

Разработка модели, алгоритма и программного обеспечения для проектирования и анализа средств космических исследований на поверхности Луны

Егорычев Дмитрий Алексеевич

Юдин Семён Владимирович

Мухина Анастасия Геннадьевна

Задачи

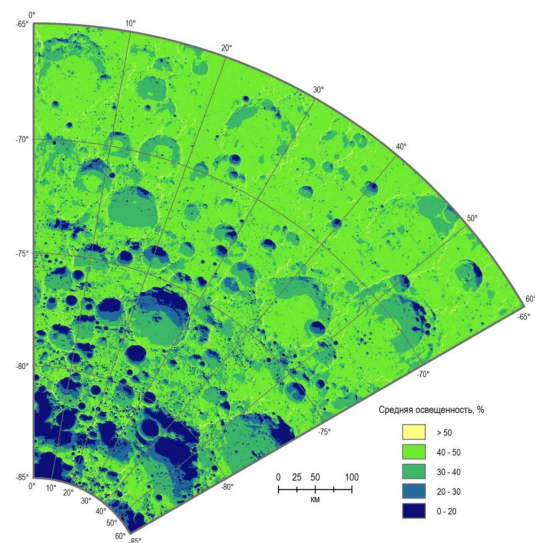
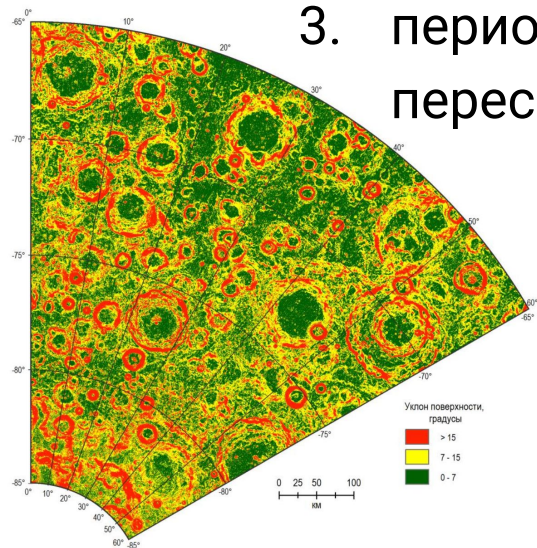
1. Формирование критериев размещения средств космических исследований
2. Систематизация параметров допустимого строительства инфраструктуры
3. Разработка архитектуры программного обеспечения
4. Реализация проектируемого функционала



Формирование критериев размещения средств космических исследований

Определение места посадки

1. минимальная широта – 70° ю. ш.
2. уклон поверхности $< 7\%$
3. период освещённости максимально пересекающийся с периодом радиовидимости



Вышка связи (базовая станция)

Высота вышки будет определяться при помощи модели Хата[13]:

$$h_b = 10^{\frac{69.55 + 26.16 \log f - a(h_m) + 44.9 \log R - L_H}{13.82 + 6.55 \log R}}$$

Коэффициент, зависящий от высоты антенны моб. устройства:

$$a(h_m) = 0.8 + (1.1 \log f - 0.7)h_m - 1.56 \log f$$

L_H – потери [дБ], f – операционная частота [МГц], h_b – высота антенны БС [м], h_m – высота антенны мобильной станции [м], R – радиус действия [км]



Источники энергии(солнечные батареи)

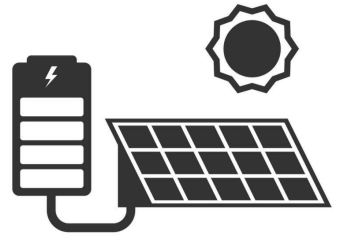
- Панели с минимальным уклоном (<15 %) (в св. с нахождением на полюсе) [16]
- Высокий процент средней освещенности
- Предотвращение затемнения
- Уменьшение количества пыли
- Наличие аккумуляторов (для получения энергии в Земные затмения)
- Большая выделяемая площадь S

$$S = \frac{W_{const}}{I_c E_y}$$

W_{const} – необходимая мощность,

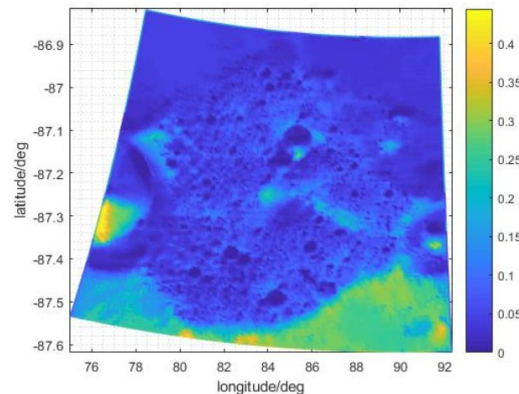
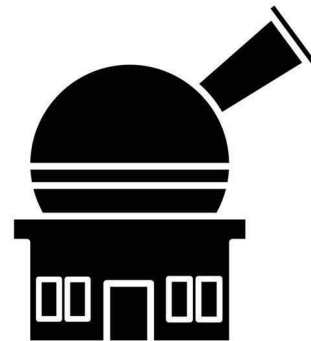
I_c – интенсивность Солнечной энергии, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$,

E_y – эффективность установки из солнечных батарей, %



Площадки астрономического наблюдения

- Минимизация радиопомех и освещенности [20]
- Максимизация расстояния от остальных модулей
- Прямая видимость Земли(для передачи данных)
- Энергоснабжение с экранированием кабеля
- Использование заменяемых частей конструкции
- Электростатическая защита от пыли [19]



Систематизация параметров допустимого строительства инфраструктуры

Итоговая система ограничений

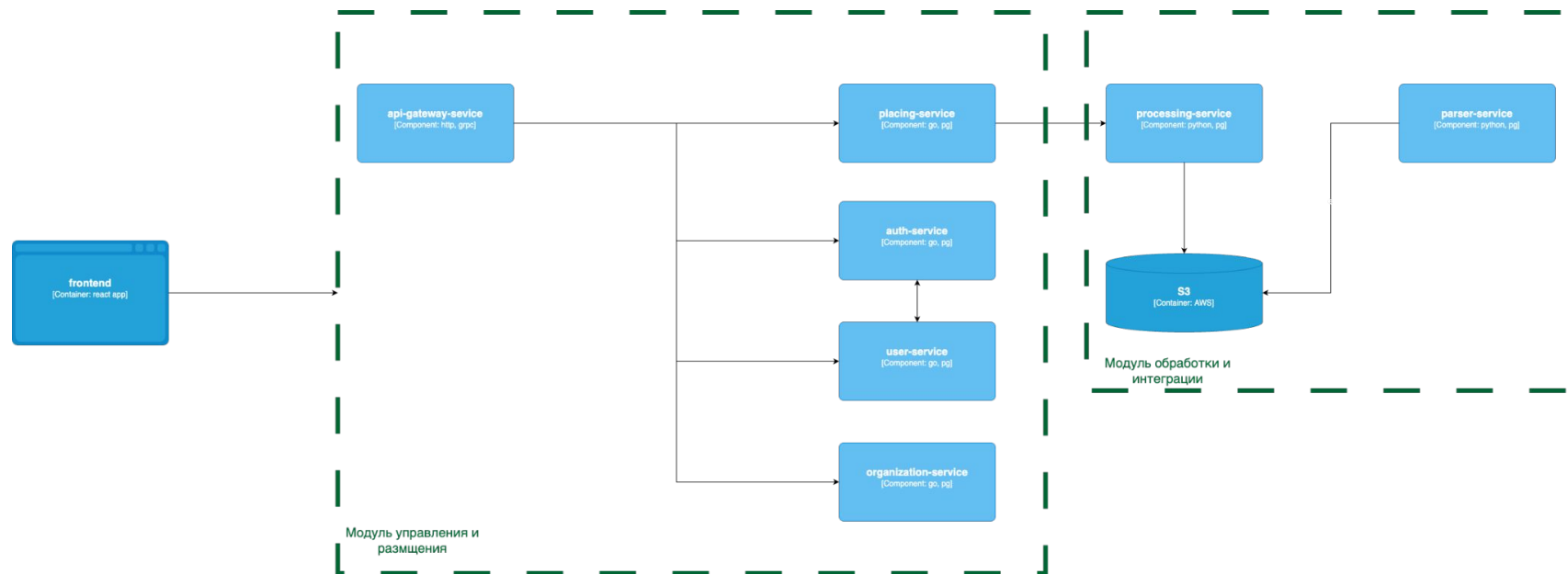
При заданных параметрах максимальной стоимости строительства инфраструктуры C_{proj} , дневной радиовидимости R_{day} , вероятности корректного функционирования P_{func} итоговая система ограничений преобразуется следующим образом

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{proj} \rightarrow \min \\ V_{res} \rightarrow \min \\ E_{res} \rightarrow \max \\ P_{func} \rightarrow \max \\ Lat_{land} \geq 70^\circ \text{ ю. ш.} \\ S_{land} < 7\% \\ E_{day} \rightarrow \max \\ R_{day} \rightarrow \max \\ h_b \rightarrow \min \\ S_{batt} \rightarrow \min \\ D_{obs} \rightarrow \max \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E_{res} \rightarrow \max \\ Lat_{land} \geq 70^\circ \text{ ю. ш.} \\ S_{land} < 7\% \\ E_{day} \rightarrow \max \\ D_{obs} \rightarrow \max \end{array} \right.$$

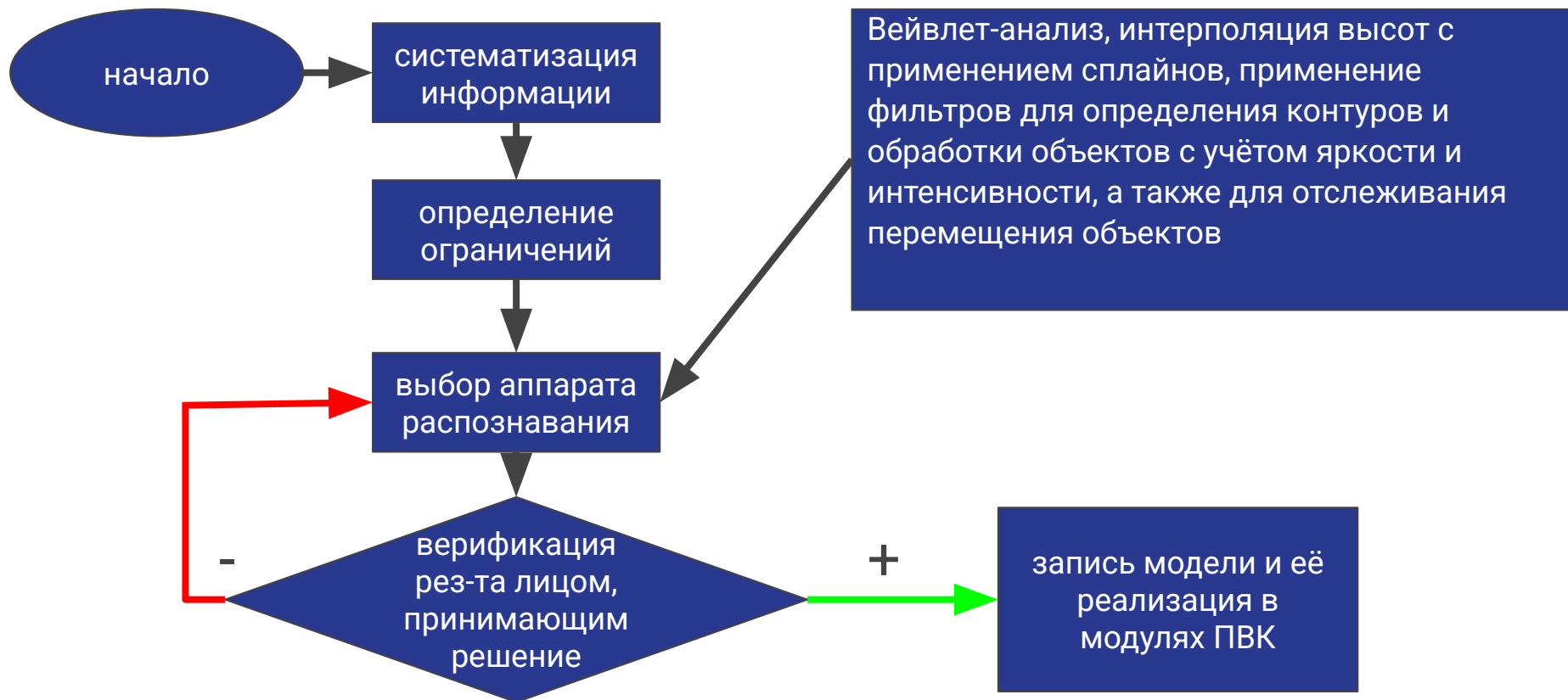
Архитектура программного обеспечения

Архитектура

C4 диаграмма



Блок-схема алгоритма обработки данных



Архитектура

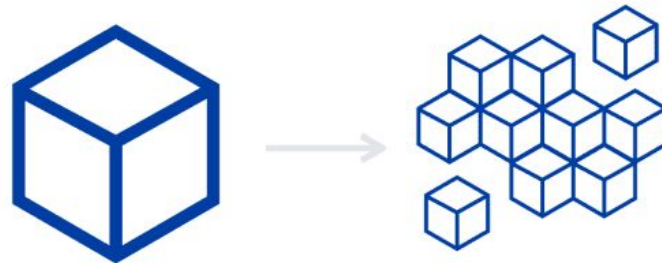
Модульность и изоляция компонентов

Каждый микросервис реализует строго определённый функционал, что обеспечивает:

- локализацию изменений и удобство сопровождения;
- упрощённое тестирование отдельных частей системы;
- снижение рисков при обновлениях;
- возможность независимой разработки и масштабирования модулей.



Microservices



Архитектура

Высокая производительность

Применение протокола **gRPC** и контрактов, описанных на **Protobuf**, обеспечивает:

- быстрое и эффективное взаимодействие между сервисами;
- минимизацию сетевого трафика;
- снижение задержек при обмене данными;
- высокую производительность при масштабировании системы.



Масштабируемость и отказоустойчивость

Использование контейнеризации и оркестрации с помощью **Docker Swarm** обеспечивает:

- динамическое масштабирование при изменении нагрузки;
- автоматический перезапуск сервисов при сбоях;
- равномерное распределение нагрузки между узлами;
- устойчивость системы к отказам отдельных компонентов.

Мониторинг и централизованное логирование позволяют своевременно реагировать на проблемы и поддерживать стабильность работы.

Архитектура

Результаты выполнения задачи

Разработана распределённая система с микросервисной архитектурой, которая обеспечивает:

- **Удобство сопровождения** — каждый сервис изолирован и независим.
- **Гибкость и расширяемость** — новые модули можно добавлять без остановки работы системы.
- **Автоматизацию процессов** — использование CI/CD-конвейера ускоряет внедрение изменений и обновлений.
- **Надёжность и устойчивость** — мониторинг, перезапуск и масштабирование сервисов.
- **Высокую производительность** — взаимодействие между микросервисами реализовано через gRPC и посредством Protobuf.

Результаты



- Сформированы критерии размещения средств космических исследований на Луне.
- Систематизированы и упрощены параметры допустимого строительства инфраструктуры.
- Разработана общая архитектура программного обеспечения и её частная реализация.
- Реализованная функциональность позволяет решать задачи в рамках инструментов исследования.

