

# ТЕХНОЛОГИЯ ВЫБОРА РЕПЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

## TECHNOLOGY OF SELECTION OF REFERENCE MODELS OF OBJECTS FOR THE FORMATION OF A MODEL OF VIRTUAL SPACE

**T. Nechay**  
**T. Zhashkova**  
**A. Mikheev**  
**N. Esimova**  
**I. Dolganov**

*Summary.* The development of technologies for synthesizing virtual spaces for various purposes has become a determining factor in the development of such areas as imitation of the visual environment for flight simulators, visualization of images of human organs in a three-dimensional medical atlas, and solving problems of optimal control of industrial transport. At the same time, technologies for selecting reference models of objects for forming a model of virtual space turn out to be insufficiently developed. The analysis conducted by the authors of the article when performing R & D "Research and optimization of manufacturing technologies for beam splitting plates and spherical mirrors for single-channel and multichannel glasses without pseudo-volumetric images with a narrow pupil" (state contract No. 8009r / 8265 dated 04.30.2010) and performing organization of loading and unloading operations on industrial transport, showed that in all cases it is necessary to carry out the ranking of real-world objects, models of which form a virtual space. This approach allows you to optimize the processing of graphic information and highlight the most significant objects.

*Keywords:* information technologies, object model, optimization of the technological process, virtual space.

**Нечай Татьяна Алексеевна**  
Аспирант, Пензенский государственный  
технологический университет  
tanyanechay@bk.ru

**Жашкова Татьяна Валерьевна**  
К.т.н., старший преподаватель, Пензенский  
государственный технологический университет

**Михеев Алексей Михайлович**  
Аспирант, Пензенский государственный  
технологический университет  
mix1959@gmail.com

**Есимова Нурзипа Сапаровна**  
Аспирант, Пензенский государственный  
технологический университет  
nurzipa.esimova@mail.ru

**Долганов Илья Евгеньевич**  
Аспирант, Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
dolgan.ru@mail.ru

*Аннотация.* Развитие технологий синтеза виртуальных пространств различного назначения стало определяющим фактором развития таких областей как имитация визуальной обстановки для авиационных тренажёров, визуализация изображений органов человека в трёхмерном медицинском атласе, решение задач оптимального управления промышленным транспортом. При этом оказываются недостаточно разработанными технологии выбора реперных моделей объектов для формирования модели виртуального пространства. Анализ, проведённый авторами статьи, при выполнении НИОКР "Исследование и оптимизация технологий изготовления светоделительных пластин и сферических зеркал, для одноканальных и многоканальных безочковых индикаторов псевдообъемного изображения с узким зрачком" (государственный контракт № 8009р/8265 от 30.04.2010), и выполнения работ по организации погрузочно-разгрузочных работ на промышленном транспорте, показал, что во всех случаях необходимо провести ранжирование объектов реального мира, модели которых формируют виртуальное пространство. Такой подход позволяет оптимизировать технологии обработки графической информации и выделить наиболее значимые объекты.

*Ключевые слова:* информационные технологии, модель объекта, оптимизация технологического процесса, виртуальное пространство.

**Д**оступность аппаратно-программных систем создало условия для разработки обучающих комплексов на базе технологий виртуальных пространств различного назначения для отраслей народного хозяйства от авиации до медицины [1]. Авиационные тренажёры (АТ) в настоящее время являются наиболее совершенными обучающими системами, разработка которых ведётся не одно десятилетие [2]. В настоящее время нет ни одного пилота гражданской или военной

авиации, которые не проходили бы обучение на АТ. Достигнутые в этом направлении успехи позволяют создать и другие обучающие системы, в частности трёхмерный медицинский атлас (ТМА) [3]. Ещё одним направлением использования обучающих аппаратно-программных систем является использование разработанных для них алгоритмов для управления технологическими процессами, в частности для разработки и эксплуатации АСУТП промышленным транспортом [4].

Наиболее часто встречающейся задачей при разработке различных тренажёров и АСУТП является выбор наиболее информационно значимых моделей объектов. В частности, при разработке одного из узлов АТ имитатора визуальной обстановки (ИВО) для визуализации узнаваемых объектов района полётов с качеством позволяющим тренировать глазомер лётчика необходимо решать задачу — какие объекты необходимо визуализировать и сколько подмоделей каждого объекта надо создавать.

Применительно к ИВО при решении этой задачи необходимо искать оптимальное решение с учётом возможностей трёх основных узлов: компьютерного генератора изображения (КГИ), базы данных (БД) и устройства индикации (УИ). Задача синтеза заданного изображения для виртуального пространства ставится так: синтезировать узнаваемый объект (из заранее утверждённого списка) с учётом: производительности КГИ; максимально допустимого объёма БД; возможностей индикатора 3Dизображения (которые в свою очередь зависят от разрешающей способности экрана формирования промежуточного изображения (ЭФПИ) и используемой оптики [5].

Модели, синтезированные с помощью ИВО,— это не реальные объекты. Это не полные модели. Это упрощённые модели реальных объектов. Упрощённость подразумевает отсутствие в моделях подмоделей части объектов, или некоторых объектов, признанных незначимыми для целей обучения (например, колышущая от ветра трава вокруг модели ВПП). При отборе объектов из рассмотрения исключаются мало информационные (с точки зрения процесса приобретения обучаемым профессиональных навыков при полётах на АТ). Критериями исключения объектов является невозможность их синтезировать в режиме реального времени и невозможность их отобразить на ЭФПИ из-за недостаточной разрешающей способности экрана [6].

Аналогичная ситуация возникает при исключении некоторых объектов, которые незначительно влияют на решение задачи управления промышленным транспортом, при поиске оптимального решения перемещения вагонов по путям железнодорожной станции принадлежащей промышленным предприятиям, когда попытка учесть все, что влияет на решение этой задачи не даёт возможность во время принять необходимые управляющие воздействия [7].

В связи с этим актуальным становится решение задача определения пороговых значений числа отбора определённых моделей. Для АТ это в первую очередь число отобранных моделей, во вторую очередь число их подмоделей, отличающихся внешним видом и воздействием через

оптику на определённые составляющие зрительного аппарата человека изображений 2Dпроекции, высвеченных на экране формирования промежуточного изображения (ЭФПИ) [8]. Для решения задач управления промышленным транспортом это число вагонов и осей (от этого, как минимум, зависят затраты на разгон состава, на его перемещение и на его торможение).

Анализ показал, что одним из возможных решений является ранжирование всех известных модели объектов для составления списка объектов, с которыми в дальнейшем целесообразно работать. В поставленной задаче всегда есть противоречия: недостаточное число используемых моделей не дают возможность решить задачу (из-за недостаточной информации), значительное число используемых моделей не дают возможность решить задачу (из-за превышения времени отводимого на принятие решения).

При отборе моделей для АТ, создают банк моделей объектов, синтезированных по правилам машинной графики с минимальным числом используемых примитивов. На этом этапе рассчитывается время обработки моделей одного и того же объекта, видимого на разных дистанциях наблюдения. Например, пятиэтажный панельный дом на расстоянии более 10 км воспринимается как квадрат. При приближении воспринимает его как параллелепипед, ближе видим окна, и совсем ближе кирпичи, из которых он построен. Эти подмодели одного и того же объекта должны на этапе системного анализа быть упорядочены и им должны быть выделены ресурсы.

Поставленная задача имеет два порога. Верхний — когда КГИ не может синтезировать необходимое число моделей объектов. Нижний — когда число синтезированных моделей объектов недостаточно чтобы решить поставленную задачу обучения, или задачу управления.

Использование числа моделей ниже нижнего порога приводит к тому, что рассматриваемые задачи приводят к невозможности использовать полученные результаты, когда:

$$I_1(t_i) \cap I_2(t_i) = 0, \quad (1)$$

где  $I_1(t_i)$  — ожидаемая вероятность успешного решения поставленной задачи (в АТ это поведение летательного аппарата в зависимости от направления воздействия лётчика на органы управления, при заданном состоянии атмосферы, лётных характеристик летательного аппарата и работы его отдельных узлов на момент времени  $t_{i-1}$ , при разработке АСУТП промышленным транспортом это вероятность успешной сортировки железнодорожных вагонов за заданное время с учётом информации о структуре состава на момент времени  $t_{i-1}$ );

$I_2(t_i)$  — применительно к АТ это информация о текущем месте положения летательного аппарата в пространстве и о работе всех узлов, применительно к АСУТП это информация о месте нахождения всех вагонов состава, на момент истечения времени, отведённого на сортировку.

Применительно к ИВО (1) проявляется, когда лётчик видит недостаточное число моделей объектов. В частности, экспериментально было определён один из минимально допустимых порогов видимых моделей для профессионального обучения лётчиков на АТ. Эксперименты проводились при обучении лётчиков посадке на модель ВПП на АТ конца XX века. В ИВО в качестве генератора изображения был макет местности, над которым ездила камера. Качество АТ позволяло обучать лётчиков профессиональным навыкам посадки на нарисованную модель ВПП с переносом отработанных навыков при выполнении реальных полётов. Однако толщина температурных швов на бетоне ВПП, при нарисованном маете местности, не могла быть тоньше 1,5 м (самая тонкая линия, но в пересчёте на используемый масштаб 1:80). После появления компьютерных генераторов изображения (КГИ) этот «недостаток» был исправлен — сделали реальную толщину в 8 см. Но лётчики не смогли тренировать навыки визуальной посадки на ВПП на АТ с модернизированными ИВО. Анализ случившейся ситуации показал, что из за недостаточной разрешающей способности ЭФПИ температурных швов не было видно. В итоге лётчик не получал достаточно информации о внешней среде и не мог пилотировать модель летательного аппарата при выполнении учебного задания — отработке профессиональных навыков визуальной посадки на модель ВПП. Решено было исправить толщину температурного шва, сделали толщину шва 1,5 м, как было раньше. В итоге, при визуальном наблюдении, на модель ВПП стала отображаться не простая серая лента бетонной полосы, а как серая лента, расчерченная на множество прямоугольников. Число наблюдаемых моделей увеличилось, и лётчики смогли снова отбатывать навыки визуальной посадки на ВПП. Недостаточно насыщенное изображение исследуемого органа не даёт возможность использовать синтезируемое изображение и в ТМА.

Применительно к задаче управления промышленным транспортом (1) описывает ситуацию, когда предприятие начинает нести серьёзный материальный ущерб из-за превышения допустимого времени простоя.

Основным направлением устранения (1) является работа с наиболее информационно значимыми моделями. Для этого используют метод ранжирования [9]. Ранжирование проводится путём просмотра баз данных и составление списка наиболее часто встречающихся объектов, используя выраженные в терминах запросы. Запросы — это имя конкретного объекта или имя с прилагательным, уточняющим вес запроса. Начинают с запроса, состоящего

из единственного термина  $T_j$ , или понятия  $E_j$ . Если  $T_j$  имя нескольких различных понятий, то  $E_j$  это совокупность этих понятий. Учитывая вероятностный характер, говоря о вероятности рассмотрения понятия  $E_j$  или о вероятности степени соответствия запроса поставленной задачи нахождения информационной потребности пользователя, или соответствия рассматриваемой модели объекта внешней среды понятию  $E_j$  при условии, что в моделях баз данных при описании модели рассматриваемого объекта имеется термин  $T_j$ .

Обычно вероятность рассматриваемой модели объекта внешней среды понятию  $E_j$  возрастает с увеличением частоты использования термина  $T_j$ . Кроме того, эта вероятность зависит также от значимости термина — имени понятия. При многократном прохождении баз данных с описанием объектов вероятность  $P(T_j)$  соответствия модели рассматриваемого объекта внешней среды понятию  $E_j$  равна:

$$P(T_j) = 1 - \frac{A_j(N_j)}{N_j + 1},$$

где  $N_j$  — число появлений термина в базах данных,

$A_j(N_j)$  — вычисляется по рекуррентной формуле, обеспечивающей ограничение его роста для терминов с малой значимостью с увеличением, в частности:

$$A_j(0) = 1;$$

$$A_j(1) = \frac{D_{\max} - D_j}{D_{\max} - D_{\min}},$$

где,  $D_{\max}$  и  $D_{\min}$  — соответственно максимальная и минимальная значимость среди всех терминов, по которым проводится ранжирование.

При отсутствии термина  $T_j$ , именами понятия  $E_j$  могут быть другие термины (что наблюдается, когда исходные списки создают несколько специалистов, при этом почти всегда и один и тот же объект может быть описан неоднократно, но в одном случае он играет первостепенную роль, а в другом второстепенную). Тогда вероятность соответствия рассматриваемых моделей объекта внешней среды понятию  $E_j$  при учете ассоциативных отношений между терминами будет:

$$P(T_1) = 1 - \prod_{j=1}^K \left[ 1 - P\left(\frac{T_i}{T_j}\right) \cdot P_0(T_j) \right];$$

где  $P\left(\frac{T_i}{T_j}\right)$  —

вероятность соответствия рассматриваемых моделей объекта внешней среды в базах данных понятию  $E_j$ , при условии, что именем этого понятия является термин  $T_j$ ,

$K$  — число различных терминов, описывающих модели объектов внешней среды в базах данных,

$P_0(T_j)$  — вероятность соответствия модели объекта понятию  $E_j$ , при условии, что именем этого понятия является только термин  $T_j$ .

При ранжировании возникает необходимость учитывать ассоциативные отношения количественной оценки совместной встречаемости терминов

$$P\left(\frac{T_i}{T_j}\right),$$

которое может быть получено экспериментальным или расчетным путем при определении относительных парадигматических отношений. Это могут быть дизъюнктивные запросы повторяемости в целом несвязанных никакими понятиями объектов, или конъюнктивные запросы, учитывающие качественные характеристики объекта поиска.  $L$  терминов дизъюнктивного запроса, соединенных оператором ИЛИ, не будут соответствовать дизъюнктивному запросу, если не советуют каждому из понятий. Вероятность соответствия запросу составит

$$P_d = 1 - \prod_{i=1}^L (1 - P(T_i)).$$

Это не всегда выполняется, но может использоваться для ранжирования по убыванию соответствия. Если в запросе используются логические операторы ИЛИ, И, то вероятность соответствия моделей объектов внешней среды комбинированному конъюнктивному запросу будет:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^L \left[ 1 - \prod_{j=1}^M (1 - P(T_{ij})) \right]$$

Расположив объекты по их значимости создают список объектов модели внешней среды  $S$ . Это позволяет, работая с наиболее значимыми моделями объектов избежать ситуации (1), определив количество моделей в нижнем пороге. Число моделей в виртуальном пространстве меньше этого порога приводит к невозможности использовать синтезированное виртуальное пространство для решения поставленных задач.

## ВЫВОДЫ

При разработке обучающих систем, визуализирующих 3D-объекты в АТ и ТМА, а также при разработке АСУТП на первом этапе необходимо составить список наиболее информационно значимых моделей реально существующих объектов, с которыми в дальнейшем необходимо работать.

Число отобранных моделей должно превышать нижний информационный порог, позволяющий решать поставленные задачи за отведенный интервал времени, и не должно быть выше верхнего порога, превышение которого увеличивает время решения поставленной задачи настолько, что использование специализированной аппаратно-программной системы становится нецелесообразным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Роганов В. Р. Методы формирования виртуальной реальности/ Пенза, ПензГУ, 2002. — 127С.
2. Vladimir R. Roganov, Elvira V. Roganova, Michail J. Micheev, Tatyana V. Zhashkova, Olga A. Kuvshinova & Svetlan M. Gushchin Flight Simulator Information Support // Defence S&T Technical Bulletin. VOL. 11 NUM. 1 YEAR2018 ISSN1985–65790–98.
3. Роганов В. Р., Семочкина И. Ю., Тюрин М. В. О необходимости учета комплексного подхода при создании и исследовании информационных моделей виртуального пространства тренажерных систем /Надежность и качество сложных систем, 2015, № 4 (12). — С. 38–45.
4. Нечай Т. А., Герасименко Т. А., Герасименко А. В., Роганов В. Р. Улучшение оперативного планирования маневровой работы на путях необщего пользования // В сборнике: Современные технологии и развитие политехнического образования Научное электронное издание. 2016. С. 992–996.
5. Roganov V. R., Sagyndyk A. B., Akhtarieva R. F., Beisenbayeva A. K., Sannikova. S. I. Integrated organization of the system for forming the information support of aeronautical simulator // International Journal of Applied Engineering Research, 2017. Т. 12, № 15. — Pp. 5207–5213.
6. Роганов В. Р. Концепция создания эргатического оптико- программно-технического комплекса “имитатор визуальной обстановки”, позволяющего человеку тренировать глазомер // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 2015, № 4 (26). — С. 81–87.
7. Yurkov N. K., Andreev A. N., Danilov A. M., Klyuev B. V., Lapshin É. V., Blinov A. V. Information models for designing conceptual broad-profile flight simulators / Measurement Techniques. N.Y., Springer, Vol. 43, No. 8, August 2000. pp. 667–672.
8. Роганов В. Р., Роганова Э. В., Зуев В. А., Кривчик В. В. патент РФ 2381435. Тренажёр наводчиков-операторов установок пуска ракет. Опубликовано: 10.02.2010.
9. Прохоров А. В., Харин Н. П. Ранжирование документов по убыванию их смыслового соответствия запросу на основе автоматического учета построенных ассоциативных отношений. В сб.: Экспертные системы реального времени. Материалы семинара. М.: Центральный Российский Дом знаний. 1995.— с. 113–123.

© Нечай Татьяна Алексеевна (tanyanechay@bk.ru), Жашкова Татьяна Валерьевна, Михеев Алексей Михайлович,

Есимова Нурзипа Сапаровна (nurzipa.esimova@mail.ru), Долганов Илья Евгеньевич (dolgan.ru@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»