УДК 681.3.06:681.327.2

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АНАЛИЗА ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ЕЁ ПРЕДСТАВЛЕНИИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

М.И. Васюхин, О.И. Капштык, С.А. Пономарев
Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины.

В роботі висвітлюються підходи до вирішення статистичних задач, пов'язаних з аналізом повітряної обстановки в реальному часі. Запропонована математична формалізація окремих задач пошуку в геометричній області, що представлена найпростішими графічними примітивами.

Задачи анализа воздушной обстановки. Одной из классических задач анализа воздушной обстановки при её представлении оперативному персоналу в реальном времени есть задача разводки самолётов в районе крупного аэропорта. Эта задача требует применения поиска в геометрической области. Раньше такие задачи решались визуально операторами при считывании информации с экранов кругового обзора непосредственно на аппаратуре наблюдения или с большого рабочего планшета. При этом, естественно, возникали ошибки, связанные с человеческим фактором и со значительными погрешностями отображения обстановки. Особенно часто эти ошибки встречались в критические моменты работы служб наблюдения за воздушной ситуацией, когда экраны предельно загружены информацией. Закономерно, что в такие моменты информация должна быть как можно более точной и полной для принятия адекватных обстановке решений, особенно тогда, когда какие-либо ошибки вообще недопустимы.

Поэтому логично возложить на компьютер некоторые хорошо формализованные задачи анализа воздушной обстановки. Несомненно, увеличение размеров массивов информации, связанное с ростом количества объектов, находящихся в воздухе, влияет на работу автоматизированной системы управления полётами, ведёт к увеличению времени разовой обработки массивов, но при использовании «хороших» алгоритмов количество одновремённо сопровождаемых объектов может быть увеличено в несколько раз. Первой задачей, которая имеет непосредственное отношение к поиску в геометрической области, есть определения количества объектов некоторого типа, которые находятся в заданном регионе. Конкретным примером может быть определение общего количества объектов, что находятся в воздухе, например, в 50-километровой зоне вокруг аэропорта или количества только пассажирских самолётов определённого типа. При этом оператор должен иметь возможность изменения радиуса зоны или её формы, например, в виде треугольника, вписанного в сектор, или многоугольника.

Обозначение постановки, находится ли объект определенного типа в заданной области, можно рассматривать как упрощённый вариант предыдущей задачи. Здесь достаточно просто подсчитать количество необходимых объектов в области и, сравнив его с нулем, выдать ответ. При этом из-за своей простоты эта задача допускает более простые и быстрые алгоритмы. Кроме этого, для области запроса можно использовать геометрическую область более сложного построения, чем представленную в виде примитива. Пример реальной задачи: как только летательный объект появляется в заданной области например, в зоне повышенного внимания, распознать его и сопровождать в реальном времени.

Для решения ещё одного типа характерных для этого случая задач рассмотрим такую ситуацию. Известно среднестатистическое количество технических средств, необходимых для сопровождения определённого типа летательных объектов. Необходимо определить способность операторов диспетчерского центра следить за всеми самолётами в определенной зоне. Общая формулировка такой задачи: каждой точке на плоскости присвоен определённый вес, найти сумму весов всех точек, которые попали в область запроса. Ниже будет показано, как может задач поиска в геометрической области за счет выбора веса и операции сложения быть сведены к обозначенной постановке, что определяет эту задачу как наиболее общую.

Последним типом возможных задач поиска в геометрической области есть задача поиска и выведения списка всех точек определённого типа, что попали в область запроса, например, объектов, которые не сопровождаются оператором.

Этим круг возможных практических задач, так или иначе связанных с геометрическим поиском, безусловно, не ограничивается. Но даже сказанное выше указывает на важность задач такого рода, что могут быть как самостоятельными задачами для анализа и исправления, так и процедурными подзадачами. При этом автоматизированная система, обеспечивающая через определённые промежутки времени запросы в геометрических областях, информировала бы оператора, например, о текущей обстановке в зоне аэропорта.

Возможности системы могут быть значительно расширены в том случае, когда оператор дополнительно может сам определить и применить простейший геометрический примитив как область запроса.

Такая необходимость может возникнуть, например, в случае срочной посадки поврежденного самолёта.

Очень жестким требованиям к автоматизированной системе есть требование реализации режима реального времени. Это означает, что система, которая выполняет отмеченные запросы, должна успевать находить ответ за «приемлемое» время. Теоретически эффективность «быстрых» алгоритмов измеряется почти исключительно асимптотическим порядком роста их сложности. Языком алгоритмов «приемлемое» значит, что время запроса имеет не более чем полиномиальную сложность зависимости от количества входных данных.

Целью данной работы есть нахождение алгоритмов поиска в определенной геометрической области с последующим выбором из них наиболее эффективного с целью проведения анализа воздушной обстановки в режиме реального времени.

Для упрощения воздушные объекты можно представить в виде точек. Под пространством, в котором производится поиск, подразумевается воздушное пространство в виде его двумерной проекции представленной картой местности с возможными дополнительными данными, которые, например, указывают тип самолёта (свой, чужой; грузовой, пассажирский и т.д.). Целью алгоритма есть построение такой структуры данных про объекты, чтоб для любой области пространства, что задается, время нахождения данных об этих объектах в этой области было оптимальным. Здесь под оптимальностью подразумевается наименьшее время поиска для любых выбранных областей и координат точек. С учетом того, что в реальной практике нам нужны не все области, а области некоторых простых классов, рассмотрим задачи поиска в областях этих классов.

Уточненная математическая постановка задачи. Перед тем, как формализовать задачу, связанную с поиском в геометрической области, рассмотрим понятие геометрической области. Для размерности 2, то есть плоского случая, это часть плоскости, ограниченная замкнутой кривой без самопересечений. Однако задать такую область в общем случае затруднительно. Естественный подход состоит в том, чтобы ограничить множество рассматриваемых областей и использовать только так называемые геометрические примитивы, то есть области простейшей формы, а также производные от них применением операций наложения, часто называемых оверлейными.

Пусть $\Re$ — система подмножеств d - мерного Евклидового пространства R^d следующего вида:

$\Re_{ортог} =$ параллельные осям параллелепипеды, т.е., все множества вида $\prod_{i=1}^{d}[a_i, b_i]$, $a_1, b_1, ..., a_d, b_d \in R$.

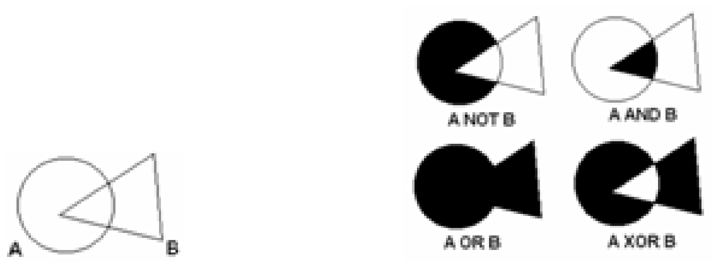
$\Re_{полупр} =$ множество всех (замкнутых) полупространств в R^d.

$\Re_{симлекс} =$ множество всех (замкнутых) симплексов в R^d.

$\Re_{шар} =$ множество всех (замкнутых) шаров в R^d.

Множества из $\Re$ называются областями.

В результате наложения областей образуются производные области. В алгоритмах, реализующих операции наложения, могут применяться логические операции типа NOT, AND, OR, XOR. На рисунке 1.б показаны варианты применений этих операций к пересекающимся двумерному шару A и двумерному симплексу B, которые изображены на рисунке 1.а.



а б

Рис. 1. Варианты оверлейных операций.

В дальнейшем, задается P — n-точечное множество в R^d. Предполагается, что такое множество находится в общей позиции, т.е. никакие три точки из этого множества не лежат на одной прямой. Если данное условие не выполняется, производится так называемое [1] «моделирование простоты»: входные точки смещаются на бесконечно малые величины для того, чтобы привести их к общей позиции, с условием, что никакие три точки из этого множества не лежат на одной прямой. Это не приводит к значительному искажению результата, хотя реальные входные данные как правило неточны по своей природе координаты точек обладают некоторой погрешностью измерений.

Сформулируем основные задачи поиска в геометрической области:

з.1) разработать эффективный алгоритм, который по заданной области $R \in \Re$ находит число точек P, лежащих в R;

з.2) разработать эффективный алгоритм, который определяет, содержит ли область запроса R хотя бы одну точку из P;

з.3) каждой точке назначен некоторый вес, разработать эффективный алгоритм, который по заданной области $R \in \Re$ определяет сумму весов всех точек из P, лежащих в R;

з.4) разработать эффективный алгоритм, который выдает список всех точек из P, лежащих в области запроса R.

Задача (з.3) является наиболее общей [1]. Задачи (з.1), (з.2) и (з.4) могут быть сведены к ней выбором подходящей операции суммы и весов точек. А именно: пусть каждой точке *p* из *P* назначен вес *w(p)* из полугруппы *S* с операцией сложения «+». Для задачи (з.1) достаточно все веса положить равными 1 и за полугруппу *(S, +)* взять полугруппу натуральных чисел относительно сложения. Для запросов о пустоте в качестве полугруппы подойдет множество булевых значений («истина» и «ложь») с операцией логической дизъюнкции (ИЛИ), веса всех точек следует взять равными «истине».

Отчетные запросы, которые выдаются при решении задачи (з4), также могут быть включены в полугрупповую модель задачи (з2). Здесь полугруппа *(S, +)* – это множество всех подмножеств *P* с операцией объедения множеств, а вес каждой точки *p* из *P* – одноточечное множество *{p}*. Однако в существующих моделях вычислений, такое подмножество не удается представить постоянным объемом памяти, а операцию объедения выполнить за постоянное время. Отметим, что для вывода ответа, который состоит из k точек, необходимо время порядка *k* только для вывода отчета, при этом сложность алгоритмов отчетного запроса в области выражается в форме *O(f(n)+k)*, где *f(n)* – некая функция общего количества точек *P*.

Выводы

В работе поданы подходы к решению статистических задач, связанных с анализом воздушной обстановки в реальном времени. Предложена математическая формализация отдельных задач поиска в геометрической области, представленной простейшими графическими примитивами.

Литература

1. Jirzi Matousek. Geometric Range Searching. ACM Computing Surveys, Vol/ 26-1994.- №4.- p. 421-461.
2. Aggarwal A, Hansen M, and Leighton T. Solving query-retrieval problems by compacting Voronoi diagrams. In Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on Theory of Computing. – New York: ACM, 1990. – P. 331-340.

Получено 15.05.2007