

Регистрация дальнометрических и телевизионных данных при построении трехмерной модели внешней среды

© С.Н. Загоруйко, В.П. Носков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассмотрена проблема построения объемной цветной модели внешней среды по ее дальнометрическим и цветным телевизионным изображениям, получаемым бортовыми сенсорами при движении мобильного робота. Предложены алгоритмы построения такой модели. Приведены характеристики соответствующих программно-аппаратных средств и результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: система технического зрения, навигационная задача, регистрация, комплексирование, оптимизация с использованием двойных кватернионов.

Традиционно в системах технического зрения применяют дальнометрические или телевизионные изображения. В настоящей статье для каждой точки обзора предложено получать текстурированный фрагмент виртуального трехмерного изображения внешней среды путем совмещения (комплексирования) дальнометрической и телевизионной информации и объединять фрагменты в процессе движения в одной системе координат, решая навигационную задачу [1]. Появление быстродействующих сканирующих дальномеров, работающих синхронно с телекамерами, и высокопроизводительной вычислительной техники позволяют на современном этапе формировать объемные визуально подобные цифровые модели внешней среды в реальном времени.

В качестве бортового сенсора было использовано устройство Asus Xtion Pro Live с датчиком глубины и цветной видеокамерой (рис. 1) [2]. Датчик глубины состоит из инфракрасного проектора, объединенного с монохромной КМОП-матрицей, что дает возможность получать трехмерное дальнометрическое изображение при искусственном освещении. Характеристики сенсора приведены ниже:

Потребляемая мощность, Вт	Менее 2,5
Дистанция сканирования, м	0,8...3,5
Угол обзора, град:	
горизонтальный	58
вертикальный	45
диагональный	70
Датчики	Цветная видеокамера, датчик глубины, два микрофона
Разрешение:	
датчика глубины, количество кадров	VGA (640×480): 30
в секунду	QVGA (320×240): 60
видеокамеры	SXGA (1280×1024)



Рис. 1. Сенсор Asus Xtion Pro Live

Дальнометрические изображения (облака точек) этого сенсора требуют фильтрации, которая включает в себя три этапа:

- 1) фильтрацию дальнометрических данных двусторонним фильтром [3];
- 2) преобразование дальнометрических данных из исходной (сферической) системы координат в декартову систему координат;
- 3) вычисление нормалей аппроксимирующих плоскостей для всех троек соседних точек и отбрасывание точек, нормали в которых не совпадают.

Алгоритм построения объединенной объемной модели внешней среды при движении мобильного робота состоит из повторения следующих шагов (рис. 2). Перед началом движения робота (сенсора) вводятся его начальные координаты (линейные и угловые) и формируется первый фрагмент трехмерной модели по данным сенсора. Затем выполняется перемещение робота на один шаг и формируется новый фрагмент трехмерной модели по новым данным сенсора после их фильтрации.

В общем случае параметры перемещения (приращения линейных и угловых координат) неизвестны или известны с погрешностью бортовой навигационной системы, а для дополнения трехмерной модели новым фрагментом их необходимо знать с точностью, соизмеримой с размерами пикселя. Такая навигационная задача решается методами экстремальной навигации на основе анализа новых и предыдущих данных сенсора.

Условиями успешного применения методов экстремальной навигации являются [4]:

- 1) достаточная точность и подробность анализируемых дальнометрических и телевизионных изображений;
- 2) пересечение новой и предыдущей зоны обзора сенсора;
- 3) пригодность рабочей зоны обзора для методов экстремальной навигации.

Первое условие обеспечивается характеристиками сенсора, второе – рациональным управлением периода съема данных сенсора в процессе

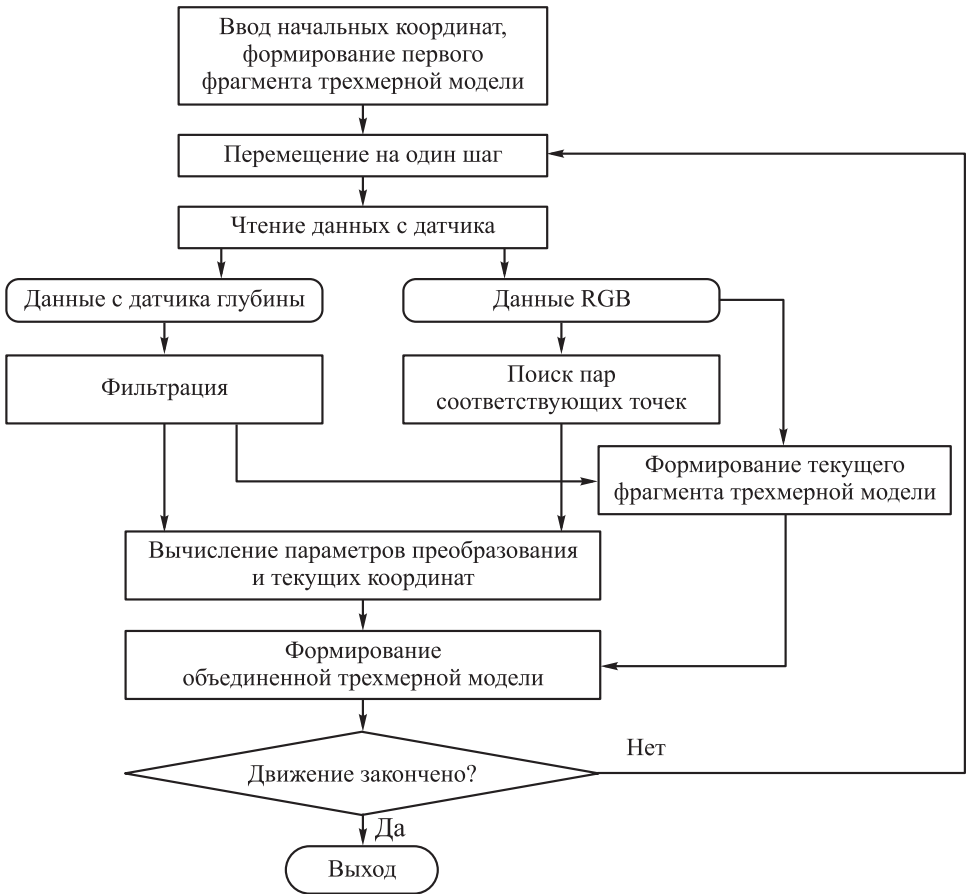


Рис. 2. Блок-схема алгоритма

движения. Для выполнения третьего условия необходимо, чтобы автокорреляционные функции дальнометрических и (или) телевизионных изображений имели выраженный максимум, что характерно для искусственных (индустриально-городская среда, помещения) и естественных внешних сред.

Решением навигационной задачи (вычисление приращений координат точек съема изображений по последовательности этих изображений) занимаются модули, приведенные на рис. 2.

Поиск пар соответствующих точек на двух RGB-изображениях (новом и предыдущем) состоит из двух этапов:

- 1) вычисление локальных дескрипторов в обоих изображениях;
- 2) нахождение попарного соответствия дескрипторов из двух изображений.

Локальные дескрипторы представляют собой вектора признаков, сформированные по отдельным фрагментам изображения. Существует много алгоритмов вычисления дескрипторов, например, SIFT (Scale Invariant Feature Transform), SURF (Speeded Up Robust Features),

PCA-SIFT (PCA – Principal Component Analysis) [5–7] и т. д. Алгоритм SIFT – один из самых известных. Получаемые с помощью него признаки инвариантны относительно масштаба и поворота, устойчивы к ряду аффинных преобразований, шуму, изменению в освещении. Указанный алгоритм можно разделить на две части: 1) определение «точек интереса»; 2) построение дескрипторов окрестностей этих точек. Есть несколько способов определения «точек интереса», например использование пирамиды Гаусса, построенной по изображению. Далее изображения приводятся к одному размеру, и вычисляется их разность. В качестве кандидатов «точек интереса» выбираются только те пиксели, которые сильно отличаются от остальных. Это выполняется путем сравнения каждого пикселя изображения с несколькими соседними пикселями данного масштаба, с несколькими соседними пикселями в большем и меньшем масштабе. Если яркость пикселя является экстремумом, то он выбирается как «точка интереса». Затем для каждой «точки интереса» определяется локальный дескриптор, характеризующий направление градиентов в пикселях некоторой окрестности.

Нахождение попарного соответствия дескрипторов проводится с помощью быстрого приближенного поиска ближайших соседей. Установленные дескрипторы фильтруются по расстоянию и исходя из возможного перемещения сенсора. Пример двух изображений с парами дескрипторов, полученными с помощью алгоритма SIFT, приведен на рис. 3.

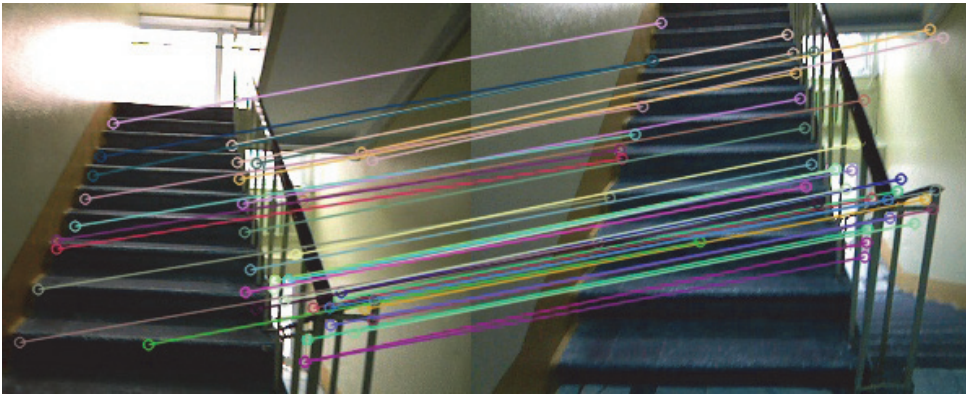


Рис. 3. Пары дескрипторов, найденные алгоритмом SIFT на двух изображениях

Вычисление геометрического преобразования (матрицы вращения и вектора линейного перемещения) между предыдущей и новой точками съема изображений выполняется модифицированным итерационным алгоритмом Iterative Closest Point (ICP) [8]. На каждой итерации этого алгоритма осуществляется поиск двойного кватерниона $\hat{q} = q + \varepsilon s$, при котором минимизируется функционал вида

$$E = \sum_{i=1}^k (p_i - \tilde{p}_i)^2 + \sum_{i=1}^k (n_i - \tilde{n}_i)^2,$$

где $p_i = qp_i^0 q^* + sq^*$; $n_i = qn_i^0 q^*$; k – число пар найденных дескрипторов; q^* – сопряженный кватернион; p_i^0, \tilde{p}_i и n_i^0, \tilde{n}_i – пары точек и нормалей (представленных кватернионами) соответствующих дескрипторов.

Итерации выполняются до достижения сходимости. На каждом шаге алгоритма облако точек нового дальнометрического изображения переводится в старую систему координат. При многократном повторении алгоритма в процессе движения с сохранением (регистрацией) новых и прошлых комплексированных изображений в единой системе координат строится обобщенная виртуальная трехмерная модель внешней среды.

Тестирование предложенных алгоритмов обработки комплексированных изображений с применением аппарата двойных кватернионов показало их высокую вычислительную эффективность и возможность решения задачи регистрации в режиме реального времени при ограниченной вычислительной мощности (совмещение пары изображений размером 320×240 занимает 90 мс на процессоре Intel Core i7). Это особенно важно при использовании предлагаемых средств в мобильных роботах, для которых характерны жесткие массовые, габаритные и мощностные ограничения, предъявляемые к бортовой аппаратуре. Для решения задачи регистрации в работе [1] применялся алгоритм трехмерной экстремальной навигации (вычислялись две линейные координаты, соответствующие плоскости перемещений, и одна угловая – курс), а в настоящей статье – шестимерный алгоритм, определяющий перемещение (три линейные координаты) и вращение (три угловые координаты) сенсора в любых направлениях. Последнее обстоятельство позволяет использовать предлагаемые средства регистрации не только в мобильных роботах, функционирующих в искусственных (плоских) средах, но и в роботах, работающих в более сложных или реальных средах (многоэтажные здания, индустриально-городская среда, подвергшаяся разрушению, пересеченная местность), а также в беспилотных летательных аппаратах [9].

Обобщенная виртуальная трехмерная модель внешней среды может быть использована, например, для моделирования виртуального движения с синхронным синтезом виртуальных трехмерных цветных изображений, соответствующих точкам траектории движения. При этом траектория может и не проходить по точкам, где были получены исходные комплексированные изображения (рис. 4).

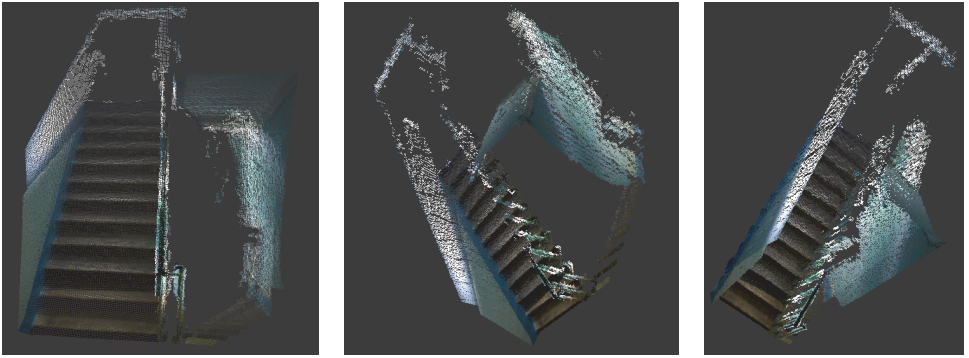


Рис. 4. Пример синтеза виртуальных изображений по обобщенной модели для различных точек виртуального наблюдателя

Поскольку предлагаемая модель имеет все геометрические параметры, в ней могут быть в соответствующем масштабе и в соответствующем месте изображены геометрические модели различных объектов управления, также модель может быть применена в контуре дистанционного управления этими объектами (например, в контуре дистанционного управления мобильными роботами и их навесным оборудованием – брандспойтами, манипуляторами, оружием и т. д.). Объект управления и внешняя среда могут быть показаны человеку-оператору с различных точек виртуального наблюдателя, что существенно упрощает процесс дистанционного управления. Не менее важным приложением является использование такой модели для предварительного виртуального проигрывания (планирования) различных сценариев будущих работ, операций или боевых действий в экстремальных условиях (ликвидация последствий аварий и катастроф, разминирование, борьба с террористами и т. п.).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Носков В.П., Рубцов И.В., Романов А.Ю. Формирование объединенной модели внешней среды на основе видеокамеры и дальномера. *Мехатроника, автоматизация, управление*, 2007, №8, с. 2–5.
- [2] URL: http://www.asus.com/Multimedia/Xtion_PRO_LIVE.
- [3] Paris S., Kornprobst P., Tumblin J., Durand F. Bilateral Filtering: Theory and Applications. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*, 2008, vol. 4, issue 1, pp. 1–73.
- [4] Носков А.В., Носков В.П. Навигация мобильных роботов по дальнометрическим изображениям. *Мехатроника, автоматизация, управление*, 2005, №12, с. 16–21.
- [5] David L. Object recognition from local scale-invariant features. *Proceedings of the International Conference on Computer Vision*, 1999, vol. 2, pp. 1150.
- [6] Bay H., Tuytelaars T., Gool L.V. SURF: Speeded Up Robust Features. *Computer Vision and Image Understanding*, 2008. URL: <http://www.vision.ee.ethz.ch/~surf/eccv06.pdf>. (дата обращения 08.06.2013).

- [7] Ke Y., Sukthankar R. PCA-SIFT: A More Distinctive Representation for Local Image Descriptors. URL: <http://www.cs.cmu.edu/~rahuls/pub/cvpr2004-keypoint-rahuls.pdf>. (дата обращения 08.06.2013).
- [8] Walker M.W., Shao L., Volz R.A. Estimating 3-D Location Parameters Using Dual Number Quaternions. *Image Understanding*, 1991, vol. 54, no 3, pp. 358–367.
- [9] Казьмин В.Н., Носков В.П. Объемное зрение в системе навигационного обеспечения беспилотного летательного аппарата. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2012, вып. 11. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/robot/473.html>

Статья поступила в редакцию 19.07.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Загоруйко С.Н., Носков В.П. Регистрация дальнометрических и телевизионных данных при построении трехмерной модели внешней среды. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 8. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/robot/933.html>

Загоруйко Сергей Николаевич – аспирант кафедры «Специальная робототехника и мехатроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор пяти научных работ в области обработки изображений и компьютерного зрения. e-mail: zagoruyko2@gmail.com

Носков Владимир Петрович – канд. техн. наук, заведующий сектором НИИ СМ, доцент кафедры «Специальная робототехника и мехатроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области робототехники. e-mail: noskov_mstu@mail.ru