

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. проф. Спектора А.А. на диссертационную работу Двойнишникова Сергея Владимировича «Многопараметрическая триангуляция геометрии динамических объектов в фазово-неоднородных средах», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы

Оптико-лазерные методы измерения геометрических параметров статических и движущихся объектов для науки и инновационных промышленных технологий актуальны и востребованы. Научная проблема триангуляционных измерений геометрических параметров динамических объектов в фазово-неоднородных средах на сегодняшний день не решена в полной мере. Фазовые неоднородности вызывают флуктуации параметров воздушной среды вдоль оптических трасс триангуляционных измерительных схем. Пространственно-временные градиенты коэффициента преломления фазово-неоднородной среды динамично искажают структуры оптических полей и существенно увеличивают погрешность измерений. Решение обозначенной проблемы важно для науки и особенно актуально для многих промышленных технологий, остро нуждающихся в современном научном, приборном и программно-аппаратном метрологическом обеспечении. Во многом, если не в определяющей степени, достижение как научных, так и практических результатов требует развития математической и программной поддержки, являющихся составной частью развиваемых технологий.

Работа Двойнишникова С.В. нацелена на решение обозначенной научно-технической проблемы и представляет несомненный научный и практический интерес.

Содержание работы, достоверность и новизна полученных результатов

Общий объем диссертационной работы 399 страниц. Она состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 277 наименований.

Во введении дана краткая характеристика диссертационной работы. Представлен обзор современного состояния методов многопараметрической триангуляции для измерения геометрических параметров статичных и динамичных объектов. Сформулированы цель и решаемые в работе задачи, направленные на развитие математической и технической базы триангуляционных технологий, перечислены положения, выносимые на защиту, обсуждаются научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена развитию методов многопараметрической триангуляции для измерения геометрических параметров статичных и движущихся объектов в термоградиентных фазово-неоднородных средах. Развита триангуляционная методика, опирающаяся на использование структурированного освещения анализируемого объекта. Предложен метод синхронной дифференциальной облачной триангуляции.

Вторая глава посвящена методам многопараметрической калибровки триангуляционных измерителей в фазово-неоднородных средах. Развита и доведена до практической реализации методика калибровки триангуляционных систем, основанная на применении структурированного освещения объекта и синхронной дифференциальной облачной триангуляции в условиях фазово-неоднородных сред распространения оптических сигналов.

Третья глава посвящена практической реализации методов многопараметрической триангуляции для определения геометрии динамичных объектов в фазово-неоднородных средах. Представлено обоснование построения измерительных триангуляционных комплексов на основе структурированного освещения объекта и дифференциальной облачной триангуляции. Разработано программное обеспечение реализованных измерительных систем.

Четвертая глава посвящена промышленным испытаниям методов многопараметрической триангуляции геометрии динамичных объектов в фазово-неоднородных средах, результаты которых убедительно показали высокую эффективность развитых в диссертации методов.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Анализ содержания диссертации говорит о том, что она направлена на решение проблемы получения оценок геометрических параметров поверхностей различных объектов, находящихся в разнообразных условиях: неподвижных и движущихся, с различными пространственными температурными градиентами. В качестве технической основы решения принята концепция триангуляционных измерений на базе пространственно-временной модуляции по яркости источников первичного освещения анализируемых поверхностей и последующего анализа изображений, полученных при регистрации рассеянного объектом света, особенности которого содержат оцениваемые характеристики. Несмотря на достаточно долгую историю существования триангуляционных методов, решение проблем, поставленных в диссертации, потребовало развития новых, а также существенной адаптации известных технологий к новым научно-техническим задачам.

Основные усилия, определившие успешность исследований, были направлены на развитие математических методов, адекватно описывающих решаемые задачи. Решение включало в себя традиционные этапы формальной постановки задачи, создания математических моделей, развития численных подходов к решению, разработку и всесторонние испытания программных продуктов, встраиваемых в опытный и рабочий варианты действующих систем. Число решенных локальных задач достаточно велико. Важной особенностью является комплексный характер исследования в целом, благодаря общей ориентации работы на получение конечного результата.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждена аналитическими исследованиями, математическим моделированием, результатами экспериментальных исследований, длительными промышленными испытаниями и опытом промышленной эксплуатации предложенных и реализованных методов и технических решений. Учитывая все вышесказанное, достоверность результатов работы не вызывает сомнений.

Научная новизна работы заключается в том, что предложены и реализованы новые методы многопараметрической триангуляции с применением пространственной и временной модуляции оптического источника и статистического анализа структуры фазово-неоднородной среды,

обеспечившие точные и устойчивые измерения геометрических параметров статичных и динамичных объектов в фазово-неоднородных средах. На основе методов многопараметрической триангуляции в фазово-неоднородных средах выполнены бесконтактные натурные измерения трехмерной геометрии лопастей рабочего колеса лопастно-поворотной турбины. Предложена, обоснована и апробирована радиационно-безопасная технология мониторинга толщины горячего металлопроката на основе многопараметрической синхронной дифференциальной облачной триангуляции. Достигнут рекордно малый уровень погрешности геометрических параметров динамичных объектов в условиях фазово-неоднородной среды: 10^{-6} в лабораторных и 10^{-5} в производственных условиях металлургического горячего цеха. Это стало возможным благодаря развитию математических методов описания триангуляционных процедур, разработке численных методов, созданию и внедрению в действующие установки соответствующего программного обеспечения.

Практическая значимость работы заключается в разработке действующих прототипов аппаратно-программных оптоэлектронных систем для измерения 3D геометрии крупногабаритных объектов на основе методов многопараметрической триангуляции. Созданные системы успешно использованы для впервые выполненных с применением пространственно-временной модуляции источника оптического излучения бесконтактных измерений 3D геометрии лопастей рабочих колес лопастно-поворотных турбин в процессе производства в цехе ОАО «Силовые машины-ЛМЗ». Впервые создан действующий оптоэлектронный радиационно-безопасный измерительный комплекс для мониторинга толщины движущегося горячего проката, работа которого основана на методах многопараметрической синхронной дифференциальной облачной триангуляции. Предназначенный для работы в тяжелейших условиях горячего металлургического цеха, измерительный комплекс успешно прошел цикл промышленных испытаний, введен в промышленную эксплуатацию в цехе горячего проката ОАО «Новосибирский металлургический завод им. Кузмина» в 2013 году, и непрерывно работает, обеспечивая метрологию, технологический контроль и учет горячего проката. Результаты работы активно используются в лабораториях ОАО «Силовые

машины-ЛМЗ», ОАО «ИОИТ» и ряда институтов СО РАН, а сфера их применения может быть расширена на другие области науки и промышленных технологий.

Положения, выносимые на защиту, четко сформулированы. Результаты диссертационной работы опубликованы в 15 статьях в рецензируемых журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией, 11 патентах, а также представлены на 38 конференциях. В указанных выше публикациях полностью изложены основные материалы диссертации. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Замечания

- Метод синхронной дифференциальной облачной триангуляции обладает высокой точностью при измерениях в условиях фазово-неоднородной среды. Как проверялись вероятностные модели искажений, вносимых фазово-неоднородной средой в условиях горячего металлургического цеха, в работе не отражено.
- В п. 2.3. автором предложены самообучающиеся алгоритмы калибровки. Из текста непонятно, на основе каких экспериментальных данных выполняется эта калибровка.
- Измерительная система для измерения 3D геометрии была испытана в лабораторных и полевых условиях перед проведением промышленных испытаний, а для измерителя толщины горячего проката таких данных нет. С чем это связано?

Заключение

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. В целом, диссертация С.В.Двойнишникова «Многопараметрическая триангуляция геометрии динамических объектов в фазово-неоднородных средах» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой, на основании выполненных автором исследований, разработаны триангуляционные методы измерений геометрических параметров статических и динамических объектов в

термоградиентных фазово-неоднородных средах, а также дано обоснование и созданы аппаратно-программные комплексы измерительных систем, ориентированные на применение в научных экспериментах и в промышленных технологиях, обладающие расширенными функциональными возможностями и высокими точностными характеристиками. Полученные результаты представляют собой новые научно-технические и технологические решения и разработки, основные из которых внедрены в действующем производстве и вносят значительный вклад в развитие страны. Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы, обладают научной новизной и представляют практическую ценность.

Диссертация Двойнишникова С.В. отвечает критериям, установленным в п. 9-11, 13-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а сам соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Д.т.н. проф. зав. кафедрой
теоретических основ радиотехники
Новосибирского государственного
технического университета

А.А. Спектор

*Собственноручную подпись
Спектора А.А. заверил
Первый проректор
государственного
университета д.т.н., профессор
Расторгуев Геннадий Иванович*

