

Łukasz Cieszyński

Studia doktoranckie, II rok

Wydział Informatyki, ZUT

Metody sztucznej inteligencji

*Identyfikacja funkcji kryterialnej decydenta (eksperta)
dotyczącej stopnia zmęczenia użytkownika
podczas korzystania z interfejsu mózg-komputer (BCI)
bazującego na potencjałach wzrokowych stanu ustalonego (SSVEP)
na podstawie 3 atrybutów z 27 regułami.*

1 Wstęp

Potencjały wzrokowe stanu ustalonego (SSVEP ang. Steady State Visually Evoked Potential) są swego rodzaju odpowiedzią mózgu na bodziec powtarzany ze stałą częstotliwością (np. migające światło). W następstwie takiej stymulacji w sygnale EEG (Elektroencefalogram) - rejestrowanym z kory wzrokowej - można zaobserwować wyraźny wzrost mocy w paśmie częstotliwości odpowiadającym częstotliwości bodźca stymulującego. Charakterystyczne dla potencjałów SSVEP jest fakt występowania częstości podstawowej (analogicznej jak częstość stymulatora) oraz pierwszej i drugiej harmonicznej.

Efekt powyższy znalazł swoje zastosowanie w interfejsach mózg-komputer (BCI ang. Brain-Computer Interface). Interfejs mózg-komputer pozwala na zapewnienie komunikacji pomiędzy komputerem a człowiekiem (mózgiem człowieka), a ściślej, umożliwienia przekazywanie poleceń/instrukcji do maszyny. Wykorzystanie SSVEP do powyższego zadania wiąże się z koniecznością wyboru odpowiednich metod filtracji sygnału (w celu usunięcia np. szumu informacyjnego), selekcji i ekstrakcji cech oraz klasyfikacji.

Oprócz typowo obliczeniowych aspektów, na które należy zwrócić uwagę, jest jeszcze szereg typowo technicznych rzeczy (które trzeba uwzględnić już na etapie samego planowania stanowiska eksperymentalnego), które to również mają wpływ na dokładność działania BCI. Wymienić tu należy głównie 3 elementy:

1. Czas ekspozycji (czas świecenia, prezentacji bodźca),
2. Częstotliwość stymulacji,
3. Kolor źródła światła (np. diody LED).

Posiadając układ stymulujący (np. migającą z daną częstotliwością diodę LED lub ekran LCD) oraz wykorzystując aparaturę do pomiaru EEG (elektrody pomiarowe umiejscowione na czaszce podmiotu badanego) możliwe jest zrealizowanie projektów badawczych w oparciu o SSVEP. Przykładem mogą być prace nad tworzeniem interfejsów BCI dla osób niepełnosprawnych, w których to osoba obserwując np. 4 migające pola jest w stanie poruszać wózkiem inwalidzkim. Ponadto opracowywane

są liczne gry badawcze wykorzystujące efekt SSVEP jako narzędzie komunikacji człowieka z komputerem.

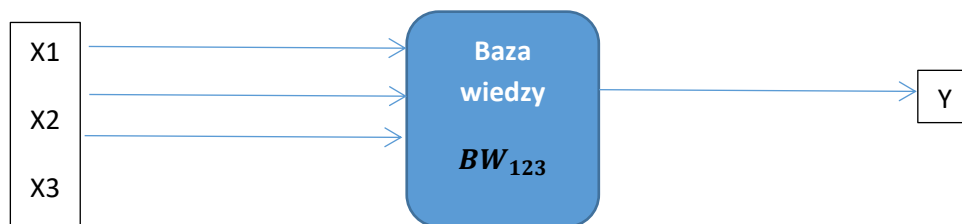
2 Definiowanie atrybutów i ich funkcji przynależności

Zdecydowano, iż badane będą cechy związane z technicznymi elementami BCI. Decyzja ta jest podyktowana ilością metod i algorytmów wykorzystywanych obecnie w etapie przetwarzania i obliczania w BCI oraz na fakt, iż trudno byłoby przypisać im przedziały oraz opis słowny.

Ustalono zatem przez decydenta trzy cechy X1, X2 oraz X3:

- X1 - Czas świecenie
 - (krótki, średni, długi)
 - należy do przedziału: [1;10]
- X2 - Częstotliwość świecenia
 - (niska, średnia, wysoka)
 - należy do przedziału: [1;30]
- X3 - Kolor diody
 - (czerwony, zielony, biały)
 - należy do przedziału: [1;12]

Powstała niezdekomponowana baza wiedzy o zależności Y - stopień zmęczenia użytkownika - od trzech zmiennych X1,X2 oraz X3 (rys. 1).



Rys. 1. Niezdekomponowana baza wiedzy o zależności Y(X1, X2, X3).

Jeżeli liczba zmiennych wynosi 3, każda z nich oceniana będzie za pomocą trzech kwantyfikatorów to w niezdekomponowanej bazie wystąpią: $3 * 3 * 3 = 27$ reguły.

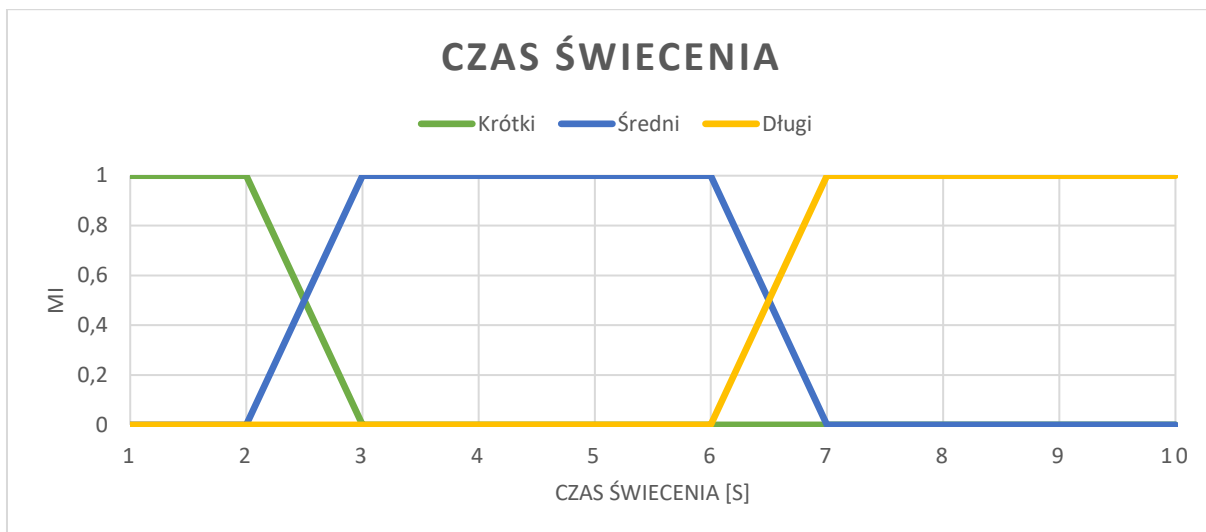
Przykładowa reguła wyglądałaby następująco:

IF (X1 = krótki) AND (X2 = średnia) AND (X3=biała) THEN = (y=?)

2.1 CS – czas świecenia

Czas świecenia to czas przez jaki użytkownik interfejsu BCI obserwuje migającą (z określoną częstotliwością) diodę LED. Inaczej można go nazwać czasem ekspozycji na bodziec stymulujący.

- Wartość tego atrybutu wyrażana jest w sekundach w zakresie CS $\in [1; 10]$.
- Czas świecenia określany jest przy pomocy 3 pojęć lingwistycznych:
 - Krótki (w zakresie CS $\in [1; 2]$),
 - Średni (w zakresie CS $\in [3; 6]$),
 - Długi (w zakresie CS $\in [7; 10]$).

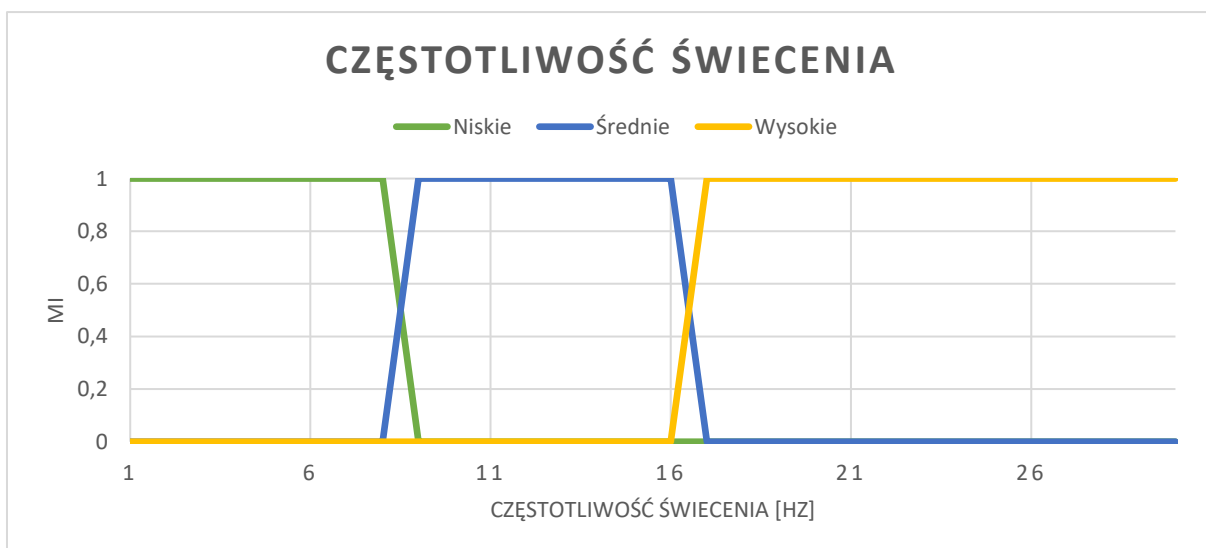


Rys. 2. Funkcje cechy kwantyfikatora X1 (czas świecenia)

2.2 CZ - Częstotliwość świecenia

Częstotliwość świecenia to wartości wyrażone w hercach [Hz] określające częstotliwość migania diody LED obserwowanej przez użytkownika podczas stosowania interfejsu BCI.

- Wartość tego atrybutu wyrażana jest w hercach w zakresie $CZ \in [1; 30]$.
- Czas świecenia określany jest przy pomocy 3 pojęć lingwistycznych:
 - Niskie ($CZ \in [1; 8]$),
 - Średnie ($CZ \in [9; 16]$),
 - Wysokie ($CZ \in [17; 30]$).

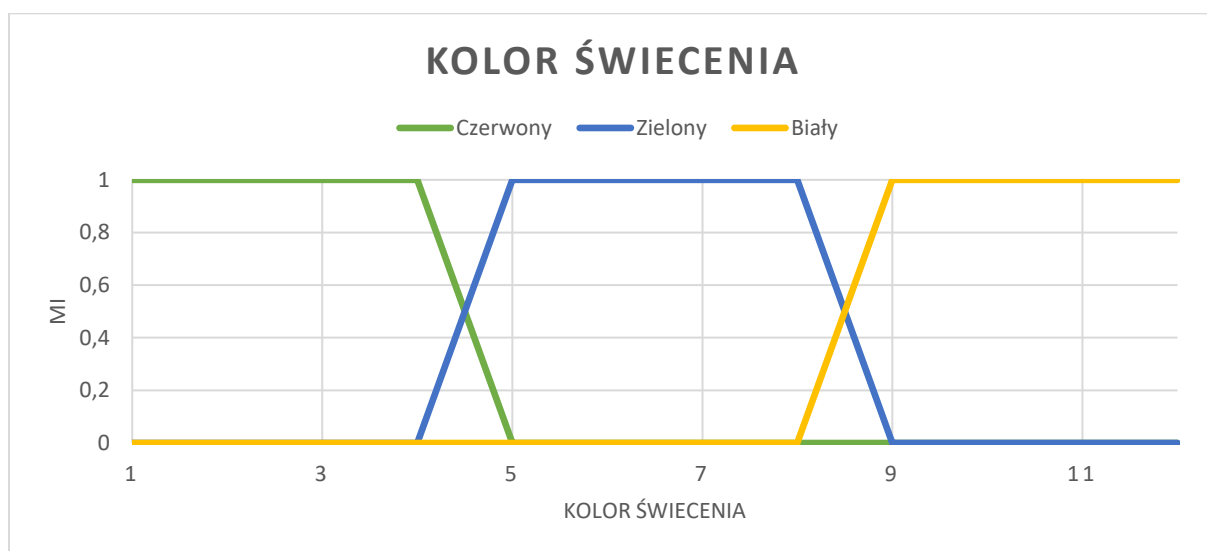


Rys. 3. Funkcje cechy kwantyfikatora X2 (częstotliwość świecenia)

2.3 KS - Kolor świecenia

Kolor świecenia to kolor światła emitowanego przez źródło stymulacji np. diodę LED obserwowaną przez użytkownika podczas stosowania interfejsu BCI.

- Wartość tego atrybutu jest bezwymiarowa i została umownie ustalona w zakresie $KS \in [1; 12]$. Technicznie możliwe jest ustalenie dowolnego koloru świecenia. Zatem wartość KS można przyjąć jako stopień 'zmieszania' barw podstawowych w celu uzyskania pożądanej barwy.
- Kolor świecenia określany jest przy pomocy 3 pojęć lingwistycznych, które wprost odpowiadają faktycznemu kolorowi światła:
 - Czerwony ($KS \in [1; 4]$),
 - Zielony ($KS \in [5; 8]$),
 - Biały ($KS \in [9; 12]$).



Rys. 4. Funkcje cechy kwantyfikatora X3 (kolor świecenia)

2.4 ZU - Zmęczenie użytkownika

Zmęczenie użytkownika jest ekspercką oceną stanu fizycznego osoby korzystającej z interfejsu BCI.

- Wartość ZU jest bezwymiarowa i została umownie ustalona w zakresie $KS \in [1; 12]$.
- Zmęczenie użytkownika określany jest przy pomocy 3 pojęć lingwistycznych:
 - Niskie ($ZU \in [1; 4]$),
 - Średnie ($ZU \in [5; 8]$),
 - Wysokie ($ZU \in [9; 12]$).



Rys. 5. Funkcje cechy Y (zmęczenie użytkownika)

3 Rankingowanie

Rankingowanie zostało wykonane metodą turniejową.

Lp.	Czas świecenia (CS)	Częstotliwość świecenia (CZ)	Kolor świecenia (KS)	Ranking
1	krótko	niskie	czerwony	22
2	krótko	niskie	zielony	21
3	krótko	niskie	biały	18
4	krótko	średnie	czerwony	24
5	krótko	średnie	zielony	23
6	krótko	średnie	biały	20
7	krótko	wysokie	czerwony	27
8	krótko	wysokie	zielony	26
9	krótko	wysokie	biały	25
10	średnio	niskie	czerwony	16
11	średnio	niskie	zielony	17
12	średnio	niskie	biały	19
13	średnio	średnie	czerwony	12
14	średnio	średnie	zielony	13
15	średnio	średnie	biały	15
16	średnio	wysokie	czerwony	10
17	średnio	wysokie	zielony	11
18	średnio	wysokie	biały	14
19	długo	niskie	czerwony	3

20	długo	niskie	zielony	4
21	długo	niskie	biały	1
22	długo	średnie	czerwony	7
23	długo	średnie	zielony	6
24	długo	średnie	biały	2
25	długo	wysokie	czerwony	9
26	długo	wysokie	zielony	8
27	długo	wysokie	biały	5

4 Określenie wartości konkluzji poszczególnych reguł (osadzanie)

Stosując metodę jednakowych różnic uzyskaliśmy 27 różnic, z których każda ma wartość równą $1/27=0,0370$. Ostatecznie uzyskaliśmy również 27 reguł R_i z liczbowymi wartościami konkluzji (stopnia zmęczenia użytkownika) uzależnionej od pozycji rankingowej r_i . Reguły podane są w kolejności zależnej od wartości rankingu domen.

Lp.	Czas świecenia (CS)	Częstotliwość świecenia (CZ)	Kolor świecenia (KS)	Ranking	Zmęczenie użytkownika (ZU)	
					Singleton	Lingwistyczna
1	krótco	niskie	czerwony	22	2,667	NISKIE
2	krótco	niskie	zielony	21	3,111	NISKIE
3	krótco	niskie	biały	18	4,444	ŚREDNIE
4	krótco	średnie	czerwony	24	1,778	NISKIE
5	krótco	średnie	zielony	23	2,222	NISKIE
6	krótco	średnie	biały	20	3,556	NISKIE
7	krótco	wysokie	czerwony	27	0,444	NISKIE
8	krótco	wysokie	zielony	26	0,889	NISKIE
9	krótco	wysokie	biały	25	1,333	NISKIE
10	średnio	niskie	czerwony	16	5,333	ŚREDNIE
11	średnio	niskie	zielony	17	4,889	ŚREDNIE
12	średnio	niskie	biały	19	4,000	ŚREDNIE
13	średnio	średnie	czerwony	12	7,111	ŚREDNIE
14	średnio	średnie	zielony	13	6,667	ŚREDNIE
15	średnio	średnie	biały	15	5,778	ŚREDNIE
16	średnio	wysokie	czerwony	10	8,000	ŚREDNIE
17	średnio	wysokie	zielony	11	7,556	ŚREDNIE
18	średnio	wysokie	biały	14	6,222	ŚREDNIE
19	długo	niskie	czerwony	3	11,111	WYSOKIE
20	długo	niskie	zielony	4	10,667	WYSOKIE
21	długo	niskie	biały	1	12,000	WYSOKIE
22	długo	średnie	czerwony	7	9,333	WYSOKIE
23	długo	średnie	zielony	6	9,778	WYSOKIE
24	długo	średnie	biały	2	11,556	WYSOKIE

25	długo	wysokie	czerwony	9	8,444	ŚREDNIE
26	długo	wysokie	zielony	8	8,889	ŚREDNIE
27	długo	wysokie	biały	5	10,222	WYSOKIE

5 Weryfikacja poprawności działania systemu

Działanie systemu zostało zweryfikowane poprzez porównanie dwóch różnych przypadków, które zostały porównane przez eksperta.

	Czas świecenia (CS)	Częstotliwość świecenia (CZ)	Kolor świecenia (KS)
ZU 1	2,5	5	6
ZU 2	9	20	10

Według eksperta zmęczenie użytkownika 2 przedstawia wyższą wartość niż zmęczenie użytkownika 1

$$Wartość(ZU1) < Wartość(ZU2)$$

5.1 Przypadek 1

Czas świecenia = 2,5 [s]

Częstotliwość świecenia = 5 [Hz]

Kolor świecenia = 6

5.1.1 Fuzyfikacja

Czas świecenia = 2,5

$$\mu_{krótki}(2,5) = 0,5$$

$$\mu_{średni}(2,5) = 0,5$$

$$\mu_{długi}(2,5) = 0$$

Częstotliwość świecenie = 5

$$\mu_{niskie}(5) = 1$$

$$\mu_{średnie}(5) = 0$$

$$\mu_{wysokie}(5) = 0$$

Kolor świecenia = 6

$$\mu_{czerwony}(6) = 0$$

$$\mu_{zielony}(6) = 1$$

$$\mu_{biały}(6) = 0$$

5.1.2 Wnioskowanie

Lp.	CS		CZ		KS		ZU		
	Lingwistyczna	Aktywacja	Lingwistyczna	Aktywacja	Lingwistyczna	Aktywacja	Singleton	Lingwistyczna	Iloczyn
1	krótko	0,5	niskie	1	czerwony	0	2,667	NISKIE	0
2	krótko	0,5	niskie	1	zielony	1	3,111	NISKIE	0,5
3	krótko	0,5	niskie	1	biały	0	4,444	ŚREDNIE	0
4	krótko	0,5	średnie	0	czerwony	0	1,778	NISKIE	0
5	krótko	0,5	średnie	0	zielony	1	2,222	NISKIE	0
6	krótko	0,5	średnie	0	biały	0	3,556	NISKIE	0
7	krótko	0,5	wysokie	0	czerwony	0	0,444	NISKIE	0
8	krótko	0,5	wysokie	0	zielony	1	0,889	NISKIE	0
9	krótko	0,5	wysokie	0	biały	0	1,333	NISKIE	0
10	średnio	0,5	niskie	1	czerwony	0	5,333	ŚREDNIE	0
11	średnio	0,5	niskie	1	zielony	1	4,889	ŚREDNIE	0,5
12	średnio	0,5	niskie	1	biały	0	4,000	ŚREDNIE	0
13	średnio	0,5	średnie	0	czerwony	0	7,111	ŚREDNIE	0
14	średnio	0,5	średnie	0	zielony	1	6,667	ŚREDNIE	0
15	średnio	0,5	średnie	0	biały	0	5,778	ŚREDNIE	0
16	średnio	0,5	wysokie	0	czerwony	0	8,000	ŚREDNIE	0
17	średnio	0,5	wysokie	0	zielony	1	7,556	ŚREDNIE	0
18	średnio	0,5	wysokie	0	biały	0	6,222	ŚREDNIE	0
19	długo	0	niskie	1	czerwony	0	11,111	WYSOKIE	0
20	długo	0	niskie	1	zielony	1	10,667	WYSOKIE	0
21	długo	0	niskie	1	biały	0	12,000	WYSOKIE	0
22	długo	0	średnie	0	czerwony	0	9,333	WYSOKIE	0
23	długo	0	średnie	0	zielony	1	9,778	WYSOKIE	0
24	długo	0	średnie	0	biały	0	11,556	WYSOKIE	0
25	długo	0	wysokie	0	czerwony	0	8,444	ŚREDNIE	0
26	długo	0	wysokie	0	zielony	1	8,889	ŚREDNIE	0
27	długo	0	wysokie	0	biały	0	10,222	WYSOKIE	0

5.1.3 Wyostrzenie

Użyta został operator maksimum oraz metoda singletonów

$$Wartość(ZU1) = 4$$

5.2 Przypadek 2

Czas świecenia = 9 [s]

Częstotliwość świecenia = 20 [Hz]

Kolor świecenia = 10

5.2.1 Fuzyfikacja

Czas świecenia = 9

$$\mu_{krótki}(9) = 0$$

$$\mu_{średni}(9) = 0$$

$$\mu_{długo}(9) = 1$$

Częstotliwość świecenie = 20

$$\mu_{niskie}(20) = 0$$

$$\mu_{średnie}(20) = 0$$

$$\mu_{wysokie}(20) = 1$$

Kolor świecenia = 10

$$\mu_{\text{czerwony}}(10) = 0$$

$$\mu_{\text{zielony}}(10) = 0$$

$$\mu_{\text{biały}}(10) = 1$$

5.2.2 Wnioskowanie

Lp.	CS		CZ		KS		ZU		
	Lingwistyczna	Aktywacja	Lingwistyczna	Aktywacja	Lingwistyczna	Aktywacja	Singleton	Lingwistyczna	Iloczyn
1	krótko	0	niskie	0	czerwony	0	2,667	NISKIE	0
2	krótko	0	niskie	0	zielony	0	3,111	NISKIE	0
3	krótko	0	niskie	0	biały	1	4,444	ŚREDNIE	0
4	krótko	0	średnie	0	czerwony	0	1,778	NISKIE	0
5	krótko	0	średnie	0	zielony	0	2,222	NISKIE	0
6	krótko	0	średnie	0	biały	1	3,556	NISKIE	0
7	krótko	0	wysokie	1	czerwony	0	0,444	NISKIE	0
8	krótko	0	wysokie	1	zielony	0	0,889	NISKIE	0
9	krótko	0	wysokie	1	biały	1	1,333	NISKIE	0
10	średnio	0	niskie	0	czerwony	0	5,333	ŚREDNIE	0
11	średnio	0	niskie	0	zielony	0	4,889	ŚREDNIE	0
12	średnio	0	niskie	0	biały	1	4,000	ŚREDNIE	0
13	średnio	0	średnie	0	czerwony	0	7,111	ŚREDNIE	0
14	średnio	0	średnie	0	zielony	0	6,667	ŚREDNIE	0
15	średnio	0	średnie	0	biały	1	5,778	ŚREDNIE	0
16	średnio	0	wysokie	1	czerwony	0	8,000	ŚREDNIE	0
17	średnio	0	wysokie	1	zielony	0	7,556	ŚREDNIE	0
18	średnio	0	wysokie	1	biały	1	6,222	ŚREDNIE	0
19	długo	1	niskie	0	czerwony	0	11,111	WYSOKIE	0
20	długo	1	niskie	0	zielony	0	10,667	WYSOKIE	0
21	długo	1	niskie	0	biały	1	12,000	WYSOKIE	0
22	długo	1	średnie	0	czerwony	0	9,333	WYSOKIE	0
23	długo	1	średnie	0	zielony	0	9,778	WYSOKIE	0
24	długo	1	średnie	0	biały	1	11,556	WYSOKIE	0
25	długo	1	wysokie	1	czerwony	0	8,444	ŚREDNIE	0
26	długo	1	wysokie	1	zielony	0	8,889	ŚREDNIE	0
27	długo	1	wysokie	1	biały	1	10,222	WYSOKIE	1

5.2.3 Wyostrzenie

Użyta został operator maksimum oraz metoda singletonów

$$Wartość(ZU2) = 10,22$$

6 Wyniki

Weryfikacja potwierdziła poprawność działania systemu:

$$4 < 10,22$$

$$Wartość(ZU1) < Wartość(ZU2)$$