

ЯВЛЯЕТСЯ ЛИ ГОЛОВНОЙ МОЗГ КВАНТОВЫМ КОМПЬЮТЕРОМ, РАБОТАЮЩИМ В АЛГЕБРЕ КЛИФФОРДА?

Лабунец В.Г., Остхеймер-Лабунец Е.В.

Уральский Государственный Технический Университет-УПИ

Одной из главных и интересных проблем информатики является выяснение того, каким образом головной мозг животных обрабатывает цветные и многоспектральные изображения а также распознает объекты внешнего мира. Мы знаем, что животные с различными эволюционными историями имеют цветные визуальные системы различной размерности. Например, приматы имеют дву-хроматические или три-хроматические визуальные системы, Рептилии имеют многомерные (многоканальные) визуальные системы. Например, визуальная система черепах имеет пять типов цветных фоторецепторов (R,G,B, DC,UV). Криветки имеют наибольшую известную размерность у визуальной системы. Она содержит десять различных цветных фоторецепторов, предназначенных для распознавания тонких деталей внешнего мира. Практика показывает, что мозг животных успешно обрабатывает цветные и много-спектральные изображения и распознает объекты в различной позиции, при различных ракурсах, при различной иллюминации и при различной цветовой насыщенности. Но как это делает мозг? Как мы видим? Как мы распознаем постоянно движущиеся и изменяющиеся в пространстве и во времени объекты внешнего мира? Движущийся объект фиксируется на сетине как последовательность различных двумерных изображений. Ни одно из этих изображений не дает истинного представления об истинной форме и истинном цвете объекте. Но поскольку животные и человек весьма успешно распознают объекты внешнего мира, то это означает, что последовательность двумерных изображений, возникающих на сетине, все-таки содержит «НЕКОТОРЫЕ ФАКТОРЫ», характерные и уникальные для наблюдаемого изображения, которые не меняются при различных преобразованиях объекта. Благодаря именно этим факторам мы распознаем наблюдаемый объект как единое целое. Эти уникальные факторы называются ИНВАРИАНТАМИ. Поэтому искусственные визуальные системы должны обладать способностью вычислять инварианты изображений по отношению к широкому кругу цветовых и геометрических преобразований, даже если эти изображения являются не только серыми и цветными, но и многоспектральными (где число каналов больше 100).

Термины мультиспектральные и гиперспектральные изображения используются для изображений с более чем одной компонентой:

$$f_{Mcol}(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)).$$

Цветное RGB изображение является примером такого изображения с тремя спектральными компонентами R(red), G(green), and B(blue):

$$f_{Col}(x) = (f_R(x), f_G(x), f_B(x)).$$

Мульти-цветная техника использует малое число спектральных компонент (меньше чем $k=10$). Гиперспектральные системы используют несколько десятков и даже сотен спектральных каналов. Гиперспектральная камера формирует пакет из k одноканальных изображений, каждое из которых получено в одном спектральном диапазоне. В этом случае формируется так называемый “3-мерный куб”, две координаты которого – пространственные, а третья – спектральная. Гипер-спектральные изображения могут достигать объемов в 100 MB, иметь более сотни спектральных каналов и более чем миллиона пикселей.

Наш подход к цветным, мульти-спектральным и гипер-спектральным изображениям основывается на теории коммутативных гиперкомплексных алгебр и на некоммутирующих алгебр Клиффорда. Классические двумерные комплексные числа могут быть расширены до многомерных гиперкомплексных чисел, которые делятся на два класса: коммутативные и некоммутирующие.

В настоящее время гиперкомплексные алгебры играют центральную роль как в теоретической физике, квантовых вычислениях, в обработке сигналов и изображений так и в самой математике. Среди различных типов гиперкомплексных чисел, множество так называемых *триплетных* чисел и чисел Клиффорда имеют специальный статус, потому что первые описывают цветные изображения, возникающие на сетине глаза, а вторые – описывают изображения в головном мозге и используются им для различных геометрических и цветовых преобразований этих изображений.

В своем построении алгебро-геометрической теории обработки и распознавании изображений, мы основываемся на следующих гипотезах:

1. Мы предполагаем, что головной мозг оперирует с гиперкомплексными числами в процессе обработке изображений и распознавания их, вычисляя гиперкомплексно-значные инварианты. В алгебраическом подходе к распознаванию, каждый цветной или мультиспектральный пиксел интерпретируется не как многомерный вектор, а как гиперкомплексное число

$$f_{Mcol}(x) = f_0(x)1 + f_1(x)\epsilon^1 + \dots + f_{k-1}(x)\epsilon^{k-1}, \quad x \in \mathbb{R}^n, \quad n = 2, 3, \dots$$

принадлежащее мультиплетной алгебре $A_k^{Mcol} := \mathbb{R}1 + \mathbb{R}\varepsilon_1^1 + \dots + \mathbb{R}\varepsilon^{k-1}$, где $1, \varepsilon^1, \dots, \varepsilon^{k-1} (\varepsilon^k = 1)$ - так называемые цветные гипермнимые единицы.

2. Мозг использует различные алгебры на двух уровнях (ретины и Visual Cortex) для двух разных целей: мультиплетные числа для обработки изображений, и числа Клиффорда – для распознавания образов. Мы считаем, что изображения возникают на ретине как функции со значениями в мультиплетной алгебре, а в отделе Visual Cortex они существуют уже как Клиффордо-значные изображения.

3. Визуальные системы животных с различной эволюционной теорией используют различные гиперкомплексные алгебры, зависящие от той экологической ниши, в которой они обитают.

4. Мозг использует квантовые вычисления для вычисления Клиффордо-значных инвариантов в процессе распознавания образов.

Заметим, что эти предположения (как старое традиционное векторное представление, так и новое оригинальное гиперкомплексное представление цветных и мульти-цветных изображений) являются только гипотезами неподтвержденными никакими биологическими экспериментами. Векторная природа более привычна и – не более. Гиперкомплексная – более экзотична в силу ее новизны. Какое из этих представлений точнее отражает реальную действительность покажут дальнейшие эксперименты и это будет очень важно для биологов. В настоящее время мы знаем, что животные способны почти мгновенно и эффективно распознавать окружающие объекты. Для инженера важно описать явление на таком математическом языке, который бы позволил ему построить техническую систему способную работать не менее эффективно, чем исходная биологическая визуальная система, а вопрос об адекватности используемой математической модели здесь стоит на втором плане.

В настоящей работе предлагается новый подход к описанию цветных и много-спектральных изображений, разрабатывается новая теория цифровой обработки таких изображений, предлагается новое семейство быстрых гиперкомплексно-значных преобразований Фурье и Фурье-Клиффорда, гиперкомплексно-значные сплайны и вейвлет преобразования. Разрабатывается новая теория гиперкомплексно-значных инвариантов, остающихся неизменными при различных геометрических (Евклидовых и не-Евклидовых) искажениях, а также при различных цветовых яркостных изменениях изображений. Доказывается, что вычисление подобных инвариантов можно осуществлять с использованием теоретико-числовых преобразований Фурье-Клиффорда, сверхбыстрая реализация которых возможна на квантовых компьютерах. Это обстоятельство объясняет причину сверхбыстрого (почти мгновенного) распознавания объектов окружающего мира. Наша теория основывается на следующих наших базовых предположениях:

1. Интерпретация мультиспектрального и гиперспектрального пиксела как гиперкомплексного числа

$$f_{Mcol}(x) = f_0(x)1 + f_1(x)\varepsilon^1 + \dots + f_{k-1}(x)\varepsilon^{k-1}, \quad x \in \mathbb{R}^n, \quad n = 2, 3, \dots$$

2. Интерпретация преобразований цвета, мульти-цвета и гипер-цвета не как матричных, а как умножения пикселей на гиперкомплексные числа единичного модуля, которые порождают так называемые мульти-орто-унитарные преобразования.

3. Интерпретация изменений в окружающем мире не как следствие матричных преобразований, а как перемножения гиперкомплексных чисел с физическими векторами.

4. Вычисление не реально-значных инвариантов (для вычисления которых требуются значительные вычислительные затраты), а гиперкомплексно-значных инвариантов, для вычисления которых хоть и требуется гиперкомплексная арифметика, но все вычисления являются простыми, а алгоритмы сводятся к быстрым преобразованиям Фурье-Клиффорда.

References

1. Labunets, V.G. (2003). Clifford Algebras as Unified Language for Multicolor Image Processing and Pattern Recognition, «*Computational Noncommutative Algebra and Applications*», NATO/Advanced Study Institute, July 6-19, 2003

2. L.-Rundblad, E., Maidan, A., Novak, P. (2003) Color Wavelet-Haar-Prometheus Transforms For Image Processing, «*Computational Noncommutative Algebra and Applications*», NATO/Advanced Study Institute, July 6-19, 2003

3. Labunets, V.G., Rundblad, E.V. and Astola, J., (2002). Chapter 25. «Is the Brain a «Clifford algebra quantum computer»? Applied Geometrical Algebras in Computer Science and Engineering. (L.Dorst, C.Doran, J.Lasenby, Editots), Birkhauser 2002, pp. 486-495

4. Labunets-Rundblad, E.V., Labunets, V.G., Astola, J., (2001). «Is the Visual Cortex a «Fast Clifford algebra quantum computer»? *Clifford Analysis and Its Applications*, II. Mathematics, Physics and Chemistry, Vol.25, NATO Science Series, 2001, pp. 173-183

5. Labunets, V.G., Rundblad, E.V. and Astola, J., (2001). Is the brain «Clifford algebra quantum computer»? *Proc. of SPIE «Materials and Devices for Photonic Circuits*», 2001 Vol. 4453, pp. 134-145

6. Labunets, V.G., Rundblad, E.V. and Astola, J.,(2001). Fast invariant recognition of color 3D images based on spinor-valued moments and invariants. *Proc. SPIE «Vision Geometry X»*, 2001, Vol. 4476, pp. 22-33
7. Labunets, V.G., Maidan, A., Rundblad-Labunets, E.V. and Astola J., (2001). Colour triplet-valued wavelets and splines, *Image and Signal Processing ana Analysis ISPA'01, June 19-21, Pula, Croatia*, 2001, pp. 535-541
8. Labunets, V.G., Maidan, A., Rundblad-Labunets, E.V. and Astola J., (2001) Colour triplet-valued wavelets, splines and median filters, *Spectral Methods and Multirate Signal Processing, SMMSP'2001, June 16-18, Pula, Croatia*, 2001, pp. 61-70
9. Labunets-Rundblad, E.V. (2000). *Fast Fourier-Clifford Transforms Design and Application in Invariant Recognition*. PhD thesis, Tampere University Technology, Tampere, Finland, 262 p.



IS THE BRAIN A CLIFFORD ALGEBRA QUANTUM COMPUTER?

Labunets V., Ostheimer-Labunets E.

Urals State Technical University

One of the main and interesting problem of information science is clarification of how animals' eyes and brain process color and multicolor images and recognize objects in the real world. We know that primates and animals with different evolutionary histories have color visual systems of different dimensionality. For example, primates have dichromatic and trichromatic visual systems, and they can use 2D and 3D channel images to recognize pseudo-color and color images. Reptiles have multichromatic visual systems. For example, tortoise visual system has five types of color photoreceptors (R,G,B, DC,UV). Shrimps have the biggest known dimension of the visual system. They use ten spectral types of photoreceptors in their eyes to recognize fine spectral details. Practice shows that animals' eyes and brain successfully process color images and recognize objects at different locations, of different views and illumination, and with different degrees of blurring. But how is it done by the brain? How do we see? How do we recognize moving and changing objects of the surrounding world? A moving object is fixed in the retina as a sequence of different images. No individual image allows to reach a conclusion about the true shape of the object. This means that a set of sequential images appearing in the retina must contain a constant «something», thanks to which we see and recognize the object as a whole. This constant «something» is called *invariant*. In order for an artificial pattern recognition system to perform in the same way as any biological visual systems, the recognition result should be invariant with respect to various *transformation groups* of the patterns such as translation, rotation, size variation, and change in illumination and color. MultiColor techniques utilize a small number (less than $k=10$) of spectral bands, HyperSpectral systems utilize several tens or hundreds of bands.

Our approach to Color, MultiColor and HyperSpectral image processing based on hypercomplex and Clifford algebras. Our hypotheses are

1. We suppose that a brain operates with hypercomplex numbers when processing multicolor image and calculates some hypercomplex-valued invariants of an image when recognizing it. In the algebraic-geometrical approach, each color or multicolor pixel is considered not as a k D vector, but as a k D hypercomplex number (k is the number of image spectral channels). We suppose that the human brain can use the spinors and multiplet color algebra for mental motions and for changing color of images (for example, in a dream), which are contained in the brain memory on the so-called «screen of mind».

2. Brains use different algebras on two levels (retina and Visual Cortex) for two general goals: image processing and pattern recognition, respectively. Multicolor images appear on the retina as functions with values in a multiplet k D algebra, where k is the number of image spectral channels. But multicolor images in an animals' Visual cortex are functions with values in a 2^k -D Clifford algebra.

3. Visual systems of animals with different evolutionary history use different hypercomplex algebras for color and multicolor image processing. One can argue that the Nature has also learned to utilize (through evolution) properties of hypercomplex numbers

4. Brains use quantum computing for calculating of Clifford-valued invariants during image recognition. Thus, the brain maight have the ability to operate as Clifford algebra quantum computer. We don't agree with

Kronecker tha “Lord created the integers and the rest is the work of man”. We think that the Lord knew Clifford algebras, and he was the first engineer who used these algebras for design animals visual systems.

References

1. Labunets-Rundblad, E.V. (2000). *Fast Fourier-Clifford Transforms Design and Application in Invariant Recognition*. PhD thesis, Tampere University Technology, Tampere, Finland, 262 p.

