

基于数字孪生技术与时间变异系数的 SIM卡初始信息聚合算法

虞明标[†], 韩剑, 王立娜, 姜殿佳, 王广凯

(国网浙江缙云县供电公司, 浙江 缙云 321400)

摘要:为了扩展SIM卡移动终端的空口带宽,提升SIM的通信速率,提出基于数字孪生技术与时间变异系数的SIM卡初始信息聚合算法。利用数字孪生技术获取SIM卡中包含初始信息的孪生数据,构建SIM卡的虚拟组件,时序排列初始信息,分析时间变异系数,确定与划分待聚合的初始信息,计算各网格单元内的密度阈值函数,构建评价函数,获取最佳聚合系数,完成SIM卡初始信息聚合。实验结果表明:上行通信速率和下行通信速率均提升至90Mbps, SIM卡初始信息的聚合效果良好。可以有效拓宽移动通信终端的空口带宽,增强通信信号强度。

关键词:数字孪生技术;时间变异系数;SIM卡;初始信息;聚合算法;密度阈值函数

中图分类号:TP391

文献标识码:A

SIM Card Initial Information Aggregation Algorithm Based on Digital Twinning Technology and Time Variation Coefficient

YU Mingbiao[†], HAN Jian, WANG Lina, JIANG Dianjia, WANG Guangkai

(State Grid Zhejiang Jinyun County Power Supply Company, Jinyun, Zhejiang 321400, China)

Abstract: In order to expand the air port bandwidth of SIM card mobile terminals and improve the communication speed of SIM, a SIM card initial information aggregation algorithm based on digital twin technology and time variation coefficient is proposed. Using digital twin technology to obtain twin data containing initial information in the SIM card, construct virtual components of the SIM card, arrange initial information in a chronological manner, analyze time variation coefficients, determine and partition initial information to be aggregated, calculate density threshold functions within each grid unit, construct evaluation functions, obtain the optimal aggregation coefficient, and complete the aggregation of SIM card initial information. The experimental results show that the uplink communication rate and downlink communication rate are improved to 90Mbps, and the aggregation effect of SIM card initial information is good. It can effectively expand the air port bandwidth of mobile communication terminals and enhance communication signal strength.

Key words: digital twinning technology; time variation coefficient; SIM card; initial information; aggregation algorithm; density threshold function

为用户提供高质量的通信服务^[1]是移动通信领域的研究目的。目前众多移动通信用户普遍反馈通信时的用户网络感受欠佳,移动通信网络的通

信速率无法满足用户的高传输速率需求^[2-4]。客户识别模块(subscriber identity module, SIM)是我国移动通信领域的重要研究内容, SIM卡内存

储信息过多、信息应用性差、上下行信道资源闲置等情况,均是影响移动通信网络服务质量的重要因素。将 SIM 卡中的初始信息利用读卡器写入指定位置^[5-7],实现信息的有效应用。数字孪生技术是结合人工智能技术、三维建模技术以及物联网技术等众多技术的高新技术,将现实生活中的应用场景通过数字化处理,利用计算机构建与现实生活高度相似的可以实现人机交互的孪生场景^[8]。将数字孪生技术应用于 SIM 卡初始信息处理中,通过 SIM 卡初始信息的高效聚合,提升移动通信网络的服务质量。

目前已有众多研究学者针对信息聚合问题进行研究。郭顺利等人将 G-Kmeans 方法应用于用户信息需求聚合中^[9],该方法结合了 GMM 方法和 K-means 聚类算法,对海量信息进行处理,挖掘用户的信息需求,实现用户信息的有效聚合。胡荣磊等人针对物联网通信网络中的证书信息进行聚合^[10],该方法充分考虑了通信网络中证书信息的保密性需求,提升通信网络证书信息聚合的安全性。以上两种方法虽然可以实现信息的有效聚合,但是由于未考虑海量信息对聚合的影响,导致聚合效率较低。

针对以上方法在信息聚合中存在的问题,提出基于数字孪生技术与时间变异系数的 SIM 卡初始信息聚合算法。利用数字孪生技术和时间变异系数,实现 SIM 卡初始信息聚合,提升 SIM 卡初始信息的聚合性能。扩展使用 SIM 卡的移动终端的空口带宽,保障信息聚合的安全性,为用户提供高质量的移动通信网络服务。

1 SIM 卡初始信息聚合算法

1.1 SIM 卡初始信息的读写

SIM 卡由微处理器芯片、工作存储器、数据存储器等硬件集成,通过集成电路集成众多硬件,具有较高的安全性。SIM 卡是接触式卡,其中包含 8 个触点。SIM 卡内包含主文件、专用文件以及基本数据文件三种类型的文件。SIM 卡初始信息的文件逻辑结构如图 1 所示。

通信网络的终端设备利用 SIM 卡实现通信,采用命令响应方式处理通信数据。当通信设备终端发送通信命令至 SIM 卡时,SIM 卡完成数据处理后,形成应答数据,传送至通信终端设备。通信终端设备接收数据传输命令前^[11],不形成任何数

据传输内容在 SIM 卡中。SIM 卡与通信终端间的通信,依据严格的通信传输协议实现数据传输。

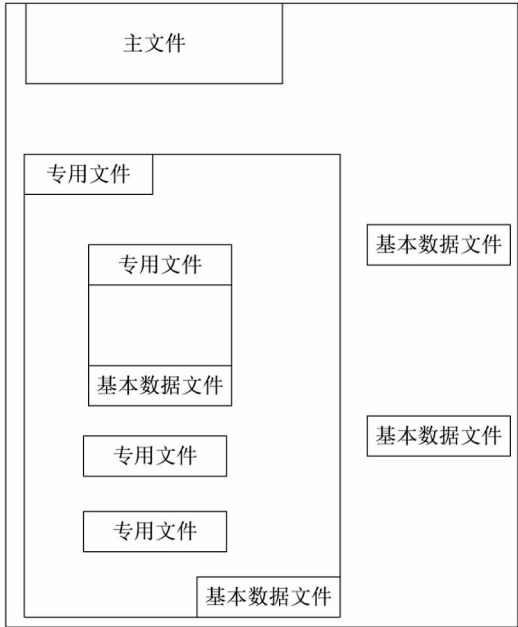


图 1 SIM 卡初始信息的文件逻辑结构图

1.2 数字孪生技术的 SIM 卡虚拟组件构建

数字孪生技术是 SIM 卡初始信息聚合的核心。SIM 卡中包含初始信息的孪生数据。孪生数据是对 SIM 卡初始信息的数字化重建,通过数字孪生技术实现 SIM 卡内初始数据与三维数字模型的有机结合。通过 SIM 卡初始信息的孪生数据,体现 SIM 卡内实体空间内数据的活动情况,包括 SIM 卡实体物理设备的动作以及数据间的相关关系^[12]。通过数字孪生技术,实现 SIM 卡初始信息在数字空间内的虚拟在线,以及 SIM 卡虚拟数据初始信息聚合的分析、优化以及聚合决策。

为了实现 SIM 卡初始信息的高效聚合,构建 SIM 卡的三维孪生模型极为重要,利用数字孪生技术的虚实交互过程,实现 SIM 初始信息聚合的优化决策。构建 SIM 卡的虚拟组件,是数字孪生技术的基础,SIM 卡虚拟组件构建流程如图 2 所示。

构建 SIM 卡的虚拟组件,主要包括设置组件属性、编写内部驱动程序等部分。SIM 卡的每个虚拟组件均包含一个对应的 ID,利用 ID 序号区分 SIM 卡的虚拟组件。SIM 卡每个虚拟组件的每个 ID 均包含一个相应的根节点,利用根节点构建 SIM 卡的特征、属性、行为以及其他子节点。SIM 卡虚拟组件中,属性和特征分别表示 SIM 卡虚拟

组件的变量以及静态特征^[13]。虚拟组件的外观、行为和几何特征具有较高的动态性,利用动态属性为 SIM 卡的不同任务提供动作。

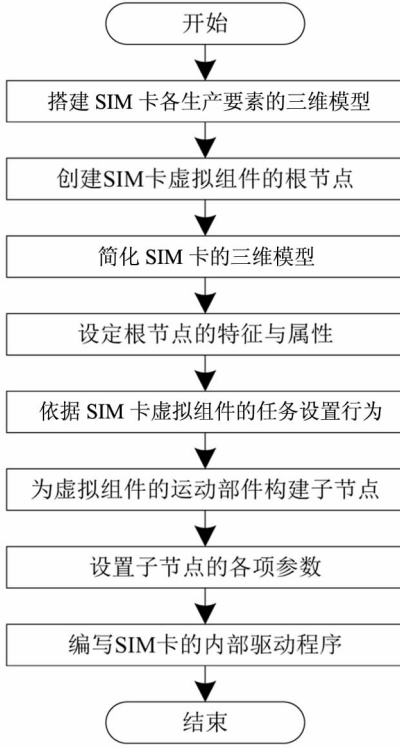


图 2 SIM 卡虚拟组件构建流程

1.3 基于时间变异系数的 SIM 卡孪生数据分析

SIM 初始信息依据时间序列排序后,形成的时间间隔表达式如下:

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i \quad (1)$$

公式(1)中, t_i 表示 SIM 卡初始信息的发生时刻。

将 SIM 卡初始信息依据时间顺序排列后,设置 SIM 卡初始信息的时间间隔为 τ ,以该时间间隔为长度,利用相同距离,将 SIM 卡初始信息的时间轴划分为多个连续的初始信息时间窗口^[14]。完成时间窗口划分后,形成的区间计数序列用 $N_k(\tau)$ 表示。区间计数序列表示以 τ 为时间窗口长度的、等距离划分的窗口 k 内的 SIM 初始信息数量。

利用变异系数 G 衡量 SIM 卡初始信息的分布特征。变异系数是所划分 SIM 卡初始信息的时间间隔标准差与均值之比,用于衡量单位均值上 SIM 卡初始信息的离散程度。SIM 卡初始信息时间变异系数的计算公式如下:

$$G = \delta_t / \overline{\Delta t} \quad (2)$$

公式(2)中, δ_t 与 $\overline{\Delta t}$ 分别表示时间间隔序列 Δt_i 的标准差以及均值。

当 SIM 卡初始信息的过程序列为完全随机状态的泊松分布过程时, SIM 卡内的初始信息为互相独立状态, SIM 卡初始信息的变异系数满足 $G = 1$ 条件;当 SIM 卡内的初始信息为 $G > 1$ 时,表示 SIM 卡初始信息内的信息满足信息聚合的分布特征^[15],初始信息的聚合特征伴随变异系数的增加变得更加明显。

基于所构建的 SIM 卡数字孪生三维模型,分析 SIM 卡初始信息的时间变异系数。当变异系数满足 $G = 1$ 条件时,表示初始信息为独立状态,此时无须聚合 SIM 卡初始信息;当初始信息的时间变异系数为 $G > 1$ 时,采用密度阈值函数方法,聚合 SIM 卡初始信息。

1.4 基于密度阈值函数的 SIM 卡初始信息聚合

依据所构建的 SIM 卡数字孪生三维模型中的 SIM 卡初始信息,利用时间变异系数确定待聚合 SIM 卡初始信息后,将聚合的 SIM 卡初始信息进行网格单元划分,划分后的网格单元中包含多维空间 s 。将 SIM 卡初始信息的 k 维数据划分为相同长度的 d_k 段,各段的 SIM 卡初始数据集合用 $s_k = \{s_{k_1}, s_{k_2}, \dots, s_{k_k}\}$ 表示。将 SIM 卡初始信息聚合的数字孪生三维空间划分为 $\prod p_k$ 个空间。设存在网格单元 m ,该网格单元中的数据用 $d = \{d_1, d_2, \dots, d_n\} \in m$ 表示,存在约束条件 $d_k \in s_{k_{g_t}}$ 。其中 g_t 表示 SIM 卡数字孪生空间内的网格单元。设 SIM 卡数字孪生空间中共存在 w 个网格单元,各单元密度均在 β 内。时间 t_b 固定时,每加入一个新数据在网格单元 m 中,网格单元密度的表达式如下:

$$B(m, t_d) = \beta B(m, t_b) + 1 \quad (3)$$

公式(3)中, t_d 表示加入 SIM 初始数据的时间。

数据加入网格单元的时间为 t_d ,网格单元内的数据密度受到时间影响而有所改变,将数据密度转化如下:

$$B(d, t) = \beta^{-t_d} \quad (4)$$

公式(4)中, β 表示流动系数; d 表示 SIM 卡的初始数据。

网格单元 m 内 SIM 卡初始数据的密集程度为 $B(m, t)$ 时,随着时间变化, t 与 y 的分布密度表达

式如下:

$$B_i = Z_i / [\omega(1 - \beta)] \quad (5)$$

$$B_y = Z_y / [\omega(1 - \beta)] \quad (6)$$

以上公式中, Z_i 与 Z_y 均为常量, 满足 $Z_i > Z_y$, 满足 $B_i \leq B(m, t)$ 条件时, 表示该单元为密集单元; 满足 $B_y > B(m, t) \leq B_i$ 时, 将新的网格单元代替原有网格单元; 满足 $B_y > B(m, t)$ 时, 该网格单元为噪声网格单元。

设 t_a 与 t_b 分别为网格单元内 SIM 卡初始信息的初始移动时间与最终移动时间, 二者的密度阈值函数表达式如下:

$$B(t_b, t_a) = \frac{Z_y(1 - \beta^{t_a - t_b + 1})}{\omega(1 - \beta)} \quad (7)$$

利用公式(7)的密度阈值函数, 判断 SIM 卡初始信息是否属于噪声网格单元。集合内的最小值 $B_{\min}$, 依据时间长短, 判断网格内数据。经过时间的不断更新, 确定密度函数阈值。

SIM 卡初始信息聚合时, 通过聚类中心的选取, 判断不同数据间的距离, 确定最佳聚类系数。从待聚合的 SIM 卡初始信息密集单元中, 搜寻一个具有最大位移的初始 K 值作为聚类中心, 提升聚合算法的运算性能。

将 SIM 卡初始信息的密集单元设置为圆心, 将数据的最大间距 r 作为聚类半径, 该半径下的圆形区域即为 r 邻域。设置上限阈值 p , 在 r 区域内包含最多 p 个元素, 该元素为网格中心。多维空间内, 元素的最佳距离表达式如下:

$$d = \sqrt{(x_{i1} - y_{i1})^2 + (x_{i2} - y_{i2})^2 + \dots + (x_{in} - y_{in})^2} \quad (8)$$

公式(8)中, i 与 j 分别表示 SIM 卡初始信息中的两个数据; $d(i, j)$ 表示数据间距; n 表示空间维度。网格内数据数量高于阈值 p 时, 可将该数据移动至密集单元集合内, 在密集单元集合中搜寻初始聚类中心, 通过系数 K 实现数据的聚类运算。

设 SIM 卡初始信息 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ 可以分为 k 个小组 $\{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, 用 m_i 表示聚类中心, 设网格数据中随机点与聚类中心的距离表达式如下:

$$D_1 = \frac{\sum \sqrt{(x_j - m_i)^2}}{N} \quad (9)$$

网格内边缘数据与聚类中心间距表达式如下:

$$D_2 = \min_{2 \in i \in kmus} d(m_i, m_j) \quad (10)$$

以上公式中, N 表示待聚合的 SIM 初始数据

总数; $d(m_i, m_j)$ 表示 C_i 与 C_j 间的距离。依据以上公式, 获取 SIM 卡初始信息聚合的评价函数表达式如下:

$$U = \frac{D_2 - D_1}{D_2 + D_1} \quad (11)$$

公式(11)的计算结果在 $[-1, 1]$ 间, 该函数值与 1 越接近, 表示网格间的数据存在越小的差异性, 聚类性能越高; 公式(11)的计算结果与 -1 越接近时, 表示聚类效果越差。当 U 值为最大值时, 该值对应的系数 K 即为 SIM 卡初始信息聚合的最佳聚合系数。利用最佳聚合系数完成 SIM 卡初始信息聚合后, 有效保留网格数据中包含的 SIM 卡初始信息, 实现 SIM 卡初始信息的永久储存。

2 实验分析

为了验证所设计的基于数字孪生技术与时间变异系数的 SIM 卡初始信息聚合算法对 SIM 卡初始信息聚合的有效性, 将该方法应用于某通信公司的 SIM 卡初始信息聚合中。选取该通信公司的 100 张 SIM 卡作为信息聚合测试的实验对象, SIM 卡中包含客户号码、PUK 码等初始信息。每张 SIM 卡的初始信息中均包含主文件、专用文件以及基本数据文件。

SIM 卡初始信息的数据分布如图 3 所示。

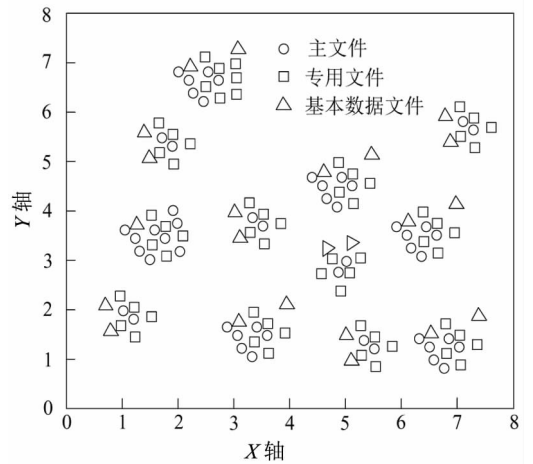


图 3 SIM 卡初始信息分布

通过图 3 实验结果可以看出, SIM 卡的初始信息中主要包括主文件、专用文件以及基本数据文件, 各 SIM 卡中, 不同类型的文件分布较为分散, 影响 SIM 卡的使用性能。

采用本文方法计算 SIM 卡的时间变异系数，计算结果如表 1 所示。

表 1 SIM 卡初始信息的时间变异系数

SIM 卡序号	行数	列数	变异系数
1	152	8	1
2	124	7	1.264
3	132	6	1.348
4	215	5	1.052
5	205	10	1.648
6	141	11	1.523
7	152	12	1.169
8	136	16	1.254
9	125	18	1
10	142	12	1.635

通过表 1 实验结果可以看出，采用本文方法可以有效计算各 SIM 卡的时间变异系数。采用本文方法计算的 SIM 卡初始信息的时间变异系数中，包含大于 1 以及等于 1 的计算结果。对时间变异系数大于 1 的 SIM 卡初始信息进行聚合处理。

采用本文方法对 SIM 卡初始信息进行聚合处理，SIM 卡初始信息聚合结果如图 4 所示。

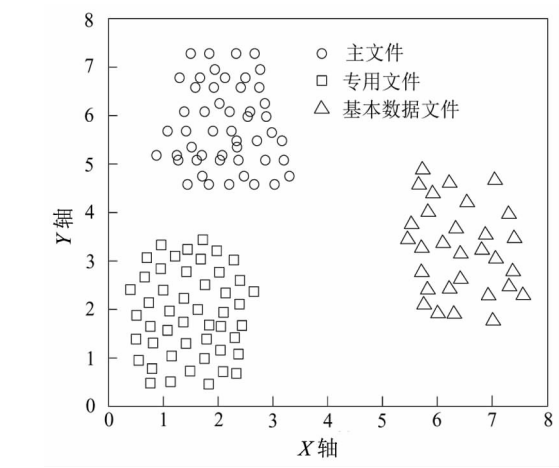


图 4 SIM 初始信息聚合结果

通过图 4 实验结果可以看出，采用本文方法可以有效聚合 SIM 卡初始信息。采用本文方法聚合 SIM 卡初始信息后，SIM 卡内包含的主文件、专用文件以及基本数据文件分别实现高效聚合。多张 SIM 卡的主文件与主文件聚合至相同区域内，相同类型的专用文件与基本数据文件同样聚合至相同区域内。实验结果验证本文方法具有较高的聚

合性能。

为了进一步验证本文方法的聚合性能，统计采用本文方法聚合 SIM 卡初始信息的数据丢失量，统计结果如图 5 所示。

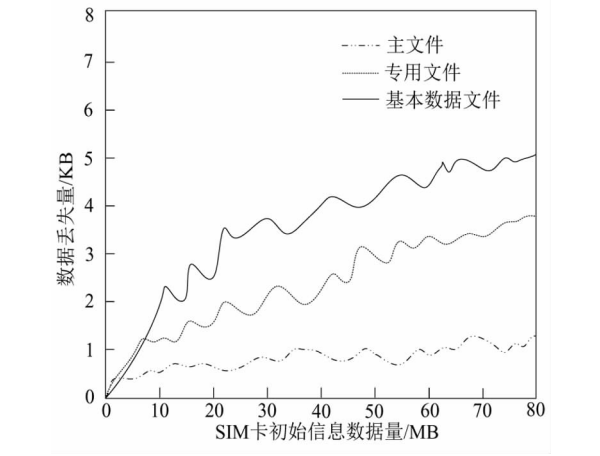


图 5 数据丢失量统计结果

通过图 5 实验结果可以看出，采用本文方法聚合 SIM 卡初始信息，数据丢失量极低，仅存在极少量的主文件、专用文件以及基本数据文件丢失情况。采用本文方法聚合 SIM 卡初始信息，不仅可以实现 SIM 卡初始信息的有效聚合，同时可以保证 SIM 卡初始信息聚合时，保留 SIM 卡内的有效信息，数据丢失量极低，验证本文方法具有较高的应用性。

统计采用本文方法聚合 SIM 卡初始信息，SIM 卡通信过程中的上行通信速率以及下行通信速率，统计结果如图 6 所示。

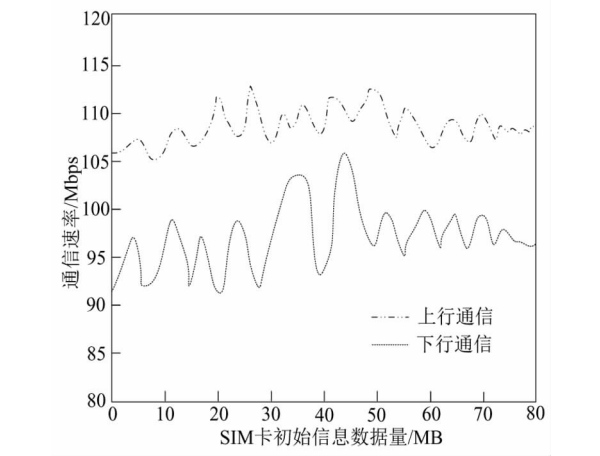


图 6 SIM 卡通信速率

通过图 6 实验结果可以看出，采用本文方法聚合 SIM 卡初始信息，聚合后 SIM 卡的通信速率均

高于 90 Mbps。实验结果表明,采用本文方法不仅可以有效聚合 SIM 卡初始信息,同时对 SIM 卡实际应用中的通信速率存在明显提升作用。采用本文方法对 SIM 卡初始信息进行聚合,有效拓宽移动通信终端的空口带宽,增强通信信号强度。

3 结 论

该方法通过 SIM 卡初始信息聚合,实现通信数据的并行传输,使用户使用 SIM 卡时,无须依赖单一的移动通信网络,不受通信带宽限制。有效提升移动通信数据的传输速率,为移动通信网络的用户提供更好的通信体验,保障移动通信网络的服务质量。随着数字孪生技术的深入发展,所提方法有着广阔的发展前景和应用前景,在 SIM 卡制造领域具有重要意义和应用价值。

参考文献

[1] 武志鹏,焦红卫,张翠,等. 基于 ABB IRB120 型机械臂的手机 SIM 卡装配工艺研究[J]. 机床与液压, 2020, 48(5):73—77+183.

[2] 史凯钰,张东霞,韩肖清,等. 基于 LSTM 与迁移学习的光伏发电功率预测数字孪生模型[J]. 电网技术, 2022, 46(4):1363—1372.

[3] 刘洋,李肇坤,孙宇晖,等. 基于数字孪生的智能产品模块管控交互仿真[J]. 计算机仿真, 2022, 39(4):371—374+412.

[4] 陈玟宇,朱章黔,王晓蒙,等. 排名聚合算法在少量长列表聚

合中的性能比较分析[J]. 物理学报, 2020, 69(8):127—139.

[5] 萧展辉,唐良运,孙刚. 供应商网络结构特征多维层次聚集算法[J]. 沈阳工业大学学报, 2022, 44(4):415—419.

[6] 陈少东,李志强. 海量数据下广义线性模型参数的聚合估计算法研究[J]. 统计与信息论坛, 2020, 35(7):18—24.

[7] 朱世豪,朱武. 基于 TCT 结构采用变异系数法光伏阵列重构策略[J]. 电源技术, 2022, 46(7):807—810.

[8] 徐周波,李珍,刘华东,等. 基于邻居信息聚合的子图同构匹配算法[J]. 计算机应用, 2021, 41(1):43—47.

[9] 郭顺利,步辉,何宏国. 基于 G-Kmeans 的网络问答社区话题用户信息需求聚合方法及应用研究[J]. 情报理论与实践, 2022, 45(6):170—178.

[10] 胡荣磊,李文敬,蒋华,等. 适用于物联网通信的无证书聚合签名算法[J]. 计算机应用研究, 2020, 37(1):208—211.

[11] 沈佳杰,卢修文,向望,等. 分布式存储系统读写一致性算法性能优化研究综述[J]. 计算机工程与科学, 2022, 44(4):571—583.

[12] 刘志峰,陈伟,杨聪彬,等. 基于数字孪生的零件智能制造车间调度云平台[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(6):1444—1453.

[13] 钱晓辉,姜启波. 基于组合赋权的变异系数法在质量评价中的应用[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2019, 42(4):44—48.

[14] 郭洪飞,冯亚磊,丁娜,等. 基于 CiteSpace 的数字孪生技术研究进展与趋势分析[J]. 计算机集成制造系统, 2020, 26(12):3195—3204.

[15] 陈何雄,吴佳平,韦宇凯,等. 面向软件定义网络的可变粒度数字孪生构建技术[J]. 计算机应用研究, 2022, 39(10):3101—3107.