



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110907933 B

(45) 授权公告日 2022.12.27

(21) 申请号 201911176975.9

(22) 申请日 2019.11.26

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110907933 A

(43) 申请公布日 2020.03.24

(73) 专利权人 西安空间无线电技术研究所
地址 710100 陕西省西安市长安区西街150号

(72) 发明人 宋广南 李一楠 卢海梁 杨小娇
李鹏飞 王佳坤 何征 吕容川
李浩

(74) 专利代理机构 中国航天科技专利中心
11009
专利代理师 王卫军

(51) Int.Cl.
G01S 13/90 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 1234935 A, 1999.11.10
CN 109239699 A, 2019.01.18

CN 2741059 Y, 2005.11.16

WO 2017216578 A1, 2017.12.21

WO 2012120137 A1, 2012.09.13

US 5579335 A, 1996.11.26

CN 102882814 A, 2013.01.16

CN 107782993 A, 2018.03.09

李恩群. 多通道信号处理机研制.《中国优秀硕士学位论文全文数据库》.2011, (第S1期), 第I137-71页.

涂媛. 综合孔径辐射计空间去相关效应分析研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 信息科技辑》.2017, 第I140-434页.

Asif, M;Guo, XZ;Miao, JG. An FPGA Based 1.6 GHz Cross-correlator for Synthetic Aperture Interferometric Radiometer.《Progress in Electromagnetics Research Symposium》.2018, 第1078-1085页.

马腾, 吴琼之, 廖春兰. 基于FPGA的多通道综合孔径辐射计数字相关器.《数据采集与处理》.2012, 第27卷(第S1期), 第116-119页.

审查员 张蜜儿

权利要求书2页 说明书4页 附图1页

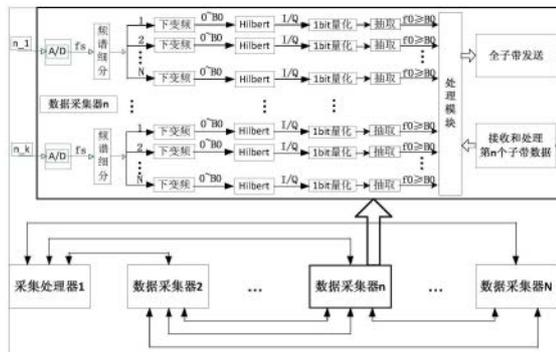
(54) 发明名称

一种基于分布式的综合孔径相关处理系统
及方法

(57) 摘要

一种基于分布式的综合孔径相关处理系统
及方法, 属于遥感技术领域。本发明中若干个采集处理器的每一个都包括若干数据通道支路、发送模块和接收处理模块, 每个数据通道支路的输入端连接一个信号通道, 并通过发送模块将经数据通道支路处理的信号发送至其他采集处理器; A/D采样器接收通道信号进行同步采样后, 频谱分离器根据采集处理器的数量将通道信号频谱等分为对应数量的子带; 每个数据处理支路接收一个子带的数, 依次进行下变频、I/Q变换、量化和抽取数据后, 经总线发送至发送模块; 所述接收处理模块接收其他采集处理器中的一个发

送的数据。本发明把原来由中央处理器承担的相关处理任务分担给各个采集器, 使每一台“采集器”变成“采集处理器”。



CN 110907933 B

1. 一种基于分布式的综合孔径相关处理系统,其特征在於:包括两两相互连接的若干采集处理器;

每个采集处理器包括若干数据通道支路、发送模块和接收处理模块,每个数据通道支路的输入端连接一个信号通道,输出端通过总线与发送模块连接,并通过发送模块将经数据通道支路处理的信号发送至其他采集处理器;

所述数据通道支路包括A/D采样器、频谱分离器和若干数据处理支路;所述A/D采样器接收通道信号进行同步采样后,频谱分离器根据采集处理器的数量将通道信号频谱等分为对应数量的子带;每个数据处理支路包括下变频器、I/Q变换器、量化器和抽取器,每个数据处理支路接收一个子带的的数据,依次进行下变频、I/Q变换、量化和抽取数据后,经总线发送至发送模块;

所述接收处理模块用于接收其他采集处理器中的一个发送的数据,并进行处理,具体地,(1) 每台采集处理器对接收到的所有数据进行解析,加上自身产生的数据,每台数据采集器需要处理 $N*k$ 通道的数据,每台采集处理器对 $N*k$ 通道的数据进行两两相关运算并对相关结果进行积分,积分周期 T 为预先设定值;其中, N 为采集处理器数量, k 为每台采集处理器通道数;

(2) 由去相关系数 $\rho = \rho_0 * \text{sinc}(B*\tau)$ 公式可以看出,对两个固定通道来说,在通道时延 τ 为固定值,则由于通道带宽由原来的 B 变成了 $B_0 = B/N$;

(3) N 台采集处理器在每个积分周期 T 下传一次相关计算结果至处理计算机,处理计算机对 N 台采集处理器下传的 N 个子带的计算结果进行累加平均,就能得到系统真实的相关计算结果: $C = (C_1 + C_2 + \dots + C_N) / N$,其中 $C_1 \sim C_N$ 分别为 N 台采集处理器的相关计算结果。

2. 根据权利要求1所述的一种基于分布式的综合孔径相关处理系统,其特征在於:所述抽取数据后的采样率 $f_0 \geq B_0$;其中, B_0 为子带带宽。

3. 根据权利要求2所述的一种基于分布式的综合孔径相关处理系统,其特征在於:所述每个数据通道支路产生数据总量为 $2*N*f_0 \approx f_s$;其中, N 为子带个数, f_s 为A/D采样器的采样频率。

4. 根据权利要求1所述的一种基于分布式的综合孔径相关处理系统,其特征在於:所述量化,具体为1bit量化。

5. 根据权利要求1所述的一种基于分布式的综合孔径相关处理系统,其特征在於:所述I/Q变换,具体为希尔伯特变换法。

6. 根据权利要求1所述的一种基于分布式的综合孔径相关处理系统实现的一种基于分布式的综合孔径相关处理方法,其特征在於,包括如下步骤:

根据通信通道总数确定采集处理器的数量,并将所有通道均匀分配至每个采集处理器,使得每个采集处理器的通道数一样;

所述A/D采样器接收通道信号进行同步采样后,频谱分离器根据采集处理器的数量将通道信号频谱等分为对应数量的子带;

每个数据处理支路接收一个子带的的数据,依次进行下变频、I/Q变换、量化和抽取数据后,经总线发送至发送模块;

所述接收处理模块接收其他采集处理器中的一个发送的数据,并进行处理。

7. 根据权利要求6所述的一种基于分布式的综合孔径相关处理方法,其特征在於,所述

抽取数据后的采样率 $f_0 \geq B_0$;其中, B_0 为子带带宽。

8.根据权利要求7所述的一种基于分布式的综合孔径相关处理方法,其特征在于:所述每个数据通道支路产生数据总量为 $2*N*f_0 \approx f_s$;其中, N 为子带个数, f_s 为A/D采样器的采样频率。

9.根据权利要求6所述的一种基于分布式的综合孔径相关处理方法,其特征在于:所述量化的方法具体为1bit量化。

10.根据权利要求6所述的一种基于分布式的综合孔径相关处理方法,其特征在于:所述I/Q变换的方法具体为希尔伯特变换法。

一种基于分布式的综合孔径相关处理系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于分布式的综合孔径相关处理系统及方法,属于遥感技术领域。

背景技术

[0002] 数字相关器是综合孔径辐射计系统中的关键单机,其主要功能是对多路接收通道输出的中频信号进行同步采集和两两相关处理,从而得到任意两路中频信号的相关值和相位差。

[0003] 对于传统综合孔径辐射计,通道规模通常较小(300个以下),其相关处理通常采用分散采集、集中处理的方式,如图1所示,每台采集器首先对所采集通道依次进行高速采集、数字滤波、I/Q变换、数字检波和1bit量化,然后把1bit量化数据传输给中央处理器,最后,中央处理器完成对所有通道的两两相关运算并把运算结果打包输出。当通道规模较大时,这种方法就会出现以下弊端:

[0004] (1) 中央处理器很难同时接收大量采集通道的高速数据,只能靠堆积硬件来实现;

[0005] (2) 通道数量增多会导致运算规模呈 N^2 (N 为通道数)增长,中央处理器的运算能力将很快到达瓶颈;

[0006] (3) 中央处理器的软硬件与其它采集器均不同,其一旦损坏将导致整个系统的失效。特别是对于星载系统来说,其结果将是灾难性的;

[0007] (4) 经过前期仿真及试验测试,两路相关噪声的相关值会随着两路信号的时延增大而降低,带来“去相关效应”,去相关系数 $\rho = \rho_0 * \text{sinc}(B * \tau)$, (ρ_0 为真实相关值, B 为信号带宽, τ 为通道间时延)。当系统通道规模增大时,有些通道间时延也会增大,“去相关效应”会明显影响系统的测试精度。

发明内容

[0008] 本发明解决的技术问题是:克服现有技术的不足,提供了一种基于分布式的综合孔径相关处理系统及方法,把原来由中央处理器承担的相关处理任务分担给各个采集器,使每一台“采集器”变成“采集处理器”。

[0009] 本发明的技术解决方案是:一种基于分布式的综合孔径相关处理系统,包括两两相互连接的若干采集处理器;

[0010] 每个采集处理器包括若干数据通道支路、发送模块和接收处理模块,每个数据通道支路的输入端连接一个信号通道,输出端通过总线与发送模块连接,并通过发送模块将经数据通道支路处理的信号发送至其他采集处理器;

[0011] 所述数据通道支路包括A/D采样器、频谱分离器和若干数据处理支路;所述A/D采样器接收通道信号进行同步采样后,频谱分离器根据采集处理器的数量将通道信号频谱等分为对应数量的子带;每个数据处理支路包括下变频器、I/Q变换器、量化器和抽取器,每个数据处理支路接收一个子带的的数据,依次进行下变频、I/Q变换、量化和抽取数据后,经总线

发送至发送模块；

[0012] 所述接收处理模块用于接收其他采集处理器中的一个发送的数据，并进行处理。

[0013] 进一步地，所述抽取数据后的采样率 $f_o \geq B_o$ ；其中， B_o 为子带带宽。

[0014] 进一步地，所述每个数据通道支路产生数据总量为 $2*N*f_o \approx f_s$ ；其中， N 为子带个数， f_s 为A/D采样器的采样频率。

[0015] 进一步地，所述量化，具体为1bit量化。

[0016] 进一步地，所述I/Q变换，具体为希尔伯特变换法。

[0017] 根据所述的一种基于分布式的综合孔径相关处理系统实现的一种基于分布式的综合孔径相关处理方法，包括如下步骤：

[0018] 根据通信通道总数确定采集处理器的数量，并将所有通道均匀分配至每个采集处理器，使得每个采集处理器的通道数一样；

[0019] 所述A/D采样器接收通道信号进行同步采样后，频谱分离器根据采集处理器的数量将通道信号频谱等分为对应数量的子带；

[0020] 每个数据处理支路接收一个子带的数据，依次进行下变频、I/Q变换、量化和抽取数据后，经总线发送至发送模块；

[0021] 所述接收处理模块接收其他采集处理器中的一个发送的数据，并进行处理。

[0022] 进一步地，所述抽取数据后的采样率 $f_o \geq B_o$ ；其中， B_o 为子带带宽。

[0023] 进一步地，所述每个数据通道支路产生数据总量为 $2*N*f_o \approx f_s$ ；其中， N 为子带个数， f_s 为A/D采样器的采样频率。

[0024] 进一步地，所述量化的方法具体为1bit量化。

[0025] 进一步地，所述I/Q变换的方法具体为希尔伯特变换法。

[0026] 本发明与现有技术相比的优点在于：

[0027] (1) 本发明系统灵活简单，可靠性高。由于多台采集处理器不分主次，任何一台或多台采集处理器的失效都不会影响其它采集处理器，可以灵活地实现采集处理器的加入或移除；

[0028] (2) 本发明所有采集处理器接收和发送数据率约为 $k*f_s$ ，且不随采集处理器增多而增大(单台采集处理器通道数量保持不变)；

[0029] (3) 本发明在总运算量不变的情况下，所有卫星均参与相关运算，大大提高整个系统的运算能力；

[0030] (4) 本发明频谱细分能够在频域上有效消除窄带RFI的影响，再结合时间细分的方法进一步在时域上消除RFI；

[0031] (5) 本发明通过适当地调整子带划分数量，能够有效缓解甚至消除通道间的“去相关效应”；

[0032] (6) 本发明多台采集处理器的软硬件基本相同，有效降低了系统研制工作量。

附图说明

[0033] 图1为本发明系统功能示意图；

[0034] 图2为传统综合孔径相关处理方法示意图。

具体实施方式

[0035] 下面结合说明书附图和具体实施方式对本发明进行进一步解释和说明。

[0036] 如图1、2,一种基于分布式的综合孔径相关处理系统,包括两两相互连接的若干采集处理器;每个采集处理器包括若干数据通道支路、发送模块和接收处理模块,每个数据通道支路的输入端连接一个信号通道,输出端通过总线与发送模块连接,并通过发送模块将经数据通道支路处理的信号发送至其他采集处理器;所述数据通道支路包括A/D采样器、频谱分离器和若干数据处理支路;所述A/D采样器接收通道信号进行同步采样后,频谱分离器根据采集处理器的数量将通道信号频谱等分为对应数量的子带;每个数据处理支路包括下变频器、I/Q变换器、量化器和抽取器,每个数据处理支路接收一个子带的的数据,依次进行下变频、I/Q变换、量化和抽取数据后,经总线发送至发送模块;所述接收处理模块用于接收其他采集处理器中的一个发送的数据,并进行处理。

[0037] 根据所述的一种基于分布式的综合孔径相关处理系统实现的一种基于分布式的综合孔径相关处理方法,包括如下步骤:

[0038] 1) 首先根据系统通道总数确定采集处理器的数量,通过仿真保证每台采集处理器的资源得到充分利用,并且为了保证每台采集处理器软硬件完全相同,要求每台采集处理器通道数一样,如果通道数不能平均分配,则可以让其中一台采集处理器有少量通道空载;

[0039] 2) 每台采集处理器首先对各通道(每台采集处理器有 k 个通道)信号进行高速同步采样(采样率为 f_s),采样后的 k 路量化数据同步传输给高性能FPGA,在FPGA中对每路数据用FIFO进行缓存,利用同一个时钟同时读 k 路FIFO并输出;

[0040] 3) 根据采集处理器数量(N),在FPGA中用FIR滤波器对所有通道频谱分别进行等间隔划分,每个通道均划分成 N 个子带,每个子带带宽为 B_0 ,其中各个FIR滤波器系数采用matlab预先生成并导入FPGA;

[0041] 4) 对每个子带分别进行下变频,使所有再带频谱搬移至 $0 \sim B_0$ (B_0 为子带带宽),共得到 $N*k$ 个频率为 $0 \sim B_0$ 的子带,其中下变频所用系数采用matlab预先生成并导入FPGA;

[0042] 5) 对 $N*k$ 路各子带数据依次进行I/Q变换,得到 $N*k$ 路I数据和 $N*k$ 路Q数据,I/Q变换采用希尔伯特变换法以降低I/Q正交误差,其中希尔伯特变换所用滤波器系数采用matlab预先生成并导入FPGA;

[0043] 6) 分别对 $N*k$ 路I数据和 $N*k$ 路Q数据进行1bit量化,即正数和零变成0,负数变成1;

[0044] 7) 对1bit量化后数据进行抽取,抽取倍数取不大于 f_s/B_0 的最大正整数,则抽取后保证采样率 $f_0 \geq B_0$,采样速率的降低可以相应倍数地提高相关运算速率,每个通道产生数据总量为 $2*N*f_0 \approx f_s$;

[0045] 8) 每台采集处理器把所有子带数据按照一定格式同时向其它 $N-1$ 台采集处理器发送,并同时接收其中1个子带的的数据(来自其它 $N-1$ 台采集处理器)。比如,采集处理1负责接收来自其它 $N-1$ 台采集处理器第1个子带的的数据,采集处理器2负责接收和处理来自其它 $N-1$ 台采集处理器第2个子带的的数据,依此类推。

[0046] 9) 每台采集处理器对接收到的所有数据进行解析,加上自身产生的数据,每台数据采集器需要处理 $N*k$ 通道的数据,每台采集处理器对 $N*k$ 通道的数据进行两两相关运算并对相关结果进行积分,积分周期 T 为预先设定值;

[0047] 10) 由去相关系数 $\rho = \rho_0 * \text{sinc}(B*\tau)$ 公式可以看出,对两个固定通道来说,在通道

时延 τ 为固定值,则由于通道带宽由原来的 B 变成了 $B_0=B/N$,大大降低了系统的“去相关效应”;

[0048] 11) N 台采集处理器在每个积分周期 T 下传一次相关计算结果至处理计算机,处理计算机对 N 台采集处理器下传的 N 个子带的计算结果进行累加平均,就能得到系统真实的相关计算结果: $C=(C_1+C_2+\dots+C_N)/N$,其中 $C_1\sim C_N$ 分别为 N 台采集处理器的相关计算结果。

[0049] 本发明的具体实施例。

[0050] 假设每台采集处理器有 k 个通道,则每台采集处理器接收和发送数据率均为 $k*f_s$ 。另外,根据上述分析可以得出,在采集处理器个数和单台采集处理器通道数量不变的情况下,子带个数的划分不影响单台采集处理器的计算量。当采集处理器个数(单台采集处理器通道数量保持不变)增加时,单台采集处理器的计算量也会随着增加,其运算规模与采集处理器个数(N)呈正比关系。

[0051] 针对某课题1000通道综合孔径辐射计系统,信号带宽 $B=400\text{MHz}$,采样率 $f_s=800\text{MHz}$,每台采集处理器负责50路中频信号的采集,共需20台采集处理器,并且20台采集器处理器硬件和软件完全相同,可通过外部注入参数分别进行控制。系统工作时依次按照以下步骤开展信号处理:

[0052] 1) 每台采集处理器首先对20路中频信号进行高速同步采样(采样率为800MHz),采样后的数据进入高性能FPGA;

[0053] 2) 采集处理器把每个通道的频谱分别进行等间隔划分成20个子带,每个子带带宽 $B_0=20\text{MHz}$;

[0054] 3) 对每个子带进行下变频至 $0\sim 20\text{MHz}$ 并依次进行Hilbert变换及1bit量化等;

[0055] 4) 对1bit量化后数据进行20倍抽取,抽取后采样率 $f_0=20\text{MHz}$,每个通道产生数据总量为 $2*20*f_0=800\text{MHz}$;

[0056] 5) 每台采集处理器通过光纤把所有子带数据同时向其它19台采集处理器发送(把子带1的数据发送给采集处理器1,子带2的数据发送给采集处理器2,依此类推),并同时接收和处理其中1个子带的的数据(来自其它19台采集处理器)。比如,采集处理器1负责接收和处理来自其它19台采集处理器第1个子带的的数据,采集处理器2负责接收和处理来自其它19台采集处理器第2个子带的的数据,依此类推。

[0057] 6) 每台采集处理器分别处理1个子带的的数据,最后把20台采集处理器的处理结果汇总传输至处理计算机;

[0058] 7) 处理计算机把20台采集处理器的输出结果进行累加平均,即得到系统真实的相关计算结果。

[0059] 另外,试验过程中对1台采集处理器人为断电时,其它19台采集处理器仍能正常工作,处理计算机最后处理结果表明,采用频谱细分、分散处理的相关处理方法,相关精度完全满足系统指标要求。

[0060] 本发明说明书中未作详细描述的内容属本领域技术人员的公知技术。

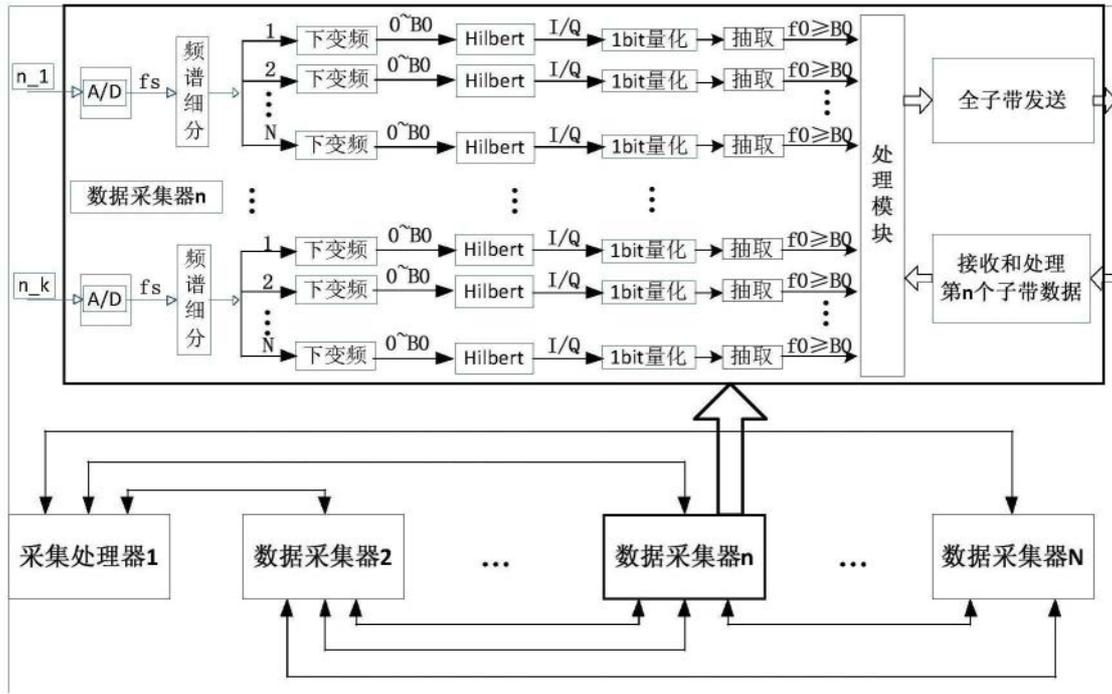


图1

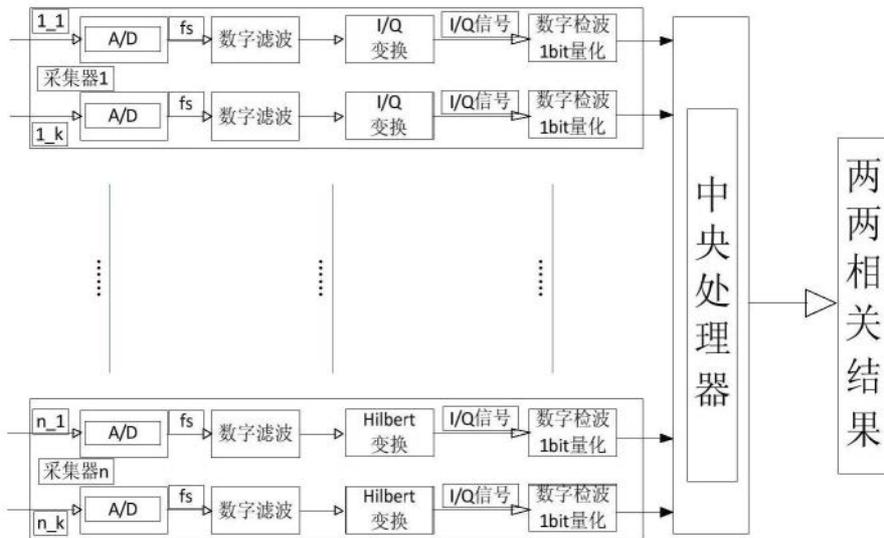


图2