



北京航空航天大学
B E I H A N G U N I V E R S I T Y

检测技术与自动化大作业

模糊传感器方案设计及模糊规则 MATLAB 实现

院（系）名称	仪器科学与光电工程学院
专 业 名 称	仪器科学与技术
学 生 姓 名	衷雨欣
学 号	SY2243128

2022 年 11 月



目 录

1 功能需求分析.....	1
1.1 问题分析与评价模型建立.....	1
1.2 传感器选择.....	5
2 系统总体方案设计.....	8
2.1 系统组成.....	8
2.2 工作原理.....	8
3 模型求解与结论分析.....	10
3.1 隶属函数选取.....	10
3.2 模糊推理.....	11
3.3 设计总结.....	17
参考文献.....	19
附录 完整代码.....	21



1 功能需求分析

1.1 问题分析与评价模型建立

“毕业生 Offer 适合度评估”要求根据同学的特性以及工作的需求，为同学在众多 Offer 中选择最适合自己的工作。1909 年美国波士顿大学弗兰克帕森斯教授在他的著作《选择一个职业》中提出了特质因素理论，理论主张每个人均有稳定的特质，而职业亦有一组稳定的条件因素。因此，本文基于因素与特质相匹配原则，为毕业生确定最适合自己的 Offer。其中，“特质”指人格特征，包括能力倾向、兴趣爱好、价值观等，而“因素”指工作中取得成功所必备的资格，可以看作工作的固有属性。

本文将 Offer 分为四类，即国有企业、高校教职、私营企业、自主创业。它们的“因素”即固有性质有着本质区别，本文从“薪资待遇与发展前景”、“工作强度”、“研究难度”、“工作压力”、“硬性条件”五个角度考虑四种类别 Offer 的异同。分别将不同“因素”与同学的固有“特质”对应，可以建立如图 1.1 所示的对应关系。

因此，该问题转化为三级模糊综合评判模型，下面具体阐述该模型建立过程：

1. 因素集选取

因素集合 U 即评价指标包含三级，第一级因素集 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\}$ 分别为：薪资待遇和发展前景 (U_1)、工作强度 (U_2)、研究难度 (U_3)、工作压力 (U_4)、硬性条件 (U_5)；第二级因素集 $U_1 = \{U_{11}\}$ 、 $U_2 = \{U_{21}\}$ 、 $U_3 = \{U_{31}, U_{32}, U_{33}\}$ 、 $U_4 = \{U_{41}, U_{42}\}$ 、 $U_5 = \{U_{51}, U_{52}, U_{53}, U_{54}\}$ 分别为：消费水平 (U_{11})、身体素质 (U_{21})、实验室沉浸度 (U_{31})、学习成绩 (U_{32})、实践经验 (U_{33})、心情水平 (U_{41})、睡眠质量 (U_{42})、工作环境 (U_{51})、地理位置 (U_{52})、户口编制 (U_{53})、家属福利 (U_{54})；第三级因素集 $U_{11} = \{U_{111}, U_{112}\}$ 、 $U_{21} = \{U_{211}, U_{212}, U_{213}\}$ 、 $U_{31} = \{U_{311}, U_{312}\}$ 、 $U_{32} = \{U_{321}, U_{322}\}$ 、 $U_{33} = \{U_{331}, U_{332}\}$ 、 $U_{41} = \{U_{411}, U_{412}, U_{413}\}$ 、 $U_{42} = \{U_{421}, U_{422}, U_{423}, U_{424}\}$ 分别为：月均消费额 (U_{111})、食品支出占总支出比例 (U_{112})、日均步数 (U_{211})、月均运动天数 (U_{212})、肌电信号 (U_{213})、注意力在实验设备的时间 (U_{311})、瞳孔平均开度 (U_{312})、专业课成绩 (U_{321})、非专业课成绩 (U_{322})、实习经历 (U_{331})、竞赛经

历 (U_{332})、心率 (U_{411})、皮肤电导率 (U_{412})、体温 (U_{413})、睡眠效率 (U_{421})、入睡时间 (U_{422})、清醒次数 (U_{423})、清醒总时长 (U_{424})。

2. 评语集选取

评语集合 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\}$ 即评价结果包含四种工作类别：国有企业或研究所 (V_1)、高校教职 (V_2)、私营企业 (V_3)、自主创业 (V_4)。权重集合 A 为每个指标的权重系数，同一集合的权重系数之和为 1。

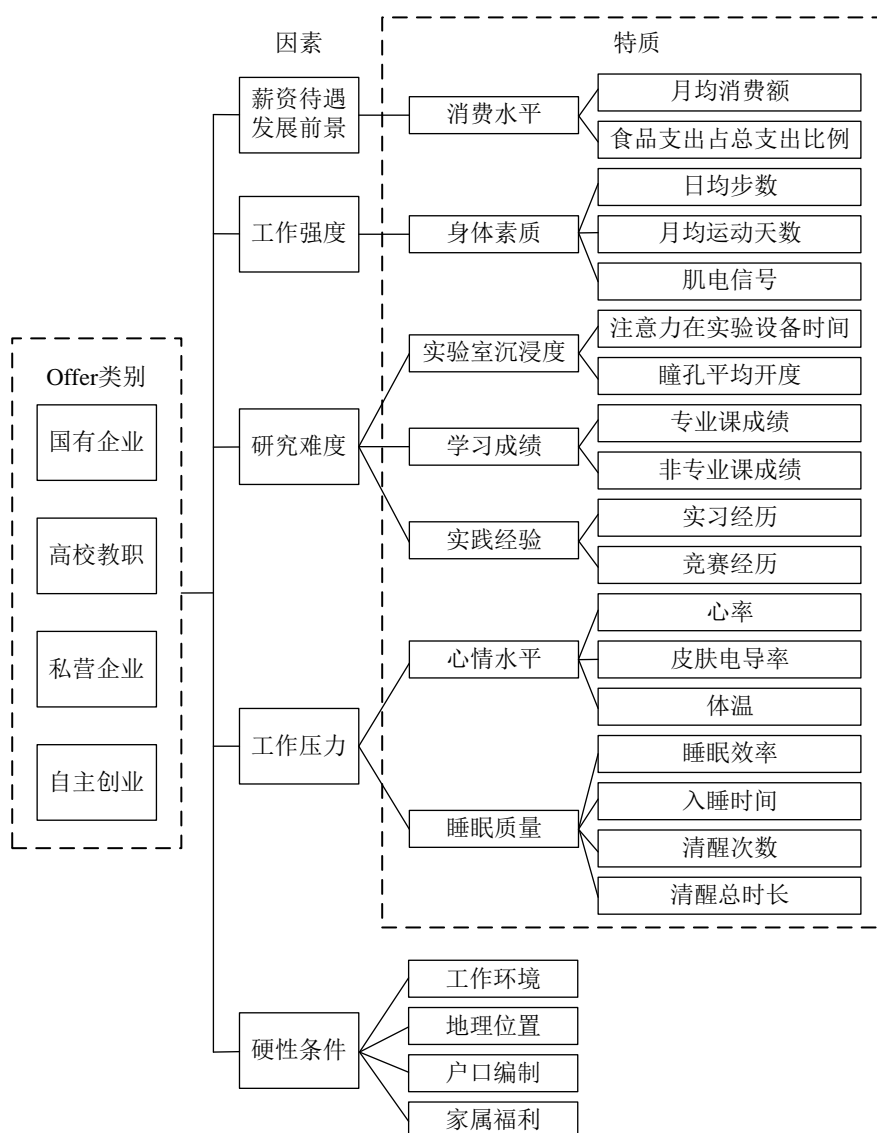


图 1.1 “因素”与“特质”对应关系

3. 一级模糊综合评判

首先对第三级因素集进行评判，得到七个综合评判矩阵如下，其中 R_{11} 、 R_{21} 、 R_{31} 、



R_{32} 、 R_{33} 、 R_{41} 、 R_{42} 分别为消费水平 (U_{11})、身体素质 (U_{21})、实验室沉浸度 (U_{31})、学习成绩 (U_{32})、实践经验 (U_{33})、心情水平 (U_{41})、睡眠质量 (U_{42}) 各因素的单因素评判矩阵。

$$\begin{aligned} R_{11} &= \begin{bmatrix} r_{111}^{(1)} & r_{111}^{(2)} & r_{111}^{(3)} & r_{111}^{(4)} \\ r_{112}^{(1)} & r_{112}^{(2)} & r_{112}^{(3)} & r_{112}^{(4)} \end{bmatrix} \\ R_{21} &= \begin{bmatrix} r_{211}^{(1)} & r_{211}^{(2)} & r_{211}^{(3)} & r_{211}^{(4)} \\ r_{212}^{(1)} & r_{212}^{(2)} & r_{212}^{(3)} & r_{212}^{(4)} \\ r_{213}^{(1)} & r_{213}^{(2)} & r_{213}^{(3)} & r_{213}^{(4)} \end{bmatrix} \\ R_{31} &= \begin{bmatrix} r_{311}^{(1)} & r_{311}^{(2)} & r_{311}^{(3)} & r_{311}^{(4)} \\ r_{312}^{(1)} & r_{312}^{(2)} & r_{312}^{(3)} & r_{312}^{(4)} \end{bmatrix} \quad R_{32} = \begin{bmatrix} r_{321}^{(1)} & r_{321}^{(2)} & r_{321}^{(3)} & r_{321}^{(4)} \\ r_{322}^{(1)} & r_{322}^{(2)} & r_{322}^{(3)} & r_{322}^{(4)} \end{bmatrix} \quad R_{33} = \begin{bmatrix} r_{331}^{(1)} & r_{331}^{(2)} & r_{331}^{(3)} & r_{331}^{(4)} \\ r_{332}^{(1)} & r_{332}^{(2)} & r_{332}^{(3)} & r_{332}^{(4)} \end{bmatrix} \quad (1.1) \\ R_{41} &= \begin{bmatrix} r_{411}^{(1)} & r_{411}^{(2)} & r_{411}^{(3)} & r_{411}^{(4)} \\ r_{412}^{(1)} & r_{412}^{(2)} & r_{412}^{(3)} & r_{412}^{(4)} \\ r_{413}^{(1)} & r_{413}^{(2)} & r_{413}^{(3)} & r_{413}^{(4)} \end{bmatrix} \quad R_{42} = \begin{bmatrix} r_{421}^{(1)} & r_{421}^{(2)} & r_{421}^{(3)} & r_{421}^{(4)} \\ r_{422}^{(1)} & r_{422}^{(2)} & r_{422}^{(3)} & r_{422}^{(4)} \\ r_{423}^{(1)} & r_{423}^{(2)} & r_{423}^{(3)} & r_{423}^{(4)} \\ r_{424}^{(1)} & r_{424}^{(2)} & r_{424}^{(3)} & r_{424}^{(4)} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

若第三集因素集的权重系数分别为：

$$\begin{aligned} A_{11} &= [a_{111} \quad a_{112}] \\ A_{21} &= [a_{211} \quad a_{212} \quad a_{213}] \\ A_{31} &= [a_{311} \quad a_{312}] \quad A_{32} = [a_{321} \quad a_{322}] \quad A_{33} = [a_{331} \quad a_{332}] \\ A_{41} &= [a_{411} \quad a_{412} \quad a_{413}] \quad A_{42} = [a_{421} \quad a_{422} \quad a_{423} \quad a_{424}] \end{aligned} \quad (1.2)$$

则消费水平 (U_{11})、身体素质 (U_{21})、实验室沉浸度 (U_{31})、学习成绩 (U_{32})、实践经验 (U_{33})、心情水平 (U_{41})、睡眠质量 (U_{42}) 的一级评判分别为：

$$\begin{aligned} B_{11} &= A_{11} \cdot R_{11} \\ B_{21} &= A_{21} \cdot R_{21} \\ B_{31} &= A_{31} \cdot R_{31} \quad B_{32} = A_{32} \cdot R_{32} \quad B_{33} = A_{33} \cdot R_{33} \\ B_{41} &= A_{41} \cdot R_{41} \quad B_{42} = A_{42} \cdot R_{42} \end{aligned} \quad (1.3)$$

4. 二级模糊综合评判

对薪资待遇和发展前景 (U_1)、工作强度 (U_2)、研究难度 (U_3)、工作压力 (U_4)、硬性条件 (U_5) 下属的单因素指标进行二级评判。

薪资待遇和发展前景 (U_1) 的二级评判为：

$$\begin{cases} R_1 = B_{11} \\ A_1 = a_{11} \\ B_1 = A_1 \cdot R_1 \end{cases} \quad (1.4)$$

工作强度（ U_2 ）的二级评判为：

$$\begin{cases} R_2 = B_{21} \\ A_2 = a_{21} \\ B_2 = A_2 \cdot R_2 \end{cases} \quad (1.5)$$

研究难度（ U_3 ）的二级评判为：

$$\begin{cases} R_3 = [B_{31} \quad B_{32} \quad B_{33}]^T \\ A_3 = [a_{31} \quad a_{32} \quad a_{33}] \\ B_3 = A_3 \cdot R_3 \end{cases} \quad (1.6)$$

工作压力（ U_4 ）的二级评判为：

$$\begin{cases} R_4 = [B_{41} \quad B_{42}]^T \\ A_4 = [a_{41} \quad a_{42}] \\ B_4 = A_4 \cdot R_4 \end{cases} \quad (1.7)$$

硬性条件（ U_5 ）的二级评判为：

$$\begin{cases} R_5 = \begin{bmatrix} r_{51}^{(1)} & r_{51}^{(2)} & r_{51}^{(3)} & r_{51}^{(4)} \\ r_{52}^{(1)} & r_{52}^{(2)} & r_{52}^{(3)} & r_{52}^{(4)} \\ r_{53}^{(1)} & r_{53}^{(2)} & r_{53}^{(3)} & r_{53}^{(4)} \\ r_{54}^{(1)} & r_{54}^{(2)} & r_{54}^{(3)} & r_{54}^{(4)} \end{bmatrix} \\ A_5 = [a_{51} \quad a_{52} \quad a_{53} \quad a_{54}] \\ B_5 = A_5 \cdot R_5 \end{cases} \quad (1.8)$$

5. 三级模糊综合评判

将二级评判结果 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 作为行，组成三级评判的单因素评判矩阵 R ，由权重系数 A 可得最终评判结果 B ，根据 B 中每一项 b_i 的大小，确定选择哪一类工作。

$$\begin{cases} R = [B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5]^T \\ A = [a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5] \\ B = A \cdot R = [b_1 & b_2 & b_3 & b_4] \end{cases} \quad (1.9)$$

上述即为三级模糊综合评判模型的建立过程。由于缺乏隶属度的评判标准，因此采用指派法确定评判矩阵 R ，即根据问题的性质，直接采用某种分布作为隶属函数，常采用梯形分布或正态分布。权重系数 A 根据指标性质确定，由于缺乏实际数据，因此若无法确定指标的影响大小，则假设指标的权重系数相同。第三级因素集为同学的个人数据，通过调查和传感器测量两种方式获取，其中月均消费额 (U_{111})、食品支出占总支出比例 (U_{112})、专业课成绩 (U_{321})、非专业课成绩 (U_{322})、实习经历 (U_{331})、竞赛经历 (U_{332}) 均通过调查获取，其余十二个因素的数据均需要通过传感器测量获取。

1.2 传感器选择

1. 身体素质

每天适当运动可以促进血液循环、增强心肺功能、提高身体素质^[1]，而肌电信号反映了肌肉强度和人体神经状态，因此采取“日均步数”、“月均运动天数”、“人体肌电信号”作为评判身体素质的指标。

(1) 日均步数

根据跑步姿势中左右膝交叉的特点，采用光电传感器进行计步。将基于红外光电辐射开关原理的计步器固定在护膝上，通过护膝一侧的光电二极管发射模块发射红外光，再通过另一层的光电接收模块接收红外光。在跑步或走路的过程中，微处理器根据接收端的光电信号计算步数^[2]，采用日均步数作为身体素质的评判指标之一。

(2) 月均运动天数

基于可穿戴传感器的人类活动识别 (Human Activity Recognition, HAR) 克服了视觉传感系统隐私无法保障，以及环境传感系统的计算量大、可移植性差的缺点，并且具有成本低、体积小、易于实现等优点^[3]，因此本文采用可穿戴设备对同学运动进行识别。在可穿戴设备中嵌入加速度传感器和陀螺仪，两种惯性传感器结合使用可以更好地识别运动类型^[4]，每种传感器分别获取沿 x 、 y 、 z 轴三个维度的矢量数据，首先对加速度信号进行滤波，然后对滤波后的信号进行分割提取数据特征，最后将数据特征置



于分类器模型中，对同学运动类型进行识别，采用月均运动天数作为身体素质的评判指标之一。

（3）人体肌电信号

人体表面肌电测量仪是一种非接触式人体肌肉工作状态监测仪器，对人体皮肤表面电位变化产生的电信号进行采集、特征提取、分析评估实现对人体神经和肌肉状态的监测^[5]。肌电测量仪可以采用生物传感器监测肌肉的微弱电脉冲，表面肌电信号不仅蕴含着人体神经肌肉系统的控制信息，还与肌肉力、关节角直接相关，因此肌电信号不仅能够直观反映人体骨骼肌的收缩程度，相应动作肌群的表面肌电信号还能实时反映骨骼肌的运动信息。肌电信号属于一维时间序列信号^[6]，可以利用它的拓扑特征估计肌肉疲劳指数，在采集到肌电信号后，进行 Hilbert 变换对表面肌电信号进行形状分析，获得包络线并进行特征估计。研究表明疲劳状态下肌电信号振幅会提高^[7]，因此本文采用肌电信号的振幅表示肌肉的疲劳程度，作为身体素质的评判指标之一。

2. 实验室沉浸度

采用监测眼球运动的方式测量同学的注意力，使用“眼球落在实验设备的时间”说明同学在实验室中做实验的时间，采用“瞳孔在实验过程中的平均开度”说明做实验过程的专注度^[8]。采用光流传感器进行瞳孔跟踪与开度检测，光流传感器内置高分辨率摄像机和数字信号处理器^[9]。使用光流算法获取瞳孔在两个测量轴上相对位移，结合传感器外部图像采集与处理进行瞳孔的开度检测与跟踪。

3. 心情水平

当人的情绪发生改变时，人体的中枢神经系统会增加或降低肌肉中的氧气水平、体温、脉搏^[10]，尤其是体温变化与个人情绪密切相关^[11]。根据人类情绪的积极和消极程度可以简单分为四类：开心、悲伤、兴奋/紧张、平静/困倦^[12]。采用“体温”、“心率”、“皮肤电导率”三个物理参数衡量同学的心情水平。

（1）体温

人体温度可由基于热敏电阻的温度传感器进行测量^[13]，将传感器附着于人体皮肤，使其与皮肤温度相同，以此改变热敏电阻的阻值，输出电信号可以反映体温。该方法适合运动过程中的持续温度监测。



(2) 心率

心率传感器可以采用脉冲接收器（Pulse Sound Receiver, RSR）记录心率，PSR 由导管、电容传声器、放大电路组成，是一种简单的脉冲声音监测装置，用传声器监测声波峰值后计算心跳^[5]。

(3) 皮肤电导率

采用皮肤电反应传感器（Galvanic Skin Response, GSR）进行电导率测量，GSR 主要由柔性传感器衬底和信号处理模块构成^[14]，用于测量与情绪唤醒相关汗腺活动。皮肤电导基础水平存在个体差异：基础水平越高的人，越倾向于内向、紧张、焦虑不安、情绪不稳定、反应过分敏感；而基础水平越低的人，越倾向于开朗、外向，心态比较平衡、自信，心理适应较好。

4. 睡眠质量

使用活动记录仪（Actigraphy）获取同学睡眠过程的四个参数：睡眠效率、入睡时间、清醒次数、清醒总时长，作为睡眠质量的评判因素^[15]。其中睡眠效率是指睡眠时间占床上时间的百分比，若低于 85% 认为睡眠质量逐渐隶属于“差”；入睡时间若少于 30 min 认为睡眠质量完全隶属于“好”；每晚清醒次数不超过一次认为睡眠质量完全隶属于“好”，每晚清醒总时长少于 20 min 认为睡眠质量完全隶属于“好”。

2 系统总体方案设计

2.1 系统组成

模糊传感器以数值测量为基础，能产生和处理与其相关的符号信息，实现用自然语言对被测对象信息进行符号化表示的智能传感器。毕业生 Offer 适合度评估系统组成框图如图 2.1 所示，主要由传感器系统、信号调理电路、ADC、计算机系统、供电系统构成，由传感去获取人体数据，经过信号调理和模数转化后将数字量输入计算机，在计算机系统中经过模糊综合推理，得到输出结果。

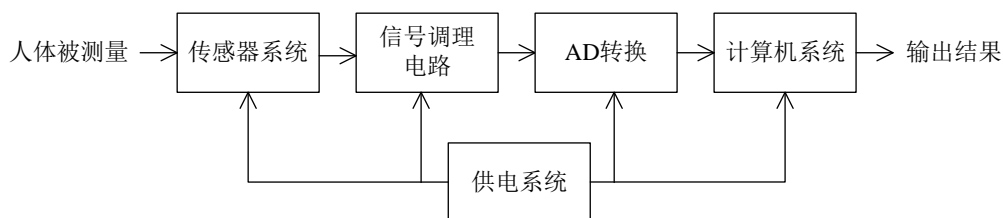


图 2.1 系统组成框图

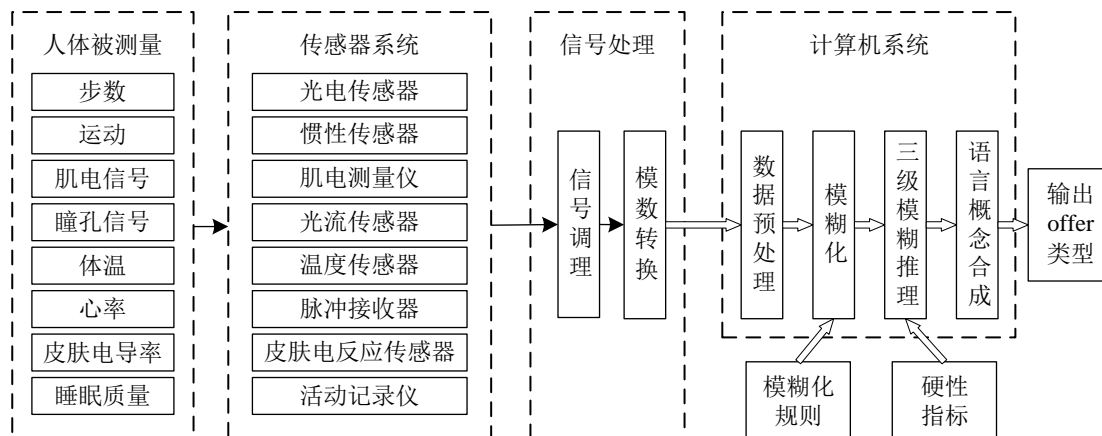


图 2.2 工作原理框图

2.2 工作原理

系统的工作原理如图 2.2 所示，首先传感器获取人体被测量的模拟信号，包括由光电传感器获取步数、惯性传感器获取三轴角加速度和线加速度、肌电测量仪获取肌电信号振幅、光流传感器跟踪瞳孔视线和开度、温度传感器获取体温、脉冲接收器获取



心率、皮肤电反应传感器获取电导率、活动记录仪获取睡眠质量数据。

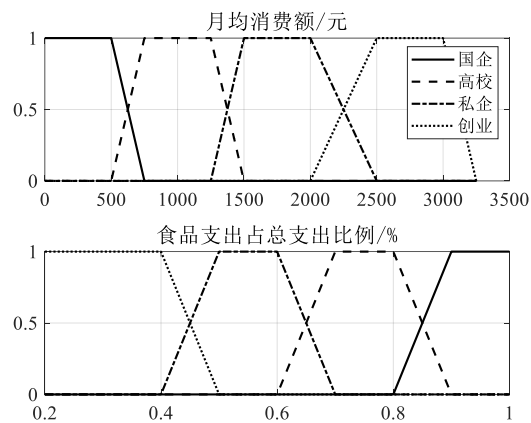
之后将多路传感器数据送入信号调理电路，将多路模拟量进行滤波、放大、调制解调、传感器融合等步骤，以提高信噪比。处理好后的模拟信号送入 ADC 转换成数字信号，以供计算机采集。

在计算机系统中首先对数字进行预处理，包括去除离群点、数字滤波、分类等步骤，将传感器输出电信号转换成模糊评判所需的数字信号，例如将加速度转换成运动模式、肌电信号振幅转换成肌肉的疲劳程度。之后根据输入的模糊化规则和隶属函数确定不同因素的隶属度，结合输入的硬性指标进行三级模糊综合评判，最终获得评判结果，输出适合该同学的 Offer 类型。

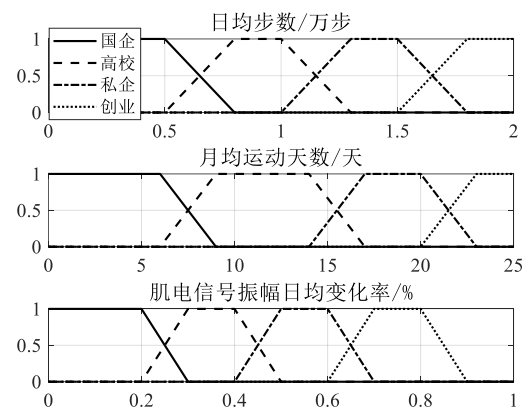
3 模型求解与结论分析

3.1 隶属函数选取

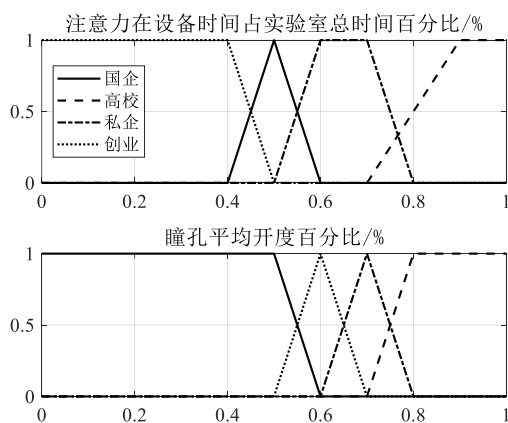
由于缺少传感器数据，以及隶属度的评判标准，因此采用指派法确定评判矩阵 R ，即根据问题的性质，直接采用某种分布作为隶属函数，常采用梯形分布或正态分布。图 3.1 为工作环境 (U_{51})、地理位置 (U_{52})、户口编制 (U_{53})、家属福利 (U_{54}) 以及所有第三级因素集的隶属函数。



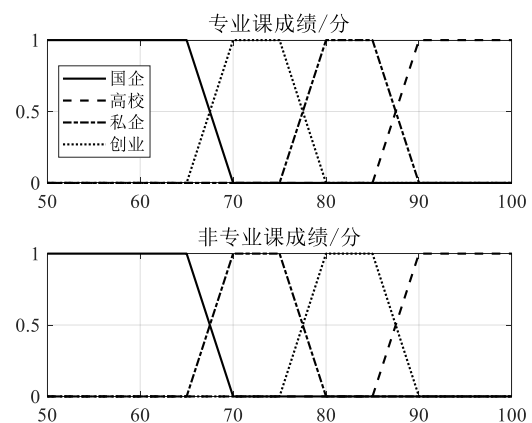
(a) 消费水平



(b) 身体素质



(c) 实验室沉浸度



(d) 学习成绩

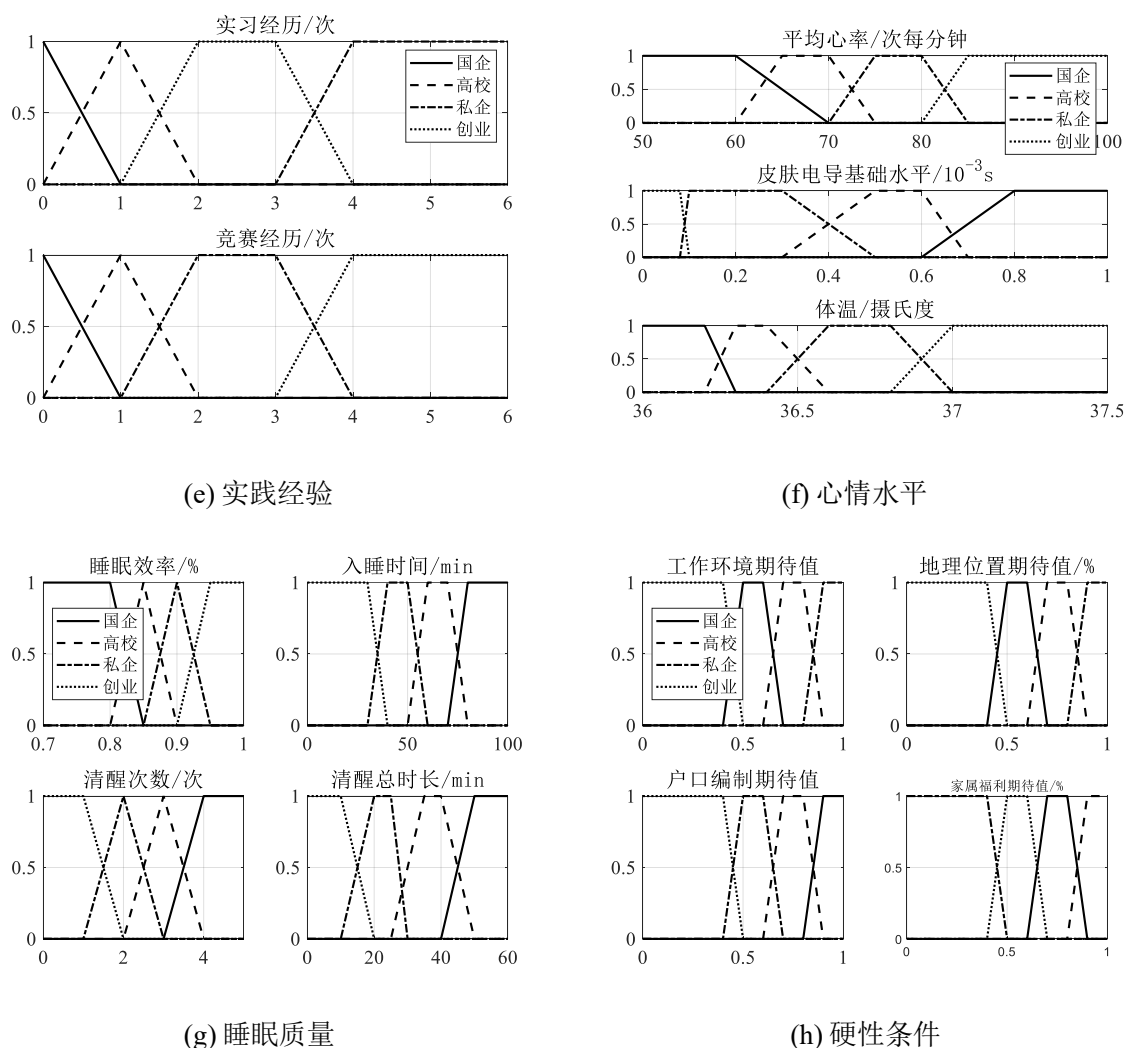


图 3.1 隶属度函数

3.2 模糊推理

1. 一级模糊综合评判

模糊推理程序流程图如图 3.2 所示，首先定义隶属函数用于计算模糊综合评判矩阵，之后输入传感器数据和调查数据，获取第三级因素集的隶属度。再与对应权重系数相乘，获得第三级因素集的综合评判结果。

(1) 消费水平 (U_{11})

输入月均消费额 $U_{111} = 1000$ 、食品支出占总支出比例 $U_{112} = 40\%$ ，则 U_{111} 、 U_{112} 对不同 Offer 的隶属度 r 构成的评判矩阵 R_{11} 为：

$$R_{11} = \begin{bmatrix} r_{111}^{(1)} & r_{111}^{(2)} & r_{111}^{(3)} & r_{111}^{(4)} \\ r_{112}^{(1)} & r_{112}^{(2)} & r_{112}^{(3)} & r_{112}^{(4)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

式中， $r_{111}^{(1)}$ 、 $r_{111}^{(2)}$ 、 $r_{111}^{(3)}$ 、 $r_{111}^{(4)}$ 分别表示 U_{111} 对国有企业（ V_1 ）、私营企业（ V_2 ）、高校教职（ V_3 ）、自主创业（ V_4 ）的隶属度； $r_{112}^{(1)}$ 、 $r_{112}^{(2)}$ 、 $r_{112}^{(3)}$ 、 $r_{112}^{(4)}$ 分别表示 U_{112} 对 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 的隶属度。

U_{111} 、 U_{112} 的权重系数 $a_{111}=0.6$ 、 $a_{112}=0.4$ ，则 U_{11} 的综合评判结果为：

$$\begin{aligned} B_{11} &= A_{11} \cdot R_{11} \\ &= [a_{111} \quad a_{112}] \cdot \begin{bmatrix} r_{111}^{(1)} & r_{111}^{(2)} & r_{111}^{(3)} & r_{111}^{(4)} \\ r_{112}^{(1)} & r_{112}^{(2)} & r_{112}^{(3)} & r_{112}^{(4)} \end{bmatrix} \\ &= [0.12 \quad 0.88 \quad 0 \quad 0] \end{aligned} \quad (3.2)$$

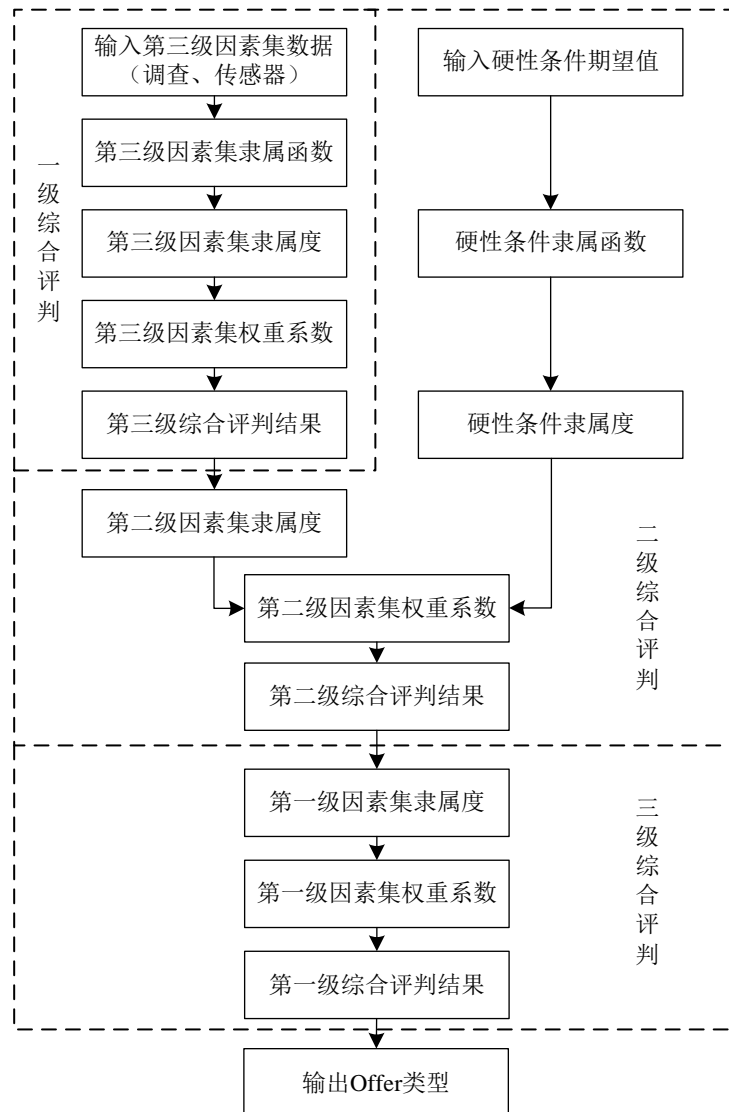


图 3.2 模糊推理程序流程图

(2) 身体素质 (U_{21})

输入日均步数 $U_{211} = 8000$ 、月均运动天数 $U_{212} = 2$ 、肌电信号振幅日均变化率 $U_{213} = 53\%$ ，则 U_{211} 、 U_{212} 、 U_{213} 对不同 Offer 的隶属度 r 构成的评判矩阵 R_{21} 为：

$$R_{21} = \begin{bmatrix} r_{211}^{(1)} & r_{211}^{(2)} & r_{211}^{(3)} & r_{211}^{(4)} \\ r_{212}^{(1)} & r_{212}^{(2)} & r_{212}^{(3)} & r_{212}^{(4)} \\ r_{213}^{(1)} & r_{213}^{(2)} & r_{213}^{(3)} & r_{213}^{(4)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

权重系数 $A_{21} = [a_{211} \ a_{212} \ a_{213}] = [0.3 \ 0.4 \ 0.3]$ ，则 U_{21} 的综合评判结果为：

$$\begin{aligned} B_{21} &= A_{21} \cdot R_{21} \\ &= [a_{211} \ a_{212} \ a_{213}] \cdot \begin{bmatrix} r_{211}^{(1)} & r_{211}^{(2)} & r_{211}^{(3)} & r_{211}^{(4)} \\ r_{212}^{(1)} & r_{212}^{(2)} & r_{212}^{(3)} & r_{212}^{(4)} \\ r_{213}^{(1)} & r_{213}^{(2)} & r_{213}^{(3)} & r_{213}^{(4)} \end{bmatrix} \\ &= [0.4 \ 0.3 \ 0.3 \ 0] \end{aligned} \quad (3.4)$$

(3) 实验室沉浸度 (U_{31})

输入注意力在设备时间占实验室总时间百分比 $U_{311} = 83\%$ 、瞳孔平均开度百分比 $U_{312} = 66\%$ ，则 U_{311} 、 U_{312} 对不同 Offer 的隶属度 r 构成的评判矩阵 R_{31} 为：

$$R_{31} = \begin{bmatrix} r_{311}^{(1)} & r_{311}^{(2)} & r_{311}^{(3)} & r_{311}^{(4)} \\ r_{312}^{(1)} & r_{312}^{(2)} & r_{312}^{(3)} & r_{312}^{(4)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.65 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.4 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

权重系数 $A_{31} = [a_{311} \ a_{312}] = [0.7 \ 0.3]$ ，则 U_{31} 的综合评判结果为：

$$\begin{aligned} B_{31} &= A_{31} \cdot R_{31} \\ &= [a_{311} \ a_{312}] \cdot \begin{bmatrix} r_{311}^{(1)} & r_{311}^{(2)} & r_{311}^{(3)} & r_{311}^{(4)} \\ r_{312}^{(1)} & r_{312}^{(2)} & r_{312}^{(3)} & r_{312}^{(4)} \end{bmatrix} \\ &= [0 \ 0.455 \ 0.180 \ 0.120] \end{aligned} \quad (3.6)$$

(4) 学习成绩 (U_{32})

输入专业课成绩 $U_{321} = 88$ 、非专业课成绩 $U_{322} = 92$ ，则 U_{321} 、 U_{322} 对不同 Offer 的隶属度 r 构成的评判矩阵 R_{32} 为：

$$R_{32} = \begin{bmatrix} r_{321}^{(1)} & r_{321}^{(2)} & r_{321}^{(3)} & r_{321}^{(4)} \\ r_{322}^{(1)} & r_{322}^{(2)} & r_{322}^{(3)} & r_{322}^{(4)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

权重系数 $A_{32} = [a_{321} \ a_{322}] = [0.7 \ 0.3]$ ，则 U_{31} 的综合评判结果为：

$$\begin{aligned} B_{32} &= A_{32} \cdot R_{32} \\ &= [a_{321} \ a_{322}] \cdot \begin{bmatrix} r_{321}^{(1)} & r_{321}^{(2)} & r_{321}^{(3)} & r_{321}^{(4)} \\ r_{322}^{(1)} & r_{322}^{(2)} & r_{322}^{(3)} & r_{322}^{(4)} \end{bmatrix} \\ &= [0 \ 0.72 \ 0.28 \ 0] \end{aligned} \quad (3.8)$$

(5) 实践经验 (U_{33})

输入实习经历 $U_{331} = 1$ 、竞赛经历 $U_{332} = 3$ 、则 U_{331} 、 U_{332} 对不同 Offer 的隶属度 r 构成的评判矩阵 R_{33} 为：

$$R_{33} = \begin{bmatrix} r_{331}^{(1)} & r_{331}^{(2)} & r_{331}^{(3)} & r_{331}^{(4)} \\ r_{332}^{(1)} & r_{332}^{(2)} & r_{332}^{(3)} & r_{332}^{(4)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

权重系数 $A_{33} = [a_{331} \ a_{332}] = [0.5 \ 0.5]$ ，则 U_{31} 的综合评判结果为：

$$\begin{aligned} B_{33} &= A_{33} \cdot R_{33} \\ &= [a_{331} \ a_{332}] \cdot \begin{bmatrix} r_{331}^{(1)} & r_{331}^{(2)} & r_{331}^{(3)} & r_{331}^{(4)} \\ r_{332}^{(1)} & r_{332}^{(2)} & r_{332}^{(3)} & r_{332}^{(4)} \end{bmatrix} \\ &= [0 \ 0.5 \ 0.5 \ 0] \end{aligned} \quad (3.10)$$

(6) 心情水平 (U_{41})

输入平均心率 $U_{411} = 69$ 、皮肤电导基础水平 $U_{412} = 6.8 \times 10^{-5} \text{ s}$ 、体温 $U_{413} = 36.25 \text{ }^\circ\text{C}$ ，则 U_{411} 、 U_{412} 、 U_{413} 对不同 Offer 的隶属度 r 构成的评判矩阵 R_{41} 为：

$$R_{41} = \begin{bmatrix} r_{411}^{(1)} & r_{411}^{(2)} & r_{411}^{(3)} & r_{411}^{(4)} \\ r_{412}^{(1)} & r_{412}^{(2)} & r_{412}^{(3)} & r_{412}^{(4)} \\ r_{413}^{(1)} & r_{413}^{(2)} & r_{413}^{(3)} & r_{413}^{(4)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

权重系数 $A_{41} = [a_{411} \ a_{412} \ a_{413}] = [0.3 \ 0.3 \ 0.4]$ ，则 U_{41} 的综合评判结果为：

$$\begin{aligned} B_{41} &= A_{41} \cdot R_{41} \\ &= [a_{411} \ a_{412} \ a_{413}] \cdot \begin{bmatrix} r_{411}^{(1)} & r_{411}^{(2)} & r_{411}^{(3)} & r_{411}^{(4)} \\ r_{412}^{(1)} & r_{412}^{(2)} & r_{412}^{(3)} & r_{412}^{(4)} \\ r_{413}^{(1)} & r_{413}^{(2)} & r_{413}^{(3)} & r_{413}^{(4)} \end{bmatrix} \\ &= [0.23 \ 0.5 \ 0 \ 0.3] \end{aligned} \quad (3.12)$$

(7) 睡眠质量 (U_{42})

输入睡眠效率 $U_{421} = 0.98$ 、入睡时间 $U_{422} = 20$ 、清醒次数 $U_{423} = 1$ 、清醒总时长 $U_{424} = 10$ ，则 U_{421} 、 U_{422} 、 U_{423} 对不同 Offer 的隶属度 r 构成的评判矩阵 R_{42} 为：

$$R_{42} = \begin{bmatrix} r_{421}^{(1)} & r_{421}^{(2)} & r_{421}^{(3)} & r_{421}^{(4)} \\ r_{422}^{(1)} & r_{422}^{(2)} & r_{422}^{(3)} & r_{422}^{(4)} \\ r_{423}^{(1)} & r_{423}^{(2)} & r_{423}^{(3)} & r_{423}^{(4)} \\ r_{424}^{(1)} & r_{424}^{(2)} & r_{424}^{(3)} & r_{424}^{(4)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

权重系数 $A_{42} = [a_{421} \ a_{422} \ a_{423} \ a_{424}] = [0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25]$ ，则 U_{42} 的综合评判结果为：

$$\begin{aligned} B_{42} &= A_{42} \cdot R_{42} \\ &= [a_{421} \ a_{422} \ a_{423} \ a_{424}] \cdot \begin{bmatrix} r_{421}^{(1)} & r_{421}^{(2)} & r_{421}^{(3)} & r_{421}^{(4)} \\ r_{422}^{(1)} & r_{422}^{(2)} & r_{422}^{(3)} & r_{422}^{(4)} \\ r_{423}^{(1)} & r_{423}^{(2)} & r_{423}^{(3)} & r_{423}^{(4)} \\ r_{424}^{(1)} & r_{424}^{(2)} & r_{424}^{(3)} & r_{424}^{(4)} \end{bmatrix} \\ &= [0 \ 0 \ 0 \ 1] \end{aligned} \quad (3.14)$$

2. 二级模糊综合评判

将第三级因素的综合评判结果作为第二级因素集对 Offer 类别的隶属度，同时输入同学对各个硬性条件的期望值，根据硬性条件的隶属函数，得到四个硬性条件对不同 Offer 类型的隶属度。上述隶属度分别构成第二级因素集的模糊综合评判矩阵，再与对应权重系数相乘，获得第二级因素集的综合评判结果。

(1) 薪资待遇和发展前景 (U_1)

U_1 的综合评判结果为：

$$\begin{cases} R_1 = B_{11} = [0.12 \ 0.88 \ 0 \ 0] \\ A_1 = a_{11} = 1 \\ B_1 = A_1 \cdot R_1 = [0.12 \ 0.88 \ 0 \ 0] \end{cases} \quad (3.15)$$

(2) 工作强度 (U_2)

U_2 的综合评判结果为：

$$\begin{cases} R_2 = B_{21} = [0.4 & 0.3 & 0.3 & 0] \\ A_2 = a_{21} = 1 \\ B_2 = A_2 \cdot R_2 = [0.4 & 0.3 & 0.3 & 0] \end{cases} \quad (3.16)$$

(3) 研究难度 (U_3)

U_3 的综合评判结果为:

$$\begin{cases} R_3 = [B_{31} & B_{32} & B_{33}]^T = \begin{bmatrix} 0 & 0.455 & 0.180 & 0.120 \\ 0 & 0.720 & 0.280 & 0 \\ 0 & 0.500 & 0.500 & 0 \end{bmatrix} \\ A_3 = [a_{31} & a_{32} & a_{33}] = [1/3 & 1/3 & 1/3] \\ B_3 = A_3 \cdot R_3 = [0 & 0.5583 & 0.3200 & 0.0400] \end{cases} \quad (3.17)$$

(4) 工作压力 (U_4)

U_4 的综合评判结果为:

$$\begin{cases} R_4 = [B_{41} & B_{42}]^T = \begin{bmatrix} 0.23 & 0.50 & 0 & 0.30 \\ 0 & 0 & 0 & 1.00 \end{bmatrix} \\ A_4 = [a_{41} & a_{42}] = [0.5 & 0.5] \\ B_4 = A_4 \cdot R_4 = [0.115 & 0.250 & 0 & 0.650] \end{cases} \quad (3.18)$$

(5) 硬性条件 (U_5)

输入同学对工作环境 U_{51} 、地理位置 U_{52} 、户口编制 U_{53} 、家属福利 U_{54} 的意愿值分别为 $U_{51}=0.6$ 、 $U_{52}=0.9$ 、 $U_{53}=0.7$ 、 $U_{54}=0.88$ 则 U_{51} 、 U_{52} 、 U_{53} 、 U_{54} 对不同 Offer 的隶属度 r 构成的评判矩阵 R_5 为:

$$R_5 = \begin{bmatrix} r_{51}^{(1)} & r_{51}^{(2)} & r_{51}^{(3)} & r_{51}^{(4)} \\ r_{52}^{(1)} & r_{52}^{(2)} & r_{52}^{(3)} & r_{52}^{(4)} \\ r_{53}^{(1)} & r_{53}^{(2)} & r_{53}^{(3)} & r_{53}^{(4)} \\ r_{54}^{(1)} & r_{54}^{(2)} & r_{54}^{(3)} & r_{54}^{(4)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

权重系数 $A_5 = [a_{51} \ a_{52} \ a_{53} \ a_{54}] = [0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25]$, 则 U_5 的综合评判结果为:

$$\begin{aligned}
 B_5 &= A_5 \cdot R_5 \\
 &= [a_{51} \quad a_{52} \quad a_{53} \quad a_{54}] \cdot \begin{bmatrix} r_{51}^{(1)} & r_{51}^{(2)} & r_{51}^{(3)} & r_{51}^{(4)} \\ r_{52}^{(1)} & r_{52}^{(2)} & r_{52}^{(3)} & r_{52}^{(4)} \\ r_{53}^{(1)} & r_{53}^{(2)} & r_{53}^{(3)} & r_{53}^{(4)} \\ r_{54}^{(1)} & r_{54}^{(2)} & r_{54}^{(3)} & r_{54}^{(4)} \end{bmatrix} \\
 &= [0.30 \quad 0.45 \quad 0.25 \quad 0]
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

3. 三级模糊综合评判

将第二级因素的综合评判结果作为第一级因素集对 Offer 类别的隶属度，构成第一级因素集的模糊综合评判矩阵，再与对应权重系数相乘，获得最终结果：

$$\begin{aligned}
 R &= [B_1 \quad B_2 \quad B_3 \quad B_4 \quad B_5]^T = \begin{bmatrix} 0.1200 & 0.8800 & 0 & 0 \\ 0.4000 & 0.3000 & 0.3000 & 0 \\ 0 & 0.5833 & 0.3200 & 0.0400 \\ 0.1150 & 0.2500 & 0 & 0.6500 \\ 0.3000 & 0.4500 & 0.2500 & 0 \end{bmatrix} \\
 A &= [a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5] = [0.2 \quad 0.2 \quad 0.2 \quad 0.2 \quad 0.2] \\
 B &= A \cdot R = [b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad b_4] = [0.1870 \quad 0.4877 \quad 0.1740 \quad 0.1380]
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

根据结果 b_2 最大，因此该同学应选择的 Offer 类型为高校教职（ V_2 ）。

3.3 设计总结

“毕业生 Offer 适合度评估”基于特质因素理论，即根据同学的特性以及工作的需求，为同学在众多 Offer 中选择最适合自己的工作。为简化分析，将 Offer 分为四类，即国有企业、高校教职、私营企业、自主创业，并从“薪资待遇与发展前景”、“工作强度”、“研究难度”、“工作压力”、“硬性条件”五个角度充分考虑四类 Offer 的异同。该问题可以转化为三级模糊综合评判，共选取 34 个评价指标，根据指标间关系分为三级，其中“日均步数”、“肌电信号”等 12 个指标需要通过传感器获取。

下面对该设计优缺点进行总结：

（1）从“调查获取”和“传感器获取”两个角度充分考虑了 Offer 适合度的影响因素，但未论证因素选取是否合适以及因素之间是否存在相关关系；

（2）传感器选择基于国内外高水平期刊文献的前沿研究，但未比较同一待测量不



同传感器的性能优劣；

(3) 三级模糊综合评判可以将不同因素进行归类，使得指标权重的确定更加简单，且模糊推理过程更加清晰。但由于缺少传感器数据以及隶属度的评判标准，使得隶属度的确定极具主观性。



参考文献

- [1] Liu B, Wang D, Li S, et al. Design and implementation of an intelligent belt system using accelerometer[A]. 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)[C]. 2015: 2043–2046.
- [2] Miao Z, Ge G. Design of Fitness Pedometer Based on Infrared Photoelectric Sensor[A]. 2021 4th International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation (ICMRA)[C]. 2021: 55–59.
- [3] Zainudin M N S, Sulaiman M N, Mustapha N, et al. Monitoring daily fitness activity using accelerometer sensor fusion[A]. 2017 IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)[C]. 2017: 35–36.
- [4] Shoaib M, Scholten H, Havinga P J M. Towards Physical Activity Recognition Using Smartphone Sensors[A]. 2013 IEEE 10th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2013 IEEE 10th International Conference on Autonomic and Trusted Computing[C]. 2013: 80–87.
- [5] Lin C-H, Wang C-C, Chen J-L, et al. Interaction Physical-Activity Housekeeper for Silver-Haired Citizen Using Wireless Sensor and Mobile Healthcare iPhone[A]. 2013 IEEE 37th Annual Computer Software and Applications Conference[C]. 2013: 274–275.
- [6] Lin P-J, Chen H Y. Design and implement of a rehabilitation system with surface electromyography technology[A]. 2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)[C]. 2018: 513–515.
- [7] Jero S E, Bharathi K D, Ramakrishnan S. A Method to Differentiate Fatiguing Conditions in Surface Electromyography Signals using Instantaneous Spectral Centroid[A]. 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)[C]. 2020: 690–693.
- [8] Lin Y, Zhang W J, Koubek R J. Effective attention allocation behavior and its measurement: a preliminary study[J]. Interacting with Computers, 2004, 16(6): 1195–1210.
- [9] Tresanchez M, Font D, Teixido M, et al. Preliminary study of pupil detection and tracking with low cost optical flow sensors[A]. 2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings[C]. 2012: 1251–1254.
- [10] Cernian A, Olteanu A, Carstoiu D, et al. Mood Detector - On Using Machine Learning to Identify Moods and Emotions[A]. 2017 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)[C]. Bucharest, Romania: IEEE, 2017: 213–216.
- [11] Nummenmaa L, Glerean E, Hari R, et al. Bodily maps of emotions[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111(2): 646–651.
- [12] Thayer R E, Newman J R, McClain T M. Self-regulation of mood: Strategies for changing a bad mood, raising energy, and reducing tension.[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1994, 67(5): 910–925.
- [13] Narczyk P, Siwiec K, Pleskacz W A. Precision human body temperature measurement based on thermistor sensor[A]. 2016 IEEE 19th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits & Systems (DDECS)[C]. 2016: 1–5.
- [14] Kim J, Kwon S, Seo S, et al. Highly wearable galvanic skin response sensor using flexible



- and conductive polymer foam[A]. 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society[C]. 2014: 6631–6634.
- [15] Claudino J G, J Gabbett T, de Sá Souza H, 等. Which parameters to use for sleep quality monitoring in team sport athletes? A systematic review and meta-analysis[J]. BMJ Open Sport & Exercise Medicine, 2019, 5(1): bmjsem-2018-000475.