

ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІЇ ПРОСТОРОВОГО РОЗРІЗНЕННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ МЕРЕЖІ ДАТЧИКІВ У СИСТЕМІ НЕРУЙНУЮЧОГО КОНТРОЛЮ

В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева, С.М. Ковешніков

Одеський національний політехнічний університет, Україна, 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1;

тел.: +380 482 250-104, факс: +380 482 343-848; e-mail: acrobat@eurocom.od.ua

<http://www.eurocom.od.ua/~acrobat/> тел.: (0482) 288-847, 288-227, 344-233

Одеський державний екологічний університет, Україна, 65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15;

<http://www.ogmi.farlep.odessa.ua>

На основі апроксимації бажаної функції просторового розрізнення усіченим рядом Фур'є-Бесселя запропонована методика структурного і параметричного синтезу сигнал-процесора розподіленої вісесиметричної мережі датчиків для систем ультразвукового неруйнующого контролю.

ВСТУП

Для неруйнующого контролю різноманітного технологічного устаткування в енергетиці і двигунобудуванні широко використовується метод високочастотного акустичного зондування. Виявлення і класифікація мікрodefektів при такому зондуванні вимагає одержання високої розрізняльної здатності як у подовжньому (по глибині зондування), так і в поперечному (по куту) напрямках. Наприклад, при контролі корпусних стінок використовуються робочі частоти порядку 2,25 МГц, що дозволяє одержати найкраще розрізнення по дистанції (3...5) мм, однак досягне поперечне розрізнення у кілька разів гірше за

розрізнення по глибині [1]. Встановлені в даний час стандарти вимагають проведення зондування при декількох різних кутах падіння пучка, тому функціонально необхідним є використання розподіленої мережі датчиків, організованої у фазовані антенні ґрати (ФАГ) при прийомі ультразвуку. Класичні аддитивні алгоритми обробки сигналів у таких ґратах дозволяють одержати кутову розрізняльну здатність, обмежену, як відомо [1], критерієм Релея. Подальше підвищення кутової розрізняльної здатності у класі лінійних алгоритмів можливо лише шляхом збільшення розмірів ФАГ, що на практиці не завжди можливо.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Висока просторова когерентність вторинного акустичного поля може бути ефективно використана для підвищення розрізнення в поперечному напрямку шляхом нелінійної обробки вихідних сигналів, наприклад, мультиплікативної, однак дотепер не було запропоновано досить загального підходу до синтезу таких алгоритмів. Для

багатомірних поліномів другого порядку синтез алгоритмів просторової обробки в одномірних ФАГ може бути здійснений на основі апроксимації бажаної функції просторового розрізнення поліномами Чебишева, а в конформних нееквідистантних ФАГ — шляхом розкладання в ряд Фур'є по просторових гармоніках [2, 3]. У даній роботі отримані раніше результати узагальнені на мережу датчиків, що має циліндричну симетрію.

Вихідний сигнал мультиплікативних кільцевих ФАГ з N датчиків за аналогією з [2] може бути представлений у вигляді:

$$U = \int_0^T \vec{x}(t) W \vec{x} dt, \quad (1)$$

де W — деяка позитивно визначена симетрична матриця;

$\vec{x}(t)$ — вектор сигналів датчиків, що складається з компонентів вигляду

$$x_m(t) = X \cos \left[\omega t + ka \sin \gamma \cos \left(\frac{2\pi m}{N} - \varphi \right) \right];$$

$k = 2\pi / \lambda$ — хвильове число;

λ — довжина хвилі вузькосмугового прийнятого сигналу;

γ, φ — кути спостереження у вертикальній і горизонтальній площині відповідно;

T — інтервал усереднення, $T \gg 2\pi / \lambda$;

a — радіус ФАГ;

X — амплітуда сигналу.

Матриця W визначає структуру сигнал-процесора мультиплікативних ФАГ, що містить у загальному випадку $(N^2 - N)/2$ каналів, оскільки квадратичні компоненти в (1) є неінформативними. Виділимо для ілюстрації в (1) N каналів і після інтегрування одержимо:

$$U(\gamma, \varphi) = X^2 \cdot \sum_{m=0}^{N-1} b_m \cos \left[2ka \sin \gamma \cos \left(\frac{2\pi m}{N} - \varphi \right) \right], \quad (2)$$

де b_m — коефіцієнти передачі по каналах ФАГ.

Розкладаючи (2) у ряд по функціях Бесселя, діаграмоформуєчу формулу для мультиплікативних ФАГ можна представити у вигляді:

$$U(\gamma, \varphi) = NX^2 J_0(2ka \sin \gamma) + 2X^2 \sum_{\nu=1}^{\infty} (-1)^\nu J_{2\nu}(2ka \sin \gamma) \cdot \sum_{m=0}^{N-1} b_m \cos \left(\frac{2\pi m}{N} - \varphi \right). \quad (3)$$

Співвідношення (3) є вихідним для синтезу різноманітних конфігурацій ФАГ з просторово розподіленої мережі датчиків з циліндричною симетрією. Важливим частковим випадком є кільцеві ґрати з простим перемножуванням сигналів діаметрально розташованих датчиків з наступним підсумовуванням і усередненням. Вихідний сигнал таких ФАГ має вигляд:

$$U(\gamma, \varphi) = \frac{N}{2} X^2 J_0(2ka \sin \gamma) + NX^2 \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{iN/2} J_{iN}(2ka \sin \gamma) \cos iN\varphi \quad (4)$$

З огляду на властивості функцій Бесселя з великим індексом, при виконанні умови

$$2ka \sin \gamma < N \quad (5)$$

у розкладанні (4) досить враховувати тільки перший член ряду. У порівнянні з аддитивною обробкою розрізнявальна здатність, що досягається, може бути поліпшена не менш, ніж у 2 рази, тому що ширина основного пелюстка функції просторового

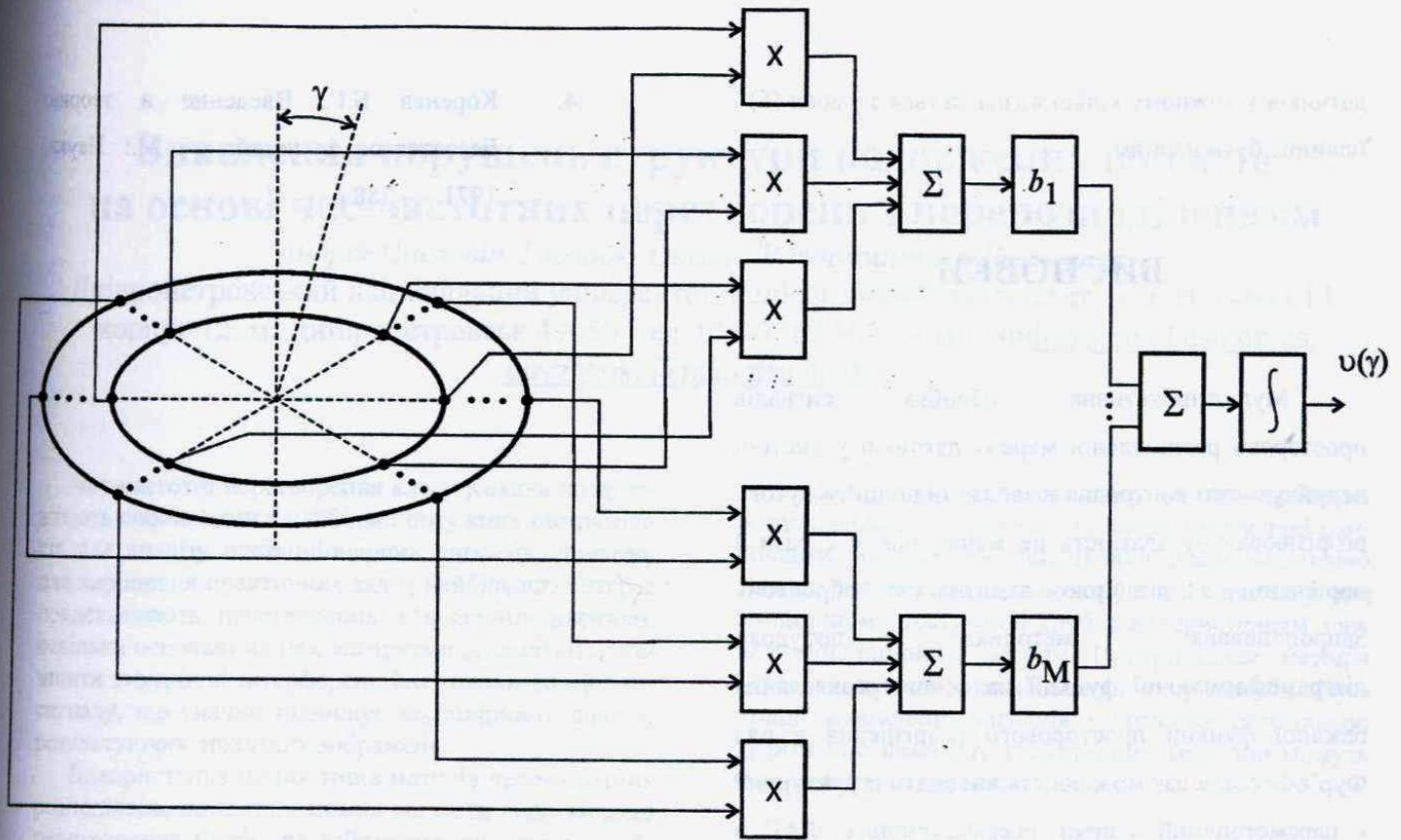


Рис 1. Мультіплікативні ФАГ з кільцевою структурою

розрізнення визначається співвідношенням

$$\gamma_0 = 2 \arcsin(2,405 / 2ka).$$

Подальше підвищення розрізняювальної здатності досягається об'єднанням мережі датчиків у концентричні кільця з адитивним зважуванням (рис. 1), вихідний сигнал якої має вигляд:

$$U(\gamma) = \rho_0 \sum_{k=1}^M b_k J_0(\rho_k x), \quad (6)$$

де $x = (2ka \sin \gamma) / \mu_1$;

$$\rho_k = a_k / a_1;$$

a_k — радіус k -го кільця,

M — кількість кілець ФАГ,

ρ_0 — коефіцієнт нормування,

b_k — коефіцієнти зважування.

Якщо $f(x)$ — бажана функція просторового розрізнення, то при досить загальних припущеннях її можна представити у вигляді розкладання в ряд Фур'є-Бесселя [4]

$$f(x) = \sum_{k=1}^{\infty} z_k J_0(\mu_k x), \quad (7)$$

де μ_k — позитивні нулі функції J_0 , розташовані в порядку зростання,

z_k — коефіцієнти розкладання,

$$z_k = \frac{2}{[J_1(\mu_k)]^2} \int_0^1 s f(s) J_0(\mu_k s) ds$$

Зіставляючи (6) і (7), методика синтезу мультіплікативних ФАГ зводиться до апроксимації бажаної функції просторового розрізнення усіченим рядом вигляду (7) з необхідною точністю. Число членів ряду, необхідне для досягнення необхідної точності апроксимації, визначає число кілець ФАГ, а коефіцієнти отриманого розкладання — коефіцієнти передачі по каналах підсумовування. При цьому радіуси кілець повинні співвідноситися між собою, як співвідносяться позитивні нулі функції J_0 . Число

датчиків у кожному кільці визначається з умови (5) і повинне бути парним.

4. Коренев Б.Г. Введение в теорию Бесселевых функций. — М.: Наука, 1971. — 288 с.

ВИСНОВКИ

Мультиплікативна обробка сигналів просторово розподіленої мережі датчиків у системі неруйнуючого контролю дозволяє підвищити кутову розрізнявальну здатність не менш, ніж у 2 рази в порівнянні з лінійною аддитивною обробкою. Запропонована методика побудови діаграфоформуючої функції на основі розкладання бажаної функції просторового розрізнення в ряд Фур'є-Бесселя дає можливість виконати структурний і параметричний синтез осесиметричних ФАГ з наперед заданою точністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кайно Г. Акустические волны: Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов / Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 656 с.
2. Миргород В.Ф., Гвоздева И.М. Формирование акустических изображений при неразрушающем контроле технологического холодильного оборудования // Холодильная техника и технология. — 1999, вып. 64 — с. 126—129.
3. Гвоздева И.М., Миргород В.Ф. Алгоритм параметрического синтеза процессоров пространственно-временной обработки сигналов конформных антенных решеток. // Электронное моделирование. — 2002. — т. 24. — № 3. — с. 61—66.