

А. П. ЖАЛЬНЕРУКАС

## ПРОГРАММА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛОСКОСТНОЙ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

В настоящей статье дается краткая характеристика разработанной автором программы аналитической плоскостной фототриангуляции для электронной вычислительной машины (ЭВМ) «Минск-14».

Программа составлена в соответствии с теорией, изложенной в статье «Аналитическая плоскостная фототриангуляция с применением электронной вычислительной машины», опубликованной в настоящем сборнике. Исходными данными для построения фототриангуляции являются: а) координаты фототриангуляционных точек, измеренные стереокомпаратором, или центральные углы, измеренные радиалтриангулятором; б) расстояния между координатными метками по осям  $x$  и  $y$ ; в) среднее значение базиса фотографирования; г) геодезические координаты опорных точек.

ЭВМ «Минск-14» предназначена для работы в режиме фиксированной запятой. Однако характер задачи не позволяет вести вычисления в режиме фиксированной запятой, и программа в основном составлена в режиме плавающей запятой. При использовании ЭВМ «Минск-14» число в этом случае записывается в две ячейки: в одну ячейку — порядок, во вторую — мантисса числа. Арифметические действия выполняются при помощи специальных подпрограмм. В связи с этим количество команд основной программы увеличивается в шесть раз, а скорость вычисления снижается примерно в три раза\*. С этой целью разработана и применена специальная интерпретирующая подпрограмма, при использовании которой порядок и мантисса числа записываются в одну ячейку. Однако ограниченная точность вычисления позволила интерпретирующую подпрограмму применить только во вспомогательных вычислениях.

### Характеристика программы

Программа составлена для вычисления фототриангуляционного ряда протяженностью до 10 базисов фотографирования и состоит из трех отдельных частей. Это вызвано необходимостью составления программы в режиме плавающей запятой при ограниченной емкости оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) ЭВМ «Минск-14».

Первая часть программы предназначена для вычислений в случае, когда исходными данными являются измеренные стереокомпаратором координаты фототриангуляционных точек. Программа составлена с

\* Скорость вычисления ЭВМ «Минск-14» — 2000—3000 операций в секунду.

Схема ячеек оперативной памяти машины

№ части программы	№ ячеек ОЗУ	Чем заняты ячейки
I	0001	Стандартные константы и подпрограммы
	0140	Константы, отличные от стандартных
	0200	Массив исходных данных
	0644	Подпрограммы и рабочие ячейки
	1260	Программа
II	2113	
	0001	Стандартные константы и подпрограммы
	0200	Первый массив исходных данных
	0435	Подпрограммы, затем рабочие ячейки
	0604	Второй массив исходных данных
	0644	Программа предварительных вычислений, затем рабочие ячейки
	1154	Константы, отличные от стандартных
	1243	Программа
	3540	Подпрограммы
	3661	Рабочая программа при использовании внешней памяти машины и рабочие ячейки
3777		
III	0001	Стандартные константы
	0017	Подпрограммы и рабочие ячейки
	1206	Константы, отличные от стандартных
	1240	Программа
	1715	Рабочие ячейки

использованием интерпретирующей подпрограммы и содержит  $634_8$  команды. Если исходными данными являются измеренные радиалтриангулятором центральные углы, потребность в первой части программы отпадает.

Вторая часть программы является основной и предназначена для вычисления и редуцирования фототриангуляционного ряда. Часть программы, включающая в себя подготовительные вычисления по измеренным радиалтриангулятором углам, составлена в режиме фиксированной запятой (четвертая—шестая блок-программы). Остальная часть программы составлена в режиме плавающей запятой.

Третья часть программы предназначена для уравнивания и взаимной увязки фототриангуляционных рядов. Вычисления ведутся в режиме плавающей запятой с частичным использованием интерпретирующей подпрограммы (девятая—десятая блок-программы). Программа содержит  $456_8$  команд.

В программе используются следующие подпрограммы: перевода из десятичной в двоичную систему счисления, интерпретирующая, перевода градусной меры в радианную, нахождения  $\sin x$ ,  $\cos x$ ,  $\operatorname{tg} x$ ,  $\operatorname{arc} \operatorname{tg} x$ , решения системы линейных уравнений, печати, а также арифметических действий. Используются также  $134_8$  констант, отличных от стандартных. Подпрограмма решения системы линейных уравнений разработана с использованием интерпретирующей подпрограммы.

Выше представлены схема размещения программы по ячейкам ОЗУ машины (таблица 1), а также последовательность команд программы по блок-программам (таблица 2).

## Последовательность команд программы по блок-программам

№ блок-программы	Место в ОЗУ машины, занимаемое блок-программой	Результат работы блок-программы
1	2	3
<i>Первая часть программы</i>		
1	1260—1312	Выдача на печать введенных с перфоленды исходных данных; перевод исходных данных из десятичной в двоичную систему счисления. Настройка и передача управления второй или третьей блок-программам.
2	1313—1401	Вычисление коэффициентов деформации аэронегативов и исправление координат Передача управления третьей блок-программе.
3	1402—2113	Вычисление значений четырех центральных углов ромба; определение невязки за условия горизонта, сравнение ее с заданной величиной, перевод в градусную меру и выдача на печать; исправление углов за условия горизонта; вычисление дополнительных углов ромба и значений котангенсов всех углов. Ввод второй части программы и передача управления седьмой блок-программе.
<i>Вторая часть программы</i>		
4	1243—1275	Выдача на печать введенных с перфоленды исходных данных; перевод исходных данных из десятичной в двоичную систему; перевод углов из градусной меры в радианную. Настройка и передача управления пятой или шестой блок-программам.
5	0644—1132	Перевод значений расстояний между координатными метками аэронегативов из десятичной в двоичную систему счисления; вычисление коэффициентов деформации и исправление углов. Передача управления шестой блок-программе.
6	1276—1327	Вычисление дополнительных углов ромба; вычисление значений котангенсов всех углов; переход на режим плавающей запятой. Передача управления седьмой блок-программе.
7	1330—2475	Решение и уравнивание ромбов; сравнение величин незамыканий ромбов с заданной величиной и выдача их на печать; вычисление фотограмметрических координат трансформационных точек. Передача управления восьмой блок-программе.
8	2562—3537	Вычисление коэффициентов А и В аналитического редуцирования и выдача их на печать; вычисление значений координат всех точек сети в геодезической системе; определение остаточных отклонений координат опорных точек от их геодезических значений и выдача их на печать; запись значений координат точек сети в накопитель магнитной ленты (НМЛ) и выдача их на печать; останов или ввод третьей части программы и передача управления девятой блок-программе.

1	2	3
<i>Третья часть программы</i>		
9	1240—1327	Выбор режима работы третьей частью программы (с использованием фиктивных узловых точек или без них). Ввод с перфоленты значений координат узловых точек, выдача их на печать и перевод в двоичную систему счисления; вычисление отклонений частных значений координат узловых точек; подготовка к формированию систем уравнений. Передача управления десятой блок-программе.
10	1330—1523	Формирование и решение систем линейных уравнений. Передача управления одиннадцатой блок-программе.
11	1524—1715	Вычисление поправок к координатам точек фототриангуляционного ряда и окончательных значений координат. Печать результатов.

### Порядок подготовки информации

Подготовку информации начинают с записи результатов измерения в специальный бланк исходной числовой информации для ЭВМ.

Исходные данные, за исключением измеренных радиалтриангулятором углов, записывают в нормализованном виде, то есть каждое число представляется в виде

$$N = m \cdot 10^p,$$

где

$$\frac{1}{10} \leq m < 1; \quad (1)$$

$m$  — мантисса числа — его цифровая часть;

$p$  — порядок числа.

При записи измеренных стереокомпаратором значений координат точек мантиссу и порядок числа записывают в одну ячейку. При записи значений координат опорных и узловых точек, а также базиса фотографирования мантиссу и порядок записывают в две смежные ячейки.

Значение измеренных радиалтриангулятором углов записывают в одну ячейку по принципу фиксированной запятой, причем первые три разряда ячейки отводятся для записи градусов, остальные четыре — для записи минут и секунд.

Вместе с исходными данными в ОЗУ машины вводится дополнительная информация: а) в ячейки 3730—3737 по первому адресу записывают адреса фотограмметрических абсцисс опорных точек; б) в ячейки 3702—3707 перед началом вычислений засылают условные числа для автоматического выбора режима работы машины (учет деформации аэронегативов, формирования счетчиков и т. д.).

Ввод всей исходной информации в ОЗУ машины производится с перфоленты одновременно.

### Порядок проведения вычислений

Вычисления удобно выполняются при использовании накопителя магнитной ленты (НМЛ). В этом случае все три части программы записывают и хранят в НМЛ. Для производства вычислений с перфолен-

ты вводят специальную рабочую программу, состоящую из 47<sub>8</sub> команд, при помощи которой последовательно вызываются в ОЗУ машины необходимые части программы, вводятся исходные данные и передается управление на вычисление. Все передачи управления происходят автоматически. Таким образом, практически исключается то неудобство, что программа состоит из нескольких частей.

В НМЛ также засылают результаты вычислений второй части программы, с целью сохранения их для производства уравнивания и взаимной увязки фототриангуляционных рядов. Затем при помощи рабочей программы эти результаты последовательно вызываются в ОЗУ машины, программно вводятся дополнительные исходные данные (координаты узловых точек) и передается управление на производство вычисления третьей части программы. Таким образом, процесс вычислений происходит быстро и удобно.

Программой также предусмотрена возможность проведения уравнивания без использования фиктивных узловых точек. В этом случае третья часть программы работает вслед за второй, и промежуточные результаты в НМЛ не засылаются.

Процесс вычислений также может происходить без использования НМЛ. Ввод каждой последующей части программы с перфоленты, контроль правильности ввода и передача управления на вычисление в этом случае происходит программно. Перед работой третьей части программы с фиктивными узловыми точками вычисления предыдущих частей программы повторяют. Это иногда полезно для контроля правильности вычислений даже при использовании НМЛ.

На полный цикл вычислений требуется времени: а) в случае использования всех трех частей программы — 4 мин.; б) в случае использования второй и третьей части программы — 3,5 мин.

Программой предусмотрено девять выдачей на печать.

Первая выдача — введенные с перфоленты в ОЗУ машины исходные данные.

Вторая выдача — величины невязок за условия горизонта в минутах с указанием номера ромба; если невязка превышает заданную величину, вслед за ее величиной печатается сигнальный знак (строка семерок).

Третья выдача — величины незамыканий ромбов  $\delta_x$  и  $\delta_y$  в метрах с указанием номера ромба; если одна из этих величин превышает заданную величину, печатается сигнальный знак, а также значения координат, полученные из верхней и нижней части ромба.

Четвертая выдача — коэффициенты редуцирования  $A$  и  $B$ , имеющие приблизительно постоянные значения.

Пятая выдача — величины остаточных расхождений в фотограмметрических и геодезических значениях координат опорных точек после редуцирования, в метрах, с указанием номера точки.

Шестая выдача — геодезические координаты в метрах всех точек сети в следующем порядке: значения координат  $(x, y)$  центральных точек фототриангуляционного ряда, затем (через интервалы) координаты верхнего ряда связующих точек, нижнего ряда связующих точек, верхних трансформационных точек, нижних трансформационных точек.

Седьмая выдача — введенные в ОЗУ машины дополнительные исходные данные (координаты узловых точек).

Восьмая выдача — коэффициенты  $C_1, C_2, C_3$  и  $C_4$ .

Девятая выдача — окончательные значения координат точек фототриангуляционного ряда в метрах, в порядке, аналогичном шестой выдаче.

Таким образом, кроме координат точек сети ЭВМ дополнительно выдает значительный объем информации. Эта дополнительная информация позволяет выявлять ошибки в подготовке и перфорировании исходных данных, в измерениях по аэроснимкам и устанавливать доброкачественность координат опорных точек полевой подготовки, а также вести наблюдение за правильностью работы ЭВМ.

В заключение необходимо отметить, что для производства вычислений подобного рода желательно использовать электронные вычислительные машины, работающие в режиме плавающей запятой. В этом случае в несколько раз сократится количество команд и время вычислений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Слущкий А. И. Программа аналитического способа пространственной фото-триангуляции для электронных цифровых машин. Труды НИИГАиК, т. XVII, вып. 2. Новосибирск, 1964.

Работа поступила  
1 сентября 1966 г.