

بررسی تأثیر فناوری WDR در دوربین‌های مداربسته بر تشخیص چهره در شرایط نور پس‌زمینه شدید

شهاب ترکی ، مهندسی کامپیوتر

دانشگاه ملی مهارت شهرکرد

ایمیل: shahab.torki1383@gmail.com

مصطفی عبدالهیان دهکردی ، گروه مهندسی برق و کامپیوتر

دانشگاه ملی مهارت ، تهران ، ایران

ایمیل: Mdehkordi@tvu.ac.ir

چکیده

استفاده از دوربین‌های مداربسته به شکل گسترده‌ای در محیط‌های مختلف افزایش یافته است. این دوربین‌ها در مکان‌هایی مانند بانک‌ها، فروشگاه‌ها، فرودگاه‌ها، مدارس، ادارات، پارکینگ‌ها و معابر شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف اصلی از به کارگیری این سیستم‌ها، افزایش امنیت، ثبت وقایع و کمک به شناسایی افراد یا رخدادهای مشکوک است. امروزه دوربین‌های مداربسته نقش مهمی در حفظ امنیت، کنترل تردد و نظارت بر محیط‌های عمومی و خصوصی دارند. یکی از کاربردهای مهم این دوربین‌ها، استفاده در سیستم‌های تشخیص چهره است. با این حال، کیفیت تصویر ثبت‌شده توسط دوربین تأثیر مستقیمی بر دقت تشخیص چهره دارد.

یکی از مشکلات رایج در تصویربرداری نظارتی، وجود نور پس‌زمینه شدید است؛ شرایطی که در آن منبع نور قوی در پشت سوژه قرار می‌گیرد و باعث تاریک شدن چهره فرد می‌شود. در چنین وضعیتی، الگوریتم‌های تشخیص چهره ممکن است نتوانند ویژگی‌های اصلی صورت را به درستی استخراج کنند.

فناوری WDR یا دامنه دینامیکی گسترده، یکی از راهکارهای مهم برای کاهش این مشکل است. این فناوری به دوربین کمک می‌کند تا جزئیات بخش‌های روشن و تاریک تصویر را به صورت هم‌زمان ثبت کند. در نتیجه، تصویر نهایی تعادل نوری بهتری دارد و چهره افراد در شرایط نوری دشوار، واضح‌تر دیده می‌شود.

هدف این مقاله، بررسی نقش فناوری WDR در بهبود کیفیت تصویر دوربین‌های مداربسته و تأثیر آن بر افزایش دقت سیستم‌های تشخیص چهره در شرایط نور پس‌زمینه شدید است.

کلید واژه :

امنیت نظارتی، پردازش تصویر، تشخیص چهره، دوربین مداربسته، WDR، نور پس‌زمینه.

مقدمه

در سال‌های اخیر، با پیشرفت فناوری، دوربین‌های مداربسته دیگر تنها ابزاری ساده برای ضبط تصویر نیستند؛ بلکه به بخشی جدایی‌ناپذیر از سیستم‌های هوشمند نظارتی تبدیل شده‌اند.

یکی از مهم‌ترین قابلیت‌هایی که در سال‌های اخیر در سیستم‌های نظارتی مورد توجه ویژه قرار گرفته، فناوری تشخیص چهره است. تشخیص چهره یکی از روش‌های بیومتریک برای شناسایی افراد است که بر اساس تحلیل ویژگی‌های ظاهری صورت عمل می‌کند.

این فناوری می‌تواند در حوزه‌های مختلفی نظیر کنترل تردد، حضور و غیاب هوشمند و مدیریت امنیت مکان‌های حساس، کاربرد مؤثری داشته باشد.

مزیت بارز تشخیص چهره نسبت به روش‌های سنتی‌تر مانند اثر انگشت، عدم نیاز به تماس مستقیم فرد با دستگاه است؛ چرا که فرآیند شناسایی به‌سادگی از طریق پردازش تصاویر ثبت‌شده توسط دوربین، صورت می‌پذیرد.

اهمیت تشخیص چهره در سیستم‌های نظارتی

تشخیص چهره یکی از شاخه‌های مهم فناوری‌های بیومتریک است. بیومتریک به روش‌هایی گفته می‌شود که بر اساس ویژگی‌های فیزیکی یا رفتاری انسان، هویت او را شناسایی می‌کنند. نمونه‌هایی از روش‌های بیومتریک شامل اثر انگشت، عنبیه چشم، صدا، امضا و چهره هستند. در میان این روش‌ها، تشخیص چهره به‌دلیل غیرتماسی بودن و امکان استفاده در فواصل نسبتاً دور، جایگاه ویژه‌ای در سیستم‌های نظارتی دارد.

در سیستم‌های امنیتی، تشخیص چهره می‌تواند به شناسایی دقیق افراد مجاز و غیرمجاز کمک کند. برای مثال، در ورودی یک سازمان، سیستم می‌تواند چهره افراد را با پایگاه داده کارکنان مقایسه کرده و بر این اساس مجوز ورود صادر کند یا هشدارهای امنیتی لازم را ارسال نماید. از نظر فنی، سیستم تشخیص چهره معمولاً شامل سه مرحله اصلی است: شناسایی چهره در تصویر، استخراج ویژگی‌های کلیدی صورت و مقایسه این ویژگی‌ها با داده‌های ذخیره‌شده. بدیهی است که هرچه کیفیت تصویر اولیه بالاتر باشد، احتمال موفقیت سیستم در تشخیص صحیح نیز بیشتر خواهد بود.

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که تغییرات نوری، یکی از عوامل اصلی در کاهش دقت تشخیص چهره است. «ژائو» و همکارانش بیان می‌کنند که تغییرات روشنایی، تغییر زاویه چهره و حالت‌های مختلف صورت، از مهم‌ترین چالش‌های تشخیص چهره در محیط‌های واقعی هستند.

مشکل نور پس‌زمینه شدید در دوربین‌های مداربسته

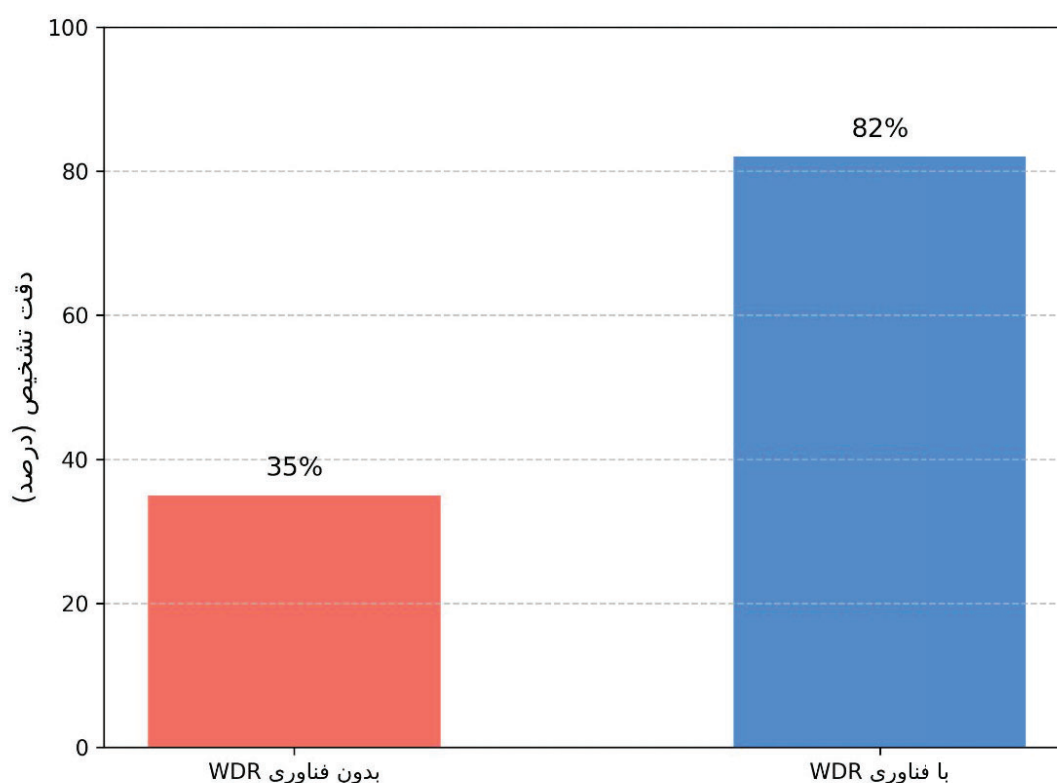
پدیده نور پس‌زمینه شدید زمانی رخ می‌دهد که منبع نور قوی در پشت سوژه قرار گرفته باشد. در این حالت، دوربین برای تنظیم نور تصویر با چالشی جدی روبه‌رو می‌شود؛ چرا که بخشی از تصویر بسیار روشن و بخش دیگر بسیار تاریک خواهد بود. اگر دوربین نوردهی

Exposure را بر اساس پس‌زمینه روشن تنظیم کند، سوژه در تاریکی فرو می‌رود و اگر نوردهی را بر اساس سوژه تنظیم نماید، پس‌زمینه دچار بیش‌تابی Overexposure شده و جزئیات خود را از دست می‌دهد.

این مشکل در محیط‌های واقعی بسیار رایج است؛ برای نمونه می‌توان به ورودی ساختمان‌ها، فروشگاه‌ها، پارکینگ‌ها و فضاهایی اشاره کرد که دارای پنجره‌های بزرگ هستند. در چنین شرایطی، معمولاً صورت فرد به‌صورت ضدنور Silhouette دیده می‌شود و جزئیات چهره به‌طور کامل از دست می‌رود.

از دیدگاه پردازش تصویر، توزیع نامتعادل نور باعث کاهش کنتراست محلی و از بین رفتن اطلاعات حیاتی در تصویر می‌شود. گونزالس و وودز (۲۰۱۸) بیان می‌کنند که کیفیت تصویر و توزیع روشنایی، نقش تعیین‌کننده‌ای در دقت تحلیل‌های بعدی تصویر دارند

مقایسه دقت تشخیص چهره در شرایط نور پس‌زمینه شدید



معرفی فناوری WDR

فناوری WDR مخفف Wide Dynamic Range به‌معنای «دامنه دینامیکی گسترده» است. در صنعت تصویربرداری، دامنه دینامیکی به ظرفیت دوربین در ثبت هم‌زمان جزئیات در نواحی بسیار روشن و بسیار تاریک یک صحنه گفته می‌شود. به‌عبارتی، هرچه دامنه دینامیکی یک دوربین بالاتر باشد، آن سیستم در مدیریت اختلاف شدید نوری در یک محیط، عملکرد موفق‌تری خواهد داشت.

در دوربین‌های معمولی، هنگامی که اختلاف سطح نور در محیط زیاد باشد، بخشی از تصویر دچار بیش‌تابی (اشباع نوری) و بخش دیگر دچار کم‌تابی (تاریکی مطلق) شده و اطلاعات و جزئیات خود را از دست می‌دهند. فناوری WDR با بهره‌گیری از الگوریتم‌های

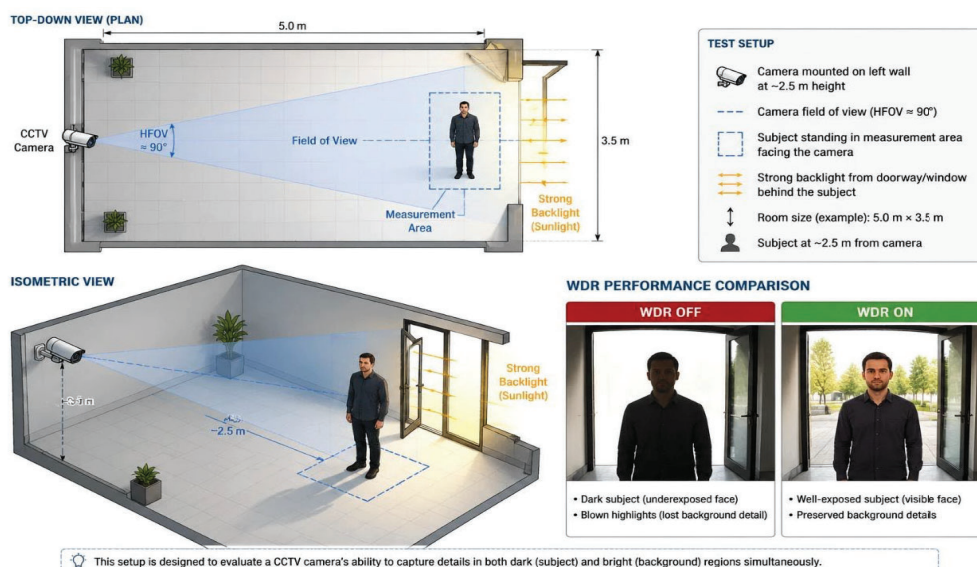
پردازشی پیشرفته، تلاشی هوشمندانه برای تولید تصویری متعادل است که در آن، جزئیات بخش‌های پرنور و کم‌نور، به‌صورت هم‌زمان قابل مشاهده باشند.

نحوه عملکرد فناوری WDR

عملکرد فناوری WDR، عمدتاً بر پایه ثبت و پردازش چندین سطح نوردهی متفاوت استوار است. در بسیاری از دوربین‌های مجهز به سیستم WDR واقعی True WDR، دوربین از یک صحنه واحد، دو یا چند فریم با نوردهی‌های مختلف ثبت می‌کند. در این فرآیند، یک تصویر با نوردهی کوتاه‌تر Short Exposure ثبت می‌شود تا جزئیات بخش‌های بسیار روشن Highlights دچار اشباع‌شدگی نشده و اطلاعات آن‌ها حفظ شود؛ هم‌زمان، تصویر دیگری با نوردهی بلندتر Long Exposure ثبت می‌گردد تا جزئیات بخش‌های تاریک Shadows به‌وضوح قابل‌رویت باشند. سپس پردازنده تصویر با ادغام این داده‌ها، یک خروجی واحد با تعادل نوری بهینه ایجاد می‌کند.

به‌طور خلاصه، WDR با ترکیب بهینه‌ی داده‌های چندین تصویر عمل می‌کند؛ بدین معنا که از تصویر کم‌نور، جزئیات نواحی روشن و از تصویر پرنور، جزئیات نواحی تاریک استخراج می‌گردد. نتیجه‌ی نهایی، تصویری با گستره‌ی نوری مطلوب است که در آن صورت سوژه در شرایط نور پس‌زمینه شدید، به‌وضوح قابل تشخیص است.

همان‌گونه که در شکل زیر نشان داده شده است، فناوری WDR با ترکیب تصاویر ثبت‌شده در سطوح نوردهی مختلف، جزئیات نواحی روشن و تاریک را به‌طور هم‌زمان حفظ می‌کند. در نتیجه، در شرایط نور پس‌زمینه شدید، چهره سوژه با وضوح بیشتر و تعادل نوری مناسب‌تری قابل مشاهده است.



شکل ۲ تاثیر فناوری WDR بر افزایش دقت سیستم های تشخیص چهره در شرایط نوری نامساعد

تشخیص چهره مبتنی بر Transformer

در سال‌های اخیر، مدل‌های مبتنی بر Transformer به یکی از موضوعات مهم در حوزه بینایی ماشین و به‌ویژه تشخیص چهره تبدیل شده‌اند. دلیل اصلی این توجه، توانایی بالای این معماری در درک هم‌زمان بخش‌های مختلف تصویر و ارتباط میان آن‌هاست. برخلاف بسیاری از روش‌های مبتنی بر شبکه‌های کانولوشنی که بیشتر روی ویژگی‌های محلی تمرکز دارند، Transformer ها می‌توانند ساختار کلی چهره را با دید جامع‌تری تحلیل کنند. این ویژگی در شرایطی که تصویر با مشکلاتی مانند نور نامتعادل، سایه‌های شدید یا افت کنتراست مواجه است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند؛ زیرا در چنین وضعیتی، بخشی از جزئیات ظاهری چهره ممکن است تضعیف شود و مدل باید بتواند با تکیه بر روابط کلی اجزای صورت، تشخیص قابل‌اعتمادتری انجام دهد.

اهمیت این موضوع در تصاویر نظارتی بیشتر از سایر کاربردهاست. در سامانه‌های مداربسته، کیفیت تصویر همیشه ایده‌آل نیست و عواملی مانند نور پس‌زمینه شدید، زاویه نامناسب، فاصله از دوربین یا نویز می‌توانند وضوح چهره را کاهش دهند. پژوهش‌های جدید نیز نشان داده‌اند که کیفیت تصویر نقش مستقیمی در عملکرد سامانه‌های تشخیص چهره دارد. برای نمونه، در پژوهش AdaFace تأکید شده است که سازگاری مدل با کیفیت‌های مختلف تصویر می‌تواند دقت بازشناسی را در شرایط واقعی بهبود دهد بنابراین، هرچه کیفیت تصویر اولیه بهتر باشد، احتمال استخراج صحیح ویژگی‌های چهره نیز بیشتر خواهد بود.

در این میان، فناوری WDR می‌تواند نقش مؤثری در بهبود ورودی این سامانه‌ها ایفا کند. زمانی که دوربین قادر باشد هم‌زمان جزئیات نواحی روشن و تاریک را حفظ کند، چهره افراد در شرایط نوری دشوار با وضوح بیشتری ثبت می‌شود. در چنین وضعیتی، مدل‌های مبتنی بر Transformer نیز داده مناسب‌تری برای تحلیل در اختیار دارند و می‌توانند با دقت بیشتری میان چهره‌های مختلف تمایز قائل شوند. در نتیجه، ترکیب توان سخت‌افزاری دوربین‌های WDR با روش‌های نوین تشخیص چهره، می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش دقت و قابلیت اطمینان سامانه‌های امنیتی و نظارتی باشد.

نقش wdr در افزایش دقت تشخیص چهره

الگوریتم‌های تشخیص چهره برای شناسایی افراد به ویژگی‌های دقیق صورت نیاز دارند. این ویژگی‌ها می‌توانند شامل فاصله بین چشم‌ها، فرم بینی، خط فک، شکل لب‌ها و بافت کلی صورت باشند. وقتی تصویر چهره تاریک یا دارای سایه شدید باشد، استخراج این ویژگی‌ها دشوار می‌شود.

فناوری WDR با بهتر کردن روشنایی و کنتراست صورت، شرایط مناسب‌تری برای تشخیص چهره فراهم می‌کند. در واقع، WDR مستقیماً الگوریتم تشخیص چهره را تغییر نمی‌دهد، اما کیفیت ورودی الگوریتم را بهتر می‌کند. از آنجا که کیفیت داده ورودی در هوش مصنوعی و پردازش تصویر اهمیت زیادی دارد، بهبود تصویر می‌تواند نتیجه تشخیص را نیز بهتر کند.

دوربین‌های مداربسته معمولی زمانی که نور محیط متعادل و یکنواخت باشد، معمولاً تصویر مناسبی ثبت می‌کنند؛ اما در شرایطی که اختلاف نور بین سوژه و پس‌زمینه زیاد است، مانند ورودی ساختمان‌ها، درهای شیشه‌ای، لابی‌ها یا پارکینگ‌ها، کارایی آن‌ها به‌طور محسوسی کاهش پیدا می‌کند. در چنین موقعیت‌هایی، نور شدید پس‌زمینه باعث می‌شود بخش‌های روشن تصویر بیش از حد سفید و اشباع شوند و در مقابل، چهره فرد در ناحیه تاریک قرار گیرد و جزئیات خود را از دست بدهد. این موضوع در سامانه‌های تشخیص چهره بسیار مهم است، زیرا هرچه جزئیات صورت کمتر ثبت شود، احتمال شناسایی درست نیز کاهش می‌یابد. پژوهش WDR FACE در سال ۲۰۲۱ نیز نشان می‌دهد که تشخیص چهره در تصاویر دارای دامنه دینامیکی گسترده، همچنان یکی از چالش‌های واقعی و کاربردی در بینایی ماشین و نظارت تصویری است.

در مقابل، دوربین‌های مجهز به فناوری WDR برای همین شرایط دشوار نوری طراحی شده‌اند. این دوربین‌ها تلاش می‌کنند بین نواحی بسیار روشن و بسیار تاریک تصویر تعادل برقرار کنند تا هم پس‌زمینه قابل مشاهده بماند و هم جزئیات چهره از بین نرود. به همین دلیل، اگر فردی در برابر یک منبع نور شدید قرار بگیرد، در تصویر ثبت‌شده توسط دوربین معمولی ممکن است چهره او تیره، سایه‌دار یا نامشخص دیده شود؛ در حالی که در دوربین دارای WDR، اجزای اصلی صورت مانند چشم‌ها، بینی، دهان و فرم کلی چهره واضح‌تر ثبت می‌شوند. این ویژگی از نظر عملی بسیار مهم است، چون کیفیت تصویر ورودی نقش مستقیمی در عملکرد سامانه‌های تشخیص و بازشناسی چهره دارد.

مطالعات جدید نیز این مسئله را تأیید می‌کنند. برای نمونه، پژوهش AdaFace در سال ۲۰۲۲ نشان داد که کیفیت تصویر، عامل مهمی در دقت بازشناسی چهره است و مدل‌های جدید زمانی عملکرد بهتری دارند که با کیفیت‌های متفاوت تصویر سازگار باشند. همچنین راهنمای فنی NIST/OSAC در سال ۲۰۲۴ درباره سامانه‌های تشخیص چهره زنده تأکید می‌کند که شرایط نوری، زاویه دید و کیفیت تصویر از عوامل اصلی در کارایی این سامانه‌ها هستند. افزون بر این، پژوهش‌های جدید در سال ۲۰۲۴ در حوزه بهبود تصاویر کم‌نور نیز نشان داده‌اند که بازیابی روشنایی و جزئیات تصویر، اگر به‌درستی انجام شود، می‌تواند دقت وظایف بینایی ماشین از جمله تحلیل و تشخیص چهره را افزایش دهد.

در مجموع، می‌توان گفت مهم‌ترین مزیت دوربین‌های دارای WDR نسبت به دوربین‌های معمولی، توانایی بهتر آن‌ها در حفظ جزئیات چهره در شرایط نوری نامتعادل است. این دوربین‌ها سایه‌های شدید را کاهش می‌دهند، از سوختگی نواحی روشن جلوگیری می‌کنند و تصویر متعادل‌تری برای مشاهده انسان و پردازش ماشینی فراهم می‌سازند. البته باید توجه داشت که WDR به‌تنهایی تضمین‌کننده عملکرد ایده‌آل نیست و نتیجه نهایی به عواملی مانند کیفیت سنسور، نوع پیاده‌سازی WDR، میزان نویز تصویر و هماهنگی دوربین با الگوریتم‌های تشخیص چهره نیز بستگی دارد. همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود، دوربین معمولی در شرایط نور پس‌زمینه شدید بخش‌هایی از چهره را تیره و کم‌جزئیات ثبت می‌کند، در حالی که دوربین مجهز به WDR با متعادل‌سازی روشنایی، جزئیات صورت را واضح‌تر حفظ کرده و تصویر مناسب‌تری برای تشخیص چهره فراهم می‌سازد.



شکل ۳: مقایسه دوربین‌های دارای WDR با دوربین‌های معمولی

کاربردهای عملی WDR در سیستم‌های نظارتی

فناوری WDR امروزه به یکی از قابلیت‌های مهم در سامانه‌های نظارت تصویری تبدیل شده است، به‌ویژه در فضاهایی که اختلاف شدید روشنایی میان بخش‌های مختلف صحنه وجود دارد. یکی از مهم‌ترین نمونه‌های این فضاها، ورودی ساختمان‌ها است؛ جایی که معمولاً نور شدید بیرون با روشنایی کمتر فضای داخلی تداخل پیدا می‌کند. در چنین شرایطی، اگر دوربین به فناوری WDR مجهز نباشد، چهره افرادی که در حال ورود یا خروج هستند اغلب به‌صورت تیره، سایه‌دار یا بدون جزئیات کافی ثبت می‌شود. این مسئله فقط یک ضعف تصویری ساده نیست، بلکه می‌تواند دقت شناسایی افراد و در نتیجه کارایی امنیتی سیستم را نیز کاهش دهد. یافته‌های جدید، از جمله پژوهش WDR FACE در سال ۲۰۲۱، نیز نشان می‌دهند که شرایط نوری با دامنه دینامیکی گسترده همچنان از چالش‌های اصلی در ثبت و تحلیل چهره به شمار می‌آید.

اهمیت این فناوری در پارکینگ‌های طبقاتی و فضاهای نیمه‌مسقف نیز کاملاً محسوس است. در این محیط‌ها، نور شدید ورودی از رمپ‌ها یا دهانه‌های باز، در کنار تابش مستقیم چراغ خودروها، معمولاً باعث ایجاد نواحی بسیار روشن و اشباع‌شده در تصویر می‌شود. در نتیجه، دوربین‌های معمولی ممکن است نتوانند به‌طور هم‌زمان جزئیات خودرو، پلاک و چهره راننده را با وضوح مناسب ثبت کنند. در مقابل، دوربین‌های مجهز به WDR با ایجاد تعادل میان نواحی روشن و تاریک، تصویر قابل‌فهم‌تر و متعادل‌تری ارائه می‌دهند. این موضوع از نظر عملی بسیار مهم است، زیرا هرچه کیفیت تصویر ورودی بهتر باشد، احتمال موفقیت سامانه‌های تحلیل تصویر و تشخیص چهره نیز بیشتر خواهد بود. مطالعات جدیدتر در حوزه بازشناسی چهره، از جمله AdaFace در سال ۲۰۲۲، نیز تأکید می‌کنند که کیفیت تصویر یکی از عوامل تعیین‌کننده در عملکرد مدل‌های تشخیص چهره است.

کاربرد WDR تنها به ورودی ساختمان‌ها و پارکینگ‌ها محدود نمی‌شود، بلکه در محیط‌های حساس و پرتردد مانند فروشگاه‌ها، شعب بانک‌ها، فرودگاه‌ها و ایستگاه‌های مترو نیز نقش مهمی دارد. در این فضاها، تغییرات شدید نور، رفت‌وآمد مداوم افراد و نیاز به شناسایی دقیق چهره یا ثبت درست رویدادها، باعث می‌شود که کیفیت تصویربرداری اهمیت بیشتری پیدا کند. بر همین اساس، اسناد و راهنماهای فنی جدید مانند چارچوب NIST/OSAC در سال ۲۰۲۴ نیز تأکید دارند که شرایط نوری، کیفیت تصویر و موقعیت نصب دوربین از عوامل اساسی در موفقیت سامانه‌های تشخیص چهره زنده و نظارت هوشمند هستند. به همین دلیل، استفاده از دوربین‌های مجهز به WDR در چنین محیط‌هایی نه تنها یک مزیت فنی، بلکه در بسیاری از موارد یک ضرورت عملی برای ارتقای دقت، قابلیت اعتماد و سطح امنیت سیستم‌های نظارتی محسوب می‌شود.

چالش‌ها و محدودیت‌های فناوری WDR

علی‌رغم مزایای قابل‌توجه فناوری WDR در بهبود کیفیت تصاویر نظارتی، پیاده‌سازی و بهره‌برداری از این فناوری با چالش‌های فنی و عملیاتی متعددی همراه است. مهم‌ترین این محدودیت‌ها عبارت‌اند از:

- **هزینه‌های تجهیزات:** دوربین‌های مجهز به قابلیت True WDR، نیازمند حسگرهای تصویر پیشرفته‌تر و پردازشگرهای قدرتمندتری هستند که این امر موجب افزایش قیمت تمام‌شده این تجهیزات نسبت به مدل‌های معمولی می‌شود.
- **تنوع در کیفیت پیاده‌سازی:** تمامی تجهیزاتی که با عنوان WDR عرضه می‌شوند، عملکرد یکسانی ندارند. بسیاری از محصولات اقتصادی صرفاً از «WDR دیجیتال» بهره می‌برند که در شرایط نوری بسیار دشوار، کارایی لازم را نداشته و قادر به تفکیک دقیق جزئیات نیستند.
- **افزایش نویز دیجیتال:** فرآیند تقویت سطح روشنایی در نواحی تاریک تصویر، می‌تواند منجر به افزایش نویز دیجیتال و کاهش شفافیت کلی تصویر در برخی شرایط خاص گردد.

- عدم جایگزینی برای طراحی نورپردازی: فناوری WDR به تنهایی راه حل نهایی نیست. دستیابی به بالاترین سطح کیفیت،
- نیازمند ترکیب این فناوری با طراحی صحیح نور محیط، انتخاب زاویه نصب مناسب و تنظیمات دقیق پارامترهای دوربین است.

پیشنهادهایی برای استفاده بهتر از WDR در تشخیص چهره

به منظور بهره‌برداری بهینه از فناوری WDR در سیستم‌های تشخیص چهره و ارتقای دقت شناسایی، رعایت الزامات و ملاحظات فنی زیر ضروری است:

- **انتخاب سخت‌افزار مناسب:** توصیه می‌شود اولویت انتخاب با دوربین‌هایی باشد که به قابلیت True WDR مجهز هستند. برخلاف راهکارهای نرم‌افزاری ((Digital WDR، مدل‌های دارای WDR واقعی با ثبت فریم‌های چندگانه، در مدیریت شرایط نور پس‌زمینه شدید عملکردی پایدارتر و قابل اطمینان‌تر دارند.
- **موقعیت و زاویه نصب:** موقعیت نصب دوربین تأثیر مستقیمی بر عملکرد الگوریتم‌های پردازشی دارد. حتی با وجود فناوری WDR، نصب دوربین در زاویه نامناسب می‌تواند منجر به اعوجاج هندسی تصویر و کاهش دقت شناسایی شود. دوربین باید به گونه‌ای جانمایی شود که چهره سوژه تا حد امکان در وضعیت مستقیم ((Frontal View و در فواصل کانونی تعریف شده برای لنز قرار گیرد.
- **همگام‌سازی پارامترهای فنی:** همگام‌سازی دقیق تنظیمات دوربین با ویژگی‌های نوری محیط الزامی است. پارامترهایی نظیر زمان نوردهی ((Shutter Speed، کنتراست، الگوریتم‌های کاهش نویز و شدت اثرگذاری WDR باید متناسب با محیط تنظیم گردند. علاوه بر این، استفاده از لنزهای باکیفیت و رزولوشن بالا برای استخراج دقیق ویژگی‌های صورت، لازمه‌ی یک سیستم تشخیص چهره موفق است.

نتیجه‌گیری

در مجموع، می‌توان گفت فناوری WDR نقش بسیار مهمی در بهبود عملکرد دوربین‌های مدار بسته در شرایط نوری نامناسب، به‌ویژه در محیط‌های دارای نور پس‌زمینه شدید، دارد. در چنین شرایطی، دوربین‌های معمولی اغلب نمی‌توانند جزئیات چهره را به درستی ثبت کنند و همین مسئله باعث کاهش دقت سیستم‌های تشخیص چهره می‌شود. در مقابل، WDR با متعادل‌سازی روشنایی در بخش‌های تاریک و روشن تصویر، امکان ثبت چهره با وضوح و کیفیت بهتر را فراهم می‌کند.

البته باید توجه داشت که عملکرد مناسب WDR تنها به وجود این فناوری در دوربین محدود نمی‌شود، بلکه عواملی مانند نوع دوربین، کیفیت لنز، محل نصب، زاویه دید و تنظیمات صحیح دستگاه نیز در نتیجه نهایی تأثیر زیادی دارند. به همین دلیل، برای دستیابی به بهترین عملکرد در سیستم‌های نظارتی، لازم است WDR در کنار سایر ملاحظات فنی به صورت درست و هدفمند به کار گرفته شود.



در نهایت، با توجه به گسترش استفاده از سیستم‌های نظارت هوشمند در فضاهای عمومی و امنیتی، بهره‌گیری از دوربین‌های مجهز به WDR را می‌توان یک ضرورت فنی دانست، نه صرفاً یک قابلیت جانبی. این فناوری می‌تواند نقش مؤثری در افزایش دقت شناسایی، کاهش خطا و ارتقای سطح امنیت در محیط‌های واقعی ایفا کند.

منابع:

- [1] Liu, Z., & Yang, J. (2021). *WDR FACE: The First Database for Studying Face Detection in Wide Dynamic Range*. arXiv.
- [2] Kim, M., et al. (2022). *AdaFace: Quality Adaptive Margin for Face Recognition*. CVPR 2022.
- [3] Wang, X., et al. (2021). *HLA-Face: Joint High-Low Adaptation for Low Light Face Detection*. CVPR 2021.
- [4] Yu, X., et al. (2021). *Single-Stage Face Detection Under Extremely Low-Light Conditions*. ICCV Workshop 2021.
- [5] NIST / OSAC. (2024). *Framework for Implementing Passive Live Facial Recognition*.
- [6] Study of image sensors for enhanced face recognition at a distance in the Smart City context. (2023). *Scientific Reports*.
- [7] Makwana, A., et al. (2024). *LIVENet: A Novel Network for Real-World Low-Light Image Denoising and Enhancement*. WACV 2024.
- [8] Sharif, M., et al. (2024). *Learning Optimized Low-Light Image Enhancement for Edge Vision Tasks*. CVPRW 2024.
- [9] Weng, X., et al. (2024). *Event-based Image Enhancement Under High Dynamic Range Scenarios*. ACCV 2024.
- [10] A Comprehensive Review of Face Recognition Techniques: Challenges, Advances, and Future Directions. (2024). IEEE.
- [11] Multimodal Face Data Sets-A Survey of Technologies, Applications, and Challenges. (2024). IEEE.