

Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“
Факултет по Математика и Информатика
Катедра „Компютърни Системи“

Александър Пламенов Пенев

*Отворени хибридни системи
за геометрично моделиране*

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд
за присъждане на образователна и научна степен “доктор”
в област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика,
професионално направление 4.6. Информатика и компютърни науки,
докторска програма Информатика

Научен ръководител: доц. д-р Димчо Димов

Рецензенти: проф. д-р Станимир Стоянов
проф. д-р Боян Бончев

Пловдив
2013

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от катедрения съвет на катедра „Компютърни системи“ на Факултета по математика и информатика при Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“ на 12.06.2013 г.

Дисертационният труд „Отворени хибридни системи за геометрично моделиране“ съдържа 141 страници.

Библиографията включва 76 източника. Списъкът на авторските публикации се състои от 5 заглавия.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в секретариата на Факултета по математика и информатика на ПУ „Паисий Хилендарски“, бул. „България“ № 236, Пловдив, каб. 330, всеки работен ден от 9:00 до 17:00ч.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 02.08.2013 г. в Заседателната зала (Нова сграда на Пловдивския университет, бул. „България“ № 236).

Автор: Александър Пламенов Пенев

Заглавие: Отворени хибридни системи за геометрично моделиране

Тираж 100 бр.

Пловдив, 2013 г.

СЪДЪРЖАНИЕ

Обща характеристика на дисертационния труд.....	4
Кратко съдържание на дисертационния труд.....	8
Глава 1.Обзор на системите за геометрично моделиране.....	8
1.1. Основни понятия.....	8
1.2. Представящи схеми. Представяния.....	9
1.3. Обзор на съвременните видове представяния в КГ.....	11
1.4. Хибридни системи.....	12
1.5. Изводи.....	13
Глава 2.Модел на отворена хибридна система за геометрично моделиране.....	15
2.1. Изисквания към системата.....	15
2.2. Модел (концепция) на ОХСГМ.....	16
2.3. Отворен хибриден модел на сцената.....	17
2.4. Интерактивно взаимодействие с отворен хибриден модел.....	18
2.5. Използване на съвременния графичен хардуер.....	20
2.6. Изводи.....	20
Глава 3.Архитектура и реализация на OpenF – прототип на софтуерна рамка за създаване на ОХСГМ.....	21
3.1. Архитектура на системата.....	21
3.2. Дизайн на прототипа на системата OpenF.....	22
1.5.1. Разширяващи модули.....	22
1.5.2. Търсене път на конверсия между представяния.....	23
1.5.3. Визуализация.....	24
1.5.4. Полигонизация.....	25
3.3. Обектен модел.....	25
3.4. Реализация на прототипа OpenF, документация, тестване.....	26
3.5. Изводи.....	26
Глава 4.Приложения на OpenF.....	27
4.1. Проста демонстрационна хибридна система за геометрично моделиране.....	27
4.2. Използване на OpenF за изследователски цели.....	27
4.3. Обучение и изследване на интереса към системата.....	27
4.4. Изводи.....	28
Преспективи.....	29
Апробация.....	29
Авторска справка.....	30
Публикации по дисертационния труд.....	31
Библиография.....	31

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Този дисертационен труд е посветен на архитектурата, дизайна, етапите на изграждане и възможните приложения на една отворена, гъвкава, разпределена, многопотребителска, хибридна система за геометрично моделиране базирана на отворена хибридна (нехомогенизирана) представяща схема.

Разглеждат се и прототипната реализация на експерименталната софтуерна рамка (framework) OpenF, предназначена за подпомагане изграждането на отворени хибридни системи за геометрично моделиране, и представляваща основна практическа програмна реализация на настоящата разработка.

Обект на изследването на този дисертационен труд са *хибридните представящи схеми в геометричното моделиране и системите за геометрично моделиране, базирани на тях.*

Предмет на изследване са *отворените хибридни (нехомогенизирани) представящи схеми и техните приложения, чрез използването на отворени хибридни системи за геометрично моделиране.*

Основната цел на настоящия дисертационен труд е *да се създаде модел на отворена хибридна система за геометрично моделиране, базирана на отворена хибридна (нехомогенизирана) представяща схема.*

Актуалност на проблематиката

Факт е, че една от най-използваните представящи схеми в геометричното моделиране, е граничното представяне (B-Rep). За него има разработени десетки алгоритми, съществено използващи неговите особености и удобства. Съществуват множество програмни системи и библиотеки, базирани на този метод за описание на геометрична информация (CAD/CAM/CAE, изследователски системи, системи за компютърна анимация, игри и др.). Създадени са хардуерни реализации, спомагащи по-бързата визуализация. Нещо повече, много често под геометрично моделиране се разбира (неправилно) именно използването на тази схема.

В последните години бурно се развиват изследванията и разработките в една сравнително нова представяща схема – така нареченото функционално представяне (Function(al) Representation, F-Rep) [1] [2] [3]. Тя се основава на описанието на телата от сцената с помощта на (неявни) функции, R-функции и др. Теоретично тя не е толкова нова и се появява още през 60^{-те} години в работите на В. Рвачев [4], [5]. Тази схема позволява лесно интегриране с елементи от други добре познати представящи схеми като CSG, B-Rep и др. Единствената сериозна до момента причина, поради която F-Rep не се е разпространила досега, е необходимостта от извършването на голям обем изчисления за получаването на резултати от някои от алгоритмите, като например алгоритмите за визуализация. Предимствата обаче са много повече, а и с нарастването на изчислителната мощност на компютърните системи този недостатък започва да губи своето значение. Практиката показва, че предимствата на различните представящи схеми се допълват взаимно в хибридните системи за гео-

метрично моделиране. Разбира се, една такава система трябва да бъде отворена по отношение на използваните представящи схеми, защото това би довело до по-голяма приложимост, съвместимост със съществуващите широко разпространени схеми, лесна адаптация и разширяване с евентуално нововъзникнали представящи схеми.

Напоследък наличието на повече възможности на приложенията се цени повече и тяхната скорост не е толкова важна. F-Rep е една от най-мощните известни представящи схеми в компютърната графика. Тя предлага лесна интеграция на възможности от други широко разпространени представящи схеми. Понякога F-Rep е много по-ефективна и по-икономична от B-Rep. Тези особености я правят много привлекателна за използването ѝ в бъдещите приложения. Единственият факт, който (засега) спира по-широкото разпространение на F-Rep е липсата на специализиран хардуер за бърза визуализация на F-Rep, базирани модели. Обаче с развитието на компютърните системи, графичните ускорители и GPGPU процесорите това скоро ще се промени [6] и ще отвори вратата за широкото приложение на F-Rep.

Факт е и че на практика всички съвременни системи за геометрично моделиране (например 3DS Max, Autodesk Maya, Blender и др.) използват (фиксиран) хибриден представящи схеми. Това показва широката приложимост на този тип схеми, т.е. може да се каже, че те са актуални от гледна точка на приложенията. Използват се добре познати фиксирани комбинации, които са хомогенизираны „на ръка“, и голяма част от алгоритмите и приложенията са съобразени с конкретната комбинация от представящи схеми. Това има някои предимства, с оглед развитие на системите, по-голяма свобода за потребителите им и по-голяма гъвкавост на представящите схеми. Системите, които използват по-богат набор от представящи схеми (позволяват сравнително лесно той да може да бъдат разширен), често са ограничени до използването само на някакъв алгоритъм (например визуализация). Такива системи за визуализация (POV-Ray [7] и други) са базирани на алгоритми от класа на Ray tracing ([8], [9]), който е силно непретенциозен към вида на описанието на сцената, която визуализира. Това не прави нехомогенизираните схеми по-неактуални, а напротив, това е още едно потвърждение, че е необходимо да се положат усилия за изследване на тази актуална тематика. Нехомогенизираните хибридни схеми за геометрично моделиране биха имали предимство най-вече от гледна точка на потребителите, защото те не трябва да се съобразяват с вида на схемата на използваните модели при желание за комбинирането им, или пък да трябва да конвертират „на ръка“ към едно от представящите (още повече, че при конвертиране може да се загуби невъзвратимо част от информацията в геометричните модели).

Друга тенденция в развитието на системите за геометрично моделиране е стремението да се оползотворяват напълно специализираните графични съвременни софтуерни и хардуерни средства (като например OpenGL, OpenCL, CPU, GPU, GPGPU, многоядрени CPU, клъстери от компютърни системи, гридове, cloud инфраструктура и др.).

Всичко казано до тук води до извода за актуалността на изследванията в областта на хибридните/хетерогенните системи и в частност системите за гео-

метрично моделиране. Създаването и експериментите със системи от този вид е много актуално и е със силна степен на приложимост в практиката.

Цели и задачи на дисертационния труд

Основната цел на настоящия дисертационен труд е *да се създаде модел на отворена хибридна система за геометрично моделиране, базирана на отворена хибридна (нехомогенизирана) представяща схема*. С помощта на този вид системи ще може да се изследват различните аспекти на F-Rep, връзката му с другите известни представящи схеми и хибридните представящи схеми в геометричното моделиране. Разбира се, като доказателство за възможността за изграждане на такива системи на базата на създадения модел, ще бъде изграден прототип на софтуерна рамка (framework) OpenF за разработка на ОХСГМ и чрез него ще бъдат създадени конкретни приложения на практика.

Основни подцели и задачи:

1. Да се направи обзор на представящите схеми в геометричното моделиране, както и на системите за геометрично моделиране. Да се направи анализ и сравнение на възможностите, предимствата и недостатъците на (фиксираните) хибридни схеми и хибридните системи за геометрично моделиране (ХСГМ).
 - 1.1. Да се направят анализ и описание на известните представящи схеми в съвременните системи за геометрично моделиране.
 - 1.2. Да се направят анализ и описание на съществуващите хибридни схеми.
 - 1.3. Да се направят анализ и описание на съществуващите хибридни системи, свързани с компютърната графика.
2. Да се създаде модел (концепция) на отворена хибридна система за геометрично моделиране (ОХСГМ), базирана на отворена хибридна представяща схема (ОХПС).
 - 2.1. Да се дефинират изисквания към ОХСГМ, базирана на ОХПС.
 - 2.2. Да се създаде модел (концепция) за отворена хибридна представяща схема (ОХПС), т.нар. отворен хибриден граф на сцената (ОХГС).
 - 2.3. Да се създаде концепция за начина на взаимодействие на потребителите с отворена хибридна представяща схема (ОХПС/ОХГС).
 - 2.4. Да се създаде концепция за начините за използване на съвременен графичен и друг хардуер в ОХСГМ.
3. Да се проектира, реализира и тества прототип на софтуерна рамка (framework) OpenF за създаване на ОХСГМ.
 - 3.1. Да се избере на архитектура и да се проектира на прототипа на софтуерната рамка OpenF с използването на добри практики и съвременни методи за обектно-ориентиран дизайн (шаблони за дизайн и други).
 - 3.2. Да се реализира, документира и тества прототип на системата OpenF –

Ядро и набор от основни разширяващи модули (B-Rep, F-Rep, Ray tracing визуализация, полигонизация, визуализация на полигонални модели с OpenGL и др.). Тестването да е на базата на система от тестови случаи.

4. Да се използва на практика прототипът на софтуерна рамка OpenF за учебни, изследователски и приложни цели, което да докаже предимствата на ОХСГМ, базирани на ОХПС.
 - 4.1. Да реализира проста демонстрационна система за геометрично моделиране (наречена OpenStudio) с използването на OpenF – Ядро. Да се реализират други приложения доказващи приложимостта на модела и на софтуерната рамка за практически/приложни цели.
 - 4.2. Да се използва системата за изследователски цели и да се оцени приложимостта ѝ при изследване на F-Rep.
 - 4.3. Да се използва системата за учебни/образователни цели. Да се оцени интереса на студентите при представянето на системата. Да се използва системата (или части от нея) за основа на дипломни работи и други студентски проекти.

Структура на дисертационния труд

В глава 1 на дисертационния труд е направен обзор на някои от най-важните и най-използвани представящите схеми в съвременните системи за геометрично моделиране. Направено е проучване и сравнение на системите за геометрично моделиране. Анализирани са и са сравнени възможностите, предимствата и недостатъците на (фиксираните) хибридни схеми и хибридните системи за геометрично моделиране.

В глава 2 е разработен и описан модел (концепция) на отворена хибридна система за геометрично моделиране (ОХСГМ), базирана на отворена хибридна представяща схема (ОХПС).

В глава 3 са разгледани архитектурата и реализацията на прототип на софтуерна рамка (framework) OpenF, предназначена за основа и лесно създаване на ОХСГМ, базирани на ОХПС.

В глава 4 са описани приложенията на OpenF при създаването на няколко конкретни ОХСГМ и някои други резултати. Те показват приложимостта на разработения модел на ОХСГМ, както и неговите предимства.

В заключението е направено обобщение на постигнатите резултати по целите и са описани възможностите за бъдещо развитие.

КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ОБЗОР НА СИСТЕМИТЕ ЗА ГЕОМЕТРИЧНО МОДЕЛИРАНЕ

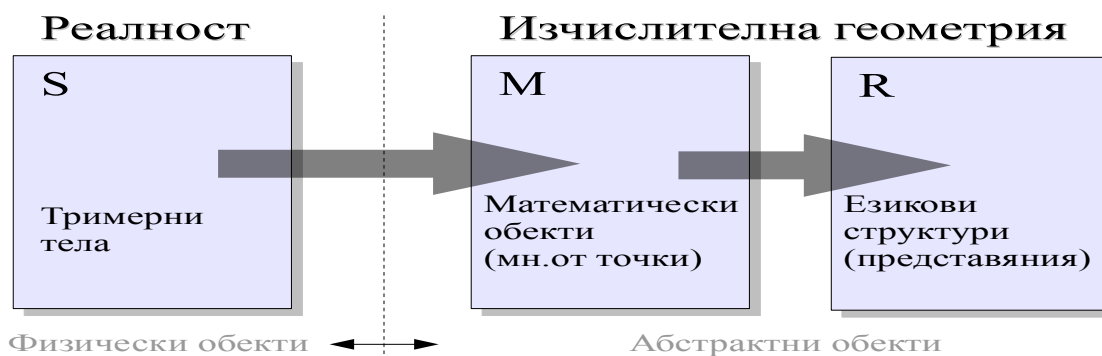
В глава 1 на дисертационния труд е направен обзор на някои от най-важните и най-използвани представящи схеми в съвременните системи за геометрично моделиране. Направено е проучване и сравнение на системите за геометрично моделиране. Направен е анализ и сравнение на възможностите, предимствата и недостатъците на (фиксираните) хибридни схеми и хибридните системи за геометрично моделиране. Целта е да се натрупат знания за съществуващите системи за геометрично моделиране и да се набележат свойства и характеристики, които са техни силни или слаби страни. Това ще спомогне за създаването на концепция за отворена хибридна система за геометрично моделиране, базирана на отворена хибридна представяща схема.

1.1. Основни понятия

Едно от основните понятия в тематиката е понятието *Геометрично моделиране*.

Деф. Геометрично моделиране: Геометричното моделиране включва теории, методи и системи, насочени към създаването на информационно пълни представяния на тримерни реални обекти, които дават възможност да се изчисли (по възможност автоматично) всяко добре определено геометрично свойство на обектите, които те описват.

Един от изводите направени в тази глава са, че този дисертационен труд се стреми да разшири методите за моделиране на тела и да опрости създаването на гъвкави системи за геометрично моделиране с по-голяма приложимост в практиката. Основната цел на този дисертационен труд е насочена към изследвания в областта на геометричното моделиране и системите за геометрично моделиране.



Моделирането на реални тела (тримерни тела) в геометричното моделиране обикновено се извършва в двуетапен процес (Фиг 1.1). Първо телата се моделират в математическото пространство чрез математически обекти (множества от точки).

Второ тези математически обекти се описват с информатични модели (езикови структури или представяния). Първият етап се нарича *метод на моделиране*, а вторият етап се нарича *метод на представяне* или *схема на представяне*. [10]

От гледна точка на геометричното моделиране се интересуваме само от общите свойства на множеството от (тримерни) тела. Това множество се нарича геометрична информация, т.е. този термин обозначава представяща схема, използвана в областта на геометричното моделиране. [11]

Деф. Геометрична информация: Геометрична информация се нарича съвкупността от атрибутни класове, чиято съвкупност се възприемана от човек като (тримерно) тяло. Ще я означаваме с наредената тройка:

$$G = (\{s\}, \{m\}, \{p\}),$$

където $\{s\}$ е множеството от пространствени форми, $\{m\}$ множеството от метрически характеристики, а $\{p\}$ множеството от параметрите задаващи местоположението и ориентацията.

Две от основните задачи на геометричното моделиране е откриването и пораждането на еквивалентни и тъждествени геометрични информации. [11]

Друго важно за Компютърната графика понятие е понятието визуализация. Най-общо алгоритмите за визуализация могат да се разделят на два вида:

- Визуализиращи от пространствената сцена, т.е. работещи в обектното пространство. Алгоритъмът Z-буфер [12] е типичен представител на този клас;
- Визуализиращи от наблюдателя, т.е. работещи в екранната област. Алгоритъмът Ray tracing [12] е типичен представител на този клас.

Разбира се може да има и смесени подходи, т.е. алгоритъмът да работи едновременно и в двете пространства – екранно и обектно.

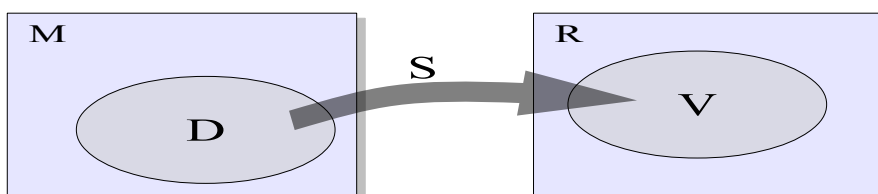
Една от важните задачи на реализацията на прототипната софтуерна рамка OpenF (който е и иедно от основните средства за постигане и доказване на целите) е да дава възможност за лесно създаване на визуализиращи алгоритми, базирани и на двата подхода. Това е се обуславя от факта, че различните подсхеми в хибридни-те схеми имат различна степен на лекота на реализация на различните видове алгоритми за визуализация.

В обзорната част на дисертационния труд са разгледани и други важни основни понятия и са направени някои изводи за връзката им с целите и задачите решавани в следващите глави.

1.2. Представящи схеми. Представяния

Нека да разгледаме по-подробно втория етап от двустъпковия процес при геометричното моделиране (Фиг 1.2).

Две от централните за дисертационния труд понятия са *Представяне* и *Представяща схема*.



Фиг 1.2: Схема на представяне

Деф. Представяне: Представяне на абстрактен обект ще наричаме синтактично коректна символна структура, изградена от знаците на някаква азбука, съгласно крайно множество правила.

Съвкупността от тези правила се нарича *метод на представяне, схема за представяне* или *представяща схема* [11].

Деф. Представяща схема: Представяща схема се нарича всяко изображение S на M в R .

$$S: M \rightarrow R,$$

където M е математическото пространство, а R е пространството от представяния. Дефиниционната област на S означаваме с D , а областта от стойностите – с V .

Важен въпрос възниква, когато имаме повече от една представяща схема, защото в практиката класическите представящи схеми никога не се използват чист вид, а винаги се комбинират по някакъв отнапред избран/фиксиран начин. Възникват въпросите: Дали можем да преобразуваме (и как) представяния от едната в представяния от другата и обратно? При какви условия? Освен това в практиката често се използват йерархии от представяния (от най-високо до най-ниско ниво на абстракция), между които също трябва да имаме конвертиране.

Изводи и оценки: В този дисертационен труд акцентираме основно на т.нар. хибридни представящи схеми [10], които представляват представящи схеми съставени от повече от една други схеми. Различават се два големи класа хибридни схеми – хомогенизирани и нехомогенизирани. Първите могат да се разглеждат като една неделима (по-сложна) схема, без явно разграничаване на две или повечето схеми, от които е съставена хибридната схема. Обикновено това става „на ръка“, т.е. предварително схемата се проектира с всичките аспекти на обединението, както и със създаване на алгоритмите, които ще обработват представянията. Във втория съставната схема е просто обединение на елементите си. Това може да става по два различни начина: чрез съвкупност (обединение) и/или влагане на схемите (вложената схема описва някои атрибути от елементите на схемата, в която влагаме).

Нехомогенизираните хибридни представящи схеми са един от основните предмети на изследването на този дисертационен труд.

1.3. Обзор на съвременните видове представяния в КГ

Една от най-често използваните представящи схеми в геометричното моделиране и компютърната графика е граничното представяне (Boundary Representation, B-Rep [11] [10] [12]). Една от основните причини за това е неговата простота, както и съществуването на специализиран графичен хардуер (графични ускорители), който реализира бърза визуализация на B-Rep базирани модели (сцени).

Друга представяща схема развиваща се в последните години е F-Rep. В дисертационния труд са разгледани някои базови концепции на F-Rep ([1], [13]) и R-функциите ([4], [14], [15], [16], [17]), използвани в компютърната графика [18]. R-функциите [5] са реални функции на реални променливи, които притежават някои от свойствата на логическите функции (използва се бинарна или тернарна логика). Реална функция на реални параметри се нарича R-функция, ако тя сменя знака си само тогава, когато поне един от нейните параметри сменя знака си. Тези функции се използват за конструктивно създаване на сложни тела, на базата на теоретико-множествени операции.

Двете представящи схеми (B-Rep и F-Rep) са задължителни кандидати за реализация и експерименти за съвместното им използване.

В тази глава са разгледани и някои важни класически и съвременни представящи схеми. Описани са основната идея и тяхните предимства и недостатъци. Разгледани са следните представящи схеми:

- Конструктивна геометрия на твърди тела (CSG) [11], [12], [19], [20];
- Мета-топчета (Metaballs, Blobby objects) [21];
- Базирани на особености модели (Feature based models) [12];
- Параметрични модели (Parametric models) [22], [12];
- Изброяване на заетото пространство (Spatial occupancy, Voxel) ([23], [12], [11]);
- Разбиване на клетки (Cell Decomposition) [24];
- Осмично дърво (Octal Tree) [11], [12];
- Запълващи продукции (Sweeping) [12];
- Системи частици (Particle systems) [12], [25].

Предимствата и недостатъците на тези схеми могат да се използват ефективно в така наречените хибридни представящи схеми (хибридни схеми), разглеждани в този дисертационен труд.

Идеята за хибридните схеми не е нова. Тя възниква сравнително рано в развитието на Компютърната графика. [10]

Деф. Хибридна представяща схема: Хибридни представящи схеми се наричат схеми за представяне, при които телата се описват чрез комбинация от две или повече представящи схеми.

Макар в литературата да не се срещат в явен вид много описания и теоретични изследвания на хибридни представящи схеми, все пак такива не липсват (често без

да се споменава хибридноста на схемата). Някои от тях могат да бъдат намерени в [10], [26], [27] и [28].

В системите за обработка на геометрична информация ефективната работа с външната памет е от съществено значение, особено когато имаме работа с много големи по обем модели. Съществуват много файловите формати. Те са важни за СГМ, но поради големия брой използвани в практиката формати, реализацията и поддръжката им няма да бъде част от прототипа на софтуерна рамка OpenF. Друг аспект на това разнообразие от формати е, че за работа с тях в системите за геометрично моделиране се налага въвеждане на йерархия от представяния [11], като това води до необходимостта от алгоритми, преобразуващи от едно представяне в друго. Това е един вид технологично обусловена необходимост от хибридноста.

1.4. Хибридни системи

Съвременните софтуерни продукти (системи) все по-често се стремят да използват всички ресурси на модерните компютърни системи. Освен класическия ресурс централен процесор (който в последните години става с все повече ядра и предлага същински паралелизъм на приложенията, които го използват), системите за геометрично моделиране използват и GPU за визуализация и други алгоритми, обработващи и даващи други видове информация за моделираните обекти. Стремешът е все повече от изчисленията да бъдат изпълнявани от високо паралелните GPU/GPGPU, разбира се, без това да изключва използването и на централния процесор. В миналото GPU извършваха основно бързи задачи за визуализация, а CPU бяха използвани за задачи по промяна на модела и високо качествена (по-бавна) визуализация (например с Ray tracing алгоритъма). С широкото навлизане на GPGPU тенденцията е системите за геометрично моделиране все повече да използват GPGPU с по-обща цел, да бъдат изпълнявани операции от един и същи тип както на централните, така и на графичните процесори. Друга тенденция е изпълняването на операциите в мрежова среда и оползотворяването на ресурсите на множество компютърни системи едновременно. Така визуализацията и другите алгоритми извършвани над моделите стават все по-бързи и дават възможност в реално време да се постигат все по-качествени и по-сложни изображения.

Много са примерите на комерсиални системи, използващи CPU и GPGPU за целите на геометричното моделиране над различни представяния на модели: 3DS Max, Photoshop, Maya и много други. Тези системи използват различни по вид елементи от компютърната система, за да извършват едни и същи операции над модела (при възможност паралелно). Такива системи ще наричаме хибридни/хетерогенни.

Деф. Хибридна система: Хибридна система се нарича система, съставена от два или повече разнотипни елемента, използвани при изпълнението на една и съща операция.

Тенденцията за навлизане на хибридни системи за геометрично моделиране става все по-често срещана и по-важна за приложенията на компютърната графика и

геометричното моделиране. Това е и една от основните причини темата на дисертационния труд да е свързана с този вид системи и една от подцелите да бъде именно проектирането и създаването на софтуерна рамка с подходяща архитектура и реализация. Идеята тази архитектура да бъде максимално отворена за разширения не е никак самоцелна, а би дала лесна възможност да бъдат включвани в подобен род системи все повече нови крайни изпълнители (изчислители), освен познатите и най-често използвани в практиката.

Има стотици системи, базирани на хибридният подход. Подробното разглеждане на всички е непосилна задача. В дисертационния труд са разгледани само някои от тях, като изборът е направен на база следните критерии: да поддържат и работят с повече от едно представяне, да са съвременни представители на широко разпространени (и различни) подкласове на системите за геометрично моделиране или да са такива, които реализират важни алгоритми, да имат механизми за разширяване на възможностите на системата, да използват под някаква форма специализиран графичен хардуер и др. След направено проучване бяха избрани следните пет системи (те имат различни цели, реализация и приложения), отговарящи на нашите критерии: HyperFun [29], OpenSceneGraph [30], PovRay [7], Autodesk Maya [31] и Blender [32]. В таблица 1 са представени резултатите от анализа на възможностите на тези системи (от гледна точка на целите на дисертацията).

Таблица 1: Сравнение на системите по поддържаните представяния и хибридность

N	Приложение/ Framework	Представяща схема								Хибридность	
		BRep	FRep	CSG	Voxel	Param.	Sweeping	Particles	Други	Представяне	Хардуер
1	HyperFun	-	+	+	+	~	+	-	~	+	~
2	POV-Ray	+	+	+	-	+	+	~	+	+	-
3	Autodesk Maya	+	-	+	-	+	+	+	~	+	+
4	Blender	+	-	~	-	-	+	+	+	+	+
5	OpenSceneGraph	+	-	+	~	-	-	+	~	+	~
6	OpenF	+	+	#	+	#	#	#	#	open	open

От направените и представени в таблицата проучвания се вижда, че хибридността в съвременните системи за геометрично моделиране не е новост, но повечето от тях се базират главно върху B-Rep (и CSG), като другите представяния са по-скоро допълнение. Там, където се поддържат повече от известните представящи схеми, обикновено основната цел е само визуализация (HyperFun, POV-Ray). Често наблюдавано явление е, че при наличие на механизми за разширяване на системите (plugins и др.) за безпроблемна поддръжка на повече представящи схеми, се използва подходът на хомогенизация на новите схеми в една основна (например към B-Rep или към F-Rep). Все още е рядкост използването на специализирания графичен хардуер хибридно, т.е. рядко има безпроблемна взаимозаменяема употреба на графичния и другия хардуер.

1.5. Изводи

От разгледаното в първа глава могат да се направят следните изводи, важни от гледна точка постигането на целите:

- Геометричната информация, като частен случай на информация, трябва и е

подлагана на всички видове информационни дейности. Оттук следва, че всички основни процеси в системите за геометрично моделиране могат да бъдат класифицирани като процеси по събиране, обработка, съхранение и разпространение на геометрична информация (или данни описващи тази информация). Това трябва да има пряко отражение при създаване на концепцията за ОХСГМ, базирана на ОХПС;

- Съществуват много различни представящи схеми, които се използват в съвременната компютърна графика. Не е изключено в бъдеще да възникват нови представящи схеми, основаващи се на идеи, неизползвани досега (така, както това е ставало много пъти досега). Те имат различни предимства и недостатъци. Предимствата и недостатъците на двете схеми могат да се използват ефективно в така наречените хибридни представящи схеми (хибридни схеми), разглеждани в този дисертационен труд;
- В този дисертационен труд акцентираме основно на изследването на т.нар. нехомогенизиран отворени хибридни представящи схеми. Това е обусловено от много фактори: почти всички СГМ използват ХПС, има необходимост от по-голяма гъвкавост и разнообразие на използваните представяния в СГМ, съществува технологично обусловена необходимост от хибридность;
- Една от важните задачи на СГМ е визуализацията. Подсхеми в хибридните схеми имат различна степен на лекота на реализация на видовете алгоритми за визуализация, затова една ОХСГМ, базирана на ОХПС трябва да предлага различни видове визуализации от различните класове (от обектното пространство и от екранното пространство). Библиотеки като OpenGL, OpenCL, трябва да са основни при реализацията на тези алгоритми;
- За бързо и лесно запълване на празнината от липсващ специализиран хардуер за визуализация чрез Ray tracing и за постигне най-високата степен на хибридность от гледна точка на реализацията, трябва да се създаде собствена Ray tracing подсистема, базирана на OpenCL и други силно преносими технологии (наричана по-нататък OpenRay);
- От направените проучвания се вижда, че хибридността в съвременните СГМ не е новост, но повечето от тях се базират главно на B-Rep (и CSG), като другите представяния са по-скоро допълнение. Повечето системи имат механизми за лесно модулно разширение на функционалността им (plugin и др.);
- В системите, в които се поддържат повече от известните представящи схеми, обикновено основната цел е само визуализация. За да има безпроблемна поддръжка на повече представящи схеми, се използва подходът на хомогенизация на новите схеми в една основна (например към B-Rep или към F-Rep). Тук основното предимство е по-лесната реализация, но има и много недостатъци;
- Една от важните задачи на дисертационното изследване е да се направи по-свободно (отворено) и с по-малко фиксирани ограничения създаването на модели в софтуерните системи и в частност СГМ.

В глава 2 на дисертационния труд е разработен и описан модел (концепция) на отворена хибридна система за геометрично моделиране (ОХСГМ), базирана на отворена хибридна представяща схема (ОХПС).

2.1. Изисквания към системата

Изводите от глава 1 бяха водещи при дефинирането на базовите изисквания този род системи. Изхождайки от формулираната основна цел, след проведен анализ, ОХСГМ, базирани на ОХПС, трябва да притежават следните характеристики/свойства [33]:

- Отвореност – възможност за разширение на системната функционалност в едно или повече направления;
- Хибридность – наличие и възможността за съвместна работа с повече от едно вътрешно представяне (хибридность от гледна точка на системите за геометрично моделиране);
- Гъвкавост – лесна адаптация при използването в различни приложения;
- Разпределеност/Хетерогенност – едновременна работа на части от системата на различни компютърни системи и/или различни нива и подсистеми в компютърните системи (специализиран хардуер, CPU, GPU, софтуер – хибридность от гледна точка на реализацията на системите);
- Многопотребителност – възможност за едновременна работа на множество от потребители със системата. Основни аспекти на многопотребителската работа са: независима и/или съвместна работа на повече потребители.

Тези свойства влияят върху избора на архитектура на системата (разгледана в точка 3.1) и са основни в концепцията за ОХСГМ.

На второ място този род системи трябва да позволява етапното им изграждане. Това означава, че изграждането трябва да стане [33]:

- Етапно – изграждане на системата на отделни последователни етапи, след завършването на всеки от които тя е работоспособна на съответното ниво, съобразно етапа. Етапите на развитие са три - системен, приложен и потребителски;
- От много разработчици (екипи) – реализирането на това свойство се постига чрез: слаба свързаност на подсистемите, ясно описана идеология за разработка, документиране, изграждане на системата с отворен код и др.;
- Без съществено значение на езика за програмиране и/или ОС – архитектурата и реализацията на системата не трябва да се базират на средства и технологии, обвързани с конкретната ОС или език за програмиране (доколкото това е възможно).

И накрая, този род системи трябва да могат да бъдат използвани за [33]:

- Изследователски цели;
- Учебни цели;
- Приложни цели.

Етапи на реализация

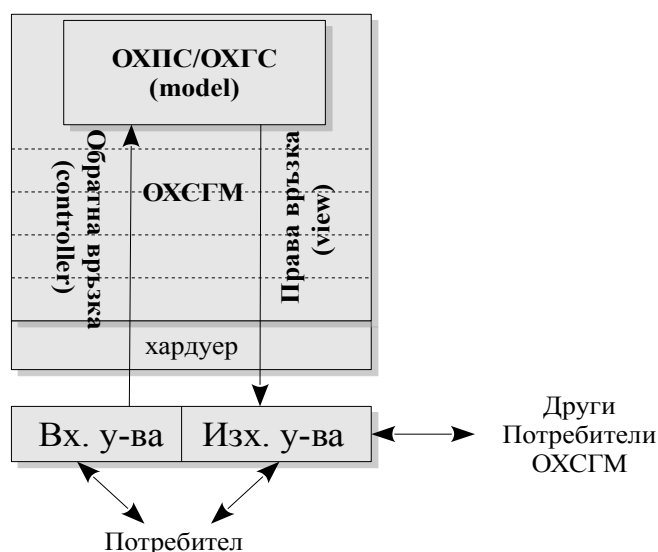
Поставените цели, както и желаните характеристики и архитектура на системата, определят три етапа на реализация [33]:

1. Системен – изграждане на Ядро (регистратори, конфигуратор, комуникация, трансформация, статистика, визуализация, интерактивна работа, съхранение, помощни подсистеми и др.);
2. Приложен – изграждане на основни елементи на системата (конвертори, комуникации и др.);
3. Потребителски – развитие, обучение и използване.

Програмната реализация (прототип на софтуерна рамка OpenF) в този дисертационен труд включва главно етапите Системен, Приложен – системна реализация, както и части от Приложен – приложна реализация и малки части от Потребителски. Реализацията на ядрото, модулите, примерните приложения са реализирани на езика C# с използването на Mono .NET Framework и интегрираната средата за разработка MonoDevelop [34].

2.2. Модел (концепция) на ОХСГМ

На Фиг 2.1 е представена обща схема-концепция за ОХСГМ, базирана на ОХПС. Тук основните елементи са: ОХПС/ОХГС (модел – представлява слабо-свързана съвкупност от елементи/подмодела на сцената, които може да са в различни представяния), ОХСГМ (СГМ, поддържаща в себе си модела и реализираща слабо-свързани визуализиращи и моделиращи подсистеми, която използва специализирания и друг наличен в компютърната система хардуер), Входните и изходните устройства (осъществяват пряка връзка с потребителя на системата и имат еквива-

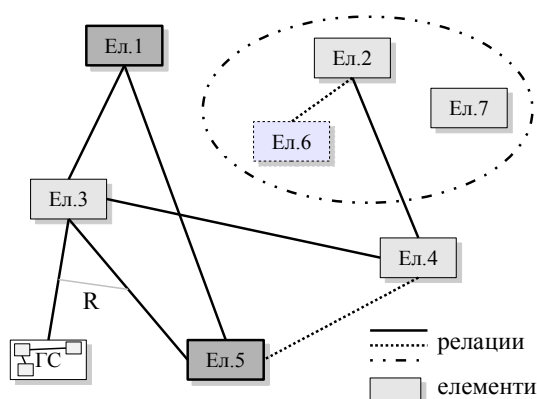


Фиг 2.1: Концепция за ОХСГМ, базирана на ОХПС

лентни логически елементи в ОХСГМ), Връзки между елементите на системата (изобразени чрез стрелки на схемата), Връзки между системата и други аналогични системи. ОХСГМ е разделена на 5 абстрактни слоя/виртуални машини (дисплеен, геометричен, структурен, семантичен и диалогов) съгласно методологията за геометрично моделиране ([11], [35]), като те имат по-скоро логически характер. Те си взаимодействат и формират модел на ОХСГМ, базирана на ОХПС/ОХГС.

2.3. Отворен хибриден модел на сцената

Хибридният модел на сцената може да се дефинира чрез използването на шаблона Композиция по следния начин: използваме един основен клас/интерфейс за графичен/геометричен обект (елемент) и негови наследници ще бъдат всички видове графични/геометрични елементи и релации (т.е. релацията също е вид елемент или графичният/геометричният елемент е релация на неговите точки), като един от основните наследници е *Граф на сцената*, т.е. специален вид композитен елемент, съдържащ в себе си и управляващ (ефективно) поделементи от базовия клас (или реализиращи базовия интерфейс за графичен/геометричен обект). Това означава, че *граф на сцената* е вид релация и задава йерархична структура на сцената, освен това той може да съдържа като поделемент други графи на сцената, т.е. подсцени. Графът на сцената е съвкупност от обекти (в различно представяне) и релации (над един или повече елемента, включително и релации на релации и т.н.). Това допуска лесно добавяне на нови елементи/представяния/релации, произволно сложна структура на графа, еднотипен начин за работа над елементи и релации. Видът на представянето се определя от това дали класът на елемента реализира даден интерфейс. Дефинирането на интерфейс за всяко представяне дава възможност елементът да е в повече от едно представяне едновременно и да бъде скрита вътрешната структура данни, която го описва.



Фиг 2.2: Граф на сцената (отворен хибриден модел)

На Фиг 2.2 е показан примерен граф на сцената. Елементите са изобразени с правоъгълници, а релациите – с линии, свързващи или ограждащи елементите, които са в съответната релация.

Елементите Ел.1 и Ел.5 са в едно представяне, например F-Rep. Ел.2, Ел.3, Ел.4 и Ел.7 са в друго, например B-Rep. Ел.6 е в трети вид представяне. Елементът ГС е подграф на сцена, т.е. подсцена. Това разделение позволява системите за гео-

метрично моделиране да зареждат в паметта само част от сцената, базирана на някакви критерии (например видимост, т.е. само видимите в момента от наблюдателя части на графа, само част от слоевете, на които може да е разделена сцената, само първо ниво на графа, т.е. без подсцените като те се зареждат при необходимост или при команда от потребителя и др.). Може да се въведат различни видове елементи (не само с различно представяне), които имат различно поведение, например прокси (ргоху) елементи, които зареждат подсцените при задаване на парола от потребителя (или ако той има права) и т.н. Част от елементите може да са „кеш“ на други елементи и да се ползват при необходимост. Например, ако един F-Rep елемент е бил полигонизиран, то съответния му B-Rep елемент може да се добави в сцената (без да се визуализира) и впоследствие да бъде ползван без повторна полигонизация. Друг вид възможни елементи са елементи-декоратори и елементи-адаптери, чрез които може да се модифицира даден елемент или да се внесе в системата елемент, който съществува, но не е предвиден за ползване в тази система.

В сцената (графа на сцената) може да има различни релации, като техният вид и брой не е ограничен. Например на фигурата Ел.1 и Ел.3 са в един вид релация, както и Ел.3 и Ел.5. Ел.4 и Ел.5 са в друг вид (отново бинарна) релация. Ел.2, Ел.6 и Ел.7 са в релация, която не е бинарна (например те са групирани). Може да съществуват и унарни релации. Примери за видове релации са: Група (набор от елементи разглеждани от системата като един или свързани или неделими един от друг), Кеш (един елемент е кеш на друг), Версия (един елемент е по-нова версия на друг, т.е. релацията „помни“ промяната на елемента в сцената), Релации-ускоряващи структури (kd-дървета и други) и др. На Фиг 2.2 с R е отбелязана релация между две други релации. Ако приложението го изисква, могат да бъдат създадени и релации между елементи и релации (това не е изненадващо, тъй като моделът не прави разлика между графичен обект и релация, т.е. всички те са елементи на модела). Какво означават и как ще се ползват те, зависи от семантиката на конкретната СГМ.

2.4. Интерактивно взаимодействие с отворен хибриден модел

Интерактивното взаимодействие в отворени хибридни модели не може да се дефинира, както ако имаме модел със строго дефиниран еднороден състав и структурата. За да достигнем до обща идея за интерактивно взаимодействие, валидно и за отворените хибридни модели, ще разгледаме някои частни случаи при работа с известните „фиксиран“ представяния (B-Rep и F-Rep) и ще направим изводи, такива че обобщението да е валидно и за еднородните модели, и за хибридите.

Ако имаме само гранично представяне (B-Rep), то съставът на модела (системата) е от върхове, свързани с ребра, определящи лица, от които са изградени телата и цялата сцена (например върхове, страни, триъгълници и др.), а структурата на сцената е определена от комбинаторна структура, описваща съответствието между тези елементи [12] [11] (може да има групиране на телата и други). В този случай интерактивното взаимодействие става, като потребителят избира елементите (групи, тела, лица, ребра или върхове) и изменя характеристиките им като местоположение, цвят и др. Потребителят може да създава и премахва части от модела (нови върхо-

ве, ребра, лица, тела и т.н.). Освен тези прости операции, над модела могат да се прилагат и още множество по-сложни, работещи над модела (върху целия модел или върху част от него) и специфични за приложната област или взаимствани от други представящи схеми операции (обединение/сечение на тела – от CSG, намиране на ротационни повърхности – от Sweeping и др.). След промяната се задейства визуализация на новата сцена (или част от нея), потребителят вижда резултата и отново издава други команди по промяна на модела и т.н.

Ако моделът е F-Rep, то в общия случай той е една функция (която дори може и да не е зададена аналитично). Тук ще разгледаме случая, в който имаме набор от функции, като сцената е съвкупност/обединение от всички тях. Това не е много различно от наличието на само една функция (защото винаги можем да ги обединим в една с помощта на R-функции), но е по-близко до логиката на работа на потребителите. В този случай състав на сцената са функциите (описващи телата или части от сцената), а структурата на сцената е определена отново от функциите и суперпозицията помежду им. Възможно е функциите да са съставени от подфункции (композиция и суперпозиция на функции) и/или да са свързани с R-функции, задаващи теоретико-множествени операции над тях, което внася допълнителна структура в модела. В този случай интерактивното взаимодействие става, като потребителят работи с модела (функциите) като цяло или ги модифицира, правейки суперпозиции на други функции и съществуващите в модела. Съществуващите в модела функции могат да станат параметър/параметри на ново добавените (например, ако решим да пресечем две тела, това означава да добавим нова R-функция, която има два параметъра и те са телата/функциите, които искаме да пресечем) или изменението може да е промяна/подмяна на параметър или подфункция на някоя от съществуващите в модела. Характеристики като форма, местоположение, цвят и др. могат да се променят за всяка точка от тялото или за тялото като цяло. Потребителят може да създава и премахва части от модела (нови функции). Тъй като в телата няма характерни специфични точки (както върховете в B-Rep) и части (както ребрата и страните/стените в B-Rep), то всички части в едно тяло са „равноправни“ по отношение на операции, прилагани върху тях, т.е. потребителят може да избере произволна точка от тялото и да го деформира чрез нея или да деформира цялото тяло с някоя нелинейна трансформация. За удобство на работа, върху модела може да се изобрази мрежа (uv-линии, работни криви и равнини и др.) за по-лесна и интуитивна работа с тялото. След промяната се задейства визуализация на новата сцена (или част от нея), потребителят вижда резултата и отново издава командите си по промяна на модела.

Като сравним подхода при взаимодействие с двата вида модели B-Rep и F-Rep и се абстрахираме от спецификите при всеки от тях, се получава следната схема, която може да бъде приложена при интерактивно взаимодействие с хибриден модел:

- Всяко представяне има набор от операции (алгоритми), които могат да се извършват над неговите елементи;
- Ако някой от алгоритмите не може да се приложи върху дадено представяне, то се прави опит то да се конвертира до представяне, върху което алгоритъмът

мът действия, и след това резултатът се връща обратно (ако е възможно);

- Когато дадена операция се прилага над няколко тела, то в този случай важи предната точка, но за всяко от телата;
- При промяна на модела се извършва необходимата визуализация.

Въпреки че реализацията на ХСГМ не е свързана пряко с шаблона MVC (Model-View-Controller) [36] [37], то той е силно препоръчителен при създаването на системи от подобен род и е използван при реализацията. Системата трябва да използва наличните конвертори между представянията, за да разшири възможните операции над различните представяния, без да трябва те да се реализират конкретно за всеки от тях. В [35] сме описали някои аспекти на реализацията на MVC шаблона в СГМ.

2.5. Използване на съвременния графичен хардуер

Понеже в хибридната/хетерогенната реализация на СГМ има възможност да се използва и специализиран хардуер, в дисертационния труд са дефинирани два подхода за използването на два класа хардуер: стандартен графичен и друг хардуер (чрез използване на стандартни API библиотеки) и специализиран хардуер (чрез идея за специален протокол).

Първият подход е за връзка със стандартни хардуерните устройства (например GPU, GPGPU и др.). При тях вече съществуват API библиотеки и конкретни драйвери, които извършват управлението и използването на специализирания хардуер. В този случай е добре тези API функции да се използват директно. Като пример за това могат да се дадат стандартите OpenGL и OpenCL. Те дават еднотипен директен достъп до голям набор специализирани хардуерни устройства. OpenCL предлага възможности за създаване на напълно хибридни изчисления в хетерогенна среда.

Вторият подход в прототипа на OpenF е реализиран само на идейно ниво.

2.6. Изводи

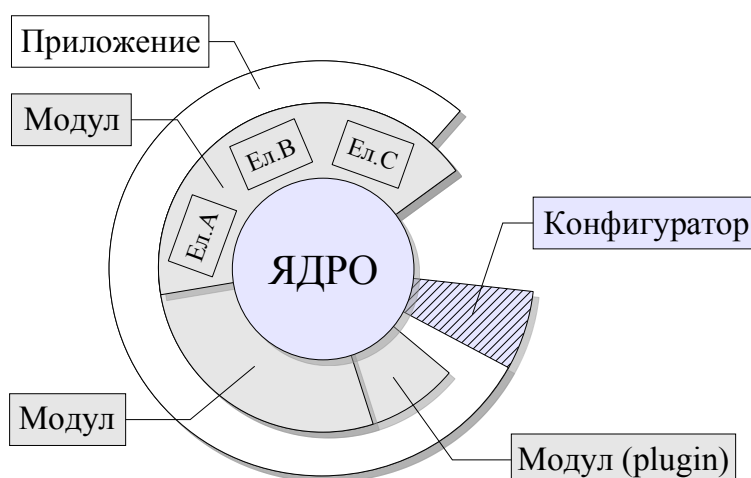
От разгледаното във втора глава могат да се направят следните изводи, важни от гледна точка постигането на целите:

- Изискванията към ОХСГМ водят към ограничаване на възможните решения при проектирането на архитектура на подобен род системи. Етапът проектиране и разработка трябва да се съобрази с тях. Повечето от изискванията са приложими за по-широк клас системи, но има и специфични за ОХСГМ;
- Важен елемент на всяка ОХПС са конверторите, налични в системата. Те принадлежат и се реализират основно в семантичния слой на модела, защото тяхното действие изисква преобразуване на представянията едно в друго със запазване на смисъла, т.е. запазване на геометричната информация;
- Създаденият модел на ОХСГМ, базирана на ОХПС, е сравнително слабо свързана система и за да се постигнат изискванията при реализация, трябва да се използват добри практики на архитектурни и други шаблони за дизайн;
- За да бъде една ОХПС хибридна, то в нея трябва да се използват поне две представящи схеми.

В глава 3 на дисертационния труд са описани архитектурата, проектирането на обектно-ориентиран дизайн и реализацията на прототип на софтуерна рамка (framework) OpenF за изграждане на отворени хибридни системи за геометрично моделиране, базирани на отворени хибридни представящи схеми. OpenF е предназначена за основа и лесно създаване на такива системи.

3.1. Архитектура на системата

Общата схема на архитектурата на системата е показана на Фиг 3.1 и се състои от три слоя: ядро, разширяващи модули (plugins) и приложения.



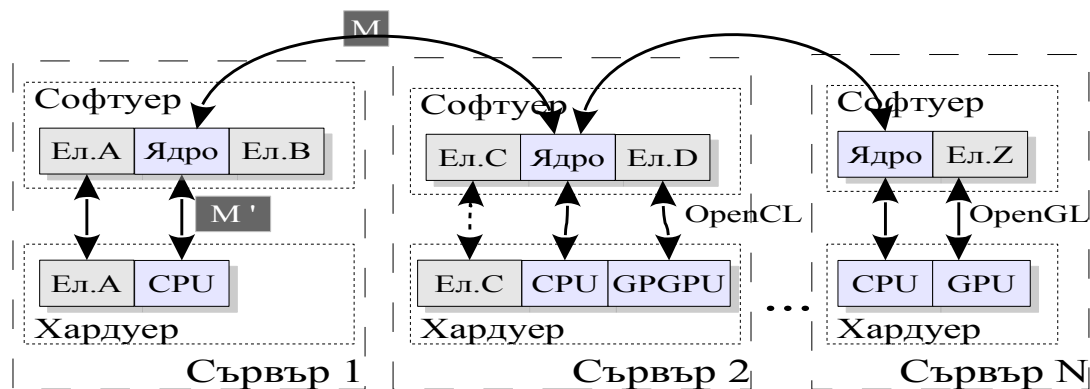
Фиг 3.1: Структура на отворената хибридна СГМ

Основните видове (класове) елементи на системата в зависимост от функцията си в нея са: Източници, Монитори, Преобразуватели, Съхранители, Системни – ядро, Регистратори, Конфигуратор и др. Тези видове елементи директно кореспондират с различните видове процеси в информационния процес, като са пречупени през погледа на обработката на геометрична информация.

На Фиг 3.2 е показан вертикалният разрез на разпределена система за геометрично моделиране, базирана на концепцията в описана в предишната глава.

На отделните компютърни системи работят копия на ядрото и елементите, налични в конкретната конфигурация. Комуникацията между елементите става посредством ядрата на базата на наличните регистрирани протоколи за обмен (комуникатори). На една компютърна система могат да работят едновременно няколко потребители, както и един потребител да ползва ресурсите на няколко системи. Вертикалният разрез демонстрира и възможностите части от елементите на системата да бъдат реализирани изцяло софтуерно, изцяло хардуерно или смесено.

Елементите А и С представляват модули с услуги в системата, които използват наличен специализиран хардуер и комуникират с него (изпращайки съобщенията M') чрез дефинираната в системата OpenF спецификация за връзка с хардуерни моду-



Фиг 3.2 Вертикален разрез на архитектурата на многопотребителската СГМ

ли. Елементите *B* и *Z* са изцяло софтуерно реализирани (това не изключва възможността някой от тях да може да използва специализиран хардуер, ако той съществува в компютърната система, на която се изпълнява). Елементът *D* използва хардуер като комуникира с него по специализиран протокол, специфичен за него (специализирано API като например OpenGL, OpenCL и др.). Ядрото на системата работи, използвайки ресурсите на централния процесор(и), и осигурява както интеграцията на елементите в нея така и комуникацията между отделните системи.

3.2. Дизайн на прототипа на системата *OpenF*

Дизайнът на прототипа на системата ще бъде извършен, следвайки целите, модела и архитектурата на ОХСГМ. Ще бъдат приложени и добрите практики за съвременен обектно-ориентиран дизайн и използване на шаблони за дизайн. Описани са следните модули като са разгледани тяхната функционалност: Абстрактно ядро – Стартов модул (Loader), Конфигурация, Система за разширяващи модули (Plugins), Услуги, Кеш и пул (буфер за повторно използване) на обекти (Cache & Pool), Фонови задачи, Дневник (Log) и Статистика. Освен изброените, в абстрактното ядро ще бъдат включени (но ще бъдат реализирани в разширяващи модули) още: Представяне, Елементите (източник, монитор, преобразовател, съхранител, приложение, подсистема), Комуникация, Визуализация, Полигонизация и други помощни или свързани с тях класове/интерфейси.

1.5.1. Разширяващи модули

Една от важите за централното свойство отвореност на този род системи е системата на разширяващите модули да е изградена на базата на йерархия от:

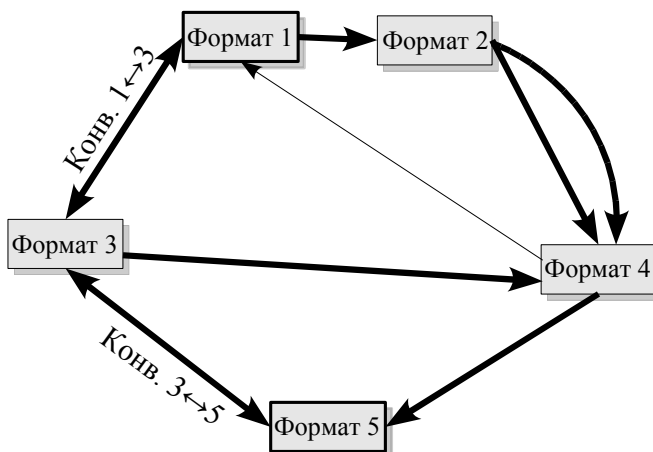
- *Услуга (Service)* – (обектен) интерфейс, предоставящ на използващите го набор от логически свързани методи, проектирани за/и извършващи услугата;
- *Доставчик (ServiceProvider)* – обект, доставящ една или повече Услуги, т.е. реализиращ един или повече интерфейси (на услуги). Доставчиците трябва да реализират специален вид услуга доставчик, т.е. доставчикът също е вид услуга. Методите на този интерфейс отговарят на въпроса дали дадена услуга се доставя/реализира от доставчика или кои са услугите, достъпни в този доставчик. Не всички интерфейси, реализирани от доставчика, е задължително да са услуги, предоставяни от него;

- *Контейнер (ServiceContainer)* – специализиран вид доставчик (кореспондира с понятието подсистема), който може да съдържа/съхранява/регистрава в себе си други доставчици на услуги и да предоставя предоставяните от тях услуги като свои (агрегира услугите).

В реализацията динамичните (разширяващи) модули са assembly съдържащи класове, доставящи услуги или набори от услуги. Зареждането и включването им в системата става с помощта на специална реализация на контейнер на услуги PluginServiceContainer. Той открива модулите и определя кои от техните услуги да включи в себе си (чрез използване на мета-информацията за модулите), като едновременно с това се опитва да разреши зависимостите между тях.

1.5.2. Търсене път на конверсия между представяния

Съществен елемент в системите с ОХПС е намирането на път за преобразуване на едно представяне в друго. Това обикновено се налага при изрично указание от потребителя или при необходимост от изпълнение на алгоритъм, който може да работи само с определен вид представяне.



Фиг 3.3: Намиране на пътища на конверсия между представяния

На Фиг 3.3 нагледно е показан пример, в който имаме обект в представяне *Формат 1* и желания формат е *Формат 5*. Стрелките означават наличните в системата алгоритми за пряко преобразуване между представянията. Виждаме, че в примера съществуват общо четири начина да се достигне от текущия до желания формат. Това са съответно $\Phi 1 \rightarrow \Phi 2 \rightarrow \Phi 4 \rightarrow \Phi 5$ (два пътя, защото между *Формат 2* и *Формат 4* има два директни конвертора), $\Phi 1 \rightarrow \Phi 3 \rightarrow \Phi 5$ и $\Phi 1 \rightarrow \Phi 3 \rightarrow \Phi 4 \rightarrow \Phi 5$. Също така при наличието на повече от един път/начин за конверсия, ние можем да искаме да намерим най-бързия или най-качествения измежду намерените пътища (както и път, отговарящ на някакво по-сложно изискване). Трябва също да се има предвид, че не винаги най-краткият път е най-добър.

Това е типична задача за търсене на най-добър път в ориентиран мулти граф. Решението ѝ е чрез „алгоритъма на вълната“ за намиране на най-добър път в граф.

За целите на намирането на оптимални пътища за конверсия, всеки алгоритъм за пряка конверсия трябва да има като допълнително описание набор от атрибути с

тегла, оценяващи неговите характеристики от вида бързодействие, качество на апроксимацията и др. На базата на тези атрибути се формира критерият за оценка и намиране на най-подходящ път – например сумата от атрибутите на бързодействие на конверторите в целия път от началния формат до крайния.

Резултатите от намерените пътища е удачно да се кешират за по-нататъшно използване без необходимост от търсене. Ключът за идентифициране на конвертора трябва да съдържа началния и крайния формат, вида критерии за качество, както и сумарното качество на конверсията.

При избора на структури от данни и алгоритми в реализацията е взето предвид, че броят на представянията ще бъде сравнително малък, може да има повече алгоритми за директна конверсия между две представяния, в хибридна система търсенето на оптимален път за конверсия може да се окаже много често прилаган алгоритъм, изпълнението на самите алгоритми на конверсия са с много по-голяма сложност и/или отнемат много повече ресурси и/или се изпълняват върху много по-голям обем от данни, отколкото при самото търсене на оптимален път на конверсия и др. Освен това много е вероятно най-късият път (т.е. с най-малко междинни формати) да се окаже и най-бърз, и най-качествен, затова използването на алгоритъма на вълната, разделен на две части (намиране на едно решение и използването на фонова задача за втората част), е добра идея. Търси се оптимален път до момента, в който се намери първия (обикновено – най-кратък) път, след което той се дава като резултат и едновременно с това се стартира фонова задача за намиране на останалите пътища. Същевременно може да се използва друга фонова задача, прилагаща алгоритъма на Дейкстра или друг подобен за предварително намиране на всички най-добри пътища и запомнянето им в кеша.

За целите на системата за геометрично моделиране и с цел изследване на F-Rep, както и на хибридните представящи схеми, чрез подходящи разширяващи модули в OpenF са включени два формата – F-Rep и B-Rep, както впоследствие и поне един конвертор помежду им.

1.5.3. Визуализация

Описаните в дисертационния труд принципи на визуализацията на B-Rep и F-Rep модели могат лесно да се обобщят. Реализацията на визуализацията (растеризация) за всички видове представяния може да се реализира чрез алгоритъма Ray tracing. Затова основният начин за визуализиране на (хибридни) сцени ще бъде от страна на наблюдателя и ще е на базата на преобразователи, използващи алгоритъма Ray tracing, който е удачно да бъде реализиран като подсистема. Единствената разлика при работата му върху различни по вид представяния може да се изолира в интерфейс-адаптер, който да бъде реализиран конкретно за всяко от тях. Интерфейсът включва методи за определяне на сечение на лъч с модела, намиране на вторични лъчи, получаване на физически характеристики в дадена точка от модела и др. На базата на тези методи Ray tracing може да работи без значение от модела (хибриден или не). Отделянето на алгоритъма в подсистема дава възможност за разширимост на методите, специфични за него, без това да утежнява и усложнява

основната система. Така например могат да се добавят модели на осветяване, модели на светлината, модели на генерирането на вторични лъчи и др. В прототипната реализация подсистемата за Ray tracing е наречена OpenRay (и тя е сравнително независима).

Поне два адаптера трябва да бъдат реализирани, за да може системата да се нарече хибридна – за F-Rep и B-Rep, които са достатъчни на първи етап на разработка. Това води до постигане на част от поставените цели.

1.5.4. Полигонизация

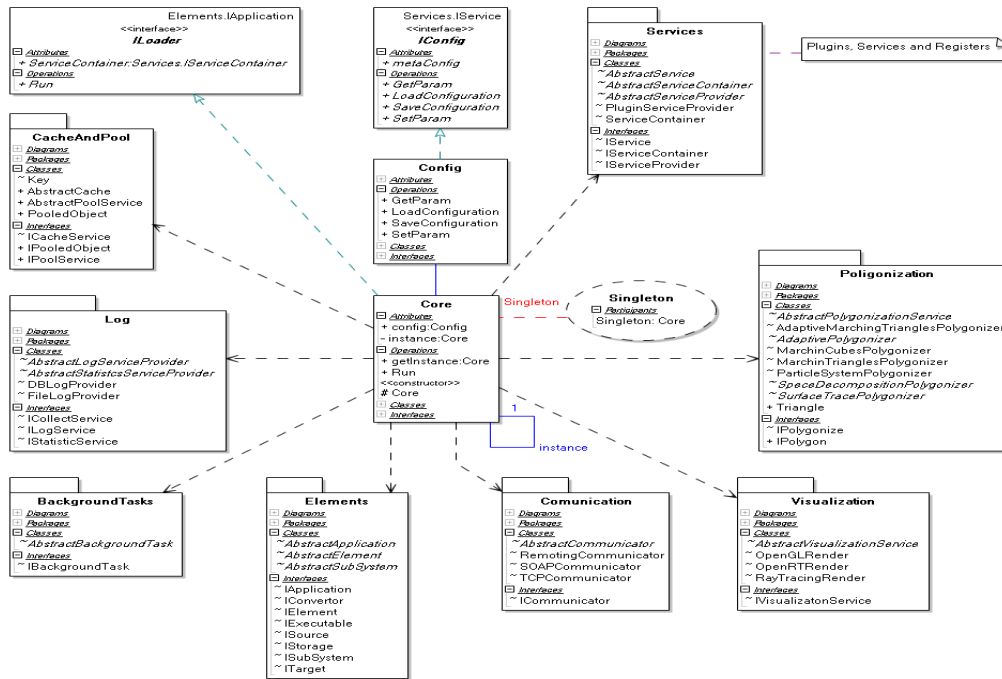
Полигонизацията (преобразуване/конвертиране на F-Rep или друг модел във B-Rep модел) може да се разглежда като специфичен вид визуализация (защото B-Rep моделите могат бързо да се визуализират). При нея моделът не се преобразува в растерно изображение, а във векторно. Обикновено това е набор от триъгълници и техните характеристики. Реализацията е обособена като специализиран тип преобразовател, преобразуващ модели, описани чрез някакво представяне, в B-Rep модели.

Описаните в дисертационния труд видове полигонизация на F-Rep модели подсказва, че полигонизацията трябва да бъде реализирана като подсистема. Отделянето на алгоритъма в подсистема дава възможност за разширимост на методите, специфични за него, без това да утежнява и усложнява основната система. Така например могат да се добавят адаптивни методи за полигонизация на модели, адаптивно полигонизиране, базирано на негеометричните характеристики на модела и др.

Наличието на поне един метод за полигонизиране на F-Rep модели води до постигане на част от поставените цели. Полигонизацията може да се използва и за визуализация.

3.3. Обектен модел

При разработката на обектния модел на прототипа OpenF са използвани някои добре известни шаблони за дизайн на обектно-ориентирани системи [38]. Те ще бъдат конкретизирани и допълнени за целите на реализираната система. Описанието на интерфейсите, класовете, както и тяхната взаимовръзка и взаимодействие в дисертационния труд е направено с помощта на UML диаграми. Фиг 3.4 показва базовите класове и пакети включени в ядрото на прототипната реализация.



Фиг 3.4: UML пакет OpenF.Core

3.4. Реализация на прототипа OpenF, документация, тестване

След проектирането на дадена система следва практическото реализиране на частите и модулите на системата чрез език за програмиране. Практическата реализация на прототип на системата OpenF е извършвана и на C#. Системата е подробно документирана. По време на реализацията на OpenF беше използвана системата NUnit за създаването на набор от тестови случаи за автоматизирана проверка на коректността и работоспособността на системата. Този пакет от тестови случаи помага и за запазване на стабилността на системата при внасяне на изменения в нея.

3.5. Изводи

От описаното в трета глава могат да се направят следните изводи:

- Архитектурата на ОХСГМ, базирана на ОХПС, следва логиката на модела, разгледан в предишната глава;
- Дизайнът и обектният модел са изпълнени с използването на добри практики и шаблони за дизайн на обектно-ориентирани системи;
- Реализиран е прототип на софтуерна рамка OpenF, подпомагаща създаването на ОХСГМ, базирани на ОХПС. Тя е добра основа за реализация на конкретни системи за геометрично моделиране.

В глава 4 на дисертационния труд са описани приложенията на прототипа на софтуерна рамка OpenF при създаването на няколко конкретни ОХСГМ, както и някои други резултати. Те показват приложимостта на разработения модел на ОХСГМ, базирана на ОХПС, както и неговите предимства.

4.1. Проста демонстрационна хибридна система за геометрично моделиране

В процеса на разработка и развитие на OpenF беше реализирана проста демонстрационна система за геометрично моделиране (наречена OpenStudio) с използването на OpenF – Ядро и основните му разширяващи модули и настройки, необходими за системата. Системата OpenStudio е изградена на основните принципи залегнали в тази разработка.

Чрез нея могат да се изпробват и различните аспекти на отворените хибридни представящи схеми, интерактивната работа с хибриден модел на сцената. Работата на много потребители едновременно с един и същ модел в разпределена среда е реализиран частично.

В реализацията ѝ са приложени някои от концепциите за изграждане на графичен потребителски интерфейс (в случая реализиран като набор от услуги) и разделянето на модела, визуализацията и обработката (MVC подхода).

Реализацията използва следните технологии: .Net Framework, C#, GTK#, OpenTK (binding на OpenGL за .Net), OpenCL, Ray Tracing, MVC и др.

4.2. Използване на OpenF за изследователски цели

Наред с многото изследвани и решени проблеми, във F-Rep съществуват и множество неизследвани проблеми или такива с недостатъчно добри решения.

Взаимодействието на потребителя с F-Rep модел е също недобре изследван проблем, който би могъл успешно да се разгледа и реши със системата. Решението на основните положения в този проблем може да бъде видяно в точка 2.4. Това е една от двете изследователски задачи свързани с F-Rep и решени до голяма степен с използването на OpenF. Втората изследователска задача е поставянето на основата на експериментите за опростяване на F-Rep моделите/функциите. Нейните базови концепции са описани в тази глава на дисертационния труд.

Това показва, че OpenF може и се използва за изследователски цели. Приложимостта ѝ при изследване на F-Rep беше доказана на практика.

4.3. Обучение и изследване на интереса към системата

По време на това дисертационно изследване OpenF беше използвана за обучение и за повишаване на интереса на студентите към предмета „Компютърна графика“ и към обучението като цяло.

Беше изследван интереса на студентите към подобен род системи. Резултатите са описани в част от глава 4. Заключение от проведеното изследване на интереса на студентите е, че сегашното обучение по „Компютърна графика“ обхваща достатъчно основни области и е на добро ниво. То дава необходимите знания и умения. Приложението на системата OpenF има потенциал за разширение в областите извън базовия курс по „Компютърна графика“. Трябва да се използват характеристиките на OpenF, за да се засили още повече използването му в обучението, където е възможно, с цел още по-голямо повишаване на интереса.

Наред с това се забелязват и други насоки за усъвършенстване на обучението: предлагане на стимули при допълнителни занимания с „Компютърна графика“; засилване на изучаването на повече новости; по-засилена работа с изявени студенти; по-тясна връзка на обучението с научните изследвания и др.

Освен всичко друго през последните години бяха разработени множество дипломни работи, свързани с областта на този дисертационен труд. Един от най-новаторските проекти, използващ много голяма част от концепциите и софтуерната рамка OpenF, беше „F-Rep Designer“ – система за геометрично моделиране, базирана изцяло и само на представящата схема F-Rep и използваща визуализация, базирана на Ray tracing.

Друг проект, разработван съвместно с дипломанти, беше SolidOpt [39] [40] – система за автоматизирана оптимизация на .NET приложения. В тази система бяха използвани (и доразвити) някои от основните подсистеми на OpenF. Друга концепция, залегнала в проекта, е хибридността на модела (съдържащ множество представяния на кода). В случая подмоделите не са на геометрична информация, а на програмен код.

4.4. Изводи

От описаното в четвърта глава могат да се направят следните изводи:

- Разработената софтуерна рамка OpenF е приложима за практическо изграждане на ОХСГМ, базирани на ОХПС. Изградените с нейна помощ демонстрационни системи за геометрично моделиране притежават всички желани свойства за една ОХСГМ. Използвана е ОХПС. Всичко това води до извода, че основната цел на този дисертационен труд е постигната;
- Предложеният модел (концепция) е приложим и в други области. Това личи от разработката на някои дипломни работи, нямащи пряко отношение към компютърната графика и геометричното моделиране, където са използвани сходни идеи;
- Не на последно място е и възможността за използване на разработената софтуерна рамка OpenF за изследвания в областта на хибридните представящи схеми. Това направление трябва да бъде развивано и за в бъдеще.

ПРЕСПЕКТИВИ

Главния извод, който можем да направим, е, че поставените цели в настоящия дисертационен труд са постигнати. В допълнение, по време на разработката бяха открити и други области, в които разгледаните системи и подход могат да бъдат успешно прилагани. Не на последно място, бяха разкрити и някои важни области за бъдещо развитие на тематиката.

Отворената архитектура и идеологията на прототипа на софтуерна рамка OpenF дават възможност за усъвършенстване в различни насоки. Бъдещите изследвания и разработки трябва да бъдат насочени към:

- Развитие на изследванията на отворените хибридни схеми;
- Развитие на F-Rep;
- Изследване на интерактивното взаимодействие между потребителя и F-Rep базирани модели (както и на хибридните модели като цяло);
- Усъвършенстване на визуализацията на F-Rep модели с помощта на специализиран хардуер (Ray tracing базирана визуализация, OpenCL и др.);
- Развитие на система от разширяващи модули, допълващи системата с други често използвани елементи (поддръжка на нови входни-изходни устройства, преобразователи и др.);
- Развитие на конфигуратора на системата в насока на по-визуалното създаване на приложения и задаване на конфигуриращите параметри;
- Създаване на библиотеки от готови проблемно-ориентирани подсистеми (компонентен подход), готови за включване в системите;
- Детайлно изследване и сравнение на качеството и скоростта при работа с отворени хибридни схеми и системи, базирани на тях.

Предимствата на отворените хибридните схеми за геометрично моделиране несъмнено ни дават основание да смятаме, че те ще са едни от бъдещите широко използвани представящи схеми в компютърната графика. Разработката на системи, базирани на този подход, в комбинация с използването на хибридният подход в реализацията на самите системи, повишава още повече приложимостта на модела (концепция), разгледан в този дисертационен труд.

АПРОБАЦИЯ

Част от резултатите са апробирани и използвани в следните университетски проекти:

1. Научен проект ИС-М-4/2008 „Междуфакултетен разпределен център за електронно обучение“ с ръководител проф. д-р Асен Рахнев, Фонд „Научни изследвания“ при ПУ „Паисий Хилендарски“, 2008/2010 г.;
2. Научен проект НИ11 ФМИ-004/30.05.2011 „Разработка и приложение на инова-

тивни ИКТ за провеждане на качествени конкурентноспособни научни изследвания и цялостно осъвременяване процеса на обучение във ФМИ“ с ръководител проф. д-р Снежана Гочева-Илиева, Фонд „Научни изследвания“ при ПУ „Паисий Хилендарски“, 2011/2012 г.;

3. Научен проект НИ13 ФМИ-002/19.03.2013 „Интеграция на ИТ в научните изследвания по математика, информатика и педагогика на обучението“ с ръководител проф. д-р Снежана Гочева-Илиева, Фонд „Научни изследвания“ при ПУ „Паисий Хилендарски“, 2013/2014 г.

Доклади на конференции, научни сесии и семинари:

1. Penev A., Dimov D., Kralchev D., Open hybrid system for geometrical modeling, 17th International Conference on Systems for Automation of Engineering and Research, 2003, Varna;
2. Penev A., Dimov D., Kralchev D., Functional representation in Computer graphics, 35th Spring Conference of the Union of Bulgarian Mathematicians, 2006, Borovets;
3. Пенев А., Димов Д., Приложения на OpenF в обучението по Компютърна графика, Юбилейната международна научна конференция „Науката, образованието и времето като грижа“ – 30.11-1.12 2007, Смолян;
4. Пенев А., Отворени хибридни системи за геометрично моделиране, Годишната научна сесия на ИМИ при БАН, 16.12.2009, София;
5. Пенев А., Василев В., SolidOpt Services Subsystem, ФМИ семинар, 03.01.2013;
6. Пенев А., Петрова Т., F-Rep Designer, ФМИ семинар, 03.01.2013, Пловдив.

АВТОРСКА СПРАВКА

Основна цел на този дисертационен труд беше *да се създаде модел на отворена хибридна система за геометрично моделиране, базирана на отворена хибридна (не-хомогенизирана) представяща схема.*

В Таблица 2 е показана връзката между най-важните резултати на дисертационния труд, основните подцели и задачи и публикациите.

Таблица 2: Връзка на основните резултати с целите и публикациите

РЕЗУЛТАТИ	ЦЕЛ	ЗАДАЧИ	СЕКЦИЯ	ПУБЛ.
Анализирани са и са сравнени възможностите, предимствата и недостатъците на (фиксираните) хибридни схеми и ХСГМ	1	1.1, 1.2, 1.3	1, 1.3 – 1.8	5
Предложен е модел (концепция) на ОХСГМ, базирана на ОХПС	2	2.1	2.1	1, 5
		2.2	2.3	5
		2.3	2.5	5
		2.4	2.2, 2.7	5
Предложена е архитектура на софтуерна рамка за създаване на ОХСГМ, базирани на ОХПС	3	3.1	3.1 – 3.3	1, 5

РЕЗУЛТАТИ	ЦЕЛ	ЗАДАЧИ	СЕКЦИЯ	ПУБЛ.
Разработен е прототип на софтуерна рамка (framework) OpenF за създаване на ОХСГМ, базирани на ОХПС	3	3.2	3.4 – 3.6	1, 4, 5
Разработени са приложения-примери за използване на софтуерната рамка OpenF. Изследван е интереса и приложимостта на OpenF за целите на обучението	4	4.1	4.1.2, 4.1.1, 4.1.3	4
		4.2	4.1.4	2
		4.3	4.2	3

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Част от идеите и концепциите в този дисертационен труд бяха публикувани и докладвани на различни конференции, семинари и форуми.

Публикации по дисертационния труд:

1. **Penev A.**, Dimov D., Kralchev D., *Open hybrid system for geometrical modeling*, Proceedings of 17th International Conference on Systems for Automation of Engineering and Research, 2003, Varna, pp. 131-135, ISBN 954-438-358-1;
2. **Penev A.**, Dimov D., Kralchev D., *Functional representation in Computer graphics*, Proceedings of the 35th Spring Conference of the Union of Bulgarian Mathematicians, 2006, Borovets, pp. 288-292, ISBN 978-954-8880-23-7;
3. **Пенев А.**, Димов Д., *Приложения на OpenF в обучението по Компютърна графика*, Сборник доклади от юбилейната международна научна конференция „Науката, образованието и времето като грижа“ Пловдивски университет – Смолян, 2007, Смолян, стр. 69-76, ISBN 978-954-8767-24-8;
4. **Penev A.**, Dimov D., Vassilev V., *Applying Model-View-Controller in geometric modelling methodology*, International Conference „Informatics in scientific knowledge“, 2008, Varna, pp. 285-294, ISSN 1313-4345;
5. **Penev A.**, *Computer Graphics and Geometric Modelling – a Hybrid Approach*, International Journal of Pure and Applied Mathematics, Academic Publications, vol. 85, No. 4, 2013, ISSN 1311-8080.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] **Pasko A., Adzhiev V., Sourin A., Savchenko V.**, Function Representation in Geometric Modeling: Concepts, Implementation and Applications, *University of Aizu*, 1998, p20.
- [2] **Hyperfun.** F-Rep web site. <<http://www.hyperfun.org/F-rep.html>> посетено 05.2013.
- [3] **A. Pasko and V. Adzhiev**, Function-based shape modeling: mathematical framework and specialized language, *Automated Deduction in Geometry*. 2004, p132-160.
- [4] **Rvachev V.L.**, Geometrical application of logic algebra. Kiev, 1967, p212.
- [5] **Rvachev V.L.**, R-function theory and it applications. Kiev, 1982, p551.
- [6] **Schmittler J., Woop S., Wagner D., Slusallek P.**, Real time Ray Tracing of Dynamic Scenes on an FPGA Chip, *ACM SIGGRAPH / Eurographics Conference on Graphics Hardware*, 2004.
- [7] **The POV-Team.** POV-Ray. <<http://http://www.povray.org>> посетено 05.2013.
- [8] **Glassner A.**, An Introduction to Ray Tracing. Morgan Kaufmann, 1989, p372, ISBN 9780122861604.

- [9] **Shirley P., R. Morley**, Realistic ray tracing. A K Peters/CRC Press, 2003, ISBN 9781568811987.
- [10] **Requicha D.A.G., Voelcker H. B.**, Solid modelling: Current status and Research directions, *IEEE*, 1983, p25-37.
- [11] **Димов Д.**, Компютърна графика. Пловдив, 1999, p192, ISBN 954-423-154-4.
- [12] **Foley J., et al.**, Computer Graphics: Principles and Practice. 1995, p1200, ISBN 978-0201848403.
- [13] **Fayolle P., A. Pasko**, Distance to objects built with set operations in constructive solid modeling, Proceedings of the 13th International Conference on Humans and Computers (HC '10), *University of Aizu Press*, 2010, p41-46.
- [14] **Shapiro V.**, Theory of R-functions and applications: a primer, *Cornell University, Department of CS*, 1991, p27.
- [15] **Shapiro V.**, Real functions for representation of rigid solids, Computer Aided Geometric Design, *Analytic Process Department, General Motors R&D Center*, 1994, p153-175.
- [16] **Tsukanov I., V. Shapiro**, The Architecture of SAGE – A Meshfree System Based on RFM, *Springer-Verlag London Limited*, 2002, p295-311, ISSN 0177-0667.
- [17] **Bloomenthal J., et al.**, Introduction to Implicit Surfaces. Morgan Kaufmann, 1997, p332, ISBN 9781558602335.
- [18] **Penev A., Dimov D., Kralchev D.**, Functional representation in computer graphics, *Union of Bulgarian Mathematicians*, 2006, p288-292, ISBN 978-954-8880-23-7.
- [19] **Requicha A., H. Voelcker**, Constructive solid geometry. 1977.
- [20] **Requicha A., R. Tilove**, Mathematical foundations of constructive solid geometry. General topology of regular closed sets. Rochester, N.Y., 1978.
- [21] **Mortier S.**, The Bryce 5 Handbook. 2002, p450, ISBN 9781584502173.
- [22] **Roller D.**, An approach to computer-aided parametric design, *Computer-Aided Design*, 1991, p385-391, ISSN 0010-4485.
- [23] **March L., P. Steadman**, The geometry of environment : an introduction to spatial organization in design, *London*, 1971, p360.
- [24] **Arnon D.**, A cellular decomposition algorithm for semialgebraic sets. 1979, p301-315, ISSN 0302-9743.
- [25] **Coutinho M.**, Guide to Dynamic Simulations of Rigid Bodies and Particle Systems. 2013, p399, ISBN 9781447144175.
- [26] **Vemuri B., A. Radisavljevic**, Multiresolution stochastic hybrid shape models with fractal priors, *ACM Trans. Graph.*, *ACM*, 1994, p177-207.
- [27] **Kravtsov D., et al.**, Polygonal-functional hybrids for computer animation and games, In SIGGRAPH '09: Posters (SIGGRAPH '09), *ACM*, 2009.
- [28] **Brooks R., et al.**, The ACRONYM model-based vision system, Proc. 6th Int. Conf. on AI, 1979, p105-113.
- [29] **Cartwright, R., V. Adzhiev, A. Pasko, Y. Goto, T. Kunii**, Web-based shape modeling with HyperFun, *IEEE*, 2005, p60-69.
- [30] **Wang, R., X. Qian**, OpenSceneGraph 3.0: Beginner's Guide. 2010, p412, ISBN 9781849512824.
- [31] **Autodesk Inc.** Maya API Guide. <<http://docs.autodesk.com/MAYAUL/2013/ENU/Maya-API-Documentation/index.html>> посетено 05.2013.
- [32] **Blender Foundation.** Blender. <<http://www.blender.org>> посетено 05.2013.
- [33] **Penev A., Dimov D., Kralchev D.**, Open Hybrid System for Geometrical Modeling, *SAER 2003*, 2003, p131-135, ISBN 954-438-358-1.
- [34] **Xamarin, the Mono community.** MonoDevelop. <<http://monodevelop.com>> посетено 05.2013.
- [35] **Penev A., Dimov D., Vassilev V.**, Applying Model-View-Controller geometric in modelling methodology, International Conference „Informatics in scientific knowledge“, *VSU*, 2008, p285-294, ISSN 1313-4345.
- [36] **Burbeck S.** Model-View-Controller. <<http://st-www.cs.uiuc.edu/users/smarch/st-docs/mvc.html>> посетено 05.2013.
- [37] **Royer J., H. Arboleda**, Model-Driven and Software Product Line Engineering. 2013, p265, ISBN 9781118569733.
- [38] **Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J.**, Design Patterns: Elements of reusable object-oriented software. 1995, ISBN 0201633612.
- [39] **SolidOpt Working Group.** SolidOpt.org official website. <<http://www.solidopt.org>> посетено 05.2013.
- [40] **Vassilev V., A. Penev, T. Petrov**, SolidOpt – Innovative Multiple Model Software Optimization Framework, IEEE and STRL: The Second Conference on Creativity and Innovations in Software Engineering, *IEEE and STRL*, 2009.