

Билинейная аппроксимация для увеличения размера числовой последовательности в проекционных методах

Гужов В.И., Серебрякова Е.Е., Хайдуков Д.С.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Аннотация: В работе рассмотрен новый метод билинейной аппроксимации для увеличения размера числовой последовательности в 2^n раза. При измерениях часто удается получить значения величин только в некоторых определенных точках. В то же время размер исходных величин быть значительно больше. Целью работы является разработка нового быстрого метода аппроксимации, основанного на нахождении среднего между двумя измеренными значениями. Последовательно применяя алгоритм можно получить размер числовой последовательности необходимого размера. Исследуются достоинства и недостатки предлагаемого способа аппроксимации. К достоинствам можно отнести алгоритмическую простоту и скорость вычисления, к недостаткам краевой эффект, который приводит к снижению числа точек числовой последовательности. Приведены основные этапы метода на алгоритмическом С-подобном языке. Показано использование билинейной аппроксимации для уменьшения размера таблиц при перекодировке уровней интенсивности в проекторах.

Ключевые слова: оптические измерительные системы, обработка сигналов, цифровой анализ изображений, проекционные методы, методы аппроксимации, коррекция нелинейности освещения.

ВВЕДЕНИЕ

Для получения 3D профиля объектов наиболее распространены системы, основанные на структурированной подсветке изображений. Такие изображения состоят из световых структур, с помощью которых можно точно определить положение массива точек на измеряемом объекте. По отклонению координат точки на поверхности объекта от идеальной плоскости можно определить рельеф [1-4]. Такие бесконтактные методы подсветки позволяют построить 3D рельеф объекта, однако точность определения рельефа поверхности невелика [5].

Для повышения точности используется метод фазовой подсветки, который имитирует интерференционный метод измерения рельефа поверхности [6,7,8] и заключается в освещении объекта специально сформированным изображением синусоидальной решетки. Трехмерные координаты (рельеф) объекта определяют по величине искажения профиля синусоидальной решетки, которое зависит от геометрических параметров рельефа объекта [9-12]. Этот метод увеличивает точность измерений, но требует проекции точно соответствующей величине синусоидального распределения.

При проецировании синусоидальной картины возникают искажения, связанные с нелинейностью уровней интенсивности при проекции и регистрации изображений. Определение характеристик нелинейности достаточно сложный процесс и позволяет определить характеристики нелинейности только в некотором достаточно небольшом количестве точек. По набору этих значений

необходимо построить переходную характеристику проецируемого изображения, которая может быть значительно большего размера. Для этого необходимо использовать некоторые виды аппроксимации. В этой статье рассматривается простой метод билинейной аппроксимации, который может использоваться при увеличении последовательности в 2^n раз.

1. МЕТОД БИЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Аппроксимация – построение гладкой кривой, проходящей не через набор базовых точек, а вблизи него. Существует достаточно много методов аппроксимации, но для получения гладких кривых требуется достаточно большая вычислительная мощность.

Рассмотрим метод основанный на делении исходной последовательности на два и увеличении исходной последовательности в два раза.

Пусть мы получили некоторое распределение в 16 точках (рис. 1).

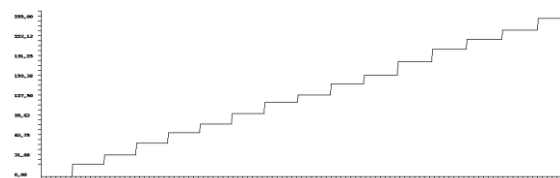


Рис. 1. Распределение интенсивности равномерного клина

Для аппроксимации 16 градаций интенсивности в клин, который имеет 256 градаций был разработан следующий простой

алгоритм. Каждая ступенька разбивается на две. Первая часть ступени остается такой же, а вторая получает значение среднее между этой ступенью и следующей. Этот алгоритм можно представить на алгоритмическом языке в виде следующей функции

```
double[] MasX2(double[] am)
{
    int nx = am.Length;
    int nx2 = nx * 2;
    double[] am2 = new double[nx2];

    for (int i = 0; i < nx2-1; i++)
    {
        if (i % 2 == 0) am2[i] =
am[i/2];
        if (i % 2 != 0) am2[i] = (am[i/2]
+ am[i / 2 + 1])/2;
    }

    return am2;
}
```

К сожалению, можно определить на одну точку меньше, чем надо. Это связано с граничным эффектом. Например, при аппроксимации 16 точек в 32 последняя 32 ступенька не определена или может повторять предыдущую (рис. 2).

1	2		3		...	15	16			
1	1.5	2	2.5	3	3.5	...	15	15.5	16	
1	2	3	4	5	6		20	30	31	

Рис. 2. Разбиение 16 ступенек на 32

В результате мы получим последовательность ступенек короче на $nx/32$, где nx - длина проектируемого массива (рис. 3).

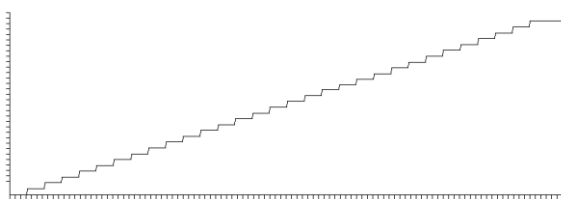


Рис. 3. График аппроксимации 16 ступенек на 32

Для того, чтобы размер числового массива не изменился необходимо расширить массив на $nx/32$. Это можно сделать, воспользовавшись следующей простой процедурой растяжения на nx .

```
double[] Strech(double[] am, int nx)
{
    int n = am.Length;
```

```
double[] am2 = new double[n];
int n1 = n - nx;

for (int i=0; i < n; i++)
{
    int i1 = (n1-1) * i / n ;
    am2[i] = am[i1];
}
return am2;
}
```

В результате получим размер массива по x координате такой же (рис. 4), но ступенек будет на 1 меньше (31 ступенька вместо 32).

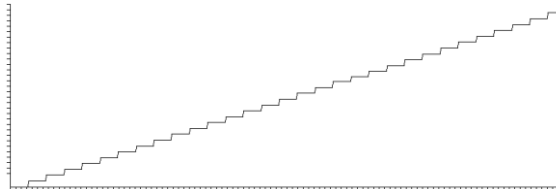


Рис. 4. Разбиение 16 ступенек на 31

При следующем делении, необходимо использовать массив чисел, показанный на рис. 4. В этом случае исходный массив необходимо расширить на $(nx / 32 + nx / 64)$. При делении на 256 необходимо расширить на $(nx / 32 + nx / 64 + nx / 128 + nx / 256)$. В результате краевых эффектов получим 241 ступень (рис. 5) при том же диапазоне сигнала.

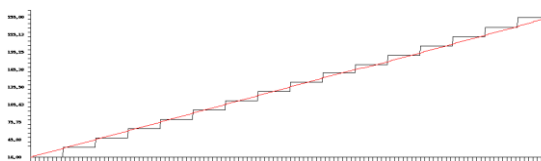


Рис. 5. Аппроксимация 16 ступенек на 241 уровень (график красного цвета)

Пример аппроксимации более сложной функции показан на рис. 6.

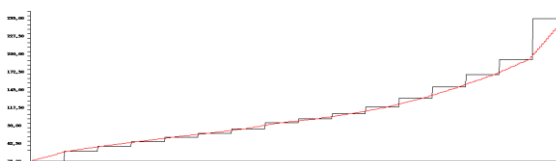


Рис. 6. Аппроксимация 16 ступенек при проектировании обратного клина

Метод аппроксимации простой и быстрый. Диапазон сигнала остается таким же. Некоторым недостатком можно считать, что вместо ожидаемых 256 можно получить только 241 уровень.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТАБЛИЦ КОРРЕКТИРОВКИ НЕЛИНЕЙНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ

При проецировании синусоидальных картин возникают нелинейности отображения интенсивности. Эти нелинейности могут вызываться как устройствами проецирования, так и устройствами регистрации [13-15]. Профессиональные проекторы имеют специальный блок коррекции полутоновых изображений, который может управляться программно. В трактах передачи цветного изображения коррекция нелинейности осуществляется в каждом из трех каналов основных цветов. Однако большинство проекторов такой возможности не имеют. Поэтому такая коррекция должна осуществляться программно.

Для коррекции 256 уровней освещения достаточно хранить только 16 значений таблицы перекодировки задаваемых значений интенсивности к интенсивности для вывода проектором без нелинейных искажений. Такая таблица может определяться экспериментально.

Для аппроксимации от 16 к 256 уровням необходимо билинейное деление провести 4 раза.

```
public double[] InterpolateCln(double[]
cln)
{
    double[] resCln = cln;
    for (int i = 1; i <= 4; i++)
        { resCln = MasX2(resCln); }
    return resCln;
}
```

Функция MasX2 показана в 1 разделе. В результате краевых эффектов только первые 241 значений массива resCln будут значимыми (от 0 до 240).

Получение значений при использовании этой таблицы можно показать с помощью следующей процедуры.

```
public double CorrectValueByCln(double
idealValue, double[] clnArray)
{
    if (clnArray == null)
        { return idealValue; }
    double clnArrayCount = 240;
    double idealCount = 255;

    int value = Convert.ToInt32(idealValue
* clnArrayCount / idealCount);
    double resValue = clnArray[value];
    return resValue;
}
```

На вход подается значение интенсивности, на выходе значение с учетом перекодировки по таблице.

ВЫВОДЫ

В работе рассмотрен новый метод билинейной аппроксимации для увеличения размера числовой последовательности в 2ⁿ раза. При измерениях часто удается получить значения величин только в некоторых определенных точках. В то же время размер исходных величин быть значительно больше. Метод аппроксимации основан на нахождении среднего между двумя измеренными значениями. Последовательно применяя алгоритм можно получить размер числовой последовательности необходимого размера. К достоинствам можно отнести алгоритмическую простоту и скорость вычисления, к недостаткам краевой эффект, который приводит к снижению числа точек числовой последовательности. Приведены основные этапы метода на алгоритмическом C-подобном языке. Показано использование билинейной аппроксимации для уменьшения размера таблиц при перекодировке уровней интенсивности в проекторах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства Образования и Науки РФ (гос. задание № 8.12007.2018/11.12).

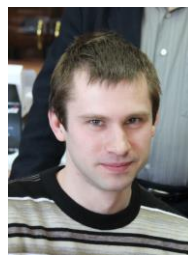
ЛИТЕРАТУРА

- [1] Inokuchi S. Range imaging system for 3-D object recognition / S. Inokuchi, K. Sato, F. Matsuda // Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition. – 1984. – Pp. 806–808.
- [2] F. Chen, G. M. Brown, and M. Song, "Overview of three-dimensional shape measurement using optical methods," Opt. Eng. 39, 10–22 (2000).
- [3] C. Guan, L. Hassebrook, and D. Lau, "Composite structured light pattern for three-dimensional video," Opt. Express 11, 406–417 (2003).
- [4] J. Salvi, J. Pages, J. Batlle. Pattern codification strategies in structured light systems // Pattern Recognition 37 (2004). – Pp. 827–848.
- [5] Гужов В.И. Методы измерения 3D профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. — 82с.
- [6] Wyant J.C., Creath K. Recent advances in interferometric optical testing // Laser Focus.- 1985. - pp.118-132.
- [7] Wyant J.C. Interferometric optical metrology: basic system and principles // Laser Focus.- 1982.- pp.65-67.
- [8] Гужов В.И., Ильиных С.П. Оптические измерения. Компьютерная интерферометрия. — Москва: Изд-во Юрайт.- 2018. (ISBN: 978-5-534-06855-9) — 258с.
- [9] Zhang S., Recent progresses on real-time 3D shape measurement using digital fringe projection techniques// Opt. Lasers Eng. 48. -2010.- pp. 149–158.
- [10] Quan C., Chen W., and Tay C.J. Phase-retrieval techniques in fringe-projection profilometry// Opt. Lasers Eng. 48. - 2010, pp.235–243.
- [11] Гужов В.И., Ильиных С.П., Уберт А.И. / Проекционный метод измерения рельефа. // Научный вестник НГТУ. - 2012. - №1(46) – С. 23-28.

- [12] Гужов В.И. Методы измерения 3D профиля объектов. Фазовые методы.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. — 83с.
- [13] Hoang T., Pan B., Nguyen D., and Wang Z. Generic gamma correction for accuracy enhancement in fringe-projection profilometry.// Opt. Lett. 35(12).- 2010.- pp.1992–1994 (2010).
- [14] Zhang Z., A flexible new technique for camera calibration.// IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 22(11).-2000.- pp.1330–1334.
- [15] Zheng D., Da F. Gamma correction for two step phase shifting fringe projection profilometry.// Optik (Stuttg.) 124(13).- 2013.- pp.1392–1397.



Владимир Иванович Гужов – профессор кафедры ССОД Новосибирского Государственного Технического университета, профессор, доктор технических наук. Автор более 250 научных работ. Область научных интересов: высокоточные интерференционные измерения.
E-mail: vgguzhov@gmail.com
630073, Новосибирск, просп. К.Маркса, д. 20



Дмитрий Сергеевич Хайдуков – ассистент, каф. ССОД НГТУ, к.т.н. Является автором более 30 научных работ. Область научных интересов: расшифровка интерферограмм, цифровая голография.
630073, Новосибирск, просп. К.Маркса, д. 20



Екатерина Евгеньевна Серебрякова – аспирант кафедры систем сбора и обработки данных НГТУ. Является автором более 10 научных работ. Область научных интересов: оптические высокоточные проекционные системы.
630073, Новосибирск, просп. К.Маркса, д. 20

Статья поступила 20 июля 2019 г.

Bilinear Approximation to Increase the Size of a Numerical Sequence in Projection Methods

V.I. Guzhov, E.E. Serebryakova, D.S. Haidukov

Abstract. The paper considers a new method of bilinear approximation to increase the size of a numerical sequence in 2^n times. In measurements, it is often possible to obtain values only at certain specific points. At the same time, the size of the initial values be much larger. The aim of the work is to develop a new fast approximation method based on finding the average between two measured values. By consistently applying the algorithm, one can obtain the size of a numerical sequence of the required size. The advantages and disadvantages of the proposed method of approximation are investigated. The advantages include algorithmic simplicity and speed of calculation, the disadvantages of the edge effect, which leads to a decrease in the number of points of a numerical sequence. The main stages of the method are presented on an algorithmic C-like language. The use of bilinear approximation is shown to reduce the size of the tables when recoding intensity levels in projectors.

Key words: optical measuring systems, signal processing, digital image analysis, projection methods, approximation methods, illumination nonlinearity correction.

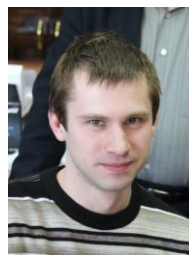
REFERENCES

- [1] Inokuchi S. Range imaging system for 3-D object recognition / S. Inokuchi, K. Sato, F. Matsuda // Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition. – 1984. – Pp. 806–808.
- [2] F. Chen, G. M. Brown, and M. Song, “Overview of three-dimensional shape measurement using optical methods,” Opt. Eng. 39, 10–22 (2000).
- [3] C. Guan, L. Hassebrook, and D. Lau, "Composite structured light pattern for three-dimensional video," Opt. Express 11, 406-417 (2003).
- [4] J. Salvi, J. Pages, J. Battle. Pattern codification strategies in structured light systems // Pattern Recognition 37 (2004). – Pp. 827–848.
- [5] Guzhov V.I. Metody izmerenija 3D profilja obektov. Kontaktnye, trianguljacionnye sistemy i metody strukturirovannogo osveshhenija.- Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2015. — 82s..
- [6] Wyant J.C., Creath K. Recent advances in interferometric optical testing // Laser Focus.- 1985. - pp.118-132.
- [7] Wyant J.C. Interferometric optical metrology: basic system and principles // Laser Focus.- 1982.- pp.65-67.
- [8] Guzhov V.I., Il'inyh S.P. Opticheskie izmerenija. Komp'juternaja interferometrija. — Moskva: Izd-vo Jurajt.- 2018. (ISBN: 978-5-534-06855-9) — 258s.
- [9] Zhang S., Recent progresses on real-time 3D shape measurement using digital fringe projection techniques// Opt. Lasers Eng. 48 . -2010.- pp. 149–158.
- [10] Quan C., Chen W., and Tay C.J. Phase-retrieval techniques in fringe-projection profilometry// Opt. Lasers Eng. 48 . - 2010, pp.235–243.
- [11] Guzhov V.I., Il'inyh S.P., Ubort A.I. / Proekcionnyj metod izmerenija rel'efa. // Nauchnyj vestnik NGTU. - 2012. - №1(46) – S. 23-28.
- [12] Guzhov V.I. Metody izmerenija 3D profilja obektov. Fazovye metody.- Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2016. — 83s.pod red. A.P. Nemirko – M.: FIZMATLIT, 2007. 440 s.
- [13] Hoang T., Pan B., Nguyen D., and Wang Z. Generic gamma correction for accuracy enhancement in fringe-projection profilometry.// Opt. Lett. 35(12).- 2010.- pp.1992–1994 (2010).

- [14] Zhang Z., A flexible new technique for camera calibration.// IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 22(11).-2000.- pp.1330–1334.
- [15] Zheng D., Da F. Gamma correction for two step phase shifting fringe projection profilometry.// Optik (Stuttg.) 124(13).- 2013.- pp.1392–1397.



Vladimir Guzhov - Professor, Department of Special Purpose Traffic Control, Novosibirsk State Technical University, Professor, Doctor of Technical Sciences. The author of more than 250 scientific papers. Research interests: high-precision interference measurements.
Email: vingguzhov@gmail.com
630073, Novosibirsk, ave. K. Marx, d.20



Dmitry Khaidukov - Assistant, Department SSOD NSTU, Ph.D. He is the author of more than 30 scientific papers. Research interests: interpretation of interferograms, digital holography.
630073, Novosibirsk, ave. K. Marx, d.20



Ekaterina Serebryakova - graduate student of the Department of Data Acquisition and Processing Systems, NSTU.

He is the author of more than 10 scientific papers. Research interests: high-precision optical projection systems.

The paper was received on July 20, 2019.