Table of Contents

# 1 Sequence Diagrams - Vision-Based Pick and Place System

## 1.1 Document Control

| **Item** | **Details** |
| --- | --- |
| **Document Title** | Sequence Diagrams |
| **Version** | 1.0 |
| **Date** | 2025-10-18 |
| **Status** | Draft |
| **Author(s)** | System Architect |

## 1.2 1. Introduction

This document provides sequence diagrams showing time-ordered interactions between system components. All diagrams use ASCII art and can be rendered with Mermaid or PlantUML.

## 1.3 2. End-to-End Pick-Place Sequence

### 1.3.1 2.1 Complete Workflow (Nominal Path)

User Task Vision Grasp MoveIt2 ros2\_control Robot Gripper  
 │ Orchestrator Pipeline Planner Manager Arm  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 ├─Start───▶│ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─ScanReq───▶│ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─Capture──▶Camera │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │◀─Image───│ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─RunYOLO──│ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─EstPose──│ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─ObjPoses──│ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─GraspReq──────────────▶│ │ │ │ │  
 │ │ (pose,cloud) │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─Sample─────│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─CheckColl──│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─RankGrasps─│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─GraspPose─────────────│ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─PlanPickReq────────────────────────▶│ │ │ │  
 │ │ │ (target\_pose) │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─SolveIK────│ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─PlanPath───│ │ │  
 │ │ │ │ (RRT\*)│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─GenTraj────│ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─Trajectory────────────────────────│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─ExecPickReq────────────────────────────────────▶│ │ │  
 │ │ │ │ (trajectory) │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │─MoveToPre─▶ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │─MoveToGrsp▶ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─CloseGripper───────────────────────────────────────────────────────────▶│  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─GraspForce────────────────────────────────────────────────────────────│  
 │ │ (F/T sensor: 20N) │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─CheckGrasp─│ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ ├─Success────│ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─PlanPlaceReq───────────────────────▶│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─PlanPath───│ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─Trajectory────────────────────────│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─ExecPlaceReq───────────────────────────────────▶│ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │─MoveToTarget▶ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─OpenGripper────────────────────────────────────────────────────────────▶│  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │─Retract───▶ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─ReturnHome─────────────────────────────────────▶│ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │─MoveHome──▶ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │  
 │◀─Complete─│ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │ │

**Timing:** - Total cycle time: ~2 seconds - Vision (Scan → ObjPoses): 150ms - Grasp planning: 200ms - Motion planning (pick): 300ms - Execution (pick): 800ms - Motion planning (place): 250ms - Execution (place): 300ms

## 1.4 3. Vision Pipeline Sequence

### 1.4.1 3.1 Object Detection & Pose Estimation

Task Camera Image Object Pose TF2  
Orchestrator Driver Processor Detector Estimator  
 │ │ │ │ │ │  
 │─ScanRequest─▶│ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─Trigger───▶│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─RGB+Depth─│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─PublishRGB─────────────▶ │ │  
 │ │ (topic) │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─PublishDepth──────────▶│ │ │  
 │ │ (topic) │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─Preprocess│ │  
 │ │ │ │ (resize) │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─RunYOLO───│ │  
 │ │ │ (TensorRT) │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─NMS───────│ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─Filter────│ │  
 │ │ │ (conf>0.7) │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─Publish───────────────▶Task  
 │ │ │ │Detections │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │──────────▶│  
 │ │ │ │ (for each det) │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─ExtractROI  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─Deproject─│  
 │ │ │ │ (depth→3D) │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─EstPose───│  
 │ │ │ │ (PnP/ICP) │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─LookupTF──▶│  
 │ │ │ │ (camera→base) │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │◀─Transform│  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─Publish───▶Task  
 │ │ │ │ Poses │  
 │ │ │ │ (base frame)│  
 │◀─ObjPoses──────────────────────────────────────────────────────

## 1.5 4. Grasp Planning Sequence

### 1.5.1 4.1 Grasp Synthesis & Collision Checking

Task Grasp Grasp Collision Grasp  
Orchestrator Planner Sampler Checker Ranker  
 │ │ │ │ │  
 │─GraspRequest─▶│ │ │ │  
 │ (pose,cloud)│ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │─Sample────▶│ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │ │─GenCandidates │  
 │ │ │ (N=50) │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │◀─Grasps────│ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │─ForEach────────────────▶│ │  
 │ │ Grasp │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─CheckGripper  
 │ │ │ │ -Object │  
 │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─CheckGripper  
 │ │ │ │ -Scene │  
 │ │ │ │ │  
 │ │◀─CollFree──────────────│ │  
 │ │ (boolean)│ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │─IfCollFree─────────────────────────▶│  
 │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─CompQuality  
 │ │ │ │ (force closure)  
 │ │ │ │ │  
 │ │◀─Quality───────────────────────────│  
 │ │ │ │ │  
 │ │─AddToValid─│ │ │  
 │ │ List │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │─EndLoop────│ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │─Sort───────────────────────────────▶│  
 │ │ ByQuality │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │◀─RankedList────────────────────────│  
 │ │ │ │ │  
 │ │─SelectTop──│ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │◀─GraspPose───│ │ │ │  
 │ +Quality │ │ │ │

## 1.6 5. Motion Planning Sequence (MoveIt2)

### 1.6.1 5.1 Path Planning with Collision Checking

Task MoveIt Planning IK OMPL Trajectory  
Orchestrator MoveGroup Scene Solver Planner Generator  
 │ │ │ │ │ │  
 │─PlanRequest──▶│ │ │ │ │  
 │ (target\_pose)│ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─UpdateScene─▶ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─AddObstacles │ │  
 │ │ (point cloud) │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─SceneReady─ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─SolveIK────────────────▶ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─ComputeIK─│ │  
 │ │ │ (KDL/TRAC-IK) │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─JointAngles───────────│ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─ValidateGoal │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─PlanPath───────────────────────────▶ │  
 │ │ │ (start, goal) │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─RunRRT\*────│  
 │ │ │ │ (5 sec timeout) │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─CheckColl──▶Scene  
 │ │ │ │ (repeated) │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │◀─CollFree──│  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─Path──────────────────────────────│ │  
 │ │ │ (joint configs) │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─GenTrajectory──────────────────────────────────▶│  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │─TimeParam  
 │ │ │ │ │ (parabolic)  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │─ApplyLimits  
 │ │ │ │ (vel, accel) │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─Trajectory────────────────────────────────────│  
 │ │ │ │ │ │  
 │◀─Trajectory──│ │ │ │ │  
 │ (ready) │ │ │ │ │

## 1.7 6. Trajectory Execution Sequence

### 1.7.1 6.1 ros2\_control Execution Loop

MoveIt Controller Trajectory PID Hardware Motor  
MoveGroup Manager Follower Controller Interface Driver  
 │ │ │ │ │ │  
 │─ExecAction──▶│ │ │ │ │  
 │ (trajectory) │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─LoadTraj───▶ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─Start─────│ │ │  
 │ │ │ Loop │ │ │  
 │ │ │ @1kHz │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─Interpolate │ │  
 │ │ │ Setpoint │ │ │  
 │ │ │ (t=now) │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─SendSetpoint──────────▶ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─CompPID───│ │  
 │ │ │ (error = sp-fb) │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─AddFF─────│ │  
 │ │ │ (gravity comp) │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─Output────────────────▶│  
 │ │ │ (torque cmd) │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─ReadEnc───▶│  
 │ │ │ │ (position) │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │◀─Feedback─────────────│  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │◀─JointStates──────────│ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─Feedback──│ │ │ │  
 │ (progress) │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─CheckDone─│ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─IfDone────────────────▶ │  
 │ │ │ Stop │ │ │  
 │ │ │ Loop │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │◀─Result──────│ │ │ │ │  
 │ (success) │ │ │ │ │

**Loop Timing:** - Control frequency: 1000 Hz (1ms period) - Setpoint interpolation: <50μs - PID computation: <100μs - EtherCAT communication: <200μs - Total loop time: <1ms (with margin for jitter)

## 1.8 7. Error Recovery Sequence

### 1.8.1 7.1 Grasp Failure → Retry

Task F/T Error Grasp MoveIt2 ros2\_control  
Orchestrator Sensor Detector Planner Manager  
 │ │ │ │ │ │  
 │─ExecPick────────────────────────────────────────▶ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │──MoveToPre──▶Robot  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │──MoveToGrsp─▶Robot  
 │ │ │ │ │ │  
 │─CloseGripper────────────────────────────────────────────────────▶Gripper  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─ForceReading──────────────────────────────────│  
 │ │ (5N, low!) │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─DetectDrop─▶ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─RaiseFault │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │◀─ErrorEvent──────────────│ │ │ │  
 │ (GRASP\_FAIL) │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │─LogError─────│ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │─CheckRetry───│ │ │ │ │  
 │ Count │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │─IfRetry<Max─│ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │─Retract──────────────────────────────────────────▶ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │──MoveBack───▶Robot  
 │ │ │ │ │ │  
 │─ReplanGrasp─────────────────────────▶│ │ │  
 │ (increase │ │ │ │ │  
 │ force) │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─AdjustForce │  
 │ │ │ │ (50%→100%) │  
 │ │ │ │ │ │  
 │◀─NewGrasp────────────────────────────│ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │─RetryPick────────────────────────────────────────▶ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │──Execute────▶Robot  
 │ │ │ │ │ │  
 │─CloseGripper────────────────────────────────────────────────────▶Gripper  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─ForceReading──────────────────────────────────│  
 │ │ (20N, OK!) │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │◀─Success─────│ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │─Continue─────│ │ │ │ │  
 │ (place) │ │ │ │ │

## 1.9 8. Calibration Sequence

### 1.9.1 8.1 Hand-Eye Calibration

Calib Robot Camera Detection Calibration  
Wizard Controller Driver Node Solver  
 │ │ │ │ │  
 │─Start────────│ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─MoveToPos1──▶ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │─Execute───▶ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │◀─AtPosition──│ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─CaptureImg──────────────▶ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │ │─Trigger───▶ │  
 │ │ │ │ │  
 │ │ │◀─Image────│ │  
 │ │ │ │ │  
 │──────────────────────────────────────▶ │  
 │ │ │ Detect │ │  
 │ │ │ Checkerboard │  
 │ │ │ │ │  
 │◀─Corners─────────────────────────────│ │  
 │ │ │ │ │  
 │─ReadRobotPose▶ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │◀─TcpPose─────│ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─StoreData────│ │ │ │  
 │ (corners, │ │ │ │  
 │ robot\_pose) │ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─RepeatFor────│ │ │ │  
 │ Pos2-5 │ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ (loop 4 more times) │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─AllDataCollected │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─SolveCalib───────────────────────────────────────▶│  
 │ │ │ (AX=XB) │  
 │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─ComputeTF  
 │ │ │ │ (camera→base)  
 │ │ │ │ │  
 │◀─Transformation──────────────────────────────────│  
 │ Matrix │ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─Validate─────│ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─PlaceObject──│ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─DetectObject─────────────────────────▶ │  
 │ │ │ │ │  
 │◀─Pos(camera)─────────────────────────│ │  
 │ │ │ │ │  
 │─TransformTo──────────────────────────────────────▶│  
 │ BaseFrame │ │ (using TF) │  
 │ │ │ │ │  
 │◀─Pos(base)───────────────────────────────────────│  
 │ │ │ │ │  
 │─MeasureActual▶ │ │ │  
 │ (CMM/ruler) │ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │◀─ActualPos───│ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─CompError────│ │ │ │  
 │ (predicted- │ │ │ │  
 │ actual) │ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─IfError<5mm─│ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │─SaveCalib────────────────────────────────────────▶│  
 │ │ (to YAML file) │ │  
 │ │ │ │ │  
 │◀─Success─────│ │ │ │

## 1.10 9. System Startup Sequence

### 1.10.1 9.1 Boot & Initialization

User Init ROS2 Vision MoveIt2 ros2\_control Robot  
 Script Daemon Nodes Nodes Manager Hardware  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │─PowerOn─▶ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─StartROS2 ▶ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─LaunchCore─│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │◀─CoreReady─│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─LaunchVision───────────▶ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─InitCamera│ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │◀─CamReady─│ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │─LoadModel─│ │ │  
 │ │ │ (YOLOv8) │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │◀─ModelReady │ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─LaunchMoveIt───────────────────────▶ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─LoadURDF───│ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─InitPlanningScene │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │◀─Ready─────│ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─LaunchControl──────────────────────────────────▶ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │─InitHW─────▶  
 │ │ │ │ │ (EtherCAT) │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │◀─HwReady───│  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │─LoadControllers  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │◀─CtrlReady─│  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │─HomeRobot──────────────────────────────────────▶ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │─MoveHome───▶  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │◀─AtHome────│  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │◀─SystemReady────────│ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │ │  
 │─Display─│ │ │ │ │ │  
 │ "READY" │ │ │ │ │ │

**Startup Time:** ~45 seconds total - ROS2 daemon: 5s - Vision nodes: 15s (model loading) - MoveIt2: 10s (URDF, planning scene) - ros2\_control: 10s (EtherCAT init, homing) - Final checks: 5s

## 1.11 10. Shutdown Sequence

### 1.11.1 10.1 Graceful Shutdown

User Task ros2\_control MoveIt2 Vision ROS2  
 Orchestrator Manager Nodes Nodes Daemon  
 │ │ │ │ │ │  
 │─Shutdown─▶ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─StopTasks──│ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─MoveHome───────────────▶ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─Execute────▶ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─AtHome────────────────│ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─DisableMotors──────────▶ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─Deactivate─▶ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─MotorsOff────────────│ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─StopVision─────────────────────────▶ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─UnloadModel  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │─CloseCamera  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─VisionStopped──────────────────────│ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─StopMoveIt─────────────────────────▶ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─MoveItStopped──────────────────────│ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─StopControl────────────▶ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─UnloadCtrl─│ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │─CloseHW────▶ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │◀─ControlStopped─────────│ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │─ShutdownROS────────────────────────────────────▶│  
 │ │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │─KillNodes  
 │ │ │ │ │ │  
 │◀─Shutdown─────────────│ │ │ │  
 │ Complete │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │ │  
 │─PowerOff─│ │ │ │ │

## 1.12 Summary

This document provides **10 comprehensive sequence diagrams** covering:

1. **End-to-End Pick-Place** - Complete workflow with all subsystems
2. **Vision Pipeline** - Object detection and pose estimation
3. **Grasp Planning** - Synthesis and collision checking
4. **Motion Planning** - MoveIt2 path planning
5. **Trajectory Execution** - ros2\_control real-time loop
6. **Error Recovery** - Grasp failure retry logic
7. **Calibration** - Hand-eye calibration procedure
8. **System Startup** - Boot and initialization
9. **System Shutdown** - Graceful shutdown

**Key Insights:** - Vision pipeline: 150ms (camera→poses) - Grasp planning: 200ms (pose→grasp) - Motion planning: 300-500ms (IK→trajectory) - Control loop: 1ms period @ 1kHz - Startup time: ~45 seconds - Total cycle time: ~2 seconds (scan→place)

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