# A. 文章原理公式及完整实验结果

## A.1 第 2.2 节的优化过程

变量$\mathbf{M}$和$\mathbf{P}$可以如下交替进行求解：

步骤 1：优化$\mathbf{M}$时，固定$\mathbf{P}$，将第 2.2 节 MDC 目标函数（2）转换为：

$$\min_{\mathbf{M}} \sum_{k=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}\left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}\right\|_{2} \tag{A.1}$$

引入辅助变量$h_{ik}=(\left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{M}_{K}\mathbf{P}\right\|_{2})^{-1}$来表示投影空间中$\mathbf{X}_{MSPE}^{i}$与$\mathbf{M}_{K}$之间的距离，因此上式可以表示为：

$$\min_{\mathbf{M}} \sum_{k=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}\left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}\right\|_{2}=\sum_{k=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}\left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}\right\|_{2}^{2}h_{ik} \tag{A.2}$$

计算公式（A.2）对$\mathbf{M}_{k}$的偏导数，可得：

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial\sum_{k=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}\left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}\right\|_{2}^{2}h_{ik}}{\partial\mathbf{M}_{k}}\\
&=\sum_{i=1}^{n}2(\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}-\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P})\mathbf{P}^{\mathrm{T}}h_{ik}\\
&=\sum_{i=1}^{n}2(\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}-\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P})\mathbf{P}^{\mathrm{T}}h_{ik}
\end{aligned} \tag{A.3}$$

令公式（A.3）为 0，可得出$\mathbf{M}_{k}$：

$$\mathbf{M}_{k}=\frac{\sum_{i=1}^{N}\mathbf{X}_{MSPE}^{i}h_{ik}}{\sum_{i=1}^{N}h_{ik}} \tag{A.4}$$

步骤 2：优化$\mathbf{P}$时，固定$\mathbf{M}$，将目标函数（2）转换为：

$$\begin{aligned}
&\min_{\mathbf{P}} \sum_{k=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}\left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}\right\|_{2}\\
&+\sigma\sum_{i,j}\left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{X}_{MSPE}^{j}\mathbf{P}\right\|\mathbf{W}_{ij}\\
&+\varsigma\left\|\mathbf{P}\right\|_{2,1}\\
&s.t.\ \mathbf{P}^{T}\mathbf{P}=\mathbf{I}
\end{aligned} \tag{A.5}$$

公式（A.5）可以看作由三部分组成，所以可以将其先拆分成三部分，并逐一分析每个部分的数学含义进行求解：

①第一部分求解：在此通过引入辅助变量$\tilde{\mathbf{H}}$和$\hat{\mathbf{H}}$，可得：

$$
\begin{aligned}
&\sum_{k=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}\left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}\right\|_{2} \\
&=\sum_{k=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}\left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}\right\|_{2}^{2}h_{ik} \\
&=\sum_{k=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}(\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}^{i}{}^{\mathbf{T}}h_{ik}-2\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}^{i}{}^{\mathbf{T}}h_{ik}+\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{M}_{k}{}^{\mathbf{T}}h_{ik}) \\
&=\sum_{i=1}^{n}\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}^{i}{}^{\mathbf{T}}(\sum_{k=1}^{c}h_{ik})-\sum_{k=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}2\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}^{i}{}^{\mathbf{T}}h_{ik} \\
&+\sum_{k=1}^{c}\mathbf{M}_{k}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{M}_{k}{}^{\mathbf{T}}(\sum_{i=1}^{N}h_{ik}) \\
&\Rightarrow Tr(\mathbf{X}_{MSPE}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathbf{T}}\tilde{\mathbf{H}})-Tr(2\mathbf{M}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathbf{T}}\mathbf{H})+Tr(\mathbf{M}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{M}^{T}\widehat{\mathbf{H}}) \\
&\Rightarrow Tr(\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathbf{T}}\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{X}_{MSPE}\mathbf{P})-Tr(2\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathbf{T}}\mathbf{H}\mathbf{M}\mathbf{P})+Tr(\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{M}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{H}}\mathbf{M}\mathbf{P})
\end{aligned}
\tag{A.6}
$$

②第二部分求解：在此通过引入辅助变量 $Q=[q_{ij}]_{n\times n}$，其中 $q_{ij}=\begin{cases}\dfrac{1}{2\left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{X}_{MSPE}^{j}\mathbf{P}\right\|_{2}} & \left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{X}_{MSPE}^{j}\mathbf{P}\right\|_{2}\neq 0\\ 0 & \left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{X}_{MSPE}^{j}\mathbf{P}\right\|_{2}=0\end{cases}$，$q_{ij}$ 可以看作是 $\mathbf{W}_{ij}$ 增加了一个权重。$\mathbf{X}_{MSPE}^{i}$ 距离 $\mathbf{X}_{MSPE}^{j}$ 越远则 $\mathbf{W}_{ij}$ 越小，进一步降低了它们之间的相似性。如果 $\mathbf{X}_{MSPE}^{i}$ 与 $\mathbf{X}_{MSPE}^{j}$ 重合，则 $\mathbf{W}_{ij}$ 是无效的。由此可得：

$$
\begin{aligned}
&\mu\sum_{i,j}\left\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{X}_{MSPE}^{j}\mathbf{P}\right\|_{2}^{2}\mathbf{W}_{ij}q_{ij} \\
&=\mu\sum_{i,j}(2\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}^{i}{}^{\mathbf{T}}-2\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}^{j}{}^{\mathbf{T}})\mathbf{W}_{ij}q_{ij} \\
&=2\mu\sum_{i,j}(\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}^{i}{}^{\mathbf{T}}-\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}^{j}{}^{\mathbf{T}})\mathbf{W}_{ij}q_{ij} \\
&=2\mu\sum_{i}\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}^{i}{}^{\mathbf{T}}\sum_{j}\mathbf{W}_{ij}q_{ij}-2\sum_{i,j}\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}^{j}{}^{\mathbf{T}}\mathbf{W}_{ij}q_{ij} \\
&=2\mu Tr(\mathbf{X}_{MSPE}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathbf{T}}\mathbf{R})-2\mu Tr(\mathbf{X}_{MSPE}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathbf{T}}\mathbf{W}) \\
&=2\mu Tr(\mathbf{X}_{MSPE}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathbf{T}}(\mathbf{R}-\mathbf{W}\otimes\mathbf{Q})) \\
&=2\mu Tr(\mathbf{X}_{MSPE}\mathbf{P}\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathbf{T}}\mathbf{L}) \\
&=2\mu Tr(\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathbf{T}}\mathbf{L}\mathbf{X}_{MSPE}\mathbf{P})
\end{aligned}
\tag{A.7}
$$

其中 $\otimes$ 代表 $\mathbf{W}$ 和 $\mathbf{Q}$ 的哈达玛积（Hadamard），$\mathbf{L}=\mathbf{R}-\mathbf{W}\otimes\mathbf{Q}$，$\mathbf{L}$ 是由 $\mathbf{W}\otimes\mathbf{Q}$ 求出的拉普拉斯矩阵，由此可得：

$$
\mathbf{R}=\begin{bmatrix}R_{11} & 0 & \cdots & 0\\ 0 & R_{22} & \cdots & 0\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ 0 & 0 & \cdots & R_{NN}\end{bmatrix}, R_{ii}=\sum_{j}\mathbf{W}_{ij}q_{ij}
\tag{A.8}
$$

③第三部分求解：

$$
\left\|\mathbf{P}\right\|_{2,1}=2Tr(\mathbf{P}^{\mathbf{T}}\mathbf{D}\mathbf{P})
\tag{A.9}
$$

其中 $\mathbf{D}$ 可表示为：

$$\mathbf{D}=\begin{bmatrix} D_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & D_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & D_{MM} \end{bmatrix}, D_{ii}=\frac{1}{2\|\mathbf{P}\|_2} \tag{A.10}$$

④最后，整合以上三部分可得：

$$\begin{aligned}
&\min_{\mathbf{P}} \sum_{k=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}\|\mathbf{X}_{MSPE}\mathbf{P}-\mathbf{M}_k\mathbf{P}\|_2+\sigma\sum_{i,j}\|\mathbf{X}_{MSPE}^{i}\mathbf{P}-\mathbf{X}_{MSPE}^{j}\mathbf{P}\|\mathbf{W}_{ij}+\varsigma\|\mathbf{P}\|_{2,1}\\
&\Leftrightarrow \min_{\mathbf{P}} Tr(\mathbf{P}^{\mathrm{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{X}_{MSPE}\mathbf{P})-Tr(2\mathbf{P}^{\mathrm{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{MP})\\
&+Tr(\mathbf{P}^{\mathrm{T}}\mathbf{M}^{\mathrm{T}}\mathbf{MP})+2\sigma Tr(\mathbf{P}^{\mathrm{T}}\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{L}\mathbf{X}_{MSPE}\mathbf{P})+2\varsigma Tr(\mathbf{P}^{\mathrm{T}}\mathbf{AP})\\
&\Leftrightarrow \min_{\mathbf{P}} Tr(\mathbf{P}^{\mathrm{T}}((\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{X}_{MSPE}-2\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{M}+\mathbf{M}^{\mathrm{T}}\mathbf{M})\\
&+2\sigma\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{L}\mathbf{X}_{MSPE}+2\varsigma\mathbf{A}))\mathbf{P}\\
&\Leftrightarrow \min_{\mathbf{P}} Tr(\mathbf{P}^{\mathrm{T}}((\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{X}_{MSPE}-(\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{M}+\mathbf{M}^{\mathrm{T}}\mathbf{X}_{MSPE})+\mathbf{M}^{\mathrm{T}}\mathbf{M})\\
&+2\sigma\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{L}\mathbf{X}_{MSPE}+2\varsigma\mathbf{A}))\mathbf{P}\\
&\mathbf{B}=(\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{X}_{MSPE}-(\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{M}+\mathbf{M}^{\mathrm{T}}\mathbf{X}_{MSPE})+\mathbf{M}^{\mathrm{T}}\mathbf{M})\\
&+2\sigma\mathbf{X}_{MSPE}{}^{\mathrm{T}}\mathbf{L}\mathbf{X}_{MSPE}+2\varsigma\mathbf{A})
\end{aligned} \tag{A.11}$$

显然，$\mathbf{B}$ 是一个实对称矩阵。因此，可以根据 $\mathbf{B}$ 的特征值分解结果求解 $\mathbf{P}$，且所得到的 $\mathbf{P}$ 必然是正交的。$\mathbf{P}\in R^{2d\times q}$ 由特征向量组成，其对应的特征值是 $q$ 的非零最小值。$q$ 代表投影空间中变量的个数。当获得最终优化后的变量 $\mathbf{M}$ 和 $\mathbf{P}$ 后，可根据下式求得第二层样本空间，即由保持降维式聚类模块 MDC 生成的样本空间 $\mathbf{X}_{MDC}$：

$$\mathbf{X}_{MDC}=\mathbf{MP} \tag{A.12}$$

## A.2 第 2.3 节的优化过程

因此，在求解第 2.3 节 DSICM 目标函数（12）时，变量 $\mathbf{\Phi}$，$\mathbf{Q}$ 和 $\mathbf{\Theta}$ 可以如下交替进行求解：

步骤 1：优化 $\mathbf{\Phi}$ 时，固定 $\mathbf{Q}$ 和 $\mathbf{\Theta}$，将公式（12）中的目标函数转换为：

$$\begin{aligned}
&\min_{\mathbf{\Phi}} \frac{\mathcal{G}}{n^2}\mathbf{\Phi}^{\mathrm{T}}(\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q}\mathbf{1}(\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q})^{\mathrm{T}}-\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q}\mathbf{1}(\mathbf{K}_{MDC})^{\mathrm{T}}\\
&-\mathbf{K}_{MSPE'}\mathbf{1}\mathbf{Q}^{\mathrm{T}}(\mathbf{K}_{MDC})^{\mathrm{T}})+\mathbf{K}_{MSPE'}\mathbf{1}(\mathbf{K}_{MSPE'})^{\mathrm{T}})\mathbf{\Phi}\\
&+\frac{1}{n^2}[Tr(\mathbf{\Phi}^{\mathrm{T}}\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{QD}(\mathbf{\Phi}^{\mathrm{T}}\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q})^{\mathrm{T}})\\
&+Tr(\mathbf{\Phi}^{\mathrm{T}}\mathbf{K}_{MSPE'}\mathbf{D}(\mathbf{\Phi}^{\mathrm{T}}\mathbf{K}_{MSPE'})^{\mathrm{T}})\\
&-2Tr(\mathbf{\Phi}^{\mathrm{T}}\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{QW}(\mathbf{\Phi}^{\mathrm{T}}\mathbf{K}_{MSPE'})^{\mathrm{T}})]\\
&s.t.\ \mathbf{\Phi}^{\mathrm{T}}\mathbf{K}\mathbf{\Phi}=\mathbf{I}
\end{aligned} \tag{A.13}$$

对此可以推导出第 $j$ 次迭代列的解 $\mathbf{\Phi}_j$。通过设置令公式（A.13）对 $\mathbf{\Phi}_{j(:,i)}$ 的偏导数为零，得到 $\mathbf{\Phi}_j$ 中的第 $i$ 列向量：

$$
\begin{aligned}
&\frac{1}{n^2}Tr(\mathbf{\Phi}^{\mathbf{T}}\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{QD}(\mathbf{\Phi}^{\mathbf{T}}\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q})^{\mathbf{T}})+\mathbf{K}_{MSPE^{'}}\mathbf{D}(\mathbf{K}_{MSPE^{'}})^{\mathbf{T}}\\
&-\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{QW}(\mathbf{K}_{MSPE^{'}})^{\mathbf{T}}-\mathbf{K}_{MSPE^{'}}\mathbf{WQ}^{\mathbf{T}}(\mathbf{K}_{MDC})^{\mathbf{T}})\mathbf{\Phi}_{j(:,i)}\\
&+\frac{\partial}{n^2}(\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q1Q}^{\mathbf{T}}(\mathbf{K}_{MDC})^{\mathbf{T}}-\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q1}(\mathbf{K}_{MSPE^{'}})^{\mathbf{T}}\\
&-\mathbf{K}_{MSPE^{'}}\mathbf{1Q}^{\mathbf{T}}(\mathbf{K}_{MDC})^{\mathbf{T}}+\mathbf{K}_{MPSE^{'}}\mathbf{1}(\mathbf{K}_{MPSE^{'}})^{\mathbf{T}})\mathbf{\Phi}_{j(:,i)}\\
=&-\lambda\mathbf{K\Phi}_{j(:,i)}
\end{aligned}
\tag{A.14}
$$

步骤 2：优化$\mathbf{Q}$时，固定$\mathbf{\Phi}$和$\mathbf{\Theta}$，将公式（12）中的目标函数转换为：

$$
\begin{aligned}
\min_{\mathbf{Q}}\quad &\frac{\mathcal{G}}{n^2}\mathbf{\Phi}^{T}(\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q1}(\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q})^{\mathbf{T}}-\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q1}(\mathbf{K}_{MDC})^{\mathbf{T}}-\mathbf{K}_{MSPE^{'}}\mathbf{1Q}^{\mathbf{T}}(\mathbf{K}_{MDC})^{\mathbf{T}}))\mathbf{\Phi}\\
&+\frac{1}{n^2}(Tr(\mathbf{\Phi}^{\mathbf{T}}\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{QD}(\mathbf{\Phi}^{\mathbf{T}}\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q})^{\mathbf{T}})-2Tr(\mathbf{\Phi}^{\mathbf{T}}\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{QW}(\mathbf{\Phi}^{\mathbf{T}}\mathbf{K}_{MSPE^{'}})^{\mathbf{T}}))\\
&+Tr(\mathbf{E}^{\mathbf{T}}(\mathbf{Q}-\mathbf{\Theta}))+\frac{\rho 1}{2}(\|\mathbf{Q}-\mathbf{\Theta}\|_F^2)
\end{aligned}
\tag{A.15}
$$

梯度下降算法（Gradient-Descent）是一种优化方法，通过计算目标函数的梯度并沿着负梯度方向更新参数，逐步调整参数以最小化目标函数值，从而找到最优解，这一过程反复迭代直至满足收敛条件。因此公式（A.15）可以使用梯度下降算法求解变量$\mathbf{Q}$的封闭解，并经过$(j+1)$次迭代后，$\mathbf{Q}_{j+1}$可以转换为：

$$
\begin{aligned}
\mathbf{Q}_{j+1}=\mathbf{Q}_j-\frac{2}{n^2}&((\mathbf{K}_{MDC})^{\mathbf{T}}\mathbf{\Phi\Phi}^{\mathbf{T}}\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{QD}\\
&-(\mathbf{K}_{MDC})^{\mathbf{T}}\mathbf{\Phi\Phi}^{\mathbf{T}}(\mathbf{K}_{MSPE^{'}}\mathbf{W})+\mathbf{E}+\rho 1(\mathbf{Q}-\mathbf{L})\\
&+\frac{2\partial}{n^2}[(\mathbf{K}_{MDC})^{\mathbf{T}}\mathbf{\Phi\Phi}^{\mathbf{T}}\mathbf{K}_{MDC}\mathbf{Q1}-(\mathbf{K}_{MDC})^{\mathbf{T}}\mathbf{\Phi\Phi}^{\mathbf{T}}\mathbf{K}_{MSPE^{'}}\mathbf{1}]
\end{aligned}
\tag{A.16}
$$

步骤 3：优化$\mathbf{\Theta}$时，固定$\mathbf{\Phi}$和$\mathbf{Q}$，将公式（12）中的目标函数转换为：

$$
\min_{\mathbf{\Theta}}\quad \gamma\|\mathbf{\Theta}\|_*+Tr(\mathbf{E}^{\mathbf{T}}(\mathbf{Q}-\mathbf{\Theta}))+\frac{\alpha}{2}(\|\mathbf{Q}-\mathbf{\Theta}\|_F^2)
\tag{A.17}
$$

在经过$(j+1)$次迭代之后，$\mathbf{\Theta}_{j+1}$可以优化为：

$$
\mathbf{\Theta}_{j+1}=\min_{\mathbf{\Theta}j}\quad \lambda_1 Tr({\mathbf{\Theta}_j}^{\mathbf{T}}\mathbf{\Theta}_j)^{\frac{1}{2}}+Tr(\mathbf{E}_{\mathbf{1}}^{\mathbf{T}}{}_j(\mathbf{Q}_j-\mathbf{\Theta}_j))+\frac{\alpha_j}{2}(\|\mathbf{Q}_j-\mathbf{\Theta}_j\|_F^2)
\tag{A.18}
$$

奇异值阈值（Singular Value Thresholding，SVT）算子是一种矩阵降噪技术，通过保留矩阵的主要奇异值，将其余奇异值置零以减少噪声和冗余信息，从而实现数据压缩和去噪处理。因此公式（A.18）可使用 SVT 算子求解得到最终优化变量$\mathbf{\Theta}$。

当获得最优变量$\mathbf{\Phi}$时，通过$\mathbf{X}_{MDC}{}'=[\mathbf{\Phi}^{\mathbf{T}}\varphi(\mathbf{X}_{OP})^{\mathbf{T}}\varphi(\mathbf{X}_{MDC})]^{\mathbf{T}}$可得到与 MSPE 保持样本数据结构信息的局部和全局一致性后的一次聚类包络样本集，其中$d'$表示 DSICM 后的样本维数。DSICM 使算法能够在构造多层样本空间的情况下保持样本数据结构信息的局部和全局一致性，从而实现有效的样本转换。

## A.3 第 4.2.1 节 MSPE、MDC 和 DSICM 的有效性验证完整实验结果

表 A.1-表 A.4 分别对应本文算法各阶段的样本的质量在 ACC、F1、AUC、AP 的比较。

表 A.1 本文算法各阶段的样本的质量（ACC）

| 数据集 | OF (%) | MSPE (%) | MDC (%) | DSICM (%) | DSJPE (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| AD | 54.00±9.55 | 64.67±4.47 | 66.67±7.84 | 72.67±10.38 | **75.58±9.59** |
| LSVT | 80.48±6.39 | 94.29±3.98 | 95.24±4.45 | 95.80±3.33 | **96.54±4.48** |
| PD | 62.70±1.86 | 70.75±1.74 | 66.84±1.52 | 71.03±1.40 | **74.14±4.18** |
| Pendigits | 98.13±0.05 | 98.62±0.07 | 99.09±0.35 | 98.78±0.12 | **99.27±0.26** |
| Statlog | 86.13±0.53 | **88.65±0.75** | 85.86±0.69 | 86.02±0.75 | 88.36±0.45 |
| Vehicle | 80.35±1.31 | 83.90±0.19 | 83.40±0.77 | **87.30±0.81** | 87.16±0.81 |
| heart | 80.89±4.26 | 85.56±2.83 | 90.91±4.08 | 91.20±4.25 | **92.44±3.37** |
| Maxlittle | 85.54±4.01 | 86.77±2.57 | 88.27±3.86 | 89.23±5.65 | **91.25±8.39** |
| Urban | 79.91±3.87 | 90.67±2.65 | 88.27±2.36 | 93.51±3.35 | **94.46±1.47** |
| WDBC | 95.66±1.52 | 97.57±1.38 | 98.59±0.38 | 98.99±1.09 | **99.18±0.72** |
| Wisconsin | 96.30±1.72 | 97.18±1.48 | 97.89±0.79 | 98.06±0.50 | **98.41±0.74** |
| PID | 70.39±2.74 | 74.14±4.27 | 80.08±2.16 | 82.95±2.25 | **83.63±2.99** |
| LR | 85.84±0.16 | 89.65±0.21 | 87.92±0.30 | 89.06±0.11 | **89.79±0.34** |
| GSAD | 99.20±0.15 | **99.45±0.09** | 96.67±1.04 | 97.45±0.30 | 96.05±0.60 |
| HAR | 98.25±0.32 | 98.72±0.07 | 98.36±0.27 | 98.35±0.15 | **99.10±0.26** |

表 A.2 本文算法各阶段的样本的质量（F1）

| 数据集 | OF (%) | MSPE (%) | MDC (%) | DSICM (%) | DSJPE (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| AD | 50.24±8.44 | 64.78±8.32 | 72.09±7.55 | 73.85±9.76 | **74.12±10.90** |
| LSVT | 76.57±4.38 | 93.61±4.60 | 94.75±4.86 | 95.24±6.52 | **95.77±5.62** |
| PD | 60.12±1.65 | 70.62±1.73 | 66.89±1.52 | 70.94±2.46 | **71.54±3.18** |
| Pendigits | 97.74±0.13 | **99.04±0.09** | 97.95±0.05 | 98.03±0.09 | **99.04±0.09** |
| Statlog | 80.98±1.85 | **85.60±1.07** | 75.24±0.84 | 77.26±0.91 | 85.59±1.05 |
| Vehicle | 80.57±0.56 | 84.55±0.96 | 90.53±0.83 | **90.83±1.47** | 87.40±0.70 |
| heart | 79.95±4.23 | 86.14±2.63 | 90.43±2.92 | 90.86±3.72 | **91.09±3.67** |
| Maxlittle | 80.30±4.78 | 79.36±4.24 | 79.35±3.67 | 84.54±8.68 | **87.15±5.87** |
| Urban | 76.06±2.12 | 90.77±2.76 | 87.32±1.81 | **94..37±2.37** | 92.13±3.67 |
| WDBC | 95.23±1.33 | 97.63±1.52 | 97.31±0.46 | 98.80±0.69 | **98.85±1.47** |
| Wisconsin | 95.16±1.59 | 95.95±1.69 | 97.69±0.84 | 97.87±0.56 | **98.11±1.28** |
| PID | 71.23±3.96 | 74.82±2.20 | 77.43±2.66 | 74.66±3.16 | **75.98±1.90** |
| LR | 85.83±0.19 | 89.61±0.23 | 87.87±0.32 | 89.01±0.05 | **90.18±1.26** |
| GSAD | 99.16±0.15 | **99.43±0.10** | 96.55±0.99 | 97.37±0.33 | 96.17±0.47 |
| HAR | 98.35±0.29 | 98.79±0.08 | 98.46±0.25 | 98.42±0.14 | **99.20±0.22** |

表 A.3 本文算法各阶段的样本的质量（AUC）

| 数据集 | OF (%) | MSPE (%) | MDC (%) | DSICM (%) | DSJPE (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| AD | 58.04±3.75 | 73.90±7.25 | 70.00±9.39 | 78.73±9.24 | **81.83±8.51** |
| LSVT | 79.02±7.72 | 94.83±3.15 | **96.75±1.90** | 93.30±9.26 | 96.59±3.92 |
| PD | 60.14±3.58 | 71.79±2.96 | 68.05±1.38 | 72.12±3.06 | **72.16±5.66** |
| Pendigits | 99.10±0.18 | **99.52±0.06** | 98.96±0.07 | 98.99±0.10 | 99.47±0.05 |
| Statlog | 90.36±0.75 | **91.98±0.59** | 87.61±0.65 | 88.77±0.71 | 91.29±0.60 |
| Vehicle | 87.29±0.68 | 89.62±1.24 | 90.53±2.20 | **92.52±0.42** | 92.12±1.19 |
| heart | 81.64±5.54 | 86.92±3.04 | 91.81±3.49 | 91.95±4.44 | **92.08±2.67** |
| Maxlittle | 93.34±0.94 | 92.89±0.89 | 92.66±1.14 | 83.34±2.46 | **93.78±1.32** |
| Urban | 89.48±1.00 | 94.63±1.89 | 92.94±0.56 | 95.45±0.85 | **96.25±2.11** |
| WDBC | 96.00±1.80 | 98.77±1.16 | 98.08±0.36 | 98.30±0.83 | **98.61±1.13** |
| Wisconsin | 95.81±1.61 | 96.08±1.12 | 97.62±1.05 | 97.29±1.00 | **98.01±0.57** |
| PID | 73.51±4.11 | 74.43±3.73 | 80.00±2.35 | 81.97±2.58 | **82.21±2.49** |
| LR | 92.59±0.09 | 94.57±0.11 | 93.66±0.16 | 94.25±0.05 | **95.88±0.57** |
| GSAD | 99.48±0.09 | **99.65±0.07** | 97.78±0.69 | 98.40±0.21 | 97.66±0.33 |
| HAR | 98.99±0.18 | 99.27±0.05 | 99.06±0.15 | 99.04±0.09 | **99.51±0.14** |

表 A.4 本文算法各阶段的样本的质量（AP）

| 数据集 | OF (%) | MSPE (%) | MDC (%) | DSICM (%) | DSJPE (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| AD | 71.46±9.75 | 78.21±8.08 | 77.78±10.81 | 82.42±5.54 | **84.38±8.77** |
| LSVT | 78.08±5.49 | 93.60±5.58 | 97.56±2.71 | 96.78±4.42 | **97.84±3.33** |
| PD | 60.18±3.32 | 71.60±2.62 | 66.39±1.93 | 73.00±3.48 | **73.76±3.35** |
| Pendigits | 99.56±0.03 | 98.89±0.09 | 99.58±0.02 | 99.59±0.04 | **99.80±0.04** |
| Statlog | 95.28±0.24 | 96.26±0.27 | 93.96±0.35 | 94.43±0.44 | **96.47±0.37** |
| Vehicle | 89.93±1.01 | 92.52±1.30 | 91.42±0.77 | **94.12±1.17** | 93.96±0.72 |
| heart | 77.70±7.72 | 83.15±5.18 | 89.84±5.37 | 90.28±5.39 | **92.02±5.51** |
| Maxlittle | 77.01±5.23 | 76.90±4.37 | 71.45±8.12 | 80.63±10.35 | **81.57±4.15** |
| Urban | 94.01±0.84 | 97.80±0.80 | 96.61±0.31 | **98.48±1.04** | 98.02±1.06 |
| WDBC | 94.15±2.05 | 96.54±2.46 | 95.94±0.66 | 97.43±0.64 | **97.81±1.33** |
| Wisconsin | 92.41±2.71 | 92.56±3.35 | 95.89±1.47 | 96.72±0.72 | **98.10±2.49** |
| PID | 74.08±5.54 | 75.31±5.34 | 78.05±3.05 | 75.40±3.60 | **80.85±2.74** |
| LR | 98.96±0.02 | 99.24±0.04 | 99.10±0.01 | 99.15±0.01 | **99.38±0.09** |
| GSAD | 99.59±0.05 | **99.66±0.09** | 99.03±0.34 | 99.09±0.07 | 96.17±0.65 |
| HAR | 99.31±0.16 | 99.53±0.09 | 99.34±0.19 | 99.36±0.09 | **99.54±0.07** |

## A.5 第 4.2.2 节 MDC 和 DSICM 的有效性验证完整结果

表 A.5-表 A.8 分别对应 MDC 与 KM 在 ACC、F1、AUC、AP 上的比较。

表 A.5 MDC 与 KM 在 ACC 上的比较结果

| 数据集 | KM (%) | MDC (%) | KM&DSIM (%) | DSICM (%) | DSICM (ESAE) (%) | DSICM (ESAE) (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AD | 75.33±7.30 | 66.67±7.84 | 66.00±5.96 | 72.67±10.38 | 67.33±10.11 | **76.00±4.35** |
| LSVT | 92.86±1.67 | 95.24±4.45 | 94.76±2.61 | 95.80±3.33 | 96.07±9.85 | **97.41±5.86** |
| PD | 66.21±1.70 | 66.84±1.52 | 70.75±3. 40 | 71.03±1.40 | 69.89±2.74 | **74.60±4.56** |
| Pendigits | 98.64±0.28 | 99.09±0.35 | 98.83±1.46 | 98.78±0.12 | 98.84±0.57 | **99.50±0.82** |
| Statlog | 85.59±0.76 | 85.86±0.69 | 85.13±0.30 | 86.02±0.75 | 85.92±1.26 | **88.57±2.39** |
| Vehicle | 79.93±2.93 | 83.40±0.77 | 85.67±1.98 | **87.30±0.81** | 80.61±4.93 | 87.30±3.79 |
| heart | 90.89±0.50 | 90.91±4.08 | 88.44±2.30 | 91.20±4.25 | 90.96±5.28 | **92.67±3.20** |
| Maxlittle | 87.69±3.61 | 88.27±3.86 | 88.31±3.19 | 89.23±5.65 | 88.08±5.57 | **94.07±2.67** |
| Urban | 72.62±2.99 | 88.27±2.36 | 76.49±1.90 | 93.51±3.35 | 82.31±1.78 | **94.02±0.46** |
| WDBC | 97.99±0.24 | 98.59±0.38 | 98.73±0.29 | 98.99±1.09 | 98.10±3.70 | **99.15±2.91** |
| Wisconsin | 97.53±1.01 | 97.89±0.79 | 97.89±0.85 | 98.06±0.50 | 97.86±1.37 | **99.12±0.44** |
| PID | 78.52±2.52 | 80.08±2.16 | 81.72±3.13 | **82.95±2.25** | 78.95±1.72 | 82.53±3.79 |
| LR | 87.73±0.33 | 87.92±0.30 | 89.83±0.15 | 89.06±0.11 | 88.09±2.62 | **90.07±4.46** |
| GSAD | 96.60±2.34 | 96.67±1.04 | 97.58±0.12 | **97.45±0.30** | 97.94±1.57 | 97.72±0.40 |
| HAR | 98.35±0.27 | 98.36±0.27 | 98.58±0.16 | 98.35±0.15 | 98.81±1.24 | **99.39±0.15** |

表 A.6 MDC 与 KM 在 F1 上的比较结果

| 数据集 | KM (%) | MDC (%) | KM&DSIM (%) | DSICM (%) | DSICM (ESAE) (%) | DSICM (ESAE) (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AD | 53.70±8.28 | 72.09±7.55 | 70.01±6.01 | 73.85±9.76 | **75.00±11.64** | 74.59±7.40 |
| LSVT | 92.50±5.34 | 94.75±4.86 | 94.19±2.92 | **95.24±6.52** | 92.18±5.96 | 94.73±4.27 |
| PD | 62.62±1.62 | 66.89±1.52 | 70.79±3.44 | 70.94±2.46 | 70.81±3.64 | **75.96±3.31** |
| Pendigits | 98.62±0.28 | 97.95±0.05 | 96.21±0.41 | 98.03±0.09 | 98.99±1.47 | **99.46±0.73** |
| Statlog | 81.49±0.99 | 75.24±0.84 | 79.46±1.22 | 77.26±0.91 | 85.95±5.78 | **86.81±1.58** |
| Vehicle | 81.51±0.73 | 90.53±0.83 | 85.88±2.02 | 90.83±1.47 | 86.04±4.18 | **91.54±2.59** |
| heart | 79.77±2.99 | 90.43±2.92 | 88.54±2.43 | 90.86±3.72 | 91.80±2.70 | **93.29±2.95** |
| Maxlittle | 71.98±3.81 | 79.35±3.67 | 83.54±4.60 | 84.54±8.68 | 87.54±3.67 | **91.58±2.33** |
| Urban | 72.58±5.98 | 87.32±1.81 | 77.31±4.93 | **94..37±2.37** | 74.98±3.13 | 75.58±4.98 |
| WDBC | 95.94±1.68 | 97.31±0.46 | 98.65±0.31 | 98.80±0.69 | **99.32±0.47** | 96.69±1.73 |

表 A.6 MDC 与 KM 在 F1 上的比较结果（续）

| 数据集 | KM (%) | MDC (%) | KM&DSIM (%) | DSICM (%) | DSICM (ESAE) (%) | DSICM (ESAE) (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wisconsin | 93.10±3.17 | 97.69±0.84 | 97.72±0.84 | 97.87±0.56 | 98.56±0.49 | **98.57±0.47** |
| PID | 72.66±2.95 | 77.43±2.66 | 74.54±2.08 | 74.66±3.16 | **83.17±3.02** | 77.03±3.33 |
| LR | 87.67±0.35 | 87.87±0.32 | **89.91±0.20** | 89.01±0.05 | 84.32±6.69 | 89.77±1.33 |
| GSAD | 96.42±2.49 | 96.55±0.99 | 97.49±0.10 | 97.37±0.33 | **98.42±1.57** | 95.24±2.58 |
| HAR | 98.46±0.25 | 98.46±0.25 | 98.65±0.17 | 98.42±0.14 | 94.25±1.70 | **98.98±0.57** |

表 A.7 MDC 与 KM 在 AUC 上的比较结果

| 数据集 | KM (%) | MDC (%) | KM&DSIM (%) | DSICM (%) | DSICM (ESAE) (%) | DSICM (ESAE) (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AD | 66.16±7.98 | 70.00±9.39 | 69.48±4.42 | 78.73±9.24 | **80.50±8.73** | 80.00±5.86 |
| LSVT | 92.14±6.00 | **96.75±1.90** | 93.70±4.70 | 93.30±9.26 | 91.43±4.96 | 93.30±5.90 |
| PD | 63.78±1.57 | 68.05±1.38 | 71.61±4.71 | 72.12±3.06 | 69.48±3.77 | **75.50±3.69** |
| Pendigits | **99.70±0.18** | 98.96±0.07 | 99.40±2.64 | 98.99±0.10 | 99.14±1.49 | 99.48±0.69 |
| Statlog | **90.12±0.67** | 87.61±0.65 | 87.20±1.12 | 88.77±0.71 | 88.62±7.78 | 89.72±1.56 |
| Vehicle | 88.04±1.32 | 90.53±2.20 | 90.98±1.31 | 92.52±0.42 | 91.14±3.89 | **92.99±1.29** |
| heart | 80.01±3.36 | 91.81±3.49 | 90.92±5.63 | 91.95±4.44 | 91.70±2.58 | **92.94±2.81** |
| Maxlittle | 81.09±17.95 | 92.66±1.14 | 93.56±0.72 | 83.34±2.46 | **93.72±2.11** | 90.31±4.22 |
| Urban | 73.31±2.97 | 92.94±0.56 | 84.21±1.77 | 95.45±0.85 | 85.14±1.83 | **98.53±1.37** |
| WDBC | 97.67±1.40 | 98.08±0.36 | 98.27±0.01 | 98.30±0.83 | **99.14±0.60** | 96.74±1.54 |
| Wisconsin | 96.92±1.87 | 97.62±1.05 | 97.88±1.37 | 97.29±1.00 | 98.57±0.78 | **98.69±0.72** |
| PID | 67.35±10.02 | 80.00±2.35 | 81.75±4.77 | 81.97±2.58 | **83.23±2.70** | 76.92±3.33 |
| LR | 93.57±0.17 | 93.66±0.16 | **94.66±0.08** | 94.25±0.05 | 91.72±6.77 | 94.33±3.07 |
| GSAD | 97.48±1.85 | 97.78±0.69 | **98.48±0.21** | 98.40±0.21 | 93.05±0.92 | **98.48±0.89** |
| HAR | 99.06±0.15 | 99.06±0.15 | 99.18±0.10 | 99.04±0.09 | 96.48±1.17 | **99.46±0.24** |

表 A.8 MDC 与 KM 在 AP 上的比较结果

| 数据集 | KM (%) | MDC (%) | KM&DSIM (%) | DSICM (%) | DSICM (ESAE) (%) | DSICM (ESAE) (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AD | 70.18±10.17 | 77.78±10.81 | 75.52±1.48 | **82.42±5.54** | 81.39±11.74 | 79.75±2.74 |
| LSVT | 91.72±7.58 | 97.56±2.71 | 96.24±2.65 | **96.78±4.42** | 93.14±5.26 | 96.33±2.47 |
| PD | 61.82±2.17 | 66.39±1.93 | 71.63±4.95 | 73.00±3.48 | 69.27±6.33 | **76.40±3.14** |
| Pendigits | 99.70±0.05 | 99.58±0.02 | 92.57±0.98 | 99.59±0.04 | 93.23±1.17 | **99.65±0.17** |
| Statlog | 95.55±0.32 | 93.96±0.35 | 95.27±0.55 | 94.43±0.44 | **95.98±2.56** | 95.72±0.21 |
| Vehicle | 91.25±0.96 | 91.42±0.77 | 92.90±0.66 | 94.12±1.17 | 94.17±2.06 | **95.11±1.56** |
| heart | 81.00±4.36 | 89.84±5.37 | 87.66±4.77 | 90.28±5.39 | 93.24±4.14 | **93.93±1.76** |
| Maxlittle | 57.00±14.15 | 71.45±8.12 | 78.74±9.12 | 80.63±9.35 | 88.46±4.82 | **91.61±4.61** |
| Urban | 90.12±0.96 | 96.61±0.31 | 92.09±0.73 | **98.48±1.04** | 94.28±0.64 | 95.17±1.33 |
| WDBC | 95.65±2.46 | 95.94±0.66 | 96.92±1.31 | 97.43±0.64 | **99.20±0.56** | 96.96±1.81 |
| Wisconsin | 90.11±3.65 | 95.89±1.47 | 95.99±1.76 | 96.72±0.72 | **97.52±0.73** | 97.38±0.93 |
| PID | 70.31±6.04 | 78.05±3.05 | 80.11±4.06 | 75.40±3.60 | **82.72±4.60** | 78.18±0.77 |
| LR | 99.09±0.03 | 99.10±0.01 | 99.22±0.03 | 99.15±0.01 | 94.52±2.83 | **99.41±0.16** |
| GSAD | 98.90±0.51 | 99.03±0.34 | 99.14±0.05 | 99.09±0.07 | 96.14±0.26 | **96.34±0.46** |
| HAR | 99.34±0.19 | 99.34±0.19 | 99.47±0.06 | 99.36±0.09 | 97.95±0.96 | **99.47±0.37** |

## A.6 第 4.3 节算法比较的完整结果

表 A.9-表 A.12 分别对应不同 SAE 算法在 ACC、F1、AUC、AP 上的比较。

表 A.9 不同 SAE 算法的比较（ACC）

| 数据集 | SDSAE (%) | SPSAE (%) | ESGSAE -FF (%) | GSTAE (%) | WGLAE (%) | DSAE (%) | SGAE (%) | DSJPE-ESAE (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AD | 55.58 ±4.36 | 57.78 ±4.27 | 67.33 ±2.49 | 71.11 ±8.16 | 52.67 ±5.48 | 56.67 ±5.27 | 56.11 ±1.07 | **76.67 ±8.16** |
| LSVT | 76.62 ±5.29 | 84.33 ±5.36 | 92.76 ±0.62 | 84.66 ±4.32 | 75.71 ±5.43 | 72.38 ±5.48 | 71.59 ±5.77 | **97.62 ±1.68** |
| PD | 64.88 ±1.84 | 64.22 ±2.34 | 66.72 ±0.87 | 73.89 ±4.27 | 64.00 ±6.81 | 59.63 ±3.14 | 63.88 ±1.71 | **75.98 ±4.29** |
| Pendigits | 75.17 ±1.88 | 91.60 ±0.57 | 98.00 ±0.12 | 93.53 ±0.77 | 98.85 ±1.24 | 92.53 ±1.22 | 90.33 ±0.30 | **99.54 ±0.11** |
| Statlog | 98.60 ±0.34 | 85.87 ± 0.86 | 87.28 ±0.12 | 85.42 ±0.38 | **99.83 ±0.12** | 85.31 ±0.50 | 74.13 ±0.24 | 89.42 ±0.81 |
| Vehicle | 72.00 ±2.25 | 74.76 ±2.93 | 81.91 ±0.42 | 79.71 ±2.93 | 83.48 ±12.53 | 55.25 ±2.22 | 65.86 ±0.23 | **87.36 ±1.15** |
| heart | 94.58 ±0.53 | 88.90 ±2.53 | 84.67 ±1.99 | 82.56 ±3.55 | 80.22 ±9.21 | 82.67 ±1.27 | 69.67 ±3.60 | **94.67 ±2.98** |
| Maxlittle | 83.65 ± 0.71 | 91.93 ±4.22 | 92.00 ±3.34 | 92.15 ±4.94 | 89.54 ±6.10 | 81.23 ±1.29 | 88.97 ±2.86 | **98.75 ±1.71** |
| Urban | 93.20 ±1.17 | 77.81 ±1.17 | 83.20 ±1.01 | 76.98 ±0.73 | 72.53 ±8.63 | 70.49 ±2.75 | 82.90 ±0.15 | **98.75 ±1.71** |
| WDBC | 95.77 ±0.17 | 93.03 ±2.49 | **99.81 ±0.45** | 99.34 ±1.27 | 95.05 ±5.99 | 94.29 ±1.96 | 90.65 ±0.26 | 98.08 ±0.89 |
| Wisconsin | 97.65 ±0.25 | 96.62 ±2.40 | 97.09 ±1.31 | 96.92 ±1.56 | 97.19 ±2.49 | 96.32 ±0.80 | 88.97 ±0.52 | **99.82 ±0.40** |
| PID | 76.17 ±1.03 | 78.76 ±3.62 | 72.27 ±3.46 | 77.81 ±2.84 | **95.19 ±4.60** | 69.30 ±1.60 | 73.29 ±1.83 | 84.06 ±3.34 |
| LR | 93.20 ±1.17 | 94.88 ±0.12 | **95.55 ±0.78** | 92.10 ±0.99 | 96.18 ±1.55 | 89.50 ±2.08 | 84.30 ±0.05 | 94.38 ±0.37 |
| GSAD | 95.77 ±0.17 | 98.89 ±0.59 | **99.07 ±0.36** | 97.42 ±0.43 | 98.78 ±0.17 | 91.17 ±4.31 | 87.86 ±1.22 | 96.71 ±0.33 |
| HAR | 97.36 ±0.72 | 98.13 ±0.45 | 97.81 ±0.18 | 98.22 ±1.10 | 99.0 2±0.11 | 97.88 ±0.90 | 97.03 ±4.18 | **99.51 ±0.43** |

表 A.10 不同 SAE 算法的比较（F1）

| 数据集 | SDSAE (%) | SPSAE (%) | ESGSAE -FF (%) | GSTAE (%) | WGLAE (%) | DSAE (%) | SGAE (%) | DSJPE-ESAE (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AD | 66.99 ±6.60 | 67.02 ±2.11 | 69.32 ±9.47 | 67.19 ±8.21 | 42.78 ±8.49 | 54.21 ±5.94 | 66.67 ±3.24 | **71.86 ±2.14** |
| LSVT | 72.60 ±2.22 | 81.87 ±8.52 | 88.92 ±5.56 | 63.25 ±4.89 | 73.32 ±6.30 | 66.70 ±9.12 | 78.53 ±2.20 | **95.79 ±3.97** |
| PD | 63.47 ±1.69 | 63.93 ±6.80 | 68.09 ±2.00 | 67.10 ±5.91 | 63.87 ±6.82 | 58.73 ±3.52 | 65.21 ±9.46 | **77.07 ±2.90** |
| Pendigits | 73.20 ±2.30 | 91.51 ±2.49 | 99.36 ±0.34 | 91.68 ±0.82 | 98.84 ±1.26 | 92.56 ±1.23 | 91.51 ±0.40 | **99.55 ±0.14** |
| Statlog | 72.62 ±6.69 | 75.75 ±3.28 | 82.76 ±0.80 | 81.71 ±1.16 | **99.80 ±0.13** | 81.78 ±0.43 | 75.55 ±4.69 | 87.81 ±1.04 |
| Vehicle | 74.75 ±5.12 | 70.19 ±4.23 | 73.56 ±8.64 | 70.41 ±3.33 | 82.58 ±13.96 | 53.42 ±1.33 | 68.27 ±6.24 | **91.61 ±3.79** |
| heart | 79.44 ±1.48 | 81.24 ±4.61 | 84.53 ±2.04 | 82.54 ±4.84 | 78.95 ±10.43 | 81.90 ±1.26 | 57.16 ±4.00 | **93.61 ±2.96** |

表 A.10 不同 SAE 算法的比较（F1）（续）

| 数据集 | SDSAE (%) | SPSAE (%) | ESGSAE -FF (%) | GSTAE (%) | WGLAE (%) | DSAE (%) | SGAE (%) | DSJPE-ESAE (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Maxlittle | 85.13 ±1.64 | 87.02 ±5.10 | 89.09 ±4.87 | 95.95 ±5.04 | 83.06 ±8.45 | 70.88 ±2.88 | 84.29 ±2.52 | **92.43 ±3.25** |
| Urban | 72.30 ±0.51 | 78.29 ±2.92 | 76.09 ±5.72 | 72.51 ±1.37 | 61.58 ±9.33 | 61.28 ±4.77 | 81.22 ±4.89 | **81.31 ±1.99** |
| WDBC | 95.05 ±4.18 | 94.36 ±3.39 | 94.44 ±2.65 | 94.30 ±1.01 | 94.91 ±6.05 | 93.84 ±2.09 | 92.83 ±3.42 | **97.15 ±1.82** |
| Wisconsin | 97.46 ±0.21 | 96.81 ±1.16 | 96.91 ±1.30 | 95.51 ±1.98 | 96.97 ±2.62 | 95.91 ±0.93 | 84.29 ±4.81 | **99.13 ±0.80** |
| PID | 73.76 ±0.32 | 82.04 ±4.06 | 68.22 ±3.97 | 69.52 ±6.96 | 94.92 ±4.51 | 64.08 ±1.31 | 66.52 ±7.74 | **79.75 ±3.29** |
| LR | 95.59 ±3.49 | 96.28 ±1.76 | **96.34 ±3.05** | 83.27 ±2.27 | 92.29 ±2.79 | 89.74 ±4.32 | 87.41 ±0.01 | 90.18 ±1.26 |
| GSAD | 97.83 ±1.96 | **99.39 ±0.53** | 99.37 ±0.16 | 95.35 ±2.04 | 93.76 ±0.94 | 91.36 ±1.65 | 89.50 ±0.69 | 96.73 ±0.18 |
| HAR | 98.18 ±1.75 | 98.72 ±0.37 | 99.08 ±0.69 | 97.39 ±0.37 | 93.24 ±1.57 | 97.31 ±3.37 | 96.60 ±3.57 | **99.78 ±0.16** |

表 A.11 不同 SAE 算法的比较（AUC）

| 数据集 | SDSAE (%) | SPSAE (%) | ESGSAE -FF (%) | GSTAE (%) | WGLAE (%) | DSAE (%) | SGAE (%) | DSJPE-ESAE (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AD | 52.00 ±4.47 | 58.19 ±2.27 | 79.00 ±12.94 | 75.27 ±4.69 | 37.67 ±0.96 | 48.49 ±2.37 | 62.81 ±3.00 | **82.11 ±3.74** |
| LSVT | 66.07 ±3.09 | 77.50 ±12.28 | 61.43 ±19.50 | 75.50 ±5.02 | 76.00 ±7.83 | 67.86 ±9.45 | 66.43 ±4.76 | **96.62 ±2.67** |
| PD | 60.73 ±2.72 | 63.93 ±6.80 | 67.87 ±2.00 | 71.72 ±3.83 | 64.13 ±7.09 | 60.06 ±2.86 | 63.35 ±2.61 | **79.30 ±4.94** |
| Pendigits | 68.64 ±1.21 | 93.29 ±1.73 | 99.09 ±0.19 | 81.42 ±0.72 | 89.41 ±0.64 | 86.08 ±0.68 | 94.35 ±0.37 | **99.75 ±0.08** |
| Statlog | 80.11 ±5.06 | 87.72 ±3.17 | 89.62 ±0.46 | 89.36 ±0.74 | 83.25 ±0.06 | 74.19 ±0.27 | 84.42 ±0.82 | **92.69 ±0.94** |
| Vehicle | 67.51 ±3.54 | 70.96 ±1.24 | 82.48 ±5.59 | 74.80 ±2.15 | 66.68 ±6.48 | 54.36 ±1.40 | 60.19 ±3.21 | **93.11 ±0.48** |
| heart | 84.90 ±1.62 | 87.16 ±1.98 | 84.25 ±1.90 | 85.25 ±4.24 | 80.24 ±0.86 | 81.46 ±1.21 | 60.19 ±5.32 | **95.68 ±1.99** |
| Maxlittle | 84.12 ±6.31 | 86.52 ±8.29 | 87.54 ±7.49 | 77.19 ±10.06 | 85.24 ±9.85 | 68.50 ±2.98 | 80.77 ±3.79 | **95.68 ±1.99** |
| Urban | 67.32 ±1.12 | 75.69 ±6.72 | 85.17 ±3.89 | 90.15 ±1.43 | 72.68 ±5.53 | 70.05 ±2.35 | 80.03 ±0.53 | **90.61 ±1.94** |
| WDBC | 95.25 ±3.17 | 96.13 ±1.39 | 96.94 ±2.85 | 95.07 ±0.62 | 95.32 ±5.52 | 94.23 ±1.79 | 95.57 ±3.24 | **98.54 ±1.38** |
| Wisconsin | 97.71 ±0.27 | 96.60 ±1.48 | 97.42 ±1.04 | 96.74 ±1.34 | 97.07 ±1.82 | 95.95 ±0.66 | 80.77 ±3.79 | **99.03 ±0.94** |
| PID | 73.24 ±1.21 | 78.30 ±4.39 | 66.41 ±4.47 | 71.92 ±4.06 | **95.40 ±3.77** | 63.72 ±1.27 | 60.78 ±3.80 | 82.94 ±2.16 |
| LR | 96.52 ±0.54 | 95.57 ±1.75 | **98.08 ±0.83** | 91.81 ±3.04 | 91.39 ±1.27 | 89.93 ±3.79 | 85.19 ±5.29 | 97.56 ±0.14 |
| GSAD | 98.48 ±0.34 | **99.26 ±0.01** | 99.10 ±0.28 | 95.75 ±2.59 | 87.19 ±3.09 | 92.82 ±1.11 | 94.46 ±0.14 | 98.52 ±0.16 |
| HAR | 98.23 ±1.38 | 98.42 ±0.34 | 98.97 ±0.94 | 97.17 ±1.88 | 87.11 ±4.40 | 94.63 ±1.24 | 95.15 ±0.58 | **99.67 ±0.08** |

表 A.12 不同 SAE 算法的比较（AP）

| 数据集 | SDSAE (%) | SPSAE (%) | ESGSAE -FF (%) | GSTAE (%) | WGLAE (%) | DSAE (%) | SGAE (%) | DSJPE-ESAE (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AD | 60.49 ±7.78 | 67.05 ±3.40 | **72.07 ±9.23** | 69.36 ±11.84 | 39.20 ±9.96 | 45.81 ±9.13 | 58.02 ±2.78 | 71.86 ±2.14 |
| LSVT | 75.09 ±7.65 | 84.53 ±10.63 | 76.71 ±16.15 | 93.68 ±16.47 | 82.31 ±5.64 | 76.45 ±5.85 | 76.66 ±4.45 | **97.24 ±2.88** |
| PD | 60.38 ±1.70 | 61.50 ±5.68 | 67.46 ±2.03 | 74.59 ±3.94 | 58.39 ±4.12 | 55.79 ±3.60 | 64.73 ±3.30 | **76.91 ±4.06** |
| Pendigits | 88.53 ±0.52 | 94.35 ±0.16 | 99.57 ±0.09 | 90.31 ±0.90 | 88.99 ±1.10 | 82.64 ±1.25 | 87.31 ±0.57 | **99.92 ±0.04** |
| Statlog | 90.93 ±2.29 | 91.16 ±1.95 | 95.46 ±0.24 | 97.94 ±0.65 | 83.14 ±0.17 | 69.43 ±0.61 | 86.75 ±6.04 | **96.77 ±0.17** |
| Vehicle | 76.13 ±2.76 | 79.74 ±2.96 | 87.11 ±4.52 | 74.46 ±3.68 | 64.01 ±11.43 | 42.22 ±1.97 | 69.43 ±3.49 | **94.81 ±2.42** |
| heart | 82.96 ±2.94 | 72.83 ±2.01 | 82.09 ±4.75 | 88.83 ±6.58 | 68.34 ±15.66 | 72.62 ±2.09 | 60.02 ±5.27 | **92.46 ±5.83** |
| Maxlittle | 87.19 ±5.49 | 88.55 ±6.92 | 88.11 ±6.62 | 93.88 ±5.05 | 93.19 ±5.95 | 80.61 ±2.58 | 80.73 ±3.60 | **91.41 ±3.88** |
| Urban | 89.13 ±0.54 | 92.67 ±2.85 | 94.62 ±1.59 | **96.18 ±6.65** | 63.70 ±9.53 | 60.09 ±1.98 | 82.57 ±5.36 | 95.96 ±0.43 |
| WDBC | 96.51 ±0.92 | 96.38 ±2.18 | 97.50 ±5.50 | 96.75 ±2.30 | 90.59 ±8.59 | 87.39 ±4.62 | 98.04 ±1.09 | **97.91 ±1.05** |
| Wisconsin | 96.45 ±1.55 | 92.35 ±2.50 | 94.97 ±1.44 | 94.66 ±3.61 | 93.98 ±6.15 | 91.46 ±2.67 | 80.73 ±3.60 | **98.62 ±1.63** |
| PID | 72.31 ±3.81 | 76.70 ±4.61 | 71.04 ±3.56 | 75.64 ±4.69 | **89.83 ±8.10** | 66.60 ±3.78 | 61.21 ±5.93 | 81.11 ±4.00 |
| LR | 98.08 ±1.54 | 98.16 ±0.72 | 99.33 ±0.94 | 93.99 ±4.61 | 93.45 ±1.58 | 92.72 ±3.48 | 84.17 ±0.46 | **99.73 ±0.22** |
| GSAD | 99.22 ±0.32 | **99.62 ±0.26** | 99.30 ±0.39 | 95.85 ±2.59 | 90.39 ±1.65 | 96.68 ±0.21 | 90.35 ±0.23 | 97.10 ±0.31 |
| HAR | 98.70 ±0.65 | 98.55 ±1.09 | 99.35 ±0.08 | 99.34 ±1.07 | 85.90 ±1.26 | 96.36 ±3.33 | 94.22 ±3.00 | **99.78 ±0.09** |

## A.7 第 4.4 节参数分析的完整结果

表 A.13 对应不同 MSPE 拼接数 υ 对算法性能影响的完整结果。

表 A.14 不同 MSPE 拼接数 υ 对算法性能影响（分类精度）

| 数据集 | $\upsilon=0$ | $\upsilon=1$ | $\upsilon=2$ | $\upsilon=3$ |
|---|---|---|---|---|
| AD | 54.00±9.55 | 64.67±4.47 | **73.33±6.24** | 71.33±3.80 |
| LSVT | 82.38±9.00 | **96.19±3.61** | 95.71±5.16 | 95.71±3.10 |
| PD | 62.70±1.86 | **70.75±1.74** | 68.10±1.08 | 69.48±1.93 |
| Pendigits | 98.13±0.05 | 98.62±0.07 | 99.20±0.24 | **99.39±0.13** |
| Statlog | 86.13±0.53 | 88.65±0.75 | 89.13±0.62 | **89.73±0.81** |
| Vehicle | 80.35±1.31 | 83.90±0.19 | 87.73±2.46 | **87.87±3.95** |
| heart | 80.89±4.26 | 85.56±2.83 | 84.67±3.46 | **89.11±2.53** |
| Maxlittle | 85.54±4.01 | **86.77±2.57** | 78.77±3.35 | 84.00±4.30 |
| Urban | 79.91±3.87 | 73.42±2.48 | 96.27±2.00 | **97.42±0.91** |
| WDBC | 95.66±1.52 | 97.57±1.38 | 99.58±0.24 | **100.0±0.00** |
| Wisconsin | 96.30±1.72 | 97.18±1.48 | **98.15±0.85** | 98.06±0.39 |
| PID | 70.39±2.74 | 74.14±4.27 | 81.56±1.60 | **84.38±1.20** |
| LR | 85.84±0.16 | 89.65±0.21 | 90.41±0.31 | **92.26±0.17** |
| GSAD | 99.20±0.15 | 99.45±0.09 | 99.56±0.11 | **99.59±0.08** |
| HAR | 98.25±0.32 | 98.72±0.07 | 99.38±0.15 | **99.68±0.03** |