

ДИНАМИКА СИСТЕМ, МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

DYNAMICS OF SYSTEMS, MECHANISMS AND MASHINES (DYNAMICS)

Издается с ноября 1995 года
Выходит один раз в год в четырех томах

№ 1, 2016
Том 4

Учредитель
Омский государственный
технический университет

Главный редактор
А. В. Косых,
ректор ОмГТУ

Редакционная коллегия.

Е. А. Андреева, доктор технических наук
П. Д. Балакин, доктор технических наук
А. В. Бубнов, доктор технических наук
В. И. Глухов, доктор технических наук
О. Т. Данилова, кандидат физ.-мат. наук
С. В. Зыкин, доктор технических наук
А. В. Зыкина, доктор физ.-мат. наук
И. А. Кировская, доктор химических наук
А. А. Колоколов, доктор физ.-мат. наук
В. И. Левченко, доктор технических наук
Ю. К. Машков, доктор технических наук
М. И. Машарин, доктор исторических наук
А. П. Моргунов, доктор технических наук
К. Л. Панчук, доктор технических наук
В. И. Трушляков, доктор технических наук
Д. И. Чернявский, доктор технических наук
В. Л. Юша, доктор технических наук

Ответственный секретарь
О. И. Бабенко, начальник ИПО ОмГТУ

Корректор
Т. П. Семина

Компьютерная верстка
О. Г. Беллименко

Язык публикаций:
русский, английский

Дата и номер договора о включении
рецензируемого научного издания
в систему Российского индекса
научного цитирования (РИНЦ).
213-04/2014 от 14.04.2014

Адрес в РИНЦ:
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=50500

Адрес редакции:
644050, г. Омск, пр. Мира, 11, каб. 203а
Контактные телефоны:
8 (381-2) 65-35-36
e-mail: fap_omsk@omgtu.ru
Телефон для рекламодателей: 65-35-36

© ОмГТУ, 2016

Подписано в печать 14.10.2016
Формат 60×84^{1/8}. Усл. печ. л. 26,75.
Бумага офсетная.

Отпечатано на дупликаторе
в типографии ОмГТУ.
644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12
Тираж 500 экз. Заказ 458.

СОДЕРЖАНИЕ

Методы представления, передачи и анализа данных

Д. А. Бронников
Об эффективности использования байесовского классификатора
в задаче идентификации языка текста по биграммам..... 5

Я. Ю. Вергун
Управление сетью передачи данных на выборочном комплексе
с использованием искусственных нейронных сетей 8

А. Г. Давыдовский
Управление производственной безопасностью на основе нечеткой логики ... 10

П. А. Зиновьев
Моделирование нечеткого облика области живучести
корпоративной ИТ-системы 15

С. В. Зыкин, А. Н. Полуянов
Итерирование отношений базы данных для запросов специального вида 18

М. М. Камлов, А. Ш. Хамроев
О методах определения значений пороговых элементов
количественных признаков объектов в базе данных DBTULIPA..... 21

А. А. Кириосов, Д. С. Гуляев, А. С. Гуменюк
Разбиение фонетических последовательностей на элементарные
акустические единицы 25

В. А. Маренко
Модель управления межнациональными отношениями
с использованием когнитивной методологии 29

Д. А. Ниткин, М. Н. Юдина
Программа для сбора информации о взаимосвязях пользователей
социальной сети «ВКонтакте» 32

И. А. Пахомов, Е. Б. Юдин
Алгоритм получения сети ссылок веб-страниц на основе поиска в ширину... 35

Н. Н. Поздниченко, А. С. Гуменюк, М. П. Керов
Исследование нуклеотидных последовательностей с помощью
характеристик строя, аналогичных статистическим характеристикам 38

Н. Н. Поздниченко, М. С. Стулин
Разработка программных средств для получения строя
высокого порядка и строя на основе разнородных цепей 43

В. Н. Потапов
Математическая модель многооперационной динамической технической
системы, восстанавливаемой после отказов в процессе конфликта..... 49

М. П. Сухоруков
Специализированная инженерная система анализа бортовой
радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата..... 54

О. С. Терновой, А. В. Жариков, А. С. Шатохин
Применение метода Херста для определения сезонности сетевого
трафика с целью раннего обнаружения DDOS-атак..... 57

О. П. Шафеева
Коррекция ошибок в динамически передаваемых массивах данных..... 61

Моделирование и системный анализ

Н. В. Астапенко, К. Т. Кошкев, П. А. Петров
Разработка подсистемы мониторинга объема зерна в силосе
для управления технологическими процессами зернохранилища 65

М. С. Астахов
Вывод формулы для подсчета числа простых циклов заданной
длины в простом графе..... 71

Л. Н. Бодрякова, П. И. Михайлов, И. В. Алексеенко
Применение методов компьютерного моделирования в процессах
скоростного производства 75

А. А. Колоколов, А. А. Соловьев, О. А. Барауля
Модель дискретной оптимизации для одной задачи формирования
учебных групп 81

Т. В. Левакова, А. Ю. Гнусарев Разработка пороговых алгоритмов для задачи размещения с нефиксированным спросом	84
А. А. Любченко, С. В. Бартош, В. А. Смирнов, Р. Á. Castillo Дискретно-событийная модель железнодорожного узла в среде ANYLOGIC	87
Ю. Б. Никитин, А. С. Котлягина Применение компьютерной денситометрии для оценки микрокристаллической структуры смешанной слюны	92
Т. М. Орлова Об одном алгоритме решения задач проектирования сложных изделий	94
М. Н. Рассказова, Р. Х. Зарипова Решение одной задачи формирования производственной программы с использованием дискретной оптимизации	97
Т. В. Самусова, Е. Е. Витвицкий Моделирование «гарантированности перевозок грузов» помашинными отправлениями автотранспортным средством в городах	103
Л. Н. Семенова, Н. А. Морозова, В. И. Потапов, А. С. Грицай, Д. А. Тюньков Построение оценочной шкалы диагностики расслаивающей аневризмы грудной аорты на догоспитальном этапе с использованием информационных технологий	107
А. Х. Талебаева, Е. Е. Витвицкий Транспортная система перевозок грузов «для собственных нужд» предприятия в аспекте ресурсосбережения	114
Ю. В. Холодник, Е. А. Гавриленко, Ю. А. Дмитриев Решение позиционных задач методами вариативного дискретного моделирования	122
Геометрическое и компьютерное моделирование	
Т. В. Аюшеев, С. В. Павлова, Р. Н. Бульчев Геометрическое моделирование многослойных конструкций с применением кривых и поверхностей безье	125
Ю. И. Битюков, Ю. И. Денискин Об алгоритме чайкина и его обобщении	128
Е. А. Гавриленко, А. В. Найдых, Ю. В. Холодник, Ю. А. Дмитриев Моделирование кривой постоянного хода с монотонным изменением радиусов соприкасающихся окружностей и сфер	133
Т. Ц. Дамдинова, В. Д. Раднаева, Л. Д. Жимбуева Использование методов обработки изображений для исследования процесса пропитки материалов	137
Н. В. Иванникова, С. Н. Литунев, В. Ю. Юрков Оптимизация многозеркального отражателя для выравнивания интенсивности облучения	141
М. М. Камылов, М. Х. Худайбердиев, А. Ш. Хамроев О формировании пространства информационно-активных признаков при распознавании одного вида объектов растительного мира	145
Н. М. Мирзаев Модель формирования признаков объектов, представленных в виде изображений	148
М. Н. Одинец, Н. В. Кайгородцева, А. И. Одинец, Т. Н. Кайгородцева Компьютерное моделирование разборной поверхности зеркала параболической антенны при сохранении технических характеристик	152
А. В. Паинчкин, Л. Г. Варепо Численный расчет суммарных радиальных сил и вращательных моментов сил с поверхностей цилиндров	158
К. Л. Панчук, Н. В. Кайгородцева Геометрическое и компьютерное моделирование пересечения поверхностей в задачах определения местоположения объектов при радиолокации	162
К. Л. Панчук, А. А. Ляшков, В. И. Шарф Математическое и компьютерное моделирование формообразования червячного инструмента	167
Ф. Н. Притыцкий, В. И. Небритов Исследование области допустимых значений вектора обобщенных скоростей при синтезе движений андроида	174
Ф. Н. Притыцкий, Д. И. Нефедов Вычисление траектории движения механизма манипулятора в пространстве обобщенных координат при наличии запретных зон в рабочем пространстве	178
В. А. Семёнов, В. А. Дюмин, Д. Е. Тихонов-Бугров Геометро-графические элементы сапр надувных конструкций	182
Динамика социально-экономических систем	
А. В. Двойнев Теория современного менеджмента в современных российских условиях: особенности формирования и развития в 1990–2000-е годы	186
И. А. Демух, А. Б. Корчагин Профессиональный отбор как способ снижения профессиональных рисков	190

Е. В. Евдущенко Совершенствование процесса проектирования коллекций одежды на основе использования принципов комбинаторики.....	194
Л. А. Иванова, А. Л. Ахтулов Роль аутсорсинга охраны труда в развитии деятельности организации	198
Л. А. Кудринская Диплом или компетенции: установки студентов вуза (технари–гуманитарии–экономисты)	204
А. А. Кузьменко Об успешном опыте развития туризма в городе мышкин мышкинского муниципального района ярославской области	207
И. Ю. Лепешинский, Т. А. Лепешинская Средства и методы электронного обучения в системе непрерывного образования военнослужащих в области ИКТ	212
И. В. Майоркина Развитие психических процессов и эмоционально-волевой сферы у школьников с зпр в адаптивной физической культуре	217
A. Miller Development of technologizing of industrial complex of Russia.....	223
Т. Н. Реутова Механизм формирования плана производства предприятия	227
Н. П. Салохин Противоречия единицы управления общества современной России	231
П. Н. Фролова Проектирование информационно-предметной среды лаборатории психофизиологической диагностики на основе эргономического подхода	234
А. Е. Черникова, О. В. Ренгольд Транспортный комплекс и его влияние на региональное развитие	237
Е. А. Юмаев Региональная экономическая интеграция и экономическая безопасность государств в условиях кризисного развития	239
Е. В. Яковлева Человек в постиндустриальном обществе: интеллектуализация и управление её развитием	247
Г. А. Яшева Государственно-частное партнерство как инструмент стимулирования инноваций: методологические аспекты.....	253
Динамика библиотечно-информационного обеспечения образования, науки и культуры	
Ж. В. Бабенко Развитие терминосистемы информационного обслуживания в современной информационно-коммуникационной среде	262
Т. В. Бернгардт, Л. Г. Литвина, Е. А. Лукьяничкова Оптимизация распределенного фонда периодических изданий на основе координации деятельности вузовских библиотек (региональный аспект)	267
Т. В. Бернгардт, Ю. В. Хрокол Веб-сайты по психологии как канал трансляции профессиональной информации: результаты анализа сайтов	272
А. А. Булдакова Библиотека вуза глазами читателя: обобщение итогов анкетирования	277
О. В. Дьяманти Анализ качества предоставления услуг в библиотеке вуза (на примере нб ОмГТУ).....	281
Т. В. Евсеева Информационные продукты нб омгу в помощь научным и образовательным программам университета	284
Е. В. Енгальцева (Булгакова) Исследование детского книгоиздания как один из важнейших аспектов коммуникации сибирского региона (1991–2008 гг.).....	288
С. П. Захарова Информационное обеспечение научных исследований (из опыта НБ ОмГТУ)	294
М. С. Костенко Информационное обеспечение художественной культуры и искусства в условиях современной информационной среды.....	297
В. А. Костина, Е. А. Лукьяничкова Культура чтения студенческой молодежи (результаты контент-анализа публикаций)	302
С. Е. Мансурова Отраслевые нормы времени как основа для реализации управленческих сценариев в библиотеке вуза	306
М. В. Маслакова, Н. В. Бажутина Трансформация школьной библиотеки в библиотечно-информационный центр	312

А. К. Миронова Библиотека как часть воспитательного пространства вуза	318
В. С. Михайленко, О. С. Пономарёва Формирование и совершенствование профессиональных компетенций специалистов библиотечно-информационной сферы: опыт библиотеки ОмГУ им. Ф. М. Достоевского	321
Н. С. Наймушина Практико-ориентированный центр на базе научной библиотеки	325
Т. Ю. Низишвина Диагностика системы управления библиотекой вуза (на примере библиотеки ОмГТУ)	328
М. С. Носова Омский опыт строения библиотечных сайтов.....	333
Л. Ф. Овенко Паспорт фонда как его описательная модель: значение и практика составления	338
Г. В. Сылкова Модификация профессиональной подготовки специалистов документно-информационной деятельности	340
Т. П. Ткаченко Паспорт качества библиотеки как инструмент для измерения результативности ее деятельности.....	345
Л. Ф. Трачук Клиентоориентированность как перспективная концепция обслуживания пользователей в библиотеках Украины	349
А. Л. Третьяков Правовое просвещение в современной школьной библиотеке: постановка проблемы	353
И. А. Фалалеева Динамика материально-конструктивной формы книги: социально-философский аспект	356
Т. М. Юршевская Профессиональное чтение профессорско-преподавательского состава университета: результаты социологического исследования	360
Динамика освоения сибирского региона: исторические аспекты	
В. О. Бернацкий, П. Г. Макухин Антропный космологический принцип и эсхатология	364
В. В. Гермизеева Кинематограф в томске: первые впечатления.....	369
Т. В. Глазунова Об оптимизации структуры библиотек технических вузов в годы перестройки (на примере западной Сибири).....	372
Е. В. Леун Закономерности истории России в период от крещения Руси до 2003 года	374
Е. В. Леун Участие слогов семейства ос, ас в словообразовании языков.....	378
М. И. Маишарин Учебно-методическая и научно-исследовательская работа обществоведов вузов Западной Сибири в годы Великой Отечественной войны: проблемы и опыт их решения	386
Р. В. Рыбаков Динамика роста комсомольских организаций в начале 1920-х гг.	391
А. В. Рыжков «Бунт сытько»: Г.В.Свиридов о «позднем» СССР.....	394
И. В. Киргизова Основные фитопатогенные вирусы картофеля, распространенные на территории Омска и Омской области	397
С. Б. Чачина Рекультивация почв, загрязненных битумом с использованием навозных червей EISENIA FETIDA, и микробиологических препаратов «БАЙКАЛ-ЭМ1», «ВОСТОК-ЭМ» и «ТАМИР».....	399
С. Б. Чачина, А. С. Лалочкина Биоремедиация нефтезагрязненных почв с использованием дождевых червей DENDROBAENA VENETA и микробиологических препаратов «БАЙКАЛ ЭМ-1», «ВОСТОК», «ТАМИР»	405
С. Б. Чачина, А. С. Лалочкина Биоремедиация нефтезагрязненных почв с использованием дождевых червей EISENIA ANDREI и трех микробиологических препаратов.....	412
С. Б. Чачина, А. С. Лалочкина Биоремедиация нефтезагрязненных почв с использованием дождевых червей EISENIA FETIDA и с использованием трех микробиологических препаратов.....	419

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

УДК 004.421.2

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБЪЕМА ЗЕРНА В СИЛОСЕ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ЗЕРНОХРАНИЛИЩА

Н. В. Астапенко, К. Т. Кошекков, П. А. Петров

*Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева,
г. Петропавловск, Казахстан*

Аннотация – Эффективное функционирование современных хранилищ различного типа предполагает решение ряда задач для обеспечения надежной сохранности сырья и оптимального использования складских площадей. Таким образом, актуальной является задача мониторинга хранящегося сырья. Некоторые трудности мониторинга возникают при хранении сыпучих габаритных объектов с неровной поверхностью. Рассмотрены ключевые моменты разработки подсистемы мониторинга объема сыпучих габаритных объектов с неровной поверхностью, которая является главным компонентом автоматизированной системы управления технологическими процессами хранилищ инновационного типа. Полученные алгоритмы и методы позволяют осуществлять непрерывное автоматизированное наблюдение (измерение) за процессом работы зернохранилища, а результаты измерений будут способствовать формированию рекомендаций по управлению технологическими процессами.

Ключевые слова: объем зерна в силосе, неровная поверхность, облако точек, алгоритм, произведение векторов.

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных тенденций современного развития информационных систем является задача по автоматизации управления и контроля технологических процессов [1]. Решение подобных задач позволяет снизить влияние так называемого человеческого фактора и, соответственно, повысить качество продукции и увеличить оптимизацию в хранении сырья.

В области сельского хозяйства также ведутся работы по автоматизации технологических процессов, и в частности, процессов управления зернохранилищами. Для обеспечения количественно-качественной сохранности зерна традиционно проводится только визуальный осмотр мест хранения зерна. Однако практика показала, что традиционные формы организации работы зернохранилищ выявляют такие глобальные проблемы как хищение зерна и сохранение качества зерна. В связи со-сказанным, актуальной является разработка эффективной автоматизированной информационной системы мониторинга зернохранилищ на основе бесконтактных 3D-измерений [2, 3], которая позволит осуществлять ежедневный контроль заполнения зернохранилища, проводить анализ полученных данных, выявляя возможную недостачу зерна, осуществлять контроль качества сохранности зерна и, при необходимости, выдавать экспертные рекомендации. В лаборатории Северо-Казахстанского государственного университета имени М. Козыбаева разрабатывается автоматизированная информационная система для мониторинга, контроля и управления работы зернохранилища инновационного типа.

В данной статье рассматривается процесс разработки подсистемы мониторинга объема зерна в силосе для автоматизированной информационной системы управления технологическими процессами зернохранилища.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель статьи – представить алгоритмы, методы и средства обработки информации о пространственных координатах точек поверхности, образующейся в зернохранилище в результате его заполнения.

Разрабатывая систему мониторинга наполненности зернохранилища, необходимо учитывать некоторые особенности работы с сыпучими продуктами, такие как наличие сложной формы поверхности продукта (наличие горки, воронки, кусковые слипнувшиеся комки) [4, 5]. Традиционно используются два метода измерения объемов неровных тел: вычисление объема тела при помощи емкости с водой и вычисление объема тела через разбиение его на правильные геометрические фигуры. Первый метод очень сложно организовать с габаритными объектами. Реализация второго представляет собой сложную задачу, если нельзя явно выделить правильные геометрические фигуры. Нами предлагается алгоритм вычисления объема габаритного объекта с неровной поверхностью.

III. ТЕОРИЯ

Подсистема мониторинга объема зерна в силосе, как элемент автоматизированной информационной системы управления технологическими процессами зернохранилища, реализована в виде клиент-серверного приложения. На сервере накапливаются данные, проводится их обработка, а результаты обработки можно просмотреть на стороне клиента.

Технологическая схема и описание функционирования подсистемы мониторинга объема зерна в силосе.

Технологическая схема рассматриваемой подсистемы может быть представлена в виде последовательности следующих этапов на рис. 1.

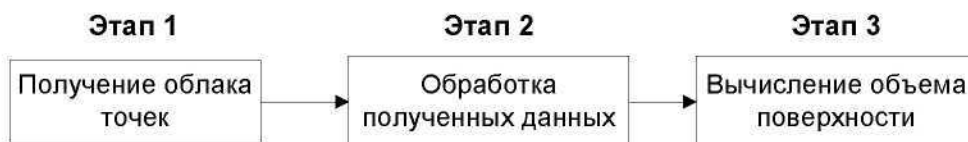


Рис. 1. Технологическая схема подсистемы мониторинга объема зерна в силосе

Этап 1. Получение облака точек.

В этот этап входит аналого-цифровое преобразование данных: сканирование аналоговых оригиналов с последующей векторизацией, а также импорт готовых цифровых данных [6]. Требуется получить данные о дальности для некоторого набора различных фрагментов, которые в совокупности содержат всю поверхность объекта. Далее происходит регистрация или совмещение карт глубин каждого фрагмента. Облако точек представляет собой набор точек поверхности, заданных тремя значениями координат x , y , z . Получение точек может осуществляться как вручную, так и с помощью различных устройств (лидаров, дальномеров и т.д.). Чем плотнее облако точек, тем точнее будет результат вычислений.

Этап 2. Обработка полученных данных.

Далее происходит регистрация или совмещение карт глубин каждого фрагмента. Если облако точек не упорядочено, необходимо привести его к упорядоченности. В зависимости от метода сбора, исходные данные представляются либо в виде модели DEN, либо в виде модели TIN.

Модель DEM (Digital Elevation Model) более популярна и удобна для практического использования, так как представлена на регулярной сетке со сторонами, параллельными координатным осям X и Y системы местности [7]. Это наиболее простой случай, значения точек поверхности могут располагаться в узлах регулярной сетки. Пример показан на рис. 2, представлен фрагмент объекта размером метр на метр, расстояние между узлами регулярной сетки 1дм [8].

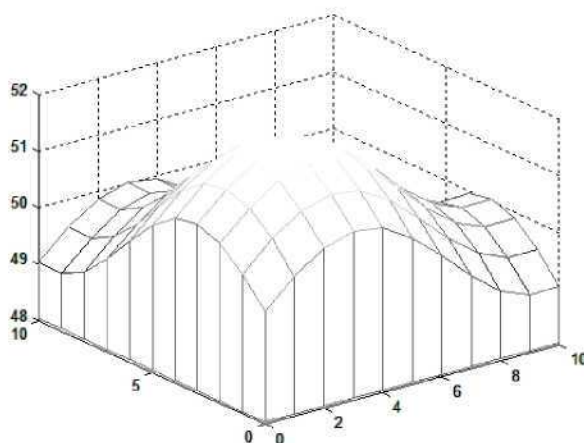


Рис. 2. Визуализация модели DEN

Модель TIN (Triangulated Irregular Network), или модель на триангуляционной нерегулярной сетке, или свободная модель. Построение цифровой модели рельефа с использованием модели данных TIN сводится к созданию оптимальной сети треугольников, элементы которой стремятся быть как можно ближе к равносторонним [9]. При этом любая точка двумерного пространства обладает только одной высотной координатой. Пример показан на рисунке 3.

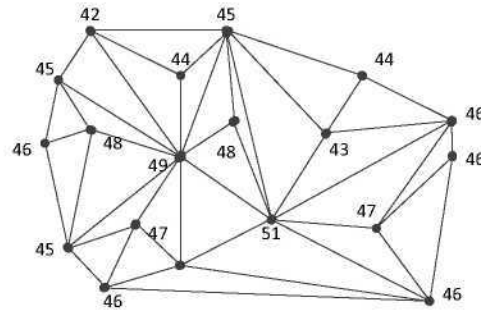


Рис. 3. Модель TIN в виде сети

Этап 3. Вычисление объема поверхности.

Традиционно, при вычислении объема поверхности суммируют объемы прямых призм с треугольным основанием и высотой, соответствующей среднему арифметическому высот вершин призмы. В разрабатываемой подсистеме мониторинга важна точность вычислений, поэтому мы предлагаем рассчитать объем поверхности как сумму объемов прямых косоусеченных призм с треугольным основанием, вершины которых принадлежат исходному облаку точек. Данное решение позволит повысить точность вычислений.

Общий процесс функционирования подсистемы мониторинга объема зерна в силосе реализован в соответствии с рис. 4 [10].



Рис. 4. Общий алгоритм функционирования подсистемы мониторинга объема зерна в силосе

Исходные данные хранятся в текстовых файлах в виде значений точек в трехмерной системе координат. В том случае, когда исходное облако точек является нерегулярным, осуществляется их упорядочивание в соответствии с заданной координатной сеткой с помощью существующих методов триангуляции. В поставленной задаче точность расчетов играет немаловажную роль, поэтому вычисление объема поверхности осуществляется самым ресурсозатратным способом, путем суммирования объемов косоусеченных призм. Для уменьшения погрешности вычисления в случае разреженности облака исходных точек могут использоваться методы интерполяции [11–12].

Метод расчета объема прямой косоусеченной призмы – элементарного элемента, составляющего поверхность.

Рассмотрим механизм нахождения точного объема прямой косоусеченной призмы с треугольным основанием, заданной тремя точками в трехмерном пространстве. Пусть косоусеченная призма задана точками $A(a_1, a_2, a_3)$, $B(b_1, b_2, b_3)$ и $C(c_1, c_2, c_3)$ (см. рис. 5а). Точки $A'(a_1, a_2, 0)$, $B'(b_1, b_2, 0)$ и $C'(c_1, c_2, 0)$ – являются проекциями точек A , B и C соответственно на плоскость XOY .

Рассматриваемая фигура может быть представлена как совокупность трех фигур: прямая призма с треугольным основанием и две пирамиды [13]. Описание метода расчета объема прямой косоусеченной призмы:

Шаг 1. Сначала упорядочиваем точки таким образом, чтобы точкой А обозначалась точка с наименьшим значением координаты по оси OZ, а С – обозначало точку с наибольшей координатой по оси OZ.

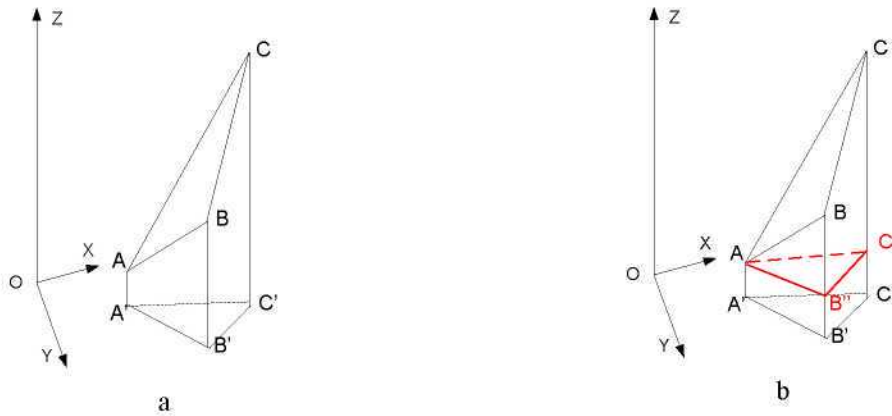


Рис. 5. Заданная косоусеченная призма

Шаг 2. Разбиваем исходную фигуру на прямую призму ($AB''C''A'B'C'$) и две пирамиды ($BAB''C''$ и $CAB''C''$) в соответствии с рисунком 5b.

Шаг 3. Находим объем прямой призмы $AB''C''A'B'C'$. Объем представленной прямой призмы равен площади основания, умноженной на высоту. Вычисление площади основания для общего случая наиболее удобно представить с помощью векторов:

$$S_{A'B'C'} = \frac{1}{2} |\overrightarrow{A'B'} \times \overrightarrow{A'C'}| \quad (1)$$

Определяем координаты векторов: $\overrightarrow{A'B'}(b_1 - a_1; b_2 - a_2; 0)$ и $\overrightarrow{A'C'}(c_1 - a_1; c_2 - a_2; 0)$. Векторное произведение двух векторов $\vec{a} = \{a_x; a_y; a_z\}$ и $\vec{b} = \{b_x; b_y; b_z\}$ в декартовой системе координат – это вектор, значение которого можно вычислить, используя следующие формулы 2.

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = \mathbf{i}(a_y b_z - a_z b_y) - \mathbf{j}(a_x b_z - a_z b_x) + \mathbf{k}(a_x b_y - a_y b_x)$$

$$\vec{a} \times \vec{b} = \{a_y b_z - a_z b_y; a_z b_x - a_x b_z; a_x b_y - a_y b_x\} \quad (2)$$

Таким образом, по формуле (2) получаем:

$$\overrightarrow{A'B'} \times \overrightarrow{A'C'} = \{0; 0; (b_1 - a_1)(c_2 - a_2) - (b_2 - a_2)(c_1 - a_1)\}$$

Соответственно, площадь треугольника и объем прямой призмы составят:

$$S_{A'B'C'} = \frac{1}{2} |\sqrt{((b_1 - a_1)(c_2 - a_2) - (b_2 - a_2)(c_1 - a_1))^2}| \quad (3)$$

$$V_{A'B'C'} = \frac{1}{2} \cdot a_3 \cdot |\sqrt{((b_1 - a_1)(c_2 - a_2) - (b_2 - a_2)(c_1 - a_1))^2}| \quad (4)$$

Шаг 4. Нахождение объема пирамиды $BAB''C''$ реализуем также с помощью векторов:

$$\overrightarrow{BB''}\{0; 0; a_3 - b_3\}, \overrightarrow{BA}\{a_1 - b_1; a_2 - b_2; a_3 - b_3\}, \overrightarrow{BC''}\{c_1 - b_1; c_2 - b_2; a_3 - b_3\}$$

Объем пирамиды по трем векторам определяется формулой (5):

$$V_{BAB''C''} = \frac{1}{6} |\overrightarrow{BB''} \times \overrightarrow{BA} \times \overrightarrow{BC''}| \quad (5)$$

Таким образом:

$$\begin{aligned} V_{BABC'} &= \frac{1}{6} |0 + 0 + (a_3 - b_3)(a_1 - b_1)(c_2 - b_2) - (a_3 - b_3)(a_2 - b_2)(c_1 - b_1) - 0 - 0| = \\ &= \frac{1}{6} |(a_3 - b_3)[(a_1 - b_1)(c_2 - b_2) - (a_2 - b_2)(c_1 - b_1)]| \end{aligned}$$

Шаг 5. Аналогично по формуле 5 вычислим объем пирамиды $CABC''$ с помощью векторов:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{CC''} &\{0; 0; a_3 - c_3\}, \overrightarrow{CA}\{a_1 - c_1; a_2 - c_2; a_3 - c_3\}, \overrightarrow{CB}\{b_1 - c_1; b_2 - c_2; (b_3 - a_3) - (c_3 - a_3)\}, \\ V_{CABC''} &= \frac{1}{6} |0 + 0 + (a_3 - c_3)(a_1 - c_1)(b_2 - c_2) - (a_3 - c_3)(b_1 - c_1)(a_2 - c_2) - 0 - 0| = \\ &= \frac{1}{6} |(a_3 - c_3)[(a_1 - c_1)(b_2 - c_2) - (b_1 - c_1)(a_2 - c_2)]| \end{aligned}$$

Шаг 6. Объединяем результаты, полученные на шагах 3–4. Суммируем объемы прямой призмы и двух пирамид и получаем общий объем заданной прямой косоусеченной призмы:

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \cdot a_3 \cdot \sqrt{((b_1 - a_1)(c_2 - a_2) - (b_2 - a_2)(c_1 - a_1))^2} + \\ &+ \frac{1}{6} |(a_3 - b_3)[(a_1 - b_1)(c_2 - b_2) - (a_2 - b_2)(c_1 - b_1)]| + \\ &+ \frac{1}{6} |(a_3 - c_3)[(a_1 - b_1)(b_2 - c_2) - (b_1 - c_1)(a_2 - c_2)]| \end{aligned} \quad (6)$$

Полученная формула несколько «тяжеловесна», но однако дает точное значение объема рассматриваемой фигуры.

Алгоритм вычисления объема по результатам 3D измерения поверхности.

Объем всей поверхности в процессе мониторинга можно получить, обходя последовательно все исходные точки и суммируя объемы прямых косоусеченных призм, прилегающих к точке. Алгоритм вычисления объема сырья в зернохранилище по точкам поверхности реализован следующим образом:

Шаг 1. Получение облака точек с поверхности размером $N \times M$. Обозначим количество точек как Num.

Шаг 2. Поиск min_length – минимального расстояния между точками в заданном облаке точек поверхности [14].

Шаг 3. Создание динамического двумерного массива, который является виртуальной проекцией изучаемой поверхности. Количество элементов в столбце таблицы определяется как целая часть от деления длины поверхности на минимальное расстояние между точками – $\text{int}(N/\text{min_length})$. Количество элементов в строке таблицы определяется как целая часть от деления ширины поверхности на минимальное расстояние между точками – $\text{int}(M/\text{min_length})$. Таким образом, мы эмулируем регулярную сетку с размером ячейки, соответствующей минимальному расстоянию между заданными точками.

Шаг 4. Помещаем исходные точки в ячейки, полученные на шаге 3 «регулярной сетки». Благодаря тому, что размер ячеек соответствует минимальному расстоянию между заданными точками, каждой точке единственным образом соответствует элемент массива.

Шаг 5. Незаполненные на шаге 4 элементы массива заполняем с помощью линейной интерполяции.

Шаг 6. Обходим последовательно все элементы массива, за исключением элементов последнего столбца и последней строки. Для каждого элемента массива $A[i][j]$ (где $i=[0; \text{int}(N/\text{min_length})$) и $j=[0; \text{int}(M/\text{min_length})$) по формуле 6 рассчитываем объем прямой косоусеченной призмы, определенный по точкам $A[i][j]$, $A[i][j+1]$, $A[i+1][j+1]$, а также объем прямой косоусеченной призмы, определенный по точкам $A[i][j]$, $A[i+1][j]$, $A[i+1][j+1]$.

Таким, образом, в результате работы алгоритма получаем объем исследуемой поверхности. Описанный алгоритм реализован в экспериментальном приложении, разработанном в среде программирования Visual Studio .NET 2010.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В результате проведенных исследований был получен алгоритм расчета объема по точкам поверхности, который не зависит от регулярности полученных точек. В процессе реализации алгоритм был оптимизирован следующим образом:

– для исключения избыточных вычислений в случае $\text{min_length} > 0$, ее значение устанавливается в 1. В этом случае в ячейке виртуальной «регулярной сетки» сохраняется только одно из значений облака соответствующих координатам ячейки. Точность алгоритма при этом не страдает, так как разница между значениями в пределах 1 см^2 незначительна;

– в алгоритме предусмотрена возможность задать размер ячейки сетки, соответствующий необходимой точности. Таким образом, исключается шаг 2 рассмотренного алгоритма и сложность в целом уменьшается на $O(\text{Num})^4$.

– получение промежуточных значений можно выполнить с помощью линейной интерполяции, интерполяции полиномами Лагранжа или интерполяцией сплайнами на выбор.

После разработки приложения на базе описанного алгоритма были проведены эксперименты для расчета объема по данным пятнадцати поверхностей. Анализ результатов экспериментов показал, что отклонение значения, полученного в результате работы алгоритма, от фактического значения составляет в среднем 0,07%.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По полученным в результате проведенного эксперимента данным можно сделать вывод о том, что точность вычислений тем выше, чем больше точек задействовано в вычислениях. Но, к сожалению, большое количество точек увеличивает сложность алгоритма, что заметно при больших массивах данных. В дальнейшем планируется оптимизировать алгоритм для увеличения скорости вычислений без потери точности вычислений. В целом проведенный эксперимент показал, что с помощью данного алгоритма можно рассчитать объем зерна, хранимого на зернохранилище.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами рассмотрены ключевые аспекты разработки подсистемы мониторинга поверхности, образующейся в зернохранилище в результате его заполнения. Внедрение данной подсистемы позволит осуществлять непрерывное наблюдение за процессом работы автоматизированного зернохранилища и осуществлять контроль объема зерна, таким образом можно будет обеспечивать сохранность зерна от хищения и неправильного хранения.

Результаты исследования найдут применение при создании беспроводных программно-технических комплексов для других приложений, где необходимо обеспечение непрерывного контроля сложных поверхностей.

Работа выполнена в рамках научного гранта № 2606/ГФ4 Министерства образования и науки Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Koshekov K. T., Klikushin Yu. N., Kobenko V. Yu. [et al.]. Fuel Cell Diagnostics Using Identification Measurement Theory // Journal of Fuel Cell Science and Technology. 2014. 11 (5), 051003. P. № FC-14-1027. DOI: 10.1115/1.4027.
2. Zhang Lin, Yuan Min, Tai Deyi [et al.]. Design and Implementation of Granary Monitoring System Based on Wireless Sensor Network Node // International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. 2010. Vol. 1. P. 950–953. DOI: 10.1109/ICMTMA.2010.296.
3. Sansoni G., Trebeschi M., Docchio F. State-of-The-Art and Applications of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation // Sensors 2009. 9. C. 568–601.
4. Bin Li, Jinhui Zhang, Yonglong Xu. [et al.]. Study on modeling and 3D-visualization of ground fissures' spatial curved surfaces, Image and Signal Processing (CISP): 3rd International Congress. 2010, Vol. 6. P. 2838–2844, DOI: 10.1109/CISP.2010.5647194.
5. Markham K. J., Morris W. A. Digital terrain elevation models produced using radar altimetry and GPS data // Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS '02: IEEE International. 2002, Vol. 5, P. 2723–2725. DOI: 10.1109/IGARSS.2002.1026754.
6. Oesterling Patrick, Heine Christian, Weber Gunther H. [et al.]. Visualizing nD Point Clouds as Topological Landscape Profiles to Guide Local Data Analysis // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2013. Vol. 19, no. 3. P. 514–526. DOI: 10.1109/TVCG.2012.120.
7. Haibing Xiang, Chunxiang Cao, Huicong Jia [et al.]. The analysis on the accuracy of DEM retrieval by the ground lidar pointcloud data extraction methods in mountain forest areas // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2012. P. 6067–6070. DOI: 10.1109/IGARSS.2012.6352223.
8. Кошекков К. Т., Демьяненко А. В., Астапенко Н. В. Метод и алгоритм вычисления объема заданной дискретно 3D поверхности с помощью полиномов Лагранжа // Математическое и компьютерное моделирование: материалы III Междунар. науч. конф., 12 ноября 2015 г. Омск, 2015. С. 131.
9. Hsia-Ching Chang, Chen-Ya Wang, Cloud Incident Data Analytics // Change-Point Analysis and Text Visualization, System Sciences (HICSS): 48th Hawaii International Conference. 2014. P. 435–438. DOI: 10.1109/APCCAS.2014.7032812.

10. Кошеков К. Т., Демьяненко А. В., Астапенко Н. В. Структурно-функциональная модель автоматизированной информационной системы мониторинга зернохранилищ // Путь науки. 2016. № 3 (25). С. 38–39. (0.543 - Global Impact Factor, Австралия).
11. Wongwaen N., Tiendee S., Sinthanayothin C., Sinthanayothin C. Method of 3D mesh reconstruction from point cloud using elementary vector and geometry analysis // Information Science and Digital Content Technology (ICIDT): 8th International Conference. 2012. Vol. 1. P.156–159.
12. Cahyo Crysdian. 3D Visualization of small scale spatial object based on Digital Elevation Model // Distributed Framework and Applications (DFmA) : International Conference. 2010. P. 1–6.
13. Геворкян П. С. Высшая математика. Основы математического анализа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. 240 с.
14. Longcun Jin. 3D shape analysis for point clouds using variational geometric // Natural Computation (ICNC): 11th International Conferen. 2015. P. 915– 918. DOI: 10.1109/ICNC.2015.7378112.

УДК 519.171.1

ВЫВОД ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЧИСЛА ПРОСТЫХ ЦИКЛОВ ЗАДАННОЙ ДЛИНЫ В ПРОСТОМ ГРАФЕ

М. С. Астахов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Рассматривается задача подсчета количества простых циклов в сильно регулярных графах. Для сильно регулярных графов количество простых циклов может быть выражено через параметры сильно регулярных графов при длине цикла менее 8. Задача поиска циклов заданной длины в сильно регулярных графах является полиномиальной при длине цикла менее 8. В работе вычисляется вклад отдельных слагаемых универсальной формулы в значение количества циклов в рассматриваемом графе, при условии, что длина цикла более 8. После вычислений делается вывод о том, что рассматриваемый класс слагаемых универсальной формулы может быть выражен через параметры сильно регулярного графа.

Ключевые слова: простой цикл, сильно регулярный граф.

I. ВВЕДЕНИЕ

В 1972 году Харари представил универсальные формулы [1] для вычисления количества циклов в произвольном графе для циклов длиной $s=3,4,5$. В 2011 г. Варапаев и Перепечко [3] предложили универсальные формулы для вычисления количества циклов заданной длины для произвольных графов. Кроме того, ими были исследованы частные свойства универсальных формул для специальных классов графов – двудольных графов, графов с ограниченной степенью вершин. В работе [4] приводятся формулы вычисления количества циклов заданной длины в сильно регулярном графе через его параметры для случаев $s \leq 6$. В данной работе исследуется зависимость между количеством простых циклов в сильно регулярных графах и параметрами сильно регулярных графов при $s \leq 8$.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В материалах конференции [4] представлен способ вычисления количества циклов сильно регулярных графов, зависящий от параметров сильно регулярных графов. При увеличении длины цикла в универсальной формуле попадают слагаемые, к которым не могут быть применены правила **редуцирования** [4]. Назовём их **нередуцируемыми**.

Таким образом, среди формальных графов, слагаемых формулы для вычисления циклов заданной длины, при увеличении длины цикла встречаются слагаемые, к которым нельзя применить формулы понижения кратности суммирования. Следовательно, вполне возможно, что данные слагаемые не могут быть выражены через параметры сильно регулярного графа и, более того, влияют на то, что задача поиска гамильтонова цикла в сильно регулярных графах перестаёт быть полиномиальной [4] при увеличении размера графа, в котором осуществляется поиск гамильтонова цикла. Рассмотрим в статье вклад **нередуцируемых** слагаемых в значение $C_s(G)$.