УДК 629.78 : 004.77

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ВИДИМОСТЕЙ СЪЁМКИ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В.П. Евсеев[1]

[1]*Самарский университет, г. Самара*
e-mail: vivseev02@inbox.ru

Аннотация

В работе проводится анализ эффективности методов расчёта видимостей съёмки для спутников дистанционного зондирования Земли. Рассмотрены геометрический метод и метод геохеширования, проведено их сравнение по времени выполнения в зависимости от количества областей съёмки. Показано, что геохеширование обеспечивает более высокую производительность при большом объёме данных.

Ключевые слова: окна видимости, съёмка местности, геохеширование, геометрические пересечения, космический аппарат.

Введение

Основными элементами расписания работы спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) являются окна видимости спутника со снимаемой местностью и приёмной станцией – интервалы времени, в течение которых возможны операции съёмки или приёма/передачи данных. В то время как основным методом расчёта окон связи аппарата с приёмной станцией является определение круга радиовидимости, для расчёта видимостей съёмки существует несколько конкурирующих методов, отличающихся сложностью реализации и принципами работы. В данной работе приведён анализ эффективности двух распространённых методов – пересечения геометрий и геохеширования. Рассматриваются их производительность и зависимость от количества областей съёмки.

1. Геометрический расчёт

Данный метод предполагает представление снимаемой местности и траектории движения спутника в виде геометрических фигур. Поскольку траектория спутника является непрерывной линией, для её дискретизации вводится шаг – временной интервал, используемый при расчёте последовательных положений космического аппарата (КА). Также вводится ширина полосы съёмки, задаваемая в градусах и используемая для формирования полигона съёмки КА [1].

Такое представление задачи поиска позволяет определять моменты видимости съёмки путём проверки пересечения геометрических фигур (при обнаружении пересечения фигур фиксируется начало видимости, при прекращении пересечения – завершение видимости), что делает метод простым в реализации, однако для него отсутствуют эффективные методы оптимизации при большом количестве областей съёмки.

2. Геохеширование

Геохеш – это строковое представление географического положения точки или объекта, закодированное в виде последовательности символов [2]. Поверхность Земли разбивается на сетку ячеек, каждая из которых имеет уникальный идентификатор. Такое кодирование обеспечивает эффективное хранение и быстрый поиск соответствий (например, пересечений трассы спутника и объекта съёмки). Одним из ключевых параметров геохеша является точность – площадь поверхности Земли, покрываемая одной ячейкой. Точность варьируется от 1 (5000 км × 5000 км) до 12 (37 мм × 19 мм).

Данный метод обеспечивает поиск видимостей путём наложения коллекций геохешей КА и областей съёмки. Благодаря эффективным операциям над хешами поиск выполняется с высокой скоростью. При обнаружении совпадений фиксируется начало интервала видимости. Для повышения точности этот момент может быть дополнительно уточнён проверкой геометрического пересечения, что используется в реализации, представленной в данной работе.

На рисунках 1.а, 1.б представлены примеры результатов расчёта видимостей съёмки описанными методами в формате GeoJson [3].

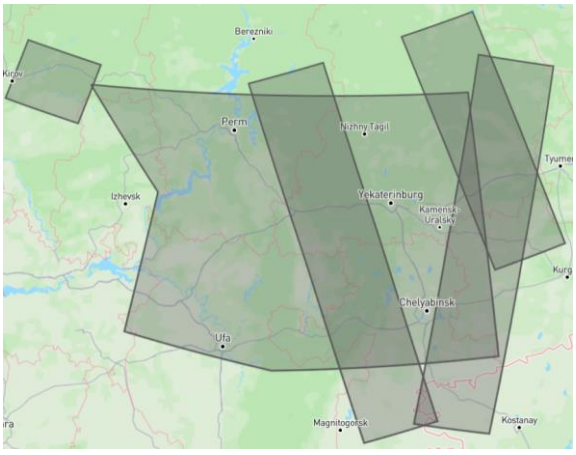


Рисунок 1.а – Видимости съёмки, сформированные методом пересечения геометрий

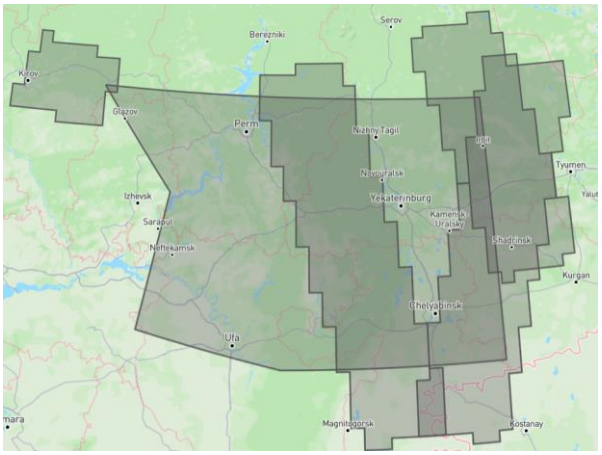


Рисунок 1.б – Видимости съёмки, сформированные методом геохеширования

3. Анализ эффективности методов

С целью анализа описанных методов были проведены тесты, нацеленные на фиксирование показателей эффективности. Для корректного сравнения конфигурация и порядок, в котором подаются данные, идентичны:

- количество спутников ДЗЗ – 1;
- интервал – одни сутки, трое суток;
- количество местностей для съёмки – 1000-40000;
- точность геохеширования – 3.

Местности для съёмки были созданы с использованием алгоритмов случайной генерации и равномерно распределены по поверхности Земли. Минимальная площадь местности составляет 50000 км^2, максимальная – 70000 км^2.

Для интервала продолжительностью одни сутки установлено, что для метода геометрического пересечения время расчётов увеличивается примерно в 1,126 раза при добавлении 1000 областей съёмки. Для метода геохеширования время расчётов, учитывающее как поиск видимостей, так и предварительное вычисление геохешей областей съёмки, увеличивается примерно в 1,054 раза при добавлении 1000 областей.

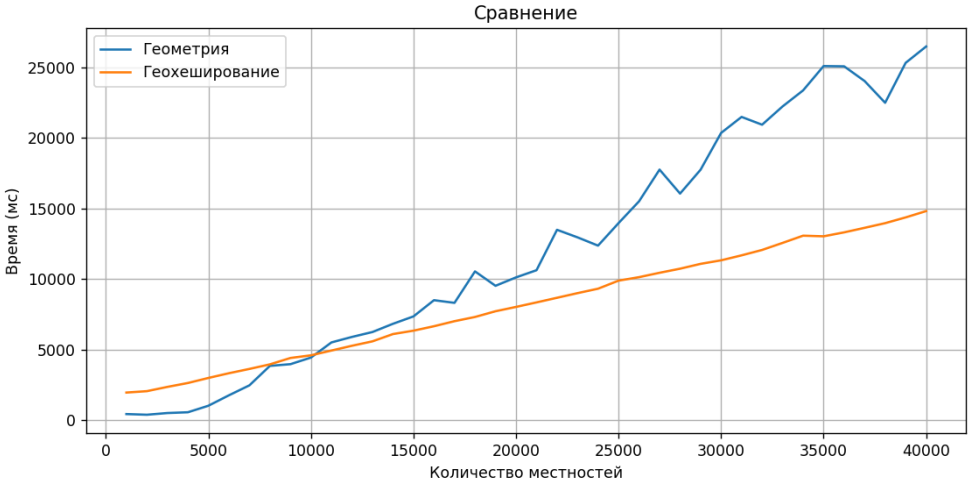


Рисунок 3 – Сравнение методов расчёта видимостей в интервале одних суток

Сравнение методов представлено на рисунке 3. Полученные результаты свидетельствуют о том, что метод геохеширования становится более эффективным чем геометрический метод при количестве областей съёмки порядка 10000 и демонстрирует более устойчивую зависимость от роста их числа.

Для интервала продолжительностью трое суток получены следующие результаты: для метода геометрического пересечения время расчётов увеличивается примерно в 1,147 раза при добавлении 1000 областей съёмки. Для метода геохеширования время расчётов, учитывающее как поиск видимостей, так и предварительное вычисление геохешей областей съёмки, увеличивается примерно в 1,039 раза при добавлении 1000 областей.

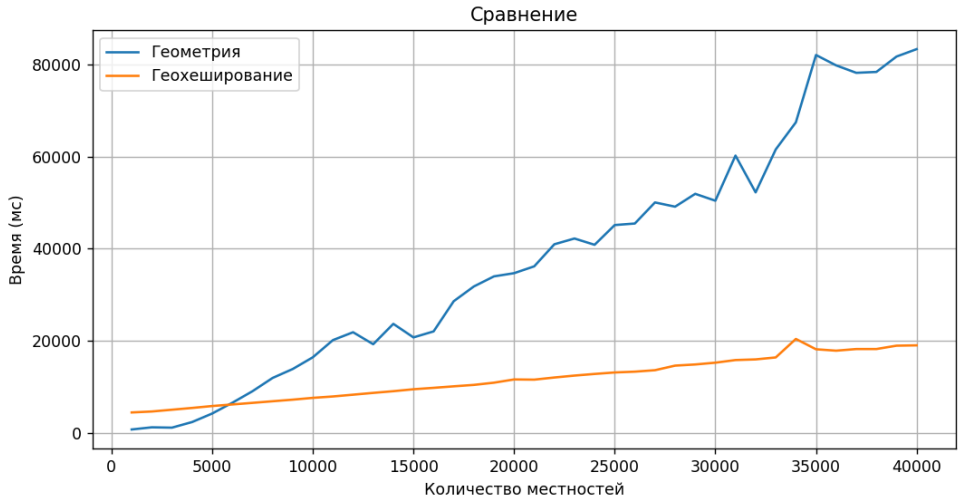


Рисунок 4 – Сравнение методов расчёта видимостей в интервале трёх суток

Сравнение методов представлено на рисунке 4. Полученные результаты свидетельствуют о том, что метод геохеширования демонстрирует более высокую устойчивость к увеличению интервала расчётов видимостей.

Заключение

В ходе работы проведён сравнительный анализ методов расчёта видимостей съёмки. Установлено, что производительность геометрического метода существенно зависит от количества областей съёмки. Метод геохеширования, несмотря на дополнительные предварительные вычисления, демонстрирует лучшую масштабируемость и становится более эффективным при увеличении объёма входных данных. Полученные результаты могут быть использованы при выборе подхода к расчёту видимостей в задачах планирования съёмки спутников ДЗЗ.

Список использованных источников

1. Hodgson, M. E. Modeling the potential swath coverage of nadir and off-nadir pointable remote sensing satellite-sensor systems / M. E. Hodgson, B. Kar // Cartography and Geographic Information Science. – 2008. – V. 35, № 3. – P. 147–156.

2. Vukovic, T. Hilbert-geohash-hashing geographical point data using the hilbert space-filling curve / T. Vukovic // Master's Thesis, NTNU, Trondheim, Norway. – 2016.

3. GeoJSON – URL: https://www.ietf.org/proceedings/92/slides/slides-92-dispatch-3.pdf (дата обращения: 29.03.2026).

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF IMAGING VISIBILITY CALCULATION METHODS FOR EARTH REMOTE SENSING TASKS

V.P. Evseev[1]

[1]Samara University, Samara
e-mail: vivseev02@inbox.ru

Abstract

This paper analyzes the efficiency of imaging visibility calculation methods for Earth remote sensing satellites. The geometric approach and the geohashing method are considered and compared in terms of execution time depending on the number of target areas. The results show that geohashing provides better performance for large-scale datasets.

Keywords: visibility windows, terrain survey, geohashing, geometric intersections, spacecraft.