

ОПРЕДЕЛЯНЕ ГЕОМЕТРИЯТА НА АВТОМОБИЛНИ ПЪТИЩА С GPS, АКСЕЛЕРОМЕТЪР И ОДОМЕТЪР

**Румен Иванов, Емил Йончев, Петьо Пискулев,
Невена Бабунска-Иванова**

Висше Транспортно Училище "Т. Каблешков"
София, ул. Гео Милев, 158
БЪЛГАРИЯ

Резюме: В доклада са представени теоретичните аспекти на комбиниране на GPS, акселерометър и одометър. С експеримент е показана възможността за автоматизирано определяне на геометричните характеристики на автомобилните пътища, начините за намирането на радиуса на хоризонтални криви и обработката на измерванията.

Ключови думи: геометрия на автомобилен път, GPS, акселерометър, одометър

УВОД

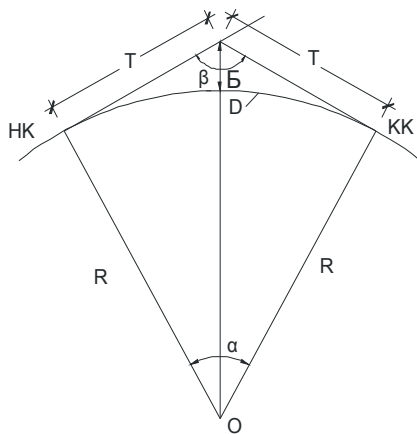
При реконструкция на автомобилни пътища и за избягване на пътно транспортни инциденти е необходимо да бъдат извършени измервания за определяне дължината на правите участъци и радиусът на хоризонталните криви от автомобилният път. Тези измервания се извършват с тотални станции, по флешове и с измервателно колело. Прилагането на подобни методи изисква от оператора да е в близост или в зоната на интензивно автомобилно движение, което ги прави трудни и неудобни за масово приложение.

Използването на навигационни GPS приемници е в състояние да даде автоматично траекторията на движение на превозното средство, преодолявайки с това гореизброените недостатъци на използваните понастоящем методи. Особено внимание трябва да се обърне на RTK OTF GPS/ГЛОНАСС технологията, с която се получава сантиметрова и по-висока точност

при определяне на геометрията на пътя. Тази технология разкрива нови възможности за контролни измервания не само на автомобилният, но и на железният път, тъй като картографирането на железопътните линии с GPS, акселерометър и одометър и отразяването на точната им геометрия е първата стъпка за обезпечаване работата на новото поколение GNSS системи за определяне местоположението на влаковете.

1. ЕЛЕМЕНТИ НА ХОРИЗОНТАЛНА КРИВА

Елементите на хоризонталната крива, с чиято помощ намираме радиусът R от измервания извършени с тотална станция, по флешове и с измервателно колело (одометър) са (фиг.1): α - централен ъгъл; β - върхов ъгъл; D - дължина на дъгата; B - бисектриса. Определянето на R е възможно да стане по няколко начина[3]:



Фиг. 1

- а) по флешове
- б) чрез измерване на ъгъл β и бисектрисата Б
- в) чрез измерване на ъгъл β и дължината на дъгата D
- г) чрез използване на съвременни навигационни системи

2. ОПРЕДЕЛЯНЕ ГЕОМЕТРИЯТА НА ПЪТЯ

За определяне на геометрията на пътя освен GNSS приемници, в много случаи се използват и инерциални навигационни системи (INS). С тях се гарантира непрекъснатост на получаваните данни. В INS източниците на информация, с помощта на която определяме местоположението, скоростта и ориентацията на обектите са жирокопи и акселерометри. GPS дава абсолютни координатни определения, а измерванията направени с INS са относителни и са най-често спрямо точка определена с GPS. Предимствата от комбинираното използване на GPS и INS са следните [7]:

-GPS не е автономна система, докато INS е автономна

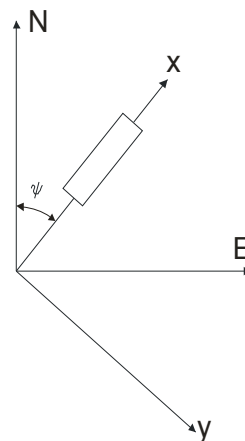
-за кратки интервали от време, в които има прекъсване на GPS измерванията INS дава висока точност

-достъпността на GPS е ограничена от препятствия между спътника и приемника, докато информацията от INS сензора е непрекъсната

- GPS сигналите са уязвими от радиосмущения, а INS не се влияе от външни радиоизточници

Комбинирането на GPS и INS е известно още и като GPS/DR (dead reckoning) техника. Най-широко използван метод в навигацията за обединение на измервания от различни сензори е филтърът на Калман. Информацията, която постъпва на входа на филтъра за измервания направени с GPS, акселерометър и одометър са измерените координати, стойностите на ускорението и пропътуваното разстояние. Данни за пропътуваното разстояние постъпват от одометъра на превозното средство или от т.нар. "пето колело". Тези измервания служат за първоначална инициализация на филтъра. След това се определя матрицата на Калман, намират се неизвестните, ковариационната матрица и след процеса на предсказване отново се определя матрицата на Калман. Поради това филтърът на Калман е рекурсивен алгоритъм, водещ до оптимални оценки на временно зависими величини [8].

Моделите на движението на обектите снабдени с такива сензори могат да бъдат равнинен и пространствен. В равнинния случай, който имаме при определяне геометрията на хоризонталните криви от пътните участъци въвеждаме система от координати N и E (фиг.2).



Фиг. 2

В подвижният обект въвеждаме правоъгълна координатна система x и y . Тази система е изместена с ъгъл на ротация ψ спрямо N , E . За да получим информация за движението на тялото в системата от координати N и E , монтираме по един акселерометър по ос x и по ос y . Тъй като търсим

стойностите на ускорението (a_n, a_e) в координатната система N и E, използваме следните формули[9]:

$$(1) \begin{aligned} a_n &= a_x \cos \psi - a_y \sin \psi \\ a_e &= a_x \sin \psi + a_y \cos \psi \end{aligned}$$

В някои от използваните превозни средства успоредно със спътниковите измервания се извършват фотограметрични, барометрични, инклинометрични, профилометрични и лазерни измервания[5]. Използваните математически методи и технически средства позволяват освен радиусът на кривите(хоризонтални и вертикални) да бъдат определени още и радиусът на кривина, надлъжният и напречният наклон, съществуващите пътни знаци в измерваният пътен участък, видимост в крива, широчина на пътното платно и др.[6]. По този начин съчетаването на измерванията от различни видове измервателни сензори води до определяне не само на геометричните параметри, но и на потенциално опасните участъци от автомобилният път, което е от съществено значение за намаляване на транспортните инциденти.

Получените данни за геометрията на автомобилният път е възможно да бъдат филтрирани с цифрови филтри или интерполирани с помощта на сплайни. Записа на полевите измервания в паметта на приемника обикновено е през интервал от няколко секунди. Това води до голям брой свръхизмервания, поради което за измерванията в правите участъци може да се построи изравняваща права[1]. Местата на пресичане на изравнителните прави представляват върховете на пътният полигон и отгук може да бъде намерен полигоновият ъгъл β . Радиусът на кривата, която се намира между изравняващите прави също може да бъде определен по МНМК по два начина. При първият се прилага изравнение по МНМК с въвеждане на уравненията на поправките, а при вторият начин се използват формулите за обработка на измервания с еднаква точност(изравняване по МНМК на многократни измервания на една величина). За целта, като използваме всички възможни комбинации от трансформирани в проекционната равнина координати в обсега на кривата (x_i, y_i) , изчисляваме различни

стойности за радиуса $R_i (i=1, n)$. След това получаваме най-вероятната стойност по формулата:

$$(2) \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n}$$

и изчисляваме поправките V_i ,

$$(3) v_i = \bar{R} - R_i,$$

с които намираме средната квадратна грешка M на средно аритметичното:

$$(4) M = \sqrt{\frac{[v_i v_i]}{n(n-1)}}$$

В резултат на изравнението определяме не само най-надеждната стойност на радиусът на кривата \bar{R} , но и координатите на центъра на окръжността (x_0, y_0) . След това от \bar{R} и координатите на центърът на окръжността изчисляваме отклоненията:

$$(5) l_i = \bar{R} - \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$$

и се извършва проверка дали всяко едно от получените отклонения l_i не надминава предварително зададена стойност.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

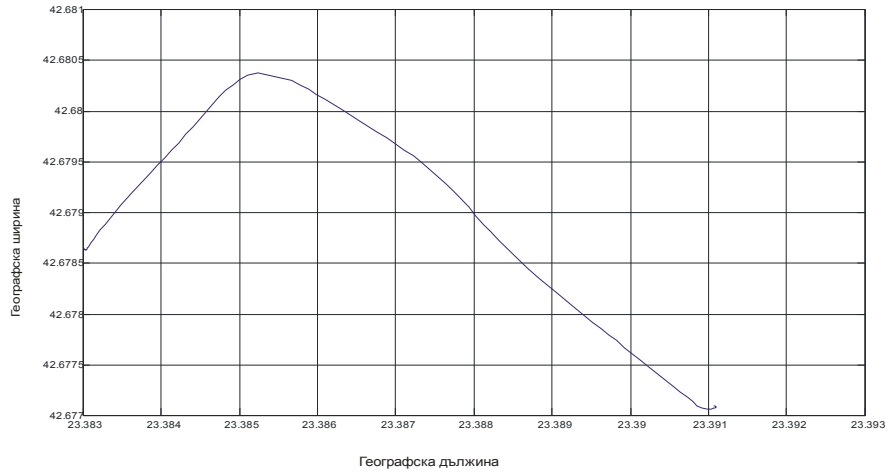
За потвърждаване на метода за измерване на радиус с помощта на навигационни системи, бяха направени експерименти на участък от автомобилен път. Тестовият автомобил беше снабден с навигационен GPS приемник, акселерометър и одомертър.

На фиг.3 е показана част от траекторията на движение на автомобила. Измерените ускорения по трите оси на автомобила за целият участък са показани на фиг.4.

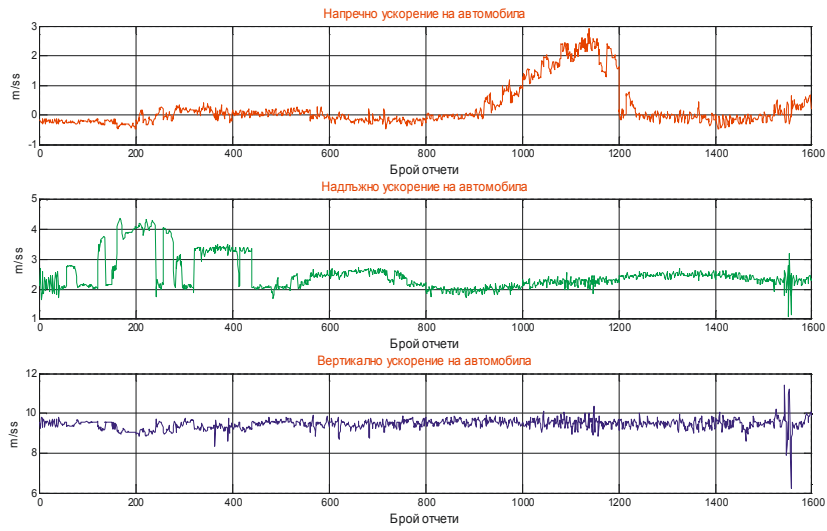
С помощта на координатите получени от GPS е определен радиусът на кривата. На фиг.5 е показано напречното ускорение a_n на автомобила при влизане и излизане от кривата. Като се използва това ускорение и скоростта на движение на автомобила v , получена от GPS или записана от автомобила, може да се изчисли радиуса по формула (6), за участъци от пътя при липса на GPS сигнал:

$$(6) R = \frac{v^2}{a_n}$$

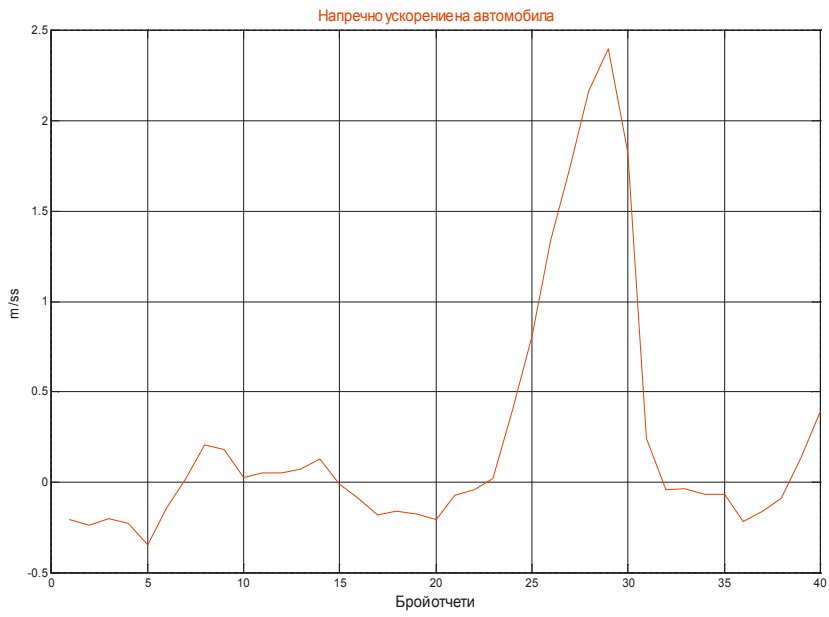
Експериментален участък



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Геометрията на автомобилният път може да е и от типа “права”-“преходна крива”-“крива”-“преходна крива”-“права”. Такъв тип геометрия с преходни криви се налага за обезпечаване плавното нарастване на центробежната сила при смяна на условията на движение на автомобила от права в крива. В участъка на преходната крива кривината ρ се изменя от $\rho = \infty$ до $\rho = R$ [4]. Когато имаме преходна крива като част от геометрията на автомобилният път, може да бъде установена нейната дължина на базата на предварително намерени върхов ъгъл и радиусът на кръговата крива[2].

ЛИТЕРАТУРА

[1] Златанов, Г., “Обобщение на метода на най-малките квадрати за изравнение на нормално разпределени измервания”, УАСГ, София, 1996

[2] Иванов, Р., “Определяне геометрията на автомобилни пътища със спътникови навигационни системи”, Геодезия, Картография, Земеустройство, №2-3, 2007

[3] Леонович И., С. Богданович, В. Голубев, И. Нестерович, И. Чернюк, “Диагностика и управление качеством автомобильных дорог”, Минск, 2002

[4] Николов, В., “Проектиране и строителство на пътища”, ВТУ ”Г. Каблешков”, София, 2006

[5] Enriken D., C. Rizos, “Application of Mobile Mapping Technology within a Roads and

Производителите на съвременно навигационно и геодезическо оборудване предлагат интегрирани GNSS системи, които поддържат в един приемник настоящите и бъдещи навигационни системи—американската GPS, руската ГЛОНАСС, европейската GALILEO и китайската Compass. С въвеждането на новата спътникова навигационна система GALILEO, броят на видимите спътници ще се увеличи и това ще направи още по-подходящо определянето на геометрията на автомобилни пътища със GNSS.

Traffic Authority”, International Global Navigation Satellite Systems Society, IGNSS Symposium 2007, New South Wales, Sydney, Australia, 4 – 6 December, 2007

[6] Gontran H., P.-Y. Gilliéron, J. Skaloud, “Precise Road Geometry for Integrated Transport Safety Systems”, 5th Swiss Transport Research Conference, Monte Verità / Ascona, March 09-11, 2005

[7] Hofmann-Wellenhof B., K. Legat, M. Wieser, “Navigation: Principles of Positioning and guidance”, Springer, 2003

[8] Jekeli C., “Inertial Navigation Systems with Geodetic Applications”, Walter de Gruyter, Berlin, 2000

[9] Titterton D., J. Weston, “Strapdown Inertial Navigation Technology”, Peter Peregrinus Ltd, 1997

DETERMINATION OF THE ROAD GEOMETRY WITH GPS, ACCELEROMETER AND ODOMETER

Roumen Ivanov, Emil Iontchev, Petio Piskulev, Nevena Babunska-Ivanova

Higher School of Transport “Todor Kableshkov”
BULGARIA

Key words: road geometry, GPS, accelerometer, odometer

Abstract: The report presented the theoretical aspects of combining GPS, accelerometer and odometer. The practical example shows the ability for automatic determination of the geometrical characteristics of the roads, the ways to find the radius of horizontal curves and processing of measurements.