

Метод дистанционного зондирования Земли с использованием квантово-оптических систем

Ю.А. Нефедьев¹, А.О. Андреев^{1,2}, Р.Р. Мубаракшина¹

¹Казанский федеральный университет, Кремлевская 18, Казань, Россия, 420008

²Казанский государственный энергетический университет, Красносельская, 51, Казань, Россия, 420066

Аннотация

Целью данной работы является разработка метода и исследование возможности и эффективности использования наземных квантово-оптических систем в виде световых лазерных маяков (СЛМ) и бортовых оптических средств для дистанционного зондирования Земли, навигационного обеспечения и привязки электронных карт земной поверхности к земной системе координат. При этом был выполнен научно-технический анализ применения СЛМ, и рассмотрена возможность по созданию высокоточной опорной координатной системы координат на основе использования взаимосвязанной системы ОИСЗ (орбитальный искусственный спутник Земли) – СЛМ. Были проанализированы и технически оценены методы зондирования Земли с использованием СЛМ, метод привязки снимков поверхности Земли к СЛМ, метод привязки снимков поверхности Земли к электронным картам с использованием СЛМ, разработан авторский метод привязки снимков поверхности Земли к звездному полю с использованием СЛМ как реперов перехода между двумя космическими снимками Земли и звездного неба.

Ключевые слова

дистанционное зондирование Земли, навигационные системы, световые оптические маяки, орбитальный искусственный спутник Земли

1. Введение

Световые лазерные маяки являются точно привязанными к геоцентрической системе координат реперами, имеющими излучатель площадью всего 2 мм. Такие естественные опорные точки на Земле найти практически невозможно. Преимуществом является также то, что можно осуществлять привязку ОИСЗ к СЛМ в ночное время. Технология координатной привязки снимков земной поверхности с использованием СЛМ основана на анализе геометрического соответствия между изображением и картографической сеткой на основе определения координат одноименных точек и построения соответствующей регрессионной модели. Следует учитывать, что космические снимки в исходном виде содержат значительные геометрические и яркостные искажения. Поэтому в процессе обработки выполняются геометрическая коррекция и преобразование изображений в принятые картографические проекции, в результате которой изображения приводятся к стандартному виду.

2. Метод привязки снимков к СЛМ

Прямое координатное соответствие в общем виде определяется как [1]

$$X = F_X(l, b), Y = F_Y(l, b), Z = F_Z(l, b), \quad (1)$$

где F_X, F_Y, F_Z – функции, описывающие процесс сканирования точек лунной поверхности для ОИСЗ. F_X, F_Y, F_Z определяются законом движения ОИСЗ по орбите, системой сканирования точек на поверхности Луны конкретным фотометром, углами ориентации ОИСЗ и устройством приемников наблюдаемого излучения.

После нахождения значений функций F_X, F_Y, F_Z яркостное соответствие между одноименными точками лунной поверхности и изображения можно определить оператором W_B

$$B(l, b) = W_B[\Sigma(X, Y, Z, \lambda)], \quad (2)$$

Задача картографической привязки состоит в том, чтобы путем геометрических трансформаций изображений точек на снимках $B(l, b)$ получить набор $D(x, y)$ таких ИТЯ, которые максимально фотограмметрически совпадали бы с опорными точками $T(x, y)$, которыми в рассматриваемом случае являются СЛМ. В данном случае СЛМ рассматриваются как наиболее точная фотограмметрическая модель проекции СЛМ на плоскость.

Процесс привязки заключается в следующем. Сначала с использованием функций $x = F(l, b), y = G(l, b)$ формируется фотограмметрически скорректированное изображение $T(x, y)$. С помощью процедуры идентификации совпадающих координат СЛМ и элементов на изображении формируются опорные точки, по которым вычисляются корректирующие полиномы P_x, P_y . С использованием этих полиномов система $T(x, y)$ преобразуется в более точную систему $T^*(x, y)$ [2]:

$$x = P_x[F(l, b), G(l, b)], y = P_y[F(l, b), G(l, b)], \quad (3)$$

Причем считается, что значения измерений угловых и орбитальных параметров по сравнению с их номинальными значениями имеют малые погрешности, и таким образом для вектора этих погрешностей $\sigma = \sigma_i, i = 1, 2, 3, \dots$ можно записать [3]:

$$x = F(l, b, \sigma) = F(l, b) + \sum \frac{\partial F}{\partial p_i} \sigma_i, \quad y = G(l, b, \sigma) = G(l, b) + \sum \frac{\partial G}{\partial p_i} \sigma_i. \quad (4)$$

Определение навигационных параметров по определенному числу СЛМ в значительной степени снижает рассогласования снимков и СЛМ. Однако остаточные ошибки пространственной привязки изображений могут составлять несколько десятков пикселей.

3. Заключение

В результате выполнения настоящей работы разработан метод привязки снимков поверхности Земли к звездному полю с использованием СЛМ как реперов для связи между двумя системами. Данный метод координатной трансформации небесных и земных опорных объектов в единую систему с использованием СЛМ позволяет достичь точности необходимой для проведения картографических работ. Однако, построение системы СЛМ–ОИСЗ требует выполнения достаточно большого количества сопутствующих измерений. Эти измерения проводятся с перемещающегося с космической скоростью аппарата, обращаемого по нестабильной орбите вокруг движущейся по своей орбите Земли. Измеряемые углы из-за этого будут функцией десятков изменяющихся параметров, без учета которых вычислить конечный результат (координаты объекта на Земле) невозможно. Также следует отметить, что координатная привязка (КП) к опорной системе координат с применением СМЛ и электронных карт (ЭК) исследуемой поверхности обеспечивает самую высокую точность. При этом земные опорные точки отображаются наиболее четко и с большой пространственной точностью ориентации. Достаточно трех опорных точек, разнесенных по двум координатным осям, чтобы оценить параметры поворота, смещения и масштаба снимка при осуществлении КП. Но, тем не менее, наиболее оптимальным является решение навигационных и картографических задач с использованием комплексных методов, в которые СЛМ являются одними из составляющих элементов системы позиционирования.

4. Литература

- [1] Злобин, В.К. Обработка аэрокосмических изображений / В.К. Злобин, В.В. Еремеев. – М.: Физматлит, 2006. – 288 с.

- [2] Егошкин, Н.А. Геодезическая привязка изображений от геостационарных спутников по контуру диска Земли и электронным картам / Н.А. Егошкин, В.В. Еремеев, Е.П. Козлов, И.В. Москатиный, А.Э Москвитин. – М.: Азбука-2000, 2009. – С. 62-66.
- [3] Егошкин, Н.А. Нормализация космических изображений Земли на основе их сопоставления с электронными картами / Н.А. Егошкин, В.В. Еремеев, Е.П. Козлов // Цифровая обработка сигналов. – 2009. – № 3. – С. 21-26.