

06, июнь 2016

УДК 004.921

**Анализ методов и разработка алгоритма повышения точности
позиционирования сенсорной инфракрасной панели**

Ельфимов А. В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»*

Научный руководитель: Ковтушенко А.П., к.ф.-м.н., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»*

bauman@bmstu.ru

Существует множество экранов, где используется инфракрасные (ИК) сенсорные панели. Они применяются в банкоматах и платёжных терминалах, для экранов больших размеров и т.д.

Наиболее распространённый принцип работы сенсорных экранов следующий: на двух смежных сторонах экрана размещаются ИК светодиоды, а на противоположных - ИК фотоэлементы. Расположение и тип приемников и излучателей, размер рабочей области и порядок опроса могут значительно отличаться, в зависимости от конкретной реализации сенсорной панели.

В зависимости от особенностей и конфигурации панели первичная обработка сигналов может отличаться. Однако вне зависимости от архитектурных особенностей большинство панелей используют принципы излучения и приёма оптического сигнала на противоположных сторонах рабочей области. В этом случае, за счёт физических особенностей распространения сигнала по рабочей поверхности, неидеальных излучателей и приёмников, неизбежно возникают шумы, препятствующие уверенному распознаванию полученного сигнала и вносящие погрешность при вычислении координат указателя. Данные схемы самого распространённого расположения элементов показаны на рис. 1.

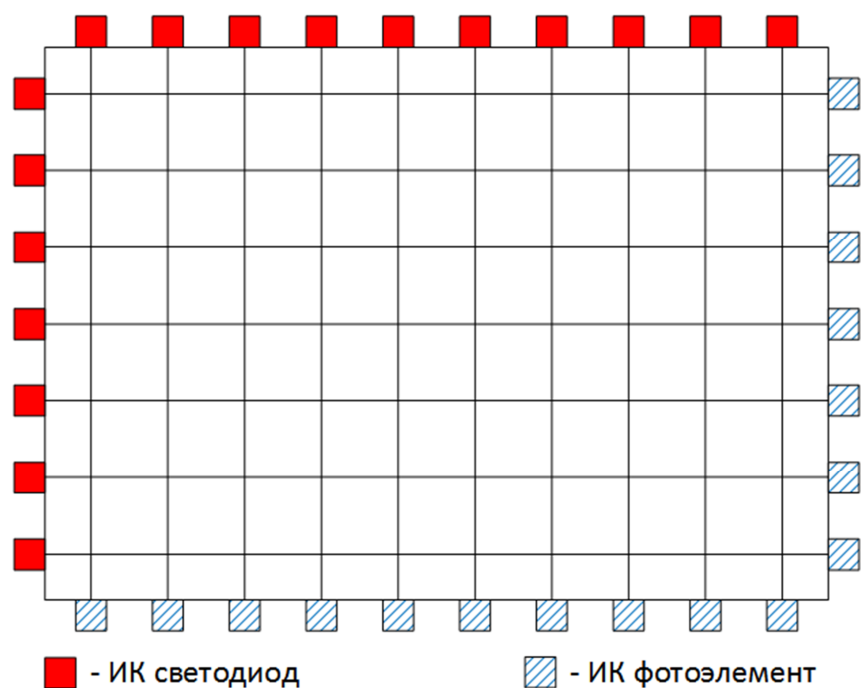


Рис. 1. Схема самой распространённой ИК сенсорной панели

В данной статье рассматривается анализ алгоритмов повышения точности и эффективности детектирования сенсорной ИК панели.

В целом, работа сенсорной панели может быть разбита на следующие этапы:

1. Первичная обработка.
 1. Излучение и приём сигналов.
 2. Формирование входных данных.
 3. Детектирование сигнала.
 4. Вычисление точки касания.
2. Вторичная обработка.
 1. Сглаживание
 2. Фильтрация

Не смотря на то, что реализация пунктов 1.1 и 1.2 может отличаться в зависимости от архитектуры, дальнейшие действия одинаковы т.к. входные данные, в общем виде, могут быть представлены в виде массивов сигналов, принятых приёмниками от излучателей. Каждый массив соответствует стороне панели (один для вертикальной, другой для горизонтальной), а элементы массива хранят в себе координаты приёмника и его значение. Поэтому в данной работе рассматриваются этапы начиная с 1.3.

Из-за возможного шума погрешность дальнейших вычислений сильно возрастает. Поэтому необходимо как можно эффективнее ограничивать область значений, соответствующих касанию, исключая шум. Массивы данных можно представить в виде

графика. Используя данные о физической основе сигнала можно предположить, что на графике максимальное количество пиков сигнала зависит от количества указателей в рабочей области сенсорной панели:

- При отсутствии указателя – пиков нет.
- При 1 указателе – 1 пик.
- При 2 указателях – 2 пика и т.д.

Рассмотрим случай, когда максимальный элемент, формирующий верх графика, может быть только один, т.е. на сенсорной панели есть только один указатель, что соответствует наиболее распространенному сценарию использования устройства. Несмотря на различные уровни шума, максимальное значение служит ориентиром для нахождения области, близкой к центру касания. Выборка производится отдельно на каждой стороне по следующему алгоритму:

1. Выбирается индекс i , при котором $V_i = \max(V)$, где V – массив значений, принадлежащий стороне.
2. Вычисляется значение $S = \max(V_i - V_{i+1}, S)$, где S – степень уменьшения значений. При первом вычислении $S = 0$.
3. Обновляется значение $V_{i+1} = \min(V_{i+1}, V_i - S)$, при этом если $V_{i+1} < 0$, тогда $V_{i+1} = 0$.
4. Производится один шаг в сторону по индексу i , т.е. $i = i + 1$, и возврат к шагу 2.

После этого, алгоритм повторяется для левой стороны начиная с шага 1, т.е. все $i + 1$ заменяются на $i - 1$.

Результат алгоритма выборки показан на рис. 2.

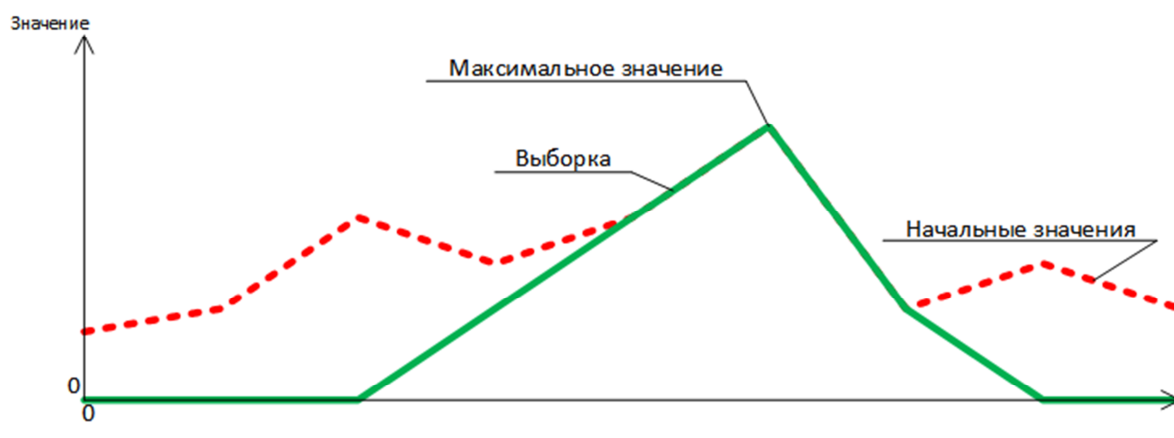


Рис. 2. Результат алгоритма выборки

После произведения процедуры выборки для всех массивов вычисляется позиция, соответствующая центру касания на каждой стороне

$$P = \frac{\sum C_i * V_i}{\sum V_i}, i = 1..m,$$

где P – координата касания, а C_i – координата элемента, причём координаты вычисляются по оси, вдоль которой расположена сторона. По этапам обработки данных внутренним алгоритмом панели вычисляется координата, соответствующая точке касания. На этом первичная обработка заканчивается.

Т.к. чаще всего указателем является палец человека или удерживаемый им объект, во время использования указателя с целью выполнить нажатие или удержание в одной точке, сам указатель и, следовательно, курсор на экране, может дрожать, а случайные шумы могут усугубить ситуацию. Поэтому стоит ввести «область прикрепления». Смысл этой области в том, что при первом вычислении точки касания создаётся область, радиус которой определяется эмпирически, исходя из данных панели. Пока вычисляемые значения не выходят за рамки этой области, считается, что правильным значением будет центр этой области. После того, как указатель вышел за пределы данной области, действия указателя воспринимаются как движение.

Для сглаживания движения можно применить фильтры подавления шума и сглаживания кривых.

Для фильтрации применяется фильтр Калмана. Данный фильтр основывается на информации о физике самого объекта, то есть имея некоторую информацию о фильтруемом значении, можно предугадать примерное значение до его получения. Такие данные дают возможность узнать, были ли слишком быстрые скачки ошибочны или нет. Однако, этот фильтр в данной ситуации будет не так эффективен, как упрощённый фильтр Калмана, так как для того, чтобы динамически стабилизировать коэффициент Калмана, необходимо время, вычислительные ресурсы и дополнительные данные.

В упрощённом фильтре Калмана коэффициент выбирается эмпирическим путём. Данный коэффициент указывает, насколько сильно можно доверять расчёту нового значения. При его выборе необходимо достичь максимальное подавление шума при минимальном отставании от указателя. Координата по данному фильтру вычисляется следующим образом:

$$P = K * P_{new} + (1 - K) * P;$$

где K – коэффициент Калмана, $P = (x, y)$ – текущая отфильтрованная точка, P_{old} – итоговая точка, вычисленная на предыдущем шаге, P_{new} – неотфильтрованная точка, полученная на текущем шаге.

На рис. 3 изображена отфильтрованная кривая, где p – множество неотфильтрованных точек, а n – множество отфильтрованных точек.

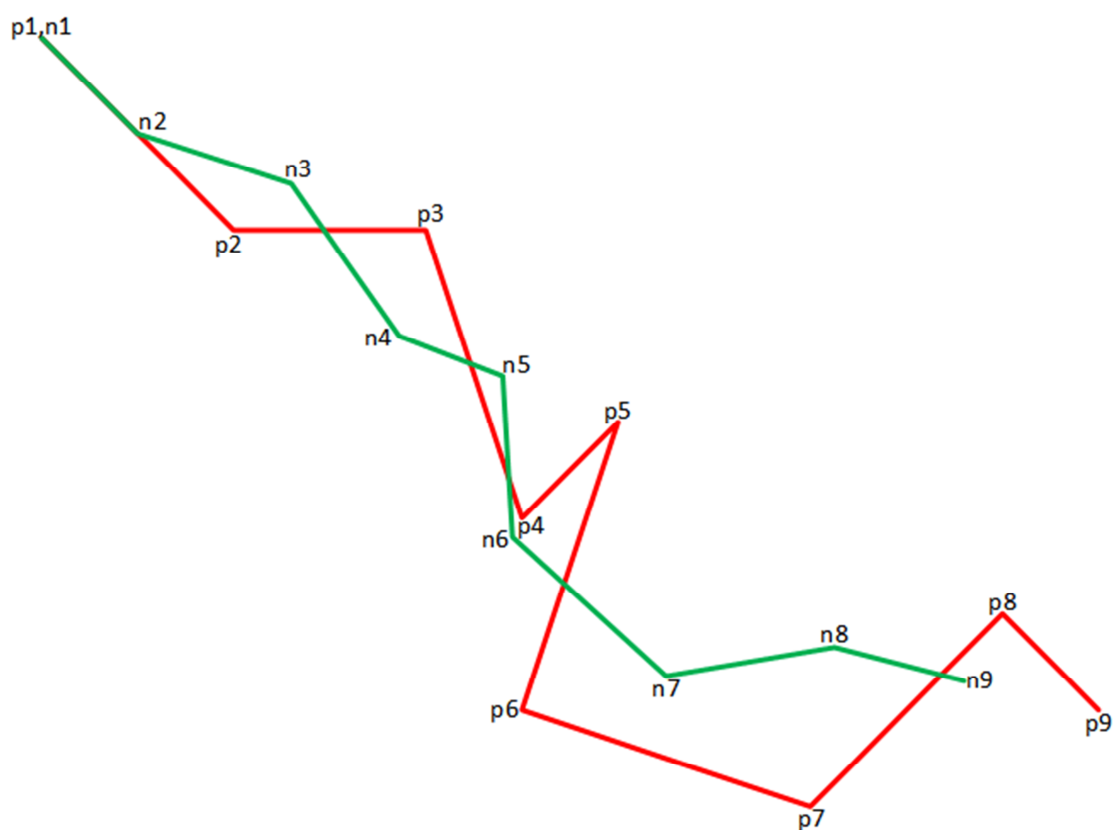


Рис. 3. Отфильтрованная кривая по Калману при $K = 0,5$

Сгладить кривую можно с помощью кривых Безье. Кривая Безье – параметрическая кривая задаваемая выражением

$$B(t) = \sum_{i=0}^n P_i b_{i,n}(t), \quad 0 \leq t \leq 1,$$

где P_i – функция компонент опорных вершин, а $b_{i,n}(t)$ – базисные функции кривой Безье,

$$b_{i,n}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i};$$

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}$$

где $\binom{n}{i}$ – число сочетаний из n по i , где n – степень полинома, i – порядковый номер опорной вершины. Для того, чтобы не увеличивать время отклика, необходимо использовать только одно значение t . К тому же, при увеличении степени полинома возрастает время вычислений и степень задержки от курсора. Поэтому этот метод необходимо использовать в более простом виде: n лучше брать не выше 2 и находить только одну точку. На Рис. 4 изображен результат сглаживания с помощью кривых Безье при $t=0.5$ и $n=1$, где p – множество необработанных точек, а n – множество отфильтрованных точек.

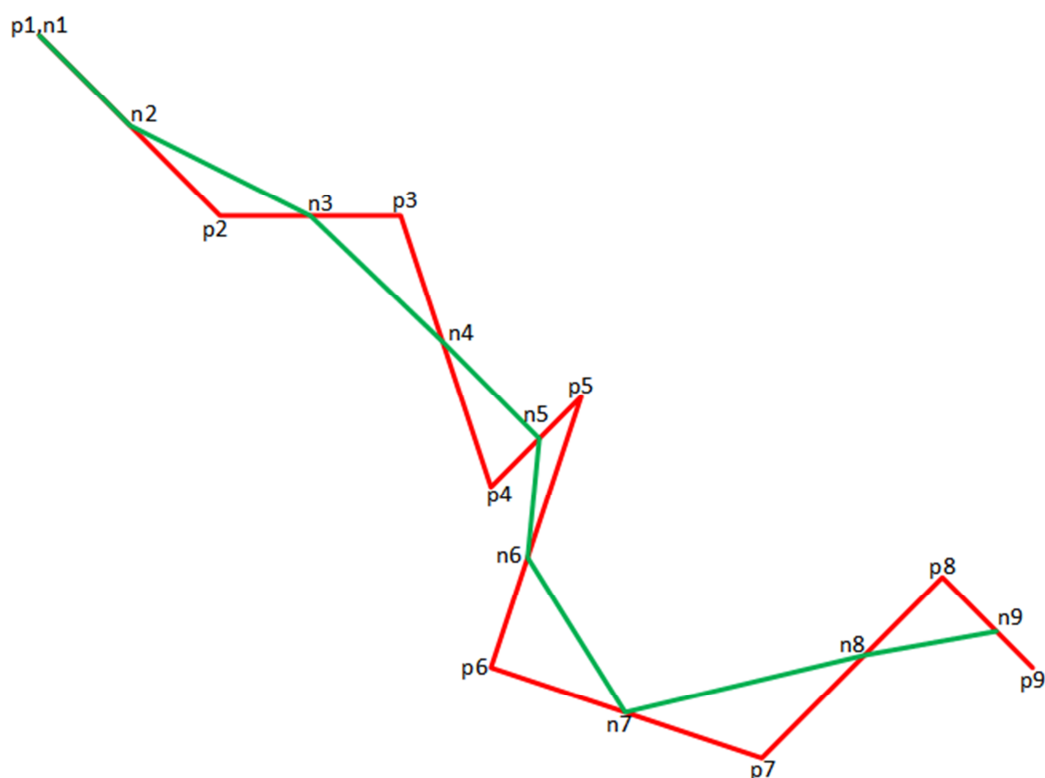


Рис. 4. Результат сглаживания по кривым Безье

Экспериментальные данные показывают, что в зависимости от траектории фильтр Калмана и кривые Безье имеют плюсы и минусы. К примеру, фильтр Калмана, при работе с линией в виде зигзага, начинает формировать обратный зигзаг, а кривые Безье в этой ситуации не совершает таких ошибок. Однако, фильтр Калмана в целом делает кривую более гладкой при меньшем отставании, чем кривые Безье. Поэтому лучше всего использовать оба метода вместе, подавая выходные параметры после обработки кривыми Безье, при $t=0.5$ и $n=1$, на вход фильтра Калмана, при $K=0.5$. На Рис. 5 приведён пример использования двух методов.

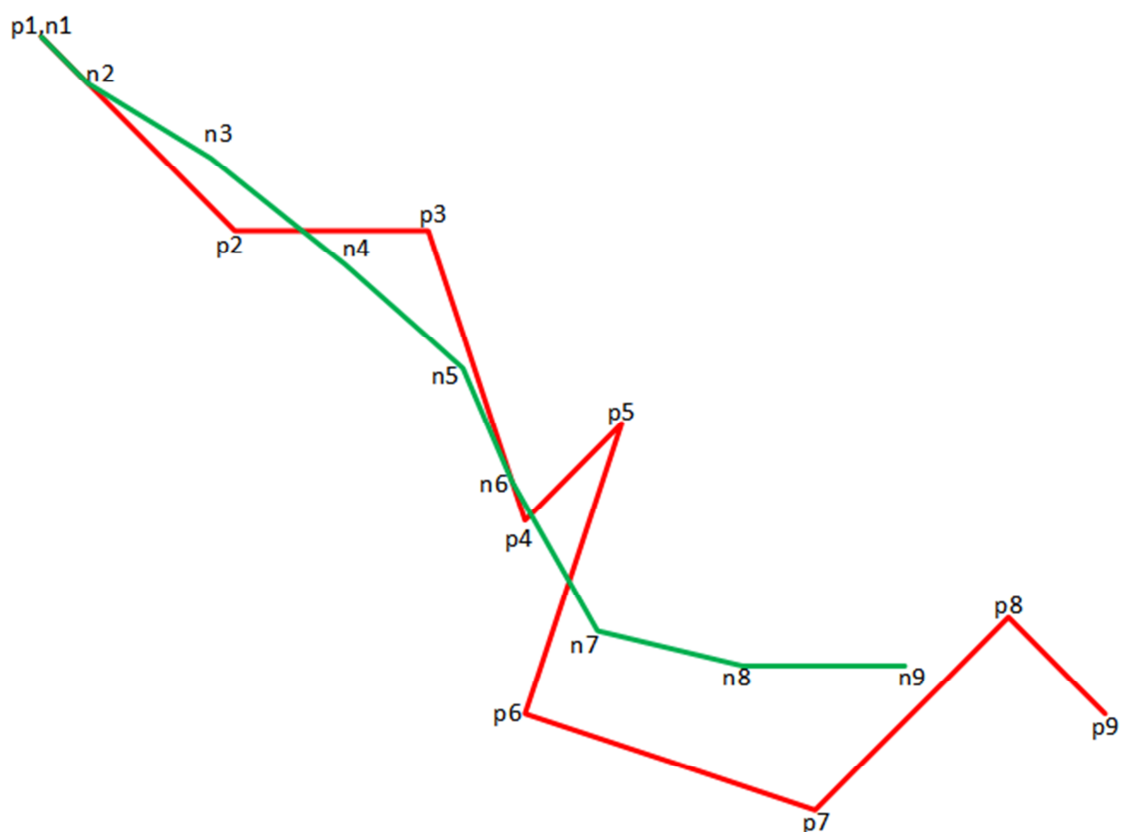


Рис. 5. Результат использования фильтра Калмана и кривых Безье

Окончательный результат работы алгоритма изображён на Рис. 6. На данном рисунке визуализированы данные полученные экспериментальным путём. Для проверки работы фильтрации, все данные были сильно зашумлены. Фильтрация происходит с использованием метода Калмана, при $K = 0.5$, и кривых Безье, при $t = 0.5$ и $n = 1$. Кривые снизу и справа демонстрируют выборку, где красные кривые – исходные данные, зелёные кривые – выборка. Синие перекрестие – текущая неотфильтрованная точки касания. Ломаная кривая – путь всех точек касания без фильтрации, гладкая кривая – путь отфильтрованных точек касания.

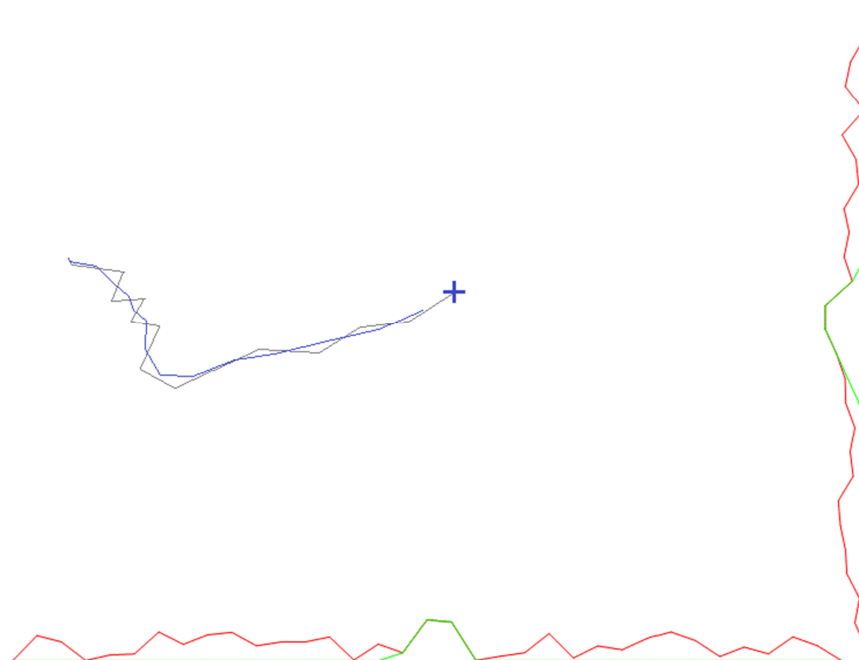


Рис. 6. Окончательный результат работы алгоритма

В данной работе разработан алгоритм детектирования касания и сглаживания траектории движения указателя для ИК сенсорной панели, который был разработан на основе методов проецирования, фильтрации и сглаживания. Было разработано ПО, моделирующее физику реальной панели и возможные источники шумов, для проведения сравнения алгоритмов и их точности. В результате были достигнуты следующие результаты:

- Алгоритм выборки позволяет быстро очистить массив значений от внешних шумов. При этом область касания выделяется максимально точно, что позволяет детектировать касание в почти полностью зашумлённой окружающей среде. При малых значениях шума облегчается достижение точности при последующей обработке значений.
- Алгоритм сглаживания кривой на основе кривой Безье позволяет очень эффективно сглаживать кривые, принимающие форму зигзага. Это очень важно, т.к. из-за строения сенсорной панели во время движения указывающего элемента происходят скачки с одного луча на другой, которые кривая Безье устраняет при степени полинома равной 1, что в свою очередь даёт минимальное отставание вычисляемого касания от действительного.

- Алгоритм фильтрации на основе фильтра Калмана позволяет эффективно сглаживать единовременные скачки и усиливать эффект сглаживания после кривой Безье.
- Разработанное ПО позволило смоделировать различные способы управления указателем ввода, а также проверить разработанный алгоритм при воздействии различных источников шума. На Рис. 6 приводится иллюстрация функционирования ИК панели с визуализацией данных на присоединённом ПК.

Список литературы

- [1]. Синицын И.Н. Фильтры Калмана и Пугачева: учеб. пособие. М.: Университетская книга, Логос, 2006. 640 с.
- [2]. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. 604 с.
- [3]. Перов, А. И. Статистическая теория радиотехнических систем. М.: Радиотехника, 2003. 400 с.
- [4]. Худавердян Д. Фильтр Калмана. Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/166693/> (дата обращения 21.03.2016).
- [5]. Листеренко Р.Р. Применение фильтра Калмана для обработки последовательности GPS-координат // Молодёжный научно-технический вестник. Электрон. журн. 2015. № 9. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/802893.html> (дата обращения 05.04.2016).