

Создание программно-аппаратного комплекса дополненной реальности для использования в хирургии

В.И. Пестриков¹, Е.О. Белокуров¹, М.Я. Шехтер¹

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

Актуальность работы

Дополненная реальность - результат введения в поле восприятия любых сенсорных данных с целью дополнения сведений об окружении и улучшения восприятия информации.

Цель работы

Целью работы является разработка алгоритмов и программного обеспечения, которые позволяют реализовать:

- дополненную реальность, накладываемую на трехмерное видео хирургической операции, которая позволит улучшить понимание процессов, происходящих в хирургическом поле
- систему удаленной помощи врачам с помощью очков дополненной реальности
- помощь в условиях экстремальной медицины

Задачи

1. разработка программного обеспечения для автоматической калибровки стереопары
2. создание приложения, определяющего геометрию раны по стереоизображению, работающего в режиме реального времени
3. наложение полученных данных о геометрии раны на трехмерное видео
4. создание приложения для очков дополненной реальности, отображающее информацию, передаваемую консультирующим хирургом
5. создание программного обеспечения для ПК по обеспечению удаленного консультирования хирурга

Научно-практическая новизна

1. Практическая новизна работы состоит в создании программно-аппаратного комплекса с широким спектром применения
2. Научная новизна работы состоит в анализе способов отображения информации о геометрии раны и реализации наилучшего из них, а также в модернизации алгоритмов для построения карт глубины для видео в режиме реального времени.

Устранение искажений

- Радиальные искажения

$$x_{corrected} = x(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \quad (1)$$

$$y_{corrected} = y(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \quad (2)$$

- Тангенциальные искажения

$$x_{corrected} = x + [2p_1xy + p_2(r^2 + 2x^2)] \quad (3)$$

$$y_{corrected} = y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy] \quad (4)$$

Внутренняя калибровка

Матрица калибровки камеры (camera calibration matrix), internal calibration

$$K = \begin{bmatrix} a_x & s & c_x \\ 0 & a_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x/pix & s & c_x \\ 0 & f_y/pix & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

где:

- a – масштабирующие коэффициенты
- s – наклон, угол между осями x и y изображения
- c – положение принципиальной точки изображения (в пикселях)
- f, pix – фокусное расстояние, размер пиксела

Внешняя калибровка

Учет положения и ориентации камеры относительно мира.

Преобразование

$$C = \begin{bmatrix} R & T \\ [0,0,0] & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

задает положение и ориентация камеры в мировых координатах.

Обратное преобразование

$$C^{-1} = \left(\begin{bmatrix} R & T \\ [0,0,0] & 1 \end{bmatrix} \right)^{-1} = \begin{bmatrix} R^T & -R^T T \\ [0,0,0] & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

переводит мировые координаты в координаты камеры и называется матрицей внешней калибровки.

Конечная проективная камера

$$P = K * [I|0] * C^{-1} \quad (8)$$

где:

P – Матрица проекции камеры;

K – Внутренняя калибровка;

I/O – Центральная проекция;

C – Внешняя калибровка.

Матрица P размером 3×4, где K – верхнетреугольная, называется *конечной проективной камерой* (*finite projective camera*)

У неё 11 степеней свободы (5 внутренних параметров, 3 параметра поворота и 3 параметра положения центра проекции)

Схема калибровки камеры

1. DLT-метод (Direct Linear Transformation или прямое линейное преобразование) для получения матрицы проецирования
2. RQ-факторизация для извлечения матрицы внутренней калибровки K и внешней калибровки R и T
3. Уточнение параметров калибровки с помощью нелинейной оптимизации ошибки репроекции:

$$\min_P \sum_i d^2(x_i, PX_i) \quad (9)$$

Триангуляция

Из подобия треугольников:

$$\frac{X}{Z} = \frac{x_l}{f}; \quad \frac{X - B}{Z} = \frac{x_r}{f} \quad (10)$$

Исключаем X и выражаем Z:

$$Z = \frac{B * f}{x_l - x_r} = \frac{B * f}{d}, \quad (11)$$

где $d = x_l - x_r$ – диспаратет.

Итоговые координаты 3D-точки:

$$X = \frac{Z * x_l}{f}; \quad Y = \frac{Z * y_l}{f}; \quad Z = \frac{B * f}{d} \quad (12)$$

Заключение

1. Проведен анализ современных медицинских систем телемедицины, дополненной реальности, стереосъемки и их применения.
2. Разработаны приложения для калибровки стереосистемы, создания карт глубины по стереоизображениям.
3. Разработан прототип приложения для очков дополненной реальности, позволяющее проводить удаленные консультации с другими хирургами.

Литература

1. *Пестриков, В.И.* Программно-аппаратный комплекс дополненной реальности для хирургии / В.И. Пестриков, С.В. Клименко // СРТ2015: Труды Международной конференции и Школы по физико-технической информатике. – Протвино-Москва: Изд. ИФТИ, 2016 – С. 1-8
2. *Pestrikov, V.* Modeling arthroscopic camera with haptic devices in image-based virtual environments / S. Rasool, A. Sourin, V. Pestrikov, F. Kagda // HAPTICS: Proceedings Haptics Symposium. Houston, TX, USA: IEEE, 2014 - pp.403-408, Pub. IEEE, DOI: 10.1109/HAPTICS.2014.6775489
3. *Пестриков, В.И.* Создание панорамного изображения на основе видеоряда малоинвазивной артроскопической операции / В.И. Пестриков, А.И. Сурин // СРТ2013: Труды Международной конференции. – Протвино-Москва: Изд. ИФТИ, 2013 – С. 140-145
4. *Pestrikov, V.* Towards making panoramic images in virtual arthroscopy / A. Sourin, V. Pestrikov // Proceedings of The 2013 International Conference on Cyberworlds, Keio University, Yokohama, Japan: IEEE, 2013 - pp.48-51, Pub. 2013 IEEE. DOI 10.1109/CW.2013.80.
1. *Пестриков, В.И.* Панорамные изображения в артроскопической хирургии / В.И. Пестриков, А.И. Сурин // SCVRT2013: Труды Международной научной конференции: «Ситуационные центры и информационно-аналитические системы класса 4i для задач мониторинга и безопасности». – Протвино-Москва: Изд. ИФТИ, 2016 – С. 104-109