

УДК 681.375

О.В. Коломійцев

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

АДАПТОВАНА СТРУКТУРА ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ЧАСТКИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ДЛЯ СИНТЕЗУ ЛАЗЕРНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЧАСТОТНО-ЧАСОВОГО МЕТОДУ

Запропоновано адаптована структура приймально-передавальної частки вимірювальних каналів для синтезу лазерної інформаційно-вимірювальної системи (ЛІВС) з використанням частотно-часового методу (ЧЧМ) пошуку, розпізнавання та вимірювання параметрів руху літального апарату (ЛА). Розкрито необхідність використання вимірювальної інформації про тангенціальну складову швидкості ЛА та лазерних сигналів із просторовою модуляцією поляризації на несучих частотах (модах). Представлені аналітичні вирази та схематичні рішення.

Ключові слова: частотно-часовий метод, літальний апарат.

Вступ

Постановка проблеми. Синтез ЛІВС з ЧЧМ, яка може забезпечити: пошук ЛА у заданій області простору і розпізнавання, його автоматичне супроводження та вимірювання похилої дальності R , кутів азимута α і міста β , радіальної R' і тангенціальної U_τ , складової швидкості (кутових швидкостей α' і β'), а також інформаційний взаємозв'язок з ЛА пов'язано з рішенням цілого ряду науково-інженерних завдань [1–3]. Серед них важливе місце займає проблема створення вимірювальних каналів ЛІВС з адаптованою (однаковою) приймально-передавальною структурою. Така структура повинна забезпечити виділення несучих частот (моди) і необхідних їх комбінацій з одномодового багаточастотного із синхронізацією подовжніх мод випромінювання єдиного лазера-передавача. Тому проблема є актуальною.

Аналіз останніх публікацій. Недоліками квантово-оптичної системи «Сажень» [4] є мала точність вимірювання похилої дальності до космічного апарату (КА) та кутів азимута і міста, неоперативність супроводження і мала кількість параметрів руху КА, що вимірюються.

Метою статті є представлення результатів розробки наукових і науково-технічних пропозицій щодо створення адаптованої приймально-передавальної структури вимірювальних каналів для синтезу ЛІВС з ЧЧМ, що забезпечить пошук ЛА у заданій області простору і його розпізнавання, одночасне автосупроводження ЛА та вимірювання R , α і β , R' і U_τ (α' і β') а також здійснення інформаційного взаємозв'язку з ЛА.

Виклад основного матеріалу

Створення адаптованої приймально-передавальної структури для вимірювальних каналів пов'язано із частотно-часовим методом пошуку, розпізнавання та вимірювання параметрів руху літального апарату [3]. За допомогою ЧЧМ можливо забезпечити:

- пошук ЛА у заданій області простору із заданим законом сканування сумарною діаграмою спрямованості (ДС) лазерного випромінювання;

- детальне розпізнавання ЛА, завдяки формування лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації на несучих частотах та використання прямих вимірів U_τ ;

- стійке автосупроводження ЛА завдяки використанню модернізованого фільтра по Калману-Бьюсі та прямих вимірів U_τ ;

- високоточне вимірювання R , α і β , R' і U_τ (α' і β') у широкому діапазоні дальностей за умови використання комбінацій несучих частот (мод), «підфарбованих» частотами міжродових биттів;

- інформаційний взаємозв'язок з ЛА на несучих частотах (модах) лазерного випромінювання.

Таким чином, адаптована приймально-передавальна структура вимірювальних каналів для синтезу ЛІВС з ЧЧМ повинна складатися із керуючого елемента (КЕ), блока керування дефлекторами (БКД), лазера з накачкою (Лн), селектора подовжніх мод з багаточастотним розділенням каналів (СПМБРК), модифікованого блока дефлекторів (МБД), передаючої оптики (ПРДО), приймаючої оптики (ПРМО), фотодетектора (ФТД), широко-смугового підсилювача (ШП), інформаційного блока з розширеними можливостями із б – введенням сигналу від каналу оцінки тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей) ЛА для детального його розпізнавання, резонансних підсилювачів (РП), настроєних на відповідні частоти міжродових биттів (рис. 1).

Робота такої передаючої частки полягає в наступному. Із синхронізованого одномодового багаточастотного спектра випромінювання лазера-передавача (Лн) за допомогою СПМБРК виділяються необхідні пари частот для створення:

- багатоканального інформаційного зв'язку, за умови використання сигналів подовжніх мод (несучих частот Nv_n);

- лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації, за умови використання сигналу з двох подовжніх мод (несучих частот ν_{n1}, ν_{n2});
- рівносигнального напрямку (РСН) на основі формування сумарної ДС лазерного випромінювання, завдяки частково перетинаючихся 4-х парціальних ДС, за умови використання комбінацій подовжніх мод, підфарбованих різницевиими частотами міжмодових биттів

$$\Delta\nu_{54}=\nu_5-\nu_4=\Delta\nu_{M_2}, \quad \Delta\nu_{97}=\nu_9-\nu_7=2\Delta\nu_{M_2},$$

$$\Delta\nu_{63}=\nu_6-\nu_3=3\Delta\nu_{M_2}, \quad \Delta\nu_{82}=\nu_8-\nu_2=6\Delta\nu_{M_2}.$$

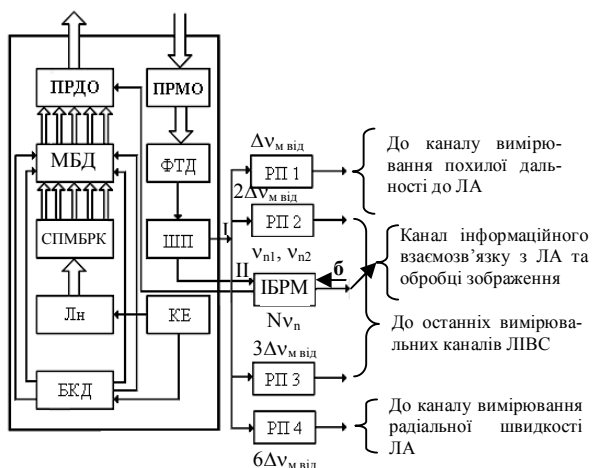


Рис. 1. Загальна схема структури приймально-передавальної частки каналів ЛРС з ЧЧМ

Лазерний сигнал, який складений із несучих частот $N\nu_n$, минаючи МБД, потрапляє на ПРДО, де змішується (модулюється) з інформаційним сигналом від ІБРМ та формує багатоканальний (N) інформаційний сигнал, що передається ЛА.

Використання сигналу, що зондує, зі складною просторово-часовою структурою [5, 6] для розпізнавання ЛА в приймально-передавальної частки пов'язано з тим, що при його формуванні відомі параметри сигналу, які можливо використовувати при розробці методів обробки зображень ЛА.

Створення лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації здійснюється за допомогою СПМБРК та ІБРМ шляхом створення лазерного випромінювання із двох несучих частот (ν_{n1} та ν_{n2}) у вигляді двох променів з вертикальною (ν_{n1}) та горизонтальною (ν_{n2}) поляризацією (рис. 2). При цьому випромінювання апертури першого і другого поляризаційних каналів в апертурній площині $V0U$ рознесені на відомій відстані $\Delta\nu_q$. Різниця ходу пучків до картинної площини ЛА $X0Y$ змінюється вдовж осі X від точки до точки. Обумовлена цією різницею фаз (амплітуд) між поляризованими компонентами, що ортогональні, поля у картинній площині також змінюється від точки до точки. В залежності від різниці фаз (амплітуд) у картинній площині змінюється вигляд поляризації сумарного поля сигналу, що зондує від лінійної через еліптичну і циркулюючу до лінійної, ортогональної к початкової і т.д.

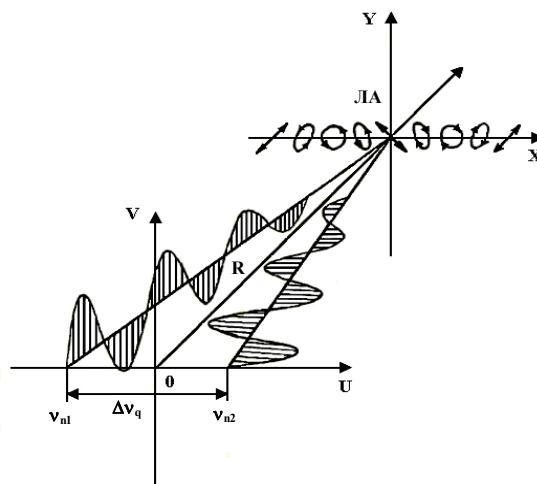


Рис. 2. Створення лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації

Період зміни вигляду поляризації визначається базою між випромінювачами $\Delta\nu_q$ і відстанню до картинної площини R та при довжині хвилі λ [6]

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

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

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

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

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

$\left| \mu_{zy} \right|, \beta_{x, y}$ – 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 формують, 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, площині поляризації яких складають 45^0 з площині поляризації пучків, що зондують. Зображення ЛА, що формується з виділеної складової без урахування адитивного шуму, описується

$$I(x_i, y_i)=\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I_0(x, y) [1-P(x, y) \cos (2 \pi f_0 x+\varphi)] \times h\left(x_i-x, y_i-y\right)^2 d x d y+n\left(x, y\right), \quad (3)$$

де $I_0(x, y)$ – ідеальне зображення ЛА (оригінал); f_0, φ – просторова частота і фаза зміни вигляду поляризації у сигналі, що зондує; $|h|^2$ – імпульсний відклик системи, що формує зображення; $P(x, y)$ – просторовий розподіл ступеня поляризації випромінювання, що відбито $P=\left| \mu_{x, y} \right|$ при $\theta=45^0$.

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. Тому у ІБРМ здійснюється також і поляризаційна обробка поля, що приймається.

Водночас, сигнал частот міжмодових биттів Δv_m , $2\Delta v_m$, $3\Delta v_m$ та $6\Delta v_m$ потрапляє на МБД, який створений з 4-х п'єзоелектричних дефлекторів. Парціальні ДС лазерного випромінювання попарно зустрічно сканують МБД у кожній із двох ортогональних площин. Період сканування задається БКД, який разом з L_n живляться від КЕ. Проходячи через ПРДО, груповий лазерний імпульсний сигнал пар частот: $v_5, v_4 = \Delta v_m$, $v_9, v_7 = 2\Delta v_m$, $v_6, v_3 = 3\Delta v_m$ та $v_8, v_2 = 6\Delta v_m$ фокусується в скануєми точки простору, оскільки здійснюється зустрічне сканування двома парами ДС лазерного випромінювання у кожній із двох ортогональних площин α і β або X і Y , при цьому інформаційний сигнал на несучих частотах (Nv_n) та лазерний сигнал із просторовою модуляцією поляризації (v_{n1}, v_{n2}) – проходять вдвоє РСН.

Прийняті ПРМО від ЛА інформаційні та, відбиті в процесі сканування чотирьох ДС, лазерні імпульсні сигнали і огинаючи сигнали ДС лазерного випромінювання за допомогою ФТД перетворюються в електричні імпульсні сигнали на несучій частоті і різницевої частоті міжмодових биттів. Підсилені ШП вони розподіляються:

- в ІБРМ для обробки інформації, що приймається від ЛА та відбитого лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації, що зондує, від його поверхні для розпізнавання ЛА;

- по РП, які настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів: Δv_m , $2\Delta v_m$, $3\Delta v_m$, $6\Delta v_m$.

При цьому імпульсні сигнали радіочастоти, що надходять з РП1 і РП2 (РП Δv_m і РП $2\Delta v_m$) формують сигнали похибки по куту α , прискорення α' і про R до ЛА; РП 4 (РП $6\Delta v_m$) – сигнал для визначення R' ЛА; РП3 і РП 4 (РП $3\Delta v_m$ і РП $6\Delta v_m$) – сигнали похибки по куту β і прискорення β' .

Завдяки використанню ЧЧМ [3] можливо з високою точністю вимірювати кутові швидкості (тангенціальну складову швидкості) ЛА. Вимірювальна інформація про U_r ЛА від каналу кутових швидкостей використовується в ІБРМ, де завдяки додатковій обробці елементів поляризаційної матриці розсіяння ЛА від отриманого поляризаційного поля (суми сигналів різної поляризації) забезпечується точне значення кутових швидкостей ЛА, розширюється набір ознак його розпізнавання, підвищується ефективність та скорочується час на розпізнавання ЛА, що супроводжується.

Кількість інформаційних каналів залежить від кількості мод (несучих частот Nv_n), які мають необхідні вихідні характеристики для використання. В разі необхідності виявлення ЛА у заданій області простору груповий сигнал, складений із частот міжмодових биттів сканується у вигляді сумарної ДС лазерного випромінювання за допомогою МБД, де кут та напрямок відхилення сумарної ДС задається БКД.

Формування сумарної ДС лазерного випромінювання, створення РСН, інформаційного каналу і лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації для структури приймально-передавальної частки, що пропонується, пов'язано із задоволенням жорстких вимог, що пред'являються до спектру випромінювання одномодового багаточастотного єдиного L_n , тобто високоточної синхронізації подовжніх мод і стабілізації частот міжмодових биттів.

Висновки

Таким чином, запропоновано адаптована (однакова) приймально-передавальна структура для вимірювальних каналів із ЧЧМ. Така структура може бути використана як для окремо кожного вимірювального каналу, так і для синтезу ЛІВС з ЧЧМ. Вона забезпечить виділення несучих частот (мод) і необхідних їх комбінацій з одномодового багаточастотного із синхронізацією подовжніх мод випромінювання єдиного лазера-передавача для формування сигналів, що зондують, інформаційних сигналів і т.д.

Список літератури

1. Коломійцев О.В. Лазерна інформаційно-вимірювальна система з можливістю селекції та розпізнавання ЛА / О.В. Коломійцев // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Науково-технічний журнал. – Х.: ХУ ПС, 2009. – № 2(2). – С. 91 – 93.
2. Патент на корисну модель, № 51037, Україна, МПК G01 S 17/42, G01 S 17/66. Лазерна інформаційно-вимірювальна система з можливістю формування та обробки зображення ЛА. /О.В. Коломійцев, Г.В. Альошин, В.В. Белімов та ін. – № u201001238; Заяв. 08.02.2010; Опубл. 25.06.2010; Бюл. № 12 – 8 с.
3. Патент на корисну модель № 55645, Україна, МПК G01 S 17/42, G01 S 17/66. Частотно-часовий метод пошуку, розпізнавання та вимірювання параметрів руху літального апарату. /О.В. Коломійцев – № u201005225; заяв. 29.04.2010; опубл. 27.12.2010; Бюл. № 24. – 14 с.
4. Полігонні лазерні та оптико-електронні вимірювальні 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.
5. Лазерная космическая связь. Пер. с англ. / Под ред. М. Кацмана. – М.: Радио и связь. – 1993. – 240 с.
6. Коростелев А.А. Пространственно-временная теория радиосистем: Учеб. пособие для вузов / А.А. Коростелев. – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.

Надійшла до редколегії 18.04.2011

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

**АДАПТИРОВАННАЯ СТРУКТУРА ПРИЕМНО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЧАСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ
ДЛЯ СИНТЕЗА ЛАЗЕРНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО МЕТОДА**

А.В. Коломийцев

Предложена адаптированная структура приемно-передающей части измерительных каналов для синтеза лазерной информационно-измерительной системы (ЛИВС) с использованием частотно-временного метода (ЧВМ) поиска, распознавания и измерения параметров движения летательного аппарата (ЛА). Раскрыта необходимость использования измерительной информации о тангенциальной составляющей скорости ЛА и лазерных сигналов с пространственной модуляцией поляризации на несущих частотах (модах). Представленные аналитические выражения и схематические решения.

Ключевые слова: частотно-временной метод, летательный аппарат.

**ADAPTED STRUCTURE OF TRANSMIT-RECEIVE PART OF MEASURING CHANNELS FOR SYNTHESIS OF LASER
INFORMATIVELY-MEASURING SYSTEM WITH USE OF FREQUENCY-TEMPORAL METHOD**

A. V. Kolomitsev

The adapted structure of transmit-recvie part of measuring channels is offered for the synthesis of the laser informatively-measuring system (LIMS) with the use of frequency-temporal method (FTM) of search, recognition and measuring of parameters of motion of aircraft (A). The necessity of the use of measuring information is exposed about tangential making speed of A and laser signals with spatial modulation of polarization on bearing frequencies (fashions). Presented analytical expressions and schematic decisions.

Keywords: frequency-temporal method, aircraft.