

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA



**LIGHTLAB: CONTROL DE FUENTES DE LUZ EN IMÁGENES MEDIANTE MODELOS
DE DIFUSIÓN**

UNIVERSITARIO: MAMANI CALLISAYA VICTOR MANUEL
MATERIA: PROGRAMACION GRAFICA
SIGLA: INF - 323
DOCENTE: LIC. JHONNY ROBERTO FELIPEZ ANDRADE
GESTIÓN 2/2025

LA PAZ - BOLIVIA

RESUMEN

El artículo LightLab propone un método innovador que permite editar la iluminación en una imagen real de forma precisa, realista y físicamente coherente utilizando modelos de difusión. El sistema logra modificar la intensidad, color y contribución de fuentes de luz específicas dentro de una fotografía, así como la iluminación ambiental. Para conseguirlo, combina un conjunto reducido de pares de fotografías reales con una gran cantidad de datos sintéticos generados por renderizado físico. El modelo resultante supera significativamente a métodos previos en calidad, control y realismo, demostrando el potencial de unir técnicas clásicas de iluminación con herramientas de inteligencia artificial generativa.

1. INTRODUCCION

La iluminación es uno de los factores más determinantes en la apariencia de una imagen. Encender o apagar una lámpara no solo cambia el brillo, sino también la percepción de profundidad, sombras, color, reflejos y ambiente general. Mientras esto es fácil de controlar durante la captura de la fotografía, modificar la iluminación tras haber tomado la imagen es una tarea extremadamente compleja. Los métodos tradicionales de edición requieren reconstrucción 3D o múltiples vistas, lo que limita su uso práctico. De forma paralela, los modelos de difusión han demostrado un enorme poder para generar y editar imágenes, pero aún presentan dificultades para manipular propiedades físicas de manera explícita. El artículo estudia esta problemática y presenta LightLab, un enfoque que permite controlar parámetros de luz desde una sola imagen, manteniendo consistencia física, sombras reales y materiales coherentes.

2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de LightLab es proporcionar un método basado en modelos de difusión que permita un control paramétrico y de grano fino sobre las fuentes de luz visibles en una imagen única. Específicamente, el método busca:

- Controlar la intensidad y el color de una fuente de luz específica.
- Controlar la iluminación ambiental de la escena de manera independiente.

- Generar sombras y efectos ambientales físicamente plausibles, superando las limitaciones de los métodos tradicionales de renderizado inverso o edición estocástica.

3. FUNDAMENTOS TEORICOS

3.1. Linealidad de la luz

En fotografía RAW, la luz registrada es una suma lineal de las contribuciones de todas las fuentes:

$$I_{\text{total}} = I_{\text{amb}} + I_{\text{source}}$$

Cuando se capturan dos imágenes:

- Una con la luz apagada:

$$I_{\text{off}} = I_{\text{amb}}$$

- Otra con la luz encendida:

$$I_{\text{on}} = I_{\text{amb}} + I_{\text{change}}$$

La contribución de la fuente de luz se obtiene mediante:

$$I_{\text{change}} = \max(I_{\text{on}} - I_{\text{off}}, 0)$$

Esta fórmula permite separar matemáticamente la luz ambiental y la luz puntual, habilitando la manipulación independiente de ambas.

El principio fundamental que guía la generación de datos es la linealidad del transporte de luz. La iluminación en una escena se puede descomponer. El artículo asume que una imagen con una luz encendida i_{on} es la suma de la luz ambiental i_{off} y la contribución de la fuente de luz específica i_{change} .

3.2. Combinación Paramétrica de Iluminación

LightLab genera nuevas imágenes variando intensidad, color y ambiente mediante:

$$I_{\text{relit}}(\alpha, \gamma, c_t) = \alpha I_{\text{amb}} + \gamma (I_{\text{change}} \odot c_t)$$

Donde:

- α = escala de luz ambiental (0–1)
- γ = intensidad de la luz objetivo (–1 a 1)
- c_t = vector RGB que determina el color deseado
- \odot = multiplicación elemento a elemento

Esta ecuación es fundamental para generar millones de ejemplos de entrenamiento a partir de pocos pares reales.

3.3. Modelos de difusión condicionados

El modelo de difusión recibe como condiciones:

- Imagen original
- Máscara de la fuente de luz
- Mapa de profundidad
- Intensidad deseada
- Color de luz
- Parámetros de tone mapping

Estas condiciones se inyectan en la red mediante convoluciones 1×1 y codificación con Fourier Features, permitiendo un control numérico preciso.

3.4. Tone mapping

Un problema observado fue que, si cada imagen generada se expone de manera individual, el resultado pierde coherencia visual:

el objeto iluminado aparece constante mientras el fondo se oscurece.

Para evitarlo, LightLab aplica la misma exposición a toda la secuencia de imágenes generadas, logrando una evolución natural de la iluminación.

4. METODOLOGIA

La metodología integra datos reales, datos sintéticos y entrenamiento supervisado mediante modelos de difusión.

4.1. Recolección de datos reales

Se capturaron 600 pares RAW de la misma escena con luz “ON/OFF” usando dispositivos móviles. Estos datos incluyen:

- Ruido real de sensores
- Aberraciones ópticas
- Materiales auténticos
- Geometrías complejas

Estos atributos no existen en datos sintéticos, por lo que son cruciales para evitar que el modelo genere imágenes artificiales.

4.2. Generación de datos sintéticos

Se utilizaron 20 escenarios 3D creados en Blender, generando:

- 600 000 imágenes
- Variaciones en intensidad, color, posición y número de luces
- Iluminación ambiental simulada (HDRI)**
- Renderizado físico (path tracing)

Las imágenes sintéticas permiten cubrir escenarios imposibles de obtener con datos reales.

4.3. Preprocesamiento y combinación

Las imágenes reales y sintéticas se procesan con:

- Conversión a espacio lineal RGB
- Separación de componentes de luz mediante la resta lineal
- Aplicación de la ecuación paramétrica de iluminación

4.4. Entrenamiento del modelo

- Modelo base: Stable Diffusion XL (SDXL)
- Resolución: 1024×1024
- 45 000 pasos de entrenamiento
- Condiciones espaciales (máscaras, profundidad) y globales (α , γ , c_t)

El modelo aprende a reconstruir imágenes coherentes con los parámetros físicos dados.

5. RESULTADOS

Los resultados muestran que LightLab logra:

5.1. Control preciso de intensidad

El modelo puede aumentar o disminuir gradualmente la luz:

- Genera sombras correctas
- Produce reflejos naturales
- Afecta materiales según propiedades físicas

5.2. Cambio de color de la luz

El color se propaga en la escena respetando:

- Reflexiones
- Dispersión
- Texturas y geometría
- Incluso maneja colores no naturales (como luces neón).

5.3. Control de luz ambiental

Permite ajustar la luminosidad general de la escena sin modificar la fuente principal.

5.4. Comparación con otros métodos

LightLab supera a:

- OmniGen
- RGB \leftrightarrow X
- ScribbleLight
- IC-Light
- En métricas como PSNR, SSIM y preferencia de usuarios (83–89%).

5.5. Aplicaciones demostradas

- Encender luces inexistentes (virtual point lights)
- Iluminar ilustraciones o imágenes de estilo no realista
- Mantener coherencia entre cuadros de una animación

6. CONCLUSION

LightLab presenta un avance significativo en la edición de imágenes, permitiendo un control fino y realista sobre la iluminación post-captura. La conclusión principal es que el uso de **datos sintéticos físicamente precisos** para complementar un conjunto pequeño de **datos reales**, junto con el aprovechamiento de la **linealidad de la luz**, permite entrenar modelos generativos capaces de entender y manipular el transporte de luz mejor que los métodos puramente inversos o los modelos de texto a imagen estándar.