

Data oddania: _____

Ocena: _____

Norbert Landrat 213518

Adrian Grzelak 213506

Rozpoznawanie podrabianych banknotów

1. Cel projektu

Projekt polegał na nauce rozpoznawania czy badany banknot jest prawdziwy używając dostępnej bazy danych opisaną w rozdziale 2. Baza zawiera 1372 wpisy z których każdy należy do jednego z 2 rodzajów banknotów (prawdziwy i sfalszowany). Wejściem jest pięć parametrów rzeczywistych, a jako wyjście oczekiwano odpowiedzi, czy badany banknot jest sfalszowany. Przeprowadzono badanie, które miało określić, jaka metoda najlepiej rozwiąże ten problem. Pierwsza metoda użyta do badania dostępnej bazy danych to perceptron wielowarstwowy. Następnie wykorzystano klasyfikator BayesNet. Obie metody zostały szczegółowo opisane w dalszych rozdziałach.

2. Opis danych

Rozdział ten będzie poświęcony szczegółowemu opisowi danych, które zostaną poddane klasyfikacji. Dane zostały pobrane z repozytorium UCI (<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/banknote>). Autorem powyższych danych jest Volke Lohweg (University of Applied Sciences, Ostwestfalen-Lippe, volker.lohweg '@' hs-owl.de), a donatorem Helene Doerksen (University of Applied Sciences, Ostwestfalen-Lippe, helene.doerksen '@' hs-owl.de). Pochodzą z sierpnia 2012 r.

Dane zostały wydobyte ze zdjęć, które zostały zrobione prawdziwym i sfalszowanym banknotom. W celu transformacji danych na postać cyfrową została użyta kamera przemysłowa, która jest najczęściej używana przy inspekcji wydruku banknotów. Zdjęcia mają wymiary 400 x 400 pikseli. Z powodów technicznych (obiektyw kamery, odległość od badanych przedmiotów) zdjęcia zostały robione w odcieniu szarości o rozdzielczości 660 dpi. Aby uzyskać konkretne cechy ze zdjęć została użyta transformata falkowa.

Informacje o atrybutach

1. wariancja zdjęcia po przekształceniu transformatą falkową

2. skośność zdjęcia po przekształceniu transformatą falkową
3. kurtoza zdjęcia po przekształceniu transformatą falkową
4. entropia zdjęcia
5. klasa

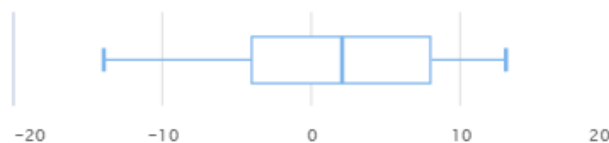
Liczba instancji: 1372

Szczegółowe informacje dotyczące poszczególnych cech

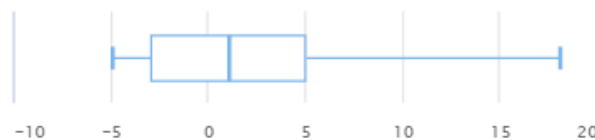
1. wariancja - wartości numeryczne



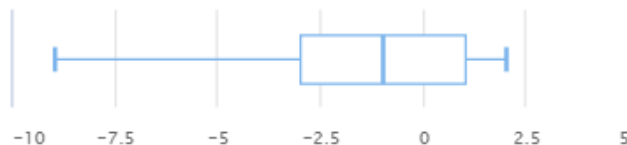
2. skośność - wartości numeryczne



3. kurtoza - wartości numeryczne



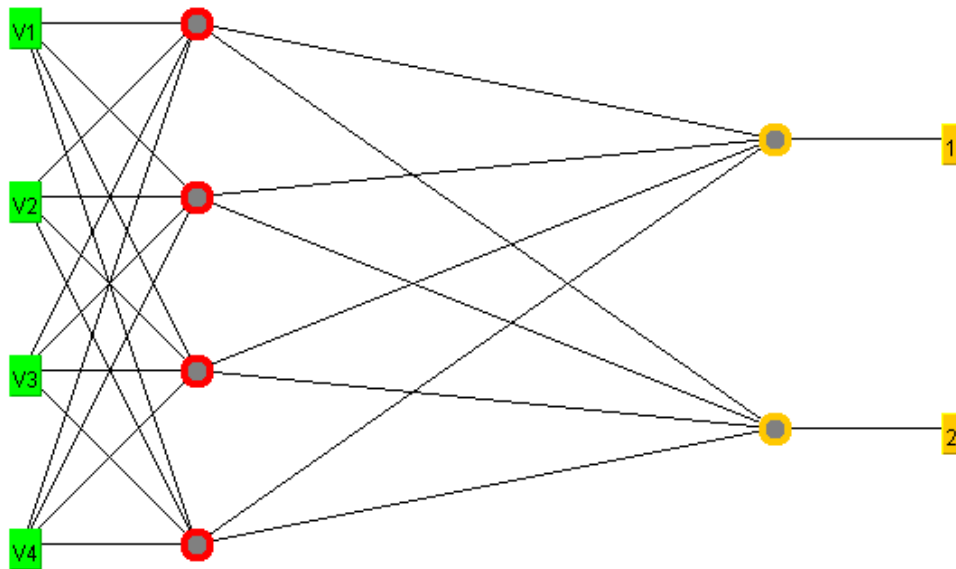
4. entropia - wartości numeryczne



5. klasa – dwie wartości (1 – banknot prawdziwy, 2 – banknot sfałszowany)

3. Perceptron wielowarstwowy

Perceptron wielowarstwowy – prosta sieć neuronowa składająca się z co najmniej dwóch neuronów McCullocha-Pittsa ułożonych warstwowo, implementująca algorytm uczenia nadzorowanego klasyfikatorów binarnych. Perceptron wielowarstwowy jest funkcją, która potrafi określić przynależność parametrów wejściowych do jednej z dwóch klas. W przeciwieństwie do perceptronu jednowarstwowego może być wykorzystywany do klasyfikowania zbiorów, które nie są liniowo separowalne.



Rysunek 1.

Otrzymana sieć neuronowa

Dla celów naszego eksperymentu stowrzyliśmy sieć z 4 neuronami w warstwie ukrytej, przyjęliśmy współczynnik momentum 0.2, Współczynnik nauki 0.3. I ustawiliśmy czas uczenia się zbioru na 1000 epok. Proces uczenia został przeprowadzony metodą kroswalidacji z podziałem na 10 podzbiorów.

Perceptron w tak zdefiniowanym procesie zdołał się nauczyć rozpoznawać elementy ze 100% skutecznością!

3.1. Wyniki algorytmu

Podane parametry: -L 0.3 -M 0.2 -N 1000 -V 0 -S 0 -E 20 -H 4

=====

MultiLayer Perceptron

=====

Correctly Classified Instances	1372	100	%
Incorrectly Classified Instances	0	0	%
Kappa statistic	1		
Mean absolute error	0.0022		
Root mean squared error	0.0086		
Relative absolute error	0.4484 %		
Root relative squared error	1.7397 %		
Total Number of Instances	1372		

=== Confusion Matrix ===

a	b	<-- classified as
762	0	a = 1
0	610	b = 2

4. Sieć Bayesowska

Sieć bayesowska służy do przedstawiania zależności pomiędzy zdarzeniami bazując na rachunku prawdopodobieństwa. Wykorzystuje jeden z ośmiu dostępnych algorytmów szukania. Poniżej przedstawiamy wynik klasyfikacji używając zbioru treningowego oraz 10-krotnej kroswalidacji przy każdym z nich.

4.1. Algorytm wyszukiwania K2 (domyślny)

Zbiór treningowy

=====Sieć Bayesowska z domyślnymi parametrami=====

Correctly Classified Instances	1275	92.93	%
Incorrectly Classified Instances	97	7.07	%
Kappa statistic	0.8559		
Mean absolute error	0.1203		
Root mean squared error	0.2243		
Relative absolute error	24.3602	%	
Root relative squared error	45.1457	%	
Total Number of Instances	1372		

=== Confusion Matrix ===

```
a  b  <-- classified as
733 29 | a = 0
68 542 | b = 1
```

10-krotna krosvalidacja

=== Sieć Bayesowska z domyślnymi parametrami run 1 ===

```
Classifier: weka.classifiers.bayes.BayesNet -D -Q
weka.classifiers.bayes.net.search.local.K2 -- -P 1 -S BAYES -E
weka.classifiers.bayes.net.estimate.SimpleEstimator -- -A 0.5
Dataset: banknote
Folds: 10
Seed: 1
```

=== 10-fold Cross-validation run 1===

Correctly Classified Instances	1264	92.1283	%
Incorrectly Classified Instances	108	7.8717	%
Kappa statistic	0.8399		
Mean absolute error	0.1283		
Root mean squared error	0.2417		
Relative absolute error	25.9856	%	
Root relative squared error	48.64	%	
Total Number of Instances	1372		

=== Confusion Matrix ===

```
a  b  <-- classified as
722 40 | a = 0
68 542 | b = 1
```

4.2. Algorytm wyszukiwania SimulatedAnnealing

Zbiór treningowy

=====Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:SimulatedAnnealing=====

Correctly Classified Instances	1298	94.6064	%
Incorrectly Classified Instances	74	5.3936	%
Kappa statistic	0.8904		
Mean absolute error	0.0813		
Root mean squared error	0.1963		
Relative absolute error	16.4604	%	
Root relative squared error	39.5127	%	
Total Number of Instances	1372		

=== Confusion Matrix ===

```
a  b  <-- classified as
735 27 | a = 0
47 563 | b = 1
```

10-krotna krosvalidacja

=== Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:SimulatedAnnealing run 1 ===

```
Classifier: weka.classifiers.bayes.BayesNet -D -Q
weka.classifiers.bayes.net.search.global.SimulatedAnnealing -- -A 10.0 -U
```

```
10000 -D 0.999 -R 1 -S L00-CV -E weka.classifiers.bayes.net.estimate.SimpleEstimator -- -A 0.5
Dataset: banknote
Folds: 10
Seed: 1
```

```
=== 10-fold Cross-validation run 1===
Correctly Classified Instances      1321          96.2828 %
Incorrectly Classified Instances    51           3.7172 %
Kappa statistic                    0.9246
Mean absolute error                 0.064
Root mean squared error             0.169
Relative absolute error             12.9677 %
Root relative squared error         34.0047 %
Total Number of Instances          1372
=== Confusion Matrix ===
```

```
  a   b   <-- classified as
743 19 |   a = 0
32 578 |   b = 1
```

4.3. Algorytm wyszukiwania TabuSearch

Zbiór treningowy

```
=====Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:TabuSearch=====
```

```
Correctly Classified Instances      1275          92.93 %
Incorrectly Classified Instances     97           7.07 %
Kappa statistic                    0.8559
Mean absolute error                 0.1203
Root mean squared error             0.2243
Relative absolute error             24.3602 %
Root relative squared error         45.1457 %
Total Number of Instances          1372
```

```
=== Confusion Matrix ===
```

```
  a   b   <-- classified as
733 29 |   a = 0
68 542 |   b = 1
```

10-krotna krosvalidacja

```
=== Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:TabuSearch run 1 ===
Classifier: weka.classifiers.bayes.BayesNet -D -Q
weka.classifiers.bayes.net.search.global.TabuSearch -- -L 5 -U 10 -P 1 -S
L00-CV -E weka.classifiers.bayes.net.estimate.SimpleEstimator -- -A 0.5
Dataset: banknote
Folds: 10
Seed: 1
```

```
=== 10-fold Cross-validation run 1===
Correctly Classified Instances      1264          92.1283 %
Incorrectly Classified Instances    108           7.8717 %
Kappa statistic                    0.8399
Mean absolute error                 0.1283
Root mean squared error             0.2417
Relative absolute error             25.9856 %
Root relative squared error         48.64 %
Total Number of Instances          1372
=== Confusion Matrix ===
```

```
  a   b   <-- classified as
722 40 |   a = 0
68 542 |   b = 1
```

4.4. Algorytm wyszukiwania TAN

Zbiór treningowy

```
=====Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:TAN=====
```

Correctly Classified Instances	1298	94.6064 %
Incorrectly Classified Instances	74	5.3936 %
Kappa statistic	0.8904	
Mean absolute error	0.0833	
Root mean squared error	0.1966	
Relative absolute error	16.8604 %	
Root relative squared error	39.5613 %	
Total Number of Instances	1372	

=== Confusion Matrix ===

```

a   b   <-- classified as
735 27 |   a = 0
47 563 |   b = 1

```

10-krotna krosvalidacja

```

=== Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:TAN run 1 ===
Classifier: weka.classifiers.bayes.BayesNet -D -Q
weka.classifiers.bayes.net.search.global.TAN -- -S L00-CV -E
weka.classifiers.bayes.net.estimate.SimpleEstimator -- -A 0.5
Dataset: banknote
Folds: 10
Seed: 1

```

=== 10-fold Cross-validation run 1===

Correctly Classified Instances	1310	95.481 %
Incorrectly Classified Instances	62	4.519 %
Kappa statistic	0.9082	
Mean absolute error	0.0772	
Root mean squared error	0.1828	
Relative absolute error	15.6265 %	
Root relative squared error	36.7806 %	
Total Number of Instances	1372	

=== Confusion Matrix ===

```

a   b   <-- classified as
741 21 |   a = 0
41 569 |   b = 1

```

4.5. Algorytm wyszukiwania GeneticSearch

Zbiór treningowy

=====Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:GeneticSearch=====

Correctly Classified Instances	1298	94.6064 %
Incorrectly Classified Instances	74	5.3936 %
Kappa statistic	0.8904	
Mean absolute error	0.0788	
Root mean squared error	0.1963	
Relative absolute error	15.9485 %	
Root relative squared error	39.5109 %	
Total Number of Instances	1372	

=== Confusion Matrix ===

```

a   b   <-- classified as
735 27 |   a = 0
47 563 |   b = 1

```

10-krotna krosvalidacja

```

=== Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:GeneticSearch run 1 ===
Classifier: weka.classifiers.bayes.BayesNet -D -Q
weka.classifiers.bayes.net.search.global.GeneticSearch -- -L 10 -A 100 -U
10 -R 1 -M -C -S L00-CV -E weka.classifiers.bayes.net.estimate.SimpleEstimator -- -A 0.5
Dataset: banknote
Folds: 10
Seed: 1

```

```

=== 10-fold Cross-validation run 1===
Correctly Classified Instances      1319           96.137 %
Incorrectly Classified Instances    53             3.863 %
Kappa statistic                    0.9216
Mean absolute error                0.0586
Root mean squared error            0.1706
Relative absolute error             11.8624 %
Root relative squared error         34.3286 %
Total Number of Instances          1372
=== Confusion Matrix ===

  a  b  <-- classified as
741 21 |  a = 0
32 578 |  b = 1

```

4.6. Algorytm wyszukiwania HillClimber

Zbiór treningowy

=====Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:HillClimber=====

```

Correctly Classified Instances      1275           92.93 %
Incorrectly Classified Instances     97             7.07 %
Kappa statistic                    0.8559
Mean absolute error                0.1203
Root mean squared error            0.2243
Relative absolute error             24.3602 %
Root relative squared error         45.1457 %
Total Number of Instances          1372

```

=== Confusion Matrix ===

```

  a  b  <-- classified as
733 29 |  a = 0
68 542 |  b = 1

```

10-krotna krosvalidacja

=== Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:HillClimber run 1 ===

```

Classifier: weka.classifiers.bayes.BayesNet -D -Q
weka.classifiers.bayes.net.search.global.HillClimber -- -P 1 -S L00-CV -E
weka.classifiers.bayes.net.estimate.SimpleEstimator -- -A 0.5
Dataset: banknote
Folds: 10
Seed: 1

```

```

=== 10-fold Cross-validation run 1===
Correctly Classified Instances      1264           92.1283 %
Incorrectly Classified Instances    108             7.8717 %
Kappa statistic                    0.8399
Mean absolute error                0.1283
Root mean squared error            0.2417
Relative absolute error             25.9856 %
Root relative squared error         48.64 %
Total Number of Instances          1372
=== Confusion Matrix ===

```

```

  a  b  <-- classified as
722 40 |  a = 0
68 542 |  b = 1

```

4.7. Algorytm wyszukiwania LAGDHillClimber

Zbiór treningowy

=====Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:LAGDHillClimber=====

```

Correctly Classified Instances      1248           90.9621 %
Incorrectly Classified Instances    124             9.0379 %
Kappa statistic                    0.815
Mean absolute error                0.1275

```

```

Root mean squared error          0.2371
Relative absolute error          25.8185 %
Root relative squared error      47.7104 %
Total Number of Instances       1372

```

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b  <-- classified as
733  29 |   a = 0
 95 515 |   b = 1

```

10-krotna krosvalidacja

```

=== Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:LAGDHillClimber run 1 ===
Classifier: weka.classifiers.bayes.BayesNet -D -Q
weka.classifiers.bayes.net.search.local.LAGDHillClimber -- -L 2 -G 5 -P 1
-S BAYES -E weka.classifiers.bayes.net.estimate.SimpleEstimator -- -A 0.5
Dataset: banknote
Folds: 10
Seed: 1

```

=== 10-fold Cross-validation run 1===

```

Correctly Classified Instances    1245          90.7434 %
Incorrectly Classified Instances   127          9.2566 %
Kappa statistic                   0.811
Mean absolute error               0.1344
Root mean squared error           0.249
Relative absolute error           27.2083 %
Root relative squared error       50.1161 %
Total Number of Instances       1372

```

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b  <-- classified as
724  38 |   a = 0
 89 521 |   b = 1

```

4.8. Algorytm wyszukiwania RepeatedHillClimber

Zbiór treningowy

=====Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:RepeatedHillClimber=====

```

Correctly Classified Instances    1275          92.93 %
Incorrectly Classified Instances   97           7.07 %
Kappa statistic                   0.8559
Mean absolute error               0.1203
Root mean squared error           0.2243
Relative absolute error           24.3602 %
Root relative squared error       45.1457 %
Total Number of Instances       1372

```

=== Confusion Matrix ===

```

  a   b  <-- classified as
733  29 |   a = 0
 68 542 |   b = 1

```

10-krotna krosvalidacja

```

=== Sieć Bayesowska z algorytmem szukania:RepeatedHillClimber run 1 ===
Classifier: weka.classifiers.bayes.BayesNet -D -Q
weka.classifiers.bayes.net.search.global.RepeatedHillClimber -- -U 10 -A 1
-P 1 -S L00-CV -E weka.classifiers.bayes.net.estimate.SimpleEstimator -- -A 0.5
Dataset: banknote
Folds: 10
Seed: 1

```

=== 10-fold Cross-validation run 1===

```

Correctly Classified Instances    1264          92.1283 %
Incorrectly Classified Instances   108          7.8717 %
Kappa statistic                   0.8399
Mean absolute error               0.1283

```



```

Root mean squared error      0.2417
Relative absolute error      25.9856 %
Root relative squared error   48.64 %
Total Number of Instances    1372
=== Confusion Matrix ===

  a  b  <-- classified as
722 40 |   a = 0
 68 542 |   b = 1

```

4.9. Podsumowanie i wnioski

Algorytm szukania	Zbiór Treningowy	10-krotna walidacj
K2	92,93%	92,1283%
SimulatedAnnealing	94,6064%	96,2828%
TabuSearch	92,93%	92,1283%
TAN	94,6064%	95,481%
GeneticSearch	94,6064%	96,137%
HillClimber	92,93%	92,1283%
LAGDHillClimber	90,9621%	90,7434%
RepeatedHillClimber	92,93%	92,1283%

Najwyższą skuteczność uzyskuje algorytm wyszukiwania SimulatedAnnealing, jednakże okraszone jest to wysokim czasem obliczeniowym. W przypadku większej liczby danych algorytm mógłby się okazać wysoce nieefektywny. Niewiele mniej skutecznym pozostają algorytmy TAN i GeneticSearch o szybszym działaniu i skuteczności przy 10-krotnej kroswalidacji kolejno: 95,481%; 96,137%.

5. Istotność atrybutów

Istotność atrybutów badamy na 3 sposoby

5.1. Miara Relief

Miara Relief to wynik działania algorytmu wyznaczającego relatywną ważność atrybutów. Ocenia jak dobrze poszczególne atrybuty nadają się do przewidywania wartości jednego wybranego atrybutu binarnego, tzw. atrybutu decyzyjnego. Poniżej zaprezentowany został ranking istotności atrybutów przy użyciu domyślnych parametrów, tzn. Attribute Evaluator – ReliefFAttributeEval o liczbie sąsiadów – 10, Search Method – Ranker.

```

=== Run information ===

Evaluator:   weka.attributeSelection.ReliefFAttributeEval -M -1 -D 1 -K 10
Search:      weka.attributeSelection.Ranker -T -1.7976931348623157E308 -N -1
Relation:    banknote-authentication
Instances:   1372
Attributes:  5
              Variance
              Skewness
              Curtosis
              Entropy
              Class
Evaluation mode:  evaluate on all training data

=== Attribute Selection on all input data ===

```

Search Method:
Attribute ranking.

Attribute Evaluator (supervised, Class (nominal): 5 Class):
ReliefF Ranking Filter
Instances sampled: all
Number of nearest neighbours (k): 10
Equal influence nearest neighbours

Ranked attributes:

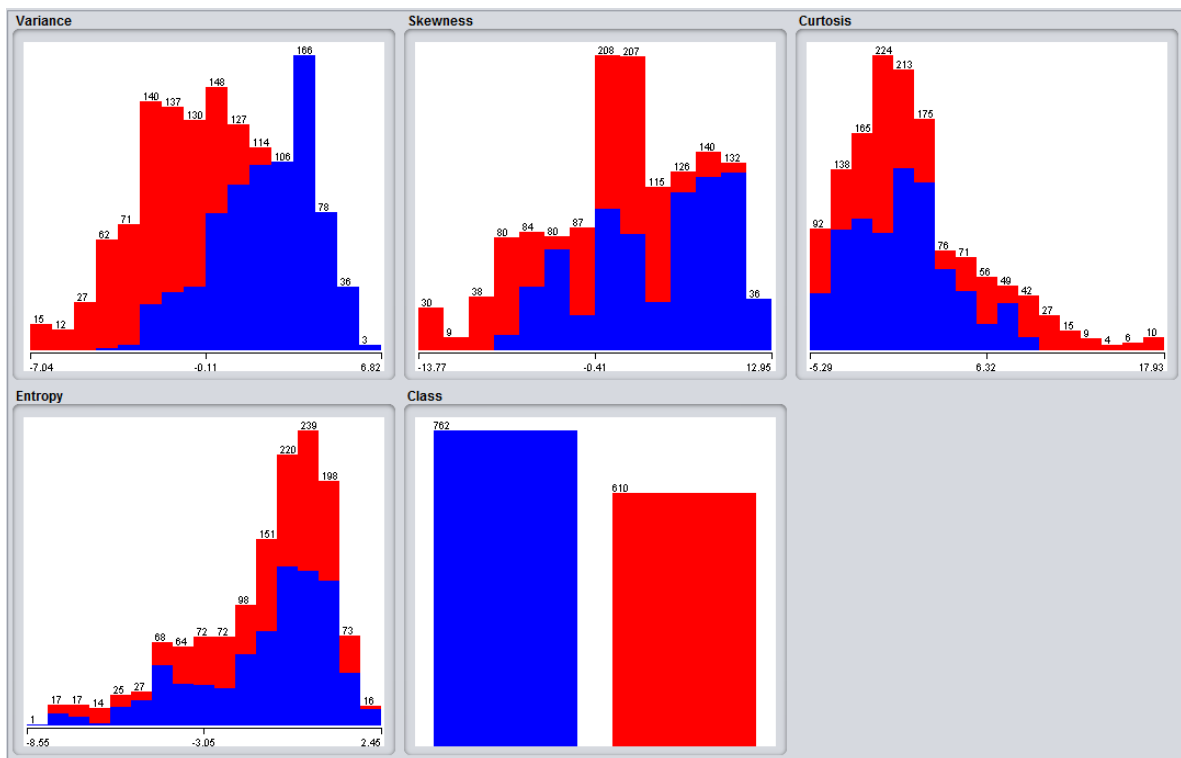
0.1272 1 Variance
0.1006 2 Skewness
0.0647 3 Curtosis
0.0213 4 Entropy

Selected attributes: 1,2,3,4 : 4

Badanie wykazuje że decyzja jest najbardziej uzależniona od wariancji, oraz w niewiele mniejszym stopniu od skośności. Kurtoza odgrywa mniejszą rolę przy podejmowaniu decyzji, natomiast entropia ma już znikomy wpływ.

5.2. Analiza histogramów

Rozkład zmiennych decyzyjnych w naszych danych prezentuje się następująco:



Rysunek 1. Histogramy dla poszczególnych parametrów

Jeżeli spojrzymy na wykresy wariancji ewidentnie potwierdza nam się założenie że jest istotnie najbardziej skorelowana z podjętą decyzją. Widać że elementy dla poszczególnych decyzji są zupełnie inaczej rozłożone. Zupełnie inaczej sytuacja ma się w przypadku Entropii. Tam rozłożenie jednych i drugich wygląda niemal identycznie.

5.3. Analiza wag w neuronach perceptronu

W wyniku działania algorytmu multilayerPerceptron otrzymaliśmy pewne wagi na poszczególnych neuronach w sieci:

```

Sigmoid Node 0
  Inputs  Weights
  Threshold -15.70582061524466
  Node 2  2.5380086425502792
  Node 3  12.55495230795682
  Node 4  9.472054016485565
  Node 5  9.578991234475602
Sigmoid Node 1
  Inputs  Weights
  Threshold 15.704150716426224
  Node 2  -2.5072841574455755
  Node 3  -12.552365481893666
  Node 4  -9.47523047158287
  Node 5  -9.581266354029816
Sigmoid Node 2
  Inputs  Weights
  Threshold -0.23529049334696428
  Attrib Variance 4.772455188120188
  Attrib Skewness 1.6873893615432696
  Attrib Kurtosis 3.7592737494056543
  Attrib Entropy -0.29719915903371485
Sigmoid Node 3
  Inputs  Weights
  Threshold 2.7664652585933185
  Attrib Variance 7.3696398807362336
  Attrib Skewness 13.591522498703414
  Attrib Kurtosis 11.980966729289058
  Attrib Entropy 1.053349663764041
Sigmoid Node 4
  Inputs  Weights
  Threshold 5.9345495765525165
  Attrib Variance 4.537498776242926
  Attrib Skewness -0.8813154253219377
  Attrib Kurtosis 10.67428507310192
  Attrib Entropy -1.2575630002344076
Sigmoid Node 5
  Inputs  Weights
  Threshold 5.819967131416015
  Attrib Variance 12.507385423812616
  Attrib Skewness 7.338449459299226
  Attrib Kurtosis 5.644381683569787
  Attrib Entropy -5.1252118033263905

```

Dają one nam również pewien pogląd na to jak bardzo wybór jest uzależniony od poszczególnych parametrów (Widzimy że mnożniki przy Entropii są niskie W porównaniu do tych które obserwujemy przy Wariancji)

6. Wnioski z badania

Analizowany zbiór jest bardzo trafnie dobrany do celów klasyfikowania. Dane w przypadku metody perceptronu wielowarstwowego są klasyfikowane z wysoką skutecznością (dochodząc do 100%), co może oznaczać, że metoda sprawdzania sfałszowanych banknotów może znaleźć odzwierciedlenie w rzeczywistości. W procesie nauczania perceptronu duży wpływ na osiągane wyniki ma ilość neuronów w warstwie ukrytej. Zbyt mała ich ilość może doprowadzić do słabego nauczania się wzorca, natomiast zbyt duża do zjawiska przeuczenia (Perceptron doskonale rozpoznaje elementy ze zbioru nauczającego, ale natrafia na problemy przy danych pochodzących spoza tego zbioru. Klasyfikator Sieci Bayesowskiej nie poradził sobie z tym zadaniem równie dobrze - klasyfikacja ze skutecznością około 95% w przypadku systemów sprawdzających autentyczność banknotów pomimo tego że brzmi imponująco, może prowadzić do znacznych strat finansowych.