

можно организация потоковой обработки целочисленных двоичных сомножителей без вычисления переноса в режиме с фиксированной точкой. Для данной обработки предложена концептуальная архитектура параллельного вычислителя. Предложенный подход отличается от известных [4] по построению и по максимальному параллелизму арифметической обработки в случае произвольного диапазона целочисленных сомножителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ромм Я.Е. Метод вертикальной обработки потока целочисленных групповых данных. I. Групповые арифметические операции // Кибернетика и системный анализ. – 1998. – № 3. – С. 123-151.
2. Ромм Я.Е. Метод вертикальной обработки потока целочисленных групповых данных. II. Приложение к бинарным операциям // Кибернетика и системный анализ. – 1998. – № 6. – С. 114-142.
3. Ромм Я.Е., Иванова А.С. Потоковая вертикальная арифметическая обработка целочисленных двоичных кодов с фиксированной точкой. – Таганрог: ТГПИ, 2011. – 56 с. Деп. В ВИНТИ 29.07.2011, № 307-В2011.
4. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника: Учебное пособие для вузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Л.П. Фельдман.

Ромм Яков Евсеевич – ГОУВПО «Таганрогский государственный педагогический институт»; e-mail: romm@listru; 347926, г. Таганрог, ул. Инициативная, 48; тел.: 88634601753, 88634601812, 88634601807; кафедра информатики; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Иванова Анна Сергеевна – e-mail: anya.ivanova@inbox.ru; тел.: 89045001153; кафедра информатики; аспирантка.

Romm Yakov Evseevich – Taganrog State Pedagogical Institute; e-mail: romm@list.ru; 48, Initiativnaya street, Taganrog 347926, Russia; phones: +78634601753, +78634601812, +78634601807; the department of computer science; chair of department; dr. of eng. sc.; professor.

Ivanova Anna Sergeevna – e-mail: anya.ivanova@inbox.ru; phone: +79045001153; the department of information science; the post-graduate student.

УДК 519.6(075.8)

Е.Ю. Шаповалова, Я.Е. Ромм

СХЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МАССИВА КООРДИНАТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ С ОТОБРАЖЕНИЕМ НОРМАЛЕЙ И КАСАТЕЛЬНЫХ

Излагается кусочно-полиномиальная схема визуализации кривых по координатам точек на основе кусочной интерполяции по Ньютону. Каждый аппроксимирующий полином приводится к каноническому виду с числовыми коэффициентами и, таким образом, используется для вычисления производной. Рассматриваются особенности визуализации интерполированной кривой, нормали и касательной к ней в произвольной точке, приводятся алгоритм визуализации. Приведены примеры, поясняющие принципы работы алгоритма и иллюстрирующие результаты работы предложенной схемы. Исследуются особенности, которые возникают при применении синтезированного алгоритма и предложенной схемы для визуализации линии железнодорожного полотна, представленной массивом дискрет-

ных декартовых координат. Обосновывается целесообразность использования предложенного метода для визуализации путей (не обязательно железнодорожных) с участками высокой кривизны.

Кусочно-полиномиальная схема; интерполяционный полином Ньютона; визуализация координат кривой; построение касательной и нормали.

E.U. Shapovalova, Ya.E. Romm

**VISUALIZATION SCHEMES BASED ON THE ARRAY
OF COORDINATES OF THE RAILWAY WITH REPRESENTATION
OF NORMALS AND TANGENTS**

The Piecewise-polynomial scheme of visualization of curves using digital quantity of points based on the piecewise Newton interpolation is stated. Every polynomial approximant is adduced to the canonical form and used further for calculating of the first-order derivative. Representation trends of the polynomial approximant, normal and tangent in the random point of the curve are considered, visualization algorithm is given. Examples, which explain principles of algorithm work and illustrate results of its work, are cited. Peculiarities, which appeared while use described algorithm for visualization of railroad bed, prescribed by discrete array of coordinates, are considered. Conclusion about reasonability of using the introduced method for visualization of ways (not strictly railway ones) with tall curvature sections is drawn.

Piecewise-polynomial scheme; Newton interpolation; visualization; normal.

Постановка вопроса. Во время реконструкции или строительства парков железнодорожных станций необходимо рассчитать план земельного участка, описывающего изменения в инфраструктуре станции. Задачей излагаемой работы является расчет и моделирование полосы отвода участка железнодорожного пути. Решение должно включать визуализацию железнодорожного пути по оцифрованному массиву данных в зависимости от заданных точек пути с отображением нормали и касательной в произвольной точке.

Описание метода. Схемы визуализации реализованы программно, они основаны на интерполяции по Ньютону оцифрованного массива координат пути, полученных с помощью спутниковой навигации. Интерполяция выполняется следующим образом. Дана последовательность координат кривой. Последовательность разбивается на сегменты, по $n+1$ точек в каждом, где n – степень интерполирующего полинома. Для каждого сегмента строятся параметрические кривые $x_n(t)$ (на основе последовательности абсцисс) и $y_n(t)$ (на основе последовательности ординат). Кривые являются графическим отображением полинома Ньютона, интерполирующего функции $x_n(t)$ и, аналогично, $y_n(t)$ по значениям абсцисс и ординат выделенного сегмента входного массива. Используется параметр t , равномерно распределённый по узлам интерполяции от 0 до 1, $t=0$ в первой точке, 1 – в последней. Если в последнем сегменте число узлов оказывается меньше степени полинома, то они склеиваются с узлами предыдущего сегмента, и уже для склеенного сегмента строится интерполяционный полином. Делается это для универсализации способа обработки узлов, а соответственно и прогнозирования границ работы программы. Параметрические кривые строятся со следующими деталями ([1]), необходимыми для визуализации на координатной плоскости. Абсциссы и ординаты параметрических кривых задаются полиномиальными приближениями:

$$x_n(t) \approx \sum_{l=0}^n q_l t^l, \quad y_n(t) \approx \sum_{l=0}^n c_l t^l.$$

При этом полиномы в правых частях получены путем преобразования интерполяционного полинома Ньютона [2]:

$$P_n(t) = y_0 + \frac{\Delta y_0}{1!} \cdot t + \frac{\Delta^2 y_0}{2!} \cdot t(t-1) + \dots + \frac{\Delta^n y_0}{n!} \cdot t(t-1) \dots (t-n+1),$$

где $x_i = x_0 + i \cdot h$, $i = \overline{0, n}$, h – шаг интерполяции, $t = \frac{x - x_0}{h}$. При каждом i на i -м сегменте данный полином преобразуется по дистрибутивности с приведением подобных так, что принимает канонический вид полинома от одной переменной – для абсциссы:

$$\Psi_n(t) = q_{0i} + q_{1i}t + q_{2i}t^2 + \dots + q_{ni}t^n, \quad (1)$$

где $t \in [t_i, t_{i+n}]$, $i = 0, 1, \dots, P-1$, P – число сегментов; для ординаты – аналогично. Конкретные формулы преобразования даны в [3, 1]. Сделано это для удобства хранения информации о кривой и поиска производной, необходимой для построения нормали и касательной. При поиске используется формула $y'_x = \frac{y'_t}{x_t}$, при этом

$$x'_t \approx \sum_{l=1}^{n-1} q_{li} \cdot l \cdot t^{l-1}, \quad y'_t \approx \sum_{l=1}^{n-1} c_{li} \cdot l \cdot t^{l-1}. \quad (2)$$

Каждому параметру на i -м подынтервале $[t_i, t_{i+n}]$ ставится в соответствие абсцисса и соответствующая ордината в узлах параметрической кривой.

Оцифрованный массив координат пути поступает из файла формата .txt (рис. 1), “знак новой кривой” отделяет последовательность координат, соответствующих одной кривой, от другой [4]; ”ширина полосы” – либо ширина полосы отвода по условиям проявления опасных природных факторов, либо превышает ее на величину, заданную по конструкции поперечных профилей земляного полотна (Приказ Минтранса РФ от 6 августа 2008 г. № 126 ”Об утверждении норм отвода земельных участков, необходимых для формирования полосы отвода железных дорог, а также норм расчета охранных зон железных дорог”). Данное значение определяется при условии, что в границах одной кривой оно остаётся неизменным.

```

Знак новой кривой
  \      /
   N 5   Ширина полосы
100 10
99,8529925 10,30074375
99,71194 10,60295
99,5767975 10,90658125
99,44752 11,2116
99,3240625 11,51796875
99,20638 11,82565
99,0944275 12,13460625
98,98816 12,4448
98,8875325 12,75619375
98,7925 13,06875
98,7030175 13,38243125
98,61904 13,6972
98,5405225 14,01301875
98,46742 14,32985
98,3996875 14,64765625
98,33728 14,9664
98,2801525 15,28604375
98,22826 15,60655
98,1815575 15,92788125
98,14 16,25
98,1035425 16,57286875
98,07214 16,89645
  |      |
  X      Y
    
```

Рис. 1. Пример файла с входными данными

Визуализация линии полотна выполняется по значениям абсцисс и ординат, зависящих от t по формуле (1). В процессе визуализации степень полинома фиксируется, для практики достаточно $n = 2$ или $n = 3$. При необходимости, с ростом кривизны полотна, можно использовать значения $n > 3$. В численном эксперименте апробировались степени полинома до $n = 11$ включительно, что приводило к приемлемому качеству визуализации.

В точках нарушения гладкости визуализируемой кривой (рис. 2^б) используются односторонние производные, получаемые согласно (2) при степени полинома (1) до $n = 7$, включительно (в практике железных дорог возникает необходимость максимально до пятой степени полинома [5]).

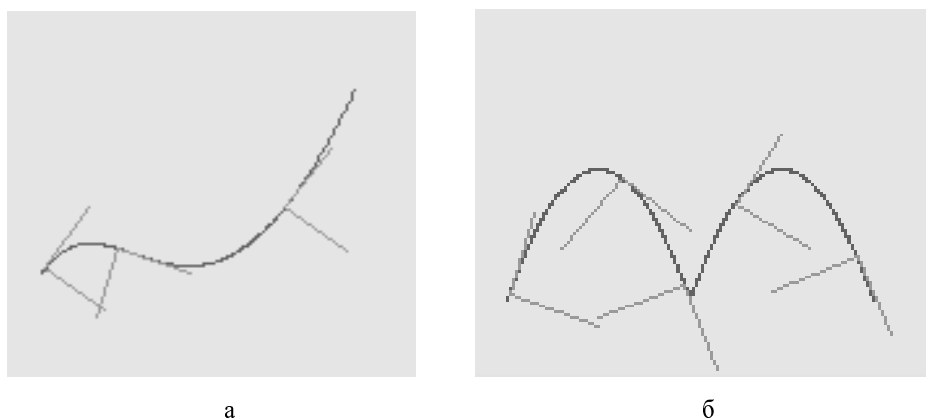


Рис. 2. Визуализация кривой при использовании полинома $n = 7$

Алгоритм построения нормали и касательной. Из каждой точки на кривой можно провести две нормали (внутреннюю и внешнюю) и касательную (различается направление вперед и назад в порядке обхода кривой). Для построения землеотвода необходимо строить нормали одностороннего направления по отношению к кривой в связи с тем, что отвод определенной длины делается по одну и по другую сторону одновременно для группы рядом расположенных путей, например, если эти пути образуют двухстороннюю колею. С этой целью фиксируется длина отрезка нормали и выполняется его визуализация только с одной стороны линии полотна. Это делается при помощи двух точек на отрезках нормали по разные стороны от кривой, расположенных от нее на равном расстоянии. Через данные точки проводятся прямые параллельные оси OY до пересечения с кривой.

Выбор направления обхода кривой соответствует известным правилам [6–8]. Для определенности направление фиксируется по возрастанию t . Сравниваются значения параметров t точек на пересечении рассматриваемых прямых с кривой. По результату сравнения выбирается то направление нормали, которому соответствует большее t .

Данный выбор иллюстрируется на рис. 3, где выбирается внутренняя нормаль.

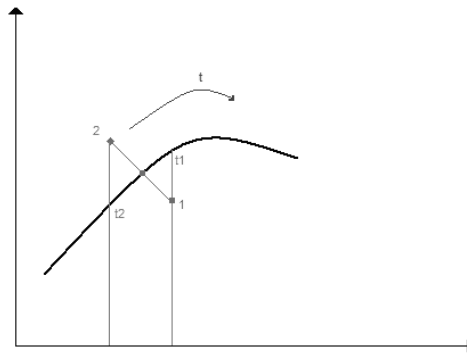


Рис. 3. Отображение взаимосвязи, относительно нормали, направления обхода кривой и параметра t

Замечание 1. Для рассматриваемого определения направления необходимо менять направление обхода кривой на противоположное в точках, в которых производная равна нулю или не существует (рис. 4).

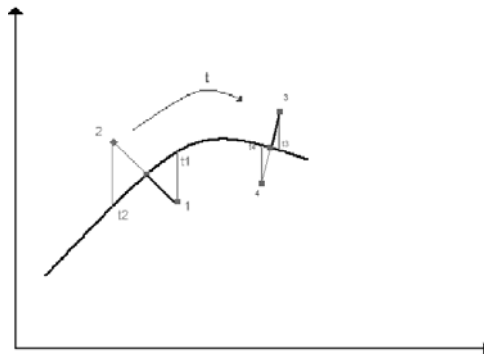


Рис. 4. Изменение направления нормали при положительном обходе по параметру t

Замечание 2. Для полноты визуализации отображается касательная в виде отрезка полупрямой из точки построения нормали по направлению возрастания t (рис. 5) без смены направления обхода на противоположное (рис. 6).

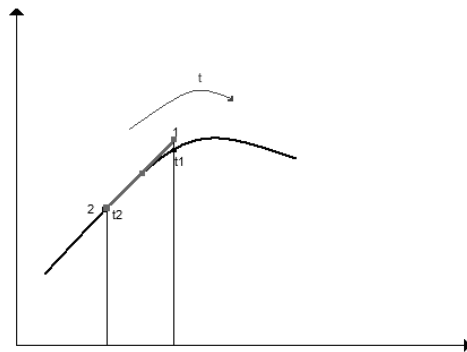


Рис. 5. Отображение взаимосвязи направления обхода кривой с параметром t , относительно касательной

На рис. 4 отображен случай, когда при использовании исключительно положительного направления обхода направление нормали изменится, а направление касательной при этом останется неизменным (рис. 6).

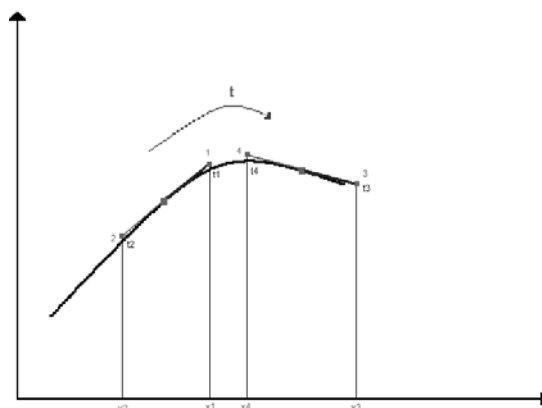


Рис. 6. Изменение направления касательной при положительном обходе по параметру t

После определения направления нормали фиксируется длина её отрезка, равная ширине полосы отвода, попутно фиксируется аналогичная длина касательной в выбранном направлении.

Замечание 3. В случае, если производная терпит разрыв, длина отрезка нормали (ширина отвода) сохраняется при переходе через точку разрыва и в самой точке разрыва.

Дополнительные технические детали визуализации линии полотна приводятся в [1].

Таким образом, для визуализации линии железнодорожного полотна, дискретно заданной массивом координат, используется интерполирование промежуточных значений. На основе преобразования интерполяционного полинома к форме (1) непосредственно определяются производные по независимой переменной (2) и, как следствие, производные в декартовых координатах. С помощью последних отображаются нормали и касательные к визуализируемой кривой, определяется ширина полосы землеотвода.

Необходимо заметить, что для сохранения гладкости отображения при построении интерполяционных полиномов соседние сегменты касаются друг друга (последний узел текущего сегмента, равен первому узлу следующего). В результате вокруг любых двух узлов в кривой строится гладкая кривая, являющаяся границей землеотвода. В узлах, в которых нарушается гладкость пути, строятся левосторонние и правосторонние производные на основе изложенной кусочной интерполяции с сохранением гладкости до и после вырезанной точки, затем выполняется соответствующая визуализация пути, а также односторонних касательных и нормалей.

Замечание 4. Для визуализации линий железных дорог может возникнуть необходимость [5] использования полинома степени до $n = 5$, включительно. Наиболее подходящими являются полиномы степени $n = 2$ или $n = 3$. Необходимость $n > 3$ обусловлена ростом кривизны полотна. В численном эксперименте по ходу изложенной работы апробировались степени полинома до $n = 11$, включительно, что приводило к повышению качеству визуализации дорог с высокой кривизной.

Согласно последнему замечанию предложенный метод целесообразно использовать для визуализации путей (не обязательно железнодорожных) с участками высокой кривизны.

Заключение. Предложен метод визуализации линий железнодорожных путей на основе кусочно-полиномиальной интерполяции массивов координат. На данной основе рассчитываются полосы отвода участка железнодорожного пути. Метод включает визуализацию пути с отображением нормали и касательной в произвольной точке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ромм Я.Е., Шаповалова Е.Ю. Визуализация железнодорожного пути по массиву оцифрованных координат с отображением нормалей и касательных / ТГПИ. – Таганрог, 2010. – 29 с. – Деп. в ВИНТИ 15.04.2011, № 292-В2011.
2. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Физматгиз, 1966. – 660 с.
3. Аксайская Л.Н. Разработка и исследование параллельных схем цифровой обработки сигналов на основе минимизации временной сложности вычисления функций. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Таганрог. – 18 с.
4. Зорич В.А. Математический анализ. Ч. I. – М.: Наука, 1981. – 544 с.
5. Шубко В.Г., Правдин Н.В. и др. Железнодорожные станции и узлы. – М.: УМК МПС России, 2002.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
7. Блашке В. Введение в дифференциальную геометрию. – Ижевск: Изд. дом «Удмуртский университет», 2000. – 232 с.
8. Бакельман И.Я., Вернер А.Л., Кантор Б.Е. Введение в дифференциальную геометрию «в целом». – М.: Наука, 1973. – 444 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Л.П. Фельдман.

Ромм Яков Евсеевич – ГОУВПО «Таганрогский государственный педагогический институт»; e-mail: romm@listru; 347926, г. Таганрог, ул. Инициативная, 48; тел.: 88634601753, 88634601812, 88634601807; кафедра информатики; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Шаповалова Елизавета Юрьевна – e-mail: lifeforever@list.ru; кафедра информатики; аспирантка

Romm Yakov Evseevich – Taganrog State Pedagogical Institute; e-mail: romm@list.ru; 48, Initiativnaya street, Taganrog 347926, Russia; phones: +78634601753, +78634601812, +78634601807; the department of computer science; chair of department; dr. of eng. sc.; professor.

Shapovalova Elizaveta Uyr'evna – e-mail: lifeforever@list.ru; postgraduate student.

УДК 50.24:534.4:621.391

Е.Ф. Стукалина, А.А. Сметанин

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Рассматриваются вопросы обработки изображений дистанционного зондирования на основе дешифрирования материалов космической съемки, являющейся в настоящее время актуальной проблемой. Предлагаемая цифровая модель местности позволяет формализовать контурную информацию в векторном представлении, что является основанием для оперативного обновления информации геоинформационных систем. Оригинальность