

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P11-85-715

В. Чик

ПОСТРОЕНИЕ КАРТ ИЗОЛИНИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРОЕКЦИЙ

1985

ВВЕДЕНИЕ

Широкое использование карт изолиний обусловлено наглядностью представления исследуемого процесса. С развитием машинной графики область применения таких карт все более расширяется.

В настоящей работе описано описание методов и программ для построения "классических карт", т.е. карт линий уровня, которые получают ортогональной проекцией изолиний в плоскость проекций /4,5/.

Недостатком карт изолиний является трудоемкость получения пространственного представления на основе данной карты. Этот недостаток можно обойти посредством применения стереопроекций, при котором нет необходимости решать проблему удаления невидимых линий.

В данной работе выбран другой подход изображения изолиний при помощи перспективных трансформаций, т.е. согласно методам, изложенным в работе /3/.

Такой подход позволяет пользователю получить наглядное представление об изображении функции двух переменных как посредством изолиний, так и при помощи их комбинаций и перпендикулярных сечений.

Одним из основных требований, учитываемых при создании программ, явилось требование минимальной используемой памяти. Благодаря данному обстоятельству созданные программы могут применяться и на машинах типа СМ.

Исходным для данной задачи является представление о том, что значения функции двух переменных известны в узлах прямоугольной сетки, ограниченной прямоугольной областью в декартовой системе координат. Для определения значений функции кроме узловых точек использовались двумерные локальные сплайны, построенные на основе метода, описанного в /1,2/.

В первом разделе рассмотрен алгоритм построения карт изолиний с удалением невидимых линий. В следующем разделе содержится описание созданных программ и в заключение показаны некоторые примеры их применения.

1. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ ИЗОЛИНИЙ С УДАЛЕНИЕМ НЕВИДИМЫХ ЛИНИЙ

Для функции двух переменных предполагаем, что она определена в прямоугольной области: $D = \{a \leq x \leq b, c \leq y \leq d\}$, на которой заданы две одномерные сетки:

$$a = x_1 < x_2 < \dots < x_{m-1} < x_m = b, \quad c = y_1 < y_2 < \dots < y_{n-1} < y_n = d.$$

Двумерная сетка разделяет D на прямоугольники:

$$P_{ij} = \{x_{i-1} \leq x \leq x_i, y_{j-1} \leq y \leq y_j\} \quad i=2, \dots, m, \quad j=2, \dots, n.$$

Значения функции известны в узловых точках двумерной сетки.

$$Z(x_i, y_j) = Z_{ij}, \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, n.$$

На каждом прямоугольнике двумерной сетки определяется бикубический полином:

$$P_{k\ell}(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} (x-x_k)^i (y-y_\ell)^j, \quad k=1, 2, \dots, m; \quad \ell=1, 2, \dots, n.$$

k, ℓ - координаты левого нижнего угла прямоугольника.

При разработке алгоритма был использован метод^{1/}, позволяющий локально определить 16 коэффициентов a_{ij} бикубического полинома.

Точность изображения карт изолиний зависит от точности изображения сетки, в которой эти карты строятся. С другой стороны, высокая точность влечет за собой требование большого объема памяти, т.е. в этом случае в памяти необходимо иметь все точки двумерной сетки. Например, для двумерной сетки размером 20×20 при плотности 10 подынтервалов в каждом прямоугольнике требуется примерно 14000 байтов памяти, тогда как использование предлагаемого метода ограничивает это требование до 2000 байтов, т.е. в 70 раз меньше. С увеличением плотности размер требуемой памяти будет возрастать.

Первым шагом алгоритма является последовательное устранение вырожденных узлов сетки для данной плоскости сечения. Под вырожденным узлом понимается, согласно^{2/}, узел сетки, через который проходит некоторая изолиния. Необходимость такого шага обусловлена тем обстоятельством, что эта изолиния должна быть определена однозначно для данной сетки. С другой стороны, при этом существует опасность потери изолиний, имеющих точки пересечения на границах области.

Во втором шаге на каждый прямоугольник сетки накладываем точную сетку, плотность задается пользователем. При помощи теста: $(v_1 - c) \cdot (v_2 - c) \leq 0$, где v_1, v_2 - значения полинома в двух со-

седних точках на границе прямоугольника, c обозначает плоскость сечения, при этом осуществляется поиск точки корней полинома на границе каждого прямоугольника. В случае успешного поиска производится занесение "1" в рабочий массив по индексу, соответствующему конкретному подынтервалу и номеру границы.

На третьем шаге проводится вычерчивание отдельных изолиний, при этом в соответствующие слова рабочего массива записывается "0". В результате исключается возможность повторного вычерчивания изолиний.

Таким образом, рисуются все изолинии, проходящие через границы прямоугольников исходной сетки. С другой стороны, те замкнутые изолинии, которые лежат внутри прямоугольников, не будут обнаружены, и, соответственно, не будут расчерчены. Корни или точки, через которые проходит изолиния, можно определить как среднее арифметическое этих точек. В случае более высокой точности используется метод линейной интерполяции.

Выбор второго подхода обусловлен тем, что при недостаточной плотности сетки, наложенной на прямоугольник, полученные изолинии не являются гладкими.

Преимуществом разработанного алгоритма является отсутствие необходимости вычисления всех значений бикубического полинома во всех точках плотной сетки. Эти вычисления достаточно проводить только в точках на границах прямоугольников исходной сетки и на тех вершинах прямоугольников плотной сетки, через которые проходит изолиния.

Необходимо отметить, что алгоритм^{1/} использован в модифицированном виде, и программа, его реализующая, имеет примерно на $30 \div 40\%$ меньше операторов, чем в работе^{2/}. Однако в этом алгоритме отсутствует возможность экстраполяции вне рассматриваемой области.

При изображении карт изолиний перспективными проекциями возникает проблема удаления невидимых линий. Для решения этой проблемы был использован подход, описанный в работе^{3/}. Для определения координат в плоскости проекций использовалась подпрограмма, описанная в^{4/}.

Созданная программа изображения изолиний производит одновременное вычерчивание перпендикулярных сечений выбранной плотности в соответствии с числом подынтервалов плотной сетки. Задание более высокой плотности влечет за собой ухудшение наглядности картинки.

Пользователю представляется возможность выбора перпендикулярных сечений, параллельных одной из плоскостей $Z-X$, $Z-Y$ или обеих одновременно, а также только вычерчивание границ исходной сетки.

2. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММ

Программа MAP3D

Назначение программы:

Построение перспективной проекции изолиний и выбранных перпендикулярных сечений с удалением невидимых линий.

Форма обращения:

CALL MAP3D(U,X,Y,M,N,XP,YP,MP,NP,JV1,JV2,JV3,JV4,CO,NR,NL,ISG,JSG,IROZ1)

Назначение параметров:

- U - двумерный массив размером M*N значений функции Z(x,y) в узлах сетки, определенной массивами X и Y;
- X - массив длины M точек сетки по координате X, расположенных в порядке возрастания координаты;
- Y - массив длины N точек сетки по координате Y, расположенных в порядке возрастания координаты;
- M - число точек в массиве X;
- N - число точек в массиве Y;
- XP - массив длины MP+1 точек плотной сетки по координате X;
- YP - массив длины (NP+1) точек плотной сетки по координате Y;
- MP - число подынтервалов по координате X;
- NP - число подынтервалов по координате Y;
- JV1, JV3 - вспомогательные массивы длины NP;
- JV2, JV4 - вспомогательные массивы длины MP;
- CO - массив длины NR, используемый для запоминания значений Z=const для плоскостей сечений;
- NR - число плоскостей сечений;
- IVL - параметр, который определяет выбор направления перпендикулярных сечений:
0 - вычерчивание границ прямоугольной области;
1 - вычерчивание перпендикулярных сечений, параллельных плоскости Z-X и границ;
2 - вычерчивание перпендикулярных сечений, параллельных плоскости Z-Y и границ;
3 - совместный режим для IVL=1 и IVL=2;
- ISG - шаг черчения сечений по координате X;
- JSG - шаг черчения сечений по координате Y;
- IROZ1 - параметр задания вычерчивания изолиний:
1 - вычерчивание изолиний;
0 - отказ от вычерчивания изолиний.

Требуемые подпрограммы: AKI, FUNXI, MAP, MKSG, MOVE, TMF.

Общие блоки: GFVP.

Язык: фортран.

Программа AKI

Назначение программы:

Определение 16 коэффициентов бикубического полинома в прямоугольнике исходной сетки.

Форма обращения:

CALL AKI(M,N,U,X,Y,P,I,J).

Назначение параметров:

- Параметры M,N,U,X,Y имеют такое же значение, как и в программе MAP3D.
- P - массив длиной 16 слов, используемый для запоминания коэффициентов бикубического полинома;
- I - индекс верхнего правого угла прямоугольника по координате X;
- J - индекс верхнего правого угла прямоугольника по координате Y;

Требуемые подпрограммы: отсутствуют.

Общие блоки: отсутствуют.

Язык: фортран.

Программа FUNXI

Назначение программы:

Вычисление значения бикубического полинома в данной точке.

Форма обращения:

CALL FUNXI(X1,Y1,P,U,I,J,X,Y)

Назначение параметров:

- X1 - X-координата точки, в которой вычисляется значение бикубического полинома;
- Y1 - Y-координата точки, в которой вычисляется значение бикубического полинома;
- U - значение бикубического полинома в точке (x₁, y₁);
- I - индекс по координате X для левого нижнего угла прямоугольника, содержащего точку (x₁, y₁);
- J - индекс по координате Y для левого нижнего угла прямоугольника, содержащего точку (x₁, y₁).
- Назначение параметров P,X,Y такое же, как и в программе AKI.

Требуемые подпрограммы: отсутствуют.

Общие блоки: отсутствуют.

Язык: фортран.

Программа MKSG

Назначение программы:

Определение видимости точки с заданными координатами.

Форма обращения:

CALL MKSG(U, X, Y, M, N, XK1, YK1, C1, IPV, MP, I1, J1).

Назначение параметров:

Назначение параметров U, X, Y, M, N, MP, NP такое же, как и в программе MAP3D.

XK1 - X-координата точки, видимость которой определяется;

YK1 - Y-координата точки, видимость которой определяется;

C1 - Z-координата точки, видимость которой определяется;

I1 - индекс левого нижнего угла в направлении координаты X прямоугольника, в котором находится точка (x_{k1}, y_{k1}) ;

J1 - индекс левого нижнего угла в направлении координаты Y прямоугольника, в котором находится точка (x_{k1}, y_{k1}) ;

IPV - параметр видимости данной точки /возвращаемый параметр/;

0 - точка невидима;

1 - точка видима.

Требуемые подпрограммы: AKI, FUNX1.

Общие блоки: GFVP.

Язык: Фортран

Программа MAP

Подробное описание программы содержит работа ¹⁵. При обращении к этой программе получают для заданной точки в декартовой системе координат координаты этой точки в плоскости проекции.

Форма обращения: CALL MAP(X, Y, Z)

X, Y, Z - координаты точки в декартовой системе координат.

Координаты точки зрения находятся в общем блоке GFVP. При их выборе надо иметь в виду, чтобы она не попала на поверхность функции.

ПРИМЕРЫ

Рис.1-5 представляют применение метода к геофизическим данным. На рис.1 представлена "классическая карта", построенная с помощью ортогональной проекции на плоскость X-Y. Рис.2-5 построены с помощью программы MAP3D и позволяют получить более наглядное представление о функции, описывающей геофизические данные благодаря использованию изолиний в пространстве.

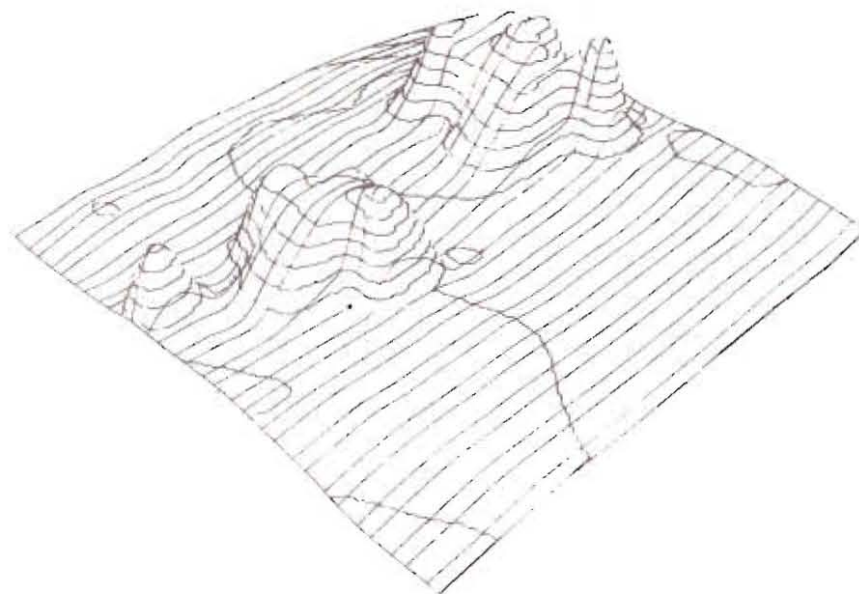


Рис.3

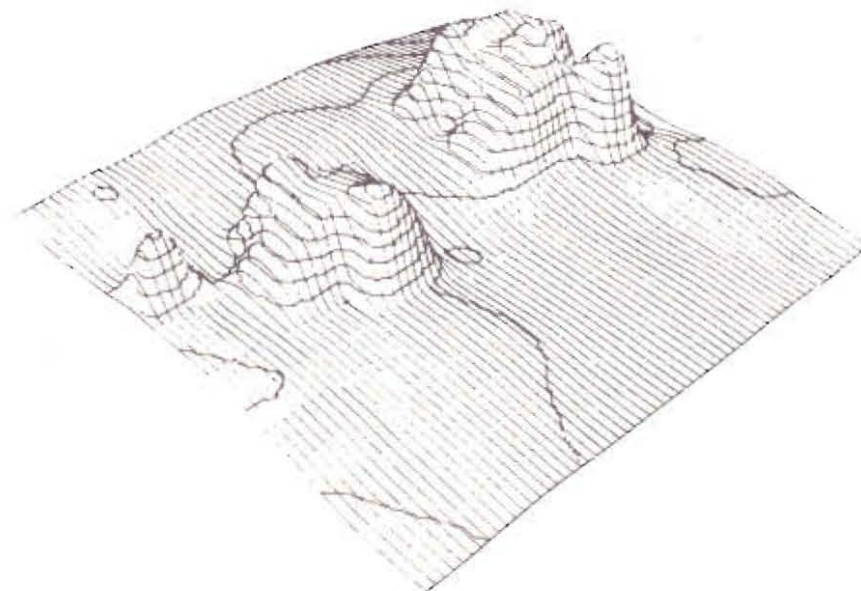


Рис.4

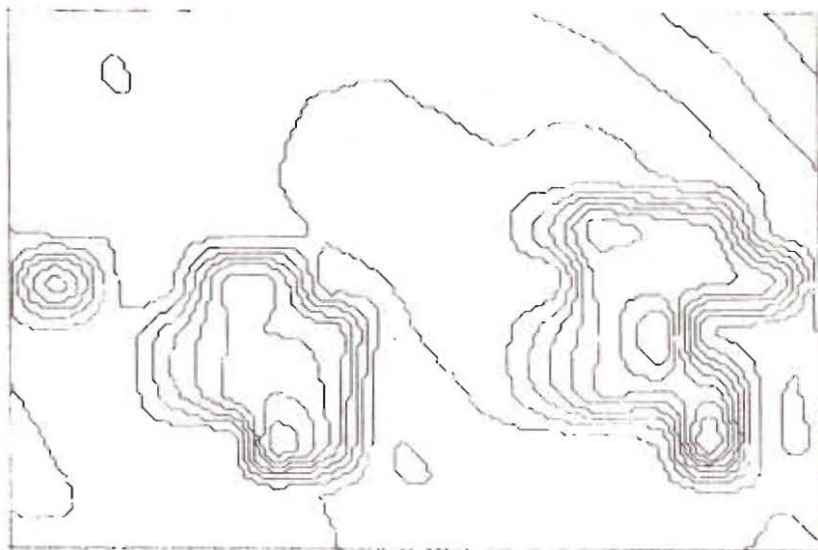


Рис. 1

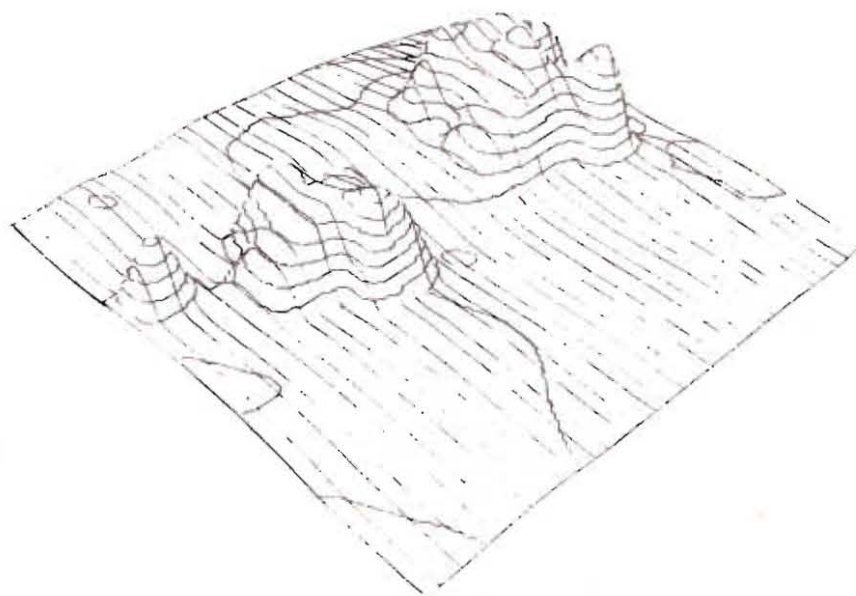


Рис. 2

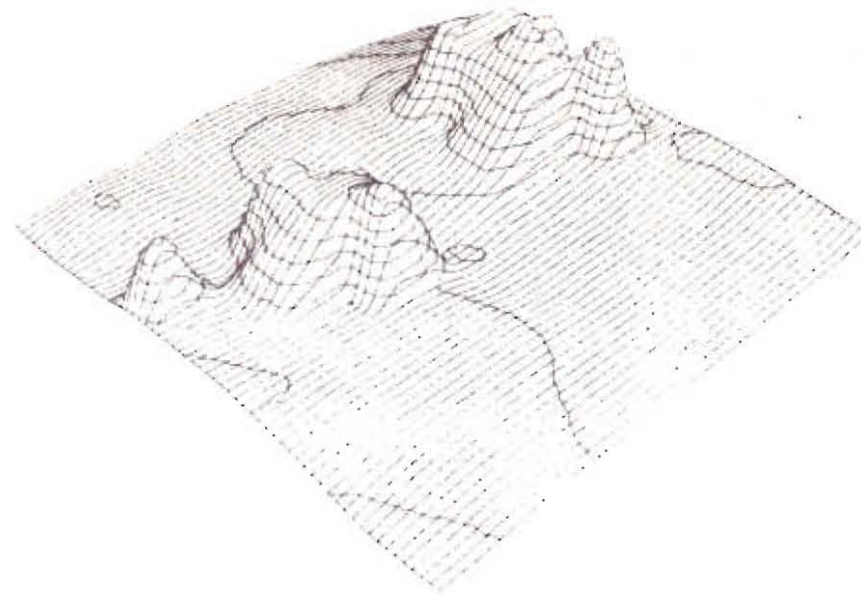


Рис. 5

Автор признателен А.А.Карлову, В.В.Галактионову, С.Г.Каданцеву и А.С. Кирилову за оказанную помощь и советы в процессе написания и отладки программ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Akima H. A Method of Bivariate Interpolation and Smooth Surface Fitting Based on Local Procedures. CACM vol.17, No.1, Jan.1974.
2. Akima H. Algorithm 474. Bivariate Interpolation and Smooth Surface Fitting Based on Local Procedures. CACM vol.17, No.1, Jan.1974.
3. Kubert B., Szabo J., Giulleri: The Perspective Representation of Function of Two Variables. JACM, vol.15, No.2, April 1968.
4. Баяковский Ю.М. и др. ГРАФОР. Комплекс графических программ на ФОРТРАНе. Часть 1. Препринт ИПМ АН СССР, Москва, 1983.
5. Баяковский Ю.М. и др. ГРАФОР. Комплекс графических программ на ФОРТРАНе. Часть 2. Препринт ИПМ АН СССР, Москва, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 октября 1985 года

Чик В.
Построение карт изолиний
с применением перспективных проекций

P11-85-715

Рассматриваются алгоритм и программа для перспективного представления функций двух переменных с помощью перспективных изолиний и координатных сечений. Для улучшения изображения использованы локальные сплайны.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Chik V.
Plotting Isoline Maps
Using Perspective Projections

P11-85-715

The algorithm and program for representation of functions of two variables by perspective isolines and cross sections are considered. The local splines are used to improve the image quality.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985