Table of Contents

# 1 Flowcharts - Vision-Based Pick and Place System

## 1.1 Document Control

| **Item** | **Details** |
| --- | --- |
| **Document Title** | System Flowcharts |
| **Version** | 1.0 |
| **Date** | 2025-10-18 |
| **Status** | Draft |
| **Author(s)** | System Architect, Technical Lead |

## 1.2 1. Introduction

This document provides flowcharts for all major processes in the vision-based pick-and-place robotic system. Flowcharts are presented using ASCII art and can be rendered with tools like Mermaid or PlantUML.

## 1.3 2. Main System Flowchart

### 1.3.1 2.1 End-to-End Pick-Place Workflow

┌─────────────────────────────────────────────────────────────┐  
│ START SYSTEM │  
└──────────────────────┬──────────────────────────────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌────────────────┐  
 │ Initialize │  
 │ (Home Robot) │  
 └────────┬───────┘  
 │  
 ▼  
 ┌────────────────┐ ┌───────────────┐  
 │ Wait for │──────▶│ User presses │  
 │ Start Signal │ │ "Start" │  
 └────────┬───────┘ └───────┬───────┘  
 │ │  
 │◀──────────────────────┘  
 ▼  
 ┌─────────────────────────┐  
 │ SCAN WORKSPACE │  
 │ (Capture RGB-D Image) │  
 └─────────┬───────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────────┐  
 │ DETECT OBJECTS │  
 │ (Run YOLO, Get Boxes) │  
 └─────────┬───────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌──────────────┐  
 │ Any Objects │ NO  
 │ Detected? ├──────────┐  
 └──────┬───────┘ │  
 │ YES │  
 ▼ ▼  
 ┌───────────────────────┐ ┌──────────────────┐  
 │ ESTIMATE POSE │ │ Log: No Objects │  
 │ (6DoF for each obj) │ │ Return to SCAN │  
 └───────────┬───────────┘ └─────────┬────────┘  
 │ │  
 │◀───────────────────────┘  
 ▼  
 ┌───────────────────────┐  
 │ SELECT OBJECT │  
 │ (Highest confidence) │  
 └───────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌───────────────────────┐  
 │ PLAN GRASP │  
 │ (Compute gripper pose│  
 │ + approach vector) │  
 └───────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────┐  
 │ Grasp Valid? │ NO  
 ├─────────────────┤───────────┐  
 │ (Quality >0.5) │ │  
 └────────┬────────┘ │  
 │ YES │  
 ▼ ▼  
 ┌───────────────────────┐ ┌─────────────────┐  
 │ PLAN PICK MOTION │ │ Skip Object │  
 │ (MoveIt: Home→Grasp) │ │ Select Next │  
 └───────────┬───────────┘ └────────┬────────┘  
 │ │  
 │◀──────────────────────┘  
 ▼  
 ┌───────────────────────┐  
 │ Path Found? │ NO  
 ├───────────────────────┤───────────┐  
 │ (Collision-free) │ │  
 └────────┬──────────────┘ │  
 │ YES │  
 ▼ ▼  
┌─────────────────────┐ ┌──────────────┐  
│ EXECUTE PICK │ │ Replan with │  
│ - Move to pre-grasp│ │ Relaxed │  
│ - Move to grasp │ │ Constraints │  
│ - Close gripper │ └──────┬───────┘  
└─────────┬───────────┘ │  
 │ │  
 │◀────────────────────────┘  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ Grasp Successful? │ NO  
├─────────────────────┤───────────┐  
│ (F/T sensor check) │ │  
└────────┬────────────┘ │  
 │ YES ▼  
 ▼ ┌───────────────┐  
┌─────────────────────┐ │ RETRY GRASP │  
│ PLAN PLACE MOTION │ │ (Increase │  
│ (Grasp→Target) │ │ force) │  
└─────────┬───────────┘ └───────┬───────┘  
 │ │  
 │◀─────────────────────┘  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ EXECUTE PLACE │  
│ - Move to target │  
│ - Open gripper │  
│ - Retract │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ VERIFY PLACEMENT │ FAIL  
├─────────────────────┤───────────┐  
│ (Optional camera │ │  
│ check) │ │  
└────────┬────────────┘ │  
 │ PASS ▼  
 ▼ ┌───────────────┐  
┌─────────────────────┐ │ Log Error │  
│ More Objects? │ │ Continue or │  
├─────────────────────┤ │ Alert User │  
│ │ └───────────────┘  
└────────┬────────────┘  
 │ YES │ NO  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌─────────────────┐  
 │ │ RETURN HOME │  
 │ └────────┬────────┘  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌─────────────────┐  
 │ │ END (IDLE) │  
 │ └─────────────────┘  
 │  
 └──────▶ (Loop back to SCAN)

## 1.4 3. Vision Pipeline Flowchart

### 1.4.1 3.1 Object Detection & Pose Estimation

┌──────────────────────────────────────────────────────┐  
│ START VISION PIPELINE │  
└─────────────────────┬────────────────────────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌────────────────────────┐  
 │ Camera Trigger │  
 │ (Request RGB-D frame) │  
 └────────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌────────────────────────┐  
 │ Receive RGB-D Frame │  
 │ - RGB: 1920x1080 │  
 │ - Depth: 1280x720 │  
 └────────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌────────────────────────┐  
 │ PREPROCESSING │  
 │ - Resize to 640x640 │  
 │ - Normalize pixels │  
 │ - Convert to tensor │  
 └────────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌────────────────────────┐  
 │ OBJECT DETECTION │  
 │ (YOLOv8 Inference) │  
 │ Input: 640x640 RGB │  
 │ Output: [x,y,w,h,c] │  
 └────────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌──────────────┐  
 │ Detections │ NO  
 │ > 0 ? ├──────────────┐  
 └──────┬───────┘ │  
 │ YES │  
 ▼ ▼  
 ┌───────────────────────┐ ┌──────────────┐  
 │ Non-Max Suppression │ │ Return │  
 │ (Remove duplicates) │ │ Empty List │  
 └───────────┬───────────┘ └──────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌───────────────────────┐  
 │ Filter Low Confidence│  
 │ (threshold = 0.7) │  
 └───────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌───────────────────────┐  
 │ For Each Detection: │  
 │ POSE ESTIMATION │  
 └───────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌───────────────────────┐  
 │ Extract ROI │  
 │ (Crop RGB-D to bbox) │  
 └───────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌───────────────────────┐  
 │ Generate Point Cloud │  
 │ (Deproject depth) │  
 └───────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌───────────────────────┐  
 │ Estimate 6DoF Pose │  
 │ - Method: PnP / ICP │  
 │ - Output: (x,y,z, │  
 │ qx,qy,qz,qw) │  
 └───────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌───────────────────────┐  
 │ Transform to Robot │  
 │ Frame (TF2) │  
 │ Camera → Base │  
 └───────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌───────────────────────┐  
 │ Publish Object Poses │  
 │ (/vision/object\_poses│  
 └───────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌──────────────┐  
 │ END │  
 └──────────────┘

## 1.5 4. Grasp Planning Flowchart

### 1.5.1 4.1 Grasp Synthesis & Selection

┌──────────────────────────────────────┐  
│ START GRASP PLANNING │  
└─────────────┬────────────────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Input: │  
 │ - Object Pose │  
 │ - Point Cloud │  
 │ - Gripper Type │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ SAMPLE GRASPS │  
 │ Method: │  
 │ - Parallel Jaw: │  
 │ Antipodal points │  
 │ - Suction: │  
 │ Top-down normals │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Generate N=50 │  
 │ Candidate Grasps │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ For Each Grasp: │  
 │ COLLISION CHECK │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌─────┴─────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌──────────────┐ ┌──────────────┐  
│ Gripper- │ │ Gripper- │  
│ Object │ │ Table │  
│ Collision? │ │ Collision? │  
└──────┬───────┘ └──────┬───────┘  
 │ YES │ YES  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌──────────────────────────┐  
│ Mark Grasp INVALID │  
└──────────────────────────┘  
 │ NO (both checks)  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ COMPUTE QUALITY │  
│ Metrics: │  
│ - Force closure │  
│ - Reachability │  
│ - Stability │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ Quality > 0.5? │ NO  
├─────────────────────┤──────┐  
└─────────┬───────────┘ │  
 │ YES │  
 ▼ ▼  
┌─────────────────────┐ ┌──────────┐  
│ Add to Valid List │ │ Discard │  
└─────────┬───────────┘ └──────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ All Grasps Checked?│ NO  
├─────────────────────┤───────┐  
└─────────┬───────────┘ │  
 │ YES │  
 ▼ │  
┌─────────────────────┐ │  
│ Valid Grasps > 0? │ NO │  
├─────────────────────┤───────┼─────┐  
└─────────┬───────────┘ │ │  
 │ YES │ │  
 ▼ │ ▼  
┌─────────────────────┐ │ ┌────────────┐  
│ RANK GRASPS │ │ │ Return │  
│ (Sort by quality) │ │ │ Failure │  
└─────────┬───────────┘ │ └────────────┘  
 │ │  
 ▼ │  
┌─────────────────────┐ │  
│ SELECT TOP GRASP │ │  
└─────────┬───────────┘ │  
 │ │  
 ▼ │  
┌─────────────────────┐ │  
│ Compute Approach │ │  
│ Vector (pre-grasp) │ │  
└─────────┬───────────┘ │  
 │ │  
 ▼ │  
┌─────────────────────┐ │  
│ Return: │ │  
│ - Grasp Pose │ │  
│ - Approach Vector │ │  
│ - Quality Score │ │  
└─────────┬───────────┘ │  
 │ │  
 ▼ │  
 ┌──────┐ │  
 │ END │◀──────────────┘  
 └──────┘

## 1.6 5. Motion Planning Flowchart (MoveIt2)

### 1.6.1 5.1 Trajectory Planning & Execution

┌──────────────────────────────────────┐  
│ START MOTION PLANNING │  
└─────────────┬────────────────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Input: │  
 │ - Target Pose │  
 │ - Current State │  
 │ - Planning Scene │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ UPDATE PLANNING │  
 │ SCENE │  
 │ - Add obstacles │  
 │ (from point cloud│  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ INVERSE KINEMATICS │  
 │ Target Pose → θ[] │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌─────┴──────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌──────────────┐ ┌──────────────┐  
│ IK Solution │ │ IK Failed? │  
│ Found? │ │ │  
└──────┬───────┘ └──────┬───────┘  
 │ YES │ YES  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ Try Alternate│  
 │ │ IK Solver │  
 │ │ (TRAC-IK) │  
 │ └───────┬───────┘  
 │ │  
 │◀────────────────┘ (if found)  
 │ │  
 │ ▼ (if still fails)  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ Return Error │  
 │ │ (Unreachable)│  
 │ └───────────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ VALIDATE GOAL │  
│ - Joint limits OK? │  
│ - Self-collision? │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌─────┴──────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌─────────┐ ┌─────────┐  
│ Valid │ │ Invalid │  
└────┬────┘ └────┬────┘  
 │ YES │ NO  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ Return Error │  
 │ └───────────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ PATH PLANNING │  
│ Algorithm: RRT\* │  
│ - Start: current │  
│ - Goal: IK solution│  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ Planning Loop │  
│ (max 5 sec timeout)│  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌─────┴──────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌─────────┐ ┌──────────┐  
│ Path │ │ Timeout? │  
│ Found? │ │ │  
└────┬────┘ └────┬─────┘  
 │ YES │ YES  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ Relax │  
 │ │ Constraints │  
 │ │ (Retry) │  
 │ └───────┬───────┘  
 │ │  
 │◀───────────┘ (if found)  
 │ │  
 │ ▼ (if still fails)  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ Return Error │  
 │ │ (No solution)│  
 │ └───────────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ TRAJECTORY │  
│ GENERATION │  
│ - Time-param path │  
│ - Apply vel/acc │  
│ limits │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ TRAJECTORY │  
│ SMOOTHING │  
│ - Shortcut │  
│ - Jerk limiting │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ SEND TO CONTROLLER │  
│ (FollowJoint │  
│ Trajectory Action)│  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ MONITOR EXECUTION │  
│ - Track feedback │  
│ - Check errors │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌─────┴──────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌─────────┐ ┌──────────┐  
│ Success │ │ Error? │  
└────┬────┘ └────┬─────┘  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ E-stop or │  
 │ │ Following │  
 │ │ Error Large │  
 │ └───────┬───────┘  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ Return Error │  
 │ └───────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌──────┐  
 │ END │  
 └──────┘

## 1.7 6. State Machine Flowchart

### 1.7.1 6.1 Task Orchestrator FSM

┌──────┐  
 │ IDLE │  
 └───┬──┘  
 │ (Start command)  
 ▼  
 ┌──────┐  
 │ SCAN │  
 └───┬──┘  
 │ (Image captured)  
 ▼  
 ┌────────────┐  
 │ DETECT │  
 └──────┬─────┘  
 │  
 ┌─────┴─────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
 ┌──────────┐ ┌────────────┐  
 │ Objects │ │ No Objects │  
 │ Found │ │ (Timeout) │  
 └─────┬────┘ └─────┬──────┘  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌──────────┐  
 │ │ ERROR │  
 │ └─────┬────┘  
 │ │  
 ▼ │  
 ┌──────────────┐ │  
 │ PLAN\_GRASP │ │  
 └──────┬───────┘ │  
 │ │  
 ┌─────┴─────┐ │  
 │ │ │  
 ▼ ▼ │  
 ┌──────────┐ ┌──────────┐ │  
 │ Grasp │ │ No Valid │ │  
 │ Valid │ │ Grasp │───┘  
 └─────┬────┘ └──────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌──────────────┐  
 │ PLAN\_PICK │  
 └──────┬───────┘  
 │  
 ┌─────┴──────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌─────────┐ ┌──────────┐  
│ Path │ │ Planning │  
│ Found │ │ Failed │─┐  
└────┬────┘ └──────────┘ │  
 │ │  
 ▼ │  
┌──────────────┐ │  
│ EXECUTE\_PICK │ │  
└──────┬───────┘ │  
 │ │  
 ┌────┴────┐ │  
 │ │ │  
 ▼ ▼ │  
┌───────┐ ┌─────────┐ │  
│Success│ │ Grasp │ │  
│ │ │ Failed │────┤  
└───┬───┘ └─────────┘ │  
 │ │  
 ▼ │  
┌──────────────┐ │  
│ PLAN\_PLACE │ │  
└──────┬───────┘ │  
 │ │  
 ┌────┴────┐ │  
 │ │ │  
 ▼ ▼ │  
┌───────┐ ┌─────────┐ │  
│ Path │ │Planning │ │  
│ Found │ │ Failed │───┤  
└───┬───┘ └─────────┘ │  
 │ │  
 ▼ │  
┌───────────────┐ │  
│ EXECUTE\_PLACE │ │  
└───────┬───────┘ │  
 │ │  
 ┌────┴────┐ │  
 │ │ │  
 ▼ ▼ │  
┌───────┐ ┌─────────┐ │  
│Success│ │ Failed │──┘  
└───┬───┘ └─────────┘  
 │  
 ▼  
┌──────────┐  
│ VERIFY │  
└─────┬────┘  
 │  
 ┌────┴────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌──────┐ ┌────────┐  
│ Pass │ │ Fail │  
└──┬───┘ └───┬────┘  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌──────────┐  
 │ │ ERROR │  
 │ └─────┬────┘  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌──────────┐  
 │ │ Retry or │  
 │ │ Abort? │  
 │ └─────┬────┘  
 │ │  
 │◀────────┘ (Retry: back to SCAN)  
 │ │  
 │ ▼ (Abort)  
 │ ┌──────────┐  
 │ │ IDLE │  
 │ └──────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────┐  
│ RETURN\_HOME │  
└──────┬──────┘  
 │  
 ▼  
 ┌──────┐  
 │ IDLE │  
 └──────┘

## 1.8 7. Error Handling Flowchart

### 1.8.1 7.1 Error Recovery Logic

┌──────────────────────────────────────┐  
│ ERROR DETECTED │  
│ (Vision fail, grasp fail, etc.) │  
└─────────────┬────────────────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Classify Error │  
 │ - Vision timeout │  
 │ - Grasp failure │  
 │ - Planning failure │  
 │ - Execution error │  
 │ - Safety violation │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Log Error │  
 │ (timestamp, type, │  
 │ context) │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌──────┴──────────────────────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌──────────────┐ ┌────────────────┐  
│ Safety │ │ Recoverable │  
│ Violation? │ │ Error? │  
│ (E-stop, │ └────────┬───────┘  
│ collision) │ │  
└──────┬───────┘ ┌──────┴──────┐  
 │ YES │ │  
 │ ▼ ▼  
 │ ┌──────────────┐ ┌───────────┐  
 │ │ Retry Count │ │ Non- │  
 │ │ < Max (3)? │ │ Recoverable  
 │ └──────┬───────┘ └─────┬─────┘  
 │ │ │  
 │ ┌──────┴──────┐ │  
 │ │ │ │  
 │ ▼ ▼ │  
 │ ┌──────────────┐ ┌─────────┐ │  
 │ │ YES │ │ NO │ │  
 │ │ (Try Again) │ │ (Give Up│ │  
 │ └──────┬───────┘ └────┬────┘ │  
 │ │ │ │  
 │ ▼ │ │  
 │ ┌──────────────────┐ │ │  
 │ │ RECOVERY ACTION │ │ │  
 │ │ - Rescan │ │ │  
 │ │ - Adjust params │ │ │  
 │ │ - Retry with │ │ │  
 │ │ fallback │ │ │  
 │ └──────┬───────────┘ │ │  
 │ │ │ │  
 │ ▼ │ │  
 │ ┌──────────────────┐ │ │  
 │ │ Recovery │ │ │  
 │ │ Successful? │ │ │  
 │ └──────┬───────────┘ │ │  
 │ │ │ │  
 │ ┌────┴────┐ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ ▼ ▼ │ │  
 │ ┌─────┐ ┌──────┐ │ │  
 │ │ YES │ │ NO │────────┤ │  
 │ └──┬──┘ └──────┘ │ │  
 │ │ │ │  
 │ ▼ │ │  
 │ ┌───────────────┐ │ │  
 │ │ RESUME TASK │ │ │  
 │ └───────────────┘ │ │  
 │ │ │  
 ▼ ▼ ▼  
┌──────────────────────────────────────────────┐  
│ CRITICAL ERROR HANDLING │  
│ 1. Stop all motion (E-stop if safety) │  
│ 2. Move to safe state (home position) │  
│ 3. Alert operator (dashboard, alarm) │  
│ 4. Await manual intervention │  
│ - Option A: Operator fixes issue, resume │  
│ - Option B: Operator aborts task │  
└──────────────────────────────────────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌──────────────┐  
 │ User Action │  
 │ Required │  
 └──────┬───────┘  
 │  
 ┌──────┴──────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
 ┌─────────┐ ┌─────────┐  
 │ Resume │ │ Abort │  
 └────┬────┘ └────┬────┘  
 │ │  
 ▼ ▼  
 ┌──────────┐ ┌──────────┐  
 │ Continue │ │ IDLE │  
 │ Task │ └──────────┘  
 └──────────┘

## 1.9 8. Calibration Flowchart

### 1.9.1 8.1 Hand-Eye Calibration Procedure

┌──────────────────────────────────────┐  
│ START CALIBRATION WIZARD │  
└─────────────┬────────────────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Display Welcome │  
 │ Instructions │  
 │ - Place checkerboard  
 │ - Ensure good light│  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Initialize: │  
 │ - Calibration data │  
 │ - Position counter │  
 │ (i = 1) │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Move Robot to │  
 │ Position i │  
 │ (Pre-defined joint │  
 │ angles) │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Prompt User: │  
 │ "Press OK when │  
 │ robot stopped" │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Capture Image │  
 │ (RGB from camera) │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Detect Checkerboard│  
 │ Corners │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌─────┴──────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌──────────────┐ ┌──────────────┐  
│ Corners │ │ Detection │  
│ Detected? │ │ Failed? │  
└──────┬───────┘ └──────┬───────┘  
 │ YES │ YES  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ Display Error│  
 │ │ "Retry │  
 │ │ Position i" │  
 │ └───────┬───────┘  
 │ │  
 │ └───────┐  
 │ │  
 ▼ │  
┌─────────────────────┐ │  
│ Record: │ │  
│ - Robot pose (FK) │ │  
│ - Image corners │ │  
└─────────┬───────────┘ │  
 │ │  
 ▼ │  
┌─────────────────────┐ │  
│ i = i + 1 │ │  
└─────────┬───────────┘ │  
 │ │  
 ▼ │  
┌─────────────────────┐ │  
│ i <= N (e.g., 5)? │ NO │  
├─────────────────────┤──────┐ │  
└─────────┬───────────┘ │ │  
 │ YES │ │  
 │◀─────────────────┘ │  
 │ │  
 ▼ │  
┌─────────────────────┐ │  
│ COMPUTE CALIBRATION│ │  
│ - Solve AX=XB │ │  
│ - Hand-eye matrix │ │  
└─────────┬───────────┘ │  
 │ │  
 ▼ │  
┌─────────────────────┐ │  
│ VALIDATION │ │  
│ - Place known │ │  
│ object │ │  
│ - Detect & measure │ │  
│ position error │ │  
└─────────┬───────────┘ │  
 │ │  
 ┌────┴─────┐ │  
 │ │ │  
 ▼ ▼ │  
┌─────────┐ ┌──────────┐ │  
│ Error │ │ Error │ │  
│ <5mm? │ │ >=5mm? │─────────┤  
└────┬────┘ └──────────┘ │  
 │ YES │ NO │  
 │ │ │  
 │ ▼ │  
 │ ┌───────────────┐ │  
 │ │ Warn User │ │  
 │ │ "Recalibrate"│ │  
 │ └───────┬───────┘ │  
 │ │ │  
 │ └────────────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ SAVE CALIBRATION │  
│ - Write to YAML │  
│ - /config/camera\_ │  
│ robot\_tf.yaml │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ Display Success │  
│ "Calibration │  
│ Complete!" │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌──────┐  
 │ END │  
 └──────┘

## 1.10 9. Deployment Flowchart

### 1.10.1 9.1 System Deployment & Commissioning

┌──────────────────────────────────────┐  
│ START DEPLOYMENT │  
└─────────────┬────────────────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ SITE PREPARATION │  
 │ - Clear workspace │  
 │ - Install power │  
 │ - Network setup │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ HARDWARE INSTALL │  
 │ - Mount robot │  
 │ - Install camera │  
 │ - Connect cables │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ POWER-ON CHECKS │  
 │ - Verify voltages │  
 │ - E-stop test │  
 │ - Network ping │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌─────┴──────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌──────────────┐ ┌──────────────┐  
│ All Checks │ │ Any Checks │  
│ Pass? │ │ Fail? │  
└──────┬───────┘ └──────┬───────┘  
 │ YES │ YES  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ Troubleshoot │  
 │ │ - Recheck │  
 │ │ connections│  
 │ └───────┬───────┘  
 │ │  
 │◀────────────────┘ (if fixed)  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ SOFTWARE INSTALL │  
│ - Docker pull │  
│ - Load ROS2 pkgs │  
│ - Config files │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ CALIBRATION │  
│ - Hand-eye calib │  
│ - Workspace zones │  
│ - Gripper tuning │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ SMOKE TEST │  
│ - Single pick-place│  
│ - Verify all │  
│ subsystems work │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌────┴─────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌─────────┐ ┌──────────┐  
│ Success │ │ Failure │  
└────┬────┘ └────┬─────┘  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ Debug & Fix │  
 │ └───────┬───────┘  
 │ │  
 │◀───────────┘ (if fixed)  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ TRAINING │  
│ - Operator (2 days)│  
│ - Maintenance (1 d)│  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ ACCEPTANCE TEST │  
│ - Run 100 picks │  
│ - Measure KPIs │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌────┴─────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌─────────┐ ┌──────────┐  
│ All │ │ Any KPI │  
│ Pass? │ │ Fail? │  
└────┬────┘ └────┬─────┘  
 │ YES │ YES  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ Remediate │  
 │ │ - Tune params│  
 │ │ - Retest │  
 │ └───────┬───────┘  
 │ │  
 │◀───────────┘ (if fixed)  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ CUSTOMER SIGN-OFF │  
│ - UAT approval │  
│ - Handover docs │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ PRODUCTION READINESS  
│ - Transition to ops│  
│ - Support handoff │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌──────┐  
 │ END │  
 └──────┘

## 1.11 10. Maintenance Flowchart

### 1.11.1 10.1 Preventive Maintenance Procedure

┌──────────────────────────────────────┐  
│ MAINTENANCE DUE │  
│ (Calendar-based or condition-based) │  
└─────────────┬────────────────────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ Schedule Downtime │  
 │ (Notify operators) │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌─────────────────────┐  
 │ RUN DIAGNOSTIC │  
 │ HEALTH CHECK │  
 │ - Camera test │  
 │ - Motor test │  
 │ - Sensor test │  
 └─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌─────┴──────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌──────────────┐ ┌──────────────┐  
│ All Tests │ │ Any Test │  
│ Pass? │ │ Fail? │  
└──────┬───────┘ └──────┬───────┘  
 │ YES │ YES  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ REPAIR │  
 │ │ - Replace │  
 │ │ component │  
 │ └───────┬───────┘  
 │ │  
 │◀────────────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ LUBRICATION │  
│ - Joint bearings │  
│ - Gripper mechanics│  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ CLEAN & INSPECT │  
│ - Camera lens │  
│ - Cables, connectors  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ UPDATE LOGS │  
│ - Maintenance date │  
│ - Parts replaced │  
│ - Next due date │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ POST-MAINT TEST │  
│ - Run smoke test │  
│ - Verify performance  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ┌────┴─────┐  
 │ │  
 ▼ ▼  
┌─────────┐ ┌──────────┐  
│ Success │ │ Issues │  
└────┬────┘ └────┬─────┘  
 │ │  
 │ ▼  
 │ ┌───────────────┐  
 │ │ Troubleshoot │  
 │ └───────┬───────┘  
 │ │  
 │◀───────────┘  
 │  
 ▼  
┌─────────────────────┐  
│ RETURN TO SERVICE │  
│ (Notify operators) │  
└─────────┬───────────┘  
 │  
 ▼  
 ┌──────┐  
 │ END │  
 └──────┘

## 1.12 Summary

This document provides **10 comprehensive flowcharts** covering:

1. **Main System** - End-to-end pick-place workflow
2. **Vision Pipeline** - Object detection and pose estimation
3. **Grasp Planning** - Grasp synthesis and selection
4. **Motion Planning** - MoveIt2 trajectory planning
5. **State Machine** - Task orchestrator FSM
6. **Error Handling** - Recovery logic
7. **Calibration** - Hand-eye calibration wizard
8. **Deployment** - System commissioning
9. **Maintenance** - Preventive maintenance procedure

**Usage:** - Convert to Mermaid diagrams for rendering - Use in design reviews, training materials - Reference during development and debugging

**Document Status:** ✅ Complete **Last Updated:** 2025-10-18 **Format:** ASCII art (convertible to Mermaid/PlantUML) **Review Status:** Pending Technical Review