УДК 004.921
DOI: 10.25686/978-5-8158-2474-4-2025-985-994

Анализ функционально ориентированной оценки передачи и восстановления геометрической модели

Е. А. Курушин
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева,
Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе рассматривается применение функционально ориентированной методики оценки передачи и восстановления геометрических моделей при взаимодействии систем 3D-моделирования. На примере передачи сцены из Autodesk 3ds Max в Blender проведена количественная оценка сохранения параметров модели при использовании форматов *.abc, *.obj и *.stl. Установлено, что формат *.abc обеспечивает наибольшую полноту передачи геометрии и анимации, тогда как *.obj и *.stl ограничиваются лишь сохранением базовой геометрии. Полученные результаты подтверждают применимость функционально ориентированного подхода, однако выявляют его ограничения: отсутствие учёта обязательных параметров (например, истории построений в CAD-моделях) и специфик реализации форматов. Это обусловливает необходимость дальнейшего развития методики с включением классификации параметров по критичности и анализа особенностей форматов передачи данных.

***Ключевые слова*:** геометрическая модель, оценка потерь, функционально ориентированная оценка, передача данных, CAD, DCC

Analysis of function-oriented evaluation of 3d geometric model transfer and reconstruction

E. A. Kurushin
Nizhny Novgorod State Technical University. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper presents the application of a function oriented methodology for evaluating the transfer and reconstruction of 3D geometric models between modeling systems. A case study of transferring a scene from Autodesk 3ds Max to Blender was carried out, with quantitative assessment of model parameters preserved through *.abc, *.obj, and *.stl file formats. The results show that the *.abc format provides the most complete transfer of geometry and animation, while *.obj and *.stl are limited to basic geometry preservation. The study confirms the applicability of the function oriented approach, but also reveals its limitations, namely the lack of consideration of mandatory parameters (such as construction history in CAD models) and format-specific implementation issues. This highlights the need to further develop the methodology by introducing parameter criticality classification and incorporating analysis of format-specific features.

***Keywords*:** geometric model, loss estimation, data transmission, function oriented evaluation, CAD, DCC.

Введение

Геометрическая модель изделия является ключевым элементом информационной поддержки жизненного цикла изделия. Она выступает основой для автоматизированного формирования конструкторской документации, проведения инженерных расчётов (включая анализ прочности, динамики, теплопередачи и др.) и пр. Таким образом, корректность и полнота описания геометрической модели напрямую определяют эффективность последующих этапов жизненного цикла изделия.

На практике разработка геометрических моделей может выполняться в различных программных продуктах разных вендоров по определенным причинам, наряду с чем может возникнуть необходимость перехода на другое программное обеспечение в рамках модернизации или интеграции производственного процесса [6, 9, 13]. Однако прямой перенос модели из одной системы в другую, как правило, невозможен. Это связано с использованием проприетарных форматов хранения данных, спецификации которых закрыты и не предназначены для межсистемного обмена.

Для обеспечения совместимости применяются нейтральные форматы передачи данных, такие как IGES, STEP и др., специально разработанные для межплатформенного взаимодействия. Их особенностью является сохранение базовой геометрической информации при частичной или полной утрате ряда дополнительных параметров модели (например, зависимостей построения, атрибутов материалов, метаданных) [4, 10, 12–15]. Таким образом, при трансляции данных между системами

неизбежно возникают информационные потери, влияющие на полноту и корректность модели в системе-приёмнике [1].

В ряде исследований использовалась качественная оценка передачи моделей, фиксирующая факт сохранения или утраты отдельных параметров [6, 8, 9, 11, 13, 14]. Такие оценки не позволяют учесть степень значимости утраченной информации для последующего использования модели.

Функционально ориентированная методика [2], предложенная в современных исследованиях, обеспечивает возможность количественной оценки передачи и восстановления геометрических моделей. Она учитывает как фактическое сохранение параметров, так и их значимость в контексте применения модели. Такой подход позволяет формировать количественную оценку передачи и восстановления данных.

Постановка задачи

Каждый формат описывается спецификацией или стандартом, определяющим его назначение, параметры и правила описания модели. Так, например, файл формата VRML считается валидным, если он начинается с заголовка #VRML V2.0 utf8, синтаксически соответствует грамматике спецификации и использует только допустимые узлы и поля либо их корректные расширения. К обязательным элементам относятся наличие заголовка и хотя бы одного корневого узла в сцене; к рекомендуемым – использование узла WorldInfo для описания сцены, а также явное указание Viewpoint и NavigationInfo, в противном случае применяются значения по умолчанию. Все остальные элементы, такие как Background, Fog, Sound, Script и другие, являются опциональными, при этом их порядок и количество не ограничены [3]. Это означает, что при реализации подпрограмм чтения и записи файлов внешних непроприетарных форматов разработчик может не учесть ряд параметров, характеризующих геометрическую модель.

Для корректной оценки передачи геометрической модели недостаточно учитывать только параметры исходного объекта и результаты импорта в систему-приёмник. Необходимо также рассматривать характеристики самого формата данных, используемого при экспорте. Таким образом, постановка задачи сводится к проверке применимости существующей функционально ориентированной методики для оценки корректности передачи геометрических моделей между системами.

Теория

Алгоритм расчета функционально-информационной метрики представлен на рисунке 1.

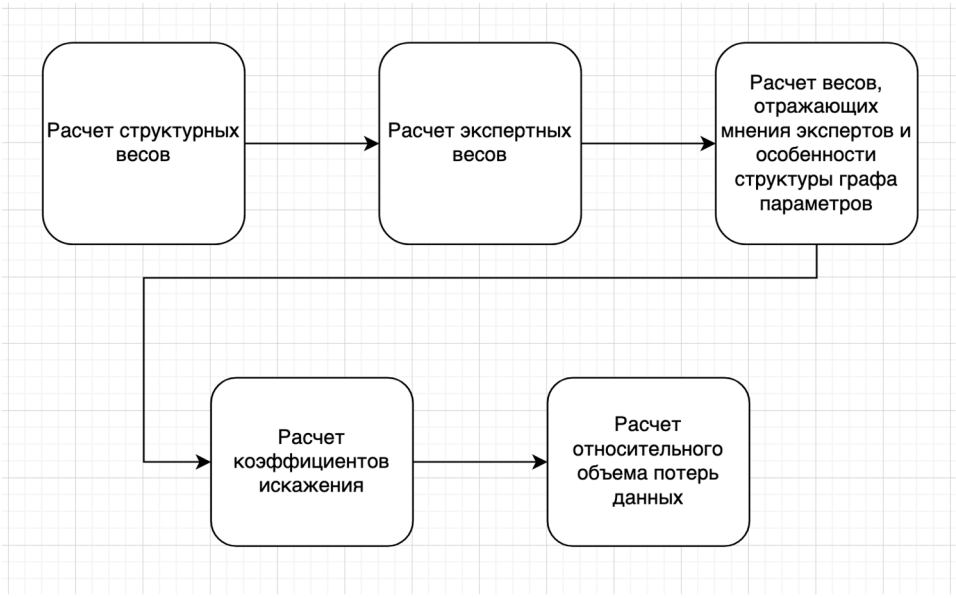

Рисунок 1. Алгоритм расчета функционально-информационной метрики

Расчет структурных весов проводится на основании параметров модели, образованных по группам этих параметров с помощью процесса интеграции и дифференциации, основанных на анализе свойств и различий, присущем процедуре классификации.

Процесс построения графа [2] делится на этапы:

1. Обозначается глобальный признак;
2. Определяются первичные критерии оценки (параметры ГМ по которым идет оценка);
3. Формируются локальные признаки для построения дерева.

Глобальным признаком определена сложность восстановления геометрической модели. В качестве локальных свойств первого яруса выделяются геометрические свойства модели, атрибутивная информация о модели и свойства передающего файла, где геометрические свойства модели делятся на свойства сборочной единицы и её отдельных деталей, которые являются локальными признаками второго яруса. Аналогично проводится последующее объединение и распределение параметров по схожим признакам.

Описанная последовательность построения графа параметров геометрической модели характеризует отличительные особенности CAD-систем, тогда как каждый частный случай применения методики может характеризоваться другими описательными характеристиками описательного объекта. Так, по результатам расчета структурных весов параметров, граф может иметь вид, представленный на рисунке 2.

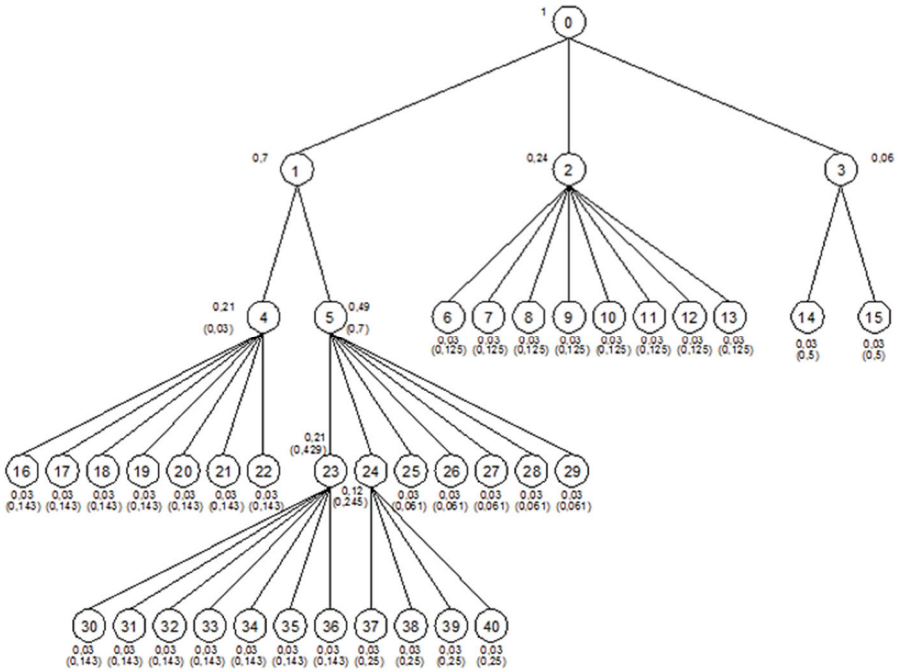

Рисунок 2. Граф параметров геометрической модели с рассчитанными структурными весами

Расчет экспертных весов проводится по результатам опроса специалистов, работающих в ППС различных вендоров, на предмет сложности восстановления того или иного параметра ГМ при передаче её из одной системы в другую с помощью метода экспертных оценок. Средняя оценка каждого параметра рассчитывается по формуле

$$w_i^{\text{э}} = \frac{\sum_{j=1}^{m} w_{ij}}{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{m} w_{ij}}, \quad (1)$$

где $w_i^{\text{э}}$ – вес *i*-го параметра, подсчитанный по оценкам всех экспертов;

w_{ij} – вес *i*-го параметра, данный *j*-им экспертом;

n – число параметров;

m – число экспертов.

$$w_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}}, \quad (2)$$

w_{ij}– вес *i*-го параметра, данный *j*-им экспертом;

xij – оценка *i*-го параметра, данная *j*-им экспертом;

n – число параметров.

Расчет весов, отражающих мнения экспертов и особенности структуры графа параметров, проводится по формуле

$$w_i^{\text{ЭС}} = \frac{w_i^{\text{Э}}}{w_i^{\text{С}} \sum_{i=1}^{n} \frac{w_i^{\text{Э}}}{w_w^{\text{С}}}}. \quad (3)$$

Для **расчета коэффициентов искажения** передачи геометрическая модель импортируется в систему-приемник и анализируется на предмет наличия параметров. Так, проставляются коэффициент передачи *i*-го параметра k_i, принимающий значения: 0 – параметр передать не удалось; 0,5 – параметр удалось передать не полностью; 1 – параметр передался полностью. Это позволяет рассчитать коэффициент искажения параметров по формуле

$$p_i = 1 - k_i . \quad (4)$$

Для оценки потерь данных при передаче модели между системами рассчитывается **относительный объем потерь данных** как сумма потерь по каждому параметру:

$$K_Z = \sum_{i=1}^{n} w_i^{\text{ЭС}} p_i . \quad (5)$$

Результаты экспериментов

Для оценки передачи геометрической модели был проведен эксперимент с использованием предварительно подготовленной модели в программе 3ds Max для оценки потерь данных при передаче в Blender в условиях импортозамещения [5]. Подготовлена модель контейнера и помещена на сцену, в которой имеется ландшафт, представляющий из себя объект plane с травой, выполненной с помощью модификатора Scatter. Также в сцене присутствует камера и один источник освещения (рис. 3). Некоторые элементы имеют анимацию. Так, камера совершает облет вокруг контейнера по кривой Helix, контейнер за это время поднимается на гидравлическом приводе.

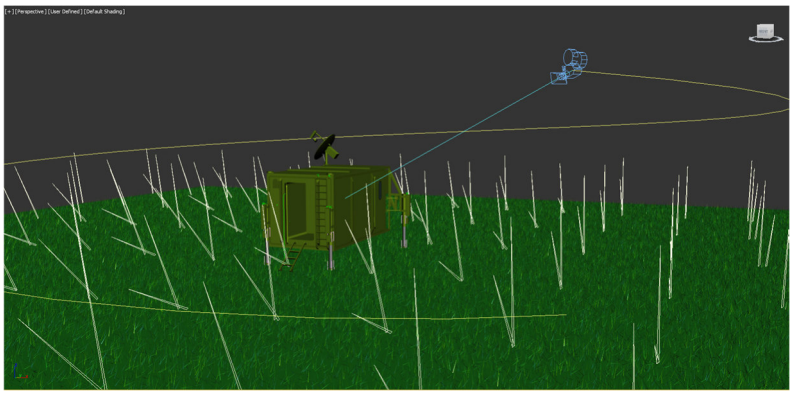

Рисунок 3. Передаваемая сцена

Выделены параметры, по которым строился граф и производилась оценка потерь при передаче геометрической модели:

1. Геометрии
   - 1.1. Группировка элементов
   - 1.2. Объект
     - 1.2.1. Положение
     - 1.2.2. Габариты
   - 1.3. Окружение
     - 1.3.1. Положение
     - 1.3.2. Габариты
   - 1.4. Материалы
     - 1.4.1. Базовый цвет
     - 1.4.2. Шероховатость

1.4.3. Отражение
1.4.4. Прозрачность
1.4.5. Эмиссия
1.5. Отбрасывание теней
2. Камера
2.1. Положение
2.2. Направление камеры
2.3. Параметры камеры
2.3.1. Объектив
2.3.2. Тип
2.3.3. focal depth
2.4. Привязка камеры к кривой
3. Освещение
3.1. Параметры источника освещения
3.1.1. Тип
3.1.2. Множитель
3.1.3. Цвет
3.1.4. Создание теней
3.2. Положение
4. Анимация
4.1. Ключи анимации камеры
4.2. Ключи анимации модели

Следовательно, граф с рассчитанными иерархическими весами будет выглядеть так, как показано на рисунке 4 (справа обозначены уровни (ярусы) графа).

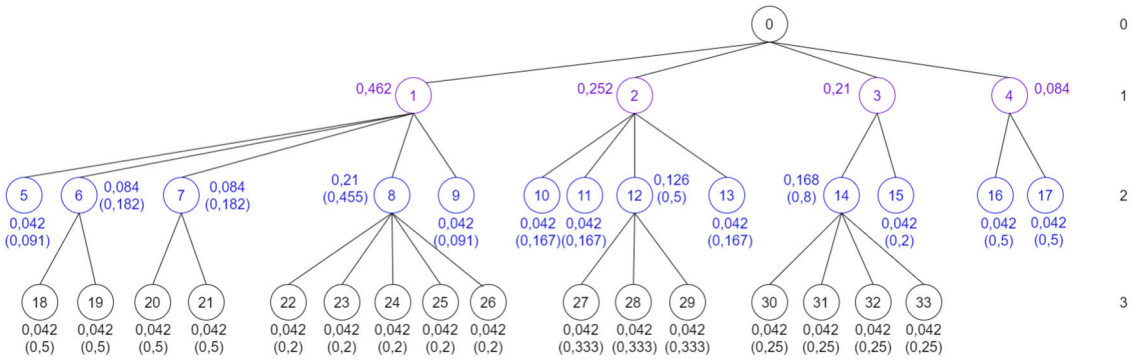

Рисунок 4. Граф параметров геометрической модели

Перечень параметров ГМ, подлежащих оценке:

1. Группировка элементов (геометрия);
2. Положение (геометрия, объект);
3. Габариты (геометрия, объект);
4. Положение (геометрия, окружение);
5. Габариты (геометрия, окружение);
6. Базовый цвет (геометрия, материалы);
7. Шероховатость (геометрия, материалы);
8. Отражение (геометрия, материалы);
9. Прозрачность (геометрия, материалы);
10. Эмиссия (геометрия, материалы);
11. Отбрасывание теней (геометрия);
12. Положение (камера);
13. Направление камеры (камера, параметры);
14. Объектив (камера, параметры);

15. Тип (камера, параметры);
16. focal depth (камера, параметры);
17. Привязка камеры к кривой;
18. Тип (освещение, параметры);
19. Множитель (освещение, параметры);
20. Цвет (освещение, параметры);
21. Создание теней (освещение, параметры);
22. Положение (совещение);
23. Ключи анимации камеры;
24. Ключи анимации модели.

С помощью метода экспертных оценок необходимо получить данные от специалистов, работающих в различных профессиональных программных средах геометрического моделирования, о сложности восстановления того или иного параметра ГМ, при передаче ее из одной программной среды в другую. Оценка проводилась методом непосредственных оценок по 10-балльной шкале, где 1 – параметр легко восстановить, 10 – параметр очень сложно восстановить. Результаты опроса представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Оценки экспертов**

i/j	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	7	4	9	5	9	6	3	8	3	4
2	6	8	9	5	7	5	6	8	3	9
3	7	9	9	2	7	9	5	7	6	5
4	10	9	9	4	8	6	6	7	4	8
5	9	10	10	5	8	6	8	9	5	8
6	9	6	8	3	8	7	8	9	2	6
7	7	7	9	6	8	8	4	8	3	8
8	7	3	10	5	8	8	5	8	7	5
9	9	4	8	4	8	8	2	8	7	6
10	8	10	8	5	9	4	8	8	2	2
11	6	10	9	3	9	4	4	8	6	8
12	6	6	10	5	8	2	8	7	2	4
13	7	7	9	3	8	9	4	9	3	8
14	8	4	10	8	8	4	7	9	8	7
15	6	2	8	4	10	4	4	10	5	7
16	9	5	9	7	8	8	5	8	7	4
17	9	2	9	5	7	3	3	9	3	7
18	8	4	9	5	8	5	6	7	7	8
19	6	2	10	7	8	8	5	9	6	7
20	9	3	10	5	9	4	8	8	8	7
21	10	3	9	4	9	6	7	8	3	5
22	10	5	9	3	8	3	7	10	4	3
23	6	4	9	4	8	8	5	9	2	6
24	6	6	9	4	8	4	6	9	3	4

В таблице 1 j – порядковый номер эксперта, i – порядковый номер параметра, определенного для оценки. Весовой коэффициент, отражающий только мнения экспертов, рассчитывается по формуле (1). Итоги расчета экспертных весов представлены в таблице 2.

На основе полученных результатов рассчитывается весовой коэффициент, отражающий мнения экспертов о сложности восстановления i-го параметра ГМ и особенности структуры графа параметров геометрических моделей по формуле (3). Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2. **Рассчитанные весовые коэффициенты**

№ эксперта	$w_i^{\text{С}}$	$w_i^{\text{Э}}$	$w_i^{\text{ЭС}}$
1	0,091	0,036	0,09
2	0,5	0,042	0,019

Окончание таблицы 2

№ эксперта	$w_i^{С}$	$w_i^{Э}$	$w_i^{ЭС}$
3	0,5	0,043	0,02
4	0,5	0,045	0,021
5	0,5	0,05	0,023
6	0,2	0,041	0,047
7	0,2	0,044	0,05
8	0,2	0,043	0,049
9	0,2	0,041	0,047
10	0,2	0,041	0,047
11	0,091	0,043	0,108
12	0,167	0,036	0,049
13	0,167	0,042	0,057
14	0,333	0,048	0,033
15	0,333	0,037	0,025
16	0,333	0,046	0,032
17	0,167	0,035	0,048
18	0,25	0,044	0,04
19	0,25	0,044	0,04
20	0,25	0,046	0,042
21	0,25	0,040	0,036
22	0,2	0,038	0,043
23	0,5	0,038	0,017
24	0,5	0,037	0,017

Модель была экспортирована во все форматы, представленные на экспорт, таким образом, необходимо проанализировать коэффициент передачи для 15 файлов:

- *.3ds
- *.abc
- *.ai
- *.ase
- *.dae
- *.dwf
- *.dwg
- *.dxf
- *.fbx
- *.flt
- *.igs
- *.obj
- *.pxproj
- *.stl
- *.wrl

Необходимо последовательно передать геометрическую модель из системы S1 (Autodesk 3ds Max 2019) в систему S2 (Blender 2.93.6) и оценить коэффициент передачи по каждому параметру для всех форматов файлов для расчета коэффициента искажения по формуле (4). Каждый экспортированный файл открывается в Blender. При импорте моделей выяснилось, что некоторые из них не поддерживаются, следовательно, коэффициент передачи всех параметров равен 0.

При экспорте модели в формате .fbx возникла ошибка «Version 6900 unsupported, must be 7100 or later», следовательно, можно считать, что данные не передались. Следует также сделать вывод о неудачной передаче сцены посредством формата .dae ввиду того, что его размер составляет 0 КБ.

Значит, коэффициент искажения для данных форматов будет следующим:

- K_{3ds}= 1
- K_{ai}= 1

- K_{ase}= 1
- K_{dae}= 1
- K_{dwf}= 1
- K_{dwg}= 1
- K_{dxf}= 1
- K_{fbx}= 1
- K_{flt}= 1
- K_{igs}= 1
- K_{pxproj}= 1
- K_{wrl}= 1

Файл .abc открылся в Blender. На изображении ниже представлен вид с камеры. Сразу стоит отметить, что передача материалов не удалась совсем. Размеры и положение геометрических примитивов соответствуют исходным. Ключи анимации передались практически все: камера движется по траектории, заданной в 3ds Max, контейнер поднимается, однако не опускается лестница. Камера определяется как перспективная (изначально target). Вероятно, дело в другом подходе к организации принципа камеры в продукте Blender. Следует отметить, что камера на всем протяжении анимации сфокусирована на контейнере. Объектив и сопутствующие параметры передались успешно. Что касается источника освещения, то удалось передать только его координаты.

Модель в формате .stl успешно импортировать в Blender, однако она импортировалась как единый объект. Отсутствует возможность проверки положения камеры и освещения для выставления оценок, однако делая выводы из габаритов результирующей полученной модели, можно сделать вывод о том, что источник освещения был проигнорирован при экспорте. Возможность отбрасывания теней отсутствует. Для проверки были добавлены камера и освещение.

Файл .obj успешно импортировался в Blender. Как и ожидалось, сцена импортировалась повернутой на -90 градусов относительно оси x. Камера, освещение и анимация отсутствуют. Выполненный рендер показал, что геометрия не отбрасывает тени. Была также попытка передать материалы. Базовые цвета изменились совершенно и распределились по непонятному признаку. На импортированных объектах имеется ряд переданных параметров, однако приходит мысль, что Blender попросту установил дефолтные значения.

Таблица 3. **Коэффициенты передачи модели**

Параметр (i)	k_i .abc	k_i .stl	k_i .obj
Геометрии			
Группировка элементов	1	0	0
Положение (объект)	1	1	1
Габариты (объект)	1	1	1
Положение (окружение)	1	1	1
Габариты (окружение)	1	1	1
Базовый цвет (материалы)	0	0	0,5
Шероховатость (материалы)	0	0	0,5
Отражение (материалы)	0	0	0
Прозрачность (материалы)	0	0	0
Эмиссия (материалы)	0	0	0,5
Отбрасывание теней	0,5	0	0
Камера			
Положение	1	0	0
Направление камеры	1	0	0
Объектив	1	0	0
Тип	0,5	0	0
focal depth	0	0	0
Привязка камеры к кривой	1	0	0

Окончание таблицы 3

Параметр (i)	k_i .abc	k_i .stl	k_i .obj
Освещение			
Тип	0	0	0
Множитель	0	0	0
Цвет	0	0	0
Создание теней	0	0	0
Положение	1	0	0
Анимация			
Ключи анимации камеры	1	0	0
Ключи анимации модели	0,5	0	0

Таким образом на основе полученных данных относительный объем потерь данных рассчитывается по формуле (5) и составляет K_{abc} = 0,505, K_{stl} = 0,917, K_{obj} = 0,885.

Обсуждение результатов

Подводя итоги проделанной работы можно сделать вывод, что для передачи сцены из Autodesk 3ds Max 2019 в Blender 2.93.6 возможно использовать форматы .abc, stl, .obj ввиду того, что остальные форматы, доступные в первой системе для экспорта, вторая система не поддерживает. Вопрос о возможности использования формата .fbx остается открытым ввиду того, что Blender указанной версии не поддерживает версию файла, которую установила первая система при экспорте, из-за чего требуется отдельная конвертация. В целом, относительно успешно с поставленной задачей справился только формат abc ввиду успешной передачи камеры и анимации, однако материалы им проигнорированы. Форматом .obj удалось меньшее число параметров, в то время как посредством формата .stl удалось передать лишь геометрию. Корректность передачи зависит как от выбранного формата, так и от особенностей реализации импорта/экспорта в конкретных программных продуктах, что явно демонстрируется на примерах форматов .fbx и .dae.

Проведенное исследование показало, что форматы, посредством которых возможен перенос из системы один в систему два, заведомо не имеют возможности описания определенных параметров. Из этого следует необходимость учета спецификации формата. С учетом этого данные заведомо могут потеряться в процессе переноса из-за различий реализации программного метода чтения и записи формата разработчиком программного продукта. Возникает необходимость комплексного анализа обозначенных подпрограмм на предмет реализации заявленных в спецификации поддерживаемых параметров.

Наряду с этим необходимо учитывать параметры геометрической модели, без успешного переноса которых дальнейшая поддержка моделей будет сопоставима с повторной разработкой модели в системе два. Так, в DCC средах основой является полигональная модель, обладающая материалами, нормалями, скелетом анимации и прочини параметрами, в то время как в CAD моделях важной составляющей является история построения модели, отсутствие которой значительно усложняет процесс внесения изменений в такую модель, что в перспективе может означать существенные трудо- и финансовые затраты на стадиях информационной поддержки жизненного цикла изделий. Это обуславливает необходимость в введении дополнительных параметров оценки передачи геометрической модели.

Выводы

Функционально-ориентированная оценка передачи и восстановления геометрических моделей является научно-обоснованным показателем передачи и восстановления геометрических моделей в профессиональных программных средах. По результатам проделанной работы предлагает введение дополнительных параметров расчета, отражающих особенности «нейтральных форматов» передачи данных. Основанные на спецификациях и стандартах форматы нередко имеют проблему “диалектов”. Проблема здесь – фактическая реализация этих стандартов в конкретном программном обеспечении.

Выбор оптимального пути переноса геометрических данных должен учитывать особенности каждого конкретного формата и его возможностей, а также ключевых параметров, при отсутствии которых рассмотрение определенного формата для передачи геометрической модели между системами нецелесообразно. Так, каждый частный случай расчета оценки передачи и восстановления ставит во главу определенный ряд параметров, без успешного переноса которых рассматривать определенный путь передачи является нецелесообразным.

Список литературы

1. Об эффективности обмена информацией между САПР / Л. И. Райкин, И. Л. Райкин, И. Н. Мерзляков и др. // Universum: технические науки. 2014. №2 (3). Ст. 4.

2. Филинских А. Д., Райкин Л. И. Функционально-ориентированная оценка передачи и восстановления геометрических моделей // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2014. №4. С. 176–179.

3. The Virtual Reality Modeling Language Specification // Stanford Computer Graphics Laboratory. URL: http://www.graphics.stanford.edu/courses/cs248-98-fall/Assignments/Assignment3/VRML2_Specification/spec/index.html

4. Методика переноса 3D-моделей между системами CAD и CAE / И. А. Севцов, А. А. Юдин, К. В. Жихарев, И. И. Кочегаров // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». Т. 1. Пенза: Пензенский государственный университет, 2016. С. 288–293.

5. Поставщик ПО для строительства Autodesk приостановил работу в России. // РБК.ru. 04.03.2022. URL: https://www.rbc.ru/politics/04/03/2022/6221b6209a7947f98925c8d7

6. Большаков В. П., Бочков А. Л., Лячек Ю. Т. Проблемы обмена графическими данными между CAD-системами // Компьютерные инструменты в образовании. 2013. №2. С. 37–46.

7. Филинских А. Д., Соснина О. А., Бойтяков А. А. Иерархическое пространство параметров геометрической модели // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. №2. С. 131–134.

8. Филинских А. Д., Бяшеров А. Х. Анализ передачи параметрической и графической информации на основе экспериментальных данных // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2012. №2. С. 164–166.

9. Галанина М. Н. Анализ перспектив импортозамещения программного обеспечения в области BIM-систем // КОГРАФ-2022: сборник материалов 32-й Всероссийской научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам, Нижний Новгород, 18–21 апреля 2022 года. Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2022. С. 95–102.

10. Журавлева Е. С., Томчинская Т. Н. Программное взаимодействие компонентов BIM на примере информационной системы НГТУ им. Р.Е. Алексеева // КОГРАФ-2022: сборник материалов 32-й Всероссийской научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам, Нижний Новгород, 18–21 апреля 2022 года. Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2022. С. 115–121.

11. Лахов А. Я., Лахов К. А. Конвертация библиотечных объектов двухконтурных геодезических оболочек // КОГРАФ-2020: сборник материалов 30-й Всероссийской научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам, Нижний Новгород, 13–16 апреля 2020 года. Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2020. С. 60–65.

12. Лахов А. Я. Трансляция геометрических моделей геодезических оболочек в нейтральный sat формат // Инженерный вестник Дона. 2018. №3 (50). Ст. 139.

13. Проблемы трансляции графических данных CAD-систем / С. Л. Кенин, В. Ф. Барабанов, А. М. Нужный, Н. И. Гребенникова // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. №3-1. С. 4–8.

14. Романова Е. Б., Гагаринов П. А. Конвертация данных из eCAD Altium Designer в MCAD Solid Edge // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 2. С. 178–184.

15. Романова Е. Б., Трифонова Т. А. Трансляция данных между системами EDA и MCAD // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 4. С. 288–293.