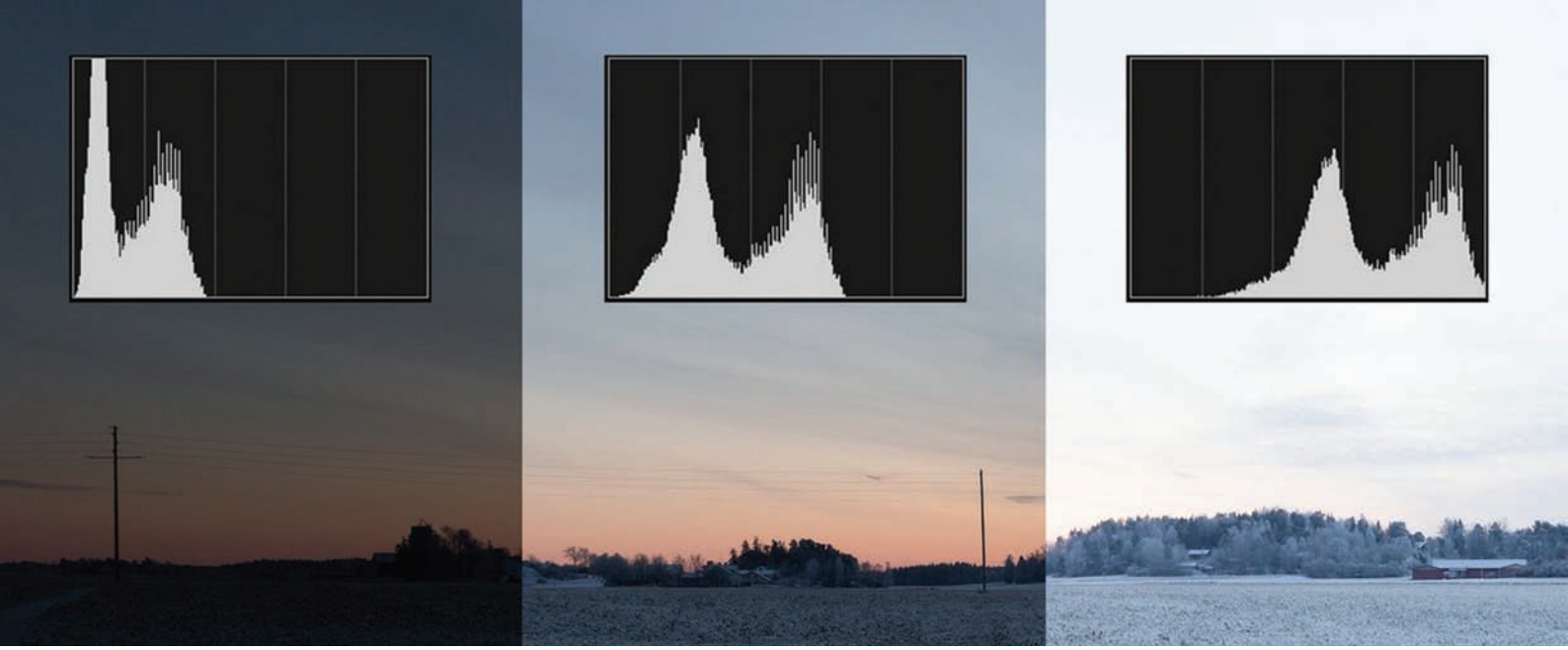


مروری بر بیست سال روش‌های متعادل‌سازی هیستوگرام

سعید صدیقی/باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز/ s.sedighi@iaushiraz.ac.ir

محمدامین شایگان/گروه مهندسی کامپیوتر/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز/shayegan@iaushiraz.ac.ir

علی حسینی/ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز/a.hosseini@iaushiraz.ac. ir

چکیده

بهبود کنتراست تصویر یکی از مهم‌ترین عملیاتی است که در کاربردهای پردازش تصویر و بینایی ماشین مورد استفاده قرارمی‌گیرد. در این میان، متعادل‌سازی هیستوگرام یکی از مهم‌ترین و قدرتمندترین روش‌های افزایش کنتراست و بهبود کیفیت تصاویر دیجیتال می‌باشد. از این‌رو این روش، به‌طور معمول باعث افزایش بیش از اندازه کنتراست و از بین رفتن قسمتی از جزئیات تصویر می‌شود. به منظور رفع مشکلات گوناگون متعادل‌سازی هیستوگرام، روش‌های بسیاری در طول دو دهه گذشته بیان شده است. در این مقاله به بررسی، دسته‌بندی و مقایسه بیست ساله روش‌های ارایه شده در زمینه متعادل‌سازی هسیتوگرام پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: بررسی روش‌ها، متعادل‌سازی هیستوگرام، برش هیستوگرام، افزایش کنتراست

A review of twenty years histogram equalization methods

Saeed Sedighi/ Young Researchers Club/ Shiraz Branch/ Islamic Azad University/ Sedighi.saeed@gmail.com

Mohammad Amin Shayegan/ Department of Computer/ Faculty of Engineering/ Azad University/ Shiraz Branch/ Shayegan@iaushiraz.ac.ir

Ali Hosseini/ Young Researchers Club/Shiraz Branch/Islamic Azad University/ A.hosseini@iaushiraz.ac.ir

Abstract:

Improved image contrast is one of the most important operations used in image processing and visual processing applications. Histogram equalization is one of the most powerful ways to increase the contrast and improve the quality of digital images. However, this method usually causes an excessive increase in contrast and a loss of part of the image details. Many problems have been resolved in the past two decades in order to overcome the many problems of histogram equalization. In this paper, we have reviewed, categorized and compared the methods proposed in the field of histogram equalization for twenty years.

Keywords: review of methods, Histogram equalization, Histogram clipping, Contrast enhancement

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-02-07]

۱- مقدمه

پـردازش تصویر به معنی پردازش هرگونه داده دو بعدی توسـط یک کامپیوتر دیجیتال اسـت[۱]. نخسـتین کاربردهای پردازش تصویر با معرفی نخسـتین کامپیوترهای قدرتمنـد در زمینه عکس‌برداری از ماه معرفی شـد. هم‌زمان با کاربردهـای فضایی، در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایـل دهه ۱۹۷۰ از تکنیک‌های پردازش تصویر در حوزه‌هایی مثل عکس‌برداری پزشکی، عکس‌برداری از منابع و سطح زمین و همچنین کاربردهایی در نجوم استفاده شد[۲].

از سـال ۱۹۶۰تا به امروز، حوزه پردازش تصویر به شدت رشد داشته است. علاوه بر کاربردهای این حوزه در زمینه پزشکی و فضایی، امروزه کاربردهای بسـیار گسـترده‌تری از جمله استفاده از تصویرپردازی در علم نجوم، صنایع نظامی، جغرافیا و ... را شـاهد هستیم[۲]. در این راستا، فرآیند بهبود تصویر یکی از اصلی‌ترین و پایه‌ای‌ترین کاربردهای پردازش تصویر می‌باشد.

هـدف از بهبـود تصویر، افزایـش کیفیت تصویر یعنـی بهبود وضوح لبه‌هـا و تاکید بر روی دسـته‌ای از ویژگی‌ها اسـت که در درک یک تصویر توسط سیستم بینایی انسان تاثیر زیادی دارد[۳]. تکنیک‌های بهبود تصویر در واقع باعث بهتر کردن درک بینایی انسـان شده و در پردازش‌های اتوماتیک، شـانس کاربر را برای رسیدن به هدف بیشتر می‌کننـد[۴]. تکنیک‌هـای بهبود تصویر، ماهیـت اطلاعات تصویر را تغییـر نمی‌دهند، این تکنیک‌ها در واقع بر یک سـری از ویژگی‌های تصویر، مثل روشـنایی تاکید بیشتری می‌کنند که این ویژگی‌ها باعث افزایش وضوح تصویر می شود[۵].

متعادل‌سـازی هیسـتوگرام یکی از الگوریتم‌های بهبود تصویر اسـت که روشـی قدرتمند برای بالا بردن کنتراسـت تصاویـر با وضوح کم می‌باشد[۶].

به‌طورکلـی روش‌هـای بهبـود کنتراسـت تصویر بـه دو گروه اصلی روش‌های مستقیم[۷و۸] و روش‌های غیرمستقیم[۹،۱۰،۱۱] تقسیم می‌گردنـد. در روش‌های مسـتقیم، تمرکـز بر بالا بردن کنتراسـت تصویـر از طریـق بالا بـردن یک معیـار بهبود اسـت. در روش‌های غیرمستقیم،گسـتره‌ی دینامیکی سـطوح خاکسـتری تصـویر برای بهبود کنتراسـت افـزایش داده می‌شـود که این روش بیشـتر مورد اسـتقبال پژهشگران بوده اسـت[۱۲]. روش‌های غیرمستقیم خود به چهـار گروه روش‌های تغییر مولفه‌های فرکانسـی بالا و پایین [۱۳]. روش‌هـای مبتنی بر تبدیـل[۱۴،۱۵] ، روش‌هـای مبتنی بر اصلاح هیسـتوگرام[۱۶،۱۷،۱۸] و روش‌های مبتنی بر محاسـبات نرم[۱۹] تقسیم می‌گردند.

۲- متعادل‌سازی هیستوگرام

متعادل‌سـازی هیسـتوگرام یکی از روش‌های معمول، سـاده و موثر برای بهبود کنتراسـت در تصاویر دیجیتال اسـت. این روش از دسته روش‌های غیرمسـتقیم بهبود کنتراسـت تصویر می‌باشـد. در ادامه فرمول کلی متعادل‌سازی هیستوگرام تشریح شده است[۲۰].

برای تصویر دریافتی(X)، هیسـتوگرام شدت روشنایی تصویر h(x)در معادله (۱) تعریف شده است.

$$h(x) = n_x \quad for \quad x = 0, \dots, L-1 \qquad (۱)$$

که در آن n_x تعداد فراوانی یا تعداد دفعات مشـاهده شـدت روشنایی x در تصویر ورودی(X) و L آخرین مقدار شدت روشنایی می باشد. تابـع احتمال چگالی p(x) برابر معادلـه (۲) بوده که در آن N برابر با تعداد کل پیکسل‌های موجود در تصویر می‌باشد.

$$p(x) = \frac{h(x)}{N} \; for \; x = 0, \dots, L-1 \qquad (۲)$$

با توجه به p(x)، تابع چگالی احتمال تجمعی c(x) توسـط معادله(۳) تعریف می‌گردد:

$$c(x) = \sum_{k=0}^{x} p(k) \; for \; x = 0, \dots, L-1 \qquad (۳)$$

تابع انتقال f (x)، برای متعادل‌سازی هیستوگرام به‌صورت استاندارد، تصویـر ورودی را به کل محدوده پویا $[X_0, X_{l-1}]$ با اسـتفاده از c(x) نگاشـت می‌کند. فرمول تابع انتقال f(x) در معادله (۴)برای بدسـت آمدن شـدت روشـنایی خروجی در بازه محدوده پویا مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد.

$$f(x) = x_0 + (x_{l-1} - x_0).c(x) \qquad (۴)$$

فرمول نهایی برای بدست آوردن تصویر خروجی حاصل از متعادل‌سازی هیسـتوگرام، به صورت معادله (۵) می‌باشـد که در آن(i,j) اشاره به موقعیت مکانی پیکسل در تصویر ورودی دارد.

$$Y = \{Y(i,j)\} = \{f(X(i,j) | \forall X(i,j) \in X\} \qquad (۵)$$

مثالی از بهبود کنتراسـت تصویر با اسـتفاده از روش متعادل‌سـازی هیستوگرام در شکل (۱) نشان داده شده است.

(الف) (ب)

شکل۱: الف)عکس اصلی ب)تصویر بهبود یافته با روش HE

روش متعادل‌سازی هیستوگرام به‌طور معمول باعث مشکلاتی همچون افزایش کنتراسـت بیـش از اندازه، عـدم حفظ میانگین روشـنایی، حـذف جزئیات ریـز تصویـر و غیرطبیعـی کردن تصویـر خروجی می‌شود[۱۶،۲۱،۲۵،۲۶،۲۷،۲۸]. بنابراین روش‌های دیگری بر اساس روش متعادل‌سـازی هیستوگرام، برای متعادل‌سـازی هیستوگرام، با هدف حفظ میانگین روشـنایی تصویر ارایه شده است که به دو دسته کلی «شکستن هیسـتوگرام» و «شکستن هیستوگرام به همراه برش فراوانی هیستوگرام» تقسیم می‌گردند.

۲-۱- روش‌های مبتنی بر شکستن هیستوگرام

متعادل‌سازی هیستوگرام روشی برای تغییر و اصلاح شدت روشنایی و کنتراسـت تصویر با استفاده از هیستوگرام تصویر است. متعادل‌سازی هیسـتوگرام در تصاویـری کـه زمینـه و نواحی آن، روشـن و یا کم نور باشـند مفید اسـت. علی‌رغم آن‌که این تکنیک سـاده است، ولی نویـز زمینـه را تقویت می‌کند و منجر به کاهش سـیگنال‌های مفید تصویر می‌شـود. بنابراین، اثرات تصنعی فراوانـی در تصاویر خروجی ایجاد می‌شـود[۲۲،۲۳،۲۴]. در جهت رفع مشکلات فوق، شیوه‌های گوناگونی برای شکستن هیستوگرام پیشنهاد گردیدکه ایده اصلی آنها، گروه‌بندی‌های شدت روشنایی پیکسل‌های هم دسته با هم می‌باشد.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-02-07]

البته این روش‌ها در نقطه شکســتن و تعداد شکســتن هیستوگرام با هم تفاوت دارند.
نخستین تلاشی که برای رفع مشکلات متعادل‌سازی هیستوگرام ارایه شد، روش حفظ روشــنایی با استفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشــی بود که هدف آن افزایش کنتراست با حفظ میانگین روشنایی تصویر می‌باشــد[۲۵]. در این روش، هیســتوگرام تصویــر ورودی بر اساس آستانه‌ای برابر با میانگین شدت روشنایی کل تصویر، به دو زیر هیســتوگرام شکسته و ســپس بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام به طور مجزا متد متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج بدست آمده نشــان‌دهنده افزایش کنتراست می‌باشد، ولی میانگین روشنایی تصویر به شــکل مطلوبی حفظ نمی‌گردد و ســطح خاکستری زمینه، نسبت به تصویر اصلی تفاوت به نسبت زیادی دارد. پیشنهاددهندگان روش حفظ روشنایی با استفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی ادعا کرده‌اند که با جداســازی هیســتوگرام بر اســاس نقطه میانگین، هیســتوگرام تصویر به دو زیر هیستوگرام با مساحت یکسان شکسته می‌شــود که این ادعا، توســط وانگ و همــکاران رد گردید[۲۶]. این محققان برای رفع مشــکل حفظ روشنایی با استفاده از متعادل‌سازی هیســتوگرام دو بخشی روش متعادل‌ســازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر دوگانه را پیشنهاد کردند. در روش آنها، هیستوگرام تصویر ورودی بر اســاس آســتانه‌ای که در آن تابع چگالی احتمال تجمعی، با اســتفاده از مفهوم آنتروپی برابر ۰٫۵ شــود، به دو زیر هیســتوگرام با مســاحت‌های یکســان شکسته می‌شــود و بر روی هر کدام از زیر هیســتوگرام‌ها به‌صورت مجزا، روش متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج شبیه‌ســازی نشــان می‌دهد که این الگوریتم نه تنها اطلاعات تصویر را به طور موثر بهبود می‌بخشــد بلکه روشنایی تصویر اصلی را به اندازه کافی محفوظ نگه می‌دارد تا بتواند در سیســتم‌های ویدیویی به‌طور مســتقیم اســتفاده شود. حفظ روشــنایی با استفاده از متعادل‌ســازی هیســتوگرام چند بخشــی به‌صورت بازگشتی برای بهبود روش حفظ روشــنایی با اســتفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشــی بــا هدف افزایش کنتراســت و حفظ روشــنایی، به‌منظور جلوگیــری از اثــرات آزاردهنده و بهبود غیرطبیعی ناشــی از افزایش بیش از حد کنتراســت ارایــه گردید[۲۷]. در این روش، جداســازی هیستوگرام به‌صورت بازگشتی بوده و نقطه جداسازی آن مانند حفظ روشنایی با اســتفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی بر اساس آســتانه‌ای برابر میانگین کل شدت روشنایی تصویر می‌باشد. در پایان بر روی تمام زیر هیســتوگرام‌ها به‌صورت مســتقل متد متعادل‌سازی هیســتوگرام اعمال می‌گردد. نتایج بدســت آمده نشان‌دهنده افزایش کنتراست با حفظ روشنایی تصویر می‌باشد.
روش دیگری به نام متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر دوگانه(RSIHE) به صورت بازگشتی برای بهبود روش متعادل سازی هیســتوگرام با استفاده از زیر تصویر دوگانه با هدف افزایش کنتراست و حفظ میانگین روشنایی تصویر، ارایه شده است[۲۸]. در این روش، جداســازی هیســتوگرام به‌صورت بازگشــتی بوده و نقطه جداسازی همانند روش متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر دوگانه بر اساس آستانه‌ای که در آن تابع چگالی احتمال تجمعی با استفاده از مفهوم آنتروپی برابر ۰٫۵ شود، به چند زیر هیستوگرام با مساحت‌های یکســان شکســته می‌شــود. در پایان بر روی تمام زیر هیستوگرام‌ها به‌صورت مستقل متد متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج بدست آمده نشان دهنده افزایش کنتراست با حفظ میانگین روشنایی بهتر، نسبت به روش متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر دوگانه می‌باشد.
در تلاشی دیگر با هدف بهبود کانتراست و به کمینه رساندن اختلاف روشــنایی میــان تصویــر ورودی و بهبود یافته، یــک روش جدید به نام متعادل‌ســازی هیستوگرام با اســتفاده از هیستوگرام دو بخشی با کمترین اختلاف شدت روشــنایی ارایه شده است. در این روش ابتدا تمامی نقاط به‌طور مجزا به‌عنوان آستانه جداسازی‌هیستوگرام انتخاب و هــر کدام از زیر هیســتوگرام‌ها به‌صورت محلــی و جداگانه با روش متعادل‌ســازی هیستوگرام متعادل‌سازی می‌شــوند، سپس با استفاده از معیار کمترین قدرمطلق اختلاف شــدت روشــنایی اختلاف شدت روشــنایی محاسبه و برای آن آســتانه ذخیره می‌شود. در آخر سطح آســتانه‌ای برای جداسازی هیســتوگرام انتخاب می‌گردد که کمترین مقدار را در معیار کمترین قدرمطلق اختلاف شــدت روشــنایی نشان می‌دهد. نتایج تجربی نشــان می‌دهد که این روش برای تصاویری که در آنها حفظ روشــنایی اهمیت دارد نتایج خوبی را بدســت می‌آورد، ولی بهبود کنتراست در تصویر خروجی به اندازه کافی نمی‌باشد.
روش دیگری به نام متعادل‌ســازی هیســتوگرام پویا (DHE) با هدف بهبود کنتراست با حفظ میانگین روشنایی، پیشنهاد شده است [۲۹]. در ایــن متد، هماننــد روش‌های قبل، هیســتوگرام تصویر ورودی به تعدادی زیر هیســتوگرام تقسیم می‌شــود تا اطمینان حاصل شود که هیچ بخش ســلطه‌ای در زیرهیســتوگرام‌ها وجود ندارد. ســپس یک ســطح خاکســتری دینامیک به هــر زیر هیســتوگرام تخصیص داده می‌شــود که هر سطح خاکســتری می‌تواند به‌وســیله متعادل‌سازی هیستوگرام نگاشت شود. نتایج بدست آمده بهبود کنتراست به همراه حفظ میانگین روشنایی تصویر را نشان می‌دهد.
در تلاشــی دیگر برای جلوگیری از غیرطبیعی شدن تصویر و تحریف رنگ، روشــی به نام متعادل‌سازی هیســتوگرام با استفاده از محدوده جدا شــده معرفی گردیــد[۳۰]. در ایــن روش از میانگین وزنی قدر مطلــق تفاضل رنگ به منظور تاکید بر لبه‌های تصویر اصلی و متعادل کردن هیســتوگرام اســتفاده شده اســت. این روش با استفاده از متد Adaptive End-In Search، موقعیــت ابتدایی و پایانی منطقه پویا را مشخص کرده و سپس این محدوده را به K قسمت تقسیم می‌کند و محدوده هر زیر هیســتوگرام را بر اساس نسبت مساحت، تغییر اندازه می‌دهــد. در این متد از فاکتور مقیاس تطبیق خطی، برای گســترش محــدوده دینامیکــی مقیاس‌پذیــر و کاهــش تغییرات بیــش از حد روشــنایی، استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده افزایش کنتراست با حفظ میانگین روشنایی می‌باشد.
در روش متعادل‌ســازی هیســتوگرام چهــار بخشــی، محققان تلاش کرده‌اند با اســتفاده از تفکیک نمودن مقیاس خاکستری به چهار زیر هیســتوگرام، میانگین روشــنایی تصویر را طی عملیات متعادل‌سازی حفظ کنند[۳۱]. به کمک این روش، که در واقع تکنیک متعادل‌سازی هیستوگرام چهارگانه می‌باشد، تصویر به چهار زیر هیستوگرام تقسیم و بر روی هر کدام متد متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج تجربی توسط این روش نشان داده است که الگوریتم پیشنهادی بهتر از تکنیک‌های متعادل‌ســازی هیستوگرام و حفظ روشنایی با استفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی عمل می‌کند.
محققان در روشــی دیگــر به نام فناوری اصلاح نشــده غیر پارامتری از الگوریتم اتســو برای بدست آوردن آســتانه جداسازی هیستوگرام اســتفاده کرده‌اند[۳۲]. در این روش، هیســتوگرام تصویر ورودی بر اســاس آستانه اتسو به دو زیر هیســتوگرام تقسیم شده است. سپس از تکنیــک اصــلاح هیســتوگرام برای کنتــرل بهبود و پیــدا کردن بالاترین آنتروپی اســتفاده شــده و در مرحله آخر بر روی هر کدام از زیرهیستوگرام‌ها به‌صورت جداگانه عملیات متعادل‌سازی هیستوگرام

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-02-07]

انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده افزایش کنتراست با حفظ جزئیات تصویر می‌باشد.
روش‌های دیگری با استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری سعی بر بدست آوردن بهینه‌ترین نقطه آستانه برای جداسازی هیستوگرام کرده‌اند[۳۵،۳۴،۳۳]. در یکی از روش‌ها، تلاش شده است که با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه‌ترین نقطه با استفاده از معیار ارزیابی نسبت سیگنال به نویز بدست آورده شود[۳۶]. در این روش در هر نسل تولید شده توسط الگوریتم ژنتیک، هیستوگرام تصویر ورودی وارد بلاک ژنتیک شده و برای هر کروموزوم تولید شده، هیستوگرام با استفاده از دو مقدار آستانه ای T1 و T2، به سه زیر هیستوگرام U1، U2 و U3 تقسیم می‌گردد. سپس بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها به‌صورت جداگانه متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال و تصویر خروجی با معیار نسبت سیگنال به نویز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این کار تا جایی ادامه پیدامی‌کند که بهترین مقدار آستانه‌ای با بالاترین مقدار نسبت سیگنال به نویز در تصویر خروجی انتخاب شوند. نتایج بدست آمده نشان دهنده بهبود کنتراست تصویر با حفظ میانگین روشنایی تصویر می‌باشد.
روشی دیگری با هدف بهبود کانتراست و برطرف کردن مشکلات موجود در روش متعادل‌سازی هیستوگرام توسط شاکری و همکاران ارایه شده است[۳۷]. در روش پیشنهادی، در مرحله نخست هیستوگرام تصویر ورودی بر اساس میانگین و انحراف معیار و با هدف کنترل نسبت سیگنال به نویز به چند زیرهیستوگرام تقسیم می‌شود. سپس بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام به‌صورت جداگانه روش متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. در آخر تمامی زیر هیستوگرام‌ها با هم ترکیب و تصویر بهبود یافته بدست می‌آید. نتایج تجربی نشان‌دهنده حفظ اطلاعاتی موجود در تصویر و افزایش کنتراست بوده است.

۲-۲- روش‌های مبتنی بر شکستن و برش هیستوگرام

فرآیند متعادل‌سازی هیستوگرام در نواحی بالای هیستوگرام، کنتراست را منبسط و در نواحی پایین هیستوگرام کنتراست را متراکم می‌کند. در اثر این حالت، اگر شی در تصویر بخش کوچکی را اشغال کرده باشد، به‌طور مطلوب بهبود نمی‌یابد. علاوه بر این، متعادل‌سازی هیستوگرام شدت روشنایی را به سمت راست یا چپ هیستوگرام انتقال می‌دهد که باعث مشکلاتی همچون اثر سطح اشباع می‌شود[۳۸]. متدهای برش هیستوگرام، با محدود کردن نرخ تعدیل، سعی در غلبه بر مشکلات بالا را دارند. در این روش‌ها علاوه بر شکستن هیستوگرام، برش سطح هیستوگرام بر روی فراوانی نیز انجام می‌گردد.
یکی از نخستین روش‌های استفاده از شکستن هیستوگرام به همراه برش، روش متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی با استفاده از کلیپ هیستوگرام (BHEP) می‌باشد[۳۸]. در این روش ابتدا هیستوگرام تصویر ورودی بر اساس میانه سطوح شدت روشنایی، به دو زیرهیستوگرام مستقل تقسیم و هر زیر هیستوگرام بر اساس میانگین فراوانی هیستوگرام در آن ناحیه، برش داده می‌شود و در پایان بر روی هر کدام از زیرهیستوگرام‌ها متد متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌شود. نتایج روش پیشنهادی نشان‌دهنده حفظ جزئیات تصویر می‌باشد.
در تلاشی دیگر برای کنترل کردن افزایش بیش از اندازه کنتراست، روش متعادل‌سازی هیستوگرام پویا چهار بخشی ارایه گردید[۳۹]. الگوریتم پیشنهادی، بر اساس میانه تصویر ورودی هیستوگرام را به چهار زیرهیستوگرام تقسیم می‌کند. سپس، به منظور مقابله با مشکل اشباع تصویر، زیرهیستوگرام‌ها را براساس میانگین فراوانی شدت روشنایی هیستوگرام، برش می‌دهد و در نتیجه محدوده پویای جدیدی به هر زیر هیستوگرام اختصاص می‌یابد. در نهایت، بر روی هر یک از زیر هیستوگرام‌ها روش متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده افزایش کنتراست با حفظ جزئیات تصویر می‌باشد.
در روش متعادل‌سازی هیستوگرام زیر تصویر بر اساس آستانه نوردهی(EBSIHE)، هدف بهبود کنتراست و محدود کردن هیستوگرام برای کنترل نرخ افزایش کنتراست و حفظ روشنایی تصویر می‌باشد[۴۰]. در این روش، با استفاده از پارامتر آستانه نوردهی، مقدار نور تصویر مشخص و با استفاده از آستانه، هیستوگرام ورودی به‌صورت عمودی به دو زیرتصویر تقسیم‌می‌شود. همچنین هیستوگرام با استفاده از روش پیشنهادی به‌صورت افقی برش داده شده تا نرخ افزایش کنتراست کنترل شود. بنابراین، هیستوگرام هم به‌صورت عمودی و هم به صورت افقی، با هدف بهبود کنتراست، برش می‌یابد. سپس بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها به‌صورت جداگانه روش متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که این روش برای تصاویر با وضوح کم بسیار موثر است، به‌طوری‌که هم آنتروپی را به خوبی حفظ می‌کند و هم نرخ افزایش کنتراست را می‌تواند کنترل نماید.
در تلاشی دیگر به نام متعادل‌سازی هیستوگرام چند بخشی با برش دادن هیستوگرام، هدف بهبود کیفیت با حفظ میانگین روشنایی تصویر بوده است[۴۱]. در این روش در مرحله نخست هیستوگرام تصویر ورودی بر اساس میانه، به دو زیر هیستوگرام تقسیم می‌گردد. سپس در مرحله دوم، میانگین هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها محاسبه و بر اساس آن هر زیر هیستوگرام به دو زیر هیستوگرام دیگر تقسیم می شود. در مرحله سوم هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها بر اساس میانگین فراوانی شدت روشنایی برش داده شده و در مرحله آخر بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها به‌طور جداگانه متد متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این روش از سایر روش‌های معمول بهبود کنتراست بهتر عمل کرده است.

۳- ارزیابی روش‌های متعادل‌سازی هیستوگرام

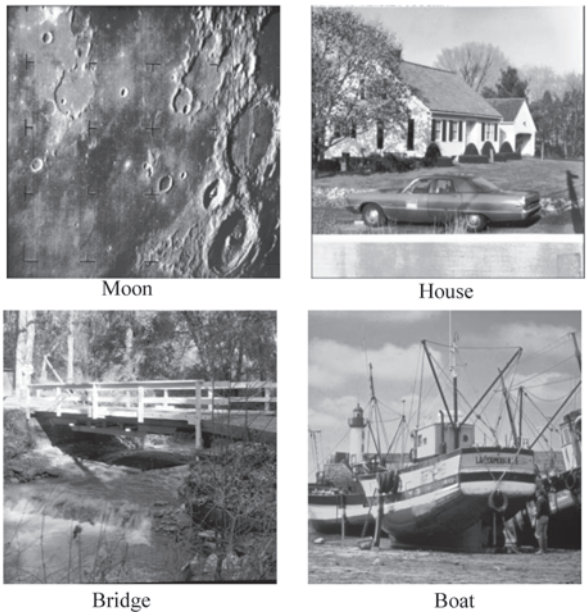
به منظور ارزیابی دو گروه «شکستن هیستوگرام» و «شکستن به همراه برش هیستوگرام» از چهار روش متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر به‌صورت بازگشتی به صورت بازگشتی[۲۸] و متعادل‌سازی هیستوگرام چهار بخشی[۳۱] به‌عنوان نماینده روش‌های شکستن هیستوگرام و روش متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی با استفاده از کلیپ هیستوگرام[۳۸] و متعادل‌سازی هیستوگرام زیر تصویر بر اساس آستانه نوردهی[۴۰] به‌عنوان نماینده دسته‌بندی شکستن و برش هیستوگرام استفاده شد. همچنین برای بررسی عملکرد روش‌های مورد مقایسه، از چهار تصویر استاندارد [۴۲] استفاده گردید. شکل (۲) دیتاست مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.
به‌منظور ارزیابی روش‌های مورد مقایسه، از سه معیار ارزیابی نسبت سیگنال به نویز[۴۳]، ارزیابی شباهت ساختار[۴۳] و معیار ارزیابی بهبود[۴۴] استفاده شده است.
معیار ارزیابی نسبت سیگنال به نویز، نسبت سیگنال به نویز بوده که مقدار بالاتر آن، معرف اثرگذاری کمتر نویز در تصاویر است. نتایج حاصل از روش‌های مورد مقایسه، با استفاده از معیار ارزیابی نسبت سیگنال به نویز، در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-02-07]

جدول۱: نتایج روش های مورد مقایسه با استفاده از معیار نسبت سیگنال به نویز

	RSIHE	QHE	BHEP	EBSIHE
Moon	22.1401	21.9281	22.6974	22.5571
House	26.2890	22.5856	23.4059	26.4111
Bridge	27.3695	31.5368	41.0345	37.5704
Boat	22.5633	20.8578	21.5789	22.7651

با توجــه به جدول (۱) می‌توان دریافت که روش‌های متعادل‌ســازی هیستوگرام دو بخشی با استفاده از کلیپ هیستوگرام و متعادل‌سازی هیســتوگرام زیر تصویر بر اساس آستانه نوردهی در این ارزیابی، بهتر عمل کرده‌اند.



شکل ۲: دیتاست پیشنهادی [۴۲]

در معیار ارزیابی شــباهت ســاختار، شباهت ســاختاری تصویر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و هر چه مقدار این معیار به یک نزدیک‌تر باشد، تصویر بهبود یافته شباهت بیشتری به تصویر اصلی دارد. نتایج حاصل از روش‌های مورد مقایســه با استفاده از معیار ارزیابی شباهت ساختار در جدول (۲) نشان داده شده‌اند.

جدول۲: نتایج روش‌های مورد مقایسه با استفاده از معیار ارزیابی شباهت ساختار

	RSIHE	QHE	BHEP	EBSIHE
Moon	0.8961	0.9489	0.9044	0.8940
House	0.9450	0.9087	0.9732	0.9669
Bridge	0.9627	0.9837	0.9968	0.9954
Boat	0.8761	0.9095	0.9262	0.8938

بــا توجه بــه جــدول (۲) می‌توان دریافــت که روش متعادل‌ســازی هیستوگرام دو بخشی با استفاده از کلیپ هیستوگرام با توجه به معیار ارزیابی ارزیابی شباهت ساختار بهتر از سایر روش‌ها عمل کرده است. در معیار ارزیابی بهبود ، میزان کنتراست تصویر اندازه‌گیری می‌شود و هر چه میزان این مقدار بیشتر باشد، نشان دهنده افزایش کنتراست بیشتر در تصویر است.

جدول۳: مقایسه روش‌ها با استفاده از معیار ارزیابی بهبود

	RSIHE	QHE	BHEP	EBSIHE
Moon	0.9558	0.9929	0.9613	0.9589
House	0.7709	0.6275	0.6706	0.7680
Bridge	0.7511	0.7059	0.6972	0.6882
Boat	0.6105	0.6283	0.6080	0.6029

باتوجــه به جــدول (۳) می‌توان دریافت که روش‌های متعادل‌ســازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر به‌صورت بازگشتی و متعادل‌سازی هیســتوگرام پویا بخشی با توجه به معیار ارزیابی معیار ارزیابی بهبود بهتــر عمــل کرده‌اند. در نتیجه با توجه به جــدول (۱) و (۲) می‌توان دریافت که روش‌های تقســیم هیســتوگرام به همراه برش، بیشتر در مواردی که هدف، حذف نویز و نزدیک بودن به شــباهت ســاختاری تصویر اصلی اســت، کاراتر هســتند، چرا که با ســطح برشی که روی فراوانی هیســتوگرام انجام می‌گیرد از افزایش بیش از اندازه کنتراست جلوگیری می‌کنند. همچنین بــا توجه به جدول(۳) می‌توان دریافت که روش‌های تقســیم هیســتوگرام، بیشــتر برای مواردی مناسب‌تر اســت که هدف، افزایش کنتراست باشــد. البته هر چه تعداد تقسیم هیســتوگرام بیشتر شود این افزایش، کنترل شده‌تر خواهد بود. نتایج حاصل از روش‌های مورد مقایسه بر روی دیتاست پیشنهادی در شکل (۳) نشان داده شده است.

۴- نتیجه‌گیری

متعادل‌ســازی هیســتوگرام یک روش بــرای تغییر و اصلاح شــدت روشــنایی و کنتراست تصویر با استفاده از هیســتوگرام تصویر است. ولی ایــن تکنیک به‌طور معمول باعث کنتراســت بیش از حد تصویر شده و همچنین نویز زمینه را نیز تقویت می‌کند.

در ایــن مقاله به بررســی روش‌های متعادل‌ســازی هیســتوگرام در طی بیســت سال گذشته پرداخته شده اســت و در نتیجه با توجه به ادبیات تحقیق، کل روش‌های متعادل‌ســازی به دو دســته «شکستن هیســتوگرام» و «شکستن هیســتوگرام همراه با برش» تقسیم‌بندی گردید. نتایج بدســت آمده با توجه به معیارهای ارزیابی نشان می‌دهد که روش‌های تقسیم هیستوگرام به همراه برش بیشتر در مواردی که هدف حذف نویز و نزدیک بودن به شــباهت ســاختاری تصویر اصلی اســت کاراتر بوده و روش‌های تقسیم هیستوگرام بیشتر برای موردی بهتر است که هدف، افزایش کنتراست باشد.

مراجع

[1]Annadurai, S. (2007). Fundamentals of digital image processing. Pearson Education India

[2]Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). Digital image processing. Prentice Hall.

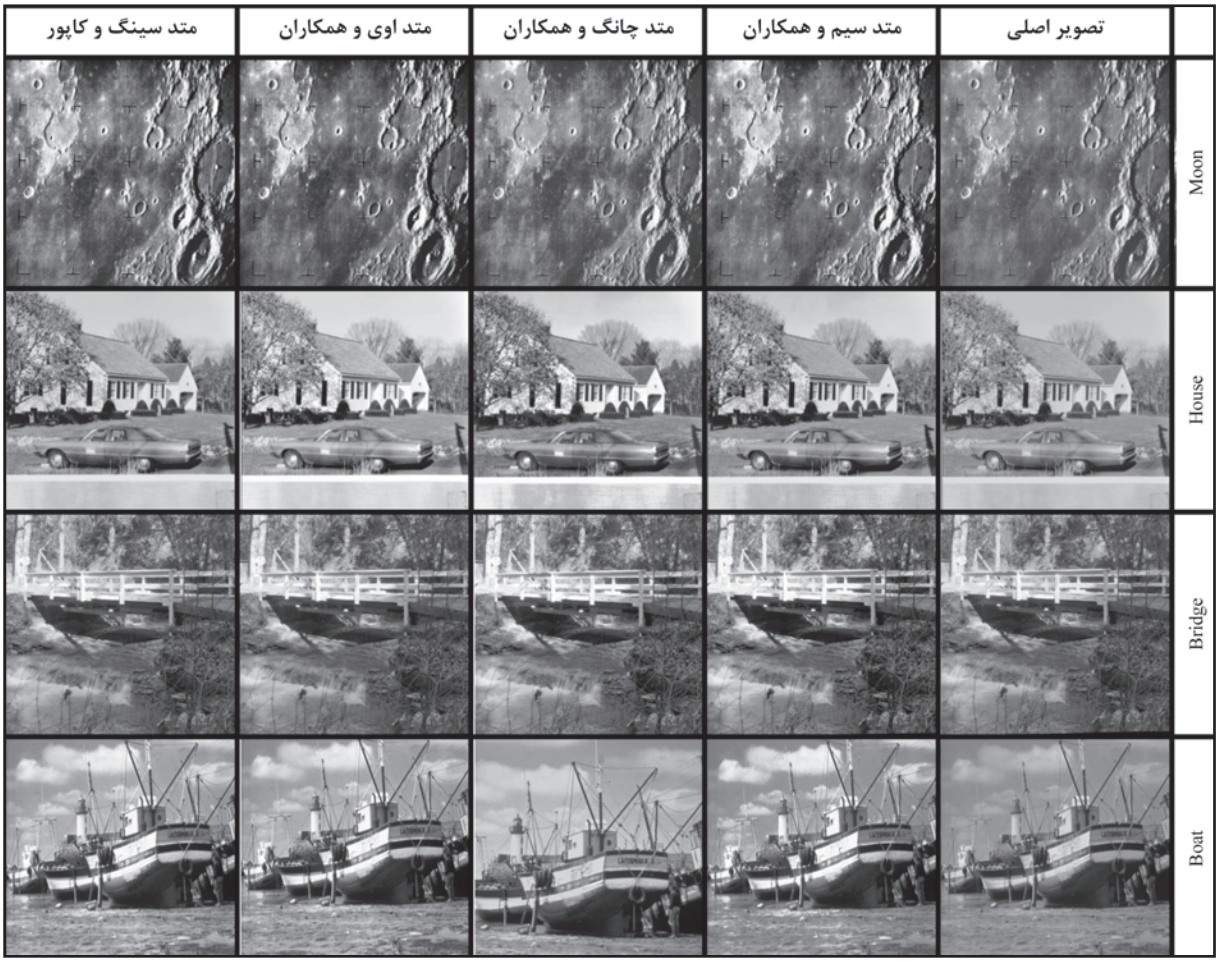
[3]Preston, K. (1976). Computer processing of biomedical images. Computer, 9(5), 54-68.

[4]Wang ,D .C ,.Vagnucci ,A .H & ,.Li ,C .C .(1983) .Digital image enhancement :a survey .Computer vision ,graphics ,and image processing.363-381 ,(3)24 ,

[5]Khan ,M .F ,.Khan ,E & ,.Abbasi ,Z .A .(2014) .Segment selective dynamic histogram equalization for brightness preserving contrast enhancement of images .Optik-International Journal for Light and Electron Optics.1385-1389 ,(3)125 ,

[6]Singh ,K ,.Kapoor ,R & ,.Sinha ,S .K .(2015) .Enhancement of low exposure images via recursive histogram equalization algorithms .Optik-International Journal for Light and Electron

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-02-07]



شکل ۳ : نتایج حاصل از روش های مورد مقایسه

histogram equalization based contrast enhancement techniques. Digital Signal Processing.413-428 ,(5)14 ,

[17] Dhal ,K .G ,.Sen ,S ,.Sarkar ,K & ,.Das ,S .(2016) .Entropy based range optimized brightness preserved histogram-equalization for image contrast enhancement .International Journal of Computer Vision and Image Processing) IJCVIP.59-72 ,(1)6 ,(

[18] Qadar, M. A., Zhaowen, Y., Rehman, A., & Alvi, M. A. (2015). Recursive weighted multi-plateau histogram equalization for image enhancement. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 126(24), 5890-5898.

[19] Hashemi, S., Kiani, S., Noroozi, N., & Moghaddam, M. E. (2010). An image contrast enhancement method based on genetic algorithm. Pattern Recognition Letters, 31(13), 1816-1824.

[20] Lee ,J .W & ,.Hong ,S .H .(2014) .Bi-Histogram Equalization based on Differential Compression Method for Preserving the Trend of Natural Mean Brightness .Journal of Broadcast Engineering.453-467 ,(4)19 ,

[21] Wu ,P .C ,.Cheng ,F .C & ,.Chen ,Y .K .(2010) .Novel histogram equalization for image contrast enhancement with mean brightness preservation.

[22] Senthamarai ,G & ,.Santhi ,K ,2015) .February .(Dynamic multi-histogram equalisation for image contrast enhancement with improved brightness preservation .In Electronics and Communication Systems) ICECS2 2015 ,(nd International Conference on) pp .(1205-1209 .IEEE.

[23] RUI ,T .J & ,.ISA ,N .A .M .Intensity exposure-based bi-histogram equalization for image enhancement .Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science3564- ,(5)24 , .3585

[24] Sengee ,N ,.Sengee ,A & ,.Choi ,H .K .(2010) .Image contrast enhancement using bi-histogram equalization with neighborhood metrics .IEEE Transactions on Consumer Electronics.(4)56 ,

[25] Kim ,Y .T .(1997) .Contrast enhancement using brightness Optics.2619-2625 ,(20)126 ,

[7]Rad ,P ,.Agaian ,S ,.Roopaei ,M & ,.Sedighi ,S,2016) . November .(Image Enhancement via Cloud Cascade Control Based Sub-Image-Clipped Histogram Equalization .In Smart Cloud) SmartCloud ,(IEEE International Conference on) pp69- . .(72IEEE.

[8]Cheng, H. D., & Xu, H. (2000). A novel fuzzy logic approach to contrast enhancement. Pattern Recognition, 33(5), 809-819.

[9]Polesel ,A ,.Ramponi ,G & ,.Mathews ,V .J .(2000) .Image enhancement via adaptive unsharp masking .IEEE transactions on image processing.505-510 ,(3)9 ,

[10] Kansal ,S ,.Purwar ,S & ,.Tripathi ,R .K ,2017) .September.(Trade-off between mean brightness and contrast in histogram equalization technique for image enhancement .In Signal and Image Processing Applications) ICSIPA 2017 ,(IEEE International Conference on) pp .(195-198 .IEEE.

[11] Ting ,C .C ,.Wu ,B .F ,.Chung ,M .L ,.Chiu ,C .C & ,.Wu ,Y. C .(2015) .Visual contrast enhancement algorithm based on histogram equalization .Sensors.16981-16999 ,(7)15 ,

[12] سحر ایروانی؛ مهدی ازوجی«بهبود وفقی کنتراست با استفاده از متعادل‌سازی بهینه‌ی هیســتوگرام دوبعدی.» مجله ماشین بینایی و پردازش تصویر، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۴، صفحه ۲۴-۱۵.

[13] Ahmed ,I .T & ,.Der ,C .S ,2017) .October .(Enhancement of no-reference image quality assessment for contrast-distorted images using natural scene statistics features in Curvelet domain. In System Engineering and Technology) ICSET7 2017 ,(th IEEE International Conference on) pp .(128-133 .IEEE.

[14] Bae, T. W., Ahn, S. H., & Altunbasak, Y. (2017). Automatic Contrast Enhancement by Transfer Function Modification. ETRI Journal, 39(1), 76-86.

[15] Tang ,J ,.Peli ,E & ,.Acton ,S .(2003) .Image enhancement using a contrast measure in the compressed domain .IEEE Signal Processing Letters.289-292 ,(10)10 ,

[16] Chen ,S .D & ,.Ramli ,A .R .(2004) .Preserving brightness in

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-02-07]

ادامه از صفحه۲۰

می‌شود که در اصطلاح به آنها مدارات پیشانی[۳۰] آنالوگ گفته می‌شود.

.

پی‌نوشت‌ها

1 Nervous System
2 Central Nervous System (CNS)
3 Peripheral Nervous System (PNS)
4 Neuron
5 Afferent
6 Sensory
7 Efferent
8 Motory
9 Neural Interfaces
10 Action potential
11 Excitable Cell
12 Intracellular
13 Extracellular Recording
14 Neural Action potential
15 Local Action Potential
16 Selectivity
17 Silicon-Polyimide
18 Signal-to-Noise Ratio
19 Intra-fascicular
20 Extra-Neural Electrode
21 Longitudinal intra-fascicular Electrode
22 Functional Electrical Stimulation
23 In-vivo
24 Feedback-Controlled Neuro-prosthesis
25 Penetrating Electrodes
26 Microelectrode Array(MEA)
27 Passive
28 Selective
29 Neuroscience
30 Analog Front-end Circuits

مراجع

[1] "NF2, Informations and Services," 16 Nov. 2018. [Online]. Available: https://www.nf2is.org/peripheral_nerve_damage.php.
[2] Miller-Keane, Encyclopedia and Dictionary of Medicine, Nursing, and Allied Health, 7th Ed., Saunders, an imprint of Elsevier, 2000.
[3] B. Gosselin, "Recent Advances in Neural Recording Microsystems," Sensors, vol. 11, pp. 4572-4597, 2011.
[4] W. RL., "The future of peripheral nerve neuro-stimulation," Neurol. Res., vol. 22, p. 299–304, 2000.
[5] J. R. Vallbo AB, "Properties of cutaneous mechanoreceptors in the human hand related to touch sensation," Hum. Neurobiol., vol. 3, pp. 3-14, 1984.
[6] H. M. I. A. H. M. N. K. Sinkjaer T, "Biopotentials as command and feedback signals in functional electrical stimulation systems," Med. Eng. Phys, vol. 25, pp. 29-40, 2003.1 Analog Front-end Circuits
[7] H.-G. R. D. R. K. a. M. P. F. Jongwoo Lee, "A 64 Channel Programmable Closed-Loop Neurostimulator With 8 Channel Neural Amplifier and Logarithmic ADC," IEEE Journal Of Solid-State Circuits, vol. 45, no. 9, pp. 1935 - 1945, 2010.
[8] P. T. W. R. J. K. R. O. L. D. J. B. B. G. a. F. S. R. R. Harrison, "A low-power integrated circuit for a wireless 100-electrode neural recording system," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 42, no. 1, p. 123–133, 2007.
[9] J. M. P. e. Marco Ballini, "A 1024-Channel CMOS Microelectrode Array with 26,400 Electrodes for Recording and Stimulation of Electrogenic Cells in Vitro," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 49, no. 11, 2014.
[10] T. D. a. P. W. T. Jochum, "Integrated circuit amplifiers for multi-electrode intracortical recording," J. Neural Eng., vol. 6, no. 1, 2009.
[11]T. B. K. N. L. S. M. T. S. P. D. Xavier Navarro, "A critical review of interfaces with the peripheral nervous system for the control of neuro-prostheses and hybrid bionic systems," Journal of the Peripheral Nervous System, , vol. 10, pp. 229-258, 2005.
[12] D. G. H. K. Lawrence SM, "Fabrication and characteristics of an implantable, polymer-based, intra-fascicular electrode," J Neurosci Methods. , vol. 131, no. 1, pp. 9-26, 2003.
[13] A. S. al., "Biological application of microelectrode arrays in drug discovery and basic Research," Anal. Bioanal. Chem., vol. 377, no. 3, pp. 486-494, 2003.

***

preserving bi-histogram equalization .Consumer Electronics, IEEE Transactions on.1-8 ,(1)43 ,
[26] Wang ,Y ,.Chen ,Q & ,.Zhang ,B .(1999) .Image enhancement based on equal area dualistic sub-image histogram equalization method .Consumer Electronics ,IEEE Transactions on68- ,(1)45 , .75
[27] Chen ,S .D & ,.Ramli ,A .R .(2003) .Contrast enhancement using recursive mean-separate histogram equalization for scalable brightness preservation .IEEE Transactions on consumer Electronics.1301-1309 ,(4)49 ,
[28] Sim ,K .S ,.Tso ,C .P & ,.Tan ,Y .Y .(2007) .Recursive sub-image histogram equalization applied to gray scale images. Pattern Recognition Letters.1209-1221 ,(10)28 ,
[29] Abdullah-Al-Wadud ,M ,.Kabir ,M .H ,.Dewan ,M .A .A& ,. Chae ,O .(2007) .A dynamic histogram equalization for image contrast enhancement .IEEE Transactions on Consumer Electronics.(2)53 ,
[30] Park ,G .H ,.Cho ,H .H & ,.Choi ,M .R .(2008) .A contrast enhancement method using dynamic range separate histogram equalization .IEEE Transactions on Consumer Electronics.(4)54 ,
[31] Chang ,Y .T ,.Wang ,J .T ,.Yang ,W .H & ,.Chen ,X .W,2014) . June .(Contrast enhancement in palm bone image using quad-histogram equalization .In Computer ,Consumer and Control)IS3C 2014 ,(International Symposium on) pp .(1091-1094 .IEEE.
[32] Yao ,Z ,.Zhou ,Q ,.Lai ,Z ,.Ren ,Z & ,.Liu ,L ,2016) .December.(Image Enhancement Based on Bi-Histogram Equalization with Non-Parametric Modified Technology .In Parallel and Distributed Systems) ICPADS 2016 ,(IEEE22 nd International Conference on) pp .(1211-1215 .IEEE.
[33] Hoseini ,P & ,.Shayesteh ,M .G .(2013) .Efficient contrast enhancement of images using hybrid ant colony optimisation, genetic algorithm ,and simulated annealing .Digital Signal Processing.879-893 ,(3)23 ,
[34] Gupta ,A ,.Verma ,O .P ,.Amla ,S & ,.Varshney ,S .A,2017) . November .(Brightness Preserving Satellite Image Contrast Enhancement using Bacterial Foraging Algorithm .In Proceedings of the9 th International Conference on Signal Processing Systems) pp .(79-83 .ACM.
[35] Tuba ,M ,.Jordanski ,M & ,.Arsic ,A .(2017) .Improved weighted thresholded histogram equalization algorithm for digital image contrast enhancement using the bat algorithm .In Bio-Inspired Computation and Applications in Image Processing) pp.(61-86 .
[36] Sedighi ,S ,.Roopaei ,M & ,.Agaian ,S-citeneG .(6120) . egamI noitazilauqE margotsiH itluM rof sdlohserhT desaB nrettaP ni gniniM ataD dna gninraeL enihcaM nI .tnemecnahnE .mahC ,regnirpS .(094-384 .pp) noitingoceR
[37] Shakeri, M., Dezfoulian, M. H., & Khotanlou, H. (2017). Density-Based Histogram Partitioning and Local Equalization for Contrast Enhancement of Images. Journal of AI and Data Mining.ISO 690.
[38] Ooi, C. H., Kong, N. S. P., & Ibrahim, H. (2009). Bi-histogram equalization with a plateau limit for digital image enhancement. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 55(4), 2072-2080.
[39] Ooi, C. H., & Isa, N. A. M. (2010). Quadrants dynamic histogram equalization for contrast enhancement. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 56(4).
[40] Singh, K., & Kapoor, R. (2014). Image enhancement using exposure based sub image histogram equalization. Pattern Recognition Letters, 36, 10-14.
[41] Yao, Z., Zhou, Q., Yang, X., Yang, C., & Lai, Z. (2016, October). Quadrants Histogram Equalization with a Clipping Limit for image enhancement. In Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 2016 8th International Conference on (pp. 1-5). IEEE
[42] Miscelaneous gray level images.http://decsai.ugr.es/cvg/dbimagenes/g512.php
[43] Hore, A., & Ziou, D. (2010, August). Image quality metrics: PSNR vs. SSIM. In Pattern recognition (icpr), 2010 20th international conference on (pp. 2366-2369). IEEE.
[44] Agaian, S. S., Panetta, K., & Grigoryan, A. M. (2000, September). A new measure of image enhancement. In IASTED International Conference on Signal Processing & Communication (pp. 19-22).

***

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-02-07]