

### СТРУКТУРА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПЕШЕХОДНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

М. Г. СТЕПАНОВ<sup>1</sup>, А. Г. ЯРМОЛИЧ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ОАО „Радиоавионика“, 190005, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: smg099@mail.ru

<sup>2</sup>Балтийский государственный технический университет „ВОЕНМЕХ“ им. Д. Ф. Устинова,  
190005, Санкт-Петербург, Россия

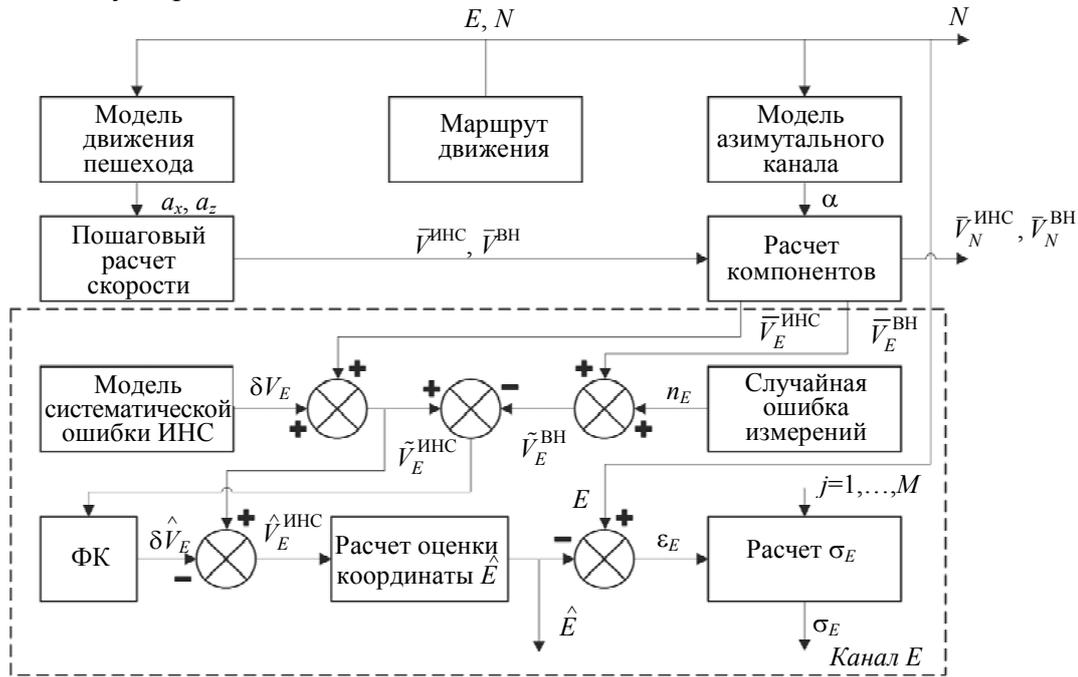
Приводится структурная схема имитационной модели пешеходной навигационной системы, реализующей комплексирование измерений инерциальных датчиков и корректирующей информации, поступающей от биомеханической модели движения пешехода. Кратко описываются состав и содержание вычислительных процедур модели.

**Ключевые слова:** имитационная модель, пешеходная навигация, высокоточное позиционирование, путевая скорость, фильтр Калмана

Среди систем навигации наземных объектов особый интерес представляют пешеходные навигационные системы (ПНС) [1—3], учитывающие специфику движения человека-носителя ПНС. Рассмотрению систем данного типа посвящены, в частности, работы [4, 5]. В них обоснованы алгоритмы работы азимутального канала и канала определения скорости и текущих координат пешехода. ПНС строится как бесплатформенная инерциальная навигационная система (ИНС) в составе трехосевых акселерометра, датчика угловой скорости (ДУС) и магнитометра, вычислителя и биомеханической модели движения в качестве внешнего источника корректирующей информации. В работах [4, 5] сделан вывод о высокой потенциальной точности ПНС. Для количественной оценки точности разработана имитационная модель, структурная схема которой приведена на рисунке. Пунктиром обозначен восточный ( $E$ ) канал ПНС, северный ( $N$ ) канал имеет аналогичную структуру. Модель реализует последовательность вычислительных процедур, предусмотренных алгоритмами [4, 5]. Основными являются следующие процедуры. Маршрут движения задается последовательностью пар восточной  $E$  и северной  $N$  координат пешехода. По ним в соответствии с моделями движения [6] и азимутального канала [5] рассчитываются горизонтальная  $a_x$  (совпадает с направлением движения) и вертикальная  $a_z$  составляющие ускорения пешехода и текущий азимут  $\alpha$  маршрута. В обоих случаях используются моделируемые данные ДУС и магнитометра.

По ускорениям  $a_x$ ,  $a_z$  проводится пошаговый расчет средних путевых скоростей  $\bar{V}^{\text{ИНС}}$ ,  $\bar{V}^{\text{ВН}}$ , которые с использованием азимута  $\alpha$  разлагаются на восточные  $\bar{V}_E^{\text{ИНС}}$ ,  $\bar{V}_E^{\text{ВН}}$  и северные  $\bar{V}_N^{\text{ИНС}}$ ,  $\bar{V}_N^{\text{ВН}}$  компоненты. Вычисление средней скорости  $\bar{V}^{\text{ИНС}}$  выполняется традиционным для ИНС интегрированием ускорения  $a_x$  с усреднением результата на каждом шаге пешехода. Средняя скорость  $\bar{V}^{\text{ВН}}$  в соответствии с моделью движения, выступающей в качест-

ве источника внешней (ВН) информации, рассчитывается на основе заданной длины ноги и максимального на шаге вертикального перемещения пешехода, определяемого двойным интегрированием ускорения  $a_z$ .



Компоненты  $\bar{V}_E^ИНС, \bar{V}_E^ВН$  (аналогично  $\bar{V}_N^ИНС, \bar{V}_N^ВН$ ) соответственно суммируются с систематической (медленноменяющейся) ошибкой ИНС по скорости  $\delta V_E$ , задаваемой моделью [4], и случайной ошибкой измерений  $n_E$  в виде дискретного белого гауссова шума, генерируемого датчиком случайных чисел. Разность сумм  $S_E = \tilde{V}_E^ИНС - \tilde{V}_E^ВН$  поступает на вход фильтра Калмана (ФК). Учитывая практическое совпадение значений  $\bar{V}_E^ИНС, \bar{V}_E^ВН$ , можно считать  $S_E = \delta V_E + n_E$ .

Построенный по традиционной схеме [7, 8] ФК настроен на модель ошибки  $\delta V_E$ . На выходе фильтра формируется ее оптимальная оценка, экстраполированное на шаг значение которой  $\delta \hat{V}_E$  вычитается из суммарного выходного сигнала ИНС  $\tilde{V}_E^ИНС$ . Скорректированный компонент  $\hat{V}_E^ИНС$  далее используется для расчета оценки  $\hat{E}$  текущей координаты пешехода  $E$ :

$$\hat{E}(k) = \hat{E}(k-1) + T_k \hat{V}_E^ИНС(k),$$

где  $k$  — номер шага,  $T_k$  — его длительность.

Оценка точности моделируемой ПНС получается путем расчета текущей ошибки местопределения  $\epsilon_E(k) = E(k) - \hat{E}(k)$  и ее среднеквадратического значения  $\sigma_E(k)$  по ансамблю реализаций (число реализаций  $M$ ) ошибок  $\delta V_E, n_E$  для различных маршрутов:

$$\sigma_E(k) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \epsilon_E^2(k, j)},$$

где  $j$  — номер реализации.

Рассмотренная имитационная модель может использоваться в качестве первоначального шага при проектировании ПНС различного назначения. Дальнейшее усовершенствование модели направлено на расширение возможностей по обработке экспериментальных данных реального движения пешеходов и оценке практически достижимой точности ПНС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Salychev O. S.* Applied Inertial Navigation: Problems and Solutions. Moscow: VMSTU Press, 2004. 304 p.
2. *Лукьянов В. В.* Прикладные алгоритмы навигации пешехода // Вестн. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. „Приборостроение“. 2007. № 1. С. 86—96.
3. *Дэвидсон П., Такала Я.* Разработка алгоритмов инерциальной навигационной системы с учетом особенностей походки человека // Гироскопия и навигация. 2013. № 1. С. 54—86.
4. *Каплин А. Ю., Степанов М. Г.* Использование автономной навигационной системы высокоточного позиционирования пешехода на местности // Информационно-управляющие системы. 2015. № 6. С. 86—92. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2015.6.86.
5. *Каплин А. Ю., Степанов М. Г.* Модель и алгоритм комплексной обработки информации азимутального канала пешеходной навигационной системы // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 3. С. 181—188. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-3-181-188.
6. *Ярмолич А. Г.* Тестовая модель движения пешехода // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. № 2(17). 13 с. [Электронный ресурс]: <<https://elibrary.ru/item.asp?id=29758854>>.
7. *Ли Р.* Оптимальные оценки, определение характеристик и управление. М.: Наука, 1966. 176 с.
8. *Браммер К., Зиффлинг Г.* Фильтр Калмана—Бьюси. М.: Наука, 1982. 200 с.

**Сведения об авторах****Михаил Георгиевич Степанов**— д-р техн. наук, профессор; ОАО „Радиоавионика“;  
E-mail: smg099@mail.ru**Алексей Григорьевич Ярмолич**— аспирант; Балтийский государственный технический университет „ВОЕНМЕХ“ им. Д. Ф. Устинова, Радиоэлектронные системы управления; ОАО „Радиоавионика“; ведущий инженер;  
E-mail: note@iarmolich.comПоступила в редакцию  
01.11.17 г.**Ссылка для цитирования:** Степанов М. Г., Ярмолич А. Г. Структура имитационной модели пешеходной навигационной системы // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 4. С. 374—376.**STRUCTURE OF THE IMITATION MODEL OF A PEDESTRIAN NAVIGATION SYSTEM  
M. G. Stepanov<sup>1</sup>, A. G. Yarmolich<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>Radioavionica JSC, 190005, St. Petersburg, Russia  
E-mail: smg099@mail.ru<sup>2</sup>D. F. Ustinov BSTU „VOENMEH“, 190005, St. Petersburg, Russia

A block diagram of the simulation model of a pedestrian navigation system that implements integration of inertial sensors measurements and of corrective information from the biomechanical model of pedestrian motion is presented. The composition and content of the computational procedures of the model are briefly described.

**Keywords:** simulation model, pedestrian navigation system, high-precision positioning, ground speed, Kalman filter

**Data on authors****Mikhail G. Stepanov**  
**Alexey G. Yarmolich**— Dr. Sci., Professor; Radioavionica JSC; E-mail: smg099@mail.ru  
— Post-Graduate Student; D. F. Ustinov BSTU „VOENMEH“, Department of Radio-Electronic Control Systems; Radioavionica JSC; Leading Engineer; E-mail: note@iarmolich.com**For citation:** Stepanov M. G., Yarmolich A. G. Structure of the imitation model of a pedestrian navigation system. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 4. P. 374—376 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-4-374-376