

СУЧАСНІ АВІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 620.179:531.7

¹В.П. Бабак, чл.-кор. НАН України²В.М. Шмаров, канд. техн. наук³В.М. Калита, канд. фіз.-мат. наук**ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОВЕРХОНЬ
ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ОБ'ЄКТІВ
ТРИКАНАЛЬНОЮ ВИМІРЮВАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ
З ФАЗОВИМИ СВІТЛОДАЛЕКОМІРАМИ**¹Інститут інформаційно-діагностичних систем НАУ, e-mail: iidsu@ukrpost.net²Аерокосмічний інститут НАУ, e-mail: aviacosm@nau.edu.ua³Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: fsu@nau.edu.ua

Розглянуто вимірювальну систему з трьома фазовими далекомірами, яка дозволяє в процесі одного вимірювання визначати положення трьох точок на досліджуваній поверхні великогабаритного виробу. Показано, що за допомогою такої системи можна проводити геометричне відтворення поверхні об'єкта, утвореного сукупністю по-різному орієнтованих площин, геометричну апроксимацію поверхонь об'єктів у вигляді січних площин, обмежених шестикутниками.

Вступ

Оцінюючи стан виробів в умовах експлуатації, у першу чергу, використовують критерії, що характеризують утрату їх несучої здатності чи близькість стану виробів до руйнування [1].

Числовими показниками даних критеріїв можуть бути, наприклад, величини руйнівних навантажень, граничних напруг, граничних відхилень форми і т.п. Стежити за відхиленням форми від початкової чи зміною геометричних характеристик особливо важливо для виробів, що мають великі габарити, наприклад, для таких виробів, як літаки, кораблі, будівельні і мостові конструкції та ін.

Вивчення геометричних особливостей поверхонь таких виробів є складною науково-технічною задачею, вирішення якої може базуватися на використанні методів визначення координат точок і відтворення за ними форми досліджуваної поверхні.

Одним із напрямів вирішення даної задачі, як відзначено в працях [2; 3], є використання фазових світлодалекомірів (фазових далекомірів). З їхньою допомогою можна вимірювати відстані до точок досліджуваної поверхні. Під точкою поверхні, особливо у разі вимірювання великих відстаней, розуміють її малу ділянку з малими поперечними розмірами, що відбиває світлові хвилі.

Відстань до точки поверхні фазовим далекоміром визначається непрямим чином на підставі вимірів різниці фаз випроміненої світлової хвилі і хвилі, відбитої від поверхні виробу.

З цією метою використовується випромінювання з модульованою інтенсивністю [4], яке одержують за допомогою двомодових лазерів.

Застосування фазового далекоміра дозволяє виміряти відстань тільки до однієї точки досліджуваної поверхні. Ця точка визначена умовою проведення вимірів, а саме напрямком, уздовж якого проводять вимірювання. Даний напрямок, у свою чергу, задається орієнтацією фотоприймача далекоміра.

Для визначення координат інших точок поверхні необхідно змінювати напрямок виміру.

У вимірювальній системі з одним далекоміром для цього використовують сканування [5], яке значною мірою ускладнює як алгоритми визначення координат точок поверхні, так і їхню технічну реалізацію [3]. Доцільним є розробка систем, які в процесі одного вимірювання дозволять одночасно визначати координати декількох точок поверхні без виконання складних операцій сканування, що є неминучими при використанні вимірювальної системи з одним фазовим далекоміром.

Такі системи будемо називати багатоканальними системами світлової фазової далекометрії (триканальні, чотириканальні системи і т.д.)

Практичний інтерес до систем з кількістю фазових далекомірів більше одного викликаний тим, що, по-перше, поверхня досліджуваного об'єкта може бути плоскою, чи вона є сукупністю по-різному орієнтованих площин.

По-друге, визначення положення декількох точок, наприклад, трьох точок довільної поверхні є достатнім, щоб по них можна було провести

площину, яка у цьому випадку буде січною площиною. Тоді за результатами одного вимірювання можна записати рівняння площини, яка є елементом поверхні чи її січною, що дуже важливо при проведенні апроксимації поверхні.

До задач, які можуть бути вирішені з використанням триканальних систем світлової фазової далекометрії, належать:

- визначення орієнтації площини в просторі;
- знаходження найкоротшої відстані до площини;
- знаходження точки перетинання відомої прямої з досліджуваною площиною; знаходження точок перетинання двох і більшої кількості площин тощо.

У цій роботі будуть проведені дослідження вимірювальної системи з трьома фазовими далекомірами, опис процедури сканування поверхні вимірювальною системою з трьома фазовими далекомірами і відтворення поверхні об'єкта, що має складну форму, за допомогою сканування такою вимірювальною системою.

Визначення геометричних характеристик плоских поверхонь при використанні вимірювальної системи з трьома фазовими далекомірами

Для побудови площини досить мати координати трьох точок поверхні, тому вимірювальна система в мінімальній конфігурації повинна містити три фазових далекоміри і три фотоприймачі, що орієнтовані на три різні точки досліджуваної поверхні.

У процесі одного вимірювання з використанням такої вимірювальної системи одночасно можуть бути визначені координати трьох точок поверхні. При відомому положенні цих точок на поверхні по них можна провести площину і записати її математичне рівняння. При цьому очевидно, що досліджувані точки поверхні не повинні лежати на одній прямій.

Схематичне зображення вимірювальної системи з трьома фазовими далекомірами трьома фотоприймачами показано на рис. 1.

Фотоприймачі вимірювальної системи орієнтовані так, щоб напрямок пучків світла, які збираються ними від трьох різних точок поверхні, збіглися в одній точці O . При цьому відстані ℓ_0 від точки O до фотоприймачів однакові. Прямі, вздовж яких проводяться виміри і які задаються напрямками орієнтації фотоприймачів, утворюють дві призми з вершиною в точці O .

В основі першої призми розташовано фотоприймачі, в основі другої призми – точки досліджуваної поверхні A, B, C (рис. 1). При цьому повинна виконуватися додаткова умова – рівність кутів (φ) у вершині розглянутих призм.

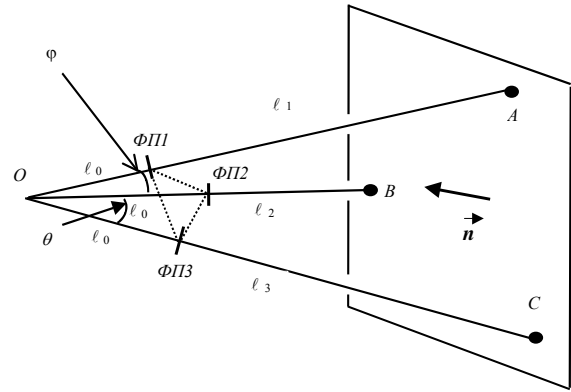


Рис. 1. Вимірювальна система з трьома фотоприймачами: O – точка перетину напрямків вимірювання; A, B, C – точки на поверхні об'єкта; ℓ_0 – відстані від вершини O до ФП; φ – кут у вершині призми; ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3 – відстані від вимірюваних точок A, B та C до фотоприймачів; \vec{n} – одиничний вектор нормалі до досліджуваної площини

Фотоприймачі, розташовані в основі першої призми, утворюють правильний трикутник, а призма, основу якої вони задають, буде рівнобедреною. Висота цієї призми, опущена з вершини призми в точці O на основу призми, перетинає основу першої призми в центрі правильного трикутника.

Для задання характеристики положень фотоприймачів і точок поверхні зручно використовувати кути φ між висотою призми та її сторонами (рис. 2), що при заданих умовах розташування й орієнтації фотоприймачів будуть однаковими.

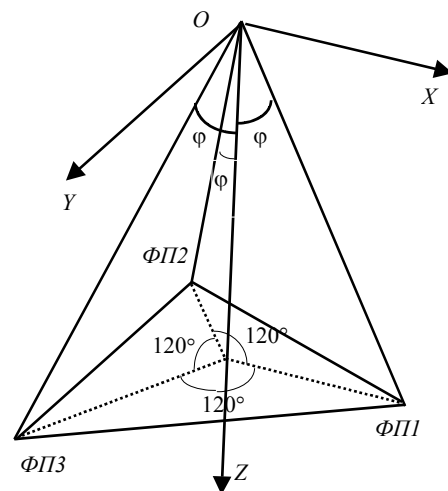


Рис. 2. Напрямок власних координатних вісей при використанні вимірювальної системи з трьома фазовими далекомірами: φ – кути між висотою призми та її сторонами

Власну систему координат, яка розглянута в працях [2; 3] і задана щодо вимірювальної системи, виберемо виходячи з описаних конструктивних особливостей вимірювальної системи. Вісь Z спрямуємо вздовж висоти піраміди, вісь X – так, щоб один з фотоприймачів (рис. 1, ФП1) лежав у площині ZX . Відповідно вісь Y буде перпендикулярна прямій, яка з'єднує другий ФП2 і третій ФП3 фотоприймачі.

Для введеної власної координатної системи координати положення фотоприймачів будуть визначатися рівняннями:

$$\Phi_1 = (\ell_0 \sin \varphi, 0, \ell_0 \cos \varphi);$$

$$\Phi_2 = \left(-\frac{1}{2} \ell_0 \sin \varphi, \frac{\sqrt{3}}{2} \ell_0 \sin \varphi, \ell_0 \cos \varphi \right);$$

$$\Phi_3 = \left(-\frac{1}{2} \ell_0 \sin \varphi, -\frac{\sqrt{3}}{2} \ell_0 \sin \varphi, \ell_0 \cos \varphi \right),$$

де Φ_1, Φ_2, Φ_3 – перший ФП1, другий ФП2 і третій ФП3 фотоприймачі.

Тоді, проводячи за допомогою далекомірів вимірювання відстаней ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3 , які дорівнюють відповідно відстаням від фотоприймачів до точок A, B, C досліджуваної поверхні, одержимо координати цих точок, що у власній системі координат записуються у вигляді

$$A = ((\ell_0 + \ell_1) \sin \varphi, 0, (\ell_0 + \ell_1) \cos \varphi); \quad (1)$$

$$B = \left(-\frac{1}{2} (\ell_0 + \ell_2) \sin \varphi, \frac{\sqrt{3}}{2} (\ell_0 + \ell_2) \sin \varphi, (\ell_0 + \ell_2) \cos \varphi \right); \quad (2)$$

$$C = \left(-\frac{1}{2} (\ell_0 + \ell_3) \sin \varphi, -\frac{\sqrt{3}}{2} (\ell_0 + \ell_3) \sin \varphi, (\ell_0 + \ell_3) \cos \varphi \right). \quad (3)$$

У виразах (1), (2) і (3) перший фотоприймач визначає координати точки A , другий фотоприймач – точки B , а третій фотоприймач – точки C . Даній відповідності будемо дотримуватися й у подальших дослідженнях.

Оскільки координати положення всіх трьох точок поверхні визначені, то математичне рівняння площини, яка проходить через ці три точки, можна задати у вигляді рівності, коли визначник дорівнює нулю:

$$\begin{vmatrix} x - x_A & y - y_A & z - z_A \\ x_B - x_A & y_B - y_A & z_B - z_A \\ x_C - x_A & y_C - y_A & z_C - z_A \end{vmatrix} = 0, \quad (4)$$

де $x_A, y_A, z_A, x_B, y_B, z_B, x_C, y_C, z_C$ – координати точок A, B, C відповідно до виразів (1), (2) і (3).

Розкриваючи визначник (4), одержимо вираз для площини вже у вигляді алгебричного рівняння

$$ax + by + cz + p = 0, \quad (5)$$

де a, b, c і p – коефіцієнти, що записуються через координати точок A, B, C :

$$a = (y_B - y_A)(z_C - z_A) - (y_C - y_A)(z_B - z_A); \quad (6)$$

$$b = (x_C - x_A)(z_B - z_A) - (x_B - x_A)(z_C - z_A); \quad (7)$$

$$c = (x_B - x_A)(y_C - y_A) - (x_C - x_A)(y_B - y_A); \quad (8)$$

$$p = -ax_A - by_A - cz_A. \quad (9)$$

Підставляючи значення координат точок A, B, C , подані виразами (1)–(3), у вирази (6)–(9) та провівши відповідні перетворення, запишемо в явному вигляді вирази для коефіцієнтів, що входять у рівняння площини (5):

$$a = \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi \sin \varphi [(\ell_0 + \ell_2)(\ell_3 - \ell_1) + (\ell_0 + \ell_3)(\ell_2 - \ell_1)], \quad (10)$$

$$b = \frac{3}{2} \cos \varphi \sin \varphi (\ell_0 + \ell_1)(\ell_3 - \ell_2), \quad (11)$$

$$c = \frac{\sqrt{3}}{2} \sin^2 \varphi [(2\ell_0 + \ell_2 + \ell_3)(\ell_0 + \ell_1) + (\ell_0 + \ell_2)(\ell_0 + \ell_3)], \quad (12)$$

$$p = -\frac{3\sqrt{3}}{2} \cos \varphi \sin^2 \varphi (\ell_0 + \ell_1)(\ell_0 + \ell_2)(\ell_0 + \ell_3). \quad (13)$$

Знаючи значення коефіцієнтів a, b, c і p , можна легко визначити орієнтацію описуваної площини в просторі відносно до орієнтації вимірювальної системи.

Направляючі косинуси одиничного вектора нормалі \vec{n} до площини (рис. 1) знаходять із співвідношень

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}; \\ \cos \beta &= \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}; \\ \cos \gamma &= \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}, \end{aligned} \quad (14)$$

де α, β, γ – відповідно кути між вектором \vec{n} і координатними осями X, Y, Z .

Використовуючи запропонований підхід, визначимо найменшу відстань від точки початку системи координат O , до розглянутої площини:

$$d = -3 \cos \varphi \sin \varphi (\ell_0 + \ell_1)(\ell_0 + \ell_2)(\ell_0 + \ell_3) \times \{ \cos^2 \varphi [((\ell_0 + \ell_2)(\ell_3 - \ell_1) + (\ell_0 + \ell_3)(\ell_2 - \ell_1))^2 + 3((\ell_0 + \ell_1)(\ell_3 - \ell_2))^2] + \sin^2 \varphi (2\ell_0 + \ell_2 + \ell_3) \times (\ell_0 + \ell_1 + (\ell_0 + \ell_2)(\ell_0 + \ell_3))^2 \}^{-1/2}.$$

Отже, вимірювальна система з трьома фазовими далекомірами дозволяє вирішувати такі задачі:

- визначати рівняння площини, що проходить по трьох точках поверхні;
- визначати орієнтацію цієї площини в просторі;
- знаходити найменшу відстань від будь-якої точки простору до площини.

Відновлення довільних поверхонь з використанням вимірювальної системи з трьома фазовими далекомірами

З використанням вимірювальної системи з трьома фазовими далекомірами в процесі одного експерименту визначають положення трьох точок поверхні, щоб відновити площину, яка проходить через три точки.

Якщо об'єкт дослідження має поверхню довільної форми, то це буде січна площина поверхні.

Маючи набір таких січних площин, можна провести апроксимацію поверхні за допомогою цих площин.

Для одержання набору таких площин необхідно визначити координати інших точок поверхні, виконуючи переміщення вимірювальної системи, тобто проводячи сканування досліджуваної поверхні.

У процесі сканування поверхні вимірювальною системою з трьома фазовими далекомірами будуть визначатися координати трьох точок, і для кожної трійки точок буде будуватися своя площина. Причому точки з кожної визначеної трійки можуть використовуватися тільки для побудови однієї (свої) січної площини.

На рис. 3 зображено два положення вимірювальної системи з трьома фазовими далекомірами при поступальному переміщенні вимірювальної системи в процесі сканування поверхні.

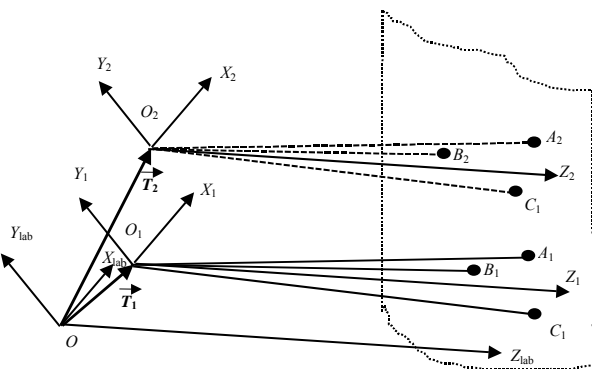


Рис. 3. Сканування поверхні вимірювальною системою з трьома фотоприймачами: $X_{lab} Y_{lab} Z_{lab}$ – лабораторна система координат; $X_1 Y_1 Z_1$ і $X_2 Y_2 Z_2$ – два положення власної системи координат; \vec{T}_1 і \vec{T}_2 – вектори трансляції власної системи координат; $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2$ – точки поверхні, для яких визначаються координати

Лабораторна система координат, яка розглянута в працях [2; 3] і відносно якої відбувається сканування, позначена $X_{lab} Y_{lab} Z_{lab}$, а два положення власної системи координат (чи власних координат вимірювальної системи) – відповідно $X_1 Y_1 Z_1$ і $X_2 Y_2 Z_2$.

Передбачається, що переміщення власної системи відносно лабораторної, являє собою поступальний рух власної системи координат, при якому точка O рухається в площині $X_{lab} Y_{lab}$, а координатні вісі обох систем залишаються паралельними між собою.

Положення $X_1 Y_1 Z_1$ власної системи координат характеризується її трансляцією відносно лабораторної системи на деякий вектор \vec{T}_1 , який дорівнює вектору \vec{OO}_1 .

При цьому на поверхні будуть визначені координати точок A_1, B_1, C_1 .

У другому положенні $X_2 Y_2 Z_2$ власну систему разом з вимірювальною системою перемістили відносно лабораторної системи на вектор \vec{T}_2 , який дорівнює вже \vec{OO}_2 . При цьому на досліджуваній поверхні будуть визначені координати трьох інших точок A_2, B_2, C_2 .

Якщо при скануванні власна система координат здійснює поступальний рух, а її початок переміщується тільки у визначеній площині, то вектори \vec{T}_1 і \vec{T}_2 також будуть лежати в цій площині.

Сканування поверхні зручно здійснювати у вигляді регулярних переміщень вимірювальної системи. Тому вектор трансляції \vec{T} можна зобразити за допомогою базисних векторів:

$$\vec{T}_{qp} = q\vec{a} + p\vec{b},$$

де q, p – цілі числа; \vec{a} і \vec{b} – базисні вектори переміщень вимірювальної системи.

При скануванні поверхні вимірювальною системою з одним фазовим далекоміром припустимими є трансляції з ортогональними базисними векторами [3].

Однак під час використання вимірювальної системи з трьома фазовими далекомірами при ортогональних переміщеннях виникають труднощі, пов'язані з відтворенням геометричної форми поверхні в процесі її апроксимації.

На рис. 4 зображені точки поверхні, положення яких визначають при проведенні сканування, коли обидва базисні вектори трансляції паралельні координатним осям лабораторної системи.

По кожній трійці точок A_i, B_i, C_i (на рис. 4 вони обведені пунктиром), де $i=1, 2, 3, \dots$, можна провести площину.

Дві непаралельні площини перетинаються, утворюючи пряму лінію.

На рис. 4 прями перетину сусідніх площин показано жирними лініями.

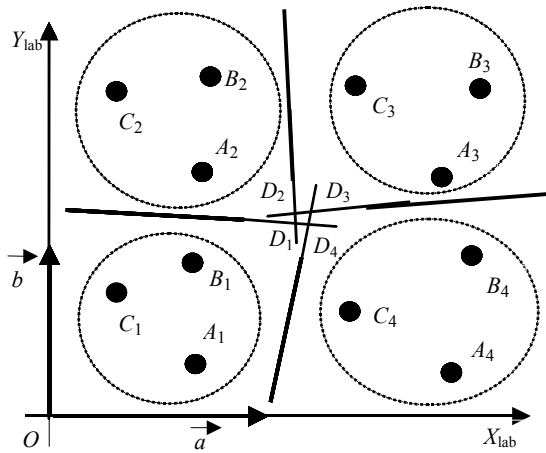


Рис. 4. Розташування досліджуваних точок на поверхні при скануванні з векторами трансляції паралельними координатним осям

Однак при відновленні поверхні в області сходження площин чи в області сходження прямих ліній перетину цих площин виникає проблема невизначеності у тому, яка з площин описує поверхню в розглянутій області. Наслідком цього є помилка відтворення форми досліджуваної поверхні.

На рис. 4 у цій області ділянки продовження прямих ліній перетину площин позначено тонкими лініями. Як видно з рис. 4, ці продовження можуть не збігатися в одній точці.

Дійсно, якщо три площини не паралельні між собою, то вони перетинаються в одній точці. Це означає, що для чотирьох площин таких точок перетину може бути чотири (чи чотири точки перетину продовження ліній, як показано на рис. 4).

Перша точка D_1 , утворена перетинанням площин, що проходять по точках $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2$ і A_3, B_3, C_3 , друга точка D_2 – по трійках точок $A_2, B_2, C_2, A_3, B_3, C_3$ і A_4, B_4, C_4 , третя точка D_3 – по точках $A_3, B_3, C_3, A_4, B_4, C_4$ і A_1, B_1, C_1 , четверта точка D_4 – по точках $A_4, B_4, C_4, A_1, B_1, C_1$ і A_2, B_2, C_2 . Отже, сканування, при якому базисні вектори переміщень вимірювальної системи спрямовані вздовж координатних осей чи в двох взаємно перпендикулярних напрямках, породжує невизначеність в області сходження чотирьох сусідніх площин.

Цієї невизначеності можна уникнути, якщо виконувати сканування з використанням переміщення вимірювальної системи, коли базисні вектори не перпендикулярні між собою. На рис. 5 показано схему такого сканування.

При цьому вектор трансляції \vec{a} спрямований уздовж вісі X_{lab} , а вектор трансляції \vec{b} – під кутом $\xi \neq \pi/2$ до вісі Y_{lab} . При такому скануванні найближчими між собою будуть лише три сусідні площини. Їхнє перетинання дасть завжди лише одну точку.

Наприклад, точка D_1 (рис. 5) отримана перетинанням площин, що проходять через три трійки точок $A_0, B_0, C_0, A_1, B_1, C_1$ і A_2, B_2, C_2 .

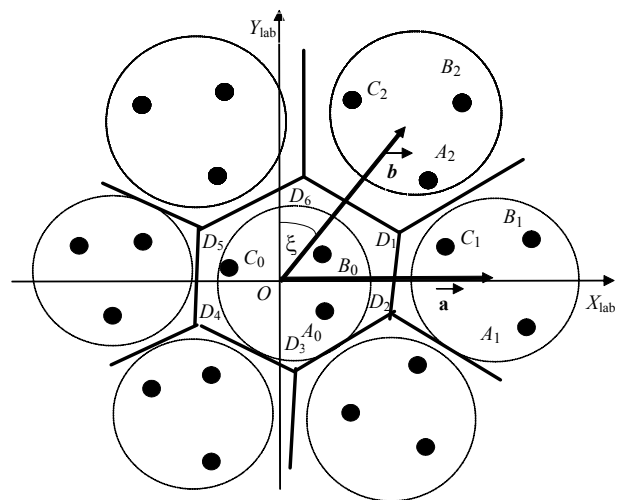


Рис. 5. Схема сканування з неортогональними базисними векторами:

O – початок лабораторної системи координат; \vec{a} , \vec{b} – вектори трансляції при виконанні сканування; ξ – кут між віссю Y_{lab} і вектором трансляції \vec{b} ; $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ – точки перетину найближчих площин

Положення точок A_1, B_1, C_1 визначене після переміщення вимірювальної системи на вектор трансляції \vec{a} , а положення точок A_2, B_2, C_2 – після переміщення вимірювальної системи на вектор трансляції \vec{b} .

Початкова точка, з якої здійснюються переміщення, відповідає початку лабораторної системи координат (рис. 5, точка O).

Кожна площина при перетинанні зі своїми найближчими сусідніми площинами дасть шість точок $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$. З'єднуючи ці точки між собою прямими відрізками, як це показано на рис. 5, одержимо шестикутник.

Отже, при скануванні з неортогональними базисними векторами трансляції апроксимація досліджуваної поверхні буде зображена набором площин, обмежених шестикутниками.

Запишемо координати трьох трійок точок поверхні, які утворюють площини.

Спочатку визначимо координати точок A_0, B_0, C_0 , що мають вигляд:

$$A_0 = ((l_0 + l_{10})\sin\varphi, 0, (l_0 + l_{10})\cos\varphi); \quad (15)$$

$$B_0 = \left(-\frac{1}{2}(\ell_0 + \ell_{20})\sin\varphi, \frac{\sqrt{3}}{2}(\ell_0 + \ell_{20})\sin\varphi, (\ell_0 + \ell_{20})\cos\varphi\right); \quad (16)$$

$$C_0 = \left(-\frac{1}{2}(\ell_0 + \ell_{30})\sin\varphi, -\frac{\sqrt{3}}{2}(\ell_0 + \ell_{30})\sin\varphi, (\ell_0 + \ell_{30})\cos\varphi\right). \quad (17)$$

Координати точок A_1, B_1, C_1 при визначенні їхнього положення будуть містити величину здійсненої трансляції з базисним вектором \vec{a} , паралельним вісі X_{lab}

$$A_1 = (a + (\ell_0 + \ell_{11})\sin\varphi, 0, (\ell_0 + \ell_{11})\cos\varphi); \quad (18)$$

$$B_1 = \left(a - \frac{1}{2}(\ell_0 + \ell_{21})\sin\varphi, \frac{\sqrt{3}}{2}(\ell_0 + \ell_{21})\sin\varphi, (\ell_0 + \ell_{21})\cos\varphi\right), \quad (19)$$

$$C_1 = \left(a - \frac{1}{2}(\ell_0 + \ell_{31})\sin\varphi, -\frac{\sqrt{3}}{2}(\ell_0 + \ell_{31})\sin\varphi, (\ell_0 + \ell_{31})\cos\varphi\right). \quad (20)$$

Координати точок A_2, B_2, C_2 при визначенні їхнього положення будуть містити величину здійсненої трансляції з базисним вектором \vec{b} , спрямованим під кутом $\xi \neq \pi/2$ до вісі Y_{lab} :

$$A_2 = (b\sin\xi + (\ell_0 + \ell_{12})\sin\varphi, b\cos\xi, (\ell_0 + \ell_{12})\cos\varphi), \quad (21)$$

$$B_2 = \left(b\sin\xi - \frac{1}{2}(\ell_0 + \ell_{22})\sin\varphi, b\cos\xi + \frac{\sqrt{3}}{2}(\ell_0 + \ell_{22})\sin\varphi, (\ell_0 + \ell_{22})\cos\varphi\right), \quad (22)$$

$$C_2 = \left(b\sin\xi - \frac{1}{2}(\ell_0 + \ell_{32})\sin\varphi, b\cos\xi - \frac{\sqrt{3}}{2}(\ell_0 + \ell_{32})\sin\varphi, (\ell_0 + \ell_{32})\cos\varphi\right). \quad (23)$$

У виразах (15)–(23) далекомірами вимірюють різні відстані ℓ_{ij} , (i – номер фотоприймача, j – номер трансляції), що відповідають положенню точок на поверхні.

По кожній з цих визначених трійок точок проведемо площину, математичні рівняння яких мають вигляд:

$$a_0x + b_0y + c_0z + p_0 = 0; \quad (24)$$

$$a_1x + b_1y + c_1z + p_1 = 0; \quad (25)$$

$$a_2x + b_2y + c_2z + p_2 = 0, \quad (26)$$

де коефіцієнти $a_0, b_0, c_0, p_0, a_1, b_1, c_1, p_1, a_2, b_2, c_2$ і p_2 обчислюють за виразами (10)–(13), а для координат – за виразами (15)–(23).

Для визначення положення точки, що знаходиться на перетині цих трьох площин необхідно знайти точку, координати якої задовольняють відразу всі три рівняння системи (24)–(26), тобто, щоб знайти координати точок D_1 , необхідно розв'язати систему рівнянь (24)–(26).

Для цього, використовуючи коефіцієнти рівнянь (24)–(26), розрахуємо чотири визначники:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_0b_0c_0 \\ a_1b_1c_1 \\ a_2b_2c_2 \end{vmatrix}, \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} p_0b_0c_0 \\ p_1b_1c_1 \\ p_2b_2c_2 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_0p_0c_0 \\ a_1p_1c_1 \\ a_2p_2c_2 \end{vmatrix}, \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_0b_0p_0 \\ a_1b_1p_1 \\ a_2b_2p_2 \end{vmatrix}.$$

Тоді координати точки D_1 , яка є загальною для трьох розглянутих найближчих сусідніх площин, знайдемо з відношення

$$D_1 = \left(-\frac{\Delta_1}{\Delta}, -\frac{\Delta_2}{\Delta}, -\frac{\Delta_3}{\Delta}\right).$$

Отже, при скануванні поверхні з використанням вимірювальної системи з трьома фазовими далекомірами можна одержати апроксимацію цієї поверхні її січними площинами. При цьому кожна площина буде обмежена не трикутником, а шестикутником, що при відтворенні поверхні є найбільш прийнятним, бо одержувана апроксимація буде більш гладкою.

Щодо сканування поверхні одним фазовим далекоміром, при використанні вимірювальної системи з трьома фазовими далекомірами вже інакше виглядає і сама процедура сканування поверхні.

При одному вимірюванні визначають координати відразу трьох точок досліджуваної поверхні.

Після переміщення вимірювальної системи будуть виміряні координати вже іншої трійки точок поверхні.

По кожній із цих трійок точок можна провести площину і записати її рівняння.

За відомими рівняннями площин можна знайти лінії перетину плоских ділянок поверхні тіла.

Це означає, що за допомогою триканальної системи можна вирішувати вже більш складну задачу відтворення поверхні, яка складається з по-різному нахилених плоских ділянок, чи побудови апроксимації площинами поверхні складної форми.

Висновки

Отримані результати показують, що використання вимірювальної системи з трьома фазовими далекомірами дозволяє проводити дослідження поверхонь великогабаритних об'єктів довільної форми.

Якщо поверхня плоска, то при одному вимірюванні можна визначити положення (координати) трьох точок поверхні, яких достатньо для визначення її орієнтації і відстані до неї. Якщо поверхня має вигляд набору по-різному орієнтованих плоских ділянок, то необхідно провести подібні вимірювання для кожної ділянки. Це можливо здійснити за допомогою сканування поверхні системою з трьома фазовими далекомірами.

При здійсненні переміщень вимірювальної системи по кожній трійці точок поверхні після визначення їхнього положення можна провести січну площину. Якщо сканування проводиться з неортогональними векторами базисних переміщень вимірювальної системи, то буде отримана апроксимація поверхні січними площинами, обмеженими шестикутниками.

Така апроксимація є більш прийнятною стосовно апроксимації площин, обмежених трикутниками, оскільки дозволяє усунути невизначеність в області сходження ліній, що обмежують площини.

Список літератури

1. *Бабак В.П., Байса Д.Ф., Різак В.М., Філоненко С.Ф.* Конструкційні і функціональні матеріали: Навч. посіб. Ч. 2. Основи фізики твердого тіла. Конструкційні матеріали. – К.: Техніка, 2004. – 368 с.
2. *Бабак В.П., Шмаров В.Н.* Вплив геометричного фактора на відновлення поверхні великогабаритних виробів з використанням світлодалекомірів // Вісн. НАУ. – 2004. – № 1. – С. 60–66.
3. *Бабак В.П., Шмаров В.Н., Калита В.М.* Восстановление формы поверхностей крупногабаритных объектов лазерными светодальномерами // Технологические системы. – 2004. – № 3 (в друкі).
4. *Таланчук П.М., Голубков В.И., Маслов В.П.* Лазеры в контрольно-измерительной технике. – К.: Техніка, 1992. – 226 с.
5. *Бабак В.П.* Обработка сигналов при формуванні зображень об'єктів. – К.: Либідь, 1994. – 192 с.

Стаття надійшла до редакції 15.06.04.

В.П. Бабак, В.М. Шмаров, В.М. Калита

Исследование геометрических особенностей поверхностей крупногабаритных объектов трехканальной измерительной системой с фазовыми светодальномерами

Рассмотрена измерительная система с тремя фазовыми дальномерами, позволяющая в процессе одного измерения определять положения трех точек на исследуемой поверхности крупногабаритного изделия. Показано, что с помощью такой системы можно проводить геометрическое восстановление поверхности объекта, созданного совокупностью по-разному ориентированных плоскостей, геометрическую аппроксимацию поверхностей объектов в виде секущих плоскостей, ограниченных шестиугольниками.

V.P. Babak, V.N. Schmarov, V.M. Kalita

Study of geometrical features the surfaces of large-sized objects by measuring system with three phase light distance measuring devices

The theoretical description of measuring system with three phase measuring devices is carried out which allows during one measurement to determine rules of three points on a researched surface of a large-sized product. Is shown, that through such system it is possible to carry out restoration the surfaces of objects, which are considered as set of differently focused planes. Also is shown, that using the given measuring system, it is possible to carry out geometrical approximation the surfaces of objects as secant planes by limited of hexagon.