

# آزمایش و ارزیابی سیستم‌های تصویری مادون قرمز

مؤلف: جرالد سی هولست

مترجم: نقی شاملی



سازمان صنایع دفاع

معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری

کلیدی حقوق محفوظ و متعلق به سازمان صنایع دفاع است.

هر نوع تکثیر یا نشر تمام یا بخش‌های مستقلی از این کتاب، منوط به اجازه‌ی کتبی ناشر است.

- سرشناسه : هولست، جرال د سی، ۱۹۴۲ - م. Holst, Gerald C.
- عنوان و نام پدیدآور : آزمایش و ارزیابی سیستم های تصویری مادون قرمز/نویسنده جرال د سی هولست ؛ ترجمه نقی شاملی ؛ [برای] سازمان صنایع دفاع معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری.
- مشخصات نشر : تهران: شرکت پیشرو فناوری قائد، ۱۳۹۳.
- مشخصات ظاهری : ۵۸۸ص: مصور، جدول، نمودار.
- شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۹۴۲۹۹-۸-۱
- عنوان اصلی : Testing and evaluation of infrared imaging systems . 3rd ed c 2008
- یادداشت : واژه نامه، کتابنامه.
- موضوع : تصویربرداری مادون قرمز، تجهیزات مادون قرمز -- آزمایش
- شناسه افزوده : شاملی، نقی، ۱۳۶۰ - مترجم
- شناسه افزوده : سازمان صنایع دفاع، معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری
- رده بندی کنگره : TA۱۵۷۰/۵۲۱۴ ۱۳۹۳
- رده بندی دیویی : ۶۲۱/۳۶۷۲
- شماره کتابشناسی ملی: ۳۷۰۱۴۸۵

عنوان: آزمایش و ارزیابی سیستم های تصویری مادون قرمز

مؤلف: جرال د سی هولست

مترجم: نقی شاملی

صاحب امتیاز و پدیدآورنده: معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری سازمان صنایع دفاع

نظارت: پژوهشکده اندیشه دفاعی، گروه پژوهشی آینده نگاری علوم و فناوری های دفاعی

ناشر: انتشارات شرکت پیشرو فناوری قائد

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۴۲۹۹-۸-۱

نوبت چاپ: اول-تابستان ۱۳۹۴

تیراژ: ۲۰۰ جلد

قیمت: ۴۰۰۰۰ تومان

مرکز توزیع و پخش:

تهران، بالاتر از چهارراه پاسداران، سه راه اختیاریه، سازمان صنایع دفاع، معاونت علوم، تحقیقات و توسعه

۰۲۱- ۲۲۷۷۱۲۲۳

www.idea-sasad.ir

فناوری

تهران، نارمک، بالاتر از میدان نبوت (هفت حوض)، خیابان کیانی ثابت، مجتمع تجاری کیش، طبقه ششم،

۰۲۱-۷۷۲۴۱۰۱۴-۵

واحد ۱۱، انتشارات شرکت پیشرو فناوری قائد

## پیش‌گفتار

مسئله‌ی پیشرفت علمی و ارتباط علم با فناوری را در کشور جدی بگیرید؛ یعنی نسبت به این مسئله واقعاً هیچ کوتاهی صورت نگیرد. این مسئله، مسئله‌ی اساسی ما است؛ یکی از اصلی‌ترین، اساسی‌ترین و فوری‌ترین مسائل ما است. از بیانات مقام معظم رهبری (مدظله العالی) (۹۳/۴/۱۱)

توجه به ظرفیت‌های تولید درون‌زای علم و دانش بر پایه تحقیق و توسعه موجب نوآوری و خلق محصولات و فناوری‌های توانمندساز به‌عنوان عامل پیشران حرکت صنایع دانش‌بنیان خواهد شد.

محققان به‌عنوان سرمایه‌های انسانی دانش‌مدار، رکن اساسی تحقیق و توسعه و کانون تولید دانش و فناوری محسوب شده و نقش اساسی را در شکستن مرزهای دانش و نوآوری و کشف راه‌های میان‌بر توسعه علم و فناوری و در نهایت خلق شایستگی و کسب اقتدار بر عهده دارند و بدون وجود زیرساخت‌های لازم برای مدیریت اثربخش محققان و نخبگان، حرکت در مسیر چشم‌انداز صنایع بسیار کند خواهد بود.

از این رو معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری ضمن ارج نهادن به محققین دانش با حمایت از آثار مولفین و مترجمین و انتشار دستاوردهای با ارزش آنان گامی موثر در ترویج و

توسعه دانش برداشته است. بدون تردید رهیافت‌های این عمل پسندیده، آموزه‌های گرانقدری را برای غنا بخشیدن به اندوخته‌های نظری و بهبود رویکردهای علمی در اختیار محققین و بهره‌برداران قرار خواهد داد.

کتابی که پیش‌رو دارید، یکی از معدود کتاب‌هایی است که به‌صورت جامع به نحوه‌ی کار سیستم‌های مادون قرمز می‌پردازد. سیستم‌های مادون قرمز برای آشکارسازی، هدف‌یابی و تصویربرداری استفاده می‌شوند و کاربردهای بسیاری در صنایع نظامی و غیرنظامی دارند. در این کتاب، روش‌شناسی آزمون‌ها، نحوه آزمایش و ارزیابی سیستم‌های تصویری مادون قرمز مطرح شده است. امید است که مورد استفاده‌ی اندیشمندان و صاحب‌نظران این حوزه قرار گیرد.

در پایان، معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری بر خود لازم می‌داند تا از همه‌ی پژوهشگران و محققانی که با رهنمودها و توصیه‌های ارزشمند خود بر غنای کتاب افزوده‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر نماید.

معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری

## پیش‌گفتار مترجم

سیستم‌های مادون قرمز، سیستم‌هایی هستند که در منطقه‌ی مادون قرمز طیف الکترومغناطیسی کار کرده و برای آشکارسازی، هدف‌یابی و تصویربرداری اجسام مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرند و کاربردهای متعددی در زمینه‌های نظامی و صنعتی دارند. طراحی و ارزیابی عملکرد این سیستم‌ها، نیازمند آگاهی در زمینه‌های تخصصی متعدد شامل اپتیک، آشکارسازها، تئوری نویز، تاثیرات اتمسفری و پردازش سیگنال و تصویر می‌باشد. علی‌رغم آن که در هر کدام از این زمینه‌ها، کتاب‌های ارزشمندی به زبان اصلی وجود دارد، اما کتابی جامع که همه‌ی این زمینه‌ها را برای طراحی جامع سیستم به‌همدیگر ارتباط دهد خیلی محدود و نایاب می‌باشد. کتاب حاضر یکی از محدود کتاب‌هایی است که در این زمینه نگاشته شده و به‌همین دلیل، تصمیم به ترجمه این کتاب گرفته شد. امید است که ترجمه فوق پاسخ‌گوی نیازمندی‌های جامعه‌ی علمی و مخصوصاً صنایع دفاعی کشور باشد.

در این‌جا بر خود لازم می‌دانم از آقایان محمود تابان، مهدی عزیزاده، بهنام نبوری‌زاده و محمدرضا بیانی به دلیل همکاری و پیگیری مراحل مختلف چاپ کتاب تشکر و قدردانی نمایم.

در خاتمه لازم می‌دانم از آقای مهندس عیسی اردلان‌نیا و مخصوصاً آقای مهندس حسن شاهوردی که فضای علمی و تحقیقاتی مطلوبی را در راستای انجام پژوهش‌های علمی فراهم نموده‌اند، تقدیر و تشکر نموده و همچنین از معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری سازمان صنایع دفاع که در چاپ به‌موقع این اثر اهتمام ورزیده‌اند، نهایت تشکر را دارم.

**نقی شاملی**

زمستان ۹۳

## فهرست مطالب

پیش‌گفتار نویسنده / ۱۱

فصل اول: مقدمه / ۱۵

۱-۱- سیستم‌های تصویری مادون قرمز / ۱۷

۲-۱- کیفیت تصویر / ۲۶

۱-۲-۱- اندازه‌های فیزیکی / ۳۲

۲-۲-۱- ارزیابی غیرعینی / ۳۴

۳-۱- فلسفه آزمون / ۳۹

۱-۳-۱- طرح آزمون / ۴۲

۲-۳-۱- تجهیز آزمون / ۴۲

۳-۳-۱- تحلیل داده‌ها / ۴۳

۴-۳-۱- مستندسازی / ۴۴

۴-۱- آزمون خودکار / ۴۶

۵-۱- آزمایش میدان / ۴۸

۶-۱- منابع / ۴۹

## فصل دوم: عملکرد سیستم تصویری مادون قرمز / ۵۱

۱-۲- طراحی سیستم / ۵۴

۲-۱-۲- سیستم‌های نظامی / ۵۴

۲-۱-۲- سیستم‌های غیرنظامی / ۵۶

۲-۱-۲- انتخاب سیستم / ۵۶

۲-۲- اپتیک و اسکنر / ۶۱

۲-۲-۱- اپتیک / ۶۱

۲-۲-۲- اسکنرها / ۶۶

۲-۲-۳- میکرواسکن / ۷۲

۲-۳- آشکارسازها و الکترونیک آشکارساز / ۷۲

۲-۳-۱- سیستم‌های اسکنی / ۷۵

۲-۳-۲- سیستم‌های استارینگ / ۷۹

۲-۴- دیجیتال سازی / ۸۰

۲-۵- پردازش تصویر / ۹۳

۲-۵-۱- بهنجارش بهره/سطح / ۹۴

۲-۵-۲- قالب‌بندی تصویر / ۱۰۰

۲-۵-۳- تصحیح گاما / ۱۰۰

۲-۶- نوسازی / ۱۰۴

۲-۷- صفحات نمایش / ۱۰۴

۲-۷-۱- گاما / ۱۰۵

۲-۷-۲- تفکیک پذیری / ۱۰۷

۲-۷-۳- قالب / ۱۰۹

۲-۸- پیدایش مصنوع / ۱۰۹

۹-۲- مراجع/ ۱۱۳

فصل سوم: اصول فناوری مادون قرمز/ ۱۱۹

۱-۳- تابش سنجی/ ۱۲۲

۱-۱-۳- چشمه گسترده، مشاهده مستقیم/ ۱۲۳

۲-۱-۳- چشمه گسترده در موازی ساز/ ۱۲۵

۳-۱-۳- چشمه نقطه‌ای/ ۱۲۶

۲-۳- تابش برحسب دما/ ۱۳۳

۱-۲-۳- قانون جسم سیاه پلانک/ ۱۳۳

۲-۲-۳- گسیلندگی/ ۱۳۵

۳-۲-۳- فرمول دورین/ ۱۳۶

۴-۲-۳- مفهوم  $\lambda T$ / ۱۳۸

۳-۳- آرایه‌های استارینگ/ ۱۴۴

۴-۳- بهنجارش/ ۱۴۶

۵-۳- فرکانس فضایی/ ۱۵۰

۶-۳- مراجع/ ۱۵۴

فصل چهارم: روش‌های عمومی اندازه‌گیری/ ۱۵۷

۱-۴- اجسام سیاه/ ۱۶۰

۲-۴- اهداف/ ۱۶۵

۱-۲-۴- اهداف گسیل‌کننده استاندارد/ ۱۶۶

۲-۲-۴- اهداف بازتاب‌کننده/ ۱۷۵

۳-۲-۴- چرخ‌های هدف/ ۱۷۷

۴-۲-۴- اهداف تابنده جدید/ ۱۷۸

- ۴-۲-۵- اهداف تجربی / ۱۸۲
- ۴-۲-۶- اهداف غیرفعال / ۱۸۳
- ۴-۲-۷- چشمه‌ها به‌عنوان اهداف / ۱۸۴
- ۴-۲-۸- ملاحظات بیشتر / ۱۸۵
- ۴-۳- موازی‌سازها / ۱۸۷
- ۴-۴- گذردهی و اغتشاش اتمسفری / ۱۹۵
- ۴-۵- مقرّ نصب / ۱۹۷
- ۴-۶- اخذ داده‌ها / ۱۹۸
- ۴-۷- مهندس آزمون / ۲۰۸
- ۴-۸- مراجع / ۲۱۰
- فصل پنجم: فوکوس و تفکیک‌پذیری سیستم / ۲۱۳
- ۵-۱- روش‌شناسی آزمون / ۲۱۸
- ۵-۲- آزمون‌های فوکوس / ۲۲۱
- ۵-۲-۱- روش بصری / ۲۲۱
- ۵-۲-۲- روش دامنه سیگنال ویدئویی / ۲۲۷
- ۵-۲-۳- روش تابع انتقال مدولاسیون (MTF) / ۲۲۹
- ۵-۲-۴- الگوریتم‌های آشکارسازی لبه / ۲۳۱
- ۵-۳- تفکیک‌پذیری سیستم / ۲۳۲
- ۵-۳-۱- تعاریف تفکیک‌پذیری / ۲۳۲
- ۵-۳-۲- سنل‌ها، پیکسل‌ها، دیتل‌ها، دیسل‌ها، و رسل‌ها / ۲۴۲
- ۵-۳-۳- اهداف تفکیک‌پذیری / ۲۴۵
- ۵-۴- مشخصات نمونه / ۲۴۹

۵-۵- مراجع / ۲۵۱

فصل ششم: پاسخ‌دهی سیستم / ۲۵۳

۱-۶- تابع انتقال سیگنال / ۲۵۵

۱-۶-۱- پاسخ‌دهی سیستم / ۲۵۶

۱-۶-۲- دستورالعمل آزمون تابع انتقال سیگنال / ۲۶۲

۱-۶-۳- پاسخ‌دهی و یکنواختی بهره / ۲۶۹

۲-۶- تابع انتقال نامتناوب و تابع پاسخ شکاف / ۲۷۲

۳-۶- گستره دینامیکی و خطی بودن / ۲۷۸

۴-۶- سرمایه‌ش / ۲۸۴

۵-۶- مشخصات نمونه / ۲۸۶

۶-۶- مراجع / ۲۸۷

فصل هفتم: نویز در سیستم / ۲۸۹

۱-۷- آمار نویز / ۲۹۲

۲-۷- سیستم‌های اسکنی (قبل از ۱۹۹۰) / ۲۹۶

۳-۷- آرایه‌های استارینگ (بعد از ۱۹۹۰) / ۳۰۲

۴-۷- مدل سه‌بعدی نویز / ۳۰۴

۱-۴-۷- عملگرهای D / ۳۰۵

۲-۴-۷- مولفه‌های نویز / ۳۰۹

۳-۴-۷- دوسویه بودن / ۳۱۳

۴-۴-۷- نویز با الگوی ثابت، دمای تفاضلی معادل نویز و غیریکنواختی / ۳۱۴

۵-۴-۷- حذف فرکانس پایین / ۳۱۶

۶-۴-۷- سیستم‌های اسکنی / ۳۱۹

- ۷-۴-۷- سیستم‌های استارینگ / ۳۲۱
- ۷-۵- دستورالعمل آزمون دمای تفاضلی معادل نویز / ۳۲۲
- ۷-۶- چه تعداد نمونه مورد نیاز می‌باشد؟ / ۳۲۶
- ۷-۷- نویز با الگوی ثابت / ۳۲۸
- ۷-۸- غیر یکنواختی / ۳۳۳
- ۷-۹- چگالی شار معادل نویز / ۳۳۸
- ۷-۱۰- چگالی طیفی توان نویز / ۳۴۰
- ۷-۱۱- مشخصات نمونه / ۳۴۵
- ۷-۱۲- مراجع / ۳۴۷
- فصل هشتم: توابع انتقال مدولاسیون، فاز و تباین / ۳۵۱
- ۸-۱- تعاریف تابع انتقال مدولاسیون و تابع انتقال تباین / ۳۵۳
- ۸-۲- تابع انتقال مدولاسیون / ۳۵۶
- ۸-۲-۱- رویکرد عمومی / ۳۵۹
- ۸-۲-۲- ایزوپلنتیسم / ۳۶۴
- ۸-۲-۳- خطی بودن سیستم / ۳۶۴
- ۸-۲-۴- نمونه برداری فضایی / ۳۶۷
- ۸-۲-۵- دیجیتال سازی سیگنال آنالوگ / ۳۶۸
- ۸-۳- اهداف تابع انتقال مدولاسیون / ۳۷۱
- ۸-۳-۱- آرایه‌های متناوب / ۳۷۲
- ۸-۳-۲- شکاف کج شده / ۳۷۷
- ۸-۳-۳- لبه تیز / ۳۷۸
- ۸-۴- تحلیل داده / ۳۸۴

- ۸-۴-۱- حذف پس زمینه آنالوگ / ۳۸۴
- ۸-۴-۲- ناپایداری سیگنال / ۳۸۷
- ۸-۴-۳- نویز / ۳۸۸
- ۸-۴-۴- تقارن تابع پخشیدگی خط آنالوگ / ۳۹۵
- ۸-۴-۵- فلیر / ۳۹۵
- ۸-۴-۶- تابع انتقال مدولاسیون مجموعه آزمون / ۳۹۷
- ۸-۵- تبدیل فوریه / ۳۹۷
- ۸-۵-۱- تبدیل گسسته / ۳۹۸
- ۸-۵-۲- بهنجارش دامنه / ۴۰۳
- ۸-۵-۳- مقیاس گذاری فرکانس / ۴۰۴
- ۸-۶- دستورالعمل آزمون تابع انتقال مدولاسیون / ۴۰۸
- ۸-۷- تابع انتقال فاز / ۴۱۵
- ۸-۸- تابع انتقال تباین / ۴۲۰
- ۸-۹- مراجع / ۴۳۰
- فصل نهم: تابع انتقال هندسی / ۴۳۷
- ۹-۱- میدان دید / ۴۳۹
- ۹-۲- اعوجاج هندسی / ۴۴۴
- ۹-۳- غیر خطی بودن اسکن / ۴۴۹
- ۹-۴- تنظیم محور ایتیکی / ۴۵۵
- ۹-۵- عملکرد دید ماشین / ۴۵۷
- ۹-۵-۱- اندازه گیری موقعیت و شمارش اجسام / ۴۵۷
- ۹-۵-۲- بازدهی الگوریتم / ۴۶۱

۶-۹- مشخصات نمونه / ۴۶۲

۷-۹- مراجع / ۴۶۴

فصل دهم: تفسیر مشاهده‌کننده از کیفیت تصویر / ۴۶۵

۱-۱۰- مشاهده‌کننده / ۴۶۸

۱-۱-۱۰- پاسخ فرکانس دید / ۴۷۰

۲-۱-۱۰- زاویه دید / ۴۷۴

۳-۱-۱۰- تصاویر دارای نویز / ۴۷۷

۴-۱-۱۰- مهارت مشاهده‌کننده / ۴۷۹

۲-۱۰- آزمون‌های حداقل دمای تفکیک‌پذیری و حداقل دمای آشکارسازی / ۴۸۰

۱-۲-۱۰- روش‌شناسی آزمون غیرعینی (دستی) / ۴۸۸

۲-۲-۱۰- روش‌شناسی آزمون نیمه خودکار / ۴۹۷

۳-۱۰- تشخیص جهت‌گیری مثلث (TOD) / ۵۰۱

۴-۱۰- نمونه‌برداری دینامیکی / ۵۰۴

۵-۱۰- مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر مشخصات / ۵۰۷

۶-۱۰- مشخصات نمونه / ۵۱۱

۷-۱۰- مراجع / ۵۱۳

فصل یازدهم: آزمایش خودکار / ۵۱۹

۱-۱۱- اندازه‌های فیزیکی / ۵۲۳

۲-۱۱- آزمون حداقل دمای آشکارسازی خودکار / ۵۲۵

۲-۲-۱۱- دیدگاه پیکسل‌ها روی هدف / ۵۲۷

۲-۲-۱۱- رویکرد دمای تفاضلی معادل نویز/تابع انتقال مدولاسیون / ۵۳۰

۳-۲-۱۱- کالبراسیون حداقل دمای تفکیک‌پذیری خودکار / ۵۳۲

۱۱-۳- پروژکتور دینامیکی صحنه مادون قرمز / ۵۳۳

۱۱-۴- مراجع / ۵۳۶

فصل دوازدهم: تحلیل عدم قطعیت / ۵۳۹

۱۲-۱- میانگین، واریانس و تکرارپذیری / ۵۴۰

۱۲-۲- توزیع گاوسی / ۵۴۲

۱۲-۲-۱- آمار گاوسی / ۵۴۳

۱۲-۲-۲- رد کردن داده‌های ناهمخوان / ۵۴۶

۱۲-۲-۳- مقادیر حداقل و حداکثر / ۵۴۷

۱۲-۳- دقت و بایاس / ۵۴۸

۱۲-۴- آزمون تی استودنت / ۵۵۰

۱۲-۵- عدم قطعیت / ۵۵۴

۱۲-۶- عدم قطعیت  $\Delta T_{\text{Apparent}}$  / ۵۵۷

۱۲-۶-۱- بازتابندگی / ۵۵۷

۱۲-۶-۲- گسیلندگی / ۵۵۸

۱۲-۶-۳- گذردهی اتمسفری / ۵۵۸

۱۲-۶-۴- عدم قطعیت  $\Delta T$  / ۵۵۹

۱۲-۶-۵- تخمین  $U_{\Delta T \text{ Apparent}}$  / ۵۶۴

۱۲-۷- عدم قطعیت  $\Delta V_{\text{sys}}$  / ۵۶۶

۱۲-۸- عدم قطعیت تابع انتقال سیگنال / ۵۶۷

۱۲-۹- عدم قطعیت حداقل دمای تفکیک‌پذیری / ۵۶۹

۱۲-۱۰- مراجع / ۵۷۵

واژه‌نامه / ۵۷۷