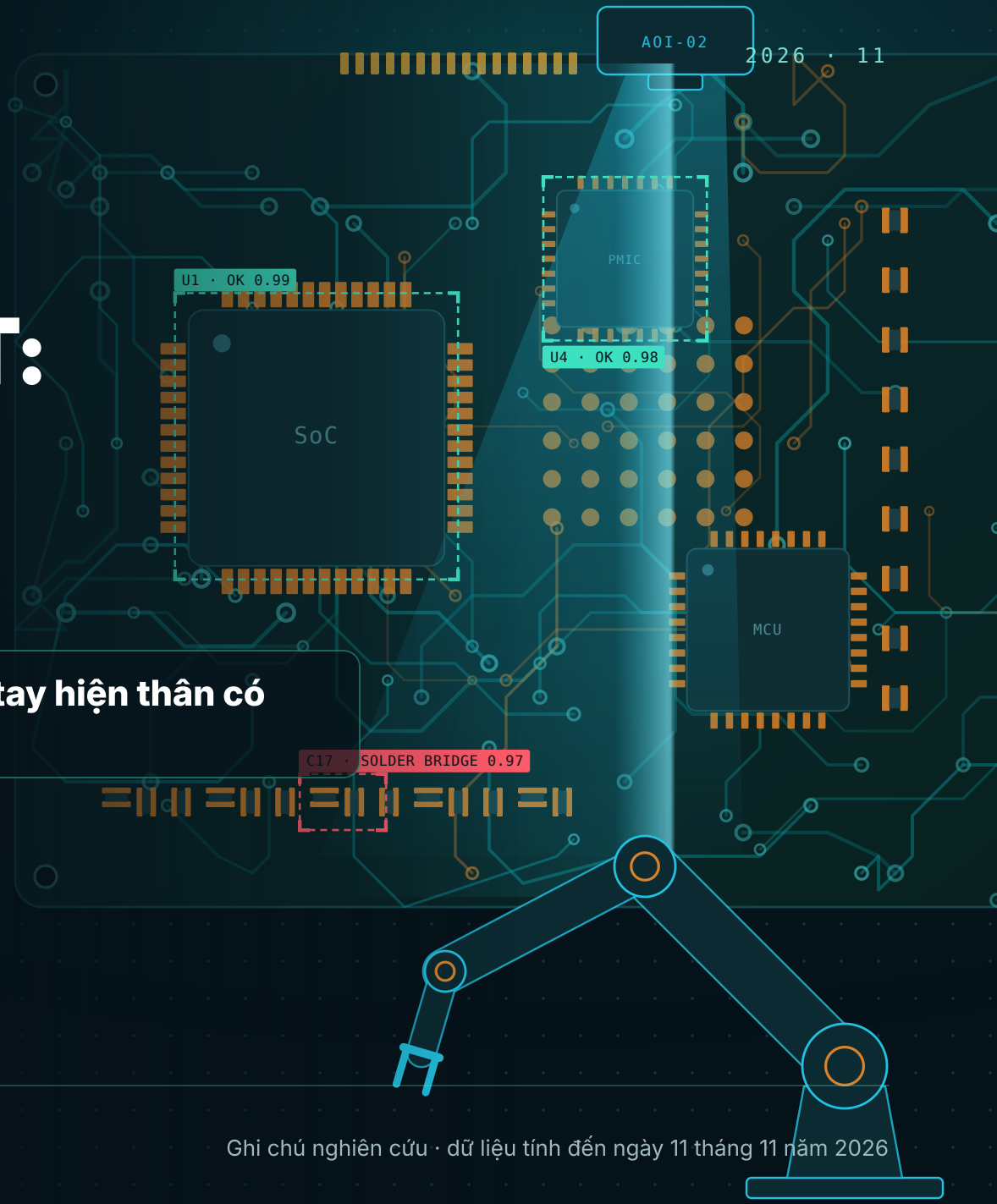


SẢN XUẤT ĐIỆN TỬ · KIỂM TRA AI × ROBOT

AI trên dây chuyền SMT:

điều gì hoàn vốn trong năm 2026

Kiểm tra thị giác bằng AI và cánh tay robot trong các nhà máy điện tử

Trung Quốc đại lục · Đài Loan · Đông Nam Á · Hoa Kỳ

PHÁT HIỆN CHÍNH

Rà soát AI đáng làm, trong phạm vi hẹp. Cánh tay hiện thân có thể chờ.

Tan Shuai
tanshuai.comi@tanshuai.com

Ghi chú nghiên cứu · dữ liệu tính đến ngày 11 tháng 11 năm 2026

Đáng làm, nhưng trong phạm vi hẹp, ngay bây giờ và cùng đối tác

PHÁT HIỆN CHÍNH

Điều chín muồi trong năm 2026, và điều các nhà máy sẽ trả tiền, là rà soát AI và kiểm tra ngách trên ảnh AOI cộng với phục vụ máy bằng robot được lập trình, chứ không phải "một mô hình lớn nhìn tấm mạch cộng với robot hiện thân gắp chúng".

0.46–0.65 yr

Thời gian hoàn vốn của rà soát AI tại Mỹ, Đài Loan và Thâm Quyến, ở mức 50 nghìn RMB mỗi dây chuyền

≥95% · <20 PPM

Hệ thống rà soát AI nội bộ của một EMS hàng đầu: chuẩn mực để bán cho EMS cấp 1

100–700 RMB M

Thị trường nâng cấp do bên thứ ba thực hiện có thể phục vụ tại Trung Quốc đại lục, một lần, trong khoảng 5 năm

0 scores

Điểm benchmark khuyết tật công nghiệp của các mẫu flagship tháng 11/2026

1.1–1.5 yr

Thời gian hoàn vốn của một cụm cobot phục vụ máy, hai ca

0.003–0.14 FTE

Lao động mà một cánh tay robot gắp bỏ tiết kiệm mỗi ca: nó không bao giờ hoàn vốn

Nguồn: tóm tắt điều hành và Chương 4–5 của báo cáo; các con số hoàn vốn và thị trường là ước tính của tác giả.

Sáu câu hỏi, sáu câu trả lời

① Nhà máy đang vận hành gì

3D SPI, AOI trước và sau reflow, X-ray lấy mẫu, ICT/FCT. Một người rà soát phía sau mỗi AOI; takt ≈13–22 giây mỗi tấm mạch.

② Công nghệ đi được bao xa

Kiểm tra đạt cấp công nghiệp ở dạng bộ phát hiện + rà soát AI + vài người; không bao giờ là không người ở bất kỳ mức giá nào. Đại lục: mô hình nội địa; Đài Loan: khách hàng quyết định; Mỹ: thuế quan và chứng nhận.

③ Tại chỗ và cách ly mạng

Khả thi; các giới hạn mang tính quy trình. Một hộp không quạt ≤100 W tại dây chuyền, máy chủ trong phòng máy chủ, 8-bit theo mặc định.

④ Thầy và trò

Kiểm tra: mô hình frontier gán nhãn trước, con người phân xử, bộ dữ liệu vàng kiểm soát. Cánh tay: người thầy vẫn là trình diễn của con người và mô phỏng.

⑤ Chi phí và hoàn vốn

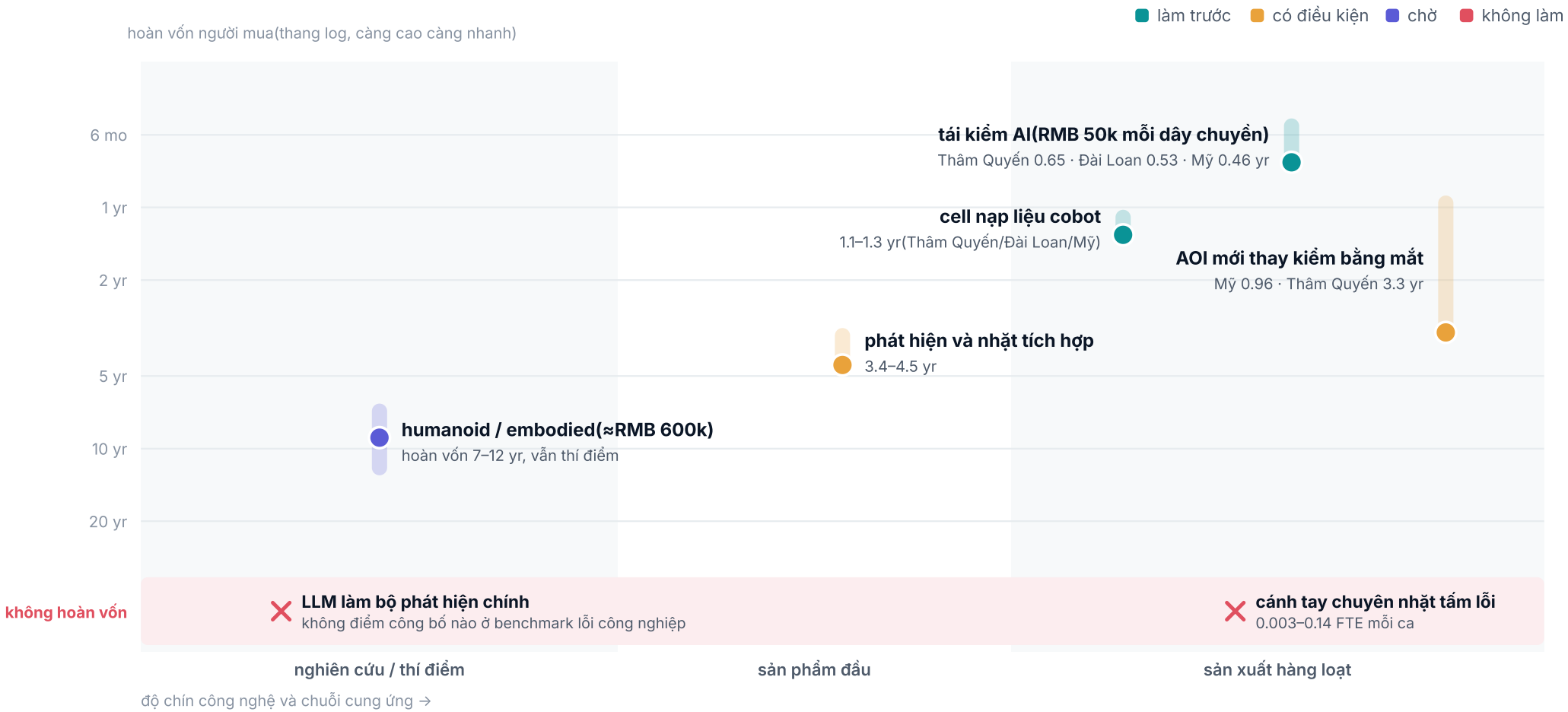
Rà soát AI trong vòng một năm tại Mỹ, Đài Loan và Thâm Quyến; cobot phục vụ máy 1.1–1.5 năm; Đông Nam Á 2–6 năm; cánh tay gắp bỏ thì không bao giờ.

⑥ Làm ngay hay chờ

Nhu cầu có thật, nguồn cung đông đúc; AI của OEM để lại khoảng 5 năm cho nâng cấp. Kiểm tra ngay, trong phạm vi hẹp; AI hiện thân sau dữ liệu 2027–28.

Nguồn: tóm tắt điều hành của báo cáo.

AI phù hợp ở đâu trên sàn nhà máy hôm nay

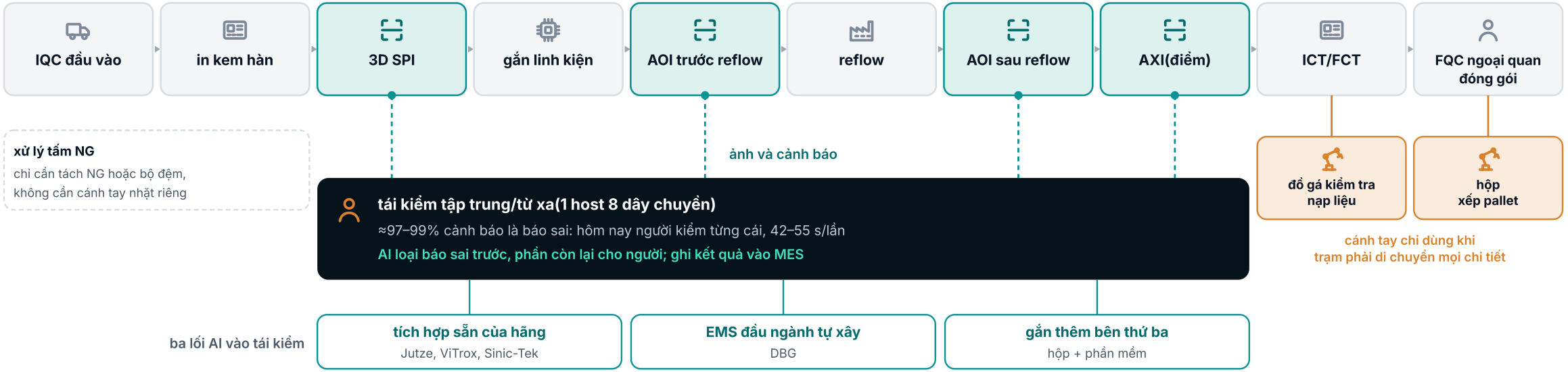


Nguồn: Hoàn vốn từ mô hình của tác giả(Chương 4); trục độ chín là nhận định của tác giả

Con người ngồi phía sau AOI. Đó là nơi AI bước vào

một dây chuyền SMT sản lượng lớn

takt ≈13–22 s/tấm · 3–5 AOI mỗi dây chuyền



Nguồn: Hồ sơ công khai và tài liệu hãng(Huaqin, DBG, Sinic-Tek và các hãng khác); tác giả tổng hợp

Khoảng 97–99% cảnh báo AOI là báo sai

mỗi 100 cảnh báo AOI



hôm nay: người kiểm từng cảnh báo

42–55 s mỗi lần

≈448 lần báo sai mỗi ca ở dây chuyền bận

→ 5.2–6.8 h mỗi ca ≈ 1 người tái kiểm toàn thời gian

bố trí thực tế: 2 người/ca

tái kiểm AI: loại báo sai trước, còn lại cho người

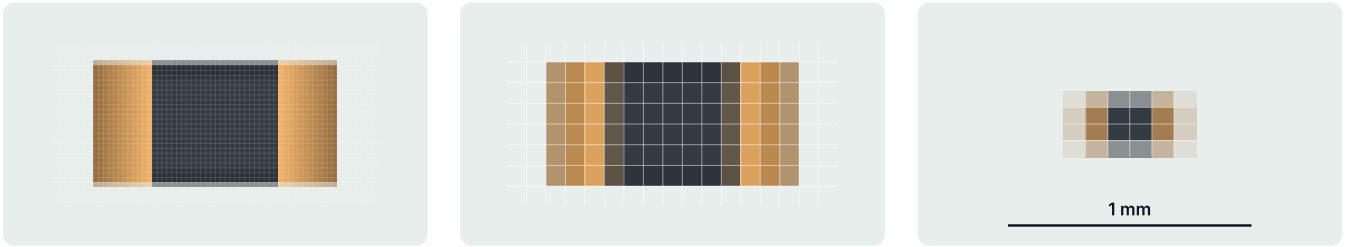
giảm báo sai/giờ tái kiểm 60–90%(theo hãng)

chuẩn EMS đầu ngành tự xây: phủ ≥95% linh kiện bị đánh dấu, lọt <20 PPM, tái kiểm người giảm ≥85%

khi lỗi mở cho người, dây chuyền không dừng

Nguồn: Nghiên cứu Siemens, iFactory(theo hãng), báo cáo năm DBG 2025; giờ tái kiểm do tác giả ước tính

Camera đa năng không phải là AOI



AOI: 8–20 µm/px
0402 ≈100×50 px

Camera 4K nhìn tấm 300 mm: ≈78 µm/px
0402 chỉ còn ≈13×6 px: đủ để biết có/không và lệch rõ

cùng camera nhìn 01005
≈5×3 px: thực tế không thấy

- **AOI:** 8–20 µm mỗi pixel, chiếu sáng đa góc đa màu và ánh sáng cấu trúc
- **4K trên một tấm 300 mm:** ≈78 µm mỗi pixel; một linh kiện 0402 là ≈13×6 pixel, đủ để nhận diện sự hiện diện, chưa đủ cho mối hàn
- **01005:** ≈5×3 pixel, gần như vô hình
- **Vì vậy:** AI hoạt động trên chính ảnh của AOI; nó không thay thế hệ quang học

Nguồn: Circuits Assembly; tính toán của tác giả cho tấm 300 mm và cảm biến 4K. Lưới pixel là minh họa

Triển khai cách ly mạng: chiếc hộp quyết định, phòng máy chủ trả lời



Nguồn: Tổng hợp của tác giả(Chương 2)

Các khu vực sạch và ESD quyết định nơi đặt tính toán; giới hạn tốc độ tùy theo mục đích sử dụng

độ sạch →

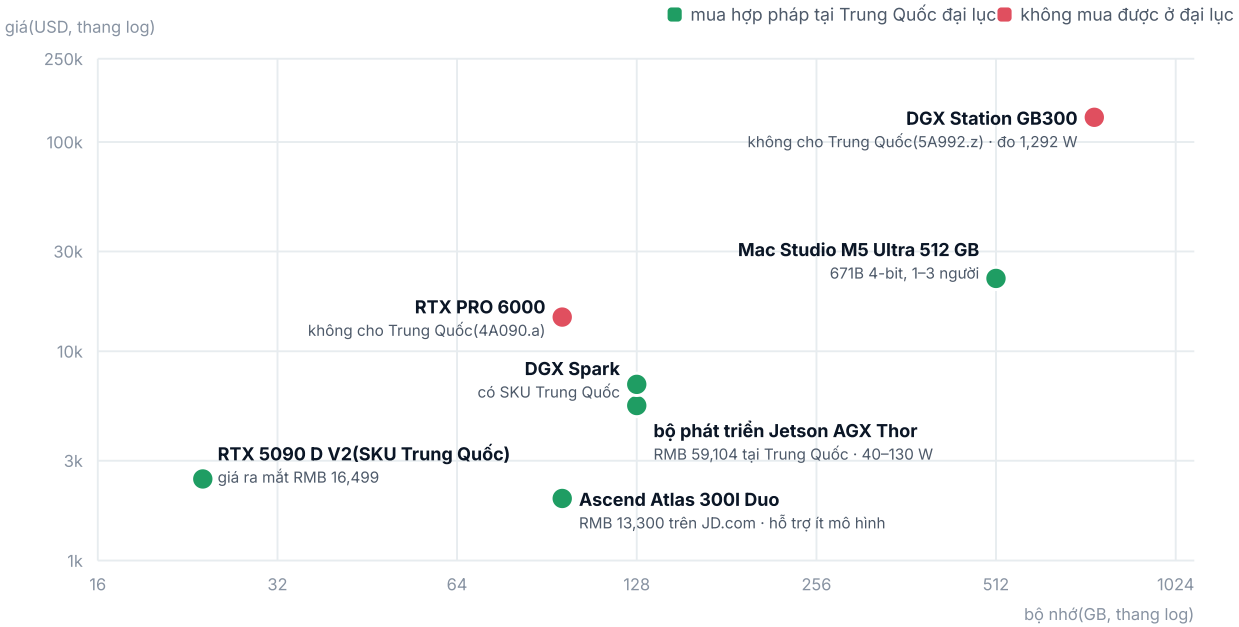
xưởng SMT/PCBA thường	phòng sạch ISO 7–8	vi môi trường cục bộ ISO 5–6	fab, ISO 5 hoặc sạch hơn
khu bảo vệ ESD(≈ISO 8) độ ẩm 40–60%	y tế, mô-đun camera, EV phòng sạch + ESD	die trần, wire bond, quang học vi môi trường	SEMI E78 ESD · E187/E188 mạng phương án riêng cho fab
tính toán cạnh dây chuyền hộp không quạt vỏ kim loại nối đất, gần AOI hoặc chỗ tái kiểm	**tính toán cạnh dây chuyền** không quạt, kín IP65/66, dễ lau; yêu cầu dữ liệu ISO 14644-14	**tính toán cạnh dây chuyền** chỉ đặt camera và đèn, hộp xử lý bên ngoài	**tính toán cạnh dây chuyền** chỉ dùng bộ điều khiển tích hợp thiết bị, được fab chứng nhận
máy chủ GPU/NPU phòng máy chủ hoặc rack IT điều hòa	**máy chủ GPU/NPU** ngoài phòng sạch, mạng vào trong	**máy chủ GPU/NPU** phòng máy chủ	**máy chủ GPU/NPU** rack làm mát bằng chất lỏng tầng dưới hoặc trung tâm dữ liệu



Điểm then chốt Một xưởng SMT thông thường là khu vực bảo vệ ESD, không phải phòng sạch phân cấp: một hộp không quạt trong vỏ kim loại tiếp đất đặt tại AOI hoặc chỗ ngồi rà soát, và máy chủ GPU không bao giờ đặt trên dây chuyền.

Nguồn: ANSI/ESD S20.20, IEC 61340-5-1, ISO 14644, tiêu chuẩn SEMI và tài liệu hãng; tác giả tổng hợp Tổng hợp của tác giả(Chương 1–2)

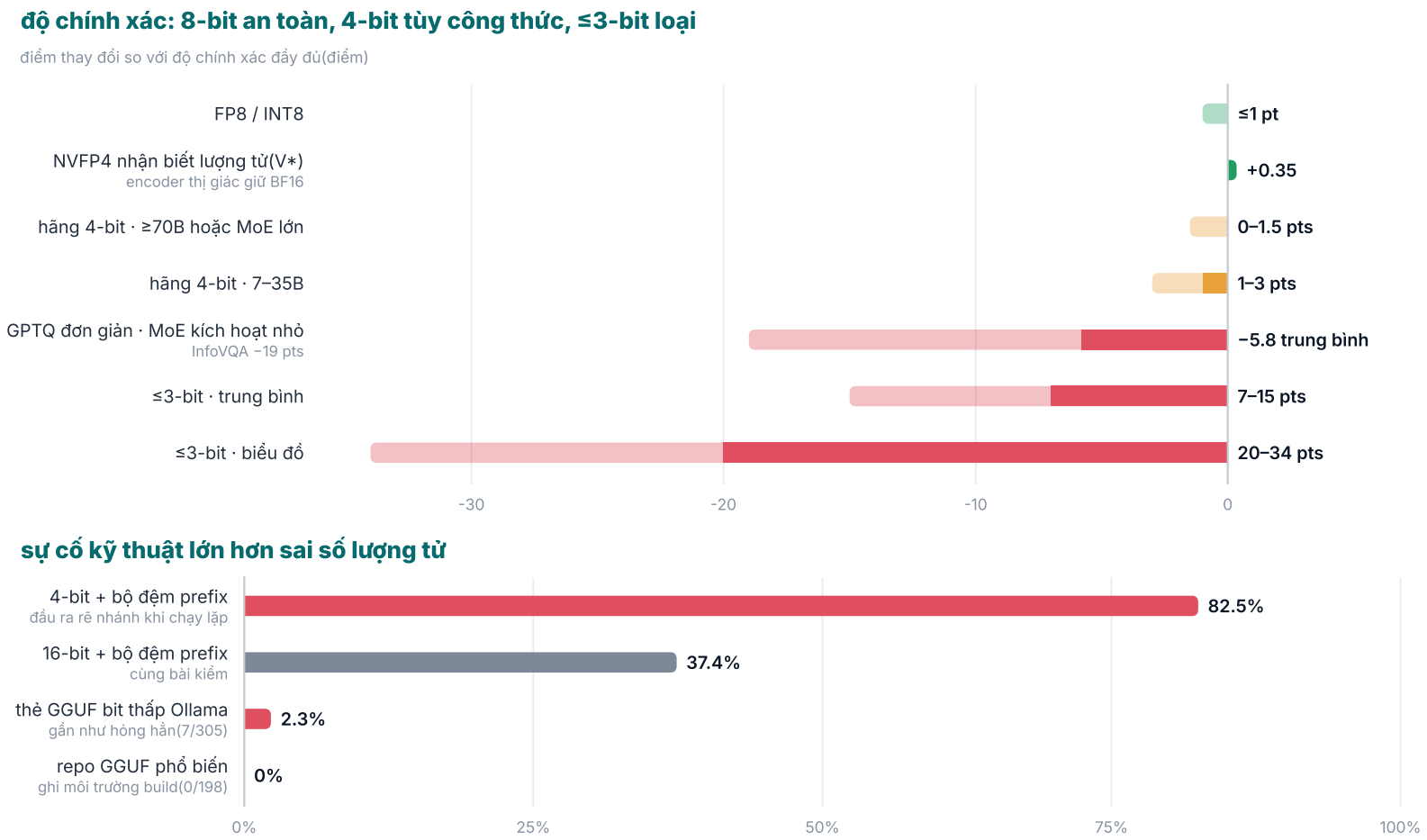
Quy tắc xuất khẩu quyết định danh sách phần cứng rút gọn trước cả benchmark



- **Jetson Thor:** 128 GB, 40–130 W; mô hình thị giác 2–8B trên các ảnh cắt AOI, VLA cỡ 3B theo thời gian thực; 59,104 RMB tại Trung Quốc
- **Mac Studio 512 GB:** DeepSeek 671B ở 4-bit cho 1–3 người dùng
- **DGX Station:** 5A992.z, không dành cho đại lục; một mô hình 743B cho 32 người dùng ≈4 token/s mỗi người
- **Bộ tăng tốc nội địa:** hai máy chủ Ascend tám card cho Hỏi&Đáp đa người dùng kích thước đầy đủ

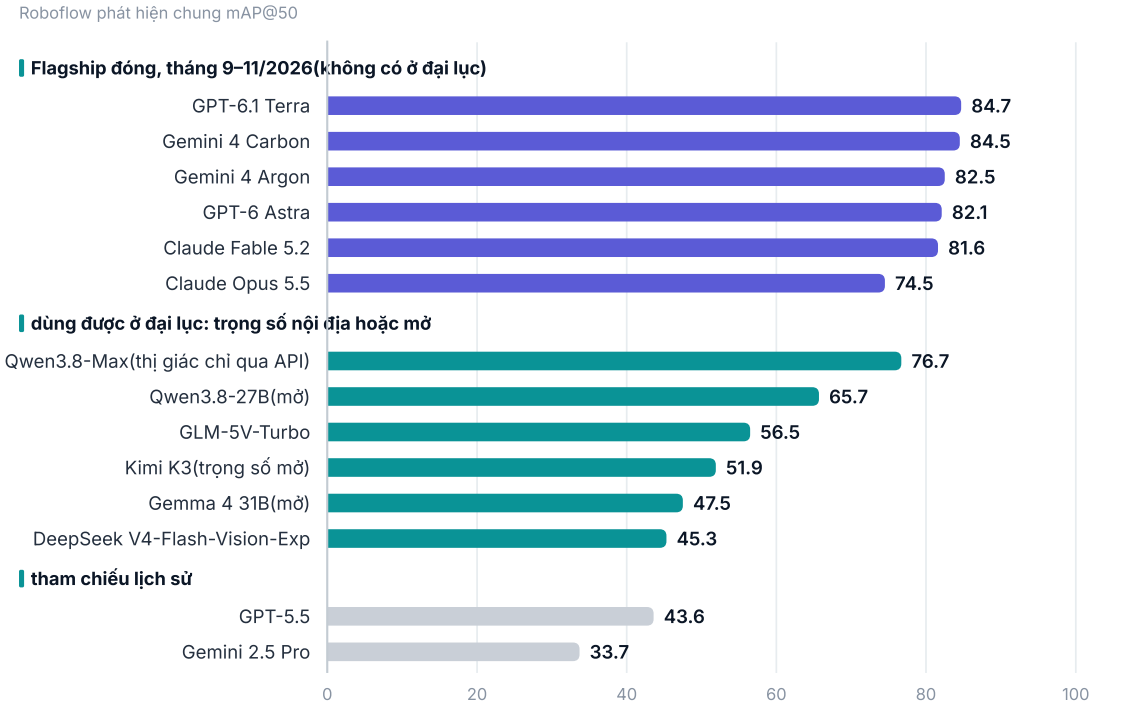
Nguồn: Phân loại xuất khẩu NVIDIA, Apple, RS China, JD.com và giá đánh giá(tháng 11/2026) StorageReview(tháng 8 và 10/2026); ServeTheHome. Kiểm độc lập một nguồn

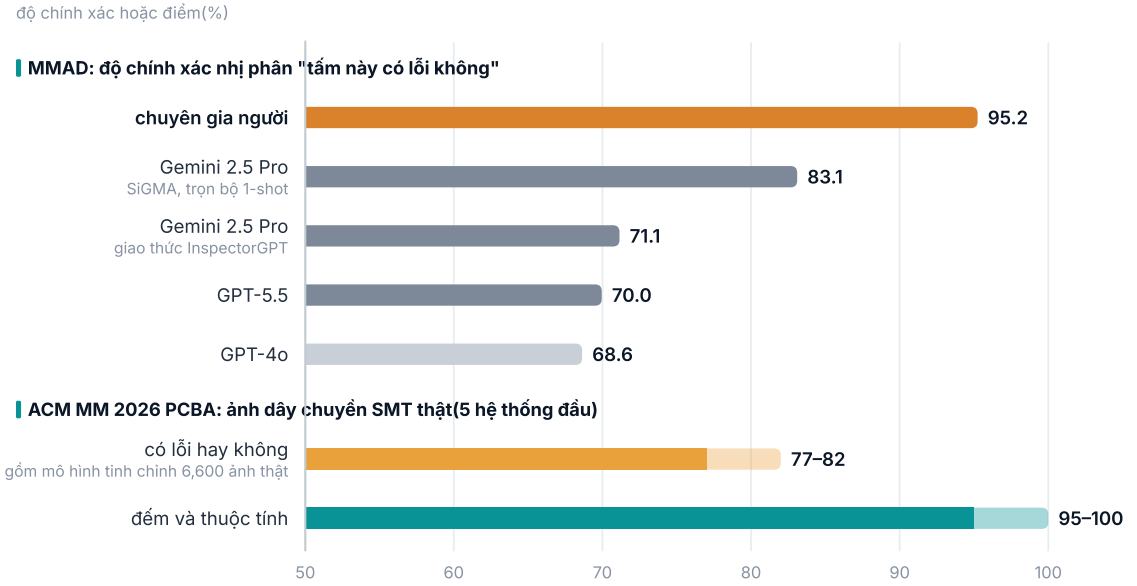
Lượng tử hóa: 8-bit an toàn, 4-bit tùy công thức, 3-bit trở xuống loại



Nguồn: NVIDIA Nemotron model card, VLMQ, VEQ, arXiv 2609.05881, 2610.19498, 2609.04748 và khác

Thị giác tổng quát tăng gấp đôi trong một thế hệ; điểm khuyết tật công nghiệp thì còn thiếu





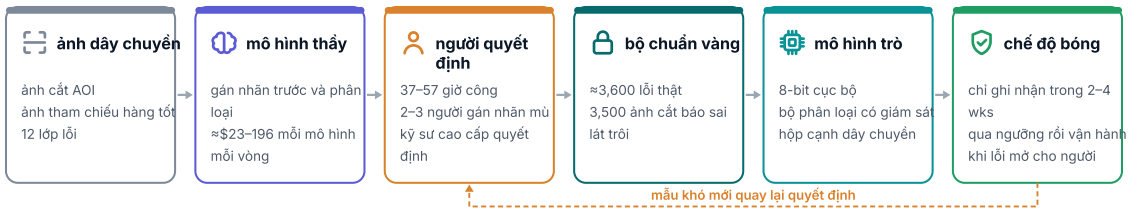
benchmark lỗi công nghiệp(MMAD, MVTec AD 2, VisA, Real-IAD, UniPCB): không điểm công bố từ flagship 2026

điểm phát hiện chung tăng gấp đôi trong một thế hệ nhưng không thay được phán đoán lỗi; phải đo trên bộ chuẩn vàng của nhà máy

Nguồn: Roboflow Vision Evals; ghi chú phát hành mô hình; MMAD, MVTec AD 2 và các trang benchmark khác(đến 11/11/2026) MMAD; SiGMA; InspectorGPT; ACM MM 2026 PCBA challenge

Mô hình frontier gán nhãn trước, con người phân xử, bộ dữ liệu vàng kiểm soát

kiểm tra: mô hình frontier gán nhãn trước, người quyết định, bộ chuẩn vàng chặn



ngưỡng tự nhận nhãn của thầy

mỗi lớp: lỗi ≥299, không sót(recall ≥99% ở độ tin cậy 95%), độ khớp với giá trị đúng không kém người-người; nếu không thấy chỉ gán nhãn trước

điều khiển tay: thầy vẫn là demo người, RL thực tế và mô phỏng

mô hình frontier chỉ giúp ngoại tuyến: lập trình và đổi mẫu

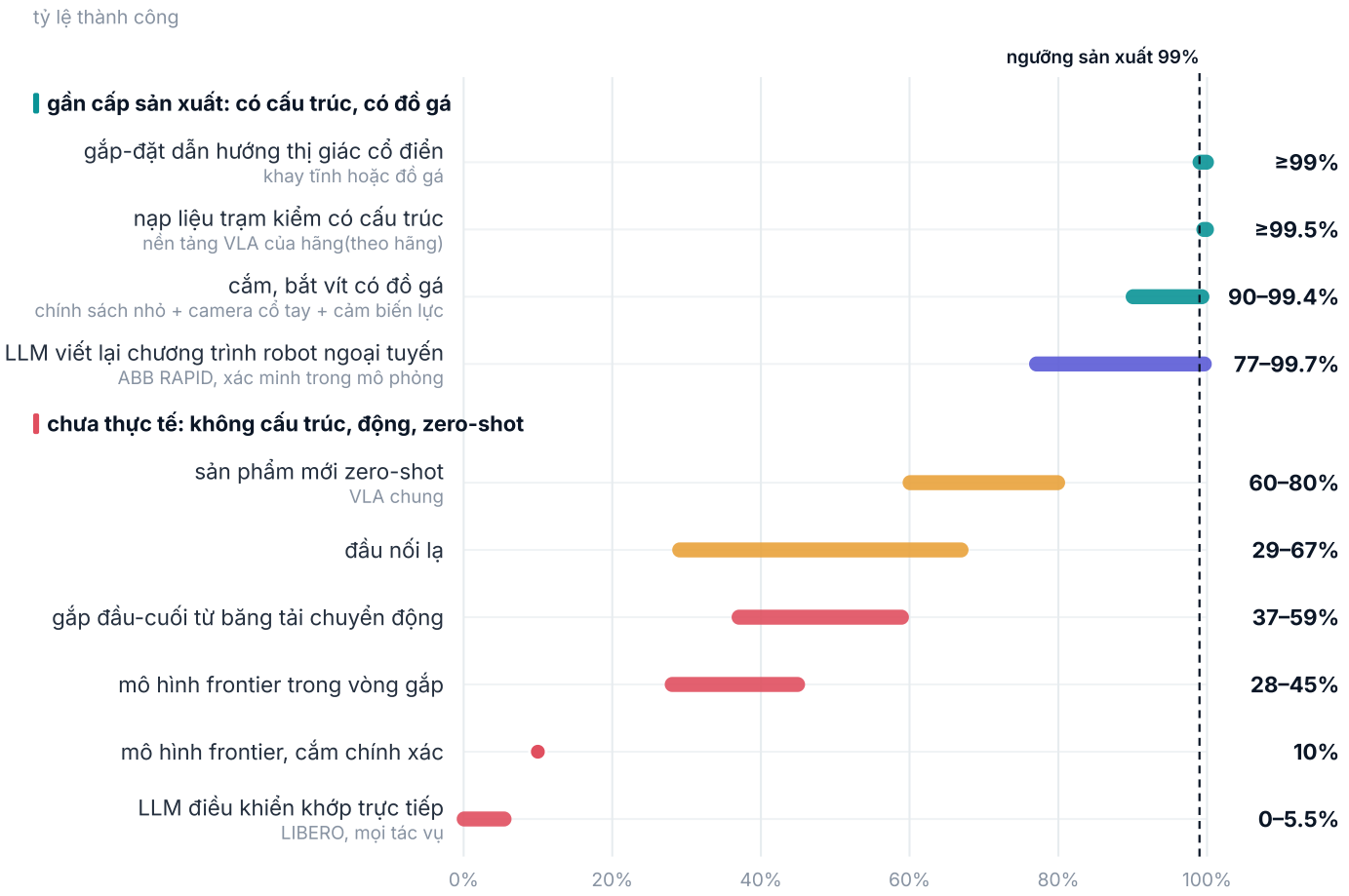


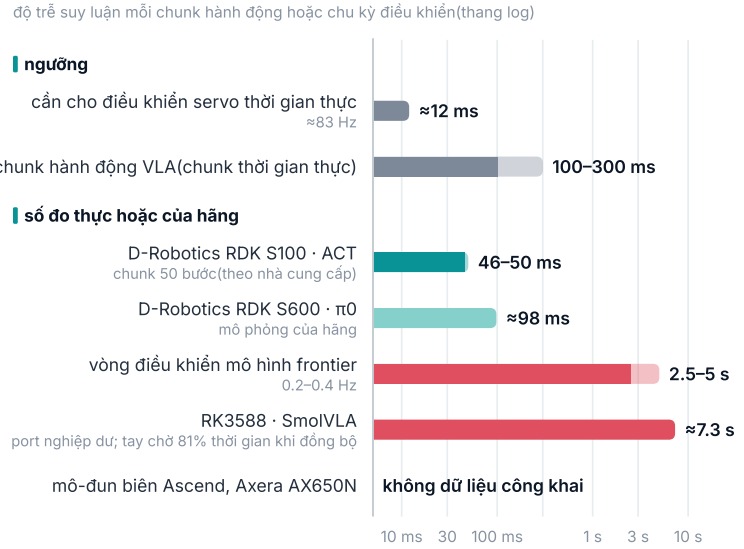


Điểm then chốt Chỉ tự động chấp nhận nhãn của thầy đối với một lớp có không lần bỏ sót trên ≥299 khuyết tật vàng (99% recall ở độ tin cậy 95%); các lớp trọng yếu như chập mạch, thiếu linh kiện và đảo cực cần nhiều hơn.

Nguồn: Tổng hợp của tác giả(Chương 3); chi phí và cỡ mẫu là ước tính Khoảng tin cậy nhị thức chính xác(95%)

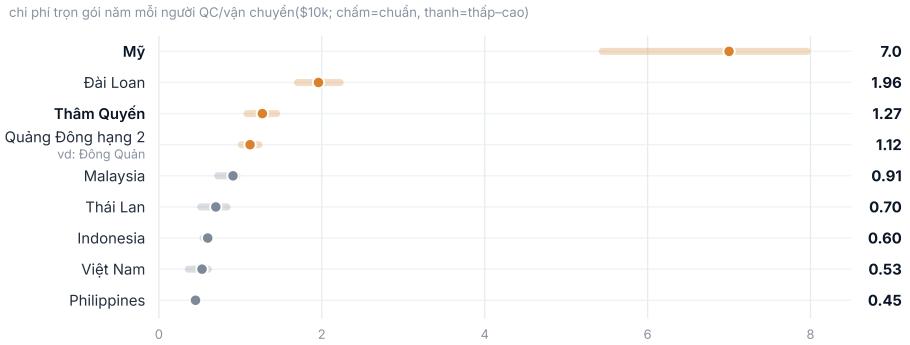
Robot trò: gần cấp sản xuất chỉ khi trạm có cấu trúc

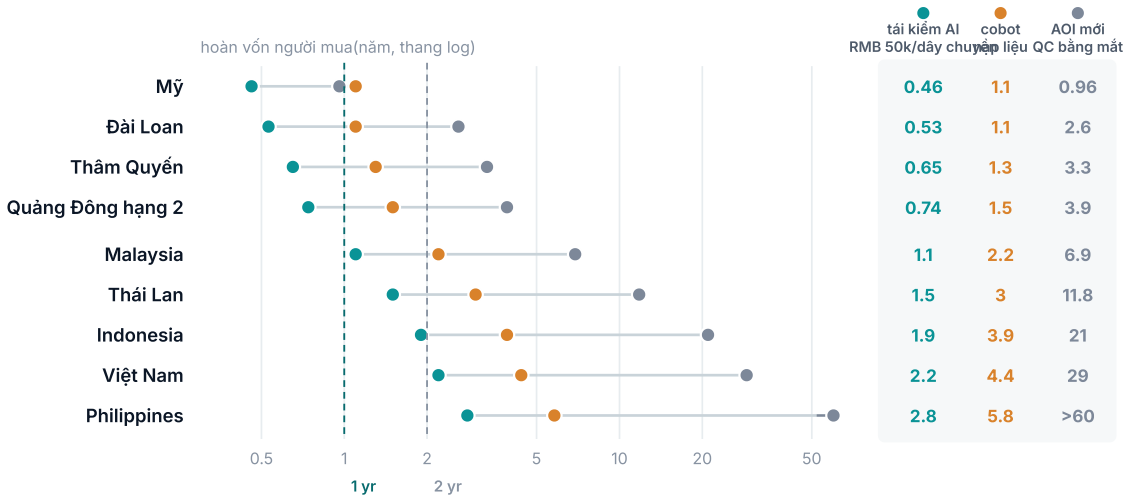




Nguồn: Bài báo và tài liệu hãng trích trong Chương 3; một số số liệu theo hãng Tài liệu và diễn đàn D-Robotics(số của hãng); port cộng đồng GitHub; nghiên cứu Anthropic

Rà soát AI hoàn vốn trong vài tháng; phục vụ máy trong khoảng một năm



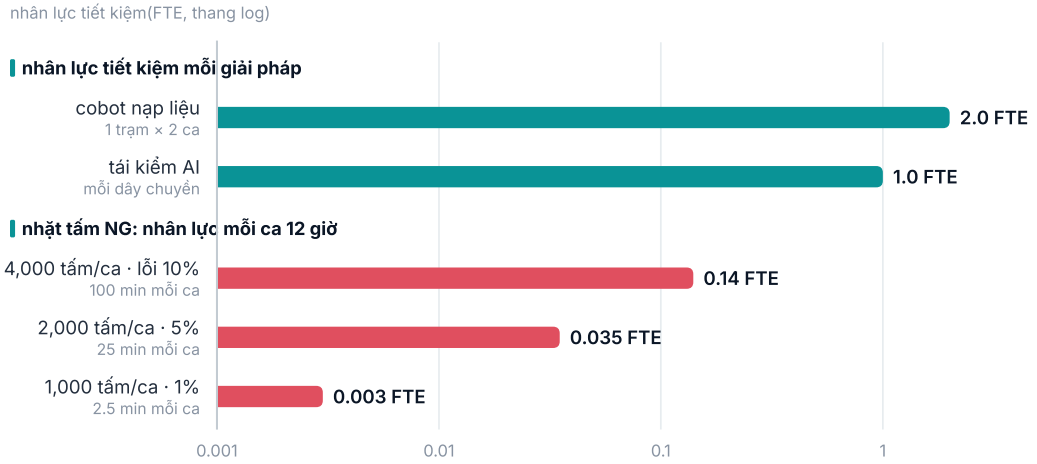


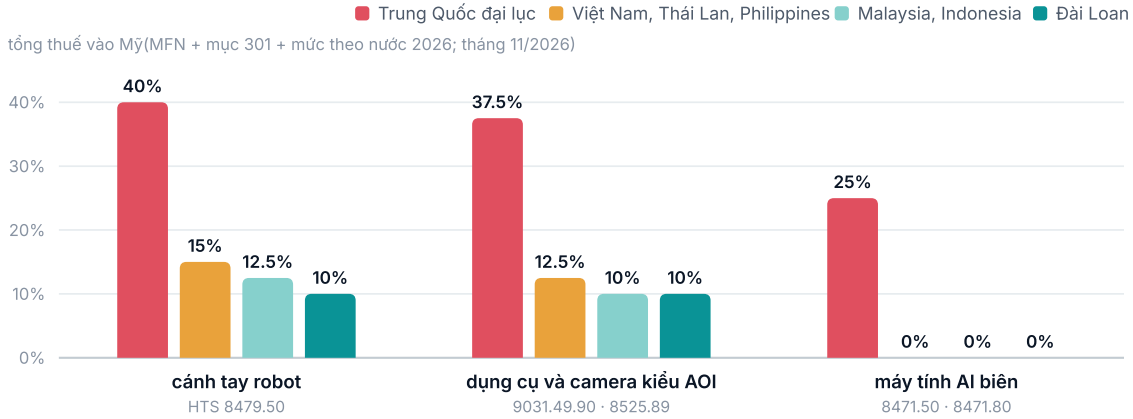
cánh tay chỉ để nhặt tấm lỗi: không hoàn vốn ở mọi vùng
khi tỷ lệ đạt lần đầu trên 90%, nhặt chỉ chiếm 0.003–0.14 FTE mỗi ca

Điểm then chốt Ở mức 50,000 RMB mỗi dây chuyền, rà soát AI hoàn vốn trong 0.46 năm tại Mỹ, 0.53 tại Đài Loan, 0.65 tại Thâm Quyến và 2.2 tại Việt Nam; một cụm cobot phục vụ máy hai ca trong 1.1–1.5 năm [estimates].

Nguồn: Hướng dẫn lương chính thức Thâm Quyến, Bộ Lao động Đài Loan, JETRO, BLS; ước tính của tác giả Mô hình tác giả: hộp tái kiểm AI RMB 50k/dây chuyền; cell nạp liệu cobot RMB 200k hoặc $140k, hai ca

Cánh tay gắp bỏ không bao giờ hoàn vốn; nơi sản xuất cánh tay làm thay đổi thuế Mỹ của nó





Điểm then chốt Trên 90% tỷ lệ đạt ngay lần đầu, việc gắp ra các tấm mạch NG chiếm 0.003–0.14 người mỗi ca, nên một bộ tách NG hoặc bộ đệm làm việc đó; một cánh tay sản xuất tại đại lục còn chịu khoảng 40% thuế Mỹ tổng hợp.

Nguồn: Ước tính của tác giả USITC biểu thuế chương 99; Federal Register; USTR(tháng 11/2026)

Có thật nhưng nhỏ: 16,000 dây chuyền có thể phục vụ, ≈320 triệu RMB một lần, trong khoảng năm năm

dây chuyền SMT Trung Quốc

40,000 dòng

35k–46k

× 80% × 50%

chưa AI: 75–85%
tiếp cận được: 40–60%

phục vụ được

16,000 dòng

10.5k–23.5k

× RMB 20k

RMB 10–30k một lần

thị trường một lần

RMB 320M

RMB 105–705M

÷ ≈5 năm

thu hẹp 8–12%/năm

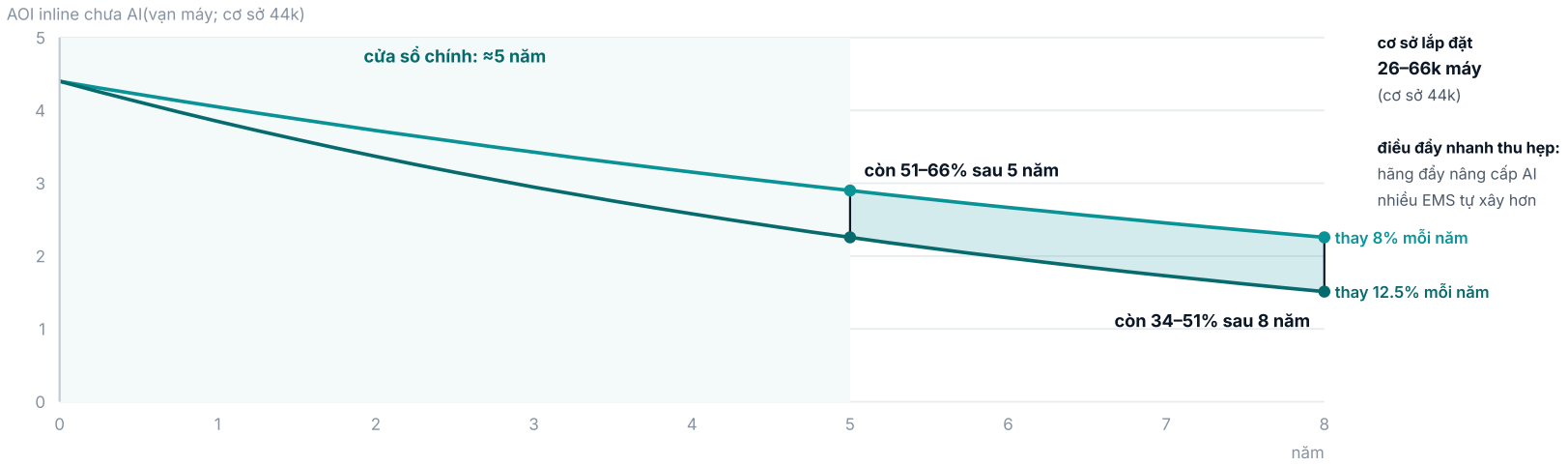
cửa sổ 5 năm

RMB 64M/yr

RMB 21–141M

người mới giành 2–5% dây chuyền phục vụ được trong 3 năm: ≈320–800 dây chuyền, ≈RMB 2–5M/năm

theo đăng ký(RMB 5k mỗi dây chuyền mỗi năm): doanh thu định kỳ RMB 1.6–4M, chỉ 0.3–2.3% dự báo IDC



Nguồn: NVR(cơ sở 2020); ước tính của tác giả Ước tính của tác giả; cơ sở lắp đặt và thị phần chưa xác minh độc lập

Mảnh đất rà soát đã bị bao vây; lợi nhuận nằm ở phần cứng được sản phẩm hóa

EMS đầu ngành tự xây

DBG(2025): phủ ≥95% linh kiện bị đánh dấu
lọt <20 PPM, tái kiểm người −85%
đây là ngưỡng bán cho EMS hạng 1

AI tích hợp sẵn trong AOI của hãng

Jutze AI 3D AOI đã sản xuất, "loại bỏ tái kiểm người ở khâu kiểm tra"
ViTrox V510Ai; Sinic-Tek hợp tác Tencent
máy mới có sẵn AI, máy cũ nhờ nâng cấp

tái kiểm AI bên thứ ba

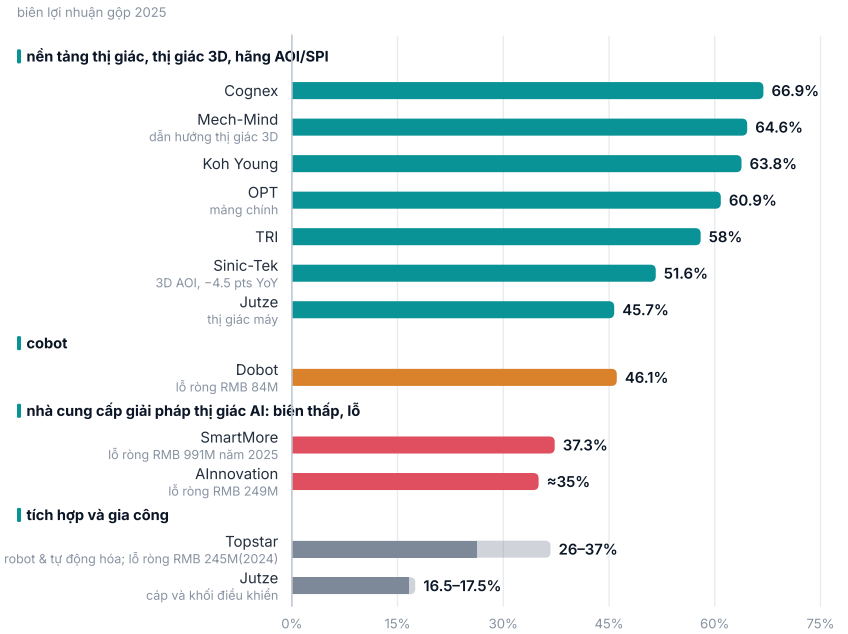
hộp + phần mềm gắn thêm lên AOI hiện có

nhà cung cấp nền tảng

Hikvision Guanlan và SmartMore IndustryGPT đang bán
hãng AI đầu ngành: doanh thu 2025 RMB 1.086B
lỗ ròng RMB 991M: chiến tranh giá

chỗ còn cho bên thứ ba

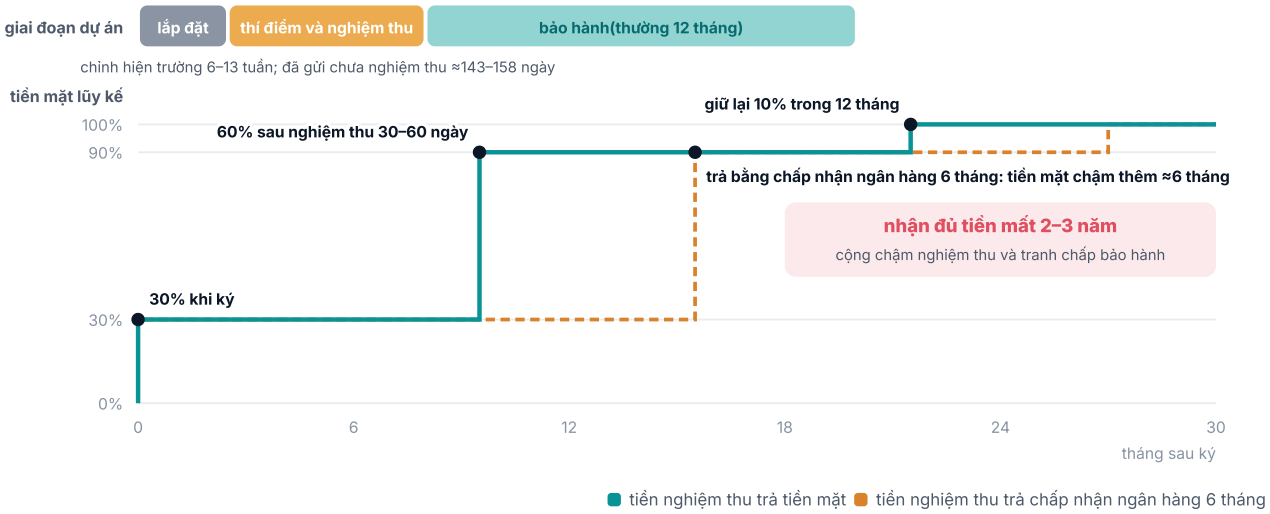
EMS vừa(≈10–40 dây chuyền) có AOI cũ hoặc nhiều hãng, không được hãng nâng cấp AI
ngách AOI phủ yếu: THT và hàn tay, phủ bảo vệ, cáp/đầu nối/FPC, ngoại quan và ốc vít

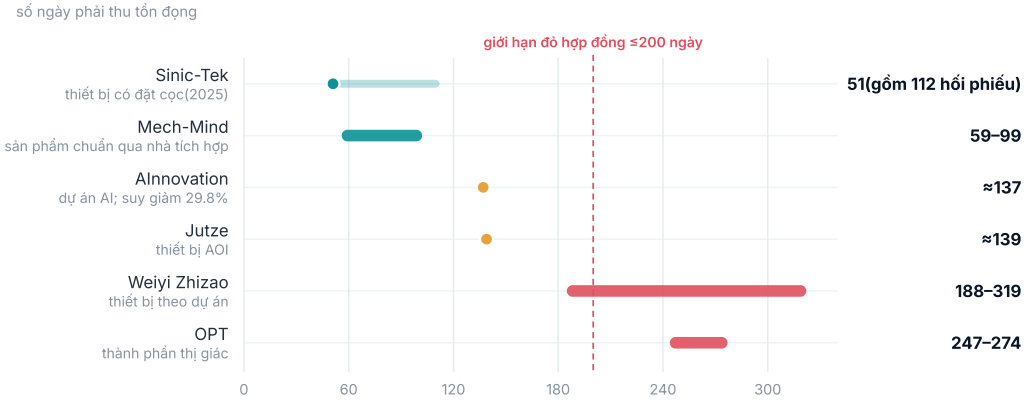


Bằng chứng Nhà cung cấp thị giác AI hàng đầu có doanh thu năm 2025 là 1.086 tỷ RMB và lỗ ròng 991 triệu RMB; doanh thu mảng 3C của công ty niêm yết tương đương gần nhất giảm 79.9% so với cùng kỳ trong tháng 1–tháng 5 năm 2026.

Nguồn: Báo cáo năm Jutze, Sinic-Tek và DBG; tài liệu công khai Hikvision và SmartMore; tác giả tổng hợp Báo cáo năm 2025 hoặc hồ sơ phát hành

Người mua trả 30/60/10; thanh toán đầy đủ mất hai đến ba năm





Điểm then chốt 30% về cùng đơn hàng, 60% vào khoảng bốn đến chín tháng sau và 10% cuối cùng vào khoảng 16–21 tháng sau; từ lần thí điểm đầu tiên tại một EMS lớn đến khi thanh toán đầy đủ có thể mất hai đến ba năm [estimate].

Nguồn: Trả lời hỏi đáp Sinic-Tek, Mech-Mind, GKG, JT và khác; sơ đồ điều kiện thường, thời gian ước tính Hồ sơ công ty; phải thu(gồm tài sản hợp đồng) ÷ doanh thu × 365

Lập kế hoạch ngoại tuyến, hành động với các chính sách nhỏ, giữ chuyển động và an toàn mang tính xác định

tầng	làm gì, bằng chứng đến đâu	thang thời gian · ai nắm
lập kế hoạch L4	**mô hình frontier(ngoại tuyến)** viết/sửa chương trình robot ngoại tuyến, đổi mẫu, giải thích lỗi viết lại chương trình ABB RAPID ở 77–99.7%, phát hành sau mô phỏng vòng điều khiển chỉ 0.2–0.4 Hz: không vào thời gian thực	giây đến phút đại gia mô hình
kỹ năng / chính sác L3	**ACT, chính sách diffusion, VLA nhỏ** trạm có cấu trúc có đồ gá 90–99.4% chip biên: Jetson Thor, D-Robotics RDK, Ascend, Rockchip	chunk hành động 100–300 ms hãng chip · hãng robot
điều khiển chuyển L2	**bộ điều khiển robot** quỹ đạo, servo, điều khiển lực, phát hiện va chạm mã tất định; chính sách học chỉ đặt mục tiêu	cấp mili giây(thời gian thực cần >83 Hz) hãng robot
an toàn L1	**PLC an toàn, máy quét, giới hạn lực và tốc độ** chứng nhận theo ISO 10218-1/-2:2025 và quy tắc địa phương không ML trong chức năng an toàn: EU đánh giá notified body từ 20/1/2027	thời gian thực cứng robot chứng nhận + nhà tích hợp

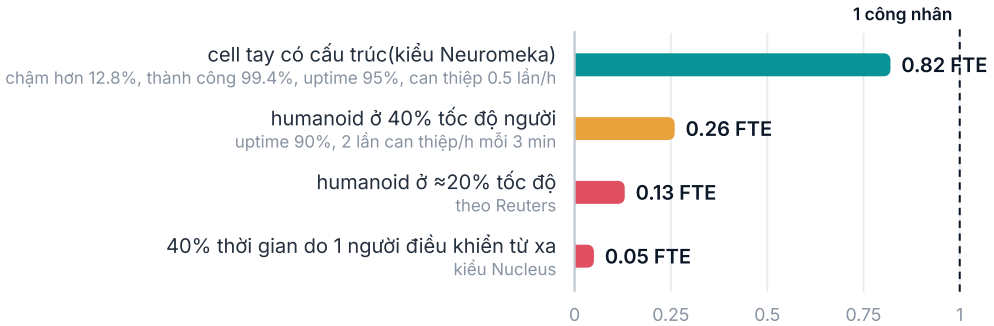
cơ hội của doanh nghiệp nhỏ ở tích hợp và phần cứng cảm biến: đưa nhận thức học và chính sách nhỏ vào cell robot đã chứng nhận, từng trạm một

	tỷ lệ thành công	takt	can thiệp / điều khiển từ xa uptime / lỗi		vận hành sản lượng
Figure 02 @ BMW	chỉ mục tiêu >99%/ca	chỉ mục tiêu 84 s	chỉ mục tiêu 0/ca	không công bố	1,250 h
Agility Digit @ GXO	không công bố	không công bố	không công bố	không công bố	100,000 thùng
Apptronik Apollo @ Mercedes	không công bố	không công bố	không công bố	không công bố	không công bố
Agile ONE @ Audi	không công bố	không công bố	không công bố	không công bố	không công bố
Nucleus(nhà máy không nêu tên)	không công bố	không công bố	40% điều khiển từ xa	không công bố	≈2 h video
AgiBot G2 @ Longcheer	99.99%	18–20 s mỗi bước	không công bố	một lỗi 2 min	64+ h
cell hỗn hợp Neuromeka	322/324	chậm hơn 12.8%	không công bố	không công bố	324 chu kỳ
π0.6 @ hiện trường khách	—	—	96.4% tự động	không công bố	1 ca

* không công bố cách tính

đã công bố(đa số theo hãng) chỉ công bố mục tiêu không công bố

nhân lực thay thế ròng mỗi robot mỗi ca



Nguồn: tổng hợp của tác giả (Chương 3, 6) và các ước tính; ISO 10218:2025; Quy định Máy móc EU; tài liệu công khai từ BMW, Figure, Agility, Mercedes-Benz và các bên khác.

Xây dựng trong phạm vi hẹp, chứng minh trên chính ảnh của nhà máy, rồi mở rộng

Nên xây dựng	Rà soát AI và phân loại khuyết tật trên ảnh AOI cho các EMS quy mô trung bình với AOI cũ hoặc đa thương hiệu; kiểm tra những gì AOI bao phủ kém; các cụm cobot nơi mọi linh kiện đều được xử lý
Không nên xây dựng	Một nền tảng tổng quát AI-cộng-cánh tay; một LLM làm người kiểm tra chính; một cánh tay gắp bỏ trên dây chuyền SMT; robot hình người và robot-dạng-dịch vụ; mô hình frontier trong vòng điều khiển hoặc chức năng an toàn

Thí điểm

1. **Tuần 0–2:** thỏa thuận dữ liệu, các lớp khuyết tật, đường cơ sở
2. **Tuần 1–4:** bộ dữ liệu vàng, gán nhãn mù và được phân xử
3. **Tuần 2–4+:** chế độ chạy song song (shadow), so sánh theo từng lớp
4. **Tuần 4–8:** vận hành có trợ giúp chỉ trên các lớp đã đạt
5. **Sau đó:** nghiệm thu bằng văn bản, mở rộng từng dây chuyền, tái xác thực ở mọi thay đổi

An toàn Không dùng học máy bên trong các chức năng an toàn: EU yêu cầu đánh giá bởi tổ chức được công nhận từ ngày 20 tháng 1 năm 2027, và các lộ trình chứng nhận AI sẽ chưa ổn định trước 2027–2029.

Nguồn: Chương 6–7 và tóm tắt điều hành của báo cáo; ISO, IEC, UL, EUR-Lex, SAC và cơ sở dữ liệu quy định quốc gia

VỀ TÁC GIẢ

Tan Shuai

Kỹ thuật gia và nhà sáng lập, với hơn hai mươi năm kinh nghiệm trải dài qua chip, phần cứng và phần mềm hệ thống cùng 20 bằng sáng chế đã được cấp. Công việc của ông đã đưa ông qua Thung lũng Silicon, New York, Chicago, Đài Loan, Khu vực Vịnh Lớn (Thâm Quyến và Hồng Kông), Việt Nam và Malaysia, với trọng tâm lâu dài vào sản xuất tiên tiến và chuỗi cung ứng. Ngày nay ông làm việc như một nhà nghiên cứu và phát triển AI, tập trung vào cách AI được sử dụng trên sàn nhà máy.

Báo cáo đầy đủ (toàn bộ hình, bảng và nguồn) và bài viết có tại tanshuai.com. Ông hoan nghênh trao đổi với những người làm AI trong sản xuất: i@tanshuai.com

