

Notas para “Un viaje a otras dimensiones: Tecnología para la Expansión Sensorial” Verano 2023

Clark Alexander
correo electrónico: el autor

July 25, 2023

1 Objetivos Principales

Este curso se dividirá en dos mini-cursos. El primer curso será, en términos generales, procesamiento de imágenes en Julia. Hablaremos sobre otros sentidos, pero es absolutamente fácil obtener ideas increíbles y ventajas en nuestra visión mediante técnicas de cómputo relativamente simples. Después de todo, todo el curso trata de extender nuestros sentidos con tecnología. Un hilo conductor particular que veremos varias veces es que la mayoría de nuestros sentidos humanos (y muchos del reino animal) se resumen en la pregunta “¿cómo procesamos ondas?” El sonido, la luz, el calor y la presión son todas ondas con diferentes longitudes de onda y amplitudes. Por lo tanto, podemos hacer que este curso trate sobre cómo procesamos diferentes formas de ondas con nuestros cuerpos.

El segundo mini-curso trata sobre cómo programar la sinestesia. Es decir, ¿cómo combinamos dos sentidos para recibir la misma información? Es posible que hayas conocido a varias personas en tu vida que “ven colores” o “sienten colores”. Daré dos ejemplos de personas que conozco y que describen ciertas sensaciones de esta manera. Un vecino mío tiene un color diferente para cada letra. También asigna colores a palabras y números, y, por supuesto, a notas musicales. Es algo ventajoso ya que es un pianista profesional, por lo que cuando aprende una canción o una pieza en el piano, detecta notas incorrectas al ver el color incorrecto. Una vez me dijo que la palabra “Clark” le parece negra y rosa, pero la letra “C” es azul. Otra persona que fue compañera mía hace muchos años describía diferentes sensaciones como colores. Por ejemplo, dijo que las cosas placenteras (como comer helado o una ducha caliente, no ese tipo de placer) eran “marrones”. Otros sentimientos, como el cansancio, eran “morados”. No es una sensación “normal” para los humanos mezclar los sentidos, pero en el reino animal esto es bastante más común. Confundimos el gusto y el olfato, pero las serpientes solo tienen un sentido de gusto / olfato. Entonces, aunque algunas personas ya poseen esta habilidad, no todos nosotros lo hacemos, y por lo tanto, es un área fértil para extender nuestros sentidos con tecnología.

2 Algunas Notas sobre Luz y Color

Aunque esta sección no es estrictamente necesaria, es absolutamente fascinante escuchar muchas de estas cosas sobre nosotros y los animales. Comencemos hablando de los humanos y nuestras habilidades cromáticas. Como la mayoría de ustedes sabe o ha escuchado, nuestros ojos tienen dos tipos de receptores de luz, bastones y conos. Los bastones controlan la intensidad de nuestra visión (lo veremos en imágenes RGBA más adelante como el canal A) y los conos controlan qué longitudes de onda de luz podemos percibir. La gran mayoría de nosotros somos tricromáticos, lo que significa que tenemos tres conos distintos y podemos percibir tres longitudes de onda de luz distintas. Estos conos, hablando en términos generales, son Rojo, Verde y Azul. Sin embargo, hay una gran parte de la población general cuyos conos solo seleccionan dos colores distintos. En los mamíferos, esto es lo normal, no la excepción, y se llama dicromía. En nuestro mundo lo llamamos daltonismo. Sin embargo, hay algunas mujeres (solo mujeres por razones que veremos pronto) que tienen cuatro receptores de colores distintos, y se les llama tetracrómatas. ¿Qué demonios deben estar viendo todo el tiempo? Trataremos de llegar al fondo de esto.

Una pregunta importante es: ¿por qué los hombres no pueden ser tetracrómatas? Antes de meternos demasiado en la política de género e identidad, vamos a simplificar las cosas donde mujer significa dos cromosomas X y hombre significa un cromosoma X y un cromosoma Y. Entiendo que la biología y el género no son tan simples, pero para el bien de un club científico, solo pensaremos en estas clasificaciones. Por lo tanto, es posible que un transhombre sea tetracrómata, pero esto sería excepcionalmente raro, por lo que por el momento ignoraremos estas excepciones estadísticas. Volviendo a nuestra pregunta. ¿Por qué las mujeres tienen la capacidad de tener 4 conos, pero no los hombres? Bueno, la respuesta es realmente sorprendentemente simple.

3 La visión del color

El cromosoma X lleva dos receptores de color y el Y lleva solo uno. El receptor verde se encuentra en el cromosoma X, por lo que en principio todas las mujeres tienen 4 conos, pero los dos receptores verdes se superponen tanto en las longitudes de onda que ven, que nuestros cerebros tienden a fusionarlos. La dicromacia ocurre mucho más en los hombres, ya que dos de los tres receptores tienen longitudes de onda tan superpuestas que las personas que tienen estos conos tienen dificultades para distinguir entre el rojo y el verde. Existen muchas, muchas graduaciones de daltonismo y lo exploraremos en profundidad. De la misma manera, existen muchas graduaciones de tetracromacia, nuevamente veremos qué podemos distinguir. La visión de los humanos no se detiene allí. Se dice que Claude Monet podía ver las longitudes de onda más largas del ultravioleta. Supuestamente esto sucedió después de que una lesión en el ojo dañara su lente y reflejara diferentes longitudes de onda de luz, que iban del azul al violeta y al ultravioleta. Describió que el ultravioleta se veía azul blanquecino,

lo que podemos ver en su pintura de nenúfares.

4 Interesantes hechos sobre la visión de algunos animales

Las abejas son particularmente fascinantes, ya que ven tres colores, pero no ven el rojo. Ven verde, azul y ultravioleta. Aparentemente, cuando se ven las longitudes de onda ultravioleta de una flor, las flores dulces de polen se ven como un gran blanco para las abejas. ¡Qué fascinante! Te desafío esta semana a que encuentres una imagen de una flor que sepamos que les gusta a las abejas y veas si podemos encontrar un blanco. Los colibríes también ven ultravioleta, pero también ven rojo. ¿Cómo será su mundo? Los diferentes animales tienen todo tipo y manera concebibles de ojos, capacidad para ver colores, polaridades de luz, detección de movimiento, etc. Cuanto más miras, más encuentras. Es una exploración inmensamente satisfactoria y te animo a que sigas buscando y descubriendo.

5 Comenzando con Julia

5.1 VSCode

En general, hay dos plataformas principales para usar Julia. Mi preferencia personal es VSCode, que es gratuito y admite muchos, muchos lenguajes, incluido Python. La ventaja principal de usar VSCode para Julia es su REPL (Read-Evaluate-Print-Loop) que es compatible. Una vez que hayas descargado VSCode, querrás descargar la extensión de Julia.

El siguiente paso es descargar Julia desde el sitio web <https://julialang.org/downloads/>. En mi computadora personal utilizo la versión estable 1.8.5 y en el trabajo la versión 1.9.0. Cualquier versión posterior a 1.8.0 estará bien. Hasta julio de 2023, creo que la versión 1.9.2 es la más reciente.

Cuando hayas descargado Julia, simplemente deberás indicarle a VSCode dónde se encuentra el archivo ejecutable. Puedes encontrar más información en <https://code.visualstudio.com/docs/languages/julia>.

Abre un nuevo archivo de texto en VSCode y escribe `println("Hola mis amigos.")`. Luego guárdalo como `hola.jl` y ejecútalo presionando el botón de reproducción en la barra superior. Esto abrirá el REPL de Julia y mostrará tu declaración. Si todo sale bien, entonces estás listo para empezar. Si algo no funciona, podemos solucionarlo juntos.

5.2 Anaconda y Cuadernos JuPyteR

La segunda opción es descargar el conjunto completo de Anaconda y abrir un cuaderno Jupyter. Un hecho interesante que muchos de ustedes pueden no conocer es que JuPyteR significa Julia, Python y R. Así que simplemente elige Julia

como el kernel en tu cuaderno y ejecútalo como de costumbre. Personalmente, evito los cuadernos tanto como sea posible, pero puedes usarlos libremente para nuestros proyectos.

6 Introducción a Julia Images

Una vez que tengas Julia ejecutándose en VSCode, el REPL de Julia hace algo increíble: al ingresar el símbolo “j” te lleva al gestor de paquetes y simplemente puedes escribir:

```
(@v1.8) pkg > add Random
```

esto conectará a GitHub y descargará, instalará y preparará el paquete “Random” para ti. En Anaconda, tendrás que usar el comando Pkg:

```
julia > using Pkg  
julia > Pkg.add("Random")
```

7 Imágenes Multibanda e Hiperespectrales

Usaremos un par de paquetes para trabajar con estas imágenes, principalmente utilizaremos Images y MAT. Images es la herramienta principal, pero MAT nos permitirá acceder a archivos de MATLAB que contengan solo datos.

Entonces, ¿qué es una imagen multibanda? En general, las imágenes en formatos como .jpg, .png y .svg, tienen tres canales de color. Para la gran mayoría de nosotros, vemos rojo, verde y azul, que son los canales que estas imágenes muestran. Algunas imágenes también tienen un canal de brillo, pero lo veremos más adelante.

Por otro lado, una imagen multibanda divide la luz en rebanadas mucho más pequeñas. En particular, echemos un vistazo a la imagen de una flor conocida como “scene 4” del repositorio de imágenes multibanda de la Universidad de Manchester

https://personalpages.manchester.ac.uk/staff/d.h.foster/Hyperspectral_images_of_natural_scenes_04.html

Descargaremos esta imagen usando nuestro paquete MAT. Verifica el script en nuestro repositorio de GitHub. Algunas cosas a tener en cuenta:

1. Esta es una imagen con 33 canales.
2. Los canales están divididos en longitudes de onda de 10 nm.

Observando la siguiente tabla, podemos ver aproximadamente dónde se encuentran las longitudes de onda en términos de nuestra visión “normal”.

¡Ahora vamos a hacer algunas cosas interesantes! Primero, obtengamos un canal rojo “promedio”. Lo hacemos así:

```
redChannel = mean(mbimg[:,27:end])
```

El símbolo ":" en el medio significa "todo" en la primera dimensión y "todo" en la segunda dimensión, y estamos calculando el promedio de los valores de los píxeles en los canales rojos. Hagamos lo mismo para los canales verde y azul. Ahora podemos ver cómo se vería la imagen para nosotros:

```
rgbimg = colorview(RGB,redChannel, greenChannel, blueChannel)
```

Pero aquí está la parte divertida, te he proporcionado muchas herramientas para manipular estos canales. Puedes obtener negativos con "1.- redChannel", o cambiar los rojos y azules y verdes haciendo cosas locas como:

```
imgLoco = colorview(RGB,blueChannel, redChannel, greenChannel)
```

También puedes ver cualquier combinación de tres canales a la vez mediante:

```
rgbimg = colorview(RGB,mbimg[:,c1], mbimg[:,c2],mbimg[:,c3])
```

Te animo a que dediques tiempo a explorar esta imagen, cómo se ven las diferentes longitudes de onda y cómo combinarlas para crear imágenes interesantes y arte al estilo de Andy Warhol.

Una característica especialmente agradable de Julia Images es que podemos crear una nueva imagen más grande simplemente concatenando imágenes más pequeñas. Por ejemplo, si tenemos img1, img2, img3 e img4 del mismo tamaño, que son simplemente diferentes coloraciones de la misma imagen original:

Podemos crear una imagen más grande de esta manera:

```
bigIMG = [img1 img2; img3 img4]
```

El espacio se usa para indicar que las matrices se colocan una al lado de la otra de izquierda a derecha, y el punto y coma crea una nueva fila. ¡Inténtalo y mira qué obtienes!

Ahora, intentemos algo interesante. Sabemos que algunas personas (solo mujeres) son tetracromáticas. Esto ocurre porque el cromosoma X lleva dos receptores de color. En la mayoría de los casos, los receptores verdes se fusionan en un solo receptor verde. Se estima que casi el 12% de las mujeres tienen 4 conos distintos, aunque la gran mayoría todavía tiene la fusión de los receptores verdes para responder a las mismas longitudes de onda. La verdadera tetracromacia es algo completamente diferente. Una verdadera tetracromata podrá ver, detectar y distinguir entre muchos más colores de los que nosotros podemos ver. Entonces, veamos si podemos replicar un poco de eso utilizando la tecnología a nuestro alcance. Se me ocurren dos formas de intentarlo. Primero, comencemos con nuestra imagen multibanda. Elige cualquier imagen que te guste. Creemos canales promedio de rojo y azul como antes:

7.1 Modificando el Brillo

De la misma manera en que podemos manipular una imagen de tres colores, podemos tener una imagen de cuatro dimensiones donde la cuarta dimensión es la nitidez o el brillo. Generalmente se denomina A en el esquema RGBA. Las imágenes normales que no tienen en cuenta el brillo tienen el brillo configurado a 1, que en julia sería `ones(size(img))`. Hagamos que nuestras imágenes titilen un poco. Volvamos a nuestros canales rojo, verde y azul promediados.

Ahora, prueba a ver imágenes como

```
colorview(RGBA, red, green, blue, rand(Float64, size(red)))
```

Una nota rápida: `size(red)` será algo así como (1024, 1920), lo que significa 1024 filas y 1920 columnas. Si decimos `rand((1024,1920))`, julia nos dará un número entero entre 1024 y 1920, pero lo que queremos es un arreglo de intensidades. Por lo tanto, agregamos `Float64` al principio para indicar que queremos números aleatorios de tipo `Float64`, y en segundo lugar le indicamos el tamaño del arreglo. De manera similar, en julia `rand(1:5)` devuelve un número entero, pero `rand(1:5, (2,3))` devuelve una matriz de 2×3 de números enteros entre 1 y 5 (no entre 1 y 4, que es lo que hace Python por alguna razón extraña).

Si encuentras una imagen que deseas guardar, eso también es fácil.

```
save(filepath, img)
```

En la siguiente sección, recorreremos para crear muchas imágenes y unir las para formar un video. (Te dejaré agregar la música).

8 Daltonismo

Antes que nada, tengamos una lista de las transformaciones de daltonismo en la parte superior.

https://www.inf.ufrgs.br/%7Eoliveira/pubs_files/CVD_Simulation/CVD_Simulation.html

El daltonismo en los seres humanos toma muchas, muchas formas diferentes. En principio, es un efecto físico muy simple. Uno o más de los conos en los ojos de una persona "daltoniana" no detectan reflectancias de ciertas longitudes de onda de la luz. Eso es básicamente todo. Las consecuencias son increíbles porque nosotros, como especie, dependemos tanto de la vista. La vista es, con mucho, nuestro sentido más dominante (como especie), por lo que a las personas con visión normal les resulta tan difícil imaginar lo que ve un tetracromático como a una persona daltoniana imaginar lo que vemos nosotros. Resulta que muchos animales en el reino animal solo tienen dos receptores de color, por lo que los consideraríamos daltónicos. Además, otros animales perciben tres canales diferentes a los que nosotros percibimos. Por ejemplo, los colibríes pueden ver el RGB estándar más el ultravioleta. Dado que el púrpura es la palabra en inglés para la combinación de rojo y azul, el escritor Ed Yong ha denominado a estos colores formados con ultravioleta como "Rurple" (rojo + UV), "Grurple" (verde

+ UV) e "Yurple" (amarillo + UV). En esencia, los humanos somos daltónicos para estos colores.

Nuevamente, en el reino animal, muchos, muchos, muchos animales solo tienen dos receptores de color. A pesar de nuestra tricromacia, esto resulta no ser una desventaja para todos los animales. Por ejemplo, los animales que no ven bien el verde pueden ver a los "insectos hoja" e insectos palo y saltamontes, etc., donde los humanos tienen dificultades para verlos. Esto significa que vemos el verde y no podemos distinguir los contornos y bordes, mientras que los animales que comen esos insectos ven los contornos y pueden seleccionar fácilmente su comida.

Vamos a través de algunos ejemplos. Quiero que abras el script sobre daltonismo y descargues algunas imágenes muy coloridas. En el script, muestro cómo transformar los canales de color RGB en canales de daltonismo utilizando las matrices proporcionadas en el enlace mencionado anteriormente. Tal vez quieras resolver algunas ecuaciones y hacer una breve película interpolando entre diferentes niveles y tipos de daltonismo. Quizás te gustaría probar las tres transformaciones simultáneamente y crear un video al estilo de Andy Warhol.

9 Convolutiones y Detección de Bordes

En el procesamiento moderno de imágenes con inteligencia artificial, usamos la idea de convoluciones. Es posible que recuerdes de la clase de matemáticas que estas cosas se ven así:

$$f * g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t - \tau)g(\tau)d\tau$$

Si aún no has visto estas cosas, no te preocupes, la intuición es simple. Tenemos algún filtro que, en la ecuación anterior, se llama g . Pasamos nuestro filtro sobre alguna función f y el resultado es la convolución de ambas. En el caso de las imágenes, hacemos casi lo mismo. Si pensamos en cada píxel como si tuviera una intensidad de imagen (un número entre cero y 1), entonces pasamos un filtro sobre los píxeles cercanos y tomamos un producto punto. Esto no es el producto punto estándar, sino el producto punto por puntos. Aquí tienes un ejemplo:

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \odot \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.3 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 \\ 0.7 & 0.8 & 0.9 \end{bmatrix} = 0(0.1) + (-1)(0.2) + 0(0.3) + \dots + (-1)(0.8) + 0(0.9) = 0.$$

Esto nos dice que el píxel en la nueva imagen tendría una intensidad de 0. Tenemos un paquete fácil en julia para esto llamado DSP (Procesamiento Digital de Señales):

En DSP tenemos la función `conv`. Cuando juegues con `conv`, notarás que te da una matriz ligeramente más grande que la que tenías al principio. ¿Por qué es eso?

Al realizar una convolución (en el paquete DSP), la imagen que es más grande se rellena con ceros adicionales. Entonces, el tamaño final de una convolución de $n \times k$ con $m \times \ell$ es $n + m - 1 \times k + \ell - 1$.

He proporcionado varios ejemplos de convoluciones comunes utilizadas en redes neuronales y algunas otras herramientas. Trata de averiguar qué hacen estas convoluciones.

Ahora juguemos un poco más con esto. Veamos qué tipo de detalles podemos captar en algunas imágenes usando cualquier combinación de técnicas que puedas imaginar. Ahora tenemos a nuestra disposición:

1. Promediado
2. Cambio de canales
3. Negativos
4. Filtros de daltonismo
5. Convoluciones
6. Intensidad del cuarto canal

Deberíamos poder manipular varias imágenes extremadamente interesantes y en la siguiente sección aprenderemos a hacer una película corta a partir de nuestros cuadros individuales. Esto pondrá en efecto la pieza final de nuestra visión, ¡el movimiento!

10 Una Sencilla Película con FFMPEG

Te recomiendo encarecidamente que leas un poco más sobre este tema. Si bien el libro de Frank Wilczek es asombroso y definitivamente vale la pena leerlo, también quiero mencionar otro libro reciente: "Un Mundo Inmenso" de Ed Yong. Él escribe extensamente sobre los muchos sentidos que tienen los animales y cómo diferentes animales aprovechan diferentes sentidos. Una línea común que vemos en muchos de estos sentidos es que tenemos diferentes métodos para percibir ondas. Las ondas, como probablemente sepas, pueden ser ondas estacionarias o ondas en movimiento. Y, por lo tanto, es lógico que el movimiento sea otra dimensión de cómo percibimos el mundo que nos rodea. Llevemos esto al siguiente paso lógico. Queremos tener muchas imágenes fijas y unir las para formar una película.

Así es como lo hacemos... Necesitarás descargar ffmpeg a través de la línea de comandos. Ahora navega a la carpeta donde has almacenado todas las imágenes y escribe:

```
ffmpeg -r 20 -i %3d.png -pix_fmt yuv420p myScene.mp4
```

Aquí hay algunas notaciones extrañas. `-r 20` significa una velocidad de fotogramas de 20 por segundo. `-i` significa iterar a través de las imágenes. El comando `%3d.png` significa *contra todos los cuadros que tengan una etiqueta de 3 dígitos y extensión .png. Entonces*

11 Algunos Sitios Web Útiles

Base de datos de reflectancia espectral de imágenes hiperespectrales

<https://ridiculous.com/spectral-reflectance-database/>

Base de datos de imágenes multiespectrales de la Universidad de Columbia

Este sitio tiene imágenes de objetos reales y falsos. ¡Ve si puedes encontrar un canal multibanda que exhiba esto claramente!

<https://www.cs.columbia.edu/CAVE/databases/multispectral/>

Trabajando con el paquete MAT en julia

<https://github.com/JuliaIO/MAT.jl>

Una lista de transformaciones para el daltonismo

https://www.inf.ufrgs.br/%7Eoliveira/pubs_files/CVD_Simulation/CVD_Simulation.html

Otra biblioteca de imágenes hiperespectrales en julia

<https://github.com/usnistgov/HyperspectraWithNeXL.jl/blob/main/notebooks/quant.ipynb>