

Моделирование радиолокационных изображений подстилающей поверхности для видеоподдержки обнаружения малоразмерных объектов

Simulation of Radar Images of the Underlying Surface for Small Objects Detection Video Support

Филиппских / Philippskih E.

Евгений Эдуардович

(vka@mil.ru)

кандидат технических наук.

ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия

имени А. Ф. Можайского»

(ВКА им. А. Ф. Можайского) МО РФ,

начальник отдела.

г. Санкт-Петербург

Кузьмин / Kuzmin V.

Виталий Васильевич

(vka@mil.ru)

кандидат военных наук, доцент.

ВКА им. А. Ф. Можайского,

старший научный сотрудник.

г. Санкт-Петербург

Попов / Popov A.

Анатолий Васильевич

(vka@mil.ru)

кандидат технических наук,

почетный работник науки и техники РФ.

ВКА им. А. Ф. Можайского,

старший научный сотрудник.

г. Санкт-Петербург

Владимиров / Vladimirov V.

Владислав Владимирович

(vka@mil.ru)

ВКА им. А. Ф. Можайского,

младший научный сотрудник.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: радиолокационное изображение – radar image; радиолокационная станция с синтезированной апертурой антенны – radar station with synthesized antenna aperture; модельное изображение – model image; трехмерная цифровая модель местности – three-dimensional digital model of the terrain; видеоподдержка – video support; обнаружение малоразмерных объектов – detection of small objects.

В статье описывается разработанная авторами методика моделирования прогнозных радиолокационных изображений подстилающей поверхности на основе трехмерных цифровых моделей местности, учитывающая особенности формирования изображений, получаемых радиолокационными датчиками различных типов. Рассматривается вариант применения прогнозных радиолокационных изображений для повышения эффективности обнаружения малоразмерных объектов средствами дистанционного зондирования, оснащенными радиолокационными датчиками наблюдения. При подготовке материалов были использованы экспериментальные данные, полученные авиационным радиолокатором бокового обзора с синтезированной апертурой антенны «Компакт-100» разработки АО «НИ ТП» при выполнении имитационного моделирования функционирования перспективных радиолокационных средств дистанционного зондирования Земли космического базирования.

This article describes a technique developed by the authors for modeling of predictive radar images of the underlying surface on the basis of three-dimensional digital terrain models, taking into account peculiarities of generation of images obtained by means of radar sensors of various types. An option of use of prognostic of the radar images is considered, this enables to enhance efficiency of small objects detection by remote sensing means, equipped with radar observation sensors. Experimental data for the paper were obtained by air side-looking surveillance radar with synthesized antenna aperture design, developed by "NII TP" JSC during implementation of simulation modeling of operation of prospective space-based radar means for remote Earth sensing.

Введение

Широкое внедрение в состав бортовой аппаратуры существующих и разрабатываемых в настоящее время космических средств дистанционного зондирования Земли радиолокационных датчиков обзора земной поверхности с высоким пространственным разрешением приводит к необходимости повышения эффективности решения задач обработки получаемой радиолокационной информации. Одним из способов решения данной задачи является включение в технологический цикл анализа и тематической обработки изображений на наземных пунктах автоматизированных процедур видеоподдержки операторов на основе использования трехмерных цифровых моделей местности и рассчитанных на их основе прогнозных радиолокационных изображений подстилающей поверхности.

Видеоподдержка обнаружения малоразмерных объектов по радиолокационным данным космических средств наблюдения особенно актуальна при обеспечении поисково-спасательных операций, мониторинга чрезвычайных ситуаций, экологического мониторинга, контроля судовождения и др. В этом случае к малоразмерным объектам можно отнести:

- упавшие на землю летательные аппараты и их фрагменты;
- морские суда, терпящие бедствие в открытых водных акваториях и в районах со сложной ледовой обстановкой;
- наземные транспортные средства и морские суда, в отношении которых выполняется контроль их текущего местоположения;
- отделяемые в ходе запуска части и элементы ракетно-космической техники, которые могут представлять угрозу для экологической безопасности, как правило в труднодоступных районах;
- локальные очаги взрывов, возгорания, выбросов опасных химических веществ, разлива нефтепродуктов и т.п. на объектах промышленной инфраструктуры.

Методика расчета модельных радиолокационных изображений подстилающей поверхности

Проведенные теоретические исследования [1, 2] позволили разработать методику расчета модельных (прогнозных) изображений подстилающей поверхности (рис. 1), получаемых радиолокационными станциями (РЛС) бокового, переднебокового и сканирующего обзора.

Методика обеспечивает расчет радиолокационных изображений на основе трехмерных цифровых моделей местности (ЦММ) и базы данных отражательных характеристик типовых поверхностей (БД ОХ) в СВЧ диапазоне спектра [3].

Под цифровыми моделями местности понимаются цифровые пространственные модели местности и объектов, которые рассчитываются (уточняются) по

цифровой картографической информации (ЦКИ) и данным дистанционного зондирования Земли, визуализируются с учетом электрофизических и текстурных характеристик покрытий объектов местности, а также параметров датчиковой аппаратуры систем наблюдения в задаваемых условиях их применения (рис. 2).

Цифровые модели местности обеспечивают задание как пространственных характеристик объектов местности, так и электрофизических свойств их поверхностей в различных диапазонах спектра (видимом, ИК, СВЧ).

База данных отражательных характеристик типовых поверхностей обеспечивает получение значений удельных эффективных площадей рассеяния (УЭПР) для различных типов непроводящих поверхностей с учетом условий наблюдения (угла визирования), параметров моделируемого радиолокационного датчика (длина волны, тип поляризации зондирующего сигнала), метеоусловий и времени года. Пример визуализации зависимостей УЭПР бетона от угла наблюдения для моностатического и бистатического случаев локации представлен на рис. 3.

В соответствии с предлагаемой методикой расчет прогнозных радиолокационных изображений (РЛИ) включает в себя последовательное выполнение этапов расчета энергетического портрета сцены и модельного РЛИ.

Этап расчета энергетического портрета сцены выполняется в приближении геометрической оптики путем трассировки трехмерной ЦММ с учетом параметров траектории, условий наблюдения и параметров функционирования радиолокационного датчика. При этом учитываются основные особенности формирования РЛИ, такие как пространственная ориентация и электрофизические свойства поверхностей объектов сцены, распределение элементов разрешения применительно к разнотипным датчикам, радиолокационные тени, масштабные искажения РЛИ по дальности и др.

Этап расчета модельного РЛИ обеспечивает формирование прогнозного РЛИ путем дополнительного преобразования, рассчитанного на предыдущем этапе энергетического портрета сцены. При этом учитываются характеристики приемного устройства, такие как амплитудная характеристика, полоса пропускания и уровень собственных шумов приемного устройства.

Пример результатов моделирования РЛИ подстилающей поверхности с использованием рассматриваемой методики показан на рис. 4.

Визуальное сравнение экспериментального (натурного) и соответствующего ему модельного (прогнозного) РЛИ, представленных на рис. 4, позволяет сделать вывод о высокой степени их соответствия. На модельном РЛИ присутствуют все характерные черты, свойственные экспериментальным РЛИ [4], а именно: участки радиолокационных теней, области отражения от вертикальных стенок и кромок, флюктуации отраженных сигналов от фонов растительного происхождения,

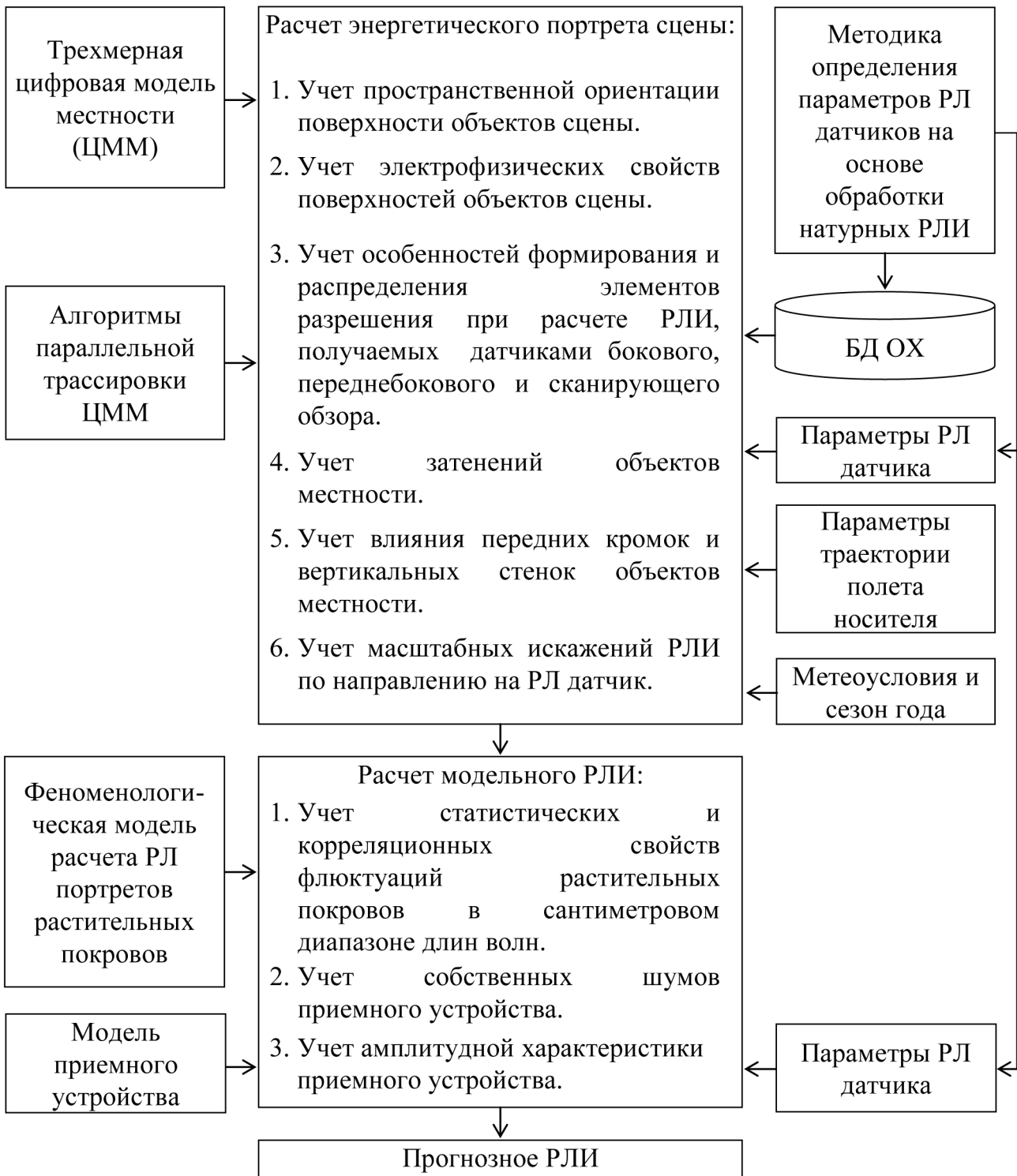


Рис. 1. Методика расчета прогнозных радиолокационных изображений



Рис. 2. Технология подготовки цифровых моделей местности

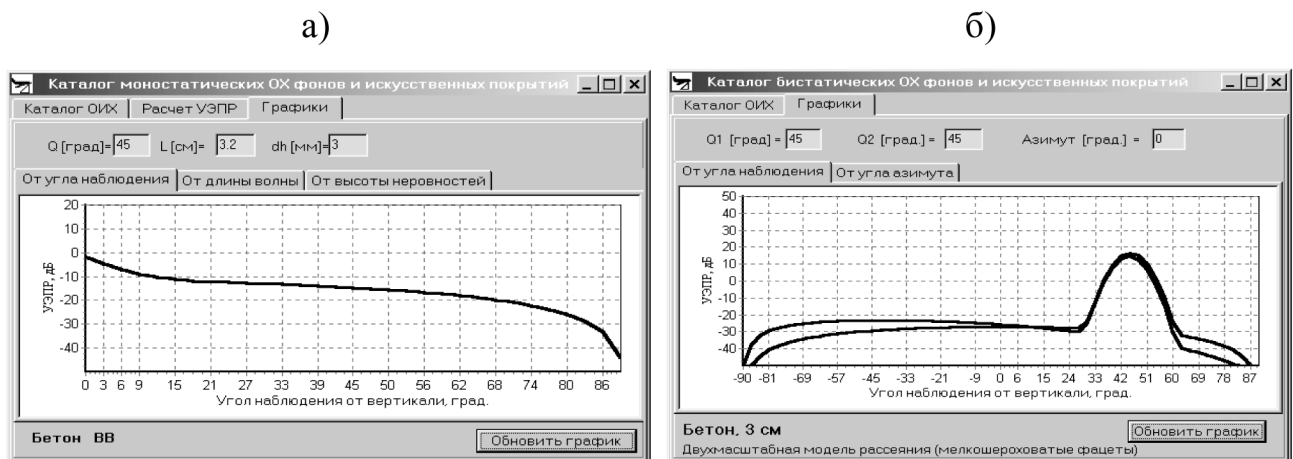


Рис. 3. Пример визуализации зависимостей УЭПР бетона от угла наблюдения для моностатического и бистатического случаев локации

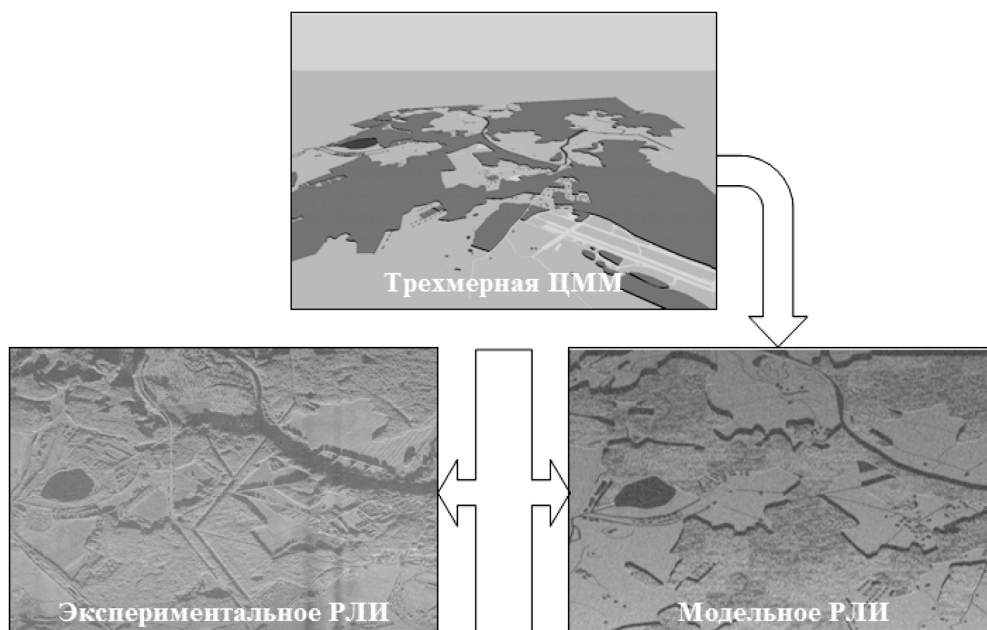


Рис. 4. Пример результатов моделирования РЛИ подстилающей поверхности

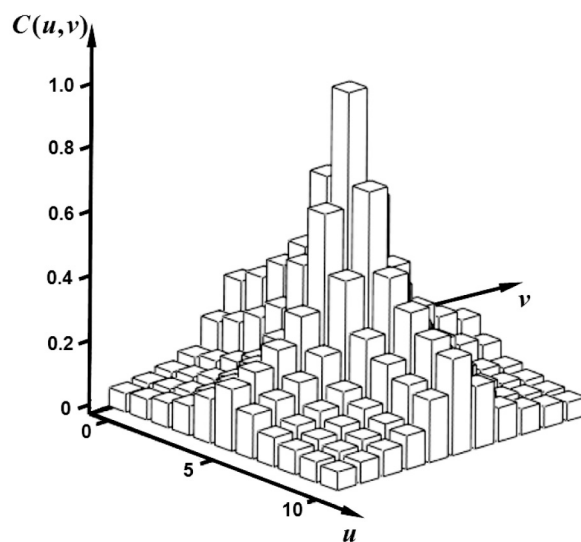


Рис. 5. Объемное представление двумерной нормированной взаимно-корреляционной функции, полученной в результате сравнения натурального и прогнозного РЛИ

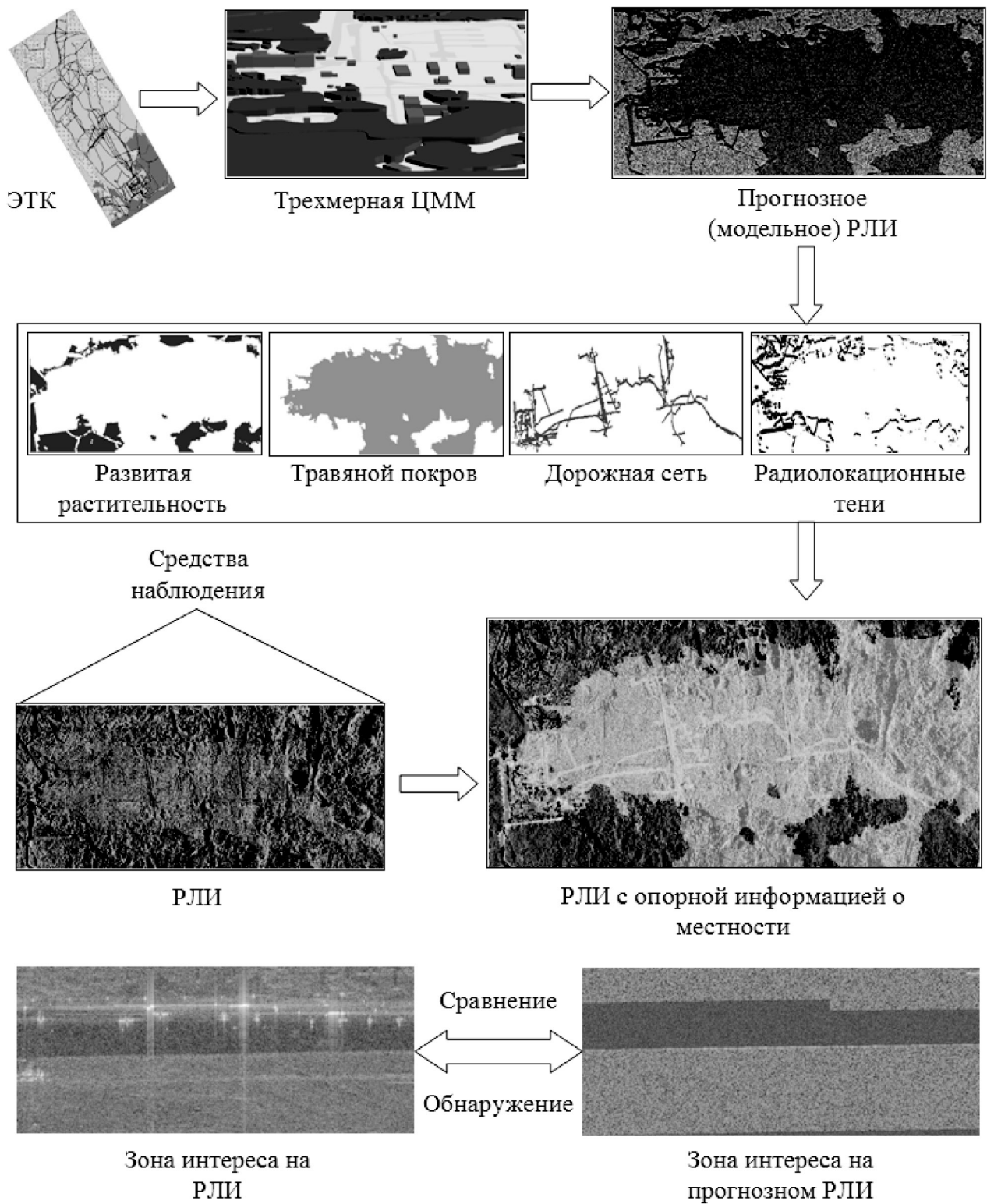


Рис. 6. Предложения по применению модельных (прогнозных) РЛИ для видеоподдержки процесса обнаружения малоразмерных объектов

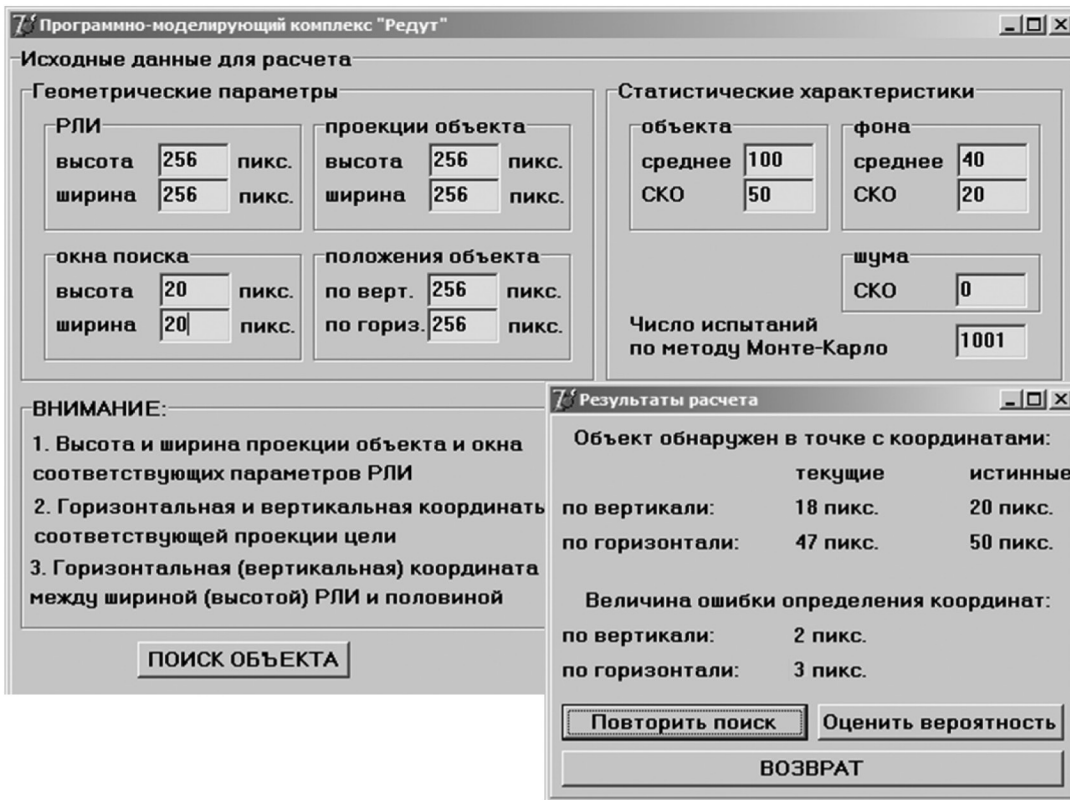


Рис. 7. Пример расчетов эффективности определения местоположения и слежения за терпящим бедствие объектом

фоноконтрастные образования, масштабные искажения по дальности и др.

Вывод о высокой степени соответствия рассчитанного модельного и экспериментального РЛИ также подтверждается результатами их сравнения с использованием корреляционных методов. При этом количественной характеристикой сравнения фрагментов двух изображений является максимум двумерной нормированной взаимно-корреляционной функции

$$C(u, v) = \frac{\sum_i \sum_j (ЭИ(i, j) - \mu_{ЭИ})(ТИ(i - u, j - v) - \mu_{ТИ})}{\left[\sum_i \sum_j (ТИ(i - u, j - v) - \mu_{ТИ})^2 \sum_x \sum_y (ЭИ(i, j) - \mu_{ЭИ})^2 \right]^{1/2}},$$

где $\mu_{ЭИ}$ и $\sigma_{ЭИ}$ – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение отсчетов яркости модельного (прогнозного) РЛИ,

$\mu_{ТИ}$ и $\sigma_{ТИ}$ – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение отсчетов яркости экспериментального (натурного) РЛИ.

Вид соответствующей двумерной нормированной взаимно-корреляционной функции, полученной при сравнении радиолокационных изображений (рис. 4), показан на рис. 5. Максимальное значение (пик) взаимно-корреляционной функции наблюдается при нулевых смещениях и составляет значение порядка 0.93, что

свидетельствует о высокой точности расчета модельного РЛИ.

Предложения по использованию модельных РЛИ для видеоподдержки обнаружения малоразмерных объектов по радиолокационным данным систем космического наблюдения

Анализ результатов моделирования РЛИ подстилающей поверхности позволяет сделать вывод о возможности их использования в интересах видеоподдержки процесса обнаружения типовых малоразмерных объектов на реальных фонах по радиолокационным данным, получаемым средствами космического наблюдения, в том числе в условиях сложной помеховой обстановки (рис. 6).

Для осуществления видеоподдержки обнаружения целесообразно использовать трехмерные ЦММ, которые готовятся на основе электронных топокарт (ЭТК) и могут в дальнейшем уточняться на основе имеющихся дополнительных информационных документов. В соответствии с описанной выше методикой с использованием ЦММ рассчитывается прогнозное (модельное) РЛИ. На основе совместного анализа и обработки модельного РЛИ и ЭТК в автоматизированном режиме с применением методов сегментации изображений [5] выделяются тематические слои, такие как растительность, гидрография, дорожная сеть, здания и сооружения, области радиолокационной тени,

которые визуализируются на фоне натурального РЛИ с применением соответствующего условного цветового кодирования. Данный подход обеспечивает оператору наглядную интерпретацию элементов подстилающей поверхности с элементами на натурном РЛИ с целью их последующей идентификации.

В дальнейшем осуществляется сопоставление прогнозного и натурального РЛИ с целью выявления имеющихся различий. Области на натурном РЛИ, в которых выявлены различия с соответствующими областями прогнозного РЛИ, относятся к зонам интереса, в которых велика вероятность нахождения искомым объектов. При этом оператор на основе имеющейся опорной информации о местности должен убедиться, что выявленные объекты, например объекты автотракторной или авиационной техники (нижняя часть рис. 6), находятся на фоне дорожной сети (на взлетно-посадочной полосе), а, например, не в лесном массиве или болоте.

Предложенный метод формирования модельных РЛИ обеспечивает получение основанных на результатах анализа натуральных экспериментальных данных достоверных оценок вероятностей обнаружения, распознавания (вскрытия этапов и качества функционирования) объектов наблюдения.

Пример расчета эффективности определения местоположения и слежения за терпящим бедствие объектом на основе формируемых модельных РЛИ с использованием макета программно-моделирующего комплекса «Редут», реализующего метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), представлен на рис. 7.

Статистическая обработка (моделирование) с использованием метода Монте-Карло имеет ряд преимуществ по сравнению с детерминистским анализом по точечным оценкам, главным из которых является получение результатов, демонстрирующих не только возможные события (для рассматриваемого случая – объект обнаружен, объект не обнаружен), но и вероятность их наступления.

Заключение

Разработанная методика расчета модельных радиолокационных изображений подстилающей поверхности на основе трехмерных цифровых моделей местности и аналитических зависимостей отражательных характеристик подстилающей поверхности в СВЧ диапазоне спектра позволяет с высокой точностью формировать прогнозные изображения местности, получаемые радиолокационными датчиками различных типов (бокового, переднебокового и сканирующего обзора) при заданных параметрах их функционирования и условиях наблюдения.

Следует отметить, что расчет модельных РЛИ в приближении геометрической оптики позволяет реализовать в составе методики алгоритмы распределенных

вычислений, которые повысят оперативность подготовки модельных (прогнозных) РЛИ при использовании многопроцессорных (кластерных) вычислительных комплексов.

Результаты расчетов эффективности слежения и определения местоположения малоразмерных объектов при решении задач мониторинга чрезвычайных ситуаций и экологической обстановки, полученные в ходе видеоподдержки на основе использования модельных (прогнозных) радиолокационных изображений, подтверждают реализуемость предложений по их применению для обеспечения требуемых характеристик обнаружения малоразмерных объектов космическими средствами дистанционного зондирования Земли, оснащенными радиолокационными датчиками наблюдения.

Литература

1. Филиппских, Е. Э. Особенности подготовки пространственно-энергетических моделей местности в СВЧ-диапазоне / Е.Э. Филиппских // Тр. XXII Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред» – Москва, 2005. – Вып. 4. – С. 64–66.
2. Филиппских, Е. Э. Результаты исследования особенностей радиолокационных изображений растительности // Тр. XXII Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред» – Москва, 2005. – Вып. 4. – С. 67 – 73.
3. Зубкович, С. Г. База данных моностатических и бистатических отражательных характеристик типовых естественных фонов и искусственных покрытий / С.Г. Зубкович, И.А. Бырков // Науч.-техн. сб. тр. войск. части 41513. – 2003. – Вып. 5. – С. 251–257.
4. Анализ яркостных характеристик радиолокационных изображений РСА «Компакт-100» / С.Л. Внотченко [и др.] // Тр. XX и XI Всероссийских симпозиумов «Радиолокационное исследование природных сред». – 2003. – Вып. 3. – С. 7–25.
5. Теория и практика цифровой обработки изображений. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / Под ред. А.М. Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.