

证书号第8481612号



专利公告信息

# 发明专利证书

发明名称：面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法及系统

专利权人：山东省计算中心（国家超级计算济南中心）  
齐鲁工业大学（山东省科学院）

地址：250000 山东省济南市历下区科院路19号

发明人：谭立状;董鑫;隋宗瑞;史慧玲;张玮;洪源基

专利号：ZL 2025 1 1254231.X 授权公告号：CN 120750891 B

专利申请日：2025年09月04日 授权公告日：2025年11月18日

申请日时申请人：山东省计算中心（国家超级计算济南中心）  
齐鲁工业大学（山东省科学院）

申请日时发明人：谭立状;董鑫;隋宗瑞;史慧玲;张玮;洪源基

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。  
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长  
申长雨

申长雨





(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 120750891 B

(45) 授权公告日 2025. 11. 18

(21) 申请号 202511254231.X

(22) 申请日 2025.09.04

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 120750891 A

(43) 申请公布日 2025.10.03

(73) 专利权人 山东省计算中心(国家超级计算  
济南中心)

地址 250000 山东省济南市历下区科院路  
19号

专利权人 齐鲁工业大学(山东省科学院)

(72) 发明人 谭立状 董鑫 隋宗瑞 史慧玲  
张玮 洪源基

(74) 专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限  
公司 37221

专利代理师 王雪

(51) Int.Cl.

H04L 49/9057 (2022.01)

H04Q 9/00 (2006.01)

(56) 对比文件

Zongrui Sui等.In-order INT:Efficient  
Recording of out-of-order In-band  
Network Telemetry Packets via CPU-FPGA  
co-design.《2025 25th Asia-Pacific Network  
Operations and Management Symposium  
(APNOMS)》.2025,全文.

审查员 李安艺

权利要求书3页 说明书14页 附图5页

(54) 发明名称

面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配  
方法及系统

(57) 摘要

本发明属于带内网络遥测领域,提供了一种  
面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法  
及系统,基于当前的乱序遥测数据统计当前的乱  
序度量指标,包括在线排序窗口内乱序率、在线  
排序窗口间乱序率以及加权乱序距离;根据当前  
FPGA重排序系统性能偏差比例自适应调整历史  
乱序度量指标权重,得到当前乱序度量指标权  
重;基于当前乱序度量指标权重,确定在线排序  
和离线排序的比较器资源分配比例;根据当前  
FPGA重排序系统性能偏差调整比较器资源分配  
比例,得到比较器资源最优分配比例。本发明能  
够显著提升带内网络遥测系统中,遥测服务器实  
现遥测数据乱序重排序过程中FPGA比较器资源  
利用率和遥测数据重排序效率。

对FPGA重排序系统中当前的乱序遥测数据先进行在线  
排序,再进行离线排序得到完全有序的遥测数据

利用当前的乱序遥测数据确定FPGA重排序系统中在线  
排序和离线排序的比较器资源最优分配比例

1. 面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法,其特征在于,包括:

对FPGA重排序系统中当前的乱序遥测数据先进行在线排序,再进行离线排序得到完全有序的遥测数据;

利用当前的乱序遥测数据确定FPGA重排序系统中在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例,具体为:

基于当前接收的乱序遥测数据统计当前的乱序度量指标,包括在线排序窗口内乱序率、在线排序窗口间乱序率以及加权乱序距离;

所述在线排序窗口内乱序率是指在一个在线排序观测窗口内,乱序遥测数据包总数与遥测数据包总数之比;

所述在线排序窗口间乱序率是指相邻两个在线排序窗口之间的跨窗口乱序数据包数量与两窗口遥测数据包总数之比的平均值;

所述加权乱序距离是指每个乱序遥测数据包与正确排序位置的距离偏移;

根据当前的乱序度量指标和当前FPGA重排序系统性能偏差比例自适应调整历史乱序度量指标权重,得到当前乱序度量指标权重,具体为:

如果当前FPGA重排序系统性能偏差比例中在线排序延迟偏差比例大于延迟偏差阈值,则根据在线排序延迟偏差更新权重调整量;

如果当前FPGA重排序系统性能偏差比例中离线排序吞吐偏差比例大于吞吐偏差阈值,则根据离线排序吞吐偏差更新权重调整量;

基于更新后的权重调整量对历史乱序度量指标权重进行平滑、归一化以及权重限幅,得到当前乱序度量指标权重;

基于当前乱序度量指标权重以及当前的乱序度量指标,确定在线排序和离线排序的比较器资源分配比例,具体为:

基于当前乱序度量指标权重以及当前的乱序度量指标分别计算在线排序的比较器资源需求强度和离线排序的比较器资源需求强度;

根据在线排序的比较器资源需求强度和离线排序的比较器资源需求强度计算在线排序的比较器资源分配比例和离线排序的比较器资源分配比例;

根据当前FPGA重排序系统性能偏差调整比较器资源分配比例,得到在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例,具体为:

根据当前FPGA重排序系统性能偏差,采用比例控制方法计算延迟调整输出和吞吐调整输出;

基于延迟调整输出和吞吐调整输出计算在线排序实际分配资源调整量和离线排序实际分配资源调整量;

根据在线排序实际分配资源调整量和离线排序实际分配资源调整量对比较器资源分配比例进行更新,得到比较器资源最优分配比例。

2. 如权利要求1所述的面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法,其特征在于,所述在线排序的比较器资源需求强度,计算如下:

$$D_{online} = w_1 \cdot LWR + w_2 \cdot WDD_{normalized};$$

所述离线排序的比较器资源需求强度,计算如下:

$$D_{offline} = w_3 \cdot CWR;$$

其中,  $LWR$  是在线排序窗口内乱序率,  $CWR$  是在线排序窗口间乱序率,  $WDD_{normalized} = \min(WDD/WDD_{max}, 1)$  为归一化的加权乱序距离,  $WDD$  是加权乱序距离,  $w_1, w_2, w_3$  分别为当前乱序度量指标权重系数。

3. 面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配系统, 其特征在于, 包括:

乱序排序模块, 被配置为对FPGA重排序系统中当前的乱序遥测数据进行在线排序或离线排序的功能模块;

资源分配模块, 被配置为利用当前的乱序遥测数据确定FPGA重排序系统中在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例, 具体为:

基于当前的乱序遥测数据统计当前的乱序度量指标, 包括在线排序窗口内乱序率、在线排序窗口间乱序率以及加权乱序距离;

所述在线排序窗口内乱序率是指在一个在线排序观测窗口内, 乱序遥测数据包总数与遥测数据包总数之比;

所述在线排序窗口间乱序率是指相邻两个在线排序窗口之间的跨窗口乱序数据包数量与两窗口遥测数据包总数之比的平均值;

所述加权乱序距离是指每个乱序遥测数据包与正确排序位置的距离偏移;

根据当前的乱序度量指标和当前FPGA重排序系统性能偏差比例自适应调整历史乱序度量指标权重, 得到当前乱序度量指标权重, 具体为:

如果当前FPGA重排序系统性能偏差比例中在线排序延迟偏差比例大于延迟偏差阈值, 则根据在线排序延迟偏差更新权重调整量;

如果当前FPGA重排序系统性能偏差比例中离线排序吞吐偏差比例大于吞吐偏差阈值, 则根据离线排序吞吐偏差更新权重调整量;

基于更新后的权重调整量对历史乱序度量指标权重进行平滑、归一化以及权重限幅, 得到当前乱序度量指标权重;

基于当前乱序度量指标权重以及当前的乱序度量指标, 确定在线排序和离线排序的比较器资源分配比例, 具体为:

基于当前乱序度量指标权重以及当前的乱序度量指标分别计算在线排序的比较器资源需求强度和离线排序的比较器资源需求强度;

根据在线排序的比较器资源需求强度和离线排序的比较器资源需求强度计算在线排序的比较器资源分配比例和离线排序的比较器资源分配比例;

根据当前FPGA重排序系统性能偏差调整比较器资源分配比例, 得到在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例, 具体为:

根据当前FPGA重排序系统性能偏差, 采用比例控制方法计算延迟调整输出和吞吐调整输出;

基于延迟调整输出和吞吐调整输出计算在线排序实际分配资源调整量和离线排序实际分配资源调整量;

根据在线排序实际分配资源调整量和离线排序实际分配资源调整量对比较器资源分配比例进行更新, 得到比较器资源最优分配比例。

4. 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,该程序被处理器执行时实现如权利要求1-2中任一项所述的面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法中的步骤。

5. 一种计算机设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述程序时实现如权利要求1-2中任一项所述的面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法中的步骤。

6. 一种计算机程序产品,其特征在于,所述计算机程序产品包括计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时,实现如权利要求1-2中任一项所述的面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法中的步骤。

## 面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于带内网络遥测技术领域,具体涉及一种面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法及系统。

### 背景技术

[0002] 本部分的陈述仅仅是提供了与本发明相关的背景技术信息,不必然构成在先技术。

[0003] 带内网络遥测(In-band Network Telemetry,INT)是一种新兴的网络测量技术,通过在业务流量中嵌入遥测指令和信息,实现端到端、逐跳的网络状态采集。在实际大规模网络环境中,遥测任务通常采用多路径、多任务的编排方式,遥测数据包会通过多条路径并发传输。由于各路径的时延、拥塞等因素不同,即使是同一源流的遥测数据包,其生成顺序与到达遥测服务器的顺序也可能不一致,导致严重的乱序现象。乱序数据不仅影响上层应用对网络状态的时序分析准确性,还会造成数据丢失、统计失真等问题。基于带内网络遥测的网络管控应用可分为在线应用和离线应用,在线应用(如流量工程、故障检测等)对遥测数据的新鲜度要求极高,离线应用(如历史数据分析、灰色故障分析等)对新鲜度要求相对较低,但无论哪类应用,乱序遥测数据都会对其功能和性能产生不利影响。此外,与遥测应用类型相对应的,带内网络遥测的乱序重排是一种在线排序和离线排序相结合的重排问题,目前尚无有效的处理方案。

[0004] 现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array,FPGA)因其高度并行、可定制的硬件特性,已被广泛应用于高性能数据处理场景。利用FPGA进行遥测数据的乱序重排,能够充分发挥其并行处理能力和低延迟优势。然而,现有方法大多仅独立部署在线排序或离线排序功能,缺乏针对带内网络遥测多流、多任务特性的专用设计,难以兼顾实时性与大规模数据处理需求。FPGA内部的比较器单元(Comparator Unit)是对乱序数据实现高效排序的关键硬件单元,是FPGA在带内网络遥测场景下的乱序重排任务中显著优于通用CPU/GPU的关键所在。比较器数量及其分配直接影响FPGA的并行度和处理效率。如何在有限的FPGA比较器资源下,面向带内网络遥测场景下的在线与离线排序协同组织需求,实现对带内网络遥测乱序上报数据进行高效重排,满足上层遥测应用的有序数据需求,是当前带内网络遥测系统亟需突破的重要问题。

### 发明内容

[0005] 为了解决上述问题,本发明提出了一种面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法及系统,本发明提出了在单张FPGA加速卡上同时部署在线排序和离线排序时的比较器资源分配方法,通过时间复用机制和参数自适应策略,实现了比较器资源在多流并行的在线重排序与离线重排序之间的最优分配,满足了高速实时遥测应用和大规模离线遥测应用的数据乱序排序需求,显著提升了FPGA加速卡资源利用率和网络遥测数据处理性能。

[0006] 根据一些实施例,本发明的第一方案提供了一种面向网络遥测重排的FPGA比较器

资源分配方法,采用如下技术方案:

[0007] 面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法,包括:

[0008] 对FPGA重排序系统中当前的乱序遥测数据先进行在线排序,再进行离线排序得到完全有序的遥测数据;

[0009] 利用当前的乱序遥测数据确定FPGA重排序系统中在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例,具体为:

[0010] 基于当前的乱序遥测数据统计当前的乱序度量指标,包括在线排序窗口内乱序率、在线排序窗口间乱序率以及加权乱序距离;

[0011] 根据当前的乱序度量指标和当前FPGA重排序系统性能偏差比例自适应调整历史乱序度量指标权重,得到当前乱序度量指标权重;

[0012] 基于当前乱序度量指标权重以及当前的乱序度量指标,确定在线排序和离线排序的比较器资源分配比例;

[0013] 根据当前FPGA重排序系统性能偏差调整比较器资源分配比例,得到在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例。

[0014] 进一步地,所述在线排序窗口内乱序率是指在一个在线排序观测窗口内,乱序遥测数据包总数与遥测数据包总数之比;

[0015] 所述在线排序窗口间乱序率是指相邻两个在线排序窗口之间的跨窗口乱序数据包数量与两窗口遥测数据包总数之比的平均值;

[0016] 所述加权乱序距离是指每个乱序遥测数据包与正确排序位置的距离偏移。

[0017] 进一步地,所述根据当前的乱序度量指标和当前FPGA重排序系统性能偏差比例自适应调整历史乱序度量指标权重,得到当前乱序度量指标权重,具体为:

[0018] 如果当前FPGA重排序系统性能偏差比例中在线排序延迟偏差比例大于延迟偏差阈值,则根据在线排序延迟偏差更新权重调整量;

[0019] 如果当前FPGA重排序系统性能偏差比例中离线排序吞吐偏差比例大于吞吐偏差阈值,则根据离线排序吞吐偏差更新权重调整量;

[0020] 基于更新后的权重调整量对历史乱序度量指标权重进行平滑、归一化以及权重限幅,得到当前乱序度量指标权重。

[0021] 进一步地,基于当前乱序度量指标权重以及当前的乱序度量指标,确定在线排序和离线排序的比较器资源分配比例,具体为:

[0022] 基于当前乱序度量指标权重以及当前的乱序度量指标分别计算在线排序的比较器资源需求强度和离线排序的比较器资源需求强度;

[0023] 根据在线排序的比较器资源需求强度和离线排序的比较器资源需求强度计算在线排序的比较器资源分配比例和离线排序的比较器资源分配比例。

[0024] 进一步地,所述在线排序的比较器资源需求强度,计算如下:

[0025]  $D_{online} = w_1 \cdot LWR + w_2 \cdot WDD_{normalized}$ ;

[0026] 所述离线排序的比较器资源需求强度,计算如下:

[0027]  $D_{offline} = w_3 \cdot CWR$ ;

[0028] 其中, $LWR$ 是在线排序窗口内乱序率, $CWR$ 是在线排序窗口间乱序率,

$WDD_{normalized} = \min(WDD/WDD_{max}, 1)$ 为归一化的加权乱序距离,  $WDD$ 是加权乱序距离,  $w_1, w_2, w_3$ 分别为当前乱序度量指标权重系数。

[0029] 进一步地, 根据当前FPGA重排序系统性能偏差调整比较器资源分配比例, 得到在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例, 具体为:

[0030] 根据当前FPGA重排序系统性能偏差, 采用比例控制方法计算延迟调整输出和吞吐调整输出;

[0031] 基于延迟调整输出和吞吐调整输出计算在线排序实际分配资源调整量和离线排序实际分配资源调整量;

[0032] 根据在线排序实际分配资源调整量和离线排序实际分配资源调整量对比较器资源分配比例进行更新, 得到在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例。

[0033] 根据一些实施例, 本发明的第二方案提供了一种面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配系统, 采用如下技术方案:

[0034] 面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配系统, 包括:

[0035] 乱序排序模块, 被配置为对FPGA重排序系统中当前的乱序遥测数据先进行在线排序, 再进行离线排序得到完全有序的遥测数据;

[0036] 资源分配模块, 被配置为利用当前的乱序遥测数据确定FPGA重排序系统中在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例, 具体为:

[0037] 基于当前的乱序遥测数据统计当前的乱序度量指标, 包括在线排序窗口内乱序率、在线排序窗口间乱序率以及加权乱序距离;

[0038] 根据当前的乱序度量指标和当前FPGA重排序系统性能偏差比例自适应调整历史乱序度量指标权重, 得到当前乱序度量指标权重;

[0039] 基于当前乱序度量指标权重以及当前的乱序度量指标, 确定在线排序和离线排序的比较器资源分配比例;

[0040] 根据当前FPGA重排序系统性能偏差调整比较器资源分配比例, 得到在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例。

[0041] 根据一些实施例, 本发明的第三方案提供了一种计算机可读存储介质。

[0042] 一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 该程序被处理器执行时实现如上述第一方案所述的面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法中的步骤。

[0043] 根据一些实施例, 本发明的第四方案提供了一种计算机设备。

[0044] 一种计算机设备, 包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序, 所述处理器执行所述程序时实现如上述第一方案所述的面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法中的步骤。

[0045] 根据一些实施例, 本发明的第五方案提供一种计算机程序产品或计算机程序。

[0046] 一种计算机程序产品或计算机程序, 包括计算机指令, 该计算机指令存储在计算机可读存储介质中, 计算机设备的处理器从计算机可读存储介质读取该计算机指令, 处理器执行该计算机指令, 使得该计算机设备执行如上述第一方案所述的面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法中的步骤。

[0047] 与现有技术相比, 本发明的有益效果为:

[0048] 本发明提出了一种面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法, 针对带内网络

遥测在多路径、多任务环境下产生的遥测数据乱序问题,设计了基于多维度乱序度量指标的资源分配模型,提出了自适应权重调整算法、资源分配控制算法和比例微调控制算法,能够根据FPGA重排序系统性能反馈动态调整乱序指标权重,依据当前权重和乱序指标分配比较器资源,根据实际性能与目标性能的偏差对资源分配结果进行微调。此外,本发明还提出了多流在线排序模块的时间复用方法,进一步提升了FPGA比较器资源的利用率。本发明能够显著提升带内网络遥测系统中遥测服务器实现遥测数据乱序重排过程中FPGA比较器资源利用率和遥测数据重排序效率,满足在线遥测应用的实时有序数据需求和离线遥测应用的大规模有序数据需求。

### 附图说明

[0049] 构成本发明的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。

[0050] 图1是本发明实施例中一种面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法流程图;

[0051] 图2是本发明实施例中应用场景示意图;

[0052] 图3是本发明实施例中在线排序和离线排序的数据处理流程图;

[0053] 图4是本发明实施例中所述方法实现的硬件系统架构图;

[0054] 图5是本发明实施例中单个在线重排序方法示例示意图;

[0055] 图6是本发明实施例中在线重排序时间复用方法示意图;

[0056] 图7是本发明实施例中离线重排序示例方法示意图;

[0057] 图8是本发明实施例中在线排序和离线排序的效果示意图;

[0058] 图9是本发明实施例中利用当前的乱序遥测数据确定在线排序和离线排序的比较器资源最优分配的流程图中。

[0059] 图10是本发明实施例中面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配系统示意图。

### 具体实施方式

[0060] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0061] 应该指出,以下详细说明都是例示性的,旨在对本发明提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语具有与本发明所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

[0062] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本发明的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0063] 在不冲突的情况下,本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0064] 实施例一

[0065] 如图1所示,本实施例提供了一种面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法,本实施例以该方法应用于服务器进行举例说明,可以理解的是,该方法也可以应用于终端,还可以应用于包括终端和服务器和系统,并通过终端和服务器的交互实现。服务器可以是

独立的物理服务器,也可以是多个物理服务器构成的服务器集群或者分布式系统,还可以是提供云服务、云数据库、云计算、云函数、云存储、网络服务器、云通信、中间件服务、域名服务、安全服务CDN、以及大数据和人工智能平台等基础云计算服务的云服务器。终端可以是智能手机、平板电脑、笔记本电脑、台式计算机、智能音箱、智能手表等,但并不局限于此。终端以及服务器可以通过有线或无线通信方式进行直接或间接地连接,本申请在此不做限制。本实施例中,该方法包括以下步骤:

[0066] 步骤S1:对FPGA重排序系统中当前的乱序遥测数据先进行在线排序,再进行离线排序得到完全有序的遥测数据;

[0067] 步骤S2:利用当前的乱序遥测数据确定FPGA重排序系统中在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例,具体为:

[0068] 步骤S2.1:基于当前的乱序遥测数据统计当前的乱序度量指标,包括在线排序窗口内乱序率、在线排序窗口间乱序率以及加权乱序距离;

[0069] 步骤S2.2:根据当前的乱序度量指标和当前FPGA重排序系统性能偏差比例自适应调整历史乱序度量指标权重,得到当前乱序度量指标权重;

[0070] 步骤S2.3:基于当前乱序度量指标权重以及当前的乱序度量指标,确定在线排序和离线排序的比较器资源分配比例;

[0071] 步骤S2.4:根据当前FPGA重排序系统性能偏差调整比较器资源分配比例,得到在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例。

[0072] 针对步骤S1来说,如图2所示,描述了本实施例的典型应用场景。在带内网络遥测多路径传输场景下,终端2与终端3持续发送业务数据包,并在数据包内嵌入INT遥测指令,沿途交换设备按照规定遥测指令字段写入遥测元数据指标。两条转发路径在拓扑上彼此独立但在中段交汇,形成多路径并发环境。各跳链路延迟如图1所示,其中INT节点2至INT节点4的链路延迟为4ms,是网络拓扑中造成乱序的瓶颈链路。遥测路径1(蓝色路线)依次途经INT节点1、节点2、节点4、节点5,最终到达右侧的遥测服务器;遥测路径2(绿色路线)依次途经INT节点1、节点2、节点4、节点5,最终到达右侧的遥测服务器。由于终端2生成的遥测数据包2经遥测路径2先到INT节点3,再与遥测路径1在INT节点4汇合,再经INT节点5发送至遥测服务器。由于两条遥测路径的整体传播时延差异明显(蓝色路径总时延较长且包含4 ms的高时延链路段),遥测数据包1极易晚于遥测数据包2抵达服务器,从而导致到达顺序与原始发送顺序不一致,即出现典型乱序现象,也就是两条遥测路径对INT节点1的测量时间戳与到达遥测服务器的实际时间戳无法保持先后顺序的一致性。

[0073] 本实施例中在线排序和离线排序的数据处理流程如图3所示,顶部方块表示遥测数据包到达遥测服务器时的顺序编号,其中,编号3、8、20、26的遥测数据包产生乱序,且乱序距离分别为2、1、1、3。

[0074] FPGA加速卡部署在线排序和离线排序两类的排序功能模块,也就是说,在FPGA加速卡上部署若干个在线排序模块和离线排序模块,在线排序模块对实时接收到的带内网络遥测报告(乱序遥测数据包)执行在线排序并将部分有序的排序结果存入主机侧数据库,离线排序模块读取数据库中部分有序的遥测数据执行离线排序并将全部有序的排序结果存回主机侧数据库。

[0075] 在线排序模块在小滑窗内执行高速插入排序,把FPGA加速卡实时收到的若干个乱

序遥测数据包排成局部有序结果,并写入时序数据库供实时遥测应用低延迟读取。

[0076] 离线排序模块借助多级FIFO缓存及归并逻辑对时序数据库中的全部遥测结果进行排序,再将全局有序结果写回数据库。

[0077] 如图4所示,本实施例的方法实现的硬件系统架构,也就是FPGA重排序系统由主机侧和FPGA加速卡侧组成,主机侧运行主机程序、数据库程序和遥测应用程序,主机侧程序调度重新排序模块并管理CPU和FPGA之间的数据传输,遥测应用程序利用遥测数据执行不同的相关网络管理功能。

[0078] 在在线排序部分,FPGA中的数据包分类器对来自多个遥测路径中不同网络设备的带内网络遥测数据进行分割,并根据设备ID将遥测数据分类到相应的BRAM(块随机存取存储器)中。

[0079] FPGA并行执行部署的多个在线重排序模块,对主机侧的带内网络遥测服务器接收到的多个遥测数据流进行在线重新排序。重新排序完成后,遥测数据被写入BRAM临时缓冲,并返回到主机内存,最终由主机应用程序利用遥测数据执行不同的相关在线网络管理功能。

[0080] 在离线排序部分,由主机将经过在线排序后的部分有序的遥测数据写入到FPGA中的BRAM。FPGA的离线重排序模块将BRAM中的遥测数据进行重新排序。重新排序完成后,遥测数据被写入BRAM中,并返回到主机内存,最终由主机应用程序利用遥测数据执行相关离线网络管理功能。

[0081] 如图5所示,对于单个在线重排序方法示例和所需模块,以图6中第一单元为例,插入排序过程可分为确定插入位置和元素的移动。当网络中的遥测分组到达重排序模块的分组1时,遥测分组中的时间戳将与重新排序第一单元中的所有分组的时间戳同时进行比较。当新数据包的时间戳晚于窗口中所有已有数据包时,FPGA重排序系统将其插入至队列末尾;当时间戳早于所有已有数据包时,插入至队列首位;若新数据包的时间戳位于部分已有数据包之间,则FPGA重排序系统确定其应插入至第一个“时间戳晚于该数据包”的已有数据之前。上述判断通过并行比较逻辑在单一时钟周期内完成,紧接着FPGA重排序系统在下一周期内完成相应数据的右移与新数据插入,从而实现整个排序过程在两个周期内完成。

[0082] 此外,本实施例还给出了对多遥测流的在线排序模块时分复用方法,如图6所示,允许不同遥测流对应的在线排序模块复用同一组FPGA比较器资源。比较器切换通过双端复用模块实现,每个排序模块均配置有访问接口和锁存控制逻辑,确保切换过程中不发生访问冲突。调度周期可设定为固定周期或固定窗口。当两个重新排序模块对一组比较器进行时间复用,将时间划分为若干个时间片,每个时间片内,只有一个重排序模块使用比较器资源。在第一个时间片内,重排序模块1使用比较器资源进行插入排序操作。在第二个时间片内,重排序模块2使用相同的比较器资源进行插入排序操作。两个重排序模块交替使用比较器资源,从而实现时间上的复用。通过精确的同步和调度机制,可以确保两个重排序模块在不同的时间片内安全地使用比较器资源,从而实现比较器资源在在线排序模块间的复用,提高比较器资源利用率。

[0083] 如图7所示,对于离线重排序方法示例和所需模块,FPGA加速卡配备必要的硬件资源,包括多级FIFO缓存、归并排序逻辑(FLiMS)、输入和内存。主机程序配置好离线排序模块的参数,确保数据流和资源分配的正确性。初步排序完成后,数据块被定义为每32个遥测数

据作为一个数据块。归并排序输入接口将每个数据块依次传输到一个FIFO中,同时将八个数据块并行传输到八个独立的FIFO中。通过DMA (Direct Memory Access)操作,将数据块从内存中读取到FPGA的片上缓冲区FIFOs。多级FIFO缓存用于暂存从内存传输过来的数据块确保数据在不同处理阶段之间的平滑流动。数据块依次通过各级FIFO,准备进入归并排序逻辑。FLiMS模块内部集成了多个用于归并操作的比较器单元,FLiMS中所有的实例按照硬件流水线方式执行多路数据流的有序合并。FLiMS将来自两个已排序的数据块进行合并,生成一个更大的有序数据块。多个FLiMS实例依次进行多级合并,最终将所有数据块合并成一个全局有序的数据集。经过多个FLiMS的合并后,生成的全局有序数据集被写入最终的数据库。全局有序数据可以存储内存或通过主机接口传输回主机的持久化存储设备中,供上层应用进行实时分析或离线处理。通过精确的时间同步机制,确保各个FLiMS实例在不同的时间片内安全地使用共享的比较器资源,避免资源冲突和数据竞争。根据数据流量和处理需求,动态调整FLiMS实例的运行状态,优化资源利用率和处理效率。

[0084] 比较器切换通过双端复用模块实现,每个排序模块均配置有访问接口和锁存控制逻辑,确保切换过程中不发生访问冲突。调度周期可设定为固定周期或固定窗口。

[0085] 如图8所示,从数据视角对整个排序过程进行说明,主机侧的带内网络遥测服务器接收到乱序遥测数据包后,经在线排序模块处理后获得部分有序的遥测数据,经离线排序模块处理后获得完全有序的遥测数据。需要说明的是,在线排序模块无法处理跨排序窗口的乱序情况,所以经过在线排序处理后的遥测数据是部分有序的。

[0086] 针对步骤S2来说,FPGA重排序系统以乱序遥测数据包的时间戳为基础,实时计算其乱序程度,用于指导比较器资源的分配策略。具体方法如下:

[0087] FPGA重排序系统引入三项乱序度量指标,包括在线排序窗口内乱序率 $LWR$ 、在线排序窗口间乱序率 $CWR$ 和加权乱序距离 $WDD$ ,上述指标通过FPGA内部的计数器与比较逻辑在流水线上实时计算。例如, $LWR$ 通过记录乱序数据包数量与总数据包数量比值获得。

[0088] 根据当前乱序度量指标,控制器动态调整比较器资源分配策略。

[0089] 若 $LWR$ 和 $CWR$ 持续低于设定阈值,表示当前网络基本有序,FPGA重排序系统将更多比较器资源分配给在线排序模块,以降低排序延迟;

[0090] 反之,若 $WDD$ 高于阈值,FPGA重排序系统将部分比较器切换分配至离线排序模块,以处理大范围乱序。

[0091] 步骤S2.1:基于当前的乱序遥测数据统计当前的乱序度量指标,包括在线排序窗口内乱序率、在线排序窗口间乱序率以及加权乱序距离;

[0092] 本实例提出面向带内网络遥测的多维度乱序度量指标体系,综合反映遥测数据的乱序特征,具体包括:

[0093] 在线排序窗口内乱序率( $LWR$ ):在一个在线排序观测窗口内,乱序包总数与总包数之比。即

$$[0094] \quad LWR = \frac{N_{dis}}{N}(1);$$

$$[0095] \quad N_{dis} = \sum_{i=1}^N \mathbb{1}(p_i \neq p_i^{ord}) \quad (2);$$

[0096] 其中,  $\mathbb{1}(\cdot)$  是指示函数, 当  $p_i \neq p_i^{ord}$  条件成立时取1, 否则取0;  $N$  为在线排序观测窗口内收到的遥测数据包总数;  $N_{dis}$  为观测窗口内处于乱序状态的遥测数据包数量;  $p_i$  为按到达顺序的第  $i$  个遥测数据包, 也是第  $i$  个遥测数据包在实际到达序列中的位置编号;  $p_i^{ord}$  为第  $i$  个遥测数据包在理想有序序列中应该处于的位置编号。

[0097] 在线排序窗口间乱序率 ( $CWR$ ): 相邻两个在线排序窗口之间的跨窗口乱序遥测数据包数量与两窗口遥测数据包总数之比的平均值, 即

$$[0098] \quad CWR = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^{K-1} \frac{N_{k \rightarrow k+1} + N_{k+1 \rightarrow k}}{N^{(k)} + N^{(k+1)}} \quad (3);$$

[0099] 其中,  $N_{k \rightarrow k+1}$  表示理想位置在窗口  $k$  但实际落在窗口  $k+1$  的遥测数据包数量,  $N^{(k)}$  和  $N^{(k+1)}$  分别为第  $k$  和第  $k+1$  个窗口内的遥测数据包总数。  $K$  为在线排序累计窗口总数。

[0100] 加权乱序距离 ( $WDD$ ): 每个乱序包与正确排序位置的距离偏移, 即

$$[0101] \quad WDD = \frac{1}{N_{dis}} \sum_{i=1}^N \mathbb{1}(p_i \neq p_i^{ord}) \cdot |p_i - p_i^{ord}| \quad (4);$$

[0102]  $LWR$  度量短时乱序程度,  $CWR$  度量全局乱序程度,  $WDD$  度量偏移距离, 上述指标在FPGA数据面以硬件流水线实时更新。

[0103] 基于上述乱序度量指标, 本实施例建立FPGA比较器资源分配模型, 该模型通过实时监控  $LWR$ 、 $CWR$  和  $WDD$  三个指标, 动态调整在线排序和离线排序的比较器资源分配比例。

[0104] 首先, 相关FPGA重排序系统模型表示如下, 定义FPGA比较器资源总量为  $C_{total}$ , 在线排序比较器分配数量为  $C_{online}$ , 离线排序比较器分配数量为  $C_{offline}$ , 其中,  $C_{online} \leq C_{total}$ ,  $C_{offline} \leq C_{total}$  定义FPGA重排序系统效用为:

$$[0105] \quad U(L_{online}, T_{offline}) = \lambda_1 \cdot f_{online}(L_{online}) + \lambda_2 \cdot f_{offline}(T_{offline}) \quad (5);$$

[0106] 效用分量函数定义为:

$$[0107] \quad f_{online}(L) = \frac{L_{target}}{L + L_{target}} \quad (6);$$

$$[0108] \quad f_{offline}(T) = \min\left(\frac{T}{T_{target}}, 1\right) \quad (7);$$

[0109] 约束条件为:

$$[0110] \quad \lambda_1 + \lambda_2 = 1 \quad (8);$$

$$[0111] \quad \lambda_1, \lambda_2 \geq 0 \quad (9);$$

[0112] 其中,  $f_{online}(L)$  为在线排序延迟效用函数, 可以延迟  $L$  为评价指标, 即延迟越小效用越高, 其取值范围为  $[0, 1]$ ;  $f_{offline}(T)$  为离线排序吞吐量效用函数, 可以吞吐  $T$  为评价

指标,即吞吐越大效用越高,其取值范围为 $[0, 1]$ ;  $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 为权重系数,用于手动调整在线排序和离线排序效用比重;  $L_{target}$ 和 $T_{target}$ 是FPGA重排序系统期望的目标在线排序处理延迟和目标离线排序吞吐。

[0113] 在上述模型基础上,本实施例提出了基于性能反馈的自适应权重调整算法、资源分配控制算法和比例微调控制算法。其中,自适应权重调整算法是通过监测FPGA重排序系统性能偏差,更新乱序指标 ( $LWR$ 、 $CWR$ 、 $WDD$ ) 在资源分配决策中的权重,使资源分配策略能够自适应地适应网络状态变化并保证FPGA重排序系统稳定。资源分配控制算法是整个比较器资源分配过程的主控循环,其功能是使用自适应权重调整算法获得的权重进行资源分配。比例微调控制算法是在资源分配控制算法基础上对偏差进行微调,防止性能漂移,避免比较器资源分配过程产生振荡。具体过程如下:

[0114] 步骤S2.2:根据当前的乱序度量指标和当前FPGA重排序系统性能偏差比例自适应调整历史乱序度量指标权重,得到当前乱序度量指标权重,具体为:

[0115] 1) 根据在线排序延迟偏差比例 $E_L$ 和离线排序吞吐偏差比例 $E_T$ 计算FPGA重排序系统性能偏差比例;

[0116] 2) 计算权重调整量,具体为:

[0117] 若 $E_L > \theta_L$ ,则更新权重调整量 $\Delta w_1 = \alpha_1 \cdot E_L$ ,  $\Delta w_2 = \alpha_2 \cdot E_L$ ;

[0118] 若 $E_T > \theta_T$ ,则更新权重调整量 $\Delta w_3 = \alpha_3 \cdot E_T$ ;

[0119] 否则 $\Delta w_i = 0$ ,  $i = 1, 2, 3$ 。

[0120] 其中, $\theta_L$ 是延迟偏差阈值, $\theta_T$ 是吞吐偏差阈值; $\Delta w_1$ 是在线排序窗口内乱序率指标权重调整量, $\Delta w_2$ 是归一化的加权乱序距离指标权重调整量, $\Delta w_3$ 是在线排序窗口间乱序率指标权重调整量; $\alpha_1$ 是在线排序延迟偏差对 $\Delta w_1$ 的调整系数, $\alpha_2$ 是在线排序延迟偏差对 $\Delta w_2$ 的调整系数, $\alpha_3$ 是离线排序吞吐偏差对 $\Delta w_3$ 的调整系数。

[0121] 3) 采用 $\Delta w_i = w_i^{prev} + \beta \cdot \Delta w_i$ 方式对权重调整进行平滑。

[0122] 其中, $\beta \in [0, 1]$ 为平滑因子,防止权重变化过快, $w_i^{prev}$ 是历史乱序度量指标权重;

[0123] 4) 使用 $w'_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^3 w_j}$ ,  $i = 1, 2, 3$ 对权重进行归一化操作;

[0124] 5) 使用 $w'_i \in [w_{min}, w_{max}]$ 对权重限幅,避免更新后权重过大或过小;

[0125] 6) 返回更新后的权重 $w'_1, w'_2, w'_3$ 。

[0126] 其中,设 $E_L$ 和 $E_T$ 分别为在线排序延迟偏差比例和离线排序吞吐偏差比例,表示为:

$$[0127] \quad E_L = \frac{|L_{actual} - L_{target}|}{L_{target}} \quad (10);$$

$$[0128] \quad E_T = \frac{|T_{actual} - T_{target}|}{T_{target}} \quad (11);$$

[0129] 其中,  $L_{actual}$ 和 $T_{actual}$ 为实际延迟和实际吞吐,  $L_{target}$ 和 $T_{target}$ 为目标延迟和目标吞吐,  $E_L$ 和 $E_T$ 用于更新权重调整量, 均为FPGA重排序系统性能偏差比例。

[0130] 自适应权重调整算法输入为目标性能 ( $L_{target}, T_{target}$ ), 实际性能 ( $L_{actual}, T_{actual}$ ), 历史权重 ( $w_1^{prev}, w_2^{prev}, w_3^{prev}$ ); 算法输出为更新后的权重系数 ( $w_1', w_2', w_3'$ )。

[0131] 步骤S2.3: 基于当前乱序度量指标权重以及当前的乱序度量指标, 确定在线排序和离线排序的比较器资源分配比例, 具体为:

[0132] 采集网络遥测流乱序度量指标, 包括在线排序窗口内乱序率 $LWR$ 、在线排序窗口间乱序率 $CWR$ 和加权乱序距离 $WDD$ 。

[0133] 根据当前权重系数 $w_1', w_2', w_3'$ , 分别计算在线排序的比较器资源需求强度和离线排序的比较器资源需求强度;

[0134] 在线排序的比较器资源需求强度是利用在线排序的资源需求评估函数确定的, 如下:

$$[0135] \quad D_{online} = w_1 \cdot LWR + w_2 \cdot WDD_{normalized} \quad (12);$$

[0136] 离线排序的比较器资源需求强度是利用离线排序的资源需求评估函数确定的, 如下:

$$[0137] \quad D_{offline} = w_3 \cdot CWR \quad (13);$$

[0138] 其中,  $WDD_{normalized} = \min(WDD/WDD_{max}, 1)$ 为归一化的加权乱序距离, 由于 $WDD$ 数值范围取决于遥测数据包规模, 无法直接比较不同数据包规模下的乱序严重程度, 因此采用归一化加权乱序距离度量;  $w_1, w_2, w_3$ 分别为在线排序窗口内乱序率指标权重系数、归一化的加权乱序距离指标权重系数和在线排序窗口间乱序率指标权重系数, 满足 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ 且 $w_i \geq 0, i = 1, 2, 3$ 。 $D_{online} \in [0, 1]$ 和 $D_{offline} \in [0, 1]$ 分别表示在线排序比较器资源需求强度和离线排序的比较器资源需求强度。

[0139] 依据资源需求强度, 计算在线排序的资源分配比例; 根据在线排序的资源分配比例, 确定并分配在线排序的比较器资源数量以及分配给离线排序的比较器资源数量。

[0140] 在线排序的资源分配比例 $R_{online}$ , 计算如下:

$$[0141] \quad R_{online} = \frac{D_{online} + \epsilon}{D_{online} + D_{offline} + 2\epsilon} \quad (14);$$

[0142] 其中,  $\epsilon > 0$ 为平滑因子, 用于确保分配比例的稳定性。

[0143] 在线排序的比较器资源数量 $C_{online}$ , 如下:

$$[0144] \quad C_{online} = \text{floor}(C_{total} \cdot R_{online}) \quad (15);$$

[0145] 离线排序的比较器资源数量 $C_{offline}$ , 如下:

$$[0146] \quad C_{offline} = C_{total} - C_{online} \quad (16);$$

[0147] 其中,  $\text{floor}(\cdot)$ 是向下取整函数。

[0148] 4) 重复执行上述步骤。

[0149] 资源分配控制算法是本实施例的核心算法,其功能是使用自适应权重调整算法获得的权重 $w_1, w_2, w_3$ 对在线排序和离线排序的比较器资源数量进行分配。

[0150] 步骤S2.4:根据当前FPGA重排序系统性能偏差调整比较器资源分配比例,得到在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例,具体为:

[0151] 1) 根据当前的在线排序预估延迟 $L_{predicted}(C_{online})$ 和离线排序预估吞吐 $T_{predicted}(C_{offline})$ 与实际性能: $L_{actual}$ 和 $T_{actual}$ 为实际延迟和实际吞吐,分别计算性能误差,如下:

$$[0152] \quad e_L = L_{predicted}(C_{online}) - L_{actual} \quad (17);$$

$$[0153] \quad e_T = T_{predicted}(C_{offline}) - T_{actual} \quad (18);$$

[0154] 其中, $e_L$ 是在线延迟性能偏差值; $e_T$ 是离线吞吐性能偏差值,两者均为FPGA重排序系统性能偏差,用于更新公式(21)和公式(22)的资源调整微调量。

[0155] 在线排序可以视为流式排序,给定比较器数量下的预估处理延迟表示为:

$$[0156] \quad L_{predicted}(C_{online}) = L_{base} + \frac{w}{C_{online} \cdot f_{clk}} \quad (19);$$

[0157] 其中, $L_{base}$ 为基础延迟,包括数据接收和预处理时间; $w$ 为在线排序窗口大小; $C_{online}$ 为实际分配给在线排序的比较器数量; $f_{clk}$ 为FPGA时钟频率。每个数据包到达时通过并行比较器快速插入到正确位置。比较器数量决定了多遥测流下的在线排序并行处理能力。处理延迟与窗口大小成正比,与比较器数量成反比。

[0158] 离线排序可以视为普通并行比较,给定数据量规模和比较器数量下的预估排序吞吐表示为:

$$[0159] \quad T_{predicted}(C_{offline}) = \frac{C_{offline} \cdot f_{clk}}{\log_2(N \cdot K)} \quad (20);$$

[0160] 其中, $N \cdot K$ 为待排序数据量; $\log_2(N \cdot K)$ 是采用归并排序算法时的排序层数; $C_{offline}$ 为实际分配给离线排序的比较器数量。比较器数量决定了每层的并行处理能力。吞吐量与比较器数量成正比,与数据量的对数成反比。

[0161] 2) 根据性能误差,采用比例控制方法计算延迟调整输出 $u_L$ 和吞吐调整输出 $u_T$ ,如下:

$$[0162] \quad u_L = K_p \cdot e_L \quad (21);$$

$$[0163] \quad u_T = K_p \cdot e_T \quad (22);$$

[0164] 其中, $K_p$ 为比例增益系数。

[0165] 3) 计算在线排序实际分配资源调整量 $\Delta C_{online}$ 和离线排序实际分配实际资源调整量 $\Delta C_{offline}$ ,如下:

$$[0166] \quad \Delta C_{online} = \text{floor}(u_L \cdot C_{total} \cdot \alpha) \quad (23);$$

$$[0167] \quad \Delta C_{offline} = \text{floor}(u_T \cdot C_{offline} \cdot \alpha) \quad (24);$$

[0168] 其中,  $\alpha$  为最大调整比例,  $\text{floor}(\cdot)$  是向下取整函数。

[0169] 4) 根据计算得到的  $\Delta C_{online}$  和  $\Delta C_{offline}$  对  $C_{online}$  和  $C_{offline}$  进行更新。

[0170] 在上述算法中,  $u_L$  是在线排序在延迟方向的资源调整建议量, 若  $u_L > 0$ , 说明实际延迟比预估目标低, 可以适当减少比较器资源给在线排序; 若  $u_L < 0$ , 说明实际延迟比预估目标高, 需要适当增加比较器资源给在线排序。

[0171]  $u_T$  是离线排序在吞吐方向的资源调整建议量, 若  $u_T > 0$ , 说明实际吞吐比预估目标高, 可以适当减少比较器资源给离线排序; 若  $u_T < 0$ , 说明实际延迟比预估目标低, 需要适当增加比较器资源给离线排序。  $\Delta C_{online}$  和  $\Delta C_{offline}$  是比例微调控制算法对资源分配控制算法中计算得到的  $C_{online}$  和  $C_{offline}$  的微调量。

[0172] 如图9所示, 描述了本实施例步骤S2中涉及的两个子算法的输入输出关系, 包括自适应权重调整算法、资源分配控制算法和比例微调控制算法。

[0173] 其中, 自适应权重调整算法的功能是通过监测FPGA重排序系统性能偏差更新乱序指标 ( $LWR$ 、 $CWR$ 、 $WDD$ ) 在资源分配决策中的权重, 使资源分配策略能够自适应地适应网络状态变化, 并保证FPGA重排序系统稳定。资源分配控制算法是整个比较器资源分配过程的主控循环, 其功能是使用自适应权重调整算法获得的权重进行资源分配。比例微调控制算法是在资源分配控制算法基础上对偏差进行微调, 防止性能漂移, 避免比较器资源分配过程产生振荡。

[0174] 实施例二

[0175] 如图10所示, 本实施例提供了一种面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配系统, 包括:

[0176] 乱序排序模块, 被配置为对FPGA重排序系统中当前的乱序遥测数据先进行在线排序, 再进行离线排序得到完全有序的遥测数据;

[0177] 资源分配模块, 被配置为利用当前的乱序遥测数据确定FPGA重排序系统中在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例, 具体为:

[0178] 基于当前的乱序遥测数据统计当前的乱序度量指标, 包括在线排序窗口内乱序率、在线排序窗口间乱序率以及加权乱序距离;

[0179] 根据当前的乱序度量指标和当前FPGA重排序系统性能偏差比例自适应调整历史乱序度量指标权重, 得到当前乱序度量指标权重;

[0180] 基于当前乱序度量指标权重以及当前的乱序度量指标, 确定在线排序和离线排序的比较器资源分配比例;

[0181] 根据当前FPGA重排序系统性能偏差调整比较器资源分配比例, 得到在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例。

[0182] 上述模块与对应的步骤所实现的示例和应用场景相同, 但不限于上述实施例一所公开的内容。需要说明的是, 上述模块作为系统的一部分可以在诸如一组计算机可执行指令的计算机系统中执行。

[0183] 上述实施例中对各个实施例的描述各有侧重, 某个实施例中没有详述的部分可以参见其他实施例的相关描述。

[0184] 所提出的系统,可以通过其他的方式实现。例如以上所描述的系统实施例仅仅是示意性的,例如上述模块的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时,可以有另外的划分方式,例如多个模块可以结合或者可以集成到另外一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。

[0185] 实施例三

[0186] 本实施例提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行时实现如上述实施例一所述的面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法中的步骤。

[0187] 实施例四

[0188] 本实施例提供了一种计算机设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述程序时实现如上述实施例一所述的面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法中的步骤。

[0189] 实施例五

[0190] 本实施例提供了一种计算机程序产品或计算机程序,包括计算机指令,该计算机指令存储在计算机可读存储介质中,计算机设备的处理器从计算机可读存储介质读取该计算机指令,处理器执行该计算机指令,使得该计算机设备执行上述实施例一所述的面向网络遥测重排的FPGA比较器资源分配方法中的步骤。

[0191] 本领域内的技术人员应明白,本发明的实施例可提供方法、系统或计算机程序产品。因此,本发明可采用硬件实施例、软件实施例或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器和光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0192] 本发明是参照根据本发明实施例的方法、设备(系统)和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0193] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0194] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0195] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的程序可存储于一计算机可读取存储介质中,该程序在执行时,可包括如上述各方法的实施例的流程。其中,所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体(Read-Only Memory,ROM)或随机存储记忆体(Random Access

Memory, RAM) 等。

[0196] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

对FPGA重排序系统中当前的乱序遥测数据先进行在线排序，再进行离线排序得到完全有序的遥测数据

利用当前的乱序遥测数据确定FPGA重排序系统中在线排序和离线排序的比较器资源最优分配比例

图1

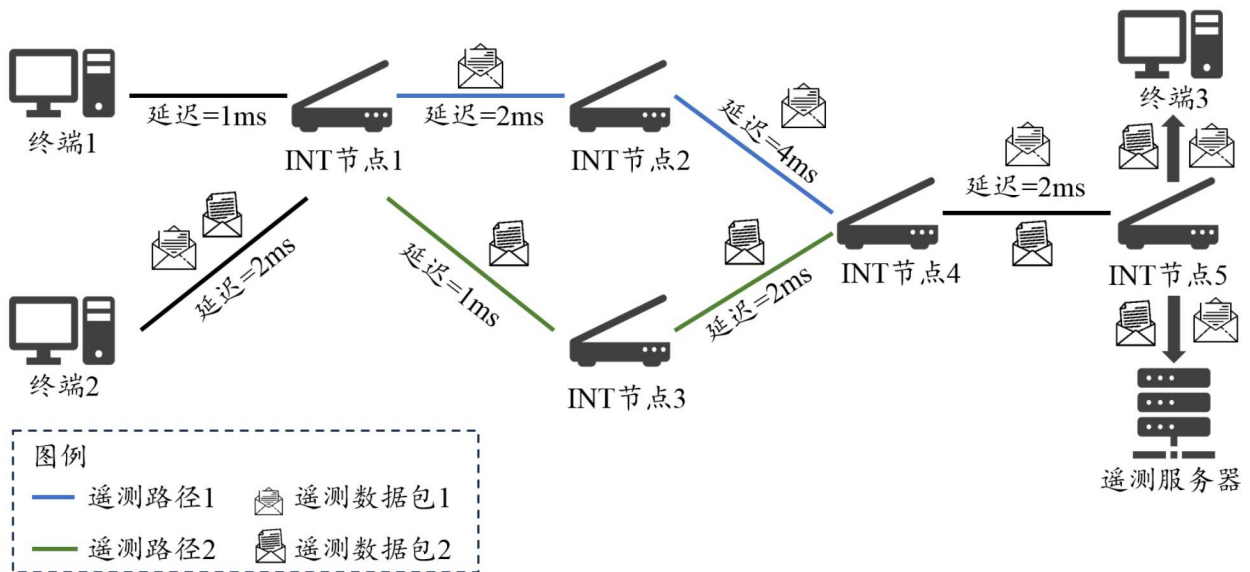


图2

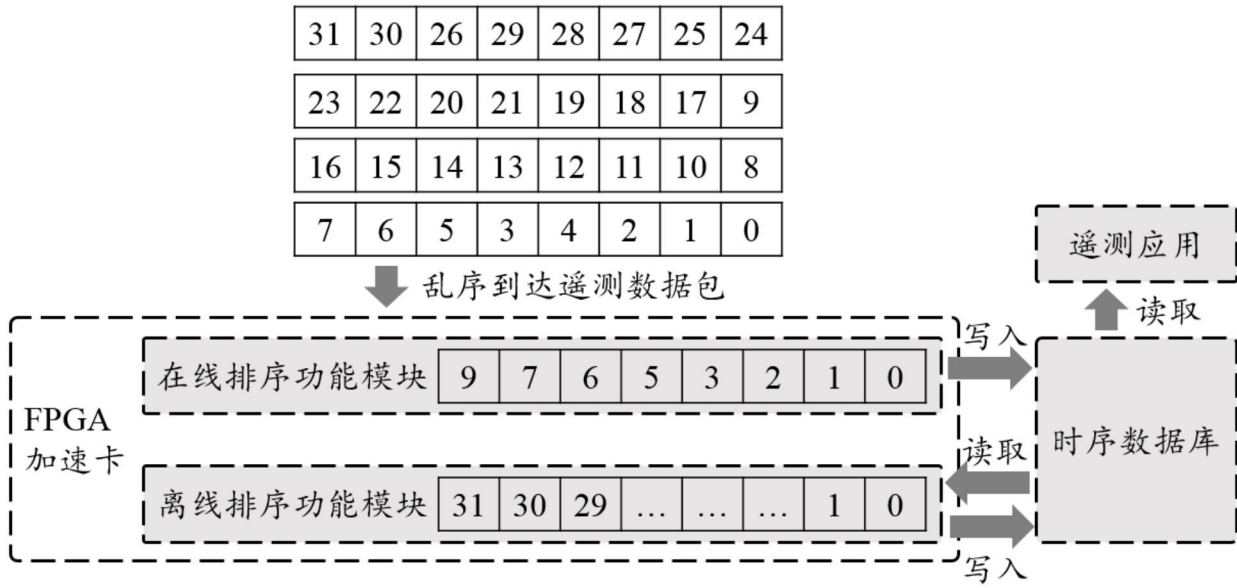


图3

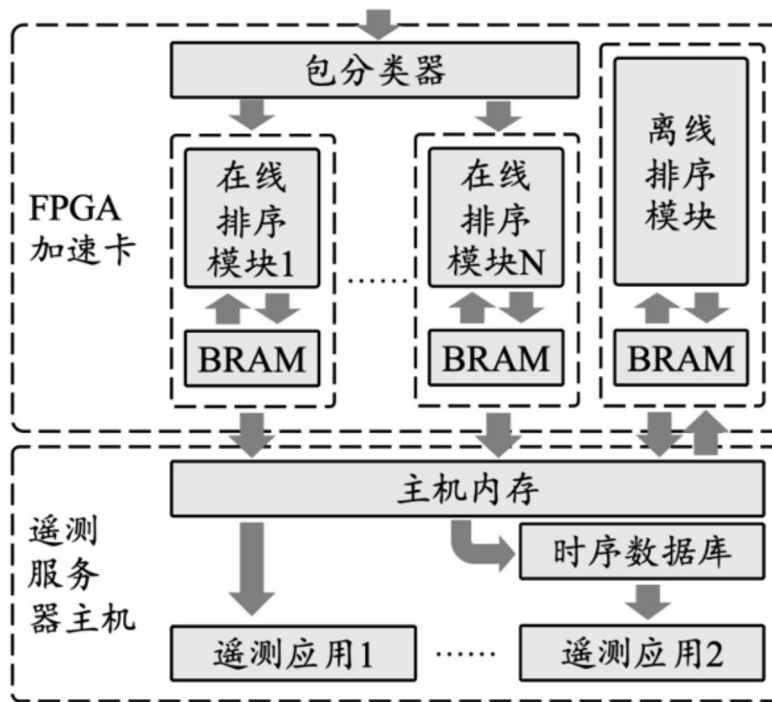


图4

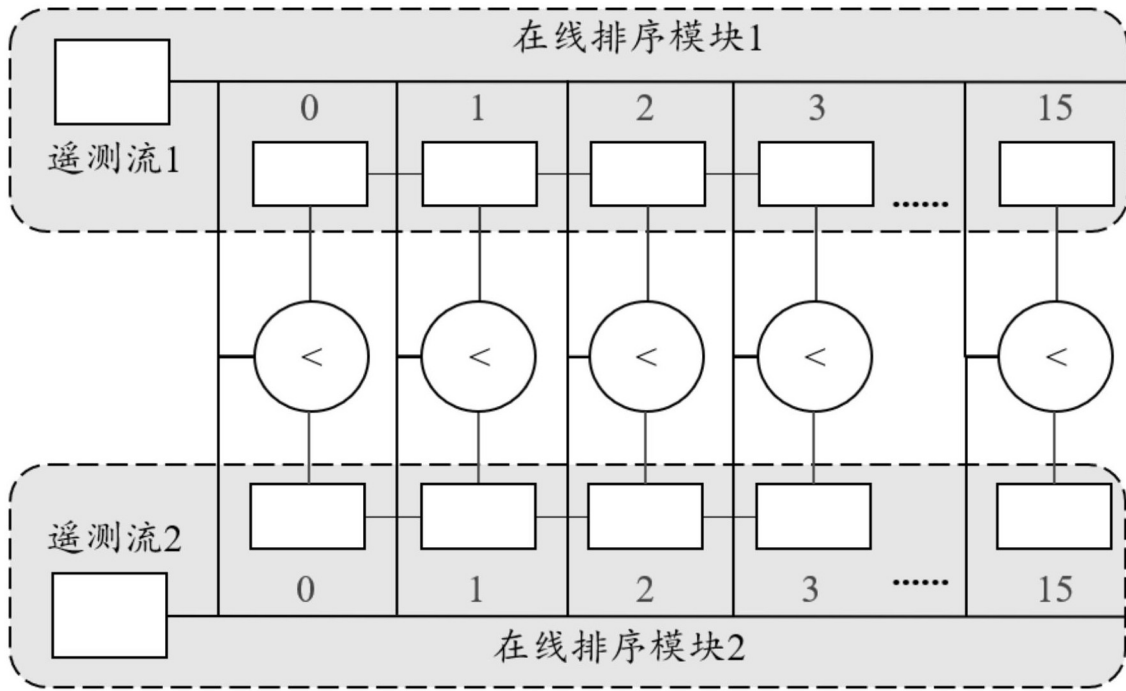


图5

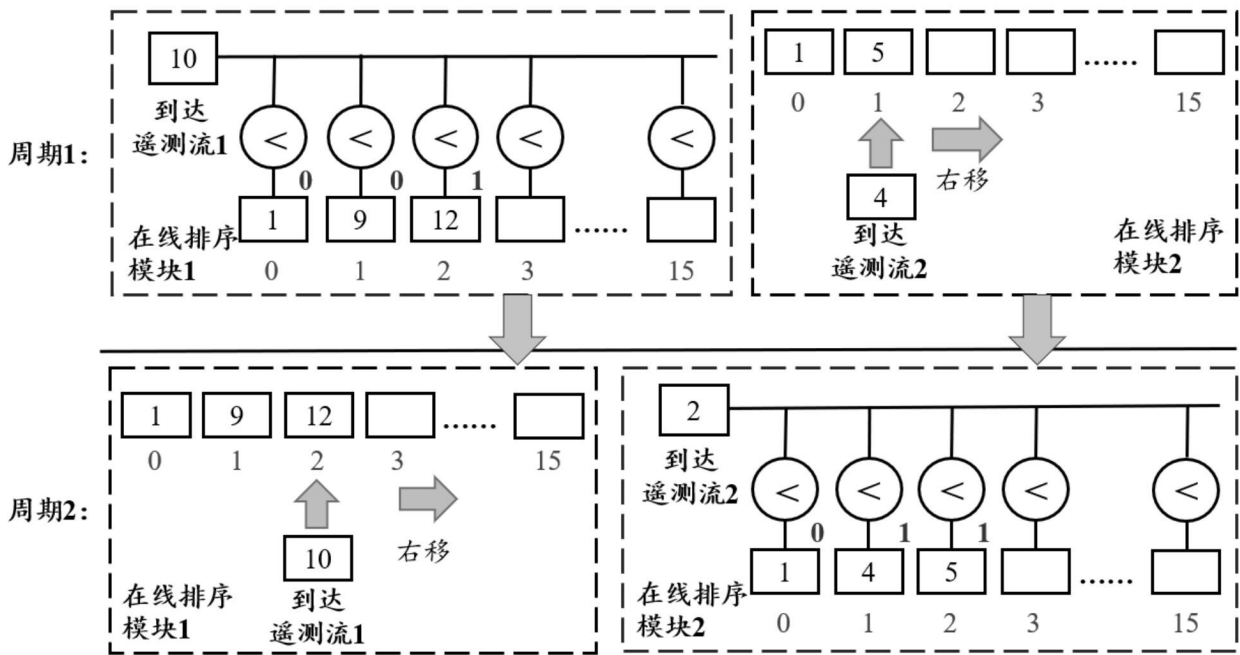


图6

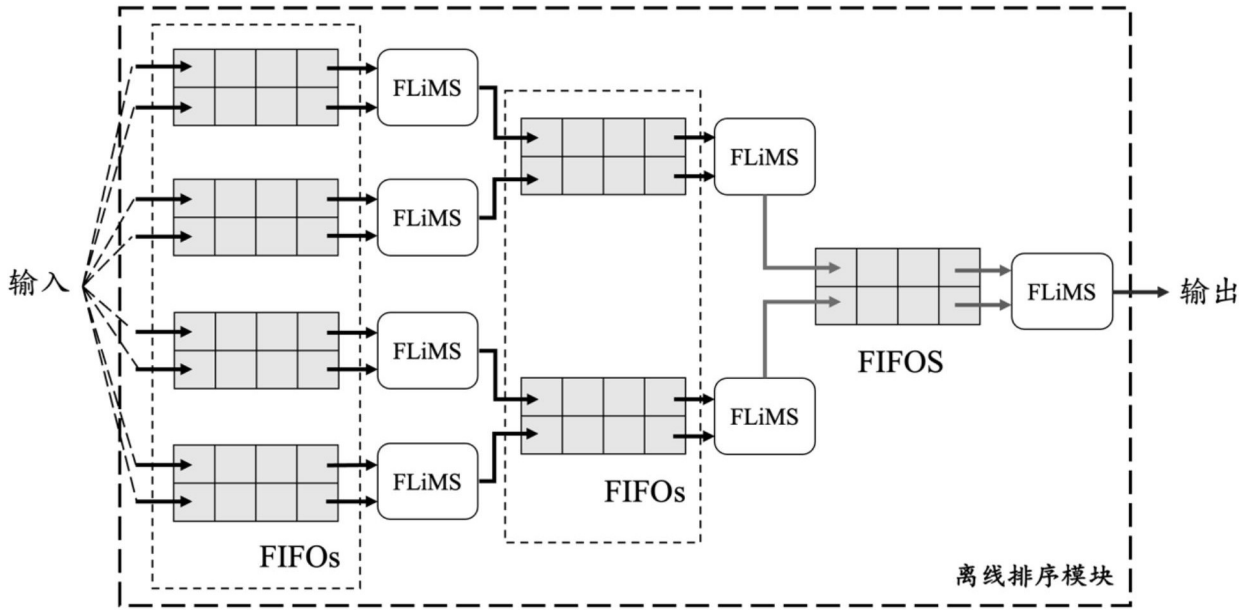


图7



图8

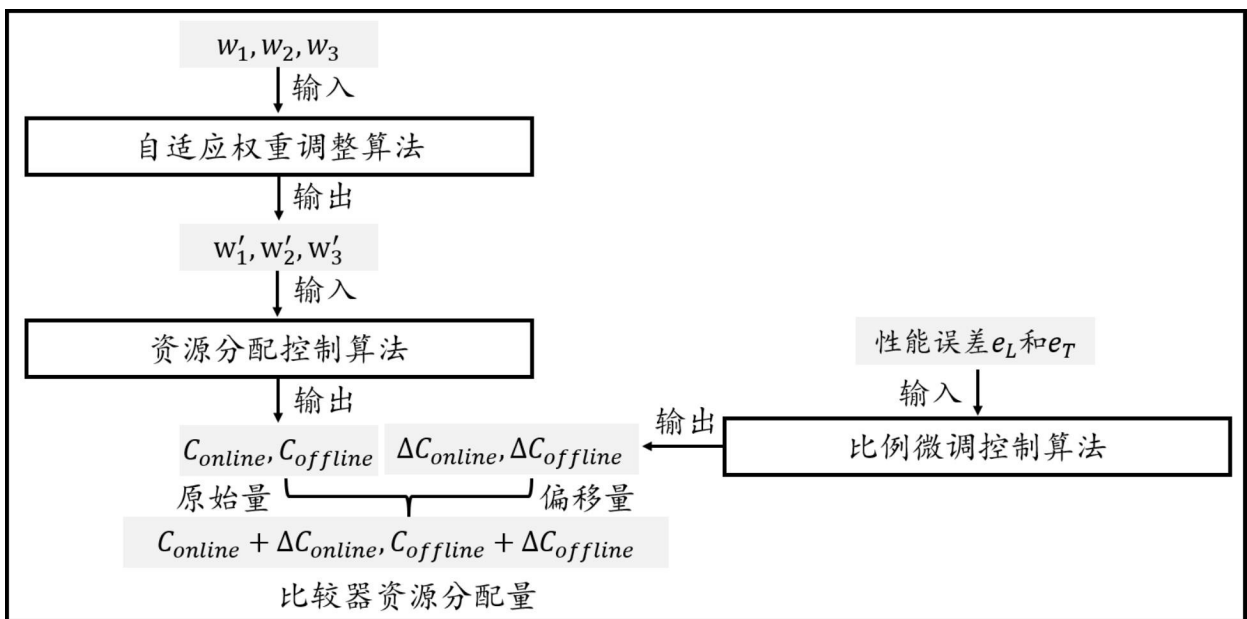


图9



图10