



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108093486 A

(43)申请公布日 2018.05.29

(21)申请号 201611036473.2

(22)申请日 2016.11.23

(71)申请人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街
114号

(72)发明人 梁炜 石华光 郑萌 于海斌
彭士伟 赵有健

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002

代理人 王倩

(51)Int.Cl.

H04W 72/12(2009.01)

H04W 72/04(2009.01)

H04W 84/18(2009.01)

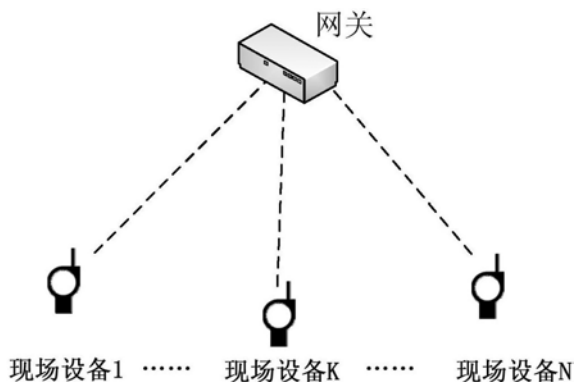
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法

(57)摘要

本发明涉及工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法,网关为各现场设备发送的周期性数据和非周期性数据分配时隙,用于各现场设备根据时隙分配完成数据传输,包括以下步骤:对周期性数据和非周期性数据建模;采用循环统计法为非周期性数据预留时隙;为周期性数据分配时隙。本发明该方法以数据传输可靠性和公平性作为衡量调度方法性能的指标,采用循环统计的方法为非周期性数据预留时隙,采用均匀分配方法为周期性数据分配时隙,综合考虑等待机制和抢占/丢弃机制,为混合数据流的传输提供有效的调度方案。



1. 工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法,其特征在于网关为各现场设备发送的周期性数据和非周期性数据分配时隙,用于各现场设备根据时隙分配完成数据传输,包括以下步骤:

对周期性数据和非周期性数据建模;
采用循环统计法为非周期性数据预留时隙;
为周期性数据分配时隙。

2. 根据权利要求1所述的工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法,其特征在对周期性数据建模具体为:

将每个现场设备的数据更新周期设定为 $T_i = (2^{n_i} \times \text{unit})$, $i = 1, \dots, N$, N 为现场设备个数, unit 为所有现场设备数据更新周期的最小值, n_i 为自然数,用于决定现场设备 i 的周期长度;

超帧长度 T 为各现场设备数据更新周期中的最大值,即 $T = \max_{i=1, \dots, N} T_i$ 。

3. 根据权利要求1所述的工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法,其特征在对非周期性数据建模具体为:

非周期性数据包括RT0数据和RT2数据;
将RT0数据被建模成 (λ_0, W_0) 的二元组,RT2数据被建模成 (λ_2, W_2) 的二元组;
其中, λ_0 和 λ_2 分别为RT0数据、RT2数据在单位时间内的平均到达速率; W_0 和 W_2 分别为RT0数据、RT2数据的最长等待时间。

4. 根据权利要求1所述的工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法,其特征在于所述采用循环统计法为非周期性数据预留时隙包括以下步骤:

根据RT0数据或RT2数据的二元组得到前 M 个RT0数据或RT2数据到达的时刻 AR_j ($j = 1, \dots, M$);

求取第 j 个RT0数据或RT2数据在超帧中映射的位置 $ART_j = \lfloor AR_j \rfloor \% T$;若 $ART_j = 0$,则表示第 j 个RT0数据或RT2数据在超帧的最后一个时隙;

查找被映射次数最多的前 S 个时隙作为RT0数据或RT2数据的预留时隙;对于RT0数据, $S = T \times \lambda_0$;对于RT2数据, $S = T \times \lambda_2$;

如果RT0数据和RT2数据在某一时隙的预留上有冲突,则把该时隙预留留给RT0数据。

5. 根据权利要求1所述的工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法,其特征在于所述为周期性数据分配时隙采用均匀分配法。

6. 根据权利要求1或5所述的工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法,其特征在于所述为周期性数据分配时隙包括以下步骤:

6-1) 确定超帧结构;

6-2) 将现场设备按照数据更新周期从小到大的顺序排列,按周期对现场设备进行分类;

依次分配时隙:针对每一类中的每一个现场设备,首先寻找这些现场设备可用的 unit ,然后在其中寻找剩余可用时隙最多的 unit ,并将该 unit 中最前面的一个可用时隙分配给该现场设备;

6-3) 在每个 unit 剩余的时隙内,按先后顺序重传当前 unit 内已分配时隙。

7. 根据权利要求6所述的工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法,其特征在于当有非周期性数据存在时,确定超帧结构后,采用循环统计法为非周期性数据预留时隙。

8. 根据权利要求1所述的一种针对工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法,其特征在于对于同一时隙选取优先级高的非周期性数据分配,包括以下步骤:

RT0数据产生后,现场设备首先查找链路调度表;如果下一个预留给RT0数据的时隙距当前时刻小于 W_0 ,则等到预留时隙再发送该RT0数据;否则,RT0数据抢占当前周期性数据的时隙;

RT2数据产生后,现场设备首先查找链路调度表;如果下一个预留给RT2数据的时隙距当前时刻小于 W_2 ,则等到预留时隙再发送该RT2数据;否则,丢弃该RT2数据。

工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法

技术领域

[0001] 本发明涉及工业无线传感器网络的调度方法,具体地说是一种针对工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法。

背景技术

[0002] 随着无线网络技术的进步和电子器件性能的提高,无线传感器网络技术迅速兴起并被广泛应用到我们日常的生产和生活中。其中,工业是无线传感器网络应用的重要领域之一。在工业中,相比于传统的有线通信,无线通信有以下优势:(1) 线缆方面,不需要布设线缆,减少了工作量和相应的成本,并且不用担心线缆磨损、老化带来的维护费用;(2) 特殊工业场景下,如某些移动和无法布线的场景,使用无线通信无疑是最佳选择。

[0003] 然而,在工业环境中存在着大量的干扰。这些干扰主要来自于两方面:一方面,工业环境的温度、湿度等剧烈变化,加之设备和工作人员的频繁移动,使得通信链路的质量极其不稳定;另一方面,由于ISM 2.4GHz频段的开放性,无线局域网、蓝牙、ZigBee等无线网络均工作在此频段上,工业环境中的共存网络间干扰非常严重。

[0004] 根据工业应用中数据的功能和要求,可将数据设置不同的优先级。优先级最高的是紧急数据(RT0),该类数据指对应用行为起关键作用,是要求及时传递的数据。RT0数据通常包括:控制器制动执行器的命令、设备产生的故障/错误通知等紧急告警、主控计算机发出的时间紧迫的网络管理服务(如开始/停止命令);周期性过程数据(RT1)是指具有严格实时性要求且周期性传输的过程数据。RT1数据主要包括控制系统的物理测量和控制指令。非周期性非紧急数据(RT2),是指由事件驱动产生且非周期性传输的数据,如非紧急告警数据。

[0005] 针对以上工业无线传感器网络的环境干扰严重且数据类型多样的特点,为使无线资源得到充分利用,需要综合考虑各种因素的制约,设计一种有效的调度方法。目前工业无线传感器网络调度策略的研究中,主要考虑所有现场设备的数据更新周期都相同的情形;针对不同优先级数据,多数采用高优先级数据到来后立即抢占低优先级数据时隙的方式。由于工业环境中不同现场设备功能不同,数据更新周期未必完全相同,故设计调度方案时应考虑数据更新周期的异构性。由于高优先级数据有其最长等待时间,只需在此等待时间之内传到网关就可满足实时性要求,故高优先级数据到来后可以综合考虑等待和抢占机制,在实时性要求满足的条件下减少对低优先级数据传输机会的抢占。因此,需要设计一种新的调度方法,对工业无线传感器网络的混合数据流进行调度,以满足数据传输的硬实时和高可靠要求。

发明内容

[0006] 针对工业无线传感器网络中数据硬实时和高可靠的要求,本发明提出一种针对工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法。该方法包括周期性数据建模、非周期性数据建模、非周期性数据时隙预留、周期性数据时隙分配以及非周期性数据对周期性

数据的“等待-抢占/丢弃”机制共五个方面。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法,网关为各现场设备发送的周期性数据和非周期性数据分配时隙,用于各现场设备根据时隙分配完成数据传输,包括以下步骤:

[0008] 对周期性数据和非周期性数据建模;

[0009] 采用循环统计法为非周期性数据预留时隙;

[0010] 为周期性数据分配时隙。

[0011] 对周期性数据建模具体为:

[0012] 将每个现场设备的数据更新周期设定为 $T_i = (2^{n_i} \times \text{unit})$, $i = 1, \dots, N$, N 为现场设备个数, unit 为所有现场设备数据更新周期的最小值, n_i 为自然数,用于决定现场设备 i 的周期长度;

[0013] 超帧长度 T 为各现场设备数据更新周期中的最大值,即 $T = \max_{i=1, \dots, N} T_i$ 。

[0014] 对非周期性数据建模具体为:

[0015] 非周期性数据包括RT0数据和RT2数据;

[0016] 将RT0数据被建模成 (λ_0, W_0) 的二元组,RT2数据被建模成 (λ_2, W_2) 的二元组;

[0017] 其中, λ_0 和 λ_2 分别为RT0数据、RT2数据在单位时间内的平均到达速率; W_0 和 W_2 分别为RT0数据、RT2数据的最长等待时间。

[0018] 所述采用循环统计法为非周期性数据预留时隙包括以下步骤:

[0019] 根据RT0数据或RT2数据的二元组得到前 M 个RT0数据或RT2数据到达的时刻 AR_j ($j = 1, \dots, M$);

[0020] 求取第 j 个RT0数据或RT2数据在超帧中映射的位置 $ART_j = \lfloor AR_j \rfloor \% T$;若 $ART_j = 0$,则表示第 j 个RT0数据或RT2数据在超帧的最后一个时隙;

[0021] 查找被映射次数最多的前 S 个时隙作为RT0数据或RT2数据的预留时隙;对于RT0数据, $S = T \times \lambda_0$;对于RT2数据, $S = T \times \lambda_2$;

[0022] 如果RT0数据和RT2数据在某一时隙的预留上有冲突,则把该时隙预留留给RT0数据。

[0023] 所述为周期性数据分配时隙采用均匀分配法。

[0024] 所述为周期性数据分配时隙包括以下步骤:

[0025] 6-1) 确定超帧结构;

[0026] 6-2) 将现场设备按照数据更新周期从小到大的顺序排列,按周期对现场设备进行分类;

[0027] 依次分配时隙:针对每一类中的每一个现场设备,首先寻找这些现场设备可用的 unit ,然后在其中寻找剩余可用时隙最多的 unit ,并将该 unit 中最前面的一个可用时隙分配给该现场设备;

[0028] 6-3) 在每个 unit 剩余的时隙内,按先后顺序重传当前 unit 内已分配时隙。

[0029] 当有非周期性数据存在时,确定超帧结构后,采用循环统计法为非周期性数据预留时隙。

[0030] 对于同一时隙选取优先级高的非周期性数据分配,包括以下步骤:

[0031] RT0数据产生后,现场设备首先查找链路调度表;如果下一个预留留给RT0数据的时

隙距当前时刻小于 W_0 ,则等到预留时隙再发送该RT0数据;否则,RT0数据抢占当前周期性数据的时隙;

[0032] RT2数据产生后,现场设备首先查找链路调度表;如果下一个预留给RT2数据的时隙距当前时刻小于 W_2 ,则等到预留时隙再发送该RT2数据;否则,丢弃该RT2数据。

[0033] 本发明提出的一种针对工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法,该方法充分考虑了工业无线传感器网络工作环境特点,综合考虑了环境因素和资源因素的制约关系,可以保证不同优先级的数据实时性和可靠性。具体表现在:

[0034] 1.本发明提出的针对非周期性数据的循环统计预留时隙方法,对无法预知到达时刻的工业非周期性数据建立数学模型,采用循环统计的方式为这类数据在链路调度表中提前预留时隙。

[0035] 2.本发明提出的针对周期性数据的均匀分配方法,根据周期性数据的周期特点,充分利用每一个可用时隙,保证该类数据传输的可靠性和公平性。

[0036] 3.本发明提出“等待-抢占/丢弃”机制。非周期性数据到来后,现场设备综合考虑该非周期性数据的优先级以及链路调度表的时隙分配情况,从而确定是执行“等待-抢占”机制,还是执行“等待-丢弃”机制。

附图说明

[0037] 图1为工业无线传感器网络的星型拓扑图;

[0038] 图2为非周期性数据的映射方式示意图;

[0039] 图3(a)为不考虑非周期性数据预留时隙的均匀分配算法执行过程示意图一;

[0040] 图3(b)为不考虑非周期性数据预留时隙的均匀分配算法执行过程示意图二;

[0041] 图3(c)为不考虑非周期性数据预留时隙的均匀分配算法执行过程示意图三;

[0042] 图3(d)为不考虑非周期性数据预留时隙的均匀分配算法执行过程示意图四;

[0043] 图3(e)为不考虑非周期性数据预留时隙的均匀分配算法执行过程示意图五;

[0044] 图4(a)为考虑非周期性数据预留时隙的均匀分配算法执行过程示意图一;

[0045] 图4(b)为考虑非周期性数据预留时隙的均匀分配算法执行过程示意图二;

[0046] 图4(c)为考虑非周期性数据预留时隙的均匀分配算法执行过程示意图三;

[0047] 图4(d)为考虑非周期性数据预留时隙的均匀分配算法执行过程示意图四;

[0048] 图4(e)为考虑非周期性数据预留时隙的均匀分配算法执行过程示意图五。

具体实施方式

[0049] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明作进一步的详细描述。

[0050] 本发明方法充分考虑工业现场干扰信号多,数据丢包严重以及非周期性数据到达时间无法估计的问题,提出一种综合考虑周期性数据、非周期性数据可靠传输的调度方法。该方法以数据传输可靠性和公平性作为衡量调度方法性能的指标,采用循环统计的方法为非周期性数据预留时隙,采用均匀分配方法为周期性数据分配时隙,综合考虑等待机制和抢占/丢弃机制,为混合数据流的传输提供有效的调度方案。

[0051] 针对工业控制系统对数据传输的硬实时和高可靠要求,本方法考虑一个由网关与

多个现场设备构成的星型工业无线传感器网络拓扑结构,各现场设备采用TDMA (Time Division Multiple Access)的接入机制向网关发送数据。网关首先根据各个现场设备的数据发送周期,生成相应的链路调度表,并将该链路调度表分发给每一个现场设备,所有现场设备根据链路调度表中的时隙分配在规定的时隙内完成数据的传输。

[0052] 周期性数据的建模。考虑工业数据更新周期的特点,将每个现场设备的数据更新周期设定为 $T_i = (2^{n_i} \times \text{unit})$, $i = 1, \dots, N$, N 为现场设备个数, unit 为所有现场设备数据更新周期的最小值, n_i 为某个自然数,决定现场设备 i 的周期长度。例如,若现场设备1的周期长度为 $(2^0 \times \text{unit})$,则 $n_1 = 0$;若现场设备2的周期长度为 $(2^3 \times \text{unit})$,则 $n_2 = 3$,其他 n_i 的确定方式与此相同。各个现场设备的数据更新周期可以相同也可以不同。链路调度表的时隙分配以超帧的方式给出,超帧包含设备和时隙的对应关系。超帧长度 T 为各现场设备数据更新周期中的最大值,即 $T = \max_{i=1, \dots, N} T_i$ 。

[0053] 非周期性数据的建模。该方法考虑现场设备不仅向网关发送周期性数据,还发送随时可能产生的非周期性数据。由于非周期性数据到来的时刻不可预知,故网关应在链路调度表中提前预留一部分时隙给非周期数据。该方法将非周期性数据分为两种优先级:紧急数据(RT0)为高优先级数据,设定其优先级高于周期性过程数据(RT1);非周期性非紧急数据(RT2)为低优先级数据,设定其优先级低于周期性过程数据(RT1)。将RT0和RT2数据的到来分别建模成强度为 λ_0 和 λ_2 的Poisson过程,并设定它们的最长等待时间分别为 W_0 和 W_2 。综上,RT0数据被建模成 (λ_0, W_0) 的二元组;RT2数据被建模成 (λ_2, W_2) 的二元组。

[0054] 为非周期性数据RT0数据和RT2数据预留时隙。对于RT0数据,单位时间内的平均到达速率为 λ_0 ,以第一个超帧的起始时刻作为时刻0。根据RT0的数据到达模型,可以求出前 M 个RT0数据到达的时刻。为了使统计结果尽量反应实际情况, M 取一个较大的值,记这 M 个RT0数据到达的时刻分别为 $AR_j (j = 1, \dots, M)$ 。由于RT0数据可能在第一个超帧长度之后到达,即 $AR_j > T$,故为了给RT0数据预留时隙,必须把 AR_j 映射到第一个超帧内,方法为 $ART_j = \lfloor AR_j \rfloor \% T$,即先对 AR_j 下取整,再将其结果对 T 求模,其中 ART_j 为第 j 个RT0数据在超帧中映射的位置。若 $ART_j = 0$,则表示第 j 个RT0数据在超帧的最后一个时隙。通过该方法找被映射次数最多的前 $S (S = T \times \lambda_0)$ 个时隙作为RT0数据的预留时隙。同样的方法给RT2数据预留时隙,但是如果RT2数据和RT0数据预留的时隙冲突时,应将发生冲突的时隙预留给RT0数据。

[0055] 为周期性数据分配时隙。为了兼顾各现场设备周期性数据传输的公平性和可靠性,该方法考虑同一 unit 内部的周期性数据可多次重传,除了给非周期性数据预留的时隙外,其他时隙均可分配给周期性数据。分配时采用均匀分配方法,以确保同一 unit 内任何两个现场设备的传输次数之差不大于1,从而确保不同现场设备周期性数据传输的公平性。

[0056] 综合考虑非周期数据的等待和抢占/丢弃机制。RT0数据被建模成 (λ_0, W_0) 的二元组;RT2数据被建模成 (λ_2, W_2) 的二元组。RT0数据产生后,现场设备首先查找链路调度表,如果下一个预留给RT0数据的时隙距当前时刻小于 W_0 ,则等到预留时隙再发送该RT0数据;否则,由于RT0数据优先级高于周期性数据,直接抢占当前周期性数据的时隙。RT2数据产生后,现场设备首先查找链路调度表,如果下一个预留给RT2数据的时隙距当前时刻小于 W_2 ,则等到预留时隙再发送该RT2数据;否则,由于RT2数据优先级低于周期性数据,则丢弃该

RT2数据。

[0057] 本发明提出一种针对工业无线传感器网络中混合数据流可靠传输的调度方法。该方法包括周期性数据建模、非周期性数据建模、非周期性数据时隙预留、周期性数据时隙分配以及非周期性数据对周期性数据的“等待-抢占/丢弃”机制共五个方面。

[0058] 1. 周期性数据建模。

[0059] 本方法考虑图1所示拓扑结构。现场设备 (FD) 周期性地从周围环境中采集数据, 并发送至网关。这里将时间划分成多个长度相同的时隙 (slot), 每个时隙长度足够支持一个现场设备向网关 (GW) 发送一帧数据。这里仅考虑单信道数据传输, 即所有现场设备共用一个信道。为避免多个现场设备同时向网关发送数据产生碰撞, 各现场设备采用TDMA (Time Division Multiple Access) 的接入机制向网关发送数据。在网络正常运行前, 网关首先获知每个现场设备的数据发送周期, 根据这些周期信息设计出链路调度表。链路调度表中包含超帧信息, 即某个现场设备应在某个时隙向网关发送数据。然后, 网关将链路调度表广播给每一个现场设备, 现场设备按照该链路调度表分配的时隙与网关通信。这里规定, 每个现场设备的周期性数据必须在其一个周期的时间内发送至网关, 否则现场设备丢弃该数据。

[0060] 假定共有 N 个现场设备, 考虑工业数据更新周期的特点, 将每个现场设备的数据更新周期设定为 $T_i = (2^{n_i} \times \text{unit})$, $i = 1, \dots, N$, unit 为所有现场设备数据更新周期的最小值, n_i 为某个自然数, 决定现场设备 i 的周期长度。例如, 若现场设备1的周期长度为 $(2^0 \times \text{unit})$, 则 $n_1 = 0$; 若现场设备2的周期长度为 $(2^3 \times \text{unit})$, 则 $n_2 = 3$, 其他 n_i 的确定方式与此相同。各个现场设备的数据更新周期可以相同也可以不同, 超帧长度 T 为各现场设备数据更新周期中的最大值, 即 $T = \max_{i=1, \dots, N} T_i$ 。

[0061] 举例说明。令 $\text{unit} = 10$, 即每个单元有10个时隙, 假设共有11个现场设备, 根据其周期大小分为三类:

[0062] A1, A2: 周期为 $2^0 \times \text{unit} = 10$

[0063] B1, B2, B3: 周期为 $2^1 \times \text{unit} = 20$

[0064] C1, C2, C3, C4, C5, C6: 周期为 $2^2 \times \text{unit} = 40$

[0065] 则 $T = \max_{i=1, \dots, N} T_i = 40$, 即每个超帧长度为40时隙。

[0066] 2. 非周期性数据建模

[0067] 根据工业应用中数据的功能和要求, 可将数据设置不同的优先级。优先级最高的是紧急数据 (RT0), 该类数据指对应用行为起关键作用, 并要求及时传递的数据。RT0数据通常包括: 控制器制动执行器的命令、设备产生的故障/错误通知等紧急告警、主控计算机发出的时间紧迫的网络管理服务 (如开始/停止命令); 周期性过程数据 (RT1) 是指具有严格实时性要求且周期性传输的过程数据。RT1数据主要包括控制系统的物理测量和控制指令。非周期性非紧急数据 (RT2), 是指由事件驱动产生且非周期性传输的数据, 如非紧急告警数据。

[0068] 由于非周期性数据RT0, RT2的到达时刻无法提前预测, 这里将其到达作为Poisson过程处理, 令单位时间内的平均到达为速率分别为 λ_0 和 λ_2 数据生成后最长的等待时间分别为 W_0 和 W_2 , 若超过最长等待时间还未发送到网关, 则认为该数据丢失。故RT0数据被建模成二元组 (λ_0, W_0) , RT2数据被建模成二元组 (λ_2, W_2) 。

[0069] 根据随机过程理论, $P(N(t) = m) = e^{-\lambda_0 t} \times (\lambda_0 \times t)^m / (m!), m = 0, 1, 2, \dots$; $N(t)$ 表示在 $0 \sim t$ 内非周期性数据到达的次数, $P(N(t) = m)$ 表示在“ $0 \sim t$ 内非周期性数据到达的次数为 m ”这一事件发生的概率。

[0070] 令 A_n 表示 RT0 数据第 n 次出现的时刻, 称 $\{A_n\}$ 为到达时间序列。令 D_n 表示 RT0 第 n 次出现与第 $(n-1)$ 次出现的时间间隔, 即 $D_n = A_n - A_{n-1}$, 则随机变量 $\{D_n, n \geq 1\}$ 是独立同指数分布的, 且 $E\{D_n\} = 1/\lambda_0$, $E\{D_n\}$ 表示 D_n 的期望值。在实际应用中, λ_0 可以通过工作人员根据长期的监测数据来设定。RT2 数据分析方法同上。

[0071] 3. 非周期性数据时隙预留

[0072] 为了在链路调度表分发给个现场设备之前给非周期性数据 RT0 预留时隙, 这里采用循环统计的方法寻找 RT0 最有可能出现的时隙, 具体方法如图 2 所示, 为方便说明, 图中设定一个超帧长度为 10 个时隙。

[0073] 对于 RT0 数据, 单位时间内的平均到达速率为 λ_0 , 以第一个超帧的起始时刻作为时刻 0。根据 RT0 的数据到达模型, 可以求出前 M 个 RT0 数据到达的时刻。为了使统计结果尽量反应实际情况, M 取一个较大的值, 本实施例 M 为 $M = \lceil 1000 \times \lambda_0 T \rceil$, 即对 $1000 \times \lambda_0 T$ 上取整。记这 M 个 RT0 数据到达的时刻分别为 $AR_j (j = 1, \dots, M)$ 。由于 RT0 数据可能在一个超帧长度外到达, 即 $AR_j > T$, 故为了给 RT0 预留时隙, 必须把 AR_j 映射到一个超帧的长度内, $ART_j = \lfloor AR_j \rfloor \% T$, 即先对 AR_j 下取整, 再将其结果对 T 求模, 其中 ART_j 为第 j 个 RT0 数据在超帧中映射的位置。若 $ART_j = 0$, 则表示第 j 个 RT0 数据在超帧的最后一个时隙。通过该方法找被映射次数最多的前 $S (S = T \times \lambda_0)$ 个时隙作为 RT0 数据的预留时隙。同样的方法给 RT2 数据预留时隙, 但是如果 RT2 数据和 RT0 数据预留的时隙冲突时, 应将发生冲突的时隙预留给 RT0 数据。

[0074] 4. 周期性数据时隙分配

[0075] 经过以上三个步骤, 已求得超帧长度, 并将部分时隙预留给非周期性数据, 则剩下的时隙分配给周期性数据。为保证现场设备之间数据发送的公平性, 这里采用均匀分配方法; 为保证数据传输的可靠性, 将超帧中剩余可用的时隙用于周期性数据的重传。

[0076] 具体分配方式举例如下:

[0077] 令 $unit = 10$, 即每个单元有 10 个 slot, 假设共有 11 个现场设备, 根据其周期大小分为三类。

[0078] A1, A2: 周期为 $2^0 \times unit = 10$

[0079] B1, B2, B3: 周期为 $2^1 \times unit = 20$

[0080] C1, C2, C3, C4, C5, C6: 周期为 $2^2 \times unit = 40$

[0081] 则 $T = \max_{i=1, \dots, N} T_i = 40$, 即每个超帧长度为 40 时隙。

[0082] (1) 考虑仅有周期性数据, 采用均匀分配方法, 具体步骤如图 3 (a) ~ 图 3 (e) 所示。

[0083] Step1: 如图 3 (a), 确定超帧结构, 但还未给现场设备分配时隙;

[0084] Step2: 如图 3 (b), 3 (c), 3 (d), 将现场设备按照数据更新周期从小到大的顺序排列, 按周期对现场设备进行分类。依次分配时隙。针对每一类中的每一个现场设备, 首先寻找这些现场设备可用的 unit 有哪些, 然后在这些可用的 unit 中, 寻找剩余可用时隙最多的 unit, 并将该 unit 中最前面的一个可用时隙分配给该现场设备;

[0085] Step3: 如图 3 (e), 在每个 unit 剩余的时隙内, 按先后顺序重传。

[0086] (2) 考虑有非周期性数据存在。经过非周期性数据时隙预留,假定已将时隙5,13,24,31预留给非周期性数据。具体步骤如图4(a)~图4(e)所示。

[0087] Step1:如图4(a),确定超帧结构,将时隙5,13,24,31,预留给非周期性数据。

[0088] Step2:如图4(b),4(c),4(d),将现场设备按照数据更新周期从小到大的顺序排列,按周期对现场设备进行分类。依次分配时隙。针对每一类中的每一个现场设备,首先寻找这些现场设备可用的unit有哪些,然后在这些可用的unit中,寻找剩余可用时隙最多的unit,并将该unit中最前面的一个可用时隙分配给该现场设备。

[0089] Step3:如图4(e),在每个unit剩余的时隙内,按先后顺序重传。

[0090] 5. 等待-抢占/丢弃机制

[0091] 由以上步骤可知,RT0数据被建模成 (λ_0, W_0) 的二元组;RT2数据被建模成 (λ_2, W_2) 的二元组。

[0092] 根据工业中数据单次传输成功率P和期望的传输成功率EP,求出重传次数K,这里P是通过测试获得,EP是根据具体工业要求设定。由于 $(1-P)^K \leq (1-EP)$,故 $K \geq \log_{(1-P)}^{(1-EP)}$,即为使得非周期性数据RT0数据传输成功,每个RT0数据至少传 $\lceil K \rceil$ 次。

[0093] (1) 考虑RT0数据,若某一RT0数据到达时刻为 t_0 ,如果在 $\lceil t_0 \rceil$ 与 $\lfloor t_0 + W_0 \rfloor$ 之间的时隙里有至少K个预留给RT0数据的时隙,则该RT0数据等到这些时隙发送,如果在 $\lceil t_0 \rceil$ 与 $\lfloor t_0 + W_0 \rfloor$ 之间预留给RT0数据的时隙不足K个,由于RT0数据的优先级高于RT1数据,则不足的那一部分抢占周期性数据的时隙。

[0094] (2) 考虑RT2数据,若某一RT2数据到达时刻为 t_2 ,如果在 $\lceil t_2 \rceil$ 与 $\lfloor t_2 + W_2 \rfloor$ 之间的时隙里有至少1个预留给RT0数据的时隙,则该RT0数据等到这些时隙发送,发送次数等于预留时隙数;如果没有预留给RT2数据的时隙,由于RT2数据的优先级低于RT1数据,则丢弃该RT2数据。

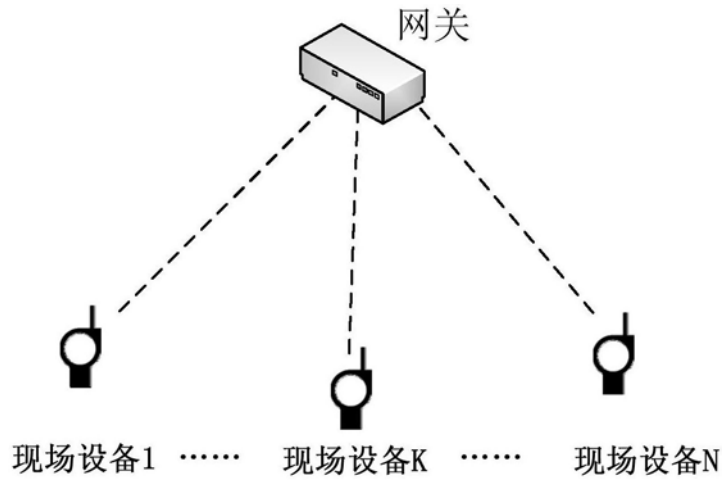


图1

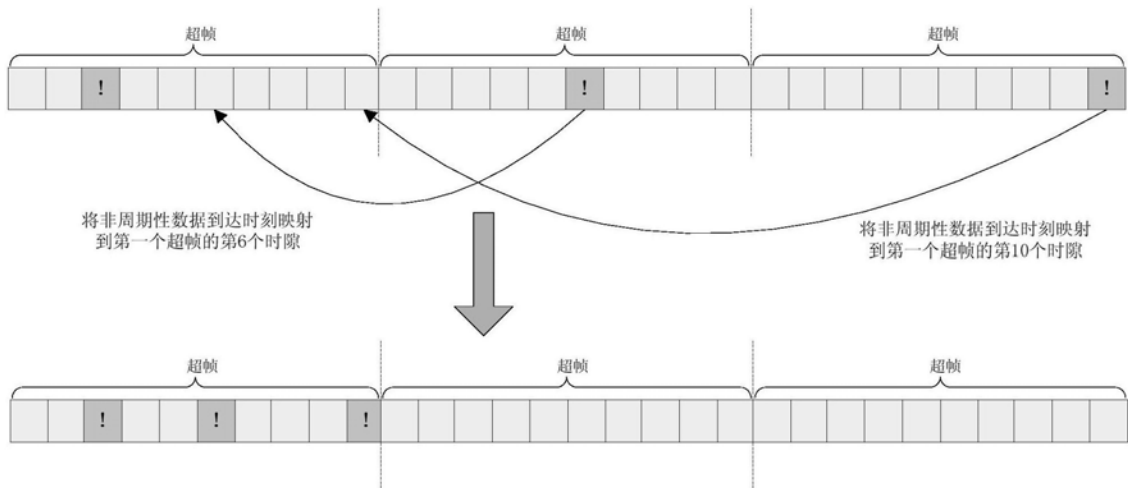


图2

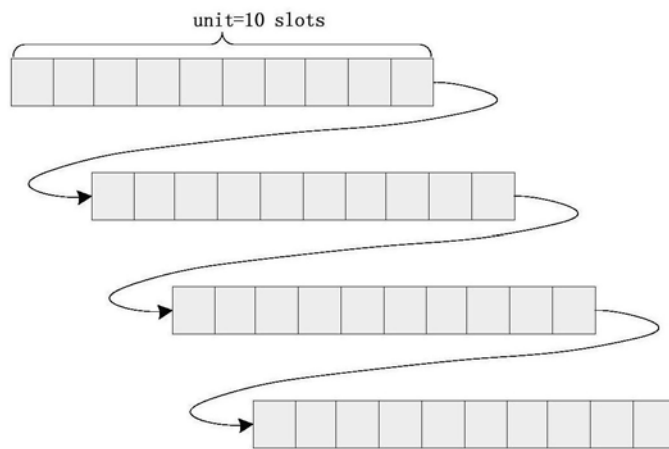


图3(a)

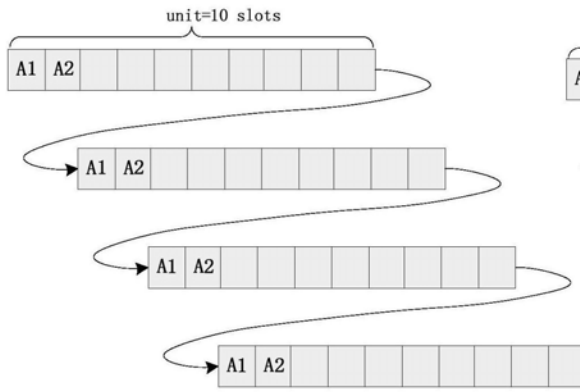


图 3 (b)

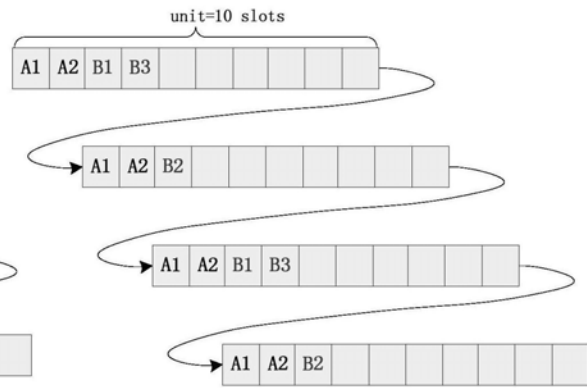


图 3 (c)

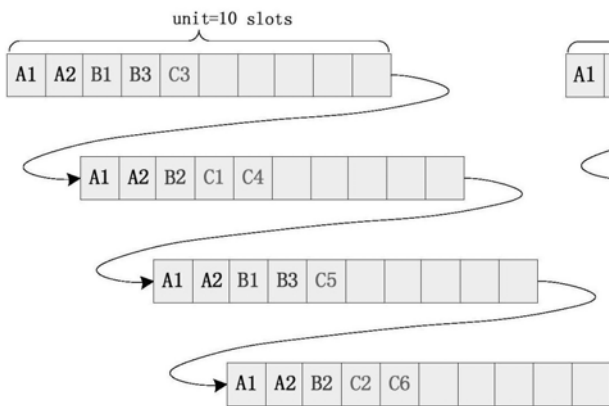


图 3 (d)

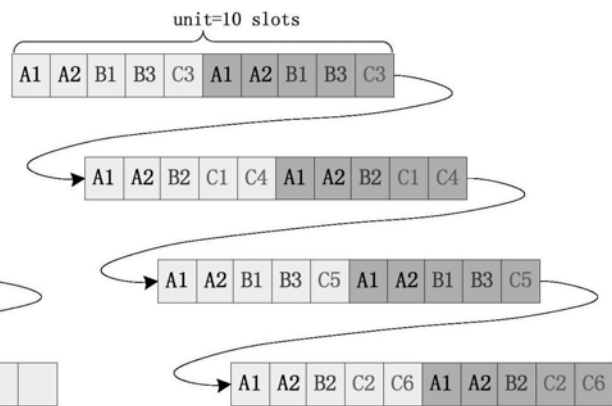


图 3 (e)

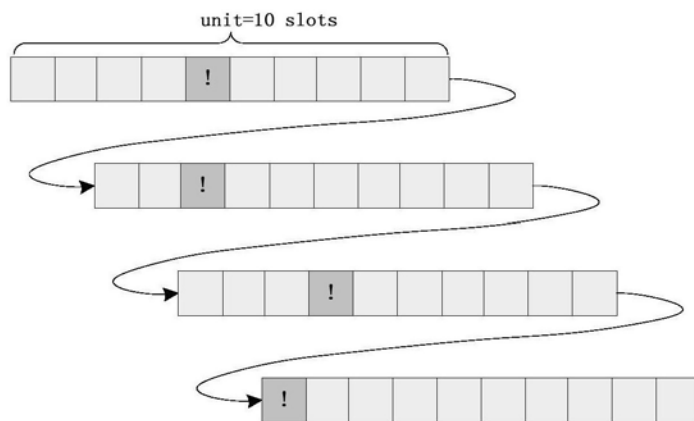


图4 (a)

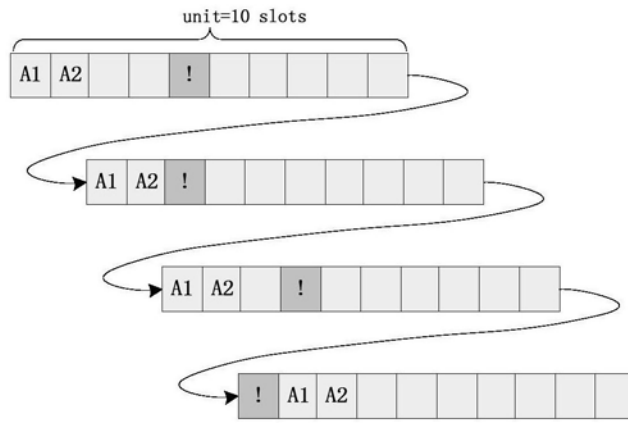


图4 (b)

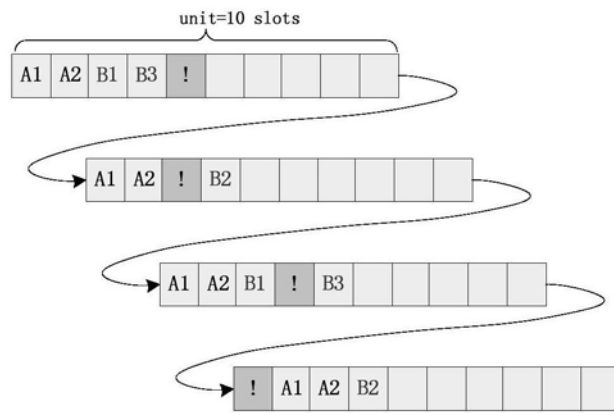


图4 (c)

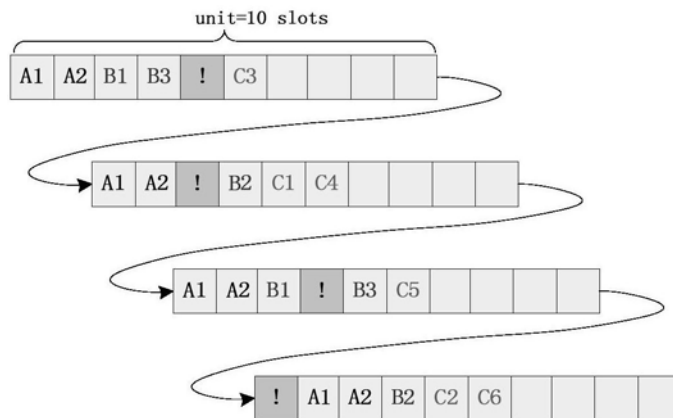


图4 (d)

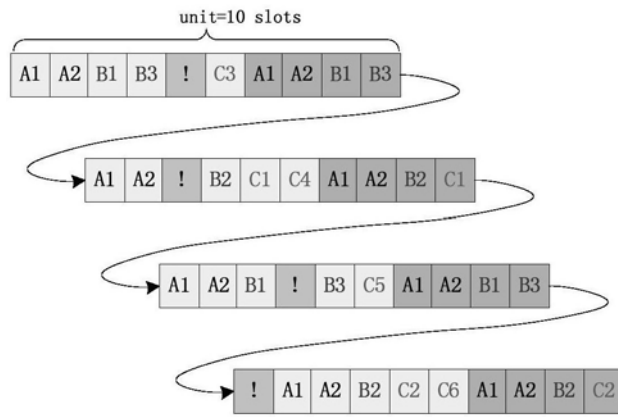


图4(e)