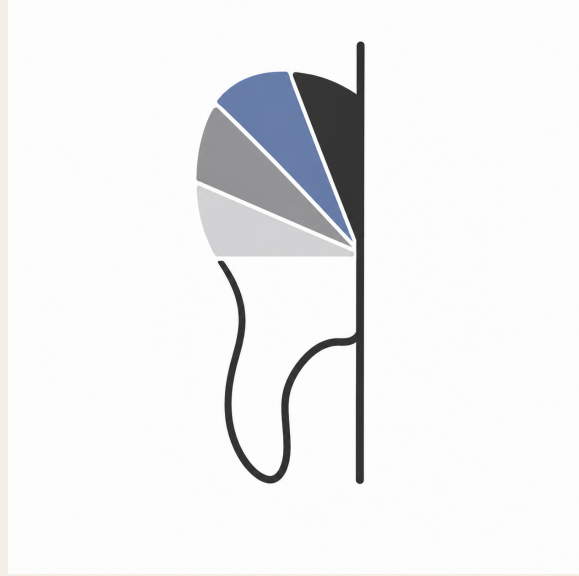
Розроблення моделі машинного навчання для корекції цифрових фотографій зубів

Прокопенко М. М.

Кафедра терапевтичної стоматології
Полтавський державний медичний університет



Камера бачить не лише зуб

Колір на цифровому фото — це результат взаємодії зуба, джерела світла, оптики камери, налаштувань експозиції та балансу білого, а також навколишнього середовища.

Світло

Денне, тепле, холодне, стоматологічне чи фотосвітло — різний спектр та інтенсивність

Камера

ISO, витримка, діафрагма та модель пристрою змінюють колірні координати

Обробка

Баланс білого, експозиція та формат файлу визначають величину колірного зміщення

Оточення

Колір стін кабінету та хмарність впливають на умови освітлення

Наше попереднє дослідження: найстабільніший колір — за нейтрального денного світла; тепле, холодне й комбіноване світло систематично зміщують L*, a*, b* і збільшують ΔE.

Що вже зроблено у світі

Дослідження	Підхід	Результат
DentShadeAI, 2022	Фото смартфона; Random Forest, SVM, XGBoost	Відтінок VITA Classical, точність 97,1 %
Li et al., 2025	Дворівнева корекція за ColorChecker і VITA 3D-Master	Стандартизація кольору та рекомендація відтінку
Bekdaş et al., 2026	5 нейромереж CNN, 1031 фото, 102 учасники	MobileNetV2: понад 94 % за $\Delta E \leq 2$
Tao et al., 2026	AI-система для змінного освітлення	Визначення відтінку з урахуванням світла

Спільне: кінцева мета — номер відтінку за шкалою. **Наш підхід:** спершу спрогнозувати параметри корекції самого фото.

Мета дослідження

Створити та первинно оцінити модель машинного навчання, яка автоматично прогнозує параметри корекції цифрових фотографій зубів за колориметричними характеристиками зображення та умовами фотозйомки.



Червоний канал (з балансом білого) **Синій канал (з балансом білого)** **Яскравість** **Контрастність**

Експозиційна компенсація

Матеріали та методи

60
пацієнтів у клінічному дослідженні

120
фотосесій за різного світла

73
зразки для навчання моделі

5
серій зйомки, 19 ознак

Обладнання

Камера iPhone 13; люксметр Sthor; у клінічному дослідженні — колориметр CM-200S і 3D-сканер Shining 3D

Еталон для моделі

Корекція оператора, що наближає фото до референсного зображення, і саме референсне зображення

Об’єкт і метрика

Вестибулярна поверхня центрального різця; колір у CIELAB, різниця — CIEDE2000 (ΔE00)

Ознаки та модель



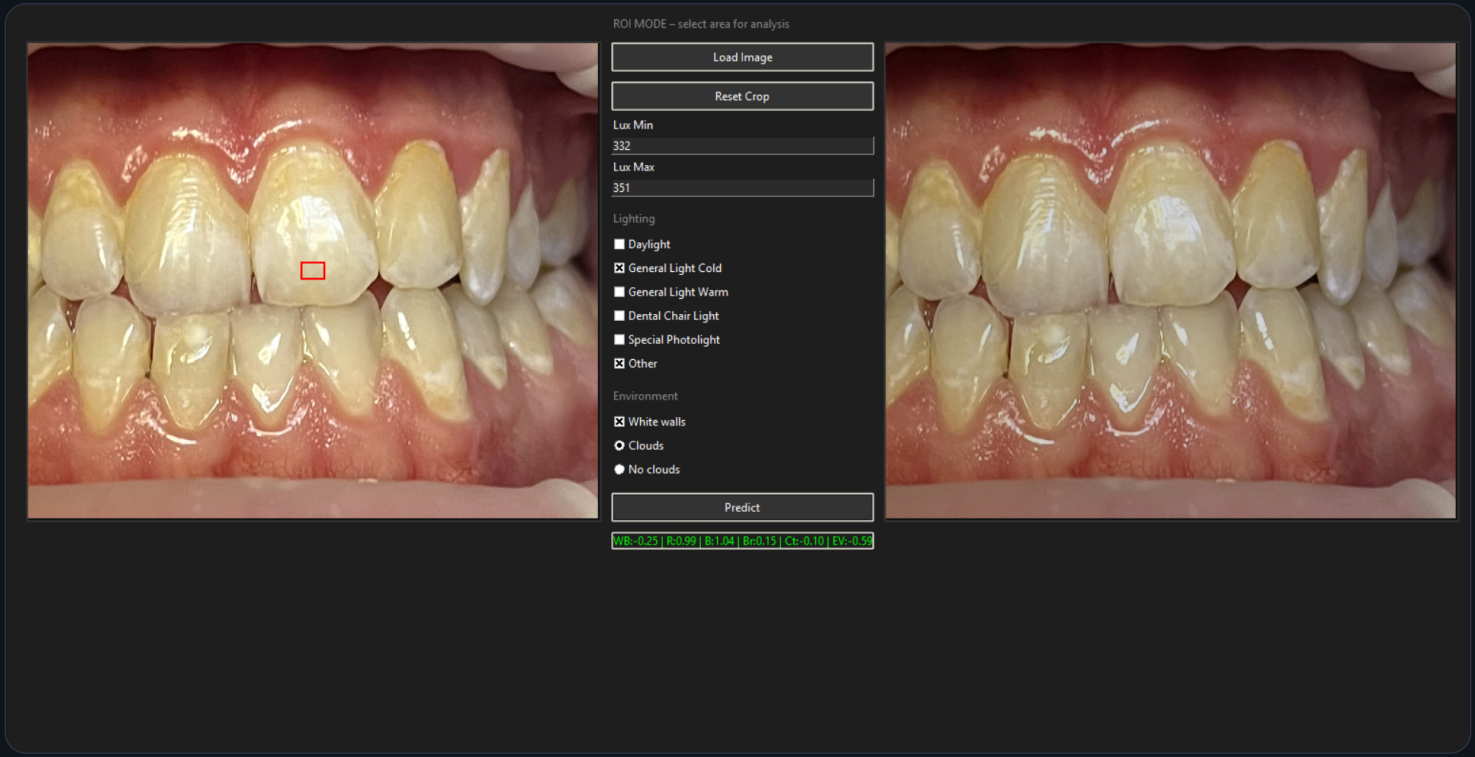
Формування зразків: зони зуба, CIELAB, ΔE

Вхідні ознаки

- Середні L*, a*, b* ділянки зуба
- Освітленість: мін., макс., середня (лк)
- EXIF: ISO, витримка, діафрагма
- Час зйомки
- Тип освітлення, колір стін, хмарність

Random Forest у складі MultiOutputRegressor: 300 дерев, ансамбль для кожного з 5 параметрів. **Перевірка:** тест на серії зйомки, якої модель не бачила (leave-one-session-out).

Програмний прототип



Модуль прогнозування: ліворуч оригінал, праворуч скориговане фото

1. Завантажити та кадрувати фото
2. Виділити ділянку зуба
3. Ввести освітленість і тип світла
4. Модель прогнозує 5 параметрів
5. Отримати скориговане фото

Python · scikit-learn · OpenCV · NumPy · pandas · Pillow · pillow-heif. Підтримка фото HEIC з iPhone; автоматизовані тести.

Точність прогнозу на нових серіях

Параметр (MAE)	EOS	Без корекції
Експозиція, EV	0,45	0,60
Червоний канал	0,045	0,042
Синій канал	0,033	0,036
Контрастність	1,44	0,92
Яскравість	2,64	1,29

Тест на серії зйомки, якої модель не бачила (leave-one-session-out)

Що таке MAE

Середня абсолютна похибка між передбаченим і правильним значенням, окремо для кожного параметра

Де модель корисна

Експозиція: похибка 0,45 EV проти 0,60 без корекції

Найскладніше

Колірний баланс, контраст і яскравість — поки не краще за прості базові моделі

Похибка кольору зменшилась на 26 %



Що вимірювали

Середнє ΔE00 до еталонної корекції на серіях, яких модель не бачила. Покращено 53 з 73 зразків

Порівняння

Краще за базові моделі (9,57 і 9,99), але клінічний поріг ΔE00 ≤ 1,8 ще не досягнуто

Головне — колір самого зуба

Середня ΔE00 на нових серіях зйомки залежно від набору ознак (менше — краще)



За 5 серій освітленість, EXIF і теги не покращують прогноз: вони «впізнають» серію зйомки. Щоб використати їх, потрібно більше серій.

Перспективи

- Більше серій зйомки та незалежний тестовий набір
- Тестування на різних камерах і за різного освітлення
- Порівняння з іншими моделями, сегментація зуба

Висновки

1. Створено програмно-алгоритмічну систему для автоматичного прогнозування параметрів корекції стоматологічних фото
2. На нових серіях зйомки корекція зменшила ΔE00 з 11,50 до 8,51 (−26 %) — краще за базові моделі
3. Ключова ознака — колір зуба в CIELAB; для клінічного рівня точності потрібно більше серій зйомки
4. Корекція фото — окремий етап, який можна поєднати з підбором відтінку та цифровою документацією

</> github.com/MRK9990/EOS Посилання на проєкт

Дякуємо за увагу!