



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского**  
**Физический факультет**

**КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ И РАДИОФИЗИКИ**

Магистерская программа  
Информационные процессы и системы



# **ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВЫСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

Курсовая работа (III семестр)

Выполнена  
магистрантом группы  
ФРМ- 102-О  
Менским А.А.

Научный руководитель  
к.ф.-м.н., доцент кафедры ТФ  
Г.Л. Бухбиндер

Омск – 2012

## Немного о позиционировании

Позиционирование - метод определения координат объекта в трехмерном пространстве с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Одной из самых передовых технологий позиционирования является RTK (Real Time Kinematic) – способ, обеспечивающий сантиметровую точность определения координат в реальном времени.



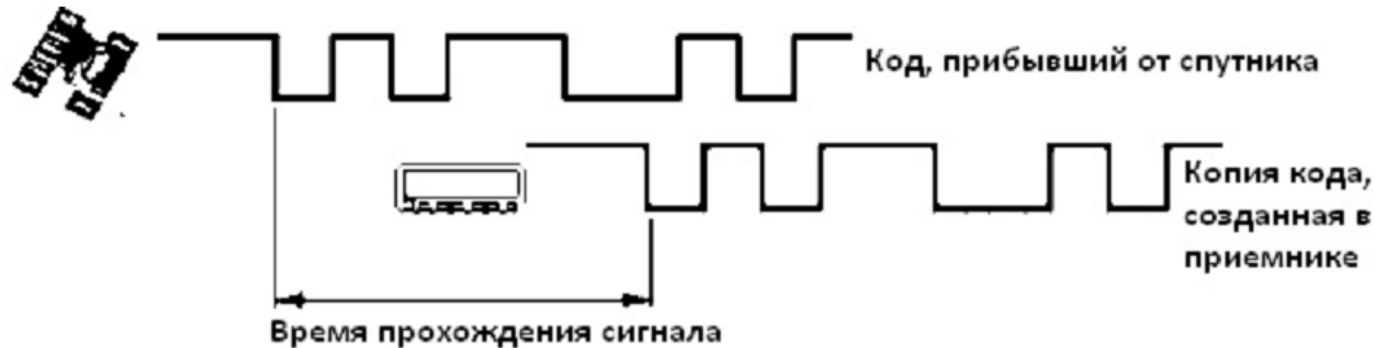
Области применения технологии RTK [1]:

- геодезия;
- земельный кадастр;
- строительство;
- точное земледелие;
- мониторинг промышленных объектов.

Целью данной работы является программная реализация алгоритма высокоточного позиционирования в режиме RTK на языке программирования Си.

[1] <http://www.rusnavgeo.ru/>

## Кодовый режим измерений



$p_A^i$  - время прохождения сигнала от  $i$ -го спутника до приемника  $A$ ;

$p_A^i = p_A^i + \varepsilon_A^i$  - псевдодальность;

(1)

$p_A^i = \left| \vec{r}_A(t) - \vec{r}^i(t - t_A^i) \right|$  - геометрическое расстояние от приемника  $A$  до  $i$ -го спутника на момент отправки сигнала;

$\vec{r}_A$  - положение приемника  $A$ ;

$\vec{r}^i$  - положение  $i$ -го спутника;

$\varepsilon_A^i$  - задержки сигнала (ионосферная, тропосферная, задержка в оборудовании и ошибка часов приемника и спутника);

## Фазовый режим измерений



Фаза несущей частоты (измеряется в циклах):

$$\Phi_A^i(t) = \varphi_A(t) - \varphi^i(t - \tau_A^i) + B_A^i \quad (2)$$

$\varphi_A(t)$  – фаза сигнала, созданного внутренним генератором приемника в момент приема сигнала;

$\varphi^i(t - \tau_A^i)$  – фаза сигнала спутника в момент отправки сигнала;

$\tau_A^i$  – время прохождения сигнала от  $i$ -го спутника до приемника  $A$ ;

$B_A^i$  – неоднозначность фазы несущей  $i$ -го спутника на приемнике  $A$ ;

$$\varphi(t) = f_0 t + \varphi_0(t) \quad (3)$$

$$\Phi_A^i = p_A^i + \lambda[\varphi_A(t_0) - \varphi^i(t_0)] + \lambda B_A^i + \varepsilon_A^i \quad (4)$$

## Измеряемые величины

Для разрешения фазовой неоднозначности используется метод MLAMBDA [3]

Первая разность фаз:

$$\Phi_{AB}^i = \Phi_A^i - \Phi_B^i = \mathbf{p}_{AB}^i + \lambda \varphi_{AB}(t_0) + \lambda \mathbf{B}_{AB}^i + \varepsilon_{AB}^i \quad (5)$$

Вторая разность фаз:

$$\Phi_{AB}^{ij} = \Phi_{AB}^i - \Phi_{AB}^j = \mathbf{p}_{AB}^{ij} + \lambda \mathbf{B}_{AB}^{ij} + \varepsilon_{AB}^{ij} \quad (6)$$

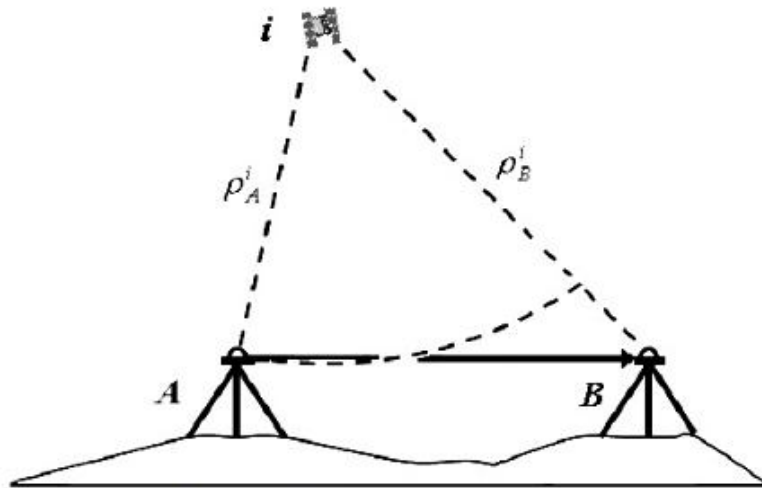


Рис. 1. Первая разность фаз

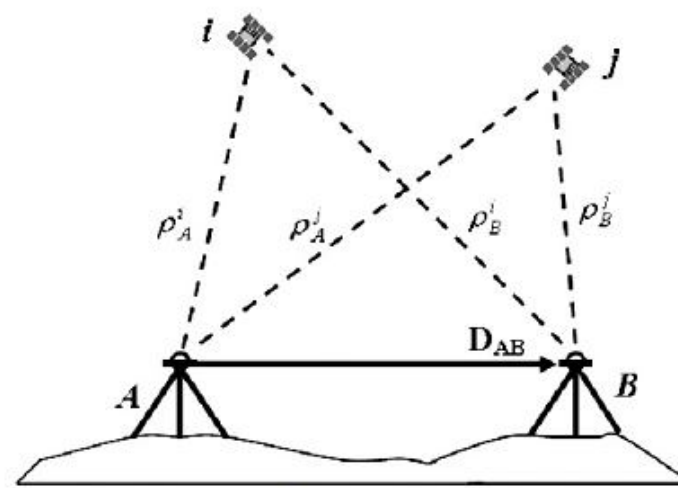


Рис. 2. Вторая разность фаз

[3] Chang X.W., Yang X. and Zhou T., MLAMBDA: A modified LAMBDA method for integer least-squares estimation// J. Geodesy, vol.79., 2005.

## Алгоритм RTK-позиционирования

В данной работе был реализован программно алгоритм RTK-позиционирования, основанный на стандартном расширенном фильтре Калмана [4].

$$\bar{\mathbf{X}}_t = \left\{ \vec{\mathbf{r}}_r(t), \vec{\mathbf{v}}_r(t), \vec{\mathbf{a}}_r(t), \mathbf{B}_{rb}^{(1)}, \mathbf{B}_{rb}^{(2)}, \dots, \mathbf{B}_{rb}^{(s)} \right\} \quad (7)$$

$s$  – общее число наблюдаемых спутников

$$\bar{\mathbf{X}}_{t+\Delta t} = \bar{\mathbf{X}}_{t+\Delta t|t} + \mathbf{K}_{t+\Delta t} \bar{\mathbf{V}}_{t+\Delta t} \quad (8)$$



[4] Welch G, Bishop G. An Introduction to the Kalman Filter. TR 95-041, Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill. April 5, 2004.

## Алгоритм RTK-позиционирования

Предсказание состояния:

$$\bar{\mathbf{X}}_{t+\Delta t|t} = \left\{ \vec{\mathbf{r}}_r(t) + \Delta t \cdot \vec{\mathbf{v}}_r(t), \vec{\mathbf{v}}_r(t) + \Delta t \cdot \vec{\mathbf{a}}_r(t), \vec{\mathbf{a}}_r(t), \mathbf{B}_{rb}^{(1)}, \mathbf{B}_{rb}^{(2)}, \dots, \mathbf{B}_{rb}^{(s)} \right\} \quad (9)$$

Вектор отклонения полученного приемником измерения от предсказанного:

$$\bar{\mathbf{V}}_{t+\Delta t} = \bar{\mathbf{Y}}_{t+\Delta t} - \bar{\mathbf{Y}}'(\bar{\mathbf{X}}_{t+\Delta t|t}) \quad (10)$$

Вектор предсказания измерения:

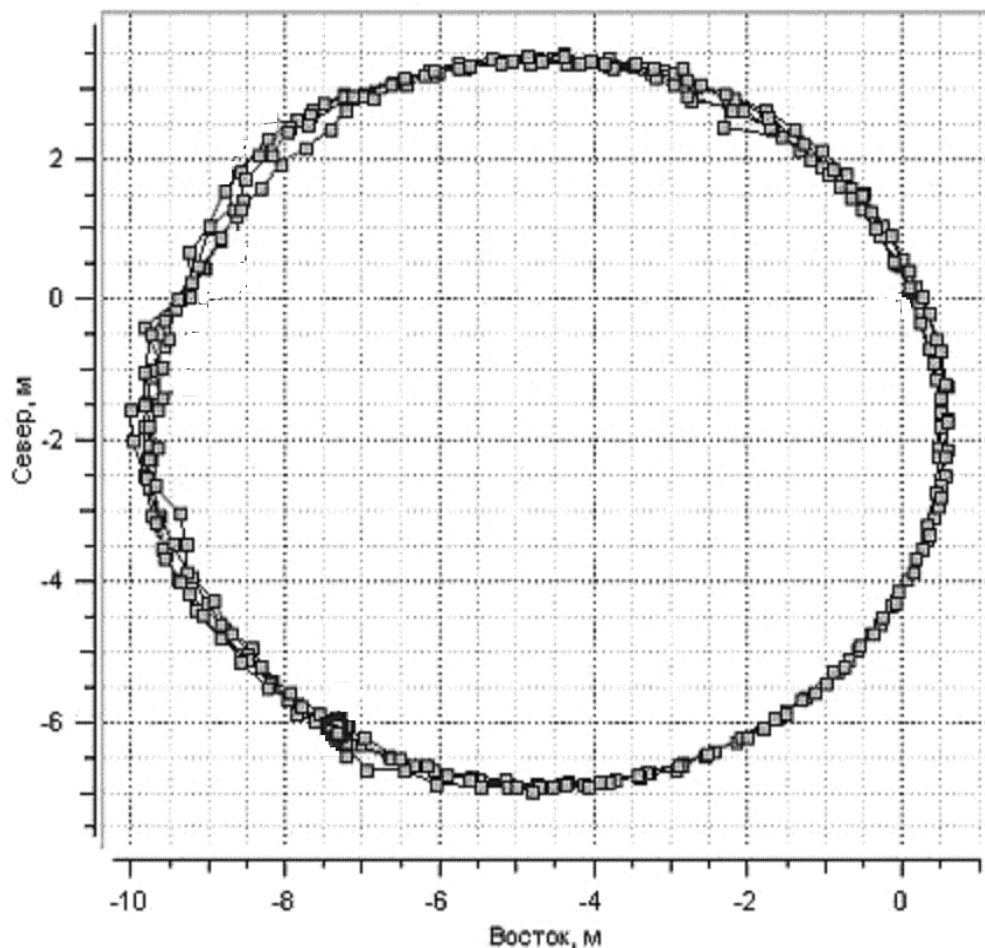
$$\bar{\mathbf{Y}}'(\bar{\mathbf{X}}_{t+\Delta t|t}) = \left\{ \mathbf{p}_{rb}^{(12)} + \lambda \mathbf{B}_{rb}^{(12)}, \dots, \mathbf{p}_{rb}^{(1s)} + \lambda \mathbf{B}_{rb}^{(1s)}, \mathbf{p}_{rb}^{(12)}, \dots, \mathbf{p}_{rb}^{(1s)} \right\} \quad (11)$$

Вектор измерения:

$$\bar{\mathbf{Y}}_{t+\Delta t} = \left\{ \Phi_{rb}^{(12)}, \dots, \Phi_{rb}^{(1s)}, \mathbf{P}_{rb}^{(12)}, \dots, \mathbf{P}_{rb}^{(1s)} \right\}_{t+\Delta t} \quad (12)$$

$\mathbf{K}_{t+\Delta t}$  – оптимальная по Калману матрица коэффициентов усиления, формирующаяся на основании ковариационных матриц предсказанного вектора состояния [4].

## Тестирование



*Рис.3 Траектория ровера*

При тестировании осуществлялось перемещение ровера по трем замкнутым круговым траекториям одного радиуса.

На Рис.3 представлены рассчитанные траектории. Как видно из рисунка, данная реализация алгоритма высокоточного позиционирования показывает хорошие результаты в режиме реального времени (RTK).



## Литература

1. <http://www.rusnavgeo.ru/>
2. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 томах: Монография. Новосибирск: СГГА., 330 с., 2005.
3. Chang X.W., Yang X. and Zhou T., MLAMBDA: A modified LAMBDA method for integer least-squares estimation// *J. Geodesy*, vol.79., 2005.
4. Welch G, Bishop G. An Introduction to the Kalman Filter. TR 95-041, Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill. April 5, 2004.