

主动感知下的集群车辆数据交换网络 通信协议栈优化算法

杨玉好, 袁国伦[†]

(雅安职业技术学院, 四川 雅安 625000)

摘要:在集群车辆数据交换网络通信协议栈的优化中,存在消息队列相互阻碍的情况,导致通信延时较高,优化算法的自适应性需要进一步提高。为此,提出了主动感知下的集群车辆数据交换网络通信协议栈优化算法。在主动感知下,采集关键周期内的数据,计算带宽感知数据的优先级,为其分配无线带宽,优化协议栈队列,在此基础上,从协议栈时间、队列、任务关系上建立约束模型,避免出现高优先级的队列阻碍低优先级队列,将上述内容落实到协议栈的总体结构中,完成对协议栈总体结构的优化。实验结果表明:提出的主动感知下的通信协议栈优化算法平均延时低、能耗低,自适应性更好。

关键词:主动感知;集群车辆;数据交换;网络通信;协议栈;智能优化

中图分类号: TP393

文献标识码: A

Optimization Algorithm for Communication Protocol Stack of Cluster Vehicle Data Exchange Network Under Active Perception

YANG Yuhao, YUAN Guolun[†]

(Ya'an Polytechnic College, Ya'an, Sichuan 62500, China)

Abstract: In the optimization of the communication protocol stack of the trunked vehicle data exchange network, the message queue obstructs each other, leading to high communication delay, and the adaptability of the optimization algorithm needs to be further improved. To solve this problem, a protocol stack optimization algorithm based on active awareness is proposed. Under active awareness, data within the key period is collected, the priority of bandwidth awareness data is calculated, the wireless bandwidth is allocated, and the protocol stack queue is optimized. On this basis, a constraint model is established from the protocol stack time, queue and task relationship to avoid the occurrence of high-priority queue blocking low-priority queue. The above content is implemented into the overall structure of the protocol stack. Complete the optimization of the overall structure of protocol stack. Experimental results show that the proposed active sensing algorithm has low average delay, low energy consumption and better adaptability.

Key words: active perception; cluster vehicles; data exchange; network communication; protocol stack; intelligent optimization

集群车辆通信网络是面向车载设备的高性能通信系统^[1],能够远程控制车载设备,实现对集群车辆的运行监视和控制管理。在城市交通中,通过

这种管理模式可以有效解决交通压力大的问题^[2],更好地管理城市,在车况预警、车流量监控等方面起到了关键作用^[3]。但是集群车辆的网络通信涉

及的数据非常庞大^[4],在数据的交换和计算上需要消耗非常多的资源,这就对网络通信协议栈提出了高要求^[5]。

在过去的研究中,对集群车辆网络通信协议栈的研究有很多,往往是依托不同的实时协议实现网络通信^[6],在国外的研究中,有专用的控制芯片负责实现车辆数据交换网络通信^[7]。在国内研究中,对于通信协议栈优化研究,早期依靠技术引进,发展到现在,已经有很多成熟的网络通信协议栈优化技术^[8],适用于不同的工作环境,如基于同态加密的协议栈优化算法^[9],该算法利用同态加密技术保障了通信数据的安全,增强了协议栈安全性。基于多路径优化的协议栈优化算法^[10]也是一种使用比较多的技术,能够有效提高通信效率,但是在实际应用上,上述两种算法存在适应性差的问题,集群车辆的网络通信环境多数处于外界,受到外界气候的影响,通信协议栈不够稳定,在数据交换上存在较明显的延迟^[11]。为此,提出主动感知下的集群车辆数据交换网络通信协议栈优化算法,解决上述协议栈优化算法中存在的问题。

1 主动感知下的集群车辆数据交换网络通信协议栈优化算法设计

1.1 计算带宽感知数据优先级

对于主动感知下的网络通信协议栈优化,首先面对的问题是数据收集问题,主动感知下收集的数据庞大且复杂,需要结合通信带宽计算数据优先级^[12],制定收集策略。

从主动感知下有限的带宽中选取关键时间周期上的数据进行数据收集,设给定的完整的数据集为 $W^{\text{pre}}(i, j)$,则集群车辆状态矩阵表示为:

$$\mathbf{X}_i^{\text{pre}} = \mathbf{Q}_{r_i \times r_i}^{\text{pre}} \mathbf{\Delta}_{r_i \times t_j}^{\text{pre}} \mathbf{M}_{t_j \times t_j}^{\text{pre}} \quad (1)$$

式中, pre 表示 prefix,表示预先设定的数据, r_i 表示数据集中第 i 个数据, t_j 表示第 j 个时间周期, \mathbf{Q} 表示 r_i 行 r_i 列的正交矩阵, $\mathbf{M}_{t_j \times t_j}$ 表示 t_j 行 t_j 列的正交矩阵, $\mathbf{\Delta}_{r_i \times t_j}^{\text{pre}}$ 表示半正定 $r_i \times t_j$ 阶的对角矩阵,其对角线上的元素是矩阵 $\mathbf{Q}_{r_i \times r_i}^{\text{pre}}$ 的奇异值 α_i , α_i 的数据和大小决定了数据的完整性。通过矩阵分解重构更新集群车辆状态矩阵,得到近似值。计算公式如下:

$$\mathbf{X}_i^{\text{pre}'} = \mathbf{Q}_{r_i \times A}^{\text{pre}} \mathbf{\Delta}_{A \times A}^{\text{pre}} \mathbf{M}_{A \times t_j}^{\text{pre}} = \mathbf{P}^{\text{pre}'} \mathbf{D}^{\text{pre}'} \quad (2)$$

$$\mathbf{P}^{\text{pre}'} = \mathbf{Q}_{r_i \times A}^{\text{pre}} \mathbf{\Delta}_{A \times A}^{1/2} \quad (3)$$

$$\mathbf{D}^{\text{pre}'} = \mathbf{\Delta}_{A \times A}^{1/2} \mathbf{M}_{A \times t_j}^{\text{pre}} \quad (4)$$

式中, A 表示从 $\mathbf{\Delta}$ 中选择的奇异值的个数, $\mathbf{P}^{\text{pre}'}$ 和 $\mathbf{D}^{\text{pre}'}$ 表示的是矩阵 $\mathbf{X}_i^{\text{pre}}$ 分解结果, t 表示索引变量。将 $\mathbf{X}_i^{\text{pre}}$ 矩阵中的元素替换为 0,分解得到 $\mathbf{P}^{\text{pre}'}$ 和 $\mathbf{D}^{\text{pre}'}$,从中提取出第 i 行向量 $\mathbf{p}_i^{\text{pre}'}$ 和第 j 列向量 $\mathbf{d}_j^{\text{pre}'}$,将提取出的两个向量作为元素 $x_{i,j}^{\text{pre}}$ 的估算值。计算出矩阵 $\mathbf{X}_i^{\text{pre}}$ 中元素 $x_{i,j}^{\text{pre}}$ 的优先级。计算公式为:

$$H_S(r_i, t_j) = \frac{|x_{i,j} - \mathbf{p}_i^{\text{pre}'} \cdot \mathbf{d}_j^{\text{pre}'}|}{x_{i,j}} \quad (5)$$

如果 $H_S(r_i, t_j)$ 计算结果较大,说明 $x_{i,j}^{\text{pre}}$ 与估算值 $x_{i,j}^{\text{pre}'}$ 之间差距较大,此时的数据 r_i 具有较高的优先级。在确定数据的优先级后,再为其分配无线带宽,从而达到优化协议栈队列的目的。

1.2 建立网络通信约束模型

网络通信协议栈的自适应性是保证网络通信快速稳定的关键^[13],队列的优化主要面对的是数据处理问题,对于协议栈自适应性的优化,还需要从时间、资源、任务关系三个方面展开优化,建立网络通信约束模型,能够有效提高协议栈的自适应性。

网络通信协议栈具有较好的实时性^[14],建立时间约束模型有助于对任务进程截止时间的检查和计算,使得任务可以在规定时间内准确完整^[15]。建立的时间约束模型如图 1 所示。

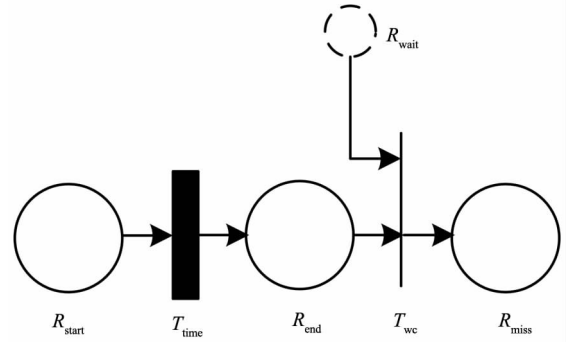


图 1 时间约束模型

图中 R_{start} 表示计时时间, T_{time} 表示分配的时间片, R_{end} 表示计时结束, T_{wc} 表示瞬时变迁, R_{miss} 表示错过截止时间。当协议栈任务分配的时间不足以满足任务计算需求,或错过了截止时间,则触发瞬时变迁,开始另一个时间周期。

协议栈消息任务之间存在优先级关系,同一网段内,消息的传递主要基于任务的优先级。检查任务之间的优先级约束关系是非常重要的。假设集群车辆数据交换通信发生时刻为 T_{gb} ,则建立的任

务约束模型如图 2 所示。

图中 R_{ah} 表示消息到达, R_{buff} 表示准备发送或接收的缓冲队列, R_{block} 表示低优先级消息的发送请求被高优先级消息阻塞, T_{comm} 表示信道内消息的传输延迟。在任务约束模型的支持下,一旦协议栈内的通信信道资源被使用,在消息执行完毕前,不会被新的任务打断,同时约束了高优先级消息和低优先级消息互相打断,保证了通信信息的完整性。

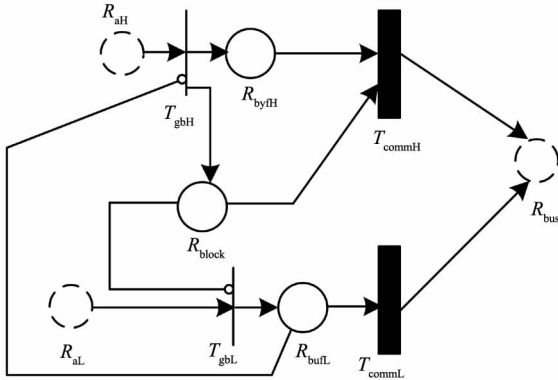


图 2 任务约束模型

通信网络中的资源是有限的,协议栈在工作中会将资源首先分配给高优先级的节点,从这一角度出发,设计资源约束模型。如图 3 所示。

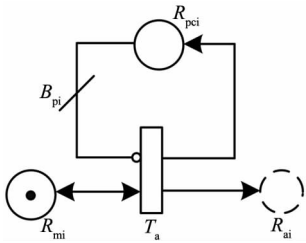


图 3 资源约束模型

资源约束模型内, R_{mi} 表示产生优先级为 i 的消息, R_{pei} 表示优先级为 i 的消息计算能力, R_{ai} 表示优先级为 i 的消息到达, B_{pi} 表示优先级为 i 的消息队列长度。资源约束模型的设计同时达到了约束协议栈计算资源和信道资源的目的,为通信信息的传递提供了很大的方便。以上述约束模型作关键点,对通信协议栈总体结构展开优化。

1.3 优化协议栈总体结构

通信协议栈内包括三个大模块,分别是初始化模块、过程数据模块和消息数据模块。协议栈的初始化模块主要用于完成通信硬件初始化、总线初始化等前期工作,当启动协议栈初始化模块时,协议

栈会根据用户请求创建消息通信需要使用的队列、信使任务等内容,同时也会初始化接收队列,准备接收来自总线的数据包。

过程数据模块主要负责实现协议站提供的两层接口,分别是链路层接口和应用层接口。链路层接口主要用于访问数据集,应用层接口主要用于访问集群变量,通过这两层接口能够有效识别出消息主体,有助于协议栈进行资源分配工作。

消息数据模块用于实现网络通信内实时协议的消息服务,包括的内容有传输层的接收和定时器任务、应用层的定时器任务以及网络层的路由任务和发送任务。

上述带宽感知优先级的计算,主要针对过程数据模块,提前计算出消息的优先级,能够节约协议栈的工作时间和计算资源;约束模型的设计则是针对消息数据模块,通过对任务、时间、资源的约束,实现通信网络内应用程序之间的实时通信,使得通信协议栈能够适应不同的计算环境,针对集群车辆的数据交换需求,提供快速稳定的通信性能。

2 主动感知下的集群车辆数据交换网络通信协议栈优化算法实验研究

2.1 实验准备

为了验证提出的集群车辆数据交换网络通信协议栈优化算法,在正常的通信网络环境下进行实验研究,并将其与几种常规的优化算法实验结果相比较,通过对比实验分析综合分析算法的自适应通信能力。为保证实验的公平公正,为各个优化算法的运行设置相同的通信节点上行路径,在保证其他因素一致的情况下,验证网络通信协议栈优化算法的实际效果。实验节点上行路径如图 4 所示。

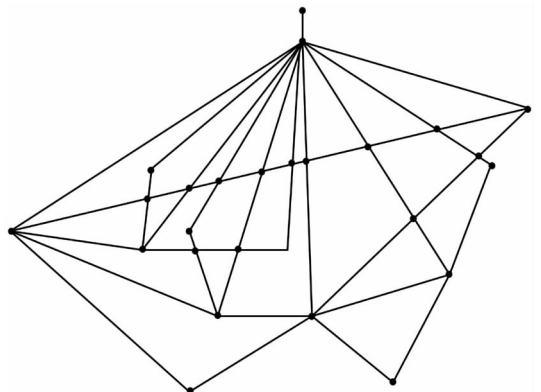


图 4 实验节点上行路径示意图

基于图中显示的实验节点路径,设置相关实验参数,具体内容如表1所示。

表1 实验环境参数设置

参数	取值	单位
网络范围	100 * 100	m
数据流个数	M(1~1000)	
信道数目	16	
数据流周期	3~5	s
数据流大小	1~50	字节
约束阈值	1	%
信道阈值	-80	dBm

利用 MATLAB 软件随机输出数据流周期和大小,变化范围为表中设置的参数,以便能遍历网络通信各种情况。实验中,采用的优化算法分别是基于同态加密的优化算法、基于多路径优化的协议栈优化算法。

2.2 高低温实验结果及分析

集群车辆数据交换通信环境多数处于室外,因此高低温特性是衡量协议栈优化算法性能的重要指标,参考相关国家标准要求,针对主动感知下的网络通信协议栈优化算法的高低温特性展开实验验证。首先将算法部署到目标计算机上,运行测试程序,将主要硬件置于高低温实验箱,设置网关地址,向网关发送数据,直到收到停止指令,在此过程中,逐渐改变高低温实验箱的稳定性,统计出不同优化算法在高低温条件下的通信数据的丢包率和平均延时。实验结果如表2所示。

表2 高低温条件下通信性能实验结果

温度 / °C	基于同态加密的协议栈优化算法		基于多路径优化的协议栈优化算法		提出的协议栈优化算法	
	丢包率/%	平均延时/ms	丢包率/%	平均延时/ms	丢包率/%	平均延时/ms
-10	0.05	150	0.07	118	0	49
-5	0.05	126	0.07	136	0	33
0	0.03	95	0.04	138	0	35
5	0.09	171	0.02	211	0	19
15	0.05	139	0.03	132	0	53
30	0.07	115	0.09	128	0	47

观察表中数据,在高温和低温的作用下,基于同态加密的优化算法和基于多路径优化算法的优化算法在运行过程中有较高的延时,同时也存在一定丢包率,相比之下,提出的协议栈优化算法丢包

率为0,平均延时比较低,在标准范围内,对数据通信影响小。由此可知,提出的协议栈优化算法通信性能更好,能够适应复杂的工作环境。

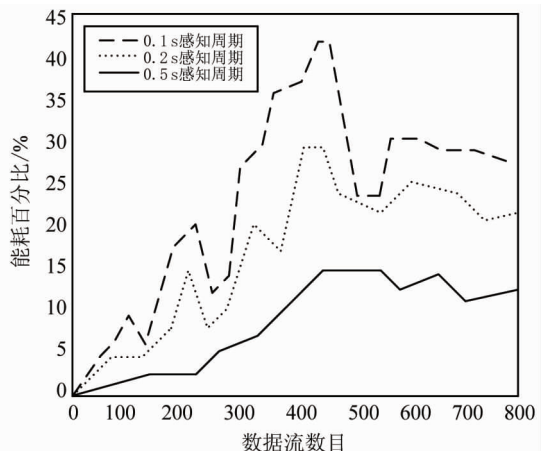
2.3 能耗实验结果及分析

在能耗实验研究过程中,默认每个节点只有在数据传输时才处于活动状态,其余时间处于睡眠状态,按照设置的实验参数,不断增加通信网络内数据流数目,验证3种优化算法的实际能耗。为了便于对比分析,能耗实验以整个信标周期内信标帧的占比作为能耗指标,比值越大说明算法能耗越高。计算公式为:

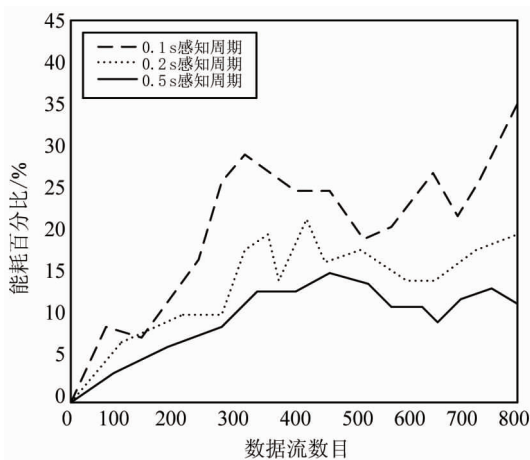
$$Q = \frac{N_j \times 2^S}{16 \times 2^B} \quad (6)$$

式中, Q 表示能耗, S 表示超帧序号, B 表示信标序号, N_j 表示通信网络内活动信标数目。由于提出的优化算法是在主动感知下,为此,以感知周期作为变量,分别在感知周期为 0.1 s、0.2 s、0.5 s 条件下进行能耗实验。实验结果如图5所示。

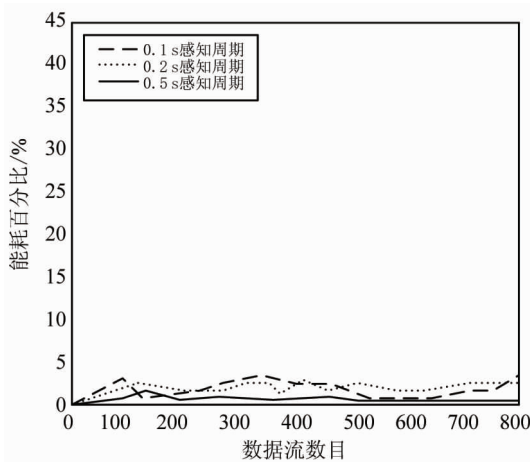
通过图中显示的能耗实验结果可以看出,协议栈优化算法的能耗随着数据流的增加而增加,同时,感知周期越短能耗增加越明显。对比观察各个优化算法实验结果,基于同态加密的优化算法和基于多路径优化的优化算法实验结果能耗增加幅度大,上升趋势明显,而提出的优化算法实验结果中能耗幅度变化小,能耗百分比在5%以下,有很大的提高,在正常通信情况下,能够使更多的节点处于睡眠状态,在一定程度上增加了通信节点的使用寿命。结合高低温实验结果综合分析,提出的主动感知下的集群车辆数据交换网络通信协议栈优化算法能耗低、耐高温,能够很好地适应外界环境的变化,整体自适应性优于常规的协议栈优化算法。



(a) 基于同态加密的优化算法实验结果



(b)基于多路径优化的优化算法实验结果



(c)提出的优化算法实验结果

图5 不同优化算法的能耗实验结果

3 结论

随着通信技术的不断发展与革新,网络通信技术已经应用到越来越多的领域中,在集群车辆的通信中,相关网络通信技术已经比较成熟,但是还有进步的空间。本文以主动感知下的集群车辆数据交换网络通信协议栈作为研究对象,提出优化算法的设计,从多个方面优化通信协议栈,强化协议栈的自适应性。在算法优化设计完成后,又展开了大量实验分析,证明了设计的协议栈优化算法的可靠性。但是,受到时间的限制,本文研究内容还不够全面,集群车辆网络通信的设计还有一些问题需要深入研究。未来会从引入智能优化算法,完善网关硬件设计等方面展开研究。

参考文献

- [1] 吕晓慧,王能民,杨臻. 完全信息共享下三层级配送网络协同路径优化模型及算法设计[J]. 运筹与管理, 2023, 32(3): 78-84+130.
- [2] 滕碧红,孙海信. 混合人工蜂群算法在船舶通信网络优化中的应用[J]. 舰船科学技术, 2023, 45(6): 154-157.
- [3] 孟芸,牛永豪,王萍,等. 车路协同网络中服务功能链可行时长优化映射算法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2023, 23(1): 114-122.
- [4] 郭伟,范文奕,杨书强,等. 面向分布式一致性算法的通信网络优化设计[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(23): 151-160.
- [5] 徐勇军,杨浩克,李国军,等. 多标签无线供电反向散射通信网络能效优化算法[J]. 电子与信息学报, 2022, 44(10): 3492-3498.
- [6] 向征. 基于改进拉格朗日松弛算法的电力通信网络负载均衡优化策略研究[J]. 电测与仪表, 2023, 60(4): 85-91.
- [7] 张然,高莹雪,丁元明. 无人机集群网络分簇优化算法[J]. 计算机工程与设计, 2022, 43(7): 1848-1855.
- [8] 田真真,蒋维,郑炳旭,等. 基于服务器集群的负载均衡优化调度算法[J]. 计算机科学, 2022, 49(S1): 639-644.
- [9] 王凌宇,傅宏,马创,等. 基于同态加密的电网隐私数据多维聚合优化算法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2023, 35(2): 352-359.
- [10] 李向农,范丁元. 基于多路径优化算法的铁路网络分析系统开发[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(4): 21-24+29.
- [11] 李守玉,何庆,陈俊. 改进平衡优化器算法在约束优化问题中的应用[J]. 计算机科学与探索, 2023, 17(5): 1075-1088.
- [12] 孙继泽,杜金其,王伟,等. 电力光纤通信网络实时安全风险量化参数优化算法[J]. 激光杂志, 2021, 42(12): 176-180.
- [13] 杨芷柔,张虎,刘静,等. 节点攻击策略下的军事通信网络结构优化算法[J]. 系统工程与电子技术, 2021, 43(7): 1848-1855.
- [14] 李俊松,王雷,张靳予,等. 基于改进 VECMP 的电力通信网络路由优化算法研究[J]. 电测与仪表, 2021, 58(7): 136-142.
- [15] 周华嫣然,周羿宏,胡俊杰,等. 人工智能技术支撑的集群电动汽车实时优化调度策略[J]. 电网技术, 2021, 45(4): 1446-1459.