



ОПРЕДЕЛЯНЕ ОРИЕНТАЦИЯТА НА ОБЕКТ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДИФЕРЕНЦИАЛЕН ФАЗОВ МЕТОД

**Емил Йончев, Росен Милетиев, Тодор Тодоров,
Рашко Владимиров, Лъчезар Христов**
iontchev@vtu.bg, miletiev@tu-sofia.bg, t.todorov@valbis.com,
rashko_vlad@abv.bg, Lachezar.Hristov@outlook.com

*Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”,
ул. “Гео Милев”, 158, София 1574
Технически Университет – София, бул. “Кл. Охридски” 8
Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”,
ул. “Гео Милев”, 158, София 1574
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** RTK подвижна база, навигационен приемник, глобална навигационна спътникова система*

***Резюме:** В статията е представено изследване за определяне на точността и прецизността на ориентацията на обект, при използване на диференциалния фазов метод - кинематичен метод в реално време (Real-time kinematic (RTK)) с подвижна база. За реализиране на метода са използвани два навигационни приемника ZED-F9P. Дължината на базовата линия между двата приемника както и нейната ориентация спрямо северния полюс се изчисляват от базовото програмно осигуряване на навигационните приемници. Относителната ориентация се получава и в местната координатна система север-изток-надолу. Получените резултати се предават по интерфейс към платформата за разработване и развитие u-center на фирмата u-blox. С нея се извършват настройките на приемниците, комуникацията между тях и записа на данните по време на експеримента. Впоследствие събраните данни са обработени в средата Матлаб за оценяване на точността и прецизността на относителната позиция и курса на обекта.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Определяне на ориентацията на обект, е задача която трябва да бъде решена в много области на човешкия живот. Тя е особено актуална при съвременните автономни транспортни средства, където е необходимо с висока скорост и точност да се определя позицията и ориентацията им [1]. При навигацията на пешеходец на открито и закрито [2]. За следенето на отклоненията в конструкцията на сгради и строителни съоръжения отдавна се използват високо точни инклинометри и тотални станции [3, 4]. Те обикновено измерват наклона, по една или две оси и се характеризират с висока точност и цена [5]. Често високоточните инклинометри работят съвместно с навигационни приемници, което позволява да се определи по-пълна картина за

процесите, които се случват в изследвания обект [6,7]. Тази комбинация повишава и надеждността, наличността и готовността на системата.

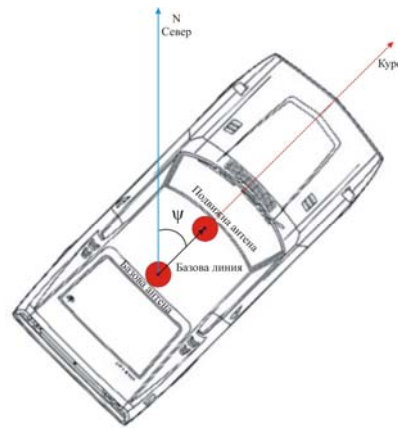
Съществуват различни методи за определяне курса на обект, които се реализират с различни технически средства и технологии[8].

В статията е представено изследване за определяне на точността, прецизността и чувствителността, при промяна ориентацията на статичен обект. Използван е диференциалния фазов метод - Real-time kinematic (RTK) с подвижна база. Пояснен е метода, необходимите настройки на навигационните приемници, както и основните зависимости използвани при изчисленията на ориентацията на обекта. Разработени са програми за обработване на данните и визуализация на получените резултати.

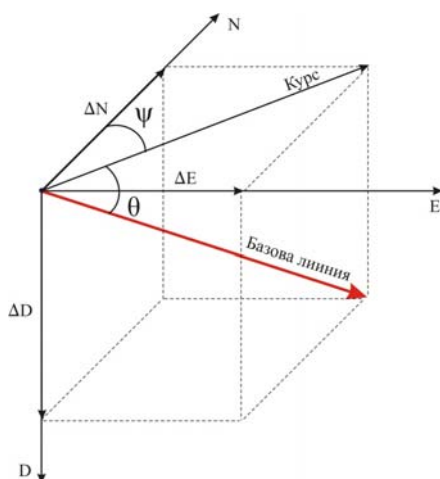
КИНЕМАТИЧЕН МЕТОД В РЕАЛНО ВРЕМЕ (RTK) С ПОДВИЖНА БАЗА

В повечето RTK приложения референтният приемник остава неподвижен на известно място, а подвижният приемник се движи. При RTK с подвижна база и референтния и подвижния приемник могат да се движат [9].

Положението на подвижният навигационен приемник(НП) се определя спрямо базовия. като за целта двата НП работят в диференциален фазов метод. На база на измервания на двата НП се изчисляват корекции, които се използват за фиксиране на броя цели цикли на носещата честота в реално време и определяне на дължината на базовата линия със сантиметрова точност. Този режим позволява да се изчисли и курса(азимута) ψ между двете антени, фигура 1. Абсолютната позиция на антените на НП зависи от точността на използваната услуга за позициониране (автономна, VRS, DGPS или SBAS). Базовото програмно осигуряване на НП определя и координатите на базовата линия, в местна координатна система север-изток-надолу (NED), фигура 2. Те може да бъдат използвани за определяне на относителната ориентация на обект, към който е закрепена антената на единия от двата НП.



Фиг. 1. RTK с подвижна база



Фиг. 2. Базовата линия в координатна система NED

От определените координати е възможно да се изчислят два от ъглите описващи ориентацията на обекта[10]. Ъгълът на курса се изчислява с израза 1.1:

$$(1.1) \quad \psi = \arctg \frac{\Delta E}{\Delta N} [\text{rad}]$$

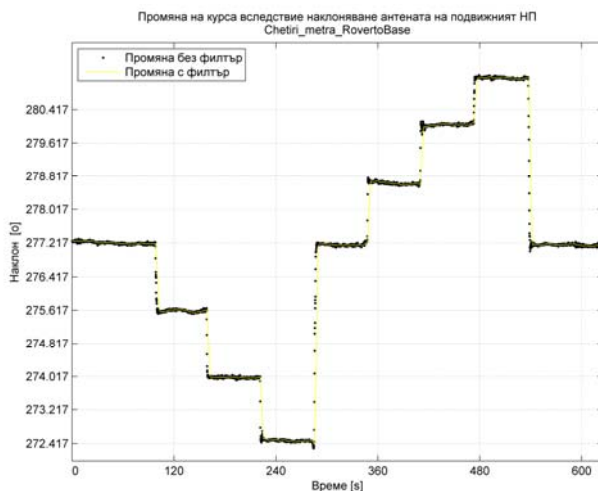
Където ΔE и ΔN са измененията на координатите на базовата линия. За определяне на нейният наклон θ (който се получава при завъртане около оста E) се използва нейната дължина $\sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta N)^2}$ и изменението във височина ΔD . Получените данни се заместват в израза 1.2:

$$(1.2) \quad \theta = \arctg \frac{\Delta D}{\sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta N)^2}} [\text{rad}]$$

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

За експериментално определяне на чувствителността, точността и прецизността на ориентацията на обект, са направени опити при използване на опитната постановка показана на фигура 3. Използвани са навигационни приемници ZED-F9P на фирмата u-blox. Те могат да работят в няколко честотни ленти, в които са разположени навигационни сигнали от четирите глобални навигационни спътникови системи. Честотата на получаване на навигационните съобщения е избрана да бъде 8Hz.

Аntenите на двата НП са разположени на еднаква височина от земната повърхност. Разстоянието между тях е променяно през два метра. На всяка нова позиция, антената на подвижния НП е наклонявана посредством уред описан в статия [11]. Наклонът е променян от начално нулево положение, през десет градуса, до тридесет градуса. След достигането им, антената е връщана в изходно положение. След което по същият начин е наклонявана в другата посока. Във всяка позиция антената е престоявала по една минута. Двата НП са настроени в режим RTK подвижна база, посредством платформата u-center на фирмата u-blox. При конкретните опити връзката между навигационните приемници, предвид статичните измервания, е избрана да бъде жична. Чрез нея се предават RTCM съобщения необходими за определяне на относителната позиция на двата НП. От u-center са избрани да се записват съобщения, които дават информация за курса на базовата линия, нейната дължина и координатите ѝ в местната координатна система NED. Избрано е да се записват и абсолютните координати на антените на НП в координатната система Earth-centered, Earth-fixed (ECEF) на съответната навигационна система. Данните са записвани във файл, който впоследствие може да бъде възпроизведен отново в u-center и да се визуализират и обработят желани параметри от измерването.



Фиг. 4. Действителна стойност на курса

при разстояние между антените четири метра. Представени са две графики на курса. В жълто е показана графиката на курса при прилагане на филтър с пълзящо средно върху получените данни. Избрано е осредняването на данните да бъде върху тридесет отчета. В черно е курса без допълнителна обработка върху данните. Стойностите на курса при различни стойности на наклоняване на антената на НП и различни разстояния между антените на НП, са показани в таблица 1.



Фиг. 3. Схема на опитната постановка

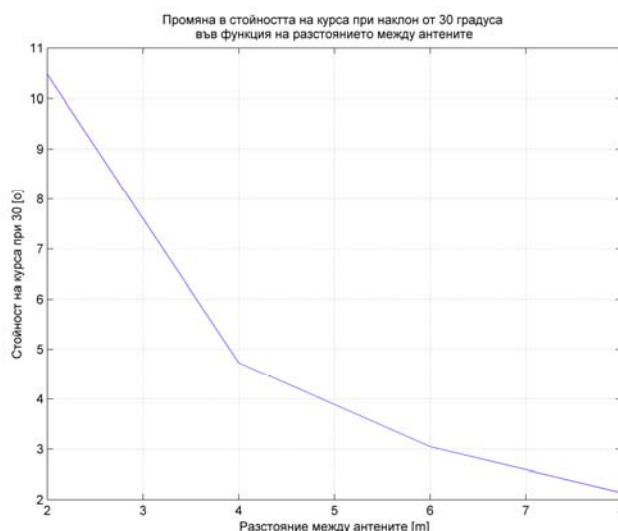
За получаване на относителна стойност на курса при различните положения, от действителната му стойност е извадена осреднена стойност получена от първите 800

Таблица 1

Наклоняване в градуси	Посока на наклоняване			
	наляво		надясно	
	Стойност в дадената позиция в градуси	Разлика спрямо началното положение	Стойност в дадената позиция в градуси	Разлика спрямо началното положение
Разстояние между антените 2 метра				
0	0,01594	0	0,07768	0
10	-3,276	3,29194	3,061	2,98332
20	-6,719	6,73494	5,354	5,27632
30	-10,46	10,47594	7,544	7,46632
Разстояние между антените 4 метра				
0	0,01515	0	0,04614	0
10	-1,578	1,59315	1,439	1,39286
20	-3,194	3,20915	2,877	2,83086
30	-4,713	4,72815	3,976	3,92986
Разстояние между антените 6 метра				
0	-0,00956	0	-0,05176	0
10	-1,08	1,07044	1,005	0,95324
20	-2,057	2,04744	1,863	1,81124
30	-3,057	3,04744	2,688	2,63624
Разстояние между антените 8 метра				
0	0,2577	0	0,2865	0
10	-0,4953	0,753	1,023	0,7365
20	-1,199	1,4567	1,654	1,3675
30	-1,879	2,1367	-	-

отчета, във всяко нулево положение. Чувствителността е параметър, който оценява промяната в стойността на курса в резултат на промяна в наклона на антената на НП и разстоянието между тях. Промяната ѝ при наклон от 30° на антената на НП, във функция на разстоянието между антените, е представено във вид на графика на фигура 5.

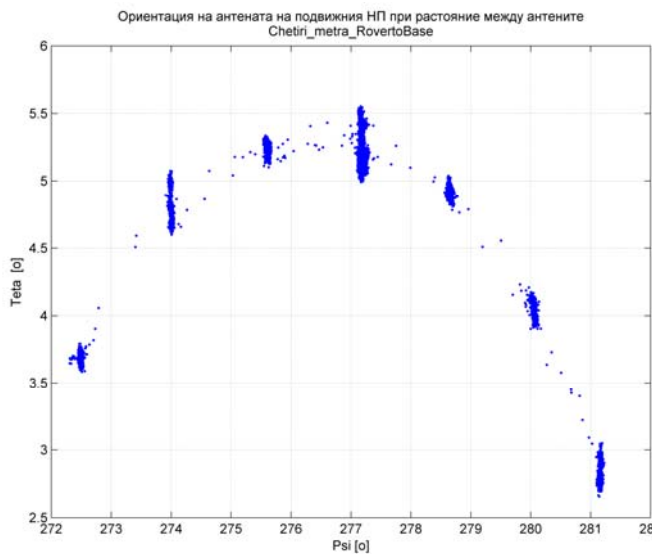
За прецизността и точността на получаваните данни по време на измерванията може да се добие представа от големината на площта на областите от резултати, в съответната позиция. На фигура 6 е показана ориентацията на наклоняваната антена на НП, представена с наклона на базовата линия (θ) и курса (ψ), при разстояние два метра. Точността на определяне на курса при еднакво наклоняване на антената, може да бъде определена и количествено с данните от таблица 1.



Фиг. 5. Промяна на курса във функция на разстоянието между антените

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати от проведените изследвания за определяне на точността, прецизността и чувствителността при определяне на ориентацията на обект с



Фиг. 6. Ориентация на наклоняваната антена на НП

използване на метода RTK с подвижна база, потвърждават потенциала на метода за неговото използване в различни области на човешката дейност. Чувствителността, с която се отчита наклона на антената зависи от разстоянието между антените. Това дава възможност тя да бъде повишена, като се избере оптималното възможно разстояние между антените, в зависимост от конкретното приложение. Точността на определяне на ориентацията на обекта при конкретните измервания не е висока. За нейното повишаване е необходимо да бъдат

разработени допълнителни алгоритми при обработката на данните.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Schmalzried Rachel, The Role of RTK in the Autonomous System Sensor Suite, Swift Navigation, 2017, www.swiftnav.com
- [2] Wu Dongjin, Linyuan Xia, Jijun Geng, Heading Estimation for Pedestrian Dead Reckoning Based on Robust Adaptive Kalman Filtering, Sensors 2018, 18(6), 1970; <https://doi.org/10.3390/s18061970>
- [3] Ivanov R., Engineering surveying and deformation surveys, Monograph, Sofia, 2020, ISBN 978-954-12-0272-2
- [4] Green Gordon E., P. Erik Mikkelsen, Deformation Measurements with Inclinometers, Transportation Research Record, Issue Number: 1169, ISSN: 0361-1981
- [5] https://leica-geosystems.com/products/levels/leica-nivel210_220
- [6] Erol Bihter, Evaluation of High-Precision Sensors in Structural Monitoring, Sensors 2010, 10, 10803-10827; doi:10.3390/s101210803, ISSN 1424-8220
- [7] Yuwono B D, Y Prasetyo, Analysis Deformation Monitoring Techniques Using GNSS Survey and Terrestrial Survey (Case Studi: Diponegoro University Dam, Semarang, Indonesia), 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 313 012045
- [8] Gade Kenneth, The Seven Ways to Find Heading, The journal of navigation (2016), 69, 955–970, doi:10.1017/S0373463316000096
- [9] https://receiverhelp.trimble.com/r750-gnss/PositionModes_MovingBaselineRTK.html
- [10] Keong JiunHan, Gérard Lachapelle, Heading and Pitch Determination Using GPS/GLONASS, GPS Solutions, January 2000, doi: 10.1007/PL00012800
- [11] Йончев Емил, Росен Милетиев, Тодор Тодоров, Лъчезар Христов, Емил Михайлов, Определяне ориентацията на обект с инерциален модул и филтър на Калман, Механика, Транспорт, Комуникации, том 20, брой 3/2, 2022 г, статия № 2290, ISSN 1312-3823 (print), ISSN 2367-6620 (online), <https://mtc-aj.com/academic-journal.2022.3.htm>

DETERMINING THE ORIENTATION OF AN OBJECT USING THE DIFFERENTIAL PHASE METHOD

Emil Iontchev, Rosen Miletiev, Todor Todorov,
Rashko Vladimirov, Lachezar Hristov
iontchev@vtu.bg, miletiev@tu-sofia.bg, t.todorov@valbis.com,
rashko_vlad@abv.bg, Lachezar.Hristov@outlook.com

*Todor Kableshkov University of Transport 158, Geo Milev Str., 1574, Sofia
Technical University of Sofia, Faculty of Telecommunications,
8 Kl. Ohridski Blvd, 1000, Sofia,
BULGARIA*

Key words: RTK moving base, navigation receiver, global navigation satellite system

Abstract: This paper presents a study to determine the accuracy and precision of object orientation, using the differential phase method - Real-time kinematic (RTK) with moving base. Two ZED-F9P navigation receivers were used to implement the method. The length of the baseline between the two receivers as well as its orientation relative to the North Pole shall be calculated from the base software of the navigation receivers. The relative orientation is also obtained in the local North-East-Down coordinate system. The results are transmitted via an interface to the u-center development platform of the company u-blox. This is used to set up the receivers, communicate between them and record the data during the experiment. Subsequently, the collected data were processed in the Matlab environment to evaluate the accuracy and precision of the relative position and heading of the object.