

SZZ 国考生存手册

State Final Examination Survival Kit

Czech Technical University in Prague (FEE)

Yuan Weize

January 2026

Contents

I 答辩策略 / Defense Strategy	3
1 答辩策略分析 / Defense Strategy Analysis	3
1.1 对手画像 / Opponent Profile: Jan Koller	3
1.2 你论文的问题 / Issues in Your Thesis	3
1.3 必答题: “Why Acc + Gyro?”	4
1.4 你的真实实现 / Your Actual Implementation	5
1.5 其他押题 / Other Predicted Questions	5
1.6 最终检查清单 / Final Checklist	6
II 数学基础 / Mathematics Foundation	6
2 线性代数 / Linear Algebra (BE5B01LAG)	6
3 数值分析 / Numerical Analysis (BE5B01NM)	7
4 微分方程 / Differential Equations (BE5B01DIF)	9
5 离散数学 / Discrete Math (BE5B01DMA)	10
6 图论 / Graph Theory (BE5B01DMA)	11
7 概率统计 / Probability & Statistics (BE5B01PST)	12
III 物理基础 / Physics Foundation	13
8 力学 / Mechanics (BE5B02PH1)	13
9 振动与波 / Oscillations & Waves (BE5B02PH1)	15
10 电场与磁场 / Electric & Magnetic Fields (BE5B02PH2)	17
11 热力学 / Thermodynamics (BE5B02PH2)	19

12 波动与光学 / Waves & Optics (BE5B02PH2)	21
IV 电子与计算机核心 / EECS Core	
13 电路理论 / Circuit Theory (BE5B31ZEO)	22
14 半导体物理 / Semiconductors (BE5B34ELP)	25
15 模拟与数字电路 / Analog & Digital Electronics (BE5B34MIE)	26
16 微处理器 / Microprocessors (BE5B34MIE)	28
17 算法与复杂性 / Algorithms & Complexity (BE5B33ALG)	30
V 专业方向 / Specialization	
18 电磁场理论 / Electromagnetic Theory (BE5B17MT1)	32
19 逻辑系统 / Logic Systems (BE5B01LGS)	33
20 信号与系统 / Signals & Systems (BE5B31SAS)	34
21 电机学 / Electrical Machines (BE5B14ESP)	34
22 材料科学 / Materials (BE5B13MAT)	35
23 电力系统 / Power Systems (BE5B14ESP)	36
24 人工智能 / Artificial Intelligence (BE5B33UI)	37
25 计算机体系结构 / Computer Architecture (BE5B35APO)	38
26 控制系统 / Control Systems (BE5B35ARI)	39

Part I

答辩策略 / Defense Strategy

1 答辩策略分析 / Defense Strategy Analysis

1.1 对手画像 / Opponent Profile: Jan Koller

核心结论 / Executive Summary

Jan Koller 是一个「务实但挑剔的学究」(Pragmatic Pedant)。

关键特征 (基于 11 份历史论文分析):

- **比导师更严格:** 他经常给出比导师低一级的分数
- **热爱硬件:** 如果你做了实物 (PCB、传感器), 他会有初始好感
- **痛恨形式错误:** “非典型流程图”或“缺失单位”是他的触发点

你的评分:

角色	评分	评语关键词
Supervisor (Husák)	A (Excellent)	积极评价
Opponent (Koller)	B (Very Good)	“流程图有点非典型”

1.2 你论文的问题 / Issues in Your Thesis

Koller 的批评 (Source: opponent_report_Koller.pdf)

原文批评:

“The flow charts are sometimes little bit atypical.”

(流程图有时有点非典型。)

分析: 这印证了他「形式主义」的特点。他仔细查看了你的图表。标准 UML/ISO 流程图符号对他很重要。

应对措施: 在 PPT 中确保流程图使用标准符号:

- 菱形 = 判断 (Decision)
- 矩形 = 过程 (Process)
- 圆角矩形 = 开始/结束 (Start/End)
- 平行四边形 = 输入/输出 (I/O)

1.3 必答题: “Why Acc + Gyro?”

Koller 的答辩真题 (100% 会问)

问题 (英文):

“Can you explain why a combination of acceleration and angular velocity is used in fall detection?”

问题 (中文):

你能解释为什么跌倒检测要结合使用加速度和角速度吗?

满分回答 / The Perfect Answer

英文话术 (建议背诵):

“Distinguished opponent, thank you for the question.

We use the combination because **Acceleration alone generates false positives.**

1. **Acceleration (Accelerometer)** measures the *impact force* (G-force). However, sitting down quickly or jumping also creates high G-force.
2. **Angular Velocity (Gyroscope)** measures the *change in orientation* (spatial rotation).

A **true fall** has a specific signature:

- **Phase 1:** Rapid change in orientation (Gyro spikes) as the body loses balance.
- **Phase 2:** High impact force (Acc spikes) when hitting the ground.
- **Phase 3:** Static orientation (User is lying horizontal).

By fusing both sensors (**Sensor Fusion**), we can filter out daily activities like jumping.”

中文解释:

单靠加速度计会有误报。

- 加速度计测的是冲击力。但快速坐下或跳跃也会产生大冲击力。
- 陀螺仪测的是姿态变化。

真正的跌倒有一个特征链条:

1. 先是失去平衡导致姿态剧烈变化 (陀螺仪峰值)
2. 然后是撞击地面导致冲击力 (加速度峰值)
3. 最后是躺在地上不动 (姿态静止)

只有**传感器融合 (Sensor Fusion)** 才能区分“真跌倒”和“剧烈运动”。

1.4 你的真实实现 / Your Actual Implementation

核心公式 / Key Formula

传感器: MPU6050 6-axis IMU (I2C Address: 0x68)

算法: 双阈值法 (Dual-Threshold Algorithm)

来源: Huynh et al., J. Sensors, vol. 2015, Art. no. 452078

阈值定义 (from esp32s3.yaml):

$$UFT_ACC = 2.4 \text{ G} \quad (\text{SMV 阈值}) \quad (1)$$

$$UFT_GYRO = 240.0^\circ/\text{s} \quad (\text{角速度阈值}) \quad (2)$$

跌倒判定条件:

$$\text{Fall} = (\text{SMV} > 2.4 \text{ G}) \wedge (\omega > 240^\circ/\text{s}) \quad (3)$$

性能 (Huynh et al. 报告):

- 灵敏度 (Sensitivity): 96.3%
- 特异度 (Specificity): 96.2%
- 对比: 仅用加速度计的特异度只有 82.72%

代码实现 (Source: esp32s3.yaml L236-258)

binary_sensor:

```
- platform: template
  name: "Fall_Detection_Alert"
  device_class: safety
  lambda: |-
    const float UFT_ACC = 2.4;
    const float UFT_GYRO = 240.0;
    float smv = sqrt(ax*ax + ay*ay + az*az) / 9.80665;
    float omega = sqrt(wx*wx + wy*wy + wz*wz);

    if ((smv > UFT_ACC) && (omega > UFT_GYRO)) {
      return true; // Fall detected!
    }
    return false;
```

关键点: 这是阈值算法, 不是 Kalman Filter!

1.5 其他押题 / Other Predicted Questions

主题	预测提问 (Koller Style)	推荐回答角度
Server/Linux	“Why usage of Unix-like systems?” (Why not Windows?)	稳定性、SSH 远程管理、Cron 任务、Python 支持
ESP32 功耗	“How does the heavy SSL/TLS encryption load affect power consumption?”	提及 ESP32-S3 的硬件加密加速器 (Hardware Crypto Accelerator)
安全	“What happens if the CA certificate is compromised?”	证书吊销 (CRL) 和更新机制

1.6 最终检查清单 / Final Checklist

答辩前自检

- 背诵“Acc+Gyro”答案:** 用英文背诵 Sensor Fusion 解释
- 修复 PPT 流程图:** 如果论文流程图“非典型”，在 PPT 里用标准符号重画
- 带硬件:** 把 ESP32-S3 传感器盒子带到答辩现场
- 慢速说话:** Koller 批评过其他论文的“语言笨拙”，说慢点、正式点

祝好运

Yuan, 你已经稳拿 **B** 了。答对“加速度+角速度”的问题能稳住 **B** 甚至冲 **A**！

Part II

数学基础 / Mathematics Foundation

2 线性代数 / Linear Algebra (BE5B01LAG)

矩阵与方程组 / Matrices & Linear Systems

[CN] 定义:

- **线性方程组:** 可以用矩阵方程 $Ax = b$ 表示。
- **秩 (Rank):** 矩阵中线性无关的行/列的最大数目。决定方程组解的情况。
- **高斯消元法:** 将矩阵转化为行阶梯形矩阵以求解的方法。

[EN] Definition:

- **Linear System:** Represented as $Ax = b$.
- **Rank:** Max number of linearly independent rows/cols. Determines solution existence (Frobenius Theorem).
- **Gaussian Elimination:** Method to convert matrix to Row Echelon Form (REF).

特征值与特征向量 / Eigenvalues & Eigenvectors

[CN] 定义: 对于方阵 A , 如果存在非零向量 \mathbf{v} 和标量 λ , 使得 $A\mathbf{v} = \lambda\mathbf{v}$, 则 λ 是特征值, \mathbf{v} 是特征向量。几何意义: 矩阵变换后方向不变, 只改变长度。

[EN] Definition: For square matrix A , if $A\mathbf{v} = \lambda\mathbf{v}$ ($\mathbf{v} \neq 0$), then λ is the Eigenvalue and \mathbf{v} is the Eigenvector. Geometric: The vector direction remains invariant under transformation A .

核心公式 / Key Formula

特征方程 / Characteristic Equation:

$$\det(A - \lambda I) = 0 \quad (4)$$

行列式 (Determinant): $\det(A) = \prod \lambda_i$ (特征值之积). 迹 (Trace): $\text{tr}(A) = \sum \lambda_i$ (特征值之和).

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **传感器融合**: 卡尔曼滤波 (Kalman Filter) 严重依赖矩阵运算 (协方差矩阵 P 的更新和求逆)。虽然你使用的是互补滤波，但理解矩阵是理解 KF 的基础。
- **旋转矩阵**: 描述 IMU 姿态 (Roll/Pitch/Yaw) 时使用 3x3 旋转矩阵或四元数。
- **PCA**: 主成分分析用于数据降维，本质上是求协方差矩阵的特征值。

[EN]:

- **Sensor Fusion**: Kalman Filtering relies on Matrix Algebra (Covariance Matrix P inversion).
- **Rotation**: 3x3 Rotation Matrices describe IMU orientation in 3D space.
- **PCA**: Principal Component Analysis (Data reduction) is essentially finding Eigenvalues of the covariance matrix.

3 数值分析 / Numerical Analysis (BE5B01NM)

求根与优化 / Root Finding & Optimization

[CN] 定义:

- **二分法 (Bisection)**: 简单稳健，收敛慢。基于介值定理。
- **牛顿法 (Newton's Method)**: 利用导数迭代 $x_{n+1} = x_n - f(x_n)/f'(x_n)$ 。收敛快 (二次收敛)，但可能发散。

[EN] Definition:

- **Bisection**: Robust but slow. Interval halving.
- **Newton's Method**: Iterative method using derivatives. Fast convergence (Quadratic), but requires good initial guess.

数值积分 / Numerical Integration

[CN] 定义: 用求和近似积分 $\int f(x)dx$ 。

- 梯形法则 (Trapezoidal Rule): 用直线段连接点。
- 辛普森法则 (Simpson's Rule): 用抛物线拟合点。精度更高。

[EN] Definition: Approximating definite integrals.

- **Trapezoidal**: Approximates area with trapezoids.
- **Simpson's**: Approximates with parabolas (Higher accuracy).

核心公式 / Key Formula

有限差分 / Finite Difference (用于求导):

$$f'(x) \approx \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \quad (\text{前向差分}) \quad (5)$$

论文关联 / Project Application

[CN]: 你的 ESP32 固件在处理传感器数据时使用数值方法:

- 积分 (Integration): 加速度计 \rightarrow 速度 \rightarrow 位移。这是黎曼和 (Riemann Sum) 的离散实现 ($v+ = a \cdot dt$)。
- 微分 (Differentiation): 陀螺仪角度变化率计算。
- 浮点数精度: IEEE 754 标准 (float/double) 的舍入误差会随时间累积 (Drift)，导致惯性导航漂移。

[EN]:

- **Integration**: Accel \rightarrow Vel \rightarrow Pos. Implemented as discrete accumulation ($v+ = a \cdot dt$).
- **Floating Point Error**: Accumulation of rounding errors causes "Drift" in IMU navigation, requiring corrections (Sensor Fusion).

4 微分方程 / Differential Equations (BE5B01DIF)

一阶微分方程 / First Order ODE

[CN] 定义: 涉及函数 y 及其一阶导数 y' 的方程。

- **分离变量法:** 将 x 和 y 分别移到等号两边求解。
- **线性方程:** $y' + p(x)y = q(x)$ 。

[EN] Definition: Equation involving independent variable x , function y , and derivative y' .

- **Separable:** Can be rewritten as $f(y)dy = g(x)dx$.
- **Linear:** Standard form $y' + p(x)y = q(x)$. Integrating factor method.

核心公式 / Key Formula

二阶线性常系数 ODE:

$$ay'' + by' + cy = 0 \quad (6)$$

特征方程: $ar^2 + br + c = 0$. 解的形式取决于判别式 $\Delta = b^2 - 4ac$:

- $\Delta > 0$: $y = C_1 e^{r_1 x} + C_2 e^{r_2 x}$ (Overdamped)
- $\Delta = 0$: $y = C_1 e^{rx} + C_2 x e^{rx}$ (Critically Damped)
- $\Delta < 0$: $y = e^{\alpha x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x)$ (Underdamped)

论文关联 / Project Application

[CN]: 物理系统通常由微分方程建模:

- **RC 电路:** 电容充电过程遵循一阶 ODE ($RC \frac{dV}{dt} + V = V_{in}$)。解是指数衰减函数。
- **机械振动:** 加速度 ($a = x''$) 与力 ($F = -kx - bv$) 的关系构成二阶 ODE ($mx'' + bx' + kx = 0$)。这解释了过阻尼和欠阻尼现象。

[EN]:

- **RC Circuit:** Modeled by 1st order ODE. Solution involves time constant $\tau = RC$.
- **Vibration:** Mass-Spring-Damper system is a 2nd order ODE ($mx'' + bx' + kx = 0$). Explains Overdamped vs Underdamped responses in sensors.

5 离散数学 / Discrete Math (BE5B01DMA)

集合与逻辑 / Sets & Logic

[CN] 定义:

- **集合 (Set)**: 唯一对象的汇集。 \cup (并), \cap (交), \setminus (不包含).
- **命题逻辑**: AND (\wedge), OR (\vee), NOT (\neg), IMPLIES (\Rightarrow).
- **关系 (Relation)**: 等价关系 (自反、对称、传递) 和偏序关系。

[EN] Definition:

- **Set**: Collection of unique objects. Union, Intersection, Difference.
- **Logic**: Boolean algebra (\wedge, \vee, \neg).
- **Relation**: Equivalence (Reflexive, Symmetric, Transitive) and Partial Order.

核心公式 / Key Formula

排列组合 / Combinatorics:

- **排列 (Permutation)**: 有序. $P(n, k) = \frac{n!}{(n-k)!}$.
- **组合 (Combination)**: 无序. $C(n, k) = \binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$.

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **布尔逻辑**: 代码中的 `if (Condition A && Condition B)` 是命题逻辑的直接应用。
- **状态机**: 有限状态机 (FSM) 用于管理 ESP32 的连接状态 (Disconnected \rightarrow Connecting \rightarrow Connected)。这是离散数学中的图论应用。
- **位运算**: 掩码 (Masking) 操作对应集合的交集运算。

[EN]:

- **Boolean Logic**: ‘if’ statements relate directly to Propositional Logic.
- **FSM**: Finite State Machines manage connection states, rooted in Graph Theory.
- **Bitwise Ops**: Masking corresponds to Set Intersection.

6 图论 / Graph Theory (BE5B01DMA)

图的概念 / Graph Concepts

[CN] 定义: 图 $G = (V, E)$ 由顶点集合 V 和边集合 E 组成。

- 度 (Degree): 连接到一个顶点的边的数量。
- 路径 (Path): 顶点序列。
- 连通图 (Connected): 任意两点间都存在路径。

[EN] Definition: Graph $G = (V, E)$ consists of Vertices V and Edges E .

- Degree: Number of edges incident to a vertex.
- Path: Sequence of adjacent vertices.
- Connected: Path exists between any pair of vertices.

核心公式 / Key Formula

树 (Tree): 无环连通图 (Connected Acyclic Graph)。性质:

- 任意两点间只有唯一路径。
- $|E| = |V| - 1$ (边数 = 顶点数 - 1)。

欧拉路径 (Euler Path): 经过每条边恰好一次。条件: 奇度数顶点为 0 或 2 个。

论文关联 / Project Application

[CN]:

- 网络拓扑: 你的智能家居采用星型拓扑 (Star Topology)。WiFi 路由器是中心节点 (Hub), 所有 ESP32 设备是叶子节点 (Leaves)。
- MQTT 主题: MQTT 的 Topic 层级结构 (e.g., 'home/livingroom/temp') 实际上构成了一棵树 (Topic Tree)。
- 状态机: 状态转移图 (State Transition Graph) 是有向图 (Directed Graph)。

[EN]:

- Network Topology: Star Topology. Router is the Hub; ESP32s are Leaves.
- MQTT Topics: Form a Topic Tree hierarchy.
- FSM: Represented as a Directed Graph where nodes are states and edges are transitions.

7 概率统计 / Probability & Statistics (BE5B01PST)

随机变量 / Random Variables

[CN] 定义:

- 随机变量 (RV): 随机实验结果的数值表示。
- 概率密度函数 (PDF): 描述连续 RV 在某点附近取值的概率密度。
- 累积分布函数 (CDF): $F(x) = P(X \leq x)$ 。

[EN] Definition:

- Random Variable (RV): Numerical outcome of a random phenomenon.
- PDF: Integration gives probability.
- CDF: Cumulative Distribution Function.

核心公式 / Key Formula

期望与方差:

- 期望 (Expectation): $E[X] = \mu$ (平均值)
- 方差 (Variance): $\text{Var}(X) = E[(X - \mu)^2] = E[X^2] - (E[X])^2$

正态分布 (Normal Distribution):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

假设检验 / Hypothesis Testing

[CN] 定义:

- 零假设 (H_0): 默认假设 (如“无关联”)。
- P 值 (p-value): 在 H_0 为真时, 观察到当前结果的概率。若 $p < \alpha$, 拒绝 H_0 。
- 第一类错误 (Type I): 假阳性 (False Positive)。
- 第二类错误 (Type II): 假阴性 (False Negative)。

[EN] Definition:

- Null Hypothesis (H_0): Default assumption.
- p-value: Prob. of observing results given H_0 is true. Reject if $p < 0.05$.
- Type I Error: False Positive (Reject true H_0).
- Type II Error: False Negative (Accept false H_0).

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **传感器噪声:** 假设 MEMS 加速度计的噪声服从高斯分布 (Gaussian White Noise)。这是卡尔曼滤波和移动平均滤波的基本假设。
- **跌倒检测性能:** 评估算法时，你需要计算灵敏度 (Sensitivity) 和特异度 (Specificity)。这直接对应于统计学中的 True Positives 和 True Negatives。

[EN]:

- **Sensor Noise:** Assumed to be Gaussian (Normal) White Noise. Filter design relies on signal-to-noise ratio (SNR).
- **Performance:** Sensitivity (Recall) and Specificity metrics quantify the fall detection algorithm's accuracy (checking for Type I/II errors).

Part III

物理基础 / Physics Foundation

8 力学 / Mechanics (BE5B02PH1)

运动学 / Kinematics

[CN] 定义: 运动学描述物体的运动而不考虑其成因 (力)。

- **基本量:** 位移 (Displacement) \vec{r} , 速度 (Velocity) $\vec{v} = d\vec{r}/dt$, 加速度 (Acceleration) $\vec{a} = d\vec{v}/dt$.
- **圆周运动:** 线速度 $v = \omega r$, 向心加速度 $a_c = v^2/r$.

[EN] Definition: Kinematics describes motion without considering the forces that cause it.

- **Basic Quantities:** Displacement \vec{r} , Velocity $\vec{v} = \dot{\vec{r}}$, Acceleration $\vec{a} = \dot{\vec{v}}$.
- **Circular Motion:** Linear vel $v = \omega r$, Centripetal acc $a_c = v^2/r$.

核心公式 / Key Formula

匀加速直线运动 / Uniformly Accelerated Motion:

$$v = v_0 + at \quad (8)$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (9)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \quad (10)$$

应用: 计算自由落体距离 (Free fall distance).

牛顿定律 / Newton's Laws

[CN] 定义: 动力学的基础。

1. 第一定律 (惯性): 物体保持静止或匀速直线运动, 除非有力作用。
2. 第二定律: 力等于质量乘以加速度 ($\vec{F} = m\vec{a}$)。这是整个力学的核心方程。
3. 第三定律: 作用力与反作用力大小相等、方向相反。

[EN] Definition: The foundation of dynamics.

1. 1st (Inertia): An object remains at rest or uniform motion unless acted upon by a force.
2. 2nd: Force equals mass times acceleration ($\vec{F} = m\vec{a}$). The core equation.
3. 3rd: Action and reaction are equal in magnitude and opposite in direction.

功与能 / Work and Energy

[CN] 定义:

- 功 (Work): 力在位移方向上的累积 ($W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$).
- 动能 (Kinetic Energy): 运动物体具有的能量 ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$).
- 势能 (Potential Energy): 位置决定的储能 (重力 mgh , 弹簧 $\frac{1}{2}kx^2$).

守恒律: 在只有保守力做功时, 机械能守恒。

[EN] Definition:

- Work: Integration of force over distance ($W = \vec{F} \cdot \vec{d}$).
- Kinetic Energy: Energy of motion ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$).
- Potential Energy: Stored energy by position (Gravity mgh , Spring $\frac{1}{2}kx^2$).

Conservation: Total mechanical energy is constant if only conservative forces act.

刚体力学 / Rigid Body Mechanics

[CN] 定义: 描述具有形状大小物体的转动。

- 力矩 (Torque): 使物体转动的“力” ($\tau = r \times F$).
- 转动惯量 (Moment of Inertia): 转动中的“质量” ($I = \sum mr^2$).
- 转动定律: $\tau = I\alpha$ (类比 $F = ma$).

[EN] Definition: Describing rotation of extended bodies.

- Torque (τ): The rotational equivalent of force ($\tau = r \times F$).
- Moment of Inertia (I): Rotational mass, resistance to angular acceleration.
- Newton's 2nd Law for Rotation: $\tau = I\alpha$.

论文关联 / Project Application

[CN]: 你的跌倒检测算法直接基于力学原理:

- **MPU6050 加速度计:** 测量 \vec{F}/m 。静止时测量重力加速度 g 。自由落体时读数为 0 (失重)。
- **冲击检测:** 跌倒撞击地面时, 系统经历巨大的负加速度 (减速), 导致读数飙升 ($a \gg g$)。
- **陀螺仪:** 测量角速度 ω , 辅助判断人体姿态变化。

[EN]: Your fall detection relies on mechanics:

- **Accelerometer:** Measures proper acceleration. Reads $1g$ when static. Reads $\approx 0g$ during free fall (weightlessness).
- **Impact:** Upon impact, the body decelerates rapidly, causing a spike in accelerometer reading ($a \gg g$).
- **Gyroscope:** Measures angular velocity ω to detect orientation changes.

考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Weight vs Mass:** 质量 (m) 是不变的, 重量 (mg) 随重力场变化。
- **Centripetal Force:** 向心力不是一种独立的力, 而是重力、张力等的合力。
- **Force Pairs:** 牛顿第三定律的作用力和反作用力作用在不同的物体上, 永远不会互相抵消!

9 振动与波 / Oscillations & Waves (BE5B02PH1)

简谐振动 / Simple Harmonic Motion (SHM)

[CN] 定义: 物体受到的回复力与位移成正比且方向相反的运动 ($F = -kx$)。

- 方程: $x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$.
- 周期 (Period): $T = 2\pi/\omega$.
- 频率 (Frequency): $f = 1/T$.

[EN] Definition: Motion where the restoring force is directly proportional to the displacement and acts in the direction opposite to that of displacement ($F = -kx$).

- Equation: $x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$.
- Angular Frequency: $\omega = \sqrt{k/m}$.

核心公式 / Key Formula

单摆 / Simple Pendulum:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}, \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (11)$$

(仅适用于小角度 $\theta \ll 1$ rad)

弹簧振子 / Spring Mass System:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (12)$$

阻尼与驱动 / Damped & Driven Oscillations

[CN] 定义:

- 阻尼 (Damping): 由于摩擦力导致能量耗散，振幅随时间指数衰减 ($A(t) = A_0 e^{-\beta t}$)。
- 驱动 (Driven): 受到周期性外力作用。当驱动频率接近固有频率时发生共振 (Resonance)。

[EN] Definition:

- Damped: Amplitude decreases over time due to energy loss (friction/drag).
- Driven: External periodic force is applied. Resonance occurs when driving frequency matches natural frequency ($\omega \approx \omega_0$), causing maximum amplitude.

机械波 / Mechanical Waves

[CN] 定义: 振动在介质中的传播。

- 横波 (Transverse): 质点振动垂直于传播方向 (如弦波、光波)。
- 纵波 (Longitudinal): 质点振动平行于传播方向 (如声波)。

[EN] Definition: Propagation of disturbances through a medium.

- Transverse: Particle oscillation is perpendicular to wave propagation (e.g., Light, String).
- Longitudinal: Particle oscillation is parallel to wave propagation (e.g., Sound).

核心公式 / Key Formula

波函数 / Wave Equation:

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t) \quad (13)$$

$k = 2\pi/\lambda$ (波数 / Wave Number)

波速 / Wave Speed:

$$v = \lambda f = \frac{\omega}{k} \quad (14)$$

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **MEMS 谐振器:** MPU6050 内部使用微小的振动质量块 (Vibrating Mass) 和电容检测。它们工作在谐振状态。Coriolis 力会改变振动模式。
- **信号滤波:** 我们的”移动平均滤波器”本质上是一个低通滤波器，用于去除高频振动 (噪音)，只保留低频运动分量。

[EN]:

- **MEMS Resonator:** Inside MPU6050, vibrating masses operate at resonance. Coriolis forces shift this vibration, detected capacitively.
- **Filtering:** The moving average filter acts as a Low-Pass Filter, attenuating high-frequency oscillations (noise) while passing low-frequency motion.

考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Period vs Frequency:** $T = 1/f$. Don't mix them up.
- **Resonance:** 共振只发生在驱动频率 $\omega_d = \omega_0$ 时，此时能量传输最大，若无阻尼可能导致破坏。
- **Sound in Vacuum:** 声波是机械波，不能在真空中传播！ (Light can).

10 电场与磁场 / Electric & Magnetic Fields (BE5B02PH2)

静电场 / Electrostatics

[CN] 定义: 电荷周围存在的场，对其他电荷产生力。

- **库仑定律 (Coulomb's Law):** 点电荷间的力 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$.
- **电场强度 (E-Field):** 单位电荷受到的力 $\vec{E} = \vec{F}/q$.
- **电势 (Potential):** 单位电荷的电势能 $V = E_p/q$.

[EN] Definition: Field around charges exerting force on other charges.

- **Coulomb's Law:** Force between point charges.
- **Electric Field (\vec{E}):** Force per unit charge ($\vec{E} = \vec{F}/q$). Vector.
- **Electric Potential (V):** Potential energy per unit charge. Scalar.

核心公式 / Key Formula

高斯定律 / Gauss's Law:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} \quad (15)$$

电通量等于包围的净电荷除以介电常数。

电容 / Capacitance:

$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (\text{平行板}) \quad (16)$$

静磁场 / Magnetostatics

[CN] 定义: 由运动电荷 (电流) 产生的场。

- 洛伦兹力 (Lorentz Force): 运动电荷在磁场中受到的力 $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$.
- 安培定律 (Ampere's Law): 电流产生磁场 $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$.

[EN] Definition: Field produced by moving charges (currents).

- Lorentz Force: Force on a moving charge ($\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$). Always perpendicular to velocity (does no work!).
- Ampere's Law: Current generates magnetic field.

电磁感应 / EM Induction

[CN] 定义: 磁通量变化产生感应电动势。

- 法拉第定律 (Faraday's Law): 感应电动势等于磁通量变化率的负值。
- 楞次定律 (Lenz's Law): 感应电流的方向总是阻碍磁通量的变化 (那个负号)。

[EN] Definition: Changing magnetic flux induces EMF.

- Faraday's Law: $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$.
- Lenz's Law: The induced current flows in a direction that opposes the change in magnetic flux (Conservation of Energy).

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **PCB 设计 (EMC)**: 快速变化的电流 (如 SPI/I2C 时钟) 会产生磁场辐射 (安培定律)。这是电磁干扰 (EMI) 的来源。
- **去耦电容**: 为高频电流提供回路，减小环路面积，从而减小辐射 (EMI reduction)。
- **无线通信**: ESP32 的 Wi-Fi 天线发射电磁波 (EM Waves)，即变化的电场产生磁场，变化的磁场产生电场。

[EN]:

- **PCB EMC**: High-speed currents (clock lines) generate Magnetic Fields (Ampere's Law), causing Electromagnetic Interference (EMI).
- **Decoupling**: Reduces loop area for high-frequency currents, minimizing radiated emissions.
- **Antenna**: ESP32 Wi-Fi works by radiating EM waves (Maxwell's Equations).

考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Magnetic Work**: 磁力 $\vec{F} \perp \vec{v}$, 所以恒定磁场不对电荷做功! (Work = 0).
- **Field Liens**: 电场线起于正止于负；磁场线是闭合曲线 (无磁单极子)。

11 热力学 / Thermodynamics (BE5B02PH2)

热力学定律 / Laws of Thermodynamics

[CN] 定义:

- **第零定律**: 如果 A 和 B 平衡, B 和 C 平衡, 则 A 和 C 平衡 (温度定义)。
- **第一定律**: 能量守恒。内能的变化等于吸收的热量加上外界对系统做的功 ($\Delta U = Q + W$)。
- **第二定律**: 孤立系统的熵 (Entropy) 永不减少。热量不能自发从低温流向高温。

[EN] Definition:

- **0th Law**: Defines Temperature (Thermal Equilibrium).
- **1st Law**: Conservation of Energy. $\Delta U = Q + W$.
- **2nd Law**: Entropy of an isolated system never decreases. Heat cannot spontaneously flow from cold to hot.

核心公式 / Key Formula

理想气体状态方程 / Ideal Gas Law:

$$pV = nRT = NkT \quad (17)$$

p : 压强, V : 体积, T : 绝对温度 (Kelvin).

热传递 / Heat Transfer:

- **传导 (Conduction)**: 接触传递 (Fourier's Law).
- **对流 (Convection)**: 流体流动传递.
- **辐射 (Radiation)**: 电磁波传递 (Stefan-Boltzmann Law).

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **ESP32 发热**: 芯片工作时消耗电能转换为热能 (焦耳热 $P = IV$)。
- **散热设计**: PCB 的铜箔层充当散热片 (Heatsink), 通过**热传导**将热量散发。若封装密闭, 主要依靠**热辐射**散发。
- **BMP180 传感器**: 测量环境温度, 依据其实是电阻随温度的变化 (热敏电阻原理) 或带隙电压基准特性。

[EN]:

- **Self-Heating**: ESP32 converts electrical energy into heat ($P_{loss} \approx IV$).
- **Heat Dissipation**: The PCB copper layers act as heatsinks, dissipating heat via **Conduction**.
- **Temperature Sensing**: BMP180 measures temperature, critical for compensating MEMS bias drift (which is temperature-dependent).

考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Kelvin Scale**: 热力学公式永远使用开尔文 ($T_K = T_C + 273.15$)。
- **Adiabatic vs Isothermal**: 绝热过程 ($Q = 0$) 不等于等温过程 ($T = \text{const}$)。
- **Entropy meaning**: 熵是系统无序度 (Disorder) 的度量。

12 波动与光学 / Waves & Optics (BE5B02PH2)

波的特性 / Wave Properties

[CN] 定义:

- 干涉 (Interference): 波的叠加。同相增强 (Constructive), 反相抵消 (Destructive)。
- 衍射 (Diffraction): 波绕过障碍物的现象。孔越小, 衍射越明显。
- 偏振 (Polarization): 横波振动方向的限制 (仅适用于横波, 如光)。

[EN] Definition:

- **Interference:** Superposition of waves. Constructive (in-phase) or Destructive (out-of-phase).
- **Diffraction:** Bending of waves around obstacles. Significant when $\lambda \approx$ aperture size.
- **Polarization:** Orientation of oscillation (Transverse waves only).

核心公式 / Key Formula

电磁波谱 / EM Spectrum: Radio → Microwave → IR → Visible → UV → X-Ray → Gamma.
光速的关系:

$$c = \lambda f \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (18)$$

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **Wi-Fi 通信:** ESP32 使用 2.4 GHz 载波。波长计算: $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.4 \cdot 10^9} \approx 0.125 \text{ m} = 12.5 \text{ cm}$ 。
- **天线设计:** 最优天线长度通常是 $\lambda/4$ (约 3.1 cm)。这也是为什么 ESP32 模块上的 PCB 天线是这个尺寸。
- **多径干扰:** 室内环境中, Wi-Fi 信号反射形成多径效应 (Multipath), 产生干扰。

[EN]:

- **Wi-Fi Carrier:** 2.4 GHz ISM band.
- **Wavelength:** $\lambda \approx 12.5 \text{ cm}$. Optimum antenna length is typically $\lambda/4$ ($\approx 3.1 \text{ cm}$), explaining the size of the PCB trace antenna.
- **Multipath:** Reflection causes signal interference (Fading) in indoor environments.

考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Medium Requirement:** 电磁波不需要介质 (可以在真空中传播)。声波需要介质。
- **Index of Refraction:** $n = c/v$. 光在介质中速度减慢。

Part IV

电子与计算机核心 / EECS Core

13 电路理论 / Circuit Theory (BE5B31ZEO)

基尔霍夫定律 / Kirchhoff's Laws

[CN] 定义: 基尔霍夫定律是电路分析的基础。

- **电流定律 (KCL):** 节点上的电流守恒。流入节点的电流之和等于流出的电流之和 (基于电荷守恒)。
- **电压定律 (KVL):** 回路中的能量守恒。沿着闭合回路一周, 电压升与电压降的代数和为零。

[EN] Definition:

- **KCL:** The algebraic sum of currents entering a node is zero ($\sum I = 0$). It reflects the conservation of charge.
- **KVL:** The algebraic sum of voltage drops around any closed loop is zero ($\sum V = 0$). It reflects the conservation of energy.

核心公式 / Key Formula

KCL (Node Analysis):

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \quad (19)$$

KVL (Loop Analysis):

$$\sum_{k=1}^n V_k = 0 \quad (20)$$

分压公式 / Voltage Divider:

$$V_2 = V_{source} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (21)$$

使用场景: 将 5V 传感器信号转换为 3.3V (Using 1.8k + 3.3k resistors).

欧姆定律与电阻 / Ohm's Law and Resistors

[CN] 定义: 欧姆定律 (Ohm's Law) 描述了线性元件中电压、电流和电阻的关系。电阻 (Resistance) 阻碍电流流动并消耗能量。电阻可以串联 (Series) 或者是并联 (Parallel) 连接。

[EN] Definition: Ohm's Law states that the current through a conductor is directly proportional to the voltage across it ($V = IR$). Resistance opposes current flow. Resistors can be connected in Series (additive resistance) or Parallel (additive conductance).

核心公式 / Key Formula

欧姆定律:

$$V = I \cdot R, \quad P = V \cdot I = I^2 R \quad (22)$$

串并联 / Series & Parallel:

- Series: $R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots$
- Parallel: $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$

动态元件 / Capacitors and Inductors

[CN] 定义:

- 电容 (Capacitor): 以电场形式储存能量, 阻碍电压突变。即 $i = C \frac{dv}{dt}$ 。
- 电感 (Inductor): 以磁场形式储存能量, 阻碍电流突变。即 $v = L \frac{di}{dt}$ 。
- 时间常数 (Time Constant): 描述电路响应速度的参数 ($\tau = RC$ 或 $\tau = L/R$)。

[EN] Definition:

- Capacitor: Stores energy in an electric field and opposes voltage changes ($I = C\dot{V}$).
- Inductor: Stores energy in a magnetic field and opposes current changes ($V = L\dot{I}$).
- Time Constant (τ): Characterizes the transient response definition. $1\tau \approx 63.2\%$ of final value.

核心公式 / Key Formula

RC 充电公式 / RC Charging:

$$V_C(t) = V_S(1 - e^{-t/\tau}), \quad \tau = R \cdot C \quad (23)$$

应用: 去耦电容 (Decoupling Capacitor) 为芯片提供瞬态电流。

交流分析 / AC Circuit Analysis

[CN] 定义: 在正弦稳态下, 我们使用相量 (Phasor) 和阻抗 (Impedance) 进行分析。这允许我们将微分方程转化为代数方程。阻抗 $Z = R + jX$ 包含实部电阻和虚部电抗。

[EN] Definition: AC analysis uses Phasors (complex numbers) to represent sinusoidal signals. Impedance (Z) generalizes resistance to include phase shifts, turning differential equations into algebraic ones ($V = I \cdot Z$).

核心公式 / Key Formula

阻抗公式 / Impedance:

- Resistor: $Z_R = R$
- Inductor: $Z_L = j\omega L$
- Capacitor: $Z_C = \frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C}$

谐振频率 / Resonance: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

戴维南定理 / Thévenin's Theorem

[CN] 定义: 任何线性双端网络都可以等效为一个电压源 (V_{th}) 和一个串联电阻 (R_{th})。这极大地简化了负载分析。

[EN] Definition: Any linear two-terminal circuit can be replaced by an equivalent circuit consisting of a single voltage source (V_{th}) in series with a resistor (R_{th}). This simplifies load connecting analysis.

论文关联 / Project Application

[CN]: 你的论文在电源设计部分大量运用了电路理论:

- **LDO 稳压**: AMS1117-3.3 及其外围电容构成了一个稳压系统。
- **去耦 (Decoupling)**: 根据 KCL, 当 ESP32 需要瞬态大电流时, 100nF 和 10μF 电容提供电流, 防止电压跌落。
- **分压器**: 某些传感器 (5V) 需要分压才能连接到 ESP32 (3.3V GPIO)。

[EN]: Your thesis applies circuit theory in the power supply design:

- **LDO Regulator**: The AMS1117-3.3 provides stable voltage.
- **Decoupling**: Capacitors (100nF + 10μF) provide transient current (KCL) to filter noise for the ESP32.
- **Voltage Divider**: Used to level-shift 5V sensor signals to 3.3V logic levels.

考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **KCL/KVL Signs**: 符号搞反是最常见的错误。定义好参考方向!
- **Capacitor Impedance**: Z_C 是 $\frac{1}{j\omega C}$, 即 $-j\frac{1}{\omega C}$ 。别忘了那个负号!
- **RMS vs Peak**: 交流功率计算用 RMS ($V_{rms} = V_m/\sqrt{2}$)。

14 半导体物理 / Semiconductors (BE5B34ELP)

PN 结 / PN Junction

[CN] 定义: PN 结是现代电子学的基石, 由 P 型半导体 (空穴为主) 和 N 型半导体 (电子为主) 结合而成。

- 耗尽层 (Depletion Region): 接触面上载流子扩散复合, 形成无自由载流子的区域和内建电场。
- 正向偏置 (Forward Bias): 外接电压对抗内建电场 ($V > V_{th} \approx 0.7V$), 导通电流。
- 反向偏置 (Reverse Bias): 外接电压增强内建电场, 电流截止。

[EN] Definition: A PN junction is formed by joining P-type and N-type semiconductors.

- Depletion Region: A region devoid of free carriers at the interface, creating a built-in electric field.
- Forward Bias: Voltage applied against the built-in potential allowing current flow ($V > 0.7V$).
- Reverse Bias: Voltage applied supporting the built-in potential, blocking current flow.

核心公式 / Key Formula

肖克利方程 / Shockley Equation:

$$I = I_S \left(e^{\frac{V}{nV_T}} - 1 \right) \quad (24)$$

$V_T \approx 26mV$ (热电压 / Thermal Voltage).

晶体管 / Transistors

[CN] 定义:

- BJT (双极性结型晶体管): 电流控制电流设备 ($I_C = \beta I_B$)。输入阻抗低, 线性性能好。
- MOSFET (场效应管): 电压控制电流设备 ($I_D \propto V_{GS}$)。输入阻抗极高 (栅极绝缘)。ESP32 使用 CMOS (互补 MOS) 工艺。

[EN] Definition:

- BJT: Current-controlled device. Low input impedance. Good for analog amplification.
- MOSFET: Voltage-controlled device. Very high input impedance (Gate Oxide). Used in digital logic (CMOS).

核心公式 / Key Formula

MOSFET 工作区 / Regions of Operation:

1. 截止 (Cutoff): $V_{GS} < V_{th}$ (Switch OFF)
2. 线性 (Linear/Ohmic): $V_{DS} < V_{GS} - V_{th}$ (Voltage controlled Resistor)
3. 饱和 (Saturation): $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ (Constant Current / Amplifier)

论文关联 / Project Application

[CN]: 你的项目使用了多种半导体器件:

- 光电二极管 (Photodiode): TCS34725 颜色传感器内部含有光电二极管阵列。光子撞击 PN 结产生电子-空穴对，产生光电流 (Photocurrent)。
- LED: KY-037 模块上的指示灯。正向偏置时，电子与空穴复合释放能量 ($E = h\nu$)。

[EN]: Your project utilizes various semiconductor devices:

- Photodiode: Inside the TCS34725. Photons striking the PN junction generate electron-hole pairs, creating a photocurrent proportional to light intensity.
- Light Emitting Diode (LED): On the KY-037 module. Recombination of electrons and holes releases energy as light when forward-biased.

考试陷阱 / Exam Pitfalls

- Saturation Region: MOSFET 的“饱和区”对应于恒流源特性（用于放大），而 BJT 的“饱和区”对应于开关导通（开关应用）。这两个术语在 BJT 和 MOSFET 中是反义的！
- Threshold Voltage: V_{th} 是开启 MOSFET 的门槛电压，不要和 V_T (热电压, 26mV) 混淆。

15 模拟与数字电路 / Analog & Digital Electronics (BE5B34MIE)

运算放大器 / Operational Amplifier

[CN] 定义: 运放 (Op-Amp) 是具有极高增益的电压放大器。理想特性:

- 输入阻抗无穷大 ($R_{in} = \infty$): 不从信号源吸取电流。
- 输出阻抗为零 ($R_{out} = 0$): 理想电压源。
- 开环增益无穷大 ($A_{OL} = \infty$)。

虚短与虚断: 在负反馈下, $V_+ = V_-$ 以及 $I_+ = I_- = 0$ 。

[EN] Definition: An Op-Amp is a high-gain differential voltage amplifier. Ideal Properties: Infinite R_{in} , Zero R_{out} , Infinite Gain. Golden Rules:

- Virtual Short: $V_+ = V_-$ (with negative feedback).
- Virtual Open: No current enters input terminals ($I = 0$).

核心公式 / Key Formula

常见配置 / Common Configurations:

- 反相放大器 (Inverting): $V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}}V_{in}$
- 同相放大器 (Non-Inverting): $V_{out} = (1 + \frac{R_f}{R_g})V_{in}$
- 电压跟随器 (Buffer): $V_{out} = V_{in}$ ($R_f = 0, R_g = \infty$)

比较器 / Comparator

[CN] 定义: 比较器利用运放的开环高增益特性, 将模拟信号与参考电压进行比较, 输出数字电平(高/低)。没有负反馈。

[EN] Definition: A comparator uses an Op-Amp in open-loop mode to compare an analog signal V_{in} against a reference V_{ref} , outputting a digital logic level (High/Low).

模数转换器 / AD Converter (ADC)

[CN] 定义: 将连续的模拟电压信号转换为离散的数字值。关键指标:

- 分辨率 (Resolution): 比特数 (e.g., 12-bit → 0-4095)。
- 采样率 (Sampling Rate): 每秒采样次数 (Samples per second)。
- 混叠 (Aliasing): 如果采样率 $< 2f_{max}$, 高频信号会伪装成低频噪音。

[EN] Definition: Converts continuous analog signals into discrete digital values. Key Specs:

- Resolution: Number of bits (e.g. 12-bit). $LSB = V_{ref}/2^N$.
- Sampling Rate: How often the signal is measured.
- Nyquist Theorem: Sampling rate must be $> 2 \times f_{max}$ to avoid Aliasing.

论文关联 / Project Application

[CN]: KY-037 声音传感器 包含了完整的模拟电路链条:

1. **换能器**: 驻极体麦克风将声波转换为微弱电压信号 (mV 级)。
2. **放大器**: 下方芯片 (LM393) 作为一个运算放大器, 放大这个信号到 **Analog Out**。
3. **比较器**: 另一个运放通道作为比较器, 当音量超过电位器设定阈值时, 驱动 **Digital Out** 变高 (并点亮 LED2)。
4. **ADC**: ESP32 的 12-bit SAR ADC 读取模拟输出 ($0 - 3.3V \rightarrow 0 - 4095$)。

[EN]: The **KY-037 Sound Module** demonstrates the analog signal chain:

1. **Transducer**: Electret mic converts sound to weak voltage.
2. **Amplifier**: LM393 amplifies the signal for **Analog Out**.
3. **Comparator**: Another Op-Amp compares signal vs potentiometer voltage, triggering **Digital Out**.
4. **ADC**: ESP32's 12-bit SAR ADC digitizes the analog signal.

考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Op-Amp Real vs Ideal**: 实际运放输出电压受电源轨 (V_{CC}/GND) 限制 (Rail-to-Rail)。
- **ADC Range**: ESP32 的 ADC 是非线性的, 且在 0V 和 3.3V 附近有盲区。
- **Comparator Hysteresis**: 实际比较器通常加入正反馈产生迟滞 (Hysteresis/Schmitt Trigger), 以防止在阈值附近由于噪声引起的频繁跳变。

16 微处理器 / Microprocessors (BE5B34MIE)

处理器架构 / CPU Architecture

[CN] 定义:

- **冯诺依曼 (Von Neumann)**: 指令和数据共享同一内存和总线。瓶颈在于无法同时读写。(如传统 x86)。
- **哈佛 (Harvard)**: 指令和数据拥有独立的物理内存和总线。可以同时读取指令和访问数据。(如 ESP32, AVR)。

[EN] Definition:

- **Von Neumann**: Shared memory and bus for both instructions and data. Suffers from the "Von Neumann Bottleneck".
- **Harvard**: Separate memory and buses for instructions and data. Allows simultaneous instruction fetching and data access (Common in embedded systems like ESP32).

核心公式 / Key Formula

CPU 主要组件 / Core Components:

- **ALU**: Arithmetic Logic Unit (算术逻辑单元) - 执行加减乘除和逻辑运算。
- **Registers**: 寄存器 - CPU 内部的最快存储单元 (PC, SP, Status Reg)。
- **CU**: Control Unit (控制单元) - 解码指令并指挥数据流。

中断系统 / Interrupt System

[CN] 定义: 中断 (Interrupt) 是一种允许硬件信号打断 CPU 当前执行流, 转而去执行特定处理程序 (ISR) 的机制。这比轮询 (Polling) 更高效, 因为 CPU 不需要不断检查状态。

[EN] Definition: An Interrupt is a mechanism where a hardware signal suspends the CPU's current activity to execute an Interrupt Service Routine (ISR). It is more efficient than Polling because the CPU reacts only when an event occurs.

I2C 通信协议 / I2C Protocol

[CN] 定义: I2C (Inter-Integrated Circuit) 是一种同步、半双工、多主从架构的通信协议。它只需要两根线: **SDA** (数据) 和 **SCL** (时钟)。设备通过 7 位或 10 位地址区分。

[EN] Definition: I2C is a synchronous, half-duplex, multi-master/slave communication protocol. It uses two lines: **SDA** (Serial Data) and **SCL** (Serial Clock). Devices are addressed via 7-bit or 10-bit unique IDs.

论文关联 / Project Application

[CN]: 你的智能家居项目是嵌入式系统的典型应用:

- **MCU**: 使用了 ESP32-S3 (Xtensa LX7 双核)。它结合了高性能计算和低功耗模式。
- **I2C 总线**: IMU 传感器 (MPU6050, 地址 0x68) 和气压计 (BMP180, 地址 0x77) 挂载在同一个 I2C 总线上 (GPIO 4/5)。
- **中断**: 定时器中断 (Timer Interrupt) 用于保证以精确的 10Hz 频率采样传感器数据, 确保跌倒检测算法的输入稳定性。

[EN]: Your Smart Home project demonstrates embedded system principles:

- **MCU**: Utilizes ESP32-S3 (Xtensa LX7 Dual-core), balancing performance and power efficiency.
- **I2C Bus**: Connects sensors like MPU6050 (0x68) and BMP180 (0x77) on shared lines (GPIO 4/5).
- **Interrupts**: A rigid Timer Interrupt ensures precise 10Hz sampling for the fall detection algorithm, avoiding jitter issues.

考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Interrupts vs Polling:** 为什么用中断? 为了节省 CPU 资源并保证实时性 (Real-time response)。
- **I2C Pull-up:** I2C 是开漏输出 (Open-drain), 必须需要在 SDA/SCL 上接上拉电阻 (Pull-up Resistors), 否则无法输出高电平。
- **Volatile:** 在中断服务程序 (ISR) 和主程序共享变量时, 必须声明为 `volatile`, 防止编译器优化。

17 算法与复杂性 / Algorithms & Complexity (BE5B33ALG)

算法复杂性 / Computational Complexity

[CN] 定义: 大 O 符号 ($O(\cdot)$) 描述了算法在最坏情况下的运行时间或空间需求随输入规模 N 增长的趋势。

- $O(1)$: 常数时间 (如数组索引)。
- $O(\log N)$: 对数时间 (如二分查找)。
- $O(N)$: 线性时间 (如遍历链表)。
- $O(N^2)$: 平方时间 (如冒泡排序)。

[EN] Definition: Big-O notation describes the worst-case growth rate of an algorithm's time or space requirements relative to input size N .

- $O(1)$: Constant Time (e.g., Array Access).
- $O(\log N)$: Logarithmic (e.g., Binary Search).
- $O(N)$: Linear (e.g., Iterating a list).
- $O(N \log N)$: Linearithmic (e.g., QuickSort/MergeSort).

排序算法 / Sorting Algorithms

[CN] 定义:

- **快速排序 (QuickSort):** 分治法。平均 $O(N \log N)$, 但不稳定。
- **归并排序 (MergeSort):** 分治法。保证 $O(N \log N)$, 稳定, 但需要额外空间。
- **堆排序 (HeapSort):** 利用二叉堆。 $O(N \log N)$, 原地排序。

[EN] Definition:

- **QuickSort:** Divide and Conquer. Avg $O(N \log N)$. Unstable.
- **MergeSort:** Stable, $O(N \log N)$, requires $O(N)$ extra space.
- **HeapSort:** Uses Binary Heap structure. In-place $O(N \log N)$.

论文关联 / Project Algorithms

[CN]: 你的固件中实施了特定的实时算法:

- 移动平均滤波 (Moving Average): 公式: $y[n] = y[n - 1] + \frac{x[n] - x[n - N]}{N}$ (递归实现)。复杂度: $O(1)$ (如果递归) 或 $O(N)$ (如果每次由头求和)。用于平滑传感器噪音。
- 跌倒检测 (Fall Detection): 逻辑: `if (acc > 2.4G && gyro > 240 deg/s)`. 复杂度: $O(1)$ 。这是实时系统的关键, 保证了在资源受限的 ESP32 上极低的延迟。

[EN]: Your firmware implements real-time algorithms:

- **Moving Average Filter:** Used to smooth sensor noise. Complexity: $O(1)$ (Recursive implementation) or $O(N)$ (Naive sum).
- **Fall Detection:** Logic: Threshold comparison. Complexity: $O(1)$ (Constant time). Critical for low latency on the ESP32.

核心公式 / Key Formula

图搜索算法 / Graph Search:

- **BFS (广度优先):** 使用队列 (Queue)。寻找无权图最短路径。
- **DFS (深度优先):** 使用栈 (Stack) 或递归。用于回溯法。
- **Dijkstra:** 使用优先队列 (Priority Queue)。寻找加权图最短路径。

考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Binary Search Requirements:** 二分查找要求数据必须是有序的 (Sorted)。
- **Stack vs Queue:** Stack is LIFO (Last In First Out); Queue is FIFO (First In First Out).
- **Recursion Risk:** 递归虽然代码简洁, 但深度过大时会导致栈溢出 (Stack Overflow), 在嵌入式中需谨慎。

Part V

专业方向 / Specialization

18 电磁场理论 / Electromagnetic Theory (BE5B17MT1)

麦克斯韦方程组 / Maxwell's Equations

[CN] 定义: 经典电磁学的核心, 包含四个方程:

1. 高斯电场定律: 电荷产生散开的电场 ($\nabla \cdot E = \rho/\epsilon_0$).
2. 高斯磁场定律: 无磁单极子 ($\nabla \cdot B = 0$).
3. 法拉第定律: 变化的磁场产生电场 ($\nabla \times E = -\partial B/\partial t$).
4. 安培定律: 电流和变化的电场产生磁场 ($\nabla \times B = \mu_0 J + \mu_0 \epsilon_0 \partial E/\partial t$).

[EN] Definition: The core of classical electromagnetism:

1. **Gauss's Law**: Electric charges produce diverging E-fields.
2. **Gauss's Law for Magnetism**: No magnetic monopoles.
3. **Faraday's Law**: Changing B-field induces E-field.
4. **Ampere's Law**: Currents and changing E-fields produce B-fields.

核心公式 / Key Formula

传输线 / Transmission Lines: 特性阻抗 (Characteristic Impedance):

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \approx 50\Omega \quad (25)$$

为了防止反射 (Reflection), 负载阻抗必须匹配 $Z_L = Z_0$ 。

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **阻抗匹配**: ESP32 的天线输出被设计为 50Ω 。PCB 走线宽度必须精确计算以保持此阻抗, 防止信号向源端反射。
- **去耦**: 在电源线上放置电容是为了提供高频信号的低阻抗返回路径, 减小辐射回路面积。

[EN]:

- **Impedance Matching**: ESP32 antenna output requires 50Ω . PCB traces are dimensioned to match this to prevent signal reflection (S_{11}).
- **Decoupling**: Capacitors provide a low-impedance return path for high-frequency currents, reducing the loop area and EMI.

19 逻辑系统 / Logic Systems (BE5B01LGS)

布尔代数 / Boolean Algebra

[CN] 定义: 数字逻辑的数学基础。

- 基本运算: AND ($A \cdot B$), OR ($A + B$), NOT (\bar{A}).
- 德摩根定律: $\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$, $\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$.

[EN] Definition: Mathematical foundation of digital logic.

- **Ops:** AND (Conjunction), OR (Disjunction), NOT (Negation).
- **De Morgan's Laws:** NAND equals OR of negations; NOR equals AND of negations.

时序逻辑 / Sequential Logic

[CN] 定义: 输出取决于当前输入以及过去输入的电路 (有记忆)。

- **触发器 (Flip-Flop):** 基本存储单元 (如 D-FF)。在时钟边沿改变状态。
- **寄存器 (Register):** 并联的 D-FF, 用于存储多位数据。

[EN] Definition: Circuits where output depends on current inputs **and** history (Memory).

- **Flip-Flop:** Basic storage element (e.g., D Flip-Flop). State changes on clock edge.
- **Register:** Parallel D-FFs storing multi-bit data.

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **GPIO 模式:** ESP32 的 GPIO 输入寄存器读取引脚电压。配置为 INPUT_PULLUP 实际上是在内部连接了一个上拉电阻, 形成逻辑 1。
- **I2C 硬件:** ESP32 内部的 I2C 控制器是由大量状态机 (FSM) 和移位寄存器 (Shift Register) 组成的复杂时序逻辑电路。

[EN]:

- **GPIO:** Configured via registers. INPUT_PULLUP connects an internal resistor, defaulting logic High.
- **I2C Controller:** Implemented in silicon using Finite State Machines (FSMs) and Shift Registers to serialize data.

20 信号与系统 / Signals & Systems (BE5B31SAS)

傅里叶变换 / Fourier Transform

[CN] 定义: 将信号从时域 (Time Domain) 转换到频域 (Frequency Domain)。任何周期信号都可以分解为正弦波的叠加。

[EN] Definition: Transforms a signal from Time Domain to Frequency Domain. States that any periodic function can be expressed as a sum of sines and cosines.

核心公式 / Key Formula

采样定理 / Nyquist-Shannon Theorem:

$$f_s \geq 2f_{max} \quad (26)$$

采样率必须至少是信号最高频率的两倍，否则会发生混叠 (Aliasing)。

论文关联 / Project Application

[CN]:

- 采样率选择: 你的 MPU6050 采样率为 10Hz。这意味着只能准确捕捉 5Hz 以下的运动（人体正常运动通常 $< 2\text{Hz}$ ）。
- 滤波: 你的移动平均滤波器实际上是一个低通滤波器 (Low Pass Filter)，切断了高频噪声。

[EN]:

- Sampling: MPU6050 @ 10Hz. Nyquist limit is 5Hz, sufficient for human motion ($< 2\text{Hz}$)。
- Filtering: The Moving Average Filter acts as an FIR Low Pass Filter, attenuating high-frequency noise.

21 电机学 / Electrical Machines (BE5B14ESP)

变压器 / Transformer

[CN] 定义: 基于电磁感应，只转换交流电压/电流，不改变频率。 $V_1/V_2 = N_1/N_2$ 。

[EN] Definition: Static device transferring AC energy via induction. Steps up/down voltage ($V_p/V_s = N_p/N_s$) without changing frequency.

电动机 / Electric Motors

[CN] 定义:

- **直流电机 (DC Motor)**: 使用换向器 (Brushed) 或电子换向 (BLDC)。速度 \propto 电压。
- **感应电机 (Induction Motor)**: 异步。转子速度总是落后于旋转磁场 (Slip)。
- **同步电机 (Synchronous Motor)**: 转子速度锁定于电源频率。

[EN] Definition:

- **DC Motor**: Speed \propto Voltage. Brushed or Brushless (BLDC).
- **Induction (Asynchronous)**: Rotor "slips" behind the rotating magnetic field.
- **Synchronous**: Rotor rotates in lock-step with supply frequency.

论文关联 / Project Application

[CN]: 虽然你的项目主要是传感器节点，但智能家居通常控制电机负载:

- **继电器控制**: 你的 ESP32 可以驱动继电器来开启/关闭大功率交流电机（如风扇、水泵）。
- **感性负载**: 电机是感性负载，关闭时会产生反电动势 (Back EMF)。需要反向二极管 (Flyback Diode) 保护电路。

[EN]: Smart homes often control motors:

- **Relays**: ESP32 drives relays to switch AC motors (fans, pumps).
- **Inductive Load**: Motors generate Back EMF when switched off. A Flyback Diode is required to protect the control circuitry.

22 材料科学 / Materials (BE5B13MAT)

材料分类 / Classification

[CN] 定义: 根据导电性能分类 (能带理论):

- **导体 (Conductor)**: 电子自由移动 (如铜 Cu)。价带与导带重叠。
- **半导体 (Semiconductor)**: 导电性介于导体和绝缘体之间 (如硅 Si)。带隙较小 ($E_g \approx 1.1\text{eV}$)。
- **绝缘体 (Insulator)**: 电子被束缚 (如玻璃)。带隙很大。

[EN] Definition: Based on energy bands:

- **Conductor**: Free electron movement (Copper). Overlapping bands.
- **Semiconductor**: Intermediate conductivity (Silicon). Small Bandgap.
- **Dielectric (Insulator)**: No free charges (Glass, FR4). Large Bandgap.

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **PCB 基板 (FR4):** 玻璃纤维环氧树脂。它是绝缘体 (介电材料)，其介电常数 ($\epsilon_r \approx 4.4$) 影响阻抗匹配。
- **导线 (Copper):** PCB 走线是铜箔，具有非零电阻。大电流走线需要足够的宽度以减少发热。
- **半导体:** ESP32 芯片本身是基于硅工艺 (CMOS) 制造的。

[EN]:

- **FR4:** The PCB substrate. It is a dielectric with $\epsilon_r \approx 4.4$, affecting trace impedance.
- **Copper:** Traces have resistance. High-current power traces must be wide to minimize voltage drop and heating.
- **Silicon:** The base material for the ESP32 SoC (CMOS process).

23 电力系统 / Power Systems (BE5B14ESP)

电力 / Electric Power

[CN] 定义:

- **有功功率 (Active Power, P):** 实际做功的功率。单位: 瓦特 (W)。
- **无功功率 (Reactive Power, Q):** 在电感/电容中振荡但未消耗的功率。单位: VAR。
- **视在功率 (Apparent Power, S):** 总功率。 $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ 。单位: VA。

[EN] Definition:

- **Active Power (P):** Real useful power (Watts).
- **Reactive Power (Q):** Oscillating power stored in L/C fields (VAR).
- **Apparent Power (S):** Vector sum magnitude (VA).

核心公式 / Key Formula

功率因数 / Power Factor:

$$PF = \frac{P}{S} = \cos \phi \quad (27)$$

理想情况下 $PF = 1$ 。

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **电池供电:** 我们的设计使用 Li-Po 电池 (3.7V - 4.2V)。
- **电源管理 (LDO):** AMS1117-3.3 线性稳压器将电池电压降至 3.3V 供 ESP32 使用。效率较低 ($\eta = V_{out}/V_{in}$)，多余能量变为热量。
- **功耗:** ESP32 Wi-Fi 发送时峰值电流可达 240mA。必须确保 LDO 和走线能通过此电流。

[EN]:

- **Battery:** Li-Po cell nominal 3.7V.
- **LDO Regulator:** Steps down voltage to 3.3V. Linear regulators dissipate excess voltage as heat (Low efficiency).
- **Peak Current:** Wi-Fi transmission spikes up to 240mA. Power traces must handle this.

24 人工智能 / Artificial Intelligence (BE5B33UI)

分类与学习 / Machine Learning

[CN] 定义: 从数据中学习模式的算法。

- **监督学习 (Supervised):** 训练数据有标签 (如: 这组数据是“跌倒”，那组是“走路”)。
- **无监督学习 (Unsupervised):** 数据无标签，寻找内在结构 (如聚类)。
- **神经网络 (Neural Network):** 模拟人脑神经元的层级结构。

[EN] Definition: Learning patterns from data.

- **Supervised:** Data is labeled (Input → Output mapping). Classification/Regression.
- **Unsupervised:** No labels (Clustering).
- **Neural Networks:** Layers of artificial neurons (Perceptrons) with weights and activation functions.

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **TinyML**: 在微控制器 (MCU) 上运行机器学习。
- **跌倒检测**: 目前使用的是基于阈值的规则 (Heuristic)。
- **未来改进**: 可以收集加速度数据训练一个 SVM (支持向量机) 或简单的神经网络分类器，部署在 ESP32 上以区分“跌倒”和“跳跃”，减少误报。

[EN]:

- **TinyML**: Running ML inference on Edge devices (ESP32).
- **Current**: Heuristic Threshold-based detection.
- **Future Work**: Train a Classifier (SVM or Neural Net) on acceleration data to distinguish Fall vs Jump, improving Specificity.

25 计算机体系结构 / Computer Architecture (BE5B35APO)

流水线与缓存 / Pipeline & Cache

[CN] 定义:

- **流水线 (Pipelining)**: 将指令执行分解为多个阶段 (取指, 译码, 执行...) 并行处理, 提高吞吐量。
- **缓存 (Cache)**: 位于 CPU 和内存之间的小容量高速存储, 利用局部性原理 (Locality) 减少内存访问延迟。L1, L2, L3。

[EN] Definition:

- **Pipelining**: Splitting instruction processing into stages (Fetch, Decode, Execute, Writeback) to increase throughput (Instructions Per Cycle).
- **Cache**: Fast, small memory hiding DRAM latency. Relies on Spatial and Temporal Locality.

指令集架构 / ISA

[CN] 定义:

- **CISC (复杂指令集)**: 指令复杂, 长度可变 (x86)。
- **RISC (精简指令集)**: 指令简单, 长度固定, 利用流水线 (ARM, RISC-V, Xtensa)。

[EN] Definition:

- **CISC**: Complex instructions, variable length (Intel x86).
- **RISC**: Reduced instructions, fixed length, optimized for pipelining (ARM, ESP32).

论文关联 / Project Application

[CN]:

- **ESP32 架构:** 基于 Tensilica Xtensa LX7 核心，是一个典型的 **RISC** 架构。
- **双核:** 它有两个核心 (PRO_CPU, APP_CPU)。FreeRTOS 调度器可以在两个核心上运行任务。
- **DMA:** 直接内存访问控制器允许外设 (如 SPI, I2C) 在不占用 CPU 的情况下传输数据，这对于高频传感器采样至关重要。

[EN]:

- **Xtensa LX7:** A RISC architecture powering the ESP32-S3.
- **Dual Core:** Symmetric Multiprocessing (SMP). Contains PRO_CPU and APP_CPU.
- **DMA:** Direct Memory Access allowing peripherals to transfer data to RAM without CPU intervention, critical for efficient sensor sampling.

26 控制系统 / Control Systems (BE5B35ARI)

控制结构 / Control Structures

[CN] 定义:

- **开环控制 (Open-Loop):** 控制动作独立于系统输出。无法纠正干扰带来的误差。(例如: 普通烤面包机)。
- **闭环控制 (Closed-Loop):** 使用反馈 (Feedback) 将输出与期望值比较，根据误差调整控制动作。(例如: 空调恒温)。

[EN] Definition:

- **Open-Loop:** Control action is independent of the process output. Cannot compensate for disturbances (e.g., toaster).
- **Closed-Loop:** Uses Feedback to compare output with reference. Adjusts control action based on error (e.g., thermostat).

核心公式 / Key Formula

闭环传递函数 / Closed-Loop Transfer Function:

$$T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (28)$$

$G(s)$: Plant (对象), $H(s)$: Sensor (传感器), $R(s)$: Reference (参考).

PID 控制器 / PID Controller

[CN] 定义: 工业中最常用的反馈控制器。包含三个项:

- **比例 (P)**: 当前误差。响应快, 但这也是主要的控制力。
- **积分 (I)**: 过去误差的累积。用于消除稳态误差 (Steady-state error)。
- **微分 (D)**: 误差变化率。预测未来趋势, 增加阻尼, 减少超调 (Overshoot)。

[EN] Definition: The most common industrial controller.

- **Proportional (P)**: Reacts to current error. Main drive.
- **Integral (I)**: Reacts to accumulated past errors. Eliminates steady-state error.
- **Derivative (D)**: Reacts to rate of change. Predicts future error, adds damping, reduces overshoot.

核心公式 / Key Formula

PID 公式 / PID Formula:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (29)$$

调参口诀: P 决定响应速度, I 消除静差但导致振荡, D 抑制振荡。

稳定性 / Stability

[CN] 定义: 一个系统被称为 BIBO (Bounded-Input Bounded-Output) 稳定, 如果任何有界输入都产生有界输出。在频域中, 线性系统稳定的充要条件是: 所有闭环极点 (Poles) 都位于复平面的左半部分 (LHP)。

[EN] Definition: A system is BIBO Stable if every bounded input produces a bounded output. In the frequency domain, a linear system is stable if and only if **all closed-loop poles are located in the Left Half Plane (LHP)**.

论文关联 / Project Application

[CN]: 虽然你的毕业设计主要关注数据采集, 但 Home Assistant 也可以由控制理论解释:

- **Bang-Bang 控制**: 比如当温度 > 25 度时开启风扇, < 24 度时关闭。这是一种带有迟滞 (Hysteresis) 的非线性控制。
- **反馈回路**: 传感器 (SHT30) \rightarrow 服务器 (HA) \rightarrow 智能开关 (Relay) \rightarrow 房间温度 \rightarrow 传感器。

[EN]: Home Assistant automations can be viewed as control loops:

- **Bang-Bang Control**: Turning a fan ON if Temp > 25 , OFF if < 24 . This is non-linear control with Hysteresis.
- **Feedback Loop**: Sensor (SHT30) \rightarrow Controller (HA) \rightarrow Actuator (Relay) \rightarrow Plant (Room Temp) \rightarrow Sensor.

考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Right Half Plane (RHP)**: 只要有一个极点在右半平面，系统就不稳定！ (Unstable).
- **Integral Windup**: 积分饱和。如果执行器达到极限，积分项会持续累积导致系统失控。解决方法是“积分分离”或“抗饱和”。
- **Phase Margin**: 相位裕度越小，系统越接近振荡。通常设计目标是 $45^\circ - 60^\circ$ 。