

Визуализация препятствий на индикаторе на лобовом стекле с помощью оценки оптического потока

В.В. Князь^{1,2}, С.Ю. Данилов^{1,2}, О.В. Выголов¹, А.Н. Бордодымов¹
 vl.kniaz@gosniias.ru|daniilov@gosniias.ru|o.vygovolov@gosniias.ru|bordodymov@gmail.com

¹125319, Москва, ул. Викторенко, 7;

²Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия

Индикатор на лобовом стекле (ИЛС) позволяет снизить нагрузку на экипаж самолёта во время сложных этапов полёта, таких как взлёт, посадка и рулёжка. Перспективным средством повышения ситуационной осведомлённости экипажа является отображение на ИЛС видеопоследовательности от датчика дальнего инфракрасного диапазона. Однако для практической визуализации кадров ИК-камеры на ИЛС требуется предварительная обработка видеопоследовательности для снижения яркости фоновых объектов и повышения яркости препятствий. В данной статье рассматривается алгоритм фильтрации кадров системы улучшенного видения для эффективной визуализации на ИЛС на основе оценки оптического потока.

Ключевые слова: визуализация, оптический поток, индикатор на лобовом стекле, визуальная аналитика.

Obstacle visualization on a head up display using optical flow estimation

V.V. Kniaz^{1,2}, S.Yu. Danilov^{1,2}, O.V. Vygovolov¹, A.N. Bordodymov¹
 vl.kniaz@gosniias.ru|daniilov@gosniias.ru|o.vygovolov@gosniias.ru|bordodymov@gmail.com
¹State Res. Institute of Aviation Systems (GosNIIAS), 125319, 7, Victorenko str., Moscow, Russia;
²Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Russia

A Head up Display (HUD) reduces cabin crew payload during complicated stages of the flight such take-off, landing and taxi. Projection of an infrared sensor video on a HUD provides a perspective means for increasing of crew situational awareness. However the visualization of an infrared video on a HUD in practice requires video preprocessing for reduction of brightness of background objects and increase of brightness of obstacles. This paper is focused on the algorithm for effective visualization of EVS video on a HUD using optical flow estimation.

Keywords: visualization, optical flow, head up display, visual analytics.

1. Введение

Использование в составе информационного поля кабины экипажа ИЛС позволяет обеспечить значительное улучшение ситуационной осведомлённости экипажа за счёт компактного и информативного представления данных и их удобного отображения. Визуализация необходимой полётной информации на ИЛС в режиме полупрозрачного «наложения» на реальную сцену, наблюдаемую пилотом в процессе управления, позволяет обеспечить концентрацию внимания. Такой подход позволяет предоставить пилоту критически важную информацию в ходе сложных этапов полета, таких как взлёт, посадка и рулёжка. Целью данной работы является разработка алгоритма, производящего снижение яркости малоинформативных областей и повышение яркости динамических препятствий на видеопоследовательности системы улучшенного видения для эффективного отображения на индикаторе на лобовом стекле. Рассматриваемый подход основывается на гипотезе о том, что комплексирование данных систем синтезированного (ССВ) и улучшенного видения (СУВ) позволяет увеличить контрастность кадра СУВ при отображении на ИЛС. Такое комплексирование применяется в системе комбинированного видения [1, 8, 9], где производится смешивание значений интенсивности кадров двух систем для включения в состав виртуальной сцены динамических препятствий. Обзор современной литера-

туры показал, что до настоящего времени не проводилось исследований алгоритмов комплексирования кадров систем синтезированного и улучшенного видения, обеспечивающих фильтрацию кадра датчика инфракрасного диапазона для эффективного отображения на ИЛС.



(а) ССВ

(б) СУВ

(с) ИЛС

Рис. 1. Системы воздушных судов, используемые в предлагаемом методе: (а) Система синтезированного видения, (б) Система улучшенного видения, (с) Индикатор на лобовом стекле с кадром системы синтезированного видения.

2. Постановка задачи

Рассматривается задача фильтрации данных, поступающих от датчика инфракрасного диапазона, для эффективного представления на индикаторе на лобовом стекле. Дан комплекс программного обеспечения, моделирующего бортовые системы синтезированного и улучшенного видения, трёхмерная модель рельефа и

объектового состава аэропорта Сочи (рис. 1). Требуется разработать алгоритм, производящий снижение яркости малоинформативных областей и повышение яркости динамических препятствий.

3. Алгоритм фильтрации ClearHUD

Входными данными для алгоритма являются последовательности кадров систем синтезированного и улучшенного видения. На выходе алгоритм выдаёт монохромную видеопоследовательность, представляющую собой кадр улучшенного видения, подготовленный для проекции на ИЛС. Метод комплексирования данных основан на предположении о том, что реальный оптический поток, построенный по кадрам системы улучшенного видения, и модельный оптический поток, построенный по данным системы синтезированного видения, должны быть равны друг другу, если в поле зрения датчика отсутствуют динамические препятствия. Следовательно, разница модельного и реального оптических потоков позволяет выделить все динамические препятствия, присутствующие в поле зрения датчика системы улучшенного видения. Словесное описание разработанного алгоритма ClearHUD представлено в листинге 1.

Algorithm 1: ClearHUD

Input: Положение камеры $\mathbf{X}_0^i, \mathbf{X}_0^{i-1}$, текущий кадр \mathbf{I}_r^i и предыдущий кадр \mathbf{I}_r^{i-1} поступающие от СУВ, текущий кадр от ССВ \mathbf{I}_s^i

Output: Кадр СУВ \mathbf{I}_{HUD} , обработанный для эффективного отображения на ИЛС (HUD).

- 1 Оценить оптический поток СУВ
 $\mathbf{U}_r^i = \text{FlowNet2-SD}(\mathbf{I}_r^{i-1}, \mathbf{I}_r^i)$;
- 2 Оценить оптический поток ССВ
 $\mathbf{U}_s^i = \text{RayTracing}(\mathbf{X}_0^i, \mathbf{X}_0^{i-1})$, eq. (1);
- 3 Вычислить разность оптических потоков
 $\mathbf{U}_d = \mathbf{U}_r - \mathbf{U}_s$;
- 4 Отрисовать кадр ССВ \mathbf{I}_s^i с использованием монохромной палитры;
- 5 Сформировать улучшенный кадр СУВ с использованием алгоритма «Retinex»
 $\mathbf{I}_{re}^i = \text{Retinex}(\mathbf{I}_r^i)$;
- 6 Найти сумму кадра ССВ и разности оптических потоков для формирования канала прозрачности $\mathbf{I}_a = \frac{\mathbf{I}_s^i}{255} + \text{clip}(\mathbf{U}_d, 0, 1)$;
- 7 Сформировать результирующий кадр путём умножения кадра СУВ на альфа-канал (канал прозрачности) $\mathbf{I}_{HUD} = \mathbf{I}_{re}^i \cdot \mathbf{I}_a$;

Алгоритм ClearHUD принимает следующий набор входных данных: текущий кадр \mathbf{I}_r^i и предыдущий кадр \mathbf{I}_r^{i-1} системы улучшенного видения, текущий кадр системы синтезированного видения \mathbf{I}_s^i , положение виртуальной камеры $\mathbf{X}_0^i, \mathbf{X}_0^{i-1}$ для текущего и предыдущего кадров, а также трёхмерную модель сцены, заданную системой синтезированного видения. На первом эта-

пе производится оценка реального оптического потока \mathbf{U}_r с использованием глубокой свёрточной нейронной сети FlowNet2-SD. Параллельно с оценкой реального оптического потока производится расчёт модельного оптического потока \mathbf{U}_s с использованием метода трассировки лучей. Практическая применимость данного метода подтверждена в работе [7]. Затем вычисляется разность оптических потоков $\mathbf{U}_d = \mathbf{U}_r - \mathbf{U}_s$.

Следующим этапом является предварительная обработка кадров системы улучшенного и синтезированного видения. Предварительная обработка кадра синтезированного видения заключается в отрисовке трёхмерной модели сцены с использованием специальной монохромной палитры. В данной палитре наиболее высокая яркость присвоена наиболее важным визуальным ориентирам (разметка ВПП, горы). Предварительная обработка кадров системы синтезированного видения выполняется с использованием модифицированного алгоритма «Retinex» [6, 8].

На следующем этапе формируется канал прозрачности, заданный разностью модельного и реального оптических потоков \mathbf{U}_d с и предварительно обработанным кадром системы синтезированного видения. Изображение \mathbf{I}_a представляет собой канал прозрачности кадра, который будет отображён на ИЛС. Для построения окончательного изображения предварительно обработанный кадр системы синтезированного видения умножается на канал прозрачности \mathbf{I}_a . Структурная схема алгоритма представлена на рисунке 2.

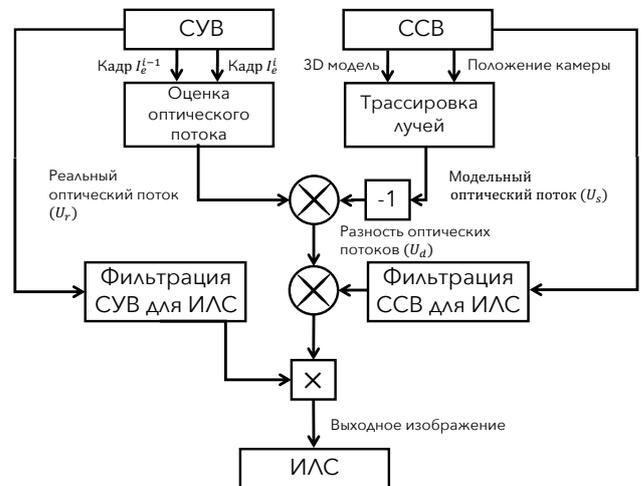


Рис. 2. Структурная схема разработанного алгоритма.

Оценка модельного оптического потока. Для построения модельного оптического потока использовался метод трассировки лучей. Пусть \mathbf{x}_p^i проекция точки сцены в i -ом кадре. Тогда модельный оптический поток задан [4]:

$$\mathbf{u}_s^i = \mathbf{x}_p^i - \mathbf{x}_p^{i-1}, \quad (1)$$

где \mathbf{x}_p^i задано формулами:

$$\mathbf{x}_p^{i-1} = \mu^{i-1} \cdot \mathbf{R}_{oc}^{i-1} \cdot (\mathbf{X}_p - \mathbf{X}_0^{i-1}), \quad (2)$$

$$\mathbf{x}_p^i = \mu^i \cdot \mathbf{R}_{oc}^i \cdot (\mathbf{X}_p - \mathbf{X}_0^i), \quad (3)$$

где μ^i – масштабный коэффициент, \mathbf{R}_{oc}^i – матрица перехода из системы координат сцены в систему координат камеры, \mathbf{X}_p – трехмерная координата точки сцены, \mathbf{X}_0^i – положение камеры. Разность двух последних уравнений даёт окончательное уравнение для модельного оптического потока \mathbf{u}_m^i . Примеры реального и модельного оптических потоков представлены на рисунке 3.

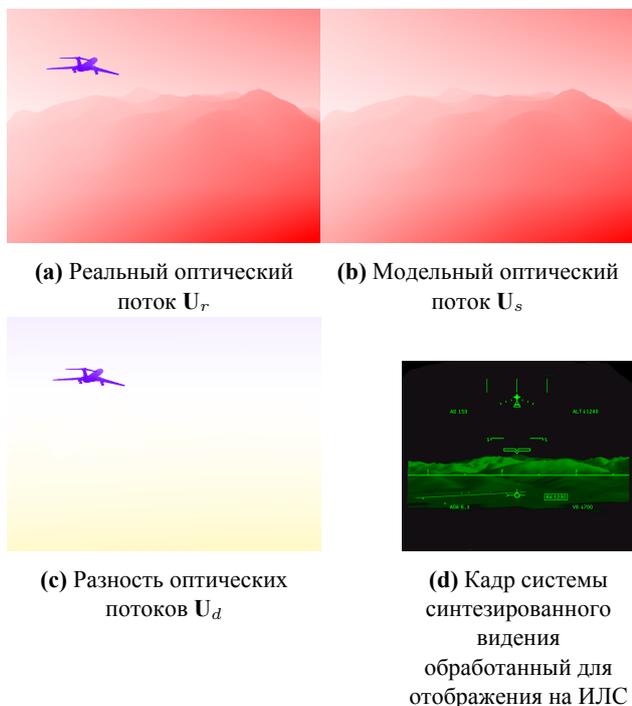


Рис. 3. Пример оценки реального и модельного оптического потока.

Оценка реального оптического потока. Проведённый анализ современных алгоритмов оценки оптического потока показал, что наиболее перспективным подходом является глубокая свёрточная нейронная сеть FlowNet 2.0 [2, 3]. В работах [2, 3] представлено несколько вариантов архитектуры сети: неглубокие сети, обеспечивающие высокое быстродействие, и глубокие сети, обеспечивающие высокую точность оценки оптического потока. Наиболее подходящим вариантом архитектуры сети по критерию точность-быстродействие представляется архитектура FlowNet2-SD. Данная архитектура включает 13 свёрточных (конволюционных) слоёв, 1 полносвязный слой и 12 деконволюционных слоёв. Архитектура сети представлена на рисунке 4.

Обучение сети. Обучение разработанной реализации сети FlowNet2-SD производилось с использованием библиотеки PyTorch. Вычисления производились на графическом процессоре NVIDIA 1080 Ti. Полный процесс обучения занял 40 часов. В качестве обучающей выборки использовалось объединение трёх выборок: MPI-Sintel Flow [5], многоспектральной обучающей выборки ZEFIRUS [4] и ClearHUD, предна-

значенной для решения задач обнаружения динамических препятствий. Выборка ClearHUD, моделирующая заход на посадку, подготовлена с использованием средств 3D моделирования. Ошибка обученной сети составила 5,1 пиксел.

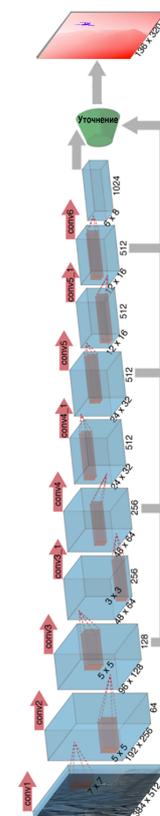


Рис. 4. Архитектура глубокой свёрточной нейронной сети FlowNet2-SD [2].

4. Анализ результатов

Для тестирования алгоритма разработан программный имитатор индикатора на лобовом стекле, позволяющий производить отображение кадров систем улучшенного и синтезированного видения, а также результатов работы алгоритма ClearHUD. Произведено тестирование алгоритма ClearHUD с использованием истинной разметки областей динамических препятствий. Результаты приведены на рисунке 5. Алгоритм продемонстрировал высокую точность обнаружения динамических препятствий, значение коэффициента Жаккара составило 0,88 для дневных последовательностей и 0,75 для ночных последовательностей. Выполнено тестирование работы алгоритма на видеопоследовательностях, моделирующих различные этапы полёта: взлёт, заход на посадку, рулёжка.

5. Заключение

Разработан алгоритм ClearHUD, производящий снижение яркости малоинформативных областей и повышение яркости динамических препятствий. Алгоритм использует видеопоследовательности от систем

улучшенного и синтезированного видения в качестве входных данных и производит комплексирование кадров двух систем для снижения яркости малоинформативных областей в кадре системы улучшенного видения и увеличения яркости динамических препятствий.

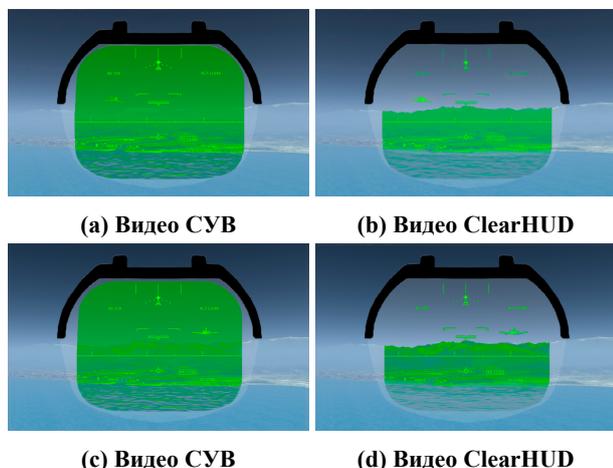


Рис. 5. Примеры обработки изображений с помощью алгоритма ClearHUD.

Уменьшение яркости выполняется на основе сегментации областей из кадра системы синтезированного видения. Для повышения яркости динамических препятствий производится их обнаружение на основе вычисления разности оптических потоков кадров систем улучшенного и синтезированного видения. Реальный оптический поток оценивается по видеопоследовательности системы улучшенного видения. Модельный оптический поток рассчитывается с помощью трассировки лучей и 3D модели сцены системы синтезированного видения.

Разработанный алгоритм производит параллельную обработку данных и может быть реализован на платформе современной интегрированной модульной авионики. Вычислительная сложность алгоритма позволяет реализовать его для обработки кадров системы улучшенного видения с разрешением 640×480 пикселей, с использованием 3 процессоров с тактовой частотой 1,8 ГГц и одного графического процессора NVIDIA Tegra. Дальнейшая работа будет посвящена реализации и тестированию алгоритма ClearHUD с использованием бортового оборудования.

6. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант РФФИ 17-29-03185.

7. Литература

[1] Design and Flight Test of a Primary Flight Display Combined Vision System / Patricia May Ververs, Gang He, John Suddreth et al. // SAE International

Journal of Aerospace. — 2011. — Vol. 4, no. 2011-01-2525. — P. 738–750.

- [2] FlowNet 2.0: Evolution of Optical Flow Estimation with Deep Networks / E. Ilg, N. Mayer, T. Saikia et al. // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). — 2017. — Jul. — URL: <http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/Publications/2017/IMKDB17>.
- [3] FlowNet: Learning Optical Flow with Convolutional Networks / Alexey Dosovitskiy, Philipp Fischer, Eddy Ilg et al. // 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). — 2015. — P. 2758–2766.
- [4] Kniaz V V. A photogrammetric technique for generation of an accurate multispectral optical flow dataset // SPIE Optical Metrology / Ed. by Fabio Remondino, Mark R Shortis. — SPIE, 2017. — Jun. — P. 103320G–12.
- [5] Lessons and Insights from Creating a Synthetic Optical Flow Benchmark / Jonas Wulff, Daniel J Butler, Garrett B Stanley, Michael J Black // Computer Vision – ECCV 2012. Workshops and Demonstrations. — Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2012. — Oct. — P. 168–177.
- [6] Petro Ana Belén, Sbert Catalina, Morel Jean-Michel. Multiscale retinex // Image Processing On Line. — 2014. — P. 71–88.
- [7] Stochastic ray tracing methods in problems of photorealistic image synthesis for augmented reality systems / DD Zhdanov, IS Potemin, AA Kishalov et al. // Proc. 27th International Conference on Computer Graphics and Vision, Perm, PSU. — 2017. — P. 24–28.
- [8] Vygolov Oleg, Zheltov Sergey. Enhanced, synthetic and combined vision technologies for civil aviation // Computer Vision in Control Systems-2. — Springer, 2015. — P. 201–230.
- [9] A real-time photogrammetric algorithm for sensor and synthetic image fusion with application to aviation combined vision / MA Lebedev, DG Stepaniants, DV Komarov et al. // The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. — 2014. — Vol. 40, no. 3. — P. 171.

Об авторах

Князь Владимир Владимирович, начальник группы ГосНИИАС, магистр ФУПМ МФТИ. Его e-mail vl.kniaz@gosniias.ru.

Данилов Сергей Юрьевич, инженер ГосНИИАС, магистрант ФУПМ МФТИ. Его e-mail danilov@gosniias.ru.

Выголов Олег Вячеславович, к.т.н., начальник лаборатории ГосНИИАС. Его e-mail o.vygolov@gosniias.ru.

Бордодымов Артём Николаевич, инженер ГосНИИАС. Его e-mail bordodymov@gmail.com.