

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2026.3.10>

УДК: 623.746.4-519

## КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРУППОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА

А.Б. Гладышев, Д.Д. Дмитриев, В.Н. Ратушняк, И.В. Тяпкин, А.М. Мекаев, А.В. Жгун

Сибирский федеральный университет,  
660041, пр. Свободный 79, Красноярск, Россия

Статья поступила в редакцию 20 февраля 2026 г.

**Аннотация.** Одной из ключевых проблем организации группового полета БПЛА является обеспечение безопасного маневрирования, особенно при работе в плотном строю. Спутниковая навигационная система, имеющаяся на большинстве БПЛА, не может обеспечить достаточную для осуществления безопасного группового полета точность определения координат. В данной статье рассматривается метод комплексной обработки навигационной информации как один из вариантов организации безопасного управления группой БПЛА в плотном строю. Суть метода заключается в использовании навигационной информации, получаемой не только от стандартных навигационных систем, но от бортовой локальной навигационной системы, имеющейся у членов группы БПЛА. В качестве бортовой локальной навигационной системы предлагается использовать систему, которая для измерения расстояния между БПЛА использует метод симметричного двустороннего двунаправленного измерения, а для измерения азимута и угла места соседних БПЛА – метод углового сверхразрешения в кольцевой антенной решетке, основанный на алгоритме MUSIC. Процедура комплексной обработки включает в себя фильтрацию входных данных по порогу отсеивания,

взвешенное усреднение центрированных навигационных параметров и оптимальную обработку с помощью фильтра Калмана (объединение данных со всех источников, их сглаживание и прогноз при пропусках в выдаче навигационной информации).

**Ключевые слова:** групповое применение БПЛА, локальная навигационная система, метод симметричного двустороннего двунаправленного измерения расстояния, метод углового сверх разрешения MUSIC, фильтр Калмана.

**Финансирование:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-19-20070, <https://rscf.ru/project/25-19-20070/>, гранта Красноярского краевого фонда науки.

**Автор для переписки:** Мекаев Артем Михайлович, [mekaev\\_artem@mail.ru](mailto:mekaev_artem@mail.ru)

## Введение

Одной из ключевых проблем организации группового полета БПЛА остается обеспечение безопасного маневрирования, особенно при работе в плотном строю. Подтверждением практической значимости этой научной проблемы служит эксперимент, проведенный в Швейцарской высшей технической школе Цюриха (ETH Zurich) в 2022 году, где в ходе испытания во время одного запуска столкнулись 8 из 30 БПЛА, что составило более 25 % потерь. В ходе полевых испытаний в Будапеште (2017 г.) в рое из 100 единиц из-за больших погрешностей в системе GPS столкнулись порядка 15 % БПЛА. И такие случаи не единичны. Это демонстрирует, что даже в условиях научного контроля возможен риск потери беспилотных аппаратов [1]. На БПЛА различного типа до сих пор основной системой навигации является система спутниковой навигации. Но на сегодняшний день она не может обеспечить требований по высокой точности относительного позиционирования в группе, поскольку типовая погрешность определения координат по данным ГЛОНАСС или GPS составляет несколько метров. Одним из методов уменьшения погрешности измерений координат БПЛА является использование различных по масштабу дифференциальных сетей – от локальных до региональных.

К таким сетям относятся российская система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), а также другие RTK-сети (Real Time Kinematic), обеспечивающие погрешность измерений до 2-4 см. Однако эффективность данных систем зависит от наличия наземных станций дифференциальной коррекции, что не всегда реализуемо. Дифференциальные сети PPK (Post-Processed Kinematic), хоть и обеспечивают высокую точность (1-3 см), но используют метод постобработки данных, что не приемлемо для организации группового применения БПЛА. Одно из перспективных направлений навигационного обеспечения группового применения БПЛА – использование наземных локальных навигационных систем (ЛНС). Примером являются ЛНС типа «Псевдоспутники» – наземные станции, имитирующие спутниковые навигационные сигналы (проекты Вега плюс, LocataNet) [2, 3]. Также существуют ЛНС, работа которых основана на использовании маяков, излучающих заданные по структуре навигационные сигналы, как радио, так и ультразвуковые (разработки компании SwissDrones). Однако такие системы могут быть развернуты лишь на ограниченной территории и не могут в полной мере обеспечить навигационной информацией весь маршрут полета группы.

Классическим вариантом системы определения координат БПЛА является использование собственной бортовой инерциальной навигационной системы (ИНС), основанной на применении акселерометров, гироскопов, магнитометров и др. Однако, без своевременной коррекции, все инерциальные навигационные системы имеют эффект накопления ошибок измерения. Кроме этого, инерциальные датчики чувствительны к локальным магнитным возмущениям (полеты вблизи линии электропередачи или больших металлических объектов), чувствительны к резким маневрам и требуют точной предварительной калибровки перед вылетом. В качестве наиболее перспективной и лишенной вышеописанных недостатков инерциальных навигационных систем предлагается использование локальной системы взаимной навигации, основанной на принципе измерения параметров радиосигналов, излучаемых каждым БПЛА в группе. Суть метода,

используемого в данной бортовой навигационной системе, заключается в том, что каждый БПЛА в группе определяет местоположение соседа относительно себя дальномерно-пеленгационным способом. Задача определения местоположения соседнего БПЛА в пространстве сводится к измерению его трех координат – наклонной дальности, азимута и угла места. Далее определяется положение каждого БПЛА относительно друг друга в собственной локальной и глобальной системах координат. В зависимости от структуры построения системы управления группой БПЛА (централизованной, децентрализованной или гибридной) вычислительные мощности по определению положения каждого члена группы могут распределяться на все БПЛА или выделяться на БПЛА-лидере.

## **1. Измерение дальности между соседними БПЛА**

Для измерения наклонной дальности используется метод симметричного двустороннего двунаправленного измерения расстояния (Symmetric Double Sided Two Way Ranging, SDS-TWR) [4].

Для реализации данного метода каждый БПЛА оснащается приемопередатчиком, который способен излучать и принимать радиосигналы заданной структуры. Расстояния между двумя БПЛА определяется по измеренному времени распространения радиосигнала между двумя приемопередатчиками в результате симметричной двусторонней передачи сигнала.

Принцип работы метода заключается в последовательном обмене двумя парами сигналов: «запрос–подтверждение» от одного БПЛА к другому и обратно. На каждом этапе фиксируются временные метки отправки и приема сигналов. За счет симметричного обмена и учета известных временных задержек (к примеру, задаваемого программно времени отклика) компенсируются ошибки, связанные с асинхронной работой опорных генераторов на борту БПЛА и возможными аппаратными задержками. На рис. 1 представлена граф-схема метода симметричного двустороннего двунаправленного измерения расстояния.

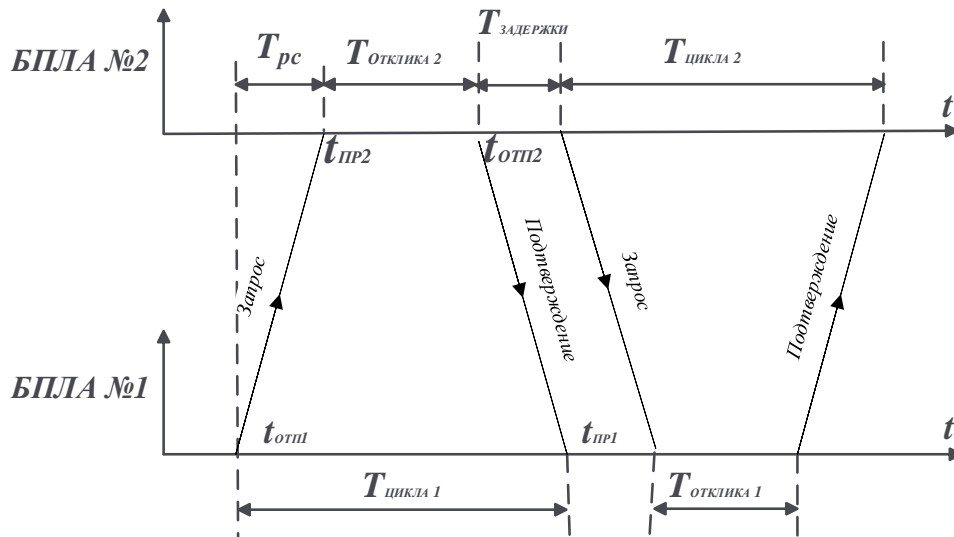


Рис. 1. Метод симметричного двустороннего двунаправленного измерения расстояния.

В одном цикле измерения используются два периода времени, которые имеются при передаче сигналов для определения расстояния между двумя БПЛА. Первый период – это время распространения сигнала между двумя БПЛА, а второй – программно-устанавливаемое время отклика ( $T_{\text{отклика}}$ ) – задержка отправки подтверждения в БПЛА. Время отклика всегда намного больше, чем время распространения сигнала ( $T_{\text{отклика}} \gg T_{\text{рс}}$ ), и является основным источником погрешности, связанной с отклонениями частоты тактовых генераторов приемо-передатчиков. Для цикла измерения на рис. 1 отмечены моменты отправки запроса БПЛА № 1 ( $t_{\text{отп1}}$ ), приема запроса БПЛА № 2 ( $t_{\text{пр2}}$ ), отправка подтверждения БПЛА № 2 ( $t_{\text{отп2}}$ ) и приема подтверждения БПЛА № 1 ( $t_{\text{пр1}}$ ). С учетом погрешностей опорных генераторов измеренное время распространения сигнала составляет:

$$\hat{T}_{\text{рс}} = (T_{\text{цикла1}} - T_{\text{отклика1}}) \times \frac{(1 + \delta_{\text{БПЛА1}})}{4} + (T_{\text{цикла2}} - T_{\text{отклика2}}) \times \frac{(1 + \delta_{\text{БПЛА2}})}{4}, \quad (1)$$

где  $\delta_{\text{БПЛА1}}$  – погрешность опорного генератора БПЛА №1,  $\delta_{\text{БПЛА2}}$  – погрешность опорного генератора БПЛА №2.

Модуль погрешности измерения времени распространения сигнала определяется следующим выражением:

$$\left| \hat{T}_{\text{рс}} - T_{\text{рс}} \right| = \left| \Delta_{\text{отклика}} \right| \times \delta_{\text{макс}} / 2, \quad (2)$$

где  $\Delta_{\text{ОТКЛИКА}} = T_{\text{ОТКЛИКА1}} - T_{\text{ОТКЛИКА2}}$  – асимметрия времени отклика,  $\delta_{\text{макс}} = |\delta_{\text{БПЛА1}} - \delta_{\text{БПЛА2}}|$  – модуль максимальной погрешности опорных генераторов БПЛА.

Метод симметричного двустороннего двунаправленного измерения расстояния характеризуется достаточно малыми погрешностями измерения расстояния между БПЛА.

Так, при асимметрии времени отклика  $\Delta_{\text{ОТКЛИКА}} = 10$  мкс и модуле максимальной погрешности опорных генераторов БПЛА  $\delta_{\text{макс}} = 20 \times 10^{-6}$ , погрешность измерения расстояния между БПЛА не будет превышать 5 см.

## 2. Измерение угловых координат соседних БПЛА

Для определения угловых координат соседних БПЛА предлагается использование антенных решеток и методов углового сверхразрешения. Одним из вариантов является применение пеленгатора с кольцевой антенной решеткой (рис. 2) в сочетании с обработкой принятого сигнала по алгоритму MUSIC.

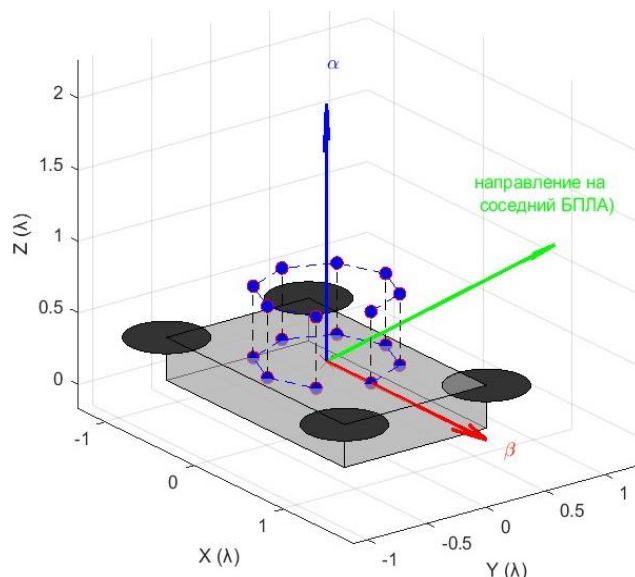


Рис. 2. Расположение антенной решетки на БПЛА.

Алгоритм MUSIC достаточно хорошо известен и описан в литературе [5]. Основные этапы обработки сигнала с  $M$ -элементной кольцевой антенной решетки, на которую приходит  $D$  сигналов с БПЛА – членов группы, состоит в следующем:

1) Вычисление ковариационной матрицы  $\mathbf{R}_x$ , показывающей взаимосвязь сигналов  $\mathbf{X} = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]^T$ , приходящих с элементов кольцевой антенной решетки:

$$\mathbf{R}_x = E[\mathbf{X}\mathbf{X}^H] = \mathbf{A}\mathbf{R}_s\mathbf{A}^H + \mathbf{R}\mathbf{N}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{A} = [a(\alpha_1, \beta_1), a(\alpha_2, \beta_2), \dots, a(\alpha_D, \beta_D)]^T$  – матрица сканирующих векторов антенной решетки для  $D$  сигналов, приходящих с различных направлений,  $\mathbf{R}_s$  – ковариационная матрица сигналов, принимаемых антенной решеткой,  $\mathbf{R}\mathbf{N} = \sigma^2\mathbf{I}$  – ковариационная матрица шума.

2) Разложение ковариационной матрицы  $\mathbf{R}_x$  на матрицу собственных векторов и собственных значений:

$$\mathbf{R}_x = \mathbf{E}\mathbf{\Lambda}\mathbf{E}^T, \quad (4)$$

где  $\mathbf{E}$  – матрица собственных векторов,  $\mathbf{\Lambda} = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M)$  – диагональная матрица собственных значений.

3) Разделение пространства  $\mathbf{E} = [\mathbf{E}_s \ \mathbf{E}_n]$  ковариационной матрицы  $\mathbf{R}_x$ , по результатам сортировки ее собственных значений  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_M \geq 0$ , на сигнальное и шумовое подпространства:

$$\mathbf{R}_x = \mathbf{E}_s\mathbf{\Lambda}_s\mathbf{E}_s^T + \mathbf{E}_n\mathbf{\Lambda}_n\mathbf{E}_n^T, \quad (5)$$

где  $\mathbf{\Lambda}_s = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_D)$  – диагональная матрица собственных значений сигнала, где  $\lambda_i \gg \sigma^2$ ,  $\mathbf{\Lambda}_n = \text{diag}(\lambda_{D+1}, \lambda_{D+2}, \dots, \lambda_M)$  – диагональная матрица собственных значений шума, где  $\lambda_i \approx \sigma^2$ ,  $\mathbf{E}_s$  – матрица собственных векторов, соответствующих значениям  $\mathbf{\Lambda}_s$  (сигнальное подпространство),  $\mathbf{E}_n$  – матрица собственных векторов, соответствующих значениям  $\mathbf{\Lambda}_n$  (шумовое подпространство).

4) Расчет псевдоспектра (пеленгационной характеристики) для определения азимута  $\beta$  и угла места  $\alpha$  согласно выражению:

$$P_{music}(\alpha, \beta) = \frac{1}{\mathbf{a}^H(\alpha, \beta)\mathbf{E}_n\mathbf{E}_n^H\mathbf{a}(\alpha, \beta)}, \quad (6)$$

где  $\mathbf{a}(\alpha, \beta)$  – вектор направленности для предполагаемого угла прихода (источника) сигнала.

Вектор направленности представляет собой вектор-столбец комплексных коэффициентов, описывающих зависимость фазовых сдвигов сигнала от направления на элементах антенной решетки:

$$\mathbf{a}(\alpha, \beta) = \begin{bmatrix} a_1(\alpha, \beta) \\ a_2(\alpha, \beta) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_m(\alpha, \beta) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Для кольцевой антенной решетки элемент вектора направленности  $a_m(\alpha, \beta)$  представляет собой функцию от угла прихода сигнала [6]:

$$\mathbf{a}_m(\alpha, \beta) = \exp\left(j \frac{2\pi}{\lambda} r \sin \alpha \times \cos\left(\beta - \frac{2\pi(m-1)}{M}\right)\right), \quad (8)$$

где  $r$  – радиус кольцевой антенной решетки в длинах волн.

В случае использования цилиндрической антенной решетки сканирующий вектор имеет следующий вид:

$$\mathbf{a}_m(\alpha, \beta) = \exp\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \left[ r \sin \alpha \times \cos\left(\beta - \frac{2\pi(m-1)}{M}\right) + z_n \cos \alpha \right]\right), \quad (9)$$

где  $z_n$  – высота каждого яруса.

Сканирующий вектор может быть не только рассчитан, но и определен путем измерения при калибровке кольцевой антенной решетки на этапе изготовления.

5) Определение количества  $D$  максимумов псевдоспектра (количества сигналов) и вычисление углов прихода сигналов, которые соответствуют углам, при которых наблюдается максимальное значение псевдоспектра (рис. 3).

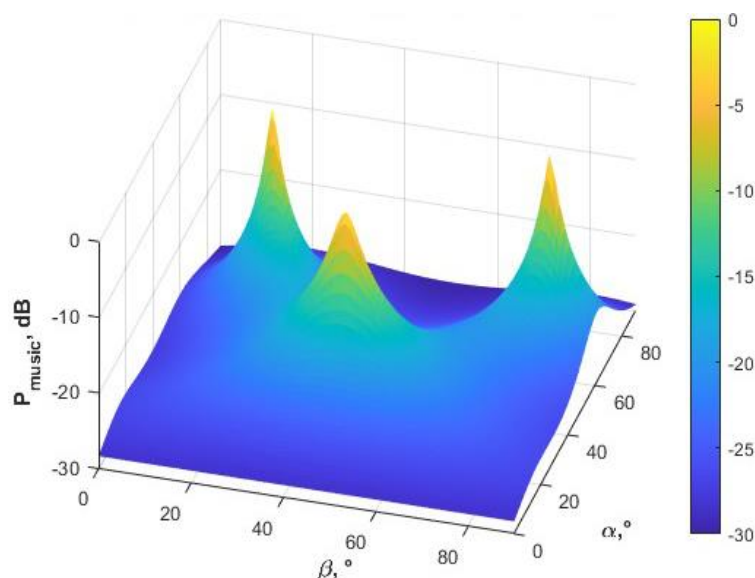


Рис. 3. Псевдоспектр от трех источников.

Определение прямоугольных координат соседнего БПЛА осуществляется согласно выражению:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + d \cos(\beta) \sin(\alpha) \\ y &= y_0 + d \cos(\beta) \cos(\alpha) \\ z &= z_0 + d \sin(\beta) \end{aligned} \quad (10)$$

где  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  – начало системы координат, которое совпадает с геометрическим центром БПЛА.

### 3. Комплексная обработка навигационной информации

Для улучшения точности определения координат и повышения надежности навигационного обеспечения БПЛА, действующих в группе необходимо осуществлять объединение координатной информации от всех имеющихся на борту навигационных систем. Комплексирование является одним из известных способов повышения помехоустойчивости системы.

Функциональная схема бортового интегрированного навигационного комплекса БПЛА представлена на рис. 4. Комплексирование предлагается проводить на уровне обработки вторичной информации, которая основывается на избыточности информации об измеряемых навигационных параметрах.

В основе обработки навигационных параметров используется алгоритм компенсации погрешностей комплексированных измерителей [7].

Комплексирование навигационной информации осуществляется от четырех источников: спутниковой навигационной системы (СНС), бортовой локальной навигационной системы (БЛНС), инерциальной навигационной системы (ИНС) и навигационной информации от БПЛА группы, поступающую через систему обмена информацией.

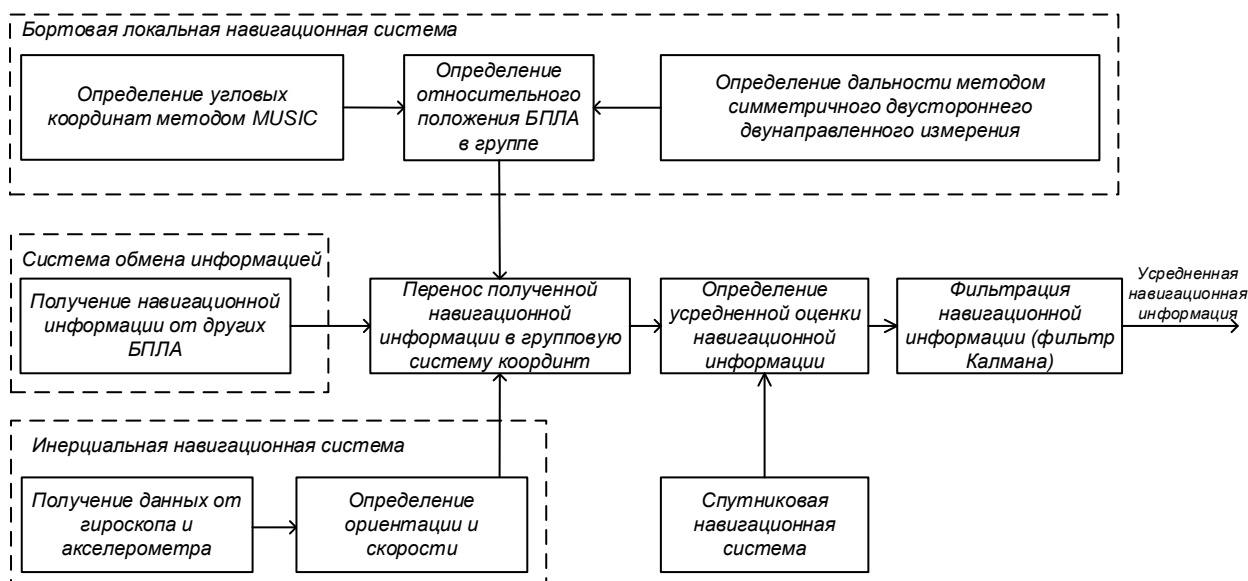


Рис. 4. Бортовой интегрированный навигационный комплекс БПЛА.

Реализация метода навигации БПЛА на основе комплексирования информации от всех источников навигационной информации описывается следующими этапами:

1) Получение БПЛА от СНС оценки собственных значений текущих навигационных параметров.

2) Получение через систему обмена информацией оценки собственных значений навигационных параметров всех участников группы в текущий момент времени в групповой системе координат. Вектора состояния для  $i$ -того БПЛА представляется следующим выражением:

$$\mathbf{p}_i^g(x^g, y^g, z^g) = \begin{bmatrix} x^g \\ y^g \\ z^g \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где  $x^g, y^g, z^g$  – координаты  $i$ -того БПЛА в групповой системе координат.

3) Определение по данным БЛНС и ИНС оценки относительного расположения БПЛА участников группы:

– дальности между  $i$ -ым и  $j$ -ым БПЛА

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}; \quad (12)$$

– относительного азимута на БПЛА

$$\gamma_{ij} = \arctg \frac{x_i - x_j}{y_i - y_j}; \quad (13)$$

– относительной ориентации осей локальной системы координат

$$\alpha_{ij} = \arctg \frac{V_{x_i}}{V_{y_i}} - \arctg \frac{V_{x_j}}{V_{y_j}}, \quad (14)$$

где  $x, y, z$  – пространственные координаты БПЛА в локальной системе координат,  $V_x, V_y$  – составляющие скорости по осям в горизонтальной плоскости.

Среднеквадратичные погрешности измерения относительных положений БПЛА в БЛНС значительно меньше среднеквадратичных погрешностей СНС.

4) Перевод значений оцененных навигационных параметров всех участников группы в групповую систему координат. Это происходит на основе точной информации об относительном расположении БПЛА.

$$\mathbf{p}^g = \mathbf{M}_i^g (x^g, y^g, z^g) \mathbf{p}^i, \quad (15)$$

где  $\mathbf{M}_i^g (x^g, y^g, z^g)$  – матрица преобразования из локальной системы координат в групповую,  $\mathbf{p}^i$  – вектор состояния БПЛА в локальной системе координат.

5) Фильтрация полученных значений на предмет наличия среди них превышающих значение порога отсеивания. То есть, если разница измеренных значения координат после переноса в групповую систему координат между двумя БПЛА превышает заданное значение, то значение измеренных координат БПЛА, выходящее за лимит, отсеивается и не принимает дальнейшего участия в вычислениях:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0 & |\mathbf{p}_1^g - \mathbf{p}_2^g| < \Lambda_{\text{lim}} & \dots & |\mathbf{p}_1^g - \mathbf{p}_n^g| < \Lambda_{\text{lim}} \\ 0 & 0 & \dots & |\mathbf{p}_2^g - \mathbf{p}_n^g| < \Lambda_{\text{lim}} \\ \dots & \dots & \dots & |\mathbf{p}_{n-1}^g - \mathbf{p}_n^g| < \Lambda_{\text{lim}} \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

где  $\Lambda_{\text{lim}}$  – заданное максимальное значение разности двух измерений.

б) Взвешенное усреднение центрированных навигационных параметров согласно выражению [8]:

$$\mathbf{p}^{\text{mid}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\mathbf{p}_i^g}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}}. \quad (17)$$

Навигационные системы каждого из участников группы БПЛА измеряют навигационные параметры с погрешностью, часть из которых (погрешность, вызванную шумом приемника, неточностью опорного тактового генератора) можно частично устранить взвешенным усреднением.

7) Формирование матрицы состояния БПЛА, которая будет включать дополнительно информацию об усредненной оценке положения БПЛА-лидера и передача ее на вход фильтра Калмана [9, 10]. После выполнения этого этапа полученная фильтрованная усредненная оценка истинного положения БПЛА-лидера в глобальной системе координат передается на другие БПЛА группы для уточнения собственных координат.

## Заключение

Таким образом, применение комплексной обработки навигационной информации от всех источников позволит улучшить точность определения координат БПЛА, в том числе и в составе группы. Комплексная обработка реализуется с помощью фильтра Калмана, который осуществляет оптимальную фильтрацию навигационной информации на основе навигационных параметров, измеренных как автономно, так и другими участниками группы. Это возможно за счет более точного определения относительного положения

БПЛА в составе группы путем применения бортовой локальной навигационной системы, в которой для измерения расстояния между БПЛА используется метод симметричного двустороннего двунаправленного измерения, а для определения направлений на другие БПЛА – метод сверхразрешения в кольцевой антенной решетке за счет применения алгоритма MUSIC.

**Финансирование:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-19-20070, <https://rscf.ru/project/25-19-20070/>, гранта Красноярского краевого фонда науки.

### Литература

1. Vásárhelyi G. et al. Optimized flocking of autonomous drones in confined environments // Science Robotics. – 2018. – Т. 3. – №. 20. – С. eaat3536. <https://www.doi.org/10.1126/scirobotics.aat3536>
2. Garin E.N. et al. The organization and short-range navigation radio systems structure based on pseudosatellites // 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT). – IEEE, 2018. – P. 1-5. <https://www.doi.org/10.1109/MWENT.2018.8337232>
3. Gladyshev A.B. et al. Research of accuracy characteristics of measurement of coordinates in the ground-based radionavigation system based on pseudosatellites // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, – 2019. – V. 537. – №. 5. – P. 52011. <https://www.doi.org/10.1088/1757-899X/537/5/052011>
4. Гладышев А.Б. и др. Определение взаимного местоположения беспилотных воздушных судов, действующих в составе группы // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2025. – Т. 18. – №. 5. – С. 649-659.

5. Сухов И.А., Акимов В.П. Метод повышения разрешающей способности пеленгатора с кольцевой антенной решеткой при использовании алгоритма MUSIC // Информатика, телекоммуникации и управление. – 2013. – №. 3 (174). – С. 19-25.
6. Сухов И.А., Акимов В.П. Применение алгоритма MUSIC в пеленгаторах с кольцевыми антенными решетками из направленных элементов // Информатика, телекоммуникации и управление. – 2012. – №. 5 (157). – С. 45-49.
7. Фомичев А.В., Тань Л. Разработка алгоритма быстрой компенсации погрешностей комплексированной инерциально-спутниковой системы навигации малогабаритных беспилотных летательных аппаратов в условиях сложной среды // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2015. – №. 10. – С. 252-270. <https://www.doi.org/10.7463/1015.0821641>
8. Fu M. et al. Weighted average indoor positioning algorithm that uses LEDs and image sensors // Photonic Network Communications. – 2017. – V. 34. – №. 2. – P. 202-212. <https://www.doi.org/10.1007/s11107-016-0682-8>
9. Bruce P., Gibbs A. Advanced Kalman filtering, least-squares and modeling: a practical handbook. John Wiley & Sons, inc. 2011. 605 p.
10. Feng S., Murray-Smith R. Fusing Kinect sensor and inertial sensors with multi-rate Kalman filter // IET Conference on Data Fusion & Target Tracking 2014: Algorithms and Applications. – Stevenage UK: IET, 2014. – С. 2.3. <https://www.doi.org/10.1049/cp.2014.0527>

**Для цитирования:**

Гладышев А.Б., Дмитриев Д.Д., Ратушняк В.Н, Тяпкин И.В., Мекаев А.М., Жгун А.В. Комплексная обработка навигационной информации для обеспечения группового применения БПЛА // Журнал радиоэлектроники. – 2026. – № 3. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2026.3.10>