Базисні функції методу ЛСП-НР

Павлов О. І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
op-mail@ukr.net

Анотація

Показано, що на підставі матричної форми прямого та зворотного перетворення коефіцієнтів за методом ЛСП-НР можуть бути визначені базисні функції такого простору.

Наведено методику визначення базисних функцій простору ЛСП-НР та їх вигляд для ЛП 10 порядку.

1. Вступні положення

В [1—6] було викладено сутність методу ЛСП-НР, в [7—9, 14] були показані переваги використання ЛСП-НР в основних операціях оброблення мовленнєвих сигналів. Використання методу ЛСП-НР на практиці показало його високу ефективність і переваги перед іншими методами кодування форми спектральної обвідної мовленнєвих і звукових сигналів [10, 13]. В роботах [11, 12, 15, 16] була описана матрична форма методу ЛСП-НР, яка має суттєво меншу обчислювальну складність, ніж дискретне перетворення [1—6]. В роботі [17] наведені схеми фільтрів аналізу та синтезу сингалів в термінах коефіцієнтів ЛСП-НР, що дозволяє виконувати аналіз та синтез сигналів безпосередньо в просторі ЛСП-НР без переходу в простір КЛП чи КЧК. Отримані експериментальні та теоретичні результати потребують додаткового теоретичного пояснення. Саме цим питанням присвячений матеріал, який викладається далі.

2. Оцінка АЧХ фільтру ЛП в термінах ЛСП-НР

В [11, 12] було показано, що поліном $A(z)=1+\sum_{i=1}^{M} a_i z^{-i}$ можна обчислити через коефіцієнти ЛСП-НР:

$$A(z)=1+\mathbf{A}'^{\mathrm{T}}\mathbf{Z}'=1+(\mathbf{A}'_0+\mathbf{F}'\mathbf{S}')^{\mathrm{T}}\mathbf{Z}'=1+\mathbf{A}'^{\mathrm{T}}_0\mathbf{Z}'+\mathbf{S}'^{\mathrm{T}}(\mathbf{F}'^{\mathrm{T}}\mathbf{Z}') \quad (1)$$

де $\mathbf{A}'=\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_M \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$, $\mathbf{Z}'^{\mathrm{T}}=\begin{bmatrix} z^{-1} & z^{-2} & \dots & z^{-M} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$, $\mathbf{S}'=\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & \dots & s_M \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$, $\mathbf{A}'_0=\begin{bmatrix} f_{1,0} & f_{2,0} & \dots & f_{M,0} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$,

$$\mathbf{F}'=\begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & \dots & f_{1,M} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & \dots & f_{2,M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{M,1} & f_{M,2} & \dots & f_{M,M} \end{bmatrix}=\mu\begin{bmatrix} \varphi_{1,1} & \varphi_{1,2} & \dots & \varphi_{1,M} \\ \varphi_{2,1} & \varphi_{2,2} & \dots & \varphi_{2,M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi_{M,1} & \varphi_{M,2} & \dots & \varphi_{M,M} \end{bmatrix}=\mu\mathbf{\Phi}',$$

$\mu=2^{M-1}$. Вираз (1) можна переписати у вигляді

$$A(z)=1+\mathbf{A}'^{\mathrm{T}}_0\mathbf{Z}'+\mathbf{S}'^{\mathrm{T}}\mathbf{Z}'' \quad (2)$$

де

$$\mathbf{Z}''=\mathbf{F}'^{\mathrm{T}}\mathbf{Z}'=\begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & \dots & f_{1,M} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & \dots & f_{2,M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{M,1} & f_{M,2} & \dots & f_{M,M} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\begin{bmatrix} z^{-1} \\ z^{-2} \\ \dots \\ z^{-M} \end{bmatrix} \quad (3)$$

є повернутий інформативний вектор комплексного полігармонічного аргументу. Поворот вектору в (3) відбувається за напрямками базисних векторів матриці $\mathbf{F}$ зворотного перетворення ЛСП-НР (за векторами-стовпчиками головного мінору $\mathbf{F}'$).

Використовуючи підстановку $z=\mathrm{e}^{\mathrm{j}\psi}=\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi\omega/\omega_s}$, де ω_s — кругова частота дискретизації, можна отримати значення АЧХ фільтру ЛП $A(\mathrm{j}\omega)$, а також значення спектральної обвідної $K(\mathrm{j}\omega)$ синтезованого мовленнєвого сигналу для заданої частоти ω, $A(\mathrm{j}\omega)=A(z)\big|_{z=\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi\omega/\omega_s}}$, $K(\mathrm{j}\omega)=\left.\dfrac{1}{A(z)}\right|_{z=\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi\omega/\omega_s}}$:

$$A(\mathrm{j}\omega)=1+\begin{bmatrix} f_{1,0} \\ f_{2,0} \\ \dots \\ f_{M,0} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\begin{bmatrix} \mathrm{e}^{-\mathrm{j}2\pi\omega/\omega_s} \\ \mathrm{e}^{-\mathrm{j}4\pi\omega/\omega_s} \\ \dots \\ \mathrm{e}^{-\mathrm{j}2M\pi\omega/\omega_s} \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_M \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & \dots & f_{1,M} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & \dots & f_{2,M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{M,1} & f_{M,2} & \dots & f_{M,M} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\begin{bmatrix} \mathrm{e}^{-\mathrm{j}2\pi\omega/\omega_s} \\ \mathrm{e}^{-\mathrm{j}4\pi\omega/\omega_s} \\ \dots \\ \mathrm{e}^{-\mathrm{j}2M\pi\omega/\omega_s} \end{bmatrix},$$

$$K(\mathrm{j}\omega)=\left(1+\begin{bmatrix} f_{1,0} \\ f_{2,0} \\ \dots \\ f_{M,0} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\begin{bmatrix} \mathrm{e}^{-\mathrm{j}2\pi\omega/\omega_s} \\ \mathrm{e}^{-\mathrm{j}4\pi\omega/\omega_s} \\ \dots \\ \mathrm{e}^{-\mathrm{j}2M\pi\omega/\omega_s} \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_M \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & \dots & f_{1,M} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & \dots & f_{2,M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{M,1} & f_{M,2} & \dots & f_{M,M} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\begin{bmatrix} \mathrm{e}^{-\mathrm{j}2\pi\omega/\omega_s} \\ \mathrm{e}^{-\mathrm{j}4\pi\omega/\omega_s} \\ \dots \\ \mathrm{e}^{-\mathrm{j}2M\pi\omega/\omega_s} \end{bmatrix}\right)^{-1}.$$

Елементи $f_{i,0}$, $1\le i\le M$ вектору зсуву $\mathbf{A}'^{\mathrm{T}}_0=\begin{bmatrix} f_{1,0} & f_{2,0} & \dots & f_{M,0} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ (0-го базисного вектору простору ЛСП-НР) є ваговими коефіцієнтами, за допомогою яких зважується вектор комплексного полігармонічного аргументу $\mathbf{Z}'$ для кожної заданої частоти ω і утворюється залежна від частоти ω (але незалежна від значень інформативного вектору $\mathbf{S}'$) складова характеристичної функції $A(\mathrm{j}\omega)=1+\sum_{k=1}^{M} a_k z^{-k}\Big|_{z=\mathrm{e}^{\mathrm{j}\psi}=\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi\omega/\omega_s}}$ фільтру ЛП в просторі ЛСП-НР — "нульова" базисна функція (БФ) простору ЛСП-НР.

Елементи $f_{i,k}$, $1\le i,k\le M$ векторів-стовпчиків $\mathbf{F}'^{\langle k-1\rangle}$ головного мінору $\mathbf{F}'$ (1-го — M-го базисних векторів простору ЛСП-НР) є ваговими коефіцієнтами, за допомогою яких зважується вектор полігармонічного аргументу $\mathbf{Z}'$ і утворюються залежні як від частоти ω, так і від значень інформативного вектору $\mathbf{S}'$ складові характеристичної функції $A(\mathrm{j}\omega)=1+\sum_{k=1}^{M} a_k z^{-k}\Big|_{z=\mathrm{e}^{\mathrm{j}\psi}=\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi\omega/\omega_s}}$ в просторі ЛСП-НР, — "перша" — "M-та" БФ простору ЛСП-НР, — кожна з яких потім зважується відповідним до її номеру ваговим коефіцієнтом s_k і, разом з незалежною складовою (0-ю БФ, яка береться з вагою $s_0\equiv 1$), входить до складу характеристичної функції $A(\mathrm{j}\omega)$ та $K(\mathrm{j}\omega)$.

Висновок. Характеристична функція $A(z)=1+\sum_{k=1}^{M} a_k z^{-k}$ фільтру ЛП будь-якого порядку M, яку зазвичай прийнято подавати в частотному домені у вигляді ряду Фур'є з "постійною" складовою (константою, незалежною від параметрів фільтру) та "змінною" складовою (сумою гармонічних функцій базису Фур'є, які беруться з ваговими коефіцієнтами a_k), тобто $A(\mathrm{j}\omega)=1+\sum_{k=1}^{M} a_k z^{-k}\Big|_{z=\mathrm{e}^{\mathrm{j}\psi}=\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi\omega/\omega_s}}$,

$$A(\mathrm{j}\omega)=1+\sum_{k=1}^{M} a_k(\cos 2\pi k\omega/\omega_s-\mathrm{j}\cdot\sin 2\pi k\omega/\omega_s), \quad (4)$$

де $0 \le \omega \le \omega_s/2$ $(0 \le \psi \le \pi)$, так саме може бути подана рядом БФ простору ЛСП-НР у вигляді "постійної", незалежної від параметрів фільтру складової, — 0-ї БФ простору ЛСП-НР, — та "змінної" складової, — сумою 1-ї — M-ї БФ простору ЛСП-НР, які беруться з ваговими коефіцієнтами s_k,

$$A(j\omega) = 1 + \mathrm{cohr}_0(\omega) - j\cdot\mathrm{sihr}_0(\omega) + \sum_{k=1}^{M} s_k(\mathrm{cohr}_k(\omega) - j\cdot\mathrm{sihr}_k(\omega)), \qquad (5)$$

де

$$\mathrm{cohr}_0(\omega) = \mathrm{Re}\left(\mathbf{A}'^{\mathrm{T}}_0 \mathbf{Z}'\Big|_{z=e^{j\psi}=e^{j2\pi\omega/\omega_s}}\right),$$

$$\mathrm{sihr}_0(\omega) = -\,\mathrm{Im}\left(\mathbf{A}'^{\mathrm{T}}_0 \mathbf{Z}'\Big|_{z=e^{j\psi}=e^{j2\pi\omega/\omega_s}}\right) \qquad (6)$$

— дійсна та уявна частина 0-ї БФ простору ЛСП-НР, а

$$\mathrm{cohr}_k(\omega) = \mathrm{Re}\left(\mathbf{F}'^{\langle k-1\rangle\mathrm{T}} \mathbf{Z}'\Big|_{z=e^{j\psi}=e^{j2\pi\omega/\omega_s}}\right),$$

$$\mathrm{sihr}_k(\omega) = -\,\mathrm{Im}\left(\mathbf{F}'^{\langle k-1\rangle\mathrm{T}} \mathbf{Z}'\Big|_{z=e^{j\psi}=e^{j2\pi\omega/\omega_s}}\right) \qquad (7)$$

— дійсна та уявна частина k-ї БФ простору ЛСП-НР.

3. Базисні функції простору ЛСП-НР

Вигляд 0-ї БФ простору ЛСП-НР (яка незалежно від значень вектору $\mathbf{S}'$ фільтру ЛП дає незмінну частину характеристичних функцій $A(j\omega)$ та $K(j\omega)$), обчисленої для M=10 в діапазоні $0 \le \psi \le 2\pi$ (що відповідає $0 \le \omega \le \omega_s$) з кроком $\Delta\psi = 2\pi/1000$ подано на рис. 1.

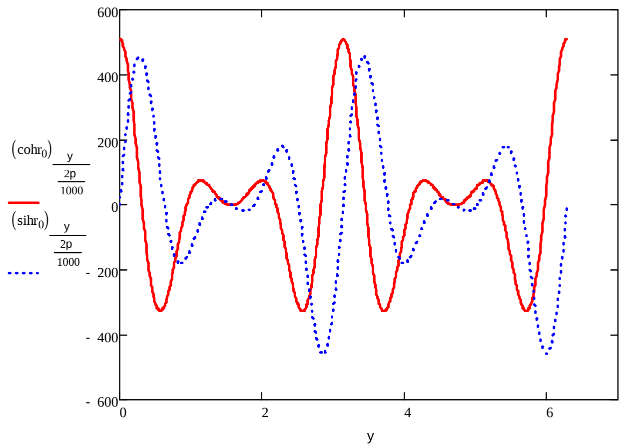

Рис. 1. Дійсна та уявна частини 0-ї БФ простору ЛСП-НР для M=10

Вигляд 1-ї — M-ї БФ простору ЛСП-НР (які в залежності від значень вектору $\mathbf{S}'$ фільтру ЛП дають змінну частину характеристичних функцій $A(j\omega)$ та $K(j\omega)$), обчислених для M=10 в діапазоні $0 \le \psi \le 2\pi$ (що відповідає $0 \le \omega \le \omega_s$) з кроком $\Delta\psi = 2\pi/1000$ подано на рис. 2 — 6.

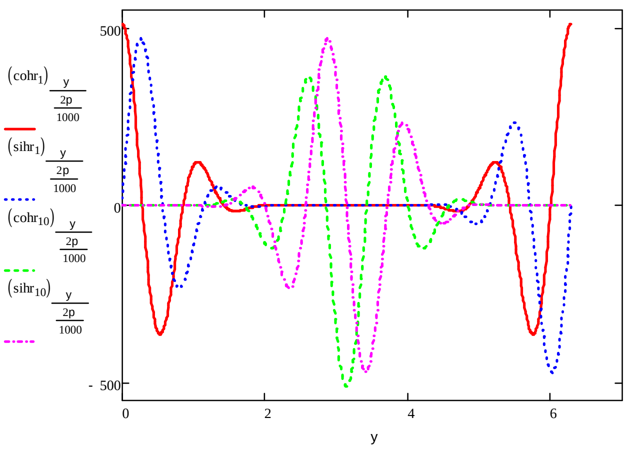

Рис. 2. Дійсна та уявна частини 1-ї та 10-ї БФ простору ЛСП-НР для M=10

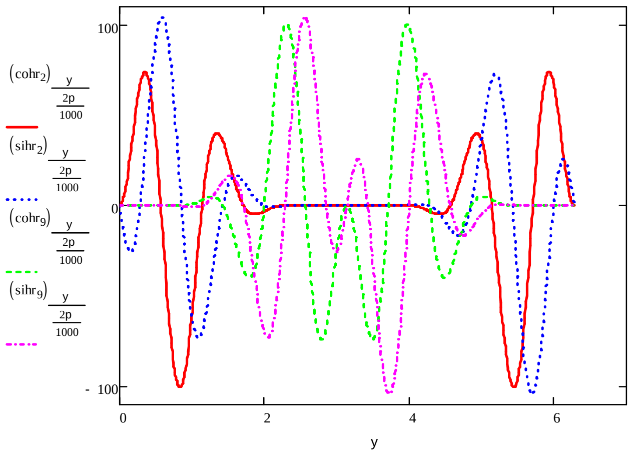

Рис. 3. Дійсна та уявна частини 2-ї та 9-ї БФ простору ЛСП-НР для M=10

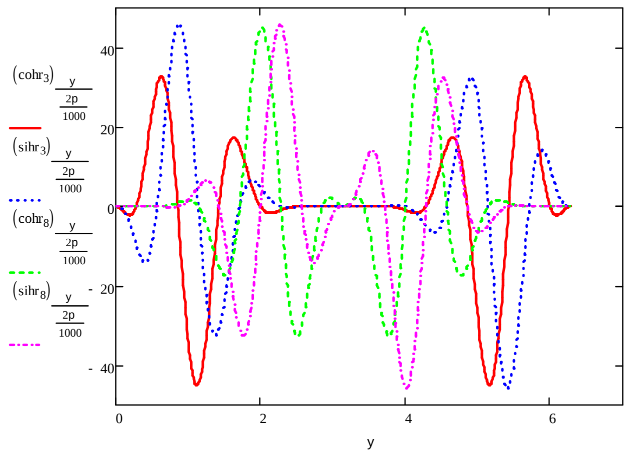

Рис. 4. Дійсна та уявна частини 3-ї та 8-ї БФ простору ЛСП-НР для M=10

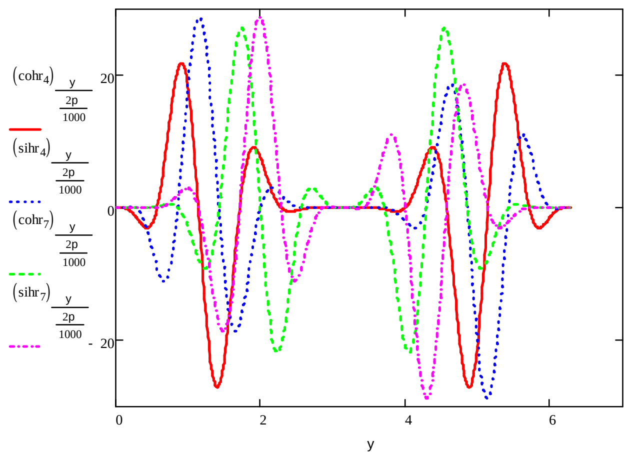

Рис. 5. Дійсна та уявна частини 4-ї та 7-ї БФ простору ЛСП-НР для M=10

Як можна бачити з рис. 1 — 6, а також відповідно до (6) та (7) дійсні частини БФ простору ЛСП-НР завжди є парними функціями, а уявні частини — завжди непарними.

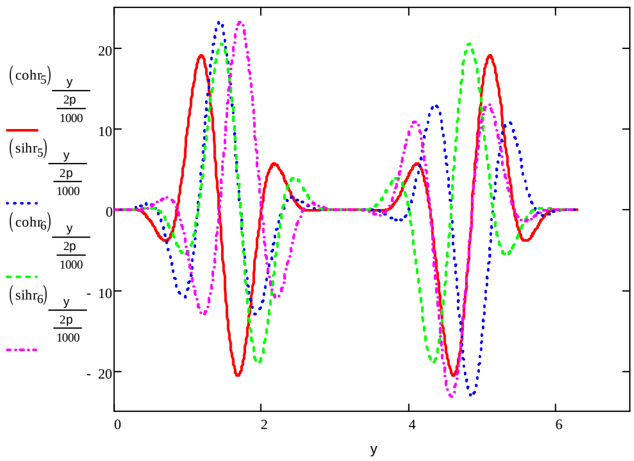

Рис. 6. Дійсна та уявна частини 5-ї та 6-ї БФ простору ЛСП-НР для M=10

4. Ортогональність базисних функцій простору ЛСП-НР

Відповідно (5), (6) та (7) комплексні БФ простору ЛСП-НР (при $z=e^{j\psi}=e^{j2\pi\omega/\omega_s}$) можуть бути подані у вигляді

$$c_k(j\psi)=\begin{cases}1+\mathrm{cohr}_0(\psi)-j\cdot\mathrm{sihr}_0(\psi)=1+\mathbf{A}'^{\mathrm T}\mathbf{Z}'\big|_{z=e^{j\psi}}=1+\sum_{m=1}^{M} f_{m,0}e^{-jm\psi}, & k=0\\ \mathrm{cohr}_k(\psi)-j\cdot\mathrm{sihr}_k(\psi)=\mathbf{F}'^{\langle k-1\rangle\mathrm T}\mathbf{Z}'\big|_{z=e^{j\psi}}=\sum_{m=1}^{M} f_{m,k}e^{-jm\psi}, & 1\le k\le M\end{cases}.$$

Ортогональність таких БФ визначається через інтеграл від добутку однієї з них на комплексно спряжену іншу: $R_{n,k}=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}c_n(j\psi)c_k(j\psi)^*d\psi=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}c_n(j\psi)^*c_k(j\psi)d\psi$. Звідки

$$R_{n,k}=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\sum_{m=1}^M f_{m,n}e^{-jm\psi}\sum_{m=1}^M f_{m,k}e^{+jm\psi}d\psi=\frac{1}{2\pi}\sum_{i=1}^M\sum_{m=1}^M f_{i,n}f_{m,k}\int_0^{2\pi}e^{j(m-i)\psi}d\psi$$

для $n,k\ne 0$. Оскільки $\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}e^{j(m-i)\psi}d\psi=\begin{cases}0, & m\ne i\\ 1, & m=i\end{cases}$, то $R_{n,k}=\sum_{m=1}^M f_{m,n}f_{m,k}=\mathbf{F}'^{\langle n-1\rangle\mathrm T}\mathbf{F}'^{\langle k-1\rangle}$. Тоді кореляційна матриця комплексних БФ простору ЛСП-НР є $[R_{n,k}]=\mathbf{F}'^{\mathrm T}\mathbf{F}'$, тобто дорівнює матриці автокореляції головного мінору $\mathbf{F}'$. Як було показано в [11, 12], головні мінори $\mathbf{\Phi}'$ і $\mathbf{F}'$ не є ані симетричними, $\mathbf{F}'^{\mathrm T}\ne\mathbf{F}'$, $\mathbf{\Phi}'^{\mathrm T}\ne\mathbf{\Phi}'$, ані ортогональними, $\mathbf{F}'^{\mathrm T}\mathbf{F}'\ne\mathbf{\Lambda}_{\mathbf F}$, $\mathbf{\Phi}'^{\mathrm T}\mathbf{\Phi}'\ne\mathbf{\Lambda}_{\mathbf\Phi}$, де $\mathbf{\Lambda}_{\mathbf F}$ і $\mathbf{\Lambda}_{\mathbf\Phi}$ — діагональні матриці, що містять квадрати норм (скалярні добутки) $\mathbf{F}'^{\langle k-1\rangle\mathrm T}\mathbf{F}'^{\langle k-1\rangle}$ та $\mathbf{\Phi}'^{\langle k-1\rangle\mathrm T}\mathbf{\Phi}'^{\langle k-1\rangle}$ відповідних векторів-стовпчиків головних мінорів $\mathbf{F}'$ та $\mathbf{\Phi}'$, де $1\le k\le M$, отже, матриця автокореляції головного мінору $\mathbf{F}'$ не є діагональною, а векторний базис, що утворюється з його векторів-стовпчиків не є ортогональним. Зі сказаного випливає що БФ простору ЛСП-НР теж не є ортогональними, що ні в якому разі не зменшує переваг, які дозволяє отримати кодування форми спектральної обвідної мовленнєвого сигналу в просторі ЛСП-НР.

Стосовно нульового базисного вектору $\mathbf{A}'=[f_{1,0}\ \ f_{2,0}\ \ \dots\ \ f_{M,0}]^{\mathrm T}$ і відповідної йому частки $\mathrm{cohr}_0(\psi)-j\cdot\mathrm{sihr}_0(\psi)$ нульової базисної функції $c_0(j\psi)=1+\mathrm{cohr}_0(\psi)-j\cdot\mathrm{sihr}_0(\psi)$ слід зауважити, що вони не є ортогональними (лінійно незалежними) до базисних векторів $\mathbf{F}'^{\langle k-1\rangle}=[f_{1,k}\ \ f_{2,k}\ \ \dots\ \ f_{M,k}]^{\mathrm T}$, $1\le k\le M$, і відповідних базисних функцій $c_k(j\psi)=\mathrm{cohr}_k(\psi)-j\cdot\mathrm{sihr}_k(\psi)$, $1\le k\le M$, а тому можуть бути однозначно розкладені на складові, що визначаються через їх проекції (скалярні добутки) у відповідних базисах. Таке подання приведе до того, що операція зсуву в (1) та (5), яку визначають нульовий базисний вектор $\mathbf{A}'=[f_{1,0}\ \ f_{2,0}\ \ \dots\ \ f_{M,0}]^{\mathrm T}$ і відповідна йому частка $\mathrm{cohr}_0(\psi)-j\cdot\mathrm{sihr}_0(\psi)$ нульової базисної функції будуть виконуватися не в просторі КЛП, а в просторі ЛСП-НР перед поворотом вектору аргументу головним мінором $\mathbf{F}'$ відповідно до формули $\mathbf{A}'=\mathbf{F}'(\mathbf{S}'-\mathbf{S}'_0)$, отже

$$A(z)=1+\mathbf{A}'^{\mathrm T}\mathbf{Z}'=1+(\mathbf{F}'(\mathbf{S}'-\mathbf{S}'_0))^{\mathrm T}\mathbf{Z}'=1+(\mathbf{S}'-\mathbf{S}'_0)^{\mathrm T}(\mathbf{F}'^{\mathrm T}\mathbf{Z}') \qquad (8)$$

.

5. Підсумки

Матрична форма прямого та зворотного перетворення коефіцієнтів за методом ЛСП-НР може бути використана для оцінювання АЧХ фільтру ЛП безпосередньо в термінах ЛСП-НР.

Характеристична функція $A(z)=1+\sum_{k=1}^{M}a_k z^{-k}$ фільтру ЛП будь-якого порядку M, яку зазвичай прийнято подавати в частотному домені у вигляді ряду (4), — суми гармонічних функцій базису Фур'є, які беруться з ваговими коефіцієнтами a_k, так саме може бути подана рядом (5), — сумою БФ простору ЛСП-НР, які беруться з ваговими коефіцієнтами s_k.

Наведено методику визначення базисних функцій простору ЛСП-НР.

Наведено вигляд базисних функцій простору ЛСП-НР на прикладі лінійного прогнозування 10 порядку.

Отримана формула оцінки АЧХ фільтру ЛП та спектральної обвідної синтезованого мовленнєвого сигналу в просторі ЛСП-НР через його базисні функції.

6. Висновки

Лінійні спектральні параметри найвищої регресії є ваговими коефіцієнтами при базисних функціях простору ЛСП-НР в формулах оцінки АЧХ фільтру ЛП та спектральної обвідної синтезованого мовленнєвого сигналу.

Базисні функції простору ЛСП-НР мають хвилеподібний вигляд і забезпечують локальний характер апроксимації спектральної обвідної мовленнєвих сигналів.

Амплітуди базисних функцій простору ЛСП-НР мають значний розкид і зменшуються від БФ з крайніми індексами до БФ з центральними індексами.

Збільшення порядку ЛП має збільшити кількість БФ, пелюстки яких мають стати вужчими, що повинно надати можливість визначити формантну відповідність індексів таких БФ. Параметри ЛСП-НР в цьому разі можуть бути мірою формантної структури мовленнєвих сигналів.

7. Список використаних джерел

1. Павлов О. И. Упрощение реализации метода линейных спектральных пар (частот) в линейном предсказании речи // Труды 3-й Международной конференции "Цифровая обработка сигналов и ее применение", Т.3, стр. 128 — 132, Москва, 2000.
2. Павлов О. И. Быстрый алгоритм и графическое представление прямого преобразования в методе линейных спектральных частот высшего порядка // Труды 3-й Международной конференции "Цифровая обработка сигналов и ее применение", Т. 3, стр. 132 — 136, Москва, 2000.
3. Павлов О. И. Прямое П-преобразование в линейном предсказании речи // Радиоэлектроника. — 2000. — N12. — С. 53 — 66. (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Павлов О. И. Алгоритм быстрого прямого П-преобразования и особенности его математического аппарата // Радиоэлектроника. — 2001. — N2.— С. 61 — 73. (Изв.высш.учеб.заведений).
5. Павлов О. И. Обратное П-преобразование в линейном предсказании речи // Радиоэлектроника. — 2001. — N1. — С. 61 — 73. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Павлов О. И. Алгоритм быстрого обратного П-преобразования // Радиоэлектроника. — 2001. — N8.— С. 67 — 77. (Изв.высш.учеб.заведений).
7. Павлов О. И. Свойства линейных спектральных частот высших порядков // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2001. Вып. 117. С. 62 — 64.
8. Павлов О. И. Межкадровая интерполяция спектральной огибающей речевого сигнала в пространстве линейных спектральных частот наивысшей регрессии // Радиоэлектроника. — 2008. — N4.— С. 56 — 69. (Изв.высш.учеб.заведений).
9. Павлов О. І., Стасевич П. А., Тертичний Г. М. Оцінка ефективності кодування спектральної обвідної мовленнєвих сигналів в просторах лінійних спектральних параметрів найвищої регресії методом кластерного аналізу // Праці 9-ої Всеукраїнської міжнародної конференції "Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів", УкрОбраз'2008, 3—7 листопада 2008 р. — Київ: МННЦ ІТіС НАН та МОН України, УАсОІРО, 2008. — С. 189 — 192.
10. Стасевич П. А., Тертичний Г. М., Павлов О. І. Фонемна фільтрація сигналів мовлення на підставі кластерного аналізу // Праці 9-ої Всеукраїнської міжнародної конференції "Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів", УкрОбраз'2008, 3—7 листопада 2008 р. — Київ: МННЦ ІТіС НАН та МОН України, УАсОІРО, 2008. — С. 85—89.
11. Павлов О. І. Розділ 6. Кодування спектральної обвідної мовленнєвих сигналів методом ЛСП-НР // Розробити апаратні засоби, системне та проблемно-орієнтоване прикладне програмне забезпечення високотехнологічних електронних виробів мовленнєвої інформатики, здійснити їх впровадження в навчальний процес, виробництво та в базову комп'ютерно-телекомунікаційну платформу «Образний комп'ютер» (ОК_2008_2_ЦЕНТР_КПІ): звіт про НДР № 205 (заключний) / РТФ НТУУ «КПІ» МОН України; кер. О. І. Рибін; викон.: О. І. Павлов [та ін.]. — К., 2008. — 139 с. — № ДР 0208U010175.
12. Павлов О. І. Розділ 5. Розвинення теорії лінійних спектральних параметрів найвищої регресії // Розроблення програмно-апаратних засобів базового модуля усномовної комп'ютерної технології, що вбудовується в сучасні комп'ютерні системи, створення на їх основі високотехнологічних електронних виробів широкого застосування та здійснення заходів для їх впровадження у виробництво: звіт з НДР ОК_2009_2 (заключний) / Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України; кер. Т. Вінцюк; викон.: О. Павлов [та ін.]. — К., 2009. — 149 с. — № ДР 0109U004244.
13. Павлов О. І., Бондаренко А. С. Розпізнавання сигналів фонендоскопії в просторі лінійних спектральних параметрів найвищої регресії // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2010. — № 5. — С. 5—10.
14. Павлов О. І., Герасименко К. В., Аполонов Є. В. Прогнозування спектральної обвідної мовленнєвих сигналів в просторі лінійних спектральних параметрів найвищого розщеплення // Праці 11-ої Всеукраїнської міжнародної конференції "Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів", УкрОбраз'2012, 15—19 жовтня 2012 р. — Київ : МННЦ ІТіС НАН та МОН України, УАсОІРО, 2012. — С. 137—144.
15. Павлов О. І. Матрична форма методу ЛСП-НР // Вісник НТУУ „КПІ". Сер. радіотехніки і радіоапаратобудування. — 2013. — № 56. — С. 13—24.
16. O. Pavlov. Estimation of the spectral envelope in the LSP-HS space by matrix transforms // The 12th All-Ukrainian International Conference on Signal/Image Processing and Pattern Recognition, UkrObraz'2014, 3—7 November 2014. — Kyiv, Ukraine: IRTC for IT&S of the NAS & MES of Ukraine, UAsIPPR, 2014. — PP. XX—XX.
17. Павлов О. І. Фільтр аналізу та синтезу мовлення в методі ЛСП-НР // Праці 12-ої Всеукраїнської міжнародної конференції "Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів", УкрОбраз'2014, 3—7 листопада 2014 р. — Київ: МННЦ ІТіС НАН та МОН України, УАсОІРО, 2014. — С. XX—XX.