

证书号第8030677号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种网络损伤组合化模拟实现方法及系统

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;王新航;史慧玲;张玮

专利号：ZL 2023 1 1777845.7

授权公告号：CN 117749637 B

专利申请日：2023年12月21日

授权公告日：2025年06月27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;王新航;史慧玲;张玮

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





国家知识产权局

250014

山东省济南市历下区经十路 17703 号华特广场 B510 室 济南圣达知
识产权代理有限公司
黄海丽(0531-68605722)

发文日:

2023 年 12 月 22 日



申请号: 202311777845.7

发文序号: 2023122201364760

专利申请受理通知书

根据专利法第 28 条及其实施细则第 38 条、第 39 条的规定,申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日等信息通知如下:

申请号: 2023117778457

申请日: 2023 年 12 月 21 日

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)

发明人: 谭立状,王新航,史慧玲,张玮

发明创造名称: 一种网络损伤组化模拟实现方法及系统

经核实,国家知识产权局确认收到文件如下:

发明专利请求书 1 份 5 页

权利要求书 1 份 5 页,权利要求项数: 10 项

说明书 1 份 18 页

说明书附图 1 份 4 页

说明书摘要 1 份 1 页

实质审查请求书 文件份数: 1 份

申请方案卷号: 2023710591

提示:

1. 申请人收到专利申请受理通知书之后,认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时,可以向国家知识产权局请求更正。

2. 申请人收到专利申请受理通知书之后,再向国家知识产权局办理各种手续时,均应当准确、清晰地写明申请号。

审查员: 张秀秀

联系电话: 010-62356655

审查部门: 初审及流程管理部



200101
2022.10

纸件申请,回函请寄: 100088 北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 国家知识产权局专利局受理处收
电子申请,应当通过专利业务办理系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外,以纸件等其他形式提交的文件视为未提交。

1、一种网络损伤组合化模拟实现方法，其特征是，包括：

获取网络流，查询网络流的网络损伤需求；

将网络损伤需求拆分成若干个损伤功能，分析损伤功能串行组合的可行性以及并行组合的可行性，并生成组合化策略；

检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，对可优化的并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略；

依照优化后的组合化策略，构建网络损伤组合并行图；按照网络损伤组合并行图进行网络损伤模拟。

2、如权利要求 1 所述的一种网络损伤组合化模拟实现方法，其特征是，获取网络流，查询网络流的网络损伤需求，具体包括：

获取网络流；

查询并存储网络流的网络损伤需求；

如果目标网络流中不包含网络损伤需求，则直接对网络流进行转发；如果网络流中包含网络损伤需求，则进入下一步；

所述查询并存储目标网络流的网络损伤需求，具体包括：

创建损伤功能操作映射表；所述损伤功能操作映射表，包括：损伤功能和操作域，以及损伤功能对应报文的操作域和操作信息；将损伤功能的操作域和操作信息，均存储到损伤功能操作映射表中；其中，所述损伤功能，包括：丢包损伤、报文篡改、乱序损伤、延时损伤或整形损伤；操作域是指报文中的设定字段，操作信息，是指读操作或写操作。

3、如权利要求 1 所述的一种网络损伤组合化模拟实现方法，其特征是，所述将网络损伤需求拆分成若干个损伤功能，分析损伤功能串行组合的可行性以

及并行组合的可行性，并生成组合化策略，具体包括：

将网络损伤需求分解为若干个损伤功能；将每个损伤功能的操作域和操作信息均存储到损伤功能操作映射表中；

为每个损伤功能设置对应的规则；所述对应的规则，包括：顺序规则、优先级规则和位置规则；将优先级规则的损伤功能和位置规则的损伤功能，直接输出到策略集合中；

对顺序规则对应的任意两个损伤功能，判断两个损伤功能并行执行的结果与串行执行的结果是否相同，如果相同，则表示两个损伤功能允许并行工作；如果不同，则表示两个损伤功能不允许并行工作；

当所有顺序规则对应的损伤功能均分析完毕后，将允许并行工作的顺序规则检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合；将不允许并行工作的顺序规则，执行依照优化后的组合化策略，构建网络损伤组合并行图。

4、如权利要求1所述的一种网络损伤组合化模拟实现方法，其特征是，所述检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，对可优化的并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略，具体包括：

检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，其检查规则根据损伤功能动作依赖表进行判定，当两个损伤功能对同一个数据包的相同字段分别执行读操作和写操作，则表示不存在可优化的并行组合；当两个损伤功能对同一个数据包的相同字段分别执行读操作和读操作，则表示存在可优化的并行组合；

如果存在可优化的并行组合，则采用内存复用或仅复制报文头部的方式对并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略；如果不存在可优化的并行组合，则进入依照优化后的组合化策略，构建网络损伤组合并行图。

5、如权利要求 1 所述的一种网络损伤组合化模拟实现方法，其特征是，所述检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，对可优化的并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略，具体包括：

获取允许组合工作的顺序规则 $\text{Order}(\text{DF1}, \text{DF2})$ ，分析顺序规则内的是否可组合化参数的值，若是否可组合化参数的值为 false，直接将当前顺序规则添加到输出策略集合中，若为是否可组合化参数的值为 true，执行 S103-2；

对于允许组合工作的顺序规则，执行损伤功能组合优化算法，损伤功能组合优化算法的输入值为顺序规则 $\text{Order}(\text{DF1}, \text{DF2})$ ，输出值为复制数据包或不复制数据包两种状态；

将输出结果以参数形式配置到顺序规则中；将优化之后的顺序规则添加到输出策略集合中。

6、如权利要求 5 所述的一种网络损伤组合化模拟实现方法，其特征是，所述对于允许组合工作的顺序规则，执行损伤功能组合优化算法，基于内存复用来实现，具体包括：

首先对损伤功能动作依赖表 DFDT 进行更新，即提取两个操作对，将其存到损伤功能动作依赖表 DFDT 中；若两个损伤功能都为读操作，则不复制数据包；若两个损伤功能，一个为读操作，另外一个为写操作，若二者的操作域不同，则不复制数据包，否则复制数据包；若两个损伤功能都为写操作，且二者写操作域不同，则不复制数据包，否则复制数据包；

从损伤功能操作映射表 DFAM 中获取两个损伤功能的所有操作，然后获取两个损伤功能中所有的动作对，基于损伤功能动作依赖表 DFDT 来判断两个损伤功能的组合是否可优化：当两个损伤功能对同一个数据包的相同字段分别执

行读操作和写操作，则不可优化组合；当两个损伤功能对同一个数据包的相同字段分别执行读操作和读操作，则可优化组合；

将输出结果配置到顺序规则 Order(DF1, DF2)中。

7、如权利要求 1 所述的一种网络损伤组合化模拟实现方法，其特征是，所述依照优化后的组合化策略，构建网络损伤组合并行图，具体包括：

获取输出策略集合，其中输出策略集合包括顺序规则、优先级规则和位置规则；

将输出策略转换为中间语言表示，包括两种不同的类型：对于位置规则，维护损伤功能类型以及记录单个损伤功能的位置；对于顺序规则和优先级规则，将可串行组合或并行组合的损伤功能进行优先级分配；

将中间语言表示转化成微型损伤功能图：首先顺序地将不可组合的多个损伤功能链接起来；然后，使用具有相同起点动作的多个损伤功能作为连接点，将具有相同起点动作的损伤功能的中间语言表示连接到微型损伤功能图中；其中，微型损伤功能图，共有三类结构，包括：单个损伤功能的微型损伤功能图、树结构微型损伤功能图和组合平面结构微型损伤功能图；最后，生成没有重叠损伤功能的微型损伤功能图；

将微型损伤功能图合并为最终网络损伤组合并行图：将由位置规则分配的损伤功能，放置在最终生成的网络损伤组合并行图的头部或尾部；然后将每个剩余的微型损伤功能图合并为一个损伤功能，并检查每两个微型损伤功能图之间的依赖性，以决定它们的组合性，若两个损伤功能具有顺序依赖，则不可并行执行；若两个损伤功能不具有位置依赖、顺序依赖或优先级依赖，则可并行执行；最后将独立的微型损伤功能图，按照位置、顺序或优先级进行连接，得

到最终网络损伤组合并行图。

8、一种网络损伤组合化模拟实现系统，其特征是，包括：

获取模块，其被配置为：获取网络流，查询网络流的网络损伤需求；

策略生成模块，其被配置为：将网络损伤需求拆分成若干个损伤功能，分析损伤功能串行组合的可行性以及并行组合的可行性，并生成组合化策略；

优化模块，其被配置为：检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，对可优化的并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略；

损伤模拟模块，其被配置为：依照优化后的组合化策略，构建网络损伤组合并行图；按照网络损伤组合并行图进行网络损伤模拟。

9、一种电子设备，其特征是，包括：

存储器，用于非暂时性存储计算机可读指令；以及

处理器，用于运行所述计算机可读指令，

其中，所述计算机可读指令被所述处理器运行时，执行上述权利要求 1-7 任一项所述的方法。

10、一种存储介质，其特征是，非暂时性存储计算机可读指令，其中，当非暂时性计算机可读指令由计算机执行时，执行权利要求 1-7 任一项所述方法的指令。

一种网络损伤组合化模拟实现方法及系统

技术领域

本发明涉及网络损伤模拟技术领域，特别是涉及一种网络损伤组合化模拟实现方法及系统。

背景技术

本部分的陈述仅仅是提到了与本发明相关的背景技术，并不必然构成现有技术。

网络损伤模拟与仿真能够为网络的研究、优化和运维提供技术支撑，因此，被学术界和产业界广泛应用于网络协议优化验证、网络设备性能分析、网络故障定位排查、网络系统可靠性评估等领域。

传统的网络损伤模拟方法通常是对各个损伤功能串行执行的，这限制了损伤模拟的效率和准确性。随着网络通信的增长和复杂性的增加，网络研究工程师需要更高效的损伤模拟方法来满足日益增长的高速网络测试需求。

已有技术中的网络损伤模拟方法存在以下局限性：

(1) 不同网络损伤模块之间存在逻辑冲突。例如，丢包损伤模块会改变数据包数量，其若在报文篡改模块之前则会影响后者的损伤精度。

(2) 错误的串行执行网络损伤导致设备硬件资源浪费。例如，丢包损伤逻辑的实现意味着可能不需要额外的计算资源去执行其他损伤模块。

(3) 网络损伤通常具有时间约束，串行执行网络损伤功能无法满足高吞吐下逐包转发的严格延迟限制。

发明内容

为了解决现有技术的不足，本发明提供了一种网络损伤组合化模拟实现方法及系统；本发明能够在保证网络损伤功能逻辑正确性的前提下，更有效地模拟复杂网络条件，并提升效率和减少开销。在保证损伤功能逻辑正确性的前提下，显著优化了损伤功能的组合处理延迟以及部署开销。

一方面，提供了一种网络损伤组合化模拟实现方法，包括：

获取网络流，查询网络流的网络损伤需求；

将网络损伤需求拆分成若干个损伤功能，分析损伤功能串行组合的可行性以及并行组合的可行性，并生成组合化策略；

检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，对可优化的并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略；

依照优化后的组合化策略，构建网络损伤组合并行图；按照网络损伤组合并行图进行网络损伤模拟。

另一方面，提供了一种网络损伤组合化模拟实现系统，包括：

获取模块，其被配置为：获取网络流，查询网络流的网络损伤需求；

策略生成模块，其被配置为：将网络损伤需求拆分成若干个损伤功能，分析损伤功能串行组合的可行性以及并行组合的可行性，并生成组合化策略；

优化模块，其被配置为：检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，对可优化的并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略；

损伤模拟模块，其被配置为：依照优化后的组合化策略，构建网络损伤组合并行图；按照网络损伤组合并行图进行网络损伤模拟。

再一方面，还提供了一种电子设备，包括：

存储器，用于非暂时性存储计算机可读指令；以及

处理器，用于运行所述计算机可读指令，

其中，所述计算机可读指令被所述处理器运行时，执行上述第一方面所述的方法。

再一方面，还提供了一种存储介质，非暂时性存储计算机可读指令，其中，当非暂时性计算机可读指令由计算机执行时，执行第一方面所述方法的指令。

再一方面，还提供了一种计算机程序产品，包括计算机程序，所述计算机程序当在一个或多个处理器上运行的时候用于实现上述第一方面所述的方法。

上述技术方案具有如下优点或有益效果：

本发明能够在保证网络损伤功能逻辑正确性的前提下，更有效地模拟复杂网络条件，并提升效率和减少开销。在保证损伤功能逻辑正确性的前提下，显著优化了损伤功能的串并行组合处理延迟以及部署开销。

附图说明

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。

图1为本发明提供的网络损伤组合化的实现方法流程图；

图2为本发明提供的网络损伤组合化的系统架构图；

图3（a）~图3（d）为损伤功能示例；

图4为网络损伤组合并行图，是图3（a）~图3（d）中损伤功能组合化示例；

图5为网络损伤组合服务图构建流程图。

具体实施方式

应该指出，以下详细说明都是示例性的，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不同含义。

实施例一

本实施例提供了一种网络损伤组合化模拟实现方法；

一种网络损伤组合化模拟实现方法，包括：

S101：获取网络流，查询网络流的网络损伤需求；

S102：将网络损伤需求拆分成若干个损伤功能，分析损伤功能串行组合的可行性以及并行组合的可行性，并生成组合化策略；

S103：检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，对可优化的并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略；

S104：依照优化后的组合化策略，构建网络损伤组合并行图；按照网络损伤组合并行图进行网络损伤模拟。

本发明用于模拟网络中的各种损伤条件，以评估网络设备和网络应用程序的功能和性能。传统的网络损伤功能的组织执行方法通常是串行执行的，这限制了其性能和可伸缩性。本发明提供了一种网络损伤组合化（串行组合和并行组合）的方法，以提高损伤模拟的执行效率并降低其部署成本。本发明能够在保证网络损伤功能逻辑正确性的前提下，更有效地模拟复杂网络条件，并提升效率和减少开销。

进一步地，所述 S101：获取网络流，查询网络流的网络损伤需求，具体包括：

S101-1：获取网络流；

S101-2：查询并存储网络流的网络损伤需求；

S101-3：如果目标网络流中不包含网络损伤需求，则直接对网络流进行转发；

如果网络流中包含网络损伤需求，则进入下一步 S102。

进一步地，所述 S101-2：查询并存储目标网络流的网络损伤需求，具体包括：

创建损伤功能操作映射表；所述损伤功能操作映射表，包括：损伤功能和操作域，以及损伤功能对应报文的操作域和操作信息；将损伤功能的操作域和操作信息，均存储到损伤功能操作映射表中；其中，所述损伤功能，包括：丢包损伤、报文篡改、乱序损伤、延时损伤或整形损伤；操作域是指报文中的设定字段，操作信息，是指读操作或写操作。

表 1 损伤功能操作映射表

操作域 损伤功能	SIP	DIP	SPORT	DPORT	Drop	Add/Rm
丢包损伤	R	R	R	R	T	F
报文篡改	R/W	R/W	R/W	R/W	F	F
乱序损伤	R	R	R	R	F	F
延时损伤	R	R	R	R	F	T
整形损伤	R	R	R	R	F	T

表1为损伤功能操作映射表，其中R表示读操作，W表示写操作。

示例性地，读取网络流中网络损伤需求，并创建被命名为 DFAM（Damage Function Action Map，损伤功能操作映射表）的映射表，用于存储各损伤需求的操作域和操作信息，操作域为报文中的设定字段，操作信息 values 应包括读操作和写操作。

示例性地，所述网络损伤需求，是指：网络流要求以 10%概率丢包以及以

10ms 的延迟进行转发。

进一步地，所述 S102：将网络损伤需求拆分成若干个损伤功能，分析损伤功能串行组合的可行性以及并行组合的可行性，并生成组合化策略，具体包括：

S102-1：将网络损伤需求分解为若干个损伤功能；将每个损伤功能的操作域和操作信息均存储到损伤功能操作映射表中；

S102-2：为每个损伤功能设置对应的规则；所述对应的规则，包括：顺序规则、优先级规则和位置规则；将优先级规则的损伤功能和位置规则的损伤功能，直接输出到策略集合中；

S102-3：对顺序规则对应的任意两个损伤功能，判断两个损伤功能并行执行的结果与串行执行的结果是否相同，如果相同，则表示两个损伤功能允许并行工作；如果不同，则表示两个损伤功能不允许并行工作；

S102-4：当所有顺序规则对应的损伤功能均分析完毕后，将允许并行工作的顺序规则执行 S103；将不允许并行工作的顺序规则，执行 S104。

进一步地，所述 S102-1，还包括：对所有损伤功能的操作域和操作信息进行分析与综合，得到当前损伤功能对报文的操作域以及操作信息；在分析与综合过程中，综合考虑构成损伤功能中的报文的的操作域及操作信息，其中操作域为报文中的设定字段，包括：源 IP 地址，目的 IP 地址和端口，操作信息为对操作域的具体执行操作，包括读操作和写操作。

例如针对丢包损伤，将数据包的 Drop 操作域进行写操作以将其丢弃，所以在该损伤功能对应损伤功能操作映射表 DFAM（表 1）中需要进行相应设置。

分析综合是根据哈希映射表中的操作域字段进行判断，进一步更改操作域对应的操作信息。例如针对丢包操作需要对 Drop 操作域进行写操作。

进一步地，所述 S102-2，顺序规则，如果存在两个损伤功能 DF1 和 DF2，按照先执行第一损伤功能 DF1，后执行第二损伤功能 DF2 的顺序来执行，则两个损伤功能 DF1 和 DF2 的规则是顺序规则。

DF 全称为：Damage Function。

示例性地，顺序规则 Order(DF1, DF2)：顺序规则表示两个损伤功能按照先损伤功能 DF1，后损伤功能 DF2 的顺序执行。例如用户的损伤需求为“对目的 IP 为‘10.0.0.1’的数据包先执行 10ms 的延迟，然后进行 10%概率丢包”时，该损伤需求经过损伤功能分解分析之后，将丢包损伤和延迟损伤以 Order(Delay, Drop) 的顺序规则策略来进行可组合化判定。

进一步地，所述 S102-2，优先级规则，是指当一个顺序规则中的两个损伤操作满足既允许并行执行又允许串行执行前提下，则将其顺序规则转换为优先级规则；其中赋予优先级的原则为：丢包损伤功能的优先级高于延迟损伤功能的优先级，延迟损伤功能的优先级高于乱序损伤的优先级，乱序损伤的优先级高于报文篡改损伤的优先级；延迟损伤的优先级等于整形损伤的优先级。

示例性地，优先级规则 Priority(DF1, DF2)：优先级规则用于为可组合的顺序规则 Order 分配优先级。例如当存在丢包损伤时，其他损伤的操作都会与其在是否丢包的问题上产生冲突，因此可以选择为丢包损伤设置更高的优先级来避免计算资源浪费。

进一步地，所述 S102-1，位置规则，是指将损伤功能的位置设定为指定位置。位置规则为管理员自定义添加。

示例性地，位置规则 Position(DF, first/last)：用户在定义网络损伤时可以根据需求将损伤功能置与设定位置。但是由于无法确定最终的网络损伤组合并行

图结构，只能将损伤功能指定为网络损伤组合并行图的第一个或最后一个。例如可以指定 Position(Delay, first)，以确保数据包先确定延迟时间，避免执行其他损伤导致超时问题。

进一步地，所述 S102-3：对顺序规则对应的任意两个损伤功能，判断二者并行执行的结果与顺序执行的结果是否相同，如果相同，则表示两个损伤功能允许并行工作；如果不同，则表示两个损伤功能不允许并行工作，具体包括：

S102-31：获取顺序规则 Order(DF1, DF2)中的两个损伤功能，并创建损伤功能动作依赖表（DFDT，Damage Function Dependency Table），损伤功能动作依赖表包括两个损伤功能各自的操作信息以及两个损伤功能的操作信息之间的依赖关系，操作信息，包括：读操作、写操作、添加或删除；

表 2 损伤功能动作依赖表

DF1 \ DF2	读 (Read)	写 (Write)	篡改 (Add/RM)	丢弃 (Drop)
读 (Read)	T1	T2	T2	T1
写 (Write)	F	T2	T2	T1
篡改 (Add/RM)	F	F	T2	T1
丢弃 (Drop)	F	F	F	T1

表2为损伤功能动作依赖表，其中T1表示可并行不需要复制数据包，T2表示可并行但需要复制数据包，F表示不可并行。

S102-32：从损伤功能操作映射表 DFAM 中，获取两个损伤功能的所有操作，然后获取两个损伤功能中所有的动作对（如损伤 1 的读操作和损伤 2 的读操作共同组成一对动作对），基于损伤功能动作依赖表 DFDT 来判断两个损伤功能是否可组合，当两个损伤功能对同一个数据包的相同字段分别执行读操作和写操

作，则两个损伤功能不可组合；当两个损伤功能对同一个数据包的相同字段分别执行读操作和读操作，则两个损伤功能可组合；

S102-33：对于动作对为读写或写写的情况，进一步确定读写或写写操作是否在同一字段上操作，即检查读写或写写操作的操作域是否相同，若相同，则输出不可允许并行执行或串行执行，若不相同，则输出允许并行执行或串行执行；

例如，存在一个顺序规则 Order(Tamper, Drop)，丢包损伤需要对目的 IP 为 10.0.0.2 的数据包进行丢弃操作，而报文篡改需要对目的 IP 进行写操作，所以此顺序规则中的读写动作对的操作域相同，二者不可组合执行。

S102-34：将输出结果配置到顺序规则 Order(DF1, DF2)中。

进一步地，所述 S103：检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，对可优化的并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略，具体包括：

检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，其检查规则根据损伤功能动作依赖表进行判定，当两个损伤功能对同一个数据包的相同字段分别执行读操作和写操作，则表示不存在可优化的并行组合；当两个损伤功能对同一个数据包的相同字段分别执行读操作和读操作，则表示存在可优化的并行组合；

如果存在可优化的并行组合，则采用内存复用或仅复制报文头部的方式对并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略；如果不存在可优化的并行组合，则进入 S104。

进一步地，所述内存复用，是指在读写情况下，根据两个操作是否对同一数据包字段进行操作来决定数据包复制的必要性：

如果两个损伤功能读取或写入数据包的不同字段，则它们允许在同一个数

据包副本上操作；

如果两个损伤功能读取或写入数据包的相同字段，则它们不允许在同一个数据包副本上操作。

应理解地，内存复用可以减少数据包复制的必要性。需要注意的是，当两个 CPU 内核上的两个 DF 同时操作同一个数据包副本时，它们所操作的数据头字段可能会映射到同一个缓存行，从而引起缓存争用，降低性能。

进一步地，所述仅复制报文头部的方式，是指对于损伤功能组合，仅复制数据包的头部，不需要将整个数据包都复制进行操作。仅复制数据包头部，可以节省并行计算的资源。

仅复制报头可以通过缩短要复制的内存长度来提高性能并节省内存。需要注意的是，在复制报头之后应该将复制报头的数据包长度字段修改为报头本身的长度，以确保组合损伤功能接收有效的数据包。

进一步地，所述 S103：检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，对可优化的并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略，具体包括：

S103-1：获取允许组合工作的顺序规则 $\text{Order}(\text{DF1}, \text{DF2})$ ，分析顺序规则内的是否可组合化参数的值，若是否可组合化参数的值为 false，直接将当前顺序规则添加到输出策略集合中，若为是否可组合化参数的值为 true，执行 S103-2；

S103-2：对于允许组合工作的顺序规则，执行损伤功能组合优化算法，损伤功能组合优化算法的输入值为顺序规则 $\text{Order}(\text{DF1}, \text{DF2})$ ，输出值为复制数据包或不复制数据包两种状态；

S103-3：将输出结果以参数形式配置到顺序规则中；

S103-4：将优化之后的顺序规则添加到输出策略集合中。

进一步地，所述 S103-2：对于允许组合工作的顺序规则，执行损伤功能组合优化算法，基于内存复用来实现，具体包括：

S103-21：首先对损伤功能动作依赖表 DFDT 进行更新，即提取两个操作对，将其存到损伤功能动作依赖表 DFDT 中；

若两个损伤功能都为读操作，则不复制数据包；

若两个损伤功能，一个为读操作，另外一个为写操作，若二者的操作域不同，则不复制数据包，否则复制数据包；

若两个损伤功能都为写操作，且二者写操作域不同，则不复制数据包，否则复制数据包；

S103-22：从损伤功能操作映射表 DFAM 中获取两个损伤功能的所有操作，然后获取两个损伤功能中所有的动作对，基于损伤功能动作依赖表 DFDT 来判断两个损伤功能的组合是否可优化：

当两个损伤功能对同一个数据包的相同字段分别执行读操作和写操作，则不可优化组合；当两个损伤功能对同一个数据包的相同字段分别执行读操作和读操作，则可优化组合；

S103-23：将输出结果配置到顺序规则 Order(DF1, DF2)中。

进一步地，所述 S104：依照优化后的组合化策略，执行网络损伤模拟，具体包括：

依照优化后的组合化策略，构建网络损伤组合并行图；按照网络损伤组合并行图进行网络损伤模拟。

进一步地，所述 S104：依照优化后的组合化策略，执行网络损伤模拟，具体包括：

S104-1: 获取输出策略集合, 其中输出策略集合包括顺序规则、优先级规则和位置规则;

S104-2: 将输出策略转换为中间语言表示, 包括两种不同的类型:

对于位置规则, 维护损伤功能类型以及记录单个损伤功能的位置, 例如:
string DF_name, int position(first/last)。

对于顺序规则和优先级规则, 将可串行组合或并行组合的损伤功能进行优先级分配, 例如 string DF_name1(high prio), string DF_name(low prio)。

S104-3: 将中间语言表示转化成微型损伤功能图:

S104-31: 首先顺序地将不可组合的多个损伤功能链接起来;

S104-32: 然后, 使用具有相同起点动作的多个损伤功能作为连接点, 将具有相同起点动作的损伤功能的中间语言表示连接到微型损伤功能图中;

其中, 微型损伤功能图, 共有三类结构, 包括: 单个损伤功能的微型损伤功能图、树结构微型损伤功能图和组合平面结构微型损伤功能图;

单个损伤功能的微型损伤功能图, 来自位置规则中包含的损伤功能, 或没有规则限制的空闲损伤功能;

树结构微型损伤功能图, 由不可组合的多个损伤功能构成; 对于树结构微型损伤功能图, 根据损伤功能动作依赖表检查具有相同根的所有叶损伤功能中操作对的依赖关系, 以确定叶损伤功能是否可以组合工作;

组合平面结构微型损伤功能图, 检查所有损伤功能对的依赖关系, 计算它们需要数据包副本的数量, 如果存在并行执行的两个损伤功能, 则数据包复制副本为两份;

S104-33: 最后, 生成没有重叠损伤功能的微型损伤功能图;

S104-4: 将微型损伤功能图合并为最终网络损伤组合并行图:

S104-41: 将由位置规则分配的损伤功能, 放置在最终生成的网络损伤组合并行图的头部/尾部;

S104-42: 然后将每个剩余的微型损伤功能图(包括空闲的损伤功能)合并为一个损伤功能, 并检查每两个微型损伤功能图之间的依赖性, 以决定它们的组合性, 若两个损伤功能具有顺序依赖, 则不可并行执行; 若两个损伤功能不具有位置依赖、顺序依赖或优先级依赖, 则可并行执行;

如果检测到微型损伤功能图之间存在依赖关系, 则由用户进一步规范其执行优先级;

S104-43: 最后将独立的微型损伤功能图, 按照位置、顺序或优先级进行连接, 得到最终网络损伤组合并行图。

本发明公开了一种网络损伤组合化模拟实现方法。首先对于多个损伤功能之间的数据包传递, 本发明使用零拷贝数据包传递方式。其中每个损伤功能都配备一个接收环形缓冲区和一个发送环形缓冲区, 这两个缓冲区存储在一个共享内存区域中, 系统为该共享内存区域分配了大量空间, 所有损伤功能均可访问。接收到的数据包也存放在共享内存中, 而一个损伤功能只需将数据包引用写入其他损伤功能的接收环缓冲区, 即可实现数据包传递。这种零拷贝交付方式消除了数据包合并的拷贝开销。

本发明在网络损伤设备中部署网络损伤组合化框架(DFC, Damage Function Composition)。当数据包进入 DFC 服务器时首先进行分类, 数据包根据数据包传递模块的处理进入适当的服务图中。数据包传递模块采用分布式 DFRuntime 实现, 以便在损伤功能之间并行高效地传送数据包。最后, 数据包的多个副本

被发送到合并模块，以生成最终输出。这些模块可由协调器动态配置。DFC 服务器，包括：数据包分类模块、数据包传递模块和数据包合并模块；

数据包分类模块：接收来自端口的传入数据包，并找出该数据包对应的损伤功能服务图信息，包括合并中预计有数据包副本的数量、合并数据包的不同副本的方式以及损伤功能服务图的第一跳。因此，数据包分类会维护一个分类表（CT, Classification Table），用于存储匹配字段（如五元组）、合并中将收到的数据包副本总数、合并数据包副本的合并操作以及服务图第一个损伤功能的操作，数据包分类会根据这些操作将数据包发送到损伤功能服务图的入口。需要注意的是，一个流中的不同数据包，或遵循相同服务图的不同流，会根据其损伤功能服务图结构以相同模式转发和合并。采用相同的匹配标识（MID, Match Id）标记那些遵循相同服务图的数据包，以避免重复存储服务图信息。后置模块可根据 MID 识别数据包所属的服务图，以转发或合并数据包。

数据包传递模块：在一个损伤功能处理完数据包后，网络损伤服务器应将数据包引导到损伤功能服务图中的后续损伤功能，而不进行复制，或者复制数据包并将副本发送到组合损伤功能。使用集中式虚拟交换机作为转发器可能会产生性能开销。在网络损伤设备内配置了控制器用来分配了数据包转发任务，使每个损伤功能都能独立地将数据包并行转发到后续损伤功能。为了使这一过程对损伤功能开发人员透明且无需修改损伤功能，为每个损伤功能设计了一个 DFRuntime 来执行流量转向。数据包处理完毕后，损伤功能可以将数据包委托给 DFRuntime，DFRuntime 会将数据包引用复制到下一个损伤功能的环形缓冲区，以实现数据包转发。通过分布式 DFRuntime 可以并行处理数据包传送过程，缓解转发热点问题。

数据包合并模块：数据包在最终合并时会产生很多备份数据包，这可能会带来性能瓶颈。本发明在一台网络损伤服务器中部署多个合并模块，并设计一个合并器代理来平衡各实例之间的负载。合并实例维护一个本地 DFDT，可以合并来自任何损伤功能服务图的数据包。为了简化合并的实例化和销毁，本发明将合并作为一个损伤功能来实现。合并实例可由协调器动态实例化或销毁，与其他损伤功能类似。要合并的数据包首先被发送到合并代理，然后由合并代理执行简单的负载平衡来分担负载。需要注意的是，应确保同一数据包的多个副本被发送到同一个合并实例。但是，数据包副本可能会被损伤功能修改。因此，合并代理会对数据包不可变的 PID 字段执行简单快速的散列处理，并将数据包导向合并实例。需要注意的是，流量中的不同数据包拥有不同的 PID，可以被分配到不同的合并实例中。

DFC 为损伤功能提供了访问和修改数据包的接口，以及在处理后丢弃或传递数据包的 DFRuntime。为了将新的损伤功能集成到系统中，DFC 需要损伤功能的操作来进行并行性识别和服务图构建。为此，DFC 为操作员提供了一个检查工具，可以检查损伤功能代码，以发现对数据包进行操作的接口的使用情况，包括读取、写入、丢弃和添加/删除位。操作员可以根据他们的损伤功能代码运行检查器，以自动生成动作配置文件，该配置文件可以注册到 DFC 中，以将新的损伤功能集成到 DFC。本发明为网络损伤功能提供了基于 DPDK 的接口来访问和修改数据包。DPDK 可以解析该分组，并向网络损伤功能提供用于读取和写入分组报头或有效载荷的数据结构。检查工具分析分组数据结构的调用以确定损伤功能的动作。

实施例二

本实施例提供了一种网络损伤组合化模拟实现系统，包括：

获取模块，其被配置为：获取网络流，查询网络流的网络损伤需求；

策略生成模块，其被配置为：将网络损伤需求拆分成若干个损伤功能，分析损伤功能串行组合的可行性以及并行组合的可行性，并生成组合化策略；

优化模块，其被配置为：检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，对可优化的并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略；

损伤模拟模块，其被配置为：依照优化后的组合化策略，构建网络损伤组合并行图；按照网络损伤组合并行图进行网络损伤模拟。

此处需要说明的是，上述获取模块、策略生成模块、优化模块和损伤模拟模块对应于实施例一中的步骤 S101 至 S104，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。

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。

所提出的系统，可以通过其他方式实现。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。

实施例三

本实施例还提供了一种电子设备，包括：一个或多个处理器、一个或多个存储器、以及一个或多个计算机程序；其中，处理器与存储器连接，上述一个

或多个计算机程序被存储在存储器中，当电子设备运行时，该处理器执行该存储器存储的一个或多个计算机程序，以使电子设备执行上述实施例一所述的方法。

应理解，本实施例中，处理器可以是中央处理单元 CPU，处理器还可以是其他通用处理器、数字信号处理器 DSP、专用集成电路 ASIC，现成可编程门阵列 FPGA 或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

存储器可以包括只读存储器和随机存取存储器，并向处理器提供指令和数据、存储器的一部分还可以包括非易失性随机存储器。例如，存储器还可以存储设备类型的信息。

在实现过程中，上述方法的各步骤可以通过处理器中的硬件的集成逻辑电路或者软件形式的指令完成。

实施例一中的方法可以直接体现为硬件处理器执行完成，或者用处理器中的硬件及软件模块组合执行完成。软件模块可以位于随机存储器、闪存、只读存储器、可编程只读存储器或者电可擦写可编程存储器、寄存器等本领域成熟的存储介质中。该存储介质位于存储器，处理器读取存储器中的信息，结合其硬件完成上述方法的步骤。为避免重复，这里不再详细描述。

本领域普通技术人员可以意识到，结合本实施例描述的各示例的单元及算法步骤，能够以电子硬件或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

实施例四

本实施例还提供了一种计算机可读存储介质，用于存储计算机指令，所述计算机指令被处理器执行时，完成实施例一所述的方法。

以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

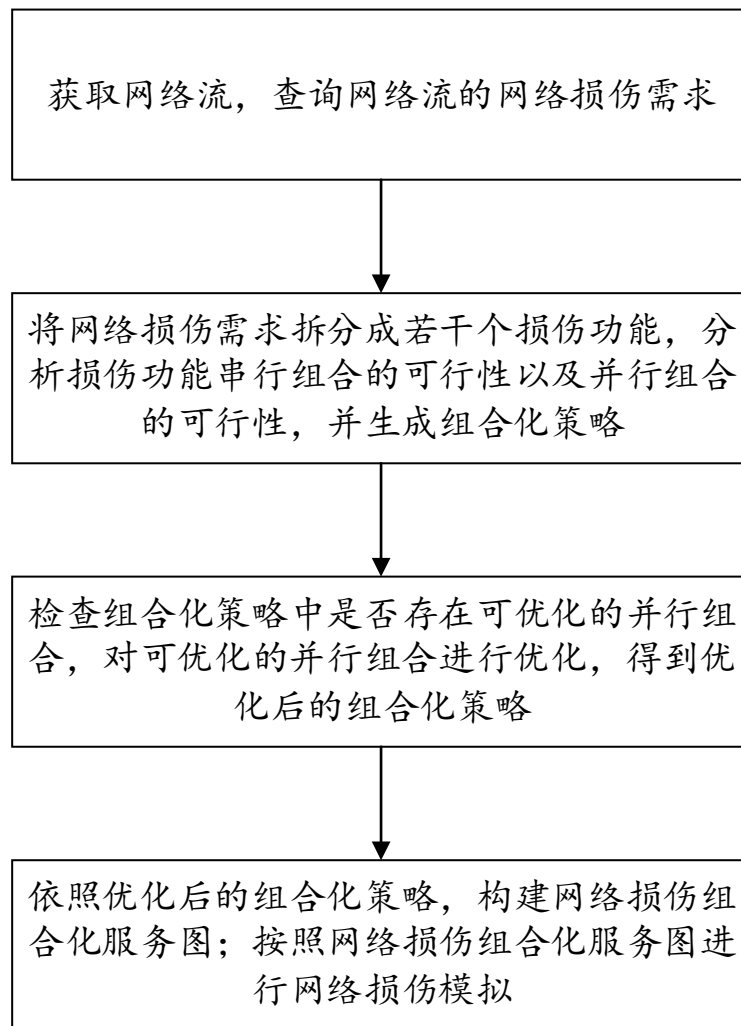


图 1

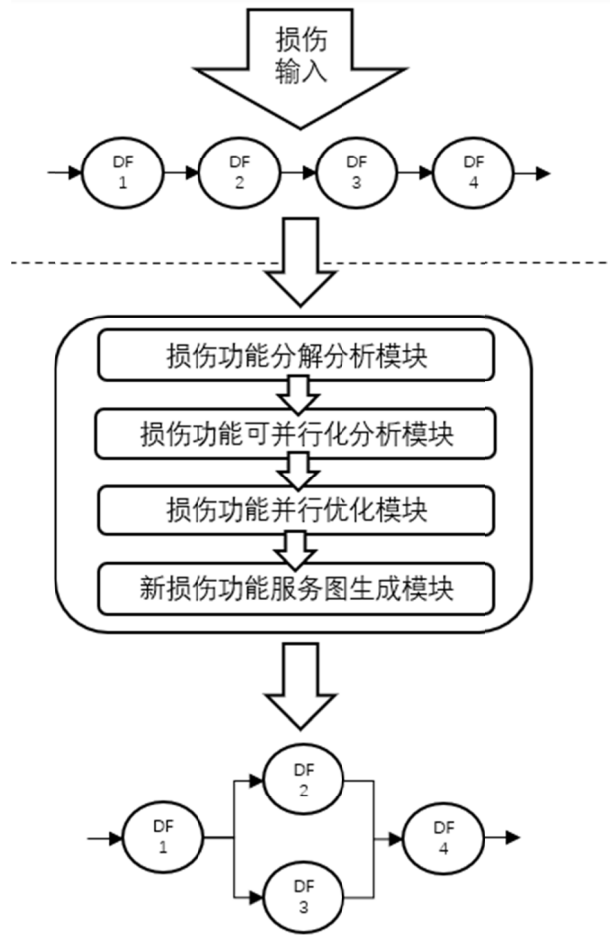


图 2

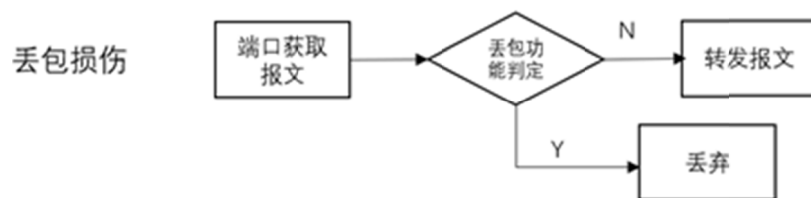


图 3 (a)

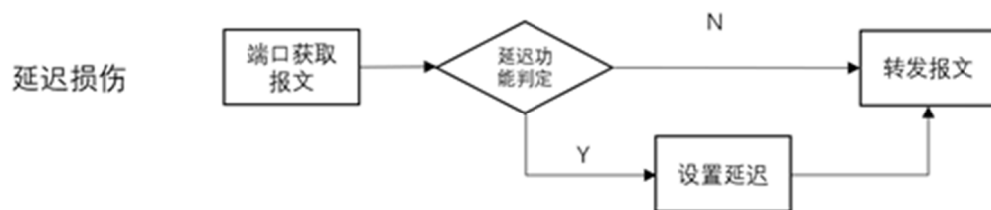


图 3 (b)

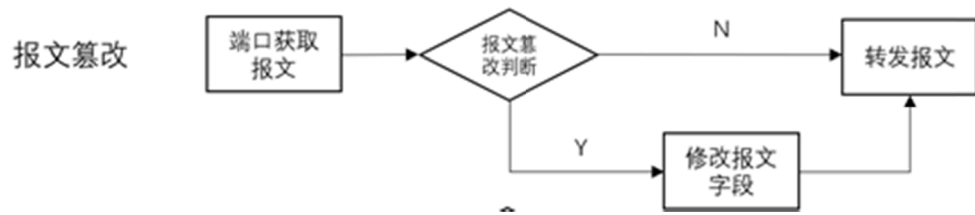


图 3 (c)

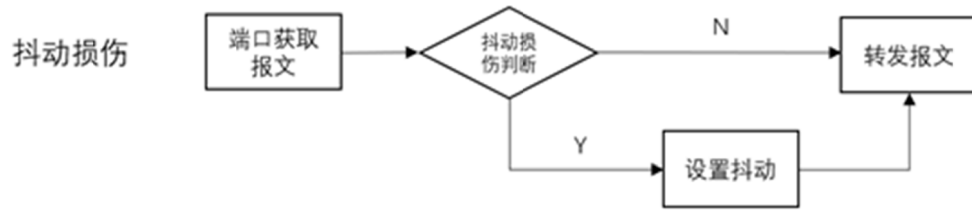


图 3 (d)

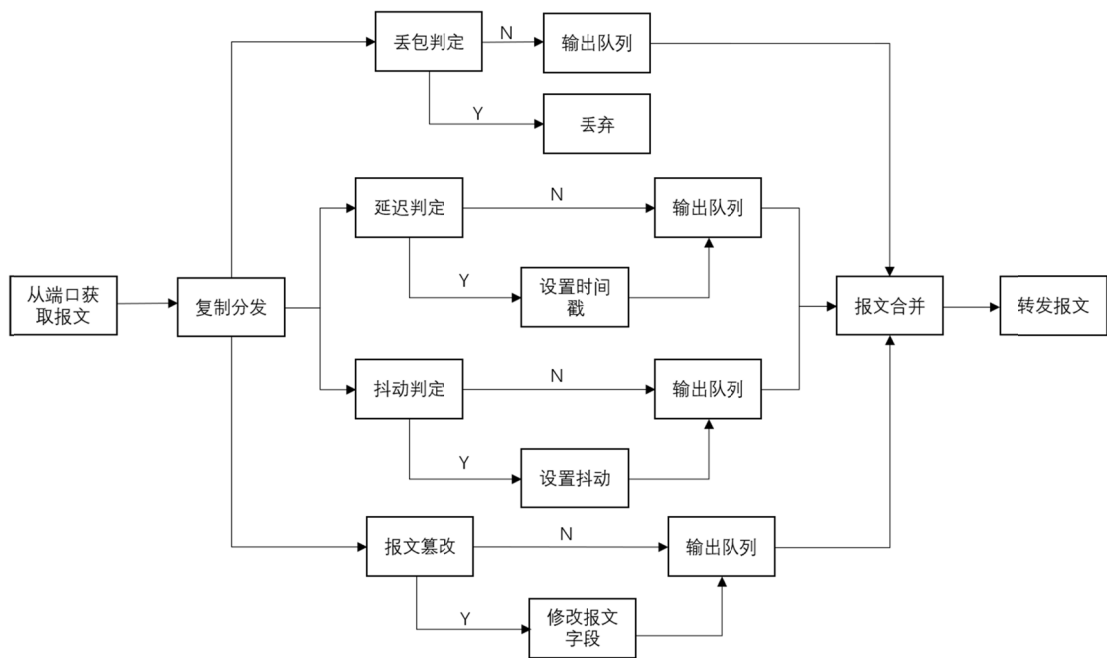


图 4

说明书附图

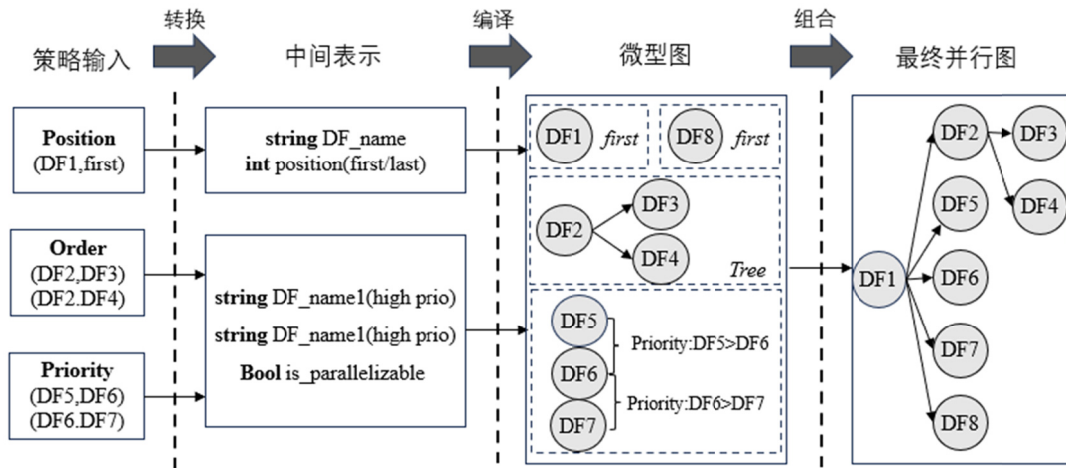


图 5

本发明公开了一种网络损伤组合化模拟实现方法及系统，其中方法包括：获取网络流，查询网络流的网络损伤需求；将网络损伤需求拆分成若干个损伤功能，分析损伤功能串行组合的可行性以及并行组合的可行性，并生成组合化策略；检查组合化策略中是否存在可优化的并行组合，对可优化的并行组合进行优化，得到优化后的组合化策略；依照优化后的组合化策略，构建网络损伤组合并行图；按照网络损伤组合并行图进行网络损伤模拟。在保证损伤功能逻辑正确性的前提下，显著优化了损伤功能的组合处理延迟以及部署开销。