

WMS515 零速修正的行人导航 Matlab

版本 20250518

1. 概述

1.1. 功能

代码包根据一组脚步惯性测量装置 IMU 的数据，计算行人导航。程序语言 Matlab。

直接运行 `instance1.m` 即可。根据陀螺仪和加速度计导航；当判断为零速时，计算卡尔曼滤波，修正速度、姿态、陀螺仪零偏、加速度计零偏；实现零速时限制惯性导航误差的效果。

处理实验数据有较多技巧。建议需要处理实验数据的用户联系本店定作。

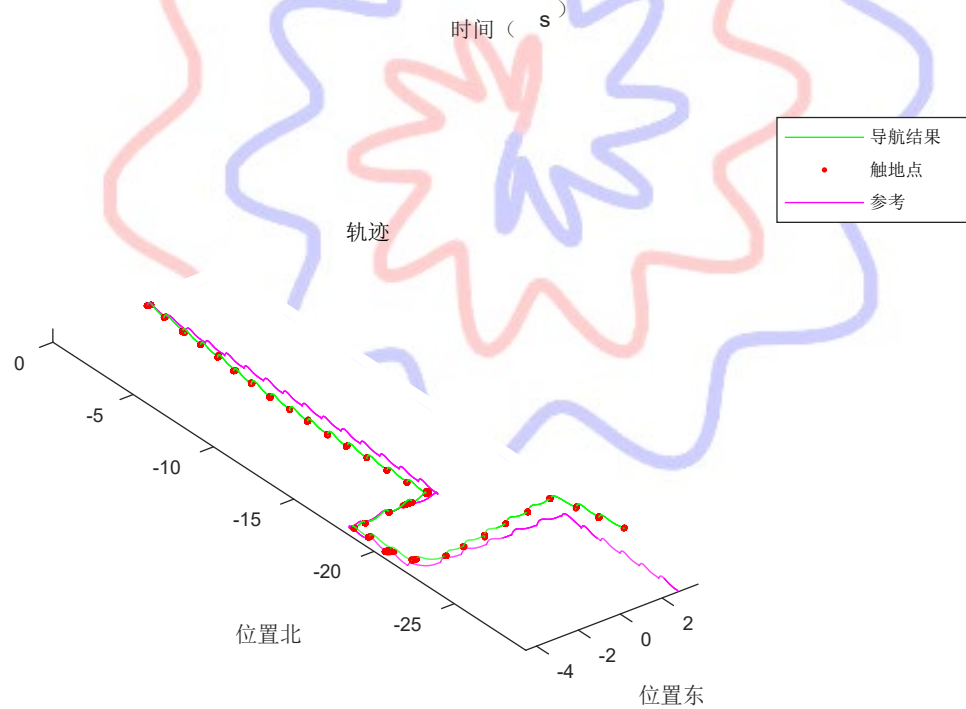
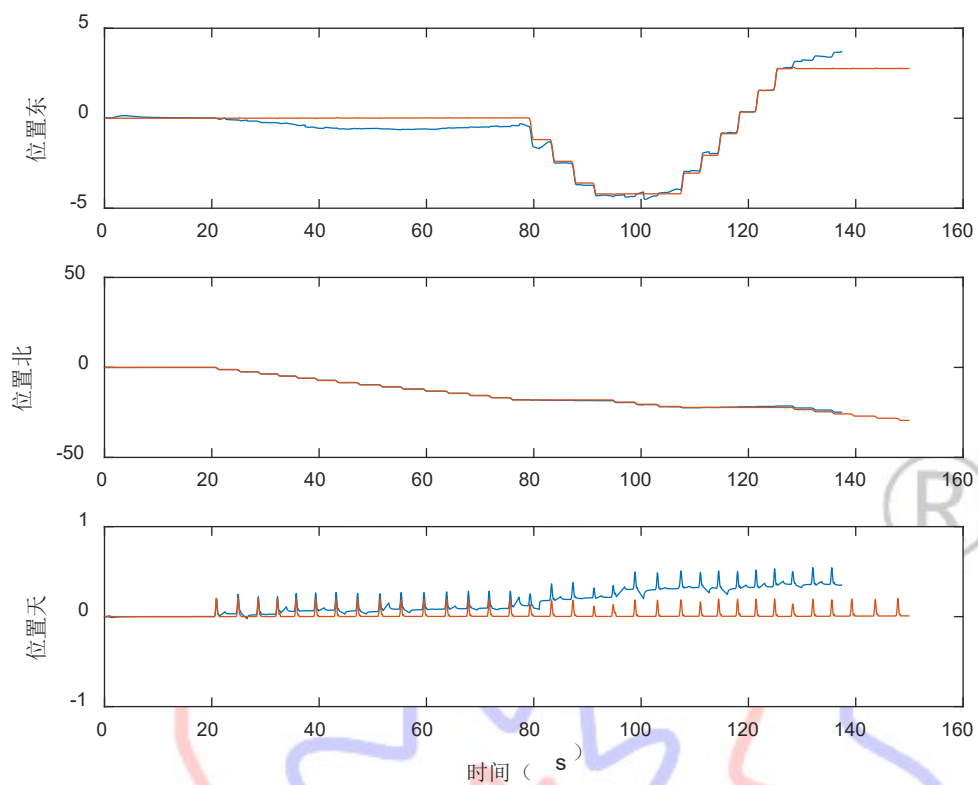
1.2. 部分代码截图

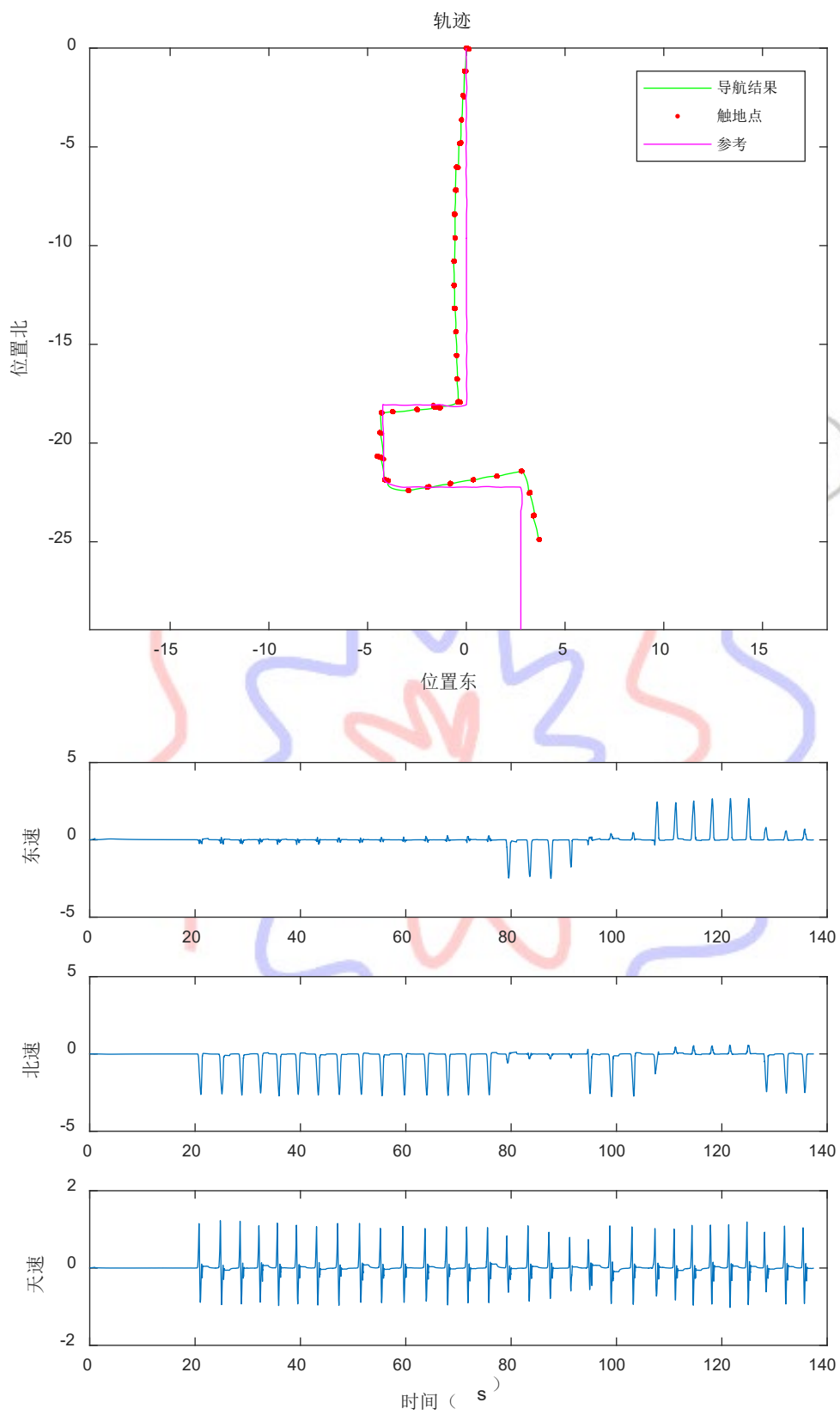
（由于版本迭代，实际代码可能与截图有轻微差别）

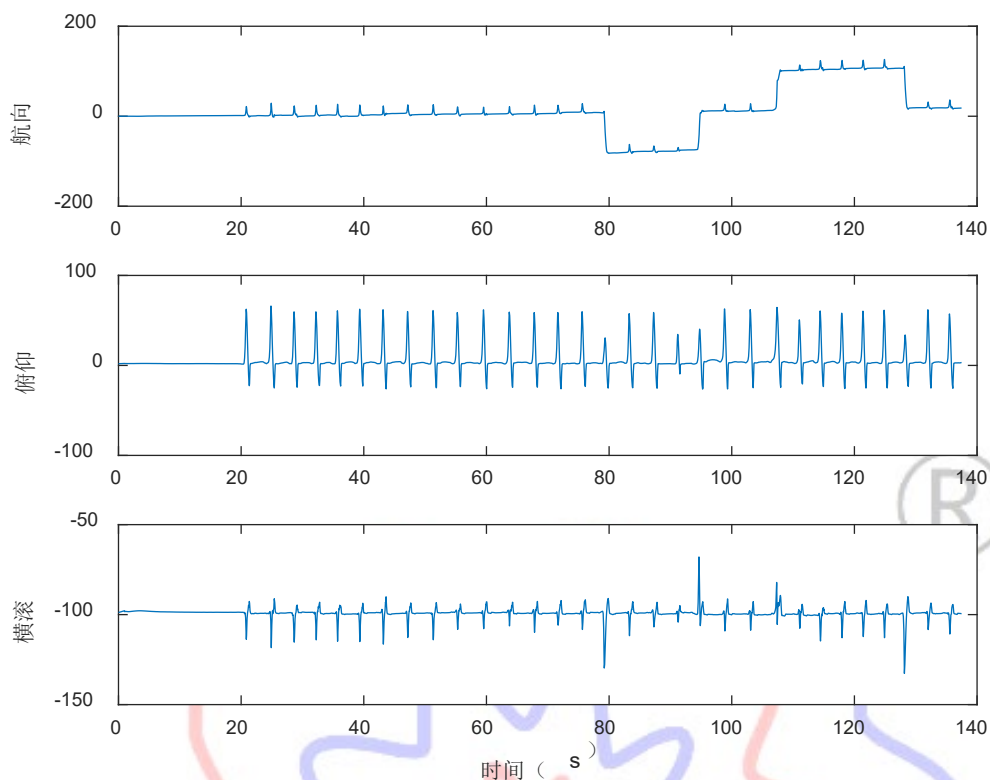
```

52 marker=0;
53 szgy=0;
54 dataA=zeros(L,30);
55
56 %% 导航
57 for k=1:L
58     gyro1=gyro(k,:);
59     acc1=acc(k,:);
60
61     [atti1,speed1,pos1,accn1]=insgyroacc(gyro1,acc1,atti1,speed1,pos1,dflns,biasacc,biasgyro);
62
63     %更新用于卡尔曼滤波的变量
64     F=getfk(atti1,accn1);
65     IFk=eye(15)+Fk*dflns;
66     Phi1=IFk*Phi1;
67     Q1=Q1+Q0*dflns;
68
69     if(k==200)
70         %准备，补偿传感器误差。
71         %注意方向：算惯导的时候，是加零偏。卡尔曼滤波补偿的时候
72         if(nargin==8)
73             acc1=acc+biasacc;
74             gyro1=gyro+biasgyro;
75         else
76             acc1=acc;
77             gyro1=gyro;
78         end
79
80         %一、计算姿态
81         vnbb=gyro1;
82         atti=update(atti,vnbb*dflns); %更新姿态
83         Cbn=cbn(atti);
84
85         %二、计算速度
86         %更新这个数，以便于卡尔曼滤波的部分使用
87         gr=[0.0;-ge];
88         an=accn*gr;
89         speed=speed+dflns*an; %更新速度
90
91         %三、计算位置
92         dpos=speed;
93         pos=pos+dflns*dpos; %更新位置
94
95     end
96
97     %数据保存
98     dataA(k,1:10)=[getoula(atti1)',speed1',pos1',marker];
99     dataA(k,11:13)=[sz,gy,sz];
100     %dataA(k,13:15)=Z1';
101     %dataA(k,16:30)=X1';
102
103     t1=imu(:,1);
104     ref=load('ReferPos.txt');
105     ref=ref(1:30000,:);
106     t2=ref(:,1);
  
```

1.3. 运行结果







2. 工作原理

2.1. 主程序

主程序为 `instance1.m`。直接运行即可。

程序主要工作流程为：

```

设定初值
while(1)
{
    惯性导航计算
    更新状态方程
    if(角速度很小)
    {
        计算卡尔曼滤波
        根据卡尔曼滤波的计算结果补偿惯性导航的误差
    }
    保存数据
}
绘图
  
```

2.2. 惯性导航

计算姿态、速度、位置。

姿态计算采用四元数。四元数定义为

$$\mathbf{q} = \left[\cos \frac{\theta}{2} \quad u_x \sin \frac{\theta}{2} \quad u_y \sin \frac{\theta}{2} \quad u_z \sin \frac{\theta}{2} \right]^T \quad (2-1)$$

其中 θ 是旋转的角度， $[u_x \quad u_y \quad u_z]^T$ 是旋转轴的单位向量。

四元数姿态微分方程为

$$\dot{\mathbf{q}} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & -\omega_x & -\omega_y & -\omega_z \\ \omega_x & 0 & \omega_z & -\omega_y \\ \omega_y & -\omega_z & 0 & \omega_x \\ \omega_z & \omega_y & -\omega_x & 0 \end{bmatrix} \mathbf{q} \quad (2-2)$$

引入 4 维的角增量矩阵

$$[\boldsymbol{\theta}] = \begin{bmatrix} 0 & -\theta_x & -\theta_y & \theta_z \\ \theta_x & 0 & \theta_z & -\theta_y \\ \theta_y & -\theta_z & 0 & \theta_x \\ \theta_z & \theta_y & -\theta_x & 0 \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

四元数更新姿态的公式为

$$\mathbf{q}(t+T) = \left(\cos \frac{|\boldsymbol{\theta}|}{2} \mathbf{I} + \frac{\sin \frac{|\boldsymbol{\theta}|}{2}}{|\boldsymbol{\theta}|} [\boldsymbol{\theta}] \right) \mathbf{q}(t) \quad (2-4)$$

简化的速度和位置计算为

$$\boldsymbol{\omega}_{nb}^b = \boldsymbol{\omega}_{ib}^b \quad (2-5)$$

$$\dot{\mathbf{V}}_{en}^n = \mathbf{C}_b^n \mathbf{f}_b + \mathbf{g} \quad (2-6)$$

2.3. 零速修正

2.3.1. 原理概述

连续计算惯性导航；当获取卫星数据时，采用扩展卡尔曼滤波修正导航误差。

卡尔曼滤波可以理解为：根据方差求权重，做加权平均。

原始的卡尔曼滤波适用于线性系统。因为导航系统不是线性的，所以采用扩展卡尔曼滤波。扩展卡尔曼滤波的主要方法是，选用误差量，利用一阶微分近似为线性系统。滤波得到误差量估计值后，立刻补偿误差。

有的文献把 EKF 算法进一步细化为 ESKF 算法，严格意义上本代码包的方法属于 ESKF 算法。但是大量的文献没有把 EKF 算法进行如此细致的划分，本代码包的算法完全可以说就是 EKF 算法。

2.3.2. 卡尔曼滤波

比较复杂的系统中，一方面系统具有多个自由度，另一方面被测量随着时间而变化。因此用状态空间方程的形式描述系统的关系，并把加权平均数计算方法用矩阵表示，则得到卡尔曼滤波。

系统表示为：

$$\mathbf{x}_k = \boldsymbol{\Phi} \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \quad (2-7)$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H} \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \quad (2-8)$$

其中是 \mathbf{x} 状态量，是希望获得而又难以准确测量的量。式(2-7)描述了被测量的变化关系，这里是离散形式。 \mathbf{z} 表示量测量，是能测量得到但是包含随机误差的量。式(2-8)描述了量测量与状态量的关系。 \mathbf{w} 和 \mathbf{v} 是随机噪声。有的系统中 \mathbf{w} 和 \mathbf{v} 会乘以系数矩阵，但是大多数惯性导航装置的三轴传感器精度大体相当，因此没必要引入标准卡尔曼滤波的 $\boldsymbol{\Gamma}$ 矩阵。

状态量的变化也可以描述为连续方程

$$\dot{\mathbf{x}}_k = \mathbf{F} \mathbf{x}_{k-1} \quad (2-9)$$

如果采样间隔足够小，离散方程与连续方程的关系为

$$\boldsymbol{\Phi} = \mathbf{I} + \mathbf{F}T \quad (2-10)$$

其中 T 为采样间隔， \mathbf{I} 为单位矩阵。

卡尔曼滤波的解算过程就是根据 \mathbf{z} 估计 \mathbf{x} ，具体方法如下：

如果不考虑误差，前后时刻的 \mathbf{x} 具有关系

$$\hat{\mathbf{X}}_{k|k-1} = \Phi \hat{\mathbf{X}}_{k-1} \quad (2-11)$$

$\hat{\mathbf{X}}_{k-1}$ 是前一时刻 \mathbf{x} 的估计值, $\hat{\mathbf{X}}_{k|k-1}$ 是推算的后一时刻的 \mathbf{x} 。但是因为误差的存在, 这个推算并不准确, 需要根据 \mathbf{z} 修正, 因此取

$$\hat{\mathbf{X}}_k = \hat{\mathbf{X}}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k(\mathbf{z}_k - \mathbf{H}\hat{\mathbf{X}}_{k|k-1}) \quad (2-12)$$

其中 \mathbf{K}_k 是反映权重的滤波增益。这个增益由如下方法计算

$$\mathbf{P}_{k|k-1} = \Phi \mathbf{P}_{k-1} \Phi^T + \mathbf{Q} \quad (2-13)$$

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}^T (\mathbf{H} \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1} \quad (2-14)$$

$$\mathbf{P}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}) \mathbf{P}_{k|k-1} (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H})^T + \mathbf{K}_k \mathbf{R} \mathbf{K}_k^T \quad (2-15)$$

其中 \mathbf{P} 、 \mathbf{Q} 、 \mathbf{R} 分别是 $\hat{\mathbf{X}}$ 、 \mathbf{w} 、 \mathbf{v} 的方差矩阵。

上述公式给出了线性系统的卡尔曼滤波方法。非线性系统可以局部微分而近似为线性系统, 采用扩展卡尔曼滤波方法解算。扩展卡尔曼滤波中的 \mathbf{x} 是误差量, 扩展卡尔曼滤波获得误差量后, 及时修正, 使得误差量总维持在较小范围内; 在误差量较小时, 局部微分得到的线性系统与原始的非线性系统基本一致, 卡尔曼滤波能取得较好效果。

代码包采用闭环反馈校正的方式, 滤波后修正惯导误差, 所以标准卡尔曼滤波中的 $\hat{\mathbf{X}}_{k-1}$ 取 0, 简化后的计算公式为

$$\hat{\mathbf{X}}_k = \mathbf{K}_k \mathbf{z}_k \quad (2-16)$$

2.3.3. 状态方程

采用 15 维状态量, 包括位置误差、速度误差、姿态误差、陀螺仪零偏、加速度计零偏各 3 个自由度。

卡尔曼滤波的状态方程矩阵, 简化为

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_3 & \mathbf{I}_3 & \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 \\ \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 & \mathbf{F}_{av} & \mathbf{0}_3 & \mathbf{C}_b^n \\ \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 & -\mathbf{C}_b^n & \mathbf{0}_3 \\ \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 \\ \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 & \mathbf{0}_3 \end{bmatrix} \quad (2-17)$$

2.3.4. 零速修正

一段时间内, 角速度很小, 判断其处于静止状态, 进行零速修正。

零速时, 进行扩展卡尔曼滤波。

观测矩阵为

$$\mathbf{H} = [\mathbf{0}_3 \quad \mathbf{I}_3 \quad \mathbf{0}_3 \quad \mathbf{0}_3 \quad \mathbf{0}_3] \quad (2-18)$$

3. 著作权和服务

3.1. 工作原理参考什么资料

为防止非法转卖, 代码本身注释较少。但是本店提供人工答疑、纸质资料、讲解视频等, 有效帮助用户理解代码。

纸质资料《组合导航应用笔记》, 联系本店微信索要。

讲解视频, B 站 (哔哩哔哩) 搜索 WMSOFT。

3.2. 著作权声明

本店保留著作权。

电路、说明书、全部附属代码 (以下简称本代码包) 仅限于学习和研究用途的少量使用; 包含改编文件、写入嵌入式系统的编译后程序, 所有副本总计不得超过 5 份。

本代码包有偿使用。

严禁转卖或公开发布本代码包的全部或一部分。

大规模应用本代码包需要额外取得本店的授权。

对于违反上述要求的用户，本店有权要求停止销售、撤稿、赔偿损失等。

3.3. 服务内容

赠送 30 分钟语音答疑服务，用于解决较为复杂的疑问。赠送长期文字答疑，用于解决简单的、零散的疑问。加微信答疑。

答疑服务仅限直接购买人本人使用。答疑服务不能转让、不能共享。用户需要保留购买凭证截图。

疑问较多的用户，可以付费购买额外的语音答疑服务。

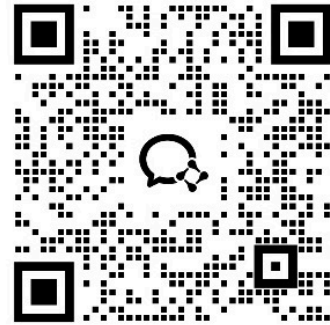
本店可提供数据判读、数据处理、定制化修改代码等服务，但是需要额外收费。

3.4. 联系方式

WMSOFT

组合导航二次开发生态系统

微信扫描二维码添加好友



电子邮箱: braun@wmsoft.wang

网站: <http://wmsoft.xyz>

哔哩哔哩、知乎、闲鱼账号均为 WMSOFT。