



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 105704030 B

(45) 授权公告日 2020.12.04

(21) 申请号 201510863998.2

(22) 申请日 2015.12.01

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105704030 A

(43) 申请公布日 2016.06.22

(30) 优先权数据  
14/572608 2014.12.16 US

(73) 专利权人 思科技术公司  
地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 J·J·加西亚-鲁娜-阿塞韦斯

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理  
有限责任公司 11258  
代理人 林强

(51) Int.Cl.

H04L 12/725 (2013.01)

H04L 12/753 (2013.01)

(56) 对比文件

US 2013060962 A1, 2013.05.07

US 20100054183 A1, 2010.05.04

CN 1627760 A, 2005.06.15

US 20080002640 A1, 2008.01.03

CN 103491003 A, 2014.01.01

审查员 刘江平

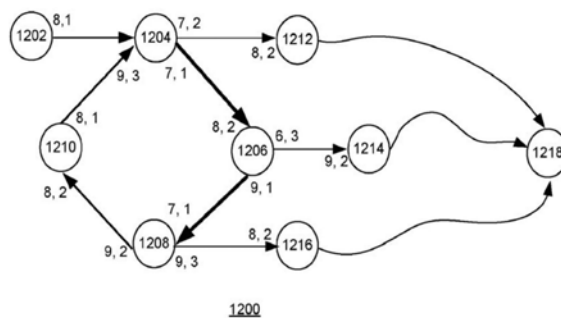
权利要求书2页 说明书13页 附图13页

(54) 发明名称

用于基于距离的兴趣转发的系统和方法

(57) 摘要

本发明的一个实施例提供一种用于在内容中心网络 (CCN) 中正确地处理兴趣的系统。在操作期间,所述CCN中的第一节点从第二节点接收对于一条内容的兴趣。所述兴趣指示所述一条内容的名称和从所述第二节点到通告了所述一条内容的目的节点的跳数。所述系统基于转发信息和与所述第一节点上存储的待决兴趣相关联的信息,确定是否符合基于距离的转发条件;以及响应于符合所述基于距离的转发条件,接受所述兴趣。



1. 一种用于在内容中心网络CCN中正确地处理兴趣的计算机可执行方法,所述方法包括:

通过所述CCN中的第一节点从第二节点接收对于一条内容的所述兴趣,其中所述兴趣指示所述一条内容的名称以及从所述第二节点到通告所述一条内容的目的节点的跳数;

基于转发信息和与所述第一节点上存储的待决兴趣相关联的信息,确定是否满足基于距离的转发条件;

其中所述转发信息包含与所述一条内容的所述名称相关联的一个或多个条目,相应条目指明从所述第一节点到所述目的节点的跳数以及下一跳相邻节点,所述第一节点可以经由所述下一跳相邻节点向所述目的节点转发所述兴趣;

其中与所述第一节点上存储的所述待决兴趣相关联的所述信息包含使用所述一条内容的名称索引的一个或多个条目,其中每个条目与待决兴趣相对应,并且每个条目指明:所述一条内容的名称、陈述所述兴趣是否用已经利用所述一条内容得到满足的旗标、路由器在转发所述兴趣时采用的跳数、从其接收到对于所述一条内容的兴趣的传入相邻节点的集合、路由器向其转发其兴趣的传出相邻节点的集合、对相同兴趣允许的重新传输的次数、以及所述兴趣的剩余寿命;

其中如果由所述转发信息或者所述与待决兴趣相关联的信息中的所述条目中的至少一个条目针对所述一条内容指明的跳数小于接收到的所述兴趣指示的跳数,则满足所述基于距离的转发条件;以及

响应于满足所述基于距离的转发条件,接受所述兴趣。

2. 一种存储指令的非暂时性计算机可读存储媒体,所述指令当由计算装置执行时使得所述计算装置执行用于在内容中心网络CCN中正确地处理兴趣的方法,所述方法包括:

通过所述CCN中的第一节点从第二节点接收对于一条内容的所述兴趣,其中所述兴趣指示所述一条内容的名称以及从所述第二节点到通告所述一条内容的目的节点的跳数;

基于转发信息和与所述第一节点上存储的待决兴趣相关联的信息,确定是否满足基于距离的转发条件;

其中所述转发信息包含与所述一条内容的所述名称相关联的一个或多个条目,相应条目指明从所述第一节点到所述目的节点的跳数以及下一跳相邻节点,所述第一节点可以经由所述下一跳相邻节点向所述目的节点转发所述兴趣;

其中与所述第一节点上存储的所述待决兴趣相关联的所述信息包含使用所述一条内容的名称索引的一个或多个条目,其中每个条目与待决兴趣相对应,并且每个条目指明:所述一条内容的名称、陈述所述兴趣是否用已经利用所述一条内容得到满足的旗标、路由器在转发所述兴趣时采用的跳数、从其接收到对于所述一条内容的兴趣的传入相邻节点的集合、路由器向其转发其兴趣的传出相邻节点的集合、对相同兴趣允许的重新传输的次数、以及所述兴趣的剩余寿命;

其中如果由所述转发信息或者所述与待决兴趣相关联的信息中的所述条目中的至少一个条目针对所述一条内容指明的跳数小于接收到的所述兴趣指示的跳数,则满足所述基于距离的转发条件;以及

响应于满足所述基于距离的转发条件,接受所述兴趣。

3. 一种用于在内容中心网络CCN中正确地处理兴趣的计算机系统,所述系统包括:

兴趣接收模块,其被配置成通过所述CCN中的第一节点从第二节点接收对于一条内容的所述兴趣,其中所述兴趣指示所述一条内容的名称以及从所述第二节点到通告所述一条内容的目的节点的跳数;以及

兴趣处理模块,其被配置成:

处理所述接收到的兴趣以便基于转发信息和与所述第一节点上存储的待决兴趣相关联的信息,确定是否满足基于距离的转发条件;

其中所述转发信息包含与所述一条内容的所述名称相关联的一个或多个条目,相应条目指明从所述第一节点到所述目的节点的跳数以及下一跳相邻节点,所述第一节点可以经由所述下一跳相邻节点向所述目的节点转发所述兴趣;

其中与所述第一节点上存储的所述待决兴趣相关联的所述信息包含使用所述一条内容的名称索引的一个或多个条目,其中每个条目与待决兴趣相对应,并且每个条目指明:所述一条内容的名称、陈述所述兴趣是否用已经利用所述一条内容得到满足的旗标、路由器在转发所述兴趣时采用的跳数、从其接收到对于所述一条内容的兴趣的传入相邻节点的集合、路由器向其转发其兴趣的传出相邻节点的集合、对相同兴趣允许的重新传输的次数、以及所述兴趣的剩余寿命;

其中如果由所述转发信息或者所述与待决兴趣相关联的信息中的所述条目中的至少一个条目针对所述一条内容指明的跳数小于接收到的所述兴趣指示的跳数,则满足所述基于距离的转发条件;以及

响应于满足所述基于距离的转发条件,接受所述兴趣。

4. 根据权利要求3所述的系统,其进一步包括兴趣转发模块,被配置成:

响应于符合所述基于距离的转发条件,向满足所述基于距离的转发条件的下一跳相邻节点转发所述兴趣,所述下一跳相邻节点的性能级别高于满足所述基于距离的转发条件的其他相邻节点的性能。

## 用于基于距离的兴趣转发的系统和方法

### 技术领域

[0001] 本公开大体上涉及内容中心网络 (CCN)。更确切地说,本公开涉及一种用于内容中心网络 (CCN) 中的基于距离的兴趣转发的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 因特网和电子商务的激增持续激发了网络行业中的革命性改变。当今,从在线电影观看到每日新闻递送、零售销售和即时消息接发,大量的信息交换是在线进行的。越来越多数目的因特网应用也在变成移动的。然而,当前因特网是根据主要基于位置的寻址方案操作的。两种最普遍存在的协议:因特网协议 (IP) 和以太网协议,都是基于末端主机的地址。也就是说,内容的消费者仅可通过从通常与物理对象或位置相关联的地址 (例如,IP 地址或以太网媒体接入控制 (MAC) 地址) 明确请求内容来接收所述内容。这种限制性寻址方案正变得逐渐更不足以满足不断改变的网络需求。

[0003] 近年来,本行业中提出了信息中心网络 (ICN) 架构,其中直接命名和寻址内容。内容中心联网 (CCN),这个示范性 ICN 架构引入了一种新的内容传送方法。并非在应用级将网络业务视为内容在其上行进的端到端对话,而是基于内容的唯一名称来请求或返回内容,且网络负责将内容从提供者路由到消费者。应注意,内容包含可在通信系统中传送的数据,包含例如文本、图像、视频和/或音频等任何形式的数据。消费者和提供者可以是在计算机旁的人或在 CCN 内部或外部的自动化过程。一条内容可指代整个内容或内容的相应部分。例如,报纸文章可能由体现为数据包的多条内容表示。一条内容也可与元数据相关联,所述元数据以例如认证数据、创建日期、内容所有者等信息来描述或增强所述条内容。

[0004] 许多现有的 CCN 方法依赖于陈述所请求的内容的名称和临时标志 (nonce) 的兴趣 (Interests) 从通告内容名称的既定节点检索内容。此外,为了减少不必要的业务,CCN 路由器通常会聚合兴趣,使得路由器只需要转发相同内容的兴趣一次。然而,兴趣的聚合使得兴趣环路的检测成为难题。

### 发明内容

[0005] 本发明的一个实施例提供一种用于在内容中心网络 (CCN) 中正确地处理兴趣的系统。在操作期间,所述 CCN 中的第一节点从第二节点接收对于一条内容的兴趣。所述兴趣指示所述一条内容的名称和从所述第二节点到通告了所述一条内容的目的节点的跳数。所述系统基于转发信息和与所述第一节点上存储的待决兴趣相关联的信息,确定是否符合基于距离的转发条件;以及响应于符合所述基于距离的转发条件,接受所述兴趣。

[0006] 在此实施例的一种变型中,所述转发信息包含与所述条内容的名称相关联的一或多个条目。相应条目指明下一跳相邻节点,所述第一节点可以经由所述下一跳相邻节点向所述目的节点转发所述兴趣,并且所述条目进一步指明从所述第一节点经由所述下一跳相邻节点到所述目的节点的跳数。

[0007] 在另一变型中,如果所述条目中的至少一个指明的跳数小于所述接收到的兴趣指

示的跳数,则满足所述基于距离的转发条件。

[0008] 在另一变型中,响应于符合所述基于距离的转发条件,所述系统向满足所述基于距离的转发条件的相邻节点当中等级最高的下一跳相邻节点转发所述兴趣。

[0009] 在此实施例的一种变型中,与待决兴趣相关联的信息包含与所述条内容的名称相关联的一或多个条目。相应条目对应于待决兴趣,并且所述条目指明所述条内容的名称和待决兴趣指示的跳数。

[0010] 在另一变型中,如果所述待决兴趣指示的跳数小于所述接收到的兴趣指示的跳数,则满足所述基于距离的转发条件。

[0011] 在另一变型中,所述条目进一步指明从其接收到针对所述条内容的兴趣的传入相邻节点的集合。响应于符合所述基于距离的转发条件,所述系统通过将第一节点添加到所述传入相邻节点的集合而聚合接收到的兴趣。

[0012] 在此实施例的一种变型中,响应于不符合基于距离的转发条件,所述系统丢弃所述兴趣并且将控制消息发送回到第一节点。

## 附图说明

[0013] 图1示出根据本发明的实施例的网络的示范性架构。

[0014] 图2A呈现示出在NDN中循环的示范性兴趣的图。

[0015] 图2B呈现示出在NDN中循环的示范性兴趣的图。

[0016] 图3呈现示出根据本发明的实施例的示范性转发信息库(FIB)的图。

[0017] 图4呈现示出根据本发明的实施例的示范性待决兴趣表(PIT)的图。

[0018] 图5呈现一份呈现根据本发明的实施例的CCN路由器的示范性架构的图。

[0019] 图6呈现示出根据本发明的实施例的示范性兴趣处理算法的图。

[0020] 图7呈现示出根据本发明的实施例的示范性兴趣转发算法的图。

[0021] 图8呈现示出根据本发明的实施例的示范性NDO消息处理算法的图。

[0022] 图9呈现示出根据本发明的实施例的用于处置到期PIT条目的示范性算法的图。

[0023] 图10呈现示出根据本发明的实施例的示范性NACK消息处理算法的图。

[0024] 图11呈现示出根据本发明的实施例的示范性链接失败处理算法的图。

[0025] 图12A-12B呈现示出根据本发明的实施例的SIFAH的操作实例的图。

[0026] 图13A-13B呈现示出根据本发明的实施例的SIFAH的操作实例的图。

[0027] 图14示出根据一实施例的用于基于距离的兴趣转发的示范性系统。

[0028] 在诸图中,相同参考数字指代相同图式元件。

## 具体实施方式

### [0029] 概述

[0030] 本发明的实施例提供一种CCN系统,其实施基于距离的兴趣转发策略,即带跳数的兴趣转发与聚合策略(Strategy for Interest Forwarding and Aggregation with Hop-counts, SIFAH),该策略在发生路由表环路时正确地工作,并且经由多个路径并行地聚合或转发兴趣。更确切地说,为了实施SIFAH,每一CCN路由器在其转发信息库(FIB)中存储接下来的跳点以及到指定内容的跳数。用于指定内容的每一转发的兴趣包含所请求的内容的名

称和从转发路由器到所请求的内容的跳数。与使用临时标志来识别兴趣的转发策略相比，SIFAH引发的存储开销要少很多。

[0031] CCN架构

[0032] 一般来说,CCN使用两种类型的消息:兴趣和内容对象。兴趣携带内容对象的阶层结构的可变长度识别符(HSVLI),也称为“名称”,且充当针对所述对象的请求。如果网络元件(例如路由器)接收到针对相同名称的多个兴趣,则网络元件可以聚合那些兴趣。沿着具有匹配内容对象的兴趣的路径的网络元件可以高速缓冲存储且返回所述对象,从而满足所述兴趣。内容对象遵循兴趣到所述兴趣的起源的反向路径。

[0033] 本公开中使用的术语大体上如下定义(但其解释不限于此):

[0034] “HSVLI”:阶层结构的可变长度识别符,也称为名称。它是名称组成部分的有序列表,其可以是可变长度的八位字节串。如果使用人可读形式,它可以用例如ccnx:/path/part的格式表示。HSVLI也可以是人不可读的。如上所述,HSVLI涉及内容,且HSVLI能够表示用于内容的有组织结构且至少部分对人有意义是合意的。HSVLI的个别组成部分可具有任意长度。此外,HSVLI可以具有明确定界的组成部分,可以包含任何字节序列,且不限于人可读字符。最长前缀匹配查找在转发带有HSVLI的包时是重要的。例如,指示对“/parc/home/bob”的兴趣的HSVLI将匹配“/parc/home/bob/test.txt”和“/parc/home/bob/bar.txt”两者。在名称组成部分的数目方面的最长匹配被视为最佳的,因为它是最具体的。关于HSVLI的详细描述,请参照美国专利第8,160,069号,名称为“用于转发带有阶层结构的可变长度识别符的包的系统(SYSTEM FOR FORWARDING A PACKET WITH A HIERARCHICALLY STRUCTURED VARIABLE-LENGTH IDENTIFIER)”,发明人为Van L. Jacobson和James D. Thornton,2009年9月23日提交,该专利的全部公开内容以引用的方式并入本文中。

[0035] “兴趣”:对内容对象的请求。兴趣指定HSVLI名称前缀和其它任意的选择符,所述选择符可用以在具有相同名称前缀的多个对象当中进行挑选。名称与兴趣名称前缀(以及任意的其它所请求的参数,例如发布者密钥-ID匹配)匹配的任何内容对象都满足所述兴趣。

[0036] “内容对象”:响应于兴趣而发送的数据对象。其具有经由加密签名而绑定在一起的HSVLI名称和内容有效负载。任意的,所有内容对象具有由内容对象的SHA-256摘要组成的隐式终端名称组成部分。在一个实施例中,隐式摘要不在线上传递,而是在需要时在每一跳点处计算。在本公开中,“内容对象”这个术语和“指定数据对象(NDO)”这个术语是可互换的。

[0037] “面”:在CCN中,面这个术语是接口概念的一般化形式。面可以是与网络的连接,或直接与应用程序方的连接。面可经配置以在特定网络接口上发送和接收广播或多播包,或者使用基础传送中的点到点寻址或使用隧道(举例来说,TCP隧道)来发送和接收包。面还可以是经由封装类UDP或OS特定的进程间通信路径与在相同机器上运行的单个应用程序进程的连接。所有消息通过面到达,并且通过面发送出去。在本公开中,“相邻节点”这个术语与“面”这个术语可互换,指代兴趣的传入或传出接口。

[0038] 如之前所提到,HSVLI指示一条内容,具有阶层式结构,且包含从最一般层级到最具体层级排序的连续组成部分。相应HSVLI的长度是不固定的。在内容中心网络中,不同于常规IP网络,包可以通过HSVLI来识别。举例来说,“abcd/bob/papers/ccn/news”可为内容

的名称且识别对应包,即,在名为“ABCD”的组织处针对名为“Bob”的用户的来自“ccn”论文集的“news”文章。为了请求一条内容,节点通过内容的名称来表达(例如,广播)对所述内容的兴趣。对一条内容的兴趣可为根据所述内容的名称或识别符对所述内容的查询。内容如果在网络中是可用的,则从存储内容的任何节点将所述内容发回到请求节点。路由基础结构将兴趣智能地传播到很可能具有所述信息的预期节点,且随后沿着所述兴趣消息穿越的反向路径携带可用的内容返回。基本上内容对象遵循兴趣消息留下的面包屑(breadcrumb),并且因而到达请求节点。

[0039] 图1示出根据本发明的实施例的网络的示范性架构。在这个实例中,网络180包括节点100-145。所述网络中的每一节点耦合到一或多个其它节点。网络连接185是此类连接的一个实例。网络连接展示为实线,但每一线也可表示可将一个节点耦合到另一节点的子网络或超网络。网络180可为内容中心的本地网络、超网络或子网络。这些网络中的每一个可互连以使得一个网络中的节点可以到达其它网络中的节点。网络连接可为宽带、无线、电话、卫星或任何类型的网络连接。节点可为计算机系统、表示用户的端点和/或可产生兴趣或发源内容的装置。

[0040] 根据本发明的实施例,消费者可以产生针对一条内容的兴趣,并且将所述兴趣转发到网络180中的节点。发行者或内容提供者可以将这条内容存储在网络180中的一个节点处,发行者或内容提供者可以位于网络内部或外部。举例来说,在图1中,对一条内容的兴趣在节点105处发源。如果所述内容在所述节点处不可用,则兴趣流动到耦合到第一节点的一或多个节点。举例来说,在图1中,兴趣流动(兴趣流150)到并不具有可用的所述内容的节点115。接着,兴趣从节点115流动(兴趣流155)到同样不具有所述内容的节点125。所述兴趣随后流动(兴趣流160)到确实具有可用的所述内容的节点130。内容对象的所述流随后反向地回溯其路径(内容流165、170和175)直到其到达节点105为止,在节点105处传递所述内容。在所述内容流中可涉及例如认证等其它过程。

[0041] 在网络180中,在内容持有者(节点130)与兴趣产生节点(节点105)之间的路径中的任何数目的中间节点(节点100到145)可以参与在内容在网络上行进时高速缓冲存储所述内容的本地副本。高速缓冲存储通过隐式地共享对本地高速缓冲存储内容的存取而减少对位置接近其它订户的第二订户的网络负载。

[0042] 在CCN中,每一节点(也被称为路由器)维护三个主要数据结构,包含转发信息库(FIB)、内容存储区(CS)和待决兴趣表(PIT)。

[0043] FIB用以朝向匹配内容对象的潜在源转发兴趣包。通常,路由协议用以在网络中的所有节点当中填入FIB。在常规CCN中,FIB条目通常通过名称前缀编索引,每一条目包含匹配兴趣应当被转发到的至少一个面的物理地址。在转发兴趣消息的同时,在FIB处执行名称的最长前缀匹配查找,以找到匹配条目。

[0044] 内容存储区(CS)类似于在IP路由器中使用的缓冲存储器。更确切地说,CS临时缓冲穿过这个节点的内容对象,从而允许不同消费者的高效数据检索。当路由器接收到兴趣包时,路由器首先检查它的内容存储区中是否存在匹配内容对象,然后向上游发布兴趣。

[0045] 待决兴趣表(PIT)用作兴趣状态的高速缓冲存储器。PIT跟踪向上游朝向内容源转发的兴趣,使得传回的内容对象可以遵循反向兴趣路径向下游发送到其请求者。这样保持了上游和下游网络流。在CCN中,仅路由兴趣包。传回内容对象遵循兴趣包的路径回到内容

请求者。兴趣的PIT条目指定兴趣的名称或名称前缀和请求了所述兴趣的一或多个传入面。

[0046] 当兴趣包到达某一面时,基于内容名称或HSVLI完成最长匹配查找。用于名称查找的索引结构以使得CS匹配将比PIT匹配优选而PIT匹配将比FIB匹配优选的方式排序。因此,如果CS中已经存在匹配所述兴趣的内容对象,那么所述内容对象将经由所述兴趣到达的面发送出去且所述兴趣将被丢弃。否则,将检查PIT以查看是否可找到匹配。如果是,那么将把兴趣的到达面添加到PIT条目的请求面列表且将丢弃所述兴趣。否则,将检查FIB,并且沿匹配的FIB条目中列举的一或多个面转发所述兴趣。

[0047] 现有兴趣转发策略的不足

[0048] 如先前所描述,在CCN中,转发策略管理FIB、PIT和CS之间的交互。更确切地说,当路由器的CS和PIT中找不到匹配时,需要基于存储于FIB中的信息向上游转发接收到的兴趣。然而,可以显示,现有的转发策略是不安全的,因为一些兴趣可能从不将内容对象返回给发出兴趣的消费者,即使网络拓扑和路由是稳定的并且所有传输都是成功的时候也是如此。

[0049] 具体来说,大多数现有转发策略依赖于随机生成数(临时标志)以唯一地识别每一兴趣。举例来说,来源s针对指定内容对象(NDO)兴趣陈述 $n(j)$ 和临时标志 $id_j(s)$ 。所述 $(n(j), id_j(s))$ 对用于以足够大的概率唯一地指代一个兴趣。此外,预期相同对可用于检测兴趣是否在穿越一个环路。实际上,已经针对基于兴趣的ICN架构(例如CCN或指定数据联网(NDN))提议的转发策略的关键方面,到目前为止是路由器确定兴趣是否为仅仅基于兴趣的内容名称和兴趣识别数据(例如NDN的情况下为临时标志)的双重兴趣。然而,下面的论述将显示,当实施兴趣聚合时这种预期是错误的。

[0050] 更确切地说,当由路由器沿着循环 $L = \{v_1, v_2, \dots, v_h, v_1\}$ 转发并且聚合请求 $n(j)$ 的一或多个兴趣时,发生针对具有名称 $n(j)$ 的NDO的h个跳点的兴趣环路,使得路由器 $v_k$ 从节点 $v_{k-1}$ 接收到对于NDO  $n(j)$ 的兴趣,同时等待其已经针对相同名称转发到路由器 $v_{k+1}$ 的兴趣的响应,其中 $1 \leq k \leq h$ ,  $v_{h+1} = v_1$ , 并且 $v_0 = v_h$ 。根据现有的NDN转发策略,路由器可以选择一个相邻节点来转发兴趣,前提是此相邻节点可以携带内容并且其性能级别高于其它也可能携带内容的相邻节点。应注意,相邻节点的分级是由一个路由器独立其它路由器进行的。因此,如果控制平面中使用的路由协议不能保证瞬时环路自由,则这可能产生FIB暗示的长期路由环路。

[0051] 图2A呈现示出在NDN中循环的示范性兴趣的图。在图2A中,网络200包含多个互连路由器,例如路由器202-218。图2A中的带箭头的线指示根据存储于每一路由器中的FIB条目的路由器218通告的内容的接下来的跳点。可以看出来,存在由路由器204、206、208和210组成的环路。可以将兴趣从路由器204转发到路由器206、208、210并且转发回到路由器204。在图2A中,更粗的线指示相邻节点的所感知的性能比用更细的线示出的相邻节点更好。举例来说,对于路由器204而言,路由器206是比路由器212性能更好的相邻节点。从图2A可以看出,FIB中暗示的并非没有环路的多个路径可能导致长期兴趣环路,即使所有路由表一致也是如此。在这种情况下,FIB中对相邻节点的分级可以使得具有较大跳数的路径的级别可以高于具有较小跳数的路径。

[0052] 同样在图2A中,短划线指示兴趣穿越链路和路径,其中不同的划线模式表示具有不同起源因而具有不同临时标志的兴趣。事件到达路由器时的时间通过 $t_i$ 指示。举例来说,

路由器204在 $t_1$ 从路由器202接收兴趣,并且在 $t_3$ 从路由器210接收针对相同名称但是具有不同临时标志的兴趣。类似地,路由器210在 $t_4$ 从路由器206接收兴趣。理想地,如果路由器通知其接收到它自己先前发出的相同兴趣(通过NDO名称和临时标志识别),则可以检测到兴趣环路。然而,在图2A中展示的实例中,由于兴趣聚合,路由器204不能检测到兴趣的循环。更确切地说,图2A展示路由器210在 $t_4$ 从路由器206接收到一个兴趣 $(n(j), nonce_1)$ ,这是与从路由器202发送到路由器204的相同兴趣。然而,路由器210不是将此兴趣转发到路由器204,而是将这个兴趣与在 $t_3$ 到达路由器204的具有不同临时标志的兴趣 $(n(j), nonce_2)$ 聚合。换句话说,路由器204仅仅看到从路由器210发送的 $(n(j), nonce_2)$ 。类似地,路由器204还聚合从路由器210接收的兴趣(即, $(n(j), nonce_2)$ ),并且仅仅发出从路由器202接收的兴趣(即, $(n(j), nonce_1)$ )。因此,形成兴趣环路,并且不会被路由器204检测到。

[0053] 此外,在由于网络或内容动态导致路由表不一致的情形中,即使控制平面仅仅支持到内容的单路径路由,也可能检测不到兴趣环路。图2B呈现示出在NDN中循环的示范性兴趣的图。图2B展示图2A中展示的相同的示范性网络200,区别仅在于,在图2B中展示的实例中,路由是单个路径的,并且当路由器206与214之间的链路出现故障时,网络拓扑在 $t_1$ 发生变化。类似于图2A中展示的实例,路由器204聚合来自路由器210的兴趣,并且路由器210聚合来自路由器208的兴趣,并且这些组合的步骤排除了对临时兴趣循环的检测。

[0054] 实际上,可以证实,NDN转发策略在发生兴趣环路的稳定的无错误的网络中并不是安全的,即使临时标志将要唯一地指代兴趣时也是如此。此外,还可能证实,没有哪个使用基于兴趣-识别数据匹配的兴趣聚合和兴趣环路检测的转发策略是安全的。简化的证据是将NDN的兴趣处理策略和任何尝试通过匹配兴趣-识别数据来检测兴趣环路的转发策略映射成循环中的分布式末端检测的问题,其中兴趣充当算法的令牌。因为当该环(兴趣环路)中的任何节点先前已经创建了不同令牌时兴趣聚合会擦除穿越该环的令牌,所以在存在兴趣聚合的情况下,无法保证该环中的正确的末端检测(即,兴趣环路检测)。

[0055] 带有跳数的兴趣转发与聚合策略(SIFAH)

[0056] 一种明显的正确的兴趣处理策略是在兴趣中指明来源路线。因为来源路由的兴趣必须穿越兴趣中陈述的路线否则就被丢弃,所以任何兴趣都不能穿越环路。然而,这要求ICN中的所有路由器都具有完整的拓扑信息,或者至少用于每一目的地的路径信息,这些信息并不会随网络中的节点和内容对象的数目而调整大小。此外,兴趣的来源路由会导致兴趣处理过于复杂,并且会揭露请求内容的来源路由器的身份。

[0057] 另一方面,NDN中使用的临时标志仅仅可以确保以足够大而实际上可接受的某个概率唯一地指示兴趣,同时仍然会招致相当大的存储开销。更重要的是,如前一部分所论述,在兴趣被聚合时,使用临时标志或唯一地识别兴趣对于兴趣环路检测是无用的。因此,需要实施一种转发策略,其与兴趣的身份无关地使得至少一个路由器能够检测兴趣环路的的存在。检测此兴趣环路的一种方式检测到兴趣在穿越一条不会让兴趣更接近通告了所请求的内容的节点的路径。

[0058] 应注意,在任何基于兴趣的ICN中需要距离信息或某种其它排序信息以允许路由器朝向最接近所请求的内容的例子转发兴趣,而非使网络中装满兴趣,或者执行对内容的网络搜索的随机漫步(random walk)。还可以使用相同信息来确保以使兴趣更接近通告了所请求的内容的节点的方式转发兴趣。在从ICN的控制平面中维护的路由表填充FIB的条件

下, FIB构成容易获得的工具以在数据平面中操作的转发策略与离在控制平面中操作的路由协议维护的通告内容的距离之间建立适当的交互。因此, 基于距离的兴趣转发策略可以是在兴趣被聚合或经由多个路径并行地转发兴趣时用于环路检测的解决方案。

[0059] 在一些实施例中, 所述系统实施带有跳数的兴趣转发和聚合策略 (SIFAH)。更确切地说, 在SIFAH下, 路由器对兴趣采用重新传输策略, 使得每个PIT条目在任何一个路由器处存储足够长的时间, 以使得能够检测到发生的任何兴趣环路。更确切地说, 所传输的兴趣中包含指明从当前节点到存储所请求的内容的节点的跳跃数目的跳数, 还有所请求的内容的名称。当路由器接收到兴趣时, 路由器首先基于内容名称在CS和PIT中检查匹配。如果未找到匹配, 则路由器将接收到的兴趣中指示的跳数与当前路由器的跳数 (从路由器到所述内容的跳数) 比较。如果接收到的兴趣中的跳数小于路由器的跳数, 则路由器假设发生了兴趣环路。路由器接着向转发了此兴趣的节点发送通知, 并且丢弃兴趣。

[0060] 图3呈现示出根据本发明的实施例的示范性转发信息库 (FIB) 的图。在图3中, FIB 300包含使用内容名称前缀编索引的多个条目。每一条目陈述到名称前缀所识别的内容的下一跳, 以及到通告了名称前缀的节点的跳数。出于记号的目的, 在路由器*i*处, FIB标示为 $FIB^i$ , 并且用于名称前缀 $n(j)^*$ 的每一FIB条目标示为 $FIB_{n(j)^*}^i$ , 例如FIB条目302。应注意, 每一FIB条目可以包含一或多个元组的列表。每一元组陈述下一跳和到 $n(j)^*$ 的跳数。到 $FIB_{n(j)^*}^i$ 中列举的 $n(j)^*$ 的接下来的跳点的集合标示为 $S_{n(j)^*}^i$ , 并且通过相邻节点 $q (q \in S_{n(j)^*}^i)$ 到 $n(j)^*$ 的跳数标示为 $h(i, n(j)^*, q)$ 。

[0061] 图4呈现示出根据本发明的实施例的示范性待决兴趣表 (PIT) 的图。在图4中, PIT 400包含使用NDO的名称编索引的多个条目。在路由器*i*处, PIT标示为 $PIT^i$ , 并且 $PI_{n(j)}^i$ 标示在具有名称 $n(j)$ 的 $PIT^i$ 中创建的条目。PIT中的每一条目指明NDO的名称、陈述兴趣是否用NDO得到满足的旗标, 路由器在转发兴趣时采用的跳数, 从其接收到对于NDO的兴趣的传入相邻节点的集合, 路由器向其转发其兴趣的传出相邻节点的集合, 针对相同兴趣允许的重新传输的次数, 以及兴趣的剩余寿命。图4中图解PIT条目的每一组成部分的记号。举例来说, PIT条目 $PI_{n(j)}^i$ 或图4中的条目402包含NDO名称 $n(j)$ 、旗标 $s(PI_{n(j)}^i)$ 、路由器*i*在转发兴趣 $I[n(j), h_{n(j)}^i]$ 时采用的跳数 $h^i(i)$ 、传入相邻节点的集合 $IN\_SET(PI_{n(j)}^i)$ 、传出相邻节点的集合 $OUT\_SET(PI_{n(j)}^i)$ 、允许的重新传输次数 $rc(PI_{n(j)}^i)$ 和剩余寿命 $RT(PI_{n(j)}^i)$ 。

[0062] 应注意, 与常规ICN中使用的FIB和PIT相比, 图3和图4中展示的FIB和PIT包含与离内容的距离相关联的额外信息, 例如跳数。当路由协议在路由器当中填充FIB时, 可以获得这个信息。然而, 必须特别注意的事实是, 对路由器处存储的FIB作出的更新是独立于对其PIT作出的更新并且与之并行地发生。举例来说, 一旦路由器已经转发了离内容前缀 $n(j)^*$ 有给定距离的兴趣, 并且等待所述兴趣返回数据对象, 则路由器离相同内容的距离可以基于对其FIB的更新而变。因此, 简单地将将从路由器到内容的最小距离与到兴趣中陈述的内容的距离比较, 并不足以防止兴趣被不当地转发到离所请求的内容较远的路由器。

[0063] 在本发明的一些实施例中, 实施SIFAH的系统考虑到如下事实: FIB和PIT被独立更

新,方法是通过要求转发对于给定一条内容的兴趣的路由器在其PIT条目中记住在其发出其兴趣时离内容的距离值。路由器可以接着确定是否可以基于到内容的跳数经由兴趣环路传播兴趣。在FIB中存储跳数距离提供了两个优点,包含它引发的存储开销比存储复杂的距离值更少,并且它能够基于到内容的实际距离对存储于FIB中的前缀的接下来的跳点进行分级。

[0064] 如先前所论述,为了实施基于距离的转发,请求NDOn(j)的路由器k发送一个兴趣,所述兴趣包含NDO名称和跳数 $h^l(k)$ ,跳数 $h^l(k)$ 陈述了在路由器k转发兴趣时从路由器k到与NDO名称n(j)最佳匹配的名称前缀n(j)\*的跳数。所述兴趣标示为 $I[n(j),h^l(k)]$ 。在一些实施例中,只有在符合下面两个条件之一时,路由器i才可以从路由器k接受此兴趣:

[0065] 条件1):  $n(j) \notin PIT^i \wedge \exists v(v \in S_{n(j)^*}^i \wedge h^l(k) > h(i, n(j)^*, v))$ ;

[0066] 或者,

[0067] 条件2):  $n(j) \in PIT^i \wedge h^l(k) > h^l(i)$ 。

[0068] 这个规则也被称为使用聚合规则的跳数转发(Hop-Count Forwarding with Aggregation Rule, HFAR)。

[0069] 第一条条件确保仅当路由器i确定在路由器k发送其兴趣时其通过至少一个相邻节点(属于到 $FIB_{n(j)^*}^i$ 中列举的n(j)\*的接下来的跳点集合的相邻节点v)比路由器k更接近名称前缀n(j)\*时路由器i才从相邻节点k接受兴趣。第二条条件确保仅当在两个路由器都发送其兴趣时路由器i比路由器k更接近名称前缀n(j)\*时路由器i才从相邻节点k接受兴趣。应注意,从路由器i到名称前缀n(j)\*的跳数存储于 $PIT^i$ 中。

[0070] 应注意,这两个条件足以确保不可能发生兴趣环路而环路中的路由器又检测不到兴趣被不当转发。这个结果与兴趣是聚合还是经由一或多个路径发送或者兴趣如何被重新传输无关。虽然在FIB被更新以反映正确的跳数的前提下,此类条件对于检测环路并不是必要的(存在即使不存在兴趣环路也不满足这些条件的情况),但是对于基于兴趣的ICN中的转发策略而言,用多路径路由进行的环路检测操作的充分条件是良好的基础。

[0071] 图5呈现一份呈现根据本发明的实施例的CCN路由器的示范性架构的图。在图5中,CCN路由器500包含多个面,例如面502、504和506;兴趣处理模块508;转发模块510;NDO处理模块512;控制消息产生模块514;以及数据库516。

[0072] 面502-506不仅可包含物理接口,而且包含能够发送和接收包包含兴趣和NDO的应用程序进程。兴趣处理模块508负责处理在多个面上接收到的兴趣。在一些实施例中,兴趣处理模块508基于前述条件确定是否接受传入兴趣。转发模块510负责向所述面转发包,例如兴趣或内容对象。NDO处理模块512负责处理响应于兴趣接收到的NDO消息。控制消息产生模块514产生控制消息,其可包含不同的NACK消息。在一些实施例中,控制消息产生模块514在多个条件下产生NACK消息,包含但不限于如下时候:检测到兴趣环路,未找到朝向所请求的内容的路线,未找到内容,并且PIT条目过期。响应于对于名称n(j)的兴趣的NACK消息标示为 $NI[n(j),CODE]$ ,其中CODE陈述了发送NACK的条件。数据库516存储CCN操作的三个必需的数据结构:内容存储区、转发信息库和待决信息表。

[0073] 图6呈现示出根据本发明的实施例的示范性兴趣处理算法的图。从图6可以看出,

当路由器*i*的兴趣处理模块508从相邻节点*k*接收到兴趣 $I[n(j), h^1(k)]$ 时,兴趣处理模块508首先检查内容存储区 $CS^i$ 以寻找匹配。如果找到匹配,则转发模块510将匹配NDO返回到相邻节点*k*。应注意, $D[n(j), sig(j)]$ 标示响应于兴 $I[n(j), h^1(k)]$ 发送的内容对象消息。此内容对象消息声明兴趣的名称、用于验证内容对象的签名有效负载 $sig(j)$ 和内容对象本身。

[0074] 如果在内容存储区和PIT中未找到匹配,则兴趣处理模块508检查FIB以寻找匹配。如果在FIB中未找到匹配,则确定不存在到所请求的内容的路线。作为响应,控制消息产生模块514产生NACK消息 $NI[n(j), no\ route]$ ,陈述因为未找到路线,所以发出NACK。随后,转发模块510将NACK转发到相邻节点*k*,并且兴趣处理模块508丢弃接收到的兴趣。

[0075] 如果在FIB中找到了匹配,则兴趣处理模块508确定是否符合前述条件(1),即,当路由器*k*发送其兴趣时,路由器*i*经由至少一个相邻节点是否比路由器*k*更接近名称前缀 $n(j)^*$ 。如果是,则确定可以转发兴趣,并且转发模块510基于适当的转发算法来转发所述兴趣。如果不满足条件(1),则确定兴趣可能正在穿越环路。作为响应,控制消息产生模块514产生NACK消息,陈述因为未找到环路 $NI[n(j), loop]$ ,所以发出NACK。随后,转发模块510将NACK转发到相邻节点*k*,并且兴趣处理模块508丢弃接收到的兴趣。

[0076] 如果在PIT中找到与兴趣名称的匹配,则兴趣处理模块508确定是否满足前述条件(2),即,当路由器*i*和路由器*k*都发送其兴趣时,路由器*i*是否比路由器*k*更接近名称前缀 $n(j)^*$ 。如果是,则确定兴趣可以聚合。作为响应,通过将路由器*k*添加到从其接收对 $n(j)$ 的兴趣的传入相邻节点的集合而更新PIT。如果不满足条件(2),则确定兴趣可能正在穿越环路。作为响应,控制消息产生模块514产生NACK消息 $NI[n(j), loop]$ ,陈述因为找到环路,所以发出NACK。随后,转发模块510将NACK转发到相邻节点*k*,并且兴趣处理模块508丢弃接收到的兴趣。

[0077] 当实施兴趣处理算法时,假设来自本地内容消费者的内容请求以陈述到内容的无限跳数的兴趣的形式被发送到路由器,并且每一路由器知道哪些相邻节点在远处,哪些相邻节点在本地。

[0078] 图7呈现示出根据本发明的实施例的示范性兴趣转发算法的图。应注意,路由器通常针对其PIT中剩余的兴趣假设最长兴趣寿命(Maximum Interest Lifetime, MIL),并且如果一个兴趣超出MIL则从其PIT中删除所述兴趣。MIL应当足够大,足以排除过多次的重新传输。另一方面,MIL不应当太大,使得PIT存储由于故障或传输错误而将不针对其发送NDO消息或NACK的过多兴趣。举例来说,几秒对于一个MIL将是可行值。然而,实际上,向其本地路由器提交兴趣的消费者可以提供在对应于一大条内容(例如电影)的相同NDO群组中的NDO提交的多个兴趣中估计的兴趣寿命的初始值。鉴于我们假设通过内容消费者而非通过路由器执行兴趣重新传输,尤其会出现这种情况。

[0079] 根据图7中展示的兴趣转发算法,路由器*i*针对满足前述条件(1)的前缀 $n(j)^*$ 简单地在存储于FIB中的相邻节点的分级列表中选择第一相邻节点*v*。如果在FIB中列举的集合中没有相邻节点可以使用,则控制消息产生模块514针对传入集合中的每一相邻节点产生一个NACK消息,并且转发模块510相应地转发NACK消息 $NI[n(j), no\ route]$ 。

[0080] 可以设计更复杂的策略,其在朝向所请求的内容的多个可用路线中达到负载均衡,并且可以接近最佳情况。此外,可以经由多个路径并行地转发相同兴趣,在此情况下,经

由兴趣成功地穿越的每一路径发回内容。然而,为了能有效,这些方法必须要求在控制平面中采用不带环路的多路径路由协议。在此背景下,控制平面使用长期性能量度建立到内容前缀的有效的多路径,并且数据平面使用基于距离的转发策略(例如SIFAH)和短期性能量度利用那些路径,而不会有与循环造成的回溯相关联的长延迟的风险。

[0081] 图8呈现示出根据本发明的实施例的示范性NDO消息处理算法的图。根据图8中展示的算法,如果路由器具有等待从相邻节点接收的NDO的PIT条目,并且所述NDO是来自经由其发送兴趣的相邻节点中的一个,则路由器接受所述NDO。应注意,所述算法包含用于签名验证和内容高速缓冲存储(根据ICN中使用的高速缓冲存储策略,它可以是基于路径的或基于边缘的)的任意的操作(通过“[o]”指示)。路由器将有效NDO转发到请求所述NDO的任何相邻节点,并且删除对应的PIT条目。

[0082] 图9呈现示出根据本发明的实施例的用于处置到期PIT条目的示范性算法的图。当具有名称 $n(j)$ 的PIT条目过期而又没有接收到NDO或NACK时,鉴于路由器并不起始兴趣重新传输,路由器 $i$ 简单地将NACK发送到所有其由之接收到对于名称 $n(j)$ 的兴趣的相邻节点。对于路由器必须提供兴趣重新传输的ICN的情况,将需要更复杂的方法。

[0083] 图10呈现示出根据本发明的实施例的示范性NACK消息处理算法的图。根据图10中展示的算法,路由器 $i$ 将其接收到的对于 $n(j)$ 的NACK转发到所有其由之接收到对于 $n(j)$ 的兴趣的那些相邻节点,并且在此之后删除兴趣条目。路由器支持兴趣重新传输,将需要处置NACK的更复杂的方法。

[0084] 图11呈现示出根据本发明的实施例的示范性链接失败处理算法的图。应注意,当经由链路的连接失败时,路由器可以通过简单地等待那些兴趣的寿命过期,而对已经由其转发兴趣的与相邻节点的察觉到的连接的失败作出反应。然而,与图11中展示的算法相比,此方法对链路故障的反应可能非常缓慢。这种算法假设控制平面更新FIB<sup>i</sup>以反映因为与一或多个相邻节点的连接丢失而导致到名称前缀的跳数的任何变化。在图11中展示的实例中,当路由器 $i$ 检测到链路 $(i, k)$ 上的连接失败时,针对经由发生故障的链路转发的每一兴趣,路由器 $i$ 向所有兴趣被聚合的相邻节点发送NACK。更确切地说,如果相邻节点 $k$ 属于传入相邻节点集合,则路由器 $i$ 简单地从所述集合中去除相邻节点 $k$ 。另一方面,如果相邻节点 $k$ 是仅有的 $n(j)$ 的传出相邻节点,则路由器 $i$ 需要识别所述兴趣的传入相邻节点并且向那些传入相邻节点发送NACK,陈述没有路线。

#### [0085] 操作实例

[0086] 图12A-12B呈现示出根据本发明的实施例的SIFAH的操作实例的图。更确切地说,图12A示出控制平面确定的路由信息,并且图12B示出兴趣如何穿越所述链路。类似于图2A中展示的情况,在图12A中,网络1200包含多个节点,例如节点1202-1218,其中带箭头的线指示根据存储于路由器中的FIB条目到路由器1218通告的内容(具有名称 $n(j)$ )的接下来的跳点。图12A-12B中展示的实例用于展示控制平面建立到每一名称前缀的多个路径但不保证不带环路的路由表的情况下的操作。在这个实例中,假设:(a)路由器执行不实行不带环路的FIB的路由协议;以及(b)在每一路由器处使用某种基于每一路径和接口的察觉到的性能的数据平面策略独立地确定相邻节点的分级。应注意,路径的距离值不需要与图中展示的路径的跳数值成正比。

[0087] 如图12A中所展示,节点1202与1218之间存在多个路径,并且路由表可以包含一条

环路:节点1204-节点1206-节点1208-节点1210-节点1204。此外,在图12A中,在从路由器出来到其相邻节点的每一链路处,列举了一对数字,表示通过相邻节点到 $n(j)$ 的跳数(第一数字)和相邻节点在FIB中的等级(第二数字)。应注意,针对相同链路可以有两对数字,并且每一对数字存储在更接近这对数字的路由器中的FIB处。举例来说,在从路由器1204到路由器1206的链路上,在链路旁边示出了两对数字,即(7,1)对和(8,2)对。数字对(7,1)邻近于路由器1204,并且存储于路由器1204的FIB中,并且数字对(8,2)邻近于路由器1206,并且存储于路由器1206的FIB中。更确切地说,邻近于路由器1204的数字对(7,1)指示从其相邻节点1206的跳数是7,并且相邻节点1206在路由器1204的FIB中的等级是1号。另一方面,邻近于路由器1206的数字对(8,2)指示从其相邻节点1204的跳数是8,并且相邻节点1204在路由器1206的FIB中的等级是2号。

[0088] 可以使用元组 $(v:h,r)$ 来指示相邻节点、其跳数及其等级。应注意此元组可以是在名称前缀 $n(j)^*$ 下在FIB中列举的条目。举例来说, $FIB^{node1204}$ 可以列举元组(Node1206:7,1)、(Node1212:7,2)和(Node1210:9,3)。类似地, $FIB^{node1202}$ 可以列举元组(Node1204:8,1); $FIB^{node1206}$ 可以列举元组(Node 1208:9,1)、(Node 1204:8,2)和(Node 1214:6,3); $FIB^{node1208}$ 可以列举元组(Node1206:7,1)、(Node1210:9,2)和(Node1216:9,3);并且 $FIB^{node1210}$ 可以列举元组(Node1204:8,1)和(Node1208:8,2)。应注意,图12A中还展示了用于节点1212、1214和1216的部分FIB条目。

[0089] 类似于图2B中展示的内容,图12B示出了兴趣的转发。在图12B中展示的实例中,路由器1202发起对于名称 $n(j)$ 的兴趣,并且向路由器1204发送兴趣 $I[n(j),h^I(Node1202)]$ ,其中 $h^I(Node1202)=8$ 。路由器1204在时间 $t_1$ 接收到所述兴趣,并且在 $h^I(Node1202)>h(Node1204,n(j)^*,Node1206)=7$ 的条件下接受所述兴趣,因为路由器1204具有至少一个满足HFAR更确切地说满足条件(1)的相邻节点(路由器1206)。路由器1204向路由器1206发送兴趣 $I[n(j),h^I(Node1204)]$ ,其中 $h^I(Node1204)=7$ ,因为路由器1206是满足HFAR的最高等级的相邻节点。路由器1204在时间 $t_3$ (其大于 $t_1$ )从路由器1210接收 $I[n(j),h^I(Node1210)]$ ,其中 $h^I(Node1210)=8$ ,并且聚合此兴趣,因为路由器1204早先以较小的跳数发送了一个兴趣。更确切地说,路由器1204在时间 $t_1$ 以小于跳数 $h^I(Node1210)=8$ 的跳数 $h^I(Node1204)=7$ 发送了 $I[n(j),h^I(Node1204)]$ 。另一方面,路由器1206在时间 $t_2$ (其大于 $t_1$ )接收兴趣 $I[n(j),h^I(Node1204)]$ ,并且接受所述兴趣,因为路由器1206具有至少一个满足HFAR的相邻节点。更确切地说, $h^I(Node1204)>h(Node1206,n(j)^*,Node1214)=6$ 。路由器1206接着向路由器1214发送兴趣 $I[n(j),h^I(Node1204)]$ ,因为路由器1214是路由器1206的满足HFAR的最高等级的相邻节点。此兴趣在 $t_4$ 到达路由器1214。

[0090] 从图12A-12B中展示的实例可以看出,如果路由器实施SIFAH并且路由器维护的FIB具有一致的信息,那么即使FIB中暗示的一些多路径涉及环路,也沿不带环路的路径转发兴趣。可以证实,总的来说,在实施SIFAH的ICN中,不可能发生兴趣环路而又检测不到兴趣环路。还可以证实,在没有故障和传输错误的ICN中,SIFAH是安全的。

[0091] 图13A-13B呈现示出根据本发明的实施例的SIFAH的操作实例的图。更确切地说,图13A-13B中展示的实例是用于展示控制平面仅仅使用单路径路由的情况下的操作。在图13A中,每一路由器针对其FIB中列举的每一前缀具有单个下一跳和一个跳数。举例来说,针对路由器1318通告的名称前缀 $n(j)^*$ ,路由器1304列举经由相邻节点路由器1306的7的跳

数,并且路由器1306列举经由相邻节点路由器1308的10的跳数。当路由器1306与路由器1314之间的链路出故障时,路由器1306在时间 $t_1$ 更新其FIB以反映所述链路故障,同时路由器1302向请求 $n(j)$ 的路由器1304发送兴趣。在路由更新传播并且转发兴趣的同时,网络1300中的路由器可以针对 $n(j)$ 具有不一致的FIB状态。

[0092] 图13B示出兴趣和NACK如何穿越链路。如图13B中所示,路由器1306必须向路由器1304发送NACK消息 $NI[n(j), loop]$ ,因为 $7 = h^I(Node1304) \succ h^I(Node1306, n(j)^*, Node1308) = 10$ ,并且不满足HFAR。反过来,当路由器1304从路由器1306接收到NACK时,路由器1304必须向路由器1302和向路由器1310转发NACK。最终,在控制平面中运行的路由协议使得路由器1304和1302改变其FIB中的到 $n(j)^*$ 的跳数以反映链路的故障(路由器1306,路由器1314)。在这个时间点,从路由器1302重新传输兴趣将声明 $h^I(Node1302) = 9$ ,并且将使得路由器1304向路由器1312转发兴趣 $I[n(j), h^I(Node1304) = 8]$ 。

[0093] 如先前所论述,基于距离的转发策略(即SIFAH)提供多个优点,其中一个优点是常规的NDN转发策略引发的存储开销相比,其存储开销较低。在SIFAH中,路由器 $i$ 仅仅使用跳数值 $h^I(i)$ 来确定其从路由器 $k$ 接收的兴趣是否可能正在穿越兴趣环路,并且不存储 $h^I(k)$ 。因此,实施SIFAH的路由器的PIT存储空间大小可以估计为

$SS_{SIFAH} = O((INT + |mh|)PIT^i_{SIFAH})$ , 其中是 $|PIT^i|_{SIFAH}$ 当使用SIFAH时在 $PIT^i$ 中的待决兴趣的

数目, $|mh|$ 是用于存储 $h^I(i)$ 的比特数,并且INT是针对给定兴趣维护关于传入和传出相邻节点的信息所必需的平均存储空间。针对具有名称 $n(j)$ 的给定NDO,维护传入和传出相邻节点

所需的存储空间量是 $IN\_SET(PI^i_{n(j)}) + OUT\_SET(PI^i_{n(j)})$ 。

[0094] 相比之下,NDN转发策略要求每一路由器存储用于指示针对给定NDO名称 $n(j)$ 的有效兴趣的不同临时标志的列表。在每一临时标志的大小为 $|id|$ 并且路由器 $i$ 具有多达 $I$ 个发送了针对NDO的有效兴趣的相邻节点的情况下,用于NDN的PIT存储空间大小是 $SS_{NDN} = O((INT + |id|I) |PIT^i|_{NDN})$ ,其中当使用NDN时 $|PIT^i|_{NDN}$ 是 $PIT^i$ 中的待决兴趣的数目。因此,即使 $|PIT^i|_{NDN} = |PIT^i|_{SIFAH}$ ,NDN中所需的超过SIFAH的额外PIT存储空间量是 $(|id|I) |PIT^i|_{NDN} - (|mh|) |PIT^i|_{NDN}$ 。

[0095] 针对一个兴趣的最大255的跳数超过了足够量,而NDN中的临时标志的大小是16个字节。因此,与SIFAH相比,NDN中必需的额外PIT存储空间是 $(128I-8) |PIT^i|_{NDN}$ 。这个数量级比PIT条目的数目大许多,并且代表数百千兆字节的RAM。此外,因为当兴趣聚合时NDN转发策略检测不到环路,所以PIT中的许多兴趣条目可能必须存储到其寿命过期为止。因此, $|PIT^i|_{NDN}$ 可能比 $|PIT^i|_{SIFAH}$ 大很多。

[0096] 与NDN转发策略比,SIFAH中的额外FIB存储开销是在于存储了来自每一相邻节点的每一名称前缀 $n(j)^*$ 的跳数信息。这在路由器 $i$ 处相当于 $(|mh|) (|FIB^i|) D^i$ ,其中 $D^i$ 是路由器 $i$ 的相邻节点的数目,并且 $|FIB^i|$ 是 $FIB^i$ 中的条目的数目。在 $D^i$ 和 $I$ 具有相同量级并且 $0 (|FIB^i|) < 0 (|PIT^i|)$ 的条件下,SIFAH中的额外FIB存储空间远远小于NDN转发策略需要的额外的PIT存储空间。

[0097] 计算机及通信系统

[0098] 图14示出根据一实施例的用于基于距离的兴趣转发的示范性系统。用于基于距离

的兴趣转发的系统1400包括处理器1410、存储器1420和存储装置1430。存储装置1430通常存储指令,所述指令可以加载到存储器1420中,并且由处理器1410执行以实施上述方法。在一个实施例中,存储装置1430中的指令可以实施兴趣处理模块1432、指定数据对象处理模块1434、转发模块1436和控制消息产生模块1438,这些模块全都可以通过多种方式彼此通信。存储装置1430可进一步包括多个数据结构,例如内容存储区1440、转发信息库1442和待决兴趣表1444。

[0099] 在一些实施例中,模块1432、1434、1436和1438可以部分地或完全地在硬件中实施,并且可以是处理器1410的一部分。此外,在一些实施例中,所述系统可能不包含单独的处理器和存储器。实际上,除执行其具体任务之外,模块1432、1434、1436和1438单独地或协同地可以是通用或专用计算引擎的一部分。

[0100] 存储装置1430存储有待由处理器1410执行的程序。具体来说,存储装置1430存储程序,所述程序实施用于基于距离的兴趣转发的系统(应用)。在操作期间,可以将所述应用程序从存储装置1430加载到存储器1420中并且由处理器1410执行。因此,系统1400可以执行上述功能。系统1400可以耦合到任选的显示器1480(其可以是触摸屏显示器)、键盘1460和指向装置1470,并且还可以经由一或多个网络接口耦合到网络1482。

[0101] 此具体实施方式中所描述的数据结构和代码通常存储在计算机可读存储媒体上,所述计算机可读存储媒体可以是能存储由计算机系统使用的代码和/或数据的任何装置或媒体。计算机可读存储媒体包含但不限于易失性存储器、非易失性存储器、磁性以及光学存储装置,例如磁盘驱动器、磁带、CD(光盘)、DVD(数字多功能光盘或数字视频光盘),或能够存储目前已知或稍后研发的计算机可读媒体的其它媒体。

[0102] 在具体实施方式部分中所描述的方法和过程可以用代码和/或数据形式实施,所述代码和/或数据可以存储于如上文所描述的计算机可读存储媒体中。当计算机系统读取并且执行存储于计算机可读存储媒体上的代码和/或数据时,计算机系统执行以数据结构以及代码形式实施且存储在计算机可读存储媒体内的方法以及过程。

[0103] 此外,本文中所描述的方法以及过程可以包含在硬件模块或设备中。这些模块或设备可以包含但不限于专用集成电路(ASIC)芯片、现场可编程门阵列(FPGA)、在特定时间执行特定软件模块或一段代码的专用处理器或共用处理器、和/或目前已知或稍后开发的其它可编程逻辑装置。当硬体模块或设备启动时,这些硬体模块或设备执行其内部所包含的方法和过程。

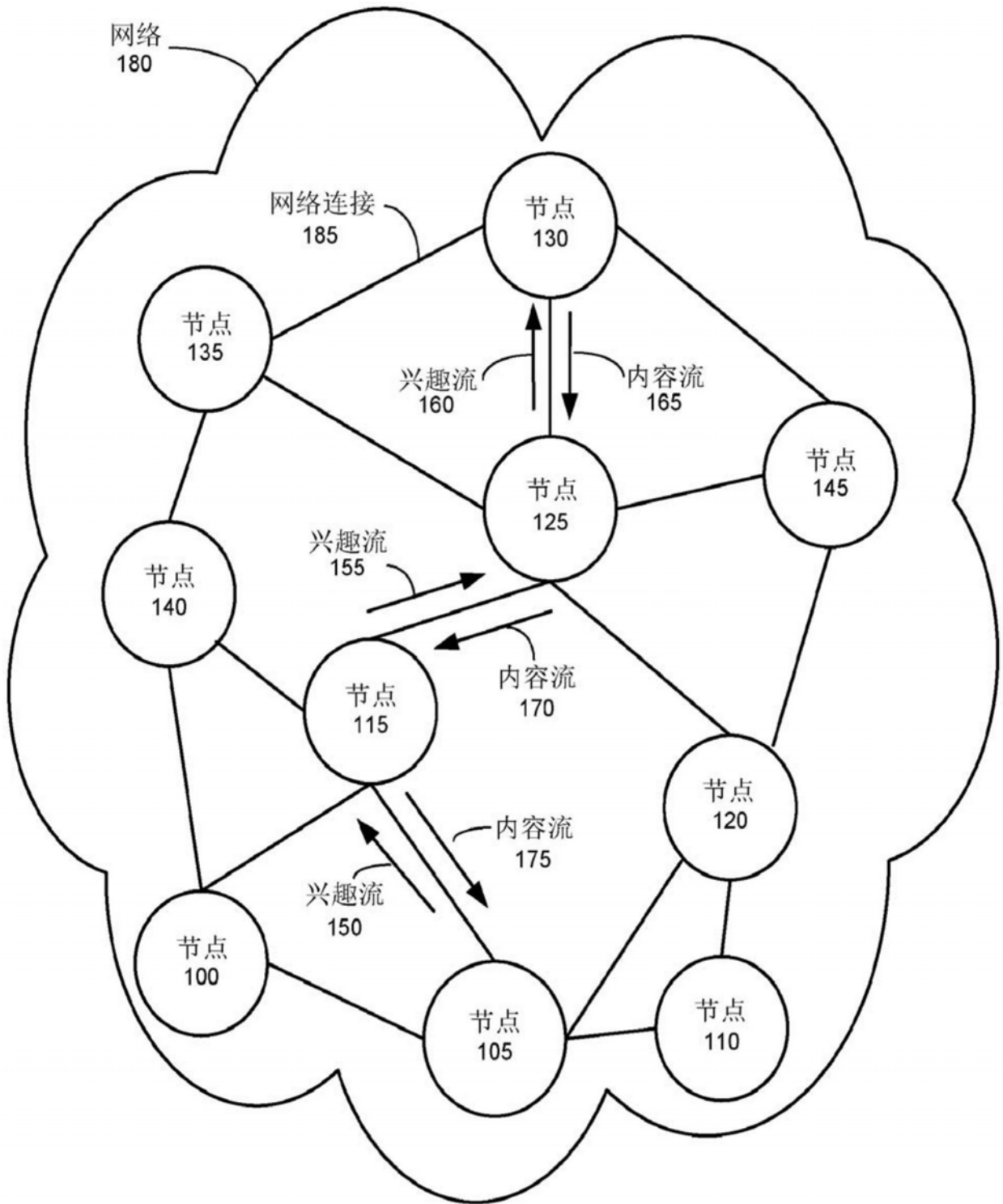


图1

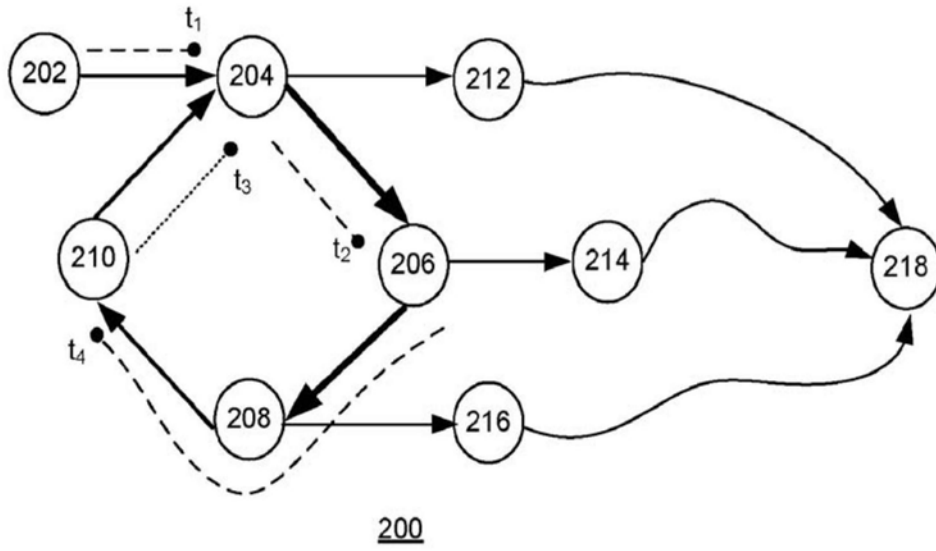


图2A

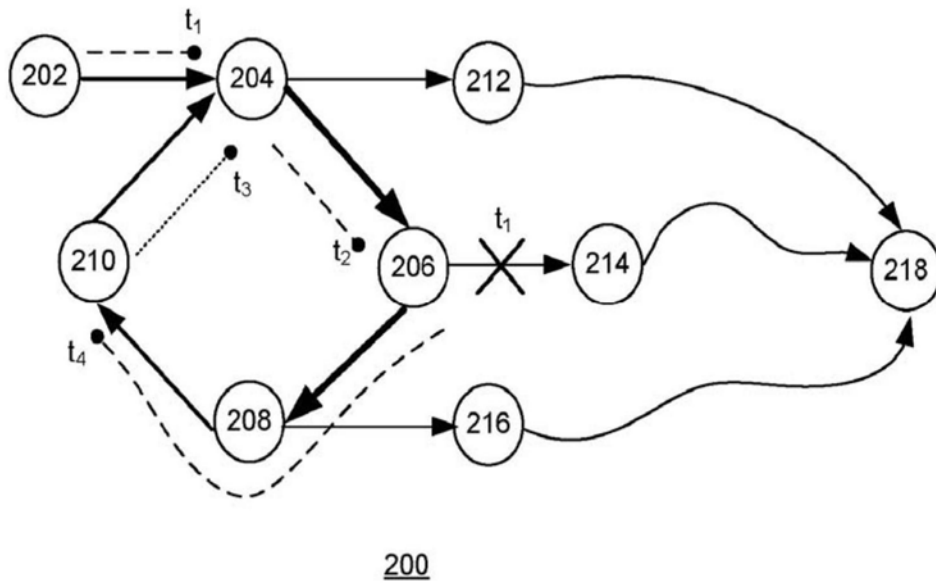


图2B

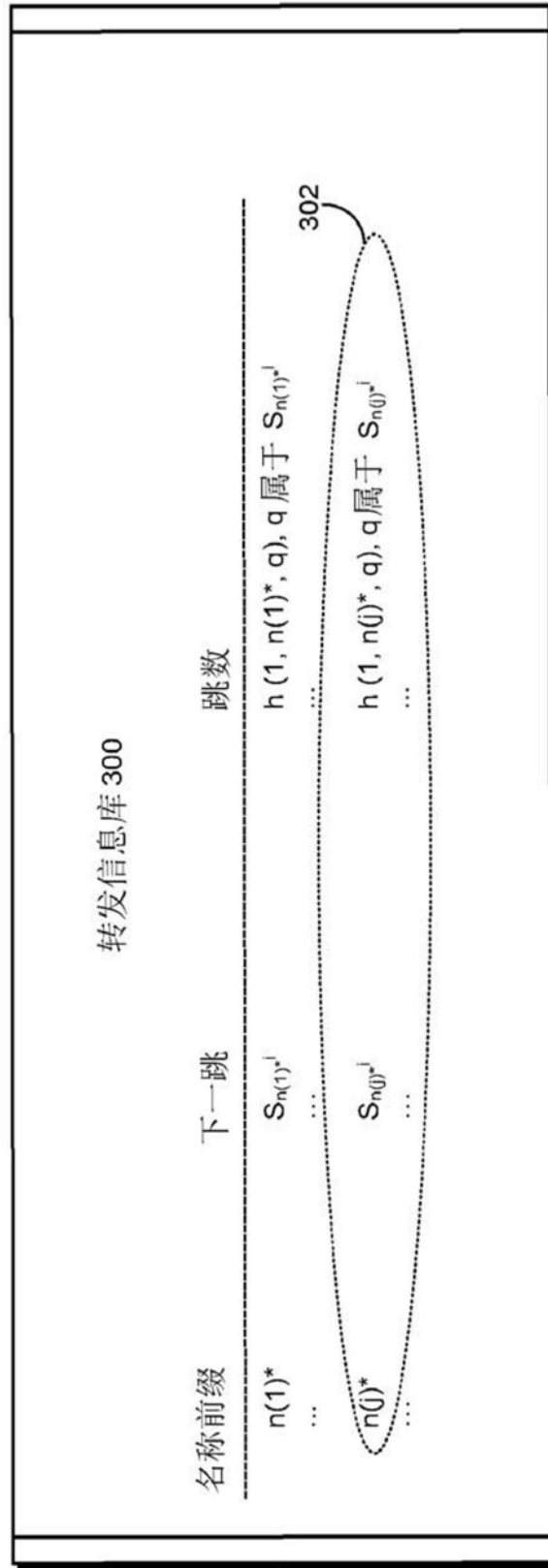


图3

待决兴趣表 400

| 名称     | 旗标             | 跳数                        | 传入相邻节点               | 传出相邻节点                | 允许重新传输次数        | 剩余寿命            |
|--------|----------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| $n(1)$ | $s(P_{In(1)})$ | $h(i)$ for $[n(1), h(i)]$ | $IN\_SET(P_{In(1)})$ | $OUT\_SET(P_{In(1)})$ | $rc(P_{In(1)})$ | $RT(P_{In(1)})$ |
| ...    | ...            | ...                       | ...                  | ...                   | ...             | ...             |
| $n(0)$ | $s(P_{In(0)})$ | $h(i)$ for $[n(0), h(i)]$ | $IN\_SET(P_{In(0)})$ | $OUT\_SET(P_{In(0)})$ | $rc(P_{In(0)})$ | $RT(P_{In(0)})$ |
| ...    | ...            | ...                       | ...                  | ...                   | ...             | ...             |

402

图4

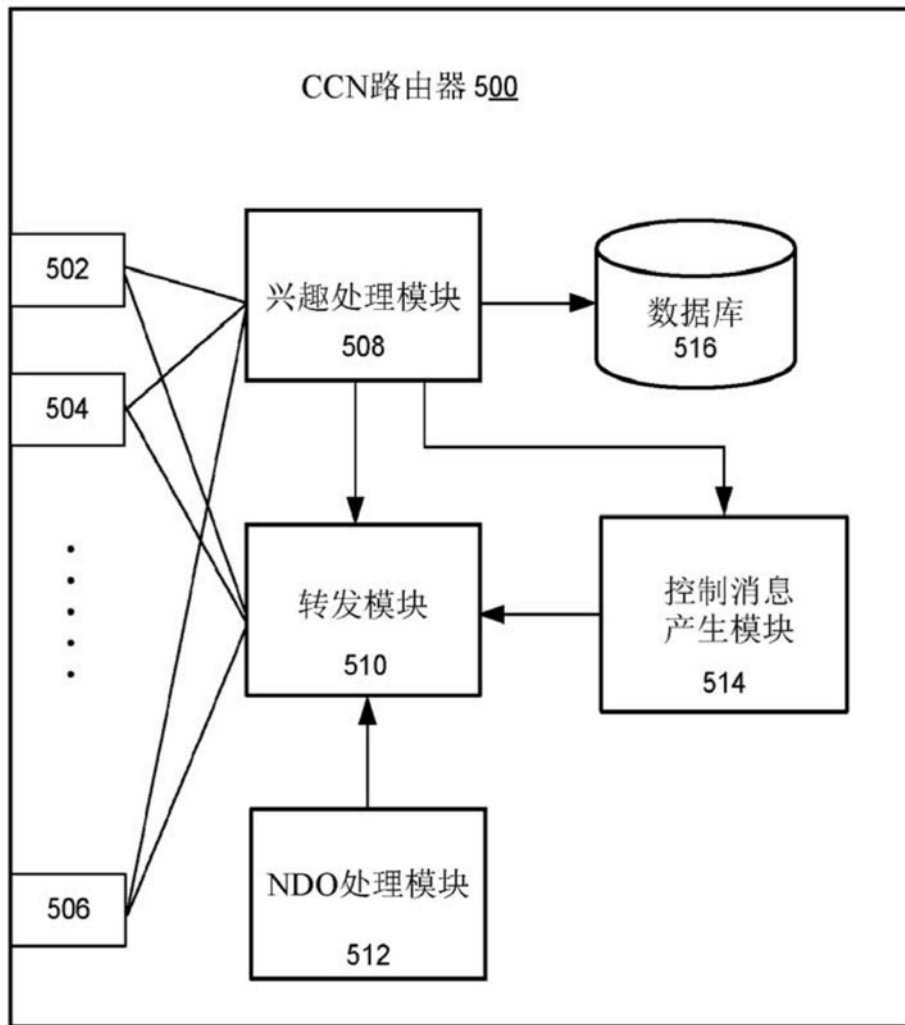


图5

路由器*i*处的兴趣处理算法

---

```

1: 功能处理兴趣
2: INPUT:  $PIT^i, CS^i, FIB^i, I[n(j), h^l(k)]$ ;
3: if  $n(j) \in CS^i$  then 向k发送  $D[n(j), sig(j)]$ 
4: if  $n(j) \notin CS^i$  then
5:     if  $n(j) \notin PIT^i$  then
6:         if  $n(j) \notin FIB^i$  then
7:             %不存在到  $n(j)^*$  的路线:
             向k发送  $NI[n(j), no\ route]$ ; 丢弃  $I[n(j), h^l(k)]$ 
8:         else
9:             if  $\exists v \in S_{n(j)}^i \wedge (h^l(k) > h(i, n(j)^*, v))$  then
10:                %可以转发兴趣:
                调用转发策略 ( $PI_{n(j)}^i$ )
11:            else
12:                %兴趣可能在穿越环路:
                向k发送  $NI[n(j), loop]$ ; 丢弃  $I[n(j), h^l(k)]$ 
13:            end if
14:        end if
15:    else
16:        %存在用于  $n(j)$  的PIT条目:
17:        if  $h^l(k) > h^l(i)$  then
18:            %兴趣可以聚合:
             $IN\_SET(PI_{n(j)}^i) = IN\_SET(PI_{n(j)}^i) \cup k$ 
19:        else
20:            %兴趣可能在穿越环路:
            向k发送  $NI[n(j), loop]$ ; 丢弃  $I[n(j), h^l(k)]$ 
21:        end if
22:    end if
23: end if
24: end function

```

---

图6

路由器*i*处的兴趣转发算法

---

```

1: 功能转发策略
2: INPUT:  $PIT^i$ ,  $FIB^i$ , MLL,  $I[n(j), h^I(k)]$ ;
3: for each  $v \in S_{n(j)}^i$  by rank do
4:   if  $h^I(k) > h(i, n(j)^*, v)$  then
5:      $IN\_SET(PIT_{n(j)}^i) = \{k\}$ ;  $OUT\_SET(PIT_{n(j)}^i) = \{v\}$ ;
      $RT(PIT_{n(j)}^i) = MLL$ ;  $h^I(i) = h(i, n(j)^*, v)$ 
     向v转发  $I[n(j), h^I(k)]$ ; return
6:   end if
7: end for
8: %  $S_{n(j)}^i$  中没有相邻节点可以使用:
   for each  $k \in IN\_SET(PIT_{n(j)}^i)$  向k发送  $NI[n(j), no\ route]$ 
9: end function

```

---

图7

---

 路由器*i*处的NDO消息处理算法
 

---

```

1: 功能处理NDO消息
2: INPUT: 从q接收的  $PIT^i, CS^i, FIB^i, MLL, D[n(j), sig(j)]$ ;
3: [o] 验证(j);
4: [o] if 验证失败 then 丢弃  $D[n(j), sig(j)]$ 
5: if  $n(j) \in PIT^i \wedge q \in OUT\_SET(PI_{n(j)}^i)$  then
6:   for each  $p \in IN\_SET(PI_{n(j)}^i)$  do 向p发送  $D[n(j), sig(j)]$ 
7:   [o] 在  $CS^i$  中存储具有名称  $n(j)$  的内容;
8:   删除  $PI_{n(j)}^i$ 
9: else
10:  丢弃  $D[n(j), sig(j)]$ 
11: end if
9: end function

```

---

图8

---

 用于在路由器*i*处处理兴趣寿命过期的算法
 

---

```

1: 功能处理兴趣寿命过期
2: INPUT:  $PIT^i, RT(PI_{n(j)}^i) = 0$ ;
3: for each  $p \in IN\_SET(PI_{n(j)}^i)$  do 发送  $NI[n(j), Interest\ expired]$ 
4: 删除  $PI_{n(j)}^i$ 
5: end function

```

---

图9

路由器*i*处的NACK处理算法

---

```
1: 功能处理NACK
2: INPUT:  $PIT^i, NI[n(j), CODE]$ ;
3: if  $n(j) \notin PIT^i$  then
4:   丢弃  $NI[n(j), CODE]$ 
5: else
6:   if  $k \notin OUT\_SET(PIT_{n(j)}^i)$  then 丢弃  $NI[n(j), CODE]$ 
7:   if  $k \in OUT\_SET(PIT_{n(j)}^i)$  then
8:     for each  $p \in IN\_SET(PIT_{n(j)}^i)$  do 发送  $NI[n(j), CODE]$ 
9:     删除  $PIT_{n(j)}^i$ 
10:   end if
11: end if
12: end function
```

---

图10

路由器*i*处的链路故障处理算法

---

```

1: 功能处理链路故障
2: INPUT:  $PIT^i$ ;
3: for each  $n(j) \in PIT^i$  do
4:   if  $k \in IN\_SET(PI_{n(j)}^i)$  then
5:      $IN\_SET(PI_{n(j)}^i) = IN\_SET(PI_{n(j)}^i) - \{k\}$ ;
     if  $IN\_SET(PI_{n(j)}^i) = \emptyset$  then 删除  $PI_{n(j)}^i$ 
6:   end if
7:   if  $k \in OUT\_SET(PI_{n(j)}^i)$  then
8:      $OUT\_SET(PI_{n(j)}^i) = OUT\_SET(PI_{n(j)}^i) - \{k\}$ 
9:     if  $OUT\_SET(PI_{n(j)}^i) = \emptyset$  then
10:      for each  $p \in IN\_SET(PI_{n(j)}^i)$  do
11:        发送  $NI[n(j), no\ route]$ 
12:      end for
13:      删除  $PI_{n(j)}^i$ 
14:     end if
15:   end if
16: end for
17: end function

```

---

图11

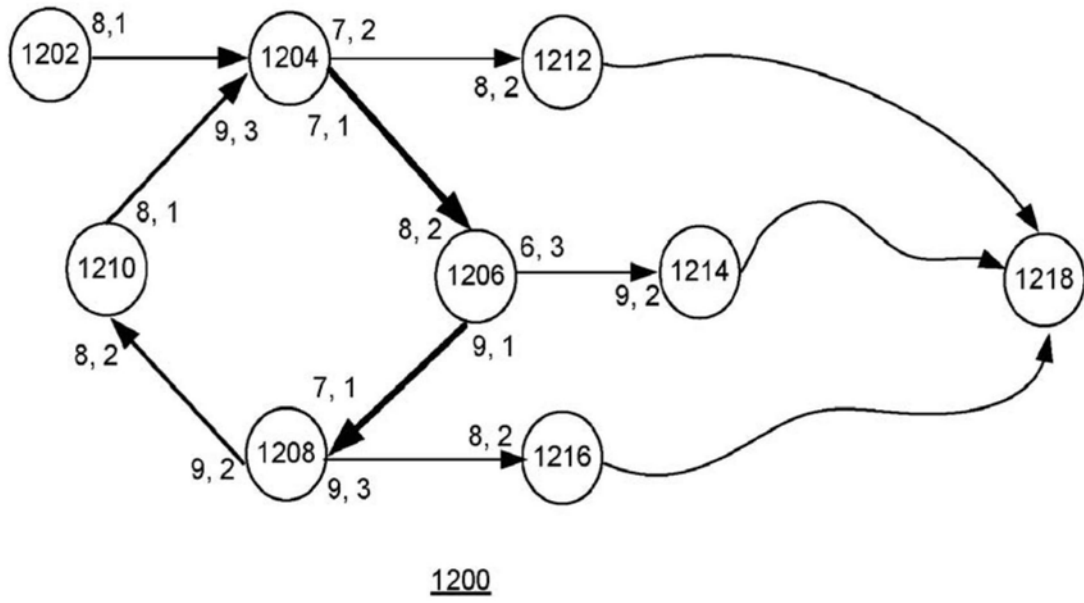


图12A

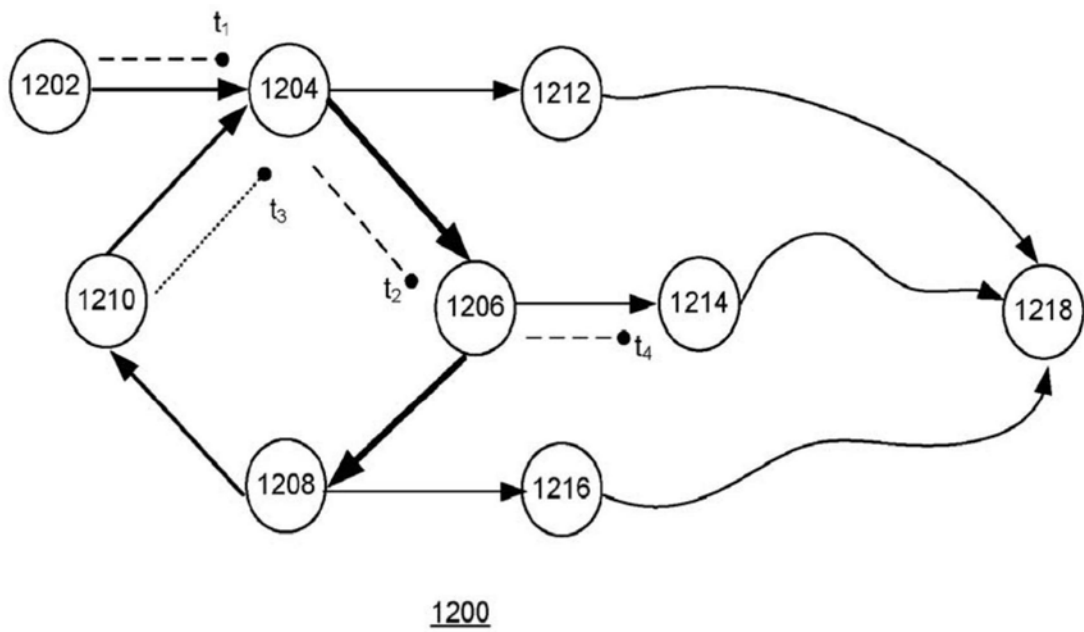
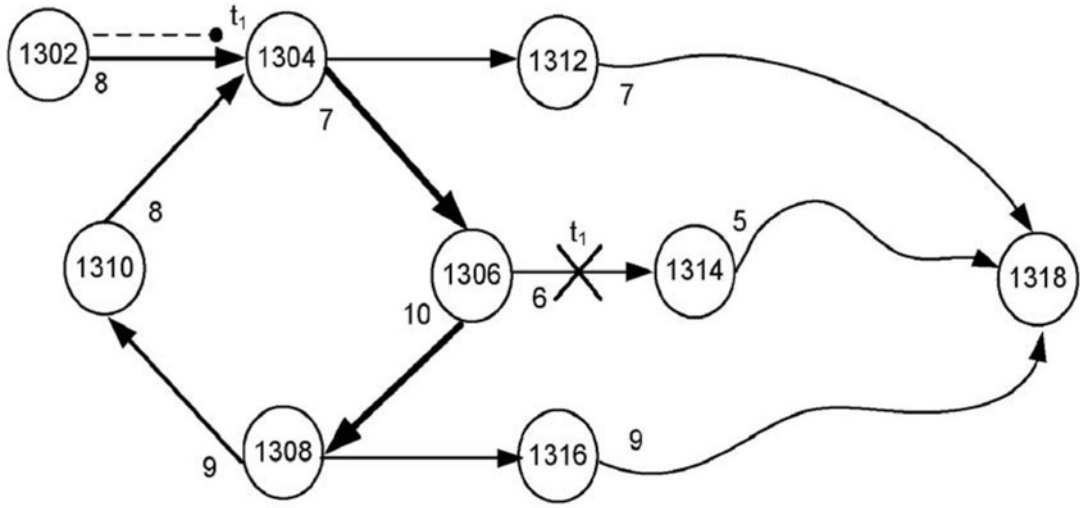
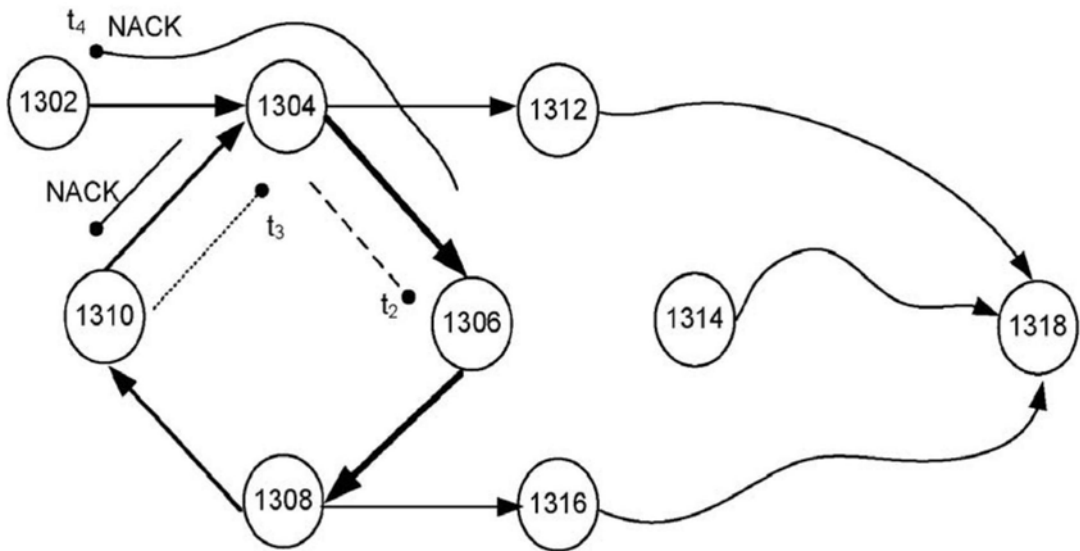


图12B



1300

图13A



1300

图13B

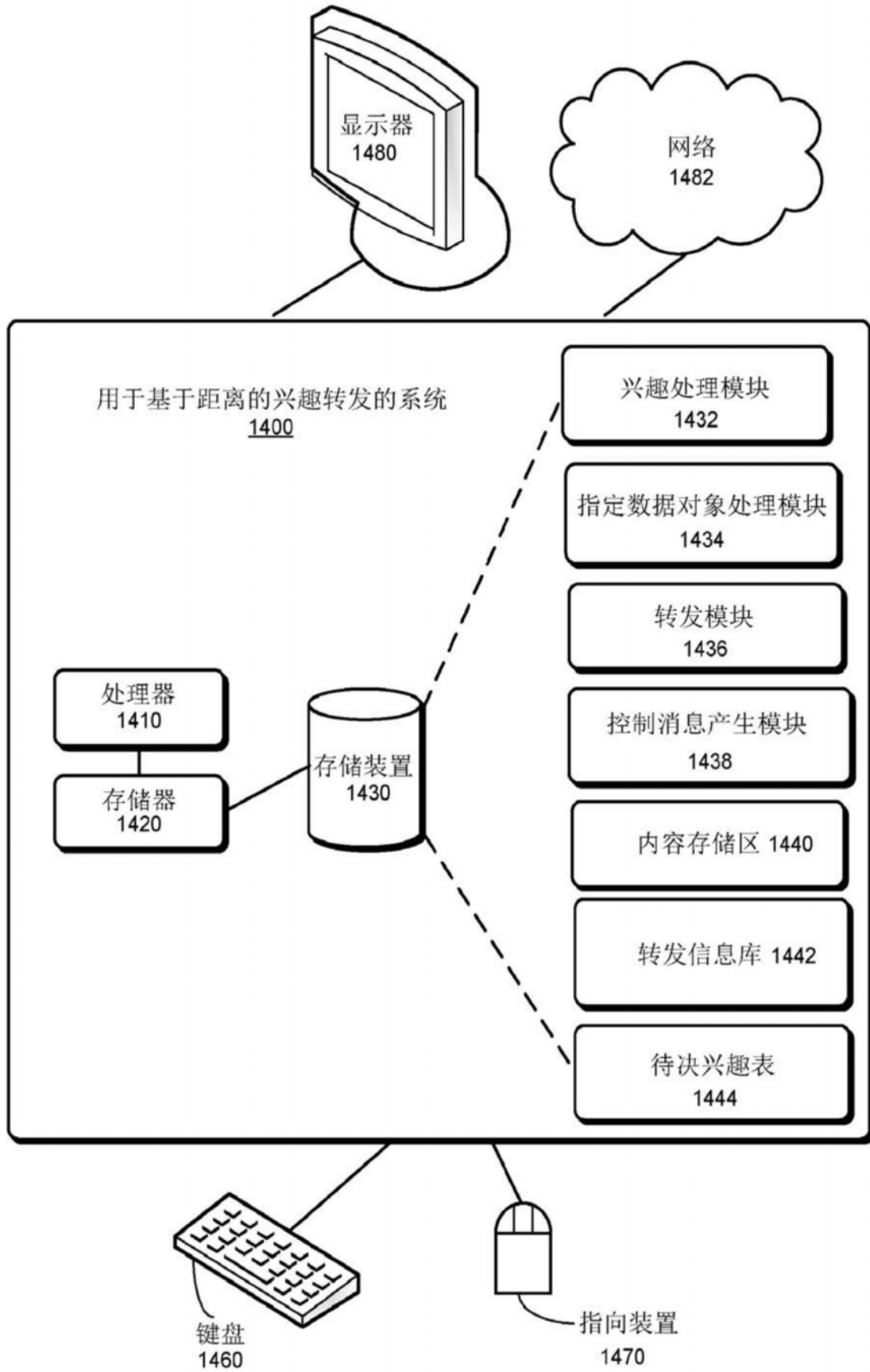


图14