

УДК 629.391

Теоретико-множественное представление алгоритма анализа конфликтных ситуаций

ПАТРАКЕЕВ И.М.

МЕТЕШКИН К.А. (Украина)

- *Алгоритм анализа конфликтных ситуаций*
- *Методика формального описания сложных систем*

Теоретико-множественные модели обстановок могут быть использованы при описании алгоритмов управления объектами в сложных системах [2].

Цель статьи состоит в изложении методики такого описания алгоритмов на примере решения задачи анализа конфликтных ситуаций АКС в воздухе.

К сложным системам относится система управления воздушным движением (УВД), которая решает задачи по организации контроля и управления движением воздушных судов всех ведомств во всем диапазоне высот и направлений. Главной задачей, решаемой в системе УВД, является

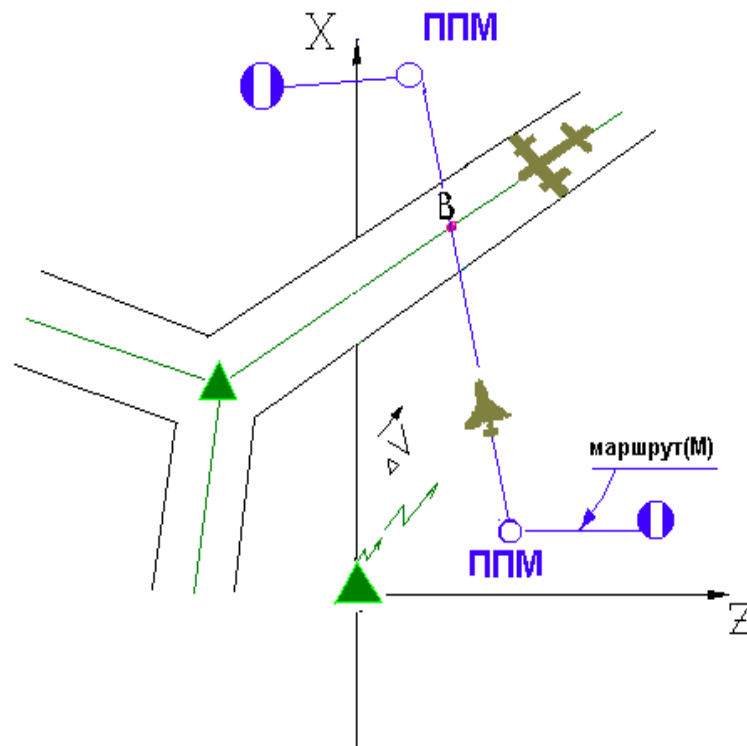


Рис.1. К задаче АКС

задача, обеспечивающая безопасность полетов авиации [1].

Постановка задачи АКС состоит в следующем. Имеется область воздушного пространства, которое содержит воздушную трассу (ВТ) гражданской авиации и установленный маршрут (М) для полетов ведомственной авиации. Иллюстрация такой ситуации приведена на рис.1. Ось трассы и маршрут пересекаются в точке В. Если самолет, следующий по воздушной трассе, обозначим его E_{VT} , окажется в районе точки В одновременно с появлением в этом районе самолета, следующего по маршруту, обозначим его E_M , то возможно наступление события, называемого опасным сближением.

Задача алгоритма АКС состоит в том, чтобы из всего множества самолетов, следующих по воздушной трассе и по маршруту, во-первых определить пары самолетов $\langle e_{VT}, e_M \rangle$, которые приходят в район точки В одновременно, во-вторых, определить маневр самолета E_M для устранения опасного сближения. Для уменьшения размерности задачи предположим, что маневрирует самолет E_M и только изменением скорости полета.

Для решения поставленной задачи необходимо построить модель воздушной обстановки, которая позволит разработать алгоритм выявления конфликтных пар $\langle e_{VT}, e_M \rangle$.

Вспользуемся методикой построения модели воздушной обстановки, изложенной в работах [2,3].

В основе методики построения модели воздушной обстановки лежат сущности e , наборы сущностей E , связи S , наборы связей S . В случае, если сущность e обладает совокупностью существенных свойств P , то под набором объектов обстановки понимается множество $E = \{e/P(e)\}$, такое, что каждый элемент $e \in E$ обладает совокупностью свойств P , принимающих значения на множествах D_1, D_2, \dots, D_n . Под атрибутом F_E набора объектов E будем понимать отображение:

$$F_E: E \rightarrow D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n,$$

ставящее каждому e из E в соответствие кортеж значений множеств:

$$\langle d_1, d_2, \dots, d_n \rangle \in D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n.$$

Кортеж $\langle e_1, e_2, \dots, e_R \rangle$ назовем связью S . Под набором связей S будем понимать множество связей:

$$S = \{ \langle e_1, e_2, \dots, e_R \rangle_s / e_i \in E_i, i=1, \dots, R \}.$$

Атрибутом набора связей S называется отображение:

$$F_S: S \rightarrow D_1 \times D_2 \times \dots \times D_m,$$

ставящее каждой связи S из S в соответствие кортеж значений множеств

$$\langle d_1, d_2, \dots, d_m \rangle \in D_1 \times D_2 \times \dots \times D_m.$$

Определив основные понятия, можно определить, что в состав модели воздушной обстановки входят следующие наборы объектов:

набор объектов САМОЛЕТЫ ВОЗДУШНОЙ ТРАССЫ (E_{VT}) с атрибутами:

N_{VT} - бортовой номер самолета воздушной трассы;

\vec{X}_{VT} - вектор состояния самолета воздушной трассы, где

$$\vec{X}_{VT} = (X_{VT}, Z_{VT}, V_{X_{VT}}, V_{Z_{VT}});$$

набор объектов САМОЛЕТЫ МАРШРУТА (E_M) с атрибутами:

N_M - бортовой номер самолета маршрута;

\vec{X}_M - вектор состояния самолета, где

$$\vec{X}_M = (X_M, Z_M, V_{X_M}, V_{Z_M}).$$

Рассматривая декартово произведение

$$E_{VT} \times E_M = \{ \langle e_{VT}, e_M \rangle / e_{VT} \in E_{VT}, e_M \in E_M \},$$

можно определить связь $\langle e_{VT}, e_M \rangle_s$ типа "конфликт" в случае одновременного выхода объектов E_{VT} и E_M в район точки В. При этом каждая связь может характеризоваться:

χ - минимальное расстояние сближения;

t_χ - время наступления минимального сближения;

ΔV_M - изменение скорости самолета E_M , необходимое для устранения конфликтной ситуации.

На основании вышеизложенного определим набор связей (S) КОНФЛИКТНЫЕ ПАРЫ с атрибутами:

N_{VT} - бортовой номер самолета воздушной трассы из E_{VT} ;

N_M - бортовой номер самолета маршрута из E_M ;

χ - минимальное сближение самолетов;

t_χ - время наступления минимального сближения;

ΔV_M - изменение скорости самолета E_M , необходимое для устранения конфликтной ситуации.

Необходимо отметить, что N_{VT} и N_M играют роль ключевых атрибутов, т.к. обеспечивают

однозначную идентификацию связи S_i из набора связей S .

Таким образом модель воздушной обстановки имеет вид [2]:

$$MBO = \langle E_{BT}, E_M, S, F_{E_{BT}}, F_{E_M}, F_S \rangle,$$

$$\text{где } F_{E_{BT}}: E_{BT} \rightarrow D_{N_{BT}} \times X_{BT};$$

$$F_E: E \rightarrow D_{N_M} \times X_M;$$

$$F_S: S \rightarrow D_{N_{BT}} \times D_{N_M} \times D_C \times D_{t\chi} \times D_{\Delta V_M},$$

где $D_{N_{BT}}, D_{N_M}$ - множества значений бортовых номеров самолетов E_{BT} и E_M ;

\vec{X}_{BT} и \vec{X}_M - векторы состояний самолетов E_{BT} и E_M ;

$D_C, D_{t\chi}, D_{\Delta V_M}$ - множества значений параметров $C, t\chi, \Delta V_M$.

С целью наглядности представим модель воздушной обстановки в виде структурной диаграммы, представляющей собой граф [3]:

$$S_{MBO} = \langle E_{BT}, E_M, S, L, L \rightarrow E_{BT} \times E_M \times S \rangle,$$

вершинами которого являются наборы объектов и связей, а ребра $l \in L$ связывают вершины типа S с соответствующими вершинами типа E_{BT} и E_M

Структурная диаграмма модели воздушной обстановки представлена на рис.2.

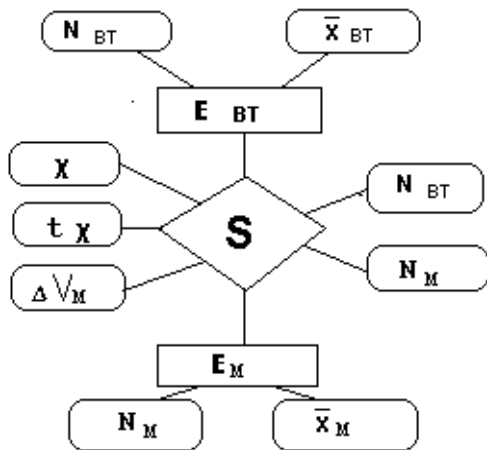


Рис.2. Структурная диаграмма модели воздушной обстановки для задачи АКС.

Параметры $\chi, t\chi, \Delta V_M$ набора связей S должны вычисляться на основе известных значений векторов состояний \vec{X}_{BT} и \vec{X}_M .

Методы определения значений этих параметров подробно изложены в работах [2,3].

Факт наличия конфликтной ситуации может быть установлен определением значения истинности условия:

$$\Phi: (\chi < a) \wedge (t\chi < T),$$

где a - допустимое сближение самолетов, не приводящее к столкновению;

T - допустимое время до наступления минимального сближения.

Формально операцию отбора конфликтных пар из произведения наборов объектов $E_{BT} \times E_M$ можно определить такой операцией реляционной алгебры как селекция. Полный состав основных и дополнительных операций реляционной алгебры представлен в работах [3,4].

Операция селекции $\sigma_{\Phi}(E_{BT} \times E_M)$ позволяет отобрать из произведения наборов объектов $E_{BT} \times E_M$ те кортежи, компоненты которых удовлетворяют условию Φ .

В нашем случае роль операнда операции селекции выполняет множество кортежей вида:

$$E_{BT} \times E_M = \{ \langle N_{BT}, \vec{X}_{BT}, N_M, \chi, t\chi, \Delta V_M \rangle \}.$$

С учетом условия истинности Φ формальная запись операции селекции в данном случае имеет вид:

$$\sigma(\chi < a) \wedge (t\chi < T) (E_{BT} \times E_M).$$

Схема алгоритма решения задачи АКС приведена на рис.3 (см. ниже).

Основой для решения задачи являются данные об объектах воздушной обстановки, которые можно представить в виде таблиц R_{BT} и R_M . Каждая строка указанных таблиц содержит номер воздушного объекта E_{BT} или E_M и значения всех компонентов векторов $\vec{X}_{BT}(t)$ и $\vec{X}_M(t)$ на текущий момент времени, когда решается задача АКС.

Алгоритм АКС состоит из следующих основных шагов:

шаг 1. Формирование декартова произведения $R_{BT} \times R_M$, где элементами R_{BT} и R_M являются их строки;

шаг 2. Расчет параметров $\chi, t\chi$ для каждого элемента $R_{BT} \times R_M$ согласно методике изложенной в работе [2];

шаг 3. Выполнение операции селекции (выборки строк) из $R_{BT} \times R_M$ удовлетворяющих условию Φ .

векторах состояния объектов наборов E_{VT} и E_M приведены на рис.4 в таблицах а), б). В таблице в) приведены результаты расчетов параметров χ , t_χ для каждой пары $\langle E_{VT}, E_M \rangle$.

Над строками таблицы в) выполняется операция селекции по логическому условию

$$\Phi: (\chi < a) \wedge (t_\chi < T),$$

где $a=20\text{км}$, $T=500\text{с}$.

В результате работы алгоритма АКС выбран воздушный объект $m1$, который находится в конфликте с объектами $n1$, $n2$, $n3$, с указанием времени наступления конфликта.

Рассмотренная в статье концепция формального представления алгоритма АКС обеспечивает необходимую полноту представления реальной обстановки в управляемой сложной системе на языке, использующем простые понятия теории множеств,

алгебры отношений и реляционной алгебры. Предлагаемый подход может быть использован для описания функционирования сложных систем.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Автоматизация процессов управления воздушным движением. Под ред. Г.А.Крыжановского.- М:Транспорт,1991г.
2. Тарасов В.Г. Основы теории автоматизированных систем управления.- М:ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1988г.
3. Ульман Дж. Основы систем баз данных.- М.: "Финансы и статистика",1983г.
4. Цикритзис Д. , Лоховски Ф. Модели данных. - М. : "Финансы и статистика",1985г.

Декабрь.1997г.(Королев)