

油井救援仿真程序文档

孙海博

April 25, 2019

仿真程序主要用于模拟油井钻头在钻探过程中，各个工作模块的测量结果和误差，以此探究在实际环境下如何让探头更好工作。

1 磁场强度：Magnet 类

单个磁场强度用三维向量 $\vec{B} = (x, y, z)$ 表示，由于传感器会在一段测试时间内得到上万个磁场强度，因此磁场强度运算支持矩阵运算，磁场强度序列用矩阵 $(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})$ 表示。磁场强度的操作方法有任意面投影、加减等操作。磁场强度也可用极坐标表示法来表示，即 $B = f(r, \theta, \alpha)$ ，便于手动操作。

2 磁场分布：MagnetField 类

磁场分布由两部分组成：地磁场和目标井磁场。取北为 x 方向，东为 y 方向，垂直地面向下为 z 方向。

地磁场由实测的固定数据和地磁脉动的模拟叠加而成，随时间变化。由固定数据的测量值，仿真中取值为：

$$\begin{cases} B_x = 29364 \\ B_y = 3013 \\ B_z = 44520 \end{cases} \quad (nT) \quad (1)$$

地磁场的短周期变化，周期范围自约十分之二秒至十几分钟，振幅范围为百分之几纳特至几百纳特，持续时间为几分钟至几小时。地磁场的这种短周期变化，是太阳风对地球磁层的作用，以及磁层内部各种因素相互作用所引起的磁场扰动现象。其模拟函数应是正弦函数的叠加 $B = \sum_{\omega \in \mathbb{R}} \sin \omega t$ 。将在参数表中给出参考值，在调用函数中可供修改。

目标井磁场强度是一个与目标井距离呈指数关系的磁场分布，需要计算某点到目标井的垂直距离，由此计算目标井磁场强度。根据实测数据建模，目标井磁场强度大小为：

$$|B| = \max(11500e^{1-x} - 600, 0) \quad (2)$$

方向为目标井的正方向（假设与 z 轴正方向一致）。

对整个磁场模型的查询，输入为时间序列和相应测量点的坐标序列，输出为磁场强度 Magnet 类型序列。

3 传感器：Sensor 类

在实际情境中，传感器的输出为电压形式，再通过函数变化为磁场强度。仿真中略过磁强-电压-磁强这一冗余步骤，同时将传感器的以电压为单位误差转换为以磁场强度为单位的误差来仿真。传感器需要考虑的误差有系数、白噪声和温度漂移，因此其表示公式为：

$$s(B, t) = k \times B + u_T(T, t) + w(t) \quad (3)$$

其中 B 为真实磁场强度， T 为温度， w 为白噪声， k 为磁场误差系数， k 的值相对于 1 有一定误差。实际上，每个传感器都分为 x, y, z 三轴，每个轴上的白噪声和误差系数都可能不同，因此需要用参数输入。白噪声的大小可定为 $20pT/\sqrt{Hz}$ ，而温度漂移用正比关系模拟。

在仿真过程中，控制中心向传感器输入时间序列和坐标序列，传感器通过上面的模拟磁场分布得到准确值后，叠加上模拟的噪声，得到接近真实值的测量得到的磁场强度序列，上传给控制中心进行调控。

4 控制中心：Control 类

控制中心是接受参数输入、调用各其他模块进行仿真的核心模块。仿真流程如图 1 所示。

之后部分依次介绍流程图中各模块。

4.1 手动设置初始方向

依靠目标磁场定位是在几米以内起作用，因此一开始需要设置正确的初始方向，方能接近目标井的可测量磁场范围，进行精确定位。

4.2 前进 1m

前进的距离 $l = t_{\text{前进时间}} \times v_{\text{前进速度}}$ ，这两个参数均可调整。

4.3 是否接触

判断探头尖端是否在目标井半径内。即 $d_{\text{距离目标井中心轴}} < r_{\text{目标井}}$ 。

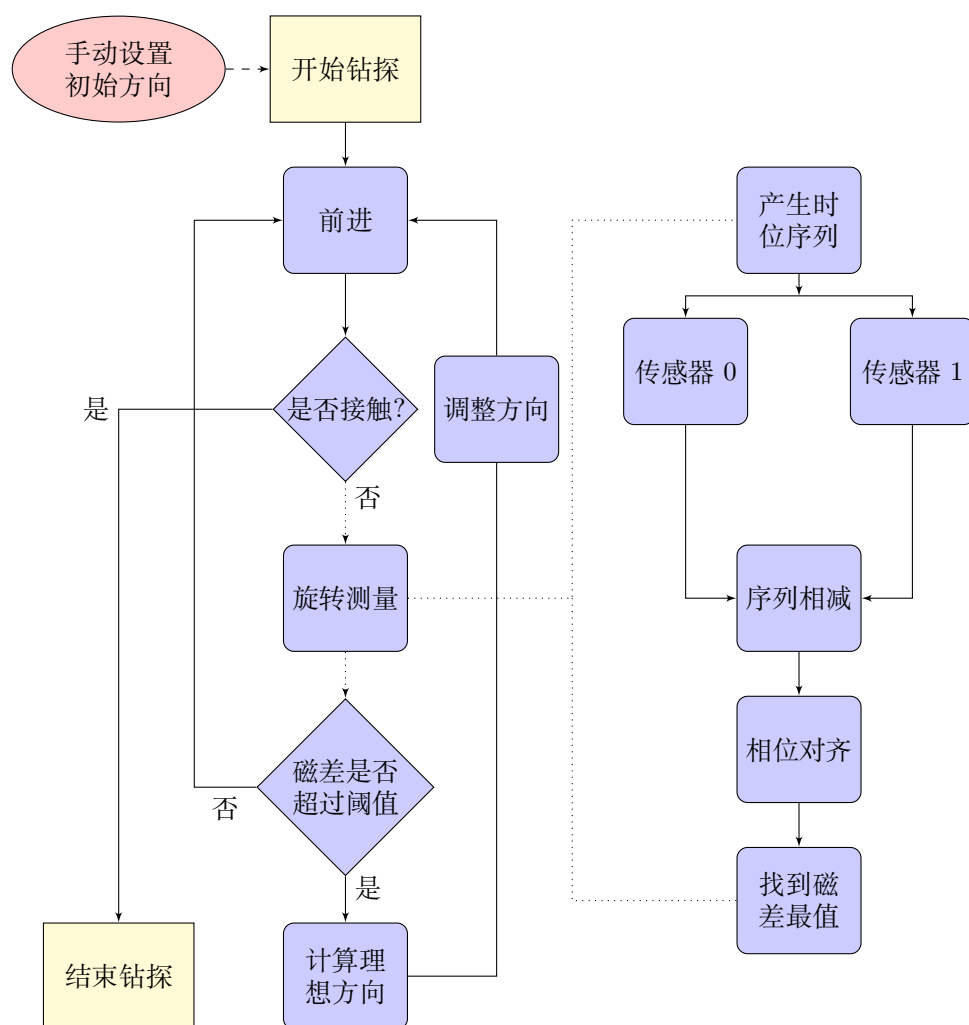
4.4 旋转测量

该步骤包含一系列数据操作，在右边详细列出，以下详细介绍。

4.4.1 产生时位序列

模拟产生时间和位置的序列。采样点的位置、时间由采样频率、转头角速度和采样时间等参数决定。

Figure 1: 流程图



4.4.2 传感器

两个传感器分布在探头两侧，角位移为 180 度。传感器接收采样点信息，输出对应采样点的磁场强度。

4.4.3 序列相减

由于测得的磁场包含地磁场和目标井磁场两部分，地磁场属于干扰信息，不是定位所需。并且由于地磁场存在地磁脉动，因此只能通过两个传感器相减来消去。按照 180 度相位相减，得到的磁差序列是通过探头轴心的，便于计算方向。

4.4.4 相位对齐

测得的磁场序列需要与工具面角序列相对应。在实际情况中，工具面角的测量也会存在误差，称为角度抖动，抖动的方式和角度可通过参数设置。因为角度存在抖动，因此不能直接对应，拟采用如下办法进行：

设原始角度序列为 $S(\theta)$ ，近似为正弦波形；将该序列在相位上平移 90 度，得到 $S(\theta + 90^\circ)$ 。磁差序列也是正弦波形，表示为 $B(\theta)$ 。设有低通滤波器 $LP(s, 2)$ ，滤掉原波形二倍频以上的成分。则

$$\frac{LP(S(\theta + 90^\circ) \cdot B(\theta), 2)}{LP(S(\theta) \cdot B(\theta), 2)} = \Delta\theta \quad (4)$$

真实值 $\theta_0 = \theta - \Delta\theta$

4.4.5 找到磁差最大值

找到磁差序列最大值和对应工具面角和相应方向。

4.5 磁差阈值

旋转测量得到的磁差最大值需要过滤噪声因素，因此需要超过某个阈值才能被认为是有效的差值。阈值在参数表中给出。

4.6 计算理想接触方向

理想接触方向被定义为：在目标井和当前位置确定的平面内，从当前位置沿该方向能够以理想接触角度接触目标井。平面的确定办法是：测得的磁场强度差序列，方向均为目标井产生的磁场方向，与目标井方向一致。最大工具面角所对应的向量指向目标井中轴。这两个向量确定了共面平面。在此平面上，与目标井方向夹角为 α 度的方向即为理想接近方向。

4.7 调整方向

有两种调整方法：渐进法和直接法。渐进法中，方向逐渐调整到最佳方向。直接法中，方向直接调整到当前的理想方向。这种调整交由手动决定。

5 参数表

输入参数如下表所示。

Table 1: 参数表

作用	变量名	示例取值
救援井方位角	rescue_theta	78
救援井井斜角	rescue_alpha	5
0 号传感器	sensor0	Sensor(1.,1.,1., magneticfield,kw=1e-9, u0 = temp_volt, w = white)
1 号传感器	sensor1	Sensor(1.,1.,1., magneticfield,kw=1e-9, u0 = temp_volt, w = white)
目标井半径	radius	0.5
钻进速度	velocity	0.1
救援井入口位置	rescue_loc	np.asarray([[0,10,3]])
角速度	beta	np.pi / 5
角抖动幅值	beta_disturb	1e-3
初始温度	temperature	20
0 号传感器相位	sensor0_theta	R(0)
1 号传感器相位	sensor1_theta	R(180)
传感器轴向距离	sensor_distance	0.72
渐进调整参数	ada_p	0.1
理想接近角度	idea_approaching_angle	R(15)
磁差阈值	threshold	5nT
单次钻进时长	time_step_go	10s
单次测量时长	time_step_measure	100s
采样频率	sampling_frequency	300
目标井入口	target_open	target_open np.asarray([[0,0,0]])
目标井方向	target_direction	angleToVec(target_theta, target_alpha)
目标井方位角	target_theta	70
目标井井斜角	target_alpha	5
角度抖动	theta_white	np.random.normal(scale = beta_disturb , size = length)
滤波器阶数	N_th	5
温度-深度函数	position_to_temp	T0 + 27/1000 * locs.transpose()[2]
地磁脉动	earth_wave(t)	(base * np.sin(2*np.pi / 10 * t)).transpose()
传感器白噪声	white(t, k)	k * np.random.standard_normal(size=len(t))
传感器温漂	temp_volt(T)	0.1*(T-25)