

УДК 528.526.6+528.022.62

Ярослав ЛОПАТИН^{1*}, Вільгельм ГЕГЕР²

¹ Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, *тел. +38(066)3897993, е-пошта: y.lopatin95@gmail.com.

² Факультет ландшафтних наук та геоматики, Вища школа Нойбранденбурга, 2, Бродаер штр., Нойбранденбург, 17033, Німеччина.

<https://doi.org/10.23939/istcgcap2021.93.005>

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ У МЕХАНІЧНОМУ ГІРОКОМПАСІ

Мета роботи полягає у розробці автоматизованої вимірювальної системи в механічному гірокомпасі за допомогою спеціально розробленого апаратного та програмного забезпечення для того, щоб полегшити експлуатацію приладу та мінімізувати похибки спостерігача. Розроблений комплекс передбачає автоматизацію лише для часового методу, оскільки для методу поворотної точки необхідно постійно контактувати з навідним гвинтом тахеометра. В основі проекту стоїть інтегрована система, апаратна частина якої містить одноплатний комп'ютер, камеру та об'єктив, а в основні програмного забезпечення – розроблений алгоритм розпізнавання руху із застосуванням технологій обробки зображення. Цей алгоритм створений за допомогою мови програмування Python та Computer Vision бібліотеки з відкритим початковим кодом OpenCV. За допомогою апаратної частини отримується відеозображення відлікової шкали гіроскопа, а за допомогою програмного забезпечення на цьому зображенні ідентифікується рухомий світловий індикатор та його позиція відносно шкали. Результатом дослідження є функціонуюча автоматична система вимірювання, яка визначає значення азимута напрямку з такою ж точністю, що й мануальні вимірювання. Система керується дистанційно за допомогою комп'ютера через wi-fi-мережу. Для перевірки системи проведено серію автоматичних та мануальних вимірювань, які виконувались одночасно в одному й тому самому пункті для одного й того ж напрямку. На основі отриманих результатів можна стверджувати, що точність системи є в межах, зазначених виробником приладу для мануальних вимірювань. Застосування технології комп'ютерного зору, а саме відстеження рухомого об'єкта на зображенні для гіроскопічних вимірювань може дати відчутний поштовх у питанні розробки систем автоматизації вимірювань для широкого спектра вимірювальних приладів, що в свою чергу може призвести до покращення точності результатів вимірювання. Розроблена система може застосовуватись разом із гірокомпасом GyroMax AK-2M фірми GeoMessTechnik для проведення автоматизованих вимірювань, навчання нових операторів. За допомогою розробленої моделі можна уникнути грубих похибок спостерігача, полегшити процес вимірювання, який не вимагатиме постійної присутності оператора біля приладу. В деяких небезпечних умовах це є суттєвою перевагою.

Ключові слова: автоматизація, гіроскоп, computer vision, відстеження руху, обробка зображення

Вступ

Основною метою автоматизації вимірювань є усунення з цього процесу людини, тим самим виключаючи можливість появи похибок спостерігача, випадкових ударів та поштовхів приладу, невірних зчитувань показників. Ідея розробки автоматизаційних систем для вже існуючих механічних гірокомпасів виникла на початку 2000-х, коли почало з'являтися потужне програмне забезпечення та інструменти програмування. У [Wetherelt & Hunt, 2002] описано розробку «електронне око» для гірокомпасу Wild GAK1. Ця система складається з сенсора,

який конвертує світло у напругу, і передає ці дані до блоку формування сигналів та зв'язку. Під час руху світлового індикатора гіроскопа сенсори перетворюють отримані дані про кількість світла у напругу і передають розташування стрічки гіроскопа на шкалі до комп'ютера. Недоліком цієї системи є дротова передача даних через COM-кабель на комп'ютер.

У попередній роботі автора [Heger, et al., 2019] була спроба використати лінійну камеру в якості давача руху, який конвертував інтенсивність світла у сигнал напруги і був під'єднаний до одноплатного комп'ютера, що дозволило пе-

редавати дані бездротовим шляхом. Однак, розміри і формат лінійного сенсора не дозволили реалізувати цю розробку в робочу систему.

На жаль, інформація про подібні дослідження більше не зустрічається у відкритому доступі, або такі розробки настільки маловідомі, що вони не публікуються у періодичних виданнях. Але дослідження і розробка автоматичних гіроскопічних систем активно проводяться з використанням мікроелектромеханічних (MEMS) [Johnson, et al., 2010], опто-волоконних (FOG) [Sun, et al., 2010] та кільцевих лазерних гіроскопів (RLG) [Juang & Radharamanan, 2009]. У праці [Barbour & Schmidt, 2001] автори висвітлили всі гіроскопічні технології, які були поширеними на початку 2000-х. Також існують доволі нестандартні розробки, які базуються на зовсім інших принципах гіроскопа. Наприклад, маглев гіроскоп [Zhen, et al., 2013], коріолісовий вібраційний гіроскоп (CVG) [Parent, et al., 2007].

Повертаючись до традиційних підвісних гірокомпасів, на ринку вже давно існують моделі з автоматичним вимірюванням. Найбільш відомими є прилади Гуго Х ІІ від SOKKIA та GYROMAT від DMT, котрий зарекомендував себе на практиці, як один із найкращих у світі [Heister & Liebl, 2016]. В той же час, вони залишаються найдорожчими приладами, і є недоступними для більшості підприємців та клієнтів. Саме цей факт і є основним інтересом в

автоматизації вже існуючих механічних гірокомпасів. Її ціллю є зменшити вартість приладів та збільшити їхню надійність.

Мета

Метою цього дослідження є розроблення автоматизованої системи вимірювання, яка буде виконувати азимутальні вимірювання без втручання оператора, що своєю чергою полегшить експлуатацію гірокомпаса, а також дозволить уникнути грубих похибок спостерігача.

Методологія

Ідея автоматизації базується на делегуванні процесу реєстрації світлового штриха гіроскопа на вимірювальній шкалі одноплатному комп'ютеру, до якого під'єднана відеокамера (рис. 1). Для звичайних азимутальних вимірювань механічним гірокомпасом оператору потрібно власноруч стежити за рухом світлового індексу на шкалі, записувати його крайні положення і час проходження індексу через нуль-пункт шкали. За допомогою відеотрансляції та Computer Vision-алгоритмів можна розробити пристрій, який буде відстежувати рух світлового штриха на зображенні і визначати його координати. За допомогою одноплатного комп'ютера може бути встановлений бездротовий зв'язок і контроль вимірювань на відстані.

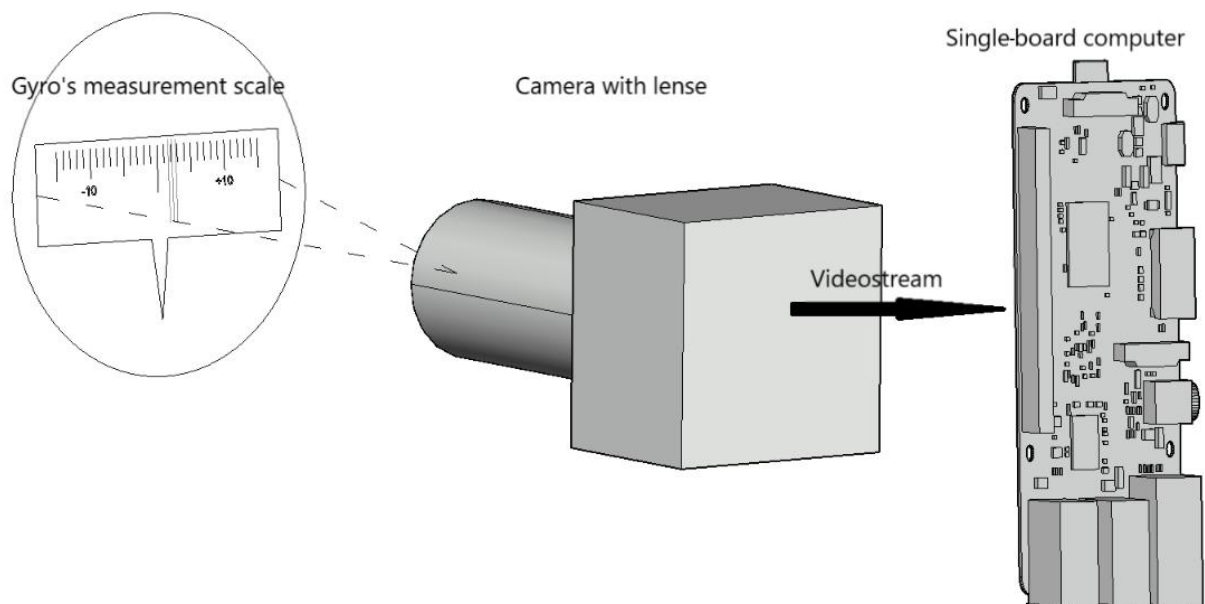


Рис. 1. Схематичне представлення розроблюваної моделі

Для реалізації проєкту вирішено використати одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4, камеру від цього ж виробника – Raspberry Pi High-Quality Camera з 12,3 мегапікселями, а також об'єктив Tamron 16 мм. Через низьку вартість і досить якісне зображення ця камера широко використовується в наукових дослідженнях у різних галузях [Cuciuc, 2018; Dinesh & Bhaskar, 2020; Albert & Surducun, 2017].

Для того, щоби розташувати вимірювальну шкалу точно посередині зображення об'єктива, на 3D-принтері розроблено спеціальний корпус, за допомогою якого камера під'єднується до байонету гірокомпаса (див. рис. 2). Корпус має два отвори, через які можна регулювати фокус та апертуру об'єктива. Горизонтальне положення модуля регулюється за допомогою зображення, що відображається на екрані комп'ютера, дані на який передаються бездротовим шляхом. Оскільки через прикріплену камеру окуляр гірокомпаса тепер недоступний для спостережень, мотор гіроскопа може бути вивільнений таким самим способом, але рух світлового штриха тепер контролюється на зображенні екрана комп'ютера.

Для подальших операцій над зображенням і можливістю відстежувати рух на ньому використані інструменти computer vision бібліотеки OpenCV [Gollapudi, 2019] для мови програмування Python. Це потужний інструмент для роботи з зображеннями, зокрема для відстеження руху і всіх видів трансформації зображення.

Для того, щоби отримати позицію світлового штриха на шкалі, спочатку потрібно прив'язати

вимірювальну шкалу до системи координат зображення. Оскільки з кожним під'єднанням модуля камери до байонета гіроскопа позиція камери трохи зміщується по відношенню до вимірювальної шкали, вирішено прийняти крайній лівий індекс на шкалі (-15) за початок. Усі індекси шкали можуть бути розпізнані як окремі об'єкти на зображенні за допомогою порогової функції, яка змінює значення інтенсивності для кожного окремого пікселя на або 0 або 255, залежно від того, чи оригінальне значення інтенсивності було більше, чи менше від порогового значення. Інакше кажучи, це називається бінарним зображенням (рис. 3), яке складається лише з двох кольорів. За допомогою такого перетворення легше виявити окремі об'єкти на зображенні. Відстань між крайнім лівим (-15) та крайнім правим (+15) індексами становить приблизно 600 пікселів (рис. 4). Відстань між сусідніми штрихами становить від 19 до 21 пікселя. Таке невелике розходження наявне через різну товщину чорних ліній шкали, а також через роздільну здатність камери. Індикатор стрічки гіроскопа займає 3 пікселі в ширину. Тому середній ряд пікселів можна прийняти за центр індикатора. У випадку звичайних спостережень вимірювальної шкали, простір між двома сусідніми штрихами можна умовно розділити на 10 частин. За допомогою камери такий самий сегмент може бути розділений на 20 частин. Це означає, що позиція індекса стрічки гіроскопа може бути визначена до 0,05 значень вимірювальної шкали.

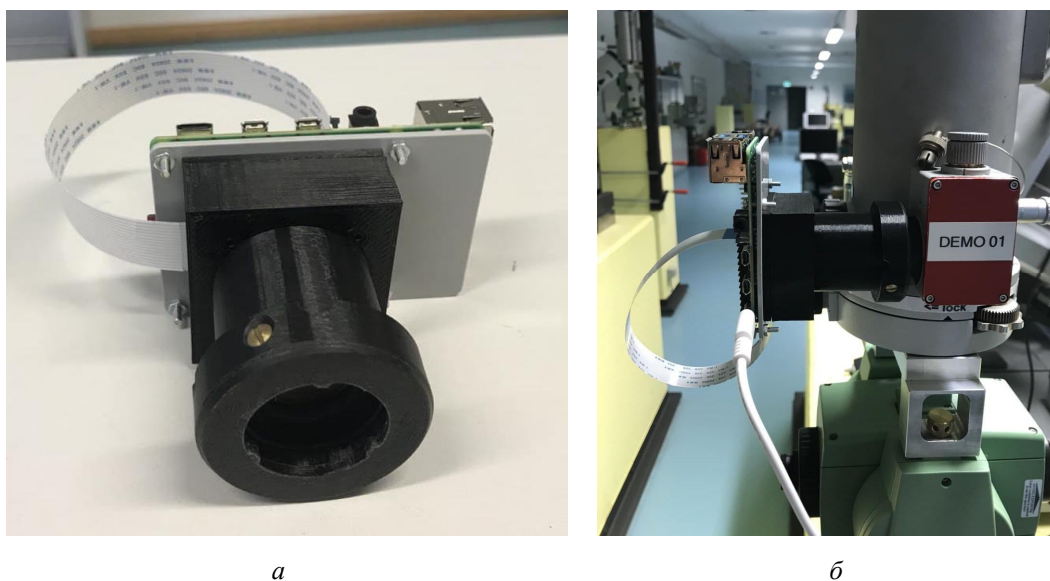


Рис. 2. Модуль камери у пластиковому корпусі: а – від'єднаний; б – під'єднаний до гіроскопа

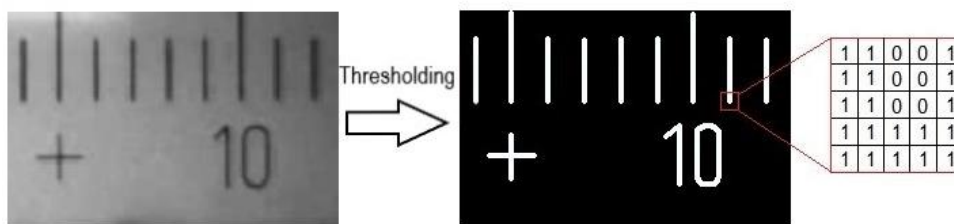


Рис. 3. Трансформація вихідного зображення у бінарне

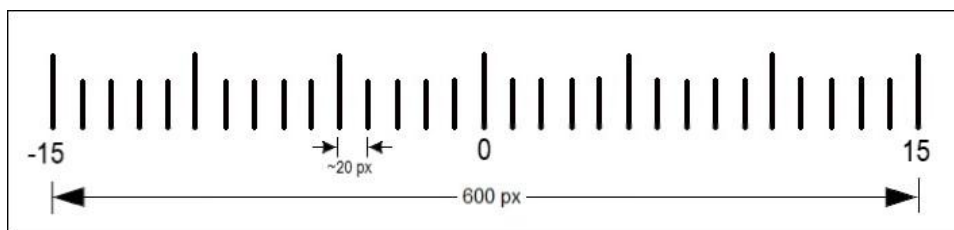


Рис. 4. Схематичне представлення вимірювальної шкали на відеозображенні

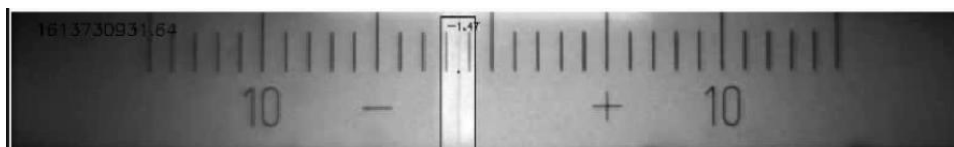


Рис. 5. Алгоритм відстежування руху на екрані

Основа алгоритму розпізнавання руху полягає у порівнянні референсного зображення шкали гіроскопа, де світловий індикатор відсутній зовсім із усіма послідовними кадрами відеотрансляції, на яких світловий індикатор присутній. Знайшовши абсолютну різницю між двома наборами даних (тобто зображеннями), можна визначити де саме вони відрізняються. А відрізняються вони тільки у тій області зображення, де присутній світловий індикатор. Тепер позиція світлового індикатора на зображенні може бути визначена. Чорна рамка на рис. 5, що оточує світловий штрих, є результатом роботи алгоритму, а чорна крапка посередині показує позицію індексу стрічки гіроскопа.

Тепер є можливість відстежувати рух індексу стрічки гіроскопа у цифровому вигляді і визначати його крайні положення на шкалі, а також записувати час проходження індексу стрічки гіроскопа через нуль-пункт шкали. Процедура вимірювання така сама, як і для традиційних вимірювань. Але варто зазначити, що через додаткові короткоперіодичні коливання стрічки гіроскопа дані вимірювання є дещо спотворені, що може вплинути на значення поворотних точок і точний час проходження

повз нуль-пункт шкали. Тому для фільтрування даних і згладження вимірюваної синусоїди застосовано фільтр Савицького-Голая.

Результати

Для того, щоб перевірити точність і надійність розробленої системи, проведено кілька серій автоматичних і мануальних вимірювань. Паралельно з автоматичним записом даних руху індикатора стрічки гіроскопа проведені мануальні вимірювання, візуально спостерігаючи рух індексу стрічки гіроскопа на екрані комп'ютера, на який транслювалось відеозображення з камери. Всі вимірювання проведені на одному стовпі для однієї цілі. Дані мануальних і автоматичних вимірювань подані у табл. 1 і 2. Аналізуючи отримані дані, можна помітити, що різниця у СКП між мануальним і автоматичним методами становить 2 мілігони, що у градусному еквіваленті рівне приблизно шести секундам. Різниця середнього значення азимута серії вимірювань становить 3 мілігони, що у градусному еквіваленті рівне приблизно 10 секундам. Виробник випробовуваної моделі гіроскопа АК-2М заявляє про точність визначення азимуту 6 мілігон або 20 секунд.

Таблиця 1

Серія мануальних вимірювань

No	z	N'1	dt1	dt2	a1	a2	dN1	dN2	Azi(raw)	Azi(corr.)	V	diff of dN _{1/2}
	gon	gon	s	s	gon	gon	gon	gon	gon	gon	gon	gon
1	79,387	181,550	-0,08	2,15	3,98	3,90	0,000	0,006	297,834	297,843	-0,003	-0,006
2	79,387	181,549	-0,71	1,32	3,00	3,00	-0,002	0,003	297,837	297,843	-0,003	-0,004
3	79,388	181,552	1,10	0,55	3,53	3,50	0,003	0,001	297,834	297,843	-0,003	0,001
4	79,388	181,554	-3,03	-2,14	2,30	2,40	-0,005	-0,004	297,839	297,841	-0,001	-0,001
5	79,388	181,554	0,43	-1,36	3,80	3,80	0,001	-0,004	297,836	297,845	-0,005	0,005
6	79,388	181,554	0,55	-2,10	2,03	2,03	0,001	-0,003	297,835	297,841	-0,001	0,004
7	79,388	181,554	1,29	3,74	3,15	3,15	0,003	0,009	297,828	297,837	0,003	-0,006
8	79,387	181,552	4,14	7,91	2,10	2,10	0,006	0,012	297,826	297,835	0,005	-0,006
9	79,388	181,554	0,05	3,60	2,00	2,00	0,000	0,005	297,832	297,843	-0,003	-0,005
10	79,388	181,553	-4,02	3,58	2,18	2,10	-0,006	0,006	297,836	297,841	-0,001	-0,012
11	79,388	181,554	7,65	8,52	1,78	1,73	0,010	0,011	297,824	297,833	0,007	-0,001
12	79,387	181,552	4,71	7,32	1,55	1,50	0,005	0,008	297,829	297,840	0,000	-0,003
13	79,388	181,552	4,20	3,39	2,65	2,65	0,008	0,007	297,828	297,837	0,003	0,002
14	79,388	181,552	5,47	1,69	3,15	3,10	0,013	0,004	297,827	297,837	0,003	0,009
										mean	297,840	gon
										sdev	0,003	gon

Таблиця 2

Серія автоматичних вимірювань

No	z	N'1	dt1	dt2	a1	a2	dN1	dN2	Azi(raw)	Azi(corr.)	V	diff of dN _{1/2}
	gon	gon	s	s	gon	gon	gon	gon	gon	gon	gon	gon
1	79,387	181,550	-1,95	0,42	3,99	3,87	-0,006	0,001	297,840	297,848	-0,005	-0,007
2	79,387	181,549	-1,16	0,75	3,01	3,01	-0,003	0,002	297,838	297,844	-0,001	-0,004
3	79,388	181,552	0,18	-0,60	3,55	3,54	0,000	-0,002	297,837	297,846	-0,003	0,002
4	79,388	181,554	-6,82	-3,50	2,40	2,45	-0,012	-0,006	297,843	297,845	-0,002	-0,006
5	79,388	181,554	-1,29	-2,18	3,78	3,78	-0,004	-0,006	297,839	297,849	-0,006	0,002
6	79,388	181,554	-5,55	-7,39	2,07	2,07	-0,008	-0,011	297,844	297,848	-0,005	0,003
7	79,388	181,554	-1,07	-0,17	3,16	3,09	-0,002	0,000	297,835	297,843	0,000	-0,002
8	79,387	181,552	3,71	4,79	2,12	2,09	0,006	0,007	297,829	297,837	0,006	-0,002
9	79,388	181,554	-3,01	0,12	2,02	2,00	-0,004	0,000	297,837	297,846	-0,003	-0,005
10	79,388	181,553	-4,56	-2,48	2,18	2,11	-0,007	-0,004	297,841	297,846	-0,003	-0,003
11	79,388	181,554	6,41	6,35	1,75	1,69	0,008	0,008	297,826	297,834	0,009	0,000
12	79,387	181,552	5,21	5,34	1,56	1,48	0,006	0,006	297,830	297,838	0,005	0,000
13	79,388	181,552	2,77	1,65	2,65	2,64	0,005	0,003	297,831	297,840	0,003	0,002
14	79,388	181,552	4,65	1,06	3,20	3,10	0,011	0,002	297,829	297,838	0,005	0,009
										mean	297,843	gon
										sdev	0,005	gon

Аналізуючи різницю у значеннях азимута між мануальними і автоматичними вимірюваннями на рис. 4, можна побачити, що значення азимута, отримане автоматичним методом, майже завжди більше від значення, отриманого мануальним методом. Щоби зрозуміти причину такого постійного відхилення в одну сторону, необхідно проаналізувати величини $dt1$ та $dt2$, які є часовими різницями між правими та лівими півколиваннями стрічки гіроскопа (рис. 5 та 6). Вони найбільше впливають на кінцеве

значення азимута. З графіків видно, що часові різниці $dt1$ та $dt2$ є майже завжди більшими для мануальних вимірювань. Це може означати, що позиція світлового індексу гіроскопа, при якому записується часова мітка, не співпадає з нуль-пунктом шкали через сильні коливання стрічки гіроскопа.

Однак, отриманий результат має прийнятну точність. Цей нюанс залишає місце для вдосконалення алгоритму вимірювання і, можливо, покращення точності визначення азимута.

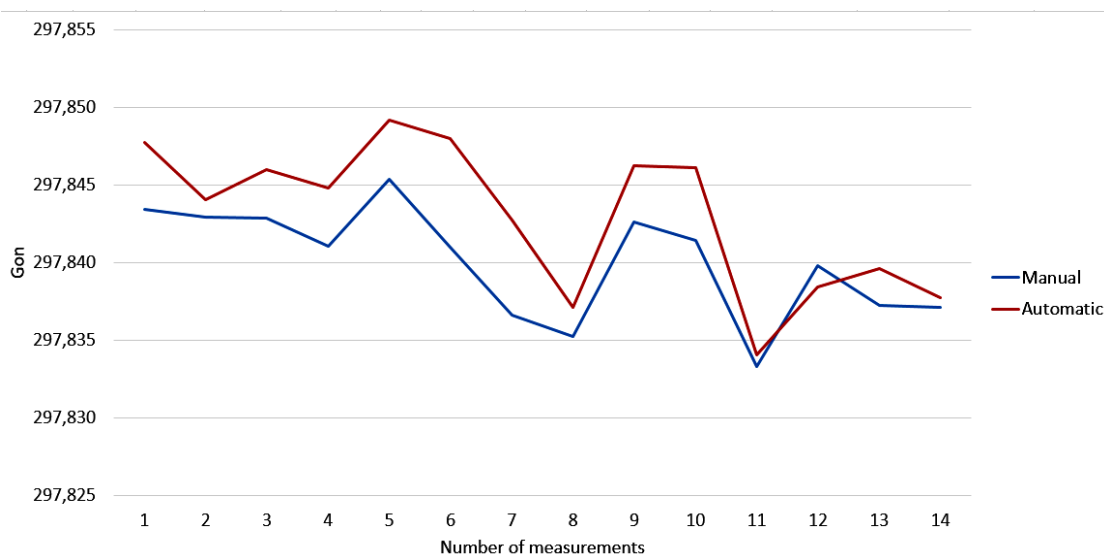


Рис. 6. Порівняння значень азимутів між мануальними та автоматичними вимірюваннями (гон)

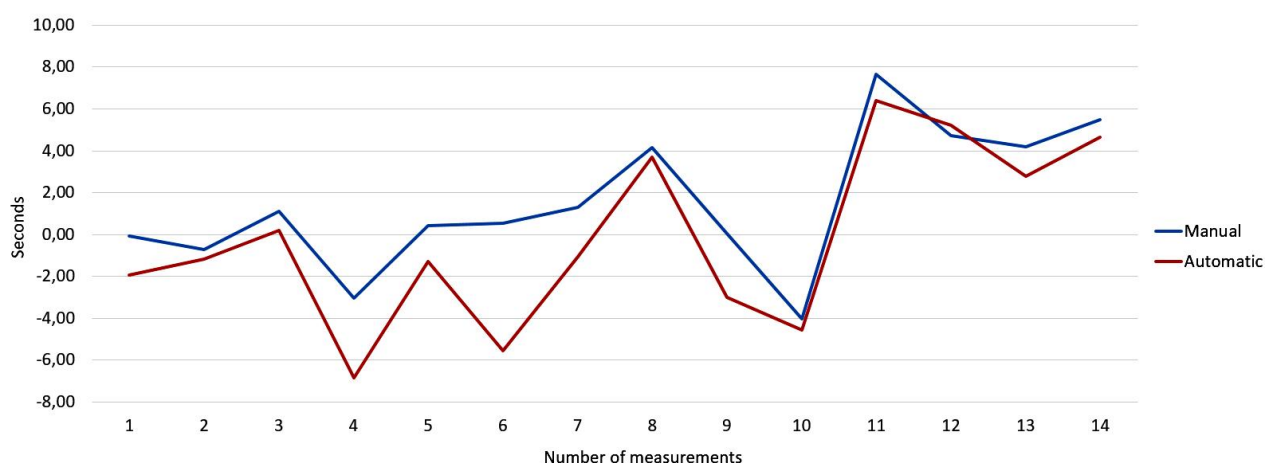


Рис. 7. Порівняння значень $dt1$ між мануальними та автоматичними вимірюваннями

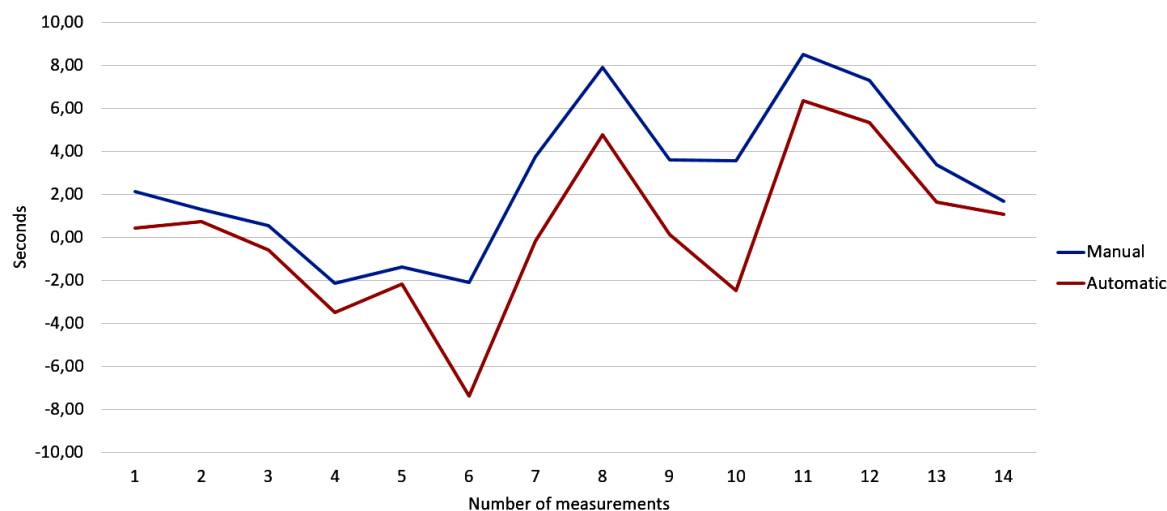


Рис. 8. Порівняння значень dt_2 між мануальними та автоматичними вимірюваннями

Наукова новизна та практичне значення

Удосконалено процес визначення азимуту в гіроскопі. Це було реалізовано за допомогою розробленого знімного модуля автоматизації вимірювань із залученням технології обробки зображень. Це відкриває можливості для вдосконалення вже існуючих старих моделей гірокомпасів, а також подальшу розробку моніторингових гіроскопічних систем.

Щодо практичного значення, то розробленими модулями автоматизації вимірювань можна обладнати існуючі моделі гіроскопів АК-2М, що вдосконалив їхню привабливість на ринку приладів та полегшить їхню експлуатацію.

Висновки

Використовуючи одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4, камеру Raspberry Pi HQ та об'єктив Tamron 16 мм, розроблено модуль автоматизації вимірювань для гіроскопа моделі GyroMax АК-2М. Розроблена система автоматизації здатна автоматично визначати значення азимута напрямку без втручання оператора. Застосовуючи алгоритми Computer Vision і устаткування для запису і обробки відеозображення, розроблено систему трекінгу, що відстежує рух індексу стрічки гіроскопа по шкалі і записує усі його позиції.

Результати тестових вимірювань показали, що значення азимутів, отримані автоматичним способом, відрізняються від значень азимутів, отриманих механічним способом на 3 мілігони (приблизно 10 секунд). А СКП серії вимірювань автоматичним методом (5 мілігон) є в межах заявленої точності приладу.

Подальші кроки вдосконалення технології можуть полягати в калібруванні алгоритму визначення положення рухомого об'єкта на зображенні, тестуванні різних фільтрів для видалення шуму. Використання камери з більш високою роздільною здатністю дозволить точніше визначити положення індикатора на шкалі, що, своєю чергою, підвищить точність вимірювань. Доречно буде дослідити можливість дистанційного керування роботизованим тахеометром за допомогою одноплатного комп'ютера, який автоматично коригуватиме положення горизонтального круга відповідно до положення індикатора гіроскопічної стрічки. Це б дало можливість автоматизувати також і метод поворотної точки, для якого потрібне постійне коригування горизонтального положення тахеометра.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Хереп В., Тревого І., Лопатін Я. Дослідження оцифрування коливань гіроскопа за допомогою лінійної камери *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2019. Вип. 2(38).
- Albert, S., & Surducu, V. (2017, December). Raspberry Pi camera with intervalometer used as crescograph. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1917, No. 1, p. 030009). AIP Publishing LLC.
- Barbour, N., Schmidt, G. (2001). Inertial sensor technology trends. *IEEE Sensors Journal*, 1(4), 332–339. doi:10.1109/7361.983473.
- Cuciuc, M. (2018). Suitability of the Raspberry Pi camera for cosmic ray detection and measurement. 2018 *IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Proceedings* (NSS/MIC).
- Dinesh, M., Bhaskar, K. B. Smart Highway Accident Alert Using Raspberry Pi Camera. (2020). *Journal of*

- Digital Integrated Circuits in Electrical Devices. Volume-5, Issue-1 (January-April, 2020).
- Gollapudi, S. (2019). OpenCV with Python. *Learn Computer Vision Using OpenCV*, 31–50. doi:10.1007/978-1-4842-4261-2_2.
- Heister, H., Liebl, W. Measurement Uncertainty of Gyro-measurements in the Construction Works of the Gotthard Base Tunnel. The surveyors in the longest tunnel of the world. Special Edition English. Ingenieur-Geometer Schweiz (IGS). 2016.
- Johnson, B. R., Cabuz, E., French, H. B., & Supino, R. (2010). Development of a MEMS gyroscope for northfinding applications. *IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium*. doi:10.1109/plans.2010.5507133.
- Juang, J., Radharamanan, R. Evaluation of Ring Laser and Fiber Optic Gyroscope Technology. *Proceedings of the American Society for Engineering Education*, Middle Atlantic Section ASEE Mid-Atlantic Fall 2009 Conference; King of Prussia, PA, USA. 23–24 October 2009
- Parent, A., Le Traon, O., Masson, S., & Le Foulgoc, B. (2007). A Coriolis Vibrating Gyro Made of a Strong Piezoelectric Material. *2007 IEEE Sensors*. doi:10.1109/icsens.2007.4388541.
- Sun, H., Zhang, F., & Li, H. (2010). Design and implementation of Fiber Optic Gyro north-seeker. *2010 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*.
- Wetherelt, A., Hunt, P. Underground Azimuth Determinations Using an Adapted Wild GAK1. *Survey Review* 37(294):592-603, October 2004.
- Zhen, S., Zhiqiang, Y., Zhe, Z. Study on Automatic North-Seeking Key Technologies of Maglev Gyroscope. *The Open Mechanical Engineering Journal*, 2013, 7, 83–89.

YAROSLAV LOPATIN^{1*}, WILHELM HEGER²

¹ Department of Higher Geodesy and Astronomy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine, *tel +38(066)3897993, e-mail: y.lopatin95@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2194-4214>.

² Faculty of Landscape Sciences and Geomatics of Neubrandenburg University of Applied Sciences, 2, Brodaer Str., Neubrandenburg, 17033, Germany.

AUTOMATION OF THE MEASUREMENT PROCEDURE IN THE MECHANICAL NORTH-SEEKING GYROSCOPE

The aim of the work is to develop an automated measuring system in a mechanical gyrocompass with the help of specially developed hardware and software in order to facilitate the operation of the device and minimize observer errors. The developed complex provides automation only for the time method, as for the method of the turning point it is necessary to constantly contact the motion screw of the total station. The project is based on an integrated system, the hardware part of which contains a single-board computer, camera, and lens. The main software is a developed motion recognition algorithm with the help of image processing. This algorithm was created using the Python programming language and the open-source computer vision library OpenCV. With the help of the hardware, a video image of the gyroscope's reference scale is obtained, and with the help of the software, the moving light indicator and its position relative to the scale are identified in this image. The result of the study is a functioning automatic measurement system, which determines the value of the azimuth of the direction with the same accuracy as manual measurements. The system is controlled remotely via a computer and wi-fi network. To test the system, a series of automatic and manual measurements were performed simultaneously at the same point for the same direction. Based on the results obtained, it can be stated that the accuracy of the system is within the limits specified by the manufacturer of the device for manual measurements. The application of computer vision technology, namely the tracking of a moving object in the image for gyroscopic measurements can give a significant impetus to the development of automation systems for a wide range of measuring instruments, which in turn can improve the accuracy of measurement results. The developed system can be used together with the Gyromax AK-2M gyrocompass of GeoMessTechnik for carrying out automated measurements, training of new operators. With the help of the developed model, it is possible to avoid gross errors of the observer, to facilitate the measurement process which will not demand the constant presence of the operator near the device. In some dangerous conditions, this is a significant advantage.

Key words: automation, gyroscope, computer vision, motion detection, image processing.

Надійшла 23.04.2021 р.