

مروری جامع بر پردازش تصاویر آندوسکوپی: روش‌ها، کاربردهای کلینیکی، مزایا و معایب

عباس بی‌نیاز^۱ و رضا آقایی‌زاده ظروفی^۲

چکیده

آندوسکوپی روشی است که با کمترین مداخله‌ی تهاجمی رویت بخش‌های درونی بدن بیمار را برای پزشک تسهیل می‌کند. در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری در زمینه‌ی پردازش و مطالعه‌ی سیگنال‌های اکتسابی از دوربین آندوسکوپی و جراحی متمرکز شده‌اند. در پژوهش حاضر مروری جامع بر انواع تکنیک‌های پردازش تصاویر آندوسکوپی انجام خواهد شد و یک دسته‌بندی کلی از این روش‌ها ارائه می‌شود. به این منظور از پژوهش‌های موجود در پایگاه‌های اطلاعاتی از قبیل IEEE، Science Direct، Pub، Springer، SPIE، Medical Physics و استفاده شده است. در بخش ابتدایی این پژوهش، به منظور ایجاد نگرشی از مطالعات انجام شده، مقدمه‌ای بر آندوسکوپی و انواع روش‌های آندوسکوپی در پردازش تصاویر پزشکی نیز ارائه می‌شود؛ با توجه به تحقیقات و بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، چشم اندازهای موجود در پردازش تصاویر آندوسکوپی را به چهار رویکرد کلی تقسیم می‌کنیم: روش‌های مبتنی بر ارتقا کیفیت تصویر، روش‌های مبتنی بر پردازش بلادرنگ، روش‌های مبتنی بر ارزیابی کیفیت و روش‌های مبتنی بر مدیریت تصاویر؛ این دسته‌بندی یک دسته‌بندی نهایی نیست و هر کدام از این گروه‌ها، دارای زیرشاخه‌هایی هستند که ممکن است در مواردی بین آنها هم‌پوشانی نیز وجود داشته باشد.

کلیدواژه‌ها

پردازش تصاویر و ویدیوهای آندوسکوپی، رویکردهای با کمترین مداخله‌ی تهاجمی، انواع روش‌های تصویربرداری حوزه‌ی آندوسکوپی، کاربردهای کلینیکی آندوسکوپی.

۱ مقدمه

تصویربرداری از بیمار یکی از موثرترین روش‌هایی است که سال‌هاست مورد استفاده قرار می‌گیرد. تصویربرداری ام‌آر‌آی،

این مقاله در شهریور ماه سال ۱۳۹۸ دریافت، در فروردین ماه سال ۱۳۹۹ بازنگری و در اردیبهشت ماه همان سال پذیرفته شد.

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی کامپیوتر و برق، دانشگاه تهران.

رایانامه: abbas.biniarz@ut.ac.ir

^۲ دانشکده مهندسی کامپیوتر و برق، دانشگاه تهران.

رایانامه: zorooofi@ut.ac.ir

رادیوگرافی^۱، سی‌تی‌اسکن^۲، آلتراسوند^۳ جزء رایج‌ترین روش‌هایی است که در بعد پاراکلینیکی پزشک را یاری می‌دهد [۱][۲]. اما هیچ‌کدام از روش‌های فوق، تصویری واضح و مشخص از ظاهر اعضا داخلی بدن ارائه نمی‌دهد؛ در این میان تصویربرداری آندوسکوپی روش تشخیصی بسیار مناسبی است که امکان مشاهده‌ی بخش‌های داخلی بدن را میسر می‌کند؛ حتی به کمک ابزار آندوسکوپی موجود می‌توان از بافت نیز حین مداخله نمونه‌برداری^۴ کرد [۳][۴]؛ در ادامه این روش تصویربرداری بیشتر معرفی می‌شود.

^۱ Radiography

^۲ Computed Tomography scan (CT scan)

^۳ Ultrasound

^۴ Biopsy

۱-۱ آندوسکوپی

امروزه در پزشکی رویکردهای با کمترین مداخله تهاجمی^۱ اهمیت بسیاری دارند و آندوسکوپی بیمار، نقش تعیین کننده‌ای در انجام این مهم دارد. این روش برای اولین بار در سال ۱۸۰۶ استفاده شد [۵]. در مقایسه با جراحی باز^۲ این روش صدمه‌ی بسیار کمتری به بدن بیمار وارد می‌کند، که یکی از مهم‌ترین مزایا در رویکرد با کمترین مداخله‌ی تهاجمی^۳ (MIS) است. آندوسکوپی، دیدن بخش‌های داخلی بدن را ممکن می‌سازد و آندوسکوپ (که تلسکوپ نیز نامیده می‌شود) شامل منبع نور و لنزی (با تراشه‌ی CCD^۴ یا CMOS^۵) است که تماشای بخش‌های داخلی بدن را توسط یک دوربین تک چشمی یا دو چشمی (استریوسکوپ^۶) ممکن می‌سازد (شکل ۱).



شکل ۱: انواع آندوسکوپ‌های موجود؛ تصویر بالا، از چپ به راست: آندوسکوپ تک چشمی^۷ با زاویه‌ی صفر و ۳۰ درجه نسبت به محور و آندوسکوپ دو چشمی^۸؛ تصویر پایین: یک نمونه آندوسکوپ جداپذیر [۷].

استفاده از دوربین تک چشمی با زاویه‌ی صفر درجه، زاویه‌ی دید کمی به پزشک می‌دهد؛ استفاده از دوربین اریب، در زمان دوران آندوسکوپ، دید فضایی بهتری به پزشک می‌دهد [۴][۶][۷]. آندوسکوپ دارای مجرای برای ورود ابزار جراحی به بدن بیمار است و بر دو نوع‌اند: آندوسکوپ

انعطاف پذیر (برای کاربردهایی مانند مسیر گوارشی^۹ (GI) و مجاری تنفسی) و آندوسکوپ صلب (برای کاربردهایی همانند لاپاراسکوپی، آرتروسکوپی و جراحی‌های مغز) [۸][۹]. علاوه بر روش‌های سنتی آندوسکوپی، از ربات‌های جراح نظیر da Vinci و Olympus نیز استفاده می‌شود [۱۰].

۲-۱ انواع تکنیک‌های اسکوپ در پزشکی

روش‌های متفاوتی برای استفاده از ابزار آندوسکوپی وجود دارد و صرفاً به مفهوم عام آن برای سیستم گوارشی اطلاق نمی‌شود؛ این روش به صورت گسترده‌ای برای رویه‌ی اعضا داخلی بدن بکار می‌رود. معیارهایی که برای طبقه‌بندی کلی روش‌های آندوسکوپی در نظر گرفته می‌شود عبارتند از:

- ناحیه‌ی مورد کاربرد بدن (شکم، مفصل، سیستم گوارشی، ریه، سینه، بینی و غیره)
 - تخصص پزشکی (جراحی عمومی، مطالعه‌ی معده، جراحی استخوان و غیره)
 - تشخیص و درمان بیماری
 - ساختار منعطف یا غیر منعطف دستگاه آندوسکوپی
- با توجه به موارد کلی یاد شده، در ادامه انواع روش‌های متداول آندوسکوپی به اختصار معرفی می‌شود:
۱. آرتروسکوپی^{۱۰}: این روش برای آندوسکوپی مفاصل و استخوان‌ها استفاده می‌شود [۱۱].
 ۲. تراکوسکوپی^{۱۱}: برای مشاهده‌ی قفسه سینه کاربرد دارد [۱۲]؛ به منظور رویه‌ی مجاری تنفسی از روش برونکوسکوپی^{۱۲} استفاده می‌شود [۱۳].
 ۳. سیستوسکوپی^{۱۳}: نوع خاصی از آندوسکوپی است که اطلاعات مفیدی از مثانه می‌دهد [۱۴]؛ برای دسترسی به مجاری ادراری از کلیه تا مثانه (حالب^{۱۴})، روش یورتروسکوپی^{۱۵} استفاده می‌شود [۱۵]. ذکر این نکته ضروری است که کاربرد اصلی هیستروسکوپی^{۱۶} برای مشاهده‌ی سطوح داخل رحم است [۱۶].
 ۴. گاستروسکوپی^{۱۷}: این روش عموماً بعنوان آندوسکوپی شناخته می‌شود و منحصرأ به مشاهده‌ی قسمت فوقانی سیستم گوارشی شامل مری، معده و دوازدهه می‌پردازد [۱۷]؛ به آندوسکوپی از ناحیه‌ی مقعد و بررسی

⁹ Gastrointestinal Tract

¹⁰ Arthroscopy

¹¹ Thoracoscopy

¹² Bronchoscopy

¹³ Cystoscopy

¹⁴ Urethra

¹⁵ Urethroscopy

¹⁶ Hysteroscopy

¹⁷ Gastroscopy

¹ Minimally invasive intervention

² Open surgery

³ Minimally Invasive surgery

⁴ Charged Coupled Device

⁵ Completely Metal Oxide Semiconductor

⁶ Stereoscope

⁷ Monocular

⁸ Binocular

در پایان یادآوری می شود که استفاده از آندوسکوپی محدود به روش های فوق نیست و در مواردی مانند جراحی عصبی^{۱۲} مغز [۲۵]، مشاهده ی گوش، بینی و گلو^{۱۳} ENT (سینوسکوپی^{۱۴} یا لارنگوسکوپی^{۱۵}) [۲۸][۲۹] و جراحی غدد اشکی چشم نیز از آندوسکوپی استفاده می شود [۳۰].

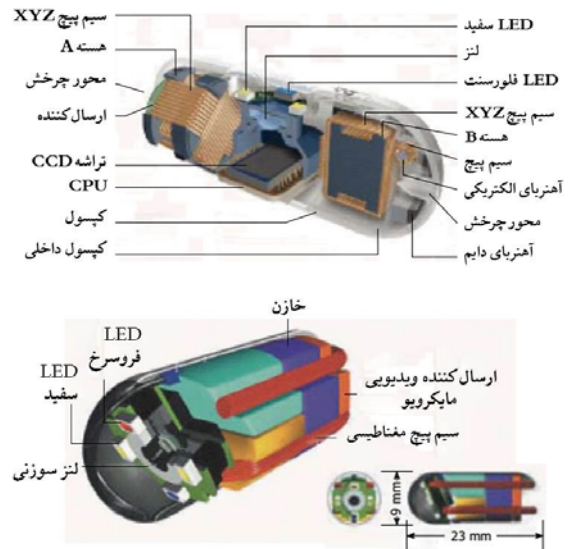
۳-۱ تشخیص بیماری به کمک آندوسکوپی

در فرایندهایی مانند کلونوسکوپی، گاستروسکوپی و یا کپسول WCE هدف اصلی این است که پزشک را در تشخیص بیماری، نرمال و یا غیرنرمال بودن بافت یاری داد [۳۱][۳۲]. الگوهای موجود در تصویر متناسب با بافت هایی مانند پلیپ ها، زخم ها، ورم و یا تومورها تشخیص داده می شوند و به کمک روش هایی مانند ماشین بردار پشتیبان (SVM^{۱۶}) و شبکه های عصبی ژرف (یادگیری عمیق^{۱۷}) طبقه بندی می شوند [۳۳][۳۴]. در یک مرحله قبل، ویژگی های تصاویر توسط روش هایی مانند ویولت یا الگوهای باینری محلی (LBP^{۱۸})، اطلاعات هندسی خروجی از تصاویر ناحیه بندی، فضاها رنگ مختلف، شبکه های عصبی عمیق یا الگوریتمی ترکیبی از روش های موجود، استخراج می شود. ویژگی های مختلف استخراج شده به کمک روشی مانند تحلیل و بررسی مولفه های اصلی (PCA^{۱۹}) یا شبکه های عصبی عمیق کاهش بعد داده می شود. سیستم هایی که در تشخیص این امر کمک می کنند را CAD^{۲۰} می گویند؛ این سیستم ها بلادرنگ هستند و در صورتی که پزشک ساختاری مشکوک را نادیده بگیرد آن ناحیه را مجدداً برای بررسی و یا نمونه برداری^{۲۱} بیشتر به پزشک پیشنهاد می دهد. با توجه به بلادرنگ بودن CAD، در صورتی که این روش بعنوان یک روش پس پردازشی و بعد از مداخله مورد استفاده قرار گیرد، دیگر پزشک قادر به انجام عکس العملی نخواهد بود [۳۵][۳۶][۳۷]؛ البته از CAD بعنوان یک روش پس پردازشی بعد از اکتساب داده (در کاربردهایی نظیر کپسول WCE)، برای شناسایی پلیپ ها و تومورها، تشخیص خونریزی و غیره نیز استفاده می شود [۳۸][۳۹].

در ادامه ی این گزارش، مروری جامع بر انواع تکنیک های پردازش تصاویر آندوسکوپی خواهد شد و یک دسته بندی کلی از این روش ها ارائه می شود.

راست روده و روده ی بزرگ، کولونوسکوپی^۱ می گویند [۱۸]. شایان ذکر است که بررسی بخش انتهایی روده ی بزرگ و مقعد تحت عنوان سیگموئیدوسکوپی^۲ شناخته می شود [۱۹].

۵. آندوسکوپی کلی مسیر گوارشی با کپسول بی سیم آندوسکوپی^۳ WCE: از لحظه ی بلعیدن کپسول تا زمان دفع تمام مسیر گوارشی را به تصویر می کشد [۲۰].



شکل ۲: کپسول های آندوسکوپی SAYAKA (تصویر بالا) و NORIKA (تصویر پایین) [۲۱].

۶. لاپاراسکوپی^۴: شامل کاربردهای وسیعی نظیر جراحی عمومی، اطفال، رویت بخش داخلی شکم و لگن، بیماری های زنان و مجاری ادراری است؛ اعمالی مانند کله سیستکتومی^۵ (برداشتن کیسه صفرا) [۲۲]، نفرکتومی^۶ (برداشتن کلیه) [۲۳] و پروستاتکتومی^۷ (برداشتن پروستات) [۲۴] در این حوزه اند.

۷. اندومیکروسکوپی هم کانون^۸: تصاویری با وضوح بالا از سطوح سلولی می دهد که در مراحل بعدی با دوختن تصاویر^۹ به هم وسعت دید افزایش می یابد [۲۵].

۸. آندوسکوپی مجازی^{۱۰}: در این روش پزشک با ناوبری سه بعدی در برش های^{۱۱} CT، بیماری ها و بافت هایی مانند پلیپ ها را شناسایی می کند [۲۶][۲۷].

¹² Neurosurgery

¹³ ENT (ear, nose, throat)

¹⁴ Sinuscopy

¹⁵ Laryngoscopy

¹⁶ Support Vector Machines

¹⁷ Deep Learning

¹⁸ Local Binary Patterns

¹⁹ Principal Component Analysis

²⁰ Computer Aided Diagnosis

²¹ Biopsy

¹ Colonoscopy

² Sigmoidoscopy

³ Wireless Capsule Endoscopy

⁴ Laparoscopy

⁵ Cholecystectomy

⁶ Nephrectomy

⁷ Prostatectomy

⁸ Confocal endomicroscopy

⁹ Mosaicing

¹⁰ Virtual endoscopy

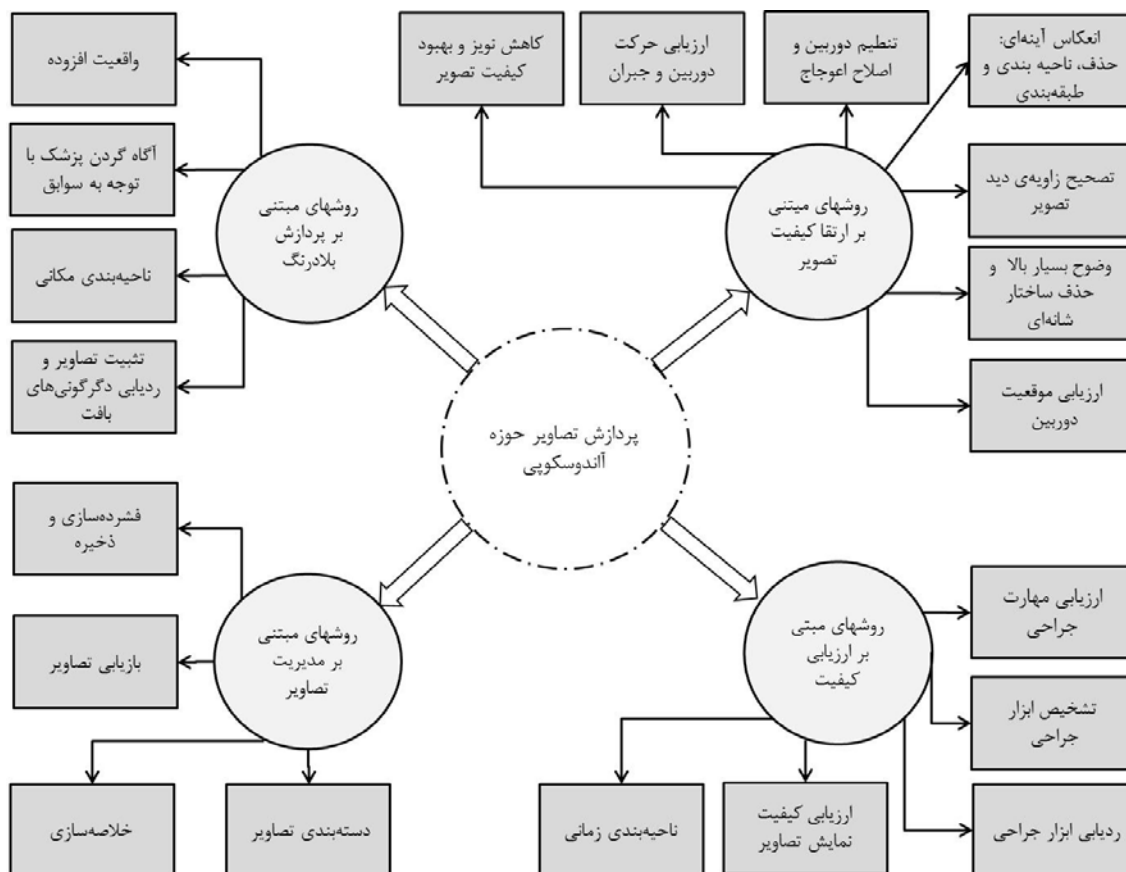
¹¹ Slice

چشم‌اندازهای موجود در پردازش تصاویر آندوسکوپی را به چهار رویکرد کلی مطابق شکل ۳ تقسیم می‌کنیم:

- روش‌های مبتنی بر بهبود و ارتقا تصویر
- روش‌های مبتنی بر پردازش بلادرنگ
- روش‌های مبتنی بر ارزیابی کیفیت تصاویر
- روش‌های مبتنی بر مدیریت تصاویر

۱-۴ تقسیم‌بندی پژوهش‌های اخیر در حوزه آندوسکوپی

در این بخش به بررسی پژوهش‌های انجام شده به منظور تحلیل و بررسی جامع داده‌های آندوسکوپی می‌پردازیم. با توجه به تحقیقات و بررسی‌های انجام شده در این پژوهش،



شکل ۳: بلوک دیاگرام رویکردهای موجود در پردازش تصاویر آندوسکوپی با توجه به بررسی‌های انجام شده در پژوهش‌های اخیر.

همزمان تصویر را می‌بیند، بنابراین الگوریتم‌های مورد استفاده باید ساده و سریع باشند تا جوابگوی کثرت فریم‌ها باشند. البته روش‌های موجود در این دسته بر روی ویدیوهای بلادرنگ نیز کاربرد دارند.

۲-۱ کاهش نویز و بهبود کیفیت تصویر

کمبود منابع نور و تابش غیریکنواخت نور یکی از منابع ایجاد نویز در تصاویر جراحی به کمک آندوسکوپ‌های معمولی و استریو هستند [۴۰]. همچنین بدلیل محدودیت‌های حجم و توان کپسول WCE، تصاویر مسیر گوارشی، دارای روشنایی پایین و غیر یکنواخت، بشدت فشرده و بدلیل وجود تراشه‌ی سنسور دوربین CMOS نویزی هستند [۴۱][۴۲]؛ برای حل این مشکل از روش فیلتر

زیر شاخه‌های دسته‌بندی فوق همپوشانی زیادی دارند و یک دسته‌بندی نهایی نیست و ممکن است روش‌های پیش‌پردازشی نیز در حالت پردازش بلادرنگ مورد استفاده قرار بگیرد؛ بعنوان مثال، ممکن است از تصاویر ام‌آر‌آی، CT یا آلتراسوند که قبلاً پردازش شده در مبحث واقعیت افزوده^۱ حین عمل بیمار یا هرگونه مداخله استفاده شود.

۲ روش‌های مبتنی بر ارتقا کیفیت تصویر

در ادامه روش‌های پیش‌پردازشی موجود که کیفیت تصاویر آندوسکوپی را بهبود می‌دهند بررسی می‌شود؛ تمرکز بیشتر بر روی روش‌های مبتنی بر بهبود و ارتقا تصویر در ویدیوهای آندوسکوپی است. نکته مهم این‌که هرگونه عملیات پیش‌پردازشی در لحظه انجام می‌شود و پزشک بطور

¹ Augmented Reality

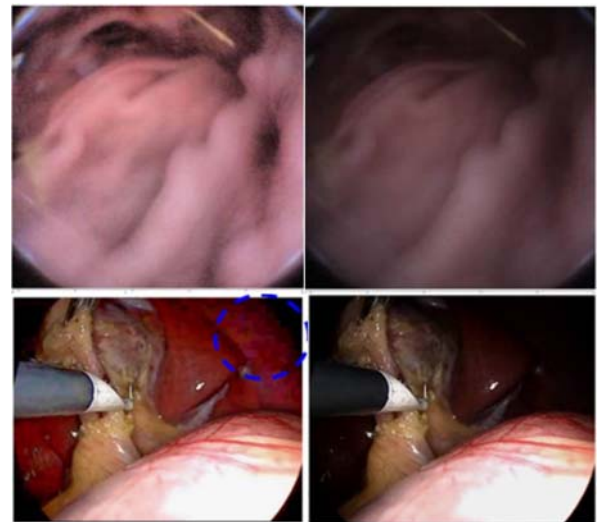
(GAN^۸) بدون سرپرست [۴۹] استفاده شده است. بطور کلی تمرکز سایر پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی بهبود کیفیت تصاویر آندوسکوپی شامل موارد زیر است:

- تنظیم خودکار کنتراست تصاویر: به کمک خوشه‌بندی و تغییرات هیستوگرام (روش‌های مبتنی بر روشنایی پیکسل) [۵۰] [۵۱].
- حذف نویزهای زودگذر مانند ذرات ریز معلق و دوده‌های پرسرعت: که در یک لحظه‌ی کوتاه ظاهر می‌شوند به کمک فیلتر میانه‌ی رنگ و یا استفاده از فیلترهای فرکانسی برای تاکید بیشتر روی لبه‌ها و یا مات کردن (روش‌های مبتنی بر فیلترینگ) [۵۲] [۹].
- نرمال سازی رنگ با استفاده از تبدیلات آفین^۹: برای حذف سایه‌های سرخی خون در طول مداخله‌های درمانی و داشتن رنگ طبیعی‌تر و یا استفاده از فضای شبه‌رنگ و در موارد خاص، استفاده از رنگ‌های ساختگی [۵۲].
- اصلاح اختلاف رنگ سیگنال‌های B و G، R: بیشتر آندوسکوپ‌های رنگی دارای تراشه‌ی اصلاح رنگ هستند اما در آندوسکوپ‌هایی که تراشه‌های تکرنگ دارند، باید فیلترهای پردازشی مخصوص به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی اعمال شوند [۵] [۵۳].

۲-۲ ارزیابی حرکت دوربین و جبران آن

حرکات دوربین در مواردی که ابزار جراحی یا ناحیه‌ی خاصی از بدن ردیابی می‌شوند باید در نظر گرفته شود تا اثر سوئی در ردیابی ایجاد نکند به این منظور جبران حرکات دوربین بعنوان یک گام پیش‌پردازشی ضروری است. هرچند تخمین حرکات دوربین در جراحی‌های لاپاراسکوپی، پیچیدگی‌های خاصی وجود دارد. این پیچیدگی‌ها بواسطه‌ی عواملی مانند تنفس بیمار، سطوح همگن در زمان بزرگنمایی بافت، حرکات ابزار جراحی و تاثیر آنها در جابجایی بافت و تغییرات فیزیکی و یا انقباض بافت است [۵۴] [۵۵]. در برخی پژوهش‌های حوزه‌ی گوارش ذکر شده است که در آندوسکوپی WCE، علاوه بر حرکات تصادفی کپسول، ساختار مسیرگوارشی نیز مستقل از وضعیت و فیزیک بدن، حرکات دودی و موضعی^{۱۰} خاص خود را دارد [۴۳]؛ در این موارد از روش‌های نرم‌افزاری تثبیت تصاویر^{۱۱} برای اصلاح حرکات دوربین استفاده شده است [۵۶] [۵۷]. استفاده از کپسول با هدایت مغناطیسی نیز یک روش سخت‌افزاری مطمئن برای تنظیم دقیق حرکات، زاویه و جهت دوربین است [۵۸] [۵۹].

انتشار تطبیقی^۱ استفاده می‌شود [۴۳]؛ به منظور بهبود کیفیت تصاویر کپسول آندوسکوپی در مواردی از چند تصویر متفاوت یک صحنه استفاده می‌شود اما در روش AGIE^۲ با استفاده از تصویر راهنما و تبدیل تقسیم توان^۳، ابتدا شدت روشنایی تمام فریم‌ها ارزیابی می‌شود سپس تصاویر با شدت روشنایی ضعیف بهبود می‌یابند [۴۴]. در زمینه‌ی جراحی لاپاراسکوپی نیز در شرایط نوری کم، رویت ابزار جراحی برای پزشک دشوار است و نواحی تاریک، نسبت سیگنال به نویز کمتری نیز دارند؛ به منظور بهبود کیفیت، نواحی با روشنایی متفاوت شناسایی شده، سپس لایه‌ی روشنایی و لایه‌ی جزئیات تصویر به صورت مجزا پردازش می‌شوند و توسط معیار بهبود^۴، غیر یکنواختی نور در تصویر مورد نظر اصلاح می‌شود (شکل ۴) [۴۰].



شکل ۴: بهبود کیفیت تصویر در کپسول بی سیم (ردیف اول) و جراحی لاپاراسکوپی (ردیف دوم) [۴۴] [۴۰].

یکی دیگر از منابع نویز در تصاویر آندوسکوپی، دود ایجاد شده در جراحی با کمترین مداخله تهاجمی (MIS^۵) ناشی از سوزاندن الکتریکی یا لیزری بافت است که فرایند CAS^۶ را مختل کرده و دید مطلوبی برای پزشک بخصوص در ویدیو بلادرنگ ایجاد نمی‌کند؛ دود ایجاد شده در سایر اعمال پس‌پردازشی مانند ناحیه‌بندی، ردیابی ابزار جراحی و بازسازی عمل نیز اختلال ایجاد می‌کند [۴۵] [۴۶]. به منظور حذف این عارضه از مدل‌سازی فیزیکی دود به روش‌های ریاضیاتی [۴۷]، شبکه‌های عصبی کانوالوشنی مبتنی بر رمزگذار-رمزگشا^۷ [۴۸] و یا از شبکه‌های مولد متخاصم

¹ Adaptive contrast diffusion filter

² Adaptive guide Image based Enhancement

³ Fraction-power transform

⁴ Enhancement criteria

⁵ Minimally Invasive Surgery

⁶ CAS: Computer Assisted Surgery

⁷ Encoder-decoder

⁸ Generative Adversarial Network

⁹ Affine transformation

¹⁰ Peristalsis

¹¹ Image Registration

الگوریتم‌های استخراج ویژگی را نیز مختل می‌کند. برای رفع آن ابتدا به کمک روش‌هایی مانند ناحیه‌بندی و طبقه‌بندی، بخش‌های با شدت نور بیشتر شناسایی می‌شوند و با روش‌های مبتنی بر یادگیری ژرف^۴ اصلاح می‌شوند [۶۴][۶۵]: روش‌هایی مانند تحلیل و بررسی هیستوگرام، عملگرهای آستانه‌گیری و مورفولوژیکی نیز در اینجا کاربرد دارند؛ در برخی پژوهش‌ها از محیط‌های رنگ مختلف مانند RGB^۵، YUV^۶، HSV^۷ و HSI^۸ برای شناسایی مناطق دارای سطح اشباع کم استفاده شده است. در گام بعدی مناطق استخراج شده به صورت واقعی گونه‌ای اصلاح می‌شوند (شکل ۶): به این منظور دو روش پیشنهاد می‌شود [۵۱][۶۵][۶۶]:



شکل ۶: حذف اثر انعکاس آینه‌ای [۶۵].

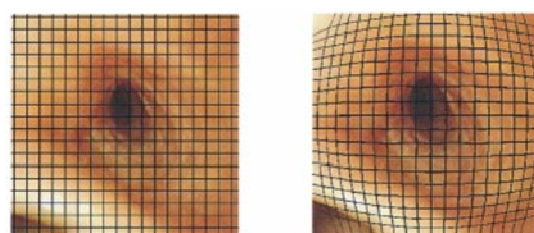
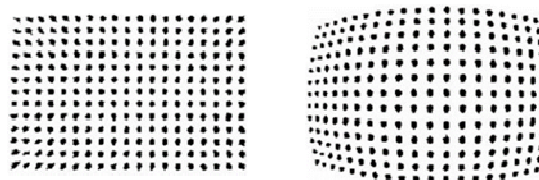
روش اول: تنها از اطلاعات فریم فعلی استفاده می‌شود و از پیکسل‌های همسایه و روش‌های مختلف درون‌یابی بهره می‌برند؛ به این منظور پیکسل‌های پرنور، توسط پیکسل‌های مرکزی همسایه جایگزین و توسط یک فیلتر گوسی مات شده و به این ترتیب اطلاعات مکانی^۹ ادغام می‌شوند؛ به این روش inpainting نیز گفته می‌شود و اخیراً کاربرد زیادی در ترمیم تصاویر^{۱۰} دارد [۶۷][۶۶].

روش دوم: از اطلاعات فریم‌های قبلی و بعدی نیز می‌توان استفاده کرد زیرا مجموع این فریم‌ها اطلاعات رنگ صحیح‌تری را با ادغام اطلاعات زمانی^{۱۱} ارائه می‌دهند. ایده‌های متفاوتی در این روش پیشنهاد شده است که نسبت به روش اول پیچیدگی بیشتری دارند اما کمک بیشتری به بازسازی رنگ‌های واقعی می‌کنند. این روش در جاهایی که حرکت سریع است یا شرایط نوری بطور مداوم تغییر می‌کند چندان کاربردی نیست [۶۸].

۲-۳ تنظیم دوربین و اصلاح اعوجاج تصویر

برای اینکه آندوسکوپ زاویه دید بیشتری داشته باشد از لنزهای مشابه چشم ماهی استفاده بشود. از طرفی بدلیل اندازه‌ی کوچک لنز، اعوجاج هندسی غیرخطی، (اعوجاج شعاعی یا اعوجاج بشکه^۱) در آندوسکوپ‌های دید از روبرو رخ می‌دهد؛ در این اعوجاج اشیا واقع در وسط تصویر بزرگنمایی می‌شوند و خط‌های راست انحنا پیدا می‌کنند [۶۰][۶۱]. به منظور رفع این اعوجاج، یک شبکه‌ی مربعی از نقاط استفاده می‌شود که نهایتاً تصویری دارای اعوجاج بدست می‌آید؛ در مرحله‌ی بعد با محاسبه‌ی پارامترهای تصویر دارای اعوجاج نسبت به تصویر اصلی تنظیم شده، تبدیل لازم برای اصلاح تصاویر آندوسکوپی دارای اعوجاج به کمک نگاشت چند جمله‌ای و تخمین کمترین مقدار مربعی بدست می‌آید [۶۲].

برای افزایش زاویه‌ی دید دوربین، از آندوسکوپ‌های اریب استفاده می‌شود که تنظیم آنها پارامترهای پیچیده‌تری دارد. در این روش استفاده از صفحه‌ی شطرنجی نتیجه‌ی بهتری برای بهبود اعوجاج شعاعی دارد (شکل ۵)؛ به منظور بهبود سرعت و زمان عملکرد الگوریتم در پردازش بلادرنگ از عملکرد CPU و GPU به صورت موازی استفاده می‌شود [۶۰].



شکل ۵: ستون اول (راست) تصویر دارای اعوجاج؛ ستون دوم تصویر اصلاح شده برونکوسکوپی [۶۳].

۲-۴ انعکاس آینه‌ای: حذف، ناحیه‌بندی و

طبقه‌بندی

انعکاس آینه‌ای^۳ ناشی از انعکاس نور بر روی سطوح خیس بافت است و علاوه بر اثرات نامطلوب بر چشم انسان، عملکرد الگوریتم‌های پردازش تصویر مانند لبه‌یاب‌ها و

⁴ Deep Learning

⁵ Red, Green, Blue

⁶ Y: Luma component, U and V: Chrominance components (red and blue projection respectively)

⁷ Hue, Saturation, Value

⁸ Hue, Saturation, Intensity

⁹ Spatial information

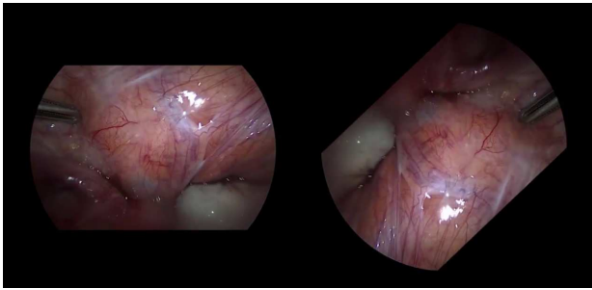
¹⁰ Image restoration

¹¹ Temporal information

¹ Calibration

² Barrel distortion

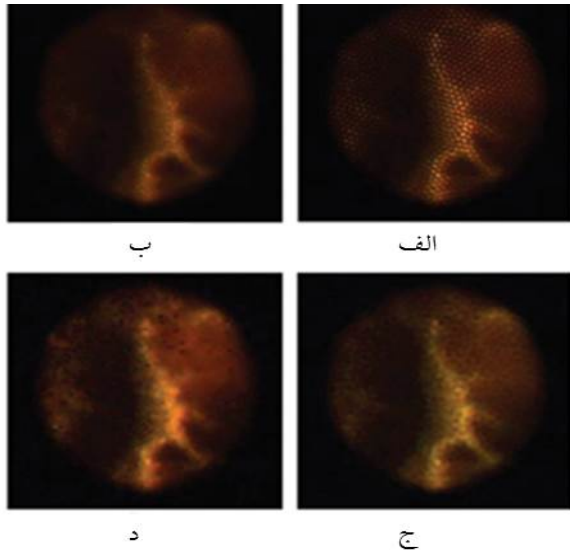
³ Specular reflection



شکل ۸: چرخش به سمت بالای تصویر [۷۲].

۲-۶ وضوح بسیار بالا^۷ و حذف ساختار شانه‌ای^۸

اهمیت وضوح بسیار بالا برای رویت بعضی بافت‌ها (همانند ساختارهای مخاطی) و کمک به تشخیص بهتر پزشک در هنگام بزرگنمایی است [۷۶]. وضوح بسیار بالا در قالب ویدیوهای HD^۹ در بستری از مسیرهای فیبر نوری رخ می‌دهد. غالباً در این گونه تصاویر بخاطر ساختار ذاتی لانه زنبوری^{۱۰} فیبر نوری، پیکسل‌ها به صورت شطرنجی نمایش داده می‌شوند که به آن اثر ساختار شانه‌ای اطلاق می‌شود و اثرات بسیار نامطلوبی در ویژگی‌های مشاهده شده دارد (شکل ۹). برای رفع ساختار شانه‌ای روش‌هایی مانند فیلتر تاکید بر فرکانس بالا^{۱۱}، فیلتر میانه^{۱۲}، یکسان‌سازی هیستوگرام و ادغام پیکسل‌های همسایه^{۱۳} استفاده می‌شود [۷۷][۷۸].



شکل ۹: (الف) تصویر نوروبلاستوما ۱۴ دارای ساختار شانه‌ای، تصاویر بازسازی شده به کمک (ب) مات کردن گوسی، (ج) فیلتر فرکانسی، (د) ادغام همسایگی [۷۸].

۲-۵ تصحیح زاویه‌ی دید تصویر

استفاده از آندوسکوپ‌های اریب با شیب دوربین ۳۰ درجه معمولاً زاویه‌ی دید بیشتری را برای پزشک ایجاد می‌کند؛ نکته‌ی مهم این که با دوران آندوسکوپ، تصویر نیز دچار چرخش می‌شود و پزشک را در تشخیص جهت تصویر به اشتباه می‌اندازد. از دست رفتن اطلاعات امروزه یکی از مشکلات جراحی آندوسکوپی از طریق حفره‌های طبیعی بدن (NOTES^۱) است [۶۹]. در بعضی از پژوهش‌ها به کمک سخت‌افزاری گرانشی، که جلوی دوربین نصب می‌شود و به کمک پردازش تصویر زاویه‌ی دید پزشک را افزایش داده‌اند [۷۰]؛ در این روش تصاویر ویدیوهای های قبلی ثبت می‌شود و وسعت دید افقی بیشتری را از طریق مکان‌یابی و نگاشت همزمان (SLAM^۲) ارائه می‌کند (این عمل شبیه به دوختن تصاویر^۳ به همدیگر یا خلاصه‌سازی^۴ است) (شکل ۷)؛ البته کاربرد سخت‌افزارهای بیشتر محدودیت‌های خاص خود را نیز دارد [۷۱].



شکل ۷: تصحیح زاویه‌ی دید آندوسکوپ در تصویر آپاندیس [۷۱].

در بعضی پژوهش‌ها به کمک نگاشت ویژگی‌هایی مانند SIFT^۵ و SURF^۶ و در برخی با ردیابی ویژگی‌های فضای دوبعدی و شناسایی گوشه‌ها، تصویر را بگونه‌ای می‌چرخانند که به سمت جهت بالای طبیعی صحنه برگردانده شود (شکل ۸) [۷۲]. دو عملگر SIFT و SURF، جزئی از شناساگرها و توصیف‌گرهای مبتنی بر انطباق ویژگی هستند [۷۳]. SIFT گوشه‌ها و نقاط تصویر را پیدا می‌کند؛ این روش نسبت به تغییرات روشنایی، مقیاس، چرخش و نویز در تصویر مقاوم است [۷۴]. SURF به لحاظ سرعت نسخه‌ی ارتقا یافته‌ی SIFT است [۷۵].

⁷ Super resolution
⁸ Comb structure
⁹ High Definition
¹⁰ Honeycomb structure
¹¹ High boost filtering
¹² Median filter
¹³ Spatial incorporation
¹⁴ Neuroblastoma

¹ Natural Orifice Transluminal Endoscopy Surgery
² Simultaneous Localization And Mapping
³ Image stitching or image mosaicing
⁴ Summarization
⁵ Scale Invariant Feature Transform
⁶ Speed Up Robust Features

۲-۷ ارزیابی موقعیت دوربین

زمانی که دوربین خارج از بدن بیمار است لزومی به ضبط و آرشیو تصاویر نیست. در صورتی که دوربین کثیف و یا در طول عمل جراحی مه گرفته است و یا زمانیکه که کپسول گاز CO₂ خالی از گاز می‌شود دوربین را از بدن خارج و تمیز می‌کنند. در یکی از پژوهش‌ها از ویژگی‌های فضای رنگ برای تشخیص فریم‌های خارج از بدن بیمار استفاده می‌کنند این ویژگی‌ها شامل متوسط رنگ قرمز، متوسط نرمال شده‌ی رنگ قرمز و متوسط نرمال شده‌ی تجمع‌ی رنگ قرمز است و با دقت مناسبی فریم‌های ویدیو را تقطیع می‌کند؛ اگرچه انتخاب این ویژگی‌ها در سایر روش‌های آندوسکوپی مثلاً لاپاراسکوپی ممکن است چندان مناسب نباشند [۷۹][۸۰]. در سال‌های اخیر ارزیابی موقعیت دوربین کپسول آندوسکوپی از طریق طبقه‌بندی بخش‌های مختلف مسیر گوارشی و با تکیه بر روش‌های مبتنی بر شبکه‌های کانوالوشنی نیز صورت گرفته است [۸۱].

۳ روش‌های مبتنی بر پردازش بلادرنگ

پردازش اطلاعات برخط، همزمان با انجام آندوسکوپی اغلب شامل رویکردهای مبتنی بر جراحی به کمک کامپیوتر (CIS^۱) است [۸۲][۸۳]. این روش‌ها شامل موارد زیر است.

۳-۱-۱ واقعیت افزوده

این روش‌ها به صورت غیرفعال و فعال (مبتنی بر ناوبری به کمک تصاویر CT، MRI، PET^۲ و سونوگرافی قبلی و یا در حین عمل) و با استفاده از ربات‌های جراح برای بالا بردن دقت پزشک، در کاربردهای پیچیده می‌باشد. تکنیک‌های بینایی کامپیوتر شامل تشخیص و ردیابی اشیاء، تثبیت تصاویر و بازسازی سه‌بعدی از ملزومات واقعیت افزوده است و در جراحی به کمک کامپیوتر (CAS^۳) کاربرد دارند [۸۴][۸۵].

اضافه کردن اجزا مجازی تولید شده‌ی کامپیوتری به تصاویر واقعی تحت عنوان واقعیت افزوده (AR^۴) شناخته می‌شود. اولین مداخله‌ی AR برای جراحی در سال ۱۹۸۶ اتفاق افتاد؛ اخیراً کاربرد AR در تصاویر آندوسکوپی به شدت مورد توجه واقع شده، هر چند AR در صنعت اتومبیل سازی و بازی‌های کامپیوتری نیز پرکاربرد است [۸۶][۸۷].

۳-۲ آگاه کردن پزشک با توجه به سوابق^۵

همانطور که گفته شد واقعیت افزوده کاربردهای متنوعی برای پزشک در شرایط مختلف ایجاد می‌کند. علیرغم تمام مزایای موجود، اطلاعات اضافه بیش از حد می‌تواند پزشک را از کار اصلی خود باز دارد. هدف این است که خدمات متناسب با عمل جراحی شامل هشدارها، اشارات یا اطلاعات اضافه در شرایط خاص جراحی ارائه شود؛ بعضی از پژوهش‌ها برای شناسایی موقعیت فعلی جراحی از روش‌های آماری مانند مدل تصادفی مارکوف، و یا روش‌هایی مبتنی بر یادگیری ژرف، استفاده می‌کنند [۸۸]. بنابراین این رویکردها، شرایط مشابه عمل فعلی را پیدا می‌کند و عملکرد سایر پزشکان در این شرایط را به پزشک اطلاع می‌دهد، و بعضی نکات ریز جراحی مانند نحوه قرار دادن سوزن، نحوه کشیدن و موقعیت آن را نیز به پزشک اعلام می‌کند. سایر اطلاعات کلی شامل داده‌هایی در مورد حجم ویدیو، مدت زمان عمل، میزان آب برای شستشو، فشار دی اکسید کربن و یا سیگنال برای هشدار انعقاد خون نیز در اختیار پزشک قرار می‌گیرد [۸۹].

۳-۳ ناحیه‌بندی مکانی

تصاویر HD کمک زیادی در تشخیص و درمان بیماری‌ها می‌کند از طرفی کیفیت و حجم مناسب این تصاویر، بار محاسباتی را افزایش می‌دهد که یک نقص است. مثلاً در فرایند ناوبری کلونوسکوپی برای تشخیص سرطان بسیاری از فریم‌ها دارای اطلاعات مفید نیستند یا بعضی نواحی فریم حاوی اطلاعات غیر مفید (NIR^۶) است. بنابراین با پردازش مکانی تصاویر و شناسایی نواحی حاوی اطلاعات غیرمفید، می‌توان تحلیل و بررسی داده‌ها را تسریع کرد و دقت را افزایش داد. ناحیه‌بندی تصاویر پزشکی حوزه‌ی آندوسکوپی در سال‌های اخیر بیشتر با تکیه بر روش‌های مبتنی بر یادگیری عمیق انجام شده است و توفیقات قابل ملاحظه‌ای نیز حاصل شده است. استفاده از شبکه عصبی U-net در ترکیب با ResNet نتایج قابل قبولی را در ناحیه‌بندی نواحی آندوسکوپی، زخم‌های درموسکوپی^۷ و یا انواع پولیپ ارائه کرده است [۹۰][۹۱]. به منظور ناحیه‌بندی فریم‌های حاوی خونریزی از شبکه‌های کانوالوشنی در فضاها رنگی HSI، CIE-Lab^۸ و فضای رنگ خاکستری استفاده می‌شود [۳۹]؛ در مواردی برای ناحیه‌بندی خونریزی در تصاویر آندوسکوپی

⁵ Context aware

⁶ Non Informative Region

⁷ Dermoscopy

⁸ L: luminance, a: a channel, b: b channel, CIE: French Commission internationale de l'éclairage, hence its CIE initialism.

¹ CIS: Computer Integrated Surgery

² Positron Emission Tomography

³ CAS: Computer Assisted Surgery

⁴ Augmented Reality

بازسازی 3D (بخصوص در SfM^۴ و SLAM) و ایجاد تصاویر پانوراما است [۹۶][۹۷].

تثبیت تصاویر در آندوسکوپی بدلیل تغییر شکل بافت بسیار پیچیده‌تر از سایر موارد است، مثلاً در لاپاراسکوپی تغییر شکل بافت به چند دلیل عمده رخ می‌دهد: ۱- جابجایی اعضا بدلیل دمیدن گاز دی‌کسیدکربن با فشار به درون بدن ۲- حرکات متناوب و منظم ناشی از ضربان قلب (که البته با تبدیل فوریه بخوبی توصیف می‌شود) و حرکات ایجاد شده ناشی از تنفس بیمار، ۳- انبساط و انقباضات ماهیچه ای در طول مداخله، ۴- تقابل ابزار جراحی و بافت که باعث دگرگونی ساختار بافت می‌شود. ردیابی دگرگونی‌های بافت مبتنی بر تثبیت تصاویر یک چالش اساسی در روزرسانی و بازسازی مدل 3D بیمار پیش از عمل است و در مبحث واقعیت افزوده و جراحی‌های رباتیک نیز کاربرد دارد [۹۷][۵۶].

از روش DFT^۱ مبتنی بر ماتریس هم‌رخدادی^۲ و استخراج توصیف‌گرهای محلی و عمومی و اعمال آن به طبقه‌بند SVM نیز استفاده شده است [۹۲].

همچنین ناحیه‌بندی با تعریف حد آستانه برای نسبت فریم‌های موثر (حاوی اطلاعات) به غیرموثر (بدون اطلاعات)، پایه و اساس فیلترینگ زمانی است [۹۳]. بعنوان مثال، سرطان روده‌ی بزرگ، چهارمین عامل شایع در مرگ و میر است و شناسایی اولیه‌ی بیماری، تا ۹۵ درصد و شناسایی در مراحل بعدی تا ۳۵ درصد به بهبود بیمار کمک می‌کند؛ اما می‌توان با ناحیه‌بندی زمانی تصویر قدم‌های مثبتی در این زمینه برداشت. بطور مثال، در ناحیه‌بندی تصاویر کلونوسکوپی فریم‌هایی بدون اطلاعات هستند و به کمک خلاصه‌سازی می‌توان آن‌ها را حذف که: ۱- فوکوس لازم را ندارند، ۲- حاوی انعکاس ناشی از برخورد به دیواره‌ی کلون هستند، ۳- حاوی انعکاسات ناشی از شستشوی دیواره کلون هستند و لبه‌ی ساختگی ایجاد می‌کنند، و یا ۴- مات شدگی ناشی از حرکت دوربین دارند. به این ترتیب فریم‌های باقیمانده، یا حاوی اطلاعات مفیدی هستند و یا از آنها مطمئن نیستیم. به این منظور با استخراج فریم‌های حاوی اطلاعات مفید مکانی به کمک لبه‌یاب‌ها، عملگرهای مورفولوژیکی و آستانه‌گیری می‌توان به نتایج قابل قبولی رسید [۹۴][۹۰].

۳-۴ تثبیت تصاویر و ردیابی دگرگونی‌های

بافت

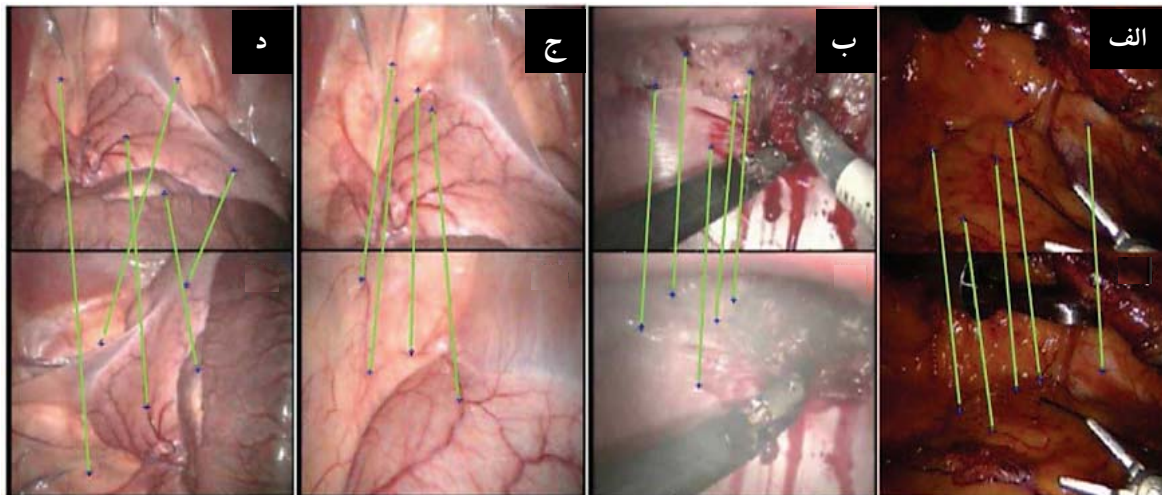
این‌که دو تصویر از یک صحنه را به یک مختصات مشترک نگاشت دهیم را تثبیت تصاویر گویند [۵۶]. برای نگاشت تصویر اول به تصویر دوم، لازم است مدل تبدیل مورد نظر را به کمک یک مساله‌ی بهینه‌سازی محاسبه کرد. یکی از کاربردهای تثبیت تصاویر، هم‌راستا کردن تصاویر حاصل از روش‌های مختلف تصویربرداری است؛ مثلاً تثبیت تصاویر CT سه‌بعدی (3D) قبل از جراحی بیمار با تصاویر دوبعدی (2D) اشعه X در طول فرایند عمل است [۹۵]. انواع تثبیت تصاویر به توجه به ابعاد تصویربرداری موجود عبارتند از تثبیت اسلایس‌های 2D، حجم‌های 3D و فریم‌های متوالی ویدیویی. گام مهم قبل از تثبیت تصویر، تنظیم دوربین است. یکی از بحث‌های مرتبط با تثبیت تصاویر ردیابی اهداف^۳ است؛ یعنی حرکت ناحیه مورد نظر را در طول زمان در فضای 2D یا 3D دنبال کنیم و دگرگونی‌های بافت را ردیابی کنیم. تخمین تکان‌های دوربین شامل جابجایی، چرخش و تغییر مقیاس، تکنیکی مهم برای

¹ Discrete Fourier Transform

² Co-occurrence matrix

³ Object tracking

⁴ Structure From Motion



شکل ۱۰: مقاوم بودن تثبیت تصاویر به (الف) تغییر شکل بافت، (ب) مات‌شدگی، (ج) تغییر مقیاس (د) چرخش [۹۷].

۴ روش‌های مبتنی بر ارزیابی کیفیت

این رویکردها بر روی برآوردی از کیفیت تصاویر آندوسکوپی تمرکز دارند و شامل تقسیم‌بندی‌هایی به شرح زیر است:

۴-۱ ارزیابی مهارت جراحی

برای یک پزشک جراح مجرب، بسیار طاقت‌فرسا خواهد بود که زمان زیادی را صرف ارزیابی مهارت‌ها و تمامیت فرایند جراحی بعد از عمل کند. بنابراین استفاده از روش‌های خودکار که نقاط قوت و ضعف جراحی را مشخص کند بسیار مفید است. این که جراح به چه میزان در کار خود خبره بوده است را با فاکتورهایی مانند مسیر جابجایی ابزار، طول مسیر، نرمی و یکنواختی حرکت و شتاب متوسط ابزار، اندازه‌گیری می‌کنند. بنابراین پروسه‌ی مداخله به بخش‌های کوچکی (به نام surgeme) تقسیم بندی می‌شود [۹۸][۹۹]؛ این کار شباهت زیادی به ناحیه‌بندی زمانی دارد و برای تشخیص هر کدام از بخش‌ها، می‌توان از مدل مخفی مارکوف استفاده کرد. معمولاً مدل مرجع برای ارزیابی، توسط یک متخصص آموزش داده می‌شود.

داده‌های بدست آمده از ربات جراح (یا شبیه‌ساز) و مسیر عبور ابزار جراحی ناشی از ردیاب نوری چندان دقیق نیست؛ از طرفی داده‌های حسی سنسور گشتاور و سنسور فشار، مهارت جراح را بخوبی ارزیابی نمی‌کند و بدست آوردن این داده‌ها نیز هزینه بردار بوده و برای ارزیابی کلی موثر نیست؛ اما برای آموزش پزشکان تازه کار، انجام شبیه‌سازی و جراحی به کمک ربات برای پزشکان مبتدی، مناسب است. همچنین به کمک ویدیو می‌توان اطلاعات تلویحی نسبت به ساختار آناتومیکی بدن و ابزار جراحی بدست آورد، بنابراین تشخیص ابزار جراحی و ردیابی آن، امری مهم و ضروری است [۱۰۰][۱۰۱].

در بحث تثبیت تصاویر و ردیابی دگرگونی بافت، مساله‌ی اصلی پیدا کردن نقاط متناظر و نگاشت این نقاط به همدیگر است؛ به این منظور علامت‌های مشخصه^۱ یکسانی در دو تصویر شناسایی می‌شود؛ این علائم می‌تواند، طبیعی (یعنی ویژگی‌های برجسته‌ی تصویر^۲ مانند اتصالات رگ‌ها) و مصنوعی (یا نشانه‌های قابل اعتماد^۳ مانند نشانه‌های رنگی بر روی هدف) باشد. در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که چگونه در شرایط مختلف علائم مشخصه‌ی مبتنی بر ناحیه شناسایی شده‌اند [۹۷][۵۶]. بازنمایی‌های مبتنی بر ناحیه^۴ در فضای تصویر، معمولاً به اندازه کافی واضح نیستند و در مقابل تغییرات روشنایی، انعکاسات و موانع چندان مقاوم نیستند؛ به این منظور بازنمایی‌های مبتنی بر ویژگی^۵ در فضای ویژگی، از اهمیت بالاتری برخوردارند که باعث پیدا کردن علائم مشخصه طبیعی بیشتر و اطلاعات خاص‌تر می‌شوند. همانطور که اشاره شد SIFT و SURF از انواع متداول توصیف‌گرهای ویژگی هستند و عمومیت آنها بدلیل عدم تغییر پذیری آنها نسبت به چرخش، تغییر مقیاس و مقاوم بودن آنها در مقابل نویز و تغییرات روشنایی است. تصاویر ویدیوهای آندوسکوپی بدلیل سطح یکنواخت و بافت غیر مشخص، دارای علائم مشخصه‌ی محدود هستند که ردیابی را دشوار می‌سازد؛ عواملی مانند موانع، انعکاسات آینه‌ای، دود ناشی از سوزاندن زخم، خون و مایعات نیز نقاط ردیابی را ناپدید می‌کنند؛ بنابراین یکی از چالش‌های موجود برای پژوهش‌های آینده ردیابی طولانی مدت و مقاوم^۶ ابزار جراحی است [۴۷][۵۱].

¹ Landmarks

² Salient image features

³ Fiducial markers

⁴ Region-based representation

⁵ Feature-based representation

⁶ Robust long-term tracking

۴-۲ تشخیص ابزار جراحی

ابزار جراحی اجسام صلب هستند و شکل آنها تغییرات کمی دارد بنابراین شناسایی و ردیابی آنها از بافت های نرم در جراحی با کمترین مداخله تهاجمی (MIS^۱) ساده تر است [۱۰۲]. در صورت دوران یا تغییر موقعیت آنها نسبت به آندوسکوپ تصویر آنها نیز تغییر می کند؛ از این خاصیت می توان برای گرفتن اطلاعات موقعیت سه بعدی آنها استفاده کرد. نکته ی دیگر رنگ بافت و ابزار جراحی است؛ نوک ابزار جراحی معمولاً فلزی و از جنس نقره است که حساسیت نسبت به تغییرات روشنایی و تابش نور ایجاد می کند و باعث تنوع رنگ بافت و نوک ابزار جراحی می شود. زمانی که پزشک بزرگنمایی دوربین را تغییر می دهد بافت و رنگ دریافتی تغییر می کند بنابراین شناسایی و ناحیه بندی ابزار جراحی چالش های خاص خود را دارد [۱۰۳]. بطور کلی می توان گفت شناسایی ابزار جراحی شامل دو مرحله است [۱۰۴]: **مرحله ی اول**، ناحیه بندی زمانی و طبقه بندی ویدیو به بخش های دارای محتوای مشابه؛ **مرحله ی دوم**، ناحیه بندی مکانی و طبقه بندی شات های مرحله قبل به ابزار جراحی و سایر نواحی. برخی روش های متداول ناحیه بندی ابزار جراحی عبارتند از [۱۰۳][۱۰۴][۱۰۵]:

- روش های ناحیه بندی بر اساس رنگ: در این روش برای تشخیص ابزار جراحی از فضای رنگ استفاده می شود؛ بعضی از محققان از نشانگرهای رنگ مصنوعی بر روی ابزار جراحی استفاده کرده اند؛ این روش بسیار سریع است و در مقابل تغییرات روشنایی مقاوم است ولی در هر جراحی نمی توان از نشانگرهای رنگی روی ابزار جراحی استفاده کرد.
- روش های ناحیه بندی بر اساس رنگ و ویژگی های بافت: در این روش یک بار ناحیه بندی به کمک ویژگی های رنگ و بار دیگر به کمک ویژگی های بافت انجام می شود؛ در مرحله ی بعد نواحی دارای همپوشانی کافی ادغام شده و مناطق دارای رنگ و بافت شبیه به ابزار جراحی، مشخص می شوند.
- روش های ناحیه بندی بر اساس لبه: تشخیص نواحی شامل خطوط راست به کمک تبدیل هاف که در مقابل تغییرات نور حساسیت کمی دارد و در مرحله ی بعد، ابزار جراحی از روی نواحی دارای رنگ و حرکت مشابه ناحیه بندی می شوند.
- روش های یادگیری مبتنی بر شبکه های عصبی کانولوشنی که با استخراج ویژگی های گلوگاهی^۲ نتایج قابل قبولی را ارائه می کنند.

۴-۳ ردیابی ابزار جراحی

ردیابی ابزار جراحی می تواند بر مبنای روش های نرم افزاری (مبتنی بر پردازش تصویر) یا سخت افزاری باشد که در ادامه به آنها اشاره می شود:

رویکرد سخت افزاری: در رویکرد سخت افزاری

می توان از برچسب های RFID برای تشخیص ورود یا خروج ابزار جراحی به داخل بدن استفاده کرد [۱۰۶]. استفاده از لیزر که روی سر ابزار جراحی نصب شده است و جایجایی ابزار را نسبت به بافت مشخص می کند نیز یک روش سخت افزاری است. محدودیت هایی از قبیل کاربردهای خاص، سازگاری زیستی و استریل کردن در این روش مطرح است؛ البته از حرکات جنبشی ربات می توان موقعیت ابزار را بدست آورد ولی در زمان اعمال فشار به بافت این دقت پایین می آید؛ در این روش موقعیت نسبی ابزار نسبت به بافت و فاصله ی آنها تا سطح بافت معمولاً با تابش لیزر اندازه گیری می شود [۱۰۷][۱۰۸].

رویکرد نرم افزاری: یکی از روش های نرم افزاری،

ناحیه بندی به کمک رنگ است و بگونه ای نواحی بدون رنگ را از زمینه جدا می کنند؛ روش دیگر استفاده ظاهر هندسی استوانه ای ابزار جراحی، کشف لبه ها و تقارن محور دسته ی ابزار جراحی است. فیلتر کالمن در مواردی برای ردیابی ابزار جراحی استفاده شده است و در شرایطی که سر ابزار به دلایلی در چند فریم محدود ناپیدا است عملکرد مناسبی دارد و به تغییرات سایز و شکل ابزار جراحی نیز مقاوم است. از تبدیل هاف نیز برای ردیابی ابزار جراحی استفاده می شود. در همه این روش ها چالش هایی از قبیل توزیع همگن رنگ، لبه های نامشخص، موانع دید، مات شدگی، انعکاس آینه ای، بزرگنمایی، تغییرات روشنایی، حضور ابزار جراحی متعدد، حضور دود، خون و مایعات مشاهده می شود. استفاده از رویکردهای مبتنی بر یادگیری به کمک شبکه های کانولوشنی در سال های اخیر مشکلات موجود را نسبتاً رفع کرده است [۹۸][۱۰۲].

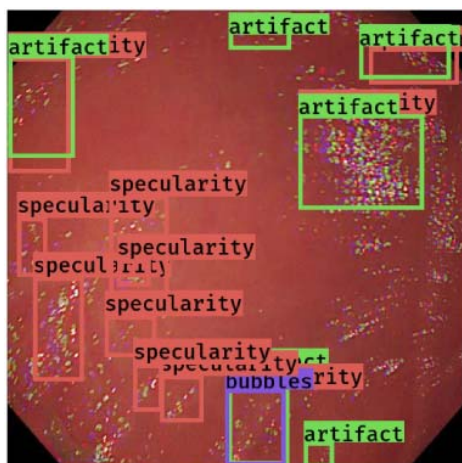
برای ردیابی 3D ابزار جراحی طبقه بندی کامل هر فریم

بسیار حایز اهمیت است [۱۰۹]. برای ردیابی و تخمین موقعیت سه بعدی ابزار جراحی از روی تصاویر استریو آندوسکوپی اجرای ۴ مرحله لازم است: ۱- تنظیم دوربین استریو، ۲- ناحیه بندی ابزار جراحی، ۳- تشخیص موقعیت و ردیابی سر ابزار جراحی، و ۴- بازسازی 3D سر ابزار جراحی؛ به این منظور اجزاء ابزار جراحی (مثل دسته، میچ و نوک ابزار) در قالب ویژگی های رنگ، لبه و بافت آموزش داده می شوند و به کمک طبقه بندی هایی مانند SVM و یا اخیراً با روش های مبتنی بر یادگیری ژرف، موقعیت ابزار جراحی را تخمین می زنند و ردیابی می کنند [۱۱۰][۱۱۱].

¹ Minimally Invasive Surgery

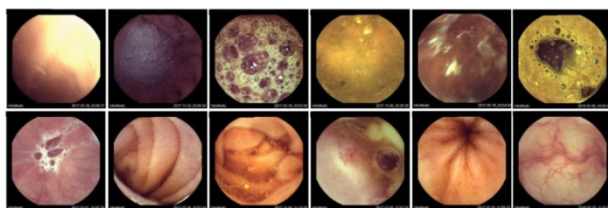
² Bottle-neck Features

مواد دفعی درون روده (که مانع دید غشا مخاطی و پلیپ‌های روده می‌شود) و محاسبه‌ی بخش تمیز شده از مواد دفعی (توسط ویژگی‌های رنگ) برای ارزیابی در نظر گرفته می‌شود. در مواردی هم درصدی از سطح بافت هدف که در مداخله بررسی شده است و یا نواحی که در جریان آندوسکوپی مورد بررسی قرار نگرفته است، محاسبه می‌شود [۱۱۲][۱۱۳]. شناسایی و مقایسه نواحی نرمال تصویر کپسول آندوسکوپی و ارزیابی آن با سایر نواحی مات، اشباع، انعکاس آینه‌ای و سایر آرتیفکت‌ها نیز در یکی از بررسی‌ها به کمک شبکه عصبی عمیق YOLO انجام شده است (شکل ۱۱) [۶۴].



شکل ۱۱: ارزیابی و محاسبه‌ی درصد نواحی نرمال در تصاویر کپسول آندوسکوپی [۶۴].

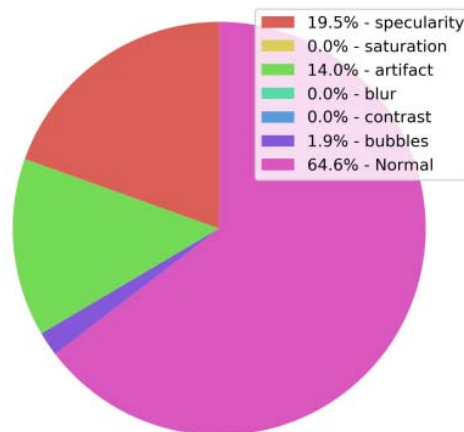
عمیق استفاده شده است. شبکه‌ی عصبی کانولوشنی ResNet ویژگی‌های سطح بالا را استخراج می‌کند و به کمک فرایند انتقال یادگیری^۴ و طبقه‌بند SVM فریم‌های مفید از غیرمفید (در فضای ویژگی) جدا می‌شود (شکل ۱۲) [۴۱].



شکل ۱۲: نمایش فریم‌های غیرمفید (ردیف بالا) و فریم‌های مفید (ردیف پایین) در آندوسکوپی WCE [۴۱].

۴-۴ ارزیابی کیفیت نمایش تصاویر

ارزیابی و مدیریت ابزار جراحی در بخش قبل شرح داده شد اما همانطور که می‌دانیم در پروسه تشخیص بیماری معمولاً از ابزار جراحی استفاده نمی‌شود و معیار ارزیابی دیگری مدنظر قرار می‌گیرد که به کیفیت نمایش تصویر وابسته است [۶۴]. مثلاً در پروسه‌ی کلونوسکوپی، مدت زمان عقب کشیدن کلونوسکوپ (بر اساس ناحیه‌بندی زمانی)، نسبت فریم‌های حاوی اطلاعات مفید و غیرمفید، تعداد تکرار تغییر جهت دوربین، نسبت فریم‌های حاوی نمای نزدیک دیواره کلون به فریم‌های حاوی نمای کلی درون کلون، بررسی وجود



۴-۵ ناحیه‌بندی زمانی^۱

یکی از مباحث مهم در زمینه‌ی ارزیابی ویدیوهای آندوسکوپی، ناحیه‌بندی زمانی است. یعنی ویدیوی آندوسکوپی تک‌شات، به مجموعه‌ی شات و صحنه‌های بامعنا تقسیم می‌شود. با استخراج سری زمانی فریم‌های حاوی ابزار خاص، ممکن است شات‌های مطلوب ایجاد شوند. همچنین جدا کردن سری زمانی فریم‌هایی که موقعیت دوربین ثابت یا متحرک است و یا فریم‌هایی که شامل اشیاء متحرک است به منظور ارزیابی ویدیوی آندوسکوپی در قالب ناحیه‌بندی زمانی مورد نیاز می‌باشد. در مبحث کلونوسکوپی حذف بخش‌های مات و ویدیو نیز حالتی دیگر از ناحیه‌بندی معنایی^۲ است؛ همچنین دسته‌بندی نواحی مری، معده، روده‌ی کوچک و بزرگ در آندوسکوپی به کمک کپسول WCE، نیز ناحیه‌بندی زمانی است [۱۱۴][۳۳].

به منظور ارزیابی ارزشمندی فریم‌های ویدیو کپسول WCE با انجام ناحیه‌بندی زمانی و جداسازی فریم‌های مفید و غیرمفید (شامل فریم‌های مات، تاریک، دارای درخشندگی بالا^۳، حاوی مواد دفعی و یا شیرهی گوارشی) از یادگیری

^۱ Temporal segmentation

^۲ Semantic segmentation

^۳ Highly light reflection

^۴ Transfer learning

و نویزی) هم می‌توان به اندازه‌ی قابل ملاحظه‌ای در میزان حافظه‌ی مصرفی صرفه جویی کرد. البته لزومی به ذخیره ویدیو در قالب HD هم نیست تصاویر با حجم کم‌تر هم به صورت معناداری کیفیت دارند [۱۱۶]. در یکی از پژوهش‌های حوزه‌ی آندوسکوپی ذکر شده است که با استفاده از رمزگذاری فریم‌های ویدیو، تشخیص دایره‌ی مربوط به دوربین آندوسکوپ، ناحیه‌بندی منطقی و یک راهبرد موثر برای آرشیو ویدیو، به اندازه ۹۰٪ در حجم کلی صرفه‌جویی خواهد شد [۱۱۷].

۲-۵ بازیابی تصاویر

در این بخش نحوه‌ی استخراج اطلاعات و محتوای مورد نیاز از درون یک ویدیوی خاص و یا از داخل آرشیو مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۵ روش‌های مبتنی بر مدیریت تصاویر

با توجه به افزایش کیفیت و کمیت بالای سری زمانی تصاویر آندوسکوپی در سال‌های اخیر و لزوم دسته‌بندی، ثبت، ذخیره، و مستندسازی فرآیند مداخله، ضروری است تا این حجم وسیع داده مدیریت شود. در ادامه نحوه‌ی تحلیل و بررسی داده‌های ویدیویی شرح داده می‌شود.

۱-۵ فشرده‌سازی و ذخیره تصاویر

فشرده‌سازی در تصاویر پزشکی بگونه‌ای که کمترین اتلاف در محتوای تصویر رخ دهد دارای اهمیت ویژه‌ای است. در یکی از پژوهش‌های برونکوسکوپی ذکر شده است که از تصاویر فشرده شده پر اتلاف هم می‌توان بیماری را تشخیص داد [۱۱۵]؛ اما با رمزنگاری موثر یا با حذف بخش‌های غیر موثر (نواحی مات، خارج از بدن بیمار، تاریک



شکل ۱۳: تصاویر استخراجی پلیپ از ناحیه‌ی فوقانی دستگاه گوارش؛ تصویر بالا query است [۱۱۸].

یافتن بعضی ابزار خاص در هر فریم از ویدیوی لاپاراسکوپی، استفاده از توصیف‌کننده‌ی HOG^۴ و معیار تشابه پنجره‌ی فیشر^۵ برای پیدا کردن موارد مشابه درون ویدیو و یا اعمال برچسب به آن‌ها به کمک بخشی از تصویر درخواستی، استفاده از طبقه‌بند SVM در قالب توصیف‌گرهای HOG، SIFT و هیستوگرام رنگ [۱۲۰] [۱۲۱].

۳-۵ خلاصه‌سازی

خلاصه‌سازی ویدیوهای آندوسکوپی اهمیت ویژه‌ای دارد، اما سهم کمتری از پژوهش‌ها را به خود اختصاص داده است. روش‌های خلاصه‌سازی ویدیو زمان بازنگری توسط پزشک و خطاهای تفسیر و بازنگری دستی توسط پزشک را کاهش می‌دهند [۴۲].

پیدا کردن تصاویر مشابه تصویر مورد درخواست^۱ را بازیابی تصویر^۲ می‌گویند که به دو روش دستی و خودکار انجام می‌شود. محدودیت‌های زمانی ایجاب می‌کند که از روش‌های خودکار استفاده شود. با انتخاب دستی فریم‌ها و استخراج دانش لازم، می‌توان فریم‌های حاوی آن دانش را از ویدیو انتخاب کرد؛ به این فرایند، بازیابی تصاویر مبتنی بر محتوا یا CBIR^۳ گفته می‌شود (شکل ۱۳) [۱۱۸] [۱۱۹].

روش‌هایی که در پژوهش‌های اخیر برای بازیابی تصاویر آندوسکوپی استفاده شده عبارتند از: بررسی میزان تشابه بین هیستوگرام رنگ HSV تصویر مورد درخواست و سایر تصاویر، ناحیه‌بندی در فضای رنگ به منظور استخراج تغییرات رنگ و مقایسه‌ی تصاویر به کمک معیار فاصله، ادغام ویژگی‌های بافت، رنگ و شکل به کمک همبستگی نگاشت رنگ و مقایسه‌ی نتایج با معیار تشابه، جستجو برای

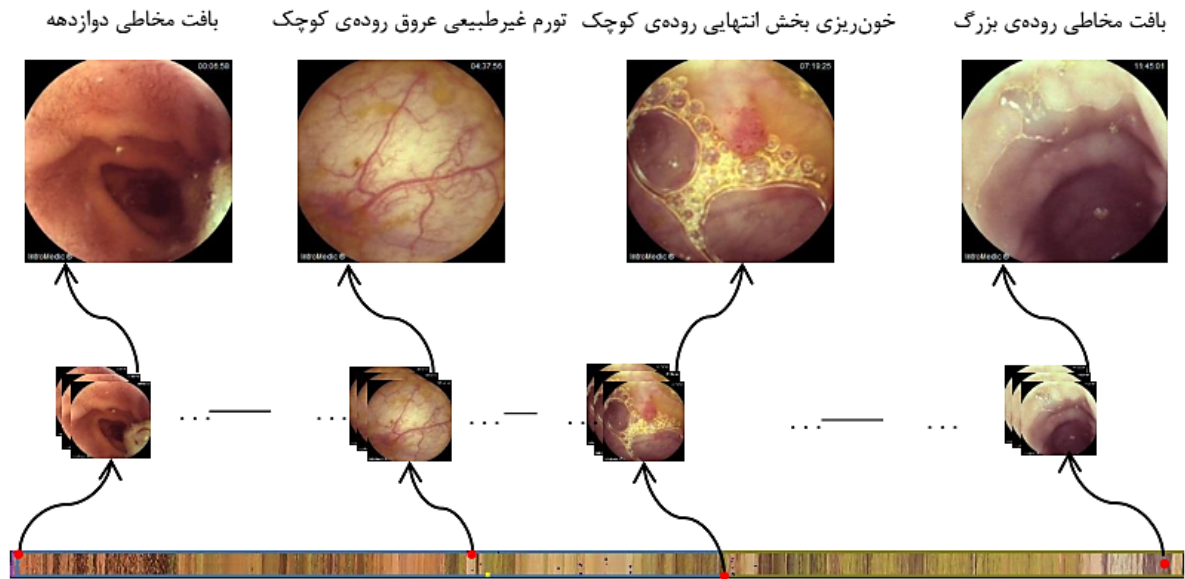
⁴ Histogram of Oriented Gradients

⁵ Fisher kernel

¹ Query image

² Image retrieval

³ Content Based Image Retrieval



شکل ۱۴: نمونه‌هایی از خلاصه‌سازی در ویدیو WCE [۴۳].

(دینامیک) ° یا تصاویر متحرک می‌توان دسته‌بندی کرد [۱۲۴]: دسته‌ی اول، فریم‌های کلیدی^۶ هستند که تصاویری با ویژگی‌های برجسته‌اند و شامل نمایی هستند که تا حد ممکن نماینده‌ی بیشترین محتوا است؛ هر شات بسته به پیچیدگی محتوا، شامل یک یا چند فریم هست. دسته‌ی دوم، ویدیو را به بخش‌های ویدیویی کوتاه‌تر با اطلاعات مفید یا video skim خلاصه می‌کند؛ کاهش زمان ویدیو آندوسکوپی با تشخیص بخش‌های مرتبط و حذف بخش‌های غیر مرتبط انجام می‌پذیرد؛ در پژوهشی توسط اجمل و همکاران برخی از روش‌های خلاصه‌سازی برای انواع ویدیوها بررسی شده است [۱۲۵].

تصاویر پانوراما که دید کلی از محل آندوسکوپی می‌دهد نیز می‌تواند بعنوان نوعی از خلاصه‌سازی در نظر گرفته شود. تکنیک‌هایی که برای تولید تصاویر پانوروما^۷ بکار می‌روند را موزاییکی کردن^۸، بهم دوختن^۹ یا توسعه‌ی دید دینامیکی تصاویر می‌گویند. الحاق تصاویر یا بهم دوختن آن‌ها با مفهوم تثبیت تصاویر رابطه‌ی تنگاتنگی دارد. چالش موجود، پیدا کردن نقاط متناظر و محاسبه‌ی تبدیل بین دو فریم برای تبدیل آن‌ها به یک مختصات واحد است [۱۲۶][۵۷]. در مرحله‌ی بعد تصاویر تثبیت شده باید بهم دوخته شوند تا یک پانوراما ایجاد شود. قبل از تثبیت تصاویر می‌توان پیش‌پردازش‌های اصلاح تصویر و رفع اثر شانه‌ای و انعکاس آینه‌ای هم انجام

سیستم‌های رباتیک جراحی مانند da-vinci حجم زیادی داده در حدود ۳۶۰ مگابایت بر ثانیه تولید می‌کنند؛ بنابراین ویدیوهای آندوسکوپی معمولاً حجم زیادی دارند از طرفی پزشکان عموماً وقت کافی ندارند تمام ویدیو را بررسی کنند؛ همه‌ی ویدیوها نیز اطلاعات کاملاً مفیدی ندارند، مثلاً در روش WCE حجم زیادی از فریم‌ها بدلیل برخورد کپسول با مواد غذایی موجود در مسیر گوارش (GI) حاوی اطلاعات غیر مفید هستند [۴۳]؛ از طرفی نگهداری و ارسال این حجم داده برای مراکز مراقبت سلامتی^۱ تا حدی نشدنی است. بنابراین با نادیده گرفتن تعداد زیادی از فریم‌های حاوی اطلاعات غیر مفید یا تکراری، و با نگه داشتن فریم‌های حاوی اطلاعات مفید و مرتبط، توفیق بیشتری در این زمینه خواهیم داشت؛ به این فرایند خلاصه‌سازی ویدیو می‌گویند [۴۲][۱۲۲].

خلاصه‌سازی در نگهداری موثر اطلاعات ویدیویی، کاوش^۲ سریع، فهرست کردن^۳، انتقال تصاویر به مراکز درمانی و بازیابی تصاویر، بسیار حائز اهمیت است. موارد یاد شده نقش فرایند خلاصه‌سازی را پررنگ‌تر و با اهمیت‌تر می‌کند؛ نمونه‌ای از خلاصه‌سازی ویدیو WCE در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود [۴۳] [۱۲۳].

خلاصه‌سازی را به دو روش کلی خلاصه‌سازی ایستا (استاتیک)^۴ یا تصاویر بی حرکت و خلاصه‌سازی پویا

⁵ Dynamic summarization

⁶ Key frame = representative frame or R-frame or still image abstracts or static story board

⁷ Panorama

⁸ Image mosaicing

⁹ Image stitching

¹ Healthcare center

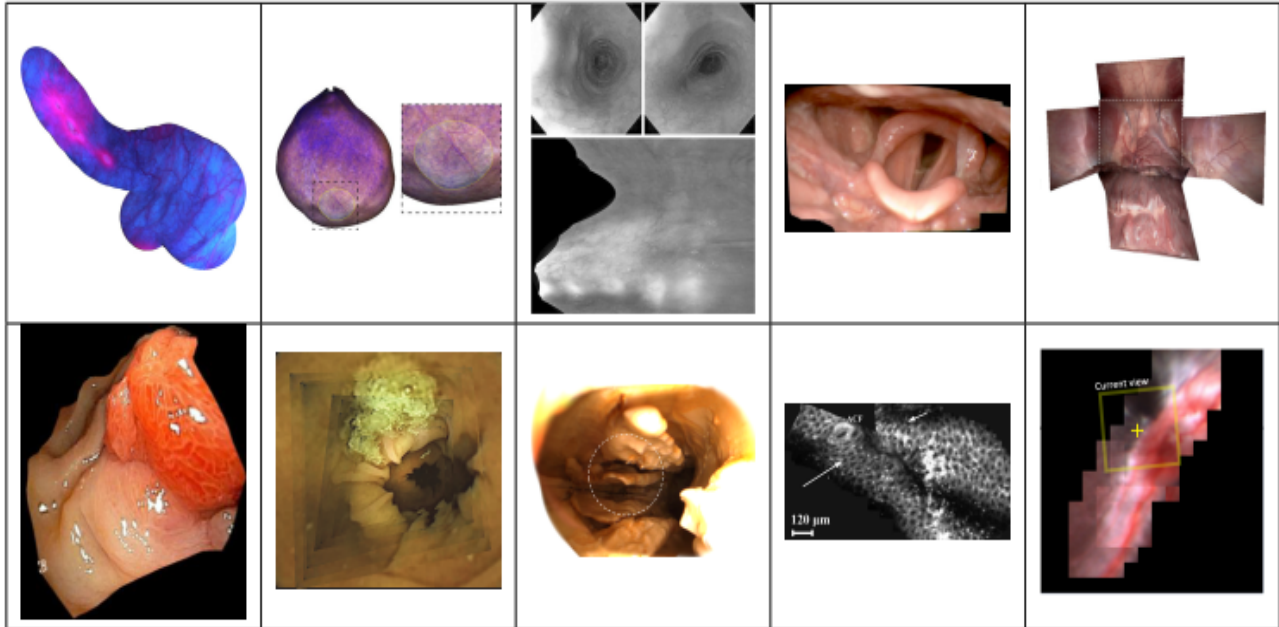
² Browsing

³ Indexing

⁴ Static summarization

ذخیره سازی و محل نگهداری داده را نیز مدیریت می کند؛ این امر بی شباهت به فشرده سازی تصاویر نیست [۴۱]. یکی از پژوهش های اخیر برای مدیریت حافظه در دسترس و امنیت اطلاعات، تلفیقی از خلاصه سازی و رمزنگاری با هم انجام می دهد [۱۲۲].

داد. نمونه های کاربرد پانوراما در سیستم اسکوپ، آندوسکوپی GI، فتوسکوپی، و یا مشاهده جفت جهت جراحی بارداری است [۱۲۷][۱۲۸]: در شکل ۱۵ نمونه هایی از تصاویر پانوراما دیده می شود [۱۲۹]. خلاصه سازی تصاویر آندوسکوپی تا حد زیادی فضای



شکل ۱۵: نمونه هایی از کاربردهای تصاویر پانوراما در آندوسکوپی [۱۲۹].

(بیماری کرون^۴) و حتی بیماری سلیاک را با روش های یادگیری عمیق همانند CNN و مشتقات آن، شناسایی و طبقه بندی می کنند؛ بدلیل کمبود داده مورد نیاز در زمینه آندوسکوپی در طیف وسیعی از پژوهش ها از تکنیک های انتقال یادگیری بهره برده می شود [۳۱][۱۳۱][۱۳۲]. شایان ذکر است که برخی از روش ها نیز به طبقه بندی ساختارهای آناتومیکی مثلا بخش های متفاوت مسیر گوارشی در گاستروسکوپی یا کپسول WCE می پردازند؛ در این میان پژوهش هایی نیز بوده اند که تلاش کرده اند تلفیقی از روش های فوق را انجام دهند [۳۳][۸۱].

۴-۵ دسته بندی تصاویر^۱

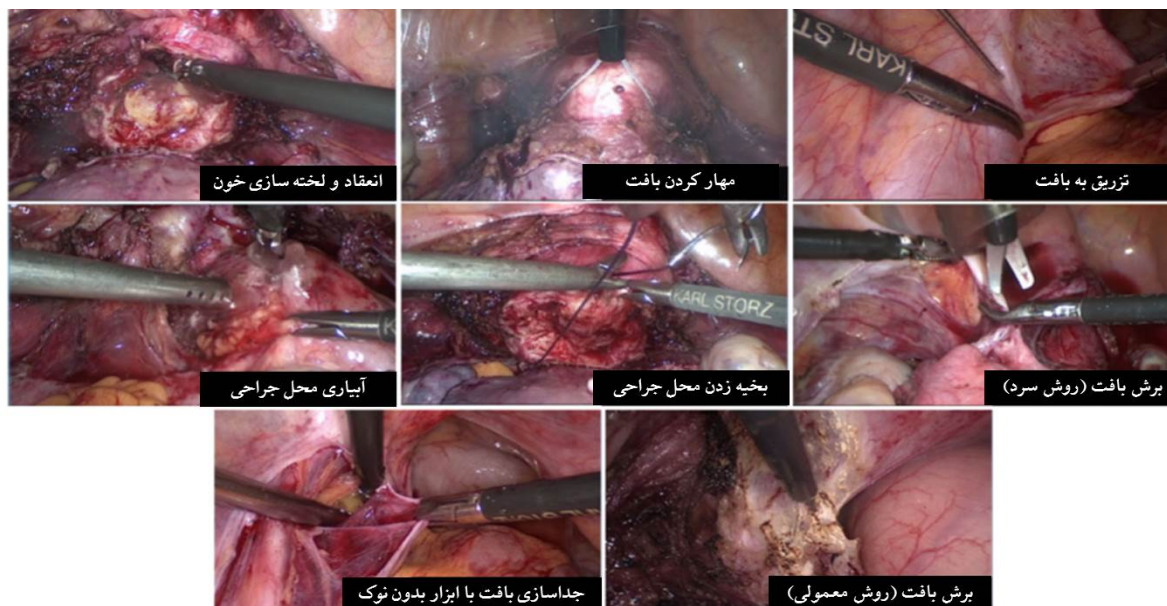
پراکندگی روش ها در زمینه ی دسته بندی تصاویر آندوسکوپی نسبتا زیاد است و با بخشی از روش های یاد شده مثلا ناحیه بندی زمانی همپوشانی دارد؛ شناسایی فریم های مفید و غیر مفید، تشخیص بیماری و یا نوع عارضه، تشخیص بافت ها و جوارح، شناسایی ابزار جراحی و یا تعیین مراحل عمل جراحی در این حوزه اند؛ گروهی از روش ها تنها فریم های مفید را از غیر مفید (شامل تصاویر مات، تاریک، دودآلود، حاوی شیرهای گوارشی، حباب، مواد دفعی و یا مواد غذایی و غیره) تمیز می دهند [۴۱][۱۱۲]. بعضی روش ها صرفا فریم های بافت نرمال را از بافت غیر نرمال جدا می کنند؛ مثلا فریم های حاوی پلیپ ها را در تصاویر کلونوسکوپی شناسایی^۲، مکانیابی^۳ و در مواردی ناحیه بندی عارضه نیز انجام می دهند [۱۳۰]. بعضی از رویکردها تشخیص نوع عارضه را نیز انجام می دهند و انواع عارضه شامل زخم، پولیپ، خونریزی های فعال و غیرفعال، تومور و تورم عروق

¹ Image classification

² Detection

³ Localization

⁴ Crohn's disease



شکل ۱۶: دسته‌بندی مراحل مختلف جراحی آندوسکوپی به کمک روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی عمیق [۱۰۵].

مراجع

- [1] H. Kasban, M. A. M. El-Bendary, and D. H. Salama, "A Comparative Study of Brain Imaging Techniques," *Int. J. Inf. Sci. Intell. Syst.*, vol. 4, no. 2, pp. 37–58, 2015.
- [2] S. Jaiswal, "Applications And Comparison of Medical Imaging Modalities," *Int. J. Eng. Sci. Invent.*, vol. 7, no. 1, pp. 94–100, 2018.
- [3] G. Hundorfean, S. P. Pereira, J. G. Karstensen, P. Vilmann, and A. Saftoiu, "Modern endoscopic imaging in diagnosis and surveillance of inflammatory bowel disease patients," *Gastroenterol. Res. Pract.*, 2018.
- [4] V. Balassone and H. Inoue, *Endocytoscopy: Endoscopic imaging techniques and tools*. Springer, Cham, 2016.
- [5] P. C. De Groen, "History of the Endoscope," *Proc. IEEE*, vol. 105, no. 10, pp. 1987–1995, 2017.
- [6] M. Liedlgruber and A. Uhl, "Endoscopic Image Processing - An Overview," pp. 707–712, 2009.
- [7] S. Bernhardt, S. A. Nicolau, V. Agnus, L. Soler, C. Doignon, and J. Marescaux, "Automatic localization of endoscope in intraoperative CT image: A simple approach to augmented reality guidance in laparoscopic surgery," *Med. Image Anal.*, vol. 30, pp. 130–143, 2016.
- [8] K. Rapantzikos and M. A. Kanakis, "Keyframe extraction from laparoscopic videos based on visual saliency detection," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 165, pp. 13–23, 2018.
- [9] T. Khatibi, M. M. Sepehri, P. Shadpour, and S. H. Zegordi, "Applications of Image Processing in Laparoscopic Surgeries," pp. 317–343, 2018.
- [10] J. Wachs *et al.*, "enVisors: enhanced Vision system for

آموزش شبکه‌های عصبی کانولوشنی AlexNet و GoogLeNet در چهارچوب Caffe برای شناسایی بافت‌های آناتومیکی و تشخیص مراحل عمل آندوسکوپی در جراحی‌های زنان^۱ نتایج مثر ثمری به‌مراه داشته است (شکل ۱۶)؛ به این منظور، ویژگی‌های سطح بالا توسط شبکه‌ی CNN استخراج و به کمک کرنل^۲ ابعاد آن افزایش داده می‌شود؛ در این صورت داده‌هایی که بصورت خطی در فضای ویژگی ویدیوی آندوسکوپی جداپذیر نیست، جداپذیر خطی شده و به کمک SVM دسته‌بندی می‌شود [۱۰۵][۴۱].

۶ جمع بندی

در این پژوهش مروری بر کارهای گذشته در زمینه‌ی تصویربرداری از نواحی داخلی بدن بیمار به روش کمترین مداخله تهاجمی توسط رویکرد آندوسکوپی پرداخته شد. همچنین یک بررسی جامع بر روش‌های پردازش، تحلیل و بررسی تصاویر حوزه آندوسکوپی در پژوهش‌های اخیر صورت گرفت. با توجه به بررسی‌های انجام شده در مقالات معتبر چهار حوزه شامل روش‌های مبتنی بر مدیریت تصاویر، روش‌های پیش‌پردازشی مبتنی بر بهبود و ارتقا تصاویر، روش‌های مبتنی بر ارزیابی تصاویر و روش‌های مبتنی بر پردازش بلادرنگ ویدیو مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات صورت گرفته حاکی از این است که زیر شاخه‌های این دسته‌بندی در مواردی نیز همپوشانی دارند.

¹ Gynecological surgery

² Kernel

- cholecystectomy: Our experience from a retrospective analysis," *Maced. J. Med. Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 641–646, 2016.
- [23] F. Joeres *et al.*, "How well do software assistants for minimally invasive partial nephrectomy meet surgeon information needs? A cognitive task analysis and literature review study," *PLoS One*, vol. 14, no. 7, pp. 1–24, 2019.
- [24] C. Wei *et al.*, "Prediction of Postprostatectomy Biochemical Recurrence Using Quantitative Ultrasound Shear Wave Elastography Imaging," *Front. Oncol.*, vol. 9, no. July, pp. 1–10, 2019.
- [25] E. Belykh *et al.*, "Progress in Confocal Laser Endomicroscopy for Neurosurgery and Technical Nuances for Brain Tumor Imaging With Fluorescein," *Front. Oncol.*, vol. 9, p. 554, 2019.
- [26] N. Shallik, A. Moustafa, and M. Marcus, *Virtual Endoscopy and 3D Reconstruction in the Airways*. 2019.
- [27] W. Tang, Z. Nie, W. Fan, L. Cheng, Z. Lei, and M. Yang, "Diagnostic Value of 128-slice Spiral CT Combined with Virtual Colonoscopy for Colorectal Cancer," *Curr. Med. Sci.*, vol. 39, no. 1, pp. 146–152, 2019.
- [28] S. A. Siam, M. K. Elawady, and O. M. Elemery, "Assessment of endoscopic sinus surgery in management of sinonasal diseases," *Egypt. J. Hosp. Med.*, vol. 73, no. 10, pp. 7794–7805, 2018.
- [29] C. F. Jeffrey Kuo, Y. C. Li, W. H. Weng, K. B. Pinos Leon, and Y. H. Chu, "Applied image processing techniques in video laryngoscope for occult tumor detection," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 55, p. 101633, 2020.
- [30] A. G. Nair, S. Singh, S. Kamal, and M. J. Ali, "The importance of endoscopy in lacrimal surgery," *Expert Rev. Ophthalmol.*, vol. 13, no. 5, pp. 257–265, 2018.
- [31] M. A. Khan, M. Rashid, M. Sharif, K. Javed, and T. Akram, "Classification of gastrointestinal diseases of stomach from WCE using improved saliency-based method and discriminant features selection," 2019.
- [32] C. Van De Bruaene, "Small bowel capsule endoscopy: Where are we after almost 15 years of use?," *World J. Gastrointest. Endosc.*, vol. 7, no. 1, p. 13, 2015.
- [33] H. Takiyama *et al.*, "Automatic anatomical classification of esophagogastroduodenoscopy images using deep convolutional neural networks," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [34] J. K. Min, M. S. Kwak, and J. M. Cha, "Overview of Deep Learning in Gastrointestinal Endoscopy," vol. 13, no. 4, pp. 388–393, 2019.
- [35] C. J. Rees and S. Koo, "Artificial intelligence — upping the game in gastrointestinal endoscopy?," *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.*, vol. 16, pp. 584–585, 2019.
- robotic surgery. a User-Defined safety Volume Tracking to Minimize the risk of intraoperative Bleeding Penza *et al.* Enhanced Vision System for Robotic Surgery," *Front. Robot. AI*, vol. 4, no. 4, p. 15, 2017.
- [11] J. Murgier, D. Hansom, and M. Clatworthy, "Knee Arthroscopy: The 'Crevice Sign,' a New Pathognomonic Sign for Unstable Posterior Medial Meniscal Tear in Anterior Cruciate Ligament-Deficient Knees," *Arthrosc. Tech.*, vol. 9, no. 2, pp. e263–e265, 2020.
- [12] M. S. Ali, R. W. Light, and F. Maldonado, "Pleuroscopy or video-assisted thoracoscopic surgery for exudative pleural effusion: A comparative overview," *J. Thorac. Dis.*, vol. 11, no. 7, pp. 3207–3216, 2019.
- [13] M. Diez-Ferrer *et al.*, "Ultrathin Bronchoscopy with and without Virtual Bronchoscopic Navigation: Influence of Segmentation on Diagnostic Yield," *Respiration*, vol. 97, no. 3, pp. 252–258, 2019.
- [14] M. Negassi, R. Suarez-Ibarrola, S. Hein, A. Miernik, and A. Reiterer, "Application of artificial neural networks for automated analysis of cystoscopic images: a review of the current status and future prospects," *World J. Urol.*, 2020.
- [15] E. Lima *et al.*, "Ureteroscopy-assisted Percutaneous Kidney Access Made Easy: First Clinical Experience with a Novel Navigation System Using Electromagnetic Guidance (IDEAL Stage 1)," *Eur. Urol.*, vol. 72, no. 4, pp. 610–616, Oct. 2017.
- [16] J. J. Amer-Cuenca *et al.*, "Non-pharmacological pain control in outpatient hysteroscopies," *Minim. Invasive Ther. Allied Technol.*, vol. 29, no. 1, pp. 10–19, Jan. 2020.
- [17] S. Wang *et al.*, "Scalable gastroscopic video summarization via similar-inhibition dictionary selection," *Artif. Intell. Med.*, vol. 66, pp. 1–13, 2016.
- [18] X. Jia *et al.*, "Automatic Polyp Recognition in Colonoscopy Images Using Deep Learning and Two-Stage Pyramidal Feature Prediction," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, pp. 1–15, 2020.
- [19] A. J. Cross *et al.*, "Whole-colon investigation vs. flexible sigmoidoscopy for suspected colorectal cancer based on presenting symptoms and signs: a multicentre cohort study," *Br. J. Cancer*, vol. 120, no. 2, pp. 154–164, 2019.
- [20] L. R. Fisher and W. L. Hasler, "New vision in video capsule endoscopy: Current status and future directions," *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.*, vol. 9, no. 7, pp. 392–405, 2012.
- [21] A. Koulaouzidis, D. K. Iakovidis, A. Karargyris, and E. Rondonotti, "Wireless endoscopy in 2020: Will it still be a capsule?," vol. 21, no. 17, pp. 5119–5130, 2015.
- [22] M. Radunovic *et al.*, "Complications of laparoscopic

- [49] O. Sidorov, C. Wang, and F. A. Cheikh, "Generative Smoke Removal," pp. 1–12, 2019.
- [50] S. Sheraizin and V. Sheraizin, "Endoscopy imaging intelligent contrast improvement," in *2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, 2006, pp. 6551–6554.
- [51] B. Munzer and K. Schoeffmann, "Content-based processing and analysis of endoscopic images and videos: A survey," *Multimed. Tools Appl.*, pp. 1–40, 2017.
- [52] F. Vogt, S. Krüger, H. Niemann, and C. Schick, "A system for real-time endoscopic image enhancement," in *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, pp. 356–363, 2003.
- [53] R. Dahyot, F. Vilariño, and G. Lacey, "Improving the quality of color colonoscopy videos," *EURASIP J. Image Video Process.*, vol. 2008, pp. 1–7, 2008.
- [54] D. Koppel, Y. Wang, and H. Lee, "Robust and Real-Time Image Stabilization and Rectification," in *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, 2014, pp. 1–6.
- [55] B. H. Chen *et al.*, "Improved global motion estimation via motion vector clustering for video stabilization," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 54, pp. 39–48, 2016.
- [56] I. N. Figueiredo, C. Leal, L. Pinto, P. N. Figueiredo, and R. Tsai, "Hybrid multiscale affine and elastic image registration approach towards wireless capsule endoscope localization," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 39, pp. 486–502, 2018.
- [57] R. Attar, X. Xie, Z. Wang, and S. Yue, "2D reconstruction of small intestine's interior wall," *Comput. Biol. Med.*, vol. 105, pp. 54–63, 2019.
- [58] F. Bianchi *et al.*, "Localization strategies for robotic endoscopic capsules: a review," *Expert Rev. Med. Devices*, vol. 16, no. 5, pp. 381–403, 2019.
- [59] N. Shamsudhin *et al.*, "Magnetically guided capsule endoscopy:," *Med. Phys.*, vol. 44, no. 8, pp. e91–e111, 2017.
- [60] R. Melo, J. P. Barreto, and G. Falcão, "A new solution for camera calibration and real-time image distortion correction in medical endoscopy-initial technical evaluation," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 59, no. 3, pp. 634–644, 2012.
- [61] R. M. Duarte *et al.*, "Benefits of radial distortion correction in arthroscopic surgery: a first experimental study on a knee model," *Int. J. Med. Robot. Comput. Assist. Surg.*, vol. 11, no. 3, pp. 341–347, 2015.
- [62] Octavio Icasio-Hernández, J. B. Hurtado-Ramos, and J.-J. Gonzalez-Barbosa, "Calibration of Endoscopic Systems Coupled to a Camera and a Structured Light Source," *MAPAN*, vol. 34, pp. 143–157, 2019.
- [63] J. P. Helferty, G. McLennan, and W. E. Higgins, "Nonlinear distortion correction in endoscopic video images," *Proc. 2000 Int. Conf. Image Process. (Cat. Commentaries, "Will ComputerAided Detection and Diagnosis Revolutionize Colonoscopy?,"* *Gastroenterology*, pp. 1460–1464, 2017.
- [37] C. L. Leggett and K. K. W. Fasge, "Computer-aided diagnosis in GI endoscopy: looking into the future," *Gastrointest. Endosc.*, vol. 84, no. 5, pp. 842–844, 2016.
- [38] V. Prasath, "Polyp Detection and Segmentation from Video Capsule Endoscopy: A Review," *J. Imaging*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2016.
- [39] M. Hajabdollahi *et al.*, "Segmentation of bleeding regions in wireless capsule endoscopy for detection of informative frames," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 53, p. 101565, 2019.
- [40] W. Xia, E. C. S. Chen, and T. Peters, "Endoscopic image enhancement with noise suppression," *Healthc. Technol. Lett.*, vol. 5, no. 5, pp. 154–157, 2018.
- [41] A. Biniiaz, R. Aghaeizadeh, and S. Masoud Reza, "Biomedical Signal Processing and Control Automatic reduction of wireless capsule endoscopy reviewing time based on factorization analysis," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 59, p. 101897, 2020.
- [42] A. Biniiaz, F. Abdolali, and R. A. Zoroofi, "An integrated system for automatic detection of representative video frames in wireless capsule endoscopy using adaptive sliding window singular value decomposition," *IET Image Process.*, vol. 14, no. 1, pp. 1751–9667.
- [43] A. Biniiaz, F. Abdolali, R. A. Zoroofi, O. H. Maghsoudi, and Y. Sato, "Automatic Detection of Salient Video Frames from Wireless Capsule Endoscopy using Adaptive Singular Value Decomposition," *ijbme*, vol. 12, no. 4, pp. 317–329, 2019.
- [44] M. Long, Z. Li, X. Xie, G. Li, and Z. Wang, "Adaptive Image Enhancement Based on Guide Image and Fraction-Power Transformation for Wireless Capsule Endoscopy," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 12, no. 5, pp. 993–1003, 2018.
- [45] V. Vishal, V. Venkatesh, K. Lochan, N. Sharma, and M. Singh, "Unsupervised Desmoking of Laparoscopy Images Using Multi-scale DesmokeNet BT - Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems", pp. 421–432, 2020.
- [46] V. Vishal, N. Sharma, and M. Singh, "Guided Unsupervised Desmoking of Laparoscopic Images Using Cycle-Desmoke BT - OR 2.0 Context-Aware Operating Theaters and Machine Learning in Clinical Neuroimaging," pp. 21–28, 2019.
- [47] E. Online, C. Wang, F. A. Cheikh, M. Kaaniche, A. Beghdadi, and O. J. Elle, "Variational based smoke removal in laparoscopic images," *Biomed. Eng. Online*, pp. 1–18, 2018.
- [48] C. Wang *et al.*, "Multiscale deep desmoking for laparoscopic surgery," no. March, 2019.

- pixelated image database,” vol. 55, no. August, pp. 1–6, 2016.
- [78] M. Imaging, H. Informatics, A. Shinde, B. Israel, and D. Medical, “Pixelate Removal in an Image Fiber Probe Endoscope Incorporating Comb Structure Removal Methods Pixelate Removal in an Image Fiber Probe Endoscope Incorporating Comb Structure Removal Methods,” no. August 2015, 2014.
- [79] K. Mori *et al.*, “A Method for Tracking the Camera Motion of Real Endoscope by Epipolar Geometry Analysis and Virtual Endoscopy System BT – Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2001”, pp. 1–8, 2001.
- [80] S. R. Stanek, W. Tavanapong, J. Wong, J. H. Oh, and P. C. de Groen, “Automatic real-time detection of endoscopic procedures using temporal features,” *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 108, no. 2, pp. 524–535, 2012.
- [81] Y. Zou *et al.*, “Classifying digestive organs in wireless capsule endoscopy images based on deep convolutional neural network,” *Int. Conf. Digit. Signal Process. DSP*, vol. 2015–Sept, pp. 1274–1278, 2015.
- [82] X. Zhang, Z. Wei, M. Bie, and X. Peng, “Robot-assisted versus laparoscopic-assisted surgery for colorectal cancer: a meta-analysis,” *Surg. Endosc.*, 2016.
- [83] C. L. Cheng and C. Rezac, “The role of robotics in colorectal surgery,” pp. 1–12, 2018.
- [84] Y. Y. Wang *et al.*, “Stereoscopic augmented reality for single camera endoscopy: a virtual study,” *Comput. Methods Biomech. Biomed. Eng. Imaging Vis.*, vol. 6, no. 2, pp. 182–191, 2018.
- [85] M. Lai *et al.*, “Erratum: Correction: Fusion of augmented reality imaging with the endoscopic view for endonasal skull base surgery; a novel application for surgical navigation based on intraoperative cone beam computed tomography and optical tracking (PloS one (2020) 15 ,” *PLoS One*, vol. 15, no. 2, p. e0229454, 2020.
- [86] S. Bhushan, S. Anandasabapathy, and R. Shukla, “Use of Augmented Reality and Virtual Reality Technologies in Endoscopic Training,” *Clin. Gastroenterol. Hepatol.*, vol. 16, no. 11, pp. 1688–1691, 2018.
- [87] S. Bernhardt, S. A. Nicolau, L. Soler, and C. Doignon, “The status of augmented reality in laparoscopic surgery as of 2016,” *Med. Image Anal.*, vol. 37, pp. 66–90, 2017.
- [88] A. P. Twinanda, S. Shehata, D. Mutter, J. Marescaux, M. De Mathelin, and N. Padoy, “EndoNet: A Deep Architecture for Recognition Tasks on Laparoscopic Videos,” *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 36, no. 1, pp. 86–97, 2017.
- [89] B. Béjar Haro, L. Zappella, and R. Vidal, “Surgical No.00CH37101), pp. 439–442 vol.2, 2000.
- [64] S. Ali *et al.*, “A deep learning framework for quality assessment and restoration in video endoscopy,” *arXiv Prepr. arXiv1904.07073*, 2019.
- [65] M. Arnold, A. Ghosh, S. Ameling, and G. Lacey, “Automatic Segmentation and Inpainting of Specular Highlights for Endoscopic Imaging,” vol. 2010, 2010.
- [66] M. Akbari, M. Mohrekesh, K. Najariani, N. Karimi, S. Samavi, and S. M. R. Soroushmehr, “Adaptive specular reflection detection and inpainting in colonoscopy video frames,” *Proc. – Int. Conf. Image Process. ICIP*, pp. 3134–3138, 2018.
- [67] J. Guo, D. Shen, G. Lin, J. Huang, K. Liu, and W. Lie, “A Specular Reflection Suppression Method for Endoscopic Images,” in *2016 IEEE Second International Conference on Multimedia Big Data (BigMM)*, 2016, pp. 125–128.
- [68] D. Stoyanov and G. Z. Yang, “Removing specular reflection components for robotic assisted laparoscopic surgery,” in *IEEE International Conference on Image Processing 2005*, vol. 3, pp. III–632, 2005.
- [69] J. B. and L. H. S. Atallah, B. Martin-Perez, D. Keller, “Natural-orifice transluminal endoscopic surgery: Natural-orifice transluminal endoscopic surgery,” *Br. J. Surg.*, vol. 102, no. 2, pp. e73–e92, 2015.
- [70] H. C. Lee, C. W. Jung, and H. C. Kim, “Real-time endoscopic image orientation correction system using an accelerometer and gyrosensor,” *PLoS One*, vol. 12, no. 11, pp. 1–12, 2017.
- [71] A. Warren, P. Mountney, and D. N. G. Yang, “Horizon Stabilized Dynamic View Expansion for Robotic Assisted Surgery (HS-DVE),” pp. 281–288, 2012.
- [72] W. Van Ranst, T. Goedemé, and J. Vennekens, “AUTOMATIC ENDODOSCOPIC IMAGE ORIENTATION STABILISATION WITH ULTRA-LOW-LATENCY,” vol. 11, no. 2, pp. 119–131.
- [73] ز. حسین نژاد و م. نصری، "مروری بر روش های انطباق تصویر، مفاهیم و کاربردهای آن"، مجله ماشین بینایی و پردازش تصویر، سال ۵، ش ۱، ص ۳۹ تا ۶۶، ۱۳۹۷.
- [74] D. G. Lowe, “Object recognition from local scale-invariant features,” *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis.*, vol. 2, pp. 1150–1157, 1999.
- [75] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. Van Gool, “Surf,” *Rev. du Prat. – Med. Gen.*, vol. 13, no. 465 SUPPL., pp. 44–45, 1999.
- [76] D. J. Waterhouse, A. S. Luthman, J. Yoon, G. S. D. Gordon, and S. E. Bohndiek, “Quantitative evaluation of comb-structure correction methods for multispectral fibrescopic imaging,” *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–14, 2018.
- [77] A. Shinde, M. Perinchery, and M. Vadakke, “Fiber

- vol. 14, no. 7, pp. 1217–1225, 2019.
- [102] Z. Zhao, S. Voros, Y. Weng, F. Chang, and R. Li, "Tracking-by-detection of surgical instruments in minimally invasive surgery via the convolutional neural network deep learning-based method," *Comput. Assist. Surg.*, vol. 22, no. 0, pp. 26–35, 2017.
- [103] B. Choi, K. Jo, S. Choi, and J. Choi, "Surgical-tools detection based on Convolutional Neural Network in laparoscopic robot-assisted surgery," in *2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 1756–1759, 2017.
- [104] E.-J. Lee, W. Plishker, X. Liu, T. Kane, S. S. Bhattacharyya, and R. Shekhar, "Segmentation of surgical instruments in laparoscopic videos: training dataset generation and deep-learning-based framework," in *Proc.SPIE*, 2019, vol. 10951.
- [105] S. Petscharnig and K. Schöffmann, "Learning laparoscopic video shot classification for gynecological surgery," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 77, no. 7, pp. 8061–8079, 2018.
- [106] A. Lazzaro *et al.*, "Radiofrequency-Based Identification Medical Device: An Evaluable Solution for Surgical Sponge Retrieval?," *Surg. Innov.*, vol. 24, no. 3, pp. 268–275, 2017.
- [107] R. H. Taylor, A. Menciassi, G. Fichtinger, P. Fiorini, and P. Dario, "Medical Robotics and Computer-Integrated Surgery," pp. 1657–1683, 2016.
- [108] A. Krupa *et al.*, "Autonomous 3-D Positioning of Surgical Instruments in Robotized Laparoscopic Surgery Using Visual Servoing," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 19, no. 5, pp. 842–853, 2003.
- [109] M. Ye, L. Zhang, S. Giannarou, and G. Z. Yang, "Real-time 3D tracking of articulated tools for robotic surgery," in *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, pp. 386–394, 2016.
- [110] Z. Chen, Z. Zhao, and X. Cheng, "Surgical instruments tracking based on deep learning with lines detection and spatio-temporal context," in *Proceedings - 2017 Chinese Automation Congress, CAC 2017*, pp. 2711–2714, 2017.
- [111] Y. Hiasa *et al.*, "Segmentation of Surgical Instruments from RGB-D Endoscopic Images using Convolutional Neural Networks: Preliminary Experiments towards Quantitative Skill Assessment," *Japanese Soc. Biomed. Med.*, p. 7, 2016.
- [112] A. Mohammed, S. Yildirim, M. Pedersen, O. Hovde, and F. Cheikh, "Sparse Coded Handcrafted and Deep Features for Colon Capsule Video Summarization," *IEEE Symp. Comput. Med. Syst.*, vol. 17, pp. 728–733, 2017.
- [113] J. Hoyos, "Automatic Classification of Non-informative Frames in Colonoscopy Videos Using Texture Analysis," in *Iberoamerican Congress, CIARP 2016*, Gesture Classification from Video Data," pp. 34–41, 2012.
- [90] E. Gibson *et al.*, "Deep residual networks for automatic segmentation of laparoscopic videos of the liver," in *Medical Imaging 2017: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling*, 2017, vol. 10135, p. 101351.
- [91] N. Ibtehaz and M. S. Rahman, "MultiResUNet: Rethinking the U-Net Architecture for Multimodal Biomedical Image Segmentation," *Neural Networks*, vol. 121, pp. 47–87, 2019.
- [92] A. R. Hassan and M. A. Haque, "Computer-aided gastrointestinal hemorrhage detection in wireless capsule endoscopy videos," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 122, no. 3, pp. 341–353, 2015.
- [93] X. Ji, T. Xu, W. Li, and L. Liang, "Study on the classification of capsule endoscopy images," *EURASIP J. Image Video Process.*, vol. 5, 2019.
- [94] C. Ballesteros, M. Trujillo, C. Mazo, and U. Valle, "Automatic Classification of Non-Informative Frames in Colonoscopy Videos," in *In Progress in Pattern Recognition Image Analysis Computer Vision and Applications: 21st Iberoamerican Congress*, vol. 10125, pp. 401–408, 2016.
- [95] A. Ben Hamadou, C. Soussen, W. Blondel, C. Daul, and D. Wolf, "Comparative study of image registration techniques for bladder video-endoscopy," *Nov. Opt. Instrum. Biomed. Appl. IV*, vol. 7371, p. 737118, 2009.
- [96] W. S. Ingram *et al.*, "The feasibility of endoscopy-CT image registration in the head and neck without prospective endoscope tracking," *PLoS One*, vol. 12, no. 5, pp. e0177886–e0177886, 2017.
- [97] S. Giannarou, M. Visentini-Scarzanella, and G. Z. Yang, "Affine-invariant anisotropic detector for soft tissue tracking in minimally invasive surgery," *Proc. - 2009 IEEE Int. Symp. Biomed. Imaging From Nano to Macro, ISBI 2009*, pp. 1059–1062, 2009.
- [98] A. Jin *et al.*, "Tool detection and operative skill assessment in surgical videos using region-based convolutional neural networks," *Proc. - 2018 IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vision, WACV 2018*, vol. 2018-Janua, pp. 691–699, 2018.
- [99] W. Peng, Y. Xing, R. Liu, J. Li, and Z. Zhang, "An automatic skill evaluation framework for robotic surgery training," *Int. J. Med. Robot. Comput. Assist. Surg.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–12, 2019.
- [100] H. A. Chen J, Cheng N, Cacciamani G, Oh P, Lin-Brandt M, Remulla D, Gill IS, "Objective Assessment of Robotic Surgical Technical Skill: A Systematic Review," *J. Urol.*, vol. 201, pp. 461–469, 2019.
- [101] I. Funke, S. T. Mees, J. Weitz, and S. Speidel, "Video-based surgical skill assessment using 3D convolutional neural networks," *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg.*,

for confocal microscopic imaging in vivo: An approach to address challenges in imaging living tissue and extend field of view," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2017.

- [129] T. Bergen and T. Wittenberg, "Stitching and surface reconstruction from endoscopic image sequences: a review of applications and methods," *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 20, no. 1, pp. 304–321, 2016.
- [130] Y. Wang, W. Tavanapong, J. Wong, J. H. Oh, and P. C. de Groen, "Polyp-Alert: Near real-time feedback during colonoscopy," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 120, no. 3, pp. 164–179, 2015.
- [131] L. Lan, C. Ye, C. Wang, and S. Zhou, "Deep Convolutional Neural Networks for WCE Abnormality Detection: CNN Architecture, Region Proposal and Transfer Learning," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 30017–30032, 2019.
- [132] X. Wang *et al.*, "Celiac disease diagnosis from videocapsule endoscopy images with residual learning and deep feature extraction," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 187, p. 105236, 2020.

عباس بی نیاز مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در رشته‌ی الکترونیک از دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران و در رشته‌ی مهندسی پزشکی از دانشگاه صنعتی سهند تبریز در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ دریافت کرد. وی در سال ۱۳۹۶ به عنوان پژوهشگر تصاویر آندوسکوپی در



موسسه NAIST ژاپن فعالیت کرد؛ در حال حاضر نامزد دریافت درجه‌ی دکتری در رشته‌ی مهندسی پزشکی گرایش بیوالکترونیک از دانشگاه تهران می‌باشد. زمینه‌ی پژوهشی مورد علاقه‌ی وی پردازش تصویر و بینایی ماشین می‌باشد.

رضا آقایی زاده ظروفی مدرک دکتری خود در آنالیز تصاویر پزشکی را از دانشگاه اراکای ژاپن در سال ۱۳۷۶ دریافت نمود. او همچنین از سال ۱۳۷۵ لغایت ۱۳۷۸ به عنوان محقق دکتری و فوق دکتری در وزارت صنایع ژاپن، مرکز تحقیقات قلب و عروق ژاپن و دانشکده پزشکی از دانشگاه اراکای ژاپن همکاری



نمود. وی به عنوان استادیار در اسفند سال ۱۳۷۸ به دانشگاه تهران پیوست و در حال حاضر استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر این دانشگاه می‌باشد. او همچنین از سال ۱۳۷۸ تا کنون به عنوان محقق و استاد مدعو با دانشگاه های ژاپن همکاری علمی مستمر داشته است. زمینه‌ی کاری تخصصی ایشان پردازش، مهندسی و مدیریت جامع تصاویر پزشکی می‌باشد.

2017.

- [114] A. Zia, C. Zhang, X. Xiong, and A. M. Jarc, "Temporal clustering of surgical activities in robot-assisted surgery," *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg.*, vol. 12, no. 7, pp. 1171–1178, 2017.
- [115] A. Przelaskowski and R. Jozwiak, "Compression of Bronchoscopy Video: Coding Usefulness and Efficiency Assessment," *Inf. Technol. Biomed.*, pp. 208–216, 2008.
- [116] B. Munzer, K. Schoeffmann, and L. Boszormenyi, "Relevance segmentation of laparoscopic videos," *Proc. - 2013 IEEE Int. Symp. Multimedia, ISM 2013*, pp. 84–91, 2013.
- [117] B. Munzer, K. Schoeffmann, and L. Boszormenyi, "Domain-Specific Video Compression for Long-Term Archiving of Endoscopic Surgery Videos," in *2016 IEEE 29th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, pp. 312–317, 2016.
- [118] M. Chowdhury, "On Content Based Image Retrieval and Its Application," 2015.
- [119] K. R. Owais, M.; Arsalan, M.; Choi, J.; Park, "Effective Diagnosis and Treatment through Content-Based Medical Image Retrieval (CBMIR) by Using Artificial Intelligence.," *J. Clin. Med*, vol. 8, no. 4, p. 462, 2019.
- [120] K. Pogorelov *et al.*, "Efficient disease detection in gastrointestinal videos – global features versus neural networks," *Multimed. Tools Appl.*, pp. 1–33, 2017.
- [121] M. Chowdhury and M. K. Kundu, "Endoscopic Image Retrieval System Using Multi-scale Image Features," in *Perception and Machine Intelligence*, pp. 64–70, 2015.
- [122] R. Hamza, K. Muhammad, Z. Lv, and F. Titouna, "Secure Video Summarization Framework for Personalized Wireless Capsule Endoscopy," *Pervasive Mob. Comput.*, vol. 41, pp. 436–450, 2017.
- [123] T. M. Moses, "A Classified Study on Semantic Analysis of Video Summarization," *Int. Conf. Algorithms, Methodol. Model. Appl. Emerg. Technol.*, pp. 1–6, 2017.
- [124] M. H. A. Muhammad Ajmal Muhammad Shakir and F. A. S. Yasir Abbas, "Video Summarization Techniques and Classification," in *Computer Vision and Graphics. ICCVG*, pp. 1–13, 2012.
- [125] M. U. Sreeja and B. C. Koor, "Towards genre-specific frameworks for video summarisation: A survey," *J. Vis. Commun. Image Represent.*, vol. 62, no. June, pp. 340–358, 2019.
- [126] L. Maciura and J. G. Bazan, "Granular computing in mosaicing of images from capsule endoscopy," *Nat. Comput.*, vol. 14, no. 4, pp. 569–577, 2015.
- [127] K. L. Lurie, R. Angst, D. V Zlatev, J. C. Liao, and A. K. Ellerbee Bowden, "3D reconstruction of cystoscopy videos for comprehensive bladder records," *Biomed. Opt. Express*, vol. 8, no. 4, pp. 2106–2123, 2017.
- [128] K. Kose *et al.*, "Automated video-mosaicking approach