

## АЛГОРИТМ СГЛАЖИВАНИЯ ПОТОКА ГЛУБИНЫ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ГЕНЕРАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕХНОЛОГИИ APEX

<sup>1</sup>Г о л е н к о в В. В., <sup>1</sup>Г е р г е т О. М.

<sup>1</sup> «Томский Политехнический Университет», Томск, Россия (634050 г. Томск, пр. Ленина, 30, ТПУ, ИК), e-mail: [valery.golenkov@gmail.com](mailto:valery.golenkov@gmail.com)

---

В рамках данной работы на примере интерактивной песочницы показано, что качество кадра глубины, а в последующем генерируемое изображение, зависит как от устройства, которое его генерирует, так и от методов обработки данных. Приведен быстрый алгоритм сглаживания карты глубины 3D сенсора для уменьшения погрешности и ликвидации дефектов. Проиллюстрированы исходные и отфильтрованные кадры глубины. В данном случае для обработки данных был использован метод сплайнов. В статье также приведены изображения плоскости, сгенерированной по необработанной и сглаженной глубине.

---

Ключевые слова: Кадр глубины, сплайн интерполяция, фильтрация, динамика, технология NVIDIA Apex

## DEPTH'S SMOOTHING ALGORITHM FOR SUBSEQUENT GENERATIONS SURFACE ON APEX TECHNOLOGY

Golenkov V.V., Gerget O.M.

*National Research Tomsk Polytechnic University, Applied Mathematics Department, e-mail: [valery.golenkov@gmail.com](mailto:valery.golenkov@gmail.com)*

---

In this work, an interactive sandbox shows the fact that the quality of the frame depth, and subsequently generated image depend on the device that generates it and methods of data processing. There is a fast algorithm for smoothing the 3D sensor depth card, which reduces errors and eliminates defects. There are also illustrated the original and the filtered depth frames. In this case, data processing is based on spline methods. The article also shows the plane image which is generated from raw and smoothed depth.

---

Keywords: Frames depth, spline interpolation, filtering, dynamics, NVIDIA Apex technology

С появлением дополненной реальности, технологии мультимедиа стали все глубже проникать в нашу жизнь, изменяя, на первый взгляд, привычные вещи. В связи с этим, появилось множество технико-программных продуктов, позволяющих скрасить времяпрепровождение. Одной из таких разработок является «интерактивная песочница»[1] (ИП).

Одним из основных элементов ИП является сенсор глубины, или 3D сенсор. Примерами сенсоров глубины являются Microsoft Kinect и ASUS Xtion. Данное устройство генерирует карту глубины, которая используется в программном обеспечении ИП. Основной проблемой сенсоров глубины является погрешность определения дистанции до наблюдаемых объектов по времени: карта глубины не статична даже если наблюдение происходит за статичными объектами. И если для генерации обычного изображения, из карты глубины, данная погрешность незначительна, то для генерации поверхности в технологии NVIDIA Apex, данная погрешность неприемлема. Без механизма фильтрации, сгенерированная

поверхность Арех так же не будет статична, что приведет к неверному поведению частиц. Так же, генерируемая поверхность является неровной и имеет разрывы.

Поэтому, целью было разработать быстрый алгоритм сглаживания карты глубины 3D сенсора для уменьшения погрешности и ликвидации дефектов.

### **Кадр Глубины**

Кадр глубины представляет собой матрицу 320x240 значений с плавающей точкой одинарной точности. Каждый элемент матрицы описывает удаленность «пикселя» в миллиметрах. Пример карты глубины представлен на рисунке 1.

Результирующая карта глубины, которая получается с устройства, может отличаться, в зависимости от самого устройства. Например, размер карты глубины у Microsoft Kinect — 640x480, полученное путем программного увеличения изображения на самом устройстве, а у ASUS Xtion — 320x240.

### **Сглаживание кадра глубины**

Одним из самых популярных методов сглаживания зашумленных данных является метод сплайнов. В статье [2], детально описывается алгоритм сглаживания, основанного на ДКП-фильтре. Основная идея алгоритма основана на выделении незашумленного сигнала. Представим входной сигнал как  $y$ . Тогда, мы можем промоделировать  $y$  как:

$$y = \hat{y} + r, \quad (1)$$

где  $r$  — шум,

$\hat{y}$  — сглаженный сигнал.

Используя преобразования, описанные в [2], сглаженный сигнал  $\hat{y}$  аппроксимируется формулой (2)

$$\hat{y} = \text{DCT}_m^{-1} (\Gamma^m \circ \text{DCT}_m(y)), \quad (2)$$

Где:  $\text{DCT}_m(\cdot)$  - дискретное косинусное преобразование второго типа

$\text{DCT}_m^{-1}(\cdot)$  - обратное дискретное косинусное преобразование второго типа

$\Gamma^m$  -  $m \times m$ -мерная квадратная матрица, вычисляемая по формуле 3.

Операция  $\circ$  - означает поэлементное умножение.

$$\Gamma^m = 1^m \div (1^m + s\Lambda^m \circ \Lambda^m), \quad (3)$$

Где:  $1^m$  —  $m \times m$  матрица единиц.

$s$  — внешний параметр, определяющий сглаживание.

$\Lambda^m$  -  $m \times m$  матрица, вычисляемая по формуле 4.

Операция  $\div$  означает поэлементное деление.

$$\Lambda_{i_1, \dots, i_m}^m = \sum_{j=1}^m (-2 + 2 \cos((i_j - 1)\pi/n_j)). \quad (4)$$

Следует учесть, что  $y$  из формулы (2) является предварительно обработанным входным сигналом. Он дополнительно обрабатывается 2мя матрицами  $d$  и  $b$ . Общий алгоритм фильтра представлен в листинге 1

**Листинг 1.** Алгоритм фильтрации.

```

function L1SPLINE( $y, s, \lambda, \varepsilon, N_i$ )
   $d^1 \leftarrow 0, b^1 \leftarrow 0, k \leftarrow 1$ 
  repeat
    for  $i = 1$  to  $N_i$  do
       $z^{k+1} \leftarrow \text{DCT}_m^{-1}(I^m \circ \text{DCT}_m(d^k + y - b^k))$ 
       $d^{k+1} \leftarrow \text{Shrink}(z^{k+1} - y + b^k, 1/\lambda)$ 
    end for
     $b^{k+1} \leftarrow b^k + (z^{k+1} - y - d^{k+1})$ 
     $k \leftarrow k + 1$ 
  until  $\|z^{k+1} - z^k\|_2 / \|z^k\|_2 > \varepsilon$ 
  return  $z^k$ 
end function

```

Значения параметров  $s, \varepsilon, \lambda,$  и  $N_i$ , подбирались эмпирически, пока не была достигнута удовлетворенность результатом. Для работы системы эти параметры были установлены следующим образом:

```

 $s = 10.0;$ 
 $\varepsilon = 0.01;$ 
 $N_i = 1;$ 
 $\lambda = 1;$ 

```

Результат работы алгоритма представлен на рисунках 1-2



Рисунок 1 — Исходный кадр глубины.

Рисунок 2 — Отфильтрованный кадр глубины.

Как видно на изображении 2, все разрывы были заполнены, а сама глубина сглажена. Данный кадр глубины пригоден для дальнейшего использования.

### Сглаживание потока глубины

Алгоритм, описанный выше, сглаживает карту глубины, делая поверхность, которая будет генерироваться на АРЭХ более гладкой — без выступов и разрывов. Однако он сглаживает лишь кадр, а в динамике колебания глубины полностью не убраны и карта продолжает меняться, даже если наблюдение происходит за статичными объектами. Данный вид помех можно уменьшить, если учитывать их влияние по времени, т. е. анализировать предыдущие кадры. Один из вариантов такой фильтрации представлен в формулах 5 — 7.

$$D^k = \sum_{i=0}^n H_i^n - F^k \quad (5)$$

Где:  $H_i^n$  — список, состоящий из предыдущих n-1 входных кадров и нового кадра.

$F^k$  — выходной кадр, полученный на предыдущей итерации. На первой итерации все элементы 0.

$$A^k = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n H_i^n \quad (6)$$

$$F^{k+1}(i) = \begin{cases} A^k(i), & \text{если } D^k(i) \geq t \\ F^k(i), & \text{если } D^k(i) < t \end{cases} \quad (7)$$

Где:  $t$  — внешний параметр, определяющий допустимый интервал разброса

значений.

Данный вариант фильтра, в первое время работы, накапливает историю кадров, которую потом модифицирует: отбрасывает самые старые кадры и заносит новые. Такой вариант фильтра оказался эффективным, потому позволяет удерживать среднее значение пикселя, если его изменения незначительны. Как было замечено из наблюдений шума в кадре глубине, значения пикселя колеблются в некотором интервале. Данный фильтр позволяет установить среднее значение интервала, в качестве выходного пикселя, но так же и учитывает то, что объекты на изображении так же могут меняться.

Результаты работы фильтра представлены на рисунках 3-4

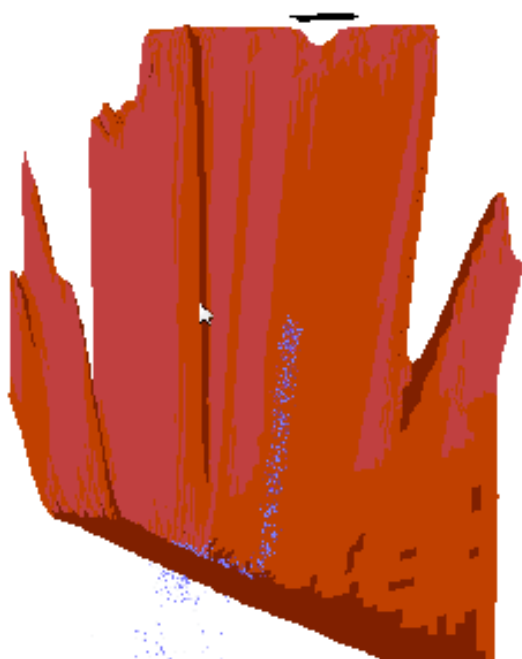


Рисунок 3 — Плоскость, сгенерированная по необработанной глубине

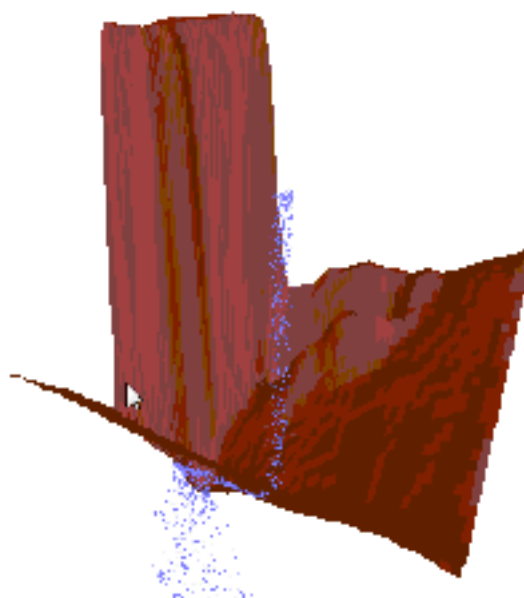


Рисунок 4 — Плоскость, сгенерированная по сглаженной глубине

### **Заключение**

По полученным результатам можно сделать вывод об успешной работоспособности алгоритма. Проанализировав его работу, были подобраны удовлетворяющие входные параметры, что позволило получать хорошее сглаживание при сравнительно небольших затратах вычислительного времени.

Однако качество кадра глубины напрямую зависит от устройства, который его генерирует, и получение более «достоверной» глубины можно только при увеличении разрешения кадра.

### **Список литературы**

1. Интерактивная песочница iSandBOX [Электронный ресурс] // Официальный сайт iSandBox [сайт] – URL: интерактивная-песочница.рф (дата обращения: 23.11.14).
2. Mariano Tepper, Guillermo Sapiro. L1 Splines for Robust, Simple, and Fast Smoothing of Grid Data // Department of Electrical and Computer Engineering. Duke University.
3. T.Goldstein, S. Osher. The split Bregman method for L1-regularized problems. SIAM J.Img. Sci., vol. 2, no. 2, pp. 323-343, April 2009.
4. J. F. Aujol, G. Gilboa, T. Chan, and S. Osher. Structure-texture image decomposition-modeling, algorithms, and parameter selection. Int. J. Comput. Vision, vol. 67, no. 1, pp. 111-136, April 2006
5. T. Goldstein, X. Bresson, S. Osher. Geometric applications of the split Bregman method: Segmentation and surface reconstruction. J. Sci. Comput., vol. 14, no. 1, pp. 272-293, October 2010.

**Рецензенты:**

Берестнева О.Г., д.т.н., профессор, Институт кибернетики ТПУ, г.Томск;

Кориков А.М., д.т.н., профессор, зав.кафедрой АСУ факультета систем управления, ФГБОУ ВПО «Томский государственный университет управления и радиоэлектроники», г.Томск.