

谷物联合收获机测产系统采样频率优化与试验*

李新成^{1,2} 李民赞¹ 郑立华¹ 张漫³ 王锡久⁴ 孙茂真⁴

(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 青岛农业大学机电工程学院, 青岛 266109;

3. 中国农业大学农业部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083; 4. 桓台县农业局, 淄博 256400)

摘要: 针对谷物测产系统采样频率过高时数据冗余量大、软硬件成本高,而采样频率过低时测产精度和稳定性难以保证的问题,分析了谷物的冲击规律并根据采样定理确定了谷物流量信号的最高采样频率为 50 Hz。数据预处理时,对于高频率采样信号,提出了双阈值滤波均值和算数均值 2 种方法,分析表明双阈值滤波均值法的处理效果优于后者。为考察采样频率对测产精度的影响,进行了不同采样频率的测产试验并提出了频率抽取法,尝试了 1、10、25、50 Hz 4 种采样频率下的总产量建模,并对比了其预测效果,试验结果表明,在最高采样频率范围内,采样频率越高,测产的精度也越高;采用 50 Hz 采样频率时,平均误差最低为 3.04%;采用 10 Hz 以上采样频率时,可保证平均误差不高于 5%。因此,采用 10 Hz 以上的测产系统采样频率是必要的。

关键词: 谷物联合收获机 测产系统 采样频率 产量预测

中图分类号: S225.3; S24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)S0-0074-05

Test and Optimization of Sampling Frequency for Yield Monitor
System of Grain Combine Harvester

Li Xincheng^{1,2} Li Minzan¹ Zheng Lihua¹ Zhang Man³ Wang Xijiu⁴ Sun Maozhen⁴

(1. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

3. Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture, China Agricultural University, Beijing 100083, China 4. Huantai County Agriculture Bureau, Zibo 256400, China)

Abstract: Aimed at the questions caused by unsuitable sampling frequency, such as data redundancy, high cost in hardware and software produced by high sampling frequency and the accuracy and stability which are hardly ensured under the condition of low sampling frequency, the grain impact frequency and sampling theorem were considered, consequently, the maximum sampling frequency was determined at 50 Hz. In data preprocessing, for high frequency sampling signal, two methods were put forward, one was an arithmetic average method, and the other was double threshold filtering mean method. The analysis result showed that the effect of double threshold value filtering and average treatment was better than that of the former. In order to investigate the influence of sampling frequency on yield estimation, the yield estimation tests of different sampling frequencies were carried out, and a frequency extraction method was proposed to generate different sampling signals. Under four kinds of sampling frequency as 1, 10, 25 and 50 Hz, four types of yield estimation models were established, and the prediction effects were also compared. The test results showed that high accuracy of the estimated yield can be obtained with

收稿日期: 2015-10-28 修回日期: 2015-11-15

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA101901)和农业部引进国际先进农业科学技术计划(948 计划)资助项目(2011-G32)

作者简介: 李新成, 博士生, 青岛农业大学讲师, 主要从事农业信息获取技术研究, E-mail: xincheng_li@163.com

通讯作者: 李民赞, 教授, 博士生导师, 主要从事精细农业系统集成与农业信息化技术研究, E-mail: limz@cau.edu.cn

high sampling frequency; using 50 Hz sampling frequency, the lowest average relative error was 3.04%; using sampling frequency higher than 10 Hz, it could ensure the average relative error was not higher than 5%. As a result, it is necessary to adopt at least 10 Hz as the sampling frequency for estimation of grain yield.

Key words: Grain combine harvester Yield measurement system Sampling frequency Yield estimation

引言

农田谷物产量具有空间变异性,谷物产量集中反映了谷物的生长和管理情况,因此获取准确的产量空间分布信息是实施谷类作物精细管理的重要基础。谷物产量信息的实时获取一般通过在谷物联合收获机上安装测产系统来实现。近年来,谷物产量监测系统的研究主要集中于流量传感器减振、信号预处理等方面^[1-4]。

在信号处理方面,谭玉芳^[5]、刘成良等^[6]设计了自适应噪声对消滤波器,降噪效果较好,初步实验结果表明,最大相对测产误差小于4%。但滤波器阶数和收敛因子对滤波的性能有很大的影响。在产量建模方面,Shoji等^[7]提出了一种适用于日本国内收获机的非线性模型简化标定方法,Reinke等^[8-9]也提出了一种综合非线性模型,试验台最大测产误差为4.02%,但模型较为复杂。

在数据采集方面,国外的商品化测产系统采样周期一般为1 s、2 s和3 s^[10],其田间试验的测产误差基本在5.37%~10.11%之间,低于生产厂商给出的精度^[11-12]。虽然造成测产误差大的原因是多方面的,但系统采样频率低时,采样间隔大,采样信号难以完全反映真实的谷物冲击情况是造成误差的重要因素之一。另一方面,系统采样频率高时,测产精度较高,但采样数据冗余量大,势必会增大数据采集处理的软硬件成本^[7,13-15]。

因此,选择合适的采样频率显得尤为重要。为此,本文在确定系统的最高采样频率后,研究不同的采样频率对测产精度的影响,以期通过选择合适的采样频率达到提高测产精度并降低软硬件成本的目的。

1 材料与方法

1.1 谷物流量采集模块

谷物测产系统由工控机、CAN总线数据采集模块、谷物流量传感器等多种传感器及其信号调理电路组成,其中谷物流量等模拟信号的采集硬件组成如图1所示。谷物冲击信号主要集中在低频分量上,因此先对谷物流量信号进行放大和低通滤波以

消除干扰信号,然后利用工控机进行数据采集。数据采集模块型号为广州致远电子股份有限公司生产的iCAN-3800,输入通道为8路模拟量差分输入,转换速率/采样频率最高为100 Hz(8通道轮询),信号分辨率为12位,内部具有信号调理电路^[16]。

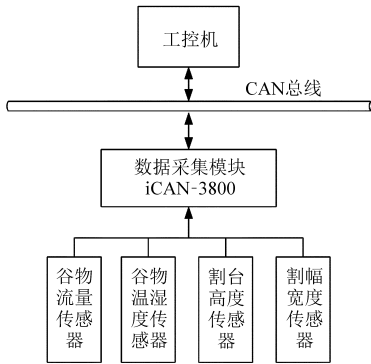


图1 谷物流量采集模块

Fig.1 Diagrams of grain flow acquisition module

1.2 试验方法

测产试验于2015年6月在山东省桓台县逯家村小麦试验田进行,地处东经117.9°,北纬36.9°位置。谷物测产试验机型为东方红4LZ-2.5型自走式谷物联合收获机,割幅2.36 m,最大喂入量2.5 kg/s,收获机作业速度1.1~4.0 km/h。升运器采用刮板运粮方式时,谷物冲击频率一般在15 Hz以下^[17],因此,在信号调理电路中,对流量传感器信号进行了18 Hz低通滤波,然后根据采样定理,确定谷物流量传感器的采样频率为50 Hz。

因受试验农田面积所限,采样频率只设定50 Hz和1 Hz。首先通过50 Hz谷物测产试验,进行了不同频率采样情况下的产量模型标定和验证,以考察不同的采样频率对测产精度的影响。为得到其他频率的采样信号,本文提出了频率抽取法,分别从50 Hz采样信号中抽取25、10、1 Hz谷物冲击信号,进行产量建模分析。频率抽取法如图2所示,对谷物流量信号进行50 Hz采样后,通过2分频得到等效25 Hz的采样信号,通过5分频得到等效10 Hz的采样信号,通过50分频得到等效1 Hz的采样信号。最后,为进一步验证频率抽取法采样建模的可行性,对测产系统进行了1 Hz的实地测产采样试验。

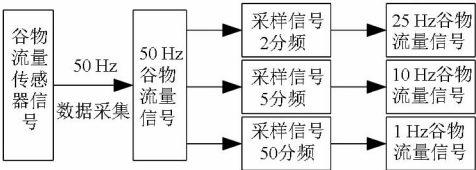


图2 频率抽取法

Fig.2 Diagram of frequency extraction method

2 试验结果

2.1 采样频率为 50 Hz 的测产试验

2.1.1 数据预处理

由于收获机净粮升运器采用刮板送粮方式,传感器的冲击板上存在谷物冲击间隔,因此流量传感器采样时刻与谷物冲击时刻可能不同步,采集信号中含有冲击前或冲击后的信号。另外,地面不平整、收获机振动等原因也会使测量数据产生粗大误差,为确保产量预测的准确性,需要对冲击电压 u_i 进行处理以减小测产误差。根据谷物冲击情况并考虑产量的空间分辨率,在时域中,提出了算数均值法、双阈值滤波均值法 2 种方法,将每 1 s 内的采样信号 u_i 作为一个单元进行数据处理。

算数均值法:将每秒内的所有采样信号累加求均值,作为对应的谷物流量信号,即

$$u_j = \frac{1}{f} \sum_{i=1}^f u_i \tag{1}$$

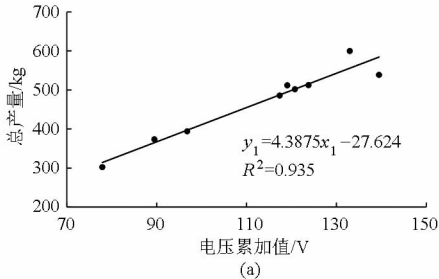
式中 u_j ——算数均值法得到的等效采样电压
 f ——采样频率

双阈值滤波均值法:首先对每秒内的采样信号 u_i 采用双阈值滤波进行剔除,然后再求算数均值,作为对应的谷物流量信号。算法为

$$u_i = \begin{cases} \text{剔除} & (u_i > u_{T1} \text{ 或 } u_i < u_{T2}) \\ u_i & (u_{T2} \leq u_i \leq u_{T1}) \end{cases} \tag{2}$$

式中 u_{T1} ——谷物产量对应的电压信号上限值
 u_{T2} ——谷物产量对应的电压信号下限值
根据实际产量对应的电压信号数值范围,取 $u_{T1} = 1.2 \text{ V}$, $u_{T2} = 0 \text{ V}$ 。

双阈值滤波后,采样单元的等效采样电压为



$$u_k = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i & (1 \leq n \leq f) \\ u_{k-1} & (n = 0) \end{cases} \tag{3}$$

式中 u_k ——双阈值滤波均值法得到的等效采样电压
 n ——双阈值滤波剔除后剩余的采样电压个数
若出现采样值均超出阈值范围的情况,即 $n = 0$ 时,则取等效电压 u_k 为前一次计算得到的等效电压值 u_{k-1} 。

图3 是对于同一试验车次利用 2 种数据预处理方法得到的谷物流量信号实例。从图3 可以看出,2 种数据预处理后的谷物流量信号具有相似的变化趋势,都能反映谷物流量的变化情况,但反映的准确度以及信号的强度和变异程度等不同。

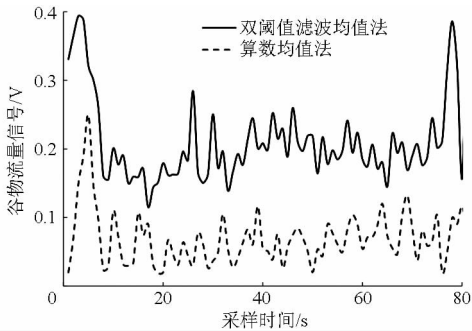


图3 2 种数据预处理后的谷物流量信号对比

Fig.3 Comparison of grain flow signals after different data preprocessing methods

与 2 种预处理后的数据对应的总产量回归模型分别如图4 所示, R^2 分别为 0.935 和 0.522 3,可以看出,双阈值滤波均值法处理后的模型线性度较高。2 种数据预处理后的相关参数指标如表 1 所示。

由表 1 可见,双阈值滤波均值法的谷物流量采样电压均值大于算数均值法处理后的均值,原因是双阈值滤波滤除了谷物冲击间隔时间内的采样信号,并且电压标准差和平均变异系数均小于算术均值法的指标,说明双阈值滤波均值法处理后的数据更为真实地反映了谷物产量差异和谷物流量的变化情况。另外,2 种数据预处理后的产量预测平均误差分别为 3.04 % 和 11.55 %,这进一步

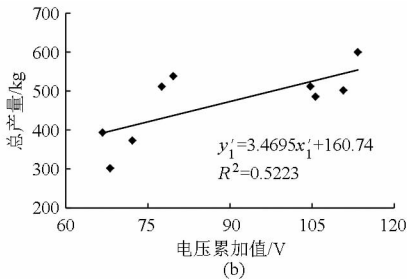


图4 2 种数据处理方法的总产量与等效电压累加值回归模型

Fig.4 Regression models between total yield and equivalent voltage of two kinds of data processing

(a) 双阈值滤波均值 (b) 算数均值法

表 1 不同数据处理方法的参数指标

Tab.1 Indexes of different data processing methods		
参数	双阈值滤波均值法	算数均值法
采样电压平均值/V	0.21	0.11
采样电压偏差/V	0.05	0.07
平均变异系数/%	24.45	63.44
平均测产误差/%	3.04	11.55

说明了双阈值滤波均值法优于算数均值法。因此，下文数据预处理时均采用双阈值滤波均值法。

2.1.2 总产量模型

(1)50 Hz 采样总产量模型

将 50 Hz 采样电压进行双阈值滤波和均值计算后,利用最小二乘法进行线性拟合,可以得到总产量-电压累加值的回归模型方程

$$y_1 = 4.3875x_1 - 27.624 \tag{4}$$

式中 y_1 ——谷物总产量,kg
 x_1 ——50 Hz 采样等效电压累加值,V

(2)模拟 25 Hz 采样总产量模型

将频率抽样法得到的 25 Hz 采样电压进行双阈值滤波均值计算,利用同样的方法拟合,得到 25 Hz

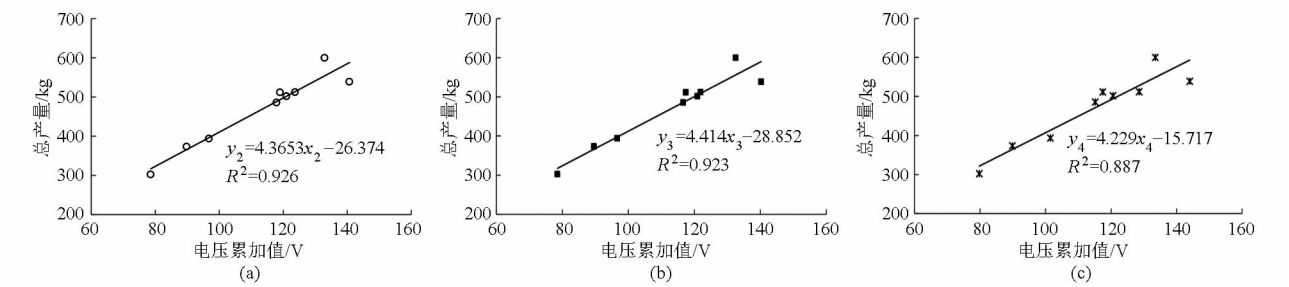


图 5 频率抽样法的总产量与等效电压累加值回归模型

Fig.5 Regression models between total yield and equivalent voltage of frequency extraction method

(a) 模拟 25 Hz 采样 (b) 模拟 10 Hz 采样 (c) 模拟 1 Hz 采样

4 种采样频率下的总产量模型参数指标如表 2 所示。

表 2 不同采样频率测产的参数指标

Tab.2 Indexes of different sampling frequencies				
参数	50 Hz	25 Hz	10 Hz	1 Hz
	采样	模拟采样	模拟采样	模拟采样
决定系数 R^2	0.935	0.926	0.923	0.887
最大相对误差/%	8.53	9.16	8.56	10.17
平均误差/%	3.04	3.21	3.37	5.10

由表 2 可见,50 Hz 采样频率测产的参数指标最优,模拟 1 Hz 采样的指标最差,最大相对误差和平均误差分别比 50 Hz 采样高出 1.64 和 2.06 个百分点;而模拟 25 Hz、10 Hz 采样的指标居中,这表明:采样频率越高,测产的精度也越高,这是因为升运器刮板的最大冲击频率约为 15 Hz,采样频率越高,则采集到的有效谷物冲击数据越多,并且也越能满足采

采样的总产量-电压累加值回归模型(图 5a)

$$y_2 = 4.3653x_2 - 26.374 \tag{5}$$

式中 y_2 ——谷物总产量,kg
 x_2 ——25 Hz 采样等效电压累加值,V

(3)模拟 10 Hz 采样总产量模型

将频率抽样法得到的 10 Hz 采样电压进行双阈值滤波均值计算,并利用最小二乘法拟合,得到 10 Hz 采样的总产量-电压累加值回归模型(图 5b)

$$y_3 = 4.414x_3 - 28.852 \tag{6}$$

式中 y_3 ——谷物总产量,kg
 x_3 ——10 Hz 采样等效电压累加值,V

(4)模拟 1 Hz 采样总产量模型

类似地,将频率抽样法得到的 1 Hz 采样电压进行双阈值滤波和均值计算后,再利用最小二乘法线性拟合,得到其总产量-电压累加值的回归模型(图 5c)

$$y_4 = 4.229x_4 - 15.717 \tag{7}$$

式中 y_4 ——谷物总产量,kg
 x_4 ——1 Hz 采样等效电压累加值,V

样定理。

2.2 实际采样频率为 1 Hz 的测产试验

为进一步验证频率抽取法采样建模的可行性,又对测产系统进行了 1 Hz 的采样测产试验。利用最小二乘法线性拟合得到总产量-电压累加值的回归模型

$$y_5 = 3.9357x_5 - 91.489 \tag{8}$$

式中 y_5 ——谷物总产量,kg
 x_5 ——1 Hz 采样等效电压累加值,V

其总产量与等效电压累加值的回归曲线如图 6 所示。测产试验回归决定系数 R^2 为 0.840 3,其中最大误差 13.15%,平均误差 6.79%,稍高于测产绝对值误差 5% 的允许值范围。

比较图 6 与图 5c 可以看出,实际采样 1 Hz 与前文中频率抽样法的 1 Hz 采样结果基本一致,说明频率抽样法可行,其建模分析结论可信。综合往年

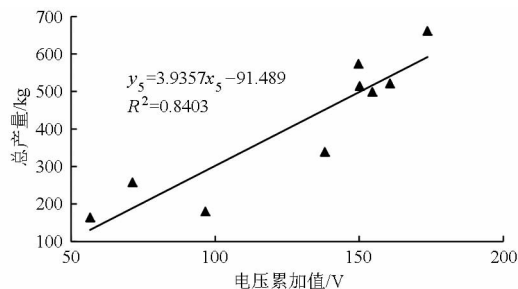


图6 1 Hz 测产试验总产量与等效电压累加值回归模型

Fig.6 Regression model between total yield and equivalent voltage of 1 Hz sampling yield estimation

1 Hz 采样的测产结果^[18-19],将采样频率设定为 1 Hz,虽也可获得较好的测量精度,且测量硬件结构和算法简便,但测产的精度不够稳定,因此,采用 10 Hz 以上的采样频率是必要的。

3 结论

(1) 根据谷物冲击情况和采样定理,将系统的最高采样频率确定为 50 Hz。在采样数据预处理时,提出了 2 种处理方法,其中,双阈值滤波均值法优于算数均值法。此外,还提出了频率抽样法以获取谷物流量的低频率采样信号,并验证了其可行性,从而为获取低频率谷物流量信号提供了一种新思路。

(2) 研究了不同采样频率下的测产精度,试验结果表明,在最高采样频率范围内,采样频率越高,测产的精度也越高;采用 50 Hz 采样频率时,平均误差最低为 3.04%;采用 10 Hz 以上采样频率时,可保证平均误差不高于 5%。因此,采用 10 Hz 以上的采样频率是必要的。

参 考 文 献

- 周俊,周国祥,苗玉彬,等. 悬臂梁冲量式谷物质量流量传感器阻尼设计[J]. 农业机械学报,2005,36(11):127-129.
Zhou Jun, Zhou Guoxiang, Miao Yubin, et al. Damping design of impact-based grain yield sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11):127-129. (in Chinese)
- 姜国微,邱白晶,解金键,等. 谷物质量流量测量装置的设计与试验[J]. 农机化研究,2012(3):155-158.
- Fulton P, Sobolik J, Shearer A, et al. Grain yield monitor flow sensor accuracy for simulated varying field slopes[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2009, 25(1):15-21.
- 胡均万,罗锡文,陈树人,等. 机身倾斜导致谷物流量传感器零点漂移的补偿[J]. 农业机械学报,2009,40(增刊):57-60.
Hu Junwan, Luo Xiwen, Chen Shuren, et al. Zero drift compensation of impact based grain flow sensor for tilted combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(Supp.):57-60. (in Chinese)
- 谭玉芳. 联合收割机测产系统振动信号的抑制研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2010.
- 刘成良,周俊,苑进,等. 新型冲量式谷物联合收割机智能测产系统[J]. 中国科学:信息科学,2010,40(增刊):226-231.
Liu Chengliang, Zhou Jun, Yuan Jin, et al. Yield monitor system based on impact-based grain mass sensor[J]. Scientia Sinica, Information Science, 2010, 40(Supp.):226-231. (in Chinese)
- Shoji K, Itoh H, Kawamura T. In-situ non-linear calibration of grain-yield sensor-optimization of parameters for flow rate of grain vs force on the sensor [J]. Engineering in Agriculture, Environment and Food, 2009, 2(3):78-82.
- Reinke R. Self-calibrating mass flow sensor [D]. Urbana: University of Illinois at Urbana-Champaign, 2010.
- Reinke R, Dankowicz H, Phelan J, et al. A dynamic grain flow model for a mass flow yield sensor on a combine [J]. Precision Agriculture, 2011, 12(5):732-749.
- 张漫,汪懋华. 联合收获机测产系统数据采集与处理的误差分析[J]. 农业机械学报,2004,35(2):172-174.
- 周俊. 冲量式谷物质量流量传感器及智能测产系统研究[D]. 上海:上海交通大学,2005.
Zhou Jun. Research on impacted-based grain mass sensor and intelligent yield monitor [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2005. (in Chinese)
- Mark Moore. An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management [D]. Denmark: Department of Agriculture and Biosystems Engineering, Cranfield University, 1998.
- Shoji K, Miyamoto M. Improving the accuracy of estimating grain weight by discriminating each grain impact on the yield sensor [J]. Precision Agriculture, 2014, 15(1):31-43.
- 丛秉华,周俊. 双平行梁谷物流量传感器振动噪声消除方法[J]. 传感器技术学报,2013,26(3):377-381.
Cong Binghua, Zhou Jun. Vibration noise elimination for a grain flow sensor of dual parallel beam load cells [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2013, 26(3):377-381. (in Chinese)
- 魏新华,张进敏,但志敏,等. 冲量式谷物流量传感器测产信号处理方法[J]. 农业工程学报,2014,30(15):222-228.
- 广州致远电子股份有限公司. iCAN-3800 产品数据手册[M]. 广州:广州致远电子股份有限公司,2011.
- 周俊,刘成良. 平行梁冲量式谷物质量流量传感器信号处理方法[J]. 农业工程学报,2008,24(1):183-187.
Zhou Jun, Liu Chengliang. Signal processing method for impact-based grain mass flow sensor with parallel beam load cell [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(1):183-187. (in Chinese)
- 李新成,李民赞,王锡九,等. 谷物联合收割机远程测产系统开发及降噪试验[J]. 农业工程学报,2014,30(2):1-8.
Li Xincheng, Li Minzan, Wang Xijiu, et al. Development and denoising test of grain combine with remote yield monitoring system [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(2):1-8. (in Chinese)
- 李新成,孙茂真,李民赞,等. 谷物联合收获机自动测产系统产量模型[J]. 农业机械学报,2015,46(7):91-96.
Li Xincheng, Sun Maozhen, Li Minzan, et al. Modeling algorithm for yield monitor system of grain combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7):91-96. (in Chinese)