



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114631290 A

(43) 申请公布日 2022.06.14

(21) 申请号 202080073600.4

(22) 申请日 2020.08.25

(30) 优先权数据

A50740/2019 2019.08.27 AT

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.04.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2020/073721 2020.08.25

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/037837 DE 2021.03.04

(71) 申请人 B&R工业自动化有限公司

地址 奥地利埃格尔斯贝格

(72) 发明人 D·布鲁克纳

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

专利代理师 蔡悦 杨洁

(51) Int.Cl.

H04L 12/46 (2006.01)

H04L 47/24 (2022.01)

H04L 47/2441 (2022.01)

H04L 47/28 (2022.01)

H04L 9/40 (2022.01)

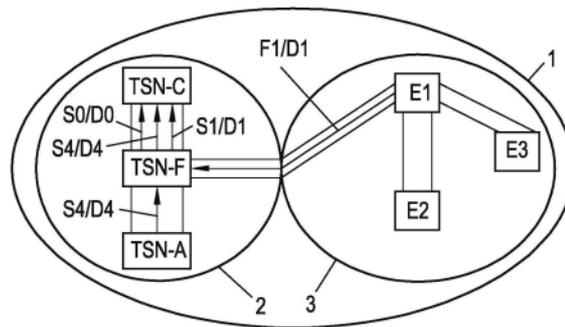
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

数据分组的传输

(57) 摘要

本发明的目的在于从以太网(3)中的以太网组件(E1、E2、E3)向混合网络(1)中的工业通信网络传送数据分组(D1)。根据本发明,使用根据IEEE802.1TSN工作组的标准配置的工业通信网络(2),并且在IEEE 802.1TSN工作组的标准中定义的至少一个保证通过以下操作被给予数据分组(D1):包含数据分组(D1)的帧(F1)由TSN网桥(TSN-F)在根据IEEE 802.1TSN工作组的标准配置的工业通信网络(2)中标识并且被转换为包含数据分组(D1)的TSN流(S1),并且数据分组(D1)在TSN流(S1)中被传送到TSN组件(TSN-C)。



1. 一种用于从布置在混合网络(1)内的以太网(3)中的以太网组件(E1、E2、E3)向布置在所述混合网络(1)内根据IEEE 802.1 TSN工作组的标准配置的工业通信网络(2)中的TSN组件(TSN-C)传送优选地循环的数据分组(D1)的方法,其中在所述IEEE 802.1 TSN工作组的标准中定义的至少一个保证通过以下操作被给予所述数据分组(D1):包含所述数据分组(D1)的帧(F1)由TSN网桥(TSN-F)在根据所述IEEE 802.1 TSN工作组的标准配置的所述工业通信网络(2)中标识并且被转换为包含所述数据分组(D1)的TSN流(S1),并且所述数据分组(D1)在所述TSN流(S1)中被传送到所述TSN组件(TSN-C)。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,当所述帧(F1)抵达根据所述IEEE 802.1 TSN工作组的标准配置的所述工业通信网络(2)时,所述帧由TSN边缘网桥(TSN-F)标识,被转换为TSN流(S1),并被传送给所述TSN组件(TSN-C)。

3. 如权利要求1或权利要求2所述的方法,其特征在于,所述帧(F1)是根据IEEE 802.1CB标准来标识的。

4. 如权利要求1至3中任一项所述的方法,其特征在于,当所述帧(F1)被转换为所述TSN流(S1)时,所述帧(F1)的以太网报头被TSN报头替换。

5. 如权利要求4所述的方法,其特征在于,所述帧(F1)的以太网报头借助于根据IEEE 802.1Qci标准的重新标记功能被TSN报头替换。

6. 如权利要求1至5中任一项所述的方法,其特征在于,所述TSN流(S1)的最小带宽被作为保证而给予。

7. 如权利要求1至6中任一项所述的方法,其特征在于,所述TSN流(S1)的最大等待时间被作为保证而给予。

8. 如权利要求1至7中任一项所述的方法,其特征在于,所述TSN流(S1)的所定义突发能力被作为保证而给予。

9. 如权利要求1至8中任一项所述的方法,其特征在于,所述TSN流(S1)的所定义接收时间被作为保证而给予,优选地,所述TSN流(S1)在至少一个循环(z1、z2)的指定时间窗口(t1)中被传送到所述TSN组件(TSN-C)。

10. 如权利要求1至9中任一项所述的方法,其特征在于,在数据分组(D1)从位于根据所述IEEE 802.1 TSN工作组的标准配置的所述工业通信网络(2)中的所述TSN组件(TSN-C)被传送到位于根据所述IEEE 802.1 TSN工作组的标准配置的所述工业通信网络(2)之外的所述以太网(3)中的以太网组件(E1、E2)时,包含所述数据分组(D1)的TSN流由TSN网桥(TSN-F)转换为包含所述数据分组(D1)的帧(F1),并且所述数据分组(D1)在所述帧(F1)中被传送到所述以太网组件(E1、E2)。

11. 如权利要求10所述的方法,其特征在于,当所述TSN流(S1)被转换为所述帧(F1)时,所述TSN流(S1)的TSN报头优选地借助于根据所述IEEE 802.1Qci标准的重新标记功能被以太网报头替换。

12. 如权利要求10所述的方法,其特征在于,所述TSN流(S1)的TSN报头的VLAN标记在所述TSN流(S1)被转换为所述帧(F1)时被删除。

13. 如权利要求10所述的方法,其特征在于,当所述TSN流(S1)被转换为所述帧(F1)时,所述TSN流(S1)的TSN报头被用于所述帧(F1)。

14. 如权利要求10至13中任一项所述的方法,其特征在于,当离开根据所述IEEE 802.1

TSN工作组的标准配置的所述工业通信网络(2)时,所述TSN流(S1)由TSN边缘网桥(TSN-F)转换为包含所述数据分组(D1)的所述帧(F1)。

15.一种包括具有数个以太网组件(E1、E2、E3)的以太网(3)和具有至少一个TSN组件(TSN-C)和TSN网桥(TSN-F)的根据IEEE 802.1 TSN工作组的标准配置的工业通信网络(2)的混合网络(1),其中所述TSN网桥(TSN-F)被配置成:标识帧(F1),所述帧(F1)包含要从以太网组件(E1、E2、E3)向TSN组件(TSN-C)传送的优选地循环的数据分组(D1);将所述帧(F1)转换为包含所述数据分组(D1)的TSN流(S1);以及在所述TSN流(S1)中向所述TSN组件(TSN-C)传送所述数据分组(D1),以便如在所述IEEE 802.1 TSN工作组的标准中定义的为所述数据分组(D1)给予至少一个保证。

## 数据分组的传输

[0001] 本发明涉及一种用于从布置在混合网络内的以太网中的以太网组件向布置在根据IEEE 802.1TSN工作组的标准配置的工业通信网络中的TSN组件传送优选地循环的数据分组的方法。

[0002] 仅由标准以太网组件组成的纯以太网不是确定性的,这意味着不能针对所发送/所接收的数据分组给予时间保证——即使所有现有的服务质量机制都已耗尽。另一方面,在工业通信网络中,可以循环地且有保证地传送数据分组。为了实现这一点,工业通信网络通常由特殊的工业以太网组件(即,特殊的工业以太网软件栈和特殊的工业以太网硬件)构成。工业通信网络通常由低误码率、以及特殊帧格式和循环帧的精确定时发送来表征。

[0003] 端点和控制器表示网络的组件,其中端点仅能经由一个连接来接收数据分组,而控制器可以经由若干连接来接收数据分组。网桥也被称为交换机,并且被用于连接网络各组件。边缘网桥被用于将网络(例如,工业通信网络)连接到第二网络(例如,标准以太网)。因此,网桥可以代表纯网络基础设施设备,但其也可以作为桥接端点或桥接控制器被用作端点或控制器,这意味着其也可以被用于连接其他组件

[0004] 特殊工业以太网组件、尤其是特殊工业以太网硬件当然比标准以太网组件更昂贵。为此,代替纯工业通信网络,可以提供包括工业通信网络和(标准)以太网的混合网络。为此目的,以太网组件可以经由网关连接到工业通信网络。然而,(标准)以太网组件不支持针对所发送/所接收的数据分组的循环数据话务所需的任何功能(例如,给予保证、尤其是时间保证)。因此,在此类混合网络中,在没有特殊的预防措施的情况下,无法预见从标准以太网组件发送的数据分组将在混合网络中传输多长时间。也不可能预见数据分组是否会(例如,由于桥接缓冲器溢出)而丢失。

[0005] 众所周知的具有特殊工业以太网硬件的工业通信网络包括PROFINET IRT、POWERLINK、EtherCAT、SERCOS等。此类工业通信网络各自具有特殊的机制,以便实现混合网络。然而,在这些机制的上下文中,非实时话务的引入从根本上受到限制,以免危及实时能力。

[0006] 另一方面,Ethernet/IP和Profinet/IO代表由标准以太网组件构建的工业通信网络。然而,作为结果,这些工业通信网络相对于非实时话务具有更长的循环时间并且更不稳健,因为实时话务和非实时话务不能基于其相关联帧来区分并且因此由网桥以相同的方式来处理。因此,实时话务可能被非实时话务取代。具体而言,当非实时话务高发时,部分实时话务可被转移到后续循环。因此,接收机至少在一个循环中不接收任何数据分组,并且切换到错误模式和/或外推先前接收到的数据分组。在随后的循环之一中,接收机随后接收多个数据分组。这些多个数据分组必须依次进行特殊处理。如果提供了小部分非实时话务,当然很少出现以上提及的问题。选择如此长的循环时间以使实时话务所需的带宽相对较小可以用于提高稳健性。在最好的情况下,该措施不导致单个帧到下一循环的任何转移。

[0007] 为了甚至允许基于标准以太网组件的工业通信网络中的循环数据话务,必须提供关于所发送的循环数据分组的运行时间的信息。一种众所周知的方式是使用“网络演算”。“网络演算”是一种在具有非实时能力的网络中计算或估计等待时间的常用方法。这允许针

对数据分组的运行时间的限制值被指定,利用该限制值可以计算传送数据分组所需的带宽。该信息是根据统计范围估计来选择的。因此,使用这种方法的网络必须显著地扩界。因此,网络的正确规模在很大程度上取决于网络工程师的经验,因为如果规划不充分,网络将无法运行或只能在有限的范围内运行和/或无法保证符合必要的循环时间,这意味着数据分组可能会丢失。

[0008] 因此,本发明的目的在于提供一种允许在以太网中的标准以太网组件与工业通信网络中的各组件之间发送数据分组的方法,其中确保了更好的实时能力。

[0009] 根据本发明,该目的通过一种用于从布置在混合网络内的以太网中的以太网组件向布置在混合网络内根据IEEE 802.1TSN工作组的标准配置的工业通信网络中的TSN组件传送优选地循环的数据分组的方法来实现,其中在IEEE 802.1TSN工作组的标准中定义的至少一个保证通过以下操作被给予给数据分组:包含该数据分组的帧F1由TSN网桥在根据IEEE 802.1TSN工作组的标准配置的工业通信网络中标识并且转换为包含该数据分组的TSN流,并且该数据分组在该TSN流中被传送到该TSN组件。

[0010] 因此,根据本发明,工业通信网络根据IEEE 802.1TSN工作组的标准进行配置,这允许例如针对循环数据分组给予保证。为了简单起见,根据IEEE 802.1TSN工作组标准配置的工业通信网络被称为TSN网络。TSN网络中的组件被称为TSN组件。在IEEE 802.1TSN工作组的标准中配置的流被称为TSN流。TSN网络之外的网络部分通常被称为以太网。不在TSN网络(或其他工业通信网络)中但在(以太网)网络中的组件被称为以太网组件。为简单起见,以太网帧被称为帧。

[0011] 如果包含数据分组的帧未经进一步处理就从以太网发送到TSN网络,这通过定义为“尽力而为”来进行,这意味着没有保证可被给予该数据分组。为此,根据本发明使用TSN流,藉此改进TSN组件与以太网组件之间的通信。在TSN流中,数据分组从作为发送方(说话者)的TSN组件经由一个或多个适当配置的TSN网桥传送到作为接收方(收听者)的一个或多个TSN组件。

[0012] 使用TSN流具有更简单地估计在TSN网络中传输数据分组所需的带宽的优点,因为未经调度时间窗口的带宽和/或TSN组件的空闲带宽是已知的。这意味着可以通过为TSN流提供另外的时间窗口来为另外的TSN流规划空闲带宽,如IEEE 802.1Qcc中引入的TSN配置选项中所描述的。根据本发明,另外的TSN流传输另外的数据分组。

[0013] 例如,如果由于需要太多带宽而超出了TSN流S1的网络保证,则另一经保证的TSN流不受影响。如果非保留带宽在TSN网桥上免费的,则可以使其可用(以“尽力而为”话务为代价)。

[0014] 原则上,整个网络也可以仅由TSN组件构建,这意味着仅存在一个全球TSN网络。然而,由于TSN组件的TSN功能仅对仅包括部分任务的高性能应用是所需的,因此仅部分结构使用TSN组件是有利的。具体而言,混合网络这样的结构比纯TSN网络的成本效益显著更高。

[0015] 因此,在混合网络中,以太网组件充当对TSN网络的馈送方。以太网内(和TSN网络外)的通信可以通过发送带有数据分组的帧以已知方式进行。然而,在TSN网络之外,没有保证(最多只能是估计)可被给予相应的数据分组。这也适用于在抵达TSN网络且转换为TSN流之前被发送到TSN网络的带有数据分组的帧。

[0016] 在以太网中(TSN网络之外),也可以提供诸如隔离、扩界和“网络演算”等适当措

施。隔离通常是指使用仅部分数据话务通过其路由的单独的子网。作为结果,由于发生的非实时话务而对实时话务的潜在破坏性影响较低。当然,对于具有隔离的以太网,与没有隔离的以太网相比,需要更多的网络基础设施,即,更多的网桥和电缆。然而,在以太网(TSN网络之外)中使用此类措施仍然比运营纯TSN网络成本更低。

[0017] 混合网络的另一优点是附加的以太网组件可以作为混合网络的一部分连接到以太网,而不会影响已经存在的TSN流,因为TSN流仅作为混合网络的一部分存在于TSN网络中。

[0018] 混合网络也可以按简单的方式设立,因为工业以太网组件通常配备有标准以太网连接,并且TSN网络可以容易地被扩展以包括附加的以太网组件,从而在TSN网络中创建“以太网岛”。TSN网络是以太网的扩展,并且因此完全向后兼容。然而,附加的以太网组件可能影响现有的“尽力而为”帧。

[0019] 该帧优选地根据IEEE 802.1CB标准来标识。因此,TSN网络中的TSN流可以利用IEEE 802.1Qbv TSN标准的时间感知整形器进行整形。这在例如接收时间或带宽被作为保证而给予的情况下是特别有利的。

[0020] 原则上,循环过程数据、音频/视频数据和其他流服务、配置、网络跟踪、固件下载等可以作为数据分组来被发送。为了在进入TSN网络时能够正确识别这些数据分组的帧,可以使用如在IEEE 802.1CB标准中定义的流标识功能。在802.1CB标准中定义了四个流标识功能,其中也可以从更高的协议(IP、UDP、TCP、OPC UA等)访问报头信息。

[0021] 基于信用的整形器(来自IEEE 802.1Q)或来自IEEE 802.1Qcr的异步话务整形器也可被用于经保证带宽、突发能力和/或等待时间。这些出口功能(在网桥出口对话务“整形”)通常由入口监管(IEEE 802.1Qci)支持,以便在网桥入口处分选出错误地“被整形”或被发送的TSN帧。

[0022] 当该帧抵达根据IEEE 802.1TSN工作组标准配置的工业通信网络时,该帧优选地由TSN边缘网桥标识,转换为TSN流,并且传送给TSN组件。TSN边缘网桥是TSN网桥,其也连接到标准以太网组件。替换地,该帧也可以由TSN边缘网桥作为“尽力而为”沿着通信链路发送到其他TSN网桥,并且仅由后续TSN网桥转换为TSN流,并且随后被如此转发。

[0023] 当该帧被转换为TSN流时,该帧的以太网报头优选地被TSN报头替换,这特别优选地根据IEEE 802.1Qci标准借助于重新标记功能来执行。

[0024] 随后,TSN报头包括流地址,而不是以太网所使用的(单播)目的地MAC地址。因此,一方面,包括数据分组的帧可基于以太网报头来被标识,而另一方面,原始帧的以太网报头可以在后续转换为TSN流期间被TSN报头替换。

[0025] 托管型以太网中频繁使用的功能是虚拟LAN(VLAN),其中每个以太网组件都可以成为一个或多个VLAN的成员。VLAN的以太网组件之间发送的帧被标记有对应的标记(经标记帧)。网络基础设施确保这些帧不被属于其他VLAN的成员的以太网组件看到——即使它们是作为广播发送的。TSN网络中的TSN流可被看作这一概念的扩展,因为子网用VLAN封装,并且具体的通信关系用TSN流封装。因此,VLAN字段可被用作TSN流的流地址的一部分。TSN流规定了VLAN标记,其是流地址的固定部分。如在IEEE 802.1Qci标准中描述的重新标记功能可被用于此目的。因此,所标识的帧接收到具有流ID的新报头,这意味着数据分组被视为TSN流,而不是未经指定的“尽力而为”话务。

[0026] IEEE 802.1TSN工作组的标准需要VLAN标记,并且将DMAC+VLAN标记定义为流地址(作为一种选项)。该流地址包括总共10个字节,并且在重新标记期间被覆写。其他报头字段(在该情形中,源MAC地址和以太网类型)优选地保持不变。以太网标准仅可任性地允许可在其中定义VLAN和优先级的4字节VLAN标记。如果该VLAN标记不可用,则可以在重新标记期间插入该标记,藉此相应地延长帧。

[0027] TSN流的最小带宽和/或TSN流的最大等待时间和/或TSN流的所定义的突发能力和/或TSN流的所定义的接收时间优选地被作为保证而给予。这在基于标准以太网组件的工业以太网中是不可能的,并且因此可以通过将TSN网络用作工业通信网络来实现。

[0028] 突发是尽可能快地传输大量数据。然而,在没有适当的预防措施的情况下,突发的各个帧很可能会与网络中的其他话务发生冲突。在TSN网络中,可以使用IEEE 802.1TSN Qav标准,该标准定义了所谓的针对突发的基于信用的整形器。在TSN网络中,发送方可以通过“休息”或“不发送”来节省信用,随后在发送TSN帧时必须花费这些信用。这定义了可能突发的最大大小。如果发送方没有更多的信用,它必须在每一帧之后等待,直到它具有针对下一帧的足够的信用。这将随时间相当均匀地分布其帧。

[0029] IEEE 802.1TSN工作组的标准包括各种话务整形机制。例如,(802.1)Qbv标准可以指派时间保证。(802.1)Qav标准也被可用于保留等待时间和带宽。(802.1)Qci标准可进而被用于限制带宽。当然,IEEE 802.1TSN中包含/引用的所有(相关)其他标准也被可用于实现话务保证(诸如Qch、Qcr等)。

[0030] 保证可被给予循环发送的数据分组,但也可被给予“不规则”(偶尔发送)的数据分组(诸如视频流或因特网下载等)。数据分组的内容与给予保证无关,尽管选择配置当然可以基于数据分组的所假设要求。

[0031] 如果循环过程数据作为数据分组来发送,则保证优选地被给予接收时间或等待时间。在音频/视频数据或配置数据作为数据分组的情形中,保证优选地被给予带宽。在跟踪和/或下载作为数据分组的情形中,保证优选地被给予突发能力和等待时间。

[0032] IEEE 802.1TSN工作组的标准尤其定义了针对实时、带宽、突发能力和等待时间的整形机制。因此,TSN整形机制优选地被用于为TSN流给予保证。这意味着可以给予IEEE 802.1TSN工作组的标准中定义的任何保证。这可以通过在转换到TSN流的TSN网桥中执行整形器配置来完成。此外,在通过其路由TSN流的所有其他TSN网桥中执行整形器配置。

[0033] 通过在循环的指定时间窗口期间在TSN流中向TSN组件传送数据分组,接收时间可被作为保证而给予。为了发送具有经保证接收时间的循环数据,对于通过其路由TSN流的每个TSN网桥,在TSN网络中仅为该TSN流配置时间窗口。如果发送方(说话者)也保证其针对每个循环的传输时间,则可以优化TSN流的传输,因为TSN网络中的时间窗口可以非常接近且没有较大缓冲。

[0034] 如果整形机制在TSN网络中与“尽力而为”话务或多个整形机制同时使用,则这一般被称为“融合”,这导致了所谓的“经融合网络”。在“经融合网络”中,在网络基础设施上同时地映射具有不同要求(运行时间、带宽、突发能力等)的不同类型的数据话务。

[0035] 如果在TSN网络中使用多个话务整形机制,则通常并非所有类型的话务在全部保留带宽的情况下是活跃的。因此,出于优化目的,可以由一个整形器与另一整形器共享未经使用的带宽。如果允许具有较低优先级的TSN流满足其保证(如IEEE 802.1Qbu和IEEE

802.3br中所描述的),则具有较低优先级的TSN流也可以被具有较高优先级的TSN流中断。

[0036] 优选地,在从位于根据IEEE 802.1TSN工作组的标准配置的工业通信网络中的TSN组件向位于根据IEEE 802.1TSN工作组的标准配置的工业通信网络之外的以太网中的以太网组件传送数据分组时,包含该数据分组的TSN流由TSN网桥转换为包含该数据分组的帧,并且在该帧中向该以太网组件传送该数据分组。

[0037] 当TSN流被转换为帧时,该TSN流的TSN报头可优选地借助于根据IEEE 802.1Qci标准的重新标记功能被以太网报头替换。

[0038] 当TSN流被转换为帧时,该TSN流的TSN报头可以从VLAN标记中被移除,或者该TSN流的TSN报头可被用于该帧。

[0039] 如果VLAN标记被删除,则VLAN标记的特征(即,帧优先级的定义和虚拟网络的配置)当然也就丢失了。这意味着仅配置了相同VLAN的组件才能相互发送帧。

[0040] 如果仍使用TSN报头,则该TSN报头由未经配置的以太网组件解读为帧报头。按照惯例,多播比特被设置在TSN报头中,这意味着该帧在以太网中的任何地方都可以被发送。因此,相应的接收机必须以接收多播地址的方式来配置。此外,以太网更多地负载有此类多播帧。

[0041] 如果TSN流未经改变地被发送到以太网,则由该TSN流使用的多播目的地MAC地址被解读为广播,并且以太网的网桥将帧发送到所有以太网组件。然而,这样做将使部分网络充满不必要的数据。因此,将TSN流转换为帧基本上是有利的。

[0042] 有利地,在从位于工业通信网络中的TSN组件向位于工业通信网络之外的以太网中的以太网组件传送TSN流时,该TSN流可以由TSN网桥转换为帧。

[0043] 在离开根据IEEE 802.1TSN工作组的标准配置的工业通信网络时,TSN流优选地由TSN边缘网桥转换为包含数据分组的帧。

[0044] 代替TSN边缘网桥,进一步位于TSN网络内部的TSN网桥可以接管到帧的转换。在该情形中,帧作为“尽力而为”在从转换TSN网桥到TSN边缘网桥的通信链路上被发送,尽管其实际上仍在TSN网络中。

[0045] IEEE 802.1TSN工作组的标准尤其包括描述TSN功能的IEEE 802.1Q-2018标准。此外,IEEE 802.1TSN工作组的标准包括IEEE802.1 CB-2017标准。

[0046] 直到2018年,IEEE 802.1Qbv-2015、IEEE 802.1Qci-2017、IEEE 802.1Qch-2017和IEEE 802.1Qbu-2016标准是对IEEE.802.1Q-2014标准的修订,并且因此代表了独立的标准并且被包括在IEEE 802.1Q-2018标准中。IEEE 802.1Qav-2009已经被包括在IEEE.802.1Q-2014中的标准中。

[0047] IEEE 802.1Qcc-2018标准仅在2018年被发布,并且因此是对IEEE 802.1Q-2018标准的修订。

[0048] IEEE 802.1Qav标准被包括在IEEE 802.1Qav-2009标准中,并且现在也被包括在IEEE 802.1Q-2018标准中。

[0049] IEEE 802.1Qcr项目在提交相关专利申请时尚未作为标准发布,并且具有项目编号IEEE P802.1Qcr。

[0050] IEEE Std.802.3br-2016标准是对IEEE Std.802.3-2015标准的修订,并且现在被包括在IEEE 802.3-2018标准中。

[0051] 在下文中,将参考图1至3更详细地描述本发明,图1至3示出了本发明的示例性、示意性和非限制性的有利实施例。在附图中:

[0052] 图1示出了以太网和嵌入式TSN网络,

[0053] 图2示出了帧到TSN流的转换,

[0054] 图3示出了作为时间保证的接收时间。

[0055] 图1示出了包括以太网3的混合网络1。以太网3进而包括数个以太网组件E1、E2、E3。根据IEEE 802.1Q(以及用于以太网桥的其他常用标准)但不根据IEEE 802.1TSN工作组的标准配置的网络组件被称为以太网组件E1、E2、E3。例如,以太网控制器作为以太网组件E1设置在以太网3中,其被连接到作为第二以太网组件E2的以太网现场设备以及作为第三以太网组件E3的以太网打印机。以太网控制器E1和以太网现场设备E2可以处理循环数据话务,但以太网打印机E3不能。然而,以太网组件E1、E2、E3的应用功能对于本发明的功能而言不是决定性的。因此,以太网控制器E1、以太网现场设备E2和以太网打印机E3一般被称为以太网组件E1、E2、E3。以太网组件E1、E2、E3之间的通信连接如图1和2中的条形所示,并且连接相应以太网组件E1、E2、E3的端口。

[0056] 在以太网3中,在以太网组件E1、E2、E3之间发送各自包含数据分组D2、D3的帧F2、F3。以太网组件E2经由包含在帧F2中的数据分组D2经由与以太网组件E1的连接通信链路来通信(反之亦然)。此外,以太网组件E3经由包含在帧F3中的数据分组D3经由与以太网组件E1的连接通信链路来通信(反之亦然)。该通信在图1中由沿着以太网组件E1、E2、E3之间的相应通信连接的箭头指示。在以太网3内,数据分组D2、D3仅能在帧F2、F3中且由此在没有给予保证的情况下被发送。

[0057] 以太网组件E1、E2、E3可以是托管型的,或者也可以是非托管型的。非托管型以太网组件E1、E2、E3可以按简单的方式(即插即用)连接到以太网3,但不提供用于配置或管理的选项。非托管型以太网组件E1、E2、E3通过评估从另外的以太网组件E1、E2、E3发送的帧F2、F3的源地址来独立地获知可经由端口到达的该另外的以太网组件E1、E2、E3的目标地址。如果帧F2、F3的目标地址仍然未知(因为尚未从另外的以太网组件E1、E2、E3接收到帧F2、F3),则帧F2、F3被转发到所有端口,并且因此被转发到所有以太网组件E1、E2、E3,这被称为泛洪。另一方面,托管型以太网组件E1、E2、E3可以例如由外部设备来配置、管理和/或监视。例如,可以配置地址表,或者可以借助于VLAN将以太网3划分为独立的区段。在本发明的范围内,可以使用托管型和/或非托管型以太网组件E1、E2、E3和/或VLAN。

[0058] 在所示实施例的上下文中描述的以太网组件E1、E2、E3和TSN组件TSN-A、TSN-F、TSN-C能够生成和接收数据分组,并且也是具有不止一个端口的网络基础设施的一部分。在IEEE命名法中,它们是桥接端点。然而,不失一般性,所有因端点而异的陈述也适用于仅具有一个端口的端点,并且所有因网络基础设施而异的陈述也适用于纯网络基础设施设备(即,纯网桥)。

[0059] 除了以太网3之外,混合网络1还包括优选地具有循环数据话务的至少一个工业通信网络,其根据本发明以支持根据IEEE 802.1TSN工作组的标准的功能的方式来配置。该部分在下文中被称为TSN网络2,并且可以被以太网3包围为“TSN岛”。TSN网络2也可以邻接以太网3,如图1和2中所示。TSN网络2包括TSN组件TSN-A、TSN-F和TSN-C(例如,作为现场设备),其中TSN组件TSN-F也用作TSN边缘网桥。TSN组件TSN-A、TSN-F、TSN-C之间的通信链路

也示出为条形,并且连接相应TSN组件TSN-A、TSN-F、TSN-C的各端口。在混合网络1中在以太网3与TSN网络2之间还存在采用以太网组件E1与TSN组件TSN-C之间经由TSN边缘网桥TSN-F的通信链路的形式通信链路。

[0060] 优选地具有循环数据话务的一个或多个另外的以太网3和/或一个或多个另外的工业网络当然也可以被设置在混合网络1中。这些一个或多个另外的工业网络也可以根据IEEE 802.1TSN工作组的标准进行配置,并且因此代表一个或多个TSN网络2。任何工业网络或TSN网络都可以在混合网络1中邻接其他以太网3和/或TSN网络2和/或被其他以太网3和/或TSN网络2包围为“TSN岛”。

[0061] 如果在帧F2、F3中从以太网组件E1、E2、E3向另外的以太网组件E1、E2、E3发送数据分组D2、D3,则所述帧F2、F3也可以通过TSN网络2而不是经由直接通信链路的直接传输来被路由。然而,将不存在到TSN流的转换,并且没有保证将被给予。

[0062] 在TSN网络2内,TSN数据分组D0、D4在相应TSN组件TSN-C、TSN-F、TSN-A之间的传输可以配置有已知的TSN话务整形机制。例如,TSN组件TSN-F可以向TSN组件TSN-C发送具有数据分组D0的TSN流S0(如图2中所指示),反之亦然(图2中未示出)。可以为数据分组D0的传输给予保证,例如,最大所需带宽、最大等待时间、经保证传输时间和/或接收时间等。最大可用保证当然必须服从于TSN网络中的各TSN组件TSN-C、TSN-F、TSN-A的边界条件(诸如发生在发射机侧的网络负载、转发等待时间、可用带宽或数据传输速率(例如,千兆位)等)。该校验是配置工具的任务并且与本发明无关。

[0063] 此外,在图2中,作为示例,从TSN组件TSN-A经由TSN组件TSN-F向TSN组件TSN-C发送具有数据分组D4的另外的TSN流S4。TSN网络2的配置确保了TSN流S4和TSN流S0可以从TSN组件TSN-F发送到TSN组件TSN-C。在该情形中,TSN流S4不干扰TSN流S0,反之亦然,尽管使用了相同的通信链路。即使另外的TSN流S4和TSN流S0要求相同的保证(接收时间、带宽、延迟等),这也是可能的。

[0064] 另一方面,如果另外的帧与以太网3内已经提供的帧F2、F3重合(即,如果另外的帧同时被转发到相同端口),则另外的帧将中断并且延迟帧F2、F3,即使这不是经由相同的通信链路发生的。发生的抖动将导致该另外的帧被处理一次,并且预期的帧F2、F3被处理一次。作为回报,TSN网络可以精确地配置何时要转发哪个帧,并且因此尽管存在外部抖动,转发总是相同的。

[0065] 在图2中,除了TSN流S0、S4之外,数据分组D1从以太网组件E1经由TSN组件TSN-F(作为TSN边缘网桥)传送到TSN组件TSN-C。这与TSN流S0、S4的传输大致同时抵达TSN组件TSN-F。与TSN流S0、S4从TSN组件TSN-F到TSN组件TSN-C的传输相比,基本上没有时间保证可被给予帧F1本身的传输。取决于抵达时间,帧F1将在两个TSN流S0、S4之前或之后被转发。因此,根据本发明,包含数据分组D1的帧F1在TSN网络2中由TSN网桥来标识,这在此由TSN组件TSN-F以TSN边缘网桥的形式来执行。从该标识开始,要传送的数据分组D1的必要传输特性是已知的,因为这些是预先配置的。在标识之后,帧F1被转换为TSN流S1并且在TSN网络2中进行相应的处理。例如,该转换通过根据配置来用来自TSN流S1的TSN报头替换帧F1的以太网报头来进行。TSN流S1随后从TSN网桥(在此为TSN组件TSN-F)经由根据配置提供和处理的通信链路发送到经寻址的(诸)TSN组件(在此为TSN组件TSN-C)。这在经融合网络中不会影响相同通信链路上的另外的数据话务(在此以具有数据分组D0、D4的TSN流S0、S4的形式),

针对所有TSN流S0、S1、S4的保证被满足。在图2中,仅一个从TSN组件TSN-F到TSN组件TSN-C的通信连接用作通信链路。当然,TSN流S1也可以经由另外的通信链路和TSN组件来路由。

[0066] 如本实施例中所描述的,帧F1的标识和帧F1到TSN流S1的转换可以在抵达TSN网络2之际立即发生在TSN网络2的TSN边缘网桥处(在此在TSN组件TSN-F上)。

[0067] 然而,替代地,特别是在较大的网络中,帧F1也可以首先作为“尽力而为”由TSN边缘网桥转发,并且由后续TSN网桥之一标识并转换为TSN流S1。如果TSN边缘网桥的配置能力不足,则这可以是特别有利的。

[0068] 利用以上提及的重新标记方法,只要TSN网络2中有足够的带宽,所有源自以太网3的帧都可以被转换为TSN流。

[0069] 如果具有数据分组的帧作为“尽力而为”被发送到TSN网络2,则这是在没有保证的情况下、尤其是在没有时间保证的情况下完成的,前提是在TSN网络2中没有发生到TSN流的转换。所讨论的帧随后在其抵达TSN网络2之后也被视为帧。没有保证被给予,因为尚未配置对应的机制。这可能导致数据分组以不可预测的延迟时间抵达。在TSN网络2中为TSN流S0、S1、S4保留的带宽越多,为帧保留的带宽就越少,这意味着没有转换为TSN流的(以太网)帧在TSN网络2中会经历不可预测的延迟,或者甚至可能被完全丢弃。

[0070] 图3示出了混合网络1内的一些通信关系。TSN网络2(在此以例示为现场设备的TSN组件TSN-A、TSN-C和TSN-F的形式示出在左手侧。以太网3示出在右手侧,其中仅以太网组件E1在此被视为示例。

[0071] 根据图2,在TSN网络2中,数据分组D0作为TSN流S0从TSN组件TSN-F被传送到TSN组件TSN-C。此外,数据分组D4作为TSN流S4从TSN组件TSN-A经由TSN组件TSN-F被传送到TSN组件TSN-F。

[0072] 由于在TSN网络2中为TSN流S0、S4适当地保持资源空闲,因此可以为TSN流S0、S4给予保证、特别是时间保证。

[0073] 为了提供时间保证,具有循环时间(例如,10ms的循环时间)的人工循环z1、z2可作为配置的一部分被引入。在图3中,沿时间轴t示出了两个时间循环z1、z2。在TSN网络2中,在每个循环z1、z2中提供单独的时间窗口t0、t1、t2。在此为具有数据分组D0的TSN流S0提供时间窗口t0。为具有数据分组D4的TSN流S4提供时间窗口t2。时间窗口t1是为TSN流S1提供的,并且在下文进一步讨论。通过在每个循环z1、z2中为针对TSN组件TSN-F与TSN-C之间的通信链路的相关联TSN流S0、S1、S4配置排他性的时间窗口t0、t1、t2来为TSN流S0、S1、S4给予时间保证。仅保留的TSN流S0、S1、S4在相应的时间窗口t0、t1、t2中被转发。由此可以确定何时接收到相应的TSN流S0、S1、S4及其包含的数据分组D0、D1、D4,藉此实现时间保证。

[0074] 对于TSN流S0,如果TSN组件TSN-F可以遵循TSN流S0的预期传输时间,则在相应循环z1、z2的时间窗口t0中保证了针对TSN组件TSN-C的接收时间。如果TSN组件TSN-F在预期传输时间处向TSN组件TSN-C发送TSN流S0,则TSN流S0在当前循环z1、z2的相同时间窗口t0中被发送到TSN组件TSN-C。在TSN网络2中,在TSN组件TSN-F与TSN组件TSN-C之间的通信链路上为包含数据分组D0的TSN流S0保持对应的带宽空闲。如果遵守针对具有数据分组D0的TSN流S0的传输时间,则这总是在相同的循环z1、z2中抵达TSN组件TSN-C。

[0075] 由于TSN组件TSN-A、TSN-F、TSN-C的错误或不正确配置,可能出现不遵守针对TSN网络2内部TSN流S0的预期传输时间的情形。这意味着没有保证可被给予当前循环z1的时间

窗口 $t_0$ 中的接收。然而,如果至少可以保持TSN流 $S_0$ 中包含的数据分组 $D_0$ 的最大大小,则一个循环可被保证为最大等待时间。数据分组 $D_0$ 被缓存到下一循环 $z_2$ 的时间窗口 $t_0$ ,并且随后在该时间窗口 $t_0$ 中被发送。在该情形中,不存在针对当前循环 $z_1$ 中的时间窗口 $t_0$ 的保证。然而,因此,保证被给予下一循环 $z_2$ 中的时间窗口 $t_0$ 。这同样适用于具有数据分组 $D_4$ 的TSN流 $S_4$ 。

[0076] 现在,数据分组 $D_1$ 在帧 $F_1$ 中从以太网组件 $E_1$ 发送到TSN网络2。帧 $F_1$ 由TSN组件TSN-F标识为TSN(边缘)网桥,并且转换为TSN流 $S_1$ 。在将帧 $F_1$ 转换成TSN流 $S_1$ 之后,数据分组 $D_1$ 被发送到TSN组件TSN-C。作为这种转换的结果,保证也可被给予从以太网组件 $E_1$ 发送到TSN组件TSN-C的数据分组 $D_1$ 。时间保证可以通过在每个循环 $z_1$ 、 $z_2$ 中为TSN流 $S_1$ 保留时间窗口 $t_1$ 来给予。

[0077] 如果数据分组 $D_1$ 无延迟地抵达TSN网络2并且相关联的帧 $F_1$ 被转换为TSN流 $S_1$ ,则这可以在相同的循环 $z_1$ 、 $z_2$ 中在为此目的提供的时间窗口 $t_1$ 中被传送。通过转换为TSN流 $S_1$ 和相关联的时间窗 $t_1$ 的配置,确保了作为TSN流 $S_1$ 的数据分组 $D_1$ 总是在循环 $z_1$ 、 $z_2$ 的时间窗口 $t_1$ 中抵达TSN组件TSN-C。这防止了数据分组 $D_1$ 由于(例如,来自其他TSN组件的)过多的数据话务而被丢弃。

[0078] 如以上参考TSN流 $D_0$ 和 $D_4$ 所提及的,对于TSN网络“内部”TSN流而言可能是不遵守传输时间的情形。然而,这种情形很少发生。与此相比,数据分组 $D_1$ 并非源自TSN网络2,而是源自周围的以太网3。因此(与源自TSN网络2的TSN流 $S_0$ 、 $S_4$ 相比),在具有数据分组 $D_1$ 的帧 $F_1$ 到达TSN网络2之前可能存在不可预见的延迟,如图3中所示。尽管数据分组 $D_1$ 可被转换为TSN流 $S_1$ ,但其不再能在当前循环 $z_1$ 中被归入所提供的时间窗口 $t_1$ 中。因此,不存在针对当前循环 $z_1$ 中的时间窗口 $t_1$ 的保证。然而,因此,保证被给予下一循环 $z_2$ 中的时间窗口 $t_1$ 。因此,如果可能的话,以太网3中 $F_1$ 的发送有利地被放置在循环 $z_1$ 、 $z_2$ 的开始处,并且如果可能的话,TSN网络2中的经保留时间窗口 $t_1$ 被放置在循环 $z_1$ 、 $z_2$ 的结束处。这确保了数据分组 $D_0$ 、 $D_4$ 的大部分仍然在相同循环 $z_1$ 、 $z_2$ 内到达其目的地。

[0079] 对于第二循环 $z_2$ ,抖动由以太网组件 $E_1$ 上的帧 $F_1$ 的较晚开始来指示。这意味着帧 $F_1$ 在下一循环中甚至更晚抵达。抖动是由以太网组件上的不准确传输时间和沿帧 $F_1$ 在其上路路由的通信链路的每个网桥处的各个转发延迟(例如,由于其他帧)引起的。与第一循环 $z_1$ 类似地,在第二循环 $z_2$ 中可能也没有针对时间窗口 $t_1$ 的保证,这就是为什么保证被给予下一循环中的时间窗口 $t_1$ (未示出)。

[0080] 可能发生以下情形:数据分组 $D_1$ 在当前循环 $z_1$ 、 $z_2$ 中不再到达TSN网络2,并且两个数据分组 $D_1$ (即,经延迟的和当前的数据分组 $D_1$ ) 在下一循环中抵达,并且相关联的帧 $F_1$ 被转换为TSN流 $S_1$ 。然而,由于时间窗口 $t_1$ 的大小仅针对一个数据分组 $D_1$ 设计,因此仅一个数据分组 $D_1$ 可被转发到TSN组件TSN-C。第二数据分组 $D_1$ 必须在TSN网桥TSN-F的存储器中等待,直到下一循环。这一循环延迟继续,因为存储器中的“旧”数据分组 $D_1$ 总是在当前数据分组 $D_1$ 之前被发送。为了解决这个问题,可以在当前循环 $z_1$ 、 $z_2$ 中(或每隔几个循环)清空存储器(例如,通过在指定的时间段内以“尽力而为”在帧中而不是TSN流中向TSN网络2发送所有数据分组 $D_1$ ,或者通过简单地删除存储器,从而丢弃旧帧)。在其中在时间窗口 $t_1$ 中发送多个数据分组的较大的混合网络1中,时间窗口可以由数据分组的大小来扩大,使得可以每循环 $z_1$ 、 $z_2$ 纠正此类错误。

[0081] 如果在混合网络1中,另外的(以太网)组件E<sub>y</sub>(附图中未示出)(例如,打印机)将在时间窗口t<sub>0</sub>、t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>期间经由TSN组件TSN-F向TSN组件TSN-C发送另外的帧F<sub>y</sub>(在不转换为TSN流的情况下),则TSN网络2的配置确保所述另外的帧F<sub>y</sub>被“保留”直到时间窗口t<sub>0</sub>、t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>已经期满并且仅在时间窗口t<sub>0</sub>、t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>已经期满之后被转发。因此,相应的时间窗口t<sub>0</sub>、t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>各自仅为TSN流S<sub>0</sub>、S<sub>1</sub>、S<sub>4</sub>保留,而不管TSN流S<sub>0</sub>、S<sub>1</sub>、S<sub>4</sub>是否被发送。如果时间窗口t<sub>0</sub>、t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>如图3中所示排列,则从另外的以太网组件E<sub>y</sub>发送的另外的帧F<sub>y</sub>必须等待直到所有时间窗口t<sub>0</sub>、t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>都已经期满。然而,如果在TSN组件TSN-F与TSN组件TSN-C之间的通信链路上存在针对另外的帧F<sub>y</sub>的足够的带宽,并且没有保留时间窗口t<sub>0</sub>、t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>,则另外的帧F<sub>y</sub>立即被转发给TSN组件TSN-C。然而,这种转发尤其是在TSN组件TSN-F上发生附加的数据话务时未被保证。

[0082] TSN流S<sub>1</sub>使用虚拟以太网多播接收机地址,该地址在TSN网络2中被正确地解读,并且因此可以被发送到作为TSN网络2中的接收机的相应的TSN组件TSN-A、TSN-C、TSN-F。可以将TSN流S<sub>1</sub>从TSN网络2传送到以太网3,其中如果使用多播地址,则TSN流S<sub>1</sub>将被发送到以太网3中的每个以太网组件E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>、E<sub>3</sub>。这通常是不期望的,因为它也需要高带宽。还可能发生以下情形:以太网组件E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>、E<sub>3</sub>根本无法正确地接收多播消息。还可能发生以下情形:以太网组件E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>、E<sub>3</sub>接收所有多播消息,并且随后在负载下“崩溃”。因此,TSN流S<sub>1</sub>有利地在其离开TSN网络2时被转换为帧F<sub>1</sub>,其中其TSN报头被以太网报头替换。这意味着优选地仅相应地盖写(单个)目标地址和VLAN标记。如果针对其他目的不需要VLAN标记,则也可以删除VLAN标记。

[0083] 所示的实施例描述了将TSN流S<sub>1</sub>用于数据分组D<sub>1</sub>的永久的循环交换。然而,在TSN网络2中,TSN流、甚至临时TSN流的其他非循环应用基本上也是可能的。例如,在(较大的)打印作业的情况下,可以在TSN现场设备和TSN打印机之间创建具有带宽保证的TSN流,其随后再次被去除。如果多个TSN流在TSN网桥上活跃的,则TSN网络2同时维持所有给予的保证。

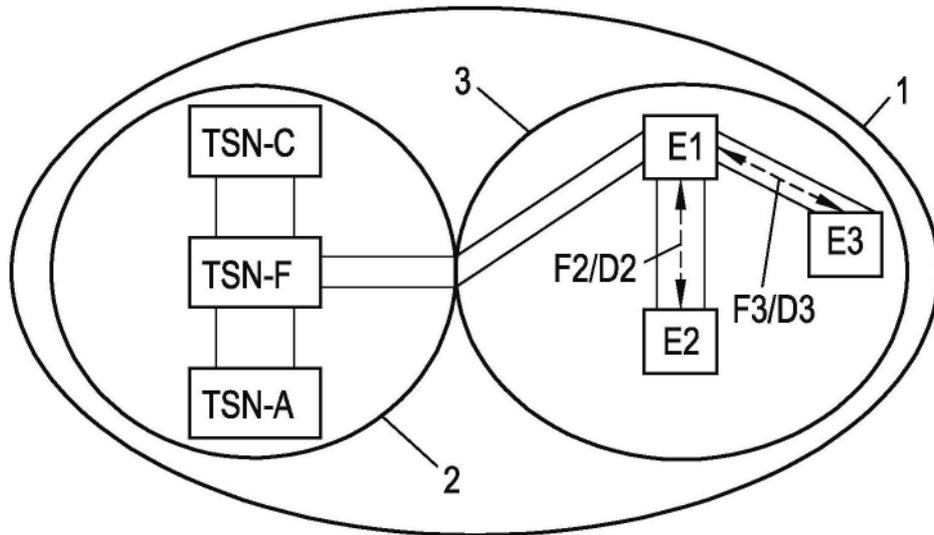


图1

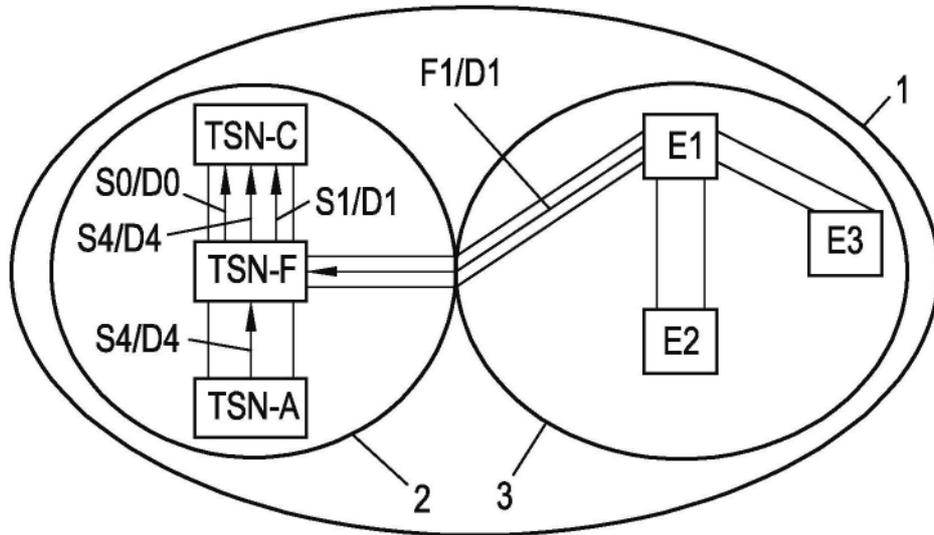


图2

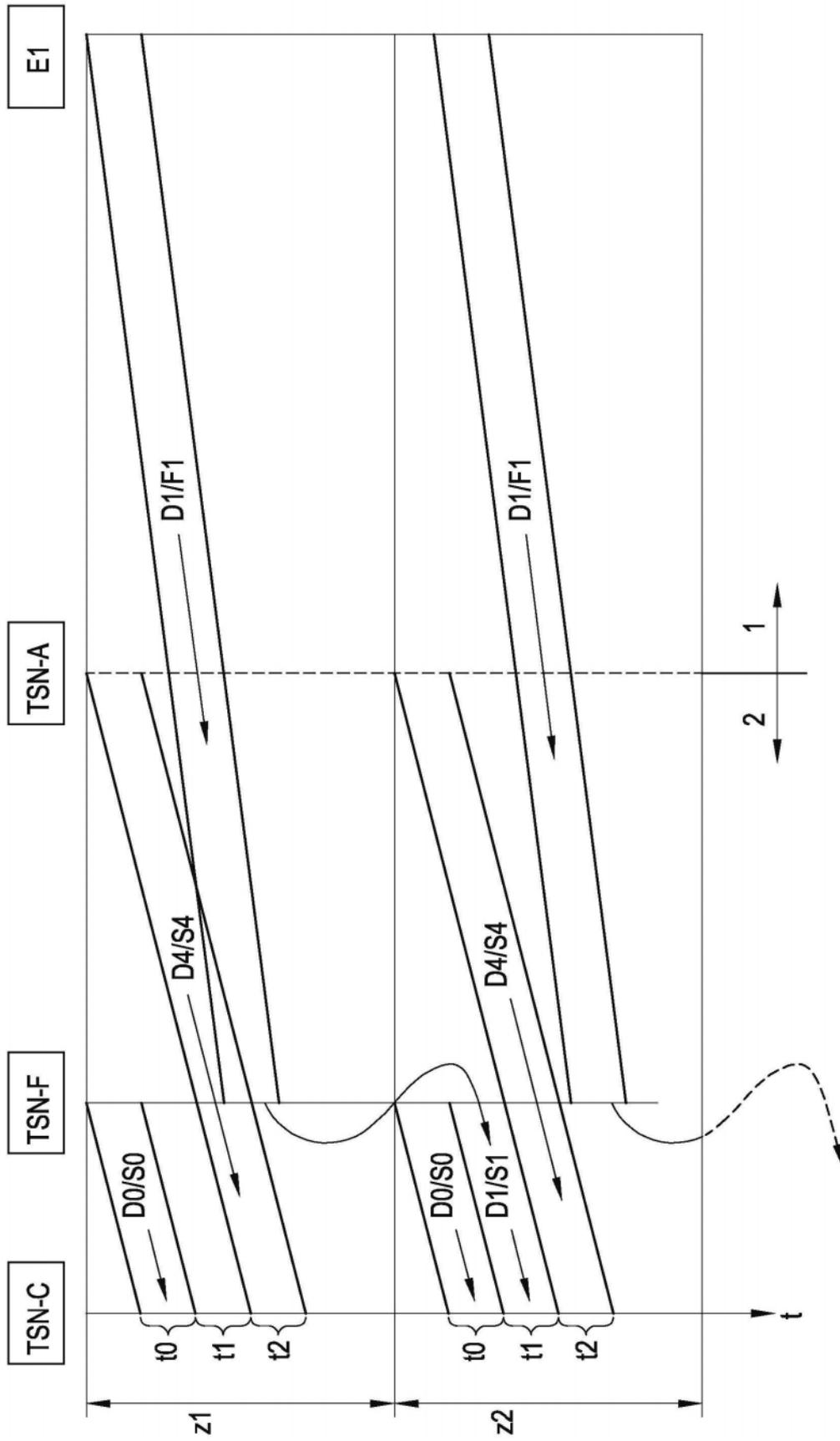


图3