

Отметим, что на длительность выполнения программы на МСЦ РАН достаточно заметное влияние оказывает общая нагрузка на систему, поэтому становятся возможными, на первый взгляд, такие парадоксальные значения, как ускорение счёта более чем в 8 раз при распараллеливании на 8 процессорах (вычислительных ядрах).

Литература:

1. *Алексеев О.Г.* Комплексное применение методов дискретной оптимизации. – М.: Наука, 1987. – 250 с.

2. *Фуругян М.Г.* Некоторые алгоритмы решения минимаксной задачи составления многопроцессорного расписания//Известия РАН, ТиСУ. – 2014. – № 2. – С. 50-56.

3. *Костенко В.А., Смелянский Р.Л., Трекин А.Г.* Синтез структур вычислительных систем реального времени с использованием генетических алгоритмов//Программирование. – 2000. – №5. – С. 63-72.

1. *Brucker P.* Scheduling Algorithms. – Heidelberg: Springer, 2007. – 371 p.

4. *Гончар Д.Р.* Параллельная реализация мультиоценочного алгоритма составления многопроцессорного расписания без прерываний//Некоторые алгоритмы планирования вычислений и методы многокритериальной оптимизации для многопроцессорных систем. – М.: ВЦ РАН, 2014. – С. 21-31.

5. *Посыпкин М.А., Сигал И.Х., Галимьянова Н.Н.* Алгоритмы параллельных вычислений для решения некоторых классов задач дискретной оптимизации. – М.: ВЦ РАН, 2005. – 43 с.

6. *Посыпкин М.А., Сигал И.Х., Галимьянова Н.Н.* Параллельные алгоритмы в задачах дискретной оптимизации: вычислительные модели, библиотека, результаты экспериментов. – М.: ВЦ РАН, 2006. – 50 с.

Кулида Е.Л., Лебедев В.Г.

Исследование алгоритмов оптимизации очередности и времен посадок воздушных судов

Аннотация: Доклад посвящен решению задачи оптимизации очередности и времен посадок воздушных судов. Описан подход и средства исследования алгоритмов

оптимизации очереди воздушных судов на посадку на основе имитационного моделирования.

Ключевые слова: воздушные суда, безопасность, последовательность, оптимизация, имитационное моделирование

Введение

В обеспечении безопасности и экономичности управления воздушным движением все большую роль играет автоматизация действий и формализация критериев выбора решений.

При определении очередности захода воздушных судов (ВС) на посадку безопасность и экономичность определяется большим числом противоречивых факторов: дистанцией между ВС, метеорологическими условиями, расходом топлива, интересами авиакомпаний, удобством пассажиров и т.д. В настоящее время в РФ решение об очередности посадки ВС с учетом этих факторов принимает диспетчер на основе своего опыта. Однако формализованный критерий оценки и автоматизация могли бы существенно улучшить качество принимаемых решений.

Математическая постановка задачи оптимизации очередности и времен посадок ВС известна уже давно [1]. Классическая постановка в виде задачи линейного или квадратичного программирования (в зависимости от выбранной целевой функции) с использованием целочисленных переменных является NP-трудной, что не позволяет получить точное решение с помощью существующих программных средств, поскольку время счета экспоненциально растет с ростом размерности задачи, т.е. при увеличении количества ВС [2].

За годы исследований было предложено множество подходов для получения приближенных решений задачи на основе использования эвристических и метаэвристических алгоритмов [3]. Однако для таких алгоритмов не существует формальных способов оценки эффективности и точного расчета времени получения решения. Для исследования и оценки таких алгоритмов применяются методы имитационного моделирования.

Предлагаемый подход и средства исследования алгоритмов оптимизации очереди воздушных судов на посадку

Разработано программное средство имитационного моделирования для исследования алгоритмов построения оптимальных очередей ВС на посадку [4].

Программное средство имитационного моделирования позволяет выполнить следующие действия:

- формирование теста;
- выбор целевой функции;
- получение оптимального решения;
- получение решения с помощью исследуемого алгоритма;
- визуализация и оценка результатов.

Вычислительные эксперименты заключаются в проведении большого количества испытаний для сгенерированных тестовых ситуаций, накоплении статистических данных и их анализ для оценки эффективности и быстродействия исследуемого алгоритма. Реализовано программное средство получения оптимального решения на основе стандартного, для решения задач линейного или квадратичного программирования с использованием целочисленных переменных, программного пакета CPLEX. Получение оптимального решения неприменимо на практике в режиме реального времени вследствие большого времени счета, но в процессе разработки алгоритма решения задачи и для оценки качества решения, полученного при помощи исследуемого алгоритма, наличие оптимального решения трудно переоценить.

Оценка эффективности алгоритма реализуется на основе расчета значений целевой функции для трех решений:

- решения для исходной последовательности;
- решения, полученного при использовании исследуемого алгоритма;
- оптимального решения.

Для каждого ВС предполагается известным время T_i – оптимальное время прибытия i -го ВС при условии свободной взлетно-посадочной полосы, $i = \overline{1, P}$. Исходной последовательностью является последовательность, в которой ВС упорядочены в порядке возрастания времен T_i .

Задача оптимизации последовательности и времен посадок прибывающих ВС заключается в оптимизации глобальной целевой функции для группы ВС, которые находятся в зоне аэропорта с целью совершить посадку, P – число ВС, ожидающих посадку.

Между ВС, согласно нормам ИКАО, необходимо обеспечить некоторый минимальный интервал, чтобы исключить попадание в струйно-вихревой след, образующийся от идущего впереди ВС. Этот интервал зависит от типов следующих друг за другом ВС. Известна матрица S , размера $P \times P$, где $S_{C_i C_j}$ – минимальный интервал между посадкой ВС типа C_j после ВС типа C_i , $i, j = \overline{1, P}$, $i \neq j$, C_i – тип i -го ВС. Кроме того, для каждого ВС определено временное окно $E_i \leq x_i \leq L_i$, $i = \overline{1, P}$, в течение которого ВС с номером i может совершить посадку в соответствии с его летно-техническими характеристиками, наличием топлива, длительностью полета и т.д. E_i – самое раннее возможное время приземления i -го ВС; L_i – назначенное время приземления i -го ВС, L_i – самое позднее возможное время приземления i -го ВС.

Принципиальное значение для оценки решения имеет величина отклонения назначенного времени посадки x_i от времени T_i , $i = \overline{1, P}$. В процессе исследований проводились вычислительные эксперименты для двух целевых функций:

– кусочно-линейная целевая функция – минимизация суммы модулей отклонений от оптимальных времен посадок:

$$F(X) = \min_x \sum_{i=1}^P \text{abs}(T_i - x_i), \text{ где } X = \{x_i, i = \overline{1, P}\}, \quad (1)$$

– нелинейная целевая функция – минимизация суммы квадратов отклонений от оптимальных времен посадок:

$$F(X) = \min_x \sum_{i=1}^P (T_i - x_i)^2, \text{ где } X = \{x_i, i = \overline{1, P}\} \quad (2)$$

Лучшие результаты по эффективности и скорости расчета решения поставленной задачи были получены для разработанного и реализованного оригинального эвристического алгоритма. Для целевой функции (1) применение алгоритма привело к получению оптимального решения для более 30% тестов, средний выигрыш по всем тестам составил приблизительно 78,7% от выигрыша при оптимальном решении. Для целевой функции (2) применение алгоритма привело к получению оптимального решения для 51,8% тестов, средний выигрыш по всем тестам составил приблизительно 82,7% от выигрыша при оптимальном решении. Во всех случаях на получение решения потребовалось менее 1 секунды. Описание вычислительных экспериментов и полученных результатов подробно представлены в работе [5].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-08-00822)

Литература:

1. *Beasley J.E., Krishnamoorthy M., Sharaiha Y.M., and Abramson D. Scheduling aircraft landings – the static case//Transportation Science. – 2000. – Vol. 34. № 2. – P. 180-197.*

2. *Вересников Г.С., Егоров Н.А., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г. Методы построения оптимальных очередей воздушных судов на посадку. Ч. 1. Методы точного решения//Проблемы управления. – 2018. – № 4. – С. 2-13.*

3. *Вересников Г.С., Егоров Н.А., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г. Методы построения оптимальных очередей воздушных судов на посадку. Ч. 2. Методы приближенного решения//Проблемы управления. – 2018. – № 5. – С. 2-13.*

4. *Кулида Е.Л. Инструментальное средство для исследования алгоритмов построения оптимальных очередей воздушных судов на посадку: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615221 РФ; Зарег. 03.05.2018.*

5. *Кулида Е.Л., Лебедев В.Г., Егоров Н.А. Исследование эффективности алгоритма оптимизации потока воздушных судов на посадку//Проблемы управления. – 2019. – № 6. – С. 63-69.*

Петров А.А., Щербаков А.В., Опенкин Д.Ю., Черномордов С.В., Гладких О.Б.

Применение нейросетевых алгоритмов для моделирования и анализа безопасности функционирования технических и миграционно-популяционных систем

Аннотация: Рассмотрено применение нейросетевых алгоритмов в задачах моделирования технических и миграционно-популяционных систем с учетом прогнозирования и оценки безопасности.

Ключевые слова: технические системы, миграционно-популяционные системы, искусственные нейронные сети, эволюционные алгоритмы, моделирование, безопасность, прогнозирование