

# Фотометрическая функция энергии в задаче нежесткой регистрации лица

А. Д. Борисов, email: radiatus@yandex.ru

Воронежский государственный университет

***Аннотация.** Разработан подход по использованию фотометрической функции энергии для сравнения рендера лица человека с целевым изображением, который может использоваться для решения задач нежесткой регистрации человеческого лица.*

***Ключевые слова:** нежесткая регистрация, компьютерная графика, захват движения, цифровые дублиры.*

## Введение

Современные стандарты индустрии кино и видеоигр требуют тщательности и точности в воспроизведении внешности людей. Важное место в области компьютерной графики занимает создание правдоподобных трехмерных моделей человеческого лица, так называемых цифровых дублеров реальных актеров [1]. Однако, интерес представляют не статичные модели, а целиком отыгранная актером сцена. В таких сценах особое внимание уделяется мелким деталям, так как обычный зритель легко может отличить подделку в виде цифрового дублера. Для решения задачи захвата мимики актера используют алгоритмы нежесткой регистрации.

Алгоритмы нежесткой регистрации представляют собой задачу оптимизации параметров определённой модели деформации человеческого лица с целью минимизации некой функции энергии. В наиболее продвинутых алгоритмах для плотного захвата используют функцию энергии, основанную на расчете оптического потока от первого кадра к последнему [2-4]. Далее выполняется последовательный расчет нежесткой регистрации с учетом оптического потока [5]. Для вычисления очередного кадра используется в качестве инициализации результат нежесткой регистрации из предыдущего кадра. К недостаткам данного подхода можно отнести требование наличия уже готового первого кадра секвенции, а также накапливание ошибок при последовательных вычислениях.

Более рациональным был бы вариант использования функции, основанной на вычислении оптического потока между рендером лица и целевым изображением для каждого кадра независимо. Это позволило

бы избежать последовательных вычислений с накоплением ошибки и производить расчет нежесткой регистрации для каждого кадра параллельно. Однако, расчет оптического потока проводится отдельно от общей задачи нежесткой регистрации, и при этом не учитывается форма человеческого лица, что влечет за собой появление артефактов. Эта проблема особенно проявляется при ограниченном числе камер, например, при захвате со стереокамеры шлема [6].

Таким образом, возникает потребность в наличии функции энергии, которая позволяла бы осуществлять сравнение рендера лица с целевым изображением для задачи нежесткой регистрации человеческого лица.

В настоящей работе описана фотометрическая функция энергии и подход по ее применению для задачи нежесткой регистрации человеческого лица.

### **1. Функция энергии**

Для понимания предложенной функции энергии необходимо подробнее остановиться на проблеме использования оптического потока.

Оптический поток используется при обработке данных с видеограмметрических установок. Он вычисляется между рендером нынешнего состояния геометрии с текстурой и целевым изображением для каждого ракурса. Данный подход основывается на использовании нейтральной текстуры для рендера каждого состояния геометрии, и единственная причина, по которой этот подход дает удовлетворительное качество – большое число камер. При поиске потока между рендером и целевым изображением для каждой камеры итоговое решение складывается из всех результатов потока, тем самым получается среднее решение, которое направлено в нужную сторону.

В случае небольшого количества камер использование оптического потока приводит к существенным артефактам и неправильному решению. Особенно это заметно при осуществлении нежесткой регистрации по двум камерам, закрепленным на шлеме актера. Оптический поток из одного ракурса начинает конфликтовать с оптическим потоком другого ракурса. Отмеченная трудность возникает также по причине независимой работы алгоритма поиска оптического потока для каждого ракурса. Он не содержит информации о другом ракурсе и об объектах сцены. В настоящей работе предлагается способ, который позволяет находить соответствия между рендером и целевым изображением каждой камеры согласованно между ракурсами за счет включения в общую задачу нежесткой регистрации.

Для применения этой техники сначала необходимо провести трассировку лучей через каждый пиксель целевого изображения, чтобы определить пары типа (пиксель; трехмерная точка на геометрии).

Далее на этапе оптимизации каждая трехмерная точка актуального состояния геометрии проецируется обратно в пространство изображения. Затем вычисляется значение пикселя рендера в этой точке и сравнивается со значением целевого изображения в этой же точке.

Итоговая формула данной функции энергии выглядит следующим образом:

$$E_{photo} = \sum_{i=1}^{points} \left\| I(\text{projection}(S_i)) - P_i \right\|_2^2 \quad (1)$$

где  $P_i$  – значение цвета пикселя на целевом изображении, которое соответствует вершине  $S_i$ ;  $I$  – функция взятия значения цвета пикселя с рендера для спроецированной вершины геометрии  $\text{projection}(S_i)$ .

Таким образом, данная функция энергии может быть встроена в общую задачу нежесткой регистрации. Это позволяет использовать априорную информацию из модели деформаций о форме человеческого лица, уменьшив тем самым количество артефактов.

## 2. Подготовка данных

Использование только вышеописанной функции энергии при сравнении рендера геометрии лица с целевым изображением требует дополнительных нововведений в общую задачу нежесткой регистрации.

Для полноценного использования функции энергии необходимо дополнительно генерировать текстуру, соответствующую нынешнему состоянию геометрии, а также симулировать освещение. Это осуществимо при наличии ключевых геометрий и соответствующих им текстур конкретного актера.

Ключевые геометрии представляют собой набор трехмерных моделей выражений лиц данного актера, покрывающий значительную часть того, что может изображать человеческое лицо. Пример таких геометрий представлен на рис. 1.

Данные геометрии должны иметь общую топологическую сетку. Эти геометрии и текстуры будут использоваться для генерации динамической текстуры внутри алгоритма нежесткой регистрации с целью осуществления более точного сравнения рендера и целевого изображения.



*Рис. 1.* Пример ключевых геометрий с текстурами

### **3. Динамическая текстура**

Для улучшения работы алгоритма при нахождении соответствий между рендером и целевым изображением происходит генерация динамической текстуры. Она требует набора пар вида (геометрия; текстура). В качестве таких пар возьмем ключевые геометрии и текстуры актера.

Основная идея метода генерации динамической текстуры состоит в обучении регрессора [7] определению текстуры конкретного региона на основе формы геометрии этого региона. Для этой цели необходимо разбить геометрию на регионы, после чего независимо обучить регрессор для каждого региона. В конечном счете, для каждого текущего состояния геометрии в момент оптимизации будет отрабатывать общий регрессор, который будет генерировать для каждого региона соответствующую текстуру. Сравнительный пример рендера с динамической и нейтральной текстурами представлен на рис. 2.

### **4. Симуляция освещения**

Необходимо также провести симуляцию освещения, так как сгенерированная текстура имеет равномерное освещение, которое получается в момент съемки ключевых выражений лица актера. Для решения этой задачи можно использовать сферические гармоники [8], которые являются стандартом игровой индустрии для быстрой симуляции освещения бесконечно далекого источника света. Освещение получается с помощью расчета специального базиса гармоник из векторов нормалей геометрии. «Золотой серединой» качества и стабильности является использование сферических гармоник третьего порядка [8]. Пример симуляции освещения изображен на рис. 3.



а б в

*а – целевое изображение, б – рендер геометрии с нейтральной текстурой, в – рендер геометрии с динамической текстурой*

*Рис. 2. Пример динамической текстуры*



а б в

*а – рендер геометрии с нейтральной текстурой, б – рендер геометрии с динамической текстурой, в – рендер геометрии с динамической текстурой и освещением*

*Рис. 3. Пример симуляции освещения*

### **Заключение**

В ходе работы описана фотометрическая функция энергии и подход по ее применению для задачи нежесткой регистрации человеческого

лица. Предложенный подход позволяет осуществлять расчет нежесткой регистрации для каждого кадра независимо, а также без наличия артефактов при использовании оптического потока.

### **Список литературы**

1. Borshukov, G. Image-based Facial Animation for “The Matrix Reloaded” / G. Borshukov, D. Pioni // ACM SIGGRAPH computer graphics. – New York, 2003. – P. 16.
2. Weinzaepfel, P. DeepFlow: Large displacement optical flow with deep matching / P. Weinzaepfel, J. Revaud // IEEE International Conference on Computer Vision. – 2013. – P. 1385-1392.
3. Brox, T. Large displacement optical flow: descriptor matching in variational motion estimation / T. Brox, J. Malik // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2011. – P. 500-513.
4. Sun, D. Secrets of optical flow estimation and their principles / D. Sun, S. Roth // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2010. – P. 2432-2439.
5. Beeler, T. High-Quality Passive Facial Performance Capture using Anchor Frames / T. Beeler, F. Hahn // ACM SIGGRAPH computer graphics. – New York, 2011. – P. 1-10.
6. Serra, J. Simplified facial capture with head mounted cameras / J. Serra, L. Moser // ACM SIGGRAPH computer graphics. – New York, 2021. – P. 1-2.
7. Biancolini, M. Fast radial basis functions for engineering applications / M. Biancolini // Springer International Publishing. – 2018. – P. 7-78.
8. Eugen, A. Dynamic 3D avatar creation from hand-held video input / A. Eugen, S. Bouaziz // ACM SIGGRAPH computer graphics. – New York, 2015. – P. 1-14.