



FACULTAD DE INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN
Escuela Profesional de Ciencia de la
Computación

Daltonización y Recoloración de Video para
Mejorar la Percepción de los Objetos en
Personas con Ceguera del Color

Trabajo de Investigación

Presentado por:

Alvaro Freddy Zuñiga Quiroz

Para Optar por el Grado Académico de:

Bachiller en Ciencia de la Computación

Asesor: Dra. Raquel Esperanza Patiño Escarcina

Arequipa, Abril 2021

A mis padres y Profesores

Agradecimientos

A Dios, por darme la fuerza, la perseverancia y habilidades para realizar este trabajo de investigación.

A mi hermano y familiares que siempre se preocuparon por mis estudios y me tendieron una mano en el desarrollo de esta tesis.

A mis Padres por su apoyo, comprensión, paciencia y consejo a través de estos años, en especial a mi Madre que me acompañó presencialmente en parte del camino y que ahora desde el cielo a guiado mis pasos para poder terminar este trabajo. Gracias Papá, gracias Mamá.

A mi Asesora, Dra. Raquel Patiño y al Profesor Dennis Barrios por el apoyo, consejo y dedicación que me brindaron para la realización de este trabajo de investigación.

A mis revisores, por sus correcciones que me ayudaron a mejorar este proyecto de investigación.

A la Universidad Católica San Pablo, por brindar las instalaciones y apoyo institucional, para lograr las diferentes tareas relacionadas al desarrollo del presente trabajo.

Finalmente a mis amigos y compañeros de la Universidad y el Trabajo, por brindarme su apoyo, sus consejos y conocimientos para el desarrollo de este trabajo.

Resumen

En una sociedad donde los contenidos multimedia abundan en variedad de tipos y formas de distribución, las personas con ceguera de color se encuentran, muchas veces, con el problema de no poder interactuar de manera adecuada con estos contenidos, perdiéndose detalles o características de los objetos mostrados por imagen o video. Es por esta razón que se ha desarrollado un algoritmo que ayude a las personas, que sufran de este mal, a distinguir de manera correcta los detalles del contenido multimedia. Debido a que los algoritmos de Daltonización Re-coloración han demostrado su efectividad en imágenes, es que el presente trabajo se basará en estos algoritmos pero orientándolos a video.

Abstract

In a society where multimedia content abounds in variety of types and ways of distribution, people with color blindness often find themselves with the problem of not being able to interact properly with these contents, losing objects details or characteristics displayed on image or video. For this reason an algorithm to help people, who suffer from this disease, has been developed to make them distinguish the details of multimedia content correctly perdiéndose detalles o características de los objetos mostrados por imagen o video. Because Daltonization and Re-coloration algorithms have demonstrated their effectiveness in images, a technique based on these algorithms but focused on video has been developed in the present work.

Palabras Clave

- Daltonismo
- Dicromatismo
- Protanopia
- Deuteranopia
- Deficiencia de la visión del color (CVD)
- Daltonización
- Modelos y espacios del Color
- Matriz de Transformación
- Coeficiente de Correlación
- OTSU
- Re - colorización
- Procesamiento de Imágenes

Contenido

1	Introducción	2
1.1	Motivación y Contexto	2
1.2	Planteamiento del Problema	3
1.3	Objetivo	5
1.3.1	Objetivos Específicos	5
1.4	Justificación	6
1.5	Organización de la Tesis	6
2	Marco Teórico	7
2.1	Ceguera del Color	7
2.2	Tipos de Deficiencia del Color	7
2.2.1	Técnicas de tratamiento del color	8
2.2.2	Fases de los algoritmos de re-colorización	8
2.2.3	Otras técnicas utilizadas	10
3	Estado del Arte	14
3.1	Procesamiento en Imágenes	14
3.2	Procesamiento en Video	16
4	Propuesta	18
5	Conclusiones	21
5.1	Trabajos a Futuro	21

Lista de Tablas

- 1.1 Porcentaje de personas Afectadas con ceguera del color [*Awareness, 2018*][*Fluck, 2016*] 6

Lista de Imágenes

1.1	Re-coloreo Imágenes en Video	4
2.1	Representación matricial de una Imagen I y sus componentes RGB	10
4.1	Esquema de Funcionamiento	19

Capítulo 1

Introducción

1.1 Motivación y Contexto

El sentido de la vista junto a los demás sentidos, nos permiten interactuar con el mundo que nos rodea, es a través de este que podemos distinguir los colores en todas sus variantes y combinaciones, siendo los colores primarios: el rojo, el verde y el azul (según la longitud de onda de la luz) los que forman el modelo aditivo del color RGB.

Sin embargo, existen personas que sufren de una alteración en los conos (células foto receptoras sensibles a la luz, responsables del color) la cual las limita en el número de colores que perciben o la forma como los perciben. Este trastorno en la visión se le conoce como ceguera del color.

Hoy en día la gente está más en contacto con la tecnología debido a la adopción en masa de los teléfonos inteligentes y a la asequibilidad del internet, por este motivo sitios Web como Youtube, Facebook o Netflix, con miles de millones de personas que utilizan sus servicios, nos bombardean con contenido multimedia, en particular con videos.

Es importante señalar que en el mercado existen varias soluciones comerciales, como las gafas EnChroma u Oxy-Iso que cuentan con un costo elevado, entre 249 y 349 dólares y que no aseguran el poder brindar una solución definitiva para todos los casos. Otra solución es la de beIN Connect en colaboración con YR&MAD, ofreciendo la opción de poder corregir los colores de las imágenes transmitidas a través de su servicio de streaming de vídeo para partidos de fútbol. De igual manera existen aplicaciones de android o sitios webs que implementan corrección del color para personas con deficiencia del color. En este entorno, la gente que sufre de la ceguera del color, se pierde muchos de los detalles que se desean transmitir. Debido a que las soluciones aun distan de ser definitivas y las que hay solo se han implementado en algunos lugares. Es por esta razón que inspirados en la motivación de ayudar a las personas que sufren de este tipo de ceguera, es que se implementó un algoritmo de daltonización y re-coloración de video, enfocándonos específicamente en el desorden visual denominado Daltonismo en su variante denominada protanopia.

1.2 Planteamiento del Problema

El desarrollo de la tecnología ha hecho que nuestra relación con los medios multimedia sea algo del día a día, habiendo una gran cantidad de personas que los consumen. Sin embargo, dentro de este sin número de personas, existe un porcentaje de gente que sufre de ceguera del color o daltonismo (afección que no permite ver los colores de manera normal [Turbert, 2018]). Específicamente 8(%) de todos los hombres y 0.5(%) de todas las mujeres sufren de daltonismo [Fluck, 2016]. Este tipo de ceguera hace que pierdan detalles o características de los objetos mostrados en imágenes o vídeo. Esto se debe a que el rango de colores visibles en las personas que sufren ceguera del color es menor, haciendo que no se puedan apreciar ciertos detalles de las imágenes, ya que la tonalidad entre dos o más colores pueden no variar, viendo dos o más zonas de las imágenes del mismo color o tonalidad.

La mayor parte de investigaciones realizadas [Giovane R. Kuhn and Fernandes, 2008] [Orii et al., 2015] [Kim et al., 2012] [Xu et al., 2017] [Tsekouras George and Christos, 2007] [Orii et al., 2014] [Huang et al., 2009] [Tasnim and Hasan, 2017] [Doliotis et al., 2009] están orientadas a imágenes. En su gran mayoría parten de trabajar en el sistema de composición del color RGB de la imagen, para luego transformar esa imagen a otros espacios de color como LMS, CIELAB, XYZ, etc. es a partir de aquí, que cada trabajo de investigación aplica diferentes técnicas para variar las características del espacio del color (tonalidad, contraste y/o brillo) correspondientes a la parte de la imagen, que las personas con problemas de visión del color no pueden distinguir de las demás partes. Finalmente se une la parte re-coloreada de la imagen con la parte sin re-colorear de la original para obtener la imagen final.

Estas técnicas al estar orientadas a imágenes, a pesar que son un punto de partida, no pueden ser aplicadas directamente a un video, siendo necesario el adaptar las técnicas o encontrar otras formas de atacar el problema. Existen algunos trabajos orientados a re-colorear los videos [Jeong et al., 2012] [Pendhari et al., 2020] [Huang et al., 2011] [Liu et al., 2009] [Pendhari and Sedamkar, 2018] estos trabajos, en general, subdividen el video en tomas y frames, a su vez los frames o imágenes se subdividen en dos, las áreas a re-colorear A2 y las áreas que no deben ser re-coloreadas A1. Las áreas a re-colorearse se verifican que tan diferentes son a las áreas del frame anterior y a partir del resultado se aplican diferentes técnicas de re-coloración, siendo la más usada el re-mapeo del color a través de rotaciones de color local y global, el resultado (frame re-coloreado) se une con los demás frames para formar el video. El fin de comparar los frames es evitar realizar sobre-procesamiento, esto debido a que si la variación entre frames no es significativa, entonces se usara la información ya procesada (re-coloreada) del frame anterior. A continuación mostramos un diagrama de flujo que muestra el orden de este proceso:

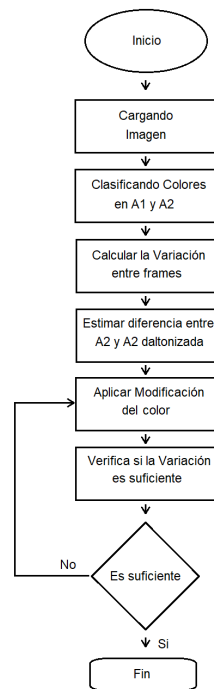


Figura 1.1: Re-coloreo Imágenes en Video

A partir de los diferentes trabajos de investigación mencionados, se recopilamos varios parámetros que nos permiten medir de forma cuantitativa (fórmulas y cálculos) y cualitativa (valorización por opinión) la mejora de estos métodos, estableciendo rangos adecuados para la correcta visualización de las imágenes, dichos parámetros se pueden clasificar en dos rubros, parámetros objetivos y subjetivos. Dentro de los parámetros objetivos tenemos la medición del contraste, la evaluación de la reducción del color, el tiempo de procesamiento y el ratio de cambio del color entre frames. Mientras que dentro de los parámetros subjetivos tenemos la naturalidad de la imagen, contraste percibido y performance o calificación general.

El problema radica, por consiguiente, en alcanzar que los detalles de las imágenes sean distinguibles para las personas con ceguera del color, tratando que las imágenes resultantes (procesadas) sean lo mas parecidas a las imágenes originales, preservando su naturalidad, de tal manera que sean también agradables a la vista de las personas con ceguera del color, es decir, que los valores obtenidos en las diferentes pruebas, en base a los parámetros antes mencionados, varíen lo menos posible a los valores obtenidos en el material original, asegurando de igual manera un cambio suficiente como para hacer distinguibles los detalles y a su vez sea la imagen agradable a la vista, motivo por el cual también existen parámetros subjetivos.

Dentro de los trabajos, donde se encuentran estas métricas, se tienen a [Jeong et al., 2012] [Pendhari et al., 2020] [Huang et al., 2011], mientras que en trabajos como [Liu et al., 2009] [Pendhari and Sedamkar, 2018] solo se dan resultados y valoraciones generales, haciendo mas difícil su comparativa con los resultados de las investigaciones anteriores. Por esta razón es importante tomar los parámetros en consideración ya que nos permiten tener una base medible mas completa para evaluar de manera concreta los diferentes algoritmos como se explica en el párrafo anterior.

1.3 Objetivo

Implementar un algoritmo de Re-coloración (Daltonización) de vídeo, que permita resaltar los detalles de los objetos observados. Teniendo en consideración los ajustes necesarios para que el procesamiento de la imagen mejore los resultados de los parámetros antes mencionados, de forma individual o en su conjunto, con respecto a los obtenidos por otros métodos. De tal manera que las personas con Daltonismo puedan distinguir la diferencia de los colores tratando de no afectar la coloración original de la imagen.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Simular la deficiencia del color a tratar como base para el desarrollo del algoritmo, tomando en consideración la deficiencia del color conocida como protanopia.
- Implementar de forma eficiente la manera como diferenciar en video las partes que se deben re-colorear y las que no se deben re-colorear.
- Implementar el algoritmo de tal manera que evite el sobre procesamiento de imágenes en video.

1.4 Justificación

Con la existencia de un porcentaje importante de personas, que poseen este problema como se muestra en la tabla 1.1 y la dificultad que representa para ellas el desenvolverse con normalidad en el día a día, más aun con la presencia de contenido multimedia en casi todo aspecto de la vida cotidiana, es que se hace necesario se siga investigando y desarrollando algoritmos orientados al campo de las enfermedades de la visión. Además la falta de información académica sobre la aplicación de la re-coloración en video hace también necesario ampliar la investigación en este sentido.

Tabla 1.1: Porcentaje de personas Afectadas con ceguera del color [Awareness, 2018] [Fluck, 2016]

Clasificación	Porcentaje de Persona (%)	
	Masculino	Femenino
Tricromacia Anomala	5.71	0.39
Protanomalia	1.08	0.03
Deuteroanomalia	4.63	0.36
Tritanomalia	0.0002	0.0002
Dicromacia	2.28	0.03
Protanopia	1.01	0.02
Deuteranopia	1.27	0.01
Tritanopia	0.0001	0.0001
Monocromacia	0.00003	0.00003

1.5 Organización de la Tesis

La estructura de la presente investigación se divide en:

- Capítulo 1. Introducción
- Capítulo 2. Marco Teórico
- Capítulo 3. Estado del Arte
- Capítulo 4. Propuesta
- Capítulo 5. Conclusiones y Trabajos Futuros
- Bibliografía

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1 Ceguera del Color

La ceguera del color, conocida también con el nombre de Dicromatopsia, Daltonismo o deficiencia de la visión del color, CVD por su siglas en inglés (Color Vision Deficiency), es una condición genética que hace que las personas que la sufran, perciban los colores de manera incorrecta o diferente al común de las personas. Este hecho afecta tanto a hombres como a mujeres, siendo los hombres los más afectados. Las personas con CVD enfrentan muchas dificultades en sus vidas diarias al no poder distinguir ciertos colores debido a su reducida detección de contrastes. [Fluck, 2016] Las personas con una visión normal tienen tres tipos de foto receptores, uno para cada tipo de longitud de onda visible (Larga, Media y Corta) que corresponden a los tres colores base: rojo, verde y azul o RGB por su siglas en inglés. Las personas con CVD sufren de trastornos en estos foto receptores de tal manera que existen diferentes variaciones a la ceguera del color. [Fluck, 2016]

2.2 Tipos de Deficiencia del Color

Según [Fluck, 2016] dependiendo de los foto receptores afectados tenemos:

- Monocromatismo: Personas que tienen uno o ningún tipo de foto receptor o cono.
- Dicromatismo: Personas que tienen dos tipos de foto receptores o conos. Dependiendo de los foto receptores afectados se puede tener:
 - Protanopia: Problemas de percepción del color rojo (conos L).
 - Deuteranopia: Problemas de percepción del color verde (conos M).
 - Tritanopia: Problemas de percepción del color azul (conos S).
- Tricromatismo Anómalo: Personas que tienen los tres tipos de foto receptores siendo que la sensibilidad receptiva de uno de ellos es menor, por lo que el espectro es más reducido. A su vez el tri-cromatismo anómalo se puede dividir en:

- Protanomalía: Problemas de sensibilidad con los conos L (rojo).
- Deuteranomalía Problemas de sensibilidad con los conos M (verde).
- Tritanomalía Problemas de sensibilidad con los conos S (azul).

Existen diferentes métodos [*Giovane R. Kuhn and Fernandes, 2008*] que se pueden usar para el tratamiento del color, a continuación se explica de manera general algunas de estas técnicas.

2.2.1 Técnicas de tratamiento del color

Para poder solucionar el problema de la percepción del color se han desarrollado diferentes técnicas de re-colorización que permiten realzar las diferencias en las imágenes que las personas afectadas observan. Estas técnicas de re-coloración se clasifican en asistidas por el usuario y automáticas.

Técnicas de re-coloración asistida por usuario

Este tipo de técnicas requieren que los usuarios designen parámetros o rangos para que el algoritmo pueda tratar la imagen, por este motivo el resultado de estas técnicas depende mucho de la calidad de los parámetros brindados, necesitándose la prueba y error para llegar a la respuesta óptima. Es importante señalar que debido a que el usuario es el que pone los parámetros se puede derivar en un problema de confusión de colores. Este tipo de técnicas y algoritmos están más orientados a software de que permiten evaluar el daltonismo [*COLBLINDOR, 2018, DALTONIZE, 2018*] o también a aplicativos y servicios que permite cierta personalización para adecuarse mejor al usuario [*Iaccarino et al., 2006*]. Entre estos tenemos: eyePilot, Daltap, ColorBlindExt, Vischeck: Daltonize, Chrome Daltonize, etc.

Técnicas de re-coloración automática

En este tipo de técnicas se utilizan funciones objetivo para preservar los colores originales, de tal manera que los colores que no sean distinguibles por las personas con ceguera del color, sean los únicos que sufran cambios para que resalten y sean percibibles, manteniendo la naturalidad de la imagen, sin embargo existen varias de estas técnicas que no mantienen esta naturalidad, por lo que al re-colorearlas terminan modificando partes de la imagen que no deberían ser modificadas [*Tasnim and Hasan, 2017, Tsekouras George and Christos, 2007, Doliotis et al., 2009, Kim et al., 2012, Orii et al., 2014, Xu et al., 2017, Huang et al., 2009*].

2.2.2 Fases de los algoritmos de re-colorización

En general la mayoría de las técnicas de re-colorización, como las nombradas en la bibliografía, se componen de las siguientes cinco fases: Lectura de la Imagen, Simulación de la deficiencia

del color, Reconocimiento de las diferencias de las imágenes, Re-coloreo de las imágenes o Daltonización y Generación de la imagen Final.

A continuación se explicarán algunos elementos teóricos implicados en las primeras fases, para luego en el capítulo siguiente proceder a explicar con mayor profundidad los aportes o variantes encontrados en los diferentes papers.

Lectura de la Imagen

La lectura de la imagen es un paso que comparten todos los métodos que se han referenciado ([Doliotis et al., 2009] [Tasnim and Hasan, 2017] [Tsekouras George and Christos, 2007] [Orii et al., 2014] [Huang et al., 2009] [Kim et al., 2012] [Xu et al., 2017], etc), en esta etapa, las imágenes que se pueden encontrar en diferentes formatos o extensiones (jpg, png, tiff, bmp, etc) son leídas e interpretadas en diferentes tipos de modelos o espacios del color.

Los modelos y espacios del color son formas de entender y gestionar el color a través de parámetros, mientras que cada modelo representa una forma normalizada diferente de describir los colores (modelo RGB, CMYK, LMS, HSB,etc), un espacio de color es una variante de un modelo del color que tienen un rango específico de valores (dentro de RGB hay sRGB, ProPhotoRGB,etc) por cada dispositivo.[Models and Spaces, 2018]

En el caso del presente trabajo se utilizarán dos modelos el RGB y el LMS, el primero porque es el modelo más utilizado en monitores y dispositivos multimedia y el segundo porque es un modelo que representa los tres tipos de conos humanos ya que trabaja con las longitudes de onda, siendo un sistema adecuado para adaptaciones cromáticas. Cabe resaltar que para poder pasar del modelo RGB al LMS es necesario pasar por el modelo XYZ sin embargo se ha unido las dos matrices de transformación en una para así solo hacer un paso. Los valores de transformación entre modelos son estandarizados. [Models and Spaces, 2018, Space, 2018]

Simulación de la deficiencia del color

Una vez obtenida la imagen original que contiene el espectro completo de colores, se hace una redistribución de estos. Esta redistribución varía según el tipo de ceguera del color que se quiera simular (protanopia o deuteranopia). La finalidad de este paso es recrear la forma como las personas con CVD observan las imágenes.

Para lograrlo, la imagen obtenida de la lectura, que se encuentra en un modelo RGB Figura (2.1) (Sistema formado por tres matrices (una por cada color) que combinadas forman la imagen), se multiplica linealmente, como se ve en la ecuación 2.1. De esta manera hallamos la representación de la imagen en el sistema LMS, basado en la sensibilidad al estímulo de la longitud de onda (Larga (conos que reconocen los colores rojos), Media (conos que reconocen los colores verdes) y Corta (conos que reconocen los colores azules)).[Viénot et al., 1999, Brettel et al., 1997].

$$\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & R_{2m} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & R_{3m} \\ R_{n1} & R_{n2} & R_{n3} & R_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{1m} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{2m} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} & G_{3m} \\ G_{n1} & G_{n2} & G_{n3} & G_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{1m} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{2m} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{3m} \\ B_{n1} & B_{n2} & B_{n3} & B_{nm} \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & I_{13} & I_{1m} \\ I_{21} & I_{22} & I_{23} & I_{2m} \\ I_{31} & I_{32} & I_{33} & I_{3m} \\ I_{n1} & I_{n2} & I_{n3} & I_{nm} \end{bmatrix}$$

Figura 2.1: Representación matricial de una Imagen I y sus componentes RGB

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 17.8824_{11} & 43.5161_{12} & 4.1193_{13} \\ 3.4557_{21} & 27.1554_{22} & 3.8671_{23} \\ 0.02996_{31} & 0.18431_{32} & 1.4370_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

A partir de esta representación de la imagen en el sistema LMS se halla la reducción del espectro de colores a protanope ecuación 2.2 o a deuteranope ecuación 2.3. Estas medidas de reducción de la longitud de onda fueron producto de la investigación [Viénot *et al.*, 1999, Brettel *et al.*, 1997], a partir de la cual estos valores, que han sido validados por personas con ceguera del color, son tomados para la simulación por los trabajos posteriores.

$$\begin{bmatrix} L_p \\ M_p \\ S_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0_{11} & 2.02344_{12} & -2.52581_{13} \\ 0_{21} & 1_{22} & 0_{23} \\ 0_{31} & 0_{32} & 1_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$\begin{bmatrix} L_d \\ M_d \\ S_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1_{11} & 0_{12} & 0_{13} \\ 0.494207_{21} & 0_{22} & 1.24827_{23} \\ 0_{31} & 0_{32} & 1_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Finalmente la imagen se retorna al sistema RGB, hallando la multiplicación lineal de la ecuación 2.4. Obteniendo de esta manera la imagen simulada.

$$\begin{bmatrix} R_{pd} \\ G_{pd} \\ B_{pd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.080944_{11} & -0.130504_{12} & 0.116721_{13} \\ 0. - 0.0102485_{21} & 0.0540194_{22} & -0.113615_{23} \\ -0.000365294_{31} & -0.00412163_{32} & 0.693513_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{pd} \\ M_{pd} \\ S_{pd} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

2.2.3 Otras tecnicas utilizadas

OTSU

Es un método de clusterización basado en umbrales cuyo fin es encontrar el valor del umbral más adecuado entre dos o más clases. Para ello se busca maximizar la varianza entre estas clases y a la vez se minimizar la varianza dentro de cada clase.

Otsu funciona analizando el histograma de niveles de grises de la imagen o figura, estando muy ligado a la intensidad de esta, debido a ello si la intensidad de la imagen varía el umbral también lo hará. [Priya, 2015, Vala and Baxi, 2013]

Para calcular el umbral adecuado primero se halla la probabilidad de ocurrencia en cada clase en el histograma de grises de la figura:

$$p_i = \frac{n_i}{N} \quad (2.5)$$

Donde p_i es la probabilidad de ocurrencia de cada nivel de gris del histograma, n_i es la cantidad de píxeles por cada nivel de gris y N es la cantidad total de píxeles de la imagen.

Si tomamos como base dos clases, la probabilidad por clase queda representada por la sumatoria de las probabilidades por clase de la siguiente manera:

$$w_1(t) = \sum_{i=0}^t p_i \quad (2.6)$$

$$w_2(t) = \sum_{i=t+1}^L p_i \quad (2.7)$$

En donde w es el peso y t es el umbral, debiendo dar como resultado de la suma de ambas probabilidades la unidad. De esta forma si el peso lo pasamos a media por clases obtenemos:

$$u_1(t) = \sum_{i=0}^t ip_i/w_1(t) \quad (2.8)$$

$$u_2(t) = \sum_{i=t+1}^L ip_i/w_2(t) \quad (2.9)$$

$$u_t(t) = \sum_{i=0}^L ip_i \quad (2.10)$$

A partir de la media se calcula la varianza de cada clase:

$$\delta_1^2(t) = \sum_{i=0}^t (i - u_1)^2 p_i/w_1 \quad (2.11)$$

$$\delta_2^2(t) = \sum_{i=t+1}^L (i - u_2)^2 p_i/w_2 \quad (2.12)$$

Teniendo en consideración lo que se ha calculado, y además que la varianza dentro de las clases se define como la suma ponderada de las varianzas de cada clase:

$$\delta_w^2(T) = w_1(T)\delta_1^2(T) + w_2(T)\delta_2^2(T) \quad (2.13)$$

Esta es la ecuación en donde se debe minimizar la varianza, para poder hallar el valor del umbral óptimo. Finalmente podemos reemplazar las ecuaciones anteriores en esta última con lo que nos quedaría:

$$\delta^2 = \delta_w^2(T) + w_1(T)(1 - w_1(T))(u_1(T) - u_2(T))^2 \quad (2.14)$$

Esta ecuación nos muestra la varianza total que esta compuesta por la varianza dentro de cada clases, que es la que se debe minimizar, mas la varianza entre las clases que es la que se debe maximizar. [Ng, 2006, HAN and KONG, 2011, Otsu, 1979, Bangare et al., 2015]

Coefficiente de Correlación

Es un índice o medida lineal que nos permite medir el grado de co-variación entre distintas variables aleatorias cuantitativas. Los valores del coeficiente de correlación oscilan entre -1 y 1 y dependiendo de su valor tenemos:

- Si el resultado es 1 o -1 existe una dependencia total entre las variables, directa para el primer caso, es decir si una aumenta la otra también y viceversa, e inversa para el segundo caso, si una aumenta la otra disminuye y viceversa.
- Si el resultado oscila entre 0 y 1 o 0 y -1 existe una correlación positiva o negativa respectivamente.
- Si el resultado es 0 significa que no existe relación lineal.

Para poder hallar el coeficiente de correlación primero es necesario hallar la media de cada variable, luego con la media hallamos la varianza y la desviación estándar para finalmente hallar la covarianza. [Asuero et al., 2006]

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Media}) \quad (2.15)$$

$$\delta_X^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2 \quad (\text{Varianza}) \quad (2.16)$$

$$\delta_X = \sqrt{\delta_X^2} \quad (\text{Desviación Estándar}) \quad (2.17)$$

$$\delta_{XY} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i y_i - \bar{X}\bar{Y} \quad (\text{Covarianza}) \quad (2.18)$$

De esta manera el coeficiente de correlación que está dado por la división entre la covarianza y la multiplicación de la desviación estándar de cada variable queda de la siguiente manera:

$$r_{X,Y} = \frac{\delta_{XY}}{\delta_X \delta_Y} \quad (2.19)$$

Capítulo 3

Estado del Arte

En la actualidad son varias las técnicas usadas para tratar las imágenes y permitir que las personas con deficiencia del color puedan observar sus detalles. Como se mencionó en el capítulo anterior la mayoría de las técnicas constan de las fases antes nombradas: Lectura de Imagen, Simulación de la deficiencia del color, Reconocimiento de las diferencias en las imágenes, Recoleo y Generación de la imagen Final.

De igual manera algunas técnicas orientadas a video se han desarrollado contando estas con las siguientes fases: subdivisión del video en tomas y frames, obtención de las áreas a re colorear, verificación de la consistencia del color, re coloración de la imagen, unión de los frames para formar el video. En los siguientes apartados se explicaran las diferentes variantes que cada técnica tiene por fase, obviando en ambos casos la primera fase que es común en todas (Lectura de Imagen y Obtención de los frames respectivamente).

3.1 Procesamiento en Imágenes

Una vez obtenida la imagen se procede a simular la deficiencia del color a tratar (protanopia o deuteranopia) para esto en la mayoría de trabajos [Tasnim and Hasan, 2017] [Kim et al., 2012] [Doliotis et al., 2009] [Tsekouras George and Christos, 2007] [Huang et al., 2009] se traslada la imagen obtenida del sistema RGB basado en los colores rojo, verde y azul, al sistema LMS basado en la longitud de onda larga media y corta respectivamente, excepto en casos como los de [Orii et al., 2014] [Giovane R. Kuhn and Fernandes, 2008] [Rigos et al., 2020] o [Tsekouras, 2020] en donde antes de pasar al sistema LMS se pasa por el sistema XYZ y CIELAB, el primero basado en la componente Y de iluminación o brillo y las componentes X Z de la cromaticidad roja-verde y azul respectivamente, y el segundo basado en la componente de iluminación y los colores compuestos a y b. Luego se hace la transformación según la deficiencia del color a LMSp (protanope) o LMSd (deuteranope). Regresando finalmente al sistema RGBp o RGBd respectivamente, como se explica en el capítulo 2.

A continuación, se hace el reconocimiento de las diferencias existentes entre la imagen original y la percibida por las personas con ceguera del color. Algunos trabajos como los de [Tasnim and Hasan, 2017] [Tsekouras George and Christos, 2007] [Huang et al., 2009]

[Kim et al., 2012] optan por hallar máscaras a partir de estas diferencias que permitan discernir entre las partes a re-colorear y las que se deben mantener sin re-coloreo. Otras técnicas [Xu et al., 2017][Orii et al., 2014][Doliotis et al., 2009][Rigos et al., 2020] varían ligeramente en su procedimiento al incluir la clusterización de las imágenes, lo que permite facilitar el encontrar las partes de las imágenes a re-colorear y así solo recorrer la lista de colores clave y no toda la imagen. Por su lado [Tsekouras, 2020] aplica una variación de la red neuronal R-CNN, llamada Fast R-CNN para categorizar los objetos de una imagen en clases. Otros trabajos como [Giovane R. Kuhn and Fernandes, 2008] que a pesar de usar la clusterización como en los casos anteriores, re-interpretan las imágenes como un conjunto de partículas unidas entre sí, sistema de masas y cuerdas. Reconociendo a través de este sistema las diferencias y similitudes entre las diferentes partículas o píxeles.

Seguidamente en la daltonización se re-colorea la imagen a partir de las diferencias encontradas. Aplicando técnicas y métodos que nos permitan variar la tonalidad de la imagen, hasta obtener una variación suficiente como para hacer que los detalles de la imagen resultante sean visibles para las personas con CVD. Entre los métodos más usados esta la multiplicación lineal de la imagen a re-colorear por una matriz dinámica, lo que permite modificar el color de la imagen. [Xu et al., 2017] [Tasnim and Hasan, 2017] [Tsekouras George and Christos, 2007] [Doliotis et al., 2009] [Kim et al., 2012] [Orii et al., 2014] [Rigos et al., 2020] Esta matriz M redistribuye los colores de la capa roja y verde hacia la capa azul. Dicha redistribución del color se ajusta a través de un coeficiente que en algunos trabajos varia entre 0.07 a 0.05 lo que afecta al numero de iteraciones. En los diferentes trabajos de investigación se han dado diferentes aproximaciones a la matriz M , a pesar que el esquema de los signos en sus componentes se mantiene en la mayoría de trabajos (ecuación 3.1). En otros trabajos se opta por que la suma de los parámetros de la matriz no supere a 3 para así evitar un cambio abrupto y poco natural en la imagen resultante. En todos los casos la matriz varia iteración a iteración sumando y restando un valor definido que permite distribuir los colores de la imagen a re-colorear (ecuación 3.2).

$$M_0 = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_3 \\ m_4 & m_5 & m_6 \\ m_7 & m_8 & m_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1_{11} & 0_{12} & 0_{13} \\ 1_{21} & 1_{22} & 0_{23} \\ 1_{31} & 0_{32} & 1_{33} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$M_{t+1} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_3 \\ m_{4t} & m_5 & m_6 \\ m_{7t} & m_8 & m_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_3 \\ m_{4t-1} - s & m_5 & m_6 \\ m_{7t-1} + s & m_8 & m_9 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

En [Giovane R. Kuhn and Fernandes, 2008] por su parte, la comparación entre los colores percibidos por las personas con CVD y las personas sin CVD se realiza en el modelo CieLab, mediante una función que permite ver la cercanía del color cuantificado al visto por la persona con CVD y así ir modificándolo. Otros métodos como el de [Tsekouras, 2020] utilizan una función especializada, que es minimizada para obtener el re-coloreo de la imagen.

Tras la daltonización, se usan diferentes métodos para verificar el porcentaje de cambio de la imagen y ver si el cambio es suficiente al comparar esta imagen re-coloreada con la original. Entre estos métodos tenemos el de comparar el matiz entre la imagen original y la imagen re-coloreada, para verificar si el cambio ha sido suficiente tras la multiplicación con la matriz M , explicada anteriormente. En este método se ha puesto además el tope de 13 iteraciones con la matriz M para evitar cambios muy bruscos [Tasnim and Hasan, 2017]. Otro método

es hallar la distancia euclidiana en cada iteración entre la imagen original y la re-coloreada y así ver si la distancia es suficiente. Mayor a una distancia D establecida [Xu et al., 2017] [Tsekouras George and Christos, 2007] [Doliotis et al., 2009] [Kim et al., 2012], finalmente otro método es reducir la similitud de los colores comparándolos y mezclándolos mediante el uso de redes SOM y una función de comparación [Orii et al., 2014].

Una vez que todas las partes de la imagen que necesitaban ser re-coloreadas lo han sido, se procede a unir las partes de la imagen original que no han sido re-coloreadas con las partes re-coloreadas, obteniéndose la imagen final [Tsekouras George and Christos, 2007] [Xu et al., 2017] [Doliotis et al., 2009] [Kim et al., 2012] [Tasnim and Hasan, 2017]. Esta imagen final permite que las personas con CVD observen los detalles de la imagen que antes eran imperceptibles para ellos. En otros casos la imagen final se genera después de la daltonización al haber sido mezclados los colores y eliminados los colores que causan confusión. [Orii et al., 2014, Giovane R. Kuhn and Fernandes, 2008]

Además de los trabajos relacionados directamente con el objetivo de re-colorear una imagen para hacer visible los detalles a las personas con CVD, existen otros con temas relacionados al daltonismo pero con diferentes enfoques, algunos necesitan la intervención de los usuarios y otros son autónomos, dentro de estos últimos tenemos a [Jamal Al-Nabulsi and Yunis, 2017] que se centran en ayudar a las personas con CVD en la identificación de las luces del semáforo. Para esto primero el algoritmo identifica el semáforo en la captura o imagen, comparándolo con una base de datos de semáforos que posee, luego evalúa los colores, identificando en donde están, los re-dibuja y da indicaciones de audio al respecto. Por su lado [Li et al., 2020] centra su investigación en el problema de como preservar los niveles de información de la imagen (Saliency), proponiendo una técnica que detecta las áreas destacadas de una imagen, para así poder preservar la información o características mas importantes de esa zona de la imagen (contraste, iluminación, etc). Para que de esta manera, después del re-coloreo y procesamiento final, la imagen no pierda esas características y sea consistente con la imagen original. Pudiendo y poderla restaurar en el procesamiento final. Otro enfoque es el que dan [Pramoun and Amornraksa, 2017], esta investigación se centra en las marcas de agua presentes en algunas imágenes y como el proceso de re-coloreado puede afectarlas destruyéndolas. Por este motivo para solucionar el problema insertan la marca de agua en la imagen, usando el sistema LMS, en la longitud de onda media M . Luego se sintoniza la fuerza de la marca de agua con la componente de iluminación de la imagen re-coloreada. Finalmente la marca de agua se extrae usando la relación entre la componente M predicha y los componentes de la marca de agua del área local de cada píxel.

3.2 Procesamiento en Video

En el caso del procesamiento del video a pesar de que todos los trabajos de investigación siguen la secuencia expresada al comienzo del capítulo, cada una varía en su aproximación de menor o mayor manera, por su parte [Jeong et al., 2012] primero obtiene los frames o imágenes y sobre cada frame clasifica los colores en dos grupos aquellos perceptibles por las personas con CVD y aquellos que no son perceptibles por las personas con CVD, para poder clasificar estos dos transforma la imagen del sistema RGB al LMS, luego simula la deficiencia de la visión a tratar (LMSd, LMSp o LMSt) y finalmente regresar al sistema RGB (RGBd, RGBp, RGBt),

en donde aplica una máscara , para realzar las diferencias. Luego para re-colorear el frame se toma como referencia el frame anterior y se evalúa la diferencia entre estos dos frame a frame. Si la diferencia es mayor a un parámetro establecido se aplica un mapeo del color espacial y si es menor un mapeo del color temporal , donde el primero se refiere a variaciones en el color y contraste y el segundo a usar información del frame previo, para reutilizar en el frame actual. Finalmente se reconstituye el frame y se prosigue con el siguiente hasta acabar de procesar el video.[*Pendhari et al., 2020*] por su parte propone la variación de subdividir el video en tomas y frames para de esta manera subdividir el trabajo.

Por su lado [*Pendhari and Sedamkar, 2018*] propone igualmente tomar los frames del video y transformarlos a RGBt, luego encontrar la diferencia entre la imagen original y la transformada, modificar el error a través de iteraciones y rotaciones y adherir el resultado a la imagen original para re-colorearla y mantener la consistencia del color. De la misma manera se procede con todos los frames, uniéndolos al final para formar el video.

[*Liu et al., 2009*] toma el video y lo subdivide en escenas, tomas y frames, luego al igual que los métodos anteriores usa las transformaciones del Sistema RGB a LMS para poder hallar la visión simulada de las personas con CVD , sin embargo para re-colorar la imagen se basa en el sistema CIELAB en donde realiza rotaciones (rotación local y global) en los ejes a y b para conseguir mapear la información del eje a^* al b^* , ya que la información del color en a^* se pierde significativamente (a^* y b^* son las coordenadas cromáticas en CIELAB de la imagen simulada). Para poder optimizar el método de re-colorización, realiza dos acciones: cuantifica la imagen original en Q contenedores para reducir el número de operaciones y re-colorea los frames pertenecientes a una misma toma con los mismo parámetros, bajo la asunción que los mismos objetos pueden aparecer en la toma. De la misma manera si el primer frame de la siguiente toma tiene una discrepancia baja con respecto al frame de la toma anterior, entonces se asume que la nueva toma y la anterior pertenezcan a una escena y por lo tanto los mismos objetos aparezcan durante la escena. Finalmente se terminan de procesar los frames, las tomas y las escenas para formar el video.

Finalmente [*Huang et al., 2011*] toma primero como referencia, para el proceso de re-coloración, los colores claves del video. Para obtener estos colores clave, primero divide el video en tomas usando el concepto de descriptores locales invariantes, que están basados en la constancia del histograma según el contexto. Luego utiliza un método de estimación del movimiento (ARPS), para reducir redundancia de colores en la toma, y a la vez métodos de cuantificación (MVQ), para reducir el universo de colores obteniendo subgrupos en una toma. A partir de estos grupos se hallan los colores clave usando clusterización (Propagación por afinidad en base a la diferencia de los colores en el sistema CIELAB), ordenando también los colores por su significancia (número de veces que parecen en las tomas). Luego los colores claves de las tomas se clusterizan obteniéndose los colores claves del video. Es a partir de estos colores claves que se procede a re-colorear la imagen, re-mapeándolos ordenadamente según su visibilidad, utilizando el sistema CIELAB como base para encontrar la diferencia entre el color original y color visto por las personas con CVD. A partir del re-mapeo de los colores claves del video, se re-mapean los colores clave de las tomas, para finalmente re-mapear los colores en los frames, por interpolación de frames que hacen uso de las propiedades de localidad espacial y temporal.

Capítulo 4

Propuesta

Para la propuesta se han tomado como base los trabajos explicados en el estado del arte, principalmente los de [Tasnim and Hasan, 2017] y [Xu et al., 2017] ya que son los más recientes y han demostrado buenos resultados. Teniendo siempre en consideración el hecho que el objetivo es el re-colorear video, debido a que gran parte de material multimedia se encuentra en este formato.

Las pruebas del algoritmo se realizarán en imágenes para de esta manera comparar el desenvolvimiento del algoritmo frente a los otros orientados a imágenes, que son la gran mayoría de investigaciones, usando algunos parámetros ya establecidos en estas investigaciones. Es importante señalar que además de estos factores objetivos existen varios otros subjetivos y que varían según cada persona.

Sobre las imágenes, algunas de estas pertenecen a los trabajos que basan su investigación en re-coloreo de imágenes, de esta manera se puede comparar los resultados que se obtengan con los obtenidos en dichas investigaciones. De igual manera, se usará otro grupo de imágenes del test de Ishihara, para poder comprobar de manera más tangible la efectividad del algoritmo en cuanto al re-coloreo de estas y la definición de los detalles. Existen también imágenes que no pertenecen a ninguna investigación y que sirven para poder obtener una mayor base de datos de resultados.

Dentro del material utilizado para las pruebas, se tienen también varios vídeos bajados del internet, con diferentes características para probar el desempeño del algoritmo y su desenvolvimiento. Dentro de estas características se tiene el uso de diferentes resoluciones (426x240, 640x360, 1280x720, etc) para probar el comportamiento del algoritmo frente a una mayor carga de información.

Pasaremos a explicar el funcionamiento del algoritmo apoyándonos del siguiente esquema:

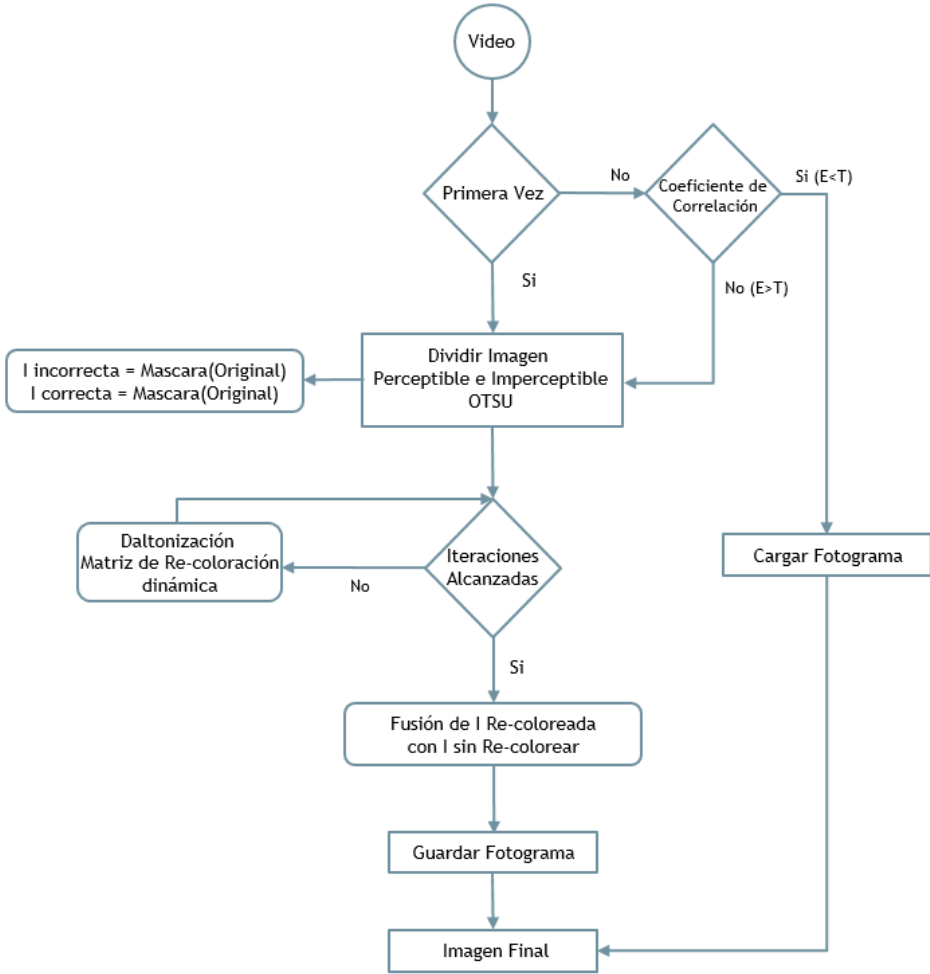


Figura 4.1: Esquema de Funcionamiento

Como se muestra en el esquema, el primer paso es ir capturando los fotogramas a medida que el vídeo avanza. Luego para poder agilizar el procesamiento del video , existen dos casos planteados en el algoritmo: primero se pregunta si es el primer fotograma a procesar, si fuera así, se procede a guardar el fotograma actual y luego se procesa la imagen para generar la imagen final, guardando también la imagen procesada. En el segundo caso al no ser la primera vez, se verifica si el fotograma entrante es parecido al anterior, comparando su diferencia mediante el uso del coeficiente de correlación, que tiene un umbral T .Si son lo suficientemente parecidos, el fotograma no se procesa y la imagen final es la misma imagen procesada del fotograma anterior. Caso contrario se procede a procesar la imagen para generar la imagen final y se guarda tanto el fotograma sin procesar como el fotograma procesado.

A partir de aquí el fotograma se divide en dos, la parte perceptible por las personas con CVD (Color Vision Deficiency) y la parte no perceptible. En un principio se usó la simulación de la ceguera del color, como en la mayoría de trabajos de investigación relacionados al tema, para poder hallar mediante la diferencia entre esta simulación y la imagen original, la parte imperceptible de la imagen para las personas con CVD. Sin embargo finalmente se opto por el método de umbral de OTSU. Este método permite tomar la parte roja de las imágenes y discriminarla de las partes azules y verdes, tomando en consideración que el problema de la ceguera del color, para personas con protanopia, está directamente relacionado con el problema de no percibir el color rojo correctamente. Además al usar esta técnica se evitó la simulación de la ceguera del color, que es un proceso relativamente pesado, aligerando así el procesamiento del video.

De igual manera en un principio se usó Kmeans para poder hallar los colores claves sobre los cuales poder trabajar, y de esta manera realizar la diferencia antes mencionada solo entre los colores clave. Al ver que este proceso era pesado y que además que el número de llaves o colores claves se tenía que ajustar manualmente, se decidió implementar un par de mejoras denominadas RTMCA(Real Time Moving Average Clustering) y RTEFC(Real Time Exponential Filter Clustering) , sin embargo no probaron ser muy efectivas, por lo que finalmente se usó OTSU.

OTSU genera una máscara que permite discriminar la parte de la imagen reconocible por las personas con CVD de las partes no reconocibles. Son estas partes no reconocibles de las imágenes las que se procesan, re-coloreándolas para que de esta manera los detalles en las imágenes sean visibles. Es en este punto donde se utiliza la Matriz Dinámica definida en 2.4, que permite reajustar la coloración de la imagen.

En un principio se usó el método de parada de la diferencia de matiz [Xu et al., 2017], sin embargo finalmente se decidió ajustar el número de iteraciones de la re-coloración. Esto debido a que al aplicar este criterio se toma en consideración la diferencia entre el color a re-colorear y los colores circundantes, lo cual en una imagen al ser estática no hay problema , sin embargo en un video esto haría variar la tonalidad de los objetos a re-colorear frame a frame causando confusión.

Finalmente la parte perceptible de la imagen se une con la parte procesada y se genera la imagen final. Esta imagen resultante ya contiene la re-coloración necesaria para que las personas con CVD puedan apreciar los detalles en el vídeo.

Capítulo 5

Conclusiones

- Debido a que la mayoría de algoritmos y pruebas están referidos a re-coloración en imágenes, es necesario dividir en dos las pruebas a realizar, una parte orientada a las imágenes y otra orientada a video.
- Para procesar los videos, se contemplaron dos opciones, la primera es procesar primero todos los fotogramas, guardarlos y generar un video que contenga el procesado final. La segunda es ir procesando cada fotograma e ir mostrándolo a medida que se genera. Al ser el objetivo de esta investigación el obtener un algoritmo funcional para re-coloreo de video y debido a la carga que supone procesar cada frame del video, se ha optado por la primera opción.
- El tiempo de procesamiento del video puede aumentar o disminuir principalmente debido a cuatro factores, la resolución, la complejidad de la escena a procesar, la longitud del video y la variabilidad de las imágenes en el video frame a frame, este último factor se puede controlar con el uso del coeficiente de correlación, el cual ayuda a aligerar el procesamiento de información.

5.1 Trabajos a Futuro

El tratamiento de los videos para su re-coloración, es un proceso que se vuelve mas costoso a medida aumenta la calidad de imagen y el tiempo de duración de los videos, esto no solamente se debe al procesamiento de la imagen o frame en sí, sino también a la cantidad de estos frames que hay en cada video. Por esta razón se buscara implementar un algoritmo que permita discriminar el sobre procesamiento de imágenes.

A medida que se vaya perfeccionando el algoritmo este se podría usar en la realidad virtual ayudando en diferentes campos como: el militar para entrenamientos simulados que ayuden a mejorar el desempeño de las personas con ceguera del color, en medicina y las ciencias al ayudar a las personas con esta deficiencia a distinguir detalles durante procedimientos médicos, además de poderse aplicar también en el campo del entretenimiento y multimedia en general.

Bibliografía

- [Asuero et al., 2006] Asuero, A., Sayago, A., and Gonzalez, A. (2006). The correlation coefficient: An overview. *Critical reviews in analytical chemistry*, 36(1):41–59.
- [Awareness, 2018] Awareness, C. B. (Acceso 15-Enero-2018). Types of colour blindness. <http://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/typesof-colour-blindness/>.
- [Bangare et al., 2015] Bangare, S., Dubal, A., S. Bangare, P., and Patil, S. (2015). Reviewing otsu’s method for image thresholding. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10:21777–21783.
- [Brettel et al., 1997] Brettel, H., Viénot, F., and Mollon, J. D. (1997). Computerized simulation of color appearance for dichromats. *J. Opt. Soc. Am. A*, 14(10):2647–2655.
- [COLBLINDOR, 2018] COLBLINDOR (Acceso 12-Setiembre-2018). Colblindor. <https://www.color-blindness.com/2008/12/23/15-tools-color-blindness/>.
- [DALTONIZE, 2018] DALTONIZE (Acceso 12-Setiembre-2018). Daltonize. <http://www.daltonize.org/p/software.html>.
- [Doliotis et al., 2009] Doliotis, P., Tsekouras, G., and Anagnostopoulos, C.-N. (2009). Intelligent modification of colors in digitized paintings for enhancing the visual perception of color-blind viewers.
- [Fluck, 2016] Fluck, D. (2016). *COLOR BLIND ESSENTIALS*. Colblindor.
- [Giovane R. Kuhn and Fernandes, 2008] Giovane R. Kuhn, M. M. O. and Fernandes, L. A. F. (2008). An efficient naturalness-preserving image-recoloring method for dichromats. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 14, Issue. 6, pages 1747–1754.
- [HAN and KONG, 2011] HAN, C.-y. and KONG, J. (2011). An improved image segmentation algorithm based on otsu method [j]. *Computer Simulation*, 6:066.
- [Huang et al., 2011] Huang, C.-R., Chiu, K.-C., and Chen, C.-S. (2011). Temporal color consistency-based video reproduction for dichromats. *IEEE Transactions on Multimedia*, 13(5):950–960.
- [Huang et al., 2009] Huang, J., Chen, C., Jen, T., and Wang, S. (2009). Image recolorization for the colorblind. pages 1161–1164.
- [Iaccarino et al., 2006] Iaccarino, G., Malandrino, D., Del Percio, M., and Scarano, V. (2006). Efficient edge-services for colorblind users. pages 919–920.

- [Jamal Al-Nabulsi and Yunis, 2017] Jamal Al-Nabulsi, A. M. and Yunis, A. (2017). Traffic light detection for colorblind individuals. *IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies*.
- [Jeong et al., 2012] Jeong, J., Kim, H., Wang, T., Jung, S., and Ko, S. (2012). Real-time video re-coloring algorithm considering the temporal color consistency for the color-blind. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(2):721–729.
- [Kim et al., 2012] Kim, H.-J., Jeong, J.-Y., Yoon, Y.-J., Kim, Y.-H., and Ko, S.-J. (2012). Color modification for color-blind viewers using the dynamic color transformation. pages 602–603.
- [Li et al., 2020] Li, J., Feng, X., and Fan, H. (2020). Saliency consistency-based image re-colorization for color blindness. *IEEE Access*, 8:88558–88574.
- [Liu et al., 2009] Liu, B., Wang, M., Yang, L., Wu, X., and Hua, X.-S. (2009). Efficient image and video re-coloring for colorblindness. In *2009 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pages 906–909. IEEE.
- [Models and Spaces, 2018] Models, C. and Spaces, C. (Acceso 14-Setiembre-2018). Color models and color spaces. <https://programmingdesignsystems.com/color/color-models-and-color-spaces/index.html>.
- [Ng, 2006] Ng, H.-F. (2006). Automatic thresholding for defect detection. *Pattern recognition letters*, 27(14):1644–1649.
- [Orii et al., 2014] Orii, H., Kawano, H., Maeda, H., and Kouda, T. (2014). Color conversion algorithm for color blindness using self-organizing map. pages 910–913.
- [Orii et al., 2015] Orii, H., Kawano, H., Suetake, N., and Maeda, H. (2015). Color conversion for color blindness employing multilayer neural network with perceptual model. In *Image and Video Technology*, pages 3–14. Springer.
- [Otsu, 1979] Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 9(1):62–66.
- [Pendhari and Sedamkar, 2018] Pendhari, N. A. and Sedamkar, R. R. (2018). Video processing in visual system for color detection for people with tritanomaly. In *IC-CSOD-2018 Conference Proceedings*, page 127.
- [Pendhari et al., 2020] Pendhari, N. A., Sedamkar, R. R., Sahadev, S. I., and Ingole, A. (2020). Recoloring of visual multimedia using matlab to aid color vision deficient individuals. *Intelligent Decision Technologies*, (Preprint):1–20.
- [Pramoun and Amornraksa, 2017] Pramoun, T. and Amornraksa, T. (2017). Digital watermarking on recolored images for deuteranopia. *3rd International Conference on Communication and Information Processing, Tokyo, Japan — November 24 - 26*, pages 444–448.
- [Priya, 2015] Priya, M. V. (2015). An effective image segmentation using triclass otsu thresholding and lloyd ’ s clustering method.
- [Rigos et al., 2020] Rigos, A., Chatzistamatis, S., and Tsekouras, G. E. (2020). A systematic methodology to modify color images for dichromatic human color vision and its application in art paintings. *International Journal*, 9(4).

- [Space, 2018] Space, L. C. (Acceso 14-Setiembre-2018). Lms color space. https://en.wikipedia.org/wiki/LMS_color_space.
- [Tasnim and Hasan, 2017] Tasnim, A. and Hasan, M. S. (2017). An improved dynamic daltonization for color-blinds. *Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), 2017 IEEE Region 10*.
- [Tsekouras, 2020] Tsekouras, G. E. (2020). Image recoloring of art paintings for the color blind guided by semantic segmentation. In *Proceedings of the 21st EANN (Engineering Applications of Neural Networks) 2020 Conference: Proceedings of the EANN 2020*, volume 2, page 261. Springer Nature.
- [Tsekouras George and Christos, 2007] Tsekouras George, Anagnostopoulos Christos-Nikolaos, A. I. and Christos, K. (2007). Intelligent modification for the daltonization process of digitized paintings.
- [Turbert, 2018] Turbert, D. (Acceso 10-Setiembre-2018). American academy of ophthalmology - qué es el daltonismo. <https://www.aaopt.org/salud-ocular/enfermedades/daltonismo>.
- [Vala and Baxi, 2013] Vala, M. H. J. and Baxi, A. (2013). A review on otsu image segmentation algorithm. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 2(2):pp-387.
- [Viénot et al., 1999] Viénot, F., Brettel, H., and Mollon, J. D. (1999). Digital video colourmaps for checking the legibility of displays by dichromats. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur*, 24(4):243–252.
- [Xu et al., 2017] Xu, Q., Zhang, X., Zhang, L., Zhu, G., Song, J., and Shen, P. (2017). An efficient recoloring method for color vision deficiency based on color confidence and difference. pages 270–281.