

Биомедицинские приборы и системы

УДК 615.471

І.Е. Крашений¹, А.О. Попов¹, канд.техн.наук, **Х. Рамірез²**, доктор філософії,
Х.М. Горріз², доктор філософії

¹каф. фізичної та біомедичної електроніки,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
каб. 423, вул. Політехнічна, 16, Київ-56, 03056, Україна.

²каф. теорії сигналів, телематики та комунікацій, Університет Гранади,
вул. Даніеля Сауседо Аранди, Гранада, 18071, Іспанія.

Використання перетворення Карунена-Лоева для аналізу МРТ-зображень людини

Робота присвячена використанню перетворення Карунена-Лоева для аналізу МРТ-зображень. Розглянута специфіка його використання для багатовимірних зображень. Показані можливості використання перетворення Карунена-Лоева для отримання ознак МРТ-зображень. Встановлено, що найбільший внесок у представлення зображення мають декілька перших базисних функцій. Надано рекомендації щодо одного з можливих методів отримання ознак МРТ-зображень для класифікації та діагностики хвороб, що впливають на будову мозку людини. Бібл. 11, рис. 1.

Ключові слова: хвороба Альцгеймера, слабоумство, хвороба Паркінсона, магнітно-резонансна комп'ютерна томографія, перетворення Карунена-Лоева.

Вступ

Магнітно-резонансна томографія (МРТ) є одним із найбільш важливих та найоб'єктивніших структурних досліджень головного мозку людини. За допомогою МРТ на сьогоднішній день діагностують цілу низку захворювань, зокрема хворобу Альцгеймера, хворобу Паркінсона, слабоумства та ін.[5, 6].

Результатом МРТ досліджень є томографічний знімки – зображення, на яких спостерігаються особливості будови мозку, патологічні зміни та структурні відхилення, які і є своєрідним «показниками» хвороби [11]. При діагностиці хвороб аналіз отриманих МРТ-зображень проводить досвідчений лікар. В залежності від хвороби лікар досліджує МРТ зображення на різні можливі відхилення від норми. Зокрема, для хвороби Альцгеймера та слабоумства характерними є атрофія гіпокампа та зміни в корі; для хвороби Паркінсона МРТ використовують, аби

виключити інші можливі причини симптомів, такі як порушення кровообігу та пухлини.

Проведення діагностики за даними МРТ-дослідження є складною процедурою, яка має елементи суб'єктивізму, що може мати наслідком неточності діагнозу, який ставить лікар при візуальному аналізі МРТ зображень. Через це існує необхідність у розвитку методів автоматичного аналізу і класифікації МРТ-зображень та розробки систем автоматизації та допомоги вироблення рішення лікаря.

На сьогоднішній день існує велика кількість методів автоматичної діагностики, що засновані на різноманітних методах обробки зображень та використовують різні ознаки зображень МРТ для класифікації [1-4, 7]. Ознаками в таких методах можуть бути статистичні параметри [1, 3], параметри, отримані за допомогою частотно-часового перетворення та вейвлет-перетворення [4, 7].

Через недосконалість існуючих методів та неможливість виконувати діагностику захворювань на ранніх стадіях, на сьогоднішній день існує необхідність у розвитку методів розрахунку та вибору ознак МРТ-зображень [9], що є особливо актуальним для захворювання на хворобу Альцгеймера.

В даній роботі пропонується застосовувати для отримання ознак класифікації перетворення Карунена-Лоева [8]. В роботі запропоновано новий метод виділення ознак МРТ-зображень на основі розкладу зображення в оптимальному базисі по відношенню до середньоквадратичної похибки, та подальшому використанні відновлених зрізів. За допомогою цього перетворення можна отримати оптимальний базис розкладу зображення, в якому будуть розкладені, а згодом відновлені за неповним спектром зображення для отримання ознак.

Перетворення Карунена-Лоева для отримання оптимального базису

Перетворенням Карунена-Лоева називається метод перетворення неперервних та дискретних сигналів у набір некорельованих коефіцієнтів [8]. В загальному випадку перетворення Карунена-Лоева описується співвідношенням:

$$F(u) = \sum_{k=0}^{N-1} F(k)A(k,u),$$

де $A(k,u)$ - функція ядра; $F(k)$ - k -тий відлік дискретизованого сигналу довжиною N ; ядро $A(k,u)$ якого задовольняє рівняння:

$$\lambda(u)A(k,u) = \sum_{k'=0}^{N-1} K_F(k,k')A(k',u),$$

де $K_F(k,k')$ - коваріаційна функція дискретизованого сигналу, а $\lambda(u)$ при фіксованих u постійна. Функції $A(k,u)$ є власними функціями коваріаційної матриці дискретизованого сигналу, а $\lambda(u)$ - її власними значеннями [10].

Оптимальний базис впорядкованих векторів для МРТ-зображення

Нехай маємо P оцифрованих МРТ-зображень, кожне з яких описується матрицею I_p , де $p = 1 \dots P$ - значення елемента матриці - є інтенсивністю вокселя зображення, що знаходиться на перетині строки r , стовпця c та зрізу s , $r = 1 \dots R$, $c = 1 \dots C$, $s = 1 \dots S$.

В даній роботі пропонується отримання базису, в якому можна представляти елементи МРТ-зображення, за допомогою перетворення Карунена-Лоева для кожного з рядків зображення. Для цього виконується реорганізація матриць кожного з P зображень, при якій рядок $X_{r,\bullet,s}$ для кожного зображення p займає відповідне місце у матриці $X_{r,\bullet,s}$ з розмірністю $P \times C$. Кількість таких матриць складає добуток R на S .

Наступним кроком в запропонованому методі є розрахунок матриці коваріацій для кожної матриці $X_{r,\bullet,s}$ з попереднім центруванням та нормалізацією:

$$Z_{r,s} = \text{cov} \left(\frac{X_{r,\bullet,s} - \mu_c}{\sigma_c} \right),$$

де μ_c - середнє значення у стовпці $X_{r,\bullet,s}$;

σ_c - середньо-квадратичне відхилення значень інтенсивності у стовпці $X_{r,\bullet,s}$.

Надалі необхідно виконати розрахунок власних чисел та власних векторів для кожної отриманої матриці $Z_{r,s}$ використовуючи рівняння

$$(Z - \lambda E) \cdot \vec{V} = 0,$$

де λ - власні числа, \vec{V} - власні вектори; E - одинична матриця.

З цього рівняння випливає, що власними числами матриці мають бути числа, що задовольняють рівняння:

$$\det(Z - \lambda E) = 0$$

Після знаходження розв'язку рівняння наступним кроком для отримання базису необхідно відсортувати власні вектори у відповідності до значень модулів відповідних їм власних чисел. Відсортовані власні вектори $\{\vec{V}_c^{ST}\}_{c=1}^C$ являють собою базис Карунена-Лоева для кожного рядка МРТ-зображення, який буде використано в подальших розрахунках ознак МРТ-зображень.

Надалі кожний рядок можна розкласти зображення I_p для отримання набору коефіцієнтів розкладу:

$$K[c] = \langle \vec{V}_c^{ST}, x_{r,\bullet,s} \rangle = \sum_{n=1}^C \vec{V}_c^{ST}[n] \cdot x[n],$$

де $\vec{V}_c^{ST}[n]$ - n -те значення власного вектору \vec{V}_c^{ST} з базису $\{\vec{V}_c^{ST}\}_{c=1}^C$; $x[n]$ - n -ий елемент зі строчки $x_{r,\bullet,s}$.

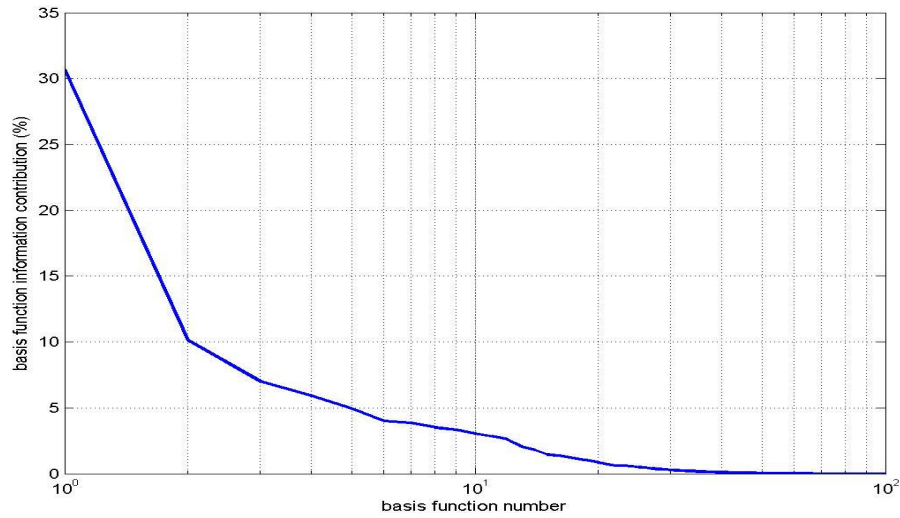
Отже, за допомогою наведеної процедури можна отримати розклад кожного рядка МРТ-зображення в отриманому для нього базисі, та досліджувати його спектр.

Новий метод виділення ознак МРТ-зображень на основі перетворення Карунена-Лоева

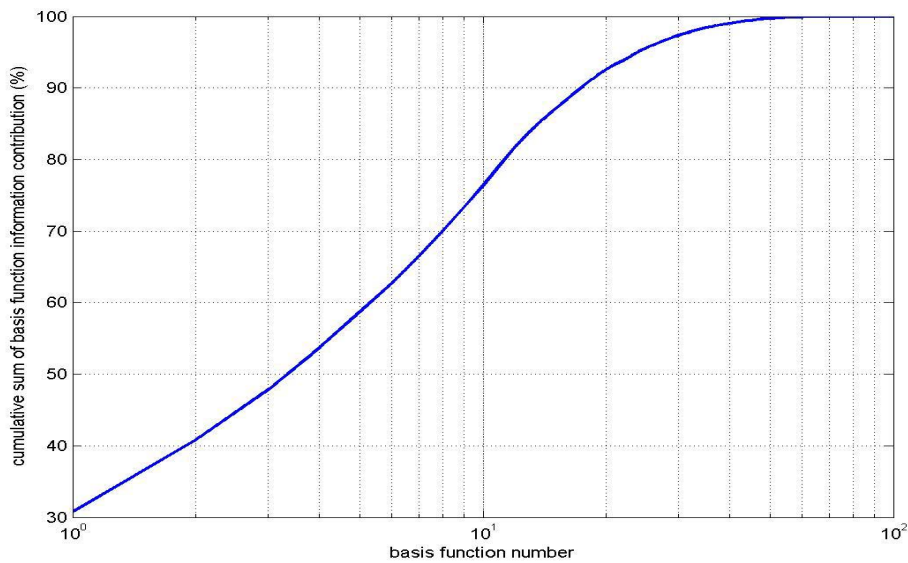
При побудові базису для перетворення Карунена-Лоева величини власних значень матриці коваріацій є характеристикою дисперсії, яку несе в собі відповідна базисна функція. Чим більшим є власне значення для відповідного власного вектора, тим більшою є дисперсія, яка представлена у ньому [8]. Дисперсія є характеристикою присутності деталей на зображенні, і її величина характеризується модулями власних

значень, що відповідають векторам базису Карунена-Лоева. На рис. 1 подано типову залежність внеску кожної базисної функції в початко-

вий сигнал в залежності від номеру базисної функції для деякого рядка МРТ-зображення.



а)



б)

Рис. 1. Графіки залежності відсоткового внеску впорядкованих власних векторів від порядкового номера: а) частка дисперсії базисних функцій; б) кумулятивна сума внеску базисних функцій в дисперсію

Видно, що вклад різних базисних векторів в відновлений сигнал буде різним, залежно від того, яким є модуль власного значення. Це спостереження покладено в основу методу отримання ознак МРТ-зображень, який розроблено в цій роботі.

В даній роботі пропонується використовувати в якості характеристик МРТ-зображень результати відновлення рядків зображення по неповному спектру власних векторів. При цьому

розрахунок значень відновленого рядка МРТ-зображення $y_{r,s}$ ведеться за виразом:

$$y_{r,s} = \sum_{c=i}^C K[c] \cdot \bar{V}_c^{ST}, i = 1..C.$$

При відновленні рядка зображення за запропонованим методом, залежно від кількості векторів $L = C - i + 1$, які використовуються для відновлення, в результуючому зображенні будуть відображені ті чи інші деталі початкового зображення.

Оскільки базис є впорядкованим, то найбільші дисперсійні внески несуть в собі компоненти з першими номерами. Це добре видно на рис. 1, (а), де відображені залежності власних чисел від їх порядкового номера. На рис. 1, (б) видно, що понад 75% початкового сигналу несуть в собі перші десять базисних функцій. Тобто найбільш характерні (загальні) властивості (ознаки) для деякої групи можливо виділити за допомогою зображень, відновлених за першими компонентами, які несуть найбільш вагомий внесок, а часткове - за останніми компонентами. У відновленні МРТ-зображень залежно від методики дослідження можна використовувати такі набори базисних векторів,:

- вектори, яким відповідають кілька найбільших власних чисел. При цьому будуть відновлені загальні деталі зображення;
- вектори, яким відповідають менші власні числа. При цьому будуть відновлені відповідні деталі зображень;
- комбінація векторів з різними величинами відповідних власних значень.

Із застосуванням запропонованого методу для виділення нехарактерних патологій та відхилень можна отримати характерні ознаки певних зрізів зображення, розкладаючи, наприклад, зображення хворого в базисі, створеному на основі зображень деякої групи умовно здорових та/або умовно хворих. При такому підході відмінності будуть міститись у «хвості» базисних функцій. Якщо ж створити базис на основі зображень, отриманих у пацієнтів з певним окремим захворюванням, наприклад з хворобою Альцгеймера, то особливості будуть міститись не тільки в «хвості», а і в перших-головних компонентах.

Висновки

В роботі представлено новий підхід для можливого отримання ознак МРТ зображення на основі перетворення Карунена-Лоева. Даний підхід полягає в отриманні базису Крунена-Лоева для кожного рядка зображення, застосуванні перетворення до кожного рядка зображення окремо, та подальшому відновленні елементів зображення з використанням заздалегідь визначеного набору базисних векторів. Запропонований підхід в подальшому може бути використано для отримання інформаційних ознак для класифікації та діагностики хвороб, що першочергово викликають фізіологічні зміни в головному мозку людини.

Ознаки, отримані на основі запропонованого методу можуть бути використані для класифікаторів, побудованих на основі різних методів машинного навчання.

Список використаних джерел

1. *Aggarwal, N. First and Second Order Statistics Features for Classification of Magnetic Resonance Brain Images / N. Aggarwal, R. K. Agrawal // Journal of Signal and Information Processing, 3, 2012. – P. 146-153.*
2. *Alvarez, I. Alzheimer's diagnosis using eigenbrains and support vector machine / J. M. Gorriz, J. Ramirez, D. Sals-Gonzalez // Electronic Letters Vol. 45 (7), 26 March, 2009. – P. 342-343.*
3. *Lahmiri, S. Automatic Brain MR Images Diagnosis Based on Edge Fractal Dimension and Spectral Energy Signature / S. Lahmiri, M. Boukadoum // 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS, San Diego, California USA, 28 August – 1 September, 2012. – P. 6243-6246.*
4. *Padilla, P. Alzheimer's disease detection in functional images using 2D Gabor wavelet analysis / P. Padilla, J. M. Gorriz, J. Ramirez, R. Chaves // Electronic Letters Vol. 46 (8), 15 April, 2010. – P.556-558.*
5. *Polikar, R. Multimodal EEG, MRI and PET data fusion for Alzheimer's disease diagnosis / R. Polikar, C. Tilley, B. Hillis, C.M. Clark // Annual International Conference of the Conference of the IEEE EMBS, Buenos Aires, Argentina, 31 August – 4 September, 2010. – P. 6058-6061.*
6. *Tuite, P.J. Magnetic Resonance Imaging (MRI) in Parkinson's Disease / P.J. Tuite, S. Mangia, S. Michaeli, // Journal of Alzheimer's Disease & Parkinsonism (2013) S1:001. doi: 10.4172/2161-0460.S1-001.*
7. *Zhang, Y. A hybrid method for MRI brain image classification / Y. Zhang, Zh. Dong, L. Wu // Expert System with Applications 38 (2011). – P. 1049-1053. – doi:10.1016/j.eswa.2011.02.012.*
8. *Ахмед, Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К.Р. Пао, – М. : «Связь», 1980. –248 с.*
9. *Крашений, І.Е. Інженерні методи діагностики хвороби Альцгеймера / І.Е. Крашений // Електроніка і та зв'язок т.19, №1(78) (2014). – С. 15-26.*

10. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений (пер. с англ.) У. Прэтт, М. : Мир, 1982. – 312 с.
11. Холин, А.В. Анатомия головного мозга человека в магнитно-резонансном изображении / А.В. Холин, – СПбМАПО, 2005. – 79 с.

Поступила в редакцию 20 сентября 2014 г.

УДК 615.471

И.Э. Крашенный¹, А.А. Попов¹, канд.техн.наук, **Х. Рамирез²**, доктор философии, **Х.М. Горриз²**, доктор философии

¹каф. физической и биомедицинской электроники,

Национальный технический университет Украины «Киевский Политехнический Институт», каб. 423, ул. Политехническая, 16, Киев-56, 030566 Украина.

²каф. теории сигналов, телематики та коммуникаций, Университет Гранады, вул. Даниэля Саусэдо Аранды, Гранада, 18071, Испания.

Использование преобразования карунена-лоэва для анализа МРТ - изображений человека

Работа посвящена применению преобразования Каренена-Лозва для анализа МРТ-изображений. Рассмотрена специфика его применения для многомерных изображений. Показаны возможности преобразования Карунена-Лозва для получения признаков МРТ-изображений. Установлено, что наибольший вклад имеют первые базисные функции. Приведены рекомендации касательно возможных методов получения признаков для классификации и диагностики заболеваний, которые влияют на строение мозга человека. Библ. 11, рис. 1.

Ключевые слова: болезнь Альцгеймера, слабоумие, магнитно-резонансная томография, преобразование Карунена-Лозва.

UDC 615.471

I. Krashenyi¹, A. Popov¹, Ph.D., **J. Ramirez²**, Ph.D., **J.M. Gorriz²**, Ph.D.

¹Department of physical and biomedical electronics,

National technical university of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", of. 423, Politekhnichna str., 16, Kyiv-56, 03056, Ukraine.

²Department of Signal Processing, Telematics and Communications, University of Granada, Daniel Sausedo Aranda str. Granada, 18071, Spain.

Application of karhunen-loeve transformation for human MRI analysis

The aim of this work is to develop new method for feature extraction from MRI images based on Karhunen-Loeve transform. Application of Karhunen-Loeve transform for multidimensional MRI images feature extraction is presented. The main result of this work is that the first basis function has the major contribution into decomposition of MRI picture, the next basis functions contributions are decreasing with their number. Recommendations for feature extraction using proposed approach for diagnosis and classification of brain diseases are given. References 11, figures 1.

Keywords: Alzheimer disease, electroencephalography, magnetic resonance imaging, single photon emission computed tomography, diagnostics, dementia.

Reference

1. Aggarwal N., Agrawal R. K., (2012), "First and Second Order Statistics Features for Classification of Magnetic Resonance Brain Images". Journal of Signal and Information Processing. Pp. 146-153.
2. Alvarez I., Gorriz J. M., Ramirez J., Sals-Gonzalez D., (2009), "Alzheimer's diagnosis using eigenbrains and support vector machine". Electronic Letters Vol. 45 (7). Pp. 342-343.

3. *Lahmiri S., Boukadoum M.*, (2012), "Automatic Brain MR Images Diagnosis Based on Edge Fractal Dimension and Spectral Energy Signature". 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS. Pp. 6243-6246.
4. *Padilla P., Gorriz J. M., Ramirez J., Chaves R.*, (2010), "Alzheimer's disease detection in functional images using 2D Gabor wavelet analysis". Electronic Letters Vol. 46 (8). Pp.556-558.
5. *Polikar R., Tilley C., Hillis B., Clark, C.M.*, (2010), "Multimodal EEG, MRI and PET data fusion for Alzheimer's disease diagnosis". Annual International Conference of the Conference of the IEEE EMBS. – Pp. 6058-6061.
6. *Tuite P.J., Mangia S., Michaeli S.*, (2013), "Magnetic Resonance Imaging (MRI) in Parkinson's Disease". Journal of Alzheimer's Disease & Parkinsonism (JADP) S1:001. doi: 10.4172/2161-0460.S1-001.
7. *Zhang Y., Dong Zh., Wu L.*, (2011), "A hybrid method for MRI brain image classification". Expert System with Applications 38. Pp. 1049-1053.
8. *Ahmed N., Rao K.R.* (1980), "Orthogonal transforms for digital signal processing". Moscow : Svyaz, 1980. P. 248.
9. *Krashenyi I.E.* (2013), "Methods for Alzheimer's disease diagnostics". Electronics and Communications. Vol. 19, #1(78). Pp.15-26.
10. *Prett U.*, (1982), "Digital signal processing". Moscow : Mir. P. 312.
11. *Kholin A.V.*, (2005), "Human brain anatomy in MRI". SpBMAPO. P. 79.