# 选题背景及意义

近年来，步态分析逐渐成为一个研究热点。步态异常可能是受到多种疾病的影响，如偏瘫、中风和帕金森综合征等，人类步态中包含着丰富的运动学、动力学、生理学和心理学信息，因此，步态分析在临床实践和体育运动中发挥着重要作用，它提供有关受试者健康水平信息，可用于健康监测，以验证康复效率、客观评估手术成功率和评估运动效果。当前步态分析主要有基于视觉、基于射频和基于传感器三种方式。在配置和校准良好的情况下，基于高速摄像的光学运动捕捉系统（OMC）的参数估计精度可以达到毫米级别(Sy et al.)。但是这种方式受场地和装置的限制，对日常生活活动监控和步态支持场景具有侵入性，同时实验设备昂贵，无法应用于日常生活中任意环境下的长时间连续监测；无线电发射传感器缺乏高分辨率步态分析的精度，还需要支持基础设施；可穿戴传感器重量轻、价格便宜，可以在不干扰日常生活的情况下收集数据，为长时间连续不断检测人体日常步态提供了新的解决方案。总的来说，可穿戴传感器在步态分析领域具有独特的优势。(修改成定位服务相关)

另外，可穿戴传感器为基于惯性传感器的行人航位推算 (PDR) 系统提供了广泛应用的前景。全球定位系统（GNSS）无法在卫星信号受阻的环境中提供导航信息，例如室内环境、高层建筑周围、森林、矿井、地下停车场、水下等，这就需要其他定位方法来弥补GNSS的这一不足，典型的方法就是PDR，它使用佩戴在人体上的可穿戴传感器收集到的运动信息来测量相对于起点的位置。可穿戴传感器可在任意环境中随身佩戴，所以PDR几乎不受环境的限制，比如可以在浓烟滚滚的建筑物中实时定位消防员的位置，具有很高的应用价值，这使得PDR成为一个研究热点。由此可见，可穿戴传感器在导航定位技术方向也扮演着重要角色。

然而，无论是步态分析还是PDR，都需要步态运动学参数解算，不精确的参数会导致后续操作获得错误信息，得出错误的结论，参数解算精度就成为了亟待解决的问题。本课题拟对步态参数解算进行深入研究，利用安装在下肢的xsens传感器收集加速度计、陀螺仪和磁力计数据，研究基于运动学约束、空间约束的参数优化方法，结合 kalman滤波减少传感器精度、漂移和噪声影响，达到从数据中精确提取步态参数的目的。

# 国内外本学科领域的发展现状与趋势

随着微机电系统（MEMS）的发展，小型化、低功耗、低成本的传感器已广泛集成到移动终端和智能可穿戴设备中，使得基于可穿戴设备的步态分析成为可能。越来越多的研究者致力于

人类步态，步态的多样性，步态的多方面用处，精确的步态参数对疾病诊断康复诊断等的用处。步态分析的方式有哪些及其优缺点，可穿戴传感器在步态分析中的优点和挑战。

行走过程中的姿态和动作叫做步态。步态是四肢运动产生的周期性活动，包括腿、手臂、臀部、脚和躯干的运动。

行走是一项基本的人类活动，在肌肉、神经和大脑共同参与下完成。

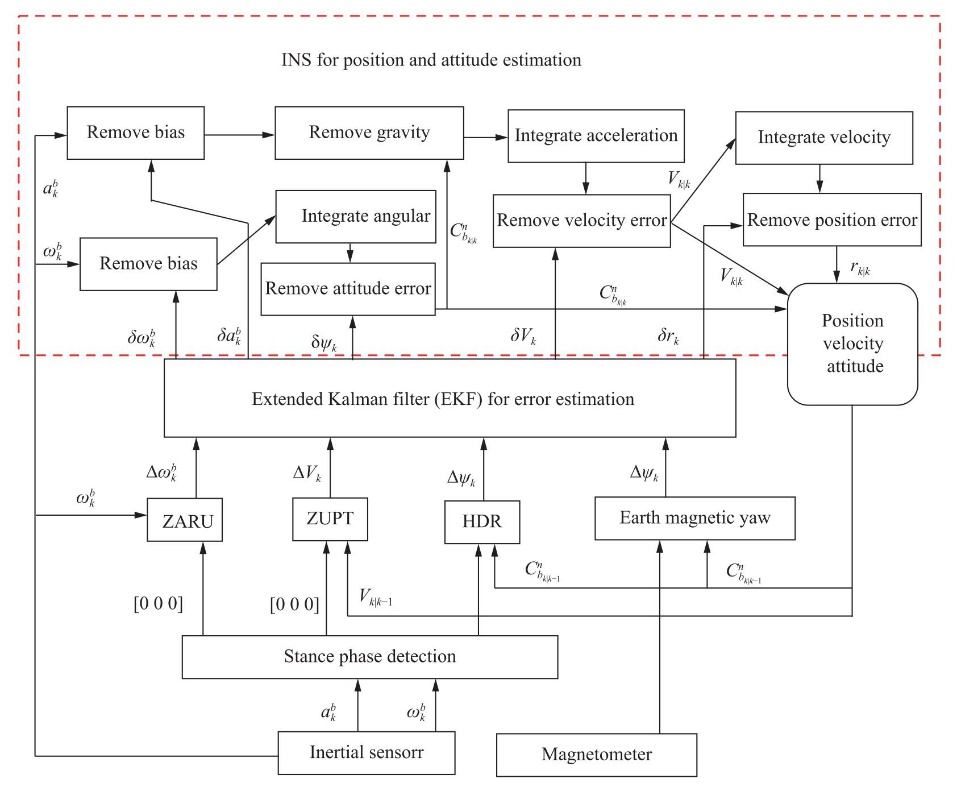
列举步态参数解算文献

创新点：动态速率下正确检测步态周期（利用双脚数据），倒立摆模型计算脚相对位置，一次预测两次更新的卡尔曼滤波（加入相对位置）

进一步：上楼的怎么检测步态周期，加入关节角度研究吗？隐马尔可夫模型能否使用两腿的数据来划分步态周期

# 课题主要研究内容、预期目标

在课题拟采用XSENS传感器自带的三轴加速度计、三轴陀螺仪和三轴磁力计采集不同运动速度下(走路和跑步)的步态数据，利用隐马尔可夫（HMM）、阈值检测（找一篇检测步态周期的新文献，双脚的？）等方法从采集到的加速度和陀螺仪数据中提取步态周期，并结合零速度更新(ZUPT)、零角速率更新(ZARU)、关节角度等约束条件限制计算偏差随时间的增加而增大，然后对基于多传感器和卡尔曼滤波的数据融合方法问题进行研究，以实现步态运动学参数精确解算。本课题总体框架图如下图1所示，主要流程包括：数据采集、数据预处理、步态周期检测、惯导系统误差补偿计算，kalman滤波数据融合解算，实验结果评估等步骤。



图表 1: 一个典型的惯导系统计算姿态信息流程图 (Wu et al. 2019, p. 75)（重画系统图，添加实验结果评估内容等，参考文献）

主要研究内容如下：

## 步态周期检测

1、不同运动速度下（步行、跑步）的步态周期检测方法。在本课题中，一个步态周期定义为两次脚跟触底之间的时间。步态周期的准确检测与时相划分是步态分析的重要依据，同时直接关系到后续步态运动学参数解算的准确度。现有的方法大多是一定环境和条件下采集的波动性小的步态数据，并且采用固定时间长度阈值的步态周期检测方法，要么错把摆动相识别为支撑相，要么直接不加选择地过滤掉所有的短支撑相。因为缺少对动态环境的自适应特性，所以这些方法往往在不同速度下步态周期检测上的表现不佳。因此，如何从动态环境下准确检测出步态周期是本课题需要解决的第一个研究内容。

## 捷联惯导系统中涉及的内容（地球自转，曲率之类的）

2、惯导算法和误差方程研究。近年来，捷联惯导系统被广泛地应用到工业、军事和民用上，越来越多地学生、研究者和技术人员加入到惯导系统的队伍中来。如何从加速度计、陀螺仪和磁力计原始数据中计算出尚未经过误差补偿的姿态角等参数是本研究内容关心的问题。本课题旨在研究捷联惯导数值更新算法(包括姿态更新算法、速度更新算法和位置更新算法)和误差方程(姿态误差方程、速度误差方程和位置误差方程)。为简化相关计算，本课题忽略地球的自转和曲率、地转偏向力力和离心力等因素对惯导系统的影响，使用简化的惯导算法和误差方程。

## Karman滤波器

一次预测两次更新

3、基于惯导误差方程的卡尔曼滤波方法。由于高斯白噪声等因素的存在，传感器直接得到的测量值并不是实际值。在测量方差已知的情况下，卡尔曼滤波能够从存在测量噪声的数据中估计动态系统的状态。卡尔曼滤波主要分为线性卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波(EKF)和无迹卡尔曼滤波(UKF)。本课题根据实际应用要求，选择EKF做为参数解算误差补偿的模型。

4、ZUPT、ZARU等约束条件。

## 预期目标

1、设计一个利用双脚运动数据进行步态周期检测方法，此方法能准确检测出不同运动速度下的步态周期。

# 拟采用的研究方法、技术路线、实验方案及其可行性分析

。同时利用VICON（一种OMC）获得实时步态参数(VICON采集到的步态参数可达到毫米级精度), 最后

## 研究方法

默认IMU的各个轴式正交的。

## 技术路线及实验方案

## 数据预处理

加速度和陀螺仪的误差分为：确定性误差和随机误差。其中，随机误差主要是高斯白噪声，而确定性误差包括偏差(bias)和比例因子(scale factor)，数据预处理部分主要是消除确定性误差，具体公式如下：

其中是原始角速度，是原始加速度，是陀螺仪bias，是加速度计bias，是陀螺仪scale factor,是加速度计scale factor。

加速度计的bias和scale factor可以使用六面标定法来计算，具体操作是：把加速度计的三个轴依次朝上和朝下放置于水平台上并采集一段时间数据，然后通过下面的公式即可完成标定：

其中，l表示轴，up和down分别轴表示朝上和朝下，g是当地加速度。

陀螺仪也使用类似的六面标定法，但是其真实值需要高精度转台提供。磁力计的呢？

### 步态周期检测

（是否涉及两只脚数据来检测步态周期）本课题拟采用两种步态周期检测方式，分别是基于合成加速度幅度阈值和基于隐马尔可夫模型的方法。实验方案大致思路如下所示。

1. 合成加速度幅度阈值方法：

此方法主要用于低速率步态周期检测。主要过程如下：

1. 计算合成加速度：

，其中，，是三轴加速度计输出值。

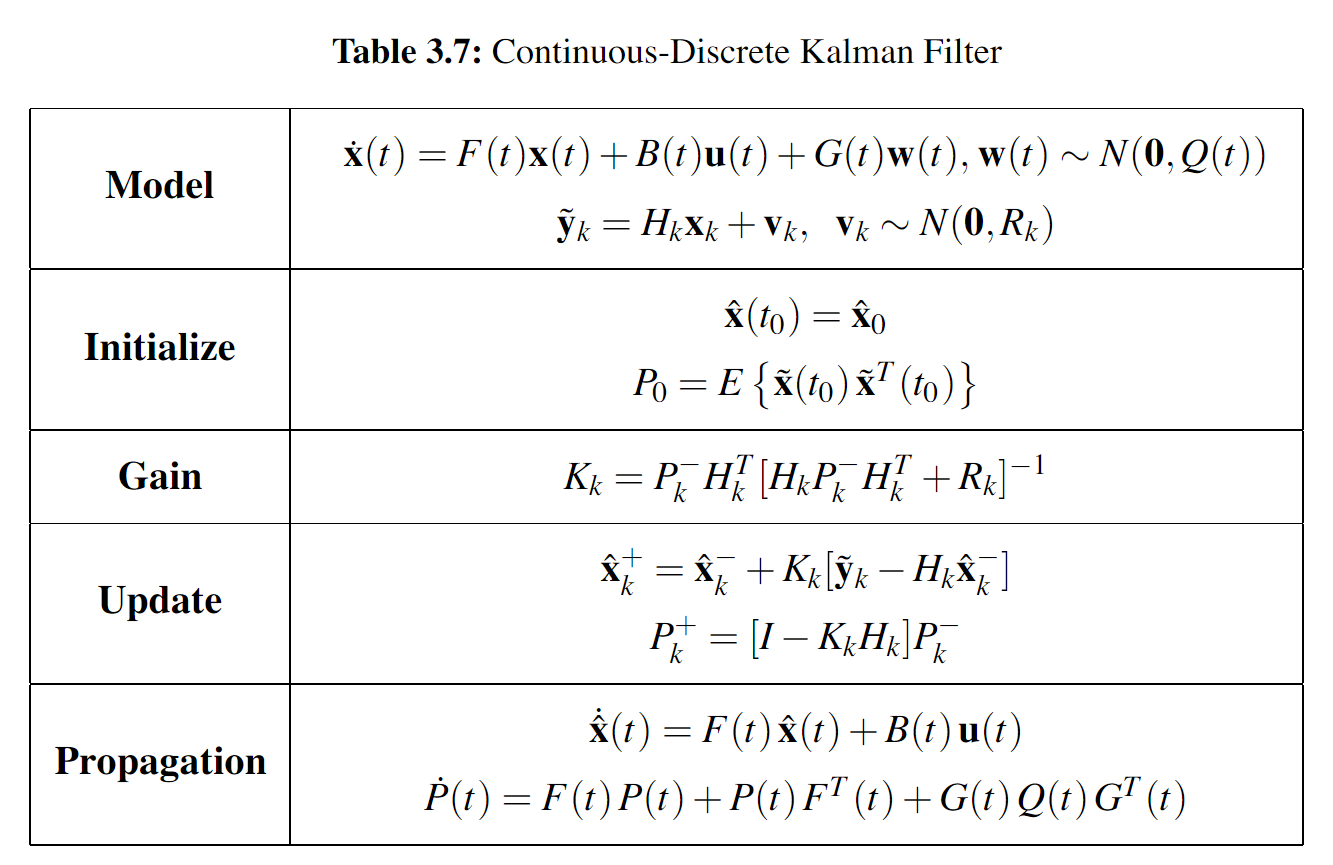
1. 使用截止频率为0.001HZ的高通巴特沃斯滤波器对合成加速度进行滤波从而消除重力因素的影响。然后再利用截至频率为5HZ（5这个参数待确定，这里添加参考文献）的低通巴特沃斯滤波器过滤掉高频噪声得到过滤后的合成加速度。
2. 幅度小于0.05(值有待确定)的连续数据点构成支撑相，大于该值的则标记为摆动相
3. 隐马尔可夫模型方法

此方法主要用于高速率步态周期检测。主要过程可参考文献

### 捷联惯导系统中涉及的内容（地球自转，曲率之类的）

### Karman滤波器

本课题使用EKF。一个典型的扩展卡尔曼滤波器如下图所示。



## 可行性分析

# 所需的研究条件

# 研究工作计划与进度安排

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 时间 | 工作 | 阶段成果 |
| 2021.08-2020.09 | 了解选题背景及意义，明确研究目标、内容及方法、完成关键技术设计，撰写开题报告。 | 开题报告 |
| 2021.09-2021.10 | 研究一种自适应的步态周期分割方法 | 所设计的方法能够准确不同速度下的步态周期 |
| 2021.05-2021.07 |  |  |
| 2021.07-2021.09 |  |  |
| 2022.09-2022.10 | 对前几个月的研究总结。 | 中期报告 |
| 2022.10-2022.01 | 完善每个细节的实现 | 完善每个细节的实现 |
| 2022.01-2022.03 | 整理相关文档，撰写毕业论文。 | 毕业论文初稿 |
| 2022.03-2022.04 | 修改和完善毕业论文，准备毕业论文答辩。 | 毕业论文定稿 |

# 参考文献

Publication bibliography

Sy, Luke; Lovell, Nigel H.; Redmond, Stephen J.: Estimating Lower Limb Kinematics using Distance Measurements with a Reduced Wearable Inertial Sensor Count.

Wu, Yuan; Zhu, Hai-Bing; Du, Qing-Xiu; Tang, Shu-Ming (2019): A Survey of the Research Status of Pedestrian Dead Reckoning Systems Based on Inertial Sensors. In *Int. J. Autom. Comput.* 16 (1), pp. 65–83. DOI: 10.1007/s11633-018-1150-y.