**Capítulo 4 – Experimento**

**(Descrição do capítulo)**

**4.1 Descrições das bases**

Para avaliar o método proposto os experimentos foram realizados utilizando sete bases de dados, cinco repositórios da UCI Machine Learning e duas geradas artificialmente usando o Matlab PRTOOLS toolbox. As características das bases de dados são mostradas na tabela 1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Base de dados | Número de instancias | Dimensão | Número de Classes |
| Pima | 768 | 8 | 2 |
| Liver Disorders | 345 | 6 | 2 |
| WDBC | 568 | 30 | 2 |
| Blood transfusion | 748 | 4 | 2 |
| Banana | 600 | 2 | 2 |
| Vehicle | 846 | 18 | 4 |
| Lithuanian | 600 | 2 | 2 |

Tabela 1. Características das bases de dados.

Os dados foram divididos em 50% pra o conjunto de treinamento e 50% pra o conjunto de teste. O conjunto de treinamento foi dividido em 75% para o treinamento e 25% para a validação. O conjunto de validação é usado para computar as regiões de competências. Recomenda-se utilizar um conjunto diferente do conjunto de treinamento para computar as regiões de competências porque os classificadores bases podem sofrer *overfitting* nos padrões de treinamento. Portanto, as informações da precisão podem ser enviesadas.

**4.2 Metodologia**

A geração do ensemble foi realizada usando a técnica *bagging*, que dá bons resultados quando utilizado um classificador base fraco e instável. O ensemble gerado é composto por 10 classificadores do modelo Perceptron e o número de vizinhos igual a 7 para computar a região de competência. O Perceptron foi escolhido por causa da sua instabilidade e por ser um modelo fraco. As regras de combinação testadas foram: votação majoritária, e as regras algébricas, média e produto.

Primeiro, foi feito a execução dos métodos (KNORA-E, DES-OLA, DES-LCA, DES-LCA2 e DES-LCA3) de seleção, sem a utilização da abordagem DES-FA e utilizando a votação majoritária para combinação. Posteriormente foi utilizado o DES-FA(1), com k=1 para o ENN (melhor configuração DES-FA obtida pelo autor), e comparado com os resultados sem a utilização do DES-FA, a fim de mostrar como a qualidade da região de competência afeta o desempenho dos métodos de seleção. Em seguida foram testadas também as combinações de média e produto para os métodos, com o objetivo de investigar se a votação majoritária prejudicaria os métodos baseado no DCS-LA, nos casos de empate de votação nas iterações do IWSS. Por fim, foram avaliados os desempenhos em tempo de processamento dos métodos de seleção com e sem a abordagem DES-FA.

**4.2 Resultados e Análise**

Os resultados dos experimentos descritos na seção anterior são mostrados nas tabelas a seguir junto com a análise dos resultados, após cada tabela.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Base** | **KNORA-E** | **DES-OLA** | **DES-LCA** | **DES-LCA2** | **DES-LCA3** | **Oracle\*** |
| **Vehicle** | **81,20** | 79,86 | 78,52 | 75,67 | 77,41 | 96,8 |
| **Pima** | **74,22** | 73,52 | 73,00 | 65,62 | 71,53 | 95,1 |
| **Liver Disorders** | 59,11 | 61,43 | **63,57** | 55,81 | 61,05 | 90,07 |
| **WDBC** | **96,48** | 95,66 | 96,24 | 92,84 | 94,25 | 99,13 |
| **Blood transfusion** | 72,19 | 76,11 | **76,56** | 61,23 | 66,22 | 94,2 |
| **Banana** | 91,20 | 93,40 | **94,20** | 52,33 | 56,27 | 94,75 |
| **Lithuanian** | 90,11 | 91,78 | **92,00** | 46,56 | 51,56 | 98,35 |

Tabela 1. Execução dos métodos DES sem a abordagem DES-FA e utilizando a regra da votação majoritária para combinação. O valor de cada célula é a média da precisão de classificação de três iterações, com exceção do Oracle\* obtido pelo autor.

No experimento da tabela 1 (sem a abordagem DES-FA) pode ser visto que o algoritmo DES-LCA obteve o melhor resultado, sendo o melhor em quatro bases (Liver Disorders, Blood transfusion, Banana e Lithuanian) e superando o KNORA-E em média por 1.34 pontos percentuais. O DES-OLA também foi melhor que o KNORA-E em média 1.03 pontos percentuais, superando o KNORA-E nas mesmas quatro bases. Quanto às variações do LCA, DES-LCA2 e DES-LCA3, os resultados não foram satisfatórios, tendo os resultados inferiores em quase todas as bases com relação ao KNORA-E, DES-OLA e DES-LCA.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Base** | **KNORA-E** | **DES-OLA** | **DES-LCA** | **DES-LCA2** | **DES-LCA3** | **Oracle\*** |
| **Vehicle** | **72,91** | 71,09 | 71,09 | 67,38 | 68,56 | 96,8 |
| **Pima** | 72,57 | **73,18** | 71,79 | 66,93 | 66,58 | 95,1 |
| **Liver Disorders** | 62,21 | 63,37 | **64,53** | 57,95 | 59,69 | 90,07 |
| **WDBC** | 95,31 | **96,36** | 95,31 | 94,95 | 95,07 | 99,13 |
| **Blood transfusion** | **77,90** | 77,45 | 77,63 | 72,82 | 72,10 | 94,2 |
| **Banana** | 92,20 | 92,33 | **92,60** | 53,13 | 53,53 | 94,75 |
| **Lithuanian** | **93,44** | 92,78 | 90,33 | 48,33 | 51,00 | 98,35 |

Tabela 2. Execução dos métodos DES com a abordagem DES-FA(1) e utilizando a regra da votação majoritária para combinação. O valor de cada célula é a média da precisão de classificação de três iterações, com exceção do Oracle\* obtido pelo autor.

No experimento da tabela 2 (com a abordagem DES-FA) pode ser visto que o KNORA-E obteve o melhor resultado no geral, sendo melhor em três bases (Vehicle, Blood transfusion e Lithuanian) das setes bases. Porém, comparando individualmente o KNORA-E com o DES-OLA, percebe-se que o DES-OLA obteve melhor resultado em quatro bases com relação ao KNORA-E. Enquanto que com relação ao DES-LCA, o KNORA-E foi superior. Ao analisar o DES-LCA2 e DES-LCA3 percebe-se que eles tiveram novamente os piores resultados, tendo os resultados de ambos quase equivalentes.

Segundo os resultados das tabelas 1 (sem DES-FA) e 2 (com DES-FA), pode ser visto que: para o método de seleção KNORA-E o resultado melhorou em 4 das 7 bases analisadas, com a abordagem DES-FA, piorando nas bases Vehicle, Pima e WDBC. Analisando o método DES-OLA, percebe-se que também melhorou em 4 das 7 bases, piorando nas bases Vehicle, Pima e Banana. Enquanto que o DES-LCA (com DES-FA) piorou em 5 das 7 bases, entre elas Vehicle, Pima, WDBC, Banana e Lithuanian. Já o método DES-LCA2 (com DES-FA) conseguiu melhorar em 6 das 7 bases, piorando apenas na base Vehicle. Por fim, percebe-se que o DES-LCA3 melhorou em apenas 2 das 7 bases, tendo resultados inferiores com as bases Vehicle, Pima, Liver Disorders, Banana e Lithuanian.

É importante esclarecer que isso pode ter acontecido devido ao filtro ENN provavelmente eliminar alguns padrões importantes nessas bases de dados. É interessante notar que a abordagem DES-FA chegou a piorar em torno de 8.3 pontos percentuais na base Vehicle para todos os métodos de seleção, o que fortalece a hipótese do filtro eliminar alguns padrões importantes principalmente nessa base. Portanto considerando apenas as 6 bases (sem o Vehicle), percebe-se que o DES-LCA2 teve uma melhora em média de 3.3 pontos percentuais, enquanto que o KNORA-E melhorou em média 1.72 pontos percentuais, o DES-OLA melhorou em média 0.59 pontos percentuais, o DES-LCA3 piorou em média 0.48 pontos percentuais e o DES-LCA piorou em média 0.56 pontos percentuais.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Base** | **KNORA-E** | **DES-OLA** | **DES-LCA** | **DES-LCA2** | **DES-LCA3** | **Oracle\*** |
| **Vehicle** | 71,17 | 72,04 | **72,43** | 67,69 | 67,85 | 96,8 |
| **Pima** | **74,39** | 73,35 | 69,79 | 68,06 | 68,06 | 95,1 |
| **Liver Disorders** | 66,86 | **68,60** | 66,47 | 58,14 | 62,79 | 90,07 |
| **WDBC** | **96,01** | 95,77 | 95,19 | 94,84 | 95,19 | 99,13 |
| **Blood transfusion** | **78,07** | 77,18 | 77,63 | 72,10 | 72,19 | 94,2 |
| **Banana** | 89,13 | **90,47** | 90,00 | 55,53 | 56,40 | 94,75 |
| **Lithuanian** | 91,89 | **92,78** | **92,78** | 55,00 | 58,22 | 98,35 |

Tabela 3. Execução dos métodos DES com a abordagem DES-FA(1) e utilizando a regra do produto para combinação. O valor de cada célula é a média da precisão de classificação de três iterações, com exceção do Oracle\* obtido pelo autor.

No experimento da tabela 3 (com abordagem DES-FA e produto como combinação). Pode ser visto que o DES-OLA foi o melhor em geral, pois apesar do KNORA-E e DES-OLA serem melhor em 3 das 7 bases cada e o DES-LCA ser melhor em 2 das 7 bases, o DES-OLA superou o KNORA-E em 4 das 7 bases com média de 0.38 pontos percentuais a mais. Enquanto que, o KNORA-E foi superior ao DES-LCA em média 0.46 pontos percentuais. Os métodos DES-LCA2 e DES-LCA3, novamente tiveram resultados semelhantes e com os piores resultados dentre os métodos.

Comparando os resultados dos experimentos da tabela 2 e 3, pode ser visto que a combinação por produto foi melhor que a votação majoritária para todos os métodos com um aumento de pontos percentuais em média de: 0.14 para o KNORA-E, 0.51 para o DES-OLA, 0.14 para o DES-LCA, 1.41 para o DES-LCA2 e 2.0 para o DES-LCA3.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Base** | **KNORA-E** | **DES-OLA** | **DES-LCA** | **DES-LCA2** | **DES-LCA3** | **Oracle\*** |
| **Vehicle** | **77,57** | 73,85 | 73,93 | 72,83 | 72,83 | 96,8 |
| **Pima** | **73,18** | 72,22 | 72,14 | 66,75 | 69,36 | 95,1 |
| **Liver Disorders** | 66,28 | **67,64** | 67,44 | 53,29 | 60,66 | 90,07 |
| **WDBC** | **96,36** | 95,89 | 94,48 | 94,25 | 94,25 | 99,13 |
| **Blood transfusion** | **76,74** | 76,02 | 73,44 | 68,18 | 67,29 | 94,2 |
| **Banana** | **91,6** | 91,33 | 91 | 47,13 | 47,93 | 94,75 |
| **Lithuanian** | 91,44 | **93,11** | 92,44 | 52,67 | 56,33 | 98,35 |

Tabela 4. Execução dos métodos DES com a abordagem DES-FA(1) e utilizando a regra da média para combinação. O valor de cada célula é a média da precisão de classificação de três iterações, com exceção do Oracle\* obtido pelo autor.

Para o experimento da tabela 4 (abordagem DES-FA e regra de produto para combinação), percebe-se que o KNORA-E foi o melhor entre todos os métodos, sendo superior em 5 das 7 bases. Porém o DES-OLA teve um resultado similar ao KNORA-E em todas as bases com exceção do Vehicle, que o KNORA-E teve em torno de 3.7 pontos percentuais a mais, e as bases Liver Disorders e Lithuanian, que o DES-OLA teve mais de 1.3 pontos percentuais a mais que o KNORA-E. Já o DES-LCA foi inferior ao KNORA-E em média 1.18 pontos percentuais. Os métodos DES-LCA2 e DES-LCA3 novamente tiveram os piores resultados.

Comparando os resultados dos experimentos das tabelas 2 e 4, pode ser visto que a regra de combinação da média foi melhor que a votação majoritária, pois melhorou em média para todos os métodos com exceção ao DES-LCA2. Ao analisar os resultados das tabelas 3 e 4 com relação a tabela 2 nota-se que ambas as regras, produto e média, melhoraram consideravelmente seus resultados para a base Liver Disorders e pioraram para a base Banana.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Base** | **KNORA-E** | **DES-OLA** | **DES-LCA** | **DES-LCA2** | **DES-LCA3** |
| **Vehicle** | 125,58 | 76,75 | 40,77 | **38,95** | 50,48 |
| **Pima** | 184,58 | 98,55 | 72,51 | **39,99** | 92,36 |
| **Liver Disorders** | 137,3 | 64,47 | 48,68 | **20,45** | 58,08 |
| **WDBC** | 36,7 | 27,84 | 22,77 | **22,41** | 25,48 |
| **Blood transfusion** | 215,96 | 105,07 | 89,29 | **40,58** | 97,86 |
| **Banana** | 128,67 | 77,02 | 62,29 | **49,78** | 64,44 |
| **Lithuanian** | 94,15 | 54,39 | 42,04 | **34,28** | 45,02 |

Tabela 5. Tempo de execução dos métodos DES sem a abordagem DES-FA. O valor de cada célula é a média do tempo de processamento (em segundos) de três iterações.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Base** | **KNORA-E** | **DES-OLA** | **DES-LCA** | **DES-LCA2** | **DES-LCA3** |
| **Vehicle** | 119,31 | 72,38 | 41,22 | **38,78** | 43,83 |
| **Pima** | 90,61 | 56,85 | 42,23 | **36,92** | 48 |
| **Liver Disorders** | 73,6 | 43,19 | 30,61 | **25,76** | 39,88 |
| **WDBC** | 26,65 | 21,78 | 21,38 | 21,52 | **21,11** |
| **Blood transfusion** | 70,23 | 45,72 | 36,65 | **31,56** | 38,16 |
| **Banana** | 87,91 | 55,9 | 44,22 | **43,32** | 44,89 |
| **Lithuanian** | 61,41 | 35,99 | 28,57 | **26,88** | 29,4 |

Tabela 6. Tempo de execução dos métodos DES com a abordagem DES-FA(1). O valor de cada célula é a média do tempo de processamento (em segundos) de três iterações.

Analisando o tempo de processamento dos métodos de seleção com e sem a abordagem DES-FA, nas tabelas 5 e 6, podemos perceber claramente que o KNORA-E é o método mais lento, enquanto que o mais rápido foi o DES-LCA2. O segundo método mais eficiente (tempo de processamento) foi o DES-LCA, em média 2.3 vezes mais rápido que o KNORA-E, depois foi o DCE-LCA3 sendo em média 2.0 vezes mais rápido, e em seguida o DES-OLA com média 1.7 vezes mais rápido que o KNORA-E. Percebe-se também que o uso da abordagem DES-FA reduziu bastante o tempo de processamento. Onde o KNORA-E reduziu em média cerca de 50% no tempo, o DES-OLA e DES-LCA cerca de 42%, o DES-LCA2 cerca de 19% e o DES-LCA3 cerca de 47% do tempo de execução.

**4.3. Análise global**

Tendo uma visão geral das análises da seção anterior vemos que o uso da abordagem DES-FA, filtro e distância adaptativa para a região de competência, influenciou diretamente nas precisões dos métodos de seleção dinâmica analisados. Pelos resultados, foi visto que em geral a abordagem DES-FA melhorou os resultados dos métodos KNORA-E, DES-OLA e DES-LCA2. Porém, o resultado em algumas bases, como o Vehicle, piorou com a abordagem DES-FA para alguns métodos. Isso pode ter ocorrido por causa da seleção do filtro ENN remover padrões importantes para a base.

Com relação ao desempenho dos métodos de seleção, foi visto que para:

* Seleção dinâmica sem uso da abordagem DES-FA (votação):
  + O DES-LCA foi o método que teve em geral o melhor desempenho, seguido pelo DES-OLA, e posteriormente o KNORA-E. Os métodos DES-LCA2 e DES-LCA3 obtiveram resultados insatisfatórios.
* Seleção dinâmica com uso da abordagem DES-FA (votação):
  + O DES-OLA teve o melhor desempenho comparando individualmente com os métodos, pois no geral o KNORA-E teve 3 dos melhores resultado enquanto que o DES-OLA teve 2. O DES-LCA teve o terceiro melhor desempenho com 2 melhores resultados no geral. Os métodos DES-LCA2 e DES-LCA3 obtiveram resultados insatisfatórios.
* Seleção dinâmica com uso da abordagem DES-FA (produto):
  + O DES-OLA teve o melhor desempenho comparando individualmente com cada método, em segundo foi o KNORA-E e depois o DES-LCA. Os métodos DES-LCA2 e DES-LCA3 obtiveram resultados insatisfatórios.
* Seleção dinâmica com uso da abordagem DES-FA (média):
  + O KNORA-E foi superior aos outros métodos em 5 das 7 bases, seguido por DES-OLA melhor em 2 das 7 e depois o DES-LCA.

Comparando o desempenho dos métodos de seleção de acordo com os métodos de combinação utilizados (votação majoritária, produto e média), foi visto que no geral que o desempenho dos métodos que utilizaram as regras de produto e média melhoraram com relação a votação majoritária. Isso afetou principalmente a precisão de duas bases: Liver Disorders, melhorando significativamente, e a Banana, piorando.

Quanto ao tempo de processamento foi visto que é diretamente influenciado pela região de competência, pois o uso da abordagem DES-FA reduziu, em média, 40% do tempo de processamento. Também foi comparado o desempenho (tempo) dos métodos de seleção, em que o DES-LCA2 mostrou-se o mais rápido, seguido por DES-LCA (em média 2.3 vezes mais rápido que o KNORA-E), depois o DES-LCA3, o DES-OLA (em média 1.7 vezes mais rápido que o KNORA-E) e por último o KNORA-E.