智能变电站自动化装置网络采样接口方法

在分析合并单元同步原理及采样值报文特点的基础上，提出一种智能变电站智能电子设备测控装置过程层采样同步技术。该方法不同于保护装置中广泛应用的回退插值法，而是依据最优通道采样值报文采样序号，对其他通道进行采样同步处理。其忽略了不同合并单元采样延迟、网络延迟的不确定对采样值同步的影响。在应用该采样同步方法后将同步后的数据再进行插值和计算，经过测试和现场应用结果表明，该方法适用于稳态测量采样值计算的数据预处理。

刘东升[1,2] 檀 永[1,2] 夏成林[1,2]/1.南瑞集团公司（国网电力科学研究院）
2.国电南瑞科技股份有限公司

刘东升/工程师

关键词/Keywords
智能变电站·
测控装置·
采样同步·
拉格朗日插值·

0 引言

随着智能电网的发展，智能变电站的兴建成为当前变电站建设的主流。智能变电站中智能电子设备（Intelligent Electronic Device，IED）（如数字化保护测控装置、数字化电能表）需要接收过程层装置合并单元（Merging Unit，MU）发送的采样值（Sampled Value，SV）报文来实现测量值的计算。

合并单元发送的SV报文传输方式分为点对点和组网两种[1-2]。当前现场应用中保护装置一般采用点对点方式传输。它不经过交换机，且网络结构简单，可以获得稳定的采样延时。但这种方法限于当前交换机硬件性能不足以及交换机通信协议栈的“转发－缓存”机制。若采用组网方式，则当网络压力较大时，并不能保证固定的延迟时间，而保护装置必须是可靠和稳定的，否则会影响电网安全[3]。所以保护装置多采用点对点方式接收SV报文，装置能够从报文中获取准确的通道延时，再减去保护装置接收采样数据的内部延时，可得到原始数据准确的采样时刻。该方法保证了保护逻辑的准确动作，也称为回退插值法[4]。但组网方式是智能变电站通信网络发展的趋势，它灵活可配能够方便地实现数据共享，更加适合变电站独立分层的设计需求。所以当前这种方式是其他IED装置（如测控装置）接收SV报文的主要方式。

但是在SV组网方式中，报文经过交换机后的延时抖动是不可确定的。实际组网中，过程层交换机最多两级级联，一般交换机延迟最大为250 μs，两级最大总延迟可达到500 μs。这样不同MU之间可能造成最大约1 ms的时间差。而从站内实际运行情况看，仍存在2 ms左右延迟的情况，但其均符合IEC 61850－7－2中规定的延迟极值应小于3 ms的要求[5]。

这样的时间延迟不确定情况会导致500 kV中断路器MU与边断路器MU实际发送到测控的SV报文不同步，从而造成线路电流计算不准确，给电网运行带来安全隐患。所以有必要对多合并单元采样数据同步和计算方法进行研究。下面介绍一种采样序号实现的同步方法，该方法基于SV报文特点使用软件方式实现，其能够较为方便地实现采样同步。

1 MU采样

通过光纤以太网，MU可以为保护、测控、计量、录波和同步相量测量装置等IED设备提供符合IEC 61850－9－

国家自然科学基金资助项目（61233007），国家电网公司科技项目“智能变电站自动化设备标准化技术研究”。

2规范的SV报文，实现点对多点的数据共享。过程层设备MU成为站内重要的智能设备。MU基于外部输入的同步信号，如秒脉冲（PPS）、B码（IRIG－B）实现内部时钟同步，进而使装置内部各路A－D转换器同步进行采集[6-7]。

对时秒脉冲示意图如图1所示。t_1时刻，MU将采样序号（smpCnt）置0，再根据设置的采样率按整秒进行等间隔重采样，smpCnt依次递增，直到下一次秒脉冲到来t_2时刻再次翻转为0。

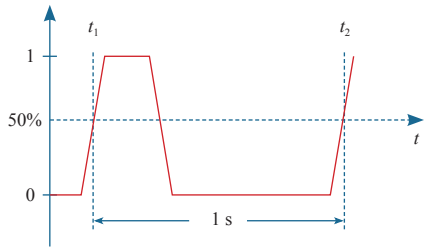

图1　对时秒脉冲示意图

2　SV报文

在国内MU输出一般为标准的IEC 61850－9－2报文格式，图2为典型的SV报文格式，其结构是按照ISO/IEC 8802－3标准构建的帧结构。采样值和关键信息被包含在应用协议数据单元（Application Service Data Unit，APDU）中。

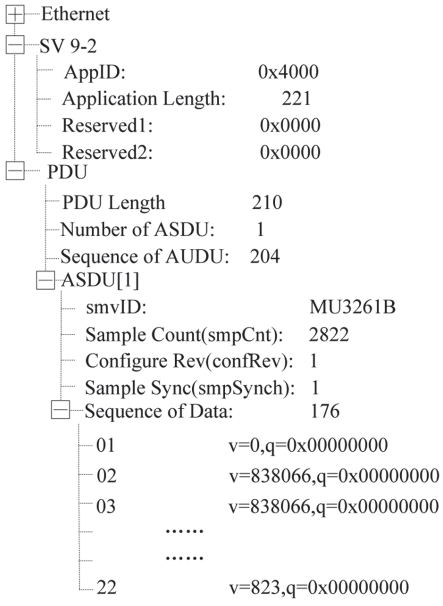

图2　典型SV报文格式

smpCnt的数据类型是Unsigned Short，规范要求其值为0～3999，当采集到新的采样值时，该值加1，若采样同步标识（smpSynch）置1，即采样值被同步时，smpCnt计数器在每个整秒清零。

采样值序列（Sequence of Data）包含具体各个通道的采样值和品质，第一个通道（01）一般定义为通道采样延时，其他通道依据合并单元建模不同可被定义为测量电流、保护电压等。

3　SV同步技术

智能变电站内大部分IED装置（如测控装置）一般采用“三层两网”的组网方式。如在3/2接线方式下，一般由两台MU分别提供边断路器电流和中断路器电流的采样值，经组网交换机接入测控装置计算线路电流和功率。但在较为复杂的组网方式下，采样延迟时间并不能够得到保证。而以采样值序号实现的采样同步方法能够较方便地解决同步问题。

3.1　数据结构的建立

基于现场测量应用需求，稳态测量的测控装置对绝对时间并没有要求，而是只需要保证采样数据在同一个时间断面上即可通过同步SV报文中的smpCnt值实现采样值的同步。具体实现原理如下：在实时数据处理中，通常采用的数据结构为先进先出的循环队列结构，它能够保证数据的完整性和可靠接收。所以可以基于队列思想实现对各个采样值通道的存储。

存储一个采样值的数据结构如下：

```
typedef struct
{
 int sampleValue;
 unsigned short svQ;
 unsigned short seqNum;
}SampleStr;
```

存储一个采样值通道的数据结构如下

```
typedef struct _RawBuf
{
 SampleStr svBuf[SV_BUF_LEN];
 unsigned short front;
```

```
    unsigned short rear;
    unsigned short size;
} RawBuf;
```

存储多个采样值通道的数据则定义数组为：RawBuf YcDataChannel[CH_NUM]。采样值数据结构中seqNum存储SV报文中的smpCnt，从而可以获得该采样序号下对应的采样值。

3.2 基准SV控制块的选择

假设测控装置接收采样值序号不同，依据SV报文规范可知，新采样值的序号较大，从而可以得出序号较大的采样值应该等待序号较小的采样值。

对需要同步的采样值通道按采样值序号从大到小排序，以序号较大的通道依次对其他通道序号进行比较，检查该通道序号差值是否在可同步范围内，若超过同步限定阈值，则不进行同步处理。否则，使用下文提出的同步方法实现采样同步处理。

3.3 采样同步的实现原理

假设两个MU不同步，存在采样序号差，如图3a所示，序号相差为2。依据基准SV控制块选择标准，应选择序号较大的MU为同步基准，图中选择MU2。程序中设置序号差阈值为16，由于序号差在程序设定的范围内，所以检查MU1缓存中是否有点号25，若有则可执行图3b，否则逻辑结束，等待下一次采样。图3b表示采样新数据后，可以进行采样对齐操作。执行图3c逻辑，调整通道队列指针头，可实现基于采样序号的采样同步。最后将对齐后的数据送至DSP缓冲区等待计算。

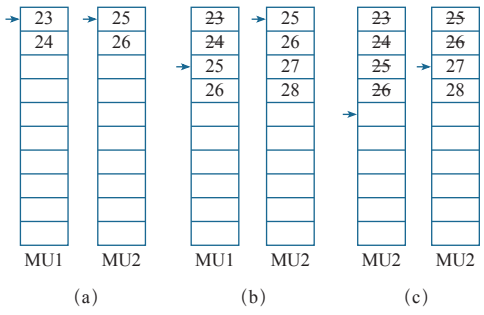

图3 采样同步实现示意图

程序中实现的主要处理流程示意图如图4所示。

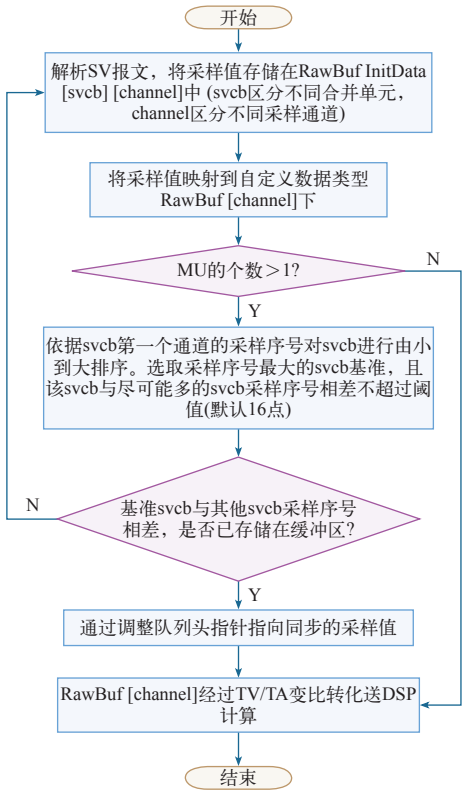

图4 采样同步程序流程

4 线性拉格朗日插值法

在传统变电站中IED装置的数据处理算法已经较为成熟。智能变电站中针对该算法接口的特点只需对MU发送的SV报文进行预处理即可。插值算法是由已知数据构建新数据的一种重要数据工具。在变电站IED装置中，线性拉格朗日插值算法以简单、稳定和实时性高的特点被广泛应用[8-10]。

拉格朗日插值表达式为

$$P_n(x)=\sum_{k=0}^{n}\left(\prod_{\substack{j=0\\ j\neq k}}^{n}\frac{x-x_j}{x_k-x_j}\right)y_k \qquad (1)$$

由式（1）可以看出，参与插值的顺序排列离散数据点个数n越大，其拟合曲线的程度越好，插值结果准确度越高。但是n越大，数据窗越长，数据接收等待时间也越长，数据运算量会随之以指数倍增加。而且在实际应用中发现，n值越大，数值稳定性越差。因此，实际工程中大多采用线性插值。

当$n=1$时，代入式（1）得

$$P_1(x)=\frac{x-x_1}{x_0-x_1}y_0+\frac{x-x_0}{x_1-x_0}y_1 \qquad (2)$$

从式（2）中容易看出，只需确定x的位置即可解出x对应的函数值$P_1(x)$，即为插值点。MU在额定频率下每周期发送80点，若频率有偏移，设每周期发送M点采样值，插值后为64点，则插值间隔为$M/64$。插值算法中采样频率参数（f）由基于定间隔采样的相量校正算法的频率计算模块求解[11]。MU为4 000点/s定间隔采样不变，可得每周期间隔：$dt=4\ 000/(f\times 64)$。插值示算法意图如图5所示。图中，y为插值点；x的值为dt；（x_0,y_0）、（x_1,y_1）为插值点y两侧的原始数据。

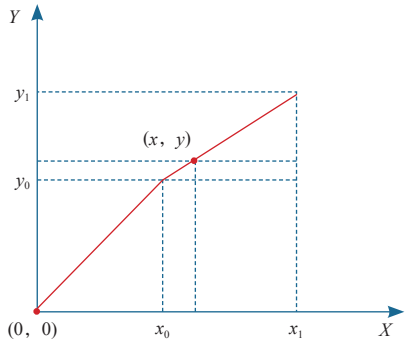

图5　插值算法示意图

由直线方程亦可推导出式（2），对式（2）整理可得

$$y=\frac{x_1-x}{x_1-x_0}y_0+\frac{x-x_0}{x_1-x_0}y_1 \qquad (3)$$

在实际程序设计中，y为变量interData；x_1-x_0为两个原始数据距离，值为1；x应在x_0与x_1之间，即$x+dt$取小数部分赋值给变量PositionDt；y_0与y_1为y相邻两个原始数据m、n。具体实现方式如图6所示。

将插值后所得64点数据存储在缓冲区，送IED装置的数据处理算法即可解得电压、电流等电参量。

5　试验验证与分析

使用博电PNF800数字式继电保护测试仪对该算法的测控装置进行测试。通过对测试仪采样延迟参数的设置获得不同采样序号的SV报文，从而

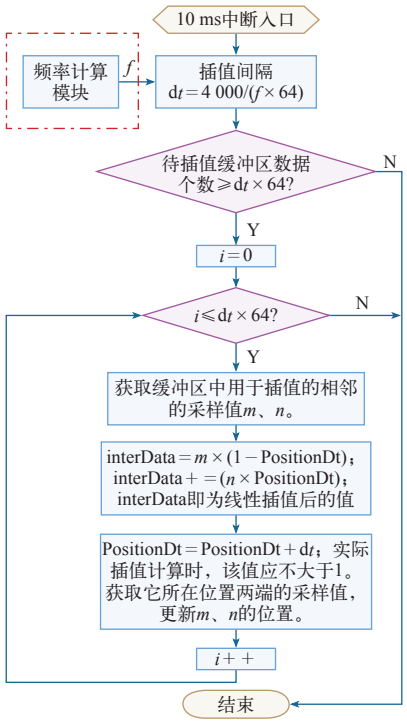

图6　插值算法程序流程

模拟实际报文的延迟。设置误差阈值16点，采样序号同步方法测试数据如下表所示。通过表中可以看出，使用该同步算法后采样值序号误差不超过16点时能够取得很好的同步效果。

表　采样序号同步方法测试数据

序号误差	电流/A		和电流/A	
	边断路器	中断路器	未同步	同步
1	1.000	1.000	1.998	2.000
4	1.000	1.000	1.975	2.000
12	1.000	1.000	1.782	2.000
15	1.000	1.000	1.663	2.000
16	1.000	1.000	1.618	2.000
17	1.000	1.000	1.571	1.571

6　结束语

本文在分析了现有智能变电站组网方式下存在测控装置接收多个MU的SV报文时间延迟不固定的现象，提出了一种采样数据同步及数据接口的方法。经过试验和变电站现场运行验证，该方法通过软件方式实现，简单可行，且运行稳定。在目前SV采样路径延时测量技术尚未成熟及其相关

(下转第65页)

网的故障定位新方案 [J]．电网技术，2013，37 (6)：1645-1650．
[7] 刘凯，李幼仪．主动配电网保护方案的研究 [J]．中国电机工程学报，2014，34 (16)：2584-2590．
[8] 康龙云，郭红霞，吴捷，等．分布式电源及其接入电力系统时若干研究课题综述 [J]．电网技术，2010，34 (11)：43-47．
[9] 张惠智，李永丽．光伏电源接入的配电网短路电流分析及电流保护整定方案 [J]．电网技术，2015，39 (8)：2327-2332．
[10] Ma Jing，Ma Wei，Wang Xi，et al．A new adaptive voltage protection scheme for distribution network with distributed generations [J]．Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering，2013，36 (4)：142-151．
[11] 陈晓龙，李永丽，谭会征，等．含逆变型分布式电源的配电网自适应正序电流速断保护 [J]．电力系统自动化，2015，39 (19)：107-112．
[12] 马静，王希，米超，等．含分布式电源的配电网自适应保护新方法 [J]．电网技术，2011，35 (10)：204-208．
[13] 孙景钌，李永丽，李盛伟，等．含逆变型分布式电源配电网自适应电流速断保护 [J]．电力系统自动化，2009，33 (14)：71-76．
[14] 谭会征，李永丽，陈晓龙，等．带低电压穿越特性的逆变型分布式电源对配电网短路电流的影响 [J]．电力自动化设备，2015，35 (8)：31-37．
[15] 张惠智，李永丽，陈晓龙，等．具有低电压穿越能力的光伏电源接入配电网方向元件新判据 [J]．电力系统自动化，2015，39 (12)：106-112．
[16] 朱玲玲，李长凯，张华中，等．含分布式电源的配电网方向过流保护 [J]．电网技术，2009，33 (14)：94-98．

（收稿日期：2017－10－11）EA

(上接第25页)

标准不完善情况下，变电站内组网方式下数据采样同步和接口技术仍然是IED装置研发人员面临的关键问题之一。

参考文献

[1] 国家电网公司．Q/GDW 383—2009 智能变电站技术导则 [S]．
[2] 樊陈，倪益民，窦仁辉，等．智能变电站过程层组网方案分析 [J]．电力系统自动化，2011，39 (18)：67-71．
[3] 刘井密，李彦，杨贵．智能变电站过程层交换机延时测量方案设计 [J]．电力系统保护与控制，2015，43 (10)：111-115．
[4] 冯亚东，李彦，王松，等．IEC 61850-9-2点对点采样值传输在继电保护中的实现与应用 [J]．电力系统自动化，2012，36 (2)：82-85．
[5] IEC 61850 Communication networks and systems in substations [S]．2003．
[6] 徐文佳，赵伟，肖勇，等．数字化变电站中实现电压电流同步的合并单元 [J]．电测与仪表，2015，52 (1)：1-7．
[7] 王长瑞，张雯，刘军娜．模拟量输入式合并单元测试仪的研制 [J]．电测与仪表，2015，52 (11)：79-82．
[8] 徐广辉，李友军，王文龙，等．数字化变电站IED采样数据同步插值的设计 [J]．电力系统自动化，2009，33 (4)：49-51．
[9] 庞福滨，刘玮，袁宇波，等．采样值报文抖动对基于线性插值理论的电子式互感器数据同步算法的影响研究 [J]．电测与仪表，2016，53 (7)：66-73．
[10] 周斌，鲁国刚，黄国方，等．基于线性Lagrange插值法的变电站IED采样值接口方法 [J]．电力系统自动化，2007，31 (3)：86-90．
[11] 李建，谢小荣，韩英铎．同步相量测量的若干关键问题 [J]．电力系统自动化，2005，29 (1)：45-48．

（收稿日期：2017－06－14）EA