

数据中心综合监控系统延迟问题分析及应对策略研究

梅道光¹ 王 丽¹
MEI Daoguang WANG Li

摘 要

当今数据中心运维由人力驱动的被动体系逐步向智能化技术驱动的主动体系演进, 运维工作越发依赖综合监控系统, 系统的延迟问题直接影响运维能力。在定性分析监控数据传输延迟问题的基础上, 基于采集层、监控层、展示层的三层传输架构提出多维度应对策略, 包括限制单串口接入设备数量、数据分类传输、区分不同架构部署场景、提出监控客户端升级方向等。通过工程实践进一步验证策略的效果, 为IDC行业综合监控系统的建设和改造提供应对措施和工程经验。

关键词

数据中心; 综合监控系统; 延迟; 设备串口; 服务器架构

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.04.015

0 引言

数据中心作为云计算、人工智能、5G等新一代信息技术的物理载体, 一直是经济社会运行不可或缺的基础设施。为提高数据中心运维的时效性, 通常在数据中心建设时部署综合监控系统。目前, 监控系统延迟改进可分为硬件改造和软件优化两类。硬件改造是基于一定工程经验, 推理造成系统延迟的主要硬件设备, 并通过更换硬件产品达到解决延迟问题的目的。而软件优化主要是通过改进软件部署架构、数据文件、链路传输等方式提升数据接入和处理能力^[1]。前者简单易操作, 但依赖运维人员关于监控设备维护的经验, 盲目更换设备费用较高、效果不佳; 后者主要由系统厂家优化,

受限于监控系统厂家技术和服务能力。本文围绕综合监控系统延迟问题和应对策略两个目标开展研究, 从综合监控系统的三层传输架构分析影响因素; 接着, 提出多个维度的应对策略, 减小延迟对综合监控系统的不利影响; 最后结合工程实践, 检测应对策略的实际效果。

1 数据中心综合监控系统的介绍及延迟问题分析

数据中心综合监控系统主要由电气系统、空气调节系统、给水排水系统、安全防范系统、消防系统和环境系统构成^[2]。综合监控系统部署架构通常由现场采集层、集中监控层、远程展示层组成, 仅通过三层传输架构难以明确延迟问题具体因素, 本文将正常工况下监控数据从采集到展示细分为轮训采集、预处理、上传平台、平台调用、上传页面、页面刷新

1. 中通服咨询设计研究院有限公司 江苏南京 210000

[8]KOUHALVANDI L, MATEKOVITS L.Surrogate modeling for designing and optimizing MIMO antennas[C]//2022 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/URSI).Piscataway:IEEE,2022:1540-1541.

[9]TIAN D.Particle swarm optimization with chaos-based initialization for numerical optimization[J].Intelligent automation and soft computing,2017,24:331-342.

[10]LI J, SU Z, TAN S, et al.Arctangent adaptive inertia weight particle swarm optimization for logistics distribution route planning[C]//2023 8th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP).Piscataway:IEEE,2023:1383-1386.

[11]DONG L, YUAN X, ZHANG C, et al.Ameliorated particle swarm optimization algorithm and its application in robot path planning[C]//2020 Chinese Automation Congress (CAC).Piscataway:IEEE,2020:5544-5549.

【作者简介】

董鑫(1999—), 女, 辽宁锦州人, 硕士研究生, 研究方向: 无线与移动通信技术。

许鹏(1981—), 男, 辽宁沈阳人, 副教授, 博士, 研究方向: 未来移动通信关键技术。

刘子扬(2003—), 女, 辽宁丹东人, 本科, 研究方向: 无线与移动通信技术。

(收稿日期: 2024-01-11)

六个过程,如图1所示。

轮训采集和预处理指采集器轮训访问底层数据并规整数据的时间,主要由数据量决定,而数据量与采集器接入设备的方式有关。实际施工过程中,为提高串口利用率,采用按区域统一串接的方式接入设备,即同一型号或同接口传感器通过手拉手串接的方式接入串口。如某些机房一列封闭通道安装了多个温湿度传感器,统一利用六类线串接后,

接入采集器的同一串口;配电箱内的多块智能电量仪通过串联接接入采集器的同一串口,实现数据上传等施工方式。上述分区域统一串接的接线方案可以提高串口利用率、美化施工走线路由,但超量的串接传感器使数据量激增、采集器轮训周期变长、增加串口传输时间、故障精准定位困难,所以通过采集设备传输速率分析单串口接入不同种类设备的上限可以优化上述问题。

上传平台指将整体数据上传至监控平台的时间,主要与传输设备和传输链路有关。监控设备的传输链路通常依据建筑平面区域分区,但机房和辅助用房的监控设备种类、数量存在差异化,且传输数据量大不相同。根据平面区域分区后各类监控设备混合接入相应物理接口交换机的方式无法考虑每台交换机的背板带宽和包转发率,尤其处于同一VLAN下的多种数据间常受到报文影响,导致传输速率下降。此外,以视频数据传输为例,选择视频交换机常考虑一个隐含因素——是否支持全端口满配线速转发,即标称值与实际值存在差异,需要计算实际交换容量和包转发率,接入时预留交换机接口,选择有冗余的光纤传输带宽^[3]。

平台调用、上传页面及页面展示指用户通过监控平台调用成功需求数据的时间,主要与部署平台的服务器架构有关。根据GB/T 51409—2020《数据中心综合监控系统工程技术标准》要求,综合监控系统应根据设备的重要性采取冗余结构、容错设计和电磁兼容技术,为满足该要求,服务器常采用双机热备架构部署系统。双机热备架构下数据处理能力受限于单服务器性能,以浪潮、曙光、长城、华为等国内主流品牌

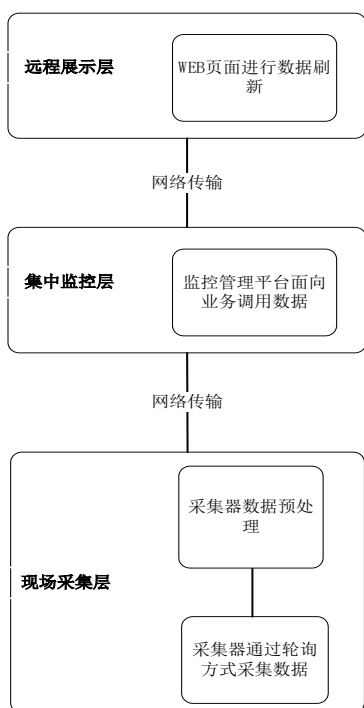


图1 综合监控数据传输过程

的服务器为例其处理上限不超过1000条/s,访问能力上限不超过100个客户端。不难看出,提高服务器配置、提高算力利用率或升级软件平台客户端,是解决监控测点量较大导致的延迟问题最为有效的措施,但盲目增加服务器也会带来造价困扰。实际过程中,应针对监控系统规模选择合适的服务器架构与配置,建设更契合当前数据中心建设模式和运维方式的系统。

2 应对策略研究

2.1 现场采集层传输方式优化

(1) 测试采集设备单串口接入设备上限

在提高端口利用率的同时保证数据传输速率,需进一步明确单串口接入设备的数量与数据响应时间的关系。本文利用软件开发者工具抓取采集设备单串口接入不同设备数量条件下系统主要指令的数据响应时间。

根据监控数据传输过程,定义底层传感器从采集主机传输至监控平台展示的数据响应时间为 T (ms),将各阶段的响应时间分别定义为 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 ,上传页面和页面刷新两个阶段的时间合并定义为 t_5 ,则 T 计算公式为:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (1)$$

式中: t_1 指采集器通过轮询方式采集底层传感器数据时间(ms); t_2 指采集器进行数据预处理时间(ms),常规采集器数据预处理时间约为10ms; t_3 指采集器Web通过网络将数据上传至上层监控管理平台的传输时间(ms); t_4 指监控管理平台面向用户进行数据的调用时间(ms); t_5 指监控管理平台通过网络将数据上传至端的展示时间(ms)。

其中,数据采集时间为:

$$t_1 = \left[t_{11} \times \frac{N}{60} + \left(\frac{N}{60} - 1 \right) \times t_{12} \right] \times M + (M - 1) \times t_{12} \quad (2)$$

数据传输时间为:

$$t_3 = \frac{n \times 4 \times t_2}{9600} \quad (3)$$

n 指单台设备测点数量,平均每个测点4个字节; N 指单台设备寄存器数量; M 指1个串口下面手拉手串接的设备数量; t_{11} 指一次发包请求的时间(ms)。

常规采集器设置的波特率为9600 bit/s,采集器每一次发包可请求采集60个寄存器数据,约为150 B,150 B = 150 × 8 bit = 1200 bit,故取20%冗余后采集器每一次发包时间为 $\frac{1200 \text{ bit}}{9600 \text{ bit/s}} \times 120\% = 0.15 \text{ s}$,对于测点量较多的设备,需要多次请求即可将数据采集完整。

t_{12} 指上一次发包请求数据包接收到发起下一次请求的时间间隔时间(ms),常规采集器设置的时间间隔约为20 ms。

而后调整单串口接入设备的个数,利用软件开发者工具抓取系统主要指令的数据响应时间,记录数据响应时间 T 在3000 ms和6000 ms内单串口接入的设备数量。具体数据如表1所示。

表 1 数据响应时间在 3000 ms 和 6000 ms 内的单串口接入设备个数记录

设备名称	采集器						监控管理平台		数据响应时间	$M_{\max}$	
	t_1				t_2	t_3	t_4	t_5	T	$T \leq 3000$	$T \leq 6000$
	n	N	t_{11}	t_{12}							
变压器	50	40	150	20	10	208.33	400	1200	2 811.66	2	5
发电机	100	40	150	20	10	1 041.67	400	1200	3 645.00	1	3
UPS	85	60	150	20	10	354.17	400	1200	3 464.17	1	1
HVDC	500	160	150	20	10	2 008.33	500	1500	8 051.66	1	1
ATS	50	40	150	20	10	208.33	400	1200	2 811.66	2	5
STS	50	40	150	20	10	208.33	400	1200	2 811.66	2	5
精密配电柜	800	400	150	20	10	3 333.33	1600	4800	19 856.70	1	1
智能 PDU	100	90	150	20	10	416.67	300	900	3 886.67	1	3
精密空调	100	90	150	20	10	416.67	400	1200	4 286.67	1	2
电量仪	60	50	150	20	10	250.00	400	1200	3 106.67	2	4
温湿度传感器	2	2	150	20	10	8.33	100	300	448.99	2	7
漏水控制器	8	4	150	20	10	33.33	100	300	524.66	2	7

根据上表 $M_{\max}$ 值,可以确定数据响应时间 T 为 6000 ms 时,同一串口接入各设备的上限,将 $M_{\max}$ 值作为调整该数据中心综合监控系统采集器的单串口设备接入数量参照。此外,凭经验判断,测点数量 n 、寄存器数量 N 应该与单串口接入设备数量 M 存在联系,分别绘制两组数据的散点图(见图 2),判断这种关系是否真实存在。

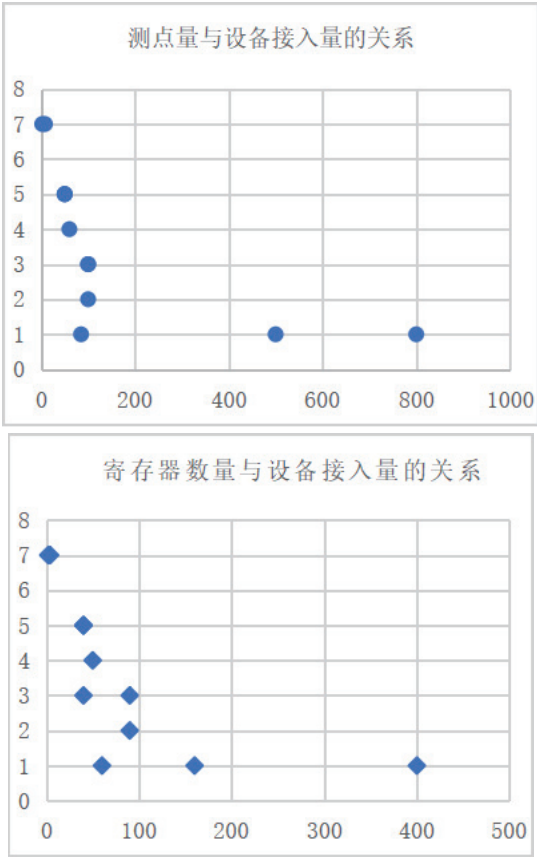


图 2 测点量和寄存器数量与设备接入量的散点图

从图 2 数据点的分布情况可以发现,测点量增加,单串口最大设备接入量减少, $COVAR$ 函数协方差值为 -311, 则测点量与设备接入量呈负相关;寄存器数量增加,单串口设备接入量减少,协方差值为 -141, 则寄存器数量与设备接入量也呈负相关,如图 3 所示。根据图 3 不难看出,某种设备的测点量较多时,寄存器数量也较多。综上所述,对于单台设备测点量或寄存器数量较高的设备,串接应严格控制设备数量。

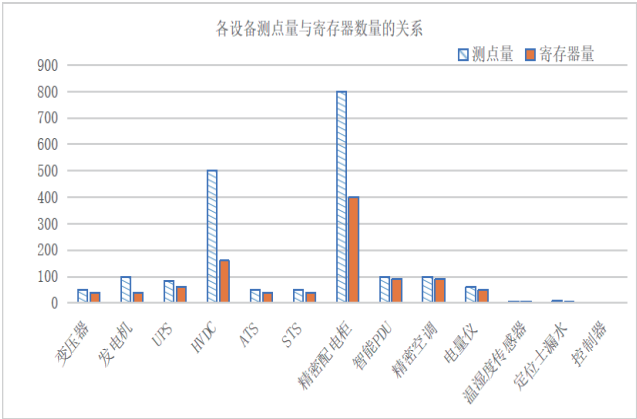


图 3 各设备测点量与寄存器数量的柱状图

(2) 数据分类传输

就数据中心建筑而言,通常按园区或某栋数据中心建设综合监控系统,从整栋或整个园区的信息监控总量来看,视频监控、冷机群控系统信息量最大^[4]。其占用交换机端口的数据通信吞吐量最大,日常调用对带宽和交换机转发率要求也较高。为避免其他监控信息传输阻塞,不应与动力环境监控、消防监控等其他监控共用汇聚层交换机。

由图 4 可知,将底端监控设备在物理分区的基础上按视频监控系统、冷机群控系统、动力环境监控系统等各系统分类接入对应系统汇聚交换机的方案,形成同构的数据中心网络,更有利于协议和网络设备的参数设置^[5]。传输系统采用双汇聚交换机和双核心交换机,同系统交换机分别布置在 A、B 不同机柜内进行物理隔离,单台交换机预留 20% 以上的端口冗余量,传输光纤冗余带宽保持在 30% ~ 40% 之间,便于后续扩容或容错接入使用。

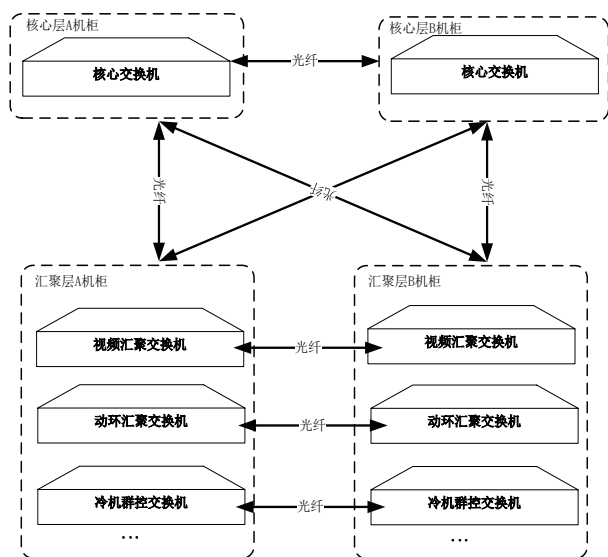


图4 数据中心综合监控系统分类传输示意图

同系统交换机通过专用的堆叠线缆连接起来，将多台交换机堆叠成一台逻辑交换机。该逻辑交换机中的所有交换机共享相同的配置信息和路由信息。当向逻辑交换机增加或减少单体交换机时，不会影响其性能。叠加的交换机之间通过两条环路连接起来，环路充当逻辑交换机的背板，双环路都可正常工作，保障数据传输链路的可靠性，交换机的硬件负责将数据包在双环路上做负载均衡，数据流走向如图5所示。数据正常传输时，交换机的软件会计算哪条环路更可用，然后数据帧会被送到该环路传输。如果一条线路出故障，故障两端的交换机都会检测到该故障，并将受影响的环路断开，而逻辑交换机仍然可以以单环的状态工作。

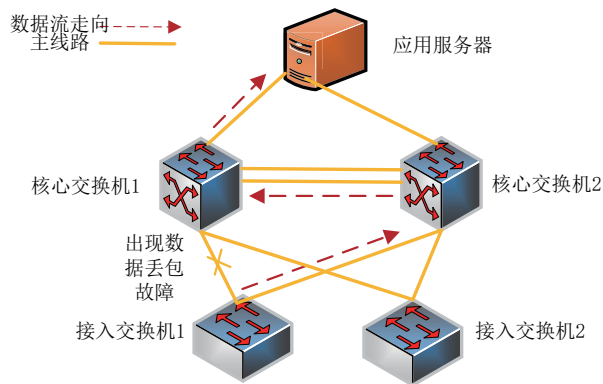


图5 数据流走向示意图

2.2 集中监控层服务器架构探讨

(1) 双机热备模式定性分析

双机热备模式即两台部署相同应用的服务器通过互相备份的方式共同执行同一命令，当其中一台服务器出现故障时，由另一台服务器执行，从而达到持续运行的目的^[6]。如图6所示，数据中心监控系统中传输设备与双机热备模式的服务

器建立连接，其中服务器1作为工作机（Active Server），服务器2作为备用机（Standby Server）。正常工况下，工作机负责监控系统数据运算、存储及处理运维人员各种命令，主备机之间利用心跳检测彼此是否正常。当工作机宕机时，通过软件诊断自启或手动启停的方式将备用机激活，可保证系统继续正常工作。

由于有一台服务器长期处于监控准备状态，造成一半的计算资源浪费。同时，负载完全由一台服务器承担，导致系统扩容受到工作机服务器的配置限制。

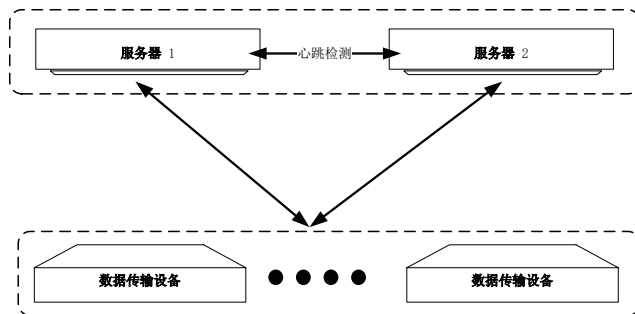


图6 服务器双机热备模式架构图

(2) 集群模式定性分析

与双机热备模式不同，集群模式是将多台部署相同应用的服务器组成集群见图7，通过负载均衡对外提供服务^[7]。该模式可将业务数据和历史数据分开，存储服务器负责存储数据备份，业务服务器负责资源计算，在面对各种命令时，可利用负载均衡和业务迁移机制分配负载，充分发挥服务器性能。

集群内部服务器节点之间不仅能支撑请求的分发，还能感知服务器节点的变化，根据自身负载压力相互分配负载，避免某一台服务器负载激增问题。基于集群的横向扩展性，用户可直接增加服务器数量使并发数（同时处理多项任务的能力）趋于线性增长，从而获得较高的并发支撑性能^[8]。该模式除了实现服务器的高可用性，增长设备使用年限，还能够满足服务器的冗余备份、故障切换等规范要求。

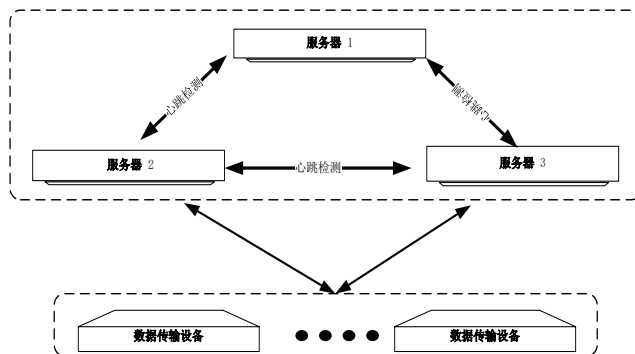


图7 服务器集群模式架构图

（3）架构模式的定量分析

从上述定性分析可以看出，多台服务器的集群模式具备更高的吞吐数，支持的测点量也更多，但增加至少 1 台服务器的造价，这对于较低测点量的监控场景并没有优势。以下研究双机热备模式的承载能力的研究，区分了两种模式的适用场景。为了明确双机热备模式的性能极限，本文分析了双机热备模式接入测点容量与一般性指令响应时间的关系。

首先确定一般性指令。《数据中心综合监控系统工程技术标准》规定监控系统的“数据采集周期”时间，《中国电信数据中心建设标准》规定“列表加载及查询响应时间”“统计报表加载时间”“3D 展示资源加载时间”等参数，用于规范监控系统指令加载时间，由于企业标准要求高于国标要求，同时采用具体化应用场景记录系统的指令加载时间，更能反映监控系统的应用能力，所以本文以“列表加载及查询响应时间”“统计报表加载时间”“3D 展示资源加载时间”作为监控系统性能对比指标。

而后选择中国电信某数据中心园区监控系统进行承载能力测试，服务器主要硬件配置如表 2。记录系统当前接入测点总量和一般性指令响应时间如表 3。

表 2 服务器的硬件配置

CPU	Intel 4316（20 Cores,2.30 GHz）
内存	32 GB DDR4-2933 MHz 内存
硬盘	硬盘 -960 GB SATA SSD 2.5 英寸热插拔硬盘 硬盘 -1.8 TB 10 K RPM SAS 12 Gbit/s
磁盘阵列	RAID 卡 -4 GB 缓存，端口数≥8，端口速率：12 Gbit/s

表 3 双机热备模式下测点总量与指令加载时间表

接入测点总量 / 万个	列表加载及查询响应时间 /ms	报表加载时间 /ms	3D 展示资源加载时间 /ms
82	10 212	15 006	18 974
78	9144	14 089	18 454
74	8693	11 992	18 036
70	8244	10 906	17 740
66	8138	9848	13 350
62	6984	9250	12 970
58	6412	8496	11 290
54	5967	7308	9485
50	4865	6714	7849
46	4133	5921	6997
42	3823	5447	6572
38	3615	4839	6115
34	3572	4276	5237
30	3498	3824	5002

如表 3 所示，当接入测点总量达到 62 万个时，一般性指令响应时间降低幅度首次小于 200 ms，此时服务器进入超负荷运行状态。当接入测点总量低于 58 万个时，随着接入测点总量逐级减少，一般性指令响应时间下降。当测点总量处

于 50 万个时，列表加载及查询响应时间小于 5 s，统计报表加载时间小于 7 s，3D 展示资源加载时间小于 10 s，均满足《中国电信数据中心建设标准（2020 版）》监控系统功能的响应时间要求。当接入测点总量缩减到 34 万个以下时，一般性指令响应时间降低不足 100 ms，此时服务器负载占有率较低，处于低负载状态。为更好分析系统一般性响应时间的变化趋势，以下基于数理统计学原理，选取表 3“报表加载时间”数据作为离散的样本数据，利用 MATLAB 仿真软件进行连续化处理，拟合成一条连续的曲线。最终拟合曲线图如图 8 所示。

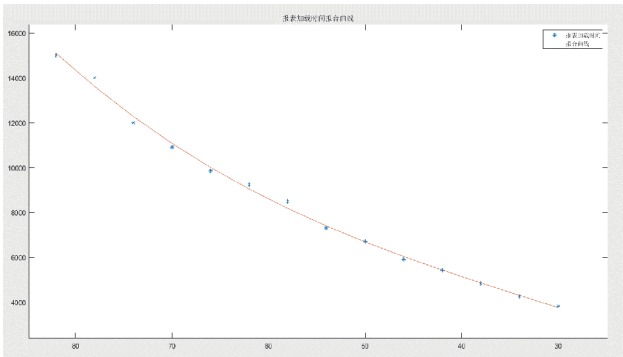


图 8 双机热备模式下报表加载时间变化趋势图

从拟合结果可以看出，承载测点总量超过 53 万个或低于 35 万个，“报表加载时间”趋于直线。其中，超过 53 万个时“报表加载时间”无法满足规范要求；35 万至 55 万个，“报表加载时间”随测点量呈线性增长。

所以，选用服务器架构时，应预先评估测点量，测点量≤50 万，建议选用双机热备模式部署；测点量> 50 万，建议选用集群模式部署。

2.3 远程展示层功能精简及客户端升级

2.3.1 软件功能

在综合监控系统平台的功能方面，应增强运营服务质量、信息安全保障能力，对繁杂的监控数据进行报表统计和告警分析服务。就报表分析功能而言，在数据来源方面，应具备实时数据、历史监控数据、告警数据的统计分析；在运营指导方面，应支持用户根据业务需求输出配置分析结论。就告警分析服务而言，应突破传统的故障显示，利用智能分析功能对触发报警的信号自上而下分析，显示根部故障告警，辅助运维人员判断故障点。

2.3.2 软件架构

现阶段更推荐使用 Web 架构监控系统，采用 B/S 架构，支持 IE 和 Firefox 浏览器随时随地访问，浏览台免安装、免维护^[9]。监控系统的历史数据通过 InfluxDB 开源数据库存储，告警数据和配置通过 Postgresql、MySQL 开源数据库存储。MySQL 因其开放的存储引擎、在不占用过多 CPU 和内存的前提下与磁盘完美兼容的特性，已被数据中心综合监控系统

频繁使用。早期采用 C/S 架构，数据存储在 SQL Server 数据库内，SQL Server 对应用来说完全透明，集群暴露出来的就是 IP 地址，无法按照 Web 服务器的处理能力分配负载，也面临因负载均衡器（控制端）故障导致整个数据库系统瘫痪的难题。

此外，数据中心园区的建设是分批按需建设及投产，这就决定了数据中心监控系统也是分批，MySQL 的高可扩展性更适用于当前的建设模式，通过 Docker 容器化技术，K8S 自动化部署来进行容器编排，也较传统升级方式方便，更加贴合客户的实际建设需求。软件架构的搭建方式和特点如表 4 所示。

表 4 软件架构的搭建方式和特点

架构	部署方式	存储方式	特点
C/S 架构	windows	SQL Server 数据库	无法按照 Web 服务器的处理能力分配负载，存储扩容难
B/S 架构	IE 和 Firefox 等浏览器	历史数据通过 InfluxDB，告警数据和配置通过 Postgresql、MySQL	方便访问和维护，与磁盘兼容性较好

3 监控系统改造实践

中国电信江苏分公司针对南京某数据中心园区开展机房监控升级工程，参照上述应对措施严格控制采集设备单串口接入的设备量，数据传输按照安全防范系统、动力环境监控系统、办公网综合布线系统、暖通监控系统等分类，增设汇聚交换机。考虑园区后期存在新增机房监控需求，监控系统容量应适当预留测点规模，为节约投资维持原服务器架构，采用增加多核服务器与原双机热备服务器组成集群架构部署的方式提升服务器算力，同时升级新版本的软件系统，增添报表分析和故障告警功能。改造后记录系统当前接入测点总量和一般性指令响应时间如表 5。

表 5 实际改造后测点总量与指令加载时间表

接入测点总量 / 万个	列表加载及查询响应时间 /ms	报表加载时间 /ms	3D 展示资源加载时间 /ms
82	5573	7230	9415
78	5492	6930	9057
74	5316	6416	8696
70	4864	6294	7944
66	4558	5692	7426
62	4387	5374	6901
58	4112	4788	6493
54	3967	4231	5974
50	3729	4064	5571
46	3556	3864	5133
42	3407	3763	5073

表 5(续)

接入测点总量 / 万个	列表加载及查询响应时间 /ms	报表加载时间 /ms	3D 展示资源加载时间 /ms
38	3264	3621	4734
34	3116	3467	4202
30	2993	3446	4127

通过工程实践可知，多维度的应对策略解决了综合监控系统延迟问题，提高了数据中心综合监控系统建设过程中的规范性和统一性，有利于数据中心运行监测和运维服务。

4 结论

本文分析了数据中心综合监控系统不同传输层的延迟问题，提出了多个维度应对策略。在工程实践中运用上述应对策略，在满足国家标准、部分企业标准规范的前提下，能有效解决综合监控系统中数据刷新迟缓、多系统混接、架构性能缺陷等常见问题，显著提升运维人员的故障解决效率，为数据中心监控系统技术人员提供了良好的技术参考。

参考文献：

[1] 常亮. 浅析物联网广播系统中延迟问题的解决 [J]. 物联网技术, 2018,8(12):55-57.

[2] GB/T51409-2020. 数据中心综合监控系统工程技术标准 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2020.

[3] 刘帅. 视频监控系统中交换机核心参数的选择 [J]. 有色冶金设计与研究, 2021,42(5):27-30.

[4] 黄凯奇, 陈晓棠, 康运锋, 等. 智能视频监控技术综述 [J]. 计算机学报, 2015,38(66):1093-1118.

[5] 曾高雄, 胡水海, 胡水海, 等. 数据中心网络传输协议综述 [J]. 计算机研究与发展, 2020,57(1):74-84.

[6] 曾丽娟, 杨平, 徐湏基, 等. 基于防火墙双机热备 IPsec VPN 穿越仿真实验设计 [J]. 现代信息科技, 2022,6(16): 96-99+103.

[7] 游灿虹. 服务器集群负载均衡算法分析 [J]. 现代计算机, 2020(11): 1007-1423.

[8] 闫树松. 视频会议服务器集群的设计与实现 [D]. 广州: 华南理工大学, 2015.

[9] 肖桂霞. 基于 B/S 架构的 Web 单点登录协议综述 [J]. 软件, 2023, 44(1):1-5+23.

[10] 中国信息通信研究院. 数据中心白皮书 (2022 年) [R]. 北京: 中国信息通信研究院, 2022.

【作者简介】

梅道光 (1996—)，男，安徽滁州人，硕士研究生，研究方向：控制工程。

王丽 (1977—)，女，江苏南京人，本科，研究方向：电气工程。

(收稿日期：2024-02-22)