سیستم مانیتورینگ میکروسکوپ

سیستم مانیتورینگ میکروسکوپ مجموعه‌ای از ابزارهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است که برای پایش، کنترل و ثبت عملکرد میکروسکوپ در طول زمان طراحی شده است. این سیستم‌ها به محققان و مدیران آزمایشگاه امکان می‌دهند تا کیفیت تصاویر را تضمین کنند، از تکرارپذیری نتایج اطمینان حاصل نمایند و عملکرد دستگاه را بهینه نگه دارند.

---

۱ .اجزای اصلی سیستم مانیتورینگ

۱,۱ .واحد پایش عملکرد(Performance Monitor)

این واحد وظیفه اندازه‌گیری پارامترهای کلیدی زیر را بر عهده دارد :

پارامتر	توضیح	اهمیت
پایداری توان تابش (Irradiance Power Stability)	اندازه‌گیری تغییرات توان لیزر یا لامپ در طول زمان	برای تصویربرداری کمی (Quantitative Imaging) حیاتی است
عملکرد تصویربرداری (Imaging Performance)	کیفیت فوکوس و دقت سیستم نوری	تأثیر مستقیم بر وضوح تصاویر
حساسیت آشکارساز (Detection Sensitivity)	توانایی سیستم در تشخیص سیگنال‌های ضعیف فلورسانس	برای تشخیص سیگنال‌های ضعیف ضروری است
یکنواختی روشنایی میدان (Field Illumination Flatness)	توزیع یکنواخت نور در سراسر میدان دید	برای تصویربرداری کمی دقیق
انحراف رنگی (Chromatic Aberration)	هم‌راستایی دقیق طول موج‌های مختلف	در مطالعات هم‌محلی (Co-localization) مهم است
انحراف مرحله (Stage Drift)	حرکت ناخواسته نمونه در طول زمان	در تصویربرداری Time-lapse
تکرارپذیری موقعیت مرحله (Stage Position Repeatability)	دقت بازگشت به موقعیت قبلی	برای تصویربرداری چندموقعیتی

۱,۲ .نرم‌افزار کنترل و پایش

نرم‌افزارهای متعددی برای کنترل و مانیتورینگ میکروسکوپ‌ها وجود دارند:

الف) نرم‌افزارهای اختصاصی (Proprietary)

- **Labscope (ZEISS):** نرم‌افزاری که میکروسکوپ و دوربین ZEISS را به یک سیستم تصویربرداری WiFi تبدیل می‌کند. قابلیت‌های ضبط تصویر و ویدیو، annotation، گزارش‌سازی و ایجاد کلاس درس دیجیتال را دارد .
- **Leica Application Suite X (LAS X):** نرم‌افزار اختصاصی لایکا برای کنترل میکروسکوپ‌های کانفوکال و ثبت تصاویر .
- **PRECiV (Evident/Olympus):** نرم‌افزار تحلیل تصویر با قابلیت‌هایی مانند EZ mode برای ساخت گردش کار سفارشی و Live AI که به صورت خودکار جزئیات پنهان را آشکار می‌کند .

ب) نرم‌افزارهای متن‌باز (Open Source)

- **Micro-Manager:** یک پلاگین رایگان و متن باز درون ImageJ که طیف وسیعی از میکروسکوپ ها و سخت‌افزارهای جانبی (مراحل پیزوالکتریک، فیلتر ویلها، شاترها) را پشتیبانی می‌کند. این نرم‌افزار توسط Teledyne Photometricsتوسعه و پشتیبانی می‌شود .

ج) نرم‌افزارهای سفارشی (Custom Frameworks)

- **Viscope:** یک فریم‌ورک مبتنی بر پایتون برای کنترل هماهنگ دستگاه‌های مختلف مانند دوربین‌ها، لیزرها، مراحل (Stage)و مدولاتورهای نوری. ویژگی کلیدی آن امکان توسعه نرم‌افزار بر روی یک سیستم مجازی (virtual microscope)قبل از اتصال به دستگاه واقعی است .

---

۲ .روش کار گام به گام

مرحله ۱: آماده‌سازی سیستم

۱. **نصب نرم‌افزار کنترل :** نرم‌افزار مناسب برای میکروسکوپ خود را نصب کنید :

- برای دوربین‌های Teledyne: PVCAM drivers را نصب کنید
- برای ZEISS: Labscope را از اپ استور دانلود کنید
- برای Leica: LAS X را اجرا کنید

۲. **اتصال سخت‌افزاری :**دوربین، مراحل پیزوالکتریک و سایر تجهیزات جانبی را به کامپیوتر متصل کنید
۳. **راه‌اندازی کانفیگ :**فایل پیکربندی سخت‌افزاری (Hardware Configuration File) را برای سیستم خود ایجاد کنید که مشخص کند از چه قطعاتی استفاده می‌شود

مرحله ۲: گرم کردن سیستم(Warm-up)

قوانین زیر بسیار حیاتی هستند :

- **حداقل ۶۰ دقیقه** سیستم را روشن بگذارید تا تثبیت شود
- این کار به ویژه برای اندازه‌گیری‌های کمی و فلورسانس اهمیت دارد
- توان لیزر در دقایق اولیه گرم‌کردن ناپایدار است، به خصوص در تنظیمات توان پایین (مانند ٪۱)

مرحله ۳: پایش عملکرد(Performance Monitoring)

سیستم‌های مدرن مانند Microscope Performance Monitor در میکروسکوپ FV4000 به صورت خودکار مراحل زیر را انجام می‌دهند :

پایش توان لیزر(Laser Power Monitoring)

۱. لیزر ۴۰۵ نانومتر روی ٪۱۰۰ تنظیم می‌شود
۲. سایر لیزرها روی ٪۰ قرار می‌گیرند
۳. لیزر گسیل می‌شود و توسط یک beam splitter منعکس می‌گردد
۴. بخشی از لیزر وارد photo detector می‌شود(Laser Power Monitor)
۵. سیستم توان خروجی در ٪۱۰۰ را محاسبه می‌کند
۶. این فرآیند برای همه لیزرهای نصب شده تکرار می‌شود

تنظیم خودکار :سیستم مقدار فعلی توان را با مقدار زمان نصب مقایسه می‌کند و پارامترهای لیزر را به طور خودکار تنظیم می‌کند تا خروجی ثابت بماند. توصیه می‌شود قبل از هر بار تصویربرداری این عملکرد را فعال کنید .

پایش حساسیت آشکارساز(Detection Sensitivity Monitoring)

۱. Beam splitterمناسب انتخاب و لیزر ۴۰۵ نانومتر به آشکارساز ۱ هدایت می‌شود
۲. یک آینه corner cube نور لیزر را با شدت کاهش یافته منعکس می‌کند

۳. نور از pinhole عبور کرده و به سیستم تشخیص FV4000 می‌رسد
۴. حساسیت نسبی آشکارساز نسبت به زمان نصب محاسبه می‌شود
۵. فرآیند برای همه آشکارسازهای نصب شده تکرار می‌شود

همچنین موقعیت pinhole در هر دو محور X و Y در ۱۱ موقعیت مختلف بررسی می‌شود .

مرحله ۴: ثبت و ذخیره‌سازی داده‌ها

- تصاویر و داده‌ها با فرمت‌های مختلف) مانند (JPEG ذخیره می‌شوند
- داده‌ها را می‌توان از طریق سیستم‌های یکپارچه) مانند (Chemotion ELN به اشتراک گذاشت و آرشیو کرد
- برای سیستم‌های متصل به) LAN شبکه داخلی)، امکان انتقال خودکار داده‌ها به فضای ذخیره‌سازی شبکه وجود دارد

مرحله ۵: نگهداری و بررسی دوره‌ای

بر اساس استاندارد ISO 21073:2019 ، توصیه‌های زیر برای نگهداری ارائه می‌شود :

دفعات	اقدام
روزانه	گرم کردن ۶۰ دقیقه‌ای قبل از شروع کار
قبل از هر تصویربرداری	فعال کردنLaser Power Monitor
هفتگی	بررسی تغییرات توان لیزر و حساسیت آشکارساز
ماهانه	انجام پایش کامل ۷ پارامتر کلیدی
سالانه	سرویس تخصصی توسط تکنسین و کالیبراسیون

---

۳ .قابلیت‌های پیشرفته مانیتورینگ

۳,۱ .هوش مصنوعی(Live AI)

سیستم‌های مدرن مانند DSX2000 از Evident دارای قابلیت Live AI هستند که می‌توانند:

- در زمان کوتاهی آموزش داده شود تا جزئیات پنهان را آشکار کند

- اندازه‌گیری‌های زنده و تشخیص ویژگی‌ها را خودکار کند
- کمک به تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی برای کاهش خطای اپراتور

۳,۲ .مانیتورینگ از راه دور (Remote/Telemicroscopy)

میکروسکوپ‌های پیشرفته قابلیت اتصال از راه دور را فراهم می‌کنند :

- کاربران می‌توانند از طریق شبکه داخلی به میکروسکوپ متصل شوند
- کنترل(X, Y, Z) stage ، فوکوس، بزرگنمایی و روشنایی از راه دور امکان‌پذیر است
- تصاویر با وضوح بالا را می‌توان از راه دور ضبط و در دایرکتوری محلی ذخیره کرد
- انتقال خودکار داده‌ها به سیستم‌های مدیریت اطلاعات آزمایشگاهی (ELN) مانند Chemotion امکان‌پذیر است

---

۴ .عیب‌یابی مشکلات رایج

مشکل	علت احتمالی	راه‌حل
توان لیزر کاهش یافته	تغییرات دمای محیط، فرسودگی لیزر	فعال کردن Laser Power Monitor برای جبران خودکار
حساسیت آشکارساز افت کرده	جابجایی موقعیت pinhole به دلیل تغییرات دمای فصل	اجرای پایش حساسیت آشکارساز
تصاویر فلور سانس کمی کیفیت پایین دارند	گرم کردن ناکافی سیستم (کمتر از ۶۰ دقیقه)	سیستم را حداقل ۶۰ دقیقه قبل از تصویربرداری گرم کنید
نویز زیاد در تصاویر	لنز کثیف یا اشتباه در روغن غوطه‌وری	لنز را تمیز کنید و نوع روغن را بررسی کنید
عدم اتصال از راه دور	مشکل در IP address یا پورت‌ها	با تکنسین تماس بگیرید تا ip های صحیح را دریافت کنید
عدم تشخیص دوربین	درایورها به درستی نصب نشده‌اند	PVCAM driversرا نصب کنید

---

۵ .چک‌لیست سریع برای کاربران

مرحله	اقدام	انجام شد؟
۱	سیستم روشن و حداقل ۶۰ دقیقه گرم شده است؟	☐
۲	Laser Power Monitorفعال شده و توان لیزر بررسی شده است؟	☐
۳	حساسیت آشکارساز در محدوده قابل قبول است؟	☐
۴	لنزها تمیز و عاری از گرد و غبار هستند؟	☐
۵	نرم‌افزار کنترل به درستی به میکروسکوپ متصل است؟	☐
۶	مسیر ذخیره‌سازی داده‌ها به درستی تنظیم شده است؟	☐
۷	در صورت نیاز به تصویربرداری از راه دور، اتصال شبکه برقرار است؟	☐
۸	لاگ‌بوک عملکرد تکمیل شده است؟	☐

---

۶ .نکات کلیدی برای موفقیت

قانون	توضیح
🌡 **گرم کردن کامل سیستم (۶۰ دقیقه)**	برای تصویربرداری کمی فلورسانس ضروری است
📊**پایش منظم توان لیزر**	توان لیزر با تغییرات دمای محیط نوسان می‌کند؛ باید قبل از هر بار تصویربرداری تصحیح شود
🔍**بررسی دوره‌ای حساسیت آشکارساز**	به ویژه در فصول مختلف سال که دمای اتاق تغییر می‌کند
تمیزکاری لنزها	از روغن غوطه‌وری مناسب و لنز تمیز استفاده کنید
📝**ثبت داده‌ها**	از سیستم‌های مدیریت داده مانند ELN برای ذخیره‌سازی منظم تصاویر استفاده کنید

✨جمع‌بندی نهایی

سیستم مانیتورینگ میکروسکوپ یک ابزار ضروری برای تضمین کیفیت و تکرارپذیری در تصویربرداری میکروسکوپی است. با رعایت اصول زیر می‌توانید نتایج قابل اعتمادی به دست آورید:

۱. 🌡 **۶۰ دقیقه گرم کردن** برای تثبیت توان لیزر الزامی است
۲. 📊**پایش خودکار توان لیزر** قبل از هر تصویربرداری – توان لیزر با تغییرات دما نوسان می‌کند
۳. 🔍**بررسی دوره‌ای حساسیت آشکارساز** –به ویژه در فصول مختلف سال
۴. 📄**استفاده از نرم‌افزارهای استاندارد** مانندMicro-Manager ، LabscopeیاPRECiV

۵. **اتصال صحیح سخت‌افزار و کانفیگ مناسب** –فایل کانفیگ سخت‌افزاری را به درستی تنظیم کنید
۶. **ثبت منظم داده‌ها و بررسی‌های عملکرد** –برای ردیابی تغییرات بلندمدت