فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و دوم، شماره ۸۹، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۵۸-۴۹

ارزیابی روش‌های سوپر رزولوشن به‌منظور افزایش وضوح تصاویر پلاک خودرو در سامانه پلاک‌خوان

نجمه اقبال (مسئول مکاتبات)، استادیار، گروه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی سجاد، مشهد، ایران

بهزاد قیومی انارکی، دکتری مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، ایران

فریده چراغی شامی، دکتری برق، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

E-mail: najmeh.eghbal@sadjad.ac.ir

چکیده

پلاک‌خوانی نقش کاربردی در سیستم حمل‌ونقل هوشمند ایفا می‌کند. چنانچه پلاک‌خوانی در سامانه ثبت تخلفات جاده‌ای و سامانه پرداخت الکترونیکی عوارض به‌طور صحیحی صورت نگیرد می‌تواند اعتراضات و فیدبک‌های منفی بسیار مؤثری را از سوی ترددکنندگان به همراه داشته باشد. دلایلی وجود دارد که باعث عدم‌تشخیص پلاک خودرو می‌شود، ازجمله عدم وضوح تصویر پلاک و پلاک خیلی کوچک به دلیل فاصله. برای غلبه بر مشکل عدم‌تشخیص پلاک، هدف این مقاله ارتقاءِ رزولوشن تصویر پلاک است؛ در این راستا، سوپر رزولوشن می‌تواند یک راه‌حل ارزان‌قیمت نرم‌افزاری باشد. در این مقاله، به کمک پردازش تصویر و آموزش هوشمند جدیدترین روش‌های ارائه‌شده برای سوپر رزولوشن مقایسه می‌گردد و بهترین آنها برای بهبود تصویر پلاک خودروها انتخاب می‌شود. درواقع، ورودی یک تصویر با رزولوشن پایین است و خروجی نسخه‌ای از آن تصویر با رزولوشن بالاتر است. روش منتخب با آموزش به کمک تعداد زیادی الگوی با رزولوشن بالا و الگوی با رزولوشن پایین این توانایی را به دست می‌آورد که دقت پلاک‌خوانی را در شرایطی که تصویر پلاک وضوح ندارد، افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، پردازش تصویر، سوپر رزولوشن، پلاک خوانی

۱. مقدمه

سامانه‌های پلاک‌خوان با خوانش اتوماتیک و ثبت پلاک ازجمله ابزارهای کلیدی در توسعه حمل‌ونقل هوشمند[1] می‌باشند. به‌عنوان‌مثال، پلاک‌خوان بخشی از سامانه ثبت تخلفات جاده‌ای است که به‌منظور احصا تخلف خودروها در محورهای مختلف بکار گرفته می‌شود و در صورت تخلف خودرو، قبض جریمه مربوط به پلاک خوانده‌شده را صادر می‌نماید. همچنین، پلاک خوان بخشی از سامانه پرداخت الکترونیکی عوارض[2] است که به کمک پلاک‌خوانی و کلاس‌بندی خودروها، مبلغ عوارض خودروها را به‌صورت اتوماتیک محاسبه می‌کند و قبض عوارض مربوط به پلاک خوانده‌شده را صادر می‌نماید. این سامانه در حال حاضر در برخی از گذرگاه‌های کشور پیاده‌سازی شده است. با وجود مزایای بسیار این سامانه‌ها، عملکرد دارای خطای آنها می‌تواند توجیه این مزایا و هزینه‌های انجام‌شده جهت پیاده‌سازی را تضعیف نماید. چنانچه پلاک‌خوانی به‌طور صحیحی صورت نگیرد می‌تواند اعتراضات و فیدبک‌های منفی بسیار مؤثری را از سوی ترددکنندگان به همراه داشته باشد.

از عواملی که موجب خطای پلاک خوانی می‌شوند می‌توان به‌وضوح پایین تصویر پلاک، مخدوش بودن پلاک، کثیف بودن پلاک، نورپردازی نامناسب محیط اشاره نمود. در ویدئوهای ضبط‌شده از دوربین‌های نظارتی موجود نصب‌شده در تقاطع‌ها، جاده‌ها و بزرگراه‌ها، به دلیل نور تنظیم‌نشده محیط و گاها ارتفاع نامناسب دوربین، تصویر پلاک وضوح پایینی دارد که این امر پلاک‌خوانی را با چالش بسیاری مواجه می‌سازد. به نظر می‌رسد که با ارتقاء رزولوشن تصویر پلاک، می‌توان دقت پلاک‌خوانی را بهبود بخشید. متدهای گوناگونی برای ارتقاء رزولوشن تصویر وجود دارد که یکی از مؤثرترین آنها تکنیک سوپر رزولوشن است.

۲. ادبیات پژوهش

سوپر رزولوشن، فرآیند استحصال یک یا تعدادی تصویر با رزولوشن بالا از یک یا تعدادی تصویر با رزولوشن پایین است. در سوپر رزولوشن علاوه بر ترمیم تخریب ایجادشده بر روی تصویر، به کمک برون‌یابی، اطلاعاتی فراتر از آنچه در تصویر قابل‌مشاهده است تولید می‌گردد. در این روند در کنار ارتقاء کیفیت تصویر خروجی، تعداد پیکسل‌ها در واحد سطح افزایش می‌یابد و سایز عکس ورودی و خروجی یکسان نمی‌ماند. این تکنیک در دو دهه اخیر توجه محققان زیادی را به خود معطوف کرده است زیرا این موضوع در دنیای واقعی کاربرد اجرایی وسیعی دارد، از آن جمله می‌توان به پردازش عکس‌های ماهواره-ای و هوایی، عکس‌های پزشکی، آنالیز تصاویر چهره، آنالیز تصاویر متنی، خواندن امضاء و پلاک خودروها اشاره نمود. گفتنی است که سوپر رزولوشن نباید با درونیابی یا بازیابی اشتباه گرفته شود، در درونیابی جزئیات فرکانس بالا بازیابی نمی‌شود و در روش‌های عمده بازیابی مانند ترمیم مات‌شدگی و تیز کردن لبه‌ها که باعث بالا رفتن کیفیت عکس می‌گردند، سایز عکس خروجی تغییر نمی‌کند.

الگوریتم‌های سوپر رزولوشن را می‌توان به چند دسته تقسیم نمود. از یک منظر می‌توان متدهای متنوع سوپر رزولوشن را در دو حوزه فرکانس و مکان[3] دسته‌بندی کرد. روش‌های حوزه فرکانس خود به دو دسته روش‌های مبتنی بر تبدیل فوریه و روش‌های مبتنی بر تبدیل موجک تقسیم می‌شوند. الگوریتم‌های اولیه ارائه‌شده برای سوپر رزولوشن، از روش‌های پردازش تصویر در حوزه فرکانس استفاده می‌کردند درحالی‌که غالب متدهای ارائه‌شده برای سوپر رزولوشن، مربوط به حوزه مکان می‌باشند. روش‌های حوزه مکان را هم می‌توان در دو رده تک عکسی[4] و چند عکسی[5] تقسیم‌بندی کرد. دسته‌بندی روش‌ها بر اساس تعداد عکس تنها برای متدهای حوزه مکان ارائه شده است زیرا غالب روش‌های ارائه‌شده در حوزه فرکانس چند عکسی هستند. غالب الگوریتم‌های سوپر رزولوشن مبتنی بر تک عکس،

چند الگوریتم یادگیری[۶] را اعمال کرده و سعی می‌کنند که اطلاعات مفقودشده را با استفاده از ارتباط بین عکس‌های با رزولوشن پایین و عکس‌های با رزولوشن بالای موجود در بانک داده آموزشی بسازند. الگوریتم‌های سوپر رزولوشن مبتنی بر چند عکس، معمولاً فرض می‌کنند که یک عکس با رزولوشن بالا وجود دارد. این الگوریتم‌ها معمولاً اختلاف بین مشاهدات با رزولوشن پایین را برای بازسازی عکس با رزولوشن بالا استخراج می‌کنند و به همین دلیل به الگوریتم‌های سوپر رزولوشن مبتنی بر بازسازی[۷] معروف هستند.

به‌طورکلی، در مقایسه روش‌های حوزه فرکانس با روش‌های حوزه مکان، می‌توان گفت که روش‌های حوزه فرکانس بیشتر از نقطه‌نظر تئوری جذاب به نظر می‌رسند اما مشکلات زیادی در اعمال به سناریوهای دنیای واقعی دارند و در مدلسازی مناسب حرکت در کاربردهای دنیای واقعی با مشکل مواجه هستند، درحالی‌که روش‌های حوزه مکان برای روبرو شده با چنین مشکلاتی تواناتر هستند. همچنین از بین روش‌های ارائه‌شده مبتنی بر یک عکس یا چند عکس، روش‌های مبتنی بر یک عکس بیشتر به کاربرد وابسته هستند درحالی‌که روش‌های مبتنی بر چند عکس، بر روی کاربردهای عام‌تری جواب مطلوبی داده‌اند. روش‌های مبتنی بر چند عکس، عموماً از دو مرحله اصلی تشکیل شده‌اند:

۱. ترمیم[۸] (شامل تخمین حرکت جهت ثبت[۹] تصویر و تخمین مات‌شدگی)

۲. بازسازی (شامل ادغام[۱۰] تصاویر مرحله قبل)

این روش‌ها به دلیل خطا در تخمین مدل حرکت ممکن است در برابر تغییرات قوامدار نباشند و لازم است با الگوریتم‌های با دقت ترمیم بالاتری ترکیب شوند.

اخیراً روش‌های سوپر رزولوشن مبتنی بر یادگیری عمیق بسیار موردتوجه قرار گرفته‌اند. در این روش‌ها با اعمال الگوریتم‌های یادگیری عمیق، سعی می‌کنند که اطلاعات مفقودشده را با استفاده از ارتباط بین عکس‌های با رزولوشن پایین و عکس‌های با رزولوشن بالای موجود در بانک داده آموزشی بسازند. این روش‌های مبتنی بر یادگیری عمیق دارای یک مرحله پیش-پردازش هستند که بار محاسباتی بالایی دارد و زمان بر است. با در اختیار داشتن تعداد بسیار زیادی تصاویر در دو نسخه تصاویر با رزولوشن بالا و تصاویر با رزولوشن پایین سعی می‌شود رابطه میان پنجره‌های متناظر تصویر مدل شود. پس‌ازآن، از این مدل آموزش-دیده برای افزایش رزولوشن در تصاویر جدید محک استفاده می‌شود.

برای سوپر رزولوشن پلاک خودرو، مرجع [۱۰] از روش احتمالاتی مبتنی بر میدان‌های تصادفی مارکوف استفاده می‌کند؛ تصویر سوپر رزولوشن شده‌ای که از چندین تصویر رزولوشن پایین به‌دست‌آمده توسط میدان‌های تصادفی مارکوف طی عملیات بهینه‌سازی غیر محدب درجه‌بندی‌شده مدل می‌شود و ماکزیمم تقدم[۱۱](MAP) تصویر به دست می‌آید. برای حفظ لبه‌های کاراکترهای پلاک و خوانایی بیشتر، تنظیم‌کننده تطبیقی ناپیوسته اعمال می‌گردد. در [۱۱]، سوپر رزولوشن پلاک بر اساس نمونه است یعنی یک تصویر تست و یک مجموعه تصویر آموزش دارد و از ویژگی‌های الگوی باینری محلی برای توصیف کاراکترها استفاده می‌شود و رابطه میان تصویر رزولوشن پایین و بالا را به کمک تابع پایه شعاعی به دست می‌آورد. در [۱۲]، ویژگی‌های الگوی باینری محلی استخراج می‌شود و سوپر رزولوشن با روش یادگیری مبتنی بر فازی و شبکه عصبی انجام می‌گردد. در [۱۳]، برای سوپر رزولوشن پلاک از اطلاعات معنایی استفاده شده است؛ اطلاعات معنایی به سگمنت‌هایی از تصویر با یک برچسب مربوط به آن اشاره دارد. با استفاده از اطلاعات معنایی که توسط کلاس‌بندی بر اساس نمایش تُنک استخراج می‌شود. همچنین از سوپر رزولوشن مبتنی بر روش کدگذاری تُنک برای افزایش-مقیاس تصویر پلاک استفاده می‌گردد. در [۱٤]، سوپر رزولوشن چند فریمی پلاک مبتنی بر روش نزدیک‌ترین همسایگی هندسی صورت گرفته است. در [۱۵]، سوپر رزولوشن پلاک بر اساس شبکه مقابله‌ای مولد[۱۲]

صورت می‌گیرد. درواقع یک مسئله حداقل–حداکثر به‌عنوان مسئله بهینه‌سازی حل می‌شود و موجب تیز شدن لبه‌ها می‌گردد. غالباً الگوریتم‌ها و مدل‌های ریاضی نتایج ضعیفی را در برخورد با دنیای واقعی ارائه می‌دهند و لازم است تصحیحاتی در آنها جهت رسیدن به نتایج مطلوب اعمال گردد. دو موضوع که در طراحی یک سیستم سوپر رزولوشن عملی مطرح است، دقت بازسازی و کارآیی محاسباتی است. دقت بازسازی به قوام‌دار بودن الگوریتم برای مواجهه با تغییرات بر می‌گردد و کارآیی محاسباتی الگوریتم است که نشان می‌دهد آیا این الگوریتم قابل‌اعمال برای کاربردهای زمان– حقیقی[۱۳] هست یا نه. در این مقاله سعی شده با اعمال جدیدترین متودهای سوپر رزولوشن مبتنی بر یادگیری عمیق، بر دو مشکل اساسی روش‌های سوپر رزولوشن که حجم بالای محاسبات و دقت آن فائق آییم و روشی سریع متناسب با کاربرد پلاک‌خوانی زمان– حقیقی از میان جدیدترین متودهای سوپر رزولوشن برگزینیم.

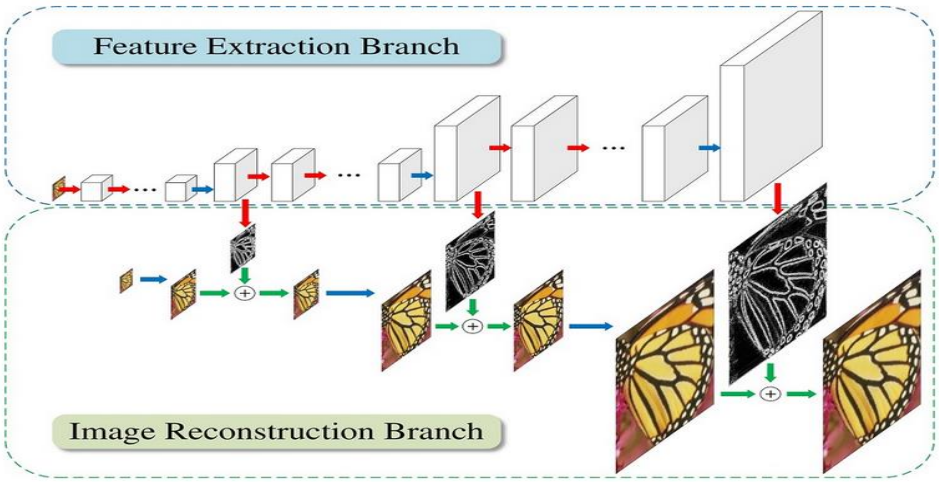
این مقاله به ترتیب زیر تنظیم شده است: در بخش ۲، چندین روش سوپر رزولوشن مبتنی بر یادگیری عمیق معرفی و بررسی می‌شود. بخش ۳ به شبیه‌سازی و بحث اختصاص یافته است. در بخش ٤ نیز به نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

۳. روش پژوهش

در این قسمت، به معرفی چندین روش نوین سوپر رزولوشن تصویر پرداخته می‌شود.

۳-۱ شبکه سوپر رزولوشن لاپلاسین هرمی

اخیراً شبکه‌های عصبی کانولوشنال قابلیت بالای خود را در سوپر رزولوشن یک تصویر (بازسازی یک تصویر با رزولوشن بالا از یک تصویر با رزولوشن پایین) نشان داده‌اند و ازاین‌رو بسیار موردتوجه واقع شده‌اند. بااین‌حال، روش‌های سوپر رزولوشن موجود مبتنی بر شبکه‌های عصبی کانولوشنال اغلب به تعداد زیادی از پارامترهای شبکه احتیاج دارند و در پیاده‌سازی زمان– حقیقی برای تولید نتایج با وضوح بالا، بار محاسباتی سنگینی دارند. در [۸]، شبکه سوپر رزولوشن لاپلاسین هرمی[۱٤] ارائه شده است که به‌تدریج باقیمانده زیر–باند تصاویر با رزولوشن بالا را در سطح هرمی چندگانه بازسازی می‌کند (شکل ۱). در این روش مستقیماً ویژگی‌هایی از فضای ورودی با رزولوشن پایین استخراج می‌شود و به همین دلیل بار محاسباتی کمی به همراه دارد. شبکه با نظارت عمیق توسط توابع خطای مقاوم چاربونیر[۱۵] آموزش داده می‌شود و به بازسازی تصویر با کیفیت بالا می‌رسد. علاوه بر این، از لایه‌های بازگشتی برای به اشتراک گذاشتن پارامترها در سطح و همچنین در سطح هرم استفاده می‌شود و بنابراین به تعداد پارامترها طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

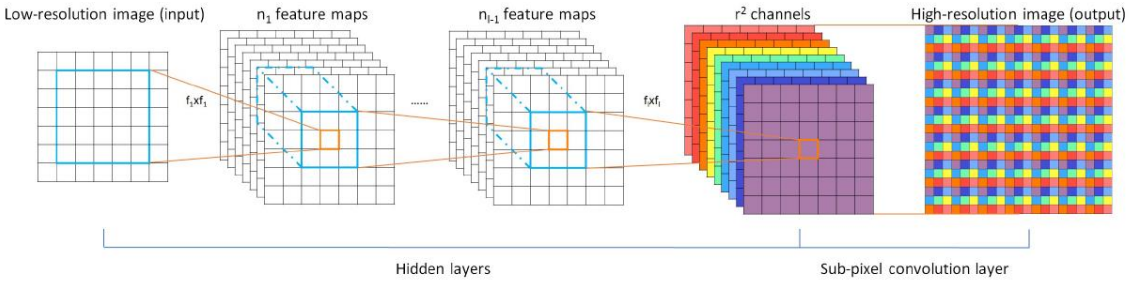


شکل ۱. شبکه سوپر رزولوشن لاپلاسین هرمی

۳-۲ شبکه عصبی کانولوشنال زیر-پیکسلی مؤثر[۱۶]

در مقاله [۷]، معماری جدیدی برای شبکه عصبی کانولوشنال پیشنهاد شده است؛ بدین‌صورت که استخراج ویژگی بجای فضای رزولوشن بالا، در فضای رزولوشن پایین صورت می‌گیرد. هر عکس رزولوشن پایین به‌طور مستقیم به شبکه داده می‌شود و استخراج ویژگی مبتنی بر کانولوشن غیرخطی در فضای رزولوشن پایین صورت می‌گیرد. در این روش، یک لایه زیر-پیکسلی کانولوشنال مؤثر برای شبکه عصبی معرفی شده است که آرایه‌ای از فیلترهای افزایش-مقیاس را برای افزایش-مقیاس نگاشت‌های ویژگی رزولوشن پایین به خروجی رزولوشن بالا یاد می‌گیرد. برای شبکه‌ای با L لایه، n_{L-1} فیلتر افزایش-مقیاس برای n_{L-1} نگاشت ویژگی آموزش می‌بینند. افزایش-مقیاس توسط آخرین لایه شبکه اجرا می‌شود (شکل ۲).

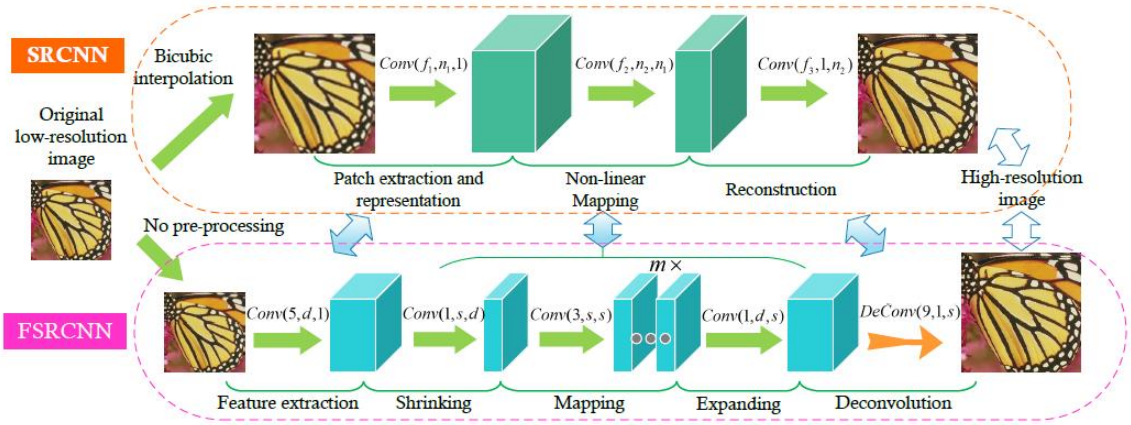
در این روش به‌طور صریح از فیلتر درونیابی استفاده نشده است؛ این بدین معناست که شبکه به‌طور ضمنی پردازش لازم برای سوپر رزولوشن را یاد می‌گیرد؛ بنابراین شبکه قابلیت یادگیری نگاشت‌های رزولوشن پایین به رزولوشن بالای پیچیده‌تری را در مقایسه با یک فیلتر ثابت تکی افزایش-مقیاس در اولین لایه دارا است. افزایش رزولوشن از رزولوشن پایین به رزولوشن بالا در لایه آخر شبکه صورت می‌گیرد. به دلیل رزولوشن کاهش‌یافته ورودی، این روش از سایز فیلتر کوچک‌تری برای تجمیع اطلاعات مشابه استفاده می‌کند. به علت کاهش سایز فیلتر و رزولوشن، پیچیدگی محاسباتی پایین است که قابلیت اجرای زمان-حقیقی این روش را فراهم می‌آورد. در این روش نشان داده شده است که افزایش-مقیاس در اولین لایه شبکه نتایج سوپر رزولوشن بدتر و پیچیدگی محاسباتی بالاتری نسبت به افزایش-مقیاس در آخرین لایه شبکه دارد.



شکل ۲. شبکه عصبی کانولوشنال زیر-پیکسلی مؤثر

۳-۳ سوپر رزولوشن سریع شبکه عصبی کانولوشنال

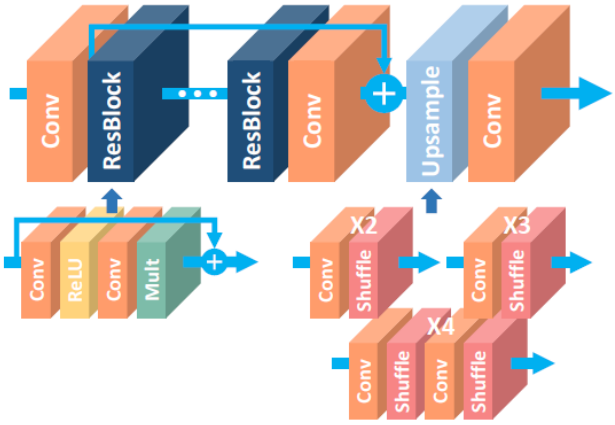
پیش‌تر، روش سوپر رزولوشن شبکه عصبی کانولوشنال در مراجع ارائه شد که توانایی بالایی در سوپر رزولوشن دارا بود اما قابلیت پیاده‌سازی زمان-حقیقی نداشت. مقاله [٦]، تعمیمی در جهت سرعت بخشیدن به روش‌های مذکور است که با پیشنهاد ساختار شبکه عصبی کانولوشنال ساعت شنی-شکل، برای سوپر رزولوشن سریع ارائه شده است. درواقع ساختار سوپر رزولوشن شبکه عصبی کانولوشنال از سه جنبه بازطراحی شده است. اولاً لایه دیکانولوشن در آخر شبکه اضافه شده است که نگاشت از تصویر رزولوشن پایین به رزولوشن بالا را به‌طور مستقیم و بدون درونیابی یاد می‌گیرد. دوما لایه نگاشت با کوچک کردن ابعاد ویژگی ورودی قبل از نگاشت و بزرگ کردن ابعاد ویژگی بعد از نگاشت باز فرمول‌بندی شده است. سوما، فیلتر با سایز کوچک‌تر و لایه‌های نگاشت بیشتر پذیرفته شده است. روش سوپر رزولوشن سریع شبکه عصبی کانولوشنال به سرعت ٤٠ برابر و کیفیت بازسازی بهتری نسبت به روش سوپر رزولوشن شبکه عصبی کانولوشنال نائل شده است.



شکل ۳. سوپر رزولوشن سریع شبکه عصبی کانولوشنال

۳-٤ شبکه سوپر رزولوشن عمیق بهبودیافته

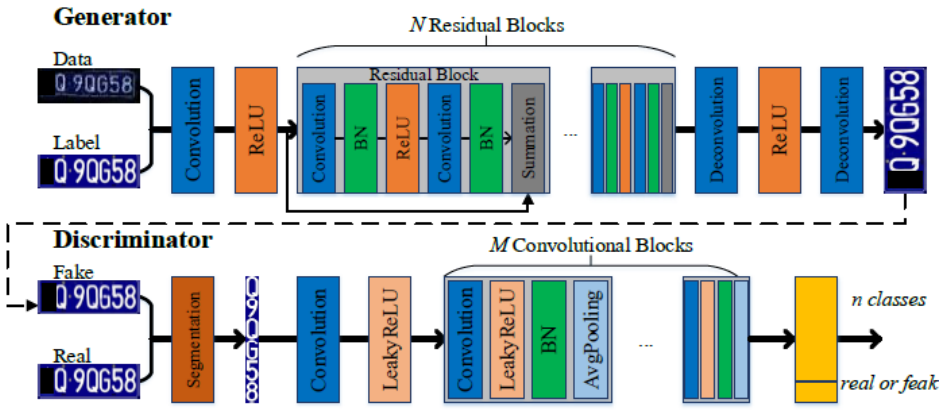
روش یادگیری باقیمانده عملکرد بهبودیافته‌ای را به نمایش می‌گذارد. در [۹]، شبکه ResNet کانولوشنال برای سوپر رزولوشن مطرح شده است. حذف ماژول‌های غیرضروری شبکه باعث ساده شدن مدل شبکه می‌شود، چراکه وقتی شبکه پیچیده باشد، روش آموزش شبکه نیز پیچیده می‌شود. شبکه سوپر رزولوشن عمیق بهبودیافته ارائه‌شده نسبت به روش‌های نوین سوپر رزولوشن عملکرد و سرعت بالاتری دارد. حذف ماژول‌های غیرضروری در شبکه باقیمانده کانولوشنال موجب فشرده شدن مدل و درنتیجه بهبود عملکرد و بهینه‌سازی شده است. همچنین توسعه سایز مدل در زمانی که فرآیند آموزش پایدارسازی شده است، موجب بهبود بیشتر عملکرد می‌شود.



شکل ٤. شبکه سوپر رزولوشن عمیق بهبودیافته

۳-۵ سوپر رزولوشن بر اساس شبکه مقابله‌ای مولد

در مقاله [۱۵]، سوپر رزولوشن بر اساس شبکه مقابله‌ای مولد صورت می‌گیرد. شبکه مقابله‌ای مولد شامل دو زیر-شبکه است: شبکه مولد و شبکه تفکیک‌کننده. شبکه مولد بر اساس توزیع داده‌های تصاویر اصلی، تصاویر با رزولوشن بالا تولید می‌کند؛ درحالی‌که شبکه تفکیک‌کننده تلاش می‌کند که تصاویر ورودی را برحسب اینکه متعلق به تصاویر اصلی یا تصاویر تولیدشده هستند از هم تفکیک کند. شبکه مولد و شبکه تفکیک‌کننده با رفتاری مقابله‌ای آموزش دیده‌اند تا یکدیگر را بهتر کنند (شکل ۵).



شکل ۵. سوپر رزولوشن بر اساس شبکه مقابله‌ای مولد

٤. تحلیل داده‌ها

در این قسمت، روش‌های نوین سوپر رزولوشن تصویر که در قسمت قبل معرفی شده‌اند به تصاویر پلاک خودرو با رزولوشن پایین اعمال می‌شود. بانک داده آموزشی بر اساس ۸۰۰۰۰ تصویر پلاک که در سایز ٤٠*١٦٠ جمع‌آوری شده بود و به‌عنوان نسخه رزولوشن بالا تصاویر پلاک آماده شد. سپس با کاهش سایز تصاویر با مقیاس ٤، نسخه رزولوشن پایین تصاویر پلاک ساخته شد. فرآیند آموزش شبکه بر روی کامپیوتر به همراه GPU و به کمک تنسورفلو صورت گرفت. آموزش مدل شبکه سوپر رزولوشن لاپلاسین هرمی در ۵۰ تکرار و با سایز شاخه ۳۲ انجام شد. سایز مدل ۵ مگابایت است. آموزش مدل شبکه عصبی کانولوشنال زیر-پیکسلی مؤثر در ۱۰۰ تکرار و با سایز شاخه ۳۲ انجام شد. سایز مدل ۱۰۰ کیلوبایت است. آموزش مدل شبکه عصبی کانولوشنال سوپر رزولوشن سریع در ۵۰ تکرار و با سایز شاخه ۳۲ انجام شد. سایز مدل ٤٠ کیلوبایت است. آموزش مدل شبکه سوپر رزولوشن عمیق بهبودیافته در چهار روز و با سایز شاخه ۳۲ انجام شد. سایز مدل ۱۵۰ مگابایت است. در سوپر رزولوشن بر اساس شبکه مقابله‌ای مولد، شبکه مولد و شبکه تفکیک‌کننده در ۵۰ تکرار و با سایز شاخه ۳۲ آموزش داده شده‌اند. سایز مدل شبکه مولد ۵۰ کیلوبایت است. فرآیند تست روی کامپیوتر دارای ۷ هسته انجام شد. در پیاده‌سازی مقیاس ٤ انتخاب گردید.

معیارهای ارزیابی روش‌های مذکور و روش درونیابی بای‌کیوبیک، زمان تست و ماکزیمم مقدار سیگنال به نویز[17] (PSNR) و شباهت ساختاری[18] (SSIM) در جدول ۱، مقایسه شده است.

جدول ۱. مقایسه زمان تست و ماکزیمم مقدار سیگنال به نویز و شباهت ساختاری در روش‌های مختلف

روش	زمان تست (ثانیه)	ماکزیمم مقدار سیگنال به نویز	شباهت ساختاری
بای‌کیوبیک	۰,۰۰۰٤۱	۲۲,۰٦۲۵	۰,۸٦۳
شبکه سوپر رزولوشن لاپلاسین هرمی	۰,۲۹٦٦۷	۲۲,۷۳۳۰	۰,۸٦٦
شبکه عصبی کانولوشنال زیر-پیکسلی مؤثر	۰,۰۱۱۳۸	۲۲,۵٤۷۱	۰,۸٦۱
سوپر رزولوشن سریع شبکه عصبی کانولوشنال	۰,۰۱۳۰۰	۲۲,۵٤۳٤	۰,۸٦۰
شبکه سوپر رزولوشن عمیق بهبودیافته	۳,۱۳۲۱۱	۲۵,۲٤۲۵	۰,۹۱۱
سوپر رزولوشن بر اساس شبکه مقابله‌ای مولد	٤,٤۹۱۵	۲۲,۱۰۷٦	۰,۸۷۹

نتایج نشان می‌دهد که عیب روش شبکه سوپر رزولوشن لاپلاسین هرمی این است که از دو روش شبکه عصبی کانولوشنال زیر-پیکسلی مؤثر و شبکه عصبی کانولوشنال سوپر رزولوشن سریع، کندتر اجرا می‌شود و دقت پایین‌تری نسبت به شبکه سوپر رزولوشن عمیق بهبودیافته دارد. مزیت روش شبکه عصبی کانولوشنال زیر-پیکسلی این است که کوچک و سریع است اما همچنان عملکرد خوبی دارد. مزیت روش شبکه عصبی کانولوشنال سوپر رزولوشن سریع این است که کوچک و سریع است اما دقت پایینی دارد. عیب روش شبکه سوپر رزولوشن عمیق بهبودیافته این است که کند است و سایز فایل مدل بزرگ است. عیب روش سوپر رزولوشن بر اساس شبکه مقابله‌ای مولد این است که کند اجرا می‌شود و دارای دو مرحله آموزش شبکه است. بهترین الگوریتم‌ها ازنظر زمان اجرا الگوریتم‌های شبکه عصبی کانولوشنال زیر-پیکسلی مؤثر و سوپر رزولوشن سریع شبکه عصبی کانولوشنال می‌باشند که برای کاربرد زمان حقیقی مناسب هستند، اگرچه دقت سوپر رزولوشن سریع شبکه عصبی کانولوشنال پایین‌تر است؛ بنابراین با توجه به شبیه‌سازی انجام‌شده، مناسب‌ترین الگوریتم سریع برای افزایش وضوح تصویر پلاک در پلاک‌خوانی زمان-حقیقی الگوریتم شبکه عصبی کانولوشنال زیر-پیکسلی مؤثر است.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله راه‌حلی برای مشکل عدم وضوح تصویر پلاک و پلاک خیلی کوچک به دلیل فاصله در سیستم پلاک‌خوان عملی پیشنهاد شد. جدیدترین روش‌های سوپر رزولوشن مبتنی بر یادگیری عمیق معرفی گردید شامل: شبکه سوپر رزولوشن لاپلاسین هرمی، شبکه عصبی کانولوشنال زیر-پیکسلی مؤثر، سوپر رزولوشن سریع شبکه عصبی کانولوشنال، شبکه سوپر رزولوشن عمیق بهبودیافته و سوپر رزولوشن بر اساس شبکه مقابله‌ای مولد. آموزش بر اساس بانک داده آموزشی شامل تعداد زیادی الگوی با رزولوشن بالا و الگوی با رزولوشن پایین برای پلاک‌های ایرانی انجام شد و تست گردید. الگوریتم شبکه عصبی کانولوشنال زیر-پیکسلی مؤثر به‌عنوان روشی سریع متناسب با کاربرد پلاک‌خوانی زمان-حقیقی از میان روش‌های مذکور به‌عنوان گزینه‌ای مطلوب جهت پیاده‌سازی تجاری برگزیده شد.

۶. سپاسگزاری

این مقاله تحت حمایت شرکت روشان طلوع شرق (گروه مهندسی تیکام) نگاشته شده است.

۷. پی‌نوشت‌ها

1. Intelligent Transportation System
2. Electronic Toll collection
3. Spatial Domain
4. Single-Frame
5. Multi-Frame
6. Learning
7. Reconstruction
8. Compensation
9. Registration
10. Fusion
11. Maximum a Posteriori
12. Generative adversarial network
13. Real-Time
14. Laplacian Pyramid
15. Robust Charbonnier loss functions
16. Efficient sub-pixel convolutional neural network
17. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)
18. Structural Similarity Index Measure (SSIM)

۸. مراجع

– M. Protter, M. Elad, H. Takeda, and P. Milanfar, "Generalizing the nonlocal-means to super-resolution reconstruction," IEEE Transactions on image processing, vol. 18, no. 1, pp. 36-51, 2008.

– V. Patanavijit, "Super-resolution reconstruction and its future research direction," in AU Journal of Technology (AU JT): Assumption University, 2009, pp. 149-163.

– K. Zhang, X. Gao, D. Tao, and X. Li, "Multi-scale dictionary for single image super-resolution," in 2012 IEEE Conference on

Computer Vision and Pattern Recognition, 2012, pp. 1114-1121: IEEE.
– S. Borman, "Topics in multiframe superresolution restoration," University of Notre Dame, 2004.
– J. Van Ouwerkerk, "Image super-resolution survey," Image and vision Computing, vol. 24, no. 10, pp. 1039-1052, 2006.
– C. Dong, C. C. Loy, and X. Tang, "Accelerating the super-resolution convolutional neural network," in European conference on computer vision, 2016, pp. 391-407: Springer.
– W. Shi et al., "Real-time single image and video super-resolution using an efficient sub-pixel convolutional neural network," in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016, pp. 1874-1883.
– W.-S. Lai, J.-B. Huang, N. Ahuja, and M.-H. Yang, "Deep laplacian pyramid networks for fast and accurate super-resolution," in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2017, pp. 624-632.
– B. Lim, S. Son, H. Kim, S. Nah, and K. Mu Lee, "Enhanced deep residual networks for single image super-resolution," in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops, 2017, pp. 136-144.
– K. V. Suresh and A. Rajagopalan, "A discontinuity adaptive method for super-resolution of license plates," in Computer Vision, Graphics and Image Processing: Springer, 2006, pp. 25-34.
– X. Chen and C. Qi, "A super-resolution method for recognition of license plate character using LBP and RBF," in 2011 IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing, 2011, pp. 1-5: IEEE.
– C.-H. Chuang, L.-W. Tsai, M.-S. Deng, J.-W. Hsieh, and K.-C. Fan, "Vehicle licence plate recognition using super-resolution technique," in 2014 11th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), 2014, pp. 411-416: IEEE.
– N. Hao, L. Fanghua, and R. Ruolin, "Image super-resolution via sparse coding for Chinese license plate recognition," in 2015 8th International Congress on Image and Signal Processing (CISP), 2015, pp. 944-948: IEEE.
– H. Seibel, S. Goldenstein, and A. Rocha, "Eyes on the target: Super-resolution and license-plate recognition in low-quality surveillance videos," IEEE access, vol. 5, pp. 20020-20035, 2017.
– M. Zhang, W. Liu, and H. Ma, "Joint License Plate Super-Resolution and Recognition in One Multi-Task Gan Framework," in 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2018, pp. 1443-1447: IEEE.

Evaluation of Super Resolution Methods to Increase Resolution of License Plate Images in License Plate Reader Systems

Najmeh Eghbal*, Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Sajjad University of Technology, Mashhad, Iran
Behzad G. Anaraki, PhD, Medical Engineering, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran
Farideh C. Shami, PhD, Electrical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

E-mail: najmeh.eghbal@sadjad.ac.ir

Abstract

Reading license plate has applicable role in intelligent transportation system. In law enforcement systems and electronic toll collection systems, if reading license plate does not correctly done, then negative feedback from drivers can be provided. There is some reason for no detection of license plate like: low resolution license plate and small license plate because of distance. To overcome this drawback, the goal of this paper is to increase resolution of license plate image. Super resolution can be cheap software solution. In this paper based on image processing and intelligent training, novel methods for image super resolution are compared to select the best one for license plate image super resolution. Input is a low resolution image and output is higher resolution image correspond with low resolution image. These methods, with the help of many low resolution and high resolution images, enables the ability to increase license plate reader accuracy under low resolution conditions.

Keywords: Intelligent Transportation System, Image Processing, Super Resolution, License Plate Reader Systems