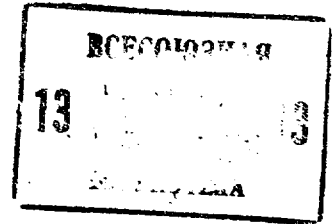




з (51) G 05 B 19/415

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ И АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 3584273/18-24
- (22) 25.04.83
- (46) 15.08.84. Бюл. № 30
- (72) Ю.И. Тормышев
- (71) Минский радиотехнический институт
- (53) 621.503.55(088.8)
- (56) 1. Патент США № 3763363, кл. 340-172.5, опублик. 1976.

2. Авторское свидетельство СССР № 596934, кл. G 06 F 1/02, 1976.

3. Авторское свидетельство СССР № 798729, кл. G 05 B 19/415, 1981 (прототип).

(54)(57) ИНТЕРПОЛЯТОР, содержащий первый и второй счетчики, соединенные выходами соответственно с первым и вторым входами первого и второго сумматора, генератор импульсов, соединенный выходом с первыми входами первого и второго элементов И, вторые входы которых подключены к выходу триггера, третьи входы - к выходам второго сумматора, а выходы первого и второго элементов И соединены с первыми входами первого и второго счетчиков и соответственно через первый и второй элементы ИЛИ - с третьим и с четвертым входами второго сумматора, третий и четвертый входы первого сумматора соединены с вторыми входами соответственно второго и первого счетчиков импульсов и с вторыми входами второго и первого элементов ИЛИ

и с входами первого и второго элементов задержки, вторые входы первого и второго счетчиков являются входами интерполятора, а выходы первого и второго элементов И являются выходами интерполятора, выходы первого и второго сумматоров подключены к первому и второму входам третьего элемента ИЛИ, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью повышения точности и упрощения интерполятора, в него введены блок сравнения, элемент РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ИЛИ, третий, четвертый и пятый элементы И, четвертый элемент ИЛИ, третий элемент задержки, выходы первого и второго счетчиков подключены к первому и второму входам блока сравнения, первый и второй выходы которого через третий и четвертый элементы И соединены с первым и вторым входами четвертого элемента ИЛИ, соединенного выходом через РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ИЛИ с пятью входами первого и второго сумматоров, а через третий элемент задержки - с первым входом пятого элемента И, второй вход которого подключен к выходу третьего элемента ИЛИ, а выход является третьим выходом интерполятора, вторые входы третьего и четвертого элементов И соединены с выходами первого и второго элементов задержки соответственно, выход блока сравнения соединен с первым входом триггера, второй вход которого является входом интерполятора.

Изобретение относится к области автоматики и вычислительной техники и может быть использовано в системах с числовым программным управлением для формирования шаговых траекторий и подготовки исходной информации для интерполирующих устройств при работе в режиме, обратном процессу интерполирования. Устройство может быть использовано также в телеметрических системах и системах обработки считываемой в режиме следа преобразования графической информации с целью ее сжатия или устранения избыточности.

Известно устройство, содержащее сумматоры, компаратор, логические элементы [1].

Известно также устройство, содержащее счетчики и сумматоры, к входам которых подключены выходы счетчиков [2].

Эти устройства используются для формирования траекторий в системах с числовым программным управлением.

Однако такие устройства не обеспечивают выполнения обратного процесса интерполяции, т.е. сжатия информации, поэтому не могут быть использованы для подготовки информации, необходимой для работы интерполяторов.

Наиболее близким к предлагаемому является интерполятор, содержащий два сумматора и два счетчика, подключенных своими выходами к входам сумматора, элемент И-НЕ и блок элементов задержки [3].

Недостатком этого устройства является невысокая точность работы в режиме обратной интерполяции, а следовательно, невысокий коэффициент сжатия информации и большой объем требуемой для запоминания информации памяти. Кроме того, при работе в режиме интерполяции известное устройство не позволяет определять момент окончания обрабатываемой траектории и требует для этого привлечения дополнительных средств, что усложняет устройство.

Цель изобретения - повышение точности и упрощение устройства.

Цель достигается тем, что в интерполятор, содержащий первый и второй счетчики, соединенные выходами соответственно с первым и вторым входами первого и второго сумматора, генератор импульсов, соединенный выходом с первыми входами

первого и второго элементов И, вторые входы которых подключены к выходу триггера, третьи входы - к выходам второго сумматора, а выходы первого и второго элементов И соединены с первыми входами первого и второго счетчиков и соответственно через первый и второй элементы ИЛИ - с третьим и с четвертым входами второго сумматора, третий и четвертый входы первого сумматора соединены с вторыми входами соответственно второго и первого счетчиков импульсов и с вторыми входами второго и первого элементов ИЛИ и с входами первого и второго элементов задержки, вторые входы первого и второго счетчиков являются входами интерполятора, а выходы первого и второго элементов И являются выходами интерполятора, выходы первого и второго сумматоров подключены к первому и второму входам третьего элемента ИЛИ, введен блок сравнения, элемент РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ИЛИ, третий, четвертый и пятый элементы И, четвертый элемент ИЛИ, третий элемент задержки, выходы первого и второго счетчиков подключены к первому и второму входам блока сравнения, первый и второй выходы которого через третий и четвертый элементы И соединены с первым и вторым входами четвертого элемента ИЛИ, соединенного выходом через РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ИЛИ с пятью входами первого и второго сумматоров, а через третий элемент задержки - с первым входом пятого элемента И, второй вход которого подключен к выходу третьего элемента ИЛИ, а выход является третьим выходом интерполятора, вторые входы третьего и четвертого элементов И соединены с выходами первого и второго элементов задержки соответственно, выход блока сравнения соединен с первым входом триггера, второй вход которого является входом интерполятора.

На фиг. 1 представлена структурная схема интерполятора; на фиг. 2 - график, поясняющий принцип его работы в режиме обратного интерполирования; на фиг. 3 - пример обработки траектории в режиме обратного интерполирования; на фиг. 4 - пример линейной интерполяции.

Интерполятор (см. фиг. 1) содержит первый 1 и второй 2 счетчики, первый 3 и второй 4 сумматоры, первый 5 и второй 6 элементы ИЛИ, первый 7 и второй 8 элементы И, генератор импульсов 9, триггер 10, второй 11 и первый 12 элементы задержки, блок сравнения 13, третий 14 и четвертый 15 элементы И, четвертый элемент ИЛИ 16, элемент РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ИЛИ 17, третий элемент ИЛИ 18, пятый элемент И 19, третий элемент задержки 20, выход интерполятора 21, входную шину 22.

Счетчики 1 и 2 служат для подсчета текущих элементарных приращений координат и хранения текущего значения координаты, сумматоры 3 и 4 накопительного типа - для подсчета оценочных функций.

Первый и второй входы сумматоров используются соответственно для управления арифметической операцией вычитания содержимого второго и суммирования содержимого первого счетчиков с содержимым сумматора. Третий и четвертый входы являются входами операндов. Пятые входы первого и второго сумматоров являются соответственно входами суммирования и вычитания констант, численно равных половине величины допустимой погрешности и используется только в режиме обратной интерполяции. Первый и второй выходы сумматоров являются выходами знакового разряда и являются индикаторами соответственно отрицательного и положительного, включая и нуль, чисел.

Элементы ИЛИ 5 и 6 используются для сбора сигналов управления сумматором. Элементы И 7 и 8 используются в качестве коммутаторов сигналов при работе устройства в режиме интерполирования. Генератор импульсов 9 служит для выработки тактовых импульсов. Триггер 10 служит для формирования строга, определяющего длительность кадра интерполяции. Элементы задержки 11 и 12 используются для задержки входных сигналов на время, необходимое для суммирования входного единичного импульса с содержимым счетчика. Схема сравнения 13 служит для определения отношений между числовыми величинами содержимого первого и второго счетчиков. На первом выходе

сигнал появляется, если содержимое счетчиков равно нулю. На втором выходе схемы сигнал формируется, если содержимое первого счетчика больше содержимого второго счетчика. На третьем выходе сигнал формируется, если содержимое первого счетчика меньше содержимого второго счетчика.

Элементы И 14 и 15 пропускают на выходе те входные сигналы, которые формируют большее значение числа в одном из счетчиков. Элемент ИЛИ 16 служит для сборки сигналов, элемент РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ИЛИ 17 - для формирования путем распараллеливания входного импульса кода двоичного числа, равного половине допустимой погрешности или половине величины допустимого коридора при работе устройства в режиме обратной интерполяции. Элемент ИЛИ 18 служит для сборки сигналов, элемент И 19 - для формирования сигнала, соответствующего концу формируемого отрезка, элемент задержки 20 - для задержки сигнала опроса элемента И 19 на время, необходимое для выполнения арифметической операции в сумматорах. Выход 21 является выходом интерполятора. Появление на нем сигнала свидетельствует об окончании формирования отрезка. Выход 22 является входом переключения устройства в режим работы интерполирования.

Принцип работы устройства в режиме обратной линейной интерполяции основан на вычислении двух смещенных на величину $\pm \delta$ относительно центрального отрезка, определяемого оценочной функцией

$$F_{ij}^{(0)} = \sum_i \Delta Y_j X_i - \sum_j \Delta X_i Y_j, \quad (1)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, I$
 $j = 1, 2, 3, \dots, J$

оценочных функций вида

$$F_{ij}^{(1)} = \sum_j \Delta Y_j X_i - \sum_i \Delta X_i (Y_j - \delta) \quad (2)$$

$$F_{ij}^{(2)} = \sum_j \Delta Y_j X_i - \sum_i \Delta X_i (Y_j + \delta) - \delta \quad (3)$$

при условии, что между переменными соблюдается условие $X_i \gg Y_j$. Здесь ΔX_i и ΔY_j - элементарные приращения переменных, X_i и Y_j - текущие значения переменных ($X_i = \sum \Delta X_i$ и $Y_j = \sum \Delta Y_j$) и 2δ - величина допустимой погрешности, оказывающая влия-

ние на степень сжатия информации и величину аппроксимирующего отрезка.

Если $X_j < Y_j$, то смещенные относительно друг друга оценочные функции имеют следующий вид

$$F_{ij}^{(1)} = \sum_j \Delta Y_j (X_i + \delta) - \sum_i \Delta X_i Y_j \quad (4)$$

и

$$F_{ij}^{(2)} = \sum_j \Delta Y_j (X_i - \delta) - \sum_i \Delta X_i Y_j \delta \quad (5)$$

Необходимость задания начальных смещений $-\delta$ в выражениях (3) и (5) связана с необходимостью уже на начальном этапе получить для оценочных функций противоположные знаки.

Между знаком оценочной функции, определяемой выражением (1), и текущими значениями ее переменных существует следующая зависимость.

Значение оценочной функции равно нулю, если значения переменных лежат на теоретической кривой. Оценочная функция положительна, если текущее значение зависимой переменной больше теоретического значения, и наоборот.

Аналогичное соотношение соблюдается и для смещенных оценочных функций.

На фиг. 2 показаны законы изменения знаков оценочных функций для точек, лежащих по разные стороны от теоретического отрезка с учетом смещения. Анализ законов изменения оценочных функций (см. фиг. 2) с учетом возможной их реализации показывает, что в качестве одного из условий выхода координаты текущей точки из заданного коридора или условия непринадлежности точки формируемому отрезку является выполнение одного из следующих соотношений

$$F_{ij}^{(1)} < 0 \quad \text{или} \quad F_{ij}^{(2)} > 0 \quad (6)$$

При этом считается, что начальная точка отрезка находится в начале координат.

Выражения (2) - (5) и условие (6) определяют алгоритм работы устройства.

Одно из основных отличий предлагаемого алгоритма от известного [3], основанного на использовании выражений (с учетом принятой для облегчения сравнительного анализа индексации и ширины коридора 2δ):

$$F_{ij}^{(1)} = \sum_j \Delta Y_j X_i - \sum_i \Delta X_i (Y_j - 1) + \delta \quad (6)$$

$$F_{ij}^{(2)} = \sum_j \Delta Y_j (X_i - 1) - \sum_i \Delta X_i Y_j - \delta \quad (7)$$

состоит в том, что противоположные смещения оценочной функции осуществляются вдоль одной из осей, при том только той, для которой текущее значение одной из двух переменных является меньшим. У прототипа, как это видно из выражений (6) - (7), смещения осуществляются вдоль обеих осей, что приводит к уменьшению величины коридора при малых и больших углах наклона отрезка, в результате этого изменяется величина допустимого отклонения, а вместе с ней изменяются (в сторону уменьшения) коэффициент сжатия и величина аппроксимирующего отрезка. Этот факт иллюстрируется приведенным на фиг. 3 примером, где цифрами I и II обозначена величина допустимого коридора прототипа и предлагаемого устройства соответственно.

Кроме того, известное устройство 3 не позволяет изменять величину допустимой погрешности или величину допустимого коридора, что ограничивает его возможности. Наличие свободного члена δ в (6) и (7) не обеспечивает необходимой регулировки допустимой погрешности вдоль всей траектории.

В табл. 1 приведен пример обработки траектории, заданной своими приращениями, с помощью выражений (6) и (7) для прототипа и выражений (2), (3) и (6) для предлагаемого устройства.

Табл. 1 поясняется фиг. 3.

Из примера видно, что одной и той же начальной величине допустимого отклонения известный алгоритм выдает более короткие отрезки, чем предлагаемый.

Так, в соответствии с алгоритмом прототипа в точке А с координатами (2, 1) был бы зафиксирован конец отрезка, так как оценочная функция $F_{2,1}^{(2)}$ [3] изменила свой знак. В связи с тем, что текущая точка оказалась на границе коридора ($F_{2,1}^{(2)} = 0$), можно было бы игнорировать это обстоятельство (хотя у прототипа это не предусмотрено), но в точке В с координатами (7, 2) вследствие изменения знака $F_{7,2}^{(2)}$ [3] был бы зафиксирован конец отрезка. Это является следствием влияния угла наклона отрезка на величину

допустимого коридора. Этого недостатка предлагаемый алгоритм не имеет. На фиг. 3 отдельными точками показаны возможные продолжения из предыдущей точки траектории (исходя из условия, что знак приращений обрабатываемой траектории не меняется), а крестиками помечены точки выхода из разрешенной (допустимой) области коридора, в которых был бы зафиксирован конец отрезка в случае продолжения траектории в этом направлении. Запрещенные точки над траекторией показаны исходя из условия, что движение из предыдущей точки осуществляется вверх, и под траекторией - исходя из условия движения вправо, т.е. в сторону увеличения координат. В результате обработки траектории с порогом $\sigma = 1$, в соответствии с приведенным примером, сформирован отрезок OO_1 , значения проекций которого соответственно равны X_1 и Y_1 , а величина погрешности не превышает 2σ .

При необходимости величину погрешности можно уменьшить коррекцией координаты на одно элементарное приращение, т.е. возвратившись к предыдущему шагу.

Устройство в режиме обратной интерполяции работает следующим образом.

В исходном состоянии счетчики 1 и 2, сумматор 3 и триггер 10 обнулены, а в сумматор 4 занесено значение константы $-\sigma$. Поступающие на входы счетчиков 1 и 2 единичные элементарные приращения переменных ΔX_i и ΔY_j накапливаются в них, формируя значения текущих переменных X_i и Y_j . С приходом каждого приращения ΔX на вход сумматора 3 и через элемент ИЛИ 5 на вход сумматора 4 из содержимого сумматоров 3 и 4 вычитается накопленное к тому времени значение содержимого счетчика 2. С приходом каждого приращения ΔY на вход сумматора 3 и через элемент ИЛИ 6 на вход сумматора 4 накопленное к этому времени значение содержимого счетчика 1 суммируется с содержимым сумматоров 3 и 4.

В процессе работы схема сравнения 13 сравнивает содержимое счетчиков между собой и выдает на один из элементов И 14 или И 15 разре-

шающий потенциал. Если содержимое счетчика 1 больше содержимого счетчика 2, разрешающий потенциал подается на вход элемента И 14, в противном случае - на вход элемента И 15. Входные импульсы через соответствующие элементы задержки 11 и 12 поступают на другие входы элементов И 14 и 15 и проходят через один из открытых элементов И 14 или 15 и через элемент ИЛИ 16 на вход элемента РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ИЛИ 17, с выхода которого в сумматоры 3 и 4 заносится соответственно значение константы плюс и минус σ , численно равной половине величины допустимого коридора, в котором должен находиться формируемый отрезок. В результате этого в сумматорах 3 и 4 формируются соответственно значения оценочных функций $F_{ij}^{(1)}$ и $F_{ij}^{(2)}$ в соответствии с выражениями (2) и (3), если $X_i > Y_j$, или (4) и (5), если $X_i < Y_j$.

При выходе обрабатываемой траектории из пределов заданного коридора одна из оценочных функций меняет свой знак на противоположный, что вызывает появление на соответствующем выходе знакового разряда одного из сумматоров сигнала, который через элемент ИЛИ 18 поступает на вход элемента И 19, разрешая прохождение задержанного элементом задержки 20 сигнала на выход устройства 21 и считывание со счетчиков относительных координат или величин проекций сформированного вектора. После считывания информации счетчики и сумматоры устанавливаются в исходное состояние, и устройство готово к обработке очередных поступающих на его вход приращений.

Совокупность сформированных таким образом отрезков аппроксимирует с заданной точностью обрабатываемую траекторию. Точность аппроксимации регулируется шириной задаваемого коридора 2σ .

Принцип работы устройства в режиме линейной интерполяции основан на вычислении оценочной функции, определяемой выражением

$$F_{ij} = \sum_k \Delta Y_j X_i - \sum_l \Delta X_l Y_j = \\ = \sum_j \Delta Y_j (X - \sum_l \Delta X_l) - \sum_l \Delta X_l (Y - \sum_j \Delta Y_j),$$

$$(\Delta X_i, \Delta Y_j) = \begin{cases} \Delta X_i = 1, \Delta Y_j = 0, \\ \text{если } F_{ij} > 0 \\ \Delta Y_j = 1, \Delta X_i = 0, \\ \text{если } F_{ij} < 0, \end{cases} \quad (7)$$

где X_i и Y_j - количество шагов, которые необходимо отработать до конечной точки отрезка.

Эти значения подсчитываются счетчиками 1 и 2 соответственно, а само значение оценочной функции F_{ij} подсчитывается сумматором 4.

Подобная организация работы, когда число оставшихся шагов подсчитывается самими счетчиками интерполятора до их полного обнуления, позволяет экономить оборудование.

В режиме линейной интерполяции устройство работает следующим образом.

Перед началом работы в счетчики 1 и 2 вводятся значения величин проекций обрабатываемого отрезка X и Y , сумматор 4 при этом должен быть обнулен. С поступлением на вход 22 триггера 10 импульса "Начало кадра" триггер изменяет свое состояние на противоположное, и разрешающий потенциал с его выхода прикладывается к входам элементов И 7 и 8, на другие входы которых поступают импульсы от генератора импульсов 9. Если содержимое сумматора 4 больше или равно нулю, то на вход элемента И 7, связанный с выходом сумматора, подается разрешающий потенциал, и импульсы с генератора импульсов 9 проходят через элемент И 7 и поступают на вход счетчика 1, вычитая из его содержимого единичное приращение ΔX . Одновременно эти же импульсы через элемент ИЛИ 5 поступают на вход сумматора 4, вызывая вычитание содержимого счетчика 2 из содержимого сумматора. Этот процесс продолжается до тех пор, пока знак содержимого сумматора не изменится на противоположный и не станет отрицательным. Это вызывает появление разрешающего потенциала на выходе сумматора, связанном с

элементом И 8, а разрешающий потенциал на выходе сумматора, связанном с элементом И 7, исчезает. В результате импульсы с генератора импульсов 9 проходят через элемент И 8 на вход счетчика 2, вычитая из его содержимого единичное приращение ΔY . Эти же импульсы, поступая через элемент ИЛИ 6 на вход сумматора 4, вызывают суммирование содержимого счетчика 1 с содержимым сумматора 4. Этот процесс продолжается до тех пор, пока содержимое сумматора не станет равным нулю или изменит свой знак на противоположный. При этом разрешающий потенциал на входе элемента И 8, связанном с выходом сумматора, исчезает и появляется на выходе, связанном с входом элемента И 7. Описанный колебательный цикл работы интерполятора повторяется до тех пор, пока содержимое обоих счетчиков не станет равным нулю. Схема сравнения 13 при этом вырабатывает сигнал, поступающий на вход триггера 10. Разрешающий потенциал на выходе триггера исчезает, и работа устройства после обнуления счетчиков и сумматора заканчивается.

Импульсы, появляющиеся в процессе работы интерполятора на выходах элементов И 7 и 8, используются для управления шаговым приводом исполнительных устройств.

Пример, иллюстрирующий описанный принцип работы устройства, приведен в табл. 2 и на фиг. 4.

По сравнению с базовым устройством предлагаемое обеспечивает большие точность и коэффициент уплотнения или сжатия информации, а также высокую точность восстановления траектории между заданными опорными точками. Свойство обратимости превращает интерполятор в универсальное средство обработки информации, позволяет сократить объем требуемого оборудования и расширить область его применения в системах автоматизации и телемеханики.

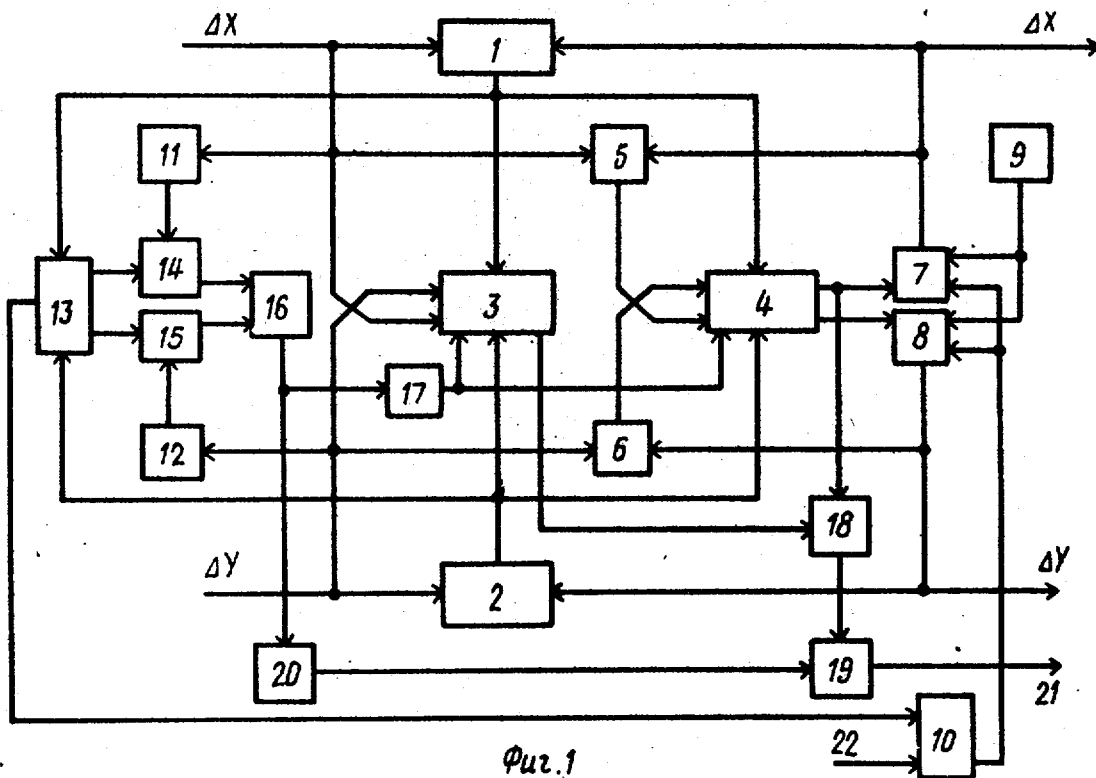
Т а б л и ц а 1

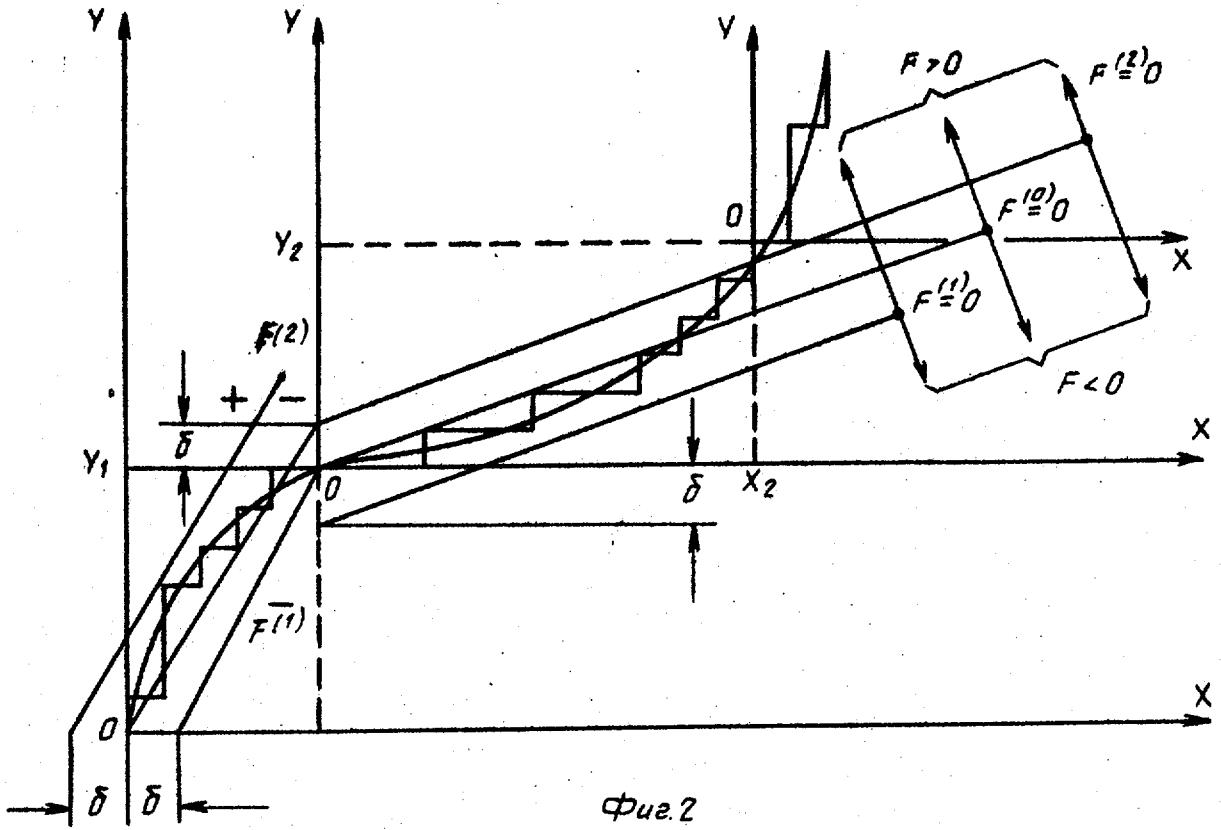
| Номер п/п | ΔX_i | ΔY_j | X_i | Y_j | $F_{ij}^{(1)}$ [3] | $F_{ij}^{(2)}$ [3] | $F_{ij}^{(1)}$ | $F_{ij}^{(2)}$ |
|--------------|--------------|--------------|-------|-------|--------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| 1 | | | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | -1 |
| 2 | 1 | | 1 | 0 | $1-(0-1)=2$ | $-1-0 = 1$ | $0-(0-1)=1$ | $-1-(0+1)=-2$ |
| 3 | 1 | | 2 | 0 | $2-(0-1)=3$ | $+1-0=-1$ | $1-(0-1)=2$ | $-2-(0+1)=-3$ |
| 4 | | 1 | 2 | 1 | $3+2=5$ | $-1+(2-1)=0$ | $2+2=4$ | $-3+1=-1$ |
| 5 | 1 | | 3 | 1 | $5-(1-1)=5$ | $0-1=-1$ | $4-(1-1)=4$ | $-1-(1+1)=-3$ |
| 6 | 1 | | 4 | 1 | $5-(1-1)=5$ | $-1-1=-2$ | $4-(1-1)=4$ | $-3-(1+1)=-5$ |
| 7 | 1 | | 5 | 1 | $5-(1-1)=5$ | $-2-1=-3$ | $4-(1-1)=4$ | $-5-(1+1)=-7$ |
| 8 | 1 | | 6 | 1 | $5-(1-1)=5$ | $-3-1=-4$ | $4-(1-1)=4$ | $-7-(1+1)=-9$ |
| 9 | 1 | | 7 | 1 | $5-(1-1)=5$ | $-4-1=-5$ | $4-(1-1)=4$ | $-9-(1+1)=-11$ |
| 10 | | 1 | 7 | 2 | $5+7=12$ | $-5+(7-1)=1$ | $4+7=11$ | $-11+7=-3$ |
| 11 | 1 | | 8 | 2 | | | $11-(2-1)=10$ | $-3-(2+1)=-6$ |
| 12 | 1 | | 9 | 2 | | | $10-(2-1)=9$ | $-6-(2+1)=-9$ |
| 13 | 1 | | 10 | 2 | | | $9-(2-1)=8$ | $-9-(2+1)=-12$ |
| 14 | 1 | | 11 | 2 | | | $8-(2-1)=7$ | $-12-(2+1)=-15$ |

Продолжение табл. 1

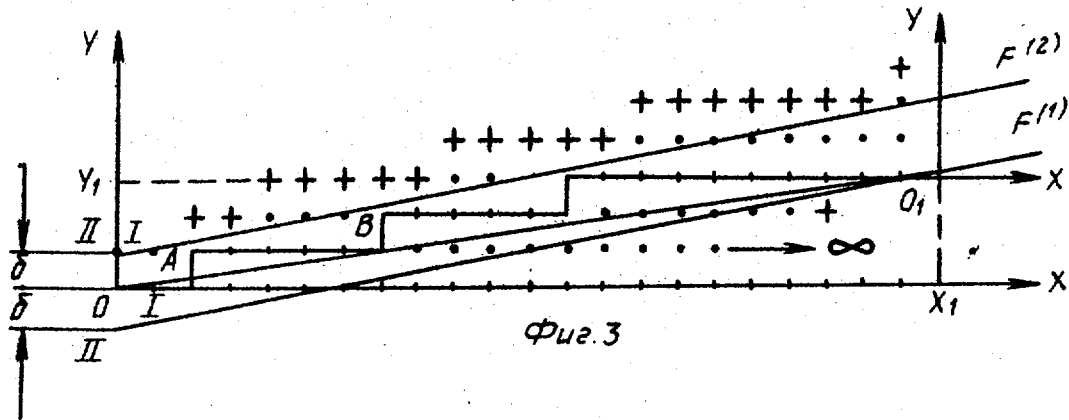
| Номер п/п | ΔX_i | ΔY_j | X_i | Y_j | $F_{ij}^{(1)}$ | [3] | $F_{ij}^{(2)}$ | [3] | $F_{ij}^{(1)}$ | $F_{ij}^{(2)}$ |
|--------------|--------------|--------------|-------|-------|----------------|-----|----------------|-----|----------------|-----------------|
| 15 | 1 | | 12 | 2 | | | | | $7-(2-1)=6$ | $-15-(2+1)=-18$ |
| 16 | | 1 | 12 | 3 | | | | | $6+12=18$ | $-18+12=-6$ |
| 17 | 1 | | 13 | 3 | | | | | $18-(3-1)=16$ | $-6-(3+1)=-10$ |
| 18 | 1 | | 14 | 3 | | | | | $16-(3-1)=14$ | $-10-(3+1)=-14$ |
| 19 | 1 | | 15 | 3 | | | | | $14-(3-1)=12$ | $-14-(3+1)=-18$ |
| 20 | 1 | | 16 | 3 | | | | | $12-(3-1)=10$ | $-18-(3+1)=-22$ |
| 21 | 1 | | 17 | 3 | | | | | $10-(3-1)=8$ | $-22-(3+1)=-26$ |
| 22 | 1 | | 18 | 3 | | | | | $8-(3-1)=6$ | $-26-(3+1)=-30$ |
| 23 | 1 | | 19 | 3 | | | | | $6-(3-1)=4$ | $-30-(3+1)=-34$ |
| 24 | 1 | | 20 | 3 | | | | | $4-(3-1)=2$ | $-34-(3+1)=-38$ |
| 25 | 1 | | 21 | 3 | | | | | $2-(3-1)=0$ | $-38-(3+1)=-42$ |
| 26 | 1 | | 22 | 3 | | | | | $0-(3-1)=-2$ | $-42-(3+1)=-46$ |

| Номер п.п. | F_{ij} | ΔX_i | ΔY_j | X_i | Y_j | F_{ij}^+ |
|---------------|----------|--------------|--------------|-----------|-----------|---------------|
| 0 | 0 | | | 7 | 3 | |
| 1 | 0 | 1 | | $7-1 = 6$ | 3 | $0-3 = -3$ |
| 2 | - | | 1 | 6 | $3-1 = 2$ | $-3+6 = 3$ |
| 3 | + | 1 | | $6-1 = 5$ | 2 | $3-2 = 1$ |
| 4 | + | 1 | | $5-1 = 4$ | 2 | $1-2 = -1$ |
| 5 | - | | 1 | 4 | $2-1 = 1$ | $-1+4 = 3$ |
| 6 | + | 1 | | $4-1 = 3$ | 1 | $3-1 = 2$ |
| 7 | + | 1 | | $3-1 = 2$ | 1 | $2-1 = 1$ |
| 8 | + | 1 | | $2-1 = 1$ | 1 | $1-1 = 0$ |
| 9 | 0 | 1 | | $1-1 = 0$ | 1 | $0-1 = -1$ |
| 10 | - | | 1 | 0 | $1-1 = 0$ | $-1 = 0 = -1$ |

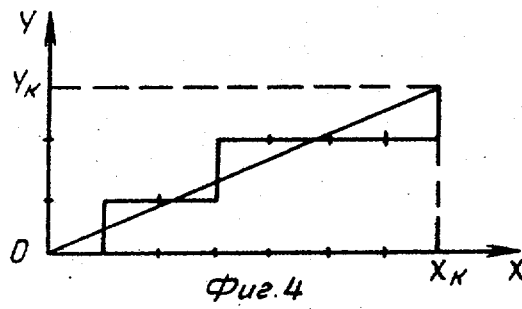




Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4