

УДК 004.896, 004.932.2, 004.823

**С.М. Соколов, А.К. Платонов, А.А. Богуславский, Ф.А. Куфтин, К.А. Моксин****БЕСКОНТАКТНАЯ ОДОМЕТРИЯ В СОСТАВЕ БОРТОВЫХ  
НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ\***

*В статье рассматриваются возможности бесконтактной одометрии на основе системы компьютерного видения в составе навигационных систем мобильных роботов и других транспортных средств. Описываются исследования подобных систем и приводятся результаты экспериментов с опытными образцами бесконтактных одометров.*

*Системы технического зрения; бесконтактная одометрия; оптический поток; локальная навигация.*

**S.M. Sokolov, A.K. Platonov, A.A. Boguslavskij, F.A. Kuftin, K.A. Moxin****CONTACTLESS ODOMETER AS A PART OF ONBOARD NAVIGATING  
SYSTEMS**

*In article contactless odometer possibilities as a part of mobile robots navigating systems and other vehicles are considered. Researches of similar systems are described and results of experiments with pre-production models contactless odometers are resulted.*

*On the basis of the spent researches quantitative estimations of reliability and accuracy of offered algorithms are given. These estimations allow formalizing criteria of decision-making on configuration of contactless odometers hardware-software means for achievement of the set characteristics of reliability at the set restrictions on parameters of relative movement and restrictions on accessories cost.*

*In the conclusions the conclusion about high accuracy and reliability of this independent (from other known ways of a way notation) channel of navigating data becomes.*

*Vision systems; contactless odometer; an optical flow; local navigation.*

**Введение.** Системы технического зрения (СТЗ) – неотъемлемая часть современных систем информационного обеспечения мобильных робототехнических комплексов. Эти системы могут обеспечить успешное решение ряда навигационных задач, существенно дополнив, а в ряде случаев и эффективней заменив другие, более традиционные средства.

В частности, такими задачами является определение относительного движения камеры относительно наблюдаемой поверхности или сцены (набора поверхностей) и счисление пути относительно той же поверхности. Важным свойством таких систем является независимость счисления пути от особенностей реализации движения (люфты в трансмиссиях, пробуксовки, встречный или попутный ветер, течение жидкости, в которой происходит движение).

Естественно, что наряду с явными преимуществами у бесконтактных методов есть и свои ограничения и недостатки.

Целью описываемого исследования является установление границ эффективного применения бесконтактной одометрии и разработка механизмов её реализации в информационных системах конкретных движущихся объектов.

На описываемом этапе исследовалось одно из направлений в прикладном использовании оптического потока: счисление пути по факту перемещения камеры относительно наблюдаемой поверхности или сцены.

**Алгоритмическое обеспечение бесконтактного счисления пути.** Счисление пути – рутинная операция, дающая результат с высокой точностью при ряде ограничений на характер движения и условия наблюдения подстилающей поверх-

---

\* Работа частично поддержана грантом РФФИ № 08-01-00908.

ности. Для выполнения этой операции достаточно иметь зрительные данные с определённых фрагментов поля зрения одной или нескольких ТВ-камер. В остальных частях поля зрения может производиться другая обработка.

Задача должна решаться в масштабе реального времени, определяемого скоростью перемещения ТС, поэтому существенным требованием (и ограничением) на предлагаемые алгоритмы является их быстроедействие.

В основе бесконтактной одометрии лежит работа с оптическим потоком [1-6]. Для корректной работы бесконтактных одометров необходимо обеспечение надёжности получения и обработки оптического потока характеризующего относительное движение видеокамеры и наблюдаемой сцены (подстилающей поверхности).

Одно из важных требований к бесконтактной одометрии: автоматическая подстройка к изменяющейся текстуре поверхности или сообщение о невозможности выполнить одометрию по отношению к текущей поверхности. Такой автоматизм позволяет маневрировать выбором поля зрения для определения векторов смещения ТС и также автоматически обеспечивать требуемые показатели точности и надёжности.

**Математическая модель формирования оптического потока.** Для разработки алгоритмов работы с оптическим потоком (ОП) была построена математическая модель формирования ОП в среде MathCAD.

На этой модели (рис. 1, 2) исследовались зависимости надёжности и точности определения векторов смещения от параметров входного изображения и масштаба рассматривания сцены.

**Программная реализация алгоритмов счисления пути.** Параллельно в программной реализации алгоритмов сбора и обработки реальных зрительных данных исследовались возможности повышения эффективности счисления пути, в том числе за счёт учёта априорных характеристик наблюдаемого движения.

Изучение известных алгоритмов работы с ОП показывает [1, 6], что на всех этапах определения ОП и его обработки возможно повышение эффективности этих алгоритмов с точки зрения времени обработки и надёжности выделения реальных векторов смещения камеры относительно подстилающей поверхности.

Среди известных алгоритмов работы с ОП для рассматриваемой задачи был выбрано направление работы с разреженным ОП, как наиболее эффективное с точки зрения работы в масштабе реального времени и соответствующее имеющимся исходным данным (видеоматериалам) для счисления пути.

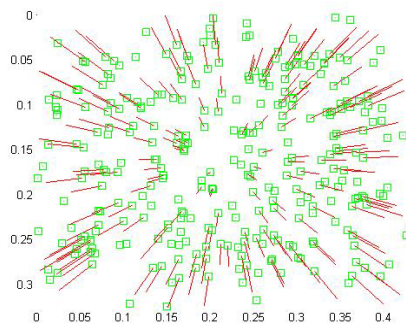


Рис. 1. Непрерывная модель кадра и вычисленные на её основе вектора смещений

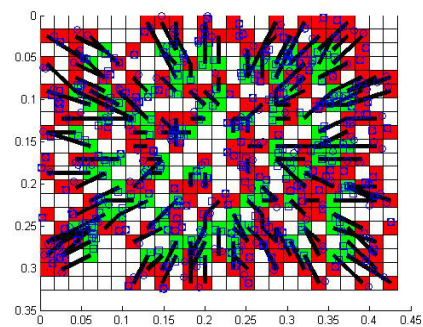


Рис. 2. Дискретная модель кадра и вычисленные на её основе вектора смещений

В общей схеме вычисления разреженного ОП уже на этапе выделения характерных точек учитывается интересное направление векторов смещения (известное либо из кинематики транспортного средства (ТС), либо из прогноза по предыдущим смещениям, либо по данным от других информационных сенсоров). Градиенты яркости в направлениях перпендикулярных направлению движения не информативны (для вычисления векторов смещений) и точки изображения, обладающие этими градиентами, не являются надёжными характерными точками. С другой стороны, на выделение таких характерных точек будут затрачены дополнительные вычислительные ресурсы.

На этапе определения векторов смещений выполняется двойная фильтрация кандидатов: по направлению (с допуском, учитывающим кинематику ТС и возможные погрешности одиночных измерений); по модулю (известным ... и динамическим характеристикам ТС).

И, наконец, на третьем этапе определяется результирующий вектор смещения по данному полю зрения. Проверяется удельная плотность векторов смещения, найденных по текущему кадру. Проверка осуществляется в соответствии с заранее промоделированными и откалиброванными в лабораторных условиях видами текстур подстилающей поверхности.

**Эксперименты по счислению пути.** Для практической реализации разработанных алгоритмов был скомпонован опытный образец бортового бесконтактного одометра для включения в состав систем навигационного обеспечения систем управления ТС с повышенной степенью автономности. Кроме того, был организован стенд для калибровки бесконтактного одометра (рис. 3).



*Рис. 3. Общий вид стенда для экспериментов и калибровки алгоритмов определения смещений камеры на основе оптического потока. Белой рамкой ограничена зона, в которую могут помещаться объекты, имеющие различную текстуру*

В экспериментах получены количественные оценки качества оптических потоков, сформированных при движении над одними и теми же сценами камер с различными характеристиками быстродействия.

Качество векторов относительного смещения видеокамеры и наблюдаемой поверхности определялось статистическими характеристиками распределения найденных векторов. В проведённых экспериментах, при сравнении данных, по-

лученных на основе обработки видеопотока с быстродействующей камеры (200 Гц) и камеры ТВ стандарта (25 Гц или 50 Гц при работе с полукадрами), получены результаты, свидетельствующие о существенно более высокой надёжности/стабильности в определении смещений по данным с первой камеры.

Эти оценки позволяют формализовать критерии принятия решения о компновке программно-аппаратных средств бесконтактных одометров для достижения заданных характеристик надёжности при заданных ограничениях на параметры относительного движения и ограничениях на стоимость комплектующих.

Предлагаемые методы и алгоритмы работы с ОП для задач бесконтактной одометрии верифицированы в экспериментах по счислению пути различных транспортных средств. Были получены успешные результаты счисления пути автомобильных средств при движении по дорогам с асфальтовым покрытием и грунтовыми дорогам (до 0,3 % от пройденного пути). Хорошие результаты показала бесконтактная одометрия на железной дороге (до 0,2 %). Для мобильных роботов внутри помещений были получены ещё более высокие результаты (до 0,01 %).

Отметим, что эти результаты были получены при использовании одного поля зрения, в то время как возможно в рамках тех же вычислительных мощностей обеспечить обработку двух полей зрения, что ещё более повышает точность и надёжность бесконтактной одометрии.

**Заключение.** Современные средства сбора и обработки зрительных данных в сочетании с интеллектуальными алгоритмами обработки позволяют реализовать бесконтактное счисление пути для ряда практических задач. Экспериментально подтверждена высокая точность и надёжность этого канала навигационных данных. Открываются перспективы более широкого использования подобных систем.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Bouguet Jean-Yves*. Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker. The paper is included into OpenCV distribution <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/index.htm> - официальный сайт поддержки библиотеки OpenCV.
2. *Shi Jianbo and Tomasi Carlo*. "Good features to track", Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vision and Pattern Recogn., 1994. – P. 593-600.
3. *Horn B.K.P., Schunk B.G.* Determining Optical Flow. Artificial Intelligence. Vol. 2. – 1981. – P. 185-203.
4. *Braillon Christophe, Pradalier C'edric, James L. Crowley1, Christian Laugier* Real-time moving obstacle detection using optical flow models Intelligent Vehicles Symposium 2006, June 13-15, 2006, Tokyo, Japan.
5. *Dev B.J.A Krose F.C.A.* Green Heading Direction for a Mobile Robot from Optical Flow Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation Leuven, Belgium. May 1998.
6. *Baker S.and Matthews I.* "Lucas-Kanade 20 Years On: A Unifying Framework" IJCV, Vol. 56, № 3, March, 2004. – P. 221-255.

**Соколов Сергей Михайлович**

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.

E-mail: sokolsm@list.ru.

125047, г. Москва, Миусская пл., д. 4

Тел.: 89161220113.

**Платонов Александр Константинович**

E-mail: platonov@keldysh.ru.

Тел.: 89104390250.

**Богуславский Андрей Александрович**

E-mail: boguslav@keldysh.ru.

Тел.: 89164827544.

**Куфтин Феликс Андреевич**

Коломенский государственный педагогический институт.

E-mail: Iron\_fil@list.ru.

140411, Московская обл., г. Коломна, ул. Зеленая, 30.

Тел.: 89160581523.

**Моксин Константин Александрович**

Московский физико-технический институт (государственный университет).

E-mail: kamoksin@mail.ru.

141709, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

Тел.: 89154772055.

**Sokolov Sergey Mikhailovich**

Keldysh Institute of Applied Mathematics.

E-mail: sokolsm@list.ru.

125047, г. Москва, Миусская пл., д. 4

4, Miusskaya area, Moscow, 125047, Russia.

Phone: 89161220113.

**Platonov Alexandr Konstantinovich**

E-mail: platonov@keldysh.ru.

Phone: 89104390250.

**Boguslavsky Andrey Alexandrovich**

E-mail: boguslav@keldysh.ru.

Phone: 89164827544.

**Kuftin Felix Andreevich**

Kolomna Teacher Training Institute.

E-mail: Iron\_fil@list.ru.

30, Zelenaya street, Kolomna, Moscow Region, 140411, Russia.

Phone: 89160581523.

**Moksin Konstantin Alexandrovich**

Moscow Institute of Physics and Technology.

E-mail: kamoksin@mail.ru.

9, Institutskii per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russia

Phone: 89154772055.

УДК 623.4

**Г.В. Анцев, Е.Г. Борисов, Л.С. Турнецкий****ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ САМОНАВЕДЕНИЯ  
С КООРДИНАТОРАМИ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ**

*В статье обсуждены методы повышения качества системы самонаведения летательных аппаратов путем комбинирования и комплексирования радиолокационного и оптикоэлектронного координаторов-пеленгаторов, входящих в состав системы. Рассмотрены примеры основных видов объединения информационных каналов. Приводится оценка эффективности объединения информации измерительных каналов различной физической природы.*

*Комплексирование информации; система самонаведения.*