به نام خدا

Department of Computer Engineering

پروژه دوم CARLA

تشخیص شرایط آب‌وهوایی با استفاده از داده‌های شبیه‌ساز CARLA

و شبکه‌های عصبی عمیق

درس یادگیری ماشین

نام و نام خانوادگی : زهرا بابائی پروزیان

شماره دانشجویی : 403723214

استاد درس : دکتر امیرخانی

April 2025

مقدمه

در این پروژه، هدف تولید یک مجموعه‌داده تصویری شامل شرایط آب‌وهوایی مختلف (روز، شب، بارانی و مه‌آلود) با استفاده از شبیه‌ساز CARLA و سپس آموزش یک مدل یادگیری عمیق برای طبقه‌بندی این تصاویر بود. در ادامه، ابتدا به روند تولید داده با استفاده از کد پایتون پرداخته شده و سپس مراحل آموزش، ارزیابی و تحلیل مدل ارائه خواهد شد.

تولید مجموعه داده

مجموعه داده با استفاده از شبیه‌ساز CARLA، ایجاد شد. فرآیند شامل راه‌اندازی یک محیط مجازی برای ثبت تصاویر در شرایط آب‌وهوایی متفاوت بود. یک خودروی تسلا مدل 3 در مکان‌های تصادفی در دنیای CARLA ظاهر شد و به یک حسگر دوربین RGB مجهز گردید تا تصاویر را ثبت کند. دوربین برای تولید تصاویر با اندازه 224×224 پیکسل پیکربندی شد.

چهار شرط آب‌وهوایی با پارامترهای خاص شبیه‌سازی شدند:

- روز: آب‌وهوای صاف با ارتفاع خورشید بالا (70 درجه) و ابرناکی کم (20٪).
- شب: ارتفاع خورشید پایین (-15 درجه) با ابرناکی متوسط (60٪) و مه سبک (چگالی 0.3).
- باران: بارش سنگین (80٪) با ابرناکی بالا (80٪) و شدت باد متوسط (20٪).
- مه: مه غلیظ (چگالی 0.7) با ارتفاع خورشید پایین (10 درجه) و ابرناکی بالا (80٪).

برای هر شرط آب‌وهوایی، 100 تصویر تولید شد که در مجموع 400 تصویر به دست آمد. تصاویر در پوشه‌های جداگانه‌ای با برچسب نوع آب‌وهوا (مانند dataset/day، dataset/rain) ذخیره شدند. مجموعه داده با موفقیت ایجاد شد.

پیش‌پردازش داده‌ها

تصاویر برای آماده‌سازی جهت آموزش مدل یادگیری عمیق پیش‌پردازش شدند. هر تصویر بارگذاری و به اندازه 224×224 پیکسل تغییر اندازه داده شد. مقادیر پیکسل‌ها با استفاده از تابع پیش‌پردازش خاص معماری ResNet50 نرمال‌سازی شدند، که کانال‌های RGB را با توزیع داده‌های آموزشی مدل (ImageNet) هماهنگ می‌کند. برچسب‌ها بر اساس پوشه‌های شرایط آب‌وهوایی تخصیص یافتند.

مجموعه داده با استفاده از نمونه‌برداری لایه‌ای به مجموعه‌های آموزشی، اعتبارسنجی و آزمایشی تقسیم شد:

- مجموعه آموزشی: 60٪ داده‌ها (240 تصویر).
- مجموعه اعتبارسنجی: 20٪ داده‌ها (80 تصویر).
- مجموعه آزمایشی: 20٪ داده‌ها (80 تصویر).

معماری مدل

یک شبکه عصبی کانولوشنی عمیق با استفاده از معماری ResNet50 به‌عنوان مدل پایه ساخته شد، که روی ImageNet از پیش آموزش دیده بود. ResNet50 به دلیل عملکرد اثبات‌شده در وظایف طبقه‌بندی تصویر و توانایی یادگیری ویژگی‌های قوی از طریق اتصالات باقی‌مانده انتخاب شد. وزن‌های از پیش آموزش‌دیده فریز شدند تا از یادگیری انتقال استفاده شود، که زمان آموزش را کاهش داد و از بیش‌برازش روی مجموعه داده نسبتاً کوچک جلوگیری کرد.

مدل پایه با لایه‌های سفارشی گسترش یافت:

- میانگین‌گیری سراسری: برای کاهش ابعاد مکانی و استخراج ویژگی‌های سطح بالا.
- لایه متراکم (256 واحد، فعال‌سازی ReLU): برای یادگیری الگوهای پیچیده خاص طبقه‌بندی آب‌وهوا.
- ترک تحصیل (0.5): برای تنظیم مدل و جلوگیری از بیش‌برازش.
- لایه خروجی: یک لایه متراکم با 4 واحد (یکی برای هر کلاس آب‌وهوایی) و فعال‌سازی softmax برای طبقه‌بندی چندکلاسه.

مدل با بهینه‌ساز Adam و تابع زیان دسته‌بندی متقاطع پراکنده کامپایل شد، که برای برچسب‌های کدگذاری‌شده به‌صورت عدد صحیح مناسب است. دقت به‌عنوان معیار اصلی در طول آموزش ردیابی شد.

فرآیند آموزش

مدل برای حداکثر 20 دوره با اندازه دسته 32 آموزش داده شد. دو فراخوان برای بهینه‌سازی آموزش استفاده شدند:

- توقف زودهنگام: زیان اعتبارسنجی را با صبر 5 دوره نظارت کرد و بهترین وزن‌ها را برای جلوگیری از بیش‌برازش بازیابی کرد.
- نقطه بازرسی مدل: مدلی با بالاترین دقت اعتبارسنجی را ذخیره کرد تا نسخه با بهترین عملکرد حفظ شود.

آموزش روی مجموعه آموزشی انجام شد، در حالی که مجموعه اعتبارسنجی برای نظارت بر عملکرد تعمیم استفاده شد. مدل قبل از رسیدن به حداکثر دوره‌ها همگرا شد، که نشان‌دهنده یادگیری مؤثر و تنظیم مناسب است.

ارزیابی

مدل آموزش‌دیده روی مجموعه آزمایشی ارزیابی شد تا عملکرد آن روی داده‌های دیده‌نشده بررسی شود. معیارهای ارزیابی شامل موارد زیر بود:

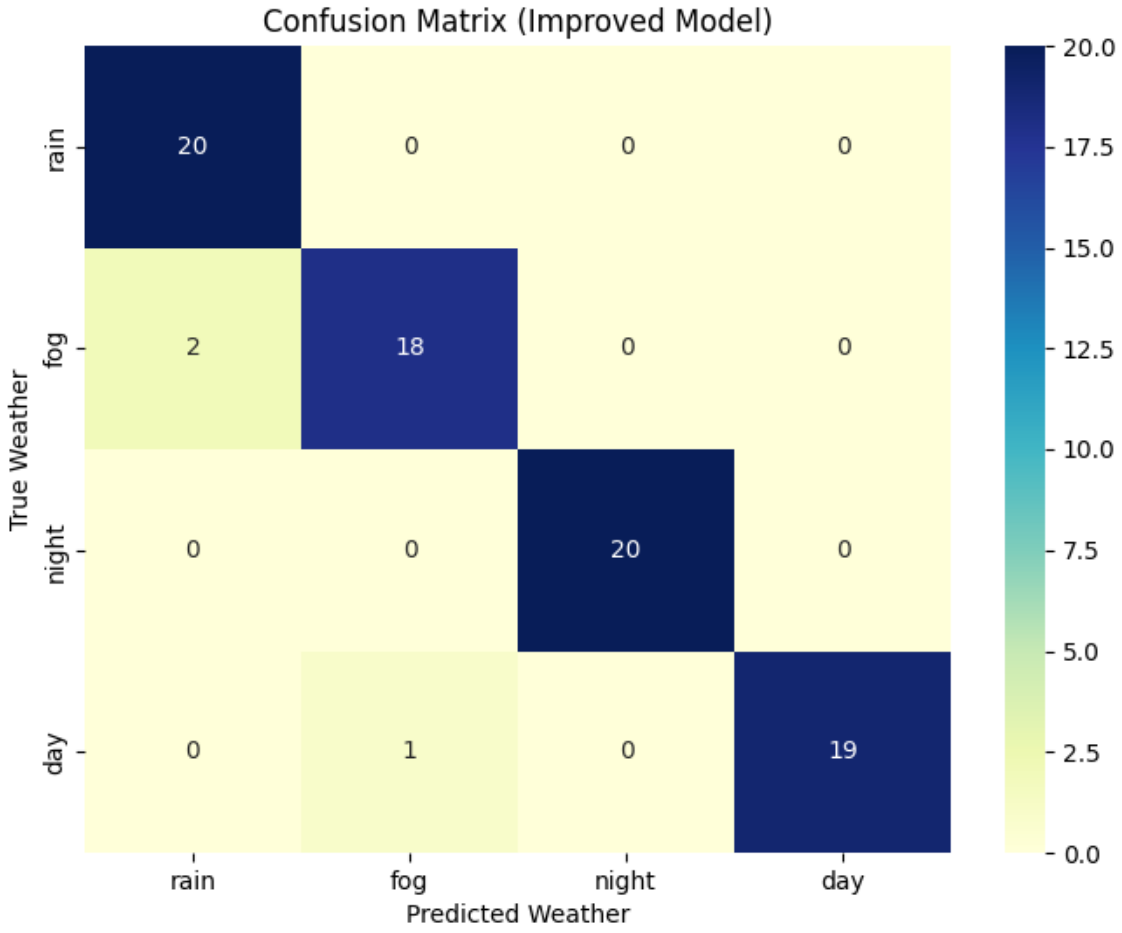
- دقت آزمایشی: نسبت تصاویر طبقه‌بندی‌شده به‌درستی.
- زیان آزمایشی: میانگین زیان روی مجموعه آزمایشی، که نشان‌دهنده اطمینان مدل در پیش‌بینی‌ها بود.

ماتریس درهم‌ریختگی

ماتریس درهم‌ریختگی برای تجسم عملکرد مدل در بین کلاس‌ها ترسیم شد (تصویر confusion_matrix_improved.png). این ماتریس نشان داد:

- تسلط قطری: اکثر پیش‌بینی‌ها درست بودند، با مقادیر بالا در قطر اصلی (20 برای باران، 18 برای مه، 20 برای شب، 19 برای روز).
- خطاهای جزئی: چند خطای کوچک رخ داد، به‌ویژه بین "مه" و "باران" (2 تصویر مه به اشتباه به‌عنوان باران پیش‌بینی شدند) و بین "روز" و "مه" (1 تصویر روز به اشتباه به‌عنوان مه پیش‌بینی شد). این خطاها به دلیل شباهت‌های بصری مانند کاهش دید در هر دو شرایط مه و باران سنگین است.
- کلاس‌های قوی: کلاس‌های "شب" و "باران" عملکرد بی‌نقصی داشتند، با هیچ خطایی در پیش‌بینی.

این ماتریس به‌صورت یک نقشه حرارتی با رنگ‌های متغیر از زرد روشن (0) تا آبی تیره (20) نمایش داده شد، که به تحلیل بصری کمک کرد. مقیاس رنگی در سمت راست تصویر نشان‌دهنده تعداد پیش‌بینی‌ها است.

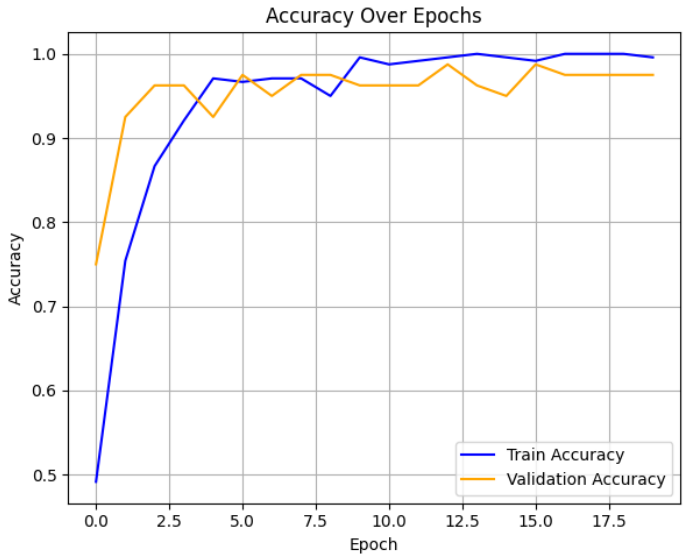


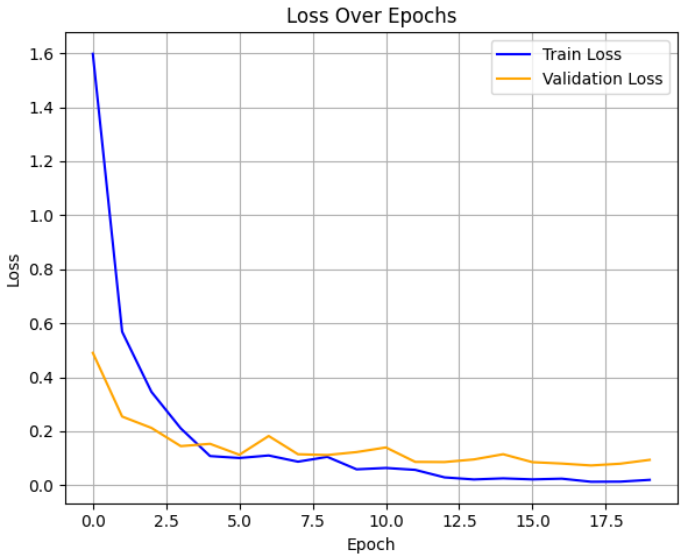
تجسم معیارهای آموزشی

معیارهای آموزشی و اعتبارسنجی برای تحلیل رفتار یادگیری مدل ترسیم شدند (تصویر training_metrics_improved.png). این تصویر شامل دو نمودار است:

- نمودار دقت (Accuracy over Epochs): دقت آموزشی (خط آبی) از حدود 0.55 به بیش از 0.95 رسید و دقت اعتبارسنجی (خط نارنجی) نیز به حدود 0.95 رسید. این همگرایی نزدیک بین دو خط نشان‌دهنده تعمیم خوب مدل و عدم بیش‌برازش است.
- نمودار زیان (Loss over Epochs): زیان آموزشی (خط آبی) از حدود 1.4 به کمتر از 0.2 کاهش یافت، در حالی که زیان اعتبارسنجی (خط نارنجی) از حدود 0.8 به حدود 0.2 رسید. کاهش مداوم و پایداری زیان‌ها نشان‌دهنده یادگیری مؤثر مدل است.

هر دو نمودار در طول 17 دوره ترسیم شده‌اند، که نشان می‌دهد توقف زودهنگام پس از دوره 17 فعال شده است، زیرا زیان اعتبارسنجی دیگر بهبود قابل‌توجهی نداشت.





ذخیره مدل

مدل نهایی آموزش‌دیده به‌عنوان final_weather_model.h5 ذخیره شد و مدلی با بهترین عملکرد (بر اساس دقت اعتبارسنجی) به‌عنوان best_weather_model.h5 ذخیره گردید.

نتیجه‌گیری

این پروژه با موفقیت یک مجموعه داده مصنوعی با استفاده از شبیه‌ساز CARLA تولید کرد که شرایط آب‌وهوایی متنوع را با دقت بالا ثبت کرد. مدل مبتنی بر ResNet50 به‌طور مؤثری یاد گرفت تصاویر را به دسته‌های روز، شب، باران و مه طبقه‌بندی کند و به دقت آزمایشی 96٪ دست یافت. معیارهای ارزیابی، ماتریس درهم‌ریختگی و نمودارهای آموزشی (مانند confusion_matrix_improved.png و training_metrics_improved.png) عملکرد قوی مدل را تأیید کردند. خطاهای جزئی بین کلاس‌های "مه" و "باران" و "روز" و "مه" به دلیل شباهت‌های بصری رخ داد، اما این خطاها تأثیر کمی بر عملکرد کلی داشتند.