

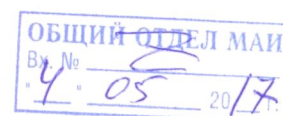
## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Карпова Олега Анатольевича на диссертацию Романова Александра Алексеевича «Автоматическая сшивка радиолокационных изображений земной поверхности при неизвестных элементах внешнего ориентирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация»

Сшивка (объединение) отдельных радиолокационных изображений (РЛИ), получаемых в РСА авиационного и космического базирования, в единую радиолокационную карту (РЛК) земной поверхности является завершающей операцией процесса радиолокационного обзора и первичной обработки радиолокационной информации. В большинстве задач радиолокационного мониторинга именно единая РЛК служит основой для дальнейшей тематической (вторичной) обработки.

Можно перечислить ряд задач, в которых получение единой РЛК из нескольких РЛИ является основой их успешного решения. Например: расширение зоны захвата РСА за счет сложных видов обзора (многокадровый телескопический, ScanSAR); однопроходная и многопроходная интерферометрия; совместная обработка данных в многочастотных (многодиапазонных) и (или) в многополяризационных РСА и т. д.

Ввиду неточного знания параметров движения носителя РСА, которое приводит к геометрическим искажениям внутри отдельных РЛИ и ошибкам определения их взаимной ориентации, задача сшивки РЛИ в единую РЛК не является тривиальной и в настоящее время требует вмешательства оператора. Поэтому задача автоматической, без участия оператора, сшивки РЛИ с геометрическими искажениями при неизвестных или неточно известных



элементах их ориентирования, решению которой посвящена диссертация Романова А. А., является весьма актуальной.

Представленная на защиту диссертационная работа содержит 169 страниц текста, включая 81 рисунок и 22 таблицы, состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений, списка используемой литературы из 113 наименований и 6 приложений.

Во введении приведено обоснование актуальности темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, отмечены практическая ценность и научная новизна, перечислены используемые методы исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведено краткое изложение содержания работы.

В первой главе проводится анализ достигнутых результатов по исследуемому вопросу: обзор современных РСА авиационного и космического базирования, а также существующего программного обеспечения, позволяющего проводить сшивку как РЛИ, так и изображений других диапазонов длин волн. Проведенный обзор показывает, что в настоящее время не существует алгоритмов или систем обработки РЛИ земной поверхности, позволяющих полностью автоматизировать процесс сшивки РЛИ в единую РЛК без элементов внешнего ориентирования и (или) ручной привязки к электронной карте местности. В конце главы осуществляется общая постановка задачи на предстоящие исследования и предлагаются основные этапы ее решения.

Во второй главе приводится математическая формулировка задачи синтеза оптимального алгоритма автоматической сшивки РЛИ и определяются критерии его оптимальности. Ввиду сложности реализации оптимального алгоритма, предлагается декомпозиция задачи и его квазиоптимальный вариант, состоящий из нескольких последовательных этапов. Для каждого из этапов осуществляется модернизация существующих и разработка новых алгоритмов анализа и обработки изображений. Совокупность полученных во второй главе алгоритмов составляет искомый

квазиоптимальный алгоритм сшивки РЛИ земной поверхности при неизвестных элементах внешнего ориентирования.

Описание моделей и результаты математического моделирования полученных ранее алгоритмов сшивки с использованием реальных РЛИ, полученных в РСА авиационного и космического базирования приводятся в третьей главе диссертации. В процессе моделирования оценивается погрешности сшивки в зависимости от различных факторов, формулируются предложения по их практической реализации. В целом приведенные результаты работы полученного во второй главе квазиоптимального алгоритма сшивки по реальным РЛИ земной поверхности при неизвестных элементах внешнего ориентирования показывают его работоспособность и высокую точность.

Рассмотренные в третьей главе примеры исходных данных и результаты работы алгоритмов вынесены в Приложения. В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Тема диссертации соответствует ее содержанию, а автореферат при объеме 24 страницы достаточно полно отражает основную суть проведенных автором исследований.

В процессе работы над диссертацией Романовым А. А. был получен ряд научных результатов обладающих несомненной новизной. На мой взгляд, к новым научным результатам можно отнести:

- предложенные и обоснованные автором показатели насыщенности семантики РЛИ земной поверхности, позволяющие проводить объективную оценку пригодности РЛИ для систем автоматической обработки, а также алгоритм для их определения;
- модернизированный алгоритм SURF, повышающий количество и качество найденных на РЛИ опорных точек;
- разработанные алгоритмы вычисления и уточнения параметров взаимной ориентации РЛИ с учетом возможных геометрических искажений и небольшого количества ошибочных опорных точек;

- собственно квазиоптимальный алгоритм автоматической сшивки РЛИ земной поверхности, состоящий из нескольких этапов и работающий при неизвестных элементах внешнего ориентирования.

Все полученные в диссертации результаты, научные положения, выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Их достоверность подтверждается корректностью использования известного математического аппарата анализа, обработки и преобразования цифровых изображений и результатами математического моделирования разработанных алгоритмов.

Кроме того, основные результаты работы прошли основательную апробацию в виде докладов на 13 научных и научно-технических конференциях, 3 статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК к публикации результатов диссертационных исследований, в 10 печатных работах в сборниках тезисов и докладов конференций и в 1 монографии.

Результаты работы были, также, использованы в НИР «Перспектива-500» в АО «Концерн «Вега» и внедрены в учебном процессе кафедры 401 МАИ.

В целом можно констатировать, что совокупность предлагаемых в работе решений обеспечивает решение поставленной задачи автоматической сшивки РЛИ, а полученные в диссертации алгоритмы обработки изображений позволяют создать программное обеспечение для систем автоматической обработки РЛИ земной поверхности при неизвестных элементах внешнего ориентирования и географической привязки.

Тем не менее, работа не лишена некоторых недостатков, среди которых хотелось бы отметить следующие.

1. В подразделе 1.4 при обзоре существующих алгоритмов автоматического выделения и описания точек интереса не упомянут алгоритм ORB, рассматриваемый в литературе как полноценная альтернатива описанным в диссертации алгоритмам SIFT и SURF.

2. На стр. 80 в правой части уравнения (56) в качестве множителя потерь весовой коэффициент  $w_{ij}$ . Очевидно, указанный недочет является

опечаткой, так как в дальнейшем, в уравнении (57) данный множитель присутствует в сделанной замене на «взвешенные средние значения» величин.

3. В подразделе 3.5 проводится оценка влияния кривизны земной поверхности на точность получаемой единой радиолокационной карты. Показано, что полученный алгоритм сшивки РЛИ не учитывает кривизну земной поверхности и имеет значительную погрешность при линейных размерах сшивки свыше 400-500 км. Однако в работе не указаны пути решения данной проблемы.

4. В главе 3 неоднократно упоминается, что тот или иной моделируемый алгоритм обработки РЛИ легко поддается распараллеливанию, что позволяет значительно уменьшить время его работы на многоядерных вычислительных системах (технологии CUDA, OpenCL и прочие). Тем не менее, в диссертации не приводятся конкретные значения продолжительности работы данных алгоритмов на упомянутых вычислительных системах.


5. В подразделе 2.3.4 не приводятся конкретные значения показателя эффективности экстраполяции для нейронных сетей с прямыми и перекрестными связями с тремя и более скрытыми слоями.

Отмеченные недостатки не снижают научной ценности и практической значимости результатов, полученных автором в диссертации.

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация «Автоматическая сшивка радиолокационных изображений земной поверхности при неизвестных элементах внешнего ориентирования» является завершенной научно-исследовательской квалификационной работой, соответствует всем требованиям положения «О присуждении ученых степеней» ВАК при Минобрнауки России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация», а ее автор, Романов Александр Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени

кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация».

Официальный оппонент  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
отдела 13 НИО 1 АО «Корпорация  
«Фазотрон-НИИР»  
123557, г. Москва, Электрический пер., д. 1  
Рабочий телефон: (495) 907-927-07-77  
e-mail: karp.sntp@mail.ru



О.А. Карпов

Подпись Карпова О.А. заверяю  
Первый заместитель генерального директора  
- Генеральный конструктор АО  
«Корпорация «Фазотрон-НИИР»



Ю.Н. Гуськов