

УДК 681.375

О.В. Коломійцев

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ЛАЗЕРНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА З МОЖЛИВІСТЮ СЕЛЕКЦІЇ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Запропонована лазерна інформаційно-вимірлювальна система (ЛІВС), яка забезпечить високоточне вимірювання кутів азимута і місця, похилої дальності, радіальної і тангенційної складових швидкості (кутових швидкостей) літального апарату (ЛА) при одночасному його стійкому кутовому автосупроводженні у широкому діапазоні дальностей, а також багатоканальну передачу інформації на борт ЛА та в разі необхідності – його пошук у заданій зоні із заданим законом, сканування і селекцію (розпізнання) на фоні інших об'єктів. Багатофункціональність ЛІВС можлива завдяки використанню мод (несучих частот) та комбінацій мод (частот міжмодових биттів) спектру синхронізованого одномодового багаточастотного випромінювання YAG:Nd³⁺-лазера (або лазера з найбільш кращими показниками), а також модернізованого частотно-часового методу вимірювання (МЧЧМВ).

Ключові слова: лазерне синхронізоване одномодове багаточастотне випромінювання.

Вступ

Постановка проблеми. Одним з перспективних напрямків розвитку методів лазерної локації є ускладнення просторово-часової структури зондуючого сигналу. При відносно простих методах обробки сигналу, що приймається, це дозволяє підвищити ефективність ЛІВС. Формування зондуючого сигналу зі складною просторово-часовою структурою не потребує істотних ускладнень пристрою, що передає ЛІВС. При формуванні зондуючого сигналу зі складною просторово-часовою структурою відомі його параметри, тому цю інформацію необхідно використовувати при розробці методів формування і обробки зображень ЛА.

Використання лазерних сигналів із просторовою модуляцією поляризації для отримання векторного зображення з використанням модифікованої системи формування зображення і спеціальної обробки зображення, що реєструється, дозволить здійснювати селекцію ЛА на фоні інших об'єктів та розпізнання. У зв'язку з цим пропонується новий підхід до синтезу ЛІВС з МЧЧМВ.

Аналіз останніх публікацій. Недоліками відомих лазерних вимірлювальних систем (ЛВС) і ЛІВС, які використовують імпульсні сигнали, є труднощі у вимірах радіальної швидкості, в розкритті неоднозначності по дальності, у створенні значного енергетичного потенціалу при високоточних вимірах. Для систем, що використовують безперервні сигнали, існують труднощі при вимірах дальності. Для фазових же вимірів існують труднощі створення когерентних опорних частот [1]. Недоліками квантово-оптичної системи «Сажень» [2], яка використовується на Україні, є мала точність вимірювання похилої дальності на великій відстані до космічного апарата (КА) та кутів азимута і місця, неоперативність

супроводження та неможливість вимірювання кутової і радіальної швидкостей, крім того, обмін інформацією з КА здійснюється на одній частоті.

Метою статті є представлення результатів наукових і науково-технічних пропозицій щодо синтезу ЛІВС з можливістю селекції і розпізнання ЛА на фоні інших об'єктів та забезпечення його пошуку, високоточного вимірювання усіх шістьох параметрів руху при одночасному стійкому кутовому автосупроводженні у широкому діапазоні дальностей та інформаційного багатоканального взаємозв'язку.

Виклад основного матеріалу

Використання МЧЧМВ у ЛІВС [3], що пропонується, дозволяє забезпечити наступне.

На частці системи, що передає, із синхронізованого одномодового багаточастотного спектра випромінювання YAG:Nd³⁺-лазера (або лазера з кращими характеристиками) за допомогою модифікованого селектора подовжніх мод (МСПМ) можна виділити необхідні моди (частоти) для створення:

– лазерних сигналів із просторовою модуляцією поляризації для розпізнання (селекції) та N інформаційних каналів зв'язку з ЛА, за умови використання сигналів на несучих частотах ν_n ;

– рівносигнального напрямку (РСН) на основі формування сумарної ДС, завдяки частково перетинаючихся 4-х парціальних ДС, за умови використання комбінацій частот («підкрашених» різницеви-ми частотами міжмодових биттів)

$$\Delta\nu_{54}=\nu_5-\nu_4=\Delta\nu_m; \quad \Delta\nu_{97}=\nu_9-\nu_7=2\Delta\nu_m;$$

$$\Delta\nu_{63}=\nu_6-\nu_3=3\Delta\nu_m; \quad \Delta\nu_{82}=\nu_8-\nu_2=6\Delta\nu_m.$$

При цьому кількість мод (частот і їх комбінацій) може бути знаходитися в рамках МСПМ, що виділяються, стосовно рівня втрат.

За допомогою МСПМ та багатофункціонального інформаційного блоку (БІБ) можливо створити лазерний сигнал із просторовою модуляцією поляризації шляхом розведення лазерного випромінювання на два променя з поворотом площини поляризації на кут 90° в одному з них. При цьому випромінювання апертури першого і другого каналів в апертурній площині u_0v рознесені на відстані ρ . Різниця ходу пучків до картинної площини ЛА x_0y буде змінюватися вдовж осі x від крапки до крапки. Обумовлена цим різниця фаз між поляризованими компонентами, що ортогональні, поля у картинній площині також буде змінюватися від точки до точки.

В залежності від різниці фаз у картинній площині буде змінюватися вигляд поляризації сумарного поля сигналу, що зондує від лінійної через еліптичну і циркулюючу до лінійної, ортогональної к початкової і т.д. Період зміни вигляду поляризації визначається базою між випромінювачами ρ , відстанню до картинної площини R та при довжині хвилі λ дорівнює [1, 2]

$$T = \lambda \cdot R / \rho. \quad (1)$$

Інтенсивність сигналу, що зондує за аналізатором, орієнтованим під кутом θ до площини поляризації, що формують пучки, дорівнює

$$I(\theta, x) = I_x \cos^2 \theta + I_y \sin^2 \theta + 2\sqrt{I_x I_y} \cos \theta \sin \theta |\mu_{zy}| \cos[v(x) - \beta_{x,y}], \quad (2)$$

де I_x, I_y – інтенсивність випромінювання поляризаційних пучків, що ортогональні;

$v(x)$ – розподіл різниці фаз поляризаційних пучків, що ортогональні, у картинній площині;

$|\mu_{zy}|, \beta_{x,y}$ – модуль і фаза комплексного коефіцієнту когерентності пучків, що зондують.

З співвідношення (2) можливо побачити, що на характеристики сигналу, що зондує, впливає не тільки геометрія умов локації, а також співвідношення інтенсивності пучків, що формує, та їх взаємна когерентність. Обмежимося тільки простим видом поляризаційної обробки поля, що приймається, при підсвіті ЛА лазерним сигналом з просторовою модуляцією поляризації.

Для ізотропних ЛА вона зводиться до виділення складових поля, що приймається, площини поляризації яких складають 45° з площині поляризації пучків, що зондують. Зображення ЛА, що формується з виділеної складової без урахування адитивного шуму, описується

$$I(x_i, y_i) = \iint_{-\infty}^{\infty} I_0(x, y) [1 - P(x, y) \cos(2\pi f_0 x + \varphi)] |h(x_i - x, y_i - y)|^2 dx dy + n(x, y), \quad (3)$$

де $I_0(x, y)$ – ідеальне зображення ЛА (оригінал);

f_0, φ – просторова частота і фаза зміни вигляду поляризації у зондуючому сигналі;

$|h|^2$ – імпульсний відклик системи, що формує зображення;

$P(x, y)$ – просторовий розподіл ступеня поляризації випромінювання, що відбито $P = |\mu_{x,y}|$ при $\theta = 45^\circ$.

З аналізу співвідношення (3) бачимо, що розподіл інтенсивності в реєстрованому зображенні ЛА буде промодульовано по гармонійному закону з коефіцієнтом модуляції, рівним значенню ступеня поляризації випромінювання, що відбито, в даній ділянці поверхні ЛА. По зміні контрасту модуляційної структури зображення можливо також визначити наявність різних матеріалів у складі поверхні ЛА і їх характеристики.

Використання модифікованого блока дефлекторів (МБД) забезпечує: попарне зустрічне сканування 4-ма парціальними ДС у кожній із двох ортогональних площин з періодом сканування півперіоди ДС та сканування сумарною ДС у заданій зоні із заданим законом сканування.

Оскільки здійснюється зустрічне сканування двома парами ДС у кожній із двох ортогональних площин α і β (X і Y), то лазерний сигнал із просторовою модуляцією поляризації і інформаційний сигнал на несучих частотах ν_n проходять вдовж рівносигнального напрямку.

На частці системи, що приймає при відбитті лазерного сигналу із просторовою модуляцією зондуючої поляризації від поверхні ЛА змінюється амплітудні і фазові співвідношення між ортогонально поляризаційними компонентами, їх поляризаційні параметри і, відповідно комплексні коефіцієнти когерентності відбитого поля. Просторовий розподіл поляризаційних характеристик такого відбитого сигналу несе інформацію про типи матеріалів поверхні ЛА, їх характеристики і тощо. Тому у БІБ здійснюється поляризаційна обробка поля, що приймається.

Прийняті відбиті від ЛА інформаційні та в процесі сканування 4-х ДС вимірювальні лазерні імпульсні сигнали і огинаючі сигнали ДС перетворюються в електричні імпульсні сигнали на несучих частотах та різницевої частоті міжмодових биттів.

Зустрічне сканування пар парціальних ДС у кожній із двох ортогональних площин, забезпечує:

– порівняння зрушень періодів пачок імпульсів, що огинають, частот міжмодових биттів за один повний прохід ДС у прямому і зворотному напрямку сканування. Це дає можливість по різниці зрушень періодів, що огинають, сформувати сигнали помилки по двох осях координат і визначити кути азимута α і місця β , а також величину і знак кута відхилення ЛА від рівносигнального напрямку;

– порівняння зрушень напівперіодів (тривалостей) пачок імпульсів, що огинають, частот міжмодових биттів за один прохід ДС в одному напрямку сканування. Це дає можливість по різниці тривалостей, що огинають, (напівперіодів) визначити кутову і тангенціальну складові швидкості літального апарата.

– вимірювання похилої дальності до ЛА по запізнюванню частоти міжмодових биттів

– вимірювання радіальної складової швидкості доплерівським методом.

За попередніми розрахунками точнісних характеристик ЛІВС було встановлено наступне:

– середньоквадратична помилка (СКП) погрішності автосупроводження ЛА – на 2 порядки менш, ніж в аналогічних моноімпульсних ЛІВС;

– при значеннях: часу сканування 0,1 с; кути разузгоженності лазерного променя 10^{-4} рад; максимальному видаленні 1500 км і смузі фільтрації 20 Гц, принципово досяжні СКП вимірювання параметрів руху пропонованою системою можуть бути не гірше:

$$\sigma_{\theta} \leq 10^{-9} \text{ рад/с;}$$

$$\sigma_{\theta_{X,Y}} \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ рад;}$$

$$\sigma_{U_r} = 0,06 \text{ м/с.}$$

Висновки

Таким чином, синтез ЛІВС з використанням МЧЧМВ дозволить підвищити об'єм інформації, що передається (приймається) ЛА та здійснювати одночасно високоточне вимірювання параметрів руху

ЛА і його стійке кутове автосупроводження у широкому діапазоні дальностей.

Використання в ЛІВС лазерних сигналів із просторовою модуляцією поляризації та спеціальних методів формування і обробки зображень дозволяє проводити селекцію ЛА на фоні інших об'єктів і його розпізнання – це перспективний напрям до підвищення ефективності системи.

В разі необхідності виявлення літального апарата під час його пошуку, в ЛІВС здійснюється сканування сумарною ДС у заданій зоні із заданим законом сканування.

Список літератури

1. Лазерная космическая связь. Пер. с англ. / Под ред. М. Кацмана. – М.: Радио и связь. – 1993. – 240 с.

2. Полігонні лазерні та оптико-електронні вимірвальні засоби: конспект лекцій. Частина II / С.В. Тюрін, І.С. Шостко, В.А. Романюк, В.В. Пономарьов, Р.В. Павлович. – Х.: ХВУ, 1998. – 174 с.

3. Коломійцев О.В. Лазерна інформаційно-вимірвальна система з можливістю пошуку ЛА // Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал. – 2009. – № 3 (19). – С. 22-24.

Надійшла до редколегії 5.11.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ЛАЗЕРНАЯ ИНФОРМАЦИОННО ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ СЕЛЕКЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.В. Коломийцев

Предложена лазерная информационно измерительная система (ЛИИС), которая обеспечит высокоточное измерение углов азимута и места, наклонной дальности, радиальной и тангенциальной составляющих скорости (угловых скоростей) летательного аппарата (ЛА) при одновременном его стойком угловом автосопровождении в широком диапазоне дальностей, а также многоканальную передачу информации, на борт ЛА и в случае необходимости, – его поиск в заданной зоне с заданным законом сканирования и селекцию (распознавание) на фоне других объектов. Многофункциональность ЛИИС возможна благодаря использования мод (несущих частот) и комбинаций мод (частот межмодовых биений) спектра синхронизированного одномодового многочастотного излучения YAG:Nd³⁺ - лазера (или лазера с наиболее лучшими показателями), а также модернизированного частотно-временного метода измерения.

Ключевые слова: лазерное синхронизированное одномодовое многочастотное излучение.

LASER DATA-COMPUTING SYSTEM WITH POSSIBILITY OF AIRCRAFT SELECTION AND RECOGNIZING

A.V. Kolomitsev

It is proposed laser data-computing system that provides high-accuracy measurement of azimuth angles and position, inclined distance, aircraft velocity radial and tangent constituents with simultaneous its steady angle tracking in wide range distances, and also multichannel information transmission to aircraft and in case of necessity its searching in the given area with given law, scanning and selection on background of other objects. Multi-functionality of the laser data computing system is possible due to using mods and mods combination of spectrum synchronized onemod multi-frequency laser emission YAG:Nd³⁺ and also updated frequency-time measurement method.

Keywords: laser synchronized onemod multi-frequency emission.