

УДК 531.7

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИНТЕЗУ ТРИКООРДИНАТНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

В.П. Квасніков, канд. техн. наук

Черкаська академія менеджменту

Розглянуто проблему синтезу трикоординатних інформаційно-вимірювальних систем механічних величин об'єктів із складною просторовою поверхнею. На основі аналізу функціональних задач трикоординатних інформаційно-вимірювальних систем і використання об'єктно-орієнтованого підходу розроблено тривірневу об'єктно-орієнтовану ієрархічну структуру базової системи. Описано математичну модель похибки вимірювання механічних величин. Розроблено нову структурну схему прецизійної трикоординатної інформаційно-вимірювальної системи механічних величин об'єктів із складною просторовою поверхнею.

* * *

Рассмотрена проблема синтеза трехкоординатных информационно-измерительных систем механических величин объектов со сложной пространственной поверхностью. На основе анализа функциональных задач трехкоординатных информационно-измерительных систем и использования объектно-ориентированного подхода разработана трехуровневая объектно-ориентированная иерархическая структура базовой системы. Описана математическая модель погрешности измерения механических величин. Разработана новая структурная схема прецизионной трехкоординатной информационно-измерительной системы механических величин объектов со сложной пространственной поверхностью.

* * *

The problem of synthesis of three-coordinate informational-measuring systems of mechanical sizes of objects with a complex spatial surface is considered. On the basis of the analysis of functional problems of three-coordinate informational-measuring systems and use of the object-oriented approach the three-level object-oriented hierarchical structure of base system is developed. The mathematical model of an error of measurement of mechanical sizes is developed. The new block diagram of precision three-coordinate informational-measuring system of mechanical sizes of objects with a complex spatial surface is developed.

Вступ

Сучасні об'єкти інформації являють собою багатовимірні системи, стан яких характеризується великим числом різних параметрів.

При керуванні такими об'єктами для контролю та випробування необхідна інформація про їхній стан.

Для багатовимірних систем типовою є ймовірнісна залежність між параметрами, а також між значеннями кожного параметра в різні моменти часу.

Точність вимірювання геометричних розмірів об'єктів за допомогою трикоординатної ІВС обмежена постійно діючими випадковими завадами, характер яких істотно залежить від умов роботи вимірювальної системи та місця її розташування. Для ІВС, вбудованих у гнучкі виробничі системи, як випадкові збурення в першу чергу виступають температура, вібрація, шуми, вологість і т.ін. Зовнішні випадкові збурення, викликаючи флуктуації чутли-

вого елемента вимірювальної системи, формують випадкові похибки, значення яких можуть бути визначені шляхом статистичного опису відхилення від геометричних розмірів об'єкта як динамічної системи.

1 Формулювання проблеми

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що теорія побудови трикоординатних ІВС механічних величин не розроблена. Існуючі структури побудови координатно-вимірювальних машин (КВМ) базуються тільки на вимірюванні координат точок об'єкта з наступною обробкою інформації від каліброваних датчиків з апіорі відомими і незмінними спектральними характеристиками [1,2]. Однак порушення вказаних умов, а також дія дестабілізуючих факторів і неадекватність параметрів оптимальної фільтрації Калмана призводять до розходжен-

ня при тривалій роботі системи керування КВМ [3,4].

Мета даної роботи полягає у розробці наукових основ синтезу, що використовується для побудови трикоординатних інформаційно-вимірювальних систем механічних величин, для отримання інформації про стан інтелектуальної системи, а також для синтезу математичної моделі системи та методу її використання.

При статистичному описі трикоординатної ІВС з чутливим елементом динамічного типу виходять із припущення, що зовнішні випадкові збурення можуть бути представлені у вигляді корельованого гауссова шуму, вплив якого на динамічну систему адекватно описується за допомогою рівняння Фоккера – Планка.

Реальні спектри випадкових збурень для вимірювальних систем як у цеховому, так і в лабораторному виконанні найчастіше відрізняються від спектра білого шуму, залишаючись у той же час гауссовим випадковим процесом. Тому для адекватного статистичного опису ІВС необхідно розробити таку процедуру, що дозволила б визначати її випадкові похибки з урахуванням реального спектра зовнішніх збурень. Крім того, вказаний статистичний опис повинен дозволити знайти аналітичні вирази для дисперсії випадкових коливань чутливого елемента системи, як враховують реальний вид спектра зовнішніх збурень, що, у свою чергу, забезпечує можливість проведення оптимізації параметрів первинного перетворювача з метою зменшення рівня його випадкових похибок.

Сучасний етап розвитку приладобудування характеризується принципово новим підходом до проектування високоточних інформаційно-вимірювальних систем механічних величин. Концепція нового підходу полягає в тому, що трикоординатна ІВС повинна проектуватися як єдине ціле. Необхідність такого підходу диктується двома основними причинами: перша – можливістю реалізації на сучасному

етапі розвитку приладобудування ідеї глибокої інтеграції, обумовленої в першу чергу появою обчислювальних машин нового покоління з великою продуктивністю; друга – зменшення дії дестабілізуючих факторів різної природи та введення автоматичної корекції при вимірюванні геометричних розмірів деталей.

2 Розв'язання проблеми

Даний напрямок досліджень орієнтований на створення інтелектуальних систем керування, як функціонують в умовах неповної, неточної та швидкозмінної інформації, що базується на методах самонастроювання, самоорганізації та самонавчання.

Широко використовувані в приладобудуванні методи структурного, алгоритмічного чи функціонального проектування дозволяють одержати моделі, як відповідають всім ознакам добре організованих систем. Однак методи проектування, основані на алгоритмічній декомпозиції, не мають механізмів, які відбивали б спільність поведінки і структур виділених абстракцій. При проектуванні таких складних систем, як трикоординатні ІВС механічних величин, дане обмеження стає істотним недоліком цього методу.

При проектуванні сучасних автоматизованих засобів вимірювання виконується системний аналіз задач, розв'язуваних трикоординатними ІВС, і здійснюється декомпозиція цих задач за тими чи іншими ознаками з наступним узагальненням складових функціональних компонентів у різні багаторівневі об'єднання задач на основі систематизації, упорядкування й уніфікації, організації раціональних зв'язків, застосування модульно-ієрархічної методології.

При системному аналізі задач у першу чергу виділяємо задачі цільового призначення, що є основним змістом при механічних вимірюваннях об'єктів зі складними просторовими поверхнями.

Створення комп'ютерно-інтегрованої структури керування вимірювальним комплексом неперервно-

го типу орієнтовано на поліпшення техніко-економічних показників: збільшення випуску трикоординатних інформаційно-вимірювальних систем (ТІВС); підтримка оптимального режиму роботи; координація роботи підсистем; прийняття рішень в умовах невизначеності. При цьому передбачається: збільшення підсилення взаємозв'язку оператора-метролога в рамках гнучких мереж з динамічним обміном інформації та користувача на рівні виробництва як складної технічної системи; інтенсифікація роботи автоматизованого вимірювання системи, інтелектуалізація системи керування, створення автоматизованих вимірювальних комплексів і надання їм властивостей відкритості та адаптації до змін в умовах роботи.

Різноманітність вимірювальних поверхонь і траєкторій робочих органів залежить від формоутво-

рюючих можливостей трикоординатної ІВС.

У загальному випадку під комп'ютерно-інтегрованою структурою ТІВС розуміють багаторівневу інтегровану систему, в якій виділяють ієрархічні рівні керування вимірювальною головкою, поворотним столом і лінійними двигунами з газовим змащенням.

На основі аналізу функціональних задач трикоординатних ІВС і використання об'єктно-орієнтованого підходу [3, 4] розроблено об'єктно-орієнтовану структуру базової трикоординатної ІВС, що показано на рис.1.

Перший рівень ієрархії об'єктно-орієнтованої ієрархічної структури ТІВС механічних величин являє собою складний об'єкт ТІВС у цілому.



Рис.1. Об'єктно-орієнтована ієрархічна структура ТІВС механічних величин

Другий рівень ієрархії поєднує такі об'єкти: інформаційно-керуючу систему ТІВС; систему траєкторного керування; систему керування вимірювальною головкою; систему контролю, діагностики і реєстрації даних.

Третій рівень ієрархії включає в себе систему керування модельними режимами, систему підготовки до

вимірювань, до яких входять засоби юстирування та введення даних.

В інформаційно-керуючу систему входять інформаційно-керуюче поле, що включає в себе еталонну зразкову систему, система керування режимами роботи й інтегрована експертна система інтелектуальної підтримки процесу вимірювання.

Вихідними даними для проектування ТІВС є задана номенклатура вимірюваних об'єктів і вимог до точності їхнього вимірювання. Після синтезу декількох варіантів структури ТІВС для вимірювання множини поверхонь, що відповідає заданій множині деталей, з них варто відібрати такі, котрі забезпечують необхідну точність і швидкодію при найкращих економічних показниках.

Похибки вимірювання визначаються такою залежністю:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{\Delta r_0} &= \sum_{i=0} A_{0i} \delta A_i A_{ij} \overrightarrow{r_i}; \\ \delta_1 &= \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial f_1}{\partial q_j} \right) \delta q_j; \\ &\vdots \\ \delta_L &= \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial f_L}{\partial q_j} \right) \delta q_j \end{aligned}$$

де $\overrightarrow{\Delta r_0}$ – векторна похибка положення точки вимірюваної поверхні з радіусом-вектором $\overrightarrow{r_0}$; A_{0i} , A_{ij} – матриці перетворень координат від 0-го до i -го і від i -го до j -го ланцюга механічної частини відповідно, δA_i – варіація вектора $A_{ij} \overrightarrow{r_i}$; $\overrightarrow{r_i}$ – радіус-вектор вимірювальної головки; $f_1 \dots f_L$ – рівняння зв'язків; L – число зв'язків; $q_j = (j = \overline{1, m})$ – змінні, що входять в матрицю A_{Σ} ; δq_j – варіація змінних q_j ; $\delta_1 \dots \delta_L$ – похибки зв'язків. Варіація δA_i може бути представлена у вигляді суми трьох матриць

$$\delta A = \delta_{def} + \delta_{нов} + \delta_{пер},$$

де δ_{def} – матриця деформації, $\delta_{нов}$ – матриця чистого повороту, $\delta_{пер}$ – матриця чистого переносу.

На стадії проектування необхідно враховувати вплив усіх можливих видів похибок на точність вимірювання і швидкодію. Це дозволяє скласти векторний баланс точності ТІВС у цілому, а на його базі сформулювати вимоги до точності всіх елементів ТІВС, що беруть участь у процесі формоутворення.

Для розрахунку деформацій елементів механічної частини варто ввести в модель точності дію факторів – вага елементів системи, а для розрахунку інших дестабілізуючих факторів слід використовувати відповідні залежності, (наприклад, теплові деформації, коливання і т. ін.).

Оскільки ТІВС, як правило, призначена для вимірювання деякої множини складних поверхонь, то розрахунки виконують для кожної поверхні, після чого з усієї множини отриманих варіантів структури механічної частини вибирають ті, котрі характеризуються мінімальною піддатливістю ланцюгів. Характерною рисою запропонованого методу проектування ТІВС є те, що покладена в основу математична модель точності вимірювання дозволяє розглядати такі способи забезпечення високої точності і швидкодії, як регулювання силових факторів, деформації геометричних параметрів механічної частини, включаючи адаптивне керування.

Алгоритми комплексної обробки інформації будуть на основі розв'язання задач стохастичного оцінювання за допомогою нестационарних адаптивних обчислювально-стійких фільтрів, реалізованих на базі динамічних моделей похибок комплексованої системи, та мають залежно від складу комплексу декілька каналів обробки інформації: один канал комплексування навігаційної системи з датчиками швидкісної і позиційної корекції та канал комплексування систем дестабілізуючих сигналів з датчиками швидкісної та позиційної корекції.

На рис.2 показано синтезовану структурну схему прецизійної трикоординатної ІВС механічних величин.

На рис.2 введено позначення: БД – блок датчиків; ОБ – об'єкт вимірювання; МК-1, МК-2 – відповідно механізм керування вимірювальними головками та поворотним столом; БВІ – блок відображення інформації; БЗС – блок звукової сигналізації; ЗШ – загальна шина; ПЕОМ – персональна електро-

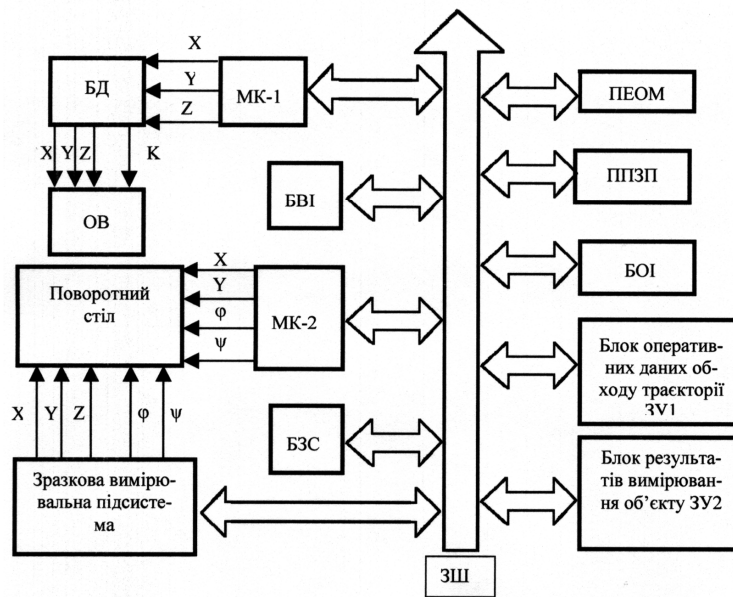


Рис.2. Структурна схема точної трикоординатної ІВС

но-обчислювальна машина; ППЗП – постійно програмуєчий запам'ятовуючий пристрій; ЗУ1, ЗУ2 – відповідно блоки оперативних даних обходу траєкторії та результатів вимірювання; БОІ – блок обробки інформації; $X, Y, Z, \varphi, \psi, X_1, Y_1, \varphi_1, \psi_1$ – координати вимірювальної головки та поворотного столу, відповідно.

Для точних ТІВС при побудові високоефективних алгоритмів обробки інформації розробляється повна математична модель ТІВС і нелінійна модель її похибок. Після цього отримуємо повну лінійну модель похибок трикоординатної ІВС, в рівняннях якої зберігаються всі зв'язки між похибками вхідних параметрів системи та методом імітаційного моделювання, оцінюється якість цієї моделі. В процесі моделювання аналізують динамічні рівняння похибок, здійснюють допустиме їх спрощення і отримують рівняння орієнтовані для реалізації в алгоритмах комплексної обробки інформації.

Висновок

Представлені теоретичні основи синтезу трикоординатної ІВС механічних величин об'єктів із складними просторовими поверхнями. Запропоновано структурну схему точної ТІВС по вимірюван-

ню просторових об'єктів розмірами до $4000 \times 5000 \times 8000$ мм з точністю до 0,1 мкм.

Література

1. Координатные измерительные машины и их применение/Гапшис А.А., Каспарайтис А.Ю., М.Б. Модестов, Раманаускас З.А., Серков Н.А., Чудов В.А. - М.: Машиностроение, 1988. -328 с.
2. Гапшис А.А., Каспарайтис А.Ю. Координатные измерительные машины// *Станкостроение Литвы*. - 1986. - №14. - С.5-11.
3. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. *Основы теории построения и контроля сложных систем*.-Л.: Энергоатомиздат, 1988.-340 с.
4. Shin R.G. McKay N.D. Selection of near-minimum time geometric paths robotic manipulators // *IEEE. Trans. Automat. Control*.-1986.-Vol.31.-№6.-P.501-511.
5. Рывкин С.С., Ивановский Р.Н., Костров А.В. *Статистическая оптимизация навигационных систем*. -Л.: Судостроение, 1976.

Поступила в редакцию 07.05.03

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор Быков В.И., Черкасский учебно-консультативный центр Вольнского института экономики и менеджмента, г. Черкассы; д-р техн. наук, профессор Аблязов Р.А., Черкасская академия менеджмента, г. Черкассы.