Robot Guidance Using Machine Vision

บทเรียนสำหรับวิศวกรที่รับผิดชอบ Vision & Automation

TJ Solutions Training Deck | **HIKROBOT Context**

Machine vision converts image/depth data into robot motion decisions.

Source base: Pérez et al., Sensors 2016, “Robot Guidance Using Machine Vision Techniques...”

ภาพรวมบทเรียน

ออกแบบให้ใช้สอนภายใน 90–120 นาที

01 **Why robot guidance**

ทำไม robot ที่ repeatability ดี ยังต้องใช้ vision

02 **3D reconstruction**

Camera calibration, pinhole model, depth และ coordinate transform

03 **Vision techniques**

Stereo, photogrammetry, ToF, structured light, light coding, laser triangulation

04 **Selection & HIKROBOT**

เลือก sensor / software / integration workflow สำหรับงานจริง

โครงสร้างบทเรียนแปลงจาก sections: Fundamentals, Applications, Comparison, Conclusions ของ PDF

Key takeaways

ประเด็นที่วิศวกรควรจำก่อนลงงาน

1

เลือกเทคนิคตาม “ชิ้นงานและ requirement” ไม่ใช่ตามชื่อกล้อง

Accuracy, range, sensor weight, safety, processing time, environment และ budget ต้องถูก trade-off

2

3D point cloud ไม่ใช่ผลลัพธ์สุดท้าย

ต้องมี algorithm เพื่อหา geometry/pose ของชิ้นงาน แล้วแปลงค่าไปยัง robot/PLC

3

ปัญหาหน้างานมักเกิดจากแสง ผิววัสดุ และ occlusion

Textureless, reflective/transparent, vibration, moving object ทำให้ system fail ได้

4

HIKROBOT AI Smart Vision implementation ต้องคิดเป็น system

Camera + Lens/Lighting + VisionMaster/SDK + Calibration + Robot/PLC communication + validation

ทำไม **Robot Guidance** ต้องใช้ **Machine Vision**

หุ่นยนต์ repeatability ดี แต่ absolute accuracy และตำแหน่งชิ้นงานจริงมักไม่ตรง model

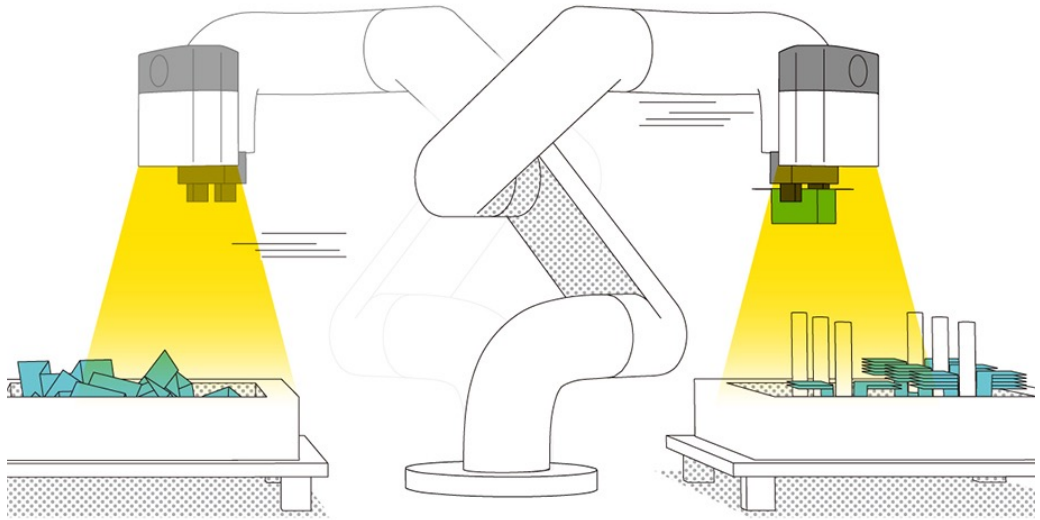
0.1 mm

repeatability ของ robot อุตสาหกรรมอาจดีมาก

หลาย mm

absolute accuracy อาจคลาดเคลื่อนจาก tolerance/load/wear

ชิ้นงานอาจวางคลาดจากตำแหน่งที่ robot คาดไว้
ต้องหา position/orientation ของ part แบบ real-time หรือ near real-time
Vision ช่วย feedback เพื่อ correct motion และลด fixture/manual teaching



แนวคิดหลัก: Robot = แขนที่เคลื่อนที่แม่นซ้ำ | Vision = ตาที่บอกว่า “ควรหยิบ/เชื่อม/วัดตรงไหนจริง”

PDF p.2: robot repeatability vs absolute accuracy; vision used for locating parts, improving positioning, safety and collaboration

Architecture: จากภาพ → ค่าพิกัด → คำสั่ง Robot/PLC

มองทั้งระบบ ไม่ใช่แค่กล้อง

1. Image / Depth

Camera, lens, lighting, trigger

2. Calibration

Intrinsic, extrinsic, hand-eye

3. Detection / 3D

Locate part, point cloud, feature/pose

4. Transform

Camera frame → robot/tool/world frame

5. Motion & I/O

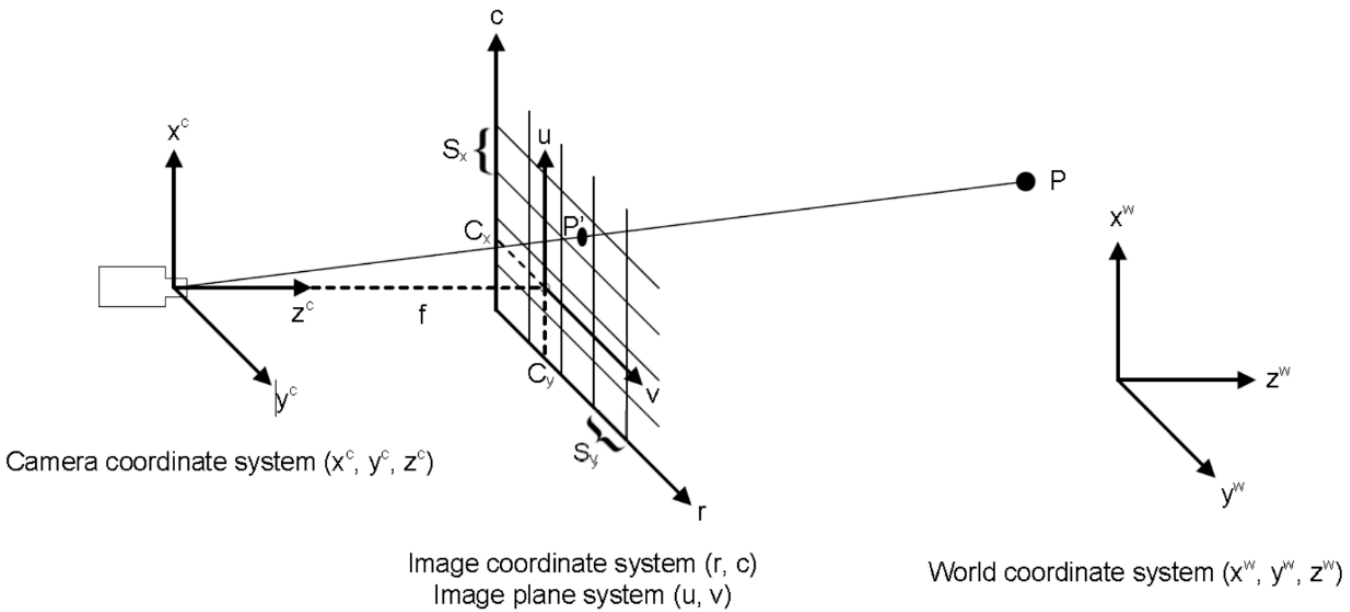
Robot path, PLC handshake, safety interlock

HIKROBOT mapping: Camera / Smart Camera / 3D Sensor → VisionMaster หรือ SDK → Output ตำแหน่ง/ผลตรวจ → PLC/Robot Controller

HIKROBOT official VisionMaster: positioning/measurement/identification/detection and robot-guidance positioning tools

พื้นฐาน 3D Reconstruction: Pinhole Camera Model

Camera calibration คือการหา mapping ระหว่าง 3D world และ 2D image



คำแปล / สาระสำคัญ

จุด 3D ในโลกจริงถูก project ผ่าน optical center ไปเป็นจุด 2D บน image plane

Intrinsic parameter: focal length, sensor/pixel scale, optical center และ lens distortion

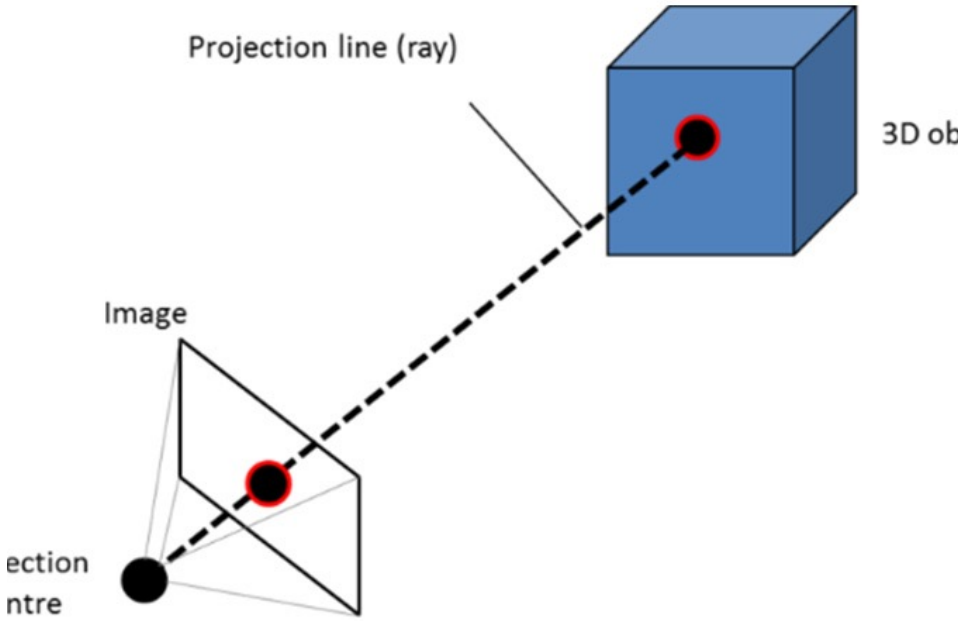
Extrinsic parameter: rotation + translation ระหว่าง world frame และ camera frame

บทเรียนหน้างาน: calibration ผิด → ค่าพิกัดที่ส่งให้ robot ผิด แม้ algorithm จะ detect ได้ถูกต้อง

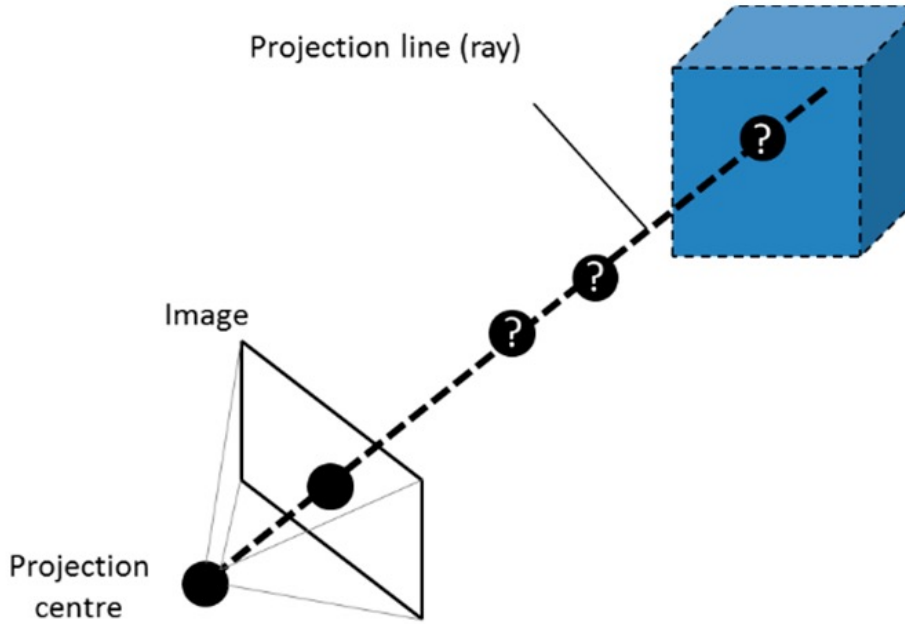
PDF p.3–4: pinhole camera model, intrinsic/extrinsic parameters, lens distortion

Direct vs Inverse Problem: ทำไมภาพ 2D อย่างเดียวไม่พอสำหรับ 3D

จุด 2D หนึ่ง pixel อาจมาจากหลายตำแหน่งในโลกจริง



Direct: 3D → 2D



Inverse: 2D → ray ไม่ใช่จุดเดียว

เพื่อได้ **depth** ต้องใช้หลายภาพ หรือ **active pattern/light** เช่น **stereo, structured light, ToF, laser triangulation**

PDF p.4–5: inverse problem is ill-defined; passive vs active methods solve depth in different ways

Classification: Passive vs Active Vision

เลือกวิธีสร้าง depth จากวิธีใช้แสงและจำนวน camera

Passive Vision

ใช้ ambient light / ภาพ 2D หลายภาพ
ต้อง match จุดเดียวกันข้ามภาพ
เหมาะกับผิวมี texture / มี marker
ตัวอย่าง: stereo vision, photogrammetry

Passive = “ดูสิ่งที่มีอยู่”

Active Vision

project pattern / light / laser ไปบนชิ้นงาน
อ่าน deformation, time delay หรือ triangulation
ช่วยกับ textureless surface แต่ไวต่อผิวสะท้อน/สี/แสง
ตัวอย่าง: ToF, structured light, laser triangulation

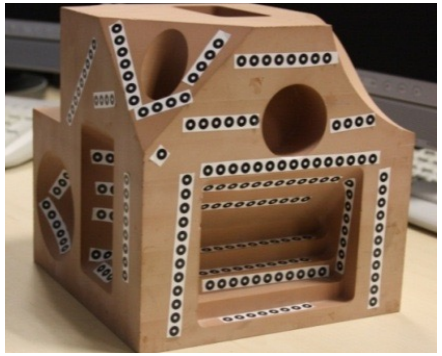
Active = “ฉายสิ่งที่รู้จักแล้ววัดผลตอบกลับ”

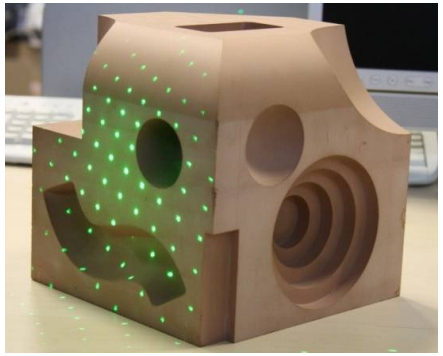
PDF p.4–5 Table 1: vision techniques classification

Source: Pérez et al., Sensors 2016 + HIKROBOT official information

Stereo Vision & Photogrammetry

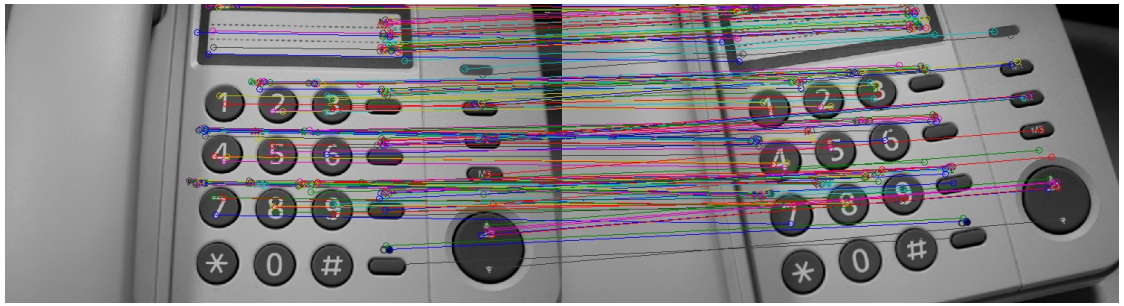
หาพิกัด 3D จากจุด homologous ในหลายภาพ





ข้อดี

แม่นยำสูงได้เมื่อมี calibration/marker ที่ดี
เหมาะกับ robot calibration, 6-DOF measurement, static measurement



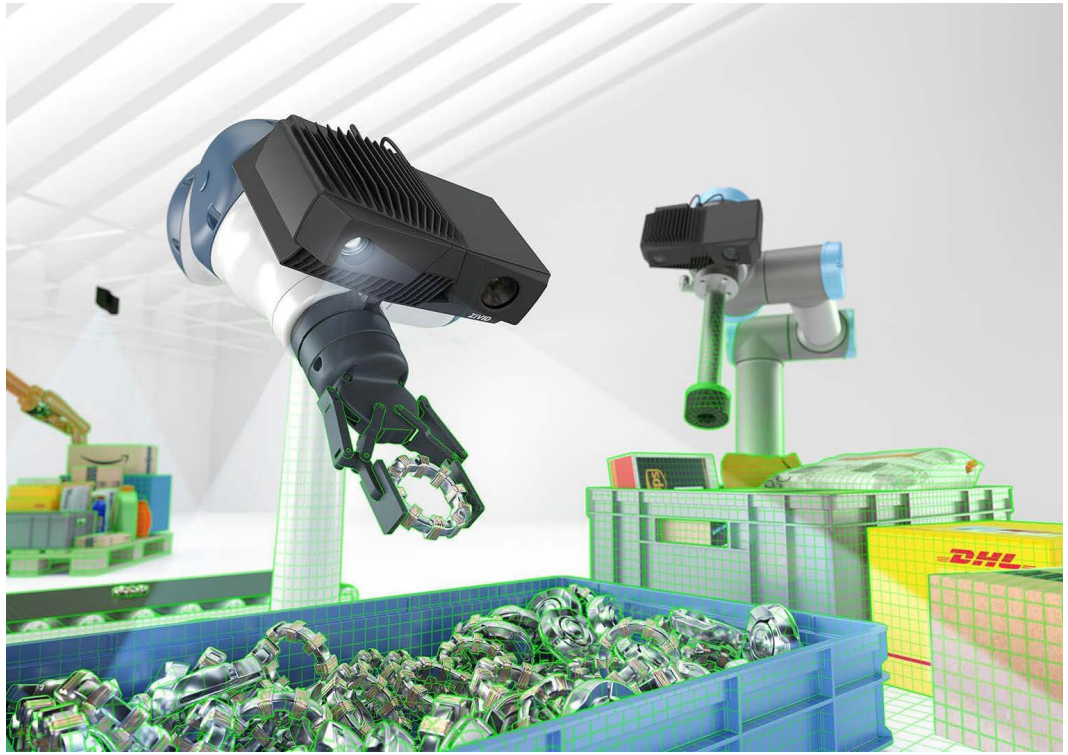
ข้อจำกัด

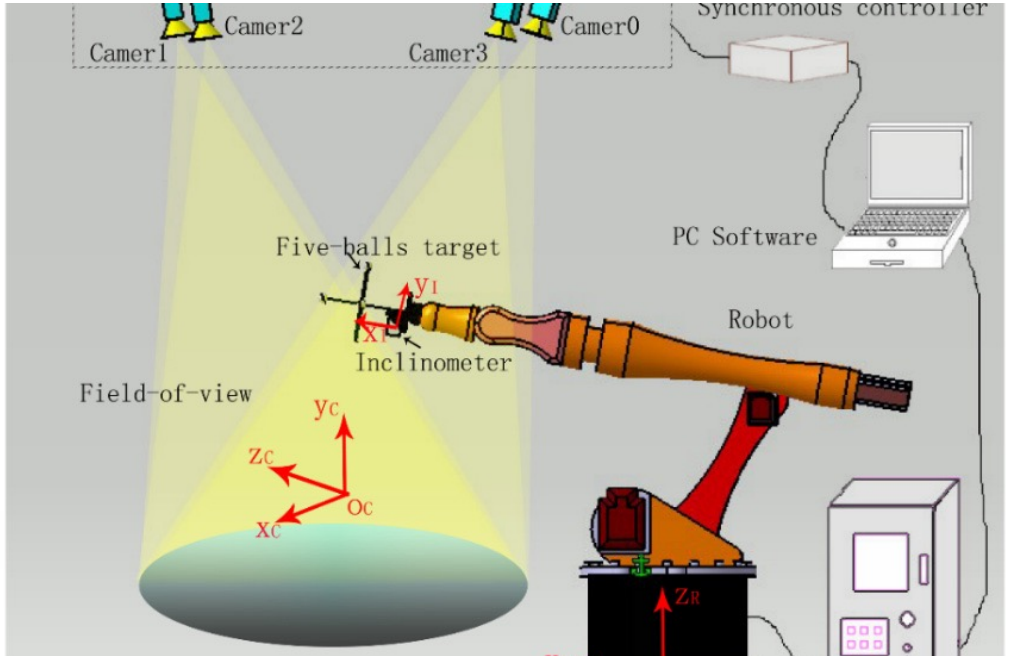
ต้องมี texture หรือ marker; ผิวเรียบ/สะท้อนทำให้ match ยาก
image processing อาจใช้เวลาสูง และไวต่อแสง/brightness

PDF p.5–7: markers, feature tracking, stereo matching; PDF p.18–19: advantages/drawbacks

Projected Texture Stereo: ทางออกของชิ้นงานผิวเรียบ

ฉาย texture เพื่อให้ stereo matching มีจุดอ้างอิงมากขึ้น





ใช้ใน bin picking: ต้องรู้ shape/size/position/alignment ของชิ้นงานใน bin pattern อาจเป็น infrared dot/line/random texture เพื่อสร้าง artificial texture ต้องส่งข้อมูลไป robot controller เพื่อสร้าง path ที่ไม่ชนและเลือก grasp point

PDF p.7 and p.13: projected texture stereo and bin picking requirements

Time of Flight (ToF)

วัดระยะจาก delay ของแสงที่สะท้อนกลับมา

extraction and tracking are Canny [41], Harris [42], KLT [43], SIFT [44], SURF [45], and MSER [46].

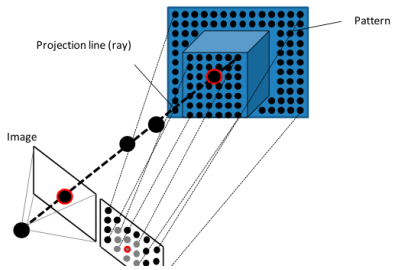
Markerless stereo camera systems are widely used in many real applications including indoor and outdoor robotics. They provide accurate depth estimates on well-textured scenes, but often fail when the surface of the object is low-textured or textureless. In this case, it is necessary to project a known static high contrast light on it highlighting points, features, non-visible structures, *etc.* and creating an artificial texture. Then, the reflected light is captured using a stereo camera system and a matching algorithm associates the homologous points to obtain the 3D information [47]. *Ensenso* has developed several series of compact sensors based on this technique [48].

The projected texture is usually pulsed infrared light which is not affected by external light sources. It can take many forms including crosses, circles, squares, dot-matrices, multiple lines and random dot matrices. Finding the optimal texture, that is, the one which provides the best correspondence between features of the images, is a complicated problem, influenced by characteristics of the projector, the pattern, and the stereo cameras [49,50].

2.2. Time of Flight

Active vision techniques obtain the 3D information projecting a visible or infrared pattern on the object as shown in Figure 7. A time of flight (ToF) camera is a range camera that uses light pulses. The illumination is switched on for a very short time. The resulting light pulse is projected on the scene illuminating it and being reflected by the objects. The camera lens captures the reflected light onto the sensor plane. Depending on the distance, the incoming light experiences a delay which can be calculated as shown in Equation (5), where t_D is the delay, D is the distance to the object and c is the speed of light. The pulse width of the illumination determines the maximum range the camera can handle, thus the illumination unit is a critical part of the system. Only with some special LEDs or lasers it is possible to generate such short pulses.

$$t_D = 2 \cdot \frac{D}{c} \quad (5)$$



$t = 2D / c$

t = round-trip delay, c = speed of light

D = distance

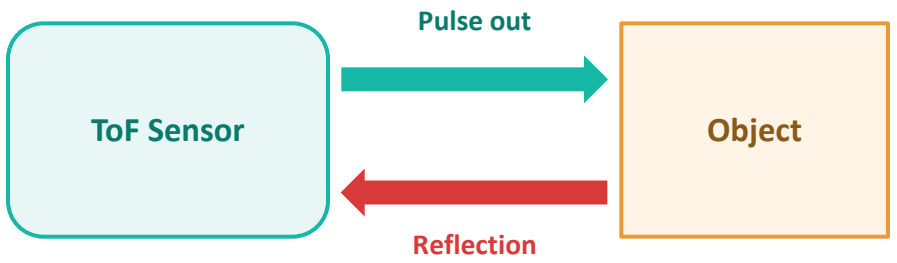
PDF p.7–8 and p.18–19: ToF is compact/lightweight/real-time but lower accuracy/noisy

เหมาะกับ ✓

- Obstacle avoidance
- People / object tracking
- Scene-aware mobile robots
- งานที่ต้อง frame rate สูง แต่ไม่ต้องแม่นระดับ sub-mm

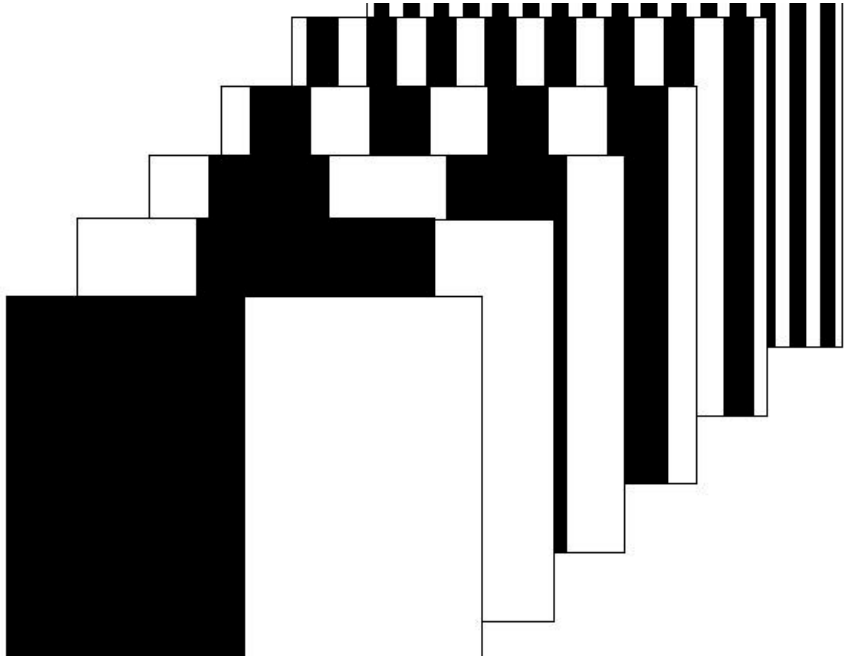
ระวัง !

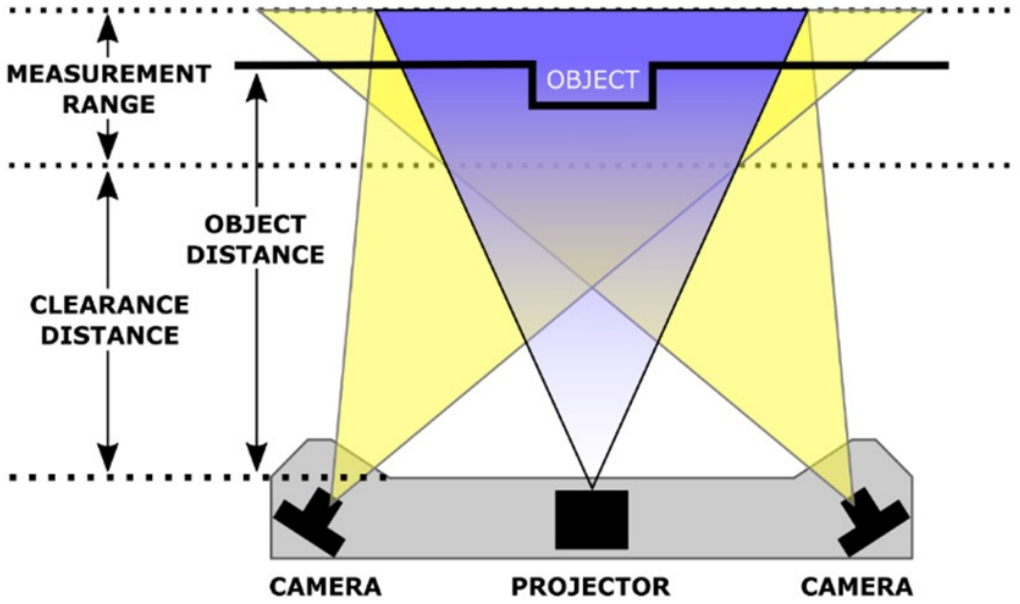
- Raw depth ที่ค่อนข้าง noisy
- Resolution ต่ำกว่าเทคนิคอื่น
- เกิด error จาก intensity, boundary, motion, multipath reflection



Structured Light

ฉาย pattern แล้วคำนวณ depth จาก deformation/triangulation



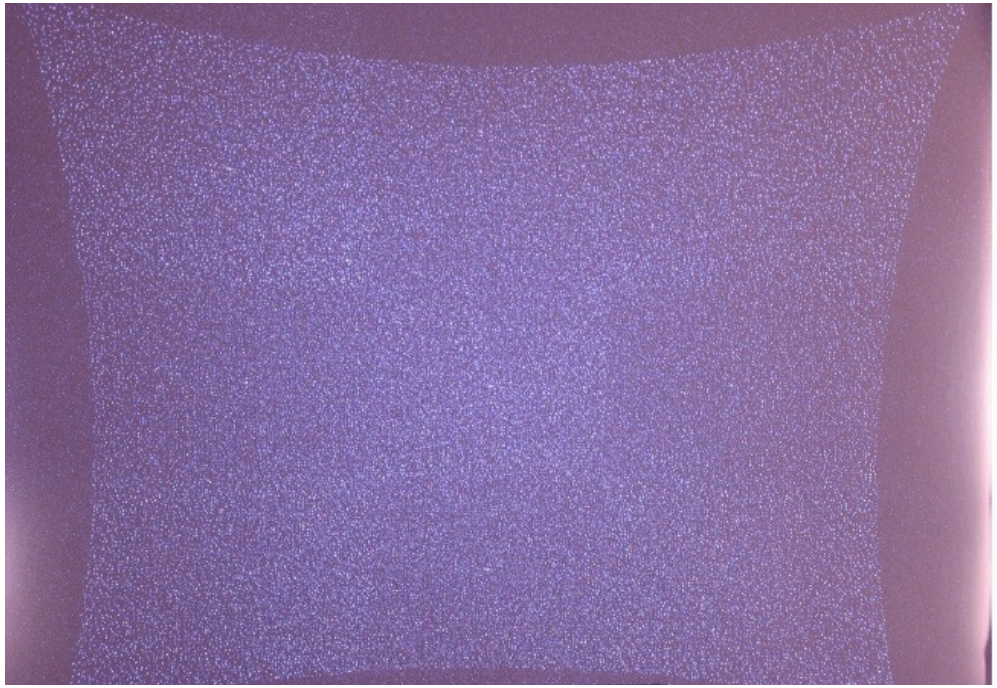


ข้อจำกัดสำคัญ: **time-multiplexing** ให้ **resolution** สูง แต่ **object / camera / projector** ต้องนิ่งระหว่าง **capture; one-shot** เหมาะกับฉากเคลื่อนไหวกว่าแต่ **encode** ได้จำกัด

PDF p.8–9: structured light groups, white/blue LED, accuracy and static capture constraint

Light Coding / RGB-D: ราคาดีและเร็ว แต่ไม่ใช่สำหรับทุกงาน

ฉาย dot pattern อินฟราเรด และคำนวณ depth จากการเปลี่ยนรูปของจุด

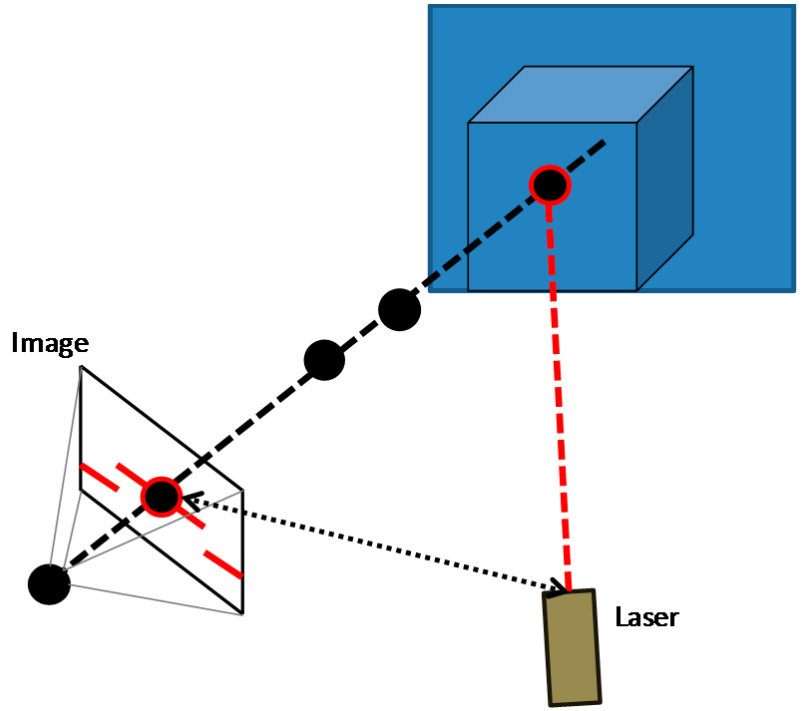


Depth map อาจมี holes จาก reflective / transparent / absorption / occlusion
ช่วงที่บทความอ้างถึงใช้ได้ดีราว 1–3 m และโดน sunlight/IR รบกวน
เหมาะกับ identification/tracking หรือ logistics มากกว่างานวัดแม่นสูง

PDF p.9 and p.18–19: light coding limitations; HIKROBOT RGB-D Smart Stereo Camera official page mentions built-in deep learning/segmentation

Laser Triangulation / 3D Laser Profile

กล้อง + laser emitter สร้างสามเหลี่ยมเพื่อคำนวณ 3D point/profile



ใช้เมื่อ

ต้องการ profile/height/shape แบบละเอียด
ชิ้นงานเคลื่อนผ่าน sensor หรือ sensor scan ผ่านชิ้นงาน
งาน inspection, weld seam, dimension, surface/profile measurement

ข้อควรระวัง

ตรวจ **laser class / eye safety, reflection, ambient brightness** และ **motion synchronization**

PDF p.10 and p.18–19: laser triangulation, scanning requirement and laser safety; HIKROBOT 3D laser profile official page

Comparison Matrix: เลือกเทคนิคจาก requirement

สรุปจาก Table 2/3 ในบทความ

เทคนิค	Accuracy	Range	Speed	Environment	Use case หลัก
Stereo/Photogrammetry	สูงมาก	ดี	ช้า/ประมวลผลมาก	แพ้แสง/texture	Calibration, 6DOF
Projected texture stereo	สูง	สั้น-กลาง	ปานกลาง	แพ้แสงบ้าง	Bin picking
ToF	ต่ำกว่า	กลาง	เร็ว	ค่อนข้างทนแสง	Obstacle/tracking
Structured light	สูง	ใกล้-กลาง	ต้องนิ่ง	แพ้แสง/สีบางแบบ	3D scan/inspection
Light coding/RGB-D	ต่ำกว่า	1–3 m	เร็ว	แพ้ sunlight/IR	Logistics/tracking
Laser triangulation	สูง	ดี	เร็ว/scan	แพ้แสง/สะท้อน	Profile/height/inspection

Rule of thumb: งาน **robot guidance** ที่ต้อง **pick/place** แม่นยำ → เริ่มจาก **surface + accuracy + cycle time + safety** ก่อนเลือก **sensor**

PDF p.18–20: Table 2 and Table 3 comparison of vision techniques

Decision Map สำหรับงานออกแบบ System

ถามคำถามให้ครบก่อนเลือก HIKROBOT camera / sensor

1 **ต้องการ 2D หรือ 3D?**

แค่ตรวจ presence/position บนระนาบ หรือ ต้องรู้ depth/pose?

2 **Accuracy เท่าไร?**

mm / sub-mm / micron และต้องเทียบ CAD หรือไม่

3 **Surface เป็นแบบไหน?**

matte, shiny, transparent, black, textureless, mixed material

4 **Motion & cycle time?**

ชิ้นงานนิ่งไหม conveyor speed เท่าไร trigger อย่างไร

5 **Robot integration?**

eye-in-hand/eye-to-hand, hand-eye calibration, PLC/robot protocol

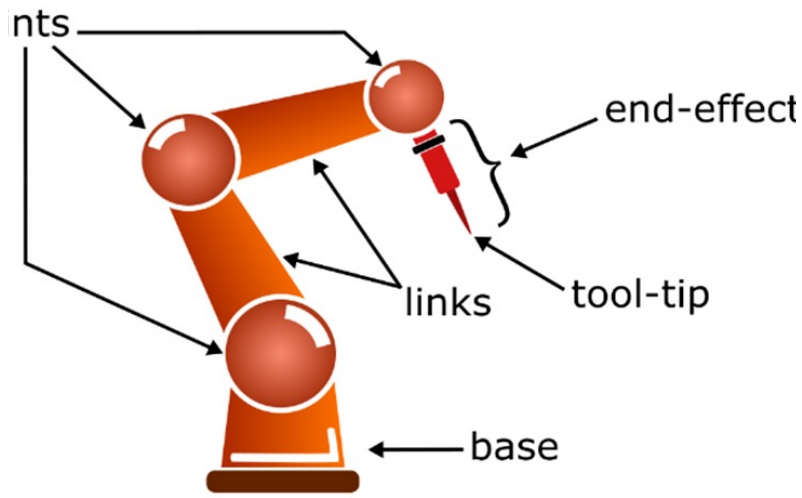
6 **Safety & environment?**

laser class, sunlight/IR, vibration, dust, enclosure, budget

Derived from PDF criteria: accuracy, range, weight, safety, processing time, environmental conditions, integration, budget

Applications ใน Industrial Robot Guidance

บทความแบ่งเป็น scene-related และ object-related tasks



Robot calibration ปรับ model/pose error ให้แม่นขึ้น

Pose estimation หาตำแหน่งและ orientation ของ end-effector หรือ part

Bin picking รู้ part pose + collision-free path + grasp point

Navigation / safety mapping, localization, obstacle/person detection

Inspection with robot วัด profile/surface/defect ระหว่างเคลื่อนที่

PDF p.10–17: applications of stereo/photogrammetry, ToF, structured light, light coding and laser triangulation

HIKROBOT Implementation Workflow

ขั้นตอนจาก requirement ถึง acceptance test

1. Site survey

part / background / space / lighting

2. Hardware select

camera, lens, lighting, mount, trigger

3. Vision job

VisionMaster tools / SDK / deep learning

4. Calibration

intrinsic + hand-eye + robot/world frame

5. Integration

PLC/robot protocol + handshake + safety

6. Validation

GR&R, repeatability, cycle time, fault handling

Acceptance ต้องรวม: accuracy, repeatability, false pick/fail rate, cycle time, recovery procedure และ operator training

HIKROBOT VisionMaster official page: graphical/SDK/operator modes and positioning/measurement/identification/detection tools

HIKROBOT Product Mapping กับเทคนิคในบทความ

จับคู่ “หลักการ vision” กับ product family / software ที่ทีมต้องรู้

2D/Area Scan + Smart Camera	Presence, positioning, code/OCR, measurement บนระนาบ
VisionMaster	Graphical workflow + SDK; positioning, measurement, ID, detection
RGB-D / Smart Stereo 3D	Depth + segmentation สำหรับ logistics/warehousing/automotive context
Line Laser / 3D Laser Profile	Triangulation-based point cloud/depth/brightness map สำหรับ profile/inspection
Robot Pilot / Robot Guidance	ซอฟต์แวร์ guidance สำหรับ articulated robot ใน demo/news ล่าสุด

Verified against HIKROBOT official product pages and 2025–2026 news pages

Commissioning Checklist สำหรับหน้างาน

สิ่งที่ต้องตรวจเพื่อให้ระบบ vision-guided robot เสถียร

- ☑ **Optics:** focus, aperture, depth of field, lens distortion, field of view
- ☑ **Lighting:** ambient control, strobe/continuous, glare, shadow, IR/sunlight
- ☑ **Calibration:** camera calibration, hand-eye, coordinate frames, TCP
- ☑ **Trigger/Timing:** exposure, conveyor/encoder sync, robot wait/ack signal
- ☑ **Algorithm:** threshold/model matching/point cloud filter/ROI/score
- ☑ **Safety:** laser class, robot safety zone, interlock, fail-safe behavior

Best practice: เก็บภาพ **pass/fail, parameter, calibration file, wiring/protocol** และ **acceptance result** เป็น **project folder** เดียวกัน

Troubleshooting Guide: อาการ → สาเหตุ → วิธีแก้

แปลงปัญหาที่บทความกล่าวถึงเป็นการแก้ไขหน้างาน

อาการ	สาเหตุที่เป็นไปได้	Action
Detect ได้บ้างไม่ได้บ้าง	แสง/เงา/สะท้อน/ผิว textureless	ปรับ lighting, polarizer, ROI, projected texture
ตำแหน่ง **robot** คลาด	hand-eye/TCP/frame ผิด หรือ calibration drift	re-calibrate, verify frame transform, check mounting
Point cloud มีรู/ขาด	transparent/black/shiny, occlusion, out of range	เปลี่ยนมุมกล้อง/ไฟ, filter, sensor type
Cycle time ไม่ทัน	exposure/processing/communication ช้า	ลด ROI/resolution, optimize job, hardware trigger
Laser/3D noise สูง	ambient brightness/vibration/surface reflection	shield light, mechanical stiffening, tune exposure/gain

Derived from PDF challenges: textureless surfaces, lighting/brightness, occlusions, moving objects, environmental influences

Sources & Accuracy Notes

แหล่งข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบ

Pérez, L. et al. (2016). Robot Guidance Using Machine Vision Techniques in Industrial Environments: A Comparative Review. Sensors, 16(3), 335.

HIKROBOT official Machine Vision / VisionMaster / 3D product pages ใช้ตรวจบริบทสินค้าและ software platform ล่าสุด
รูปจากบทความ PDF ใช้เพื่ออธิบายหลักการ: pinhole model, stereo/markers, structured light, light coding, laser triangulation และ bin picking
รูปภาพจริงบางส่วนใช้ประกอบบริบท robot-guided vision; ก่อนใช้เผยแพร่ภายนอกควรตรวจสิทธิ์รูปอีกครั้ง
ตัวเลข accuracy/range ใน deck เป็นค่าจากบทความรีวิวและตัวอย่างที่อ้างอิง ไม่ใช่ guaranteed spec ของ HIKROBOT รุ่นใดรุ่นหนึ่ง

Recommendation: ทุก **project** ต้องแนบ **datasheet** รุ่นจริง **+ site test image + acceptance criteria** ก่อนเสนอ **solution** ให้ลูกค้า