

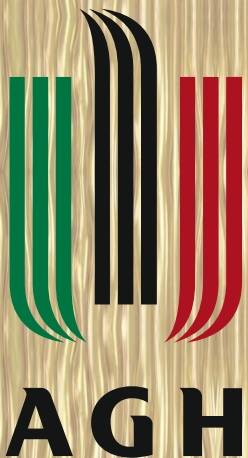
Asocjacyjne grafowe struktury danych

AGDS

Associative Graph Data Structure

Ćwiczenia

Adrian Horzyk
horzyk@agh.edu.pl



AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki
i Inżynierii Biomedycznej
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej
Laboratorium Biocybernetyki
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30, paw. C3/205

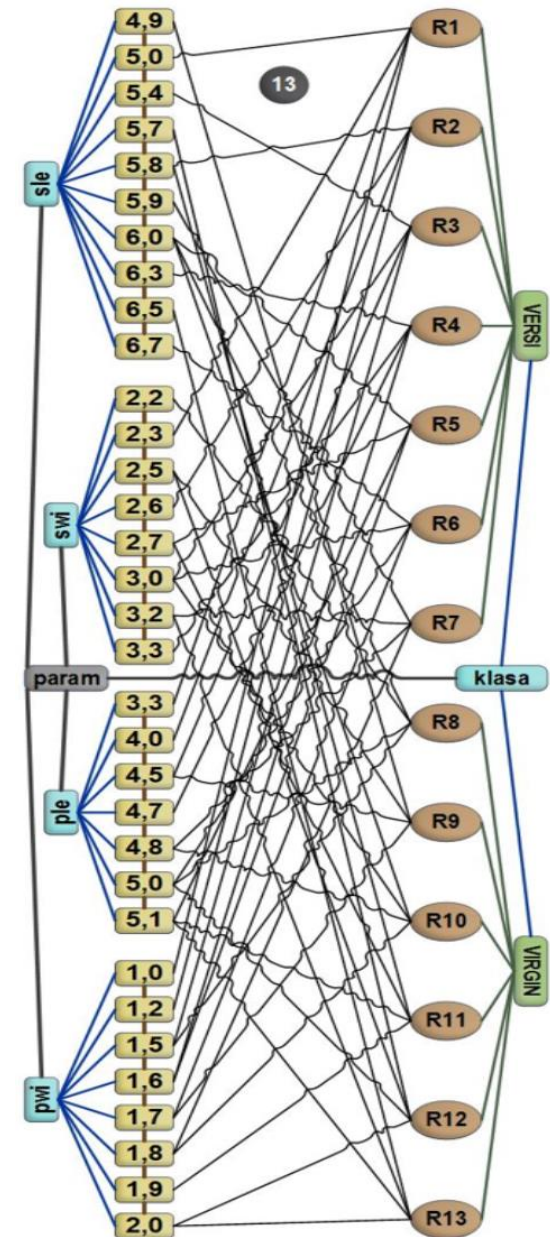
Zbuduj asocjacyjną grafową strukturę danych AGDS



1. Zbuduj graf AGDS dla zbiorów Iris i Wine, wykorzystując AVB-drzewa, funkcje haszujące, wyszukiwanie połówkowe, słowniki, listy sortujące itp. dążenia do optymalnego i szybkiego działania struktury AGDS.
2. Napisz metody pozwalające szybko znaleźć grupę wzorców najbardziej podobnych do wybranego wzorca, pewnego ich podzbioru albo podanego podzbioru wartości atrybutów przez użytkownika.
3. Napisz metody pozwalające szybko znaleźć grupę wzorców spełniających pewne kryteria filtrowania, np. dane atrybutu lub atrybutów mieszczą się w pewnym zakresie.
4. Napisz metodę pozwalającą szybko określić wszystkie wzorce częste wykorzystując asocjacje i ilość połączeń dla poszczególnych wartości. Porównaj sposób działania z metodami eksploracji bezpośredniej operujących na strukturach tabelarycznych, następnie zmierz i porównaj czasy wykonania tych operacji dla różnych zbiorów danych.

WZORCE IRIS	param	sle	swi	ple	pwi	klasa
	R1	5,0	2,3	3,3	1,0	VERSI
	R2	5,8	2,6	4,0	1,2	VERSI
	R3	5,4	3,0	4,5	1,5	VERSI
	R4	6,3	3,3	4,7	1,6	VERSI
	R5	6,0	2,7	5,1	1,6	VERSI
	R6	6,7	3,0	5,0	1,7	VERSI
	R7	5,9	3,2	4,8	1,8	VERSI
	R8	6,0	2,2	5,0	1,5	VIRGIN
	R9	4,9	2,5	4,5	1,7	VIRGIN
	R10	6,0	3,0	4,8	1,8	VIRGIN
	R11	5,8	2,7	5,1	1,9	VIRGIN
	R12	5,7	2,5	5,0	2,0	VIRGIN
	R13	6,5	3,2	5,1	2,0	VIRGIN

TRANSFORMACJA

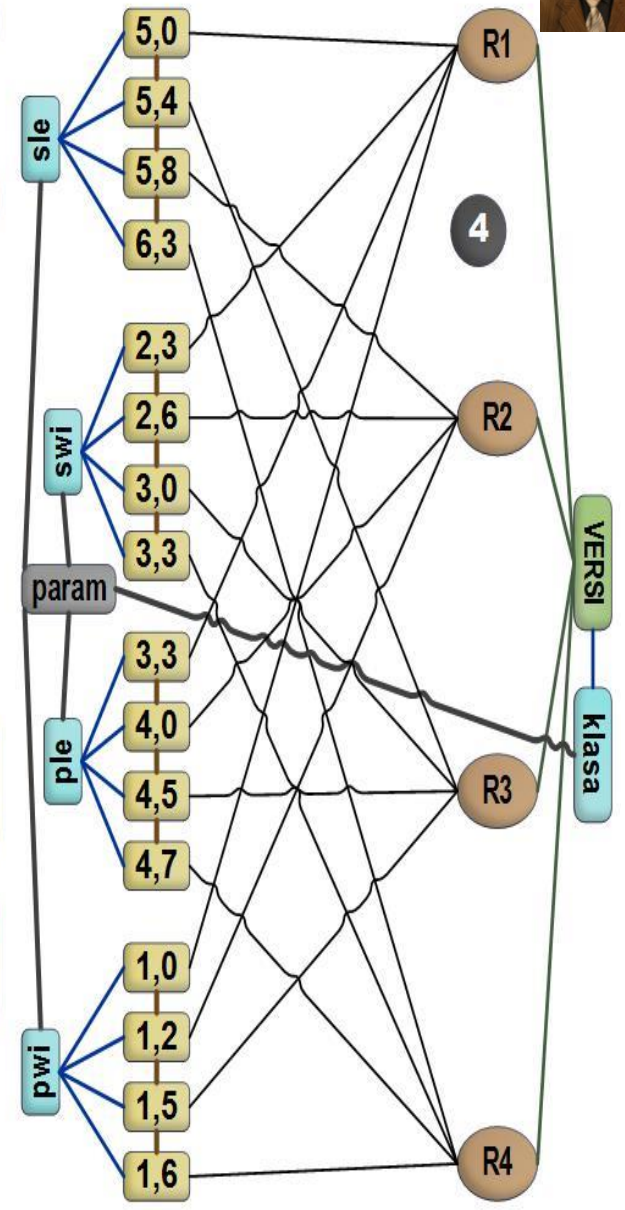
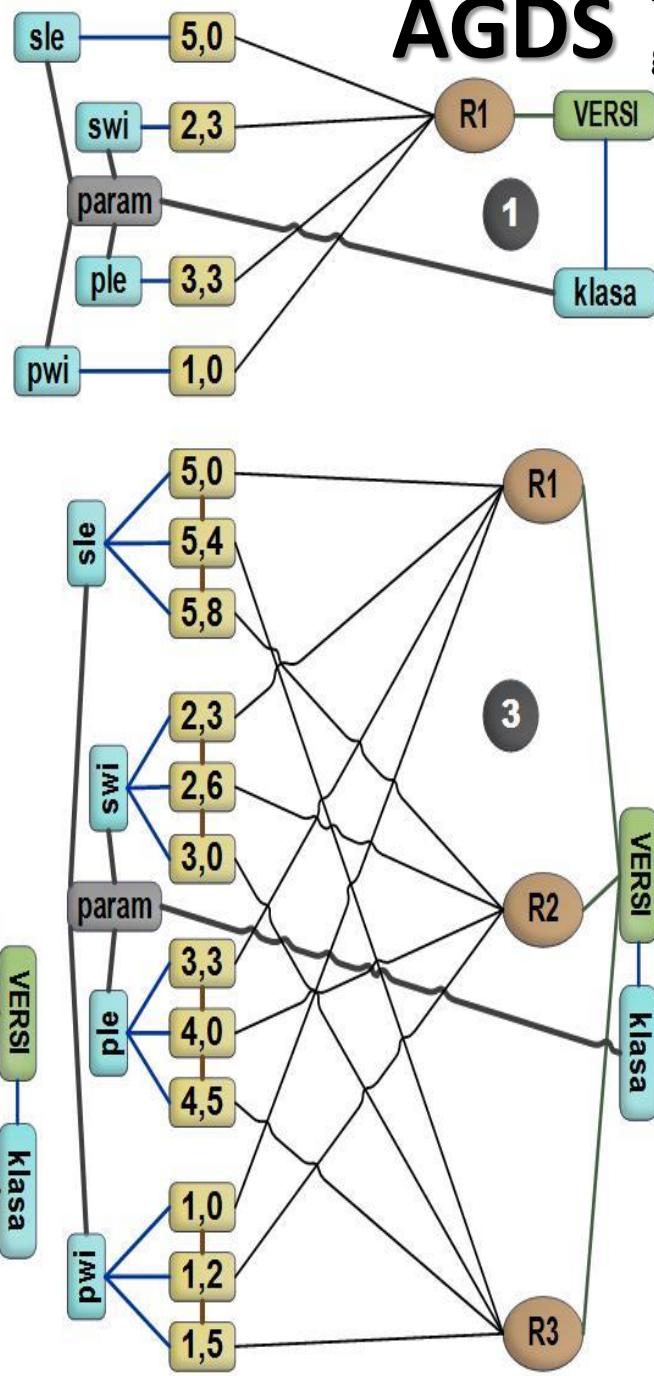
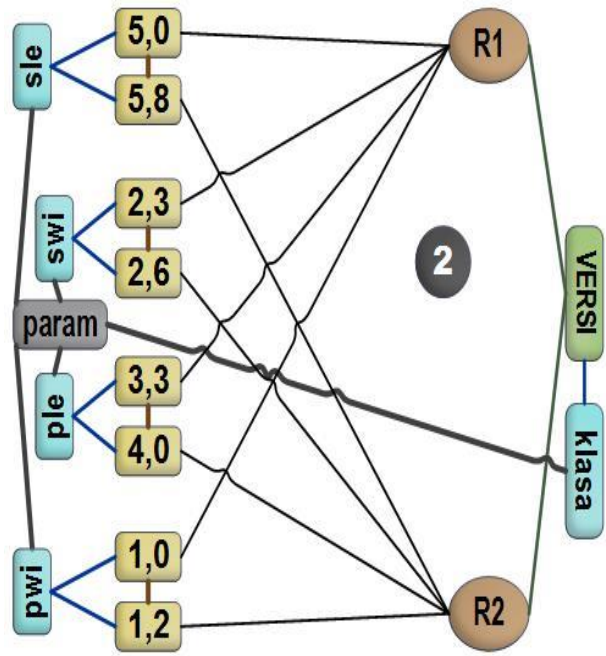


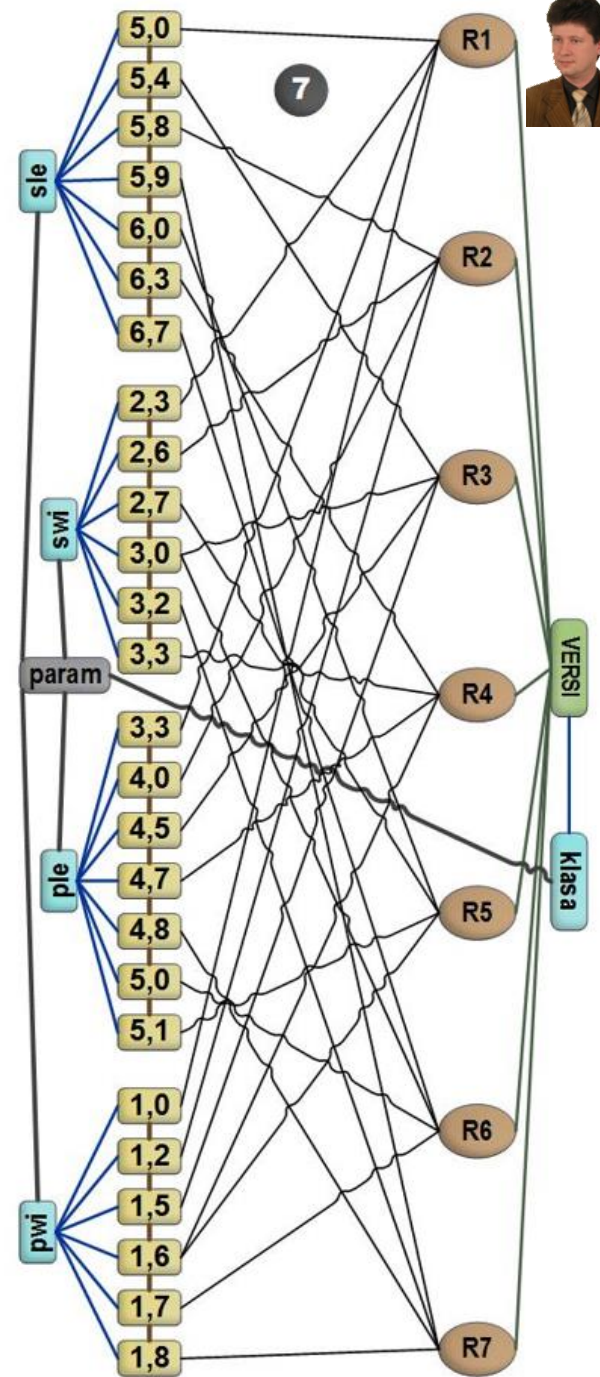
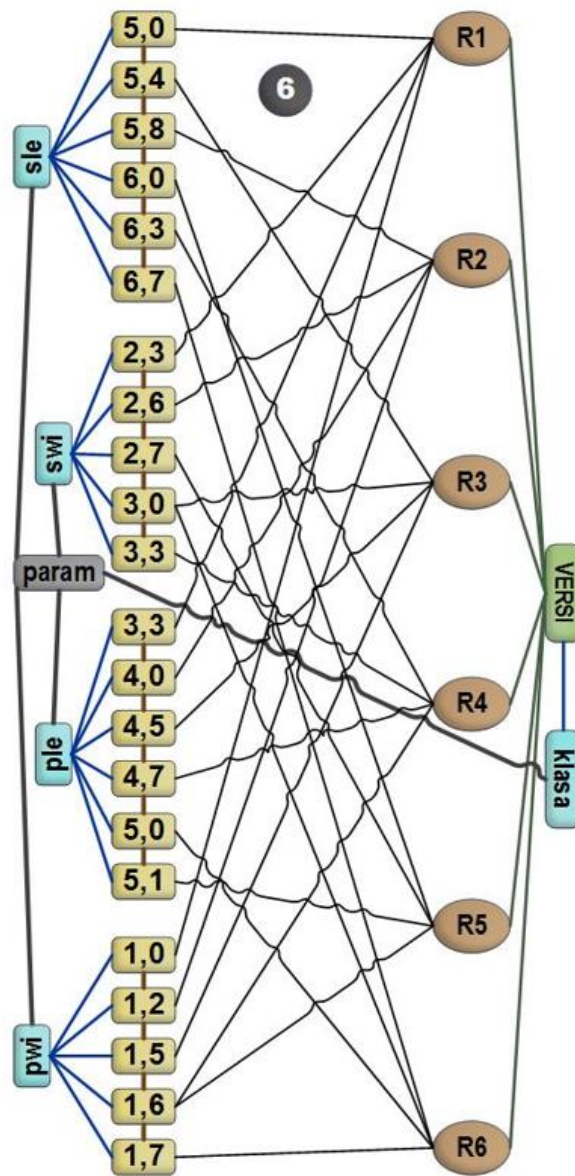
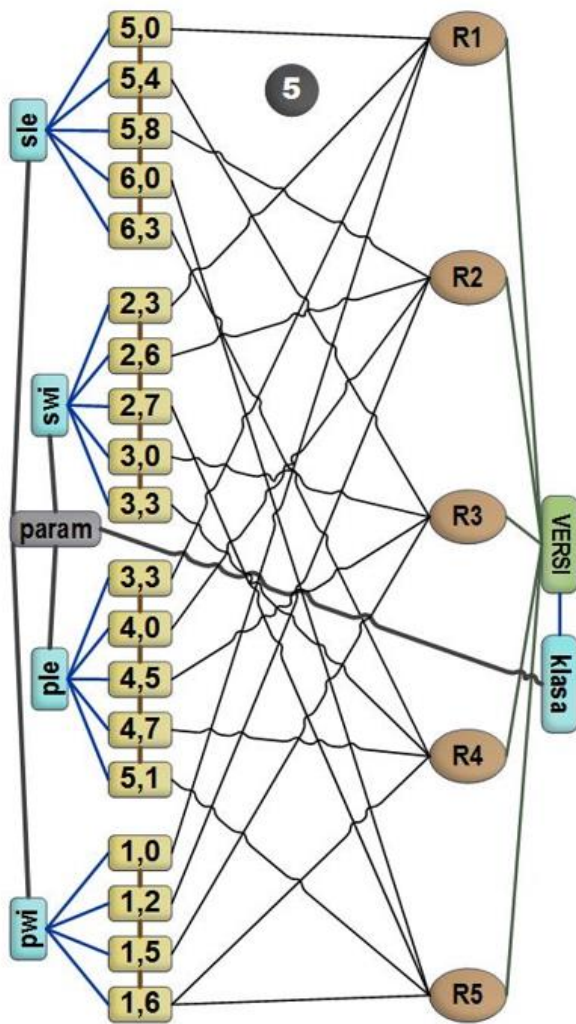
WZORCE IRIS

param	sle	swi	ple	pwi	klasa
R1	5,0	2,3	3,3	1,0	VERSI
R2	5,8	2,6	4,0	1,2	VERSI
R3	5,4	3,0	4,5	1,5	VERSI
R4	6,3	3,3	4,7	1,6	VERSI
R5	6,0	2,7	5,1	1,6	VERSI
R6	6,7	3,0	5,0	1,7	VERSI
R7	5,9	3,2	4,8	1,8	VERSI
R8	6,0	2,2	5,0	1,5	VIRGIN
R9	4,9	2,5	4,5	1,7	VIRGIN
R10	6,0	3,0	4,8	1,8	VIRGIN
R11	5,8	2,7	5,1	1,9	VIRGIN
R12	5,7	2,5	5,0	2,0	VIRGIN
R13	6,5	3,2	5,1	2,0	VIRGIN

AGDS

to pasywna asocjacyjna grafowa struktura danych

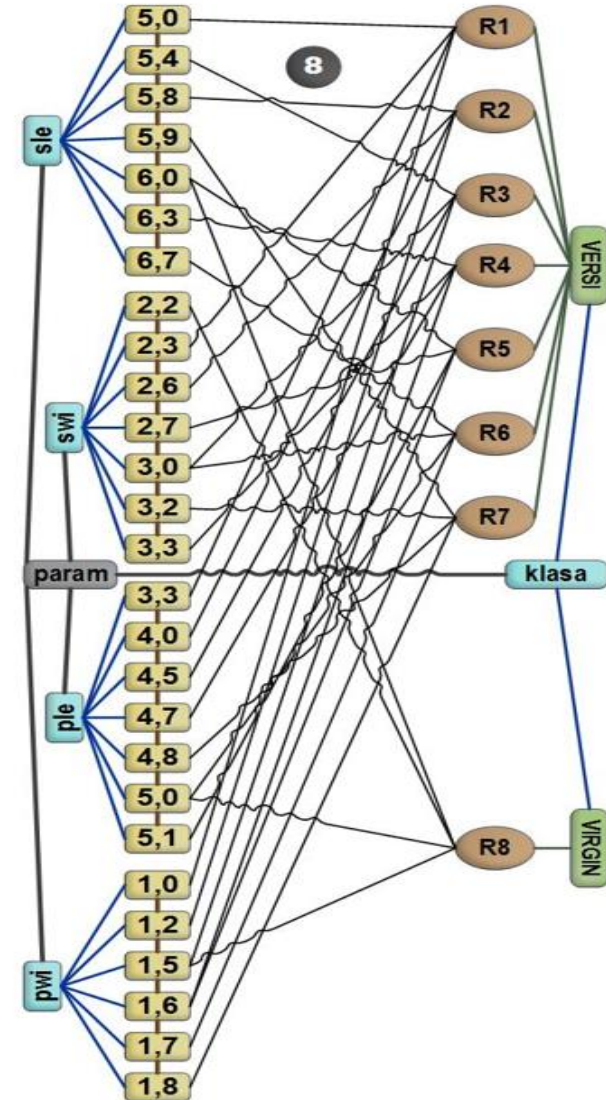
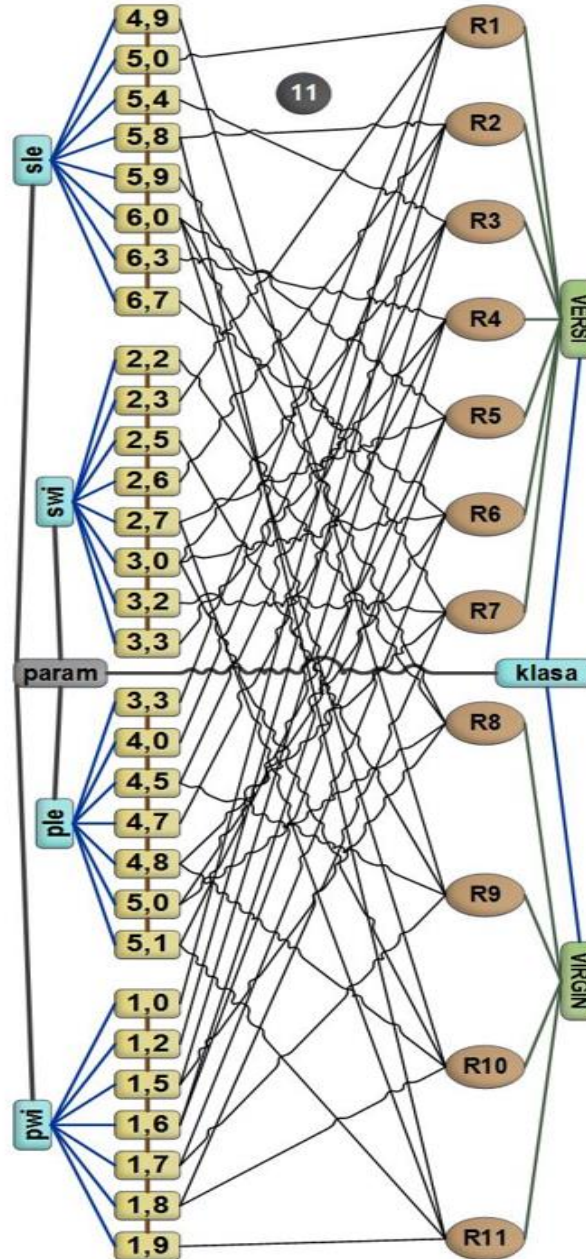
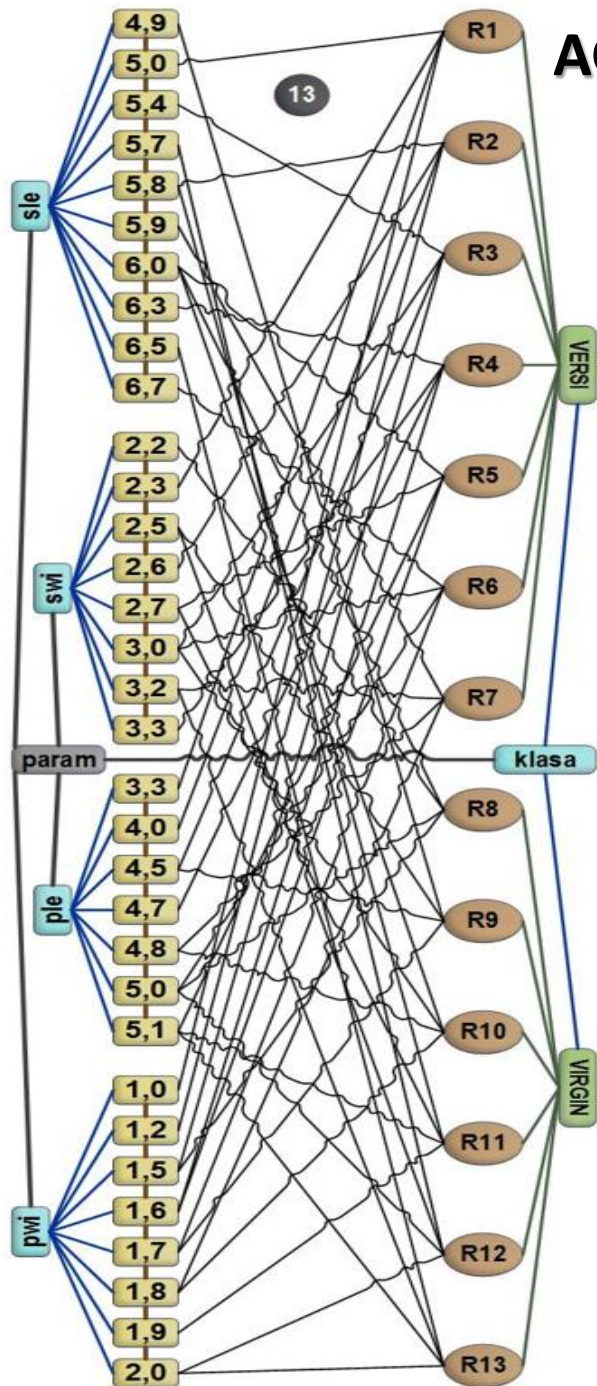




AGDS

asocjacyjna grafowa struktura danych
(an *associative graph data structure*)

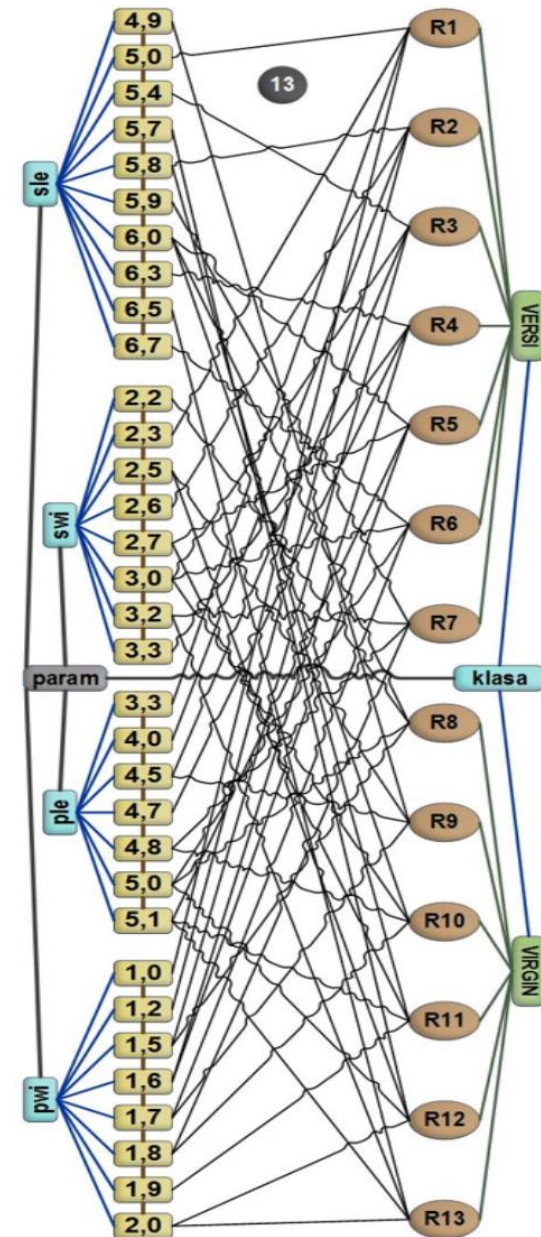
AGDS - asocjacyjna grafowa struktura danych



Uwagi implementacyjne: konwersja tabeli do AGDS



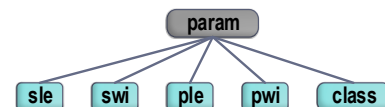
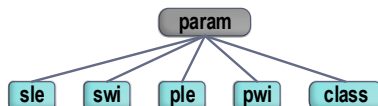
1. Wykorzystaj programowanie zorientowane obiektowo i zaimplementuj każdy węzeł grafu jako klasę zawierającą reprezentowaną wartość lub nazwę oraz listę wskaźników do innych połączonych węzłów w grafie.
2. Warto potraktować węzeł PARAM jako wyróżniony w grafie, poprzez który uzyskujemy szybki (w czasie stałym) pośredni dostęp do wszystkich elementów w grafie. Graf AGDS można oprzeć na strukturze drzewiastej: korzeniem jest PARAM, na 1. poziomie nazwy atrybutów: pwi, ple, swi, sle, klasa, na 2. poziomie posortowane wartości atrybutów, na 3. poziomie etykiety rekordów/encji, przy czym tutaj pojawiają się cykle.
3. Do reprezentacji danych dla poszczególnych atrybutów posługujemy się słownikami, tablicami lub listami sortującymi, można wykorzystać też AVB-drzewa lub funkcję haszującą czy też korzystamy z sortowania i wyszukujemy połówkowo (w wersji na tablicach). W przypadku tablic odpada też konieczność reprezentacji połączeń pomiędzy sąsiadującymi wartościami za pomocą wskaźników, lecz tablica jest gorszym rozwiązaniem w przypadku przewidywanych częstych operacji dodawania lub usuwania nowych wartości atrybutów. Preferowane są więc struktury dynamiczne lub samoorganizujące się, np. AVB-drzewa.
4. Jeśli zbiór obiektów (rekordów) jest stały i z góry zdefiniowany, można pójść na skróty i wykorzystać dla wartości każdego atrybutu szybkie sortowanie stogowe (kopcowe) z usuwaniem duplikatów wartości. Następnie przekształcić posortowane tablice wartości w tablice klas reprezentujące węzły i połączyć je z pozostałymi węzłami grafu przeglądając zbiór uczący ponownie.
5. Opcjonalnie można utworzyć połączenia pomiędzy sąsiadującymi etykietami wzorców: R1 – – R13, w celu odwzorowania ich kolejności.



Uwagi implementacyjne: Grafowa struktura AGDS oparta na drzewie



TRANSFORMACJA ASOCJACYJNA



WZORCE IRIS

param	sle	swi	ple	pwi	class
R1	5,0	2,3	3,3	1,0	VERSI
R2	5,8	2,6	4,0	1,2	VERSI
R3	5,4	3,0	4,5	1,5	VERSI
R4	6,3	3,3	4,7	1,6	VERSI
R5	6,0	2,7	5,1	1,6	VERSI
R6	6,7	3,0	5,0	1,7	VERSI
R7	5,9	3,2	4,8	1,8	VERSI
R8	6,0	2,2	5,0	1,5	VIRGIN
R9	4,9	2,5	4,5	1,7	VIRGIN
R10	6,0	3,0	4,8	1,8	VIRGIN
R11	5,8	2,7	5,1	1,9	VIRGIN
R12	5,7	2,5	5,0	2,0	VIRGIN
R13	6,5	3,2	5,1	2,0	VIRGIN



WZORCE IRIS

R1	5,0	2,3	3,3	1,0	VERSI
R2	5,8	2,6	4,0	1,2	VERSI
R3	5,4	3,0	4,5	1,5	VERSI
R4	6,3	3,3	4,7	1,6	VERSI
R5	6,0	2,7	5,1	1,6	VERSI
R6	6,7	3,0	5,0	1,7	VERSI
R7	5,9	3,2	4,8	1,8	VERSI
R8	6,0	2,2	5,0	1,5	VIRGIN
R9	4,9	2,5	4,5	1,7	VIRGIN
R10	6,0	3,0	4,8	1,8	VIRGIN
R11	5,8	2,7	5,1	1,9	VIRGIN
R12	5,7	2,5	5,0	2,0	VIRGIN
R13	6,5	3,2	5,1	2,0	VIRGIN



WZORCE IRIS

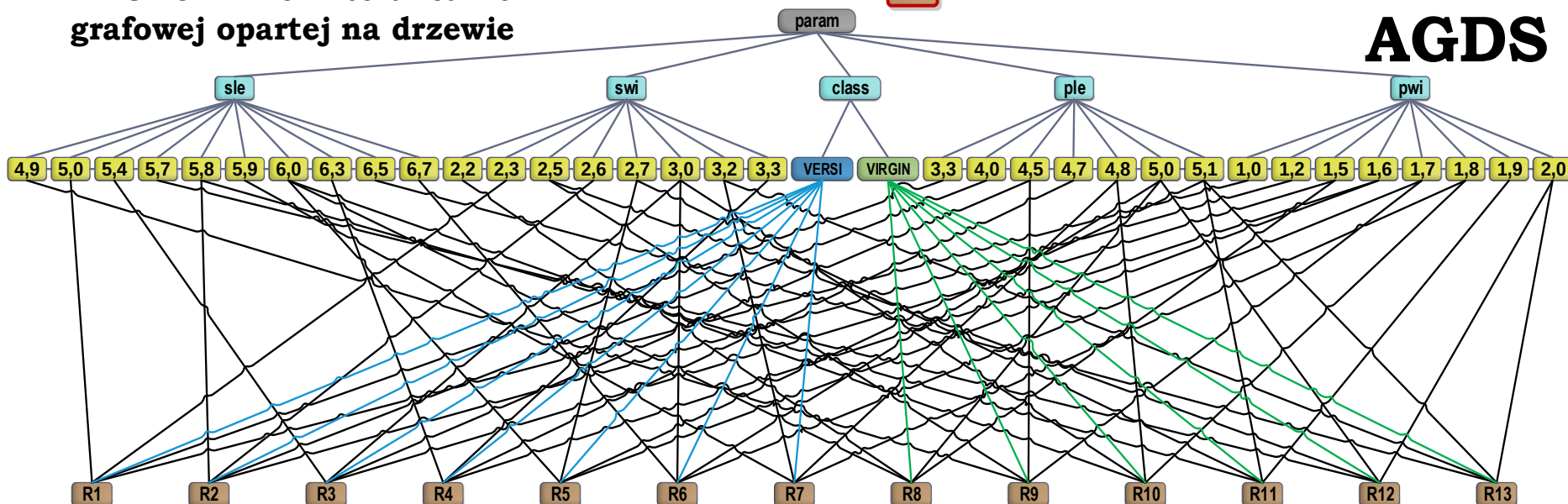
5,0	2,3	3,3	1,0	VERSI
5,8	2,6	4,0	1,2	VERSI
5,4	3,0	4,5	1,5	VERSI
6,3	3,3	4,7	1,6	VERSI
6,0	2,7	5,1	1,6	VERSI
6,7	3,0	5,0	1,7	VERSI
5,9	3,2	4,8	1,8	VERSI
6,0	2,2	5,0	1,5	VIRGIN
4,9	2,5	4,5	1,7	VIRGIN
6,0	3,0	4,8	1,8	VIRGIN
5,8	2,7	5,1	1,9	VIRGIN
5,7	2,5	5,0	2,0	VIRGIN
6,5	3,2	5,1	2,0	VIRGIN

WZORCE IRIS w strukturze grafowej opartej na drzewie



R1 R2 R3 R4 R5 R6 R7 R8 R9 R10 R11 R12 R13

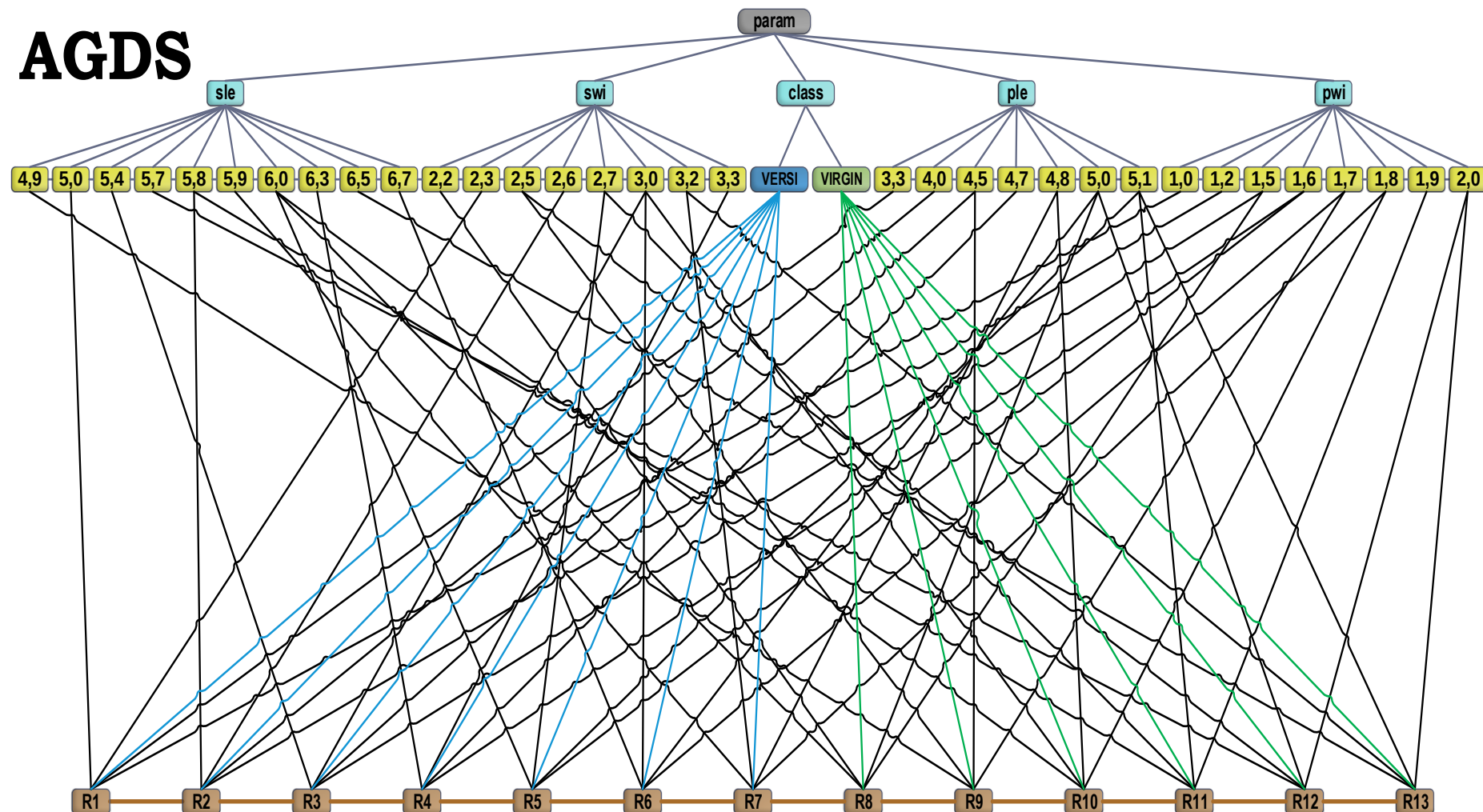
AGDS



Dostęp do elementów grafu uzyskuje za pośrednictwem wyróżnionego węzła głównego param, który posiada połączenia z wszystkimi parametrami (atrybutami, cechami), a one z wartościami, a te etykietami wzorców.



AGDS

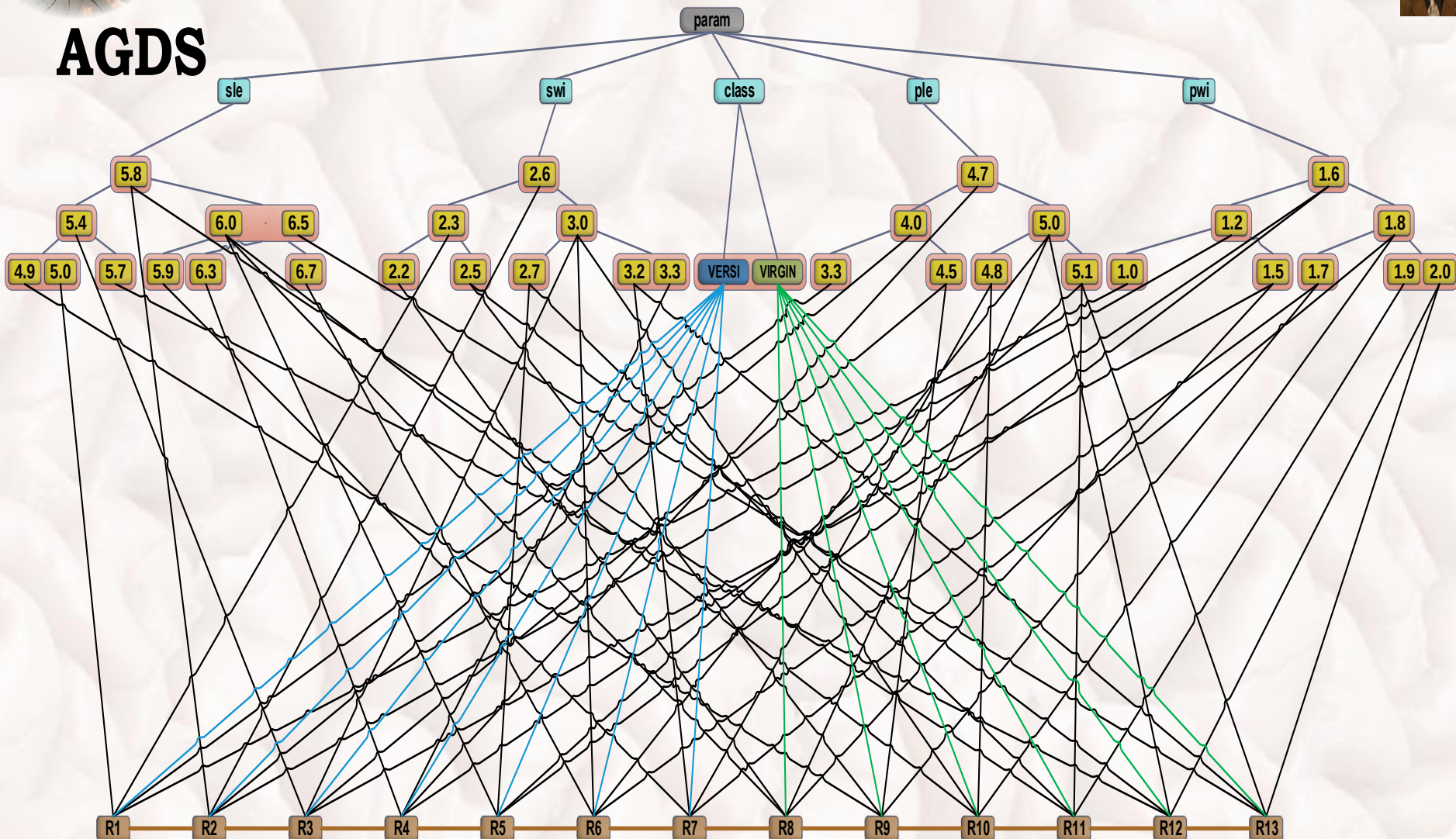


Struktura grafowa oparta na drzewie pozwala uzyskać bardzo szybki dostęp do dowolnych danych oraz reprezentowanych relacji pomiędzy tymi danymi.

Jeśli kolejność rekordów w tabeli bazodanowej ma znaczenie, dodajemy połączenia pomiędzy etykietami rekordów, celem odwzorowania tej kolejności.



AGDS



W przypadku implementacji sekwencyjnej (nie równoległej) w celu uzyskania efektywnego dostępu do wartości stosujemy **AVB-DRZEWA**, będące B-DRZEWAMI zawierającymi tylko unikalne wartości atrybutu.

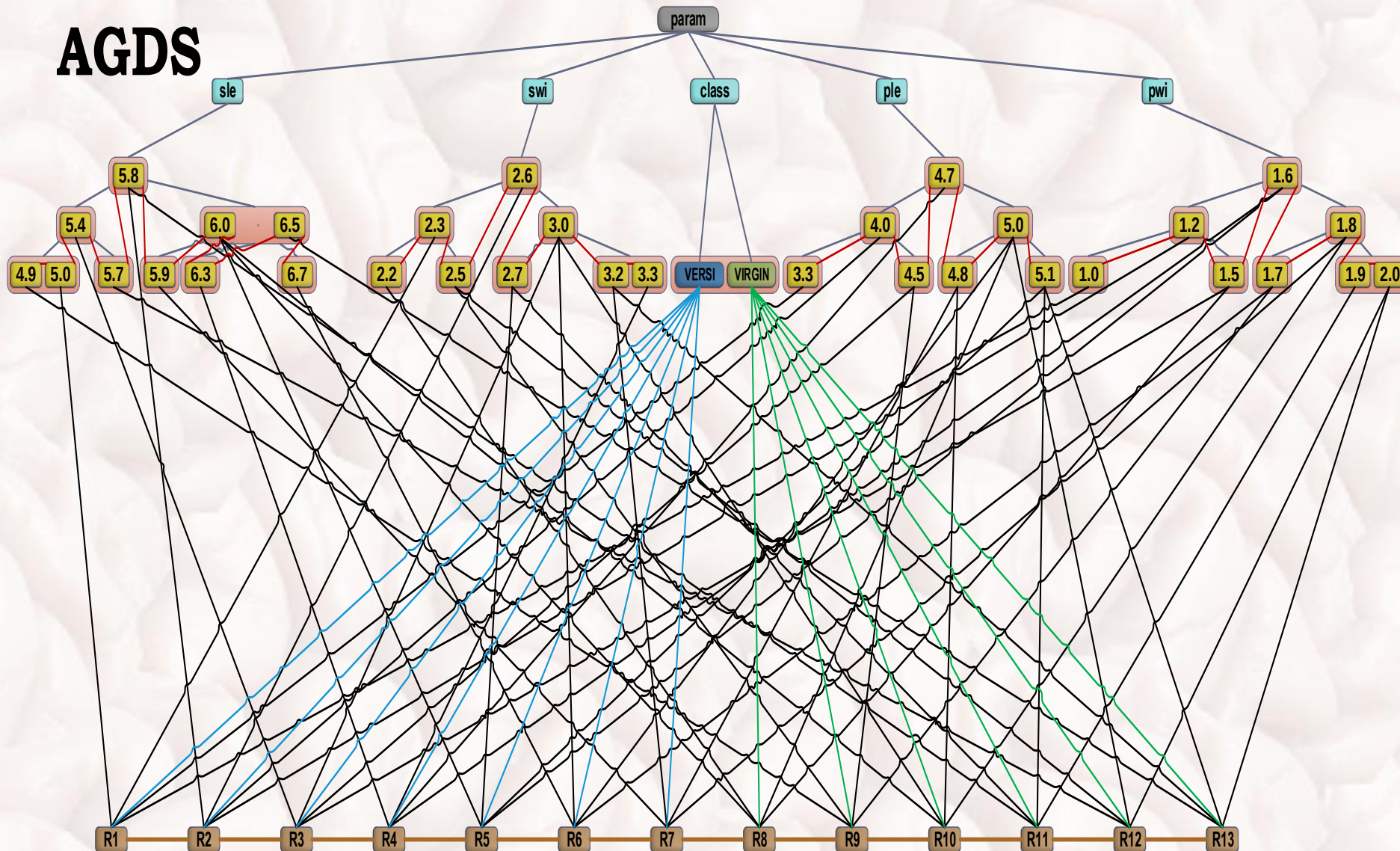
W przypadku wykorzystania AVB-DRZEW nie musimy (ale możemy) stosować bezpośrednie połączenia pomiędzy wartościami sąsiednimi, gdyż możemy szybko do nich dotrzeć przechodząc po krawędziach.



PASYWNA ASOCJACYJNA GRAFOWA STRUKTURA DANYCH



AGDS



AVB+DRZEWA mogą zawierać dodatkowe krawędzie (bordowe) łączące ze sobą sąsiednie (w sensie porządku) wartości poszczególnych atrybutów.

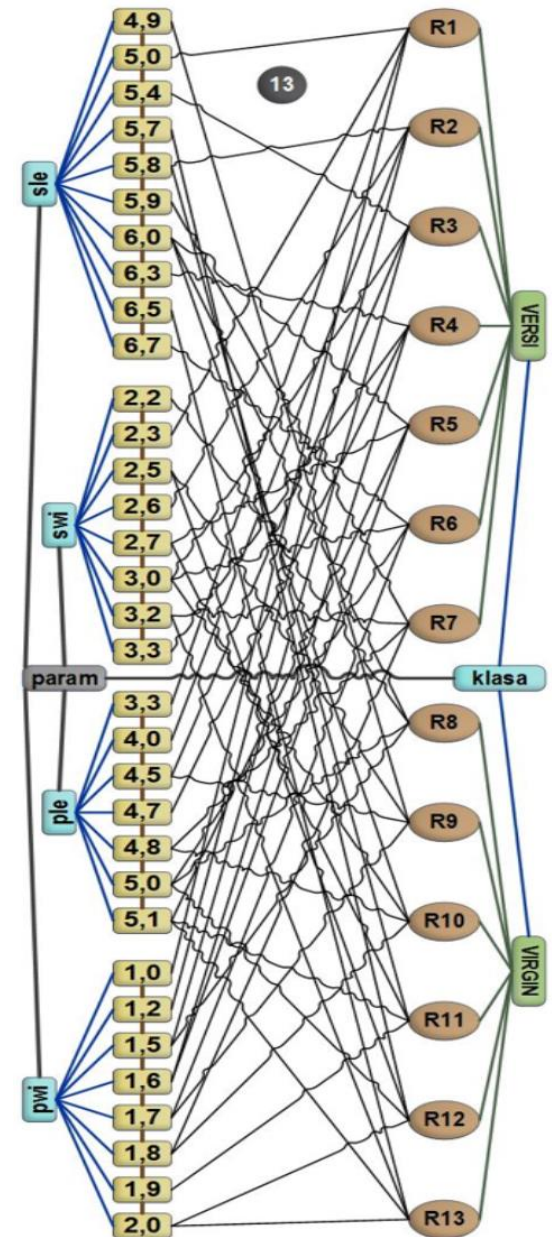
Uwagi implementacyjne: wnioskowanie i eksploracja



- ✓ Każda metoda operująca na grafie AGDS porusza się po ograniczonej ilości krawędzi tego grafu korzystając z lokalnych list wskaźników znajdujących się w poszczególnych węzłach grafu.
- ✓ Węzły reprezentujące atrybuty posiadają dwa dodatkowe wskaźniki do węzłów reprezentujących minimalną *MIN* i maksymalną *MAX* wartość tego atrybutu. Ponadto w węźle atrybutu można dla przechowywać wartość przedziału liczb *RANGE* reprezentowanych przez powiązane wartości definiujące ten atrybut.
- ✓ W podstawowej wersji implementacji struktury AGDS wartości wag pomiędzy sąsiednimi posortowanymi wartościami atrybutów określamy wg wzoru:

$$w_{a,b}^{P_i} = 1 - \frac{|a - b|}{MAX_{P_i} - MIN_{P_i}} = 1 - \frac{|a - b|}{RANGE_{P_i}}$$

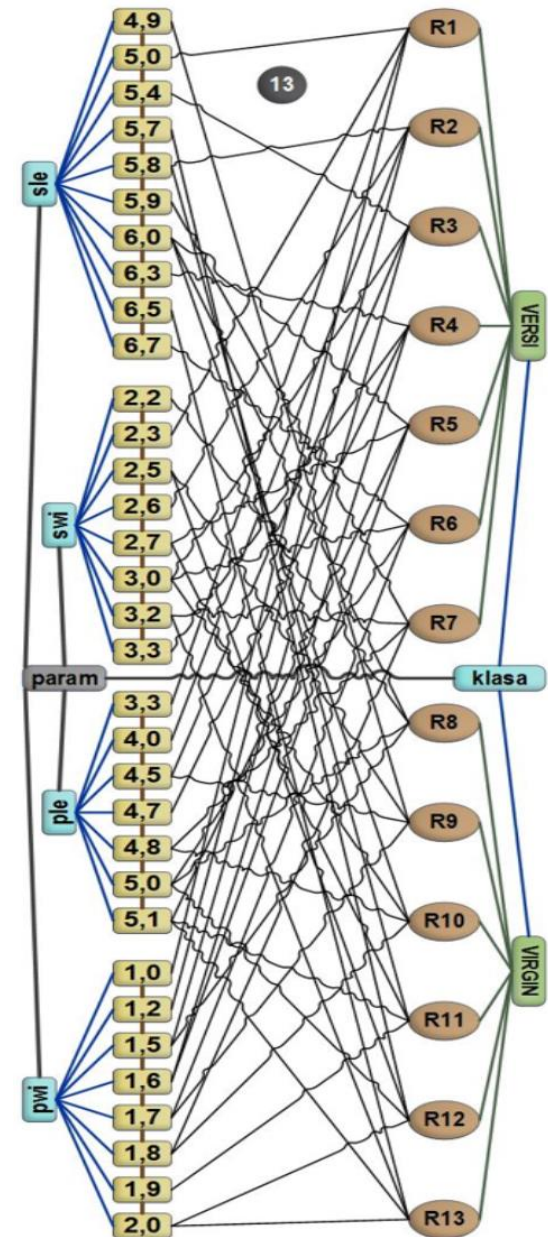
- ✓ W podstawowej wersji implementacji struktury AGDS wartości wag pomiędzy węzłami wartości i węzłami wzorców (obiektów) przyjmują wartości jednostkowe ($w = 1$), co umożliwia łatwe policzenie podobieństw dodając $+1$ do zmiennych w połączonych węzłach, ew. przemnożone przez wagę w połączenia z węzłami reprezentującymi podobne wartości.
- ✓ Przy poszukiwaniu podobnych obiektów bierzemy pod uwagę wartości podobne, tzn. jeśli $\frac{|a-b|}{RANGE_{P_i}} \leq p$ gdzie p % podobieństwa.



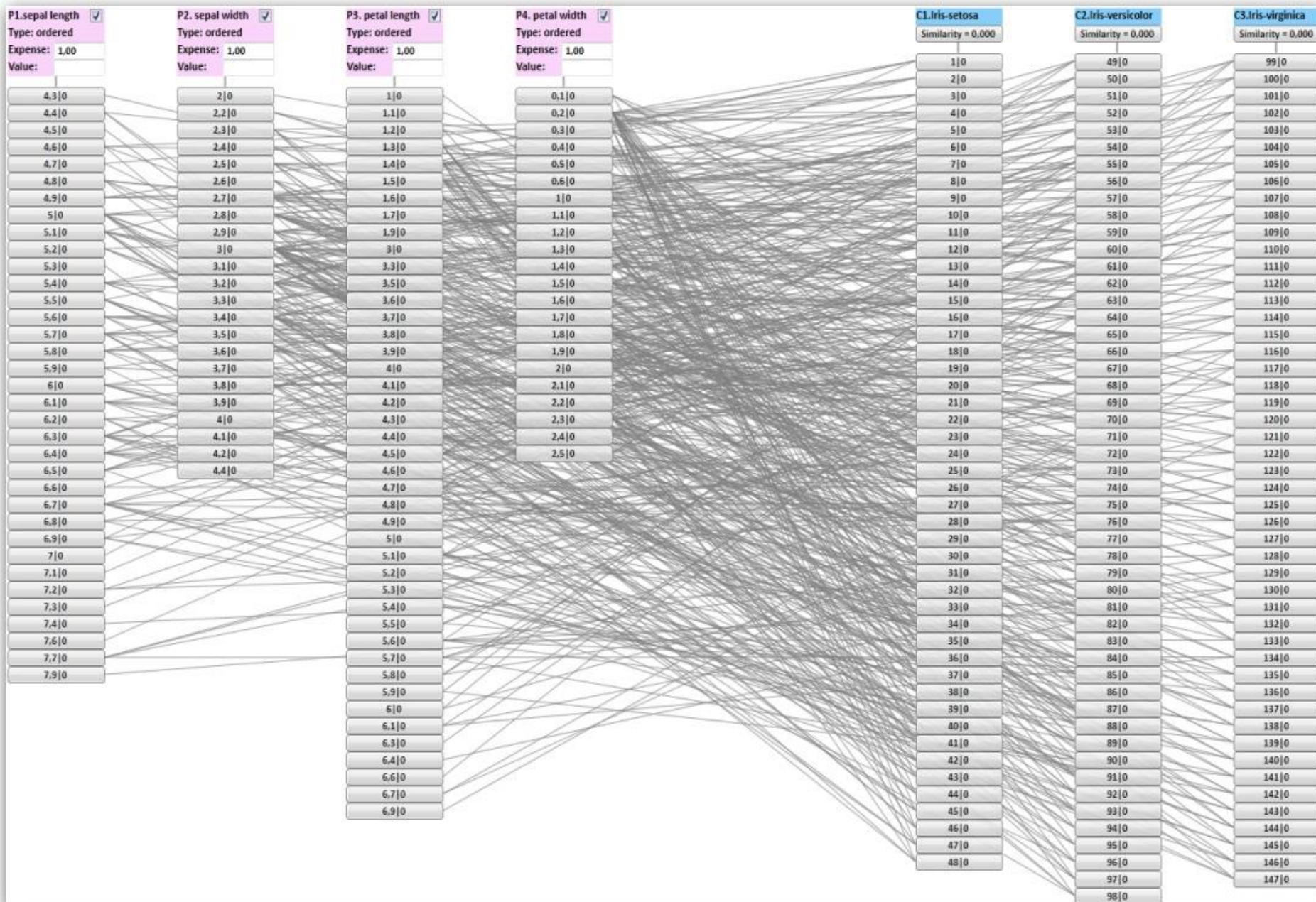
Wyznaczanie i udostępnianie wyników wnioskowania



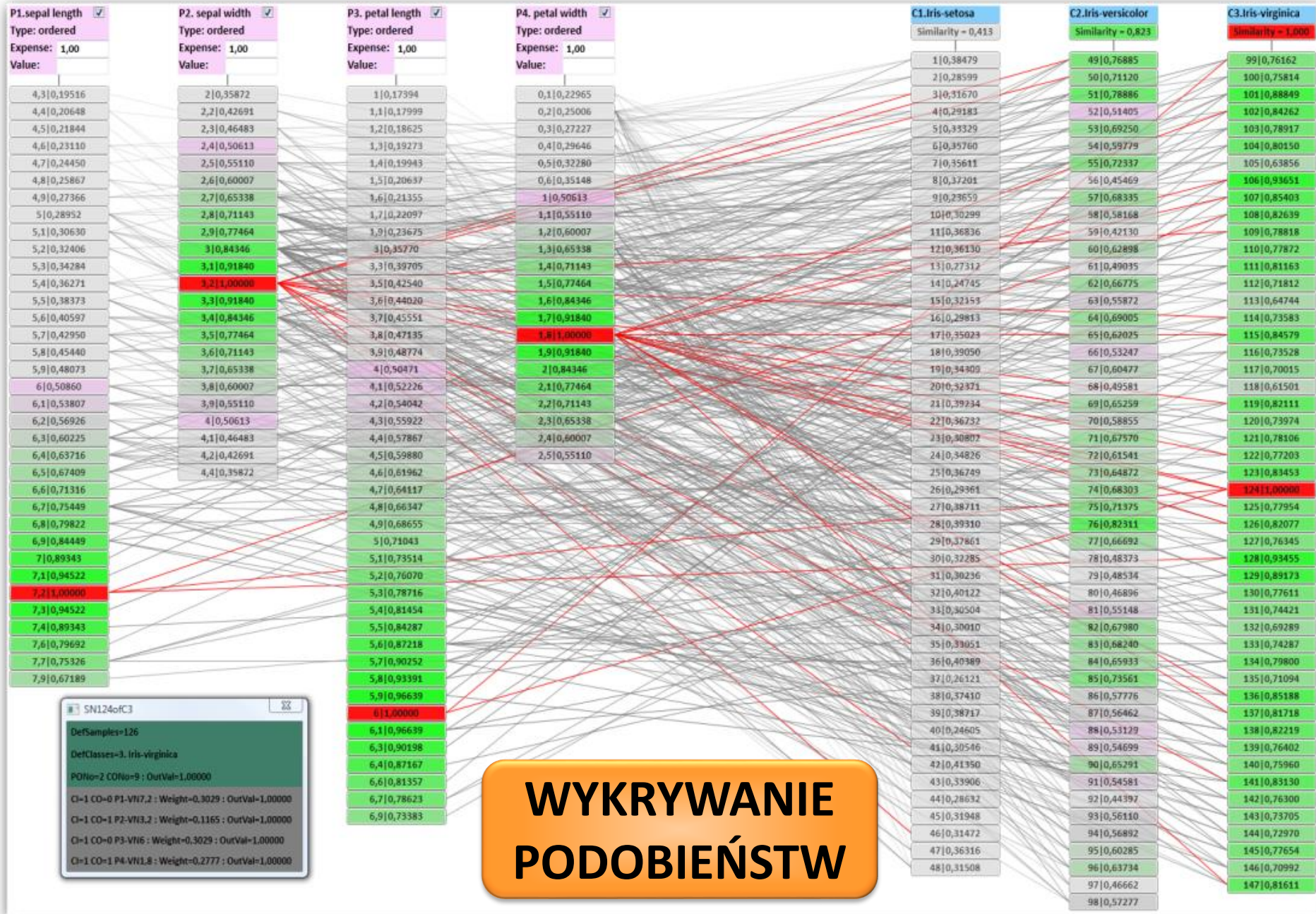
- ✓ Do reprezentacji wartości parametrów warto zastosować mapę w C#, gdyż wykorzystuje ona **strukturę drzewa** i wyszukuje elementy w czasie **logarytmicznym**, co w przypadku wykorzystania **słownika** lub **listy** realizowane jest przy złożoności **liniowej**. Ze względu na symulację AGDS na maszynie nie równoległej, występuje konieczność określenia węzła, który definiuje wartość danego atrybutu.
- ✓ Obliczanie podobieństwa obiektów przeprowadzamy w taki sposób, że obiekt R_n wysyła żądanie wyznaczenia podobieństw do węzłów definiujących jego wartości, czyli uruchamia metodę w węzłach wartości. Te metody dodają 1 (**metoda dodawania**) do wszystkich węzłów R_i , z którymi są powiązane oraz do węzłów sąsiednich wartości zgodnie z wagą obliczoną wg wzoru z poprzedniego slajdu. Następnie te sąsiednie węzły dodają (**metoda dodawania**) tą wartość (wynikającą z wagi) do wszystkich połączonych z nimi węzłów R_i . Można rozważać tylko najbliższe sąsiedztwo lub dalsze, wtedy przechodzimy do kolejnych węzłów wartości dalej oddalonych aż do osiągnięcia pewnej określonej z góry odległości maksymalnej albo do MIN lub MAX wartości tego atrybutu. Każdy węzeł R_i , w którym była wywołana **metoda dodawania** wartości przez węzeł wartości dodaje do listy węzłów wynikowych wskaźnik do siebie, o ile jeszcze w tej liście nie istniał. Uzyskujemy więc krótką wynikową listę wskaźników do węzłów R_i , w których wartości są niezerowe i stanowią wynik działania metody. Tą listę wskaźników najlepiej od razu sortować wg wartości sum R_i przy aktualizacji wartości w węzłach R_i . W taki sposób uzyskujemy posortowaną listę obiektów od najbardziej podobnych do najmniej podobnych zgodnie ze zdefiniowanymi kryteriami.



Pełna struktura AGDS dla zbioru Iris z ML Repository



ZNAJDYWANIE PODOBIEŃSTW POMIĘDZY DANYMI I ICH GRUPAMI



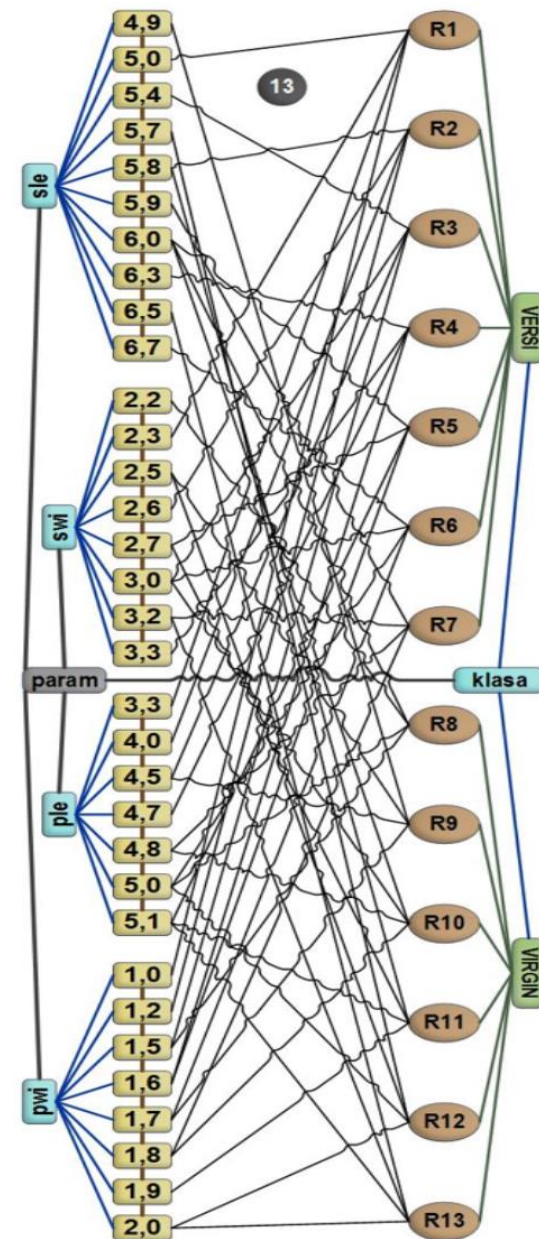
Ćwiczenia do wykonania na strukturach AGDS



1. Znajdź najbardziej podobny/e obiekt(y) do wskazanego (uczącego lub dowolnego innego), dodatkowo można określić ile takich najbardziej podobnych obiektów nas interesuje. Jeśli jakiejś wartości nie ma na wejściu wśród reprezentowanych wartości danego atrybutu pobudzamy pozostałe wartościami obliczonymi według tego samego wzoru, który stosujemy do wyznaczenia wag:

$$w_{a,b}^{P_i} = 1 - \frac{|a - b|}{MAX_{P_i} - MIN_{P_i}} = 1 - \frac{|a - b|}{RANGE_{P_i}}$$

2. Znajdź najbardziej podobne obiekty do pewnej grupy obiektów (uczących lub dowolnych innych). Realizujemy to podobnie jak poprzednie zadanie, sumując w neuronach Ri otrzymane wartości podobieństw dla wszystkich obiektów ze wskazanej grupy i na tej podstawie wyznaczając najbardziej podobne obiekty do podanej grupy. Można to zadanie też nieco sprytniej uprościć w taki sposób, że na wejściu określamy sobie jeden hiperwzorzec będący sumą wartości wszystkich wzorców tej sumy składający się ze wszystkich wzorców sumy, a następnie nim pobudzić węzły wartości i obliczyć podobieństwa obiektów przy jednym przejściu przez ten graf. Obydwa sposoby powinny dać ten sam wynik.
3. Znajdź pozostałe cechy obiektów charakteryzujących się pewnymi cechami. Mamy określone pewne cechy lub przedziały cech dla części atrybutów. Poprzez nie przechodzimy do obiektów, wyszukując najbardziej podobne, a następnie od obiektów przechodzimy do pozostałych atrybutów/cech i wyznaczamy te najsilniejsze dokonując w nich również sumowania w zależności od ich połączeń z obiektami.
4. Proszę eksperymentować na różnych zbiorach i zaproponować inne...





WNIOSKOWANIE ASOCJACYJNE Z WYKORZYSTANIEM AGDS

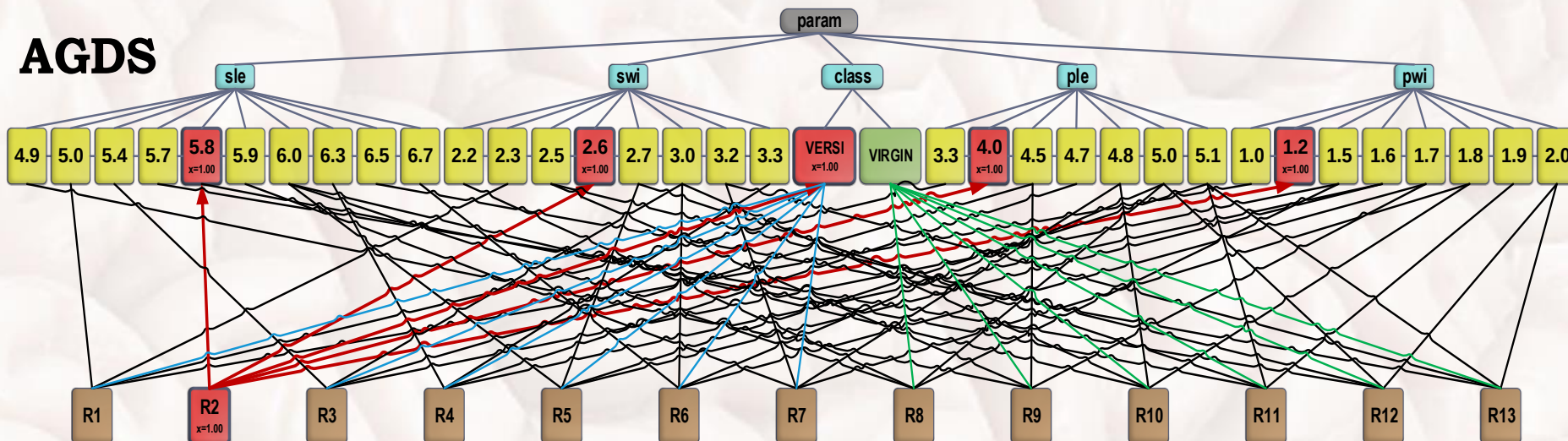


Struktury asocjacyjne możemy teraz wykorzystać do **asocjacyjnego wnioskowania**, które polega na tym, że przechodzimy w odpowiedni sposób po krawędziach grafu wyznaczając wartości dla innych wierzchołków tego grafu i na tej podstawie otrzymujemy informację na temat np. podobieństwa lub obiektów grafu, które spełniają zadane kryteria.

Wykorzystajmy wobec tego nasz graf AGDS utworzony dla 13 Irysów do takiego wnioskowania poszukując obiektów (Irysów) najbardziej podobnych do wskazanego R2. Przechodzimy więc od węzła R2 do wszystkich innych połączonych z nim krawędzią i wyznaczamy wartości dla tych węzłów z wykorzystaniem wag dla poszczególnych połączeń. Najprostszy sposób polega na przemnażaniu wartości przez wartość wagi, aczkolwiek istnieją również inne sposoby. Natomiast jeśli do danego węzła schodzi się wiele krawędzi, wtedy w węźle wyznaczamy sumę ważoną tych wartości:

1. Wychodzimy z węzła R2, który przyjmuje wartość $x=1,0$, gdyż jest w 100% podobny sam do siebie.
2. Wyznaczamy wartości dla połączonych z nim węzłów: 5,8, 2,6, VERSI, 4,0 oraz 1,2 mnożąc wartość w węźle R2 przez wagę połączeń prowadzących do tych węzłów – w tym wypadku wszystkie te wagi równe są jedności, gdyż są to połączenia do wartości definiujących obiekt R2.

AGDS



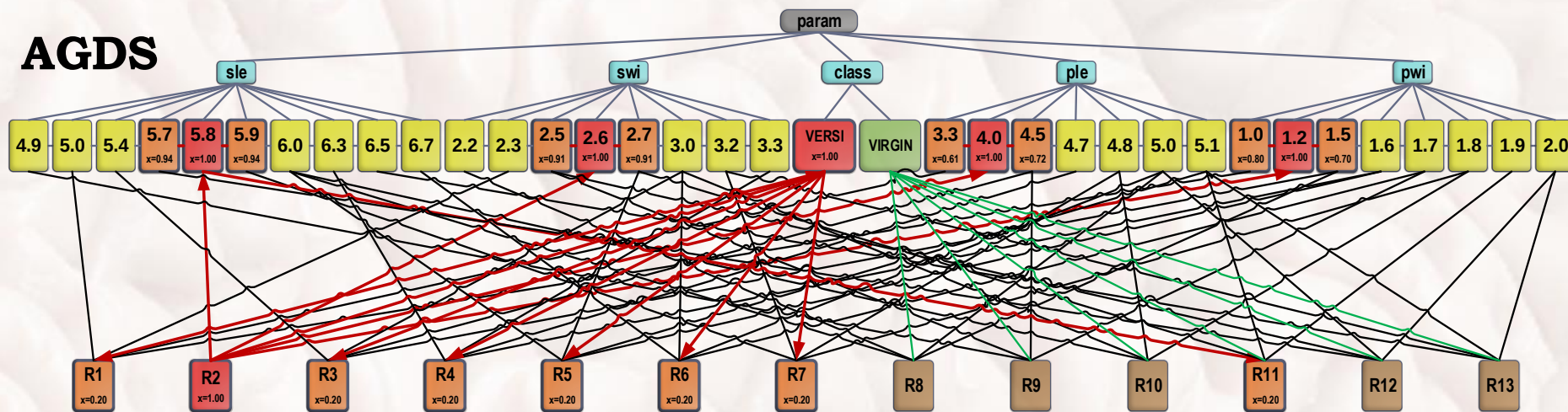


WNIOSKOWANIE ASOCJACYJNE Z WYKORZYSTANIEM AGDS

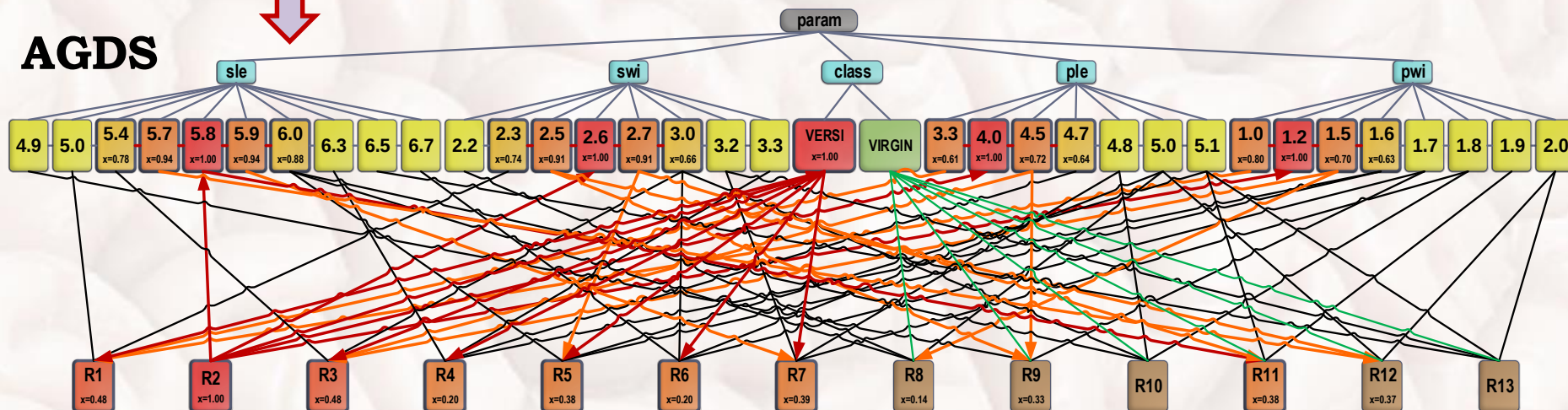


3. W węzłach 5,8, 2,6, VERSI, 4,0 oraz 1,2 otrzymujemy więc wartości równe jedności ($x=1,0$).
4. Wartości w tych węzłach przemnażamy przez wagi połączeń tych węzłów z innymi węzłami (sąsiednimi) i obliczamy wartości x dla nich. Podobnie postępujemy z połączonymi węzłami reprezentującymi obiekty, przy czym dla nich dodatkowo sumujemy wartości ważone przesyłane im przez węzły reprezentujące wartości atrybutów.

AGDS



AGDS





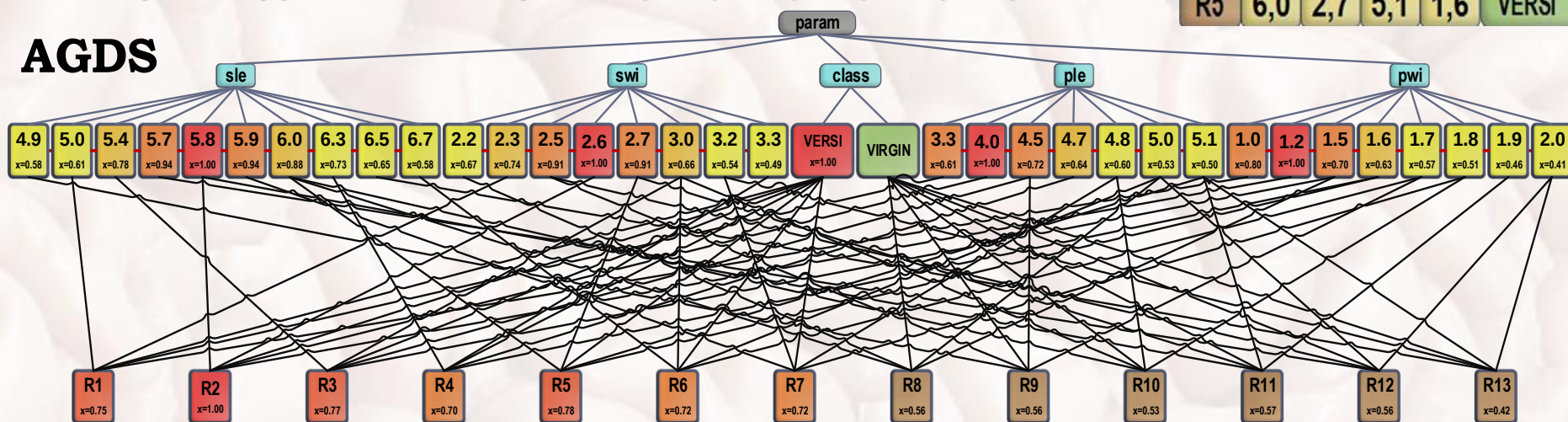
WNISKOWANIE ASOCJACYJNE Z WYKORZYSTANIEM AGDS



5. W końcu, gdy przejdziemy po wszystkich powiązanych (skojarzonych) wartościach atrybutów wyznaczając dla nich miarę podobieństwa (poprzez przemnożenie wartości reprezentowanej przez sąsiada przez wartość łączącej ich wagi) uzyskamy, oraz przemnożymy obliczone wartości dla węzłów wartości atrybutów przez wagi łączące je z węzłami obiektów (tutaj $w = 1/5 = 0,2$), wyznaczamy sumaryczne wartości (sumy ważone) dla węzłów obiektów, które stanowią pewną miarę podobieństwa obiektu R2 do pozostałych obiektów Rx. Z poniższego grafu AGDS wynika, iż najbardziej podobne obiekty to: R5 (78%), R3 (77%), R1 (75%), ...

R1	5,0	2,3	3,3	1,0	VERSI
R2	5,8	2,6	4,0	1,2	VERSI
R3	5,4	3,0	4,5	1,5	VERSI
R4	6,3	3,3	4,7	1,6	VERSI
R5	6,0	2,7	5,1	1,6	VERSI

AGDS

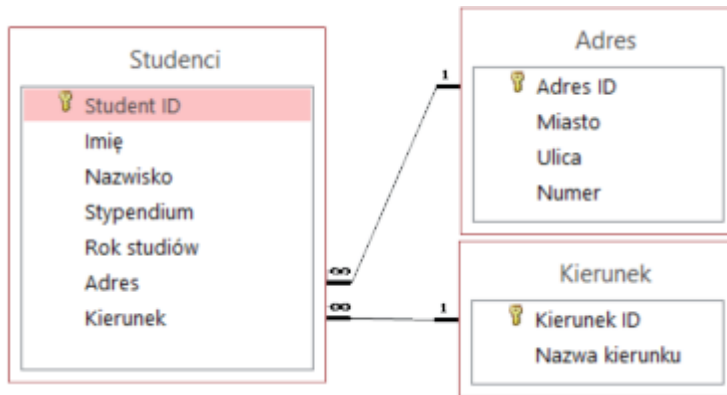


Warto również zaznaczyć, iż grafy AGDS nie są strukturami neuronowymi, wobec tego nie musimy wartości węzłów przemnażać przez wagi przechodząc do połączonych węzłów, lecz możemy zastosować również inne sposoby, np. możemy od wartości reprezentowanej przez węzeł odejmować wartość równą $x' = x - (1 - w)$, gdzie x reprezentuje wartość węzła wysyłającego wartość do sąsiada x' . Wtedy uzyskamy inną miarę podobieństwa, a wartości wyznaczone dla węzłów Rx będą się bardziej różnić! Możemy też zastosować wzory na obliczanie wag dla grafów DASNG do wyznaczenia wartości wag pomiędzy węzłami wartości atrybutów i węzłami obiektów: $w = 1 / \text{ilość połączeń wychodzących}$.

Dokonaj asocjacyjnej transformacji prostej relacyjnej BD do struktury AGDS oraz wnioskowanie, filtrowanie i wyszukiwanie klas



Mamy relacyjną bazę danych i schemat relacji pomiędzy atrybutami danych:



Mamy też tabele wypełnione danymi, a tabele są powiązane relacjami:

Studenci						
Student ID	Imię	Nazwisko	Stypendium	Rok studiów	Adres	Kierunek
2	Jan	Kowalski	1000		2 Piastowska	Automatyka i Robotyka
3	Katarzyna	Malecka	800		3 Reymonta	Informatyka
4	Anna	Nowicka	900		4 Bronowicka	Inżynieria Biomedyczna
5	Sebastian	Konieczny	1200		4 Piastowska	Automatyka i Robotyka
6	Anna	Wesołowska	800		2 Reymonta	Inżynieria Biomedyczna
7	Jan	Rybicki	700		2 Piastowska	Informatyka
8	Katarzyna	Sodej	900		3 Reymonta	Automatyka i Robotyka
9	Beata	Nowicka	1200		3 Bronowicka	Elektrotechnika
10	Anna	Wybicka	1000		4 Reymonta	Automatyka i Robotyka

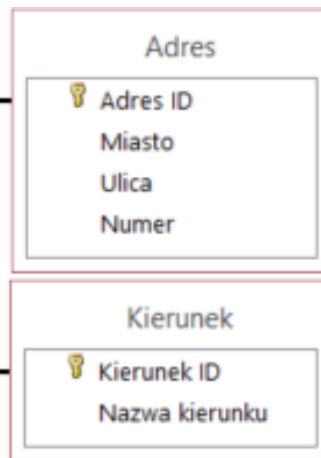
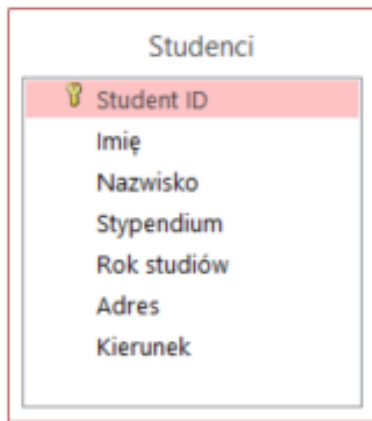
Adres			
Adres ID	Miasto	Ulica	Numer
1	Kraków	Bronowicka	45
2	Kraków	Reymonta	23
3	Kraków	Reymonta	18
4	Kraków	Piastowska	2
5	Kraków	Piastowska	4

Kierunek	
Kierunek ID	Nazwa kierunku
1	Automatyka i Robotyka
2	Informatyka
3	Inżynieria Biomedyczna
4	Elektrotechnika

Dokonując asocjacyjnej transformacji tej bazy z automatycznym wydobywaniem pozostałych relacji pomiędzy danymi:

- Zamieniamy wszystkie unikalne wartości danych na wierzchołki (receptory) połączone z węzłem reprezentującym atrybut (pole sensoryczne), czyli: Imię, Nazwisko, Stypendium, Rok studiów, Miasto, Ulica, Numer i Nazwa kierunku. W przypadku istnienia porządku na danych wiążemy je dodatkowo połączeniami odwzorowującymi ich kolejność (nadajemy wagi połączeniom).
- Wszystkie klucze główne przekształcamy w węzły (neurony), które łączymy z odpowiednimi węzłami (receptorami) atrybutów reprezentującymi wartości danych oraz z odpowiednimi węzłami (neuronomi) reprezentującymi rekordy w innych tabelach. Przekształcenie robimy od tabel reprezentujących relacje po stronie „jeden” (Adres i Kierunek) do tabel reprezentujących relacje po stronie „wielu” (Studenci).
- Jeśli wszystkie tabele są powiązane relacjami, wtedy powstanie spójny pasywny graf AGDS lub aktywną sieć neuronowa AANG asocjacyjnie reprezentujące bazę danych.

Relacyjne BD → → → → Asocjacyjne AGDS

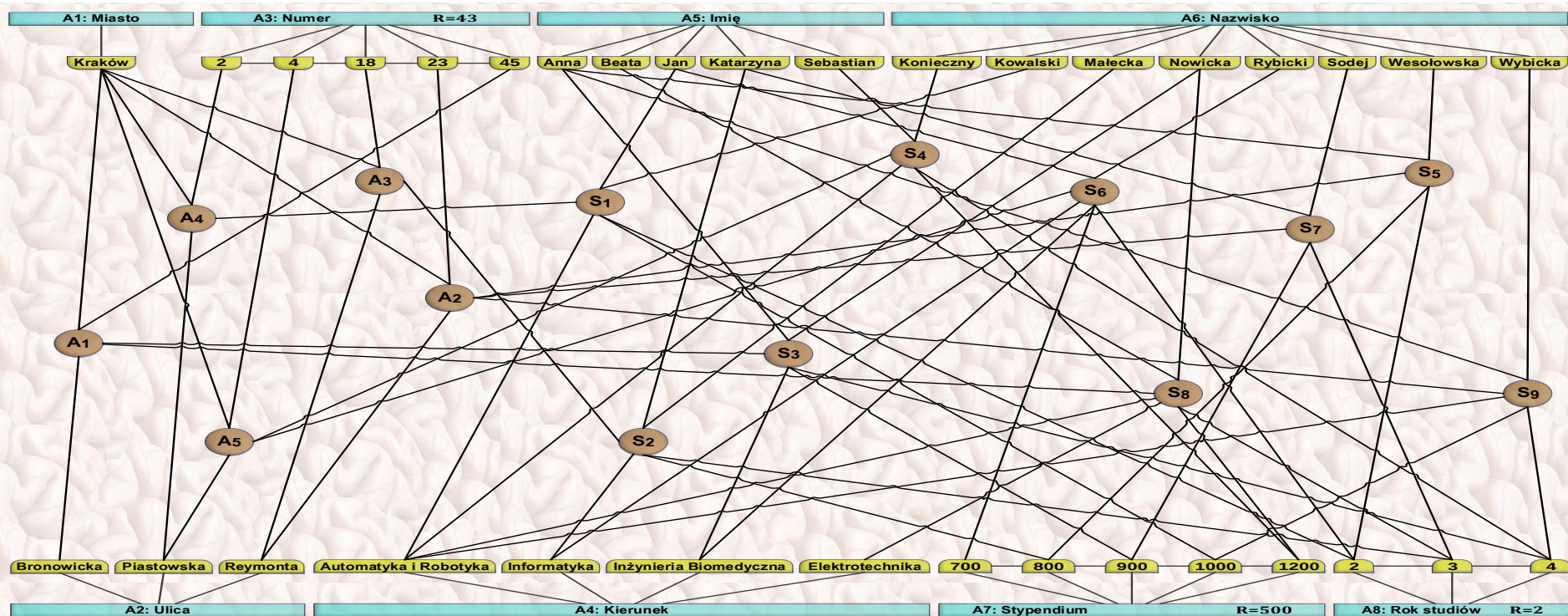


Studenci						
Student ID	Imię	Nazwisko	Stypendium	Rok studiów	Adres	Kierunek
2	Jan	Kowalski	1000	2	Piastowska	Automatyka i Robotyka
3	Katarzyna	Małecka	800	3	Reymonta	Informatyka
4	Anna	Nowicka	900	4	Bronowicka	Inżynieria Biomedyczna
5	Sebastian	Konieczny	1200	4	Piastowska	Automatyka i Robotyka
6	Anna	Wesołowska	800	2	Reymonta	Inżynieria Biomedyczna
7	Jan	Rybicki	700	2	Piastowska	Informatyka
8	Katarzyna	Sodej	900	3	Reymonta	Automatyka i Robotyka
9	Beata	Nowicka	1200	3	Bronowicka	Elektrotechnika
10	Anna	Wybicka	1000	4	Reymonta	Automatyka i Robotyka

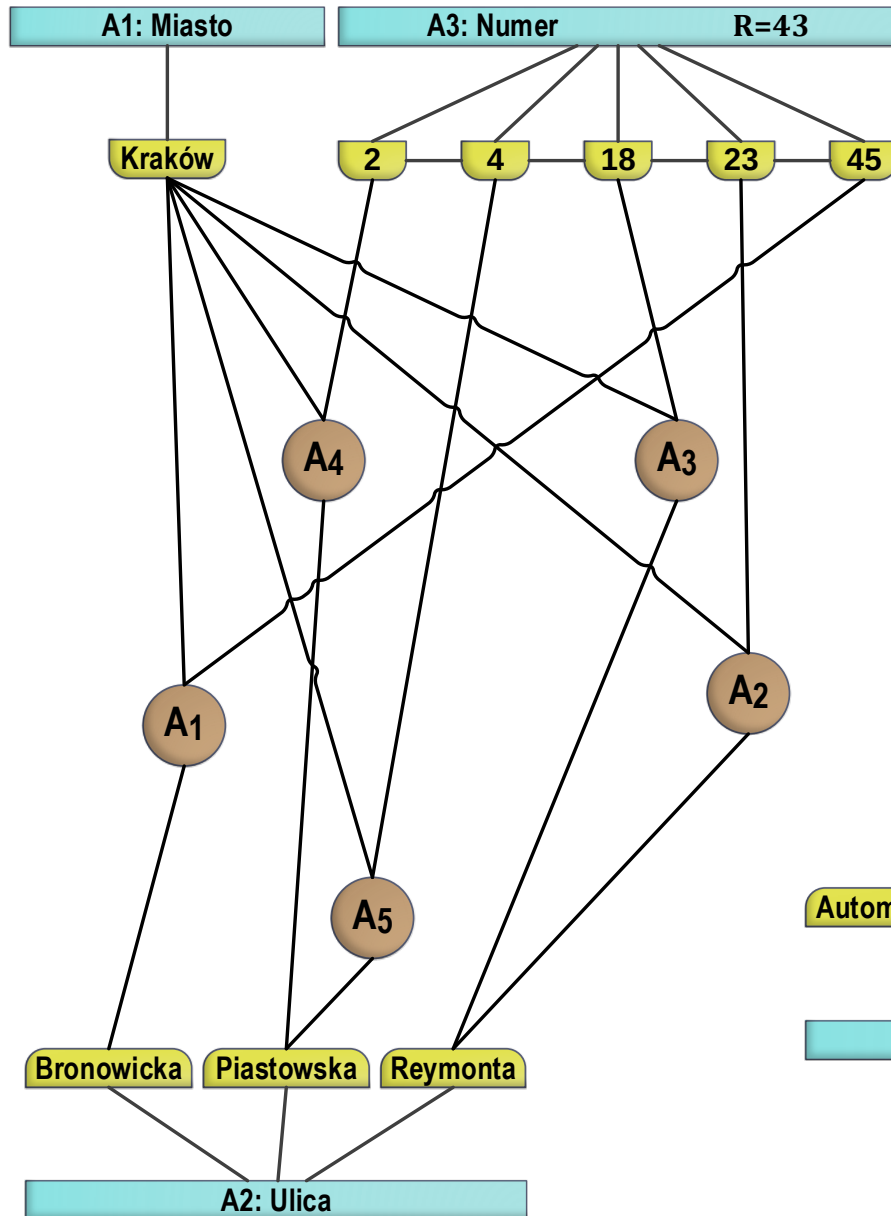
Adres			
Adres ID	Miasto	Ulica	Numer
1	Kraków	Bronowicka	45
2	Kraków	Reymonta	23
3	Kraków	Reymonta	18
4	Kraków	Piastowska	2
5	Kraków	Piastowska	4

Kierunek	
Kierunek ID	Nazwa kierunku
1	Automatyka i Robotyka
2	Informatyka
3	Inżynieria Biomedyczna
4	Elektrotechnika

Dokonujemy transformacji

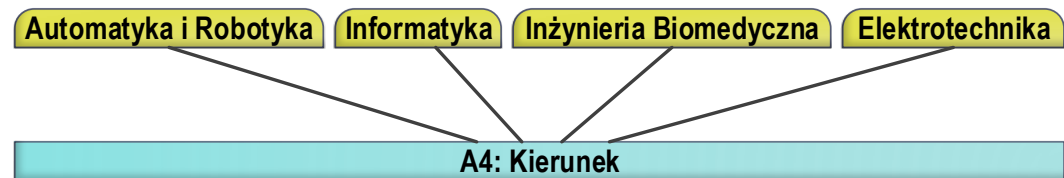


Asocjacyjną transformację rozpoczynamy od tabel reprezentujących wartości atrybutów, następnie te, które z nich korzystają itd.

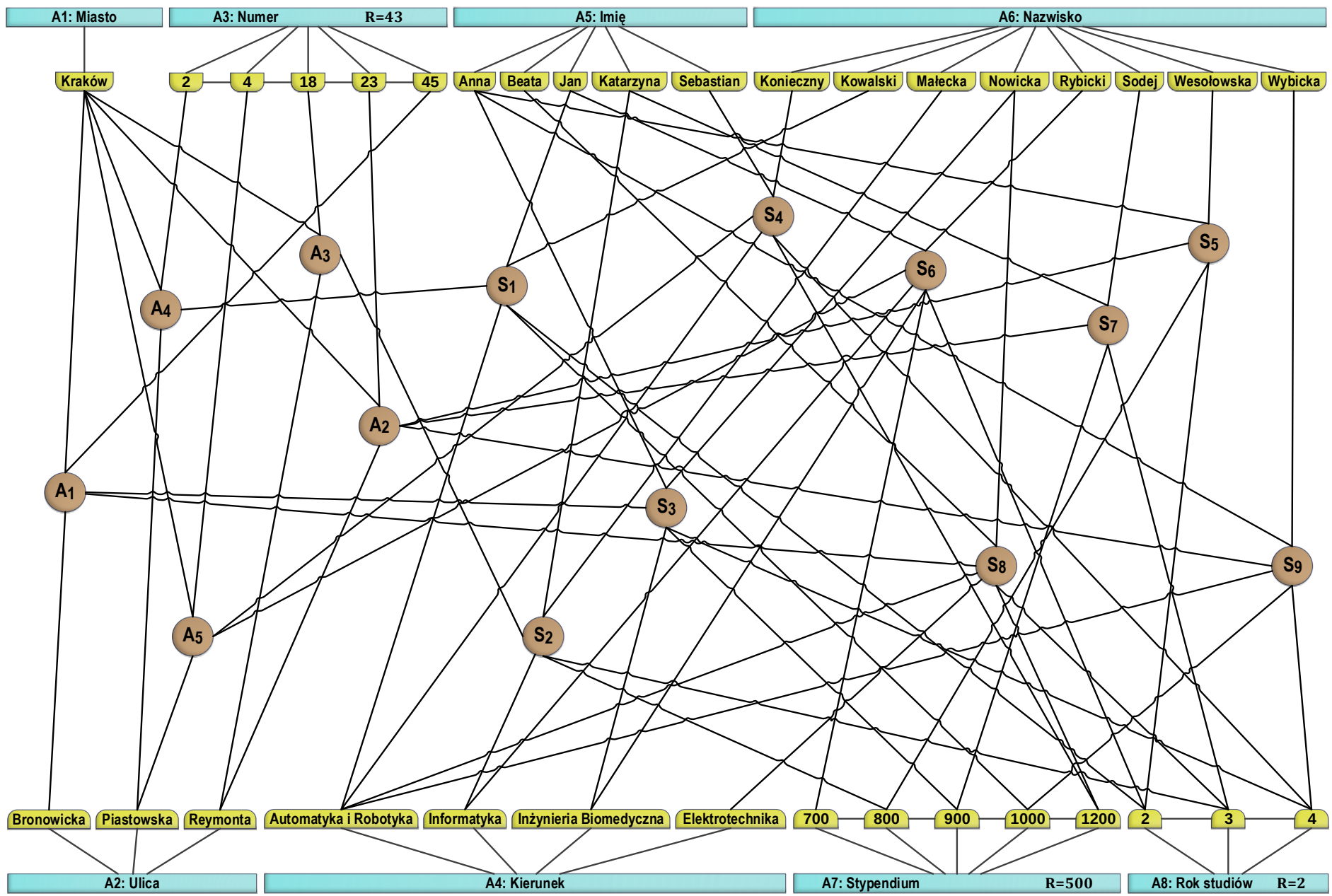


Adres				
	Adres ID	Miasto	Ulica	Numer
+	1	Kraków	Bronowicka	45
+	2	Kraków	Reymonta	23
+	3	Kraków	Reymonta	18
+	4	Kraków	Piastowska	2
+	5	Kraków	Piastowska	4

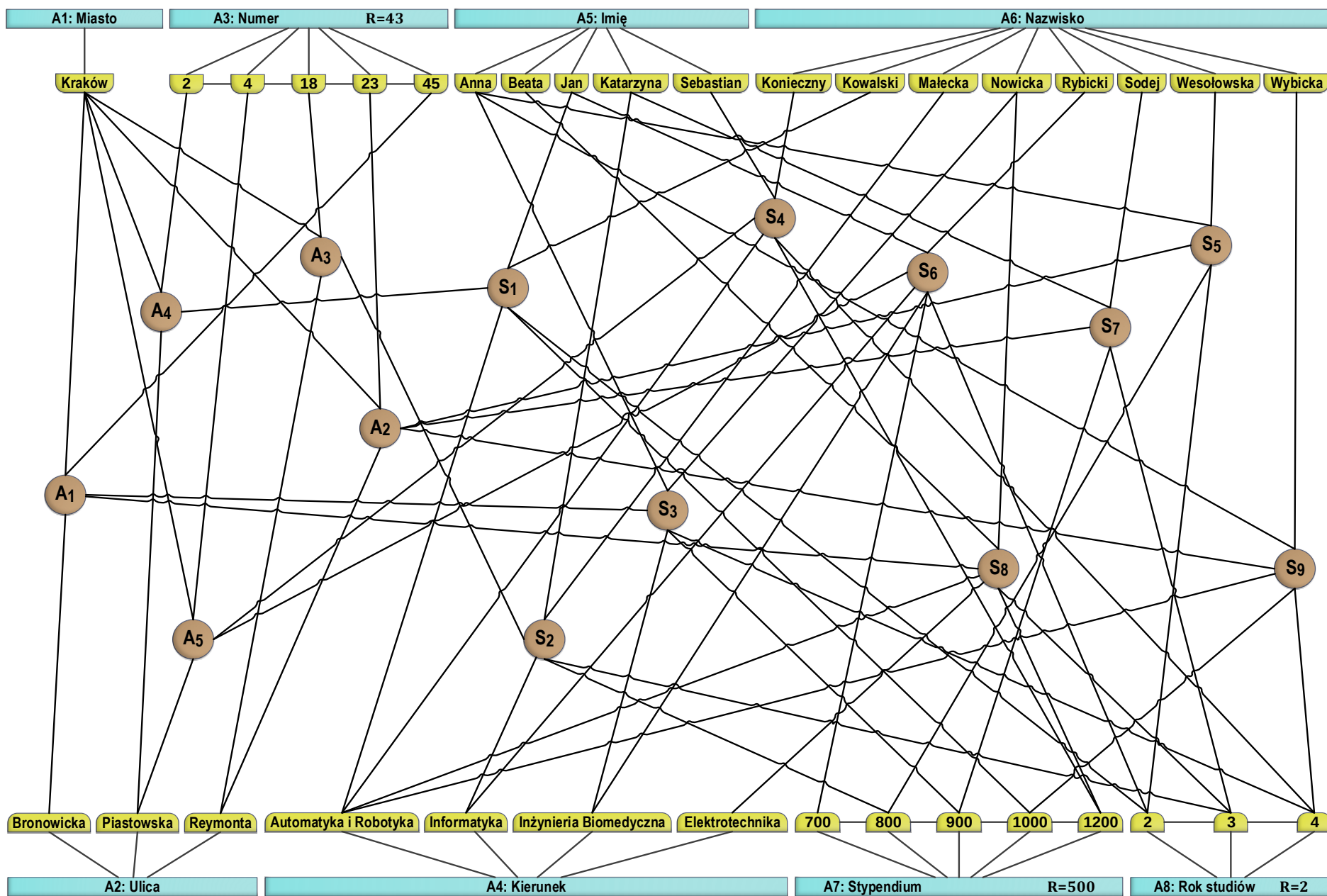
Kierunek	
Kierunek ID	Nazwa kierunku
+	1 Automatyka i Robotyka
+	2 Informatyka
+	3 Inżynieria Biomedyczna
+	4 Elektrotechnika



Podaj wszystkich studentów, którzy: studiują AiR, mieszkają na Reymonta, mają stypendium 1000zł, są na 4 roku studiów, mieszkają razem, mają imieniny w tym samym dniu... Odpowiedzi na pytania można udzielić szybko!



**Możemy odpowiadać równie łatwo na bardziej skomplikowane pytania:
Którzy studenci mieszkający na Reymonta są na 3. roku studiów i biorą
stypendium 800zł? Porównaj złożoność takich operacji z bazami danych.**



Relacyjna BD → Asocjacyjne AGDS → Aktywne AANG



Które relacje wertykalne pojawiły nam się w grafie?

