



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111464420 B

(45) 授权公告日 2021.05.25

(21) 申请号 201910060566.6

(22) 申请日 2019.01.22

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111464420 A

(43) 申请公布日 2020.07.28

(73) 专利权人 清华大学
地址 100089 北京市海淀区清华园

(72) 发明人 万海 李宗辉 于庆涵 赵曦滨
陈威行

(74) 专利代理机构 北京挺立专利事务所(普通
合伙) 11265

代理人 赵振

(51) Int. Cl.
H04L 12/407 (2006.01)
H04L 12/26 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 108777660 A, 2018.11.09
- CN 108712224 A, 2018.10.26
- CN 109167738 A, 2019.01.08
- CN 102255803 A, 2011.11.23
- CN 107809397 A, 2018.03.16
- US 2017070439 A1, 2017.03.09

审查员 张秀娟

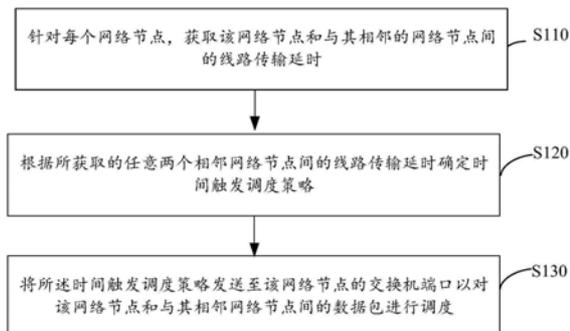
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

线长自适应时间触发调度方法和装置

(57) 摘要

本发明公开一种线长自适应时间触发调度方法和装置,其中该方法包括:针对每个网络节点,获取该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时,其中,所部署的网络中任意两个相邻网络节点间的总线路延时小于预先设置的线路传输延时阈值;根据所获取的任意两个相邻网络节点间的线路传输延时确定时间触发调度策略;将所述时间触发调度策略发送至该网络节点的交换机端口以对该网络节点和与其相邻网络节点间的数据包进行调度。



1. 一种线长自适应时间触发调度方法,其特征在于,包括:

针对每个网络节点,获取该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时,其中,所部署的网络中任意两个相邻网络节点间的总线路延时小于预先设置的线路传输延时阈值,所述线路传输延时阈值为网络的最大线路延时;

根据所获取的任意两个相邻网络节点间的线路传输延时确定时间触发调度策略;

将所述时间触发调度策略发送至该网络节点的交换机端口以对该网络节点和与其相邻网络节点间的数据包进行调度。

2. 根据权利要求1所述的线长自适应时间触发调度方法,其特征在于,所述针对每个网络节点,获取该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时包括:

针对每个网络节点,通过该网络节点的第一交换机向与其相邻的网络节点的第二交换机发送数据请求,所述数据请求的数据帧中携带有发送时间戳 t_1 ;

接收所述第二交换机返回的响应数据帧,并为所述响应数据帧添加接收时间戳 t_4 ,其中,所述响应数据帧中携带有响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$, t_2 是所述第二交换机接收到所述数据请求的时间, t_3 是所述第二交换机发送所述响应数据帧的时间;

根据所述接收时间戳 t_4 和所述响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$ 计算得到该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时。

3. 根据权利要求2所述的线长自适应时间触发调度方法,其特征在于,所述第一交换机的数据发送端口和数据接收端口通过FPGA来实现。

4. 根据权利要求1-3中任一项所述的线长自适应时间触发调度方法,其特征在于,所述线路传输延时 t 的计算公式为:

$$t = (t_4 - (t_3 + t_1 - t_2)) / 2。$$

5. 根据权利要求1-3中任一项所述的线长自适应时间触发调度方法,其特征在于,所述网络为以太网。

6. 一种线长自适应时间触发调度装置,其特征在于,包括:

延时获取模块,被配置为针对每个网络节点,获取该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时,其中,所部署的网络中任意两个相邻网络节点间的总线路延时小于预先设置的线路传输延时阈值,所述线路传输延时阈值为网络的最大线路延时;

策略确定模块,被配置为根据所获取的任意两个相邻网络节点间的线路传输延时确定时间触发调度策略;

策略发送模块,被配置为将所述时间触发调度策略发送至该网络节点的交换机端口以对该网络节点和与其相邻网络节点间的数据包进行调度。

7. 根据权利要求6所述的线长自适应时间触发调度装置,其特征在于,所述延时获取模块包括:

数据请求发送单元,被配置为针对每个网络节点,通过该网络节点的第一交换机向与其相邻的网络节点的第二交换机发送数据请求,所述数据请求的数据帧中携带有发送时间戳 t_1 ;

响应接收单元,被配置为接收所述第二交换机返回的响应数据帧,并为所述响应数据帧添加接收时间戳 t_4 ,其中,所述响应数据帧中携带有响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$, t_2 是所述第二交换机接收到所述数据请求的时间, t_3 是所述第二交换机发送所述响应数据帧的时间;

延时计算单元,被配置为根据所述接收时间戳 t_4 和所述响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$ 计算得到该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时。

8.根据权利要求7所述的线长自适应时间触发调度装置,其特征在于,所述第一交换机的数据发送端口和数据接收端口通过FPGA来实现。

9.根据权利要求6-8中任一项所述的线长自适应时间触发调度装置,其特征在于,所述线路传输延时 t 的计算公式为:

$$t = (t_4 - (t_3 + t_1 - t_2)) / 2。$$

10.根据权利要求6-8中任一项所述的线长自适应时间触发调度装置,其特征在于,所述网络为以太网。

线长自适应时间触发调度方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及以太网领域,具体而言,涉及一种线长自适应时间触发调度方法和装置。

背景技术

[0002] 随着网络技术的不断发展,越来越多的领域开始使用网络。在航空、铁路交通、工业控制等这些领域中,要求数据信息能够按照指定的时刻到达目的结点,否则便可能引发失控等灾难性后果。传统的以太网采用带冲突检测的载波监听多路访问技术,其本质是争用型的介质访问控制协议,无法满足低延迟、低抖动、高可靠的实时传输需求。在实现工业界需求的实时以太网的众多解决方案中,TTTeh公司发明的基于时间触发的以太网技术(Time-triggered Ethernet,简称TTEthernet)凭借其良好的性质而得到了广泛应用。

[0003] 在基于时间触发(Time-Triggered,TT)技术的实时以太网中,每个网络结点根据事先计算好的调度策略来严格控制数据包的接收和发送时间,来确保数据帧到达每个网络结点的时间都处于一个预先设置的“时间窗口”内,即任意一个实时数据流中的数据帧在网络上的传输过程是由时间触发调度策略严格控制时间的,从而满足整个网络的实时性要求。常用的TT时间调度生成算法有SMT和LP,前者将每条实时数据流需要满足的约束抽象成一条谓词不等式,找到一组使所有的谓词不等式均满足的取值就是一个TT调度的解,而LP方法逐一满足每个实时数据流的约束要求,逐渐缩小解的空间,当处理完所有实时数据流的约束要求后剩下的解空间中便存在可用的TT调度策略。可以看到,一个能够满足实时要求的TT调度策略需要综合考虑数据包在网络结点中的处理延时、数据包在网络线路上的传输延时等信息。但在实际部署网络时,网络结点间的距离难免长短不一,使用的网络传输介质也种类各异,这无疑会带来数据包在网络线路上传输时间的极大不确定性,进而可能导致计算出的TT调度策略失效,破坏整个网络系统的实时性。

发明内容

[0004] 本发明提供一种线长自适应时间触发调度方法和装置,用以克服现有技术中存在的至少一个问题。

[0005] 根据本说明书实施例的第一方面,提供了一种线长自适应时间触发调度方法,包括:

[0006] 针对每个网络节点,获取该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时,其中,所部署的网络中任意两个相邻网络节点间的总线路延时小于预先设置的线路传输延时阈值;

[0007] 根据所获取的任意两个相邻网络节点间的线路传输延时确定时间触发调度策略;

[0008] 将所述时间触发调度策略发送至该网络节点的交换机端口以对该网络节点和与其相邻网络节点间的数据包进行调度。

[0009] 可选的,所述针对每个网络节点,获取该网络节点和与其相邻的网络节点间的线

路传输延时包括：

[0010] 针对每个网络节点，通过该网络节点的第一交换机向与其相邻的网络节点的第二交换机发送数据请求，所述数据请求的数据帧中携带有发送时间戳 t_1 ；

[0011] 接收所述第二交换机返回的响应数据帧，并为所述响应数据帧添加接收时间戳 t_4 ，其中，所述响应数据帧中携带有响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$ ， t_2 是所述第二交换机接收到所述数据请求的时间， t_3 是所述第二交换机发送所述响应数据帧的时间；

[0012] 根据所述接收时间戳 t_4 和所述响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$ 计算得到该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时。

[0013] 可选的，所述第一交换机的数据发送端口和数据接收端口通过FPGA来实现。可选的，所述线路传输延时 t 的计算公式为：

[0014] $t = (t_4 - (t_3 + t_1 - t_2)) / 2$ 。

[0015] 可选的，所述网络为以太网。

[0016] 根据本发明实施例的第二方面，还提供了一种线长自适应时间触发调度装置，包括：

[0017] 延时获取模块，被配置为针对每个网络节点，获取该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时，其中，所部署的网络中任意两个相邻网络节点间的总线路延时小于预先设置的线路传输延时阈值；

[0018] 策略确定模块，被配置为根据所获取的任意两个相邻网络节点间的线路传输延时确定时间触发调度策略；

[0019] 策略发送模块，被配置为将所述时间触发调度策略发送至该网络节点的交换机端口以对该网络节点和与其相邻网络节点间的数据包进行调度。

[0020] 可选的，所述延时获取模块包括：

[0021] 数据请求发送单元，被配置为针对每个网络节点，通过该网络节点的第一交换机向与其相邻的网络节点的第二交换机发送数据请求，所述数据请求的数据帧中携带有发送时间戳 t_1 ；

[0022] 响应接收单元，被配置为接收所述第二交换机返回的响应数据帧，并为所述响应数据帧添加接收时间戳 t_4 ，其中，所述响应数据帧中携带有响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$ ， t_2 是所述第二交换机接收到所述数据请求的时间， t_3 是所述第二交换机发送所述响应数据帧的时间；

[0023] 延时计算单元，被配置为根据所述接收时间戳 t_4 和所述响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$ 计算得到该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时。可选的，所述第一交换机的数据发送端口和数据接收端口通过FPGA来实现。可选的，所述线路传输延时 t 的计算公式为：

[0024] $t = (t_4 - (t_3 + t_1 - t_2)) / 2$ 。

[0025] 可选的，所述网络为以太网。

[0026] 本说明书实施例的线长自适应的时间触发调度方案，在计算调度策略时考虑一个允许的最大线路延时，在实际部署网络时只要不超过最大线路延时即可满足整个实时网络的延时要求。由于本说明书实施例考虑了网络中的最大线路延时，因此在部署网络时非常灵活，计算出的时间触发调度策略可以满足任何不超过最大线路的实时网络需求。

附图说明

[0027] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0028] 图1为本发明一个实施例的线长自适应时间触发调度方法流程图;

[0029] 图2为本发明一个实施例的时间触发调度的有效性(无冲突性)与线路时延无关性证明的示意图;

[0030] 图3为本发明一个实施例的自适应线长的数据传送流程示意图;

[0031] 图4为本发明一个实施例的自适应线长的延时计算流程示意图;

[0032] 图5为本发明一个实施例的线长自适应时间触发调度装置模块图。

具体实施方式

[0033] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有付出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0034] 图1为本发明一个实施例的线长自适应时间触发调度方法流程图;如图1所示,该线长自适应时间触发调度方法包括:

[0035] S110,针对每个网络节点,获取该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时,其中,所部署的网络中任意两个相邻网络节点间的总线路延时小于预先设置的线路传输延时阈值。

[0036] 在具体实现时,之所以将所部署的网络中任意两个相邻网络节点间的总线路延时小于预先设置的线路传输延时阈值,是因为发明人在实现本发明的过程中发现,在基于时间触发的实时网络(如以太网)中,调度策略的有效性与线路延时是无关的。对于网络中的任意两个相邻网络结点(如图2中的A、B),若一时间触发调度策略是有效的,即在该调度策略中任意两条流在同一网络结点的发送时间均是不相等的。例如,对于经过某个网络结点A的任意两条不冲突数据流 f_1 、 f_2 ,记其离开网络结点A的时间分别为 $send_{A1}$ 、 $send_{A2}$ 。数据帧从A到B的传输延时为 $transport$ 。数据流 f_1 、 f_2 中的数据帧在网络结点B中所需的处理时间分别为 t_{B1} 、 t_{B2} 。则数据流 f_1 、 f_2 中的数据帧在B结点的发送时间分别为:

[0037] $send_{B1} = send_{A1} + transport + t_{B1}$

[0038] $send_{B2} = send_{A2} + transport + t_{B1}$

[0039] 显然,数据帧在网络结点AB间的传输延时并不会影响 f_1 、 f_2 中的数据帧在结点B处的发送时间是否冲突,即线路时延的大小不会影响时间触发调度策略的有效性。

[0040] 基于这一特性,线长自适应的时间触发调度策略在计算时设置一个最大的线路传输延时,而在实际部署的网络中任意两个结点间的总线路传输延时都不应超过该最大线路传输延时。

[0041] 一种实施方式中,所述针对每个网络节点,获取该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时包括:

[0042] 针对每个网络节点,通过该网络节点的第一交换机向与其相邻的网络节点的第二交换机发送数据请求,所述数据请求的数据帧中携带有发送时间戳 t_1 ;

[0043] 接收所述第二交换机返回的响应数据帧,并为所述响应数据帧添加接收时间戳 t_4 ,其中,所述响应数据帧中携带有响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$, t_2 是所述第二交换机接收到所述数据请求的时间, t_3 是所述第二交换机发送所述响应数据帧的时间;

[0044] 根据所述接收时间戳 t_4 和所述响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$ 计算得到该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时。

[0045] 在具体实现时,所述线路传输延时 t 的计算公式为:

[0046] $t = (t_4 - (t_3 + t_1 - t_2)) / 2$ 。

[0047] 一种实施方式中,所述第一交换机的数据发送端口和数据接收端口通过FPGA来实现。

[0048] 图3示出了根据本说明书一实施例的网络节点间的数据传送流程示意图;图4示出了根据图3实施例的延时计算流程示意图;如图所示,时延计算过程如下:

[0049] 交换机A发送request:

[0050] 交换机A的CPU软件,发送数据请求(request)。在经过FPGA向外发送时,FPGA将此时发送出去的时间戳填充在数据帧中,即 t_1 。

[0051] 交换机B接收request:

[0052] 交换机B接收到request后,先经过FPGA,在数据帧头打上此时接收的时间戳 t_2 ,然后上送CPU软件。

[0053] 交换机B处理request:

[0054] CPU在接收到FPGA上送的request请求帧后,解析该帧,获取到 t_1 和 t_2 时间戳,将 t_1-t_2 计算后的值,填充在response帧中,再发送给FPGA。

[0055] 交换机B发送响应数据帧(response):

[0056] FPGA将此时发送出去的时间戳填充在数据帧中,即此时数据帧中带有 $t_3+t_1-t_2$ 计算后的值。这样从交换机B发送出的response帧,携带了 $t_3+t_1-t_2$ 计算后的时间戳。

[0057] 交换机A接收response:

[0058] 交换机A接收到response后,先经过FPGA,在数据帧头打上此时接收的时间戳 t_4 ,然后上送CPU软件。

[0059] 交换机A处理response:

[0060] CPU接收到的response帧,是携带有 t_4 时间戳和 $t_3+t_1-t_2$ 计算后的时间戳,解析该帧,获取到这两个时间戳相减,然后除以2,即执行如下计算: $(t_4 - (t_3 + t_1 - t_2)) / 2$ 。将该计算后的值,写入交换机A所对应的端口、所对应的delay寄存器(FPGA中寄存器),即完成了交换机A上的delay计算。

[0061] 交换机B所对应的端口、所对应的delay寄存器地计算,也是同理。

[0062] S120,根据所获取的任意两个相邻网络节点间的线路传输延时确定时间触发调度策略。

[0063] S130,将所述时间触发调度策略发送至该网络节点的交换机端口以对该网络节点和与其相邻网络节点间的数据包进行调度。

[0064] 本说明书实施例的线长自适应的时间触发调度方案,在计算调度策略时考虑一个

允许的最大线路延时,在实际部署网络时只要不超过最大线路延时即可满足整个实时网络的延时要求。由于本说明书实施例考虑了网络中的最大线路延时,因此在部署网络时非常灵活,计算出的时间触发调度策略可以满足任何不超过最大线路的实时网络需求。

[0065] 与上述方法实施例相适应,图5示出了根据本说明书一实施例的线长自适应时间触发调度装置模块图。如图5所示,该装置500包括:

[0066] 延时获取模块510,被配置为针对每个网络节点,获取该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时,其中,所部署的网络中任意两个相邻网络节点间的总线路延时小于预先设置的线路传输延时阈值;

[0067] 策略确定模块520,被配置为根据所获取的任意两个相邻网络节点间的线路传输延时确定时间触发调度策略;

[0068] 策略发送模块530,被配置为将所述时间触发调度策略发送至该网络节点的交换机端口以对该网络节点和与其相邻网络节点间的数据包进行调度。

[0069] 可选的,所述延时获取模块包括:

[0070] 数据请求发送单元,被配置为针对每个网络节点,通过该网络节点的第一交换机向与其相邻的网络节点的第二交换机发送数据请求,所述数据请求的数据帧中携带有发送时间戳 t_1 ;

[0071] 响应接收单元,被配置为接收所述第二交换机返回的响应数据帧,并为所述响应数据帧添加接收时间戳 t_4 ,其中,所述响应数据帧中携带有响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$, t_2 是所述第二交换机接收到所述数据请求的时间, t_3 是所述第二交换机发送所述响应数据帧的时间;

[0072] 延时计算单元,被配置为根据所述接收时间戳 t_4 和所述响应时间戳 $(t_3+t_1-t_2)$ 计算得到该网络节点和与其相邻的网络节点间的线路传输延时。可选的,所述第一交换机的数据发送端口和数据接收端口通过FPGA来实现。可选的,所述线路传输延时 t 的计算公式为:

[0073] $t = (t_4 - (t_3 + t_1 - t_2)) / 2$ 。

[0074] 可选的,所述网络为以太网络。

[0075] 本说明书实施例的线长自适应的时间触发调度方案,在计算调度策略时考虑一个允许的最大线路延时,在实际部署网络时只要不超过最大线路延时即可满足整个实时网络的延时要求。由于本说明书实施例考虑了网络中的最大线路延时,因此在部署网络时非常灵活,计算出的时间触发调度策略可以满足任何不超过最大线路的实时网络需求。

[0076] 本领域普通技术人员可以理解:附图只是一个实施例的示意图,附图中的模块或流程并不一定是实施本发明所必须的。

[0077] 本领域普通技术人员可以理解:实施例中的装置中的模块可以按照实施例描述分布于实施例的装置中,也可以进行相应变化位于不同于本实施例的一个或多个装置中。上述实施例的模块可以合并为一个模块,也可以进一步拆分成多个子模块。

[0078] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明实施例技术方案的精神和范围。

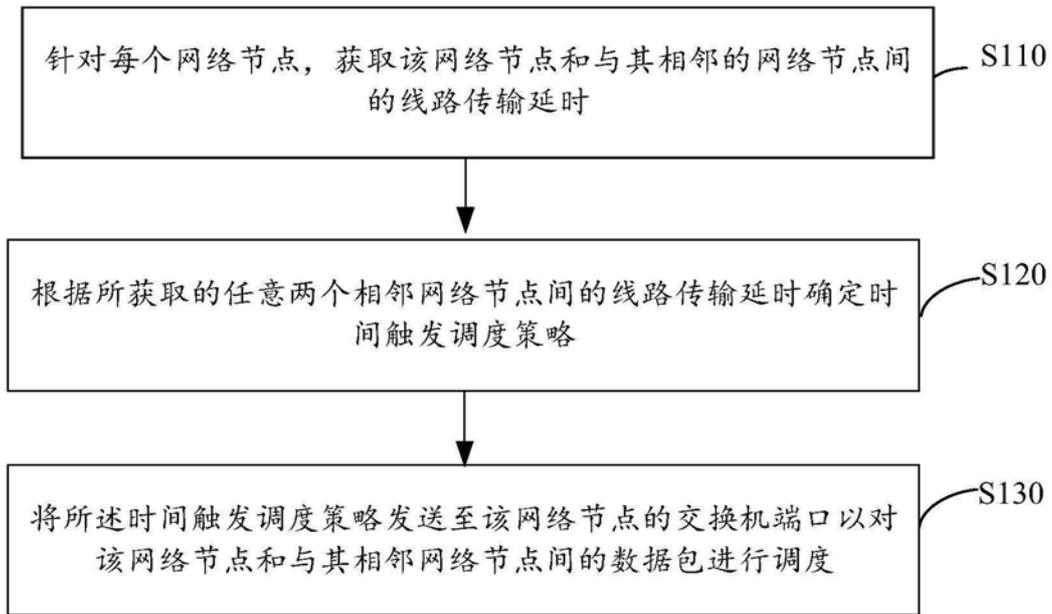


图1

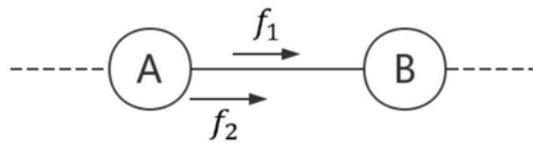


图2

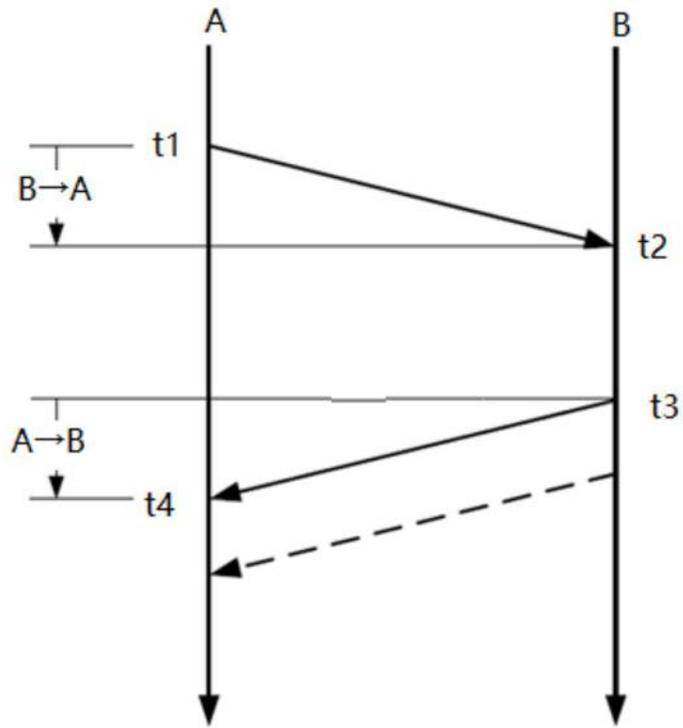


图3

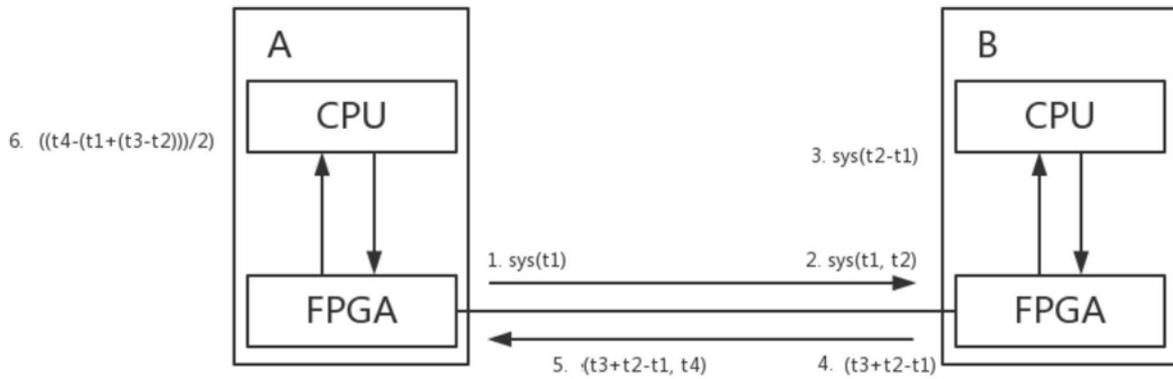


图4

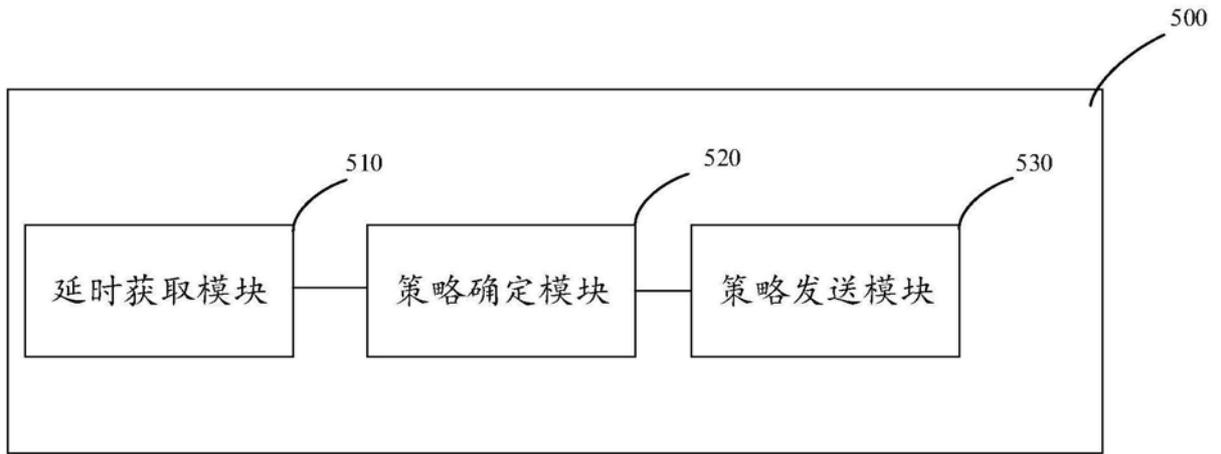


图5