

Synteza falek ortogonalnych na podstawie oceny przetworzonego sygnału

mgr inż. Jan Stolarek

Instytut Informatyki
Politechnika Łódzka

28 lutego 2012

Plan prezentacji

- 1 Sformułowanie problemu
- 2 Proponowane rozwiązanie
- 3 Wyniki badań eksperymentalnych
- 4 Podsumowanie

Historia dyskretnego przekształcenia falkowego (DWT)

- Początki w połowie lat 80-tych XX wieku
- Równolegle rozwijano teorię kwadraturowych filtrów lustrzanych (QMF)
- Połączenie teorii DWT i QMF w spójną całość dzięki pracom Daubechies i Mallata (przełom lat 80' i 90' XX wieku)

Synteza funkcji bazowych DWT

- zagadnienie kluczowe dla całej teorii, intensywnie badane do pierwszej połowy lat 90-tych XX wieku
- przekształcenie falkowe nie posiada ściśle określonych funkcji bazowych
- dla funkcji bazowej długości L , warunki określone przez teorię unieruchamiają $\frac{L}{2} + 1$ stopni swobody
- pozostałe stopnie swobody można wykorzystać do adaptacji funkcji bazowych
- dwie klasy metod syntezy funkcji bazowych

Synteza oparta o charakterystykę falki

Funkcja bazowa powinna spełniać pewną, arbitralnie ustaloną własność, np. zerowanie się momentów albo gładkość.

Zalety:

- łatwość zaprojektowania falki poprzez optymalizację numeryczną

Wady:

- nie wiadomo jaka własność falki gwarantowałaby jej optymalność
- brak możliwości adaptacji funkcji bazowych do pojedynczego sygnału oraz konkretnego algorytmu przetwarzania

Synteza oparta o aproksymację sygnału

Funkcja bazowa powinna jak najdokładniej aproksymować dany sygnał bądź klasę sygnałów.

Zalety:

- możliwe dopasowanie funkcji bazowej do charakterystyki pojedynczego sygnału
- w przypadku kompresji częściowo uwzględnia charakterystykę algorytmu przetwarzania sygnału

Wady:

- uzasadnione tylko w przypadku kompresji sygnału
- uwzględnia tylko jeden etap algorytmu kompresji

Podsumowanie przeglądu literatury

Na podstawie przeglądu literatury można wskazać następujące ograniczenia dotychczas zaproponowanych metod syntezy falek:

- istniejące metody zostały stworzone z myślą o zadaniu kompresji
- jedynym obiektywnym kryterium optymalności jest minimalizacja błędu aproksymacji
- nie istnieją uniwersalne metody syntezy falek do dowolnych zastosowań

Cel pracy

Celowym jest stworzenie skutecznej metody syntezy falki do dowolnego zastosowania. Metoda ta powinna syntezy falki uwzględniając charakterystykę przetwarzanego sygnału, algorytmu przetwarzania sygnału oraz wszystkich parametrów mających wpływ na ostatecznie uzyskany wynik.

Tezy pracy

Na podstawie powyższych stwierdzeń formułuję następujące tezy rozprawy doktorskiej:

- Teza 1 :** Zastosowanie oceny przetworzonego sygnału jako kryterium optymalności pozwala na syntezę falek skuteczniejszych w wybranym zastosowaniu przetwarzania sygnału, niż falki zaproponowane do tej pory w literaturze.
- Teza 2 :** Falki zsyntezowane na podstawie oceny przetworzonego sygnału adaptują się do charakterystyki sygnału wejściowego.

Synteza falek na podstawie oceny przetworzonego sygnału

Proponowana metoda opiera się na dwóch podstawowych krokach:

- parametryzacja funkcji bazowych DWT tak, aby przekształcić dostępne stopnie swobody na przestrzeń parametrów \mathbf{p} .
- stworzyć funkcję celu, której wartość zależy bezpośrednio od wartości parametrów filtrów falkowych.

Konstrukcja funkcji celu

Konstruując funkcję celu należy wybrać:

- algorytm przetwarzania sygnału (oparty o DWT)
- kryterium oceny przetworzonego sygnał

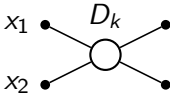
Można zapisać:

$$q = f(\mathbf{p}, \mathbf{i})$$

gdzie f – funkcja celu, \mathbf{p} – parametry funkcji bazowych DWT, \mathbf{i} – dane wejściowe algorytmu przetwarzającego sygnał, q – wartość funkcji celu.

Parametryzacja funkcji bazowych DWT

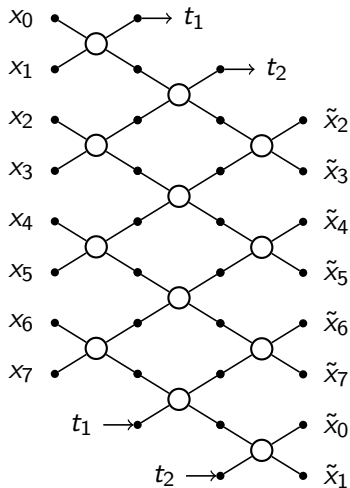
Parametryzacja oparta jest o strukturę kratową. Struktura kratowa zbudowana jest z dwupunktowych operacji bazowych.


$$\begin{aligned}x_1 & \quad \bullet \quad \begin{matrix} \nearrow \\ \circ \text{ } D_k \\ \searrow \end{matrix} \quad \bullet \quad \tilde{x}_1 = x_1 \cos(\alpha_k) + x_2 \sin(\alpha_k) \\x_2 & \quad \bullet \quad \begin{matrix} \nearrow \\ \circ \text{ } D_k \\ \searrow \end{matrix} \quad \bullet \quad \tilde{x}_2 = -x_1 \sin(\alpha_k) + x_2 \cos(\alpha_k)\end{aligned}$$

Operacja bazowa jest obrotem ortogonalnym:

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_k) & \sin(\alpha_k) \\ -\sin(\alpha_k) & \cos(\alpha_k) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Struktura kratowa do realizacji przekształcenia falkowego

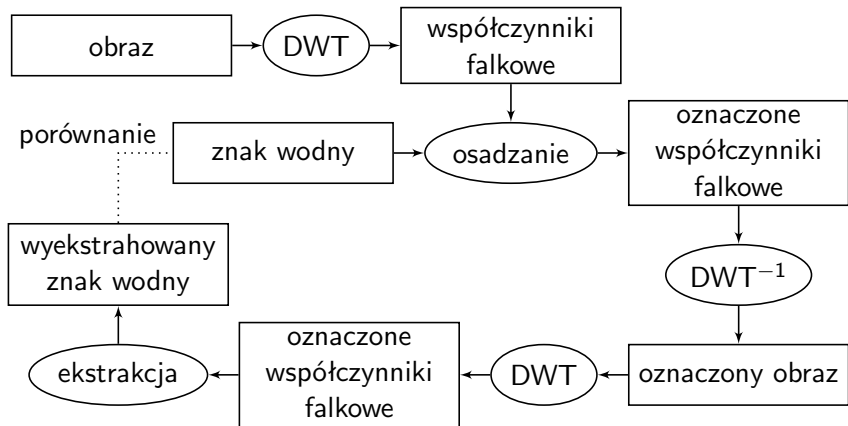


Cyfrowe znaki wodne

Jako przykładowe zastosowanie proponowanej metody wybrano zagadnienie osadzania cyfrowych znaków wodnych w obrazach.

Ideą osadzania cyfrowego znaku wodnego w obrazie jest umieszczenie w nim pewnej dodatkowej informacji, zwanej znakiem wodnym. Informacja ta może zostać później wykorzystana na różne sposoby, np. w celu potwierdzenia posiadania praw autorskich do obrazu.

Oznakowany obraz może zostać poddany atakom mogącym prowadzić do uszkodzenia znaku wodnego. Znak wodny powinien być jednak niemożliwy do usunięcia.



Rysunek: Osadzanie cyfrowego znaku wodnego w dziedzinie DWT.

Osadzanie cyfrowego znaku wodnego

Niech \mathbf{w} będzie ciągiem liczb ze zbioru $\{-1, 1\}$. Osadzanie cyfrowego znaku wodnego \mathbf{w} odbywa się poprzez modyfikację współczynników rozwinięcia falkowego \mathbf{c} zgodnie ze wzorem:

$$\mathbf{c}^{(w)} = \mathbf{c} + \kappa \cdot |\mathbf{c}| \cdot \mathbf{w} ,$$

gdzie κ to siła osadzenia dobierana tak, aby zniekształcenie wprowadzone do obrazu w wyniku osadzania znaku było na pewnym z góry ustalonym poziomie. Detekcja znaku wodnego przy użyciu znormalizowanej korelacji:

$$C = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \frac{(c_i^{(w)} - \overline{c_w})(w_i^{(r)} - \overline{w_r})}{\sigma_c \sigma_w}$$

Osadzanie cyfrowego znaku wodnego – c.d.

W celu skutecznej detekcji znaku wodnego konieczna jest

- wysoka korelacja wyekstrahowanego znaku wodnego ze znakiem osadzonym
- niska korelacja wyekstrahowanego znaku wodnego z innymi, losowymi znakami wodnymi z pewnego ustalonego zbioru

Minimalna różnica pomiędzy korelacją ze znakiem właściwym a korelacją ze znakami losowymi nazywana będzie **separowalnością**.

Algorytm poszukiwania maksimum funkcji celu

Skonstruowana funkcja celu jest funkcją multimodalną i nieciągłą. W związku z tym jako metodę przeszukiwania przestrzeni rozwiązań wybrano Prosty Algorytm Genetyczny (SGA):

- każdy kąt φ_i w strukturze kratowej zakodowany binarnie w jednym chromosomie
- krzyżowanie jednopunktowe bądź wielopunktowe
- mutacja poprzez zmianę wartości bitów
- turniejowa selekcja osobników
- sukcesja przy użyciu strategii ewolucyjnej $(\mu + \lambda)$ albo (μ, λ)

Algorytm oceny przystosowania osobnika

- 1 konwersja binarnych chromosomów na kąty $(\varphi_1, \dots, \varphi_{L/2-1})$
- 2 konwersja kątów na funkcje bazowe DWT (\mathbf{h}, \mathbf{g})
- 3 dobór siły osadzenia κ
- 4 osadzenie znaku wodnego w obrazie
- 5 przeprowadzenie na oznaczonym obrazie niezależnych ataków i ocena separowalności znaku wodnego po dokonany ataku.

Ocena przystosowania osobnika – c.d.

Każdemu osobnikowi przypisanych zostaje $K+1$ przystosowań cząstkowych, gdzie K to ilość ataków:

$$F_j(k) = \min_i (C_j^{(k)} - C_r^{(i,k)}) , \quad (1)$$

gdzie $k = 1, \dots, K$ to numer ataku (przystosowanie dla $k = 0$ odpowiada separowalności bez przeprowadzonego ataku), j to indeks osobnika, $C_j^{(k)}$ to korelacja pomiędzy wyekstrahowanym znakiem wodnym a osadzonym znakiem wodnym, wyliczona dla j -tego osobnika po k -tym ataku, $C_r^{(i,k)}$ to korelacja pomiędzy wyekstrahowanym znakiem wodnym, a i -tym losowym znakiem wodnym, również wyliczona po k -tym ataku.

Ocena przystosowania osobnika – c.d. 2

Jako ostateczne przystosowanie osobnika wybierane jest najmniejsze z wyliczonych przystosowań cząstkowych:

$$F_j = \min_k \{F_j(k)\} . \quad (2)$$

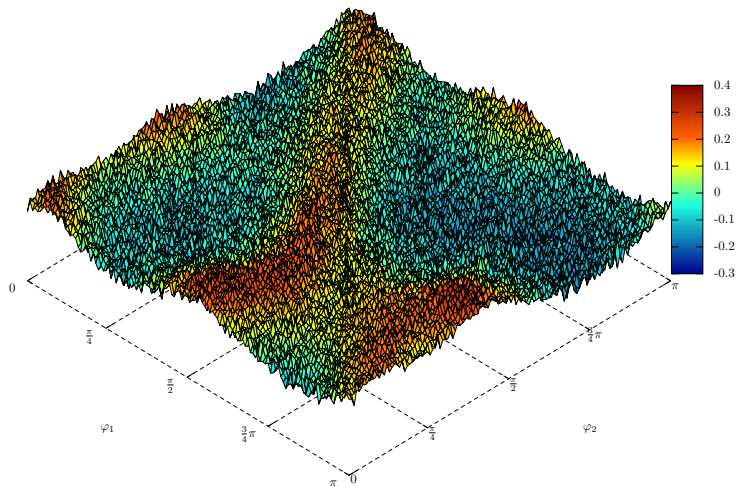
To podejście gwarantuje, że zsyntezowane faleki będą zapewniać wysoką odporność na wszystkie z przeprowadzanych ataków. Osobniki, które nie będą oferować wysokiej separowalności w przypadku chociażby jednego z ataków zostaną ocenione jako słabo przystosowane, co ostatecznie prowadzi do ich eliminacji w toku działania algorytmu ewolucyjnego.

Badania eksperymentalne

W celu weryfikacji postawionych tez przeprowadzone zostały badania eksperymentalne. Najważniejsze z nich to:

- przeskanowanie dziedziny problemu dla dwuwymiarowej przestrzeni poszukiwań
- zsyntezowanie funkcji bazowych dla wybranych obrazów
- zbadanie skuteczności funkcji bazowych zsyntezowanych dla jednego obrazu w osadzaniu znaku wodnego w innym obrazie

Dziedzina problemu



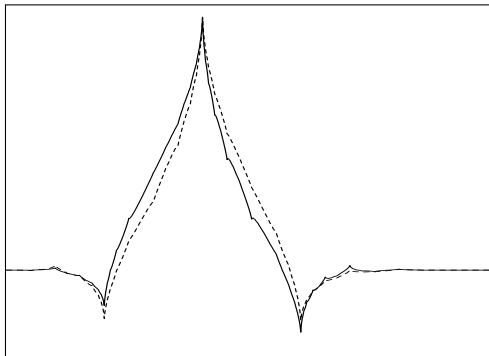
Synteza funkcji bazowych dla wybranego obrazu

bez ataku		kompresja JPEG		filtracja medianowa		filtracja dolnoprzepust.	
A6	0.327	A6	0.302	A6	0.311	A6	0.315
C6	0.273	C12	0.230	C6	0.242	S12	0.242
D4	0.265	V3	0.226	S12	0.241	C6	0.241
S12	0.259	S12	0.224	C12	0.237	C12	0.238
Ha	0.251	C6	0.224	V2	0.231	V6	0.235
C12	0.250	V5	0.217	V6	0.226	V2	0.230
V2	0.244	V6	0.217	D4	0.220	V3	0.218
V6	0.242	Ha	0.210	V3	0.220	D4	0.217
V5	0.233	V2	0.188	D8	0.214	D8	0.215
V3	0.231	D8	0.180	V5	0.213	<i>CDF</i>	0.210

Zastosowanie funkcji zszyntezowanych dla innego obrazu

bez ataku		kompresja JPEG		filtracja medianowa		filtracja dolnoprzepust.	
C6	0.273	C12	0.230	C6	0.242	S12	0.242
D4	0.265	V3	0.226	S12	0.241	C6	0.241
S12	0.259	S12	0.224	C12	0.237	C12	0.238
Ha	0.251	C6	0.224	V2	0.231	V6	0.235
C12	0.250	V5	0.217	V6	0.226	V2	0.230
A4	0.245	V6	0.217	D4	0.220	V3	0.218
V2	0.244	Ha	0.210	V3	0.220	D4	0.217
V6	0.242	A20	0.194	A20	0.219	D8	0.215
A20	0.242	V2	0.188	D8	0.214	A20	0.212
V5	0.233	D8	0.180	V5	0.213	<i>CDF</i>	0.210

Przykład zsyntezowanej funkcji bazowej



Rysunek: Porównanie adaptacyjnej funkcji bazowej (linia ciągła) z funkcją skalującą Coiflet 6 (linia przerywana).

Podsumowanie

W ramach pracy zaproponowano nowatorskie podejście do syntezy funkcji bazowych przekształcenia falkowego. Pozwala ono na syntezę funkcji bazowych przekształcenia falkowego dostosowanych do dowolnego algorytmu przetwarzania sygnału oraz jego parametrów. Możliwe jest wybranie dowolnego kryterium optymalności przetworzonego sygnału. Przeprowadzone eksperymenty wykazały prawdziwość tez rozprawy doktorskiej.

Jako ograniczenia proponowanej metody należy wskazać zależność jej skuteczności od zastosowanego algorytmu optymalizacji oraz możliwości skutecznej oceny przetworzonego sygnału.

Koniec

Dziękuję za uwagę