

## Оптимизация на координатните измервания при контролиране на дъги от окръжност

Димитър Димитров, Иван Замфиров

***Optimisation of coordinate Measurements by Control of circle Arcs:** In the paper the problems connected with assuring accuracy and performance of coordinate measurement with 3D probes are discussed. Results for various conditions are obtained through modelling of multi-parameter experiments. Various methods for defining the radius and co-ordinates of circular arcs are analysed. The comparison of several methods (strategies) from the viewpoint of accuracy and performance is given. Based on the imitational model, the possibility of optimising co-ordinate measurements and achieving the necessary accuracy and performance is proven.*

**Key words:** Measurement; 3d-probe; Automatic Control, Operation Control, Optimisation

### ВЪВЕДЕНИЕ

Координатните измервания с помощта на контактна, дискретна трикоординатна измервателна глава (ТИГ), извършвани на металорежещи машини (МРМ) с цифрово програмно управление (ЦПУ), намират широко практическо приложение. Често срещана задача е определянето на радиуса и координатите на центъра на дъга, представляваща част от окръжност. Основните проблеми в този случай са свързани с едновременното осигуряване на точността и производителността на измерванията.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

#### 1. Предпоставки и начини за решаване на проблема

Най-производително задачата за определяне на радиуса на дъга от окръжност може да се реши чрез еднократни координатни измервания в три точки. Върху точността влияние оказва сумарната грешка на измерването [1], която се формира от действието на различни систематични и случайни фактори и от избрания подход за обработване на данните. Установено е, че основен дял във формирането на сумарната случайна грешка заемат грешката при позициониране на МРМ и грешката на ТИГ.

Тяхното влияние може да се намали чрез повторни измервания във всяка точка, но това води до намаляване на производителността. Друга възможност, отново за сметка на производителността, е извършването на еднократни измервания в по-голям брой различни точки. И в двата случая има възможност получените при измерването резултати да бъдат обработени по различен начин за пресмятане на радиуса. Необходимостта от намиране на подходящо решение определя **целта** на настоящото изследване:

**Оптимизация на координатните измервания чрез избор на подходяща стратегия, осигуряваща максимална производителност при зададена точност.**

Задачите, които следва да бъдат решени са:

1. Да се потърси връзка между точността на измерване и ъгъла  $\alpha$ , определящ дължината на измерваната дъга, радиуса  $R$ , броят точки на измерване  $N$  и броят повторения  $n$  на измерване в една точка при зададено поле на разсейване на случайната грешка на измерване –  $\omega$ ;

2. Да се избере подходящ математичен апарат за обработване на данните;

3. Да се избере подход, осигуряващ минимална грешка при координатни измервания с ТИГ върху МРМ с ЦПУ, при наложено ограничение за продължителност на измерването.

#### 2. Решение на проблема

За целта е проведен многофакторен експеримент чрез имитационно моделиране на измерването при следните входните данни, представляващи управлявани фактори:

- Теоретичен радиус на дъгата –  $R$  ( $20 \div 140\text{mm}$ );
- Централен ъгъл на дъгата -  $\alpha$  ( $25 \div 125^\circ$ );
- Брой на точките на измерване –  $N$  ( $3 \div 7$ );
- Брой на повторенията във всяка точка –  $n$  ( $2 \div 8$ );
- Поле на случайната грешка при измерване -  $\omega$  ( $\pm 4 \mu\text{m}$ ).

Имитационният модел позволява да се получат случайно измерени стойности по осите  $X$  и  $Y$ , в резултат на въздействието на сумарната случайна грешка от позициониране на МРМ и ТИГ.

При решаването на задачата е прието, че:

- полето на случайната грешка по двете оси е еднакво;
- измерваната дъга е без отклонение във формата;
- началото на дъгата и първата точка съвпадат с ос  $X$ ;
- всички точки на измерване са равномерно разпределени по измерваната дъга

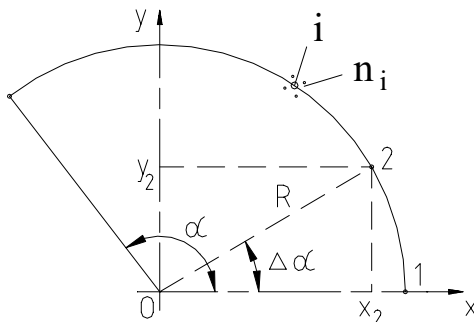
със стъпка 
$$\Delta\alpha = \frac{\alpha}{N-1};$$

- координатите на центъра на номинално зададената окръжност съвпадат с центъра на координатната система  $XOY$ ;
- всяко измерване е повторено 50 пъти.

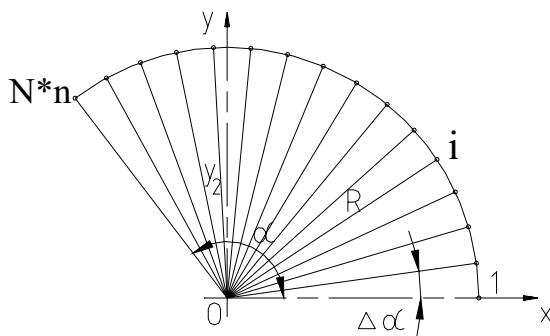
Получените резултати от измерванията са използвани за пресмятане на радиуса на дъгата и грешката по следните начини:

1. Определяне на радиуса и грешката  $\Delta R_{\text{cp}}^1$  след осредняване на координатите на повторенията в три точки (вариант  $R^1$ ).
2. Определяне на радиуса и грешката  $\Delta R_{\text{cp}}^2$  чрез осредняване на радиусите, получени при всяко измерване в три точки (вариант  $R^2$ ).
3. Определяне на радиуса и грешката  $\Delta R_{\text{cp}}^3$  чрез осредняване на радиусите, получени при измерване в  $N$  точки (вариант  $R^3$ ).
4. Определяне на радиуса и грешката  $\Delta R_{\text{cp}}^4$  по метода на най-малките квадрати (вариант  $R^4$ ).

На фиг.1 е показана схемата на измерване за варианти 1,2 и 4, а на фиг.2 е показана схемата на измерване за вариант 3.



Фиг.1 Координатни измервания на точки от дъга в съответствие с варианти 1, 2 и 4



Фиг.2 Координатни измервания на точки от дъга в съответствие с вариант 3

Направените измервания са с достатъчен брой, позволяващ използването на статистически методи за обработване на резултатите [2], [3].

За изследване на грешката при определяне на радиуса е използван план на Хартман и регресионен анализ, включващ определянето на оценките на коефициентите на модела, проверка на значимостта на коефициентите и проверка на адекватността на модела.

Резултатите, получени чрез програма за множествен регресионен анализ STATGRAF, са представени в табл.1.

Таблица 1

Упр. фактор	R <sup>1</sup>		R <sup>2</sup>		R <sup>3</sup>		R <sup>4</sup>	
	S <sup>2</sup> <sub>ад</sub>	Място	S <sup>2</sup> <sub>ад</sub>	Място	S <sup>2</sup> <sub>ад</sub>	Място	S <sup>2</sup> <sub>ад</sub>	Място
R	0.096	3	0.024	3	0.153	3	0.017	1
α	0.283	1	0.065	1	0.359	1	0.016	2
N	0.196	2	0.053	2	0.187	2	0.015	3
n	0.028	4	0.015	4	0.031	4	0.010	4

Получени са уравнения на регресия, анализът на които показва, че моделът за варианти 2,3 и 4 е адекватен, а за вариант 1 е неадекватен.

Чрез изключване на отделните управляеми фактори е определено влиянието им върху грешката. Резултатите са показани в таблицата. Терминът “място” определя степента на влияние на всеки от управляваните фактори, като 1 е най-голямо влияние, а 4 – най-малко.

С програма за търсене на екстремум е възможно намирането на стойностите на управляемите фактори, за които ΔR е min за всеки вариант.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получените регресионни модели могат да се използват за определяне на оптималния брой точки **N** и броя на повторенията **n** при зададени **R** и **α**.

2. Най-голямо влияние върху грешката оказват големината на радиуса и централния ъгъл.

3. При вариант 4 (метода на най-малките квадрати) дисперсиите на адекватност са с много малки стойности и почти равни. Това означава, че няма доминиращ фактор, който да влияе по-силно от останалите върху грешката при определяне на радиуса.

4. За вариант 3 (измерване в  $N > 3$  точки) грешката при определяне на радиуса е най-голяма. Това може да се обясни с участието в пресмятането на комбинации от 3 точки, които се намират на малък ъгъл една спрямо друга.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Енчев, М., Система за автоматично размерно настройване и поднастройване на режещите инструменти, АМТЕСН`99-Пловдив

[2]. Митков А., Минков Д., Статистически методи за изследване и оптимизирана на селскостопанска техника - I, II част, Земиздат, 1989

[3]. Данов Т., Статистически методи за управление на качеството, Д.И.Техника, 1987

#### За контакти:

Гл.ас. Димитър Димитров, катедра "Технология на машиностроенето и металорежещи машини", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 653, e-mail: [ddimitrov@manuf.ru.acad.bg](mailto:ddimitrov@manuf.ru.acad.bg)

**Докладът е рецензиран.**