

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Ньи Ньи ХТУНА «Разработка и исследование рецепторных геометрических моделей телесной трассировки», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.01.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика

В диссертационной работе Ньи Ньи Хтуна исследуются вопросы автоматизации компоновки, актуальные при создании современной техники, особенно транспортной. Высокая плотность компоновки таких изделий не позволяет на этапе проектирования отследить все случаи взаимного пересечения объектов сборки и выбрать рациональное решение среди громадного числа возможных вариантов. Создание натуральных макетов, выручавшее конструкторов в середине и конце прошлого века, сложно, долго и дорого и уже давно не удовлетворяет требованиям современного уровня технологии. Пришедшие на смену макетированию современные компьютерные технологии, ориентированные на использование САД-систем, решая рутинную задачу визуализации и выявления случаев взаимного пересечения объектов сборки, не позволяют оптимизировать компоновочные решения, воплощая в проект лишь конкретный опыт конкретного проектанта. Автоматизация сборки даже объектов простых геометрических форм является сложной интеллектуальной задачей из-за огромного количества вариантов компоновок. Дополнительную сложность решению задачи автоматизированной компоновки придает тот факт, что сборка – процесс в высшей степени творческий. При его «ручной реализации» проектант использует свои творческие способности, которыми компьютер не обладает, что автоматически приводит к усложнению используемых для этого вычислительных алгоритмов. Все это является причиной того, что в настоящее время отсутствуют компьютерные программы, способные полностью заменить интеллект проектанта при создании компоновок высокотехнологичных изделий. Опрометчиво рассчитывать на то, что эта проблема может быть решена в рамках одной или даже десятка диссертаций. Поэтому актуальность темы диссертации Ньи Ньи Хтуна, посвящённой разработке новых алгоритмов, методов и технологий автоматизации компоновки, и её практическая значимость не вызывает сомнения.

Очевидно, что создание программного обеспечения автоматизированной компоновки требует разработки методов и моделей, которые будут положены в основу такого программного обеспечения. Так как компоновка по своей сути является задачей размещения объектов определённой геометрической формы, то и модели для автоматизации этого процесса должны быть геометрическими. Следует отметить, что диссертантом исследуется достаточно сложный случай сборки – проектирование соединительных трасс, размеры которых сопоставимы с размерами уже скомпонованных объектов (случай «телесной» трассировки), что можно рассматривать как положительный момент проведённого диссертационного исследования.

Представленная диссертация достаточно полно и логично описывает результаты проведённого исследования. Во введении, содержащем все формально необходимые положения, дано чёткое описание предмета исследования и обоснована его новизна и актуальность, определены методологические основы проводимого исследования и сформулированы положения, выносимые на защиту, даются сведения об апробации и публикациях. Целью диссертационной работы является поиск эффективной трассы от заданной начальной точки к конечной точке с учётом областей запретов. Предполагается, что размеры трассы соизмеримы с размерами уже размещённых объектов.

Первая глава диссертации содержит достаточно подробный и обстоятельный обзор научной литературы, в которой описан достигнутый уровень проводимых исследований в предметной области диссертации. Это, прежде всего, анализ существующего уровня гео-

метрического моделирования геометрических объектов сложной формы (к которым относятся и каналовые поверхности). Рассмотрено задание геометрической формы объектов как при их классическом геометро-математическом описании, так и с использованием современных информационных технологий в задачах автоматизированной компоновки.

Во второй главе диссертантом сформулирована физическая и математическая постановка задачи проектирования телесной трассировки как оптимизационная задача, сформулированы критерии оптимизации трассировки и накладываемые ограничения. Здесь диссертантом обосновано применение дискретных методов геометрического моделирования (в частности, рецепторного) для решения поставленной задачи. Здесь же проведен подробный анализ результатов отечественных и зарубежных исследований уже в области разработки и использования рецепторных геометрических моделей. Из этого анализа диссертантом сделан справедливый вывод, что хотя рецепторные геометрические модели эффективно и широко применяются в ряде технических приложений (проектирование печатных плат и интегральных микросхем), они в существующем виде не могут быть использованы при решении поставленной задачи – телесной трассировке каналовых поверхностей.

В третьей главе описана осуществленная диссертантом глубокая модернизация лучших из современных рецепторных геометрических моделей, реализующих алгоритм Дейкстры и A^* (A^* -звездочка). Это позволило «научить» алгоритм выбирать направление трассы (её главную направляющую линию) таким образом, чтобы трасса оставалась плавной (т.е. обеспечивался заданный радиус кривизны), график площадей сечений каналовой поверхности и заданное расстояние между уже скомпонованными объектами. Подробно описаны эвристики, обеспечивающие надделение существующих геометрических моделей этими полезными свойствами для автоматизированной компоновки соединительных трасс, обосновано увеличение в несколько раз количества направлений поиска, найдены переключатель выбора направления поиска и штраф за смену направления и т. п. Эта глава представляется наиболее наукоёмкой, так как в ней диссертантом предложены геометрические модели, обладающие элементами искусственного интеллекта, позволяющим выбирать рациональное направление прокладки трассы между уже скомпонованными объектами.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке алгоритмов, реализующих предложенные диссертантом геометрические модели телесной трассировки. В этой главе геометрические идеи, предложенные диссертантом во второй главе, воплощаются им в конкретные вычислительные операции. Это достигается исследованием новых эвристик, существенно улучшающих исходные алгоритмы Дейкстры и A^* . Здесь же описана программная реализация предложенных диссертантом геометрических моделей и реализующих их алгоритмов. Особое внимание уделяется исследованию и оптимизации информационной структуры алгоритма, что существенно повысило его быстродействие. Предложенные диссертантом геометрические модели и реализующие их алгоритмы реализованы в виде программного комплекса Advanced Pathfinder System (APS) на языке программирования C#, который обеспечивает ввод исходных данных и визуализацию полученных результатов автоматизированной компоновки. Также в этой главе диссертантом описан интерфейс и примеры работы этой программы. В этой главе также приведен достаточно подробный и полный анализ результатов диссертационного исследования, описано сравнение предложенного метода с лучшими аналогичными разработками, из которых следует, что он обладает рядом существенных преимуществ. Методом имитационного моделирования определены достоверность и точность полученных диссертантом результатов и также быстродействие основных операций автоматизированной компоновки по сравнению с использованием САД-системы в интерактивном режиме. Показано использование полученных результатов в модификации лёгкого самолёта «АСА-2».

В заключении приведены выводы и анализ результатов диссертационного исследования.

Оригинальность и новизна диссертации состоит в разработке рецепторных геометрических моделей и реализующих их алгоритмов и программ построения главной направляющей линии каналовой поверхности, обеспечивающей заданную геометрию сечений вдоль направляющей главной линии канала как по нормали к этой линии, так и с плоскостью параллелизма, обеспечение заданного минимального радиуса кривизны главной направляющей линии канала, а также заданное расстояние от уже скомпонованных объектов. Самостоятельную ценность представляют собой разработанные диссертантом новые эвристики обхода препятствий и методы оптимизации информационной структуры алгоритма. Также новыми научными результатами следует считать результаты проведённых диссертантом исследований разработанных геометрических моделей и реализующих их алгоритмов по оценке точности, производительности и затрат необходимых вычислительных ресурсов.

По содержанию оппонируемой диссертационной работы следует сделать следующие замечания:

- 1. Скомпонованные объекты, между которыми проводятся соединительные трассы, в данном исследовании могут быть представлены параметрическими моделями примитивов или композициями примитивов, что не всегда достаточно для точного описания геометрической формы компокуемых объектов.*
- 2. Программный комплекс APS, с помощью которого производится ввод и вывод исходных данных, конечно, по своей производительности операций ввода-вывода и удобству работы пользователя не может заменить дружественный интерфейс системы геометрического моделирования.*
- 3. Автор совершенно напрасно приязывает свою программную реализацию к языку Microsoft C# коммерческой компании с сомнительной репутацией – реализованные за бюджетные средства программы должны базироваться на открытых платформах и кодах.*
- 4. Диссертантом не исследован вопрос проведения параллельных вычислений на многопроцессорных вычислительных системах, в том числе, на графических ускорителях.*

Однако приведённые недостатки не снижают в целом хорошего представления о данной диссертации, не опровергают её основных положений и выводов. Диссертация написана понятным языком и прекрасно проиллюстрирована. Диссертация Ньи Ньи Хтуна представляет собой законченное решение актуальной научно-технической задачи в области инженерной геометрии и компьютерной графики, прикладного программирования и их приложений для нужд промышленности. Предложенные автором подходы и разработанные алгоритмы и программы вносят значительный вклад в науку и технологию в области приложений инженерной геометрии и машинной графики. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Характеризуя диссертационную работу в целом, следует отметить полноту и законченность выполненной работы. Автора характеризует серьёзная проработка решаемых задач, оригинальность решений и общая практическая направленность работ, это позволяет сделать вывод, что диссертанту удалось решить поставленную задачу, используя лучшие мировые достижения в этой области. Приведённый в диссертации обзор научных публикаций по разным аспектам диссертационного исследования показал высокую эрудицию диссертанта и умение работать с научной литературой. Достаточно смелым решением диссертанта является выбор в качестве основной геометрической модели – рецепторную модель, что не характерно для традиционных исследований в области проектирования каналовых поверхностей. В них основное внимание обычно уделяется гладкости проектируемой каналовой поверхности. Не позволяя даже теоретически создавать абсолютно гладкие по

своей геометрической форме объекты, рецепторные модели обладают другим несомненным преимуществом – не только достаточно лёгкой возможностью определения условия взаимного пересечения объектов, описанных такими моделями, но и возможностью создавать на их базе модели с элементами искусственного интеллекта. Общая тенденция увеличения вычислительной мощности современных компьютеров делает такой подход все более оправданным и перспективным. То, что диссертанту удалось создать алгоритмы, существенно улучшающие характеристики «мировых лидеров» в этой области не только по возможностям, но и по быстродействию, следует считать его серьёзным научным достижением.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что рассмотренная диссертация «Разработка и исследование рецепторных геометрических моделей телесной трассировки» соответствует уровню и полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.01.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика, а её автор Нь Нь ХТУН несомненно заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

*Официальный оппонент
доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры физико-технической
информатики МФТИ (ГУ)*

С.В. Клименко

Подпись С.В.Клименко «ЗАВЕРЯЮ»
Учёный секретарь МФТИ (ГУ)



Ю.И.Скалько

**Отзыв официального оппонента
кандидата технических наук
Бодрышева Антона Валерьевича**

на диссертационную работу Ньи Ньи Хтуна (республика Союз Мьянма) на тему “Разработка и исследование рецепторных геометрических моделей телесной трассировки”, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.01 “Инженерная геометрия и компьютерная графика” в диссертационный совет Д 212.125.13 и выполненную на кафедре “Инженерная графика” Московского авиационного института (национального исследовательского университета)

Диссертационная работа Ньи Ньи Хтуна посвящена вопросам геометрического, алгоритмического и программного обеспечения автоматизированной компоновки изделий современной техники, прежде всего транспортной. Целью исследования является разработка геометрических моделей проектирования соединительных трасс между уже размещенными объектами, причем с наложением на прохождение и геометрию трасс определенных требований плавности тока, графика сечений, заданных расстояний между объектами и др. Дополнительным условием, усложняющим постановку задачи исследования, является то, что размеры соединительных трасс соизмеримы с размерами уже скомпонованных объектов, т.е. рассматривается случай так называемой “телесной трассировки”.

Актуальность темы исследования

Актуальность диссертационной работы Ньи Ньи Хтуна определяется тем, что проектирование конкурентоспособной современной техники, прежде всего транспортной, в силу ее сложности и многовариантности немислимо без применения современных информационных технологий, прежде всего систем автоматизации проектирования (САПР). Решение этих вопросов требует разработки соответствующего методического, алгоритмического и программного обеспечения. При этом вопросы автоматизации компоновки являются наиболее сложными, так как вычислительная техника не обладает присущим человеку пространственным мышлением, а человек не способен отследить случаи пересечения объектов при компоновке и удержать в своей памяти многие факторы, влияющие на эффективность компоновки. Но многовариантная оптимизационная задача автоматизации компоновки еще больше усложняется для компонуемых объектов сложных геометрических форм, какими являются каналовые объекты соединительных трасс. Поэтому актуальность и нацеленность на использование новейших информационных технологий выбранной диссертантом тематики исследований не вызывает сомнений.

Содержание работы

Во *введении* диссертации определена предметная область исследования и обосновывается актуальность и практическая ценность проведения исследований в этой области. Проанализирована степень разработанности объекта исследования, сформулированы цели и задачи диссертации. Во введении также перечислены исследования и их авторы, составляющие методологическую основу диссертации, а также положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* диссертации рассматриваются и анализируются существующие подходы к проектированию каналовых поверхностей, используемые при этом методы и модели. Особое внимание уделено заданию каналовой поверхности каркасно-кинематическим методом, используемым в подавляющем большинстве исследований в этой области. В этой главе также проана-

лизированы методы геометрического моделирования и геометрические модели различной сложности, используемые при описании геометрической формы объектов. Здесь также проведен анализ геометрических моделей описания геометрической формы компоуемых объектов, используемых в системах автоматизированного проектирования и автоматизированной компоновке, а также геометрические модели процесса самой автоматизированной компоновки. Таким образом, в данной главе проведен достаточно скрупулезный анализ известных научных результатов в области диссертационного исследования.

Во *второй главе* диссертантом рассмотрены физическая и математическая постановки задачи проектирования соединительных трасс. Проведен анализ специфических требований проектирования соединительных трасс, обусловленных транспортировкой через них жидкости или газа. Здесь же проведен анализ результатов исследований в области автоматизации трассировки, из которого следует, что наиболее эффективно эта задача решается дискретными методами при плоской или пространственной трассировке печатных плат и интегральных микросхем. Однако и эти известные методы не решают поставленную задачу – проектирование плавных трасс заданной геометрии между скомпонованными объектами. На этом анализе и основан описанный в данной главе и выбранный диссертантом метод геометрического моделирования телесной трассировки – использование рецепторных (воксельных) геометрических моделей. Уже после окончательного решения о выборе способа геометрического моделирования диссертант обращается к анализу результатов проведенных исследований уже в совсем узкой области – формирования и использования рецепторных геометрических моделей. Из этого анализа следует, что даже лучшие в мире результаты в этой области (алгоритмы Дейкстры и A-звездочка) не обеспечивают решения поставленной задачи телесной трассировки, но могут служить основой для создания алгоритма плавного обхода препятствий путем изменения эвристик работы алгоритма.

Третья глава диссертации посвящена разработке геометрических моделей и реализующих ее алгоритмов, обеспечивающих построение соединительных трасс с требуемыми параметрами. Это достигается прежде всего разработкой для алгоритма таких эвристик поиска, при которых алгоритм как бы приобретает элементы искусственного интеллекта, выбирая направление будущей трассы моделированием движения единичного рецептора по предикативному принципу “если-то”. А к уже выбранному направлению трассы разработанная диссертантом геометрическая модель добавляет сглаживание пути трассы, обеспечение размеров трассы в соответствии с заданными размерами и формой (причем как при задании для канала нормальных сечений, так и с плоскостью параллелизма), обеспечение прохождения трассы на заданном расстоянии от уже размещенных объектов. Именно в этой главе диссертантом приведена наглядная и подробная геометрическая иллюстрация разработанных им эвристик решения этих задач.

В *четвертой главе* подробно описана алгоритмическая и программная реализация предложенной геометрической модели телесной трассировки. Описаны основные алгоритмические и программные компоненты, обеспечивающие построение телесных трассировок с заданными характеристиками. В этой главе показано, что несмотря на кажущуюся простоту рецепторного метода моделирования трассы, для его реализации необходимо значительное количество вспомогательных программных модулей, описание и структурные схемы которых приведены в этой части диссертации. Глубокая модификация алгоритма A*, заключающаяся в добавлении в него новых компонентов – переключателя выбора направления поиска, штрафа за смену направления, новых эвристик и ряда других глубоких модификаций позволили не только адаптировать его для решения поставленной задачи трассировки, но и повысить его быстродействие в 300...1200 раз (в зависимости от насыщенности компоновочного пространства). Такое увеличение скорости работы программы во многом определяется оптимизацией информационной структуры алгоритма, также описанном в этой главе.

Для практического использования предложенных геометрических моделей и алгоритмов диссертантом была разработана программ (по существу графическая оболочка) Advanced Path-finder System (APS) на языке программирования C#, обеспечивающая ввод и визуализацию полученных результатов автоматизированной компоновки. В этой главе описан интерфейс и примеры работы этой программы.

В этой же главе было проведено исследование и верификация разработанной диссертантом геометрической модели и реализующих ее алгоритмов и программ. Проведено корректное сравнение особенностей работы предложенного алгоритма с лучшей реализацией алгоритма A* Масатоми Канехарой. Значительное внимание уделено оценке точности и производительности предложенной диссертантом геометрической модели телесной трассировки. Описано ее практическое использование при модификации компоновки подкапотного пространства легкого самолета "АСА-2". Также приведены оценки производительности предложенного метода по сравнению с компоновкой в интерактивном режиме при использовании стандартной CAD-системы.

В *заключении* подведены основные результаты диссертационного исследования и сформулированы выводы по проделанной работе.

Новизна полученных результатов исследования

Научная новизна диссертационного исследования Ньи Ньи Хтуна состоит в том, что впервые предложена геометрическая модель, позволяющая автоматизировать компоновку соединительных трасс между уже размещенными объектами с учетом дополнительных требований, обусловленных требованиями обеспечения плавности тока потока жидкости или газа, а также ряда дополнительных компоновочных требований (заданного графика площадей сечений канала, минимального радиуса кривизны, заданного расстояния от уже размещенных объектов и ряда других). Новым является подход к решению поставленной задачи, основанный на использовании рецепторных геометрических моделей, что позволило придать предложенной диссертантом геометрической модели элементы искусственного интеллекта. На основании этой геометрической модели разработаны реализующие ее алгоритмы и программное обеспечение, а также проведено ее всестороннее исследование. Все эти результаты являются новыми.

Степень достоверности полученных результатов

Степень достоверности научных положений и выводов, содержащихся в диссертационной работе Ньи Ньи Хтуна, вытекает из корректного использования математического аппарата вычислительной геометрии и компьютерной графики, применением сертифицированных программных продуктов, тестирование результатов диссертационного исследования как на тестовых моделях с заведомо известным результатом, так и внедрением результатов в практику проектирования. Также необходимо отметить, что материалы диссертации апробированы достаточно большим количеством статей и докладов на научных конференциях.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа общим объемом 180 машинописных страниц состоит из введения, 4-х глав, выводов и списка литературы содержащего 255 наименований, и приложений. Диссертационная работа выполнена на актуальную тему и имеет практическую направленность. Материал диссертационной работы в рамках поставленной задачи изложен логично и аргументировано. В рамках проведенного исследования диссертант проявил эрудицию и умение анализировать мировую научную и техническую литературу и делать из этого анализа обоснованные выводы. Диссертация написана хорошим литературным языком и прекрасно иллюстрирована. По своему содержанию диссертация имеет геометрическую направленность и

полностью соответствует специальности 05.01.01 “Инженерная геометрия и компьютерная графика”.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает результаты диссертационного исследования и соответствует требованиям ВАКа. Результаты диссертации Ньи Ньи Хтуна внедрены в практику проектирования и учебный процесс ВУЗа. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ в отечественных и зарубежных изданиях, из которых 3 работы в журналах из перечня ВАКа.

Замечания по диссертационной работе

1. В предложенной диссертантом геометрической модели уже скомпонованные объекты могут быть описаны либо примитивами, либо композицией примитивов. Это сужает возможности автоматизированной компоновки реальных технических систем, особенно транспортных.

2. В диссертации не исследована возможность адаптивного управления размером рецептора, при котором дискретность разбиения пространства компоновки уменьшается в проблемных местах компоновки и увеличивается там, где имеется явно свободное пространство.

3. Не предусмотрена связь разработанной диссертантом геометрической модели и реализующего ее программного обеспечения с одной из стандартных CAD – систем, что затрудняет ввод исходных данных и анализ результатов автоматизированной компоновки. Разработанная диссертантом на языке C# специальная программа визуализации Advanced Pathfinder System (APS) не в полной мере решает эту задачу.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера, во многом имеют характер пожелания и не снижают общего положительного впечатления об оппонируемой диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Ньи Ньи Хтуна представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение актуальной научной задачи, характеризующееся новизной и практической ценностью. В ней проведен анализ существующего уровня разработок во всем научном мире, разработаны новые геометрические модели, обеспечивающие решение поставленной практикой задачи, осуществлена их алгоритмическая и программная реализация, проведено исследование и верификация и внедрение в практику проектирования и учебный процесс.

Основные научные результаты исследования и выводы изложены как в самой диссертации, так и в ее автореферате.

Все это позволяет сделать вывод, что диссертация Ньи Ньи Хтуна “Разработка и исследование рецепторных геометрических моделей телесной трассировки” выполнена на высоком научном и методическом уровне и полностью соответствует Положению о присуждении ученых степеней, утвержденному постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года, а сам диссертант присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.01 “Инженерная геометрия и компьютерная графика”.

Генеральный директор
ООО “ПромАйТи”
кандидат технических наук



А.В.Бодрышев