

УДК 004.93 + 62.51 + 625.03

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ КЛАССОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ПОМОЩИ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

Д. Е. Обертов¹,

аспирант

В. М. Бардов²,

аспирант

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

Рассматриваются проблемы идентификации классов транспортных средств с помощью акселерометров. Реализуется алгоритм определения классов автомобилей, основанный на измерениях с акселерометров. Последовательность действий алгоритма включает в себя фильтрацию полосовым фильтром, возведение в квадрат, сглаживание скользящим окном и фильтром нижних частот, а также удаление помех путем сравнения с порогом. Приведены результаты обработки данных с помощью алгоритма, демонстрирующие его эффективность.

Ключевые слова — акселерометр, идентификация, классы транспортных средств, интеллектуальные транспортные системы.

Введение

В последнее десятилетие все большее внимание уделяется построению интеллектуальных транспортных систем, в том числе интеллектуальных дорог, которые снабжены средствами, позволяющими обеспечивать взаимодействие и связь между транспортной инфраструктурой и транспортными средствами (ТС).

Применение таких средств дает возможности для контроля дорожного движения в целях повышения безопасности, уменьшения заторов и пробок на дорогах, ведения статистики дорожного движения, идентификации классов ТС, контроля скорости и других приложений [1, 2].

Идентификация классов ТС является важным компонентом безопасности дорожного движения. Поэтому разработка системы и алгоритма, который с большой производительностью и надежно-

стью мог бы работать в различных погодных условиях, в любое время суток является актуальной. Также необходимо по возможности обеспечить бесконтактность измерений, что позволит продлить срок эксплуатации системы, уменьшить количество переустановок оборудования и вмешательства людей в дорожное движение, приводящее к нарушению движения во время установки.

Транспортные средства могут быть классифицированы по различным критериям в зависимости от задач. Наиболее очевидным является применение идентификации классов ТС для мониторинга дорожного движения и набора статистики [3, 4]. Статистика необходима как характеристика описания движения транспорта в одном определенном месте в определенное время: времени суток, дня недели, времени года. В дальнейшем эта информация может быть использована для планирования ремонта дорог, организации других эксплуатационных мероприятий и принятия мер по разгрузке транспортной сети.

В данной работе исследуется возможность использования акселерометров для идентификации классов автомобилей. Узлы-датчики, состоящие из одного акселерометра и магнитометра, устанавливаются на дорожную разметку. Расстояние между соседними узлами 50 м. Датчики обмениваются информацией по беспроводной сети между собой и серверами, расположенными

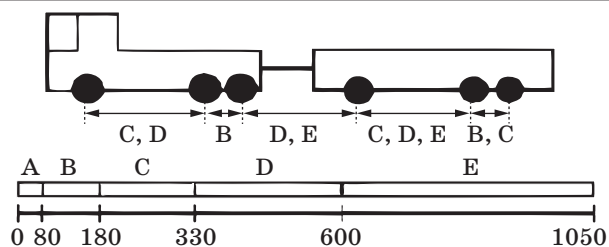
¹ Научный руководитель — доктор технических наук, профессор кафедры СУиИ Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики *Б. Р. Андриевский*.

² Научный руководитель — кандидат технических наук, доцент кафедры СУиИ Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики *С. В. Арановский*.

вдоль дороги. Установка датчиков на дорожную разметку позволит повысить время их эксплуатации благодаря меньшему количеству наездов ТС, а также позволит обеспечить бесконтактность измерений. Акселерометры измеряют вибрации дороги, за счет чего отсутствует непосредственный контакт датчиков с автомобилями. Магнитометры измеряют магнитные поля, создаваемые автомобилями. Планируется использовать их в будущем для измерения скорости автомобилей. Сейчас скорость считается известной.

Идентификация классов автомобилей

Существует 5 типов осей по международной классификации в зависимости от расстояния между соседними колесами: А, В, С, D, Е (рис. 1).



■ Рис. 1. Классификация колесных баз автомобилей

Если колесная база (расстояние между соседними осями автомобиля) от 80 до 180 см, то ТС относится к мотоциклам, от 180 до 330 см — к легковым автомобилям и т. д. Возможны и более сложные комбинации осей (см. рис. 1).

На основе анализа колесной базы автомобилей — продольного расстояния между соседними осями автомобиля — разработана классификация ТС (таблица).

Реализация алгоритма и результаты экспериментальных исследований

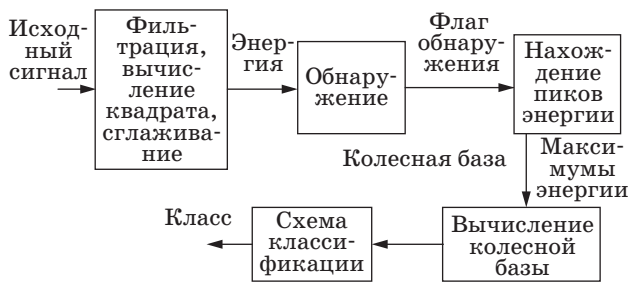
Обработка данных с акселерометров показана на рис. 2. Изначально идет предварительная обработка, обнаружение автомобилей. Только затем следует обработка данных в целях нахождения классов автомобилей. Предварительная обработка данных осуществляется согласно представленным шагам.

Последовательность операций для определения классов ТС с использованием акселерометров (рис. 3) состоит из следующих операций.

1. Первоначальные данные, полученные с акселерометров, фильтруются полосовым фильтром (ПФ), потому что рассматриваем частотный диапазон, соответствующий области максимальных амплитуд сигнала. Предварительная обработ-

■ Классификация автомобилей по колесной базе

Класс автомобиля	Классы осей	Условное изображение класса	Обозначение автомобиля
Мотоцикл	B		MC
Легковой автомобиль	C		P20
Легковой автомобиль с прицепом	C-C, D		P21
	C-B, C, D-A		P22
Грузовик (2 оси)	D, E		L20
Грузовик (2 оси) с прицепом	D, E-C		L21
	D, E-D, E		L22
	D, E-B		L23
Грузовик (2 оси) с прицепом	D, E-C, D, E-B, C, D, E		L24
	D, E-B, C, D, E, E-B, C, D, E		L25
Грузовик (2 оси) с прицепом	D, E-D, E-B, C-B, C		L26
	D, E-B, C-C, D, E-B, C		L27
	C, D-B		L30
Грузовик (3 оси) с прицепом	C, D-B-C		L31
	C, D-B-D, E		L32
	C, D-B-B		L33
	C, D-B-C, D, E		L34
	C, D-B-C, D, E-B, C, D, E		L35
	C, D-B-D, E-B, C-B, C		L36
	C, D-B-B, C-C, D, E-B, C		L37



■ Рис. 2. Последовательность действий по обработке данных с акселерометров

ка сигналов с помощью быстрого преобразования Фурье и короткооконного преобразования Фурье выявила частотный диапазон от 850 до 1750 Гц. Такая обработка необходима для исключения низкочастотных и высокочастотных помех. Используется эллиптический фильтр, который обеспечивает максимальное затухание сигнала в полосе задерживания [5]. Частоты среза ПФ выбираются на основе предварительной обработки данных и анализа спектральных характеристик.

2. Данные, полученные на выходе ПФ, возводятся в квадрат: $z(iT) = y(iT)^2$, где $i = 0, 1, 2, \dots$ — дискретное время; T — интервал квантования (частота дискретизации датчика).

3. Сигнал сравнивается с порогом, все значения, которые меньше порога, обнуляются:

$$\text{threshold} = 0,02 \cdot \text{maximum}(z);$$

$$z(iT)^* = \begin{cases} z(iT), & \text{если } z(iT) \geq \text{threshold}; \\ 0, & \text{иначе } z(iT) < \text{threshold}, \end{cases}$$

$$z(iT) < \text{threshold}, \text{ тогда } z(iT) = 0.$$

4. Сглаживание с помощью скользящего окна с временем сглаживания t .

5. Сигнал $z(i)$ фильтруется эллиптическим фильтром нижних частот (ФНЧ), частота среза выбирается в зависимости от скорости ТС: $w = f(V)$ [Гц], где V — скорость ТС, км/ч.

6. Значения сигнала сравниваются с порогом, если они меньше порога, то обнуляются:

$$\text{suma}(i)^* = \begin{cases} \text{suma}(i), & \text{если } \text{suma}(i) \geq \text{threshold}; \\ 0, & \text{иначе } \text{suma}(i) < \text{threshold}; \end{cases}$$

$$\text{threshold} =$$

$$= \begin{cases} 0,33 \cdot \text{maximum}(\text{suma}), & \text{если } yf > 0,00005; \\ 0,22 \cdot \text{maximum}(\text{suma}), & \text{иначе } yf \leq 0,00005, \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, k,$$

где yf — сигнал на выходе ФНЧ. Числа 0,33; 0,22 получены экспериментальным путем.

7. Алгоритм поиска максимумов кривой y_i : этот алгоритм анализирует производную y_i для поиска максимумов.

8. Для удаления «плохих» пиков (максимумов) используется порог. Мы не анализируем колесную базу меньше 60 см (0,6 м). Колесная база может быть найдена согласно оператору: $(\text{time}2(i + 1) - \text{time}2(i))V$.

9. Амплитудный и временной порог используются для удаления пиков с малой амплитудой и маленькой шириной импульса (временной порог). Порог амплитуды составляет 8 % от максимального значения амплитуды пика.

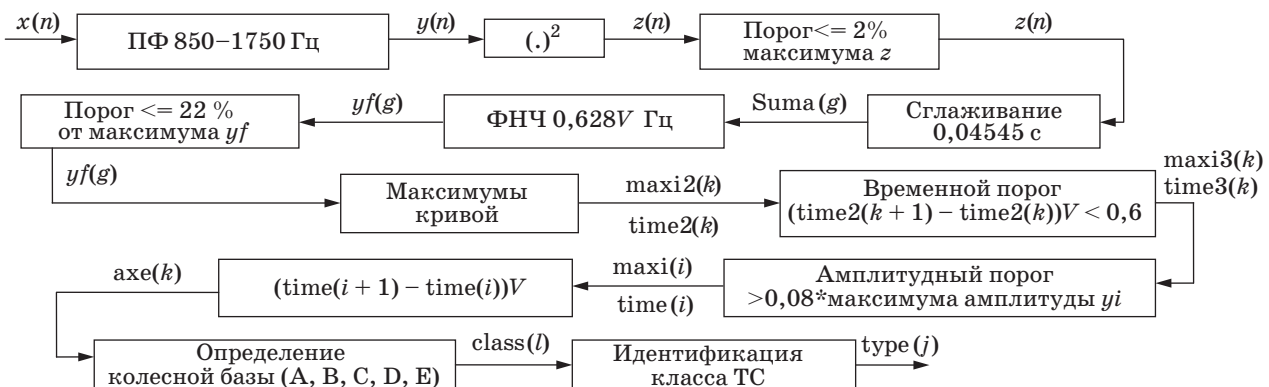
Временной порог пересчитывается в расстояние, аналогично расчету колесной базы. Ширина импульса умножается на скорость. Не анализируются импульсы шириной меньше 70 см.

10. Алгоритм определения колесной базы (А, В, С, D, E). Этот алгоритм реализован в соответствии с рис. 1.

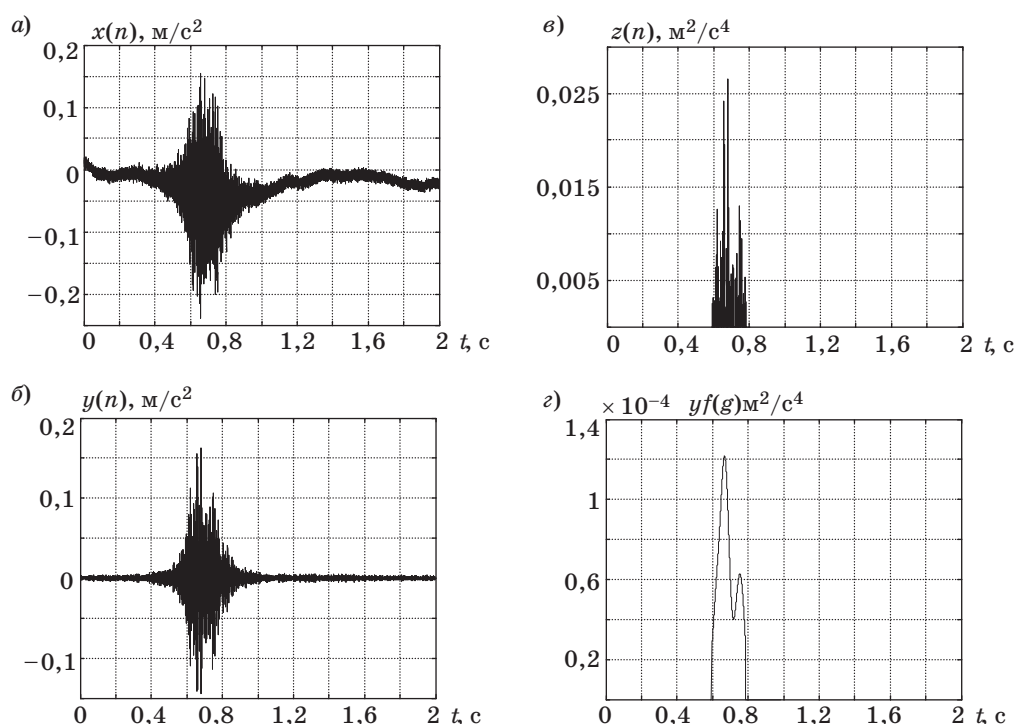
11. Алгоритм классификации ТС осуществляется в соответствии с рис. 1 и 2.

Графики сигналов в важнейших точках алгоритма для идентификации классов ТС представлены на рис. 4.

Алгоритм был протестирован на основе серии экспериментов, проведенных на дорогах в окрест-



■ Рис. 3. Последовательность действий для идентификации классов ТС с использованием акселерометров (использованы фрагменты программы)



■ **Рис. 4.** Графики сигналов в важных точках последовательности действий: *a* — $x(n)$ (исходный сигнал с акселерометра); *б* — $y(n)$ (после ПФ); *в* — $z(n)$ (после возведения в квадрат и сравнения с порогом); *г* — $yf(g)$ (после сглаживания скользящим окном и ФНЧ и после удаления помех)

ности города Лулео (Швеция). В результате экспериментов были найдены следующие параметры:

- нижняя частота среза $f_{\text{Н}} = 850$ Гц;
- верхняя частота среза $f_{\text{В}} = 1750$ Гц;
- частота среза для ФНЧ $\omega = 0,628V$ Гц;
- для скользящего окна $t = 0,045$ с. Коэффициент 0,045 получен эмпирически для акселерометров с частотой дискретизации 22 000 Гц.

Заключение

Были рассмотрены алгоритмы идентификации классов ТС с использованием акселерометров. Клас-

сы автомобилей идентифицируются достаточно точно, но для этого необходимо знать скорость ТС. Эти результаты могут быть использованы в реальных системах дорожного хозяйства для построения интеллектуальных систем дорожного движения, идентификации классов ТС, для подсчета количества ТС, для мониторинга скорости ТС. В последнем случае необходимо использовать два датчика, что является предметом последующих исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (соглашение № 14.В37.21.0421).

Литература

1. Birk W., Osipov E., Eliasson J. iRoad — cooperative road infrastructure systems for driver support // 16th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems 2009, Stockholm, Sweden, 21–25 Sept. 2009. Red Hook: Curran, 2009.
2. Birk W. et al. Road Surface Networks Technology Enablers for Enhanced ITS // 2010 IEEE Vehicular Networking Conf., VNC 2010: Jersey City, NJ, 13–15 Dec. 2010. Piscataway, NJ: IEEE, 2010. P. 152–159.
3. Hostettler R. Traffic Counting Using Measurements of Road Surface Vibrations // Master’s thesis. — Lu-lea University of Technology, 2009. <http://pure.ltu.se/> (дата обращения: 10.03.2011).
4. Hostettler R., Birk W., Nordenvaad L. M. On the Feasibility of Road Vibrations-based Vehicle Property Sensing // (I E T) Intelligent Transport Systems 4, (4), 2010. P. 356–364. <http://pure.ltu.se/> (дата обращения: 10.03.2011).
5. Лем Г. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация: пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 592 с.