

Каршаков Евгений Владимирович

Институт проблем управления (ИПУ РАН).

E-mail: karshak@mail.ru.

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65.

Тел.: 84953347168.

Павлов Борис Викторович

E-mail: pavlov@ipu.ru.

Тел.: 84953349351.

Karshakov Evgeny Vladimirovich

Institute of Control Sciences (ICS RAS).

E-mail: karshak@mail.ru.

65, Profsoyuznaya street, 117997, Moscow, Russia.

Phone: 84953347168.

Pavlov Boris Viktorovich

E-mail: pavlov@ipu.ru.

Phone: 84953349351.

УДК 550.837.6

А.К. Волковицкий**ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ И НАВИГАЦИИ**

Доклад посвящен задачам измерения физических полей и их навигационным приложениям. В докладе представлены результаты, достигнутые при разработке систем измерения физических полей. Дается обзор возможных приложений в задачах навигации и управления движением. Также приведены примеры обработки измерений геофизических систем.

Навигация; магнитометрия; магнито-градиентометрия; электромагнитные системы.

A.K. Volkovitskiy**PHYSICAL FIELDS MEASUREMENTS IN MOTION CONTROL
AND NAVIGATION TASKS**

The report is dedicated to the physical fields measurements and their applications in navigation tasks. The results achieved during physical fields measurement systems development are presented. A review of possible navigation and motion control applications is given. Examples of geophysical systems data processing are also provided.

Navigation; magnetometry; magnetic gradientometry; electromagnetics.

Введение. Решение задач навигации и управления движением традиционно связаны с измерением параметров физических полей. Направление силы тяжести служит основой работы инерциальных систем, отклонение магнитной стрелки компаса использовалось для целей навигации с древнейших времен.

Многие разработчики стараются использовать данные гравитационных и магнитных измерений для повышения точности длительной автономной навигации. В частности, известны работы по использованию гравитационных данных в качестве априорной информации для корреляционно-экстремальных систем позиционной и ориентационной коррекции [1].

Измерение параметров физических полей играют важнейшую роль при решении задач пеленгации и наведения. Магнитная пеленгация и наведение – важ-

нейшая научно-техническая задача, решение которой все еще нельзя считать полным и окончательным.

Следует отметить, что наиболее энергичное развитие средств и методов измерений физических полей Земли в последние десятилетия связано, главным образом с технологическим прогрессом в области геофизических, и в частности, аэрогеофизических исследований.

Последнее десятилетие ознаменовалось широким внедрением техники и методики аэрогравиметрической съемки в арсенал методов геологического картирования. Значительно выросло качество картирования аномалий магнитного поля, активно внедряются средства измерения магнитного и гравитационного градиента.

Эффективное использование новейших достижений современной геофизики в части технологии измерения параметров физических полей позволит существенно расширить возможности современных систем автономной навигации, средств пеленгации и наведения.

Магнитные измерения. Современные магнитометры, используемые при геофизических исследованиях обладают очень высокой чувствительностью, точностью и быстродействием. К примеру, квантовый скалярный магнитометр ГТ-МВС имеет чувствительность $0,2 \text{ пТл} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$ в полосе от 0 до 1 000 измерений в секунду. Столь высокая чувствительность и быстродействие современных средств измерений магнитного поля могут быть эффективно использованы для систем обнаружения и пеленгации быстродвижущихся объектов, равно как и систем пеленгации и наведения, устанавливаемых на быстродвижущихся объектах.

При использовании магнитных датчиков в составе любого комплекса весьма актуальной является задача компенсации влияния магнитных свойств аппарата-носителя на результаты магнитных измерений. При производстве аэромагнитной съемки эта задача неоднократно решалась различными способами, совершенствовались математические методы, много внимания уделялось оценке адекватности и точности полученного решения.

Использование высокоточной магнитной компенсации позволяет существенно упростить технологию высокоточной аэромагнитной съемки. В частности, для устранения магнитного влияния самолета-носителя обычно датчик приходилось буксировать за ним на удалении 40 – 50 м. Учитывать необходимость выполнения полетов с обтеканием рельефа на предельно малых высотах, такое решение оказывается связанным не только с высокой технической сложностью, но и с серьезным риском. Разработанные технические и программные средства позволили получить необходимые точности при жестком креплении датчика магнитометра к конструкциям самолета. На рис. 1 показан вариант жесткого крепления датчика магнитометра к конструкциям самолета Ан-2.



Рис. 1. Установка датчика магнитометра на борту самолета Ан-2

Научные результаты по данному направлению [2, 3] могут быть использованы в системах высокоточных магнитных измерений, устанавливаемых на любых подвижных и неподвижных объектах, в том числе на автономных подводных роботах. На рис. 2 показаны результаты магнитной компенсации – карты магнитного поля, полученные в двух вариантах: с буксировкой на расстоянии 40 м от самолета и с жестким креплением датчика.

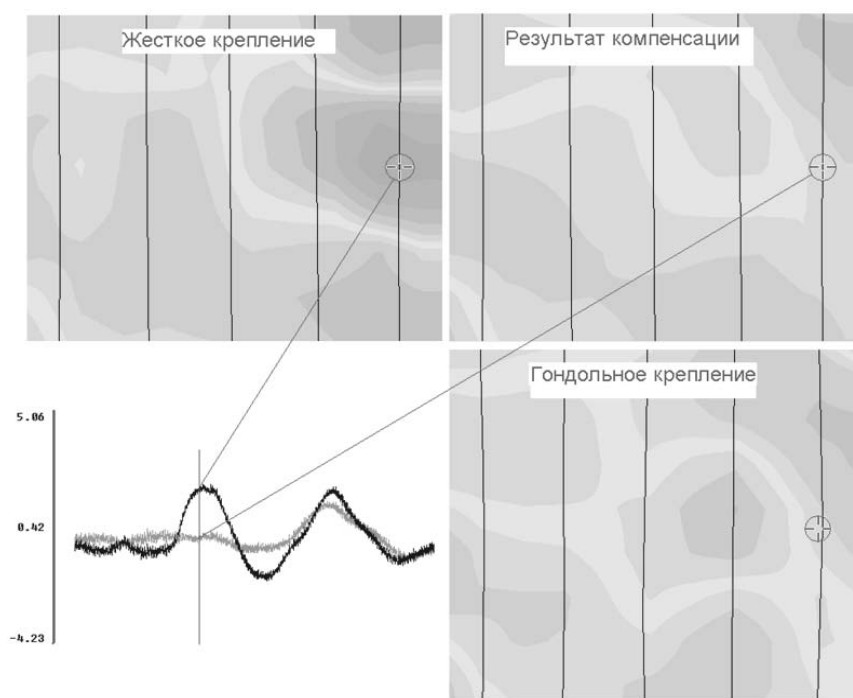


Рис. 2. Результат использования методов магнитной компенсации

Магнито-градиентные измерения. Важной особенностью магнитного поля Земли является его вариационная изменчивость. Естественные вариации магнитного поля существенно ограничивают возможность использования его моделей в качестве априорной информации.

Еще на ранних этапах выполнения магнитных съемок в геофизических исследованиях применялись методы синхронных магнито-градиентных измерений, позволяющие существенно снизить влияние вариаций при построении карт магнитных аномалий. Градиент магнитного поля подвержен вариационной изменчивости в существенно меньшей степени.

В настоящее время при геофизическом картировании достаточно распространены двух- и трехкомпонентные векторные магнито-градиентометры, измеряющие градиент скалярной величины – модуля вектора индукции магнитного поля. На рис. 3. приведены примеры таких систем.

Исследование проблем геофизического картирования выявило особенности таких измерительных систем, а также свойства самого измеряемого параметра. В числе прочего показано, что векторный магнито-градиентометр можно в некотором смысле считать магнитным пеленгатором. Направление вектора градиента лишь незначительно отклоняется от направления на возмущающий магнитный объект. Ошибка направления не превышает 14° . Отметим, что направление векто-

ра индукции целиком определяется ориентацией дипольного момента магнитного объекта, и не определяет направления на объект.

Измерительные возможности векторных магнито-градиентометров уже используются при решении ряда задач, связанных с обнаружением локальных намагниченных тел, например, в инженерной геофизике или при поиске неразорвавшихся боеприпасов. Очевидно, что полученные достижения векторной магнито-градиентометрии могут быть использованы для решения задач обнаружения, пеленгации и наведения.



Рис. 3. Горизонтальный и пространственный векторные магнито-градиентометры

Одной из важных особенностей глобального магнитного поля Земли является его "дипольный" характер. Это означает, что вектор градиента магнитного поля в отсутствие магнитных возмущающих тел имеет преимущественно вертикальное направление, незначительно изменяющееся в зависимости от широты. Это свойство представляется весьма важным, поскольку может служить основой для систем негравитационного представления вертикали.

Еще большей привлекательностью для решения задач пеленгации и наведения обладает тензорный магнито-градиентометр, измеряющий компоненты тензора вектора индукции магнитного поля. Такой магнито-градиентометр позволяет не только строго определить направление на магнитный объект, но и направление его дипольного момента.

Следует отметить, что в настоящее время средства магнитных измерений еще недостаточно точны и стабильны для использования в составе тензорного магнито-градиентометра, однако анализ тенденций развития показывает, что создание таких приборов возможно, а, следовательно, изучение и моделирование методов тензорных магнито-градиентных измерений важно для развития высокоточных систем обнаружения, пеленгации и наведения.

Электромагнитные методы относительной навигации. При современных аэрогеофизических исследованиях широко применяются электромагнитные системы зондирования земных недр. Сложная, пространственно распределенная система электромагнитного зондирования нуждается в точном мониторинге пространственного расположения передатчика и приемника низкочастотного переменного магнитного поля.

В ходе исследований были получены очень важные результаты [4]. Во-первых, удалось доказать, что для определения взаимного расположения приемника и передатчика не обязательно использовать спутниковые навигационные приемники, а во-вторых, разработанные методы позволяют также определить параметры угловой ориентации чувствительных осей трехкомпонентного приемника

по отношению к передающим рамкам. На рис. 4 приведен пример реального определения параметров взаимной геометрии в системе передатчик-приемник (с индексом EM) в сравнении с данными дифференциального режима спутниковой навигации (с индексом GPS) и с данными, полученными методом, предложенным Ричардом Смитом [5] (с индексом Sm). Расстояние между передатчиком и приемником – R , углы смещения в вертикальной плоскости θ , и в горизонтальной ψ .

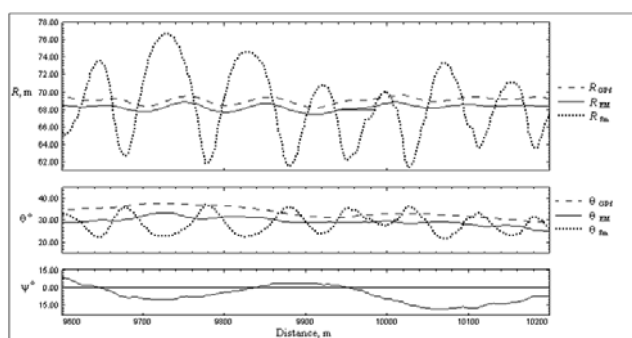


Рис. 4. Определение взаимной пространственной ориентации передатчика и приемника низкочастотной электромагнитной системы

Результаты этих исследований могут быть применены для решения задач навигации подвижных объектов в зоне действия ближнего привода. Техническая простота системы и высокая точность определения расстояний и углов могут быть использованы, например, для системы автоматической посадки беспилотного вертолета.

Заключение. Обобщая все вышеизложенное следует сказать, что в арсенале современной геофизики нашли свое место технические средства и методы, позволяющие существенно усилить возможности систем управления, основанные на измерении параметров физических полей. К сожалению, публикация результатов геофизических технологий, как правило, оставляет в тени красоту решений задач программно-аппаратного комплекса и самой технологии высокоточных измерений. Углубленное изучение этих результатов позволит эффективно использовать их применительно к задачам длительной автономной навигации, позиционной и угловой коррекции по естественным полям, задачам, специфическим для корреляционно-экстремальных систем, задачам обнаружения, пеленгации и наведения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пешехонов В.Г. Навигационные системы // Вестник Российской академии наук. – 1997. – № 1 (67). – С. 43-48.
2. Волковицкий А.К., Каршаков Е.В., Харичкин М.В. Система аэромагнитной съемки аномалий магнитного поля // Датчики и системы. – 2007. – № 8. – С. 17-21.
3. Каршаков Е.В., Харичкин М.В. Стохастическая задача оценивания при компенсации девиации аэромагнитометра // Автоматика и телемеханика. – 2008. – № 7. – С. 68-77.
4. Павлов Б.В., Волковицкий А.К., Каршаков Е.В. Низкочастотная электромагнитная система относительной навигации и ориентации // Труды 16-й Международной конференции по интегрированным навигационным системам, СПб., 2009. – С. 236-243.
5. Smith R.S. Tracking the transmitting-receiving offset in fixed-wing transient EM systems: methodology and application // Exploration Geophysics. – 2001. – № 32. – P. 014-019.

Волковицкий Андрей Кириллович

Институт проблем управления (ИПУ РАН).

E-mail: avolkovitsky@yandex.ru.

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65.

Тел.: 84953347168.

Volkovitskiy Andrey Kirillovich
Institute of Control Sciences (ICS RAS).
E-mail: avolkovitsky@yandex.ru.
65, Profsoyuznaya street, Moscow, 117997, Russia.
Phone: 84953347168.

УДК 681.3.01

В.В. Щербинин, Е.В. Шевцова

**АЛГОРИТМЫ ФРАГМЕНТАЦИИ ЦВЕТНЫХ ФОТОСНИМКОВ ДЛЯ
ФОРМИРОВАНИЯ РАЗНОСЕЗОННЫХ ЭТАЛОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
ОПТИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМ
НАВИГАЦИИ ЛА**

В работе рассматриваются алгоритмы фрагментации цветных фотоснимков для формирования разносезонных эталонных изображений корреляционно-экстремальных систем навигации ЛА с помощью базы данных спектральных коэффициентов яркости элементов ландшафта. Предложены три типа алгоритмов фрагментации: с помощью оператора, на основе кластерного анализа соответствующих векторов в RGB-пространстве, с помощью вейвлет-преобразования изображения.

Корреляционно-экстремальная система навигации; цветное изображение; кластерный анализ; вейвлет-преобразование.

V.V. Scherbinin, E.V. Shevtsova

**THE COLOR PICTURES FRAGMENTATION ALGORITHMS FOR
FORMATION DIFFERENT SEASONAL REFERENCE IMAGES OF THE
AIRCRAFT CORRELATION-EXTREME NAVIGATION SYSTEMS**

This paper presents the color pictures fragmentation algorithms for formation different seasonal reference images of the aircraft correlation-extreme navigation systems by means of brightness spectral factors database of landscape elements. The three types of fragmentation algorithms are offered: the operator algorithm, the cluster analysis algorithm of corresponding vectors in RGB-space and the image wavelet-transformation algorithm.

Correlation-extreme navigation; system color; picture cluster analysis; wavelet-transformation.

Перспективным направлением развития оптических корреляционно-экстремальных систем наведения (КЭСН) летательных аппаратов (ЛА) является использование спектральных отражательных характеристик местности для формирования эталонного и текущего изображений местности. Одной из форм использования спектральных отражательных характеристик местности является формирование цветных (RGB) изображений. В этом случае цветные (RGB) изображения, предназначенные для формирования текущего изображения (ТИ) местности, формируются на борту ЛА с помощью бортовой видеокамеры, а в качестве цветных (RGB) изображений, предназначенных для формирования эталонного изображения (ЭИ) местности, используются цветные (RGB) фотоснимки, полученные космической или аэро-фотоаппаратурой. Для цветных изображений выбрана следующая форма представления принимаемого оптического сигнала [1]: