

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

VYUŽITÍ MAGNETOMETRIE V BEHAVIORÁLNÍ EKOLOGII
THE USE OF MAGNETOMETRY IN BEHAVIOURAL ECOLOGY
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Petr Chajma, Ph.D.

Autor práce: Michal Mikšovský

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Mikšovský

Aplikovaná ekologie

Název práce

Využití magnetometrie v behaviorální ekologii

Název anglicky

The use of magnetometry in behavioural ecology

Cíle práce

Cílem práce je popis současné problematiky využití dat z magnetometrů umístěných na živočiších a možnosti jejich zpracování. Kromě shromáždění dostupných teoretických podkladů bude součástí práce i návrh vlastních nástrojů, které pomohou s vizualizací tohoto typu dat.

Metodika

Rešeršní část práce bude vypracována z dostupných odborných zdrojů (WOS, technická dokumentace součástí magnetometrů). Návrh vlastních nástrojů bude probíhat pomocí programovacího jazyka R, který umožní použití sofistikovaných algoritmů k úpravě dat získaných z magnetometru a tvorbě vlastního grafického výstupu.

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

magnetismus, magnetometr, orientace, biologging, chování, vizualizace

Doporučené zdroje informací

- Andrzejaczek S., Gleiss A. C., Lear K. O., Pattiaratchi C. B., Chapple T. K., Meekan M. G. 2019. Biologging Tags Reveal Links Between Fine-Scale Horizontal and Vertical Movement Behaviors in Tiger Sharks (*Galeocerdo cuvier*). *Frontiers in Marine Science* 6:229.
- Noda T., Kawabata Y., Arai N., Mitamura H., Watanabe S. 2013. Monitoring Escape and Feeding Behaviours of Cruiser Fish by Inertial and Magnetic Sensors. *PLoS ONE* 8(11): e79392.
- Williams H. J., Holton M. D., Shepard E. L. C., Largey N., Norman B., Ryan P. G., Duriez O., Scantlebury M., Quintana F., Magowan E. A., Marks N. J., Alagaili A. N., Bennett N. C., Wilson R. P. 2017. Identification of animal movement patterns using tri-axial magnetometry. *Movement Ecology* (2017) 5:6.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

Ing. Petr Chajma, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 24. 2. 2022

prof. Mgr. Bohumil Mandák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 2. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2022

PROHLÁŠENÍ


Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Využití magnetometrie v behaviorální ekologii“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 31. 03. 2022



(podpis autora práce)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval všem, kteří mi pomohli při zpracování bakalářské práce, zejména bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce Ing. Petru Chajmovi, Ph.D., za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou využití magnetometru pro detekci chování pohybu jedinců. Tato práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část shrnuje obecnou charakteristiku magnetometru, bio-logovacích záznamníků, detekci chování a pohybu živočichů s vizualizací získaných dat. Praktická část je zaměřena na detekci azimutu pohybu sledovaných jedinců společně s tvorbou nástroje pro vyhodnocení vstupních dat. Diskuse obsahuje návrh unifikace dané problematiky s predikcí dalšího možného vývoje.

KLÍČOVÁ SLOVA: magnetismus, magnetometr, orientace, biologging, chování, vizualizace

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the question of the employment of the magnetometer in detection of the movement and behavior of animals. The thesis splits into a theoretical and a practical part. The theoretical part provides a comprehensive characteristics of magnetometer, biologgers, methods of animal behavior and animal movement detection including options for the visualization of the data. The practical part focuses on azimuth detection of the tracked animals including the development of the tool for assessment of the data. The discourse of the thesis covers the proposal for the unification of the subject matter including the prediction of further development.

KEYWORDS: magnetism, magnetometer, orientation, biologging, behavior, visualisation

Obsah:

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 8 |
| Cíle práce | 9 |
| Literární rešerše..... | 9 |
| Obecná charakteristika magnetometru | 9 |
| Charakteristika magnetismu planety Země..... | 10 |
| Využití magnetometru v behaviorální ekologii | 12 |
| Metody kalibrace magnetometru a neutralizace zkreslení Hard and soft iron ... | 13 |
| Frekvence vzorkování Bio-logovacích nástrojů..... | 17 |
| Konstrukce, umístění a vliv Bio-logovacích záznamníků..... | 18 |
| Detekce chování a pohybu živočichů s využitím Bio-logovacích záznamníků | 20 |
| Vizualizace dat získaných za použití Bio-logovacích nástrojů | 26 |
| Detekce azimutu pohybu s využitím magnetometru a akcelerometru | 28 |
| Postup sběru dat..... | 28 |
| Konstrukce záznamníku | 29 |
| Úprava dat | 29 |
| Výpočet azimutu z magnetometrických dat | 30 |
| Výpočet azimutu z magnetometrických dat s korekcí pomocí akcelerometru..... | 32 |
| Diskuse..... | 35 |
| Závěr | 36 |
| Přehled literatury a použitých zdrojů | 38 |
| Seznam obrázků: | 42 |
| Seznam tabulek: | 42 |
| Přílohy | 43 |

Úvod

Základem ekologie je pochopení fyziologie, chování a energetického stavu organismů v jejich přirozeném prostředí (Cooke et al. 2004). Fyzické sledování volně žijících živočichů je pro terénní biology velmi obtížná disciplína. Velké množství druhů živočichů se vyhýbá kontaktu s lidmi a jiné se vyskytují na stanovištích, které buď omezují anebo zcela znemožňují přímé pozorování. Bio-logovací záznamníky poskytují biologům a živočichům oboustranný komfort v podobě dálkového měření, které umožňuje sledování bez externích vlivů (Rutz et Hays 2009). Jedná se o výkonné sady senzorů, které jsou schopné poskytnout informace o pohybu a chování živočichů (Cooke et al. 2004). Zpočátku byly používány ke sledování mořských živočichů, kde bylo obtížné přímé pozorování v přirozeném prostředí (Brown et al. 2013). Díky zkušenostem ze sledování mořských živočichů byly bio-logovací záznamníky postupně využívány pro sledování volně žijících suchozemských živočichů (McGowan et al. 2022).

Ekologové započali revoluci ve využívání bio-logovacích senzorů, které mohou shromažďovat behaviorální data a pro pozorování nepozorovatelného se začaly využívat různé druhy senzorů: akcelerometry, magnetometry, gyrometry, senzory teploty, vlhkosti a videokamery (Rutz et Hays 2009). Mezi biology jsou k monitoringu pohybu v daleko větší míře využívány akcelerometry (Chakravarty et al. 2019a; Kawabata et al. 2014; McGowan et al. 2022; Studd et al. 2019), ale studie dokazují, že magnetometry mohou účinněji rozlišit specifické chování při nízkém zrychlení (Williams et al. 2015).

Studie srovnávající magnetometry a akcelerometry prokázala, že mezi těmito senzory jsou měřitelné rozdíly (Williams et al. 2017). Nejlepší výsledky však dává jejich kombinace, na jejichž základě můžeme získat trojrozměrnou dráhu pohybu (Mítani et al. 2003) sledovaného objektu.

Přesné informace o pohybu a chování živočichů jsou důležité pro pochopení jejich energetických výdejů a životních historií (Noda et al. 2013) a mohou nám pomoci lépe definovat jejich potřeby a způsob ochrany.

Cíle práce

Tato bakalářská práce je literární rešerší, cílicí na využití magnetometrů v behaviorální ekologii. Seznamuje čtenáře s dosavadními postupy a výsledky využití magnetometrů při sledování chování živočichů, ale i se základními principy fungování a kalibrace magnetometru stejně jako s geomagnetickým polem Země, nutnými k pochopení fungování principu měření. Součástí práce je i částečný přesah na jiné senzory využívané pro sledování pohybu a chování objektů v rámci konstrukce Bio-logovacích záznamníků a možnosti rozsahu měření. Stejně tak neopomíjí fakt, že záznamník může působit pro zkoumaný subjekt jako nežádoucí břemeno a předkládá čtenáři metaanalýzy získaných informací a doporučení pro konstrukci. V rámci detekce chování seznamuje se stručným přehledem doporučení a příkladů uplatněných pro pozorování, detekci a klasifikaci chování již zkoumaných živočichů. Součástí práce je i praktická část, která si klade za cíl vytvořit v jazyce „R“ (R Core Team 2021) nástroj ke zpracování magnetometrických dat s cílem vizualizace azimutu pohybu sledovaných objektů a také porovnání využití samostatných magnetometrických dat oproti kombinaci magnetometrických a akcelerometrických dat.

Literární rešerše

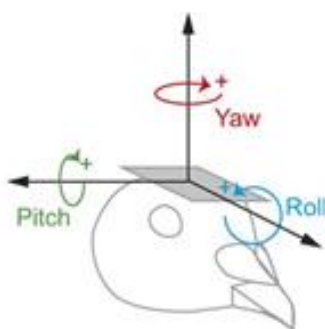
Obecná charakteristika magnetometru

Magnetometr je senzor pro měření magnetické indukce (intenzity magnetického pole), který je hojně využíván např. v letectví, kosmonautice nebo medicíně (You Zheng, 2017). Nejobvyklejší konstrukce magnetometru je triaxiální, která měří intenzitu magnetického pole ve třech vzájemně kolmých osách a lze ji efektivně využít k určení azimutu severního magnetického pole (del Rosario et al. 2015), v takovém případě hovoříme o digitálním kompasu, který zároveň využívá i akcelerometr k datové „stabilizaci“, aby nedocházelo ke zkreslení z důvodu náklonu magnetometru a tím pádem k nepřesnému určení azimutu (Mitani et al. 2003).

Triaxiální magnetometry v behaviorální ekologii jsou využívány jak pro trasování směru sledovaného subjektu (Mitani et al. 2003), tak pro zaznamenávání údajů o pohybu, které mají doplňující charakter pro informace z akcelerometrů, jejichž využití je charakteristické vyšší frekvencí záznamu (Chakravarty et al. 2019b;

Williams et al. 2017). Jelikož pomalý pohyb, který je využíván k šetření vlastní energie (Mitani et al. 2010) může postrádat aktivní prvky pohybu rozpoznatelné ze záznamu akcelerometru, je měření využívající geomagnetickou indukci vhodnější pro sledování pohybu, jakým je pasivní let (Williams et al. 2015), nebo splýváním ve vodě (Mitani et al. 2010). Magnetometry mají přínos při odhalování vzorců pohybů v rotacích podél tří os: zatačení, stoupání, náklon (viz. Obr. 1), jakým mohou být pohyby hlavy, které nemusí být vždy detekovány akcelerometrem (Kano et al. 2018), nebo když jsou jedinci vystavena velkému dostředivému zrychlení (Williams et al. 2015).

Obr. 1: magnetometr na hlavě holuba (Kano et al. 2018)



Yaw= zatačení; **Pitch**= stoupání; **Roll**= náklon

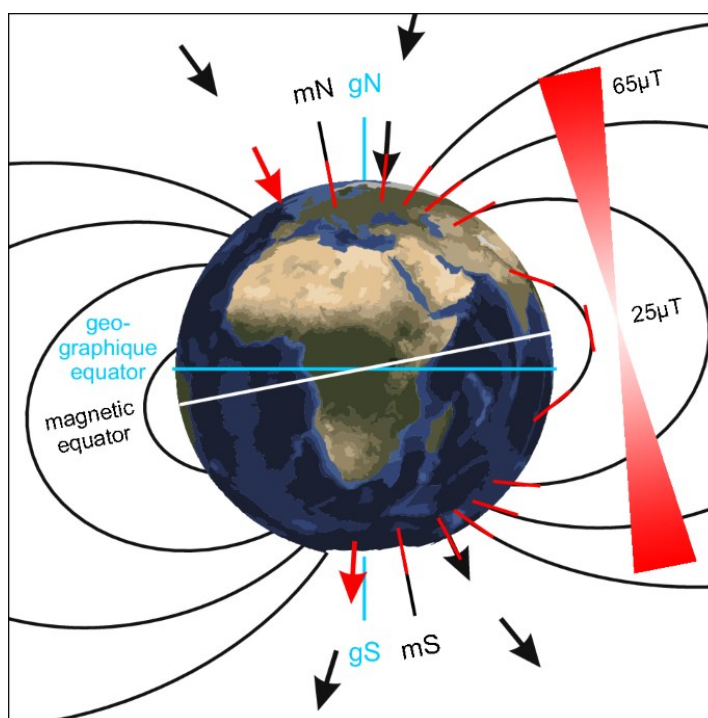
Magnetometry pro svoji schopnost měřit statickou složku pohybu prostřednictvím sklonu vůči magnetickému poli Země nacházejí využití i při „Dead-reckoning“, kterého se využívá jako alternativního přístupu, kdy není pro trasování živočicha primárně využito globálního polohovacího systému (GPS), ale odvození směru zde zajišťuje sestava magnetometru a akcelerometru, a to vše v důsledku snížení spotřeby energie Bio-logovacího zařízení (O. R. Bidder et al. 2015).

Charakteristika magnetismu planety Země

Magnetismus planety Země neboli geomagnetické pole je magnetický dipól, který vzniká na základě pohybu zemského jádra. Intenzita magnetického pole je dána rotací planety, která svým pohybem způsobuje kroucení elektromagnetických siločar. Osa magnetického pole Země je odkloněna od osy rotace o cca 11.5°. (Křížek 2019). Magnetické siločáry geomagnetického pole jsou směřovány z jižního pólu na pól severní. Této vlastnosti je využíváno pro magnetický kompas. Úhel neboli sklon

magnetických siločar vůči zemskému povrchu je na magnetickém rovníku 0° , protože siločáry jsou rovnoběžné se zemským povrchem a na magnetických pólech, kde magnetické pole vystupuje a vstupuje do Země, dosahuje 90° . Intenzita geomagnetického pole se po celém světě pohybuje v rozmezí $25\mu\text{T}$ až $65\mu\text{T}$ (viz. Obr. 2) (Fleischmann et al. 2020). Magnetické pole se dynamicky mění a podléhá periodickým změnám na základě délky slunečního dne. V cyklu cca 500 000 let dochází k magnetickému „přepólování“, tedy změny polarity mezi severním a jižním pólem. V průběhu této aktivity dochází k oslabení a následnému obnovení geomagnetického pole Země s obrácenou geomagnetickou polaritou (Křížek 2019).

Obr. 2: magnetické pole Země (Fleischmann et al. 2020)



Červené šipky = polarita; **mN** = magnetický sever; **gN** = geografický sever;
mS = magnetický jih; **gS** = geografický jih

Využití magnetometru v behaviorální ekologii

Magnetometry jsou v převážné většině případů využívány společně s akcelerometry (Brown et al. 2013) a jsou vzájemně spjaté při vyhodnocování dat sledovaného subjektu. Na tomto základě dochází k analyzování směru pohybu vycházejícího z dynamického zrychlení těla (Bidder et al. 2012), v kombinaci s informací o frontální poloze živočicha, získanou z magnetometrických dat (Mitani et al. 2010). Tato metoda je využívána při Dead-reckoning, kde je pohyb sledovaného subjektu vypočítáván z aktuálního zrychlení měřeného akcelerometrem (Studd et al. 2019) a kombinován s daty z magnetometru, které detekují nejen frontální polohu, ale také azimut (Chakravarty et al. 2019b) potřebný pro trasování. Tato metoda je náchylná na zkreslení, a proto je vhodné provádět pravidelnou synchronizaci polohy s využitím GPS (Bidder et al. 2015).

Při sledování pohybu živočicha, který se skládá z činností vykonávaných různými částmi těla (primárně končetinami), jsou magnetometry schopné detekovat nepatrné změny, které mohou napomoci odvodit parametry pohybu jedince (Mitani et al. 2003). Magnetometry v kombinaci s akcelerometry, lze použít k vyhodnocení třídímní (3D) orientace pohybu objektu vycházející z azimutu, výškového úhlu a úhlu náklonu (Mitani et al. 2010).

Chování je jednou ze základních charakteristik živočicha napomáhající popisovat energetický výdej a jeho historii (Noda et al. 2013). Magnetometry díky své schopnosti měřit statickou aktivitu v průběhu času, pouze na základě změn orientace živočicha vůči magnetickému poli Země (Chakravarty et al. 2019), jsou schopné zaznamenat chování jedince, které postrádá znaky aktivního pohybu (krmení, péče o srst, termální stoupání). Tento případ byl sledován u volně žijících Albatrosů, kde na základě získaných dat z magnetometrů a akcelerometrů byly definovány tři hlavní znaky chování (Connors et al. 2021) anebo případ sledování Kondorů andských (*Vultur gryphus*), kdy za pomoci dat získaných z magnetometru bylo rozlišováno, kdy kondori létali aktivně a kdy pasivně s využitím termického stoupání nebo orografického výtahu (Williams et al. 2015).

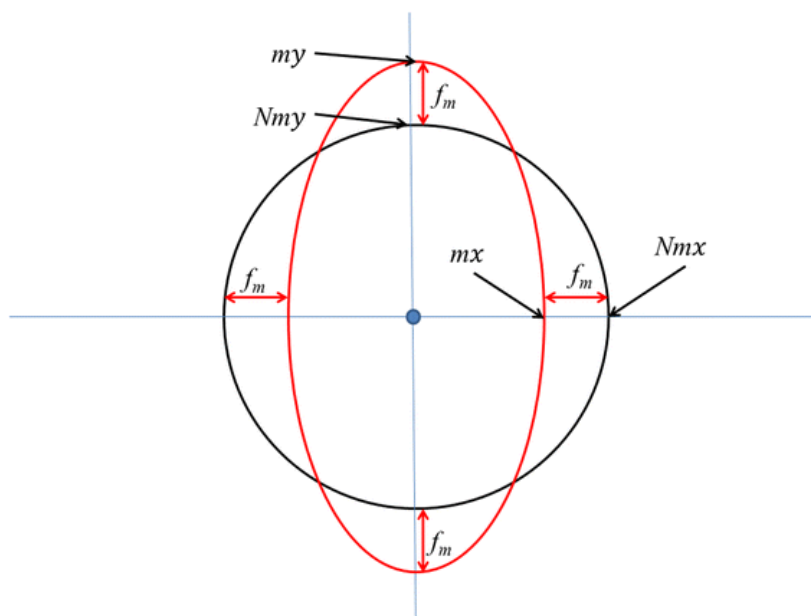
Při použití magnetometru v oblastech magnetických pólů lze očekávat chybné měření z důvodu absence působení magnetických sil na osy magnetometru (Williams et al. 2017) a to z důvodu, že na magnetických pólech Země jsou magnetické siločáry k povrchu kolmé (Fleischmann et al. 2020).

Metody kalibrace magnetometru a neutralizace zkreslení Hard and soft iron

Každý magnetometr musí být kalibrován, protože magnetometry jsou citlivé na zkreslení Hard and soft iron, které narušuje měření geomagnetického pole Země (Connors et al. 2021). V rámci přenosných navigačních prvků jsou využívány Anizotropní magnetorezistivní (AMR) senzory. Tyto senzory pracují na principu měnícího se odporu v závislosti na síle magnetického pole. Pokud provádíme kalibraci magnetometru typu AMR, budeme definovat tak zvaný „offset“ (posun), který zůstává stejný po celou dobu životnosti senzoru (Renaudin et al. 2010). Magnetometrický offset popisuje odchylku skutečného výstupního signálu od ideálního výkonu při absenci magnetického pole (ST Microelectronics © 2018). Pokud nedochází ke zkreslení Hard and soft iron, leží souřadnice triaxiálního magnetometru na povrchu koule (Okoun 2013).

Ke zkreslení soft iron dochází v důsledku přítomnosti feromagnetických kovů, které samy o sobě nejsou magnetické, ale mají fyzikální vlastnost ovlivňovat magnetické pole ve svém okolí (Renaudin et al. 2010). Pokud dochází ke zkreslení měkkým železem, výsledná data magnetického pole nejsou koulí, ale elipsoidem (Bidder et al. 2015) viz Obr. 3.

Obr. 3: zkreslení magnetického pole v důsledku soft iron (Bidder et al. 2015)



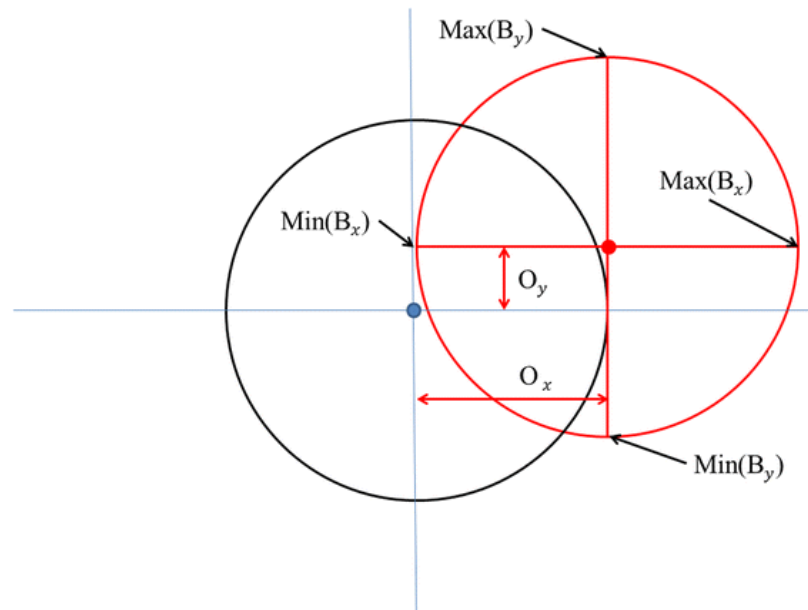
f_m – normalizační faktor; mx – měřená hodnota osy x ; Nmx – nezkruslená hodnota osy x ;
 my – měřená hodnota osy y ; Nmy – nezkruslená hodnota osy y

Na základě zkreslení soft iron je potřeba provést normalizaci dat pomocí normalizačního faktoru f_m (Merkel et Säll 2011).

$$f_m = \sqrt{mx^2 + my^2 + mz^2}$$

Ke zkreslení hard iron dochází v důsledku přítomnosti trvalého zdroje magnetického pole (Renaudin et al. 2010) a dochází tak k posunu souřadnic triaxiálního magnetometru mimo střed koule (Okoun 2013) viz. Obr. 4. Pro korekci je potřeba použít faktor, který vrátí střed soustavy zpět na počátek tedy 0,0,0 (Merkel et Säll 2011).

Obr. 4: zkreslení magnetického pole v důsledku hard iron (Bidder et al. 2015)



$Max(B_x)$ = maximální hodnota osy x; $Min(B_x)$ minimální hodnota osy x; $Max(B_y)$ = maximální hodnota osy y; $Min(B_y)$ = minimální hodnota osy y

Kalibrace magnetometru proti zkreslení Hard and soft iron probíhá otočením magnetometru o 360° v každé ose, aby došlo k zaznamenání hodnot pro sever, jih, východ, západ (Bidder et al. 2015; Dressler 2019).

Pro každou hodnotu je získána maximální a minimální hodnota, které jsou využity pro výpočet posunu zkreslení Hard and soft iron v osách x,y,z (Merkel et Säll 2011).

$$O_x = \frac{\max(B_x) + \min(B_x)}{2}$$

$$O_y = \frac{\max(B_y) + \min(B_y)}{2}$$

$$O_z = \frac{\max(B_z) + \min(B_z)}{2}$$

Vypočtený posun je následně využit pro korekci výstupu magnetometru, aby bylo dosaženo reálných hodnot měřeného magnetického pole (Bidder et al. 2015).

$$m_x^h = B_x - O_x$$

$$m_y^h = B_y - O_y$$

$$m_z^h = B_z - O_z$$

Faktor f_m je následně aplikován na všechny osy, aby došlo k normalizaci vektorů na jednotkovou kružnici (Merkel et Säll 2011).

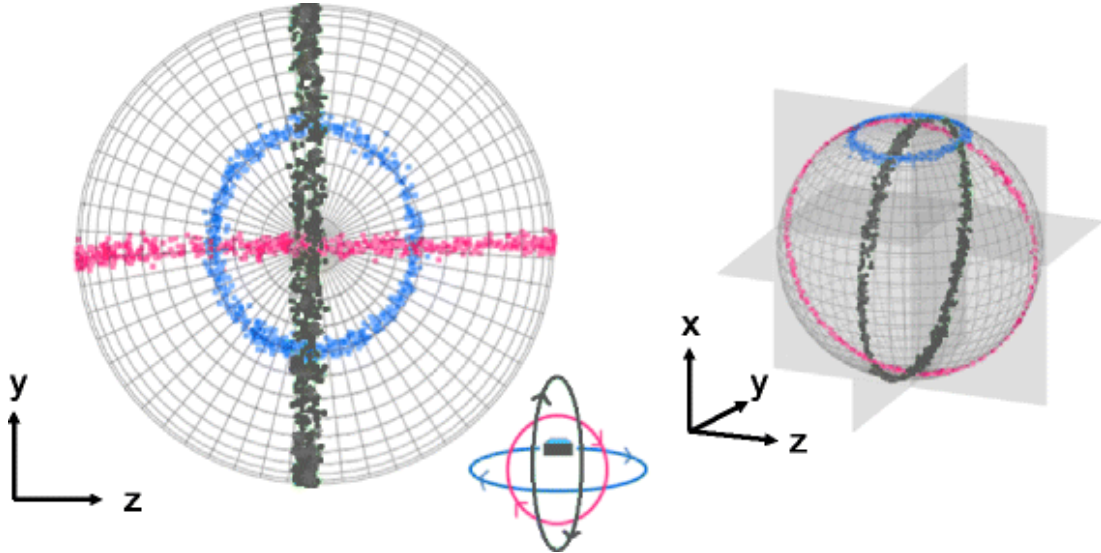
$$Nm_x = \frac{m_x}{f_m}$$

$$Nm_y = \frac{m_y}{f_m}$$

$$Nm_z = \frac{m_z}{f_m}$$

Standartní způsob vizualizace kalibrovaných dat je s využitím běžných dvoudimenzionálních (2D) grafů, kde pro každou osu senzoru vytvoříme graf rotace udávající sílu magnetického pole v časové ose (Williams et al. 2017). Pro přehlednější vizualizaci kalibrace provedené na magnetometru je vhodné využít 3D graf (viz. Obr. 5), jinak zvaný sférický graf v podobě m-koule (Wilson et al. 2016).

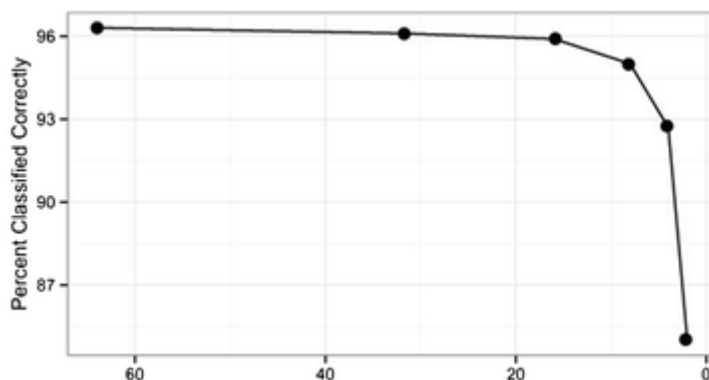
Obr. 5: vizualizace kalibrační rotace 360° kolem os x, y, z (Wilson et al. 2016)



Frekvence vzorkování Bio-logovacích nástrojů

Pro shromažďování dat o pohybu živočichů jsou využívány různé vzorkovací frekvence (Hertel et al. 2020). Velikost vzorkovací frekvence pro akcelerometrii nastavujeme dvakrát větší, než je frekvence pohybu zkoumaného subjektu (Brown et al. 2013). To se nejvíce promítá u menších druhů s vyšší frekvencí pohybu (Bejan et Marden 2006), kde je vyžadována frekvence záznamu 8 až 100 Hz (Brown et al. 2013). Pokud tedy použijeme záznamník s vysokofrekvenčním akcelerometrem a magnetometrem se stejnou vzorkovací frekvencí, zvýší se spotřeba energie záznamníku, což povede ke snížení doby záznamu (Williams et al. 2020). Alternativou může být použit zápis záznamu po dávkách (Hammond et al. 2016; Noda et al. 2013), nebo prodloužení doby záznamu snížením vzorkovací frekvence, a to pouze za předpokladu, že je možné klasifikovat sledované chování při frekvenci záznamu ≤ 1 Hz (Studd et al. 2019). Studie, které tuto možnost testovaly, ale naznačují, že při nízké frekvenci se snížila přesnost (viz. Obr. 6) současných metod klasifikace chování (Broell et al. 2012; Pagano et al. 2017; Wang et al. 2015).

Obr. 6: percentil klasifikace chování pumy při snižování vzorkovací frekvence (Wang et al. 2015)



Osa X reprezentuje škálu vzorkovací frekvence záznamníku. Osa Y reprezentuje percentil úspěšné klasifikace chování pumy. Tetovány byly vzorkovací frekvence 64, 32, 16, 8, 4, 2 Hz.

Konstrukce, umístění a vliv Bio-logovacích záznamníků

Mezi biology je v otázce váhy bio-logovacího záznamníku obvykle uplatňováno pravidlo 5 % (Portugal et White 2018). Baterie a nároky na délku záznamu omezují uplatnění u malých organismů nebo dlouhodobé nasazení (Reynolds et Riley, 2002).

Z pohledu energetického výdeje živočicha je doporučeno využívat zařízení < 2 % tělesné hmotnosti jedince (Guillemette et al. 2002; Reynolds et Riley 2002). Nejvíce omezení jsou biologové při sledování převážně suchozemských bezobratlých, a to z důvodu zatížení, které musí být schopni živočichové unést bez negativních dopadů (Reynolds et Riley 2002). Velice efektivní úsporou hmotnosti a spotřeby energie záznamníku je využití senzorů, které jsou sloučeny v jedné elektronické součástce např. triaxiální akcelerometr, triaxiální magnetometr a triaxiální gyroskop (Noda et al. 2013).

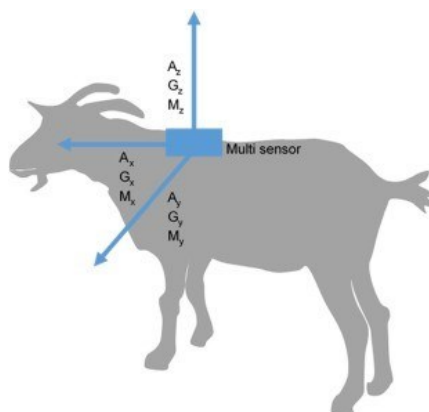
Další otázkou je umístění záznamníku, tedy jestli externě (Noda et al. 2013), nebo jako implantát v tělní dutině (Guillemette et al. 2002). Externí variantou jsou myšleny batohy, límce/obojky (Chakravarty et al. 2019; McGowan et al. 2022; Studd et al. 2019), nebo lepené záznamníky (Mooney et al. 2015), či přišité na tělo (Kawabata et al. 2014).

Externě připojená zařízení negativně ovlivňující ptáky v pravděpodobnosti úspěšného hnízdění a přežití jedince (Jones et al. 2013) a vlivem zvýšení celkového břemene snižují efektivnost letu v rozsahu vytrvalosti a obratnosti (Barron et al. 2010). V rámci vodních živočichů, negativně nepůsobí hmotnost záznamníku, ale odpor vody vznikající tažením záznamníku při pohybu (Jones et al. 2013)

Alternativou k externě připojeným záznamníkům může být implantace zařízení do tělní dutiny, která byla provedena u Kajky mořské (*Somateria mollissima*) po dobu jednoho roku a nebyly zjištěny negativní dopady na držení těla, hydrodynamický nebo aerodynamický pohyb a reprodukce. Tento postup však obnáší nutnou anestezii a aplikaci antibiotik, a to jak při implantaci, tak i pro odstranění záznamníku. Rekonvalescence trvající v průměru 2,3 dne neměla větší dopad na celkovou dobu měření a váha použitých záznamníků nepřesáhla 1 % z hmotnosti jedince (Guillemette et al. 2002).

Pro přesné měření statické a dynamické složky pohybu, vznikající sklonem těla vůči geomagnetickému poli, je nezbytné dodržet zarovnání magnetometru (viz. Obr. 7) s osou sledovaného objektu (Sakai et al. 2019).

Obr. 7: zarovnání 9osého záznamníku s osou kozy (Sakai et al. 2019)

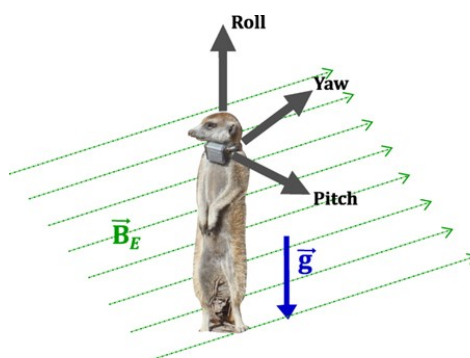


Triaxiální multi senzor sledující více jak jednu fyzikální veličinu. A_x, A_y, A_z = osy akcelerometru;

G_x, G_y, G_z = osy gyroskopu; M_x, M_y, M_z = osy magnetometru

Mooney et al. (2015) při sledování menších jedinců Olahně severní (*Loligo forbesii*) upevňovali záznamníky i mimo osu symetrie těla a detekovali zkreslení směrových hodnot magnetometru. Aby zkreslení minimalizovali, stanovili minimální velikost jedince pro přesnější upevnění záznamníku. McGowan et al. (2022) pro stabilitu těžiště límce s ventrální stranou krku Geparda štíhlého (*Acinonyx jubatus*) přidávali na límec závaží. Nebo jako Chakravarty et al. (2019), kteří řešili eliminaci rotace límce umístěním těžiště záznamníku pod bradu Surikaty (*Suricata suricatta*) (viz. Obr. 8).

Obr. 8: zarovnání záznamníku magnetometru s osou surikaty (Chakravarty et al. 2019b)



Yaw= zatáčení; **Pitch**= stoupání **Roll**= náklon;

\vec{B}_E = směr geomagnetického pole; \vec{g} = směr gravitačního zrychlení

Detekce chování a pohybu živočichů s využitím Bio-logovacích záznamníků

Chování je činnost, která je specifická svojí proměnlivostí a nepředvídatelností. Na některé vnější podněty může subjekt reagovat konkrétním chováním například reflex anebo chováním, které se může jevit jako nahodilé (Renart et Machens 2014).

Detekovaná chování můžeme ověřovat v kontrolovaném prostředí (Chen et al. 2021; McGowan et al. 2022), kde je jedinec pečlivě sledován, a sledované pohyby mají charakter chování, který se projevuje u volně žijících jedinců (Hammond et al. 2016). V kontrolovaném prostředí můžeme snadněji stanovit začátek a konec záznamu například převrácením záznamníku v konkrétních osách pro vytvoření časového razítka začátku a konce záznamu (Chen et al. 2021).

Pro křížovou validaci dat je vhodné společně se záznamníky využít externích záznamů, které jsou s primárními záznamníky synchronní (Chen et al. 2021). Může se jednat o ověření na základě přímého pozorování (Studd et al. 2019), nebo videozáznam (Brown et al. 2013; Hammond et al. 2016; Noda et al. 2013). Takto lze snadněji definovat charakteristické signatury pohybu.

V rámci studie Chakravarty et al. (2019b) sledující chování Surikat s využitím magnetometru, bylo chování sledovaných objektů po obojkování (límecem se záznamníkem) zachyceno na kameru. Data ze záznamníku byla synchronizována a validována s videozáznamem, aby mohla proběhnout selekce datových úseků na kterých je specifikováno konkrétní jedno chování. Pro následnou křížovou validaci, založenou na třech vyhodnocovacích uzlech (Obr. 9), byly vypočítány pro každé časové okno $w=2$ sekundy, obsahující $N=200$ kalibrovaných hodnot intenzity magnetického pole pro osu náklonu (m_{roll}), předklonu (m_{pitch}) a zatáčení (m_{yaw}) „*postoj, intenzita, perioda*“.

Postoj byl vypočítán z dat osy náklonu (roll) magnetometru jako střední hodnota.

$$\frac{\sum_N m_{roll,w}}{N}$$

Pro získání **intenzity pohybu** byla nejprve data z důvodu zesíleného šumu filtrována pomocí Butterworthova filtru dolní propustí s mezní frekvencí 10Hz (tento filtr blokuje vyšší frekvence než je mezní frekvence a vytváří tak uhlazenější frekvenční křivku) a následně proběhl výpočet směrodatné odchylky z osy náklonu (roll):

$$std(m_{roll,w})$$

průměr z absolutní hodnoty časově oddělených dat z osy náklonu (roll):

$$\frac{\sum_N \left| \frac{d}{dt} (m_{roll,w}) \right|}{N}$$

maximální průměr z absolutní hodnoty časově oddělených dat z každé osy:

$$\max_{A \in roll, pitch, yaw} \left(\frac{\sum N \left| \frac{d}{dt} (m_{A,w}) \right|}{N} \right)$$

průměr absolutní hodnoty ze signálu každé osy:

$$\sum_{A \in roll, pitch, yaw} \left(\frac{\sum N \left| \frac{d}{dt} (m_{A,w}) \right|}{3N} \right)$$

Data pro výpočet **periody pohybu** byla před výpočtem také filtrována pomocí Butterworthova filtru dolní propusti s mezní frekvencí 10Hz a upravena přidáním nul na začátek a konec každého záznamu pomocí funkce Blackman-Harris windowing. Následně byla za pomoci Fourierovy transformace vypočítána druhá mocnina Fourierova koeficientu ($c_{f_i}^2$) pro osu náklonu (roll):

$$\max_{i \in 1 \dots L} (c_{f_i,roll,w}^2)$$

průměr druhé mocniny Fourierova koeficientu pro všechny tři osy:

$$\max_{i \in 1 \dots L} \left(\frac{c_{f_i,roll,w}^2 + c_{f_i,pitch,w}^2 + c_{f_i,yaw,w}^2}{3} \right)$$

Druhou mocninu Fourierova koeficientu pro osu náklonu (roll) časově diferencovaného signálu:

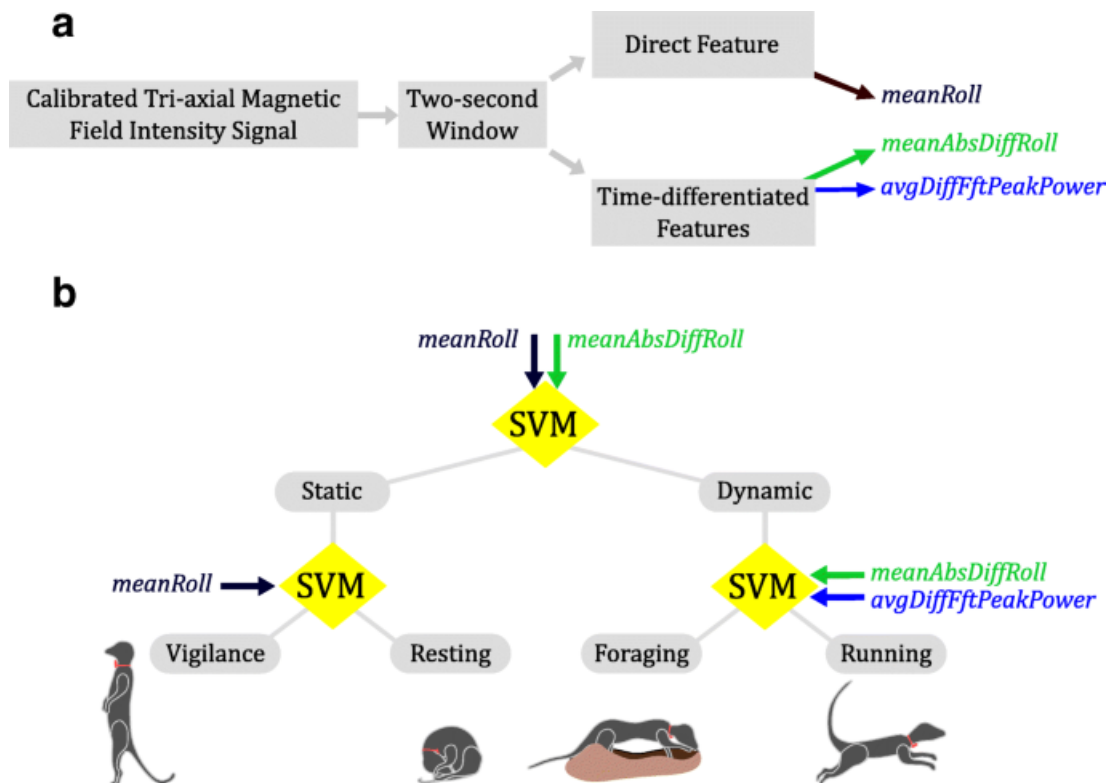
$$\max_{i \in 1 \dots L} (\delta_{f_i,roll,w}^2)$$

průměr druhé mocniny Fourierova koeficientu pro všechny tři osy, časově diferencovaného signálu:

$$\max_{i \in 1 \dots L} \left(\frac{\delta_{f_i,roll,w}^2 + \delta_{f_i,pitch,w}^2 + \delta_{f_i,yaw,w}^2}{3} \right)$$

Pro rozpoznání chování byl využit rozhodovací strom se základní selekcí statického nebo dynamického typu chování a sub selekcí (ostrážitost/odpočinek nebo potrava/běh), pro získání optimálních prahových hodnot byla v každém rozhodovacím uzlu použita metoda podpůrného vektoru.

Obr. 9: rozhodovací strom Surikata (Chakravarty et al. 2019b)

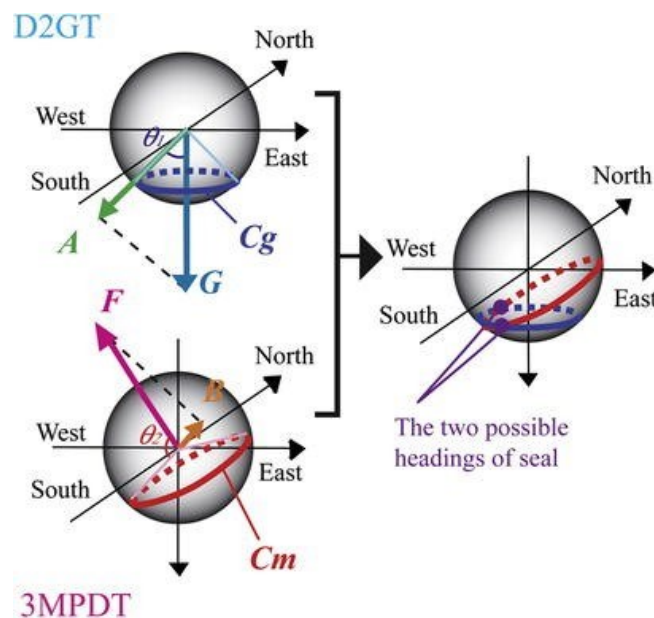


meanRoll = postoj; *meanAbsDiffRoll* = intenzita pohybu; *avgDiffFftPeakPower* = periodicita

Detekci chování ve vodě s využitím magnetometru a akcelerometru, prováděnou Mitani et al. (2003) ve studii zaměřené na Tuleně Weddellova (*Leptonychotes weddellii*), byly za pomoci dat zrychlení a geomagnetické intenzity vypočteny azimut polohy těla a s využitím dat o rychlosti plavání byla pro každý ponor vytvořena 3D mapa. Byly vyhodnocovány pouze ponory s hloubkou > 50m. Orientace tuleně byla vypočítána z dat magnetometru a akcelerometru, kdy aktuální rychlost byla vypočítána pomocí akcelerometru na základě využití předchozího časového

záznamu jako výchozího bodu pro každý bod následující a azimut pohybu je počítán z dat geomagnetického pole. Pro výpočet úhlu a polohy těla tuleně na základě dat z akcelerometru byla s pomocí úhlu θ_1 vypočtena kružnice C_g (viz. Obr. 10). Azimut těla tuleně byl spočítán z dat o geomagnetické intenzitě s pomocí úhlu θ_2 v podobě kružnice C_m . Průsečíkem těchto dvou kružnic se snížila množina orientací osy těla tuleně. Pro trasování směru pohybu tuleně byly využity osy x, y. Pro zjištění, zda byl během pohybu tuleň na dorzální nebo ventrální straně těla vůči dnu, posloužily informace o rozdílu síly geomagnetického pole v ose zarovnané s dorzální osou, kde prahová hodnota rozdílu byla vypočtena s využitím znalosti lokální geomagnetické intenzity a inklinace magnetického pole

Obr. 10: Grafické znázornění výpočtu azimutu a úhlu těla tuleně (Mitani et al. 2003)



D2GT = akcelerometr; A = zrychlení ($m s^{-2}$); G = gravitační zrychlení ($9,8 m s^{-2}$); θ_1 = úhel polohy těla; C_g = potenciální pozice; 3MPDT = magnetometr; B = geomagnetická intenzita (μT); F = celková geomagnetická intenzita ($63,278 \mu T$); θ_2 = úhel polohy těla; C_m = potenciální lokalita

Bidder et al. (2015) ve své studii vypočítávají Dead-reckoning pomocí statického a dynamického zrychlení, kde se dynamické zrychlení DA_i vypočítá odečtením statického zrychlení od surových dat os akcelerometru X, Y, Z.

Výpočet statického zrychlení, kde „w“ je frekvence záznamu (Hz) násobena časovou dobou okna záznamu v sekundách:

$$S_i = \frac{1}{w} \sum_{j=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} S_j$$

Hodnoty dynamického zrychlení z os DA_x , DA_y , DA_z se využívají k výpočtu vektoru zrychlení „VDBA“, na jejímž základě lze vypočítat rychlost pohybu sledovaného jedince.

$$VDBA = \sqrt{(DA_x^2 + DA_y^2 + DA_z^2)}$$

Pro korekci měření na osách magnetometru je nutné vypočítat úhly předklonu (β) „Pitch“ a náklonu (γ) „Roll“ svírané na osách magnetometru. Pro tento účel je využita funkce atan2, která nahrazuje funkci arkus tangens k převodu mezi kartézskou a sférickou soustavou souřadnic:

$$Roll(\gamma) = atan2\left(S_x, \sqrt{S_y^2 + S_z^2}\right) * \frac{180}{\pi}$$

$$Pitch(\beta) = atan2\left(S_y, \sqrt{S_x^2 + S_z^2}\right) * \frac{180}{\pi}$$

Pro dead-reckoning je nutné počítat se zkreslením hard and soft iron, jehož korekce je popsána společně s výpočtem normalizačního koeficientu f_m v odstavci „**metody kalibrace magnetometru a neutralizace hard and soft iron**“. Výstup z korekce hard and soft iron je společně s úhly předklonu (pitch) a náklonu (roll) využit k výpočtu hodnoty magnetometrických os RNm_x , RNm_y , RNm_z stabilizovaných ve vodorovné poloze a udávající nezkreslené informace o geomagnetickém poli. Vektor magnetometru N_{mi} je výstupem podílu vektoru osy m_i a normalizačního koeficientu f_m :

$$RNm_i = N_{mi} * R_x(\gamma) * R_y(\beta)$$

Takto nezkreslená data z os magnetometru jsou využita k výpočtu azimutu pohybu sledovaného jedince:

$$H = atan2(RNm_y, -RNm_z) * \frac{180}{\pi}$$

Výpočet rychlosti sledovaného jedince je násobkem vektor zrychlení „VDBA“ a konstantu proporcionality „m“ a součtem konstanty „c“

$$s = (VDBA * m) + c$$

Z výpočtu rychlosti „s“, můžeme s využitím znalosti délky časového období „t“ vypočítat vzniklou vzdálenost pohybu „d“:

$$d = s * t$$

Aby došlo k zamezení chyby v kartézské soustavě 3D Země, je nutné vypočíst ze vzdálenosti „d“ a poloměru Země „R“ rychlostní koeficient „q“:

$$q = \frac{d}{R}$$

Na tomto základě lze vypočíst zeměpisnou šířku pohybu sledovaného jedince:

$$Lat_i = \text{asin}(\sin Lat_0 * \cos q + \cos Lat_0 * \sin q * \cos H)$$

A zeměpisnou délku pohybu sledovaného:

$$Lon_i = Lon_0 + \text{atan2}((\sin H * \sin q * \cos Lon_0), (\cos q - \sin Lat_0 * \sin Lat_i))$$

Získanou polohu je nutné pro přesný výpočet cesty sledovaného objektu validovat vůči sekundárním telemetrickým prostředkům, které jsou schopny geolokace. Výstupem níže uvedeného vzorce je odchylka měření mezi vypočtenou polohou zeměpisné šířky a délky Dead-reckoning v kilometrech a polohou z GPS, kde „6371“ je poloměr země v km:

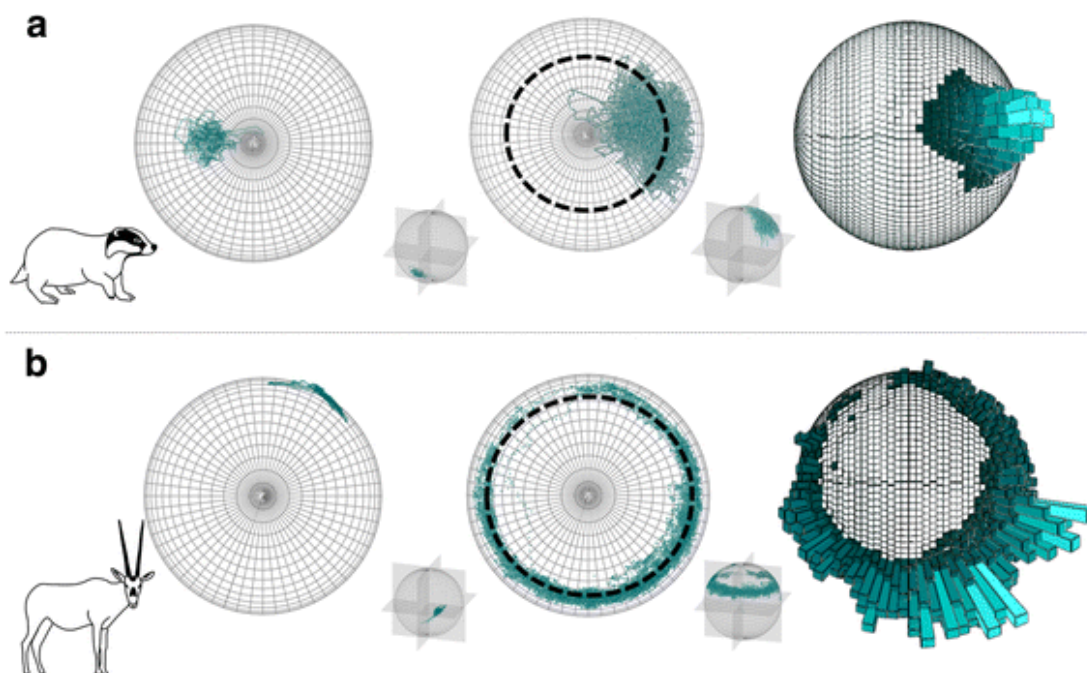
$$Err = \text{acos}(\sin Lat_{DR} * \sin Lat_{GPS} + \cos Lat_{DR} * \cos Lat_{GPS} * \cos(Lon_{GPS} - Lon_{DR})) * 6371$$

Pokud došlo k nepřesnostem ve vzdálenosti nebo azimutu pohybu mezi výpočty Dead-reckoning a GPS, je možné vzniklou odchylku regulovat pomocí korekčního faktoru vzdálenosti a pozice. Korekční faktor vzdálenosti je podíl vzdálenosti GPS d_{GPS} a vzdálenosti Dead-reckoning d_{Dr} : $\frac{d_{GPS}}{d_{Dr}} = f_{cor}$. Výslednou hodnotou je násobena vzdálenost Dead-reckoning $d_{f_{cor}} = d_{Dr} * f_{cor}$. Korekční faktor azimutu je podíl azimutu GPS H_{GPS} a azimutu Dead-reckoning H_{Dr} : $\frac{H_{GPS}}{H_{Dr}} = f_{cor}$ a výslednou hodnotou je násoben azimut Dead-reckoning $H_{f_{cor}} = H_{Dr} * f_{cor}$.

Vizualizace dat získaných za použití Bio-logovacích nástrojů

V důsledku stále se zvyšujícího využití senzorů provádějících vzorkování o vysoké frekvenci, dochází k potížím s vizuální interpretací získaných dat (Wilson et al. 2016). Informace získané akcelerometry a magnetometry využívající triaxiální a ortogonální měření je vhodné vizualizovat v 3dimenzionálním prostoru (Williams et al. 2017).

Obr. 11: vizualizace zrychlení a směru a chování (Williams et al. 2017)

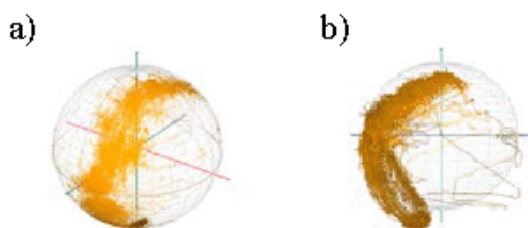


Triaxiální graf Jezevce lesního *Meles meles* a Přímorožce arabského *Oryx leucoryx* vykreslující data o zrychlení z akcelerometru **levé koule** znázorňující pohybovou orientaci a data z magnetometru, kde **prostřední koule** znázorňuje změnu držení těla vlivem směru a **pravá koule** zvýrazňuje postoj nebo směr spojený s chováním

Sférické grafy se dají vykreslovat v prostředí „Rstudio“ (R Core Team 2021), které pro potřeby vizualizace požaduje knihovnu „rgl“, která poskytuje funkci pro 3D interaktivní grafiku a modelování, jejíž součástí je i knihovna „spheres“, která je zodpovědná za vykreslování koule v bodech (X, Y, Z) a poloměrem koule „r“ (Murdoch et al. 2021). Pro potřeby sférického grafu a vykreslení pouze mřížky koule je vhodné využít balík „rgl.sphgrid“ (Robotham 2013). Pro vizualizaci bodů na povrchu koule je potřeba převést Kartézské souřadnice na sférické. K tomu můžeme využít balíček „car2sph“ (Robotham 2013), který je součástí knihovny „sphereplot“ (Robotham 2013). Tímto převodem získáme datové pole obsahující souřadnice ve

tvaru délky, šířky a poloměru koule, který můžeme vizualizovat pomocí balíčku „pointsphere“ (Robotham 2013). Pokud chceme data vizuálně škálovat pomocí vzdálenosti od sférického grafu přidáme k radiální vzdálenosti „r“ (vzdálenost od středu koule) skalární atribut, který bude definovat novou vzdálenost vizualizovaného bodu od středu koule (viz. Obr. 12) (Grundy et al. 2009).

Obr. 12: vizualizace sférický graf (Grundy et al. 2019)



*a) Vizualizace bodů na povrchu koule sférického grafu
po převedení kartézských souřadnic na sférické*

*b) Vizualizace bodů mimo povrch koule sférického grafu
po přičtení skalárního atributu k radiální vzdálenosti*

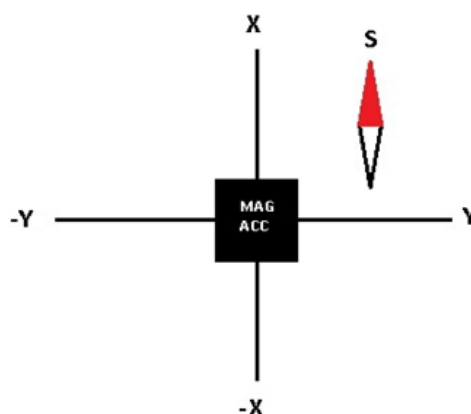
Sférický graf je možné zjednodušit do podoby 2D grafu, který je přehlednější pro vizualizaci časové osy (Wilson et al. 2016). V behaviorální ekologii se 2D grafy využívají pro vykreslování histogramů kategorizujících chování (Studd et al. 2019), nebo pro vizuální kontrolu, která může sledovat rozdíly mezi stavy chování (Studd et al. 2019) a jiné. Další variantou využívající 2D vizualizace je trasování cest pohybu Dead reckoning v podobě pohybové vrstvy, kterou je vhodné vizualizovat pomocí mapových podkladů (Bidder et al. 2015).

Detekce azimutu pohybu s využitím magnetometru a akcelerometru

Součástí této práce je vytvoření vlastního nástroje pro zpracování dat získaných z magnetometrických senzorů, které jsou z důvodu korekce doplněny o data z akcelerometrů. Nástroj je pro potřeby unifikace konstruován v programovacím jazyku „R“ (R Core Team 2021). Pro přehlednost a výhody grafického rozhraní byla využita nástavba „RStudio“. Zdrojový kód nástroje je k nahlédnutí viz. příloha 1.

Zjištění azimutu pohybu sledovaných subjektů bylo rozděleno na dvě metody. U obou metod sledovala kladná osa X magnetometru magnetický sever (viz. Obr. 13). První metoda využívala pro zjištění azimutu pouze data z magnetometru, zatímco druhá metoda pro zjištění azimutu prováděla korekci dat magnetometrických os X a Y na základě informace o změně náklonu záznamníku vůči zemi měřenou akcelerometrem.

Obr. 13: zarovnání os magnetometru a akcelerometru s magnetickým severem



MAG = magnetometr; ACC = akcelerometr

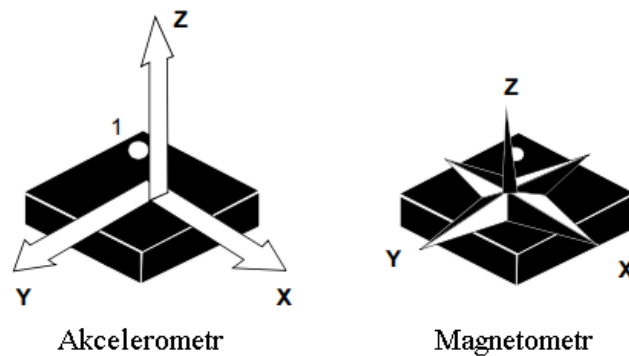
Postup sběru dat

V rámci této práce proběhlo zpracování dvou datových sad, které byly získány ze záznamníků umístěných na kuře Čejky černoprsé (*Vanellus indicus*) a samice ropuchy obecné (*Bufo bufo*). Čejka černoprsá byla pozorována v rezervaci Al Marmoom v Dubaji, sběr dat probíhal po dobu tří dnů s vzorkovací frekvencí 12,5 Hz. Ropucha obecná byla pozorována v polopřirozeném venkovním habitatu areálu ČZU v Praze, sběr dat probíhal po dobu 6 dnů s vzorkovací frekvencí 25 Hz.

Konstrukce záznamníku

Konstrukce záznamníku využívala pro triaxiální měření součástku „LSM303AH“. Jedná se o elektronický kompas, který v sobě obsahuje triaxiální akcelerometr a triaxiální magnetometr se vzájemným zarovnáním os (viz. Obr. 14). Celkový záznam obsahoval datum, čas, magnetometrická data os (x, y, z), akcelerometrická data os (x, y, z), teploty (°C) a intenzita světla (lux), vlhkost vzduchu (%), napětí baterie(mV).

Obr. 14: schématické zarovnání os senzorů "LSM303AH" (ST Microelectronics © 2018)



Úprava dat

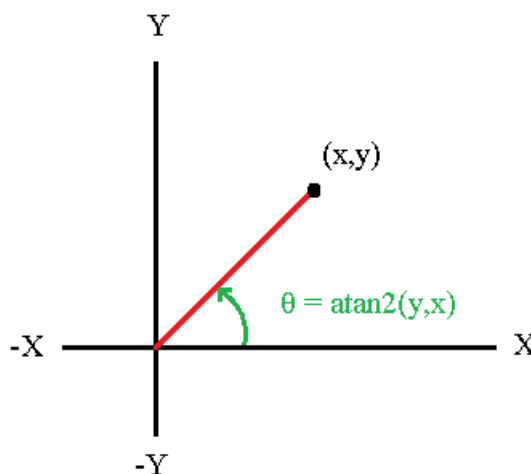
Před zpracováním byly obě datové sady oříznuty na 24hodinový záznam. Oříznutí bylo provedeno z důvodu snížení měřeného šumu, vznikajícím při manipulaci s živočichem během připojování a odpojování záznamníku. Takto připravená data byla využita k výpočtu směru pohybu sledovaných objektů.

V rámci této práce nebyla data z magnetometru a akcelerometru před výpočtem filtrována. Pomocí oříznutí časového záznamu, byl eliminován externí faktor, a tak informace získané pouze na základě magnetometru podléhají zkreslení vznikajícím pohybem a úhlem nasazení záznamníku na sledovaný subjekt. Z tohoto důvodu byl jako „filtr“ ve druhé metodě zvolena korekce náklonu výpočtem z akcelerometrických dat. Po této korekci předpokládám zpřesnění rozsah azimutů vzniklých pohybem sledovaných objektů, bez nutnosti filtrování vstupních dat.

Výpočet azimutu z magnetometrických dat

Výpočet byl proveden pouze za pomoci os magnetometru X a Y s využitím funkce „atan2“, která vrací úhel θ svíraného vektoru os X, Y (viz Obr. 15).

Obr. 15: schéma úhlu θ funkce ATAN2



Výstup funkce „atan2“ je v radiánech v intervalu $\left(-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right)$, které je potřeba převést na stupně. Jelikož ($\pi \text{ rad} = 180^\circ$), stačí nám výsledek funkce „atan2“ vynásobit tvarem $(180/\pi)$:

$$\text{atan2}(y, x) * 180/\pi$$

Takto získané stupně byly přiřazeny do kvadrantu, který byl určován na základě polarity na osách magnetometru X a Y. Níže uvedený odpočet je způsoben zarovnáním kladné osy X magnetometru s magnetickým severem.

Pokud byla hodnota na ose $X > 0$ a na ose $Y > 0$, odečetli jsme získaný rádius od 90° .

$$90 - \text{atan2}(y, x) * 180/\pi$$

Pro $(X > 0 ; Y < 0)$ odečítáme 360° .

Pro $(X < 0 ; Y < 0)$ odečítáme 270° .

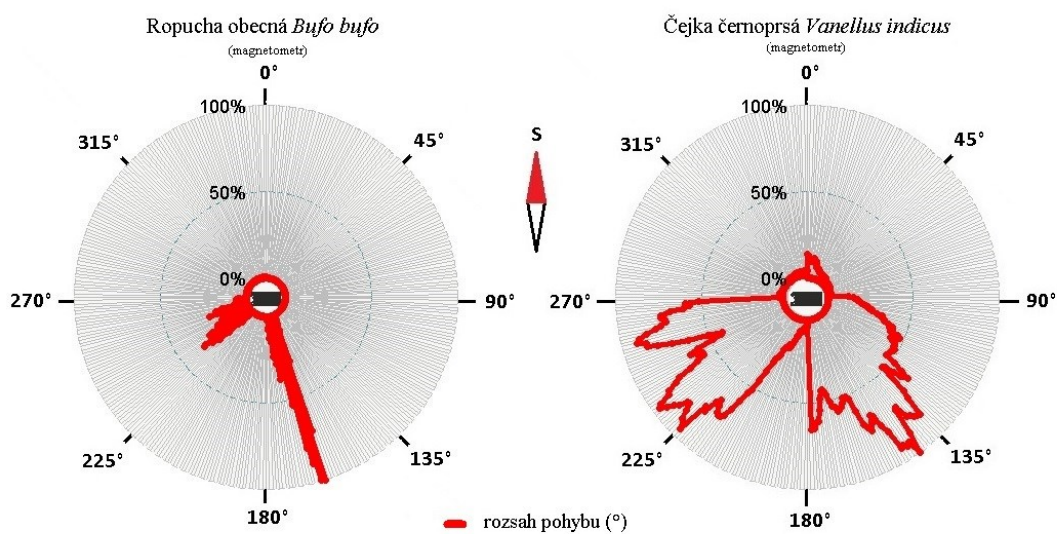
Pro $(X < 0 ; Y > 0)$ odečítáme 180° .

Ze získaných dat bylo vypočteno procentuální zastoupení azimutů (Tab. 1), a pro přehlednost azimuty pohybu vykresleny v kruhovém grafu (Obr. 16).

Tab. 1: TOP 10 nejvíce zastoupených azimutů na základě dat magnetometru

| a) | ropucha obecná <i>Bufo bufo</i> | | | | | | | | | |
|----|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ° | 163 | 164 | 165 | 166 | 162 | 167 | 171 | 232 | 170 | 233 |
| % | 6,77 | 6,73 | 6,03 | 5,39 | 4,76 | 3,59 | 2,51 | 2,33 | 2,26 | 2,25 |
| b) | Čejka černoprská <i>Vanellus indicus</i> | | | | | | | | | |
| ° | 145 | 234 | 225 | 235 | 147 | 233 | 149 | 146 | 256 | 148 |
| % | 0,99 | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,9 | 0,9 |

Obr. 16: azimuty vypočítané na základě dat z magnetometru



Výpočet azimutu z magnetometrických dat s korekcí pomocí akcelerometru

Z dat získaných za pomoci akcelerometru byl vypočítán sinus a cosinus sklonu záznamníku osy Y a Z akcelerometru:

$$\sin_{\varphi_y} = \frac{Y_{acc}}{\sqrt{Y_{acc}^2 + Z_{acc}^2}}$$

$$\cos_{\varphi_y} = \frac{Z_{acc}}{\sqrt{Y_{acc}^2 + Z_{acc}^2}}$$

Sinus a cosinus sklonu záznamníku osy X a Z akcelerometru:

$$\sin_{\varphi_x} = \frac{X_{acc}}{\sqrt{X_{acc}^2 + Z_{acc}^2}}$$

$$\cos_{\varphi_x} = \frac{Z_{acc}}{\sqrt{X_{acc}^2 + Z_{acc}^2}}$$

Po získání těchto úhlů náklonu záznamníku vůči zemi můžeme vypočítat korekci hodnot v osách X a Y magnetometru.

$$\text{Pro osu X: } X_{mag} = (X_{mag} * \cos_{\varphi_x}) + (Z_{mag} * \sin_{\varphi_x})$$

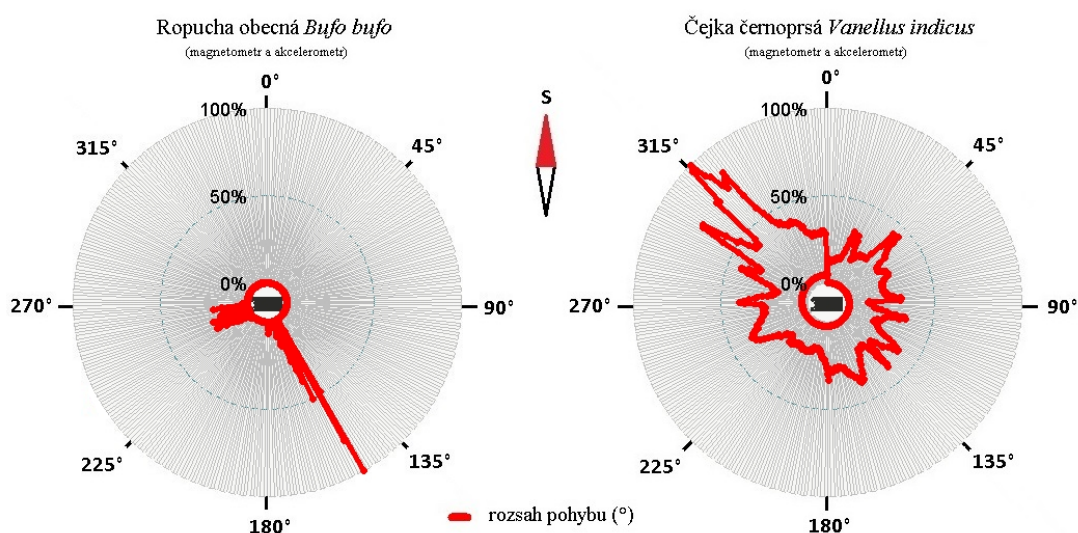
$$\text{Pro osu Y: } Y_{mag} = (Y_{mag} * \cos_{\varphi_y}) + (Z_{mag} * \sin_{\varphi_y}).$$

Po takto upravené korekci magnetometrických dat os X a Y provedeme výpočet azimutu pohybu stejným způsobem, jaký byl ukázán v odstavci „výpočet azimutu z magnetometrických dat“. Ze získaných dat bylo vypočteno procentuální zastoupení azimutů (Tab. 2) a pro přehlednost azimuty pohybu vykresleny v kruhovém grafu (Obr. 17).

Tab. 2: TOP 10 nejvíce zastoupených azimutů na základě dat magnetometru a akcelerometru

| a) | ropucha obecná <i>Bufo bufo</i> | | | | | | | | | |
|----|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ° | 151 | 152 | 156 | 150 | 157 | 155 | 153 | 158 | 159 | 251 |
| % | 10,05 | 7,99 | 5,04 | 4,84 | 3,82 | 3,24 | 3,23 | 3,12 | 2,58 | 2,18 |
| b) | Čejka černoprsá <i>Vanellus indicus</i> | | | | | | | | | |
| ° | 316 | 315 | 317 | 318 | 322 | 321 | 319 | 320 | 313 | 314 |
| % | 0,98 | 0,94 | 0,88 | 0,86 | 0,83 | 0,79 | 0,78 | 0,74 | 0,73 | 0,72 |

Obr. 17: azimuty vypočítané na základě dat z magnetometru a akcelerometru



Na základě porovnání výsledků výpočtů, bez a s korekcí pomocí akcelerometru, jsou rozdíly u živočichů vykazující nižší frekvenci pohybu minimální. V případě Ropuchy obecné nemůžeme s jistotou potvrdit, ani vyloučit důležitost korekce náklonu magnetometru s využitím akcelerometru, a to z důvodu minimálních rozdílů mezi výsledky procentuálního zastoupení azimutů a jejich rozsahu (viz. Tab. 3).

Tab. 3: rozdíly výstupů magnetometru samotného a v kombinaci s akcelerometrem

| | Rozsah azimutů | Procentuální zastoupení |
|-----------------------------|----------------|-------------------------|
| magnetometr | 90° - 180° | 46,36 % |
| | 212° - 269° | 42,03 |
| magnetometr akcelerometr | 360° | 100 % |

V případě Čejky černoprsé lze předpokládat větší pohybovou aktivitu podepisující se na rozsahu výsledku. Výstup získaný pouze na základě dat z magnetometru nás informuje o možném pohybu sledovaného jedince pouze směrem na jih. Podobný model lze získat během migrace dospělého jedince. V tomto případě bylo sledovaným jedincem kuře, u kterého lze předpokládat pohyb okolo místa hnízdění. Na základě vzniklých rozdílů mezi měřeními (viz. Tab. 1) lze předpokládat vyšší přesnost při kombinaci magnetometru a akcelerometru.

Tab. 4: rozdíly výstupů magnetometru samotného a v kombinaci s akcelerometrem

| | Rozsah azimutů | Procentuální zastoupení |
|-----------------------------|----------------|-------------------------|
| magnetometr | 221° - 269° | 46,15 % |
| | 143° - 179° | 53,85 % |
| magnetometr akcelerometr | 225° - 270° | 43,64 % |
| | 135° - 180° | 55,96 |

Diskuse

Problematika využití magnetometru v behaviorální ekologii je souborem znalostí elektrotechniky, programování, statistiky a ekologie. Ze zpracovaných studií vychází, že kalibrace magnetometru postrádá prvky unifikace, která by celý proces ulehčila a zpřesnila. V 21. století jsou výpočetní prostředky a síťové toky na takové úrovni, že je výhodné unifikaci nástrojů směřovat do webových aplikací. Potřebné postupy a algoritmy kalibrace magnetometrů jsou již známy, není problém vytvoření webového prostředí sdružující a poskytující tuto schopnost vědecké komunitě a zároveň sdružovat informace o kvalitách senzorů a jejich realizovaných nasazení. Na základě těchto zdrojů může začít vznikat unifikovaná platforma, poskytující podporu nejen samostatným senzorům, ale také celé konstrukci záznamníků. Výzkumník již nebude muset podnikat výzkum komerčních záznamníků nebo širokého spektra senzorů před započítím samotného výzkumu, ale na základě vstupních podmínek a parametrů získá návrh senzorů s optimalizovaným zapojením, konstrukcí a softwarem schopným obsluhovat záznamník. Na tento koncept lze navázat i s vizualizací získaných informací. Z literární rešerše je již jasné, že pokud chceme vizualizovat data ve sférickém grafu, musíme je převést z kartézské soustavy na sférickou. Znovu se bavím o algoritmu, který je již znám, ale problém vzniká s vizualizací získaných dat. Pokud se problematika vizualizace přenesení do webového prostředí, může dostat vyšší podporu ze strany vědecké a IT komunity v rámci rozvoje a schopností. Výzkumník již nebude zatížen problematikou vlastnictví, nebo schopností použít nástroje pro vizualizaci a získá větší prostor pro zaměření se na zkoumanou problematiku. Tato platforma může dále sdružovat doporučení s uchycením záznamníku na živočicha, společně se zaznamenanými klady i zápory.

Co se týče samotných senzorů a konstrukce záznamníků, je velice těžké predikovat jejich vývoj v rámci citlivosti, nebo miniaturizace. Jedná se o „veličinu“, která podléhá trendům konzumní společnosti a na tomto základě lze predikovat pouze jeden směr vývoje a tím je řešení All-in-One. Tento typ konstrukce, znamenající sdružení co nejvíce věcí v jedné, se může stát klíčovým v úspoře hmotnosti a energie záznamníku. V rámci tohoto směru rozvoje je vyšší pravděpodobnost, že vědecké komunitě budou poskytnuty součástky, které svými parametry nemusí splňovat

požadavky na přesnost měření. Této situaci se lze vyhnout vlastním vývojem oněch All-in-One součástek. Bohužel se jedná o velice nákladnou a časově náročnou činnost spadající do odbornosti vývoje elektrotechnických součástek, kterou vědecká komunita se zaměřením na ekologii ve většině případů nebude schopna ovlivnit jinak než finančně.

Problematika detekce chování a pohybu sledovaných jedinců je ve větší míře vedena ve dvou samostatných větvích. Díky tomuto rozdělení je věnováno jednotlivým oblastem značné úsilí v rámci pokroku metod provádějící analýzu. Samotnou výzvou bude spojení těchto samostatných větví do jednoho koncepčního celku, na jehož základě se bude moci vizuální analýza převést i do kyberprostoru, který bude schopen suplovat nahrávky pořízené videokamerou. Samotnému sloučení těchto informací do jednoho celku, ale stále překáží potřeba sdružovat podpisové vzory chování sledovaných objektů, na jejichž základě je možné analyzovat obsah dat ze záznamníků. Samotnou otázkou zůstává filtrování výstupních dat měření. Pokud je zápis pro akcelerometr a magnetometr 1:1, mohou být data magnetometru „filtrována“ pomocí korekce na základě dat z akcelerometru. Zůstává otázka, jak provádět korekci dat akcelerometru na základě dat z magnetometru. Pokud jsou data sbírána za účelem detekce chování a pohybu, pokládám jejich filtraci za kontraproduktivní. Podpisový vzor chování získaný ze záznamníku se nevztahuje na pohyb jedince samotného, ale na pohyb jedince působícího na záznamník. Pokud jsou data filtrována je možné, že dochází k odstranění jednoznačných identifikátorů pohybu, nebo chování. Zároveň způsob a metody filtrace dat jsou čistě na výzkumníkovi, a tak vzniká prostor pro nejednotnost podpisových vzorů chování, které pak není možné aplikovat jiným způsobem.

Závěr

Využití magnetometru v behaviorální ekologii je již robustní schopnost, na jejímž základě jsou vědci schopni detekce chování a pohybu. Zpracované studie pokaždé informují, že využití samotného senzoru je neefektivní a minimálně má být využíván s akcelerometrem. Tato kombinace je používána i pro digitální kompas. Bio-logovací záznamníky se mají stále kam vyvíjet a vědecká komunita by měla cílit v základních částech k unifikaci, která by poskytla větší podporu rozvoje a ladění.

Na základě výstupů z praktické části je možné pozměnit přístup měření prováděný u jedinců vykazujících nízkou frekvencí pohybu, jako jsou např. plazi. Pokud je měření prováděno u jedince s nízkou frekvencí pohybu, je vhodnější zaznamenávat data magnetometru s vyšší frekvencí na úkor akcelerometru. Opačný přístup platí pro jedince vykazující střední až vyšší frekvenci pohybu, kde je pro správné určení směru pohybu nezbytná korekce pomocí akcelerometru a frekvence záznamu magnetometru by neměla být vyšší než frekvence záznamu akcelerometru. Pokud je frekvence měření akcelerometru a magnetometru stejná, není pro potřebu výpočtu azimutu pohybu data filtrovat. A to z důvodu, že pro hodnotu zaznamenanou na magnetometru je v okamžik jejího zápisu zapsána společně s hodnotou akcelerometru, na jejímž základě bude provedena korekce měření.

Zároveň navrhuji omezit využívání frekvenčních filtrů před výpočty pro detekci pohybu a chování jedinců a cíleně se zaměřit na metody umožňující křížovou korekci dat získaných z jednoho měření.

Přehled literatury a použitých zdrojů

- Barron, D. G., Brawn, J. D., Weatherhead, P. J. 2010: Meta-analysis of transmitter effects on avian behaviour and ecology. *Methods in Ecology and Evolution*. 1 (2). 180–187. doi: 10.1111/j.2041-210X.2010.00013.x.
- Bejan, A., Marden, J. H. 2006: Unifying constructal theory for scale effects in running, swimming and flying. *Journal of Experimental Biology*. 209 (2). 238–248. doi: 10.1242/jeb.01974.
- Bidder, O. R., Walker, J. S., Jones, M. W., Holton, M. D., Urge, P., Scantlebury, D. M., Marks, N. J., Magowan, E. A., Maguire, I. E., Wilson, R. P. 2015: Step by step: reconstruction of terrestrial animal movement paths by dead-reckoning. *Movement Ecology*. 3 (1). 23. doi: 10.1186/s40462-015-0055-4.
- Bidder, Owen R., Qasem, L. A., Wilson, R. P. 2012: On Higher Ground: How Well Can Dynamic Body Acceleration Determine Speed in Variable Terrain? *PLoS ONE*. 7 (11). e50556. doi: 10.1371/journal.pone.0050556.
- Broell, F., Noda, T., Wright, S., Domenici, P., Steffensen, J. F., Auclair, J.-P., Taggart, C. T. 2012: Accelerometer tags: detecting and identifying activities in fish and the effect of sampling frequency. *Journal of Experimental Biology*. doi: 10.1242/jeb.077396.
- Brown, D. D., Kays, R., Wikelski, M., Wilson, R., Klimley, A. 2013: Observing the unwatchable through acceleration logging of animal behavior. *Animal Biotelemetry*. 1 (1). 20. doi: 10.1186/2050-3385-1-20.
- Chakravarty, P., Cozzi, G., Ozgul, A., Aminian, K. 2019a: A novel biomechanical approach for animal behaviour recognition using accelerometers. *Methods in Ecology and Evolution*. 10 (6). 802–814. doi: 10.1111/2041-210X.13172.
- Chakravarty, P., Maalberg, M., Cozzi, G., Ozgul, A., Aminian, K. 2019b: Behavioural compass: animal behaviour recognition using magnetometers. *Movement Ecology*. 7 (1). 28. doi: 10.1186/s40462-019-0172-6.
- Chen, J., Brown, G., Fudickar, A. 2021: Simulation-based validation of activity logger data for animal behavior studies. *Animal Biotelemetry*. 9 (1). 31. doi: 10.1186/s40317-021-00254-y.
- Connors, M. G., Michelot, T., Heywood, E. I., Orben, R. A., Phillips, R. A., Vyssotski, A. L., Shaffer, S. A., Thorne, L. H. 2021: Hidden Markov models identify major movement modes in accelerometer and magnetometer data from four albatross species. *Movement Ecology*. 9 (1). 7. doi: 10.1186/s40462-021-00243-z.
- Cooke, S. J., Hinch, S. G., Wikelski, M., Andrews, R. D., Kuchel, L. J., Wolcott, T. G., Butler, P. J. 2004: Biotelemetry: a mechanistic approach to ecology. *Trends in Ecology & Evolution*. 19 (6). 334–343. doi: 10.1016/j.tree.2004.04.003.
- del Rosario, M., Redmond, S., Lovell, N. 2015. Tracking the Evolution of Smartphone Sensing for Monitoring Human Movement. *Sensors*. 15 (8). 18901–18933. doi: 10.3390/s150818901.

- Dressler, M. 2019: Stabilized Triaxial Coil System for Magnetometer Calibrations. Prague.
- Fleischmann, P. N., Grob, R., Rössler, W. 2020: Magnetoreception in Hymenoptera: importance for navigation. *Animal Cognition*. 23 (6). 1051–1061. doi: 10.1007/s10071-020-01431-x.
- Grundy, E., Jones, M. W., Laramée, R. S., Wilson, R. P., Shepard, E. L. C. 2009: Visualisation of Sensor Data from Animal Movement. *Computer Graphics Forum*. 28 (3). 815–822. doi: 10.1111/j.1467-8659.2009.01469.x.
- Guillemette, M., Woakes, A. J., Flagstad, A., Butler, P. J. 2002: Effects of Data-Loggers Implanted for a Full Year in Female Common Eiders. *The Condor*. 104 (2). 448–452. doi: 10.1093/condor/104.2.448.
- Hammond, T. T., Springthorpe, D., Walsh, R. E., Berg-Kirkpatrick, T. 2016: Using accelerometers to remotely and automatically characterize behavior in small animals. *Journal of Experimental Biology*. doi: 10.1242/jeb.136135.
- Hertel, A. G., Niemelä, P. T., Dingemans, N. J., Mueller, T. 2020: A guide for studying among-individual behavioral variation from movement data in the wild. *Movement Ecology*. 8 (1). 30. doi: 10.1186/s40462-020-00216-8.
- Kano, F., Walker, J., Sasaki, T., Biro, D. 2018: Head-mounted sensors reveal visual attention of free-flying homing pigeons. *Journal of Experimental Biology*. 221 (17). doi: 10.1242/jeb.183475.
- Kawabata, Y., Noda, T., Nakashima, Y., Nanami, A., Sato, T., Takebe, T., Mitamura, H., Arai, N., Yamaguchi, T., Soyano, K. 2014: A combination of gyroscope and accelerometer for identifying alternative feeding behaviours in fish. *Journal of Experimental Biology*. doi: 10.1242/jeb.108001.
- Křížek Marek 2019: Magnetické pole Země. *Přírodovědci.Cz*. 12–13.
- McGowan, N. E., Marks, N. J., Maule, A. G., Schmidt-Küntzel, A., Marker, L. L., Scantlebury, D. M. 2022: Categorising cheetah behaviour using tri-axial accelerometer data loggers: a comparison of model resolution and data logger performance. *Movement Ecology*. 10 (1). 7. doi: 10.1186/s40462-022-00305-w.
- Merkel, J., Säll, J. 2011: Indoor Navigation Using Accelerometer and Magnetometer. Linköping.
- Mitani, Y., Andrews, R. D., Sato, K., Kato, A., Naito, Y., Costa, D. P. 2010: Three-dimensional resting behaviour of northern elephant seals: drifting like a falling leaf. *Biology Letters*. 6 (2). 163–166. doi: 10.1098/rsbl.2009.0719.
- Mitani, Y., Sato, K., Ito, S., Cameron, M. F., Siniff, D. B., Naito, Y. 2003: A method for reconstructing three-dimensional dive profiles of marine mammals using geomagnetic intensity data: results from two lactating Weddell seals. *Polar Biology*. 26 (5). 311–317. doi: 10.1007/s00300-003-0487-y.

- Mooney, T. A., Katija, K., Shorter, K. A., Hurst, T., Fontes, J., Afonso, P. 2015: ITAG: an eco-sensor for fine-scale behavioral measurements of soft-bodied marine invertebrates. *Animal Biotelemetry*. 3 (1). 31. doi: 10.1186/s40317-015-0076-1.
- Murdoch, D., Adler, D., Nenadic, O., Urbanek, S., Chen, M., Gebhardt, A., Bolker, B., Csardi, G., Strzelecki, A., Senger, A., The R Core Team, Eddelbuettel, D., The authors of Shiny, The authors of knitr, Ooms, J., Demont, Y., Ulrich, J., Fernandez i Marin, X., Helffrich, G., Krylov, I., Sumner, M. 2021: rgl: 3D Visualization Using OpenGL. .
- Noda, T., Kawabata, Y., Arai, N., Mitamura, H., Watanabe, S. 2013: Monitoring Escape and Feeding Behaviours of Cruiser Fish by Inertial and Magnetic Sensors. *PLoS ONE*. 8 (11). e79392. doi: 10.1371/journal.pone.0079392.
- Okoun Petr 2013. *Electronic Compass Based on Three-Axis Magnetometer*. Brno.
- Pagano, A., Rode, K., Cutting, A., Owen, M., Jensen, S., Ware, J., Robbins, C., Durner, G., Atwood, T., Obbard, M., Middel, K., Thiemann, G., Williams, T. 2017: Using tri-axial accelerometers to identify wild polar bear behaviors. *Endangered Species Research*. 32 . 19–33. doi: 10.3354/esr00779.
- Portugal, S. J., White, C. R. 2018: Miniaturization of biologgers is not alleviating the 5% rule. *Methods in Ecology and Evolution*. 9 (7). 1662–1666. doi: 10.1111/2041-210X.13013.
- R Core Team 2021: *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. . Vienna. R Foundation for Statistical Computing.
- Renart, A., Machens, C. K. 2014: Variability in neural activity and behavior. *Current Opinion in Neurobiology*. 25 . 211–220. doi: 10.1016/j.conb.2014.02.013.
- Renaudin, V., Afzal, M. H., Lachapelle, G. 2010: Complete Triaxis Magnetometer Calibration in the Magnetic Domain. *Journal of Sensors*. 2010 . 1–10. doi: 10.1155/2010/967245.
- Reynolds, D. R., Riley, J. R. 2002: Remote-sensing, telemetric and computer-based technologies for investigating insect movement: a survey of existing and potential techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*. 35 (2–3). 271–307. doi: 10.1016/S0168-1699(02)00023-6.
- Robotham, A. 2013: Package ‘sphereplot.’ . GPL-2.
- Rutz, C., Hays, G. C. 2009: New frontiers in biologging science. *Biology Letters*. 5 (3). 289–292. doi: 10.1098/rsbl.2009.0089.
- Sakai, K., Oishi, K., Miwa, M., Kumagai, H., Hirooka, H. 2019: Behavior classification of goats using 9-axis multi sensors: The effect of imbalanced datasets on classification performance. *Computers and Electronics in Agriculture*. 166 . 105027. doi: 10.1016/j.compag.2019.105027.
- ST Microelectronics © 2018: Ultra-compact high-performance eCompass module: ultra-low-power 3D accelerometer and 3D magnetometer. . ST Microelectronics ©.

- Studd, E. K., Landry-Cuerrier, M., Menzies, A. K., Boutin, S., McAdam, A. G., Lane, J. E., Humphries, M. M. 2019: Behavioral classification of low-frequency acceleration and temperature data from a free-ranging small mammal. *Ecology and Evolution*. 9 (1). 619–630. doi: 10.1002/ece3.4786.
- Todd Jones, T., van Houtan, K. S., Bostrom, B. L., Ostafichuk, P., Mikkelsen, J., Tezcan, E., Carey, M., Imlach, B., Seminoff, J. A. 2013: Calculating the ecological impacts of animal-borne instruments on aquatic organisms. *Methods in Ecology and Evolution*. 4 (12). 1178–1186. doi: 10.1111/2041-210X.12109.
- Wang, Y., Nickel, B., Rutishauser, M., Bryce, C. M., Williams, T. M., Elkaim, G., Wilmers, C. C. 2015: Movement, resting, and attack behaviors of wild pumas are revealed by tri-axial accelerometer measurements. *Movement Ecology*. 3 (1). 2. doi: 10.1186/s40462-015-0030-0.
- Williams, H. J., Shepard, E. L. C., Duriez, O., Lambertucci, S. A. 2015: Can accelerometry be used to distinguish between flight types in soaring birds? *Animal Biotelemetry*. 3 (1). 45. doi: 10.1186/s40317-015-0077-0.
- Williams, Hannah J., Holton, M. D., Shepard, E. L. C., Largey, N., Norman, B., Ryan, P. G., Duriez, O., Scantlebury, M., Quintana, F., Magowan, E. A., Marks, N. J., Alagaili, A. N., Bennett, N. C., Wilson, R. P. 2017: Identification of animal movement patterns using tri-axial magnetometry. *Movement Ecology*. 5 (1). 6. doi: 10.1186/s40462-017-0097-x.
- Williams, Hannah J., Taylor, L. A., Benhamou, S., Bijleveld, A. I., Clay, T. A., Grissac, S., Demšar, U., English, H. M., Franconi, N., Gómez-Laich, A., Griffiths, R. C., Kay, W. P., Morales, J. M., Potts, J. R., Rogerson, K. F., Rutz, C., Spelt, A., Trevail, A. M., Wilson, R. P., Börger, L. 2020: Optimizing the use of biologgers for movement ecology research. *Journal of Animal Ecology*. 89 (1). 186–206. doi: 10.1111/1365-2656.13094.
- Wilson, R. P., Holton, M. D., Walker, J. S., Shepard, E. L. C., Scantlebury, D. M., Wilson, V. L., Wilson, G. I., Tysse, B., Gravenor, M., Ciancio, J., McNarry, M. A., Mackintosh, K. A., Qasem, L., Rosell, F., Graf, P. M., Quintana, F., Gomez-Laich, A., Sala, J.-E., Mulvenna, C. C., Marks, N. J., Jones, M. W. 2016: A spherical-plot solution to linking acceleration metrics with animal performance, state, behaviour and lifestyle. *Movement Ecology*. 4 (1). 22. doi: 10.1186/s40462-016-0088-3.
- You Zheng 2017: *Space Microsystems and Micro/nano Satellites*. Elsevier. p. 341. ISBN: 9780128126721.

Seznam obrázků:

| | |
|--|----|
| Obr. 1: magnetometr na hlavě holuba (Kano et al. 2018)..... | 10 |
| Obr. 2:magnetické pole Země (Fleischmann et al. 2020) | 11 |
| Obr. 3: zkreslení magnetického pole v důsledku soft iron (Bidder et al. 2015) | 14 |
| Obr. 4: zkreslení magnetického pole v důsledku hard iron (Bidder et a. 2015) | 15 |
| Obr. 5: vizualizace kalibrační rotace 360° kolem os x, y, z (Wilson et al. 2016)..... | 16 |
| Obr. 6: percentil klasifikace chování pumy při snižování vzorkovací frekvence (Wang et al. 2015)..... | 17 |
| Obr. 7: zarovnání 9osého záznamníku s osou kozy (Sakai et al. 2019)..... | 19 |
| Obr. 8: zarovnání záznamníku magnetometru s osou surikaty (Chakravarty et al. 2019b) | 19 |
| Obr. 9: rozhodovací strom Surikata (Chakravarty et al. 2019b)..... | 22 |
| Obr. 10: Grafické znázornění výpočtu azimutu a úhlu těla tuleně (Mitani et al. 2003) | 23 |
| Obr. 11: vizualizace zrychlení a směru a chování (Williams et al. 2017) | 26 |
| Obr. 12: vizualizace sférický graf (Grundy et al. 2019) | 27 |
| Obr. 13: zarovnání os magnetometru a akcelerometru s magnetickým severem..... | 28 |
| Obr. 14: schématické zarovnání os senzorů "LSM303AH" (ST Microelectronics © 2018) | 29 |
| Obr. 15: schéma úhlu θ funkce ATAN2 | 30 |
| Obr. 16: azimuty vypočítané na základě dat z magnetometru | 31 |
| Obr. 17: azimuty vypočítané na základě dat z magnetometru a akcelerometru..... | 33 |

Seznam tabulek:

| | |
|---|----|
| Tab. 1: TOP 10 nejvíce zastoupených azimutů na základě dat magnetometru..... | 31 |
| Tab. 2: TOP 10 nejvíce zastoupených azimutů na základě dat magnetometru a akcelerometru..... | 33 |
| Tab. 3: rozdíly výstupů magnetometru samotného a v kombinaci s akcelerometrem | 34 |
| Tab. 4: rozdíly výstupů magnetometru samotného a v kombinaci s akcelerometrem | 34 |

Přílohy

Příloha 1:

```
calc_azimut_MGorMA<-  
function(soubor,odd,druh,magX,magY,magZ,accX,accY,accZ,v,oS){  
#funkce pozaduje pro vykresleni grafu knihovnu ggplot2 a ggradar  
#soubor - cesta k CSV souboru "  
#odd - pouzity oddelovac v CSV "  
#druh - typ vypoctu mag('mg') "pouze z magnetometru"/mag+acc('ma') "z  
magnetometru a akcelerometru"  
#magX - poradi sloupce mag osy X v CSV  
#magY - poradi sloupce mag osy Y v CSV  
#magZ - poradi sloupce mag osy Z v CSV  
#accX - poradi sloupce acc osy X v CSV  
#accY - poradi sloupce acc osy Y v CSV  
#accZ - poradi sloupce acc osy Z v CSV  
#v - druh vystupu ('g' = graf; 's' = soucet azimutu)  
#oS - urcuje osu, která je na sever male "x" / "y"  
csv <- read.csv(file = soubor, sep = odd ,stringsAsFactors=FALSE, header = FALSE)  
radky <- nrow(csv)  
#priprava matrixu pro zapis hodnot a jejich sumarizaci  
azimutRAW <- matrix(nrow = 2, ncol = 360)  
azimutRAW[1,] = c(0:359)  
azimutRAW[2,] = 0  
  
#selekce vypoctu pouze z magnetometrickych dat  
if(druh == 'mg'){  
#foreach radek provede obsah slozenych zavorek  
for(a in 1:radky){  
#promenne pro vypocet azimutu  
x<-csv[a,magX]  
y<-csv[a,magY]  
#vypocet pro osu X smerujici na sever  
if(oS=='x'){  
if(x > 0){
```

```

    if(y > 0){i <- 90 - atan2(y,x) * (180/pi)}
    if(y < 0){i <- 360 - atan2(-y,x) * (180/pi)}
  }
  if(x < 0){
    if(y < 0){i <- 270 - atan2(-y,-x) * (180/pi)}
    if(y > 0){i <- 180 - atan2(y,-x) * (180/pi)}
  }}

#vypocet pro osu Y smerujici na
  if(oS=='y'){
    if(x > 0){
      if(y > 0){i <- atan2(y,x) * (180/pi)}
      if(y < 0){i <- 180 - atan2(-y,x) * (180/pi)}
    }
    if(x < 0){
      if(y < 0){i <- 270 - atan2(-y,-x) * (180/pi)}
      if(y > 0){i <- 360 - atan2(y,-x) * (180/pi)}
    } }

#zapis vypoctenych azimutu (cele stupne) a sumarizace stejných azimutu
  i = as.integer(i)
  c <- as.numeric(i)
  h <- which(c == azimutRAW[1,])
  azimutRAW[2,h] = azimutRAW[2,h] + 1
}}

#selekce vypoctu z magnetometrických a akcelerometrických dat
if(druh == 'ma'){
  #foreach radek provede obsah slozených zavorek
  for(a in 1:radky){
    magx1 <- csv[a,magX]
    magy1 <- csv[a,magY]
    magz1 <- csv[a,magZ]
    accx1 <- csv[a,accX]
    accy1 <- csv[a,accY]
    accz1 <- csv[a,accZ]

    #kontrola prítomnosti nuly v hodnotách akcelerometru jinak je generovana chyba a
    funkce se ukonci

```

```

if(accx1 == 0){if(a<=1){accx1<-csv[a+1,accX]}
      else{accx1<-(csv[a-1,accX]+csv[a+1,accX])/2}}
if(acy1 == 0){if(a<=1){acy1<-csv[a+1,accY]}
      else{acy1<-(csv[a-1,accY]+csv[a+1,accY])/2}}
if(accz1 == 0){if(a<=1){accz1<-csv[a+1,accZ]}
      else{accz1<-(csv[a-1,accZ]+csv[a+1,accZ])/2}}

isin = accy1 / sqrt((accy1^2)+(accz1^2))
icos = accz1 / sqrt((accy1^2)+(accz1^2))
mx= magy1 * icos
my= magz1 * isin
magyf <- mx - my

isin = -(accx1 / sqrt((accx1^2)+(accz1^2)))
icos = accz1 / sqrt((accx1^2)+(accz1^2))
mx= magx1 * icos
my= magz1 * isin
magxf <- mx + my
#vypocet pro osu X smerujici na sever
if(oS=='x'){
  if(magxf > 0){
    if(magyf > 0){i <- 90 - atan2(magyf,magxf) * (180 / pi)}
    if(magyf < 0){i <- 360 - atan2(-magyf,magxf) * (180 / pi)}
  }
  if(magxf < 0){
    if(magyf < 0){i <- 270 - atan2(-magyf,-magxf) * (180 / pi) }
    if(magyf > 0){i <- 180 - atan2(magyf,-magxf) * (180 / pi)}
  }
}
#vypocet pro osu Y smerujici na sever
if(oS=='y'){
  if(magxf > 0){
    if(magyf > 0){i <- atan2(magyf,magxf) * (180 / pi)}
    if(magyf < 0){i <- 180 - atan2(-magyf,magxf) * (180 / pi)}
  }
}

```

```

if(magxf < 0){
  if(magyf < 0){i <- 270 - atan2(-magyf,-magxf) * (180 / pi) }
  if(magyf > 0){i <- 360 - atan2(magyf,-magxf) * (180 / pi)}
}}
i <- as.integer(i)
c <- as.numeric(i)
#zapis vypoctenych azimutu (cele stupne) a sumarizace stejných azimutu
h <- which(c == azimutRAW[1,])
azimutRAW[2,h] = azimutRAW[2,h] + 1
}}
#vraci matrix obsahující azimut a k nemu pocet zaznamu
if(v == 's'){return(azimutRAW)}
#vraci graf
if(v == 'g'){
gg = max(azimutRAW[2,])
ggradar( azimutRAW, values.radar = c("0%", "50%", "100%"), grid.min = 0, grid.mid
= gg/2,
        grid.max = gg, plot.legend = FALSE, axis.label.offset = FALSE,
group.line.width = 2, group.point.size = 2, group.colours = "red")
}}

```