



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116068886 B

(45) 授权公告日 2024.06.28

(21) 申请号 202211584481.6

F28F 27/00 (2006.01)

(22) 申请日 2022.12.09

F24F 3/06 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 116068886 A

(56) 对比文件

CN 112413762 A, 2021.02.26

(43) 申请公布日 2023.05.05

审查员 仲莉

(73) 专利权人 上海碳索能源服务股份有限公司

地址 201108 上海市闵行区金都路4299号6

幢2楼D91室

(72) 发明人 汪德龙 宁德军 郭千朋

(74) 专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 31317

专利代理师 张宁展

(51) Int. Cl.

G05B 13/04 (2006.01)

F24F 11/46 (2018.01)

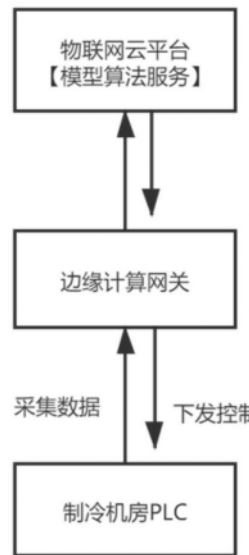
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种高效制冷机房冷却水系统的优化控制装置

(57) 摘要

本发明属于制冷机房能效的技术领域,公开了一种高效制冷机房冷却水系统的优化控制装置,其特征在于:通过边缘计算网关实现云服务器和冷却水系统的控制单元之间的通讯,在所述云服务器中装载有能效优化控制程序,所述能效优化控制程序采用深度强化学习DQN算法动态调整冷却塔开启台数、风机频率,冷却水泵频率,以实现冷却侧系统能效的优化。



1. 一种高效制冷机房冷却水系统的优化控制装置,其特征在于:通过边缘计算网关实现云服务器和冷却水系统的控制单元之间的通讯,在所述云服务器中装载有能效优化控制程序,所述能效优化控制程序采用深度强化学习DQN算法动态调整冷却塔开启台数、风机频率,冷却水泵频率,以实现冷却侧系统能效的优化;

所述能效优化程序以系统冷负荷 CL_{system} 、环境湿球温度值 T_{wet} 作为状态信息,以冷却塔台数 N_{tower} 、风机频率 F_{fan} 和冷却泵的频率 F_{cwps} 作为动作值,以冷却侧系统的能效COP作为奖励信息,根据采集的状态信息 CL_{system} 、环境湿球温度值 T_{wet} 和奖励信息,经Q网络学习后,输出动作值冷却塔台数 N_{tower} 、风机频率 F_{fan} 和冷却泵的频率 F_{cwps} 以改变冷却水系统的输出状态,从而获取下一步的状态信息、奖励信息,再次输入Q网络进行学习,依次不断学习,从而实现对冷却侧系统能效的优化;

所述能效优化程序包括以下步骤:

(1) 智能体与环境交互得到当前状态信息 CL_{system} 、 T_{wet} 后,将所述当前状态信息输入到Q网络中,并使用 ϵ -贪心策略输出动作值到环境中,从环境得到下一状态信息 CL_{system} 、 T_{wet} 和奖励信息;

(2) 将当前状态信息 CL_{system} 、 T_{wet} ,动作值 N_{tower} 、 F_{fan} 、 F_{cwps} 、下一状态信息 CL_{system} 、 T_{wet} 、奖励信息作为样本存储到智能体的记忆回放单元中;

(3) 当记忆回放单元存储到一定容量的样本时,提取记忆回放单元中的部分样本,将样本中的当前状态信息输入到Q网络中,得到当前状态信息的Q值;

(4) 将样本中的下一状态信息输入到Q网络中,通过计算得到当前状态信息的估计值 \hat{Q} ;

(5) 通过损失函数公式进行梯度下降训练,并更新Q网络的权重参数。

2. 根据权利要求1所述的高效制冷机房冷却水系统的优化控制装置,其特征在于:所述控制单元对应的上位机设置手动模式、自动模式、云端优化控制模式,当所述控制单元处于自动模式、云端优化控制模式时,能够与云服务器通讯。

一种高效制冷机房冷却水系统的优化控制装置

技术领域

[0001] 本发明涉及制冷机房能效的技术领域,尤其涉及一种高效制冷机房冷却水系统的优化控制装置。

背景技术

[0002] 中央空调冷却水系统中的设备主要包括冷却水泵和冷却塔,相比较于中央空调主机能耗,冷却水泵和冷却塔的总能耗较低,但中央空调冷却水系统的运行参数对于中央空调主机的能效影响很大,因此,中央空调冷却水系统节能优化运行需要综合考虑冷源系统各设备在特定运行条件下的总体能耗。

[0003] 从冷却水泵节能的角度来讲,可以采用冷却水泵变频运行的方式调节冷却水流量,但是,冷却水流量的调节也不是越小越好,冷却水流量过低将影响到中央空调主机的散热效果,从而影响到主机能效,使中央空调主机能耗增加。

[0004] 冷却塔能耗在中央空调冷源系统中所占的比重较小,但冷却塔散热能力的好坏对于冷水机组能耗影响较大。冷却塔的节能也是通过对冷却塔风扇变频或改变冷却塔运行台数实现的,其冷却效果与冷却水的流量、外界空气的温湿度有很大的关系,相同冷却水流量下,冷却塔的冷却效果不同会导致冷却水回水温度的差异,从而影响主机能效,因此,在分析冷却水系统总能耗时,应充分考虑冷却塔运行模式对冷水机组耗能的影响。

[0005] 目前在工业用制冷机房中,常见的是通过冷却塔出水温度来控制冷却塔的风机频率和开启台数、利用冷却水泵的供回水温差来控制冷却水泵的频率,但是冷却塔出水温度和冷却水泵的供回水温差设定值很难确定,通常是一个确定的值,不能保证冷却水系统的能效最优;同时制冷机房群控技术偏重于通信功能的实现,对制冷机房的控制效率低,能源浪费严重,响应不及时,对智能控制算法的涉及不多,架构比较简单,本地计算能力较弱,难以扩展部署复杂的大数据分析和人工智能算法,在复杂计算能力需求和实时控制之间难以均衡。

发明内容

[0006] 为了解决上述问题,本发明提出一种高效制冷机房冷却水系统的优化控制装置。

[0007] 本发明可通过以下技术方案实现:

[0008] 一种高效制冷机房冷却水系统的优化控制装置,通过边缘计算网关实现云服务器和冷却水系统的控制单元之间的通讯,在所述云服务器中装载有能效优化控制程序,所述能效优化控制程序采用深度强化学习DQN算法动态调整冷却塔开启台数、风机频率,冷却水泵频率,以实现冷却侧系统能效的优化。

[0009] 进一步,所述能效优化程序以系统冷负荷 CL_{system} 、环境湿球温度值 T_{wet} 作为状态信息,以冷却塔台数 N_{tower} 、风机频率 F_{fan} 和冷却泵的频率 F_{cwp} 作为动作值,以冷却侧系统的能效COP作为奖励信息,根据采集的状态信息 CL_{system} 、环境湿球温度值 T_{wet} 和奖励信息冷却侧系统的能效COP,经Q网络学习后,输出动作值冷却塔台数 N_{tower} 、风机频率 F_{fan} 和

冷却泵的频率 F_{cwps} 以改变冷却水系统的输出状态,从而获取下一步的状态信息、奖励信息,再次输入Q网络进行学习,依次不断学习,从而实现对冷却侧系统能效的优化。

[0010] 进一步,所述能效优化程序包括以下步骤:

[0011] (1) 智能体与环境交互得到当前状态信息 CL_{system}, T_{wet} 后,将所述当前状态信息输入到Q网络中,并使用 ϵ -贪心策略输出动作值到环境中,从环境得到下一状态信息 CL_{system}, T_{wet} 和奖励信息COP;

[0012] (2) 将当前状态信息 CL_{system}, T_{wet} 、动作值 $N_{tower}, F_{fan}, F_{cwps}$ 、下一状态信息 CL_{system}, T_{wet} 、奖励信息COP作为样本存储到智能体的记忆回放单元中;

[0013] (3) 当记忆回放单元存储到一定容量的样本时,提取记忆回放单元中的部分样本,将样本中的当前状态信息输入到Q网络中,得到当前状态信息的Q值。

[0014] (4) 将样本中的下一状态信息输入到Q网络中,通过计算得到当前状态信息的估计值 \hat{Q} 。

[0015] (5) 通过损失函数公式进行梯度下降训练,并更新Q网络的权重参数。

[0016] 进一步,所述控制单元对应的上位机设置手动模式、自动模式、云端优化控制模式,当所述控制单元处于自动模式、云端优化控制模式时,能够与云服务器通讯。

[0017] 本发明有益的技术效果在于:

[0018] 1) 解决了高效制冷机房冷却水系统设定值不做调整或设定值调整优化困难的问题,有效地对制冷机房能效进行提升

[0019] 2) 解决了制冷机房群控系计算能力弱的问题,创新地利用云端的计算能力、边缘的控制能力,使得既保证了制冷机房群控系统的稳定性,又能最大化地提升能效。

[0020] 3) 本发明避免了高效制冷机房冷却水系统设定值优化,需要制冷机房冷却水系统现场安装大量的传感器,建立设备模型的工作,且容易出现模型精度不能满足要求的问题,有利于在不同的制冷机房冷却水系统项目中广泛应用。

附图说明

[0021] 图1是本发明基于DQN的高效制冷机房冷却水系统优化控制装置的示意图;

[0022] 图2是本发明基于DQN的高效制冷机房冷却水系统优化控制装置的能效优化控制过程流程图。

具体实施方式

[0023] 下面结合附图及较佳实施例详细说明本发明的具体实施方式。

[0024] 如图1和2所示,本发明提供了一种高效制冷机房冷却水系统的优化控制装置,通过边缘计算网关实现云服务器和冷却水系统的控制单元之间的通讯,在所述云服务器中装载有能效优化控制程序,该能效优化控制程序采用深度强化学习DQN算法动态调整冷却塔开启台数、风机频率,冷却水泵频率,以实现冷却侧系统能效的优化。具体如下:

[0025] 通过“云+边缘+端”的架构,利用云平台扩展了边缘计算网关的计算能力,又避免了网络延时对任务及时性的阻碍,同时满足了设备优化的复杂计算能力需求和控制的实时性要求;利用边缘计算网关和制冷机房冷却水系统的控制单元如PLC建立通讯,实现数据的上传和下发控制,如图1中的流程图所示。

[0026] 边缘计算网关通过Modbus TCP协议与制冷机房的PLC建立通讯,并且在PLC对应的上位机中设计手动模式、自动模式、云端优化控制模式;PLC中的手动模式、自动模式是自控的常规设计,PLC云端优化控制模式是区别于一般的制冷机房自控系统的,PLC处于云端优化控制模式时,可实现边缘计算网关与PLC之间的数据上传和控制命令下发;并且当云端控制模式出现异常时,可以随时切换到自动模式。

[0027] 上位机可以将PLC控制权限切换为手动控制、自动控制、云端优化控制,云平台可以将PLC控制权限切换为自动控制、云端优化控制,当本地处于手动控制模式时,云平台不能取得PLC的控制权限;上位机和云平台可实时同步控制权限状态,上位机切换控制权限,云平台能实时显示改变后的控制权限,云平台切换控制权限,上位机能实时显示改变后的控制权限。

[0028] 针对制冷机房冷却水系统能效最佳的冷却塔开启台数、风机频率,冷却水泵的频率值设定困难,本发明中通过深度强化学习DQN动态调整冷却塔开启台数、风机频率,冷却水泵的频率对冷却侧系统能效进行优化,优化的过程是通过部署在云平台的模型算法微服务实现的,强化学习算法DQN的智能体通过与物理制冷机房的数字孪生仿真环境的互动学习,持续提升算法精度,直至达到满足工程级智能能效优化应用的准确性要求。对于已能满足工程应用的智能体,其对冷却塔开启台数、风机频率,冷却水泵频率在线的能效优化控制及学习过程如下:

[0029] 该能效优化程序以系统冷负荷 CL_{system} 、环境湿球温度值 T_{wet} 作为状态信息,以冷却塔台数 N_{tower} 、风机频率 F_{fan} 和冷却泵的频率 F_{cwps} 作为动作值,以冷却侧系统的能效COP作为奖励信息,根据采集的状态信息系统冷负荷 CL_{system} 、环境湿球温度值 T_{wet} 和奖励信息冷却侧系统的能效COP,经Q网络学习后,输出动作值冷却塔台数 N_{tower} 、风机频率 F_{fan} 和冷却泵的频率 F_{cwps} 以改变冷却水系统的输出状态,从而获取下一步的状态信息、奖励信息,再次输入Q网络进行学习,依次不断学习,从而实现冷却侧系统能效的优化。

[0030] 具体包括以下步骤:

[0031] 1奖励信息 (reward)

[0032] 优化的目标是冷却侧系统能效COP,其计算公式为:

$$[0033] \quad COP = \frac{CL_{system}}{P_{chillers} + P_{cwps} + P_{towers}}$$

[0034] CL_{system} 是系统冷负荷, $P_{chillers}$ 是所有冷机的总功率, P_{cwps} 是所有冷却水泵的总功率。

[0035] 2状态信息 (state)

[0036] 系统冷负荷 (CL_{system}),环境湿球温度值 (T_{wet})

[0037] 3动作值 (action)

[0038] 冷却塔台数 (N_{tower})、风机频率 (F_{fan})和冷却泵的频率 (F_{cwps})。

[0039] 4智能体

[0040] 智能体是能输出动作值冷却塔台数 N_{tower} 、风机频率 F_{fan} 和冷却泵的频率 F_{cwps} 的控制算法。

[0041] 5优化过程

[0042] (1) 智能体与环境交互得到当前状态信息 CL_{system}, T_{wet} 后, 将所述当前状态信息输入到Q网络中, 并使用 ϵ -贪心策略输出动作值到环境中, 从环境得到下一状态信息 CL_{system}, T_{wet} 和奖励信息COP;

[0043] (2) 将当前状态信息 CL_{system}, T_{wet} 、动作值 $N_{tower}, F_{fan}, F_{cwps}$ 、下一状态信息 CL_{system}, T_{wet} 、奖励信息COP作为样本存储到智能体的记忆回放单元中;

[0044] (3) 当记忆回放单元存储到一定容量的样本时, 提取记忆回放单元中的部分样本, 将样本中的当前状态信息输入到Q网络中, 得到当前状态信息的Q值。

[0045] (4) 将样本中的下一状态信息输入到Q网络中, 通过计算得到当前状态信息的估计值 \hat{Q} 。

[0046] (5) 通过Q值与估计值 \hat{Q} 计算得到的损失函数进行梯度下降训练, 并更新得到Q网络的权重参数。

[0047] 技术人员应当理解, 这些仅是举例说明, 在不背离本发明的原理和实质的前提下, 可以对这些实施方式做出多种变更或修改, 因此, 本发明的保护范围由所附权利要求书限定。

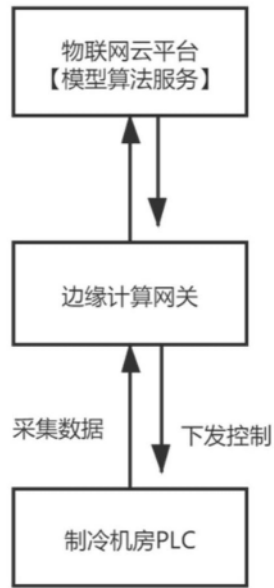


图1

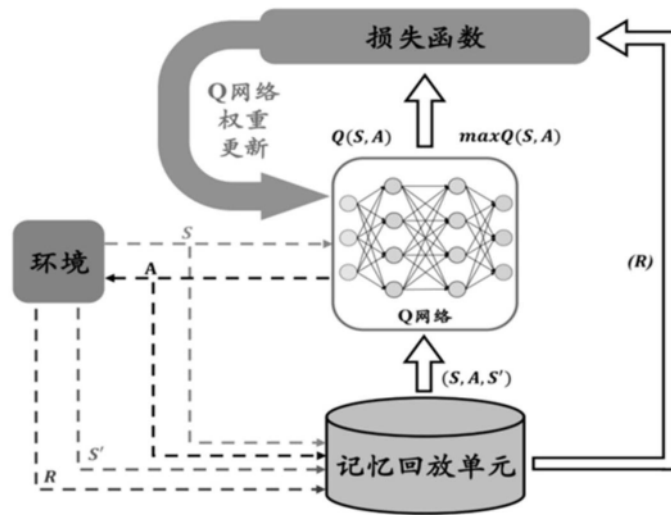


图2