

Кучеров А.С.

## АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА МОНИТОРИНГА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

При мониторинге земной поверхности актуальна задача съемки максимально возможного числа объектов наблюдения (ОН) на одном витке трассы космического аппарата наблюдения (КАН). Пусть в полосе обзора КАН находится  $n$  ОН, объединенных в  $J$  групп, отличающихся степенью приоритета:  $n = \sum_{j=1}^J n_j$ .

Будем рассматривать задачу в плоской постановке и введем декартову систему координат, начало которой  $O$  расположим в точке входа КАН в район съемки, ось  $OY$  ориентируем в направлении движения подспутниковой точки. Тогда местоположение объектов съемки будет определяться декартовыми координатами  $x_i, y_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), вычисление которых по известным географическим координатам не представляет трудностей.

Под оптимальным будем понимать маршрут съемки, при котором за время  $T^*$  пребывания КАН в районе съемки обеспечивается наведение оси телескопа на максимально возможное число ОН, причем включение в маршрут объектов с более низким приоритетом допускается только при условии, что в него уже включены все ОН, обладающие более высоким приоритетом

Будем строить маршрут последовательно, добавляя на каждом новом шаге к уже имеющемуся маршруту такой ОН, имеющий заданный приоритет, чтобы увеличение времени прохождения маршрута было минимальным и не превышало допустимого значения  $T^*$ .

Пусть на предыдущем шаге получен маршрут, изображенный на рис. 1, где ОН, включенные в маршрут, изображены темными кружками, а не включенные – светлыми. Объекты пронумерованы в порядке возрастания их координаты  $y$ . На текущем шаге может быть сформирован один из следующих вариантов маршрута:  $O \rightarrow A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_4 \rightarrow A_7$ ,  $O \rightarrow A_1 \rightarrow A_3 \rightarrow A_4 \rightarrow A_7$ ,  $O \rightarrow A_1 \rightarrow A_4 \rightarrow A_5 \rightarrow A_7$  или  $O \rightarrow A_1 \rightarrow A_4 \rightarrow A_6 \rightarrow A_7$ . При этом следует выбрать тот из вариантов, время прохождения которого  $T$  минимально. Если  $T < T^*$ , рассматривается возможность до-

бавления к полученному маршруту следующего ОН – и так до тех пор, пока в маршрут не войдут все объекты или не выполнится условие  $T > T^*$ .

Рассмотрим вопрос об оценке времени, необходимого для съемки объекта наблюдения (рис. 2).

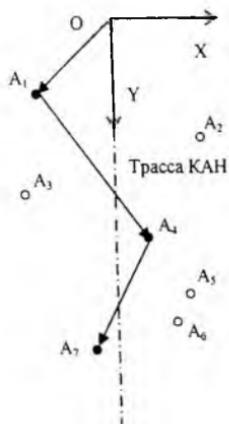


Рис. 1. Схема построения маршрута съемки

Пусть  $O$  – подспутниковая точка, направление движения которой по земной поверхности показано стрелкой;  $A_{i-1}$  и  $A_i$  – объекты съемки, ось телескопа в текущий момент времени направлена на объект  $A_{i-1}$ .

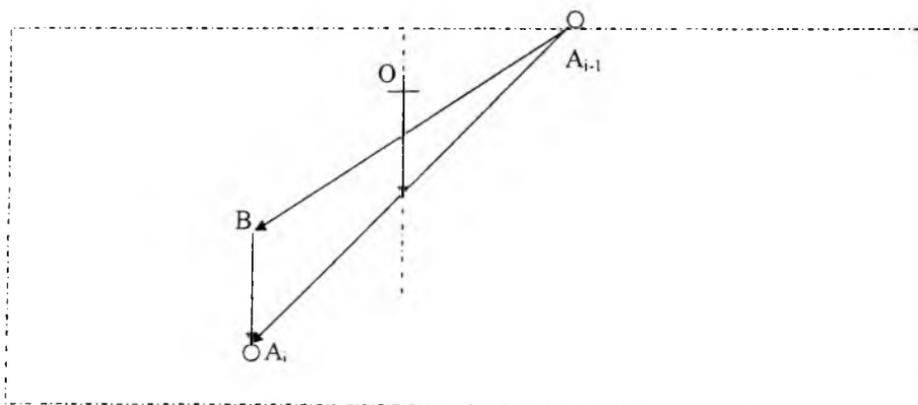


Рис. 2. Схема перенацеливания телескопа на новый ОН

Чтобы произвести съемку объекта  $A_i$ , телескоп в текущий момент времени нужно разворачивать в направлении точки  $B$ . Из треугольника  $A_{i-1}A_iB$  находим:

$$(V_c t)^2 = (V_d t)^2 + r_{i-1,i}^2 - 2(V_d t) \cdot r_{i-1,i} \cdot \cos \beta,$$

где  $V_c$  - скорость перемещения оси телескопа по поверхности Земли;  $r_{i-1,i}$  - расстояние между объектами  $A_{i-1}$  и  $A_i$ ;  $\beta$  - угол, образуемый векторами  $A_{i-1}A_i$  и  $VA_i$ ;  $V_d$  - скорость перемещения подспутниковой точки по поверхности Земли;

$$r_{i-1,i}^2 = (x_{i-1} - x_i)^2 + (y_{i-1} - y_i)^2,$$

$$\beta = \arctg \left| \frac{x_{i-1} - x_i}{y_{i-1} - y_i} \right|$$

Отсюда можно получить искомое время, необходимое для перенацеливания телескопа с текущего объекта съемки на последующий:

$$t_i = \frac{r_{i-1,i} \cos \beta \cdot V_d - \sqrt{r_{i-1,i}^2 \cos^2 \beta \cdot V_d^2 - (V_d^2 - V_c^2) r_{i-1,i}^2}}{V_d^2 - V_c^2}$$

Введем следующие обозначения:  $\Omega = (M_i, i=1,2,\dots,k)$  - множество ОН, в текущий момент включенных в маршрут съемки;  $\Xi$  - множество ОН, не включенных в маршрут. Перед началом построения маршрута множество  $\Xi$  включает все  $n$  объектов наблюдения,  $\Omega = \emptyset, k=0$ .

Алгоритм построения оптимального маршрута съемки имеет следующий вид.

1. Положим  $M_k = O, M_{k+1} = P$ , где  $O$  - начало системы координат,  $P$  - точка выхода подспутниковой точки из зоны съемки,  $k=1$ . Рассчитаем время  $T$ , необходимое для перенацеливания оси телескопа из точки  $O$  в точку  $P$ .

2. Для  $i=1,2,\dots,k$  ищется ОН  $A_j$ , принадлежащий группе объектов с заданным приоритетом, такой, для которого суммарное время  $t_n$  перенацеливания оси телескопа с ОН  $M_{i-1}$  на ОН  $A_j$ , а затем на ОН  $M_i$  минимально. К величине  $T$  прибавляется значение  $t_n$ . Проверяется выполнение условия  $T > T^*$  и, если оно выполняется, осуществляется переход к п. 4.

3. Индексы ОН  $M_1, \dots, M_k$  и значение  $k$  увеличиваются на единицу. ОН  $A_j$  включается в множество  $\Omega$  в качестве элемента  $M_i$  и исключается из множества  $\Xi$ . Если  $\Xi \neq \emptyset$ , выполняется возврат к п. 2.

Работа алгоритма завершается.