بسم الله الرحمن الرحيم

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

۱۳۷۴ /۲/ ۷

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدل شبکیه چشم انسان به عنوان یک تصویر بردار

محمّدرضا زندی

استاد راهنما

دکتر قاسمیان

زمستان ۱۳۷۳

۷۲

موضوع

مدل چشم انسان بعنوان یک تصویر بردار ایده‌آل

توسط

محمد رضا زندی گوهرریزی

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق - گرایش مخابرات

از این پایان‌نامه در تاریخ ۱۵ / ۱۳۷۳/۱۲ در مقابل هیئت داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

اعضای محترم هیئت داوران

۱- خانم/آقای دکتر محمدحسن‌قاسمیان یزدی	استاد راهنما
۲- خانم/آقای دکتر _____	استاد مشاور
۳- خانم/آقای دکتر _____	استاد مشاور
۴- خانم/آقای دکتر سیداحمدرضا شرافت	استاد ممتحن
۵- خانم/آقای دکتر محمد حسین‌میران‌بیگی	استاد ممتحن
۶- خانم/آقای دکتر کیوان فرورقی	مدیر/شعبه/گروه

م ۷۳.۹۷.۴۰۳

قدردانی :

لازم است قبل از هر چیز از زحمات و کمکهای آقای دکتر قاسمیان به عنوان استاد راهنما که طرح، برنامه‌ریزی و هدایت پایان‌نامه از ایشان است سپاسگزاری نمایم.

همچنین از آقای مهندس خلیل‌زاده به عنوان استاد مشاور که بسیار به ایشان مدیونم به پاس راهنمائیها و خصوصاً کمکهایشان در تهیه مراجع، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

از خداوند متعال بقای عمر و توفیق روزافزون برای آنان خواهانم.

محمدرضا زندی

بهمن ۷۳

چکیده:

شبکیه یا عضو گیرندهٔ حس بینایی به عنوان خارق‌العاده‌ترین حساسه بیولوژیکی دارای عملکردهای گوناگونی است. این عضو علاوه بر حساسه‌های نوری که تبدیل الکتروانپتیکی را انجام می‌دهند، دارای لایه‌های عصبی دیگر نیز می‌باشد که به کمک آنها پردازشهای مهمی به صورت موضعی روی تصویر انجام می‌دهد. این شبکهٔ عصبی به صورت پنج لایه در انسان و بسیاری از انواع جانوران شناسایی شده است.

مهمترین پردازش شبکیه برجسته کردن لبه‌ها و تأکید روی آنهاست. آشکارسازی موضعی حرکت و تأکید روی لبه‌های متحرک نیز پردازش دیگری از شبکیه است. این پردازش نقش مهمی در جبران تأخیر رشته‌های عصبی و نیز جبران ضعف بینایی در خارج از مرکز بینایی (لکه زرد) دارد.

کنترل خودکار ضریب تقویت از جمله تواناییهای فوق‌العاده شبکیه است که باعث فراهم آمدن امکان بینایی درگستره بسیار وسیعی از شدت روشنایی می‌شود. این گستره در انسان حدود 10^{10} lx است.

دسته‌بندی و کدینگ اطلاعات عملکرد دیگری از شبکیه است. این عملکرد که توسط لایه مجزایی از سلولهای عصبی صورت میگیرد، باعث کاهش حجم قابل ملاحظه‌ای از پردازش سیستم اعصاب مرکزی می‌شود. فشرده‌سازی اطلاعات نیز از عملکردهای مهم شبکیه به شمار میرود که به کمک آن ۱۲۰ میلیون حساسه نوری در انسان توسط یک میلیون رشته عصبی به سیستم اعصاب مرکزی متصل می‌شوند. این عملکرد حاصل استراتژی خاص نمونه‌برداری در شبکیه است. استراتژی مزبور بوجود آورنده خاصیت مقیاس ثابت نیز می‌باشد. خاصیت مقیاس ثابت باعث می‌شود اطلاعات دریافت شده از اشیاء نسبت به فاصله آنها تقریباً ثابت باشد و بنابراین اجسام با ابعاد ثابت دیده شوند.

نکته مهم در مورد شبکیه به عنوان یک دستگاه پردازشگر ورودی آن است که همه عملکردهای آن در ارتباط با یکدیگر و در ارتباط با توانایی‌های سیستم اعصاب مرکزی بهینه می‌باشد و این بهینگی نیز در ارتباط با نیازهای محیطی زندگی جانور است.

شبکیه را می‌توان از حیث عملکردهای متفاوت آن مدلسازی نمود. به عنوان مثال مدل آن از حیث استراتژی نمونه‌برداری همچون یک تصویربردار است که تصویر خروجی آن خصوصیات مربوط به استراتژی مزبور را دارد. مهمترین خصوصیت چنین تصویربرداری همان خاصیت مقیاس ثابت است.

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

پیشگفتار ۱

فصل اوّل : بینایی ۲

مقدّمه ۲

۱-۱- سیستم بینایی ۳

۱-۱-۱- پدیده‌های بینایی ۷

۱-۱-۲- تابع انتقال مدولاسیون (MTF) ۱۱

۱-۲- ساختمان چشم ۱۴

۱-۲-۱- مروری بر ساختمان چشم ۱۴

۱-۲-۲- مدل اپتیکی چشم ۱۷

۱-۲-۳- شبکیه ۱۹

فصل دوّم : ساختمان شبکیه ۲۱

۲-۱- پیکره‌بندی ۲۱

۲-۲- مدل ارتباطات عصبی شبکیه ۲۶

۲-۲-۱- تابع انتقال حساسه‌های نوری (مخروطها) ۲۹

۲-۲-۲- آشکارسازی لبه ۳۱

۲-۳- پاسخ به ورودیهای مختلف ۳۷

۲-۴- سلولهای عقده‌ای و کدینگ سیگنال ۴۳

عنوان | صفحه

۵-۲-آشکارسازی حرکت ۵۲

۶-۲-تطبیق ۵۸

۷-۲-مدل فرکانس مکانی شبکیه ۶۱

۸-۲-مدل رنگی شبکیه ۶۳

فصل سوّم : استراتژی نمونه در شبکیه و شبیه‌سازی آن ۶۵

۱-۳-استراتژی نمونه‌برداری ۶۵

۲-۳-محاسبه تابع نمونه‌برداری ۶۸

۳-۳-شبیه‌سازی شبکیه ۷۰

۱-۳-۳- تعیین مختصات نمونه‌برداری ۷۲

۲-۳-۳- محاسبه مقدار نقاط نمونه‌برداری ۷۴

۳-۳-۳- درونیابی ۷۹

۴-۳-عملکرد برنامه ۸۲

ضمیمه ۱ : بینایی در جانوران ۸۸

ضمیمه ۲ : لیست برنامه ۹۶

مراجع ۱۰۳

واژه نامه ۱۰۴

به نام خدا

پیشگفتار:

پایان‌نامهٔ حاضر مشتمل بر دو قسمت کلی می‌باشد. قسمت اول که فصل دوم را شامل می‌شود، عبارتست از مطالعهٔ ساختمان شبکیه و پدیده‌های مربوط به آن از دیدگاه مهندسی. در بررسی ساختمان شبکیه سعی شده است فقط به اندازهٔ لازم به توضیح فیزیولوژی شبکیه پرداخته شود و موضوع بیشتر از جنبهٔ مهندسی سیستم دنبال شده است.

هرچند که مبحث بینایی در مقولهٔ این پایان‌نامه نمی‌گنجد ولی از آنجا که شبکیه جزئی از سیستم بینائی است، لازم شده است قبل از معرفی ساختمان شبکیه مختصری راجع به بینایی و پدیده‌های آن گفته شود. مطالب فصل اول به این منظور نگارش شده است.

قسمت دوم که در واقع ایدهٔ پایان‌نامه می‌باشد، در فصل سوم ارائه شده است. همانطورکه در فصل دوم گفته شده است شبکیه دارای عملکردهای گوناگونی می‌باشد که شبیه‌سازی همهٔ آنها در یک مدل کلّی حداقل از توانایی چنین پایان‌نامه‌ای خارج است. در فصل سوم فقط استراتژی نمونه‌برداری شبکیه که آشکارسازی لبه را نیز شامل می‌شود، شبیه‌سازی شده است و بنابراین شبکیه از حیث یک تصویربردار مدلسازی شده است.

این مدلسازی مبتنی بر ارائه یک تبدیل در مقولهٔ پردازش تصویر می‌باشد. در ابتدای فصل سوم تابع نمونه‌برادری در شبکیه محاسبه شده است و سپس براساس آن تبدیل مزبور بصورت نرم‌افزاری نگاشته شده است. نرم‌افزار مربوطه به کمک زبان برنامه‌نویسی C^{++} طرح شده است که جزئیات آن در همان فصل سوم ذکر گردیده است.

فصل اول:

بینـــایی

مقـدّمه

بینایی از بزرگترین نعماتی است که خداوند به عنوان یک حس به انسان بخشیده است و به لحاظ آن همواره او را به «مشاهده» و «تفکر» در پدیده‌های هستی دعوت کرده است. چراکه این حس بیشتر از سایر حواس انسان را به تفکر وامی‌دارد.

در این فصل بیشتر سعی می‌شود هدف از این تحقیق را، که شاید بهتر باشد نام آن را مطالعه بگذاریم، مشخص کنیم. آنچه مشخص است اینست که هدف ما مطالعهٔ یک دستگاه فیزیولوژی نیست تا بوسیله آن به افرادی که از حیث بینایی مشکل دارند کمک کنیم زیراکه اینگونه مطالعات در حیطهٔ دانش پزشکی است.

منظور ما برداشتن پرده‌ای از اسرار خلقت این حسّ نیز نیست. چراکه حس بینایی همانند سایر دستگاههای بدن اقیانوسی از اسرار و رموز می‌باشد که کار محققین بسیار زیادی که در این زمینه سالیان متمادی به تحقیق و تجربه پرداخته‌اند در مقابل آن قطره‌ای بیش نیست و بنابراین ما را جای هیچ ادعائی نمی‌باشد.

پس هدف ما به عنوان یک مهندس چیست؟ آنچه که در این ابتدا به عنوان پاسخی به پرسش مذکور می‌توان ارائه کرد اینستکه هدف استفاده از نتایج مطالعه و تجربهٔ محققین این زمینه است به منظور طرح یک ایده یا ایده‌هایی که راه را برای دستیابی به دستاوردهای جدید باز کند. مثلاً تصویربرداری، انتقال تصویر، بینایی در ماشین، سیستم‌های هوشمند بینا و غیره. هرچندکه لازم نیست از همان ابتداکاربرد آن

ایده یا طرح کاملاً مشخص باشد.

در واقع سیر پیشرفت تکنولوژیکی بشر و اتصال دو حلقهٔ علم و تکنولوژی نیز به همین نحو بوده که همیشه عده‌ای به نام دانشمند باتجربه و دقت نظر فراوان به اکتشاف حقایق و پدیده‌های پیرامون خود پرداخته‌اند و سپس عده‌ای دیگر با بکارگیری این حقایق و قوانین و استفاده از قوهٔ خلاقیت خود دستاوردها و روش‌های جدیدی خلق کرده‌اند که زندگی را آسانتر و راحتتر می‌کند. مهندسین، مخترعین و مبتکرین عدهٔ اخیر را تشکیل می‌دهند.

شاید یک مهندس به اندازهٔ یک مخترع و یا یک مبتکر قوهٔ خلاقیت نداشته باشد ولی آنچه که او را به هدف رهنمون می‌سازد قدرت وی در مدلسازی کردن آنچه که می‌خواهد به آن برسد از آنچه که در اختیار دارد، می‌باشد.

ما نیز در اینجا به عنوان مهندس سعی می‌کنیم از شبکیه چشم به عنوان جزئی از سیستم بینایی یک مدل ساده ارائه کنیم و البته ادعائی در دقت مدل نداریم.

این فصل به منظور آشنایی با سیستم بینایی، چشم و شبکیهٔ آن نگارش شده است. در بخش اول در مورد سیستم بینایی و پدیده‌های مربوط آن به و در بخش دوم راجع‌به ساختمان چشم بحث می‌شود.

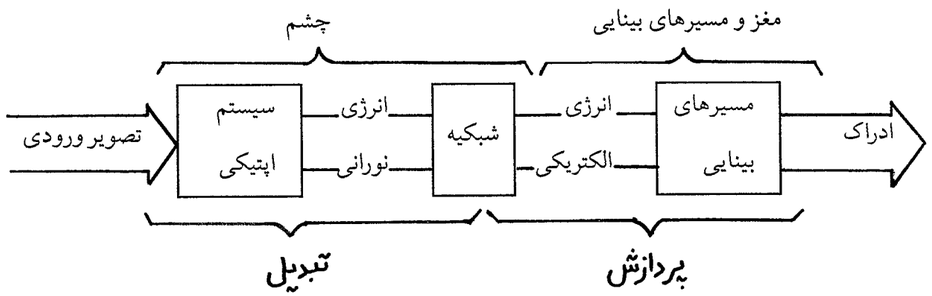
۱ـ۱) سیستم بینایی

همانطور که می‌دانیم بخش اعظم اطلاعات محیطی توسط سیستم بینایی ادراک می‌شود که در مقایسه با سایر سیستمهای حساسه‌ای از حجم اطلاعات و پردازش فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در مغز نیز قسمت عمدهٔ ناحیه حساسه‌ای به بینایی اختصاص دارد و این موضوع که مرکزیت حس بینایی در مغز می‌باشد از قدیم بیشتر از سایر حواس احساس می‌گردید.

سؤالی که همواره در این زمینه مطرح بوده است آنستکه اساساً فرایند دیدن چیست و چگونه انجام می‌شود؟

منظور از دیدن در اینجا صرف رؤیت کردن نیست بلکه رؤیت همراه با فهمیدن است. در واقع فرایند دیدن با نوعی ادراک همراه است بطوریکه شاید نتوان مرزی بین این دو قائل شد. ادامهٔ بحث به ا ین شکل خودبخود باعث ورود به مقولات فلسفی می‌شود که منظور ما نیست.

از یک دیدگاه سیستمی فرایند دیدن را می‌توان به دو زیر فرایند یا دو عملکرد متوالی تقسیم کرد فرایند نخست مسئول بوجود آوردن تصویر مناسب است و می‌توان آن را مبدل نامید و فرایند دوم آنالیز تصویر و نهایتاً تفسیر آن را انجام می‌دهد. شکل چنین مدل کلّی از سیستم بینایی در شکل(۱-۱) نشان داده شده است.



شکل (۱-۱)

هیچیک از بلوک‌های فوق بطور ساده قابل طراحی نیست هرچند که اولین طبقهٔ پردازش اپتیکی دارای حداقل پیچیدگی می‌باشد. در واقع وظیفهٔ این طبقه فوکوس کردن تصویر بر روی شبکیه و کنترل مقدار انرژی تابیده شده به آن می‌باشد.

به این نکته توجه کنید که شبکیه در هر دو فرایند تبدیل و پردازش سهیم است. مقدار پردازش انجام شده در شبکیه نسبت معکوس با هوش و تکامل حیوان دارد. این موضوع فقط به طور اعم صحت دارد چرا که تکامل نژادی چشم مهره‌داران شناخته شده نیست. در مورد قسمت ادراک مشکل عمده وجود پارامترهای ادراکی می‌باشد که آنها را نمی‌توان با هیچ حساسهٔ فیزیکی مستقیماً آشکار ساخت.

آزمایشات روان‌فیزیکی نشان داده‌اند که فرایند ادراک در بینایی ساختار سلسله مراتبی دارد بطوریکه از نظر پیکره‌بندی پایین‌ترین سطح آن در حساسه‌های نوری شبکیه می‌باشد و به ترتیب شبکیه و

Occipital cotrex و Association cortex را شامل می‌گردد.

به عنوان مثال در مورد ساختار سلسله مراتبی ادراک بینایی؛ هنگامیکه شیئی مانند صندلی می‌بینیم سطح پردازش پایین‌ترین صورت می‌گیرد تا هنگامیکه نام آن را می‌خوانیم. زیرا در حالت دوم یک سطح پردازش که تفسیرکنندهٔ کلمهٔ صندلی است بیشتر صورت می‌گیرد علی‌رغم اینکه در حالت اول ممکن است صندلی را به صورت انواع مختلف آن ببینیم.

در این ساختار سلسله مراتبی حافظه نیز نقش دارد و باعث می‌شود که سطح پردازش یک الگو با تکرار تنزل یابد.

در خاتمهٔ این بحث این نکته مهم قابل ذکر است که تمام اجزاء یک سیستم بینایی فقط درکنار یکدیگر بهینه می‌باشند و این بهینگی نیز در ارتباط با زندگی و نیازندیهای جانور می‌باشد. مثلاً بسیاری از خصوصیات چشم ما در ارتباط با توانائیهای مغز ماست و بالعکس، و همهٔ اینها در ارتباط با نیازهای محیطی ما می‌باشد. مثلاً اگر چشم ما قادر بود طول موجهای بلندتر یا کوتاهتر از طول موج بینایی فعلی را نیز آشکارکند در اینصورت مسلماً این اطلاعات آزار دهنده بود در حالیکه سیستم حساسه‌ای مادون قرمز در مارها نقش عمده‌ای در شکار و تغذیهٔ این حیوان دارد.

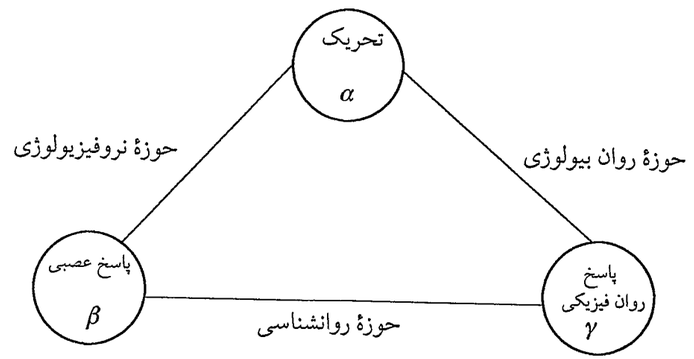
حوزهٔ آزمایشات در مقولهٔ بینایی

قبل از پرداختن به بررسی پدیده‌های بینایی، بایستی منبع اطلاعات مورد استفاده را مشخص کنیم. بطورکلی آزمایشات انجام شده در مورد حس بینایی به دو دستهٔ کلی نروفیزیولوژی (Neurophysiology) و روان فیزیکی (Psychophysics) تقسیم می‌شوند. توجه به تفاوت این دو دسته و نوع نتیجه‌ای که از اطلاعات آنها می‌توان بدست آورد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

آزمایشات نروفیزیولوژی آندسته آزمایشاتی هستند که متغیرهای آن ولتاژ یا فرکانس موج الکتریکی حاصل از یک سلول عصبی است. در این قبیل آزمایشات از محرکهایی مانند پالس نوری استفاده می‌شود و خروجی سلول مستقیماً با الکترودگذاری ثبت می‌شود. خصوصیت مهم این روش آنستکه ادراک هیچ تأثیری در نتیجهٔ آزمایش ندارد و به این دلیل چنین آزمایشاتی فقط در روی حیوانات انجام می‌شود.

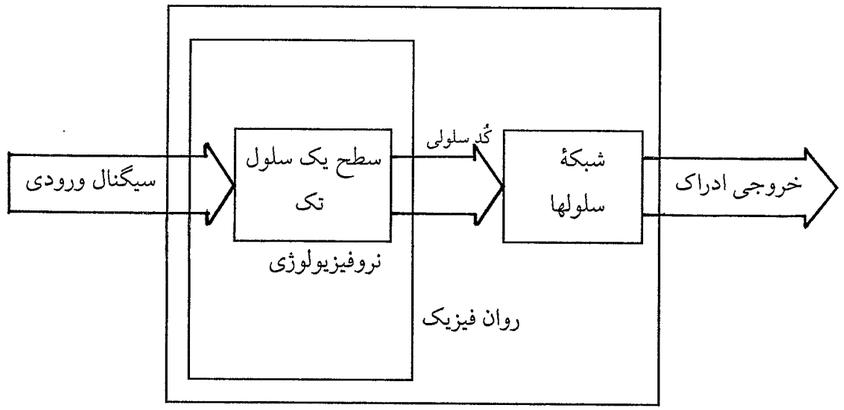
حیواناتی که برای این کار انتخاب می‌شوند عموماً از مهره‌داران ردهٔ پایین می‌باشند مانند انواع ماهیها، قورباغه، لاک‌پشت و سوسمار. دلیل استفاده از این نوع حیوانات اولاً راحتی آزمایش با آنهاست و ثانیاً بزرگ بودن سلولهای عصبی آنها می‌باشد که سهولت الکترودگذاری را فراهم می‌کند در مقابل اینگونه حیوانات تفاوتهای فیزیولوژیکی زیادی با انسان دارند که تعمیم نتیجهٔ آزمایشات آنان را به انسان غیرمعتبر می‌سازد. با پیشرفت تکنولوژی و ظهور میکرو الکترودها آزمایش بر روی حیوانات متکاملتر نزدیک به انسان خصوصاً میمون‌ها ممکن گردیده است. هرچند که آزمایش با حیوانی نظیر میمون مشکل، پرهزینه و نیازمند صرف وقت فراوان است و حتی درگیر مسائل اخلاقی نیز می‌باشد.

آزمایشات روان فیزیکی، آنهایی هستند که مختص انسان می‌باشند. زیرا که نتیجهٔ آزمایش بصورت شفاهی اخذ می‌شود و حاصل ادراک شخص می‌باشد. متغیرهای مورد استفاده در این نوع آزمایشات عبارتند از رنگ، دامنهٔ دریافت شده و قدرت تفکیک. روان فیزیک به پاسخهای شخص گفته می‌شود که حاصل درک بینایی وی باشد و بنابراین شاید بهتر باشد به این نوع آزمایشات روان بیولوژی اطلاق گردد. برای آنکه ارتباط بین این مفاهیم و حوزهٔ کاربرد آنها بهتر روشن شود شکل (۲-۱) را ملاحظه کنید.



شکل (۲-۱)

پاسخ عصبی می‌تواند به دو صورت(دو سطح) تعبیر گردد یکی در سطح یک سلول تک و دیگری در سطح شبکهٔ عصبی. در شکل (۲ـ۱) منظور پاسخ عصبی در سطح اول(یک سلول تک) می‌باشد. اگر پاسخ عصبی در سطح دوم نیز منظور باشد آنگاه مترادف پاسخ روان فیزیکی می‌باشد. شکل (۳ـ۱)



شکل (۳ـ۱)

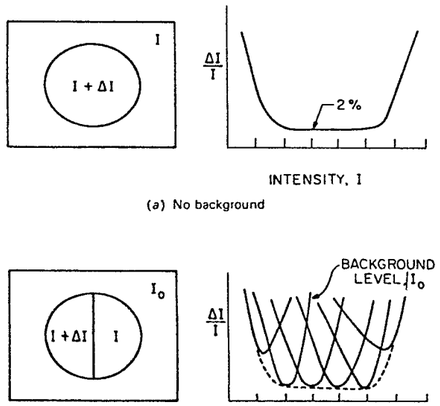
لازم به ذکر است همانطورکه آزمایشات بر دو نوع روان فیزیکی و نروفیزیولوژی می‌باشند نتایج، پدیده‌ها و مدلهای مربوط به آنها نیز بر همین دو نوع است. به عنوان مثال پدیدهٔ ماخ‌باند یک پدیدهٔ روان‌فیزیکی است در حالیکه پدیدهٔ تطبیق یک پدیدهٔ نروفیزیولوژی می‌باشد و همچنین مدل ارائه شده در این پایان‌نامه برای استراتژی نمونه‌برداری در شبکیه یک مدل نروفیزیولوژی می‌باشد.

۱ـ۱ـ۱) پدیده‌های بینایی

در این قسمت به ذکر چند پدیدهٔ بینایی و توضیح خلاصهٔ آنها پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است کلیهٔ این پدیده‌ها روان فیزیکی می‌باشند. از جملهٔ این پدیده‌های مهم ماخ‌باند می‌باشد که در فصل دوم و در مقایسه با آشکارسازی لبه در شبکیه راجع به آن گفته می‌شود.

ـ ***حساسیت کنتراست*** : پاسخ چشم به تغییرات شدت روشنایی غیرخطی است. برای بررسی این رفتار شکل (۴ـ۱) قسمت (a) را در نظر بگیرید. در این شکل ناحیه‌ای با شدت $I+\Delta I$ توسط زمینه‌ای با شدت I محاط شده است.

ΔI حداقل شدت قابل تشخیص است. در این شکل منحنی $\frac{\Delta I}{I}$ که موسوم به تابع وبر است برحسب I نیز رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود این تابع که معرف حساسیت کنتراست می‌باشد در گسترهٔ وسیعی از تغییرات شدت روشنایی ثابت و برابر ۰/۰۲ است.



شکل (۴ـ۱)

علاوه‌بر این حساسیت کنتراست تابع شدت روشنایی محیط نیز می‌باشد. به این منظور قسمت (b) شکل(۴ـ۱) را در نظر بگیرید. در این شکل دو ناحیه با حداقل اختلاف شدت قابل درک ΔI در یک محیط با شدت I_0 قرار داده شده‌اند و تابع وبر به ازای مقادیر مختلف شدت روشنایی محیط بدست آمده است. در این وضعیت ملاحظه می‌شود که گسترهٔ بدون تغییر تابع در مقایسه با حالت قبل بسیار کاهش یافته است ولی پوش منحنی‌ها همان قسمت (a) است.