

МНОГОПОЗИЦИОННЫЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МНОГОКАНАЛЬНОГО НАВЕДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

О.В. Викулов, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, д-р техн. наук, проф.,
vikulov@extech.ru

К.В. Епишин, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, доц., epishin@extech.ru

Е.Л. Хицунов, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, hidi88@extech.ru

В статье рассмотрены преимущества многопозиционного принципа построения корреляционно-экстремальных систем наведения (КЭСН). Показано, что объединение отдельных КЭСН в многопозиционную систему наведения позволяет повысить качество восприятия параметров геомагнитных полей путем взаимной координации пространственного положения таких объектов, как в интересах точности их наведения, за счет повышения информативности, так и в интересах эффективности их применения, за счет обеспечения целераспределения.

Ключевые слова: многопозиционная радиолокационная система, корреляционно-экстремальная система наведения, многоканальное наведение, магнитное поле, гравитационное поле, целеуказание, целераспределение.

MULTIPLE CORRELATION-EXTREME SYSTEM TARGETING MULTI-CHANNEL USING SPATIAL GEOPHYSICAL FIELDS

O.V. Vikulov, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, Ph.D. of Engineering, Professor,
vikulov@extech.ru

K.V. Epishin, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, Assistant Professor,
epishin@extech.ru

E.L. Khitsunov, Head of Department, SRI FRCEC, hidi88@extech.ru

In article advantages of the multiposition principle of creation of the correlation-extremal targeting system (CEST) are considered. It is shown that association of separate CEST in multiposition system of targeting allows to increase quality of perception of parameters of geomagnetic fields by mutual coordination of spatial provision of such objects, as for the benefit of the accuracy of their targeting, due to informational content increase, and for the benefit of efficiency of their application, due to ensuring target distribution.

Keywords: multistatic radar system, correlation-extremal targeting system, multichannel targeting, magnetic field, gravity field, target designation, target assignment.

Список сокращений:

БИНС – бесплатформенная инерциальная навигационная система;

БЦВМ – бортовая цифровая вычислительная машина;

ГПЗ – гравитационное поле Земли;

ИНС – инерциальная навигационная система;

КЭС – корреляционно-экстремальная система;

КЭСН – корреляционно-экстремальная система наведения;

МПЗ – магнитное поле Земли;

МП КЭС – многопозиционная корреляционно-экстремальная система;

МП КЭС МН – многопозиционная корреляционно-экстремальная система многоканального наведения.

Задача создания автономных систем наведения, удовлетворяющих совокупности требований в части глобальности, автономности, точности, скрытности и помехозащищенности, решается по пути создания корреляционно-экстремальных систем наведения (КЭСН) с комплексным использованием информации о поверхностных и пространственных геофизических полях. Модель магнитного поля Земли представлена на рис. 1. Принцип действия гравитационного поля Земли (ГПЗ) и модель аномалий ГПЗ представлены на рис. 2.

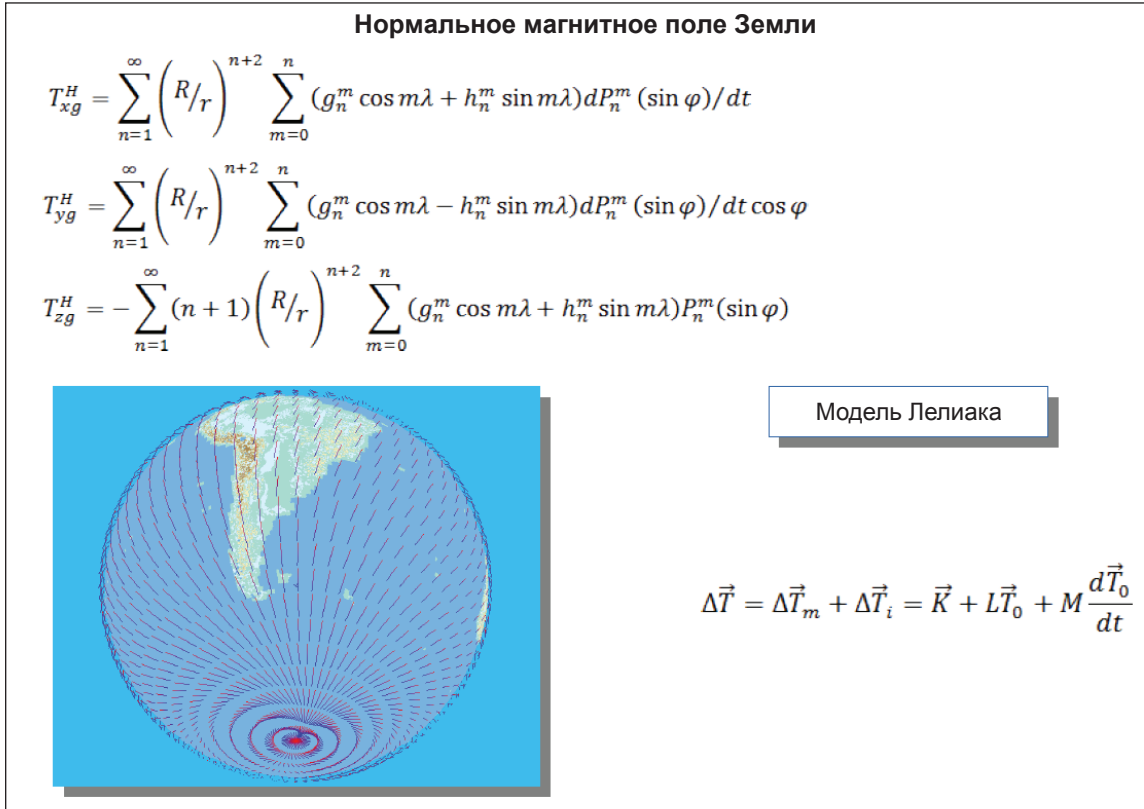


Рис. 1. Модель Лелиака для магнитного поля Земли

В настоящее время практическое применение нашли КЭСН по поверхностным полям: рельеф земной поверхности, радиолокационный и оптический контраст [1].

Для эффективного использования информации о параметрах пространственных полей необходимо переходить от отдельных датчиков, размещенных на отдельной корреляционно-экстремальной системе (КЭС), к пространственно-разнесенной системе таких датчиков, образующих многопозиционную корреляционно-экстремальную систему (МП КЭС), осуществляющую совместную обработку информации от этих датчиков из различных точек пространственных геофизических полей.

В отличие от поверхностных полей, параметры которых можно измерять лишь в точке, где находится отдельный датчик, пространственные поля являются трехмерными, глобальными и зависят от высоты наблюдения.

В отличие от поверхностных полей, параметры которых можно измерять лишь в точке, где находится отдельный датчик, пространственные поля являются трехмерными, глобальными и зависят от высоты наблюдения.

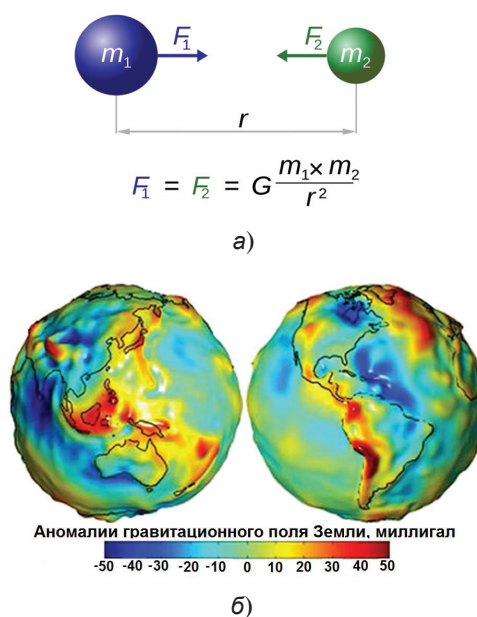


Рис. 2. Аномалии ГПЗ

$G \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$ – гравитационная постоянная в единицах СИ;
 среднее значение ускорения свободного падения у поверхности Земли
 $g = G(M/r^2) \approx 980 \text{ Гал}$; M – масса планеты;
 а) r – расстояние между телами; б) r – радиус планеты

Основной целью создания такой многопозиционной КЭС является более эффективное (по сравнению с обычной однопозиционной КЭС) использование информации, заключенной в пространственных характеристиках геофизических полей.

Наиболее информативной для КЭС является аномальная составляющая геофизического поля, определяемая в основном неоднородностью земной коры по плотности – гравитационное поле Земли (ГПЗ) и по проводимости – магнитное поле Земли (МПЗ) [1]. При этом измеряемыми параметрами пространственных полей для МПЗ являются модуль вектора магнитной индукции и его составляющие, а для ГПЗ – первые и вторые производные гравипотенциала. Характер этих параметров существенно меняется по мере увеличения высоты, в результате чего уменьшается полезный сигнал, исчезают высокочастотные его компоненты и начинают преобладать низкие частоты. В таких условиях однозначно оценить характер таких полей по измерению лишь в одной точке пространства в принципе невозможно.

Очевидно, что МП КЭС, извлекая информацию из нескольких пространственно-разнесенных участков поля, благодаря совместной ее обработке приобретает существенные преимущества по информативности, точности и помехозащищенности, благодаря более полному восприятию информации о характере пространственного поля.

Таким образом, МП КЭС отличаются два основных признака – наличие нескольких пространственно-разнесенных позиций и совместная обработка информации, получаемой от этих позиций [2]. Именно благодаря такой совместной и одновременной обработке информации о геофизическом поле, получаемой из его пространственно-разнесенных точек, достигаются основные преимущества МП КЭС.

С другой стороны, доказано, что для повышения эффективности поражения целей целесообразно использовать многоканальный принцип наведения, когда на траектории одновременно находятся несколько управляемых объектов [3]. Учитывая то, что каждая отдельная систе-

ма наведения осуществляет фактически одни и те же функции в одном и том же масштабе времени, целесообразно объединить их в многоканальную систему наведения, в которой появляется возможность взаимно координировать пространственное положение объектов как в интересах самого наведения, повышая его информативность, так и в интересах целераспределения. Таким образом, объединяя многопозиционный принцип построения КЭС и принцип многоканального построения системы наведения, можно реализовать многопозиционную корреляционно-экстремальную систему многоканального наведения (МП КЭС МН).

Корреляционно-экстремальные системы наведения в зависимости от типа физических полей делятся:

- на магнитометрические КЭС, в которых наведение осуществляется либо по вектору магнитной индукции поля Земли (МагКЭНС-2), либо по его модулю (МагКЭНС-1);
- на гравиметрические КЭС, в которых наведение осуществляется либо по градиентам силы тяжести (ГравиКЭНС-2), либо по ее аномалиям (ГравиКЭНС-1) [1].

При этом, если в состав МагКЭНС-1, как правило, помимо инерциальной навигационной системы (ИНС) входят магнитометр, барометрический высотомер и бортовая цифровая вычислительная машина (БЦВМ) с бортовой базой магнитометрических данных, то в составе МагКЭНС-2 присутствуют квантовый магнитометр, трехкомпонентный феррозондовый магнитометр и микромеханическая бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), корректируемая от основной ИНС. По данным экспериментальных исследований для начальных позиционных ошибок ± 15 км и интервалах наблюдения 25–30 км точность оценки местоположения по МПЗ составила 500 м [1].

Что касается гравиметрических режимов КЭС, то в этом случае помимо основной ИНС используются гравиметр, гравивариометр или гравиградиентометр (рис. 3), барометрический высотомер и БЦВМ с бортовой базой гравиметрических данных. При этом, если ГравиКЭНС-1 работает по аномалиям ускорений силы тяжести, то ГравиКЭНС-2 использует гравиградиентометр, измеряющий вторые производные гравипотенциала (которые принципиально нечувствительны к линейным ускорениям), что существенно снижает зависимость его данных от высоты.

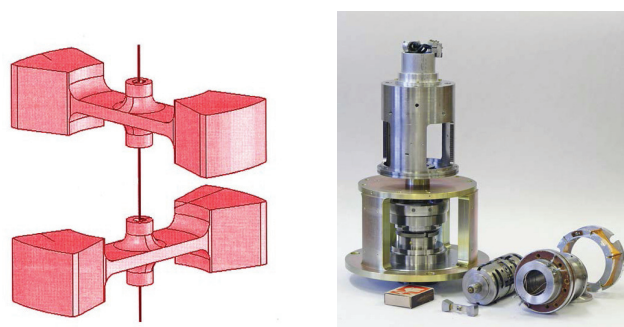


Рис. 3. Механическая колебательная система (слева), лежащая в основе принципа действия гравиградиентометра (справа)

Точность гравиметрических КЭНС по полю ускорений силы тяжести потенциально обеспечивает точность оценки координат на плоскости по ГПЗ, равную 100–1000 м, в зависимости от высоты полета [1]. При этом основной проблемой такого однопозиционного измерения является трудность разделения ускорений объекта в вертикальной плоскости и ускорений силы тяжести, которые в многопозиционной по высоте системе могут быть успешно разделены.

Глобальность и непрерывность пространственных полей позволяют обеспечить практически непрерывную коррекцию ИНС, что дает возможность использовать сравнительно грубые ИНС на уровне 0,05–0,1 град/ч.

При этом основное внимание было уделено исследованию информативности вторых производных гравитационного потенциала для характерных форм рельефа, включая границы «вода-суша» (береговая линия морей, океанов, реки, озера), а также известные геологические разломы земной коры. В качестве параметров информативности использовались дисперсия и радиус корреляции характеристик ГПЗ. Сопоставляя эти радиусы корреляции с величиной пространственного разнесения позиций МП КЭС, можно разделить их на пространственно-когерентные и некогерентные МП КЭС.

В пространственно-когерентных системах расстояние между позициями не превышает радиуса корреляции неоднородности поля, что позволяет более точно измерять его векторные составляющие. В противном случае, когда расстояние между позициями оказывается больше этого радиуса, пространственная когерентность нарушается и система начинает функционировать лишь на уровне модулей геофизического поля.

Однако для обеспечения такой пространственной когерентности необходима взаимная привязка разнесенных позиций КЭС не только в пространстве, но и во времени. Для этого могут быть использованы как радиоастрономические и спутниковые системы привязки, так и атомные эталоны времени. Подобную пространственно-когерентную МП КЭС можно рассматривать как единую разреженную антенную решетку [4]. Такие системы наиболее полно используют информацию, содержащуюся в пространственно-временной структуре геофизического поля.

Для получения приемлемых характеристик пространственной избирательности такой МП КЭС потребуются не менее пяти таких позиций [5]. И если для пространственно-когерентных МП КЭС характерны малые базы между позициями, при которых еще не нарушается пространственная когерентность геофизических полей, то дальнейшее уменьшение базы приводит к снижению помехоустойчивости системы в целом.

Возможность изменять пространственное положение позиций в интересах информативности и помехоустойчивости наведения является принципиальным достоинством многопозиционной КЭС по сравнению с однопозиционными системами [6]. Однако из-за трудностей взаимной пространственной привязки таких позиций пространственно-когерентные МП КЭС оказываются наиболее сложными и дорогостоящими.

По уровню объединения информации МП КЭС можно разделить на два уровня:

- уровень объединения единичных замеров;
- уровень объединения траекторий.

Так, если для уровня объединения единичных замеров характерна непосредственная передача сигналов с датчиков позиций по линиям передачи данных (ЛПД), то при объединении траекторий предварительно на каждой позиции проводится не только первичная, но и вторичная обработка информации от датчиков, завершаемая построением траекторий и передачей ее для совместной обработки по ЛПД. В результате такой обработки дополнительно отсеиваются «ложные» и уточняются «истинные» траектории, при этом требования к пропускной способности ЛПД во втором случае могут быть значительно ниже, чем при объединении единичных замеров.

Заключение

Таким образом, применение МП КЭС МН позволит помимо повышения эффективности поражения групповых целей существенно улучшить показатели качества корреляционно-экстремальных систем и придать им принципиально новые возможности и свойства (в частности, возможность создания управляемой зоны измерения требуемой конфигурации с учетом ожидаемой геомагнитной обстановки).

Информационные преимущества МП КЭС, обусловленные добавлением к однопозиционной КЭС нескольких пространственно-разнесенных позиций, будут способствовать повышению общего объема сигнальной информации о геофизических полях. При этом существенный информационный выигрыш возникает в процессе кооперативной обработки таких сигналов, при которой информация от каждой позиции используется всеми другими позициями.

Повышение помехоустойчивости МП КЭС обусловлено тем, что на разнесенных позициях флуктуации, вызванные шумами датчиков отдельных позиций, эффективно сглаживаются при их совместной обработке, так как они являются статистически независимыми. С другой стороны, в МП КЭС снижается влияние магнитных бурь, так как это влияние будет синхронно проявляться на различных позициях, что также позволит их компенсировать при совместной обработке сигналов.

Повышение точности измерения пространственного положения управляемых объектов, а также точности построения их траекторий появляется в МП КЭС благодаря возможности определения всех трех относительных пространственных координат каждой позиции и их производных.

В качестве управляемых объектов МП КЭСН МН могут служить подводные лодки, торпеды, беспилотные летательные аппараты, крылатые ракеты, а также системы наведения разделяющихся головных частей ракет.

Статья подготовлена по материалам научно-исследовательской работы, выполненной ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по заданиям № 2.46.2016/НМ и № 5.214.2016/НМ Минобрнауки России на выполнение работ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.

Список литературы

1. Джанджгава Г.И., Герасимов Г.И., Августов Л.И. Навигация и наведение по пространственным геофизическим полям. Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. № 3. С. 74–84.
2. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь. 1993. С. 416.
3. Викулов О.В., Меркулов О.В., Саблин В.Н. Авиационные многопозиционные радиолокационные системы многоканального наведения. Разведывательно-ударные комплексы. Успехи современной радиоэлектроники. 1998. № 9. С. 3–31.
4. Викулов О.В., Меркулов В.И. Структура моделей пространственно-временных сигналов и полей многопозиционной радиолокационной системы. М.: Радиотехника. 1998. № 2. С. 2–29.
5. Викулов О.В., Меркулов В.И. Модель кинематического звена контура многоканального наведения в подвижной многопозиционной радиолокационной системе. М.: Радиотехника. 1996. № 6. С. 25–29.
6. Викулов О.В. Траекторное управление наблюдением в активной радиолокационной системе самонаведения. М.: Радиотехника. (Радиосистемы выпуск 6). 1995. № 11. С. 81–85.

References

1. Janjgava G.I., Gerasimov G.I., Augustyw L.I. (2013) *Navigacija i navedenie po prostranstvennym geofizicheskim poljam*. *Izvestija Juzhnogo federal'nogo universiteta* [Navigation and guidance by spatial geophysical fields. News of southern Federal University]. *Tehnicheckie nauki* [Technical Sciences], no. 3, pp. 74–84.
2. Chernyak V.S. (1993) *Mnogopozicionnaja radiolokacija* [Multiposition radiolocation]. *Radio i svjaz'* [Radio and communication]. Moscow, p. 416.
3. Vikulov O.V., Merkulov O.V., Sablin V.N. (1998) *Aviacionnye mnogopozicionnye radiolokacionnye sistemy mnogokanal'nogo navedenija* [Aviation multi-position radar system multi-channel guidance]. *Razvedyvatel'no-*

udarnye komplekсы. Uspеhi sovremennoj radioelektroniki [Reconnaissance-strike complexes. Successes of modern radio electronics], no. 9, pp. 3–31.

4. Vikulov O.V., Merkulov V.I. (1998) *Struktura modelej prostranstvenno-vremennyh signalov i polej mnogopozicionnoj radiolokacionnoj sistemy* [Structure of models of spatial-temporal signals and fields multi-position radar system]. *Radiotekhnika* [Radio Engineering]. Moscow, no. 2, pp. 26–29.

5. Vikulov O.V., Merkulov V.I. (1996) *Model' kinematicheskogo zvena kontura mnogokanal'nogo navedenija v podvizhnoj mnogopozicionnoj radiolokacionnoj sisteme* [Kinematic Model of level loop multi-channel targeting in mobile multi-position radar system]. *Radiotekhnika* [Radio Engineering]. Moscow, no. 6, pp. 25–29.

6. Vikulov O.V. (1995) *Traektornoe upravlenie nabljudeniem v aktivnoj radiolokacionnoj sisteme samonavedenija* [Trajectory control of observation of the active radar-homing system]. *Radiotekhnika (Radiosystemy)*. [Radio Engineering (Radiosystems)]. Moscow. Issue 6, no. 11, pp. 81–85.