

Гомон Юрий Борисович

канд. техн. наук, доцент

Михайлов Владимир Алексеевич

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный

институт кино и телевидения»

г. Санкт-Петербург

РАСЧЕТ ДЛИНЫ ШАГА ПРИ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ ЧЕЛОВЕКА

***Аннотация:** знать и уметь вычислять длину своего шага для оценки пройденного пути – актуальная задача для многих приложений деятельности человека – от её военных аспектов до оздоровительных прогулок. В данной статье предложен целый ряд приемов – от исторически сложившихся до использующих последние достижения спутниковой навигации.*

***Ключевые слова:** метод, шаг, расчет длины, автономная навигация, микроконтроллер.*

1. Известные методы.

1. Наиболее очевидный метод – промерить отрезок фиксированной длины, а затем сосчитать число шагов (например, с помощью шагомера), затраченное на его прохождение. Результат деления даст среднюю длину шага, которую затем придется полагать неизменной во все время движения. Одним из вариантов оценки средней длины является также прием, рекомендуемый учебниками военной топографии [1], где среднюю длину шага мужчины D полагают равной $D = \text{Рост}/4 + 0,37$ м.

2. Некоторый аналог этого приема - вместо мерного интервала использовать длину пути, оцененную приемником спутниковой навигации, имеющимся у пешехода. В этом случае, если можно следить за изменяющимся темпом движения, появляется возможность отслеживать изменяющуюся среднюю длину шага. Если, к тому же, в составе переносного измерительного средства есть счетчик

числа шагов и вычислитель, то процесс оценки текущей длины шага можно автоматизировать и относить затем получаемый результат на те участки пути, когда сигналы спутниковой навигации по каким-либо причинам отсутствуют [2; 3].

3. Включение в состав систем автономной навигации акселерометров (как минимум – одного, установленного по вертикальной оси) привело к возможности фиксации временных интервалов шагов, что, в свою очередь, позволило предложить способ измерения длины шага, зависящий от частоты шагов f [4]:

$$D = 0.4504 f - 0.1656$$

Сложность использования этого соотношения связана с тем, что надежная оценка частоты шагов может быть получена только на некотором интервале движения и поэтому относится к уже пройденному пути, а её экстраполяция на будущие шаги неизбежно приводит к погрешностям, увеличивающимся при частой смене темпа движения. Кроме того, опыты практического использования этого соотношения показывают, что значения коэффициентов существенно зависят от роста, веса и особенностей движения человека.

4. С включением в состав переносного навигационного средства акселерометра, измеряющего ускорение по вертикальной оси, для измерения длины k -го шага была предложена [5] эмпирическая формула вида:

$$D_k = K \sqrt[4]{a_k^{\max} - a_k^{\min}}, \quad (1)$$

где a_k^{\max} и a_k^{\min} – соответственно, максимальное и минимальное ускорения, зафиксированные во время выполнения шага. Нормирующий коэффициент K должен быть определен заранее в ходе некоторой калибровки до практического применения устройства.

5. Ряд предложений по оценке длины шага связан с установкой акселерометров на обуви человека [6; 7; 8]. В частности, в патенте [6] предлагается расположить на голени два двухосевых датчика, разнесенных по высоте на известные расстояния. Каждая из пар датчиков фиксирует вертикальную a_1^B, a_2^B и горизонтальные $a_1^Г, a_2^Г$ составляющие ускорения движения на каждом шаге, после

двойного интегрирования ускорений вычисляется угол вращения голени φ вокруг точки опоры, что позволяет затем найти проекции горизонтальной и вертикальной составляющих ускорения на оси неподвижной системы координат и вычислить горизонтальное перемещение ноги на шаге.

6. В работе [7] описывается автономная инерциальная навигационная система (ИНС), предназначенная для оценки текущих координат местоположения человека и использующая комплект трехосных акселерометров и датчиков угловых скоростей. ИНС дополняется трехосным магнетометром, участвующим в оценке азимута движения. Одной из задач ИНС является оценивание пройденного пути. С этой целью используются два метода. Первый применяет выражение (1), результат оценивания уточняется следующим образом:

- измеренный вектор ускорений слева умножается на матрицу вращений для перевода в систему координат, привязанную к осям исходного положения ноги;

- ускорения интегрируются в пределах шага, а затем полученные значения скоростей усредняются за несколько шагов;

- усредненные значения скоростей делятся на частоту выборки (100Гц) и таким образом получаются оценки перемещений по осям;

- используется эвклидова метрика для оценки горизонтальной составляющей приращения пути за время одного шага по данным двух акселерометров, измеряющих вертикальную и горизонтальную составляющие ускорения за время шага.

Расположение датчиков на обуви не удобно по нескольким причинам, основными из которых является необходимость организации связи (протяжки проводов или построения канала Bluetooth) с вычислителем, обычно находящимся в другом месте снаряжения, и чисто бытовые неудобства, обусловленные сменой обуви и т. д. Поэтому задача построения алгоритмов оценки длины шага при автономной навигации человека по-прежнему остается актуальной.

2. Предлагаемая методология оценки длины шага.

Модуль с датчиками и вычислительным средством (микроконтроллер) закрепляются на поясе и располагаются на спине пешехода. Измерительный блок состоит из трехосевого акселерометра с динамическим диапазоном $0...3g$ по каждой оси. При движении вперед (назад) для расчета длины шага используются данные акселерометров, расположенных по вертикальной (ось Z) и горизонтальной (ориентированной в сторону движения – ось X) осям с результатами измерений, соответственно, a_z и a_x . При движении боком используются данные a_z и a_y .

Фиксация k -го шага производится по превышению порогового уровня эмпирической функцией:

$$R[k] = M\{\text{abs}(p[k] * (a_z[k] - p[k]))\}; \quad (2)$$

$$p[k] = a_x[k] - M\{a_x[k]\},$$

$M\{ \}$ – символ скользящего усреднения на интервале в 10 выборок с присвоением результата последней из них.

Типичный вид функции (2) приведен на рисунке 1.

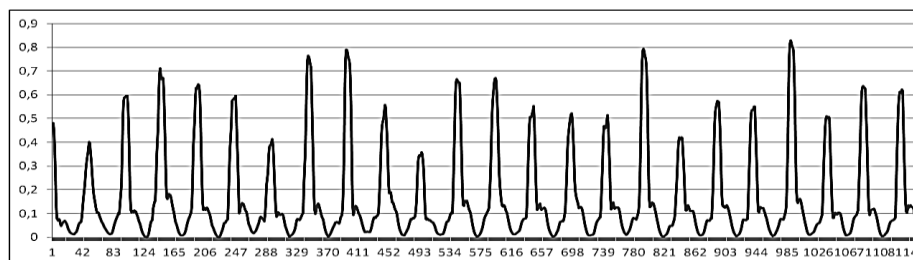


Рис. 1. Вид функции R, применяемой для расчета длины шага

Использованная частота опроса – 100 Гц. По оси абсцисс указаны номера выборок, откуда следует, что в данном случае интенсивность движения равна 2–3 шагам в секунду, что соответствует нормальному темпу движения шагом.

Анализ функции (1) позволяет:

- определить темп движения (медленное, нормальное, бег);
- вычислить длину шага.

Для этого вычисляются следующие параметры функции:

- энергия шага $Q = \sum_{i=1}^N R[i]$, N-число выборок на интервале шага превышающих пороговое значение;

- максимальное значение функции $R[k]$ на интервале шага-В;
- интервал Δ между максимальными значениями соседних пиков функции $R[r]$.

Для индикации режимов движения шагом и бегом используется дополнительный параметр $z = \Delta/(B^2)$, который различается для этих режимов на порядок. Граничным значением для фиксации режима бега является $z < 80$. Параметр B применяется для различения темпов медленного и нормального темпов движения.

По результатам тестовых испытаний с 14-ю участниками экспериментальных проходов мерного интервала (200 м) построены графики зависимостей длины шага от значения Q для трех темпов движения (медленный, нормальный, быстрый). Они описываются аппроксимирующими полиномами, соответственно, 5, 8 и 6 степени. На рисунке 2 приведен, в частности, такой график для движения в среднем темпе.

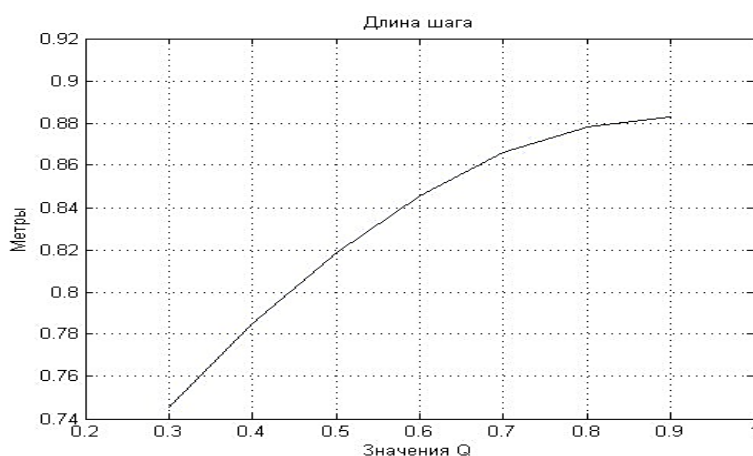


Рис. 2. Зависимость длины шага от значений функции Q при движении в среднем темпе.

Испытания, проведенные с использованием изложенной методологии, показали, что погрешность определения дистанции движения, не превышает (4–5)% от пройденного пути при переменном темпе движения.

Список литературы

1. Псарев А.А. Военная топография / А.А. Псарев [и др.]. – М.: Воениздат, 1986. – 384 с.
2. Gabaglio Vincent, Ladetto Quentin, Van Seeters Josephus. Pedestrian navigation method and apparatus operative in a dead reckoning mode // Patent 09/839, 204, november 30, 2004. – Ecole Polytechnique Federal de Lausanne.
3. Mezentsev Oleg. Sensor aiding of HSGPS pedestrian navigation. – Publisher: Geomatics Engineering, University of Calgary, 2005 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hdl.handle.net/1880/41810>
4. D. Alvarez. R.C. Gonzalez, A. Lopez, J.C. Alvarez. Comparison of step length estimators from wearable accelerometer devices. – Proc. IEEE EMBS, 2006. – PP. 5964–5967.
5. Jin-feng Li, Qing-hui Wang, Xiao-mei Liu, Shun Cao and Feng-long Liu. A Pedestrian Dead Reckoning System Integrating Low-Cost MEMS Inertial Sensors and GPS Receiver // Journal of Engineering Science and Technology Review. – 2014. – 7 (2). – P. 197–203.
6. Способ определения длины шага: Авторское свидетельство СССР №1771691 / Н. Козловский [и др.]. – 1992.
7. A.R. Jimenez, F. Seco, C. Prieto and J. Guevara. A Comparison of Pedestrian Dead-Reckoning Algorithms using a Low-Cost MEMS IMU, WISP 2009. – 6th IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing. – 26–28 August, 2009. – Budapest, Hungary.
8. Mitja Placer 1, and Stanislav Kovačič, Enhancing Indoor Inertial Pedestrian Navigation Using a Shoe-Worn Marker. – Sensors 2013. – 13. – P. 9836–9859.