobrazené zelenou farbou. Jednotlivec MM sa zúčastni dvoch meraní dvojíc, ale v meraniach MM/MH neopustil koridor ani raz ako prvý.



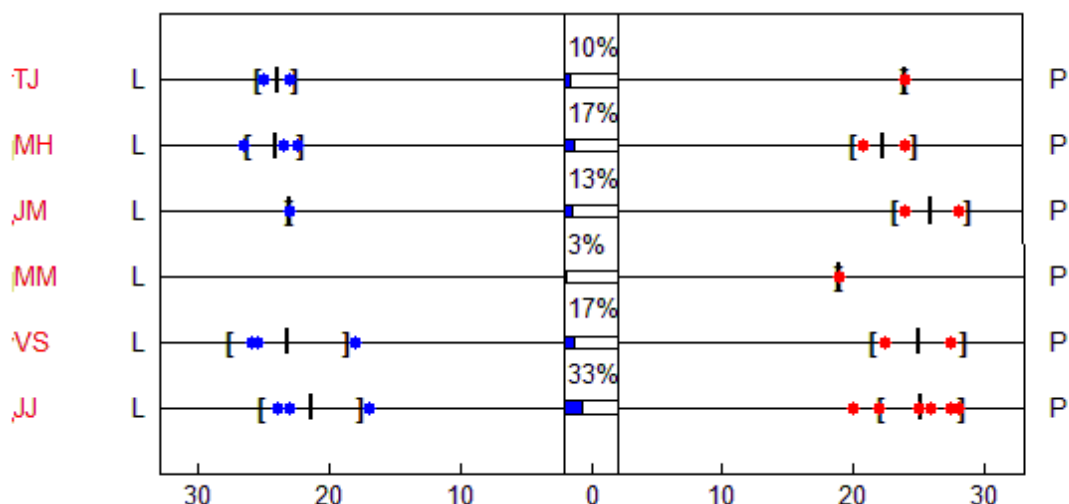
Obr. 6. Graf výstupných vzdialeností jednotlivcov, 2. koridor.

Na grafe sú zobrazené namerané dáta pre druhý koridor. V každom riadku grafu sú zobrazené hodnoty pre jedného účastníka. Modré body zobrazujú opustenie daného koridoru vľavo, červené vpravo. Vertikálnou krátkou čiernou čiarou je medzi dátami vyznačený priemer. Hranaté zátvorky symbolizujú priemer plus mínus štandardnú odchýlku. Vzdialenosť je v metroch. Číslo v strede udáva v koľkých percentách meraní (zaokrúhlené na celé čísla) účastník experimentu opustil daný koridor. Tento počet symbolizuje aj modrý pás pod číslom. Biely pás teda komplementárne symbolizuje pomer meraní, kde účastník v danom koridore prešiel až na koniec meranej oblasti.



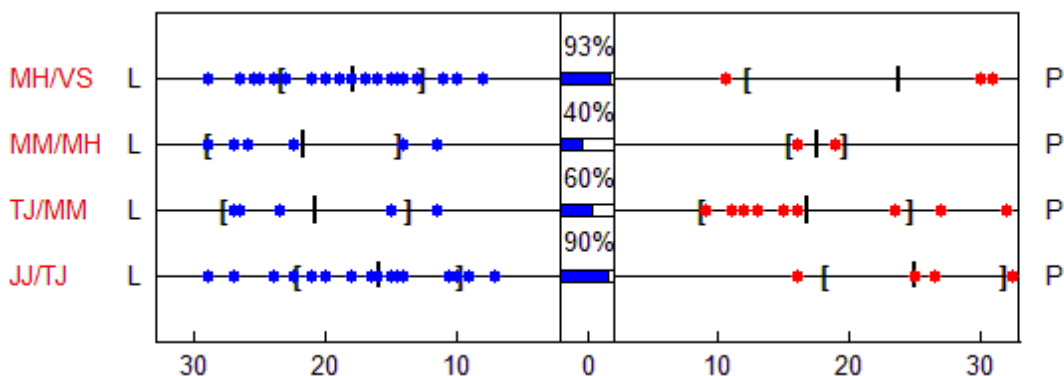
Obr. 7. Graf výstupných vzdialeností jednotlivcov, 3. koridor.

Na grafe sú zobrazené namerané dáta pre tretí koridor. Graf má rovnakú štruktúru ako Obr. 6



Obr. 8. Graf výstupných vzdialeností jednotlivcov, 4. koridor.

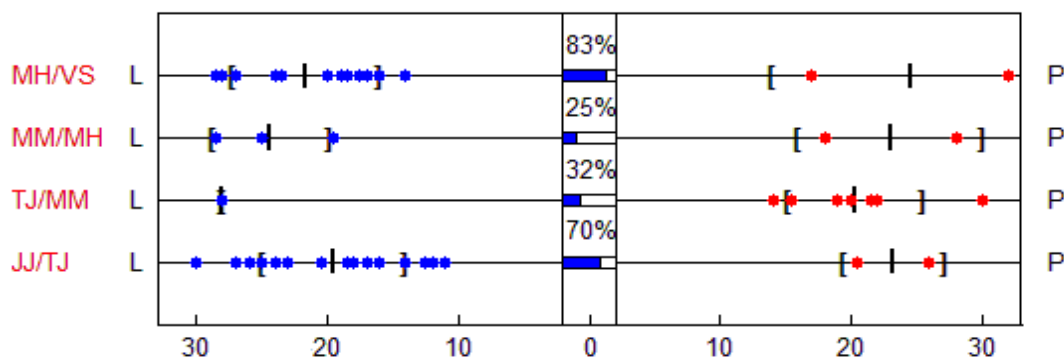
Na grafe sú zobrazené namerané dáta pre štvrtý koridor. Graf má rovnakú štruktúru ako Obr. 6



Obr. 9. Graf výstupných vzdialeností dvojíc, 1. koridor.

Na grafe sú zobrazené namerané výstupné vzdialenosti pre dvojice, 1.koridor.

V každom riadku grafu sú zobrazené hodnoty pre jednu dvojicu účastníkov. Modré body zobrazujú opustenie daného koridoru vľavo, červené vpravo. Vertikálnou krátkou čiernou čiarou je medzi dátami vyznačený priemer. Hranaté zátvorky symbolizujú priemer plus mínus štandardnú odchýlku, v prípade, že táto hodnota presahuje 33m nie je zobrazená. Ostatné symboly sú v grafe rovnaké ako na Obr. 6.



Obr. 10. Graf výstupných vzdialeností dvojíc, 2. koridor.

Na grafe sú zobrazené namerané výstupné vzdialenosti pre dvojice, 2. koridor. Graf má rovnakú štruktúru ako Obr. 9.

2.2 Porovnanie účastníkov

2.2.1 Fotografie z experimentov

Táto sekcia obsahuje obrázky z experimentov pre lepšiu predstavu o ich priebehu. V DVD prílohe ku práci sú videá, z ktorých boli tieto snímky vytvorené.



Obr. 11. Experiment jednotlivcov meraný MM

Trojčlenný organizačný tím sa pohyboval v blízkosti jednotlivca. Jeden z organizátorov zaznamenáva čas a dvaja výstupné vzdialenosti. Značenie na meranie vzdialenosti na podlahe, nie je vidieť.



Obr. 12. Experiment jednotlivcov, meraný TJ

Presnejší spôsob merania na vedľajšej trati. Jeden z organizátorov pokladá kužele na miesta kde bol opustený koridor.



Obr. 13. Experiment dvojice JJ/TJ

Na tomto obrázku je vidieť, že skupina JJ/TJ spolupracovala, pretože si zachovala medzi sebou rovnakú vzdialenosť ako na štarte (3m), napriek tomu je možné pozorovať jej výraznú výchylku. Naznačenie hranice vnútorného koridoru nie je vidieť.



Obr. 14. Experiment dvojice MM/MH

V skupine MM/MH bol dominantný účastník MM (vpravo) a MH sa ho snažil nasledovať.

2.2.2 Porovnanie priemerných výstupných vzdialeností

Zo získaných dát sme vypočítali priemer a štandardnú odchýlku výstupných vzdialeností (skrátene PVV a SDVV). Nasledujúca tabuľka zobrazuje vypočítané hodnoty pre všetkých účastníkov a všetky koridory. Účastníci sú zoradení zostupne podľa PVV pre prvý koridor.

	1.koridor	2.koridor	3.koridor	4.koridor
MM/MH	19,43 ± 5,98	20,83 ± 3,69	-	-
JM	18,78 ± 5,45	20,90 ± 4,98	22,25 ± 4,77	23,33 ± 0,58
MH/VS	17,20 ± 5,13	19,19 ± 4,53	-	-
MM/TJ	17,07 ± 6,90	18,67 ± 3,25	-	-
VS	17,03 ± 5,64	21,16 ± 4,29	23,00 ± 4,34	23,90 ± 3,76
TJ	16,93 ± 5,31	21,05 ± 4,03	23,21 ± 3,39	24,00 ± 1,00
TJ/JJ	16,18 ± 6,03	19,35 ± 4,97	-	-
MH	15,89 ± 7,24	20,98 ± 5,65	22,90 ± 4,02	23,44 ± 2,13
JJ	15,56 ± 5,97	19,95 ± 5,05	21,33 ± 3,97	23,06 ± 3,39
MM	12,57 ± 5,86	17,00 ± 5,82	20,00 ± 9,90	19,00 ± 0,00

Tab. 4. Priemerné výstupné vzdialenosti.

V tabuľke sú vypočítané celkové priemerné vzdialenosti ± štandardná odchýlka, pre každý koridor. Meraní sú zoradení zostupne podľa priemeru pre prvý koridor. Vzdialenosti sú udávané v metroch. Dvojice boli merané len vo dvoch koridoroch.

Môžeme pozorovať, že účastníci VS, TJ a MH (v poradí) majú v dátach pre 2. koridor najlepšie výsledky, napriek tomu, že vo výsledkoch pre prvý koridor nedosahujú najvyššie hodnoty. Z toho vyplýva, že v širšom koridore majú VS, TJ a MH lepšiu schopnosť udržať si priamy smer ako ostatní meraní.

Priemer a štandardná odchýlka nie sú dostatočné na porovnanie schopnosti účastníkov udržovať vopred zadaný smer chôdze v experimentoch, pretože nezohľadňujú merania, kde sa účastník dokázal pohybovať v správnom smere tak presne, že neopustil daný koridor. Relatívny (približný) počet opustení koridoru (v percentách) je uvedený v strede grafov výstupných vzdialeností (Obr. 5-10). Počet opustení daného koridoru by mohol slúžiť rovnako ako priemer na porovnanie účastníkov. Čím menej krát účastník opustí daný koridor, tým má lepšiu schopnosť udržovať priamy vopred zadaný smer.

Uvedené dva prístupy ale navzájom nekorešponujú. Uvažujme účastníka ktorý by vedel dokonale udržovať vopred zadaný smer a ani v jednom z meraní by neopustil vytýčený koridor. Neboli by sme schopný vypočítať jeho PVV. Ak by tento účastník opustil koridor len jeden krát, jeho hodnota PVV by bola daná týmto meraním, bez ohľadu na predošlé experimenty.

Daný teoretický problém sme pozorovali aj v našich experimentoch. Napríklad účastník MM, ktorý opustil prvý koridor približne v 43% meraní (čo je najmenej spomedzi všetkých účastníkov), má najnižšiu PVV (12,57 ± 5,86). Rovnako VS, ktorý má druhú najvyššiu PVV spomedzi jednotlivcov (Tab. 4), opustil 1. koridor v najväčšom počte meraní (približne 90%, Obr. 5). Nedostatočnosť priemernej výstupnej vzdialenosti je možné pozorovať v tabuľke 4. Účastník MM má vyššiu priemernú hodnotu pre tretí koridor ako pre štvrtý koridor, čo nezodpovedá spôsobu,

akým bol experiment navrhnutý. Širší koridor by mal implikovať vyššiu PVV. Anomália je spôsobená tým, že PVV meraného MM pre 4. koridor je vypočítaná len z jedného merania (Obr. 8).

Problém meraní, kde účastník dosiahol koniec meranej oblasti bez opustenia daného koridoru, je riešený v kapitole 3, v ktorej využijeme stochastický algoritmus na vygenerovanie trajektórie až po opustenie koridoru, bez obmedzenia na jeho dĺžku. Daný algoritmus nakalibrujeme tak, aby čo najpresnejšie zodpovedal dátam pre jednotlivých účastníkov a dvojice. PVV vypočítaná z vygenerovaných dát má väčšiu výpovednú hodnotu.

Skúmali sme, na ktorej strane boli výstupy z koridorov realizované. Sústredili sme sa len na prvé dva koridory, keďže v experimentoch sa stalo málokedy, že by sa účastník experimentu otočil a jeden výstup realizoval na pravej a druhý na ľavej strane. Z toho dôvodu predpokladáme, že ak jedinec prejavil preferenciu jednej strany v prvých dvoch koridoroch prejavil by ju aj v ostatných. Za významnú preferenciu jednej strany sme považovali, ak viac ako 65% zo všetkých opustení koridoru bolo realizovaných na jednu stranu. Z tohto pohľadu v experimentoch jednotlivcov nikto nepreferoval ľavú stranu. Preferenciu pravej strany preukázali účastníci JJ (68,00%) a MM (84,62%). Na rozdiel od toho v experimentoch dvojíc preferovali ľavú stranu tri dvojice TJ/JJ (85,19%), MM/MH (75,00%) a MH/VS (89,29%). Pravú stranu preferovala dvojica MM/TJ (66,67%). Uvedené percentá sú vypočítané pre prvý koridor. V druhom koridore sú preferencie jednotlivcov aj dvojíc rovnaké, okrem dvojice MM/MH, ktorá realizovala na ľavej strane iba 60,00% opustení koridoru. Zaujímavým výsledkom je, že vo všetkých dvojičkách bola pozorovaná preferencia jednej strany, pričom v meraniach jednotlivcov bola pozorovaná len u dvoch zo štyroch meraných. Dôvodom môže byť, že v meraniach jednotlivcov účastníci vedeli na ktorom mieste opustili posledný koridor a tak mohli svoju výchylku do jednej strany korigovať medzi jednotlivými meraniami.

2.2.3 Stratégie dvojíc

Napriek tomu, že účastníci nemali možnosť dohodnúť si spoločnú stratégiu, počas experimentov sa pre jednotlivé skupiny dal nájsť charakteristický spôsob rozhodovania. Boli pozorované dve odlišné druhy stratégií, buď sa dvojica snažila o vzájomnú kooperáciu (TJ/JJ a MH/VS) alebo sa v dvojici prejavil jeden dominantný v MM/TJ a MM/MH bol dominantný účastník MM. Dominancia sa neprejavila v každom meraní.

Dvojica TJ/JJ, sa snažila o vzájomnú kooperáciu. Účastníci sa snažili počúvať "pípanie" toho druhého a udržovať si počítačnú vzdialenosť. Meraný TJ viackrát vyjadril názor, že má pocit, že účastník JJ ide rýchlo. Tento názor nebol správny, TJ sa pohyboval rýchlejšie. Priemerná rýchlosť počas meraní JJ/TJ bola pre jednotlivca JJ 1,13 a pre TJ 1,33. Z tohto dôvodu sa stávalo, že TJ predbehol JJ a v snahe udržať si rovnakú vzdialenosť opísal približne kružnicovú trajektóriu okolo JJ. JJ sa v snahe mať TJ po rovnakej strane (a vzdialenosti), ako na začiatku, urobil výchylku do rovnakej strany, čo malo často za následok opustenie koridoru jedným z nich. Tomuto faktoru zodpovedajú aj získané dáta. Z meraní je vidieť, že priemerná rýchlosť skupiny (1,228) bola vyššia ako priemerná rýchlosť JJ (1,039). Skupina nedosiahla rýchlosť TJ (1,308), čo sa dá vysvetliť tým, že TJ sa opísal kružnicu okolo JJ. O spolupráci v skupine svedčí aj to, že podobný počet opustení koridoru každým účastníkom.

V meraniach MM/TJ sa prejavoval ako dominantný účastník MM, ktorý si bol vedomý svojej dobrej schopnosti udržovať priamy smer z experimentu jednotlivcov a

preto sa snažil ísť nezávisle od TJ. V niektorých (8) meraniach sa polo pozorované, že účastník TJ sa snaží nasledovať MM, nedá sa ale povedať, že by mala skupina takúto stratégiu. Dôvodom, prečo TJ nenasledoval MM, napriek tomu, že vedel o jeho dobrej schopnosti udržovať priamy smer z meraní jednotlivcov, mohla byť relatívne veľká rýchlosť jeho chôdze (1,308) oproti MM s menšou rýchlosťou (1,054). Túto teóriu podporuje aj fakt, že skupina sa pohybovala rýchlosťou 1,277. Tento údaj neznamená, že MM počas experimentov dvojíc zrýchlil svoju chôdzu. Rýchlosť počas experimentov bola vypočítaná pomocou, časov, kedy daný účastník opustil koridor. Väčšinu opustení koridorov (13 prvý a 6 druhý koridor) realizoval účastník TJ a účastník MM opustil ako prvý koridor len v dvoch meraniach (v týchto meraniach MM opustil aj prvý aj druhý koridor ako prvý.).

V dvojici MM/MH meraný MM nespolupracoval s MH. Účastník MM si bol rovnako ako pri meraniach MM/TJ vedomý svojej dobrej schopnosti udržovať priamy smer chôdze. MH sa na rozdiel od TJ aktívne snažil o nasledovanie MM, spomaľoval chôdzu a počúval signalizačné zariadenie MM. Vo väčšine meraní bol MM pred účastníkom MH. Dvojica mala zo všetkých skupín najmenšiu priemernú rýchlosť (0,869). Stratégia dvojice sa opakovala, preto bolo s MM/MH vykonaných iba 20 meraní.

Dvojica MH/VS sa snažila spolupracovať v čo najväčšej miere. Držali sa blízko pri sebe, počúvali navzájom signalizačné zariadenia, v niektorých meraniach meraný, ktorý bol vpredu spomalil chôdzu, aby počkal druhého, čo malo za následok, že si viackrát prekřížili trajektóriu a niekoľko krát (4) dokonca narazili do seba. Túto situáciu vyriešila dvojica tým, že sa chytili za ruku. Pri niektorých zrážkach bolo zaznamenané, že spôsobili vychýlenie zo správneho smeru, no napriek tomu vo všetkých prípadoch, kedy došlo k zrážke dvojica dosiahla nadpriemerné výsledky. Zo získaných dát nevieme posúdiť, či je držanie sa za ruky výhodná stratégia na splnenie úlohy zadanej v experimentoch.

3 Algoritmus na dokončenie trajektórií

3.1 Algoritmus

3.1.1 Motivácia a teoretická príprava

V rámci experimentov sa stávalo, že účastník prešiel až na koniec meranej oblasti bez toho, aby opustil vytýčený koridor. V experimentoch jednotlivcov bola dĺžka trate 28m, čo počas merania niektorých jednotlivcov nebola dostatočná vzdialenosť na to, aby daný meraný opustil koridor. Preto vzniká potreba odhadnúť, ako by jednotlivcova trajektória pokračovala, ak by sme mali neobmedzenú dĺžku meranej oblasti. Na vyriešenie tohto problému je skonštruovaný algoritmus na dokončenie trajektórií (ďalej len algoritmus), ktorý vygeneruje trajektóriu jednotlivca až po opustenie koridoru. Na základe vygenerovaných dát odhadneme priemer a štandardnú odchýlku výstupných vzdialeností pre každého hráča.

Pohyb trvajúci po opustenie daného koridoru je v oblasti diferenciálneho počtu známy ako first passage process (FPP). FPP je stochastický proces, kde sa subjekt pohybuje v stanovených hraniciach a je zaznamenaný čas (t), v našom prípade vzdialenosť (d), kedy subjekt dosiahne hranicu (hranice) prvý krát [8]. Majme časovú premennú t a uzly x_1, x_2, \dots, x_n medzi každým uzlom prechodové pravdepodobnosti:

$$P_{i,j}(t + \Delta t) \quad \forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ kde } P_{i,j}(t) = P[x_j; t + \Delta t | x_i; t] \\ \text{kde } x_j = x_i + (j - i)\Delta x$$

Kde x_0 je počiatočná pozícia a x_1, x_n sú absorpčné hranice. V každom časovom kroku Δt sa subjekt presunie náhodne do jedného z bodov x_1, x_2, \dots, x_n s pravdepodobnosťou $P_{i,j}$. Označme kumulatívnu pravdepodobnosť $H(x_k, t)$ pravdepodobnosť, že sa subjekt nachádza v čase t v bode x_k . Pravdepodobnosť $H(x_k, t)$ je pre nás obzvlášť dôležitá v krajných bodoch x_1 a x_n , pretože vtedy algoritmus skončí. Všeobecne sa dá $H(x_k, t)$ definovať rekurentne ako:

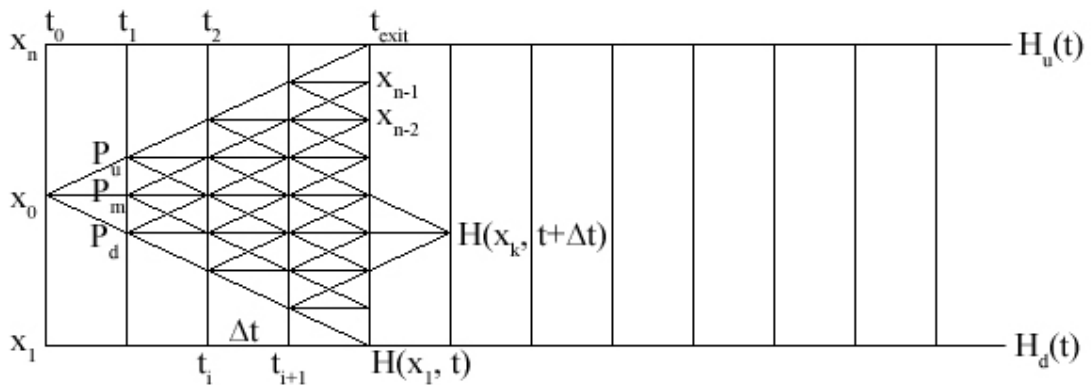
$$H(x_k, t) = \sum_{i=1}^n P_{i,k}(t) H(x_i, t - \Delta t)$$

Vo všeobecnosti nemusia byť kladné všetky prechodové pravdepodobnosti, ale vždy sú nezáporné. Vo väčšine prípadov sa je z daného bodu možné presunúť len do určeného počtu „susedných“ bodov. Vtedy je možné situáciu vyjadriť pomocou multinomického stromu. Na obrázku je náčrt pre tri nenulové $P_{i,j}$, ktoré označíme P_u , P_m a P_d , platí:

$$P_u = P[x + \Delta x, t + \Delta t | x, t]$$

$$P_m = P[x, t + \Delta t | x, t]$$

$$P_d = P[x - \Delta x, t + \Delta t | x, t]$$



Obr. 15. Príklad multinomického stromu.

Na obrázku je znázornený trinomialný strom z absorpčnými hranicami x_1 a x_n . Uzly sú označené x_i a diskrétna časová premenná je označená t . H je kumulatívna pravdepodobnosť. $H_u(t)$ a $H_d(t)$ označujú kumulatívne pravdepodobnosti ukončenia algoritmu v čase t . Pravdepodobnosť, že algoritmus nebude ukončený do času t sa dá vypočítať ako: $S(t) = 1 - H_u(t) - H_d(t)$. Na obrázku je naznačený aj rekurentný spôsob počítania $H(x_k, t + \Delta t)$.

3.1.2 Nastavenie parametrov a výber algoritmu

Pri konštrukcii algoritmu bolo najdôležitejšie určiť spôsob generovania prejdenej vzdialenosti, rozumné okrajové podmienky a počet nenulových prechodových pravdepodobností (PNPP). Cieľom bolo, aby algoritmus pre každého účastníka dokázal z dát, nameraných v experimentoch na vzdialenosti 0 až 28m, vygenerovať výstupnú vzdialenosť na väčšom intervale. Pri generovaní tejto vzdialenosti sme používali experimentálne dáta. Náš algoritmus, na rozdiel od štandardného prístupu, mal dynamický časový krok, teda v každej iterácii mohla byť prejdená iná vzdialenosť. Pri generovaní vzdialenosti, ktorá bola prejdená v každej iterácii sme mali dve možnosti:

- Vygenerovať prejdenú vzdialenosť z normálneho rozdelenia s parametrami odhadnutými z experimentálnych dát pre daného účastníka. Číslo sme uvažovali v absolútnej hodnote.
- Ako prejdenú vzdialenosť vybrať náhodne výstupnú vzdialenosť z nameraných dát pre meraného, ktorého chôdzu simulujeme.

Okrajovou podmienkou rozumieme v našom prípade hranicu koridoru. Uvažovali sme ako okrajovú podmienku hranicu druhého alebo štvrtého koridoru. PNPP je ekvivalentný počtu koridorov, ktoré môžu byť prekročené počas jednej iterácie (tento počet označme k). Keďže v každý koridor môže byť opustený buď naľavo alebo napravo a rovnako nemusí byť v danej iterácii prekročený žiadny koridor, počet PNPP môžeme vypočítať ako:

$$\text{PNPP} = 2k + 1$$

Boli testované algoritmy, kde v jednej iterácii bolo možné prekročiť maximálne dva, alebo všetky štyri koridory. Zodpovedajúci PNPP je 5 alebo 9.

Vyskúšali sme niekoľko možností a sledovali sme schopnosť algoritmu simulovať reálny experiment. Porovnávali sme relatívnu početnosť simulácií, kde bola vygenerovaná dĺžka menšia ako 28m s relatívnou početnosťou dát v experimente pre koridor, zodpovedajúci okrajovej podmienke v simulácií.

Na základe zhody z nameranými dátami sme teda vybrali algoritmus, ktorý generuje výstupné vzdialenosti spomedzi nameraných dát, ako okrajovú podmienku

používa hranicu druhého koridoru a $PNPP=5$. V rámci generovania výstupných vzdialeností sme k tejto hodnote pripočítali číslo vygenerované z normálneho rozdelenia so strednou hodnotou 0 a štandardnou odchýlkou 4,5. Toto číslo plní úlohu zhladzovacieho prvku a spôsobuje, že vygenerované vzdialenosti nebudú iba násobkami experimentálnych dát, ale budú sa navzájom jemne líšiť. Keďže ako okrajová podmienka bola stanovená hranica druhého koridoru, vygenerované dáta sme porovnávali s VV pre druhý koridor.

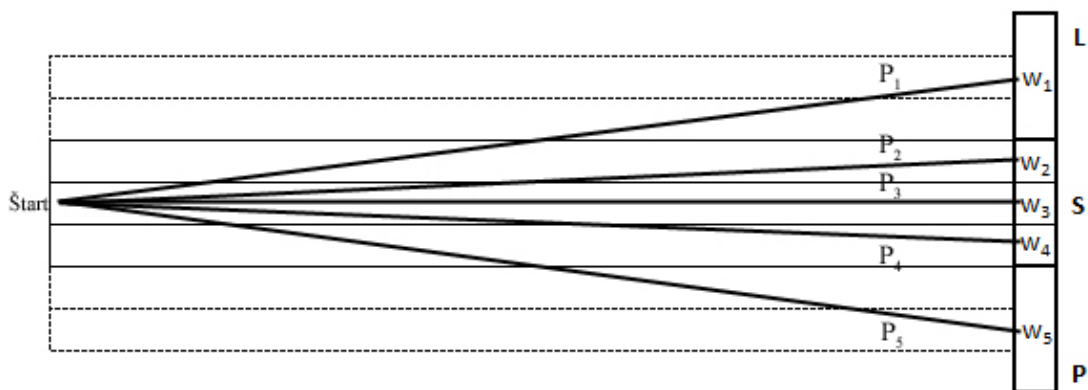
3.1.3 Inicializácia

Vstupom do algoritmu, odhliadnuc od jeho programátorskej realizácie, je matica X obsahujúca výstupné vzdialenosti, pre všetky štyri koridory a informáciu o tom, či bol daný koridor opustený naľavo, napravo, alebo či účastník v danom koridore pokračoval až na koniec meranej oblasti. Ďalším vstupom je číslo účastníka experimentu a maximálny počet iterácií.

Ďalej sa zistí počet výstupov pre prvý a druhý koridor naľavo, napravo a počet prejení celej meranej oblasti. Vytvorí sa vektor početnosti výstupov w_i , ktorý má 5 zložiek:

- w_1 , a w_5 udávajú počet opustení druhého koridoru naľavo a napravo.
- w_2 bude udávať počet meraní, kde účastník opustil prvý koridor naľavo ale prešiel na koniec meranej oblasti bez opustenia druhého koridoru.
- w_3 bude udávať počet meraní, kedy účastník prešiel celú meranú oblasť v jednom koridore.
- w_4 bude udávať počet meraní, kde účastník opustil prvý koridor napravo ale prešiel na koniec meranej oblasti bez opustenia druhého koridoru.

Obrázok zobrazuje korešpondenciu jednotlivých zložiek vektora početnosti výstupov vzhľadom k meranej oblasti.



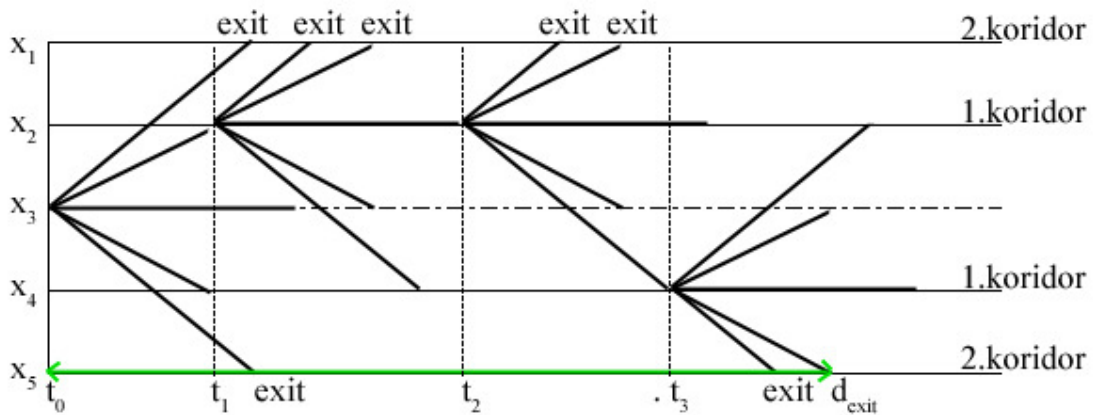
Obr. 16. Priradenie prechodových pravdepodobností.

Obrázok znázorňuje meranú oblasť ako ju chápeme pre použitie algoritmu. Prerušovanou líniou sú znázornené hranice koridorov ktoré sme zanedbali. Prechodové pravdepodobnosti P_1 až P_5 odhadneme pomocou relatívnych početností opustení koridorov pre meraného, ktorého experiment simulujeme, aby simulácia, čo najlepšie zodpovedala realite. Pre lepšiu orientáciu je na obrázku vyznačená aj ľavá a pravá strana.

Celý vektor sa vydolí počtom meraní (30) takže súčet jeho zložiek bude 1. Teraz môžeme pomocou získaných relatívnych početností odhadovať prechodové pravdepodobnosti. Vytvorenie pravdepodobností je zjavné z obrázka (Obr. 16). Všeobecne sa dajú tieto pravdepodobnosti zapísať v tvare:

$$P_{i,j} \quad \forall i, j \in \{1, 2, \dots, 9\} \text{ kde } P_{i,j} = \begin{cases} \frac{w_{i-j+3}}{30} & \text{if } |i - j| \leq 2 \\ 0 & \text{if } |i - j| > 2 \end{cases}$$

Daný proces teda zodpovedá multinomickému stromu, s uzlami x_1, x_2, \dots, x_5 . Na rozdiel od štandardného prípadu, časový interval Δt , ani vzdialenosť d , ktorá je prejdená počas jednej iterácie, nie je počas celého procesu konštantná. Vyberá sa z experimentálnych dát, presnejší spôsob výberu bude popísaný v kapitole Pribeh algoritmu. Nasledujúci obrázok, zobrazuje štyri kroky algoritmu, konkrétne sekvenciu uzlov $[x_3 \ x_2 \ x_2 \ x_4 \ x_5]$. Označením exit sú označené miesta, v ktorých by algoritmus skončil pri inej sekvencii krokov.



Obr. 17. Príklad simulácie.

Nasledujúci obrázok zobrazuje štyri kroky algoritmu, konkrétne sekvenciu uzlov $[x_3 \ x_2 \ x_2 \ x_4 \ x_5]$. Označením ex. sú označené miesta, v ktorých by algoritmus skončil pri inej sekvencii krokov. Vodorovné čiary symbolizujú hranice koridorov. Dĺžka čiar zodpovedá priemernej prejdenej vzdialenosti. Ak nie je opustený žiadny koridor je nastavená na dĺžku meranej oblasti (28m). Inak sa náhodne vyberá z nameraných dát. Z toho vyplýva, že pre prejdenie dvoch koridorov, sa vygeneruje väčšia dĺžka.

V Algoritme nerozlišujeme medzi vnútro koridoru a jeho hranicou. Nie je dôležité kde vo vnútri koridoru subjekt skončil, relevantný je len počet koridorov, ktorý bol prejdený (Obr. 17).

3.1.4 Pribeh algoritmu

Pribeh algoritmu sa dá opísať nasledovne:

1. Vygeneruje sa náhodne číslo z rovnomerného rozdelenia na $(0,1)$ označme ho p .
2. Na základe prechodových pravdepodobností sa vyberie do ktorého uzla sa algoritmus presunie. Vytvoríme intervaly:

$$\left(\sum_{j=0}^{i-1} w_j ; \sum_{j=0}^i w_j \right) \text{ pre } i = \{1, \dots, 5\}$$

$$\text{kde } w_0 = 0 \text{ a } \sum_{j=0}^5 w_j = 1$$

Pozrieme sa v ktorom intervale od 1 až po 5 sa p nachádza (index označme i). Číslo $i-3$ zodpovedá počtu koridorov, ktoré účastník počas svojej trajektórie opustil, záporné hodnoty znamenajú opustenie koridoru naľavo, kladné napravo, nulová hodnota znamená, že nebol opustený žiadny koridor. Tento postup sme zvolili preto, lebo váhy zodpovedajú relatívnym početnostiam v reálnych experimentoch, aby simulácia zodpovedala trajektórií daného účastníka.

3. Otestujeme či boli prekročené nejaké hranice koridorov prvý krát, ak áno, do pomocného vektora (ozn. exit) sa uloží, či sa výstupy uskutočnili na ľavej alebo pravej strane.
4. Vygeneruje sa vzdialenosť, ktorá bola v danej iterácii prejdenná. Generátor náhodne vyberie jednu zo vzdialeností, ktoré boli namerané v experimentoch. Ak bol v danej iterácii prejdenný jeden (dva) koridor vyberie sa výstupná vzdialenosť daného účastníka pre prvý (druhý) koridor, k tejto hodnote sa pripočíta číslo vygenerované z normálneho rozdelenia so strednou hodnotou 0 a štandardnou odchýlkou 4,5 (zhladzovací prvok). V prípade, že nebol prekročený žiadny koridor prejdenná vzdialenosť sa zvýši o 28, čo zodpovedá dĺžke meranej oblasti v experimentoch jednotlivcov.
5. Ak nie je vygenerovaná druhá výstupná vzdialenosť, nasleduje ďalšia iterácia (algoritmus začína bodom 1). Ak je vygenerovaná druhá výstupná vzdialenosť, algoritmus končí a vráti výstup, ktorým je reálne číslo d a premenná LP. Číslo d obsahuje výstupnú vzdialenosť. Ak je vygenerovaná záporná hodnota, čo nastalo v málo prípadoch (menej ako 0,1%), kvôli zhladzovaciemu prvku, trajektória sa označí za neplatnú a vygeneruje sa namiesto nej nová. Premenná LP, ktoré nadobúda hodnoty len 1 alebo 2, dáva informáciu, či sa jednalo o opustenie koridoru vľavo (hodnota 1) alebo vpravo (hodnota 2). Premenné sú pri spustení algoritmu nastavené na nulovú hodnotu.

3.2 Analýza výsledkov algoritmu

3.2.1 Vypočítané priemery

Naším cieľom bolo vygenerovať výstupné vzdialenosti na intervale väčšom ako bola dĺžka koridoru v experimentoch. Pre každého meraného sme za týmto účelom pomocou algoritmu vygenerovali 10 000 trajektórií, z ktorých sme vypočítali štandardnú odchýlku a priemer výstupných vzdialeností (označme PVV). Vygenerované dáta majú väčšiu výpovednú hodnotu ako údaje z experimentov, pretože simulácia zahŕňa každé meranie z experimentov, bez ohľadu na to, či bola počas neho nameraná VV alebo nie. V experimentoch VV nebola nameraná, ak meraný išiel tak priamo, že neopustil daný koridor. Porovnanie účastníkov robíme na základe vygenerovanej PVV. Keď tvrdíme, že nejaký účastník dosiahol lepší výsledok, myslíme tým vyššiu PVV, ktorá implikuje lepšiu schopnosť udržovať si priamy smer chôdze za podmienok, ktoré boli stanovené v experimente. Tabuľka zobrazuje získané údaje porovnané s hodnotami vypočítanými z experimentálnych dát:

	Priemer ± Štand. Odch.	Namerané dáta 2.kor	Rýchlosti 2. koridor
MM/MH	103,59 ± 95,92	19,35 ± 4,97	0,83
MM	95,55 ± 80,98	18,67 ± 3,25	1,05
MM/TJ	73,45 ± 65,18	19,95 ± 5,05	1,28
TJ	58,58 ± 51,09	21,16 ± 4,29	1,30
JM	58,21 ± 47,77	21,05 ± 4,03	1,12
VS	39,86 ± 31,52	17,00 ± 5,82	1,12
MH	35,17 ± 29,25	20,90 ± 4,98	1,07
JJ	33,66 ± 26,45	20,83 ± 3,69	1,06
TJ/JJ	30,21 ± 22,51	20,98 ± 5,65	1,22
MH/VS	27,51 ± 17,29	19,19 ± 4,53	0,99

Tab. 5. Priemery vypočítané zo simulácie.

V tabuľke sú vypočítané priemery ± štandardná odchýlka výstupných vzdialeností zo všetkých simulácií, porovnané s hodnotami získanými z experimentálnych dát. Účastníci sú zoradení od najvyššieho po najnižší priemer. Posledný stĺpec tabuľky obsahuje vypočítané priemerné rýchlosti počas experimentov pre druhý koridor.

Z tabuľky je zrejmé, že PVV simulácií je vyššia ako PVV v experimentoch, čo sa dalo predpokladať, keďže v experimentoch boli všetky VV menšie ako dĺžka meranej oblasti, na rozdiel od algoritmu v ktorom boli VV z experimentoch sčítavané v každom kroku simulácie.

Pri porovnaní schopnosti udržovať priamy smer dvojíc a jednotlivcov budeme uvažovať nasledujúce predpoklady.

Dvojica MM/MH dosiahla najlepší výsledok. Dôvodom bola stratégia dvojice MM/MH a výnimočná schopnosť MM kráčať vo vopred zadanom smere. Účastník MH sa snažil nasledovať MM, pretože vedel o jeho lepšej schopnosti udržovať vopred zadaný smer, ktorú preukázal MM v experimentoch jednotlivcov. Meraný MM bol teda vo dvojici dominantný a dvojica dosiahla podobné výsledky ako jednotlivec MM. Dôvodom, prečo boli pre dvojicu MM/MH vypočítané vyššie hodnoty PVV ako pre jednotlivca MM, môže byť, že koridory v experimentoch dvojíc boli o 3m širšie ako pri meraniach jednotlivcov, pretože pri meraní dvojíc boli v koridore dvaja ľudia. V prípade MM/MH sa ale MH nerozhodoval proaktívne, takže môžeme usudzovať, že MM sa pohyboval v koridoroch rovnako, ako keby v nich bol sám. MM mohol teda využiť, že koridor má väčšiu šírku, ktorá implikujú vyššiu výstupnú vzdialenosť. Dvojica mala zo všetkých skupín najmenšiu priemernú rýchlosť (0,869) a dosiahla zo skupín najlepšie výsledky, z čoho možno sformulovať hypotézu, že nižšia rýchlosť v skupine má za následok vyššiu PVV.

Keď v skupine nie je silná kooperácia a ani jeden člen skupiny sa nesnaží nasledovať druhého (prípád MM/TJ), skupina dosahuje PVV blízku priemernej hodnote jej členov (PVV dvojice: 73,45 a priemer MM a TJ: 77,06). Tento výsledok odpovedá prirodzenej úvahe a dopĺňa súbor stratégií o ďalší typ.

Pod kooperáciou v skupine rozumieme snaženie udržovať si v skupine počas experimentu počiatočnú vzdialenosť. Dvojice, ktoré si zvolili túto dosiahli najnižšie

PVV (Tab. 5). Dôvodom môže byť, že schopnosť človeka odhadnúť vzdialenosť a smer z ktorého prichádza zvuk je nedokonalá, takže vo dvojici jednotlivci nedokázali presne určiť, kde sa nachádza ich partner. Tento poznatok pochádza z práce [12], kde S. Carlile a kol. študuje schopnosť ľudí lokalizovať zdroj zvuku.

Keby sme chceli sformulovať generalizované hypotézy o výsledku skupiny v zadanej úlohe na základe stratégie, môžeme zvoliť nasledujúci prístup podobný prístupu v teórii hier. Predpokladajme, že jednotlivec môže byť z hľadiska schopnosti udržiavať priamy smer presný (P) alebo vychýlený (V) a účastník sa môže prejaviť ako dominantný (D) alebo nedominantný (N). Týmto spôsobom môžeme charakterizovať každého meraného dvomi údajmi. PD znamená presný a dominantný, VD vychýlený dominantný, PN presný nedominantný a VN vychýlený nedominantný. Tieto dve charakteristiky prirodzene vyplývajú z priebehu experimentov. Tabuľka zobrazuje všetkých 16 možností dvojíc a výsledok ich spoločnej chôdze, o ktorom pre zjednodušenie predpokladáme, že môže byť R – rovno, dvojica dosiahne výsledok rovný lepšiemu z jej členov, P – priemerne, výsledok rovný priemeru z jej členov, alebo K – krivo, výsledok rovný horšiemu z jej členov.

	PD	VD	PN	VN
PD	R	R	P	R
VD	R	R	K	P
PN	P	K	K	K
VN	R	P	K	K

Tab. 6. Predpokladané výsledky dvojíc na základe stratégie

Popis tabuľky je v texte.

Hypotézy o výsledku skupiny by sa dali podľa tabuľky formulovať nasledovne. Ak máme dvojicu účastníkov z ktorých jeden je presný dominantný (PD) a druhý vychýlený nedominantný (VN), dvojica dosiahne výsledok rovný lepšiemu z jej členov (R). Týmto spôsobom by sa dalo formulovať všetkých 16 hypotéz.

Ak by sme chceli dané predpoklady aplikovať na meraných v našich experimentoch, môžeme klasifikovať jednotlivcov ako:

- MM – presný, dominantný – PD
- JJ – vychýlený, dominantný – VD
- VS – vychýlený, nedominantný – VN
- MH – vychýlený, nedominantný – VN
- TJ – presný, nedominantný – PN

Schopnosť udržiavať priamy smer sme určili na základe vygenerovanej PVV (Tab. 5), účastníci MM a TJ boli označení ako presný, ostatný ako vychýlený. Dominanciu sme určili na základe toho, ku ktorej PVV jednotlivca sa približovala PVV dvojice. Meraných MM a JJ považujeme za dominantných, ostatných za nedominantných. Výsledky dvojíc z tabuľky 6 pri danej klasifikácii zodpovedajú vygenerovanej PVV (Tab. 5).

- Dvojica JJ/TJ by zodpovedala VD/PN a teda výsledku K, čo znamená slabšiu schopnosť udržiavať zadaný smer, čo súhlasí s PVV z tabuľky 5.

-
- Dvojica MM/TJ, ktorá sa dá klasifikovať ako PD/PN, dosiahla priemerný výsledok.
 - Dvojica MM/MH, v našom označení PD/VN, preukázala najlepší výsledok.
 - Dvojica VS/MH, v našom označení VN/VN, preukázala nízku schopnosť udržiavať priamy smer.

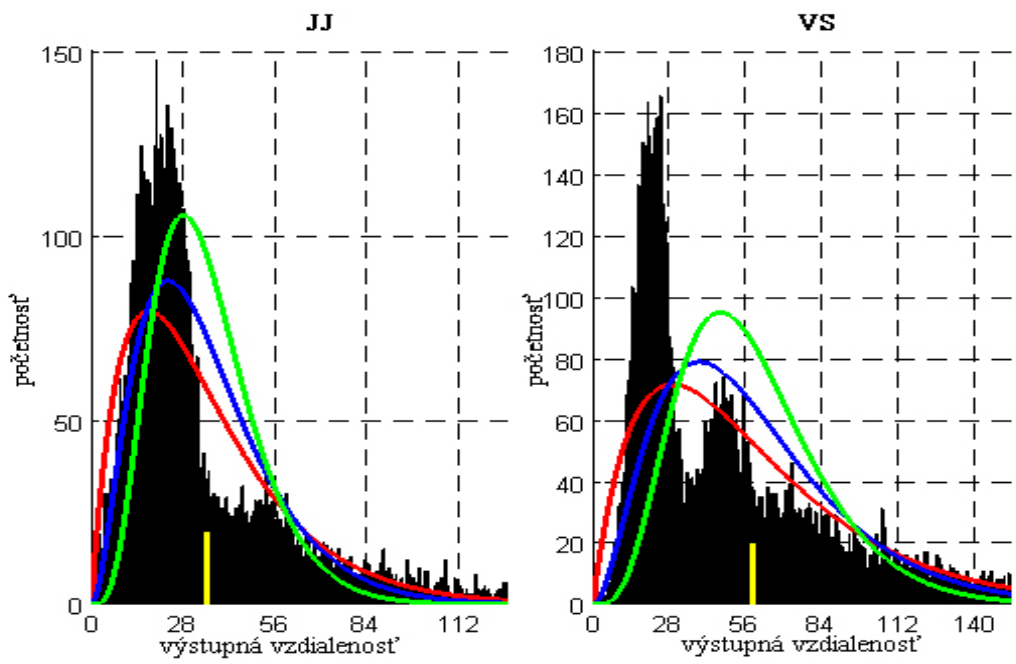
Môžeme usudzovať, že výber dvojíc v našich experimentoch bol správny, pretože sú medzi nimi zastúpené štyri rozdielne typy stratégií, napriek tomu, že sme z kapacitných dôvodov nemohli urobiť experimenty zo všetkými dvojicami účastníkov a pri navrhovaní experimentu dvojíc sme o týchto vzoroch stratégií nevedeli. Keďže medzi našimi účastníkmi sú zastúpené všetky štyri typy jednotlivcov podľa našej klasifikácie, experimenty z inými dvojicami spomedzi našich meraných by mohli priniesť ďalšie výsledky.

3.2.2 Distribúcie výstupných vzdialeností

Histogram je graf, ktorý charakterizuje náhodnosť pozorovanej náhodnej veličiny [17]. V histogramoch pre dáta vygenerované našim stochastickým algoritmom, je možné pozorovať jeden najväčší vrchol, za ktorým nasleduje exponenciálny chvost. Pravidelné opakovanie sa menších vrcholov, najlepšie pozorovateľné na histograme účastníka MM, je spôsobené pripočítavaním dĺžky meranej oblasti (28m) k VV v každej iterácii simulácie, v ktorej nebol opustený žiadny koridor. Tejto fluktuácií teda nevenujeme pozornosť a rozdelenie vygenerovaných VV aproximujeme unimodálnym rozdelením, pretože študujeme jeho vlastnosti na veľkej množine hodnôt. Pravdepodobnostné rozdelenie VV sa chceme aproximovať nasledovnou krivkou:

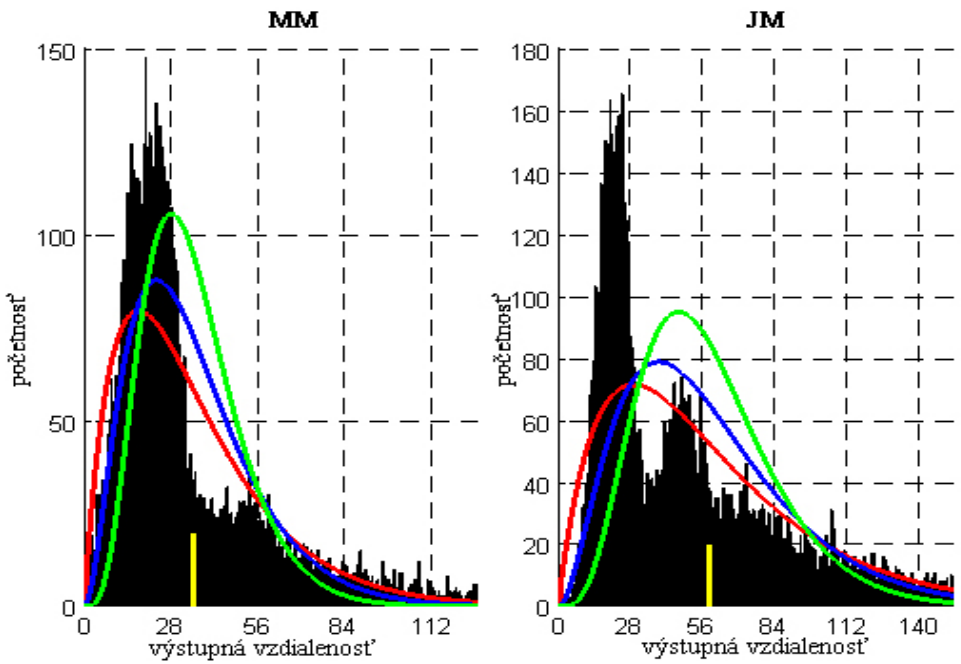
$$f(x) = \frac{1}{c} x^\alpha e^{-\beta x}$$

Konštantu c sme určili tak aby integrál funkcie f bol rovnaký ako obsah histogramu, α sme položili rovné $\{1,2,4\}$ a β sme určili metódou maximálnej vierohodnosti.



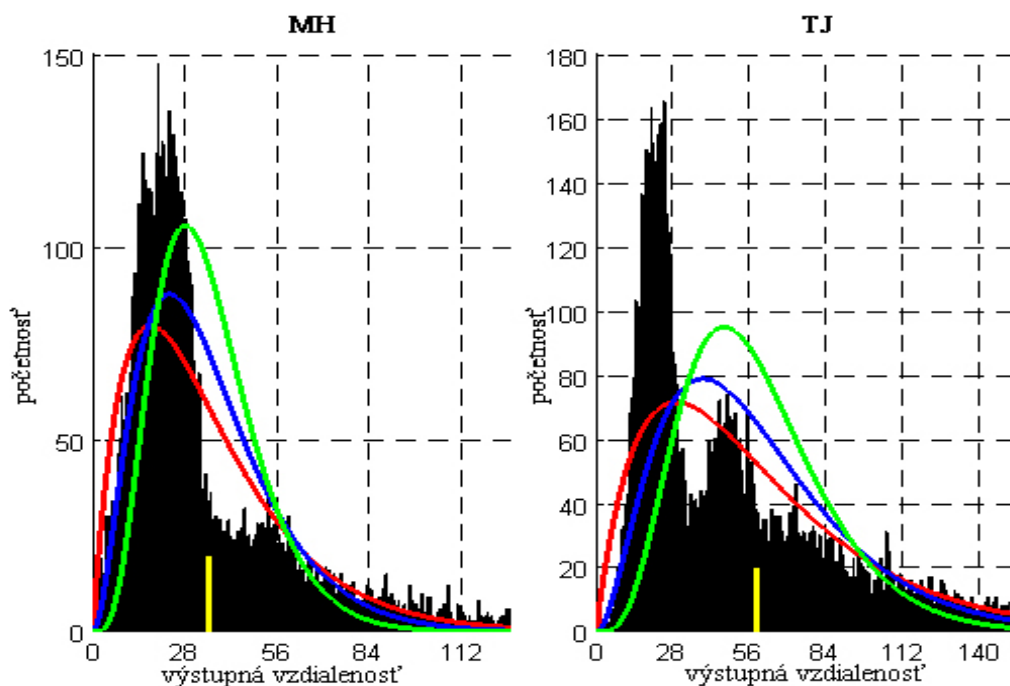
Obr. 18. Histogram meraných JJ a VS

Na obrázku sú histogramy dvoch účastníkov: JJ a VS. Zobrazená je len časť histogramu, vysoké VV sme nezobrazovali. Žltou čiarou je na grafe zobrazená PVV. Červená, modrá a zelená krivka sú grafy funkcií $f(x)$ pre hodnoty α rovné $\{1,2,4\}$.



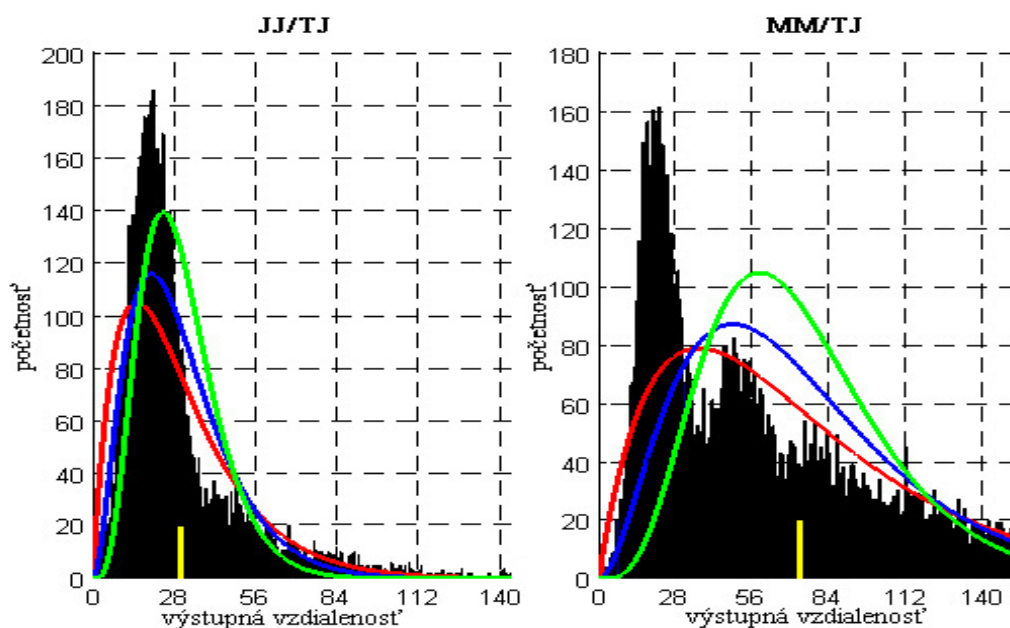
Obr. 19. Histogram meraných MM a JM

Na obrázku sú histogramy dvoch účastníkov: MM a JM. Popis obrázku je identický ako v Obr. 18.



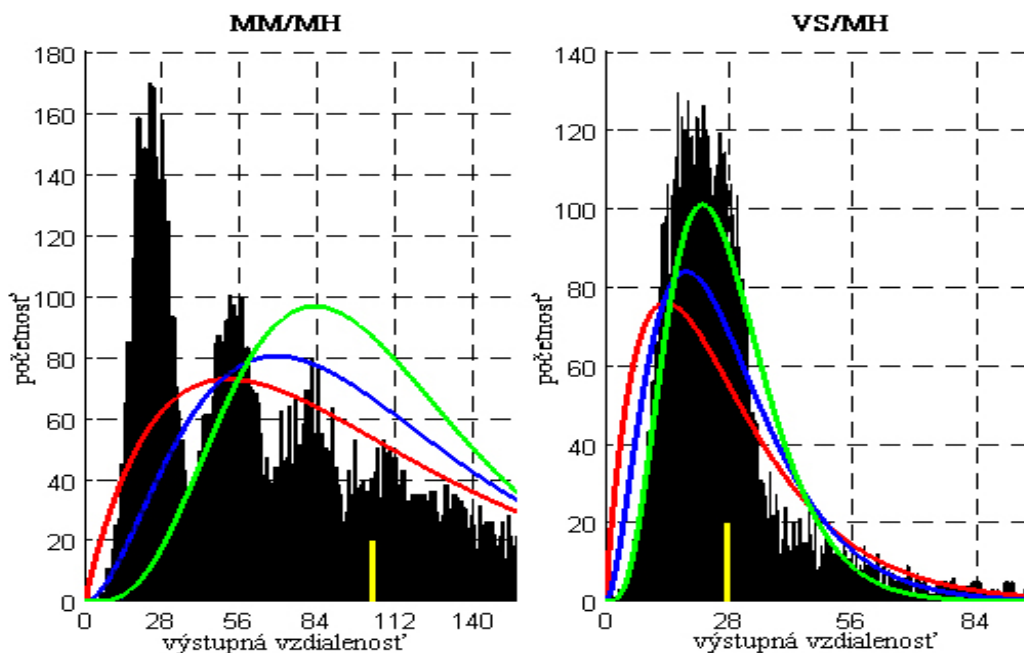
Obr. 20. Histogram meraných MH a TJ

Na obrázku sú histogramy dvoch účastníkov: MH a TJ. Popis obrázku je identický ako v Obr. 18.



Obr. 21. Histogram meraných dvojíc JJ/TJ a MM/TJ

Na obrázku sú histogramy dvojíc: JJ/TJ a MM/TJ. Popis obrázku je identický ako v Obr. 18.



Obr. 22. Histogram meraných MM/MH a VS/MH

Na obrázku sú histogramy dvojíc: MM/MH a VS/MH. Popis obrázku je identický ako v Obr. 18.

Na základe vizuálnej analýzy obrázkov môžeme usudzovať, že krivka pre $\alpha = 1$ veľmi dobre vystihuje vygenerované dáta pre vyššie hodnoty a teda zodpovedá poklesu pravdepodobnosti, ktorý je exponenciálny. Pre nižšie hodnoty ani jedna z kriviek neaproximuje dostatočne naše dáta. Nájdenie distribúcie, ktorá bude lepšie vystihovať pravdepodobnostné rozdelenie výstupných vzdialeností pre ostatných meraných si teda vyžaduje podrobnejšiu analýzu dát.

Záver

V našej práci sme sa zaoberali skúmaním pohybu jednotlivcov a dvojíc, ktorý dostali za úlohu kráčať vo vopred zadanom smere, bez toho, aby si mohli svoju výchylku od zadaného smeru priebežne kontrolovať. Naším cieľom bolo zistiť, či zadanú úlohu spĺňajú lepšie jednotlivci alebo skupiny (dvojice). Za týmto účelom sme previedli dva experimenty, jeden z jednotlivcami druhý s dvojicami, v ktorých sme sa snažili zamedziť všetkým vonkajším vplyvom, ktoré by mohli vychýliť výsledky. Vylúčili sme zrakovú a sluchovú orientáciu, zamedzili sme vplyvu nerovností terénu a poveternostných podmienok, čiastočne sme vylúčili aj vplyv rozdielnej rýchlosti medzi jednotlivými meraniami. Naše experimenty boli navrhnuté tak, aby rešpektovali naše finančné, časové a organizačné možnosti a súčasne priniesli čo najrelevantnejšie výsledky. Meraní jednotlivci a dvojice kráčali v úzkom koridore bez orientačných pomôcok so zviazanými očami, v smere, ktorý im bol vopred ukázaný. Ak sa vychýlili z tohto smeru natoľko, že koridor opustili, bol im zaznamenaný čas a vzdialenosť, v ktorej daný koridor opustili.

Dĺžka koridoru bola pre niektorých meraných dostatočná, no niektorí meraní, ktorí mali dobrú schopnosť udržiavať si priamy smer, viackrát prešli celú meranú oblasť bez opustenia koridoru a teda im nemohla byť zmeraná výstupná vzdialenosť. Chýbajúce dáta spôsobili, že porovnanie jednotlivcov a dvojíc vykonané len na základe experimentálnych dát neprinieslo konzistentné výsledky. Na získanie dát, ktoré by zahŕňali aj experimenty, v ktorých nebola nameraná výstupná vzdialenosť, sme použil stochastickú simuláciu, založenú na princípe first passage process (skrátene FPP). Algoritmus bol nastavený tak, aby vygenerované hodnoty čo najlepšie zodpovedali výsledkom z experimentov pre každého jednotlivca (dvojicu). Vygenerované dáta mali teda väčšiu výpovednú hodnotu.

Ďalším dôležitým cieľom práce bolo zistiť stratégiu rozhodovania sa vo dvojici. Počas experimentov sme pozorovali dve základné stratégie, buď sa dvojica snažila o vzájomnú kooperáciu (TJ/JJ a MH/VS) alebo sa v dvojici prejavil jeden dominantný účastník. Na základe vygenerovaných dát a pozorovaní počas experimentov sme klasifikovali meraných na základe dvoch kritérií. Prvým kritériom bola schopnosť udržiavať priamy smer, ktorú sme kvantifikovali priemernou výstupnou vzdialenosťou vygenerovaných dát a pre jednoduchosť rozdelíme jednotlivcov na presných a nepresných. Druhým kritériom bolo, či sa daný účastník vo dvojici prejavil ako dominantný alebo nie. V danej klasifikácii sme mohli sformulovať nasledovné, výsledky. V prípade že dvojicu tvorí nedominantný nepresný a dominantný presný jednotlivec (prípady dvojice MM/MH), dvojica môže dosiahnuť výsledok, ktorý sa približuje k výsledku presného člena. Ak je vo dvojici prítomný dominantný presný a nedominantný presný (MM/TJ), skupina dosiahne výstupnú vzdialenosť približne rovnú priemeru výstupných vzdialeností pre daných jednotlivcov. Keď dvojicu tvoria len nepresní účastníci (JJ/TJ a VS/MH), dvojice vzájomnou kooperáciou nedosiahnu lepšie výsledky ako jednotlivci z ktorých dvojica pozostáva.

Môžeme usudzovať, že výber dvojíc v našich experimentoch bol správny, pretože sú medzi nimi zastúpené štyri rozdielne typy stratégií, napriek tomu, že sme z kapacitných dôvodov nemohli urobiť experimenty zo všetkými dvojicami účastníkov a pri navrhovaní experimentu dvojíc sme o týchto vzoroch stratégií nevedeli. Keďže medzi našimi účastníkmi sú zastúpené všetky štyri typy jednotlivcov podľa našej klasifikácie, experimenty z inými dvojicami spomedzi našich meraných by mohli priniesť ďalšie výsledky.

Napriek tomu, že naša práca neposkytuje jasnú odpoveď na otázku, či má skupina alebo jednotlivec lepšiu schopnosť udržiavať zadaný smer, je jednou z prvých štúdií zaoberajúcich sa skupinovú chôdzou v neznámom teréne a poskytuje dáta, ktoré môžu po rozsiahlejšej analýze priniesť ďalšie výsledky. Rovnako dáva podnety na ďalší výskum. Zaujímavou štúdiou by mohli byť experimenty z nevidiacimi, u ktorých predpokladáme lepšiu schopnosť orientácie bez použitia zraku ako u meraných v našej práci. Možným pokračovaním výskumu by mohli byť aj experimenty v teréne podobné tým, ktoré vykonal J. Souman a kol. [7], prevedené s dvojicami.

Práca pozoruhodným spôsobom spája teoretické poznatky o orientácii v teréne, experimentálnu štúdiu a matematické nástroje.

4 Zoznam použitej literatúry

- [1] Ž 144:4 *Sväté Písmo*. Katolícky preklad, Spolok svätého Vojtecha, Trnava, 2007, 1612 str., ISBN 978-80-7162-683-1
- [2] Schaeffer A. A.: *Spiral movement in man*, Journal of Morphology, 1928, 45.1: 293-398.
- [3] Kaiser H., Quantitative description and simulation of stochastic behavior in dragonflies (A eschna cyanea, Odonata), Acta Biotheoretica, 1976, 25.2-3: 163-210.
- [4] Kareiva, P. M., N. Shigesada. *Analyzing insect movement as a correlated random walk*, Oecologia, 1983, 56.2-3: 234-238.
- [5] Dzúrik, J.: *Prečo chodí človek v kruhu?*, bakalárska práca, FMFI UK, Bratislava, 2010
- [6] Jánoši, M.: *Prečo chodí človek v kruhu a ako na to vplýva jeho rýchlosť?*, bakalárska práca, FMFI UK, Bratislava, 2011
- [7] Souman J. L., Frissen I., Manish N. Sreenivasa, Ernst M. O.: *Walking Straight into Circles*, Current Biology, 19.18: 1538-1542, August 2009, dostupné na internete (29.11.2012): <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982209014791>
- [8] Redner Sidney. *A guide to first-passage processes*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001, ISBN 0-52165248-0
- [9] Glasserman, P. *Monte Carlo methods in financial engineering*, Vol. 53. Springer, 2003.str. 521.
- [10] Gazda M.: *O niektorých problémoch prípravy a vykonávania experimentu*, Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Transfer inovácii 3 (2001). Dostupné na internete (25.4.2013): <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/3-2001/pdf/72-73.pdf>
- [11] Wolbers T., Hegarty M.: *What determines our navigational abilities?* Trends in cognitive sciences, 2010, 14.3: 138-146.
- [12] Carlile S., Leong P., Hyams S.: *The nature and distribution of errors in sound localization by human listeners*. Hearing Research, 1997, 114.1: 179-196.
- [13] Trojan S. a kol. *Lékařská fyziologie*. Vydavateľstvo Osveta, Martin, 1992, 2. zväzok, 783str., ISBN 80-217-0453-5
- [14] Bredin J., Kerlirzin Y., Israël I.: *Path integration: is there a difference between athletes and non-athletes?*, Experimental Brain Research, December 2005, 167.4: 670-674.
- [15] Nico D., Iisraël I., Berthoz A.: *Interaction of visual and idiothetic information in a path completion task*. Experimental brain research, 2002, 146.3: 379-382.
- [16] Glasauer S., a kol.: *Goal-directed linear locomotion in normal and labyrinthine-defective subjects*. Experimental Brain Research, 1994, 98.2: 323-335.
- [17] Pázman, A.: *Geometrické metódy v matematickej štatistike*, Pokroky matematiky, fyziky a astronómie, 1988, 33.6: 314-326.