

Решение задачи предсказания конфликтов при управлении воздушным движением

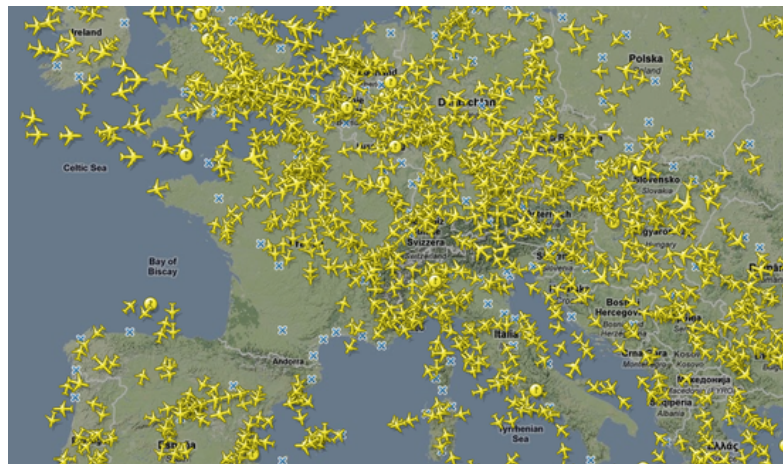
Студент: Евгений Дмитриевич Служаев

Руководитель: Андрей Владимирович Морозов

Санкт-Петербургский Академический Университет, 2014

Актуальность

- Рост интенсивности воздушного движения
- Усложнение систем управления воздушным движением
- Усложнение алгоритмов определения конфликтных ситуаций
- Требуется эффективно решать задачу обнаружения конфликтов



<http://flightradar24.com>

Средства для поиска конфликтов реализованы в крупных коммерческих продуктах:

- THALES
- Adacel

Цель

Разработать библиотеку предсказания конфликтов

Входные данные:

- Полетные планы в виде набора команд (~1000 планов по ~100 команд)
- Полигоны, задающие зоны, запрещенные для полетов
- Летно-технические характеристики (ЛТХ) самолетов
- Состояния самолетов:
 - r (позиция)
 - c (курс)
 - V_{TAS} (истинная скорость)

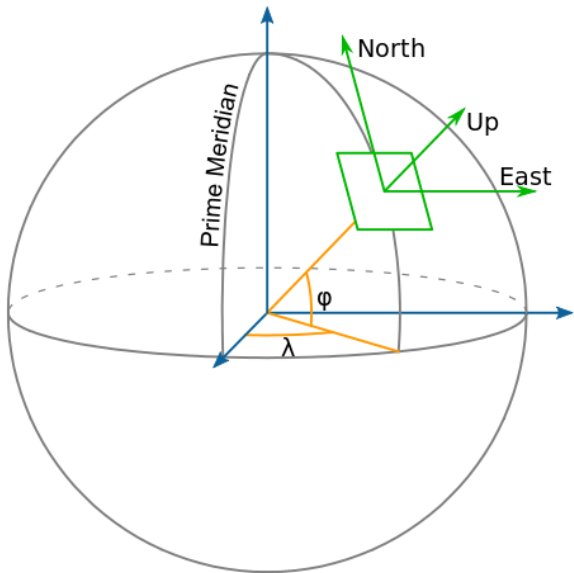
Выходные данные:

- Конфликты траектория/траектория и траектория/полигон в соответствии с рекомендациями Eurocontrol

Задачи

- Рабочее пространство и решение геодезических задач
- Прогнозирование движения воздушного судна
- Нахождение конфликтов траектория/траектория
- Нахождение конфликтов траектория/полигон

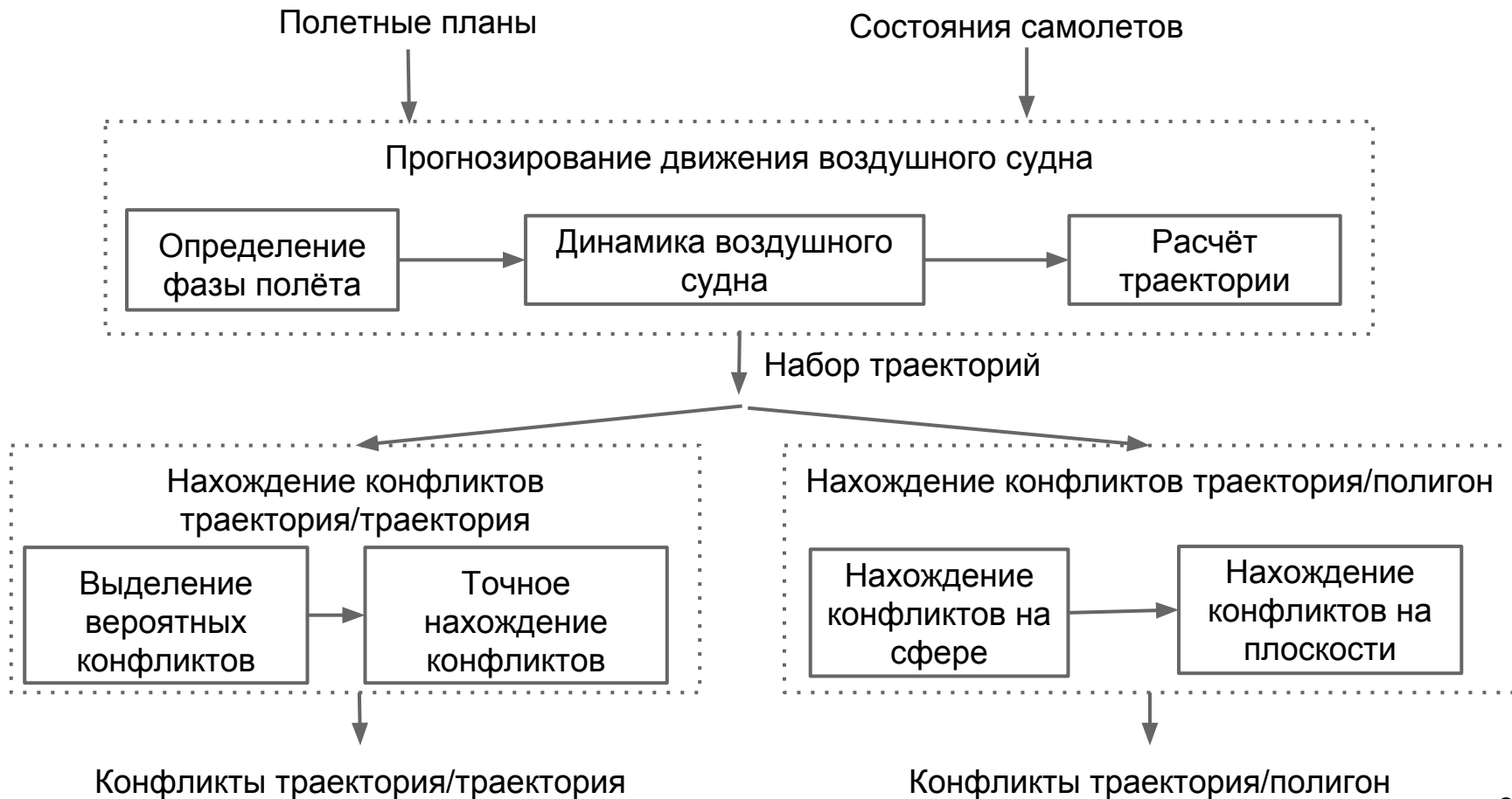
Рабочее пространство



Геодезические и локальные
декартовы координаты
(с сайта <http://en.wikipedia.org>)

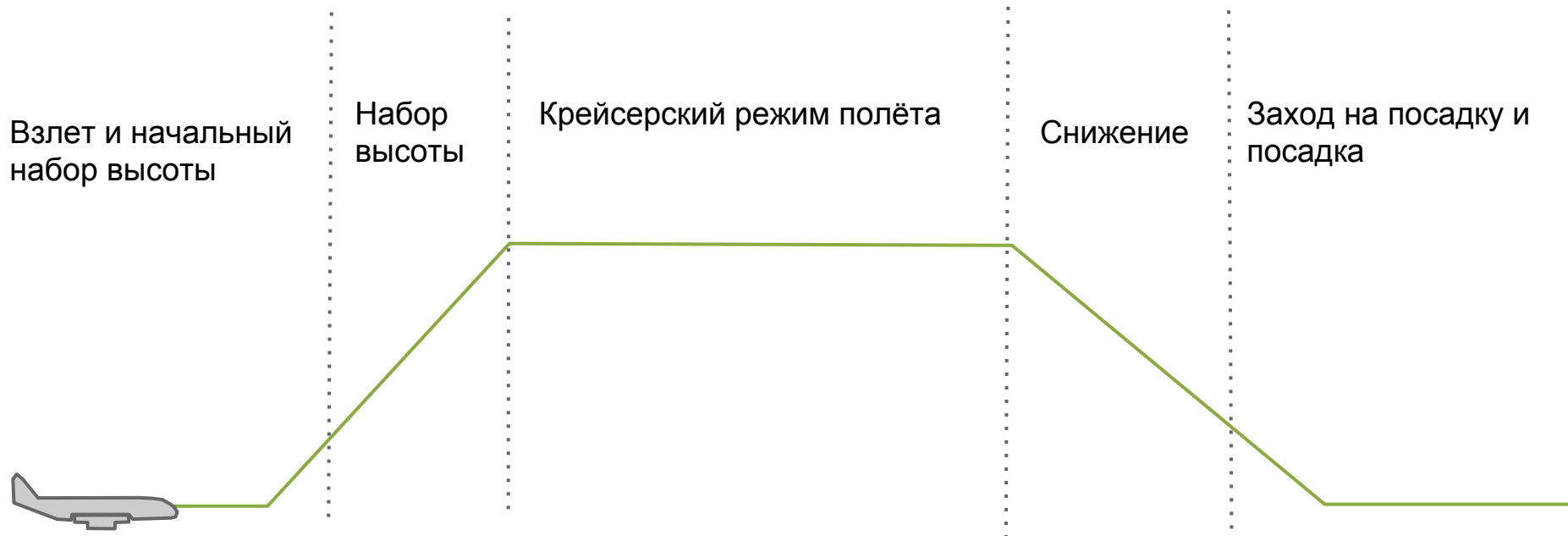
- Локальная декартова система координат
 - простота расчётов
 - неприменима на больших расстояниях
- Сферическая модель Земли
 - простая работа с геодезическими координатами
 - погрешность достигает 2 км при работе на расстояниях ~600 км (20 минут полёта)
- Модель Земли WGS84
 - нетривиальные формулы для работы с геодезическими задачами
 - погрешность менее 2 см

Схема решения



Фазы полета

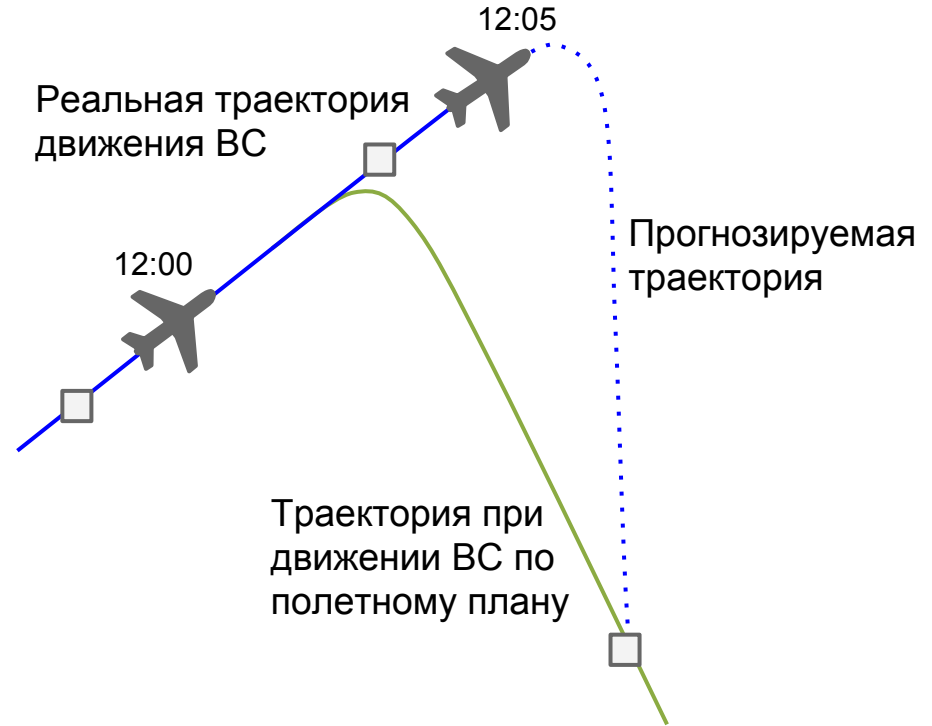
- Формируют набор команд, которые определяют управляющие воздействия на самолет
- Влияют на аэродинамическую конфигурацию ВС



Расчёт траектории движения ВС

- Динамика ВС описывается следующими дифференциальными уравнениями
- При отклонении от полетного плана моделируем возврат на полетный план
- Моделируем движение по полетному плану

На выходе имеем траекторию ВС, заданную набором точек



Конфликты траектория/траектория

STCA (Short-Term Conflict Alert)



Линейная экстраполяция траектории



время до 2 минут

TCT (Tactical Controller Tool)



Линейная экстраполяция траектории

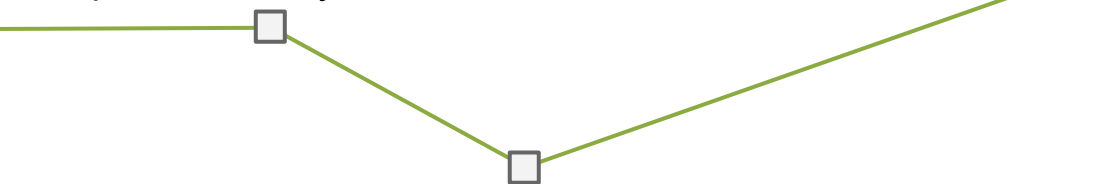


время до 8 минут

MTCD (Medium-Term Conflict Detection)



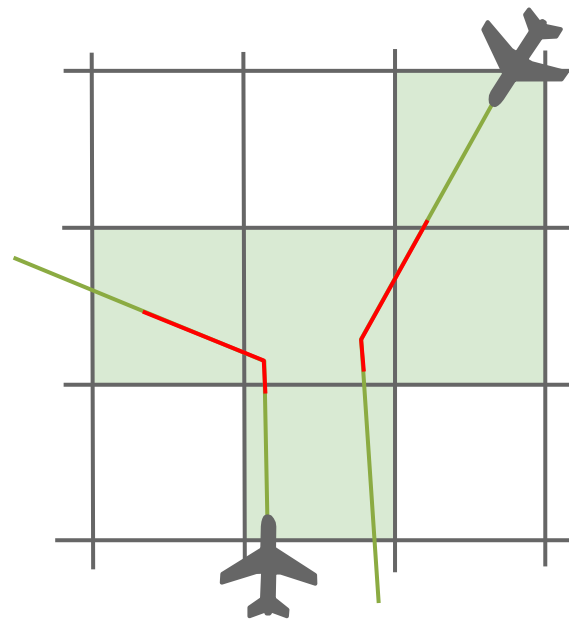
Экстраполяция с учетом полетного плана



время до 20 минут

Алгоритм нахождения конфликтов между траекториями

- Разбиваем пространство на трехмерные кубические ячейки со стороной $2D$, где D - расстояние, сближение на которое считается конфликтом
- В каждый момент времени с шагом Δt находим текущие точки траекторий
- Траектории, точки которых попали в соседние ячейки, считаем потенциально конфликтными
- Уточняем границы конфликтов



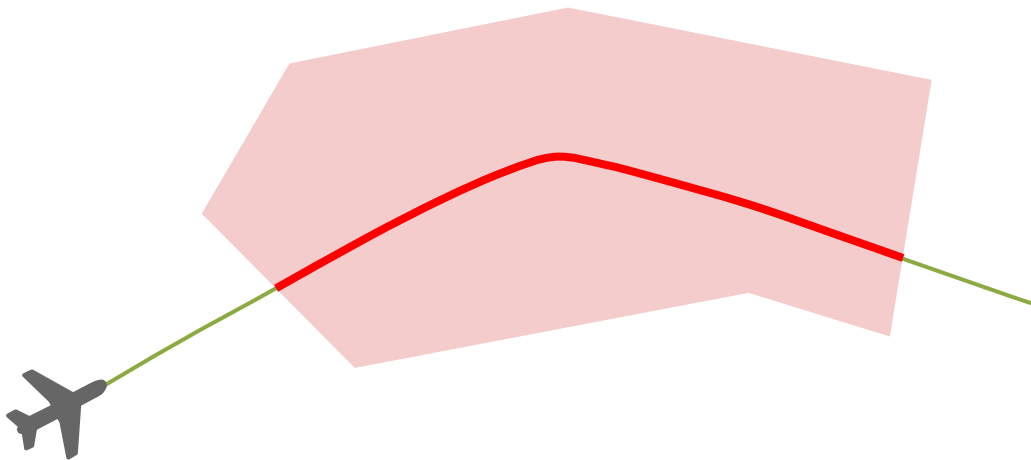
Конфликты траектория/полигон

Контур задан:

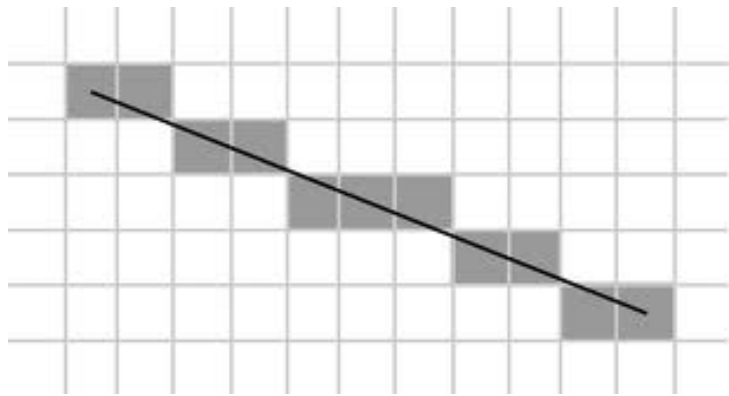
- набором точек (широта, долгота)
- временным отрезком
- диапазоном высот

Задача: найти пересечение траектории с полигоном

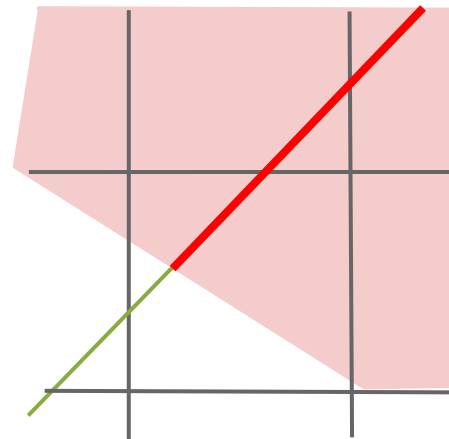
Проблема: искать пересечения за $O(N)$ долго, где N - количество вершин в полигоне



Нахождение пересечений траектории и полигона на плоскости



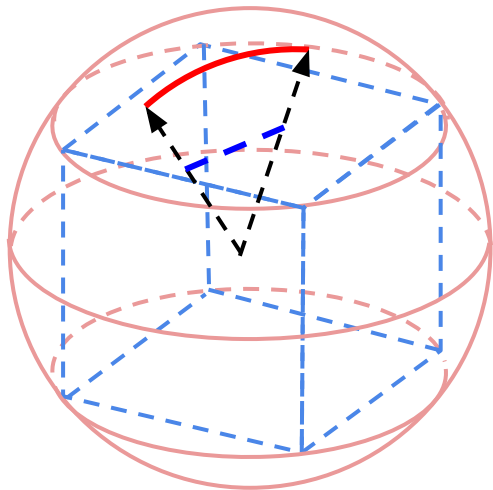
Проводим растеризацию ребер полигона и траектории алгоритмом Брезенхема



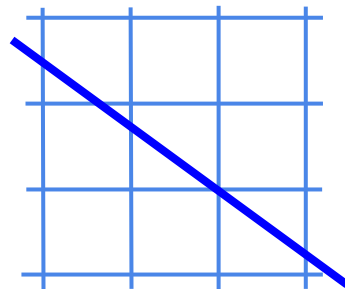
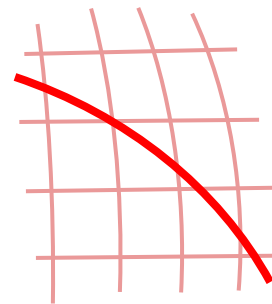
Внутри каждой ячейки, в которую попали и отрезок траектории, и ребро полигона, легко можно найти точку пересечения

Переход на модель Земли WGS84 приводит к большим ошибкам: на геодезической сетке (широта, долгота) кратчайшее расстояние будет не по прямой

Нахождение пересечений траектории и полигона на сфере



Проецируем сферическую поверхность на куб с квадратной сеткой

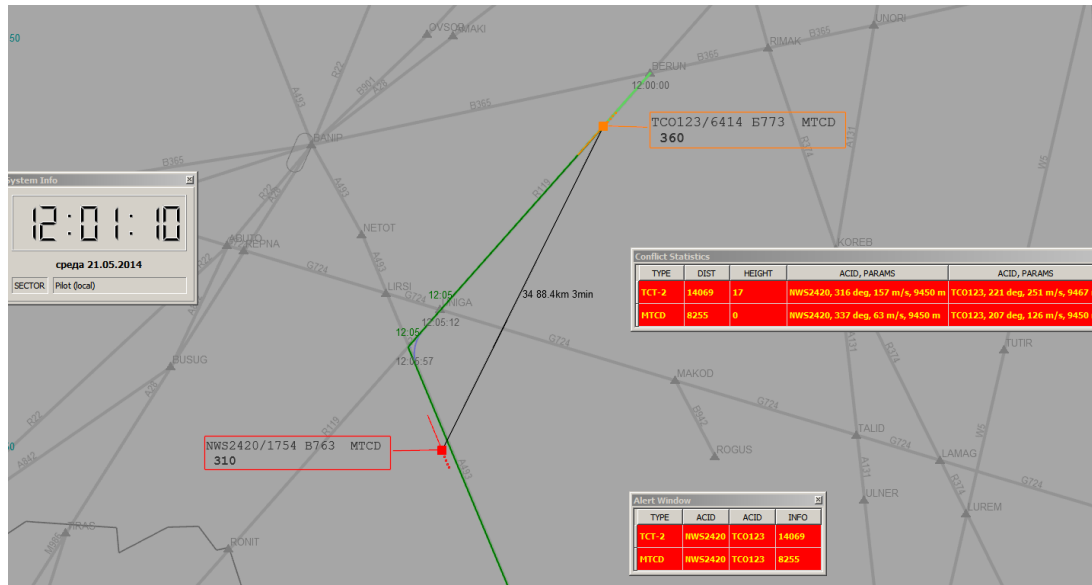


Проекцией кратчайшей дуги между двумя точками на сфере будет отрезок прямой

- Переход на модель Земли WGS84 возможен небольшим подразбиением дуг региона
- Возможна дальнейшая оптимизация путём реализации на GPU

Результаты

- Написана библиотека нахождения конфликтов траекторий воздушных судов на языке C++
- Библиотека интегрирована с работающим тренажером для диспетчеров



Спасибо за внимание!