



Международная конференция
«Интеллектуализация обработки информации – 10»
о.Крит, Греция

4 – 11 октября 2014 г.

Применение процедуры сравнения скелетов бинарных изображений к задаче распознавания типов лекарственных растений



Кушнир О.А., Середин О.С.
kushnir-olesya@rambler.ru, oseredin@yandex.ru

Тульский государственный университет
Лаборатория анализа данных



Задача распознавания листьев растений

- База «**Leaves from Swedish Trees**» - 15 классов, 75 объектов в каждом, всего 1125 объектов



O. Sederkvist. Computer Vision Classification of Leaves from Swedish Trees, Master's Thesis, Linköping University, 2001.

Задача распознавания листьев растений

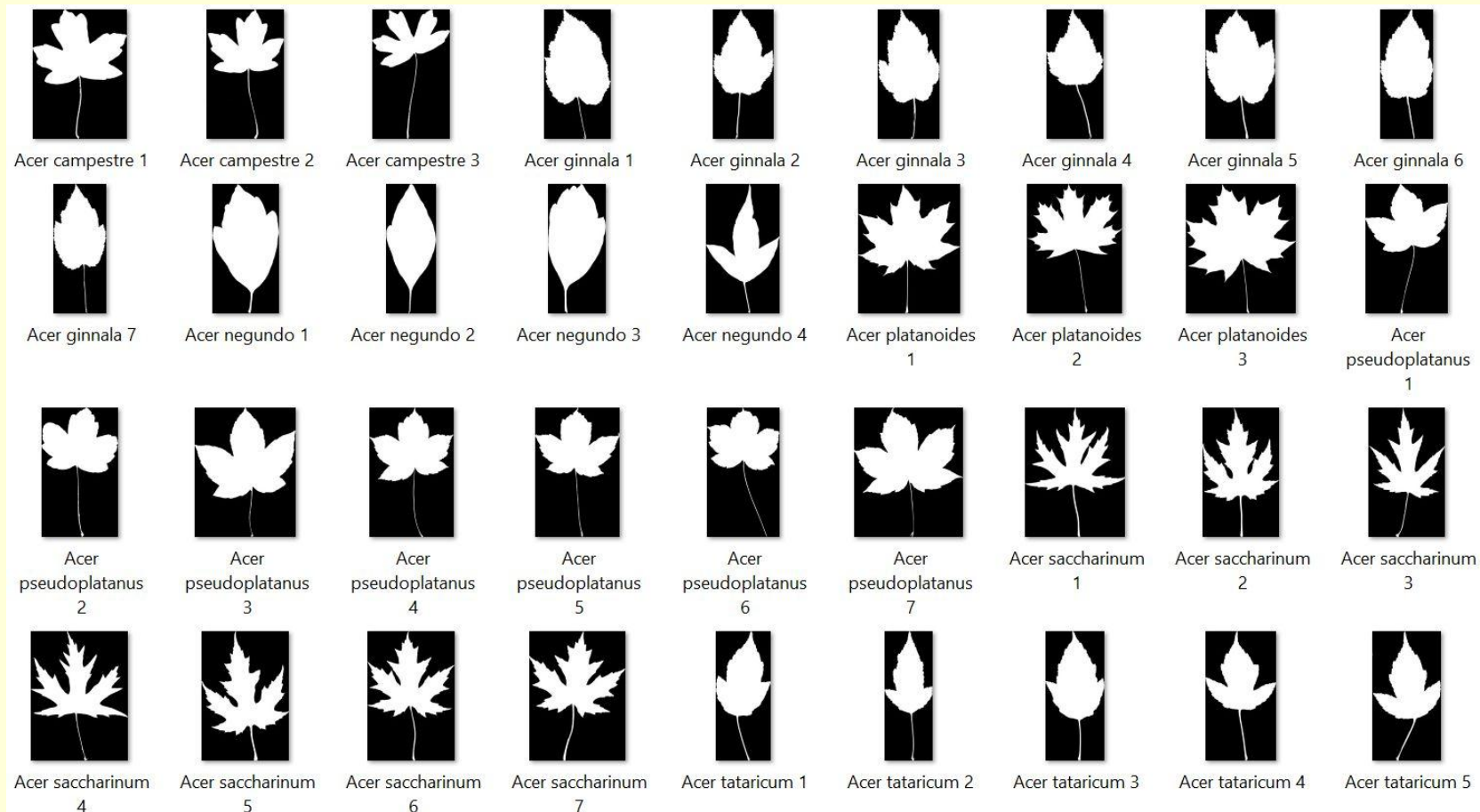
- База «ImageCLEF» - 115 классов, от 2 до 249 объектов в каждом, всего 6630 объектов



ImageCLEF, Plant Identification, 2012. <<http://imageclef.org/2012/plant>>

Задача распознавания листьев растений

- База «Middle European Woods (MEW) 2010» - 90 классов, от 2 до 25 объектов, всего 795 объектов

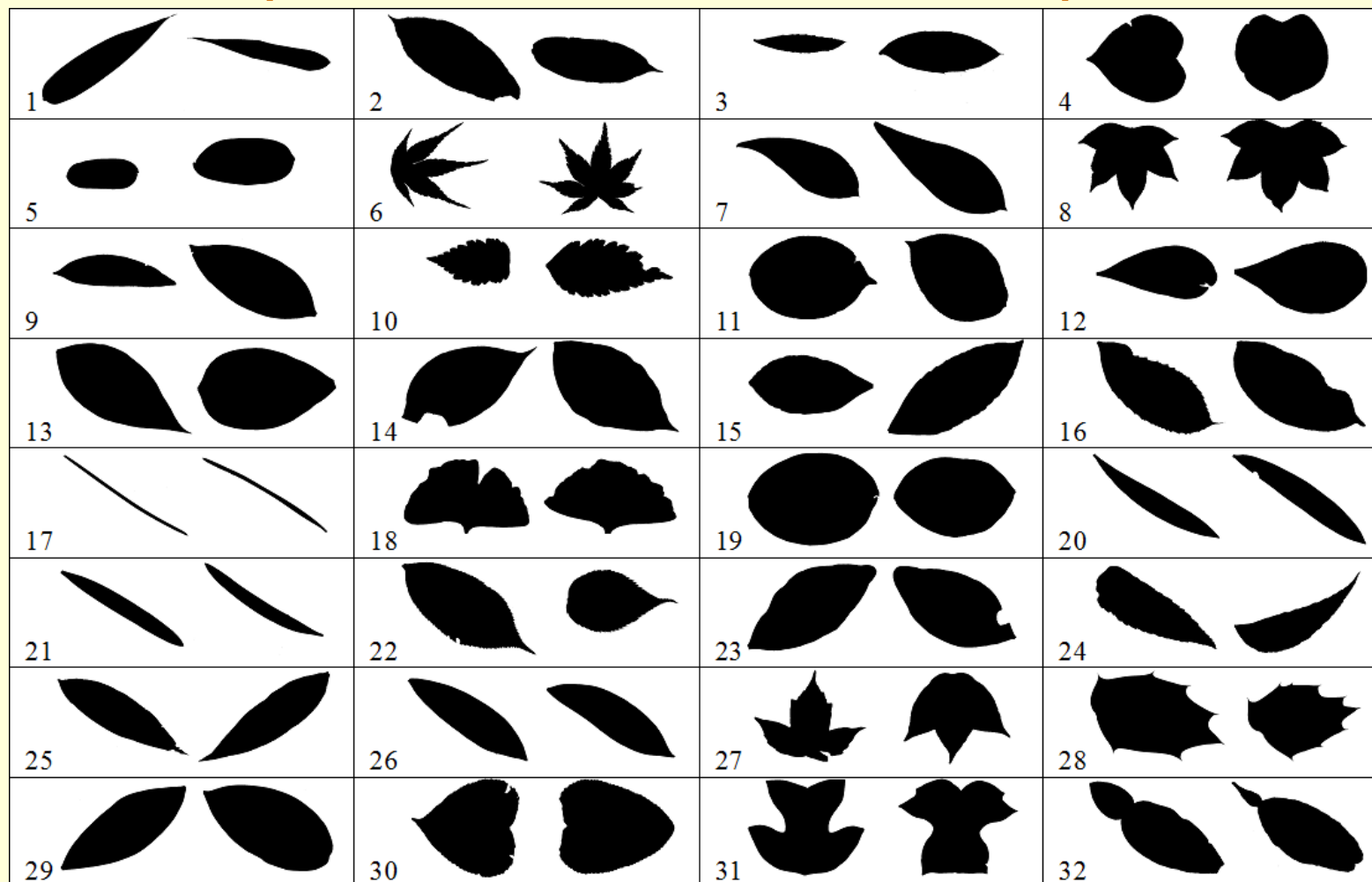


Задача распознавания листьев растений

- База «ICL» - 220 классов, от 26 до 1078 объектов в каждом



Задача распознавания листьев растений (база Flavia)



Классов: 32

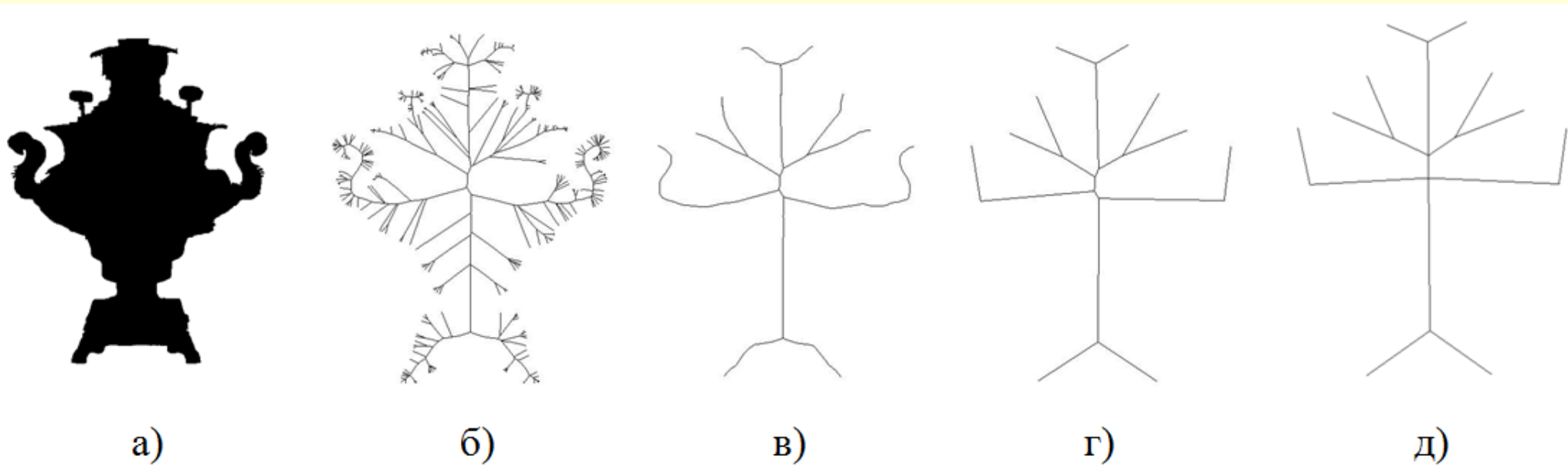
Объектов в классе: 50 - 77

Объектов всего: 1906

S. Wu, F. Bao, E. Xu, Y.-X. Wang, Y.-F. Chang, Q.-L. Xiang. A leaf recognition algorithm for plant classification using probabilistic neural network, in: IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, 2007, pp. 11–16.

Макарова Е.Ю. Классификация лекарственных растений по форме листа на основе скелетного представления // Математические методы распознавания образов: 15-я Всероссийская конференция. М.: МАКС Пресс, 2011. С. 412 – 415.

Предварительная обработка скелета – регуляризация, аппроксимация, склейка



а) изображение, б) его скелет, в) регуляризация скелета, г) аппроксимация, д) склейка

Описание скелета цепочкой примитивов

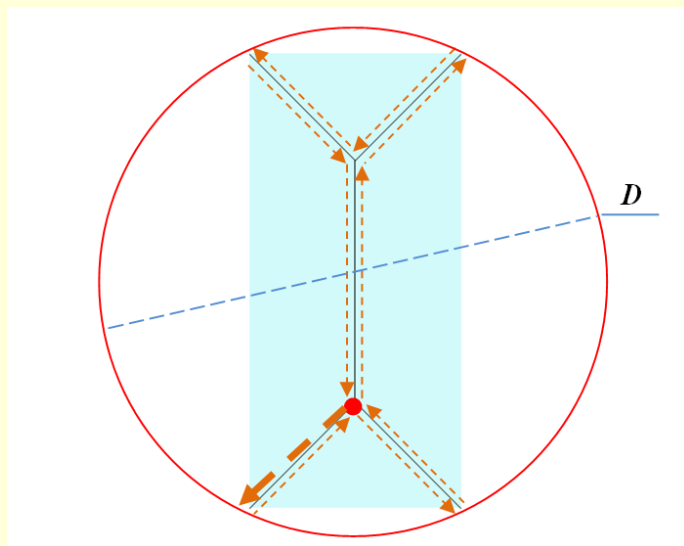
Примитив является двухкомпонентным вектором $\omega = \{l, \alpha\}$, где

l - нормированная длина текущего ребра скелетного графа,

α - нормированный угол между текущим и следующим ребрами.

Множество примитивов Ω

Цепочка примитивов: $\{l_1, \alpha_1\} \{l_2, \alpha_2\} \dots \{l_N, \alpha_N\} \in \Omega$



$\{0.29; 1\} \{0.29; 0.25\} \{0.29; 1\} \{0.29; 0.38\} \{0.48; 0.38\}$
 $\{0.29; 1\} \{0.29; 0.25\} \{0.29; 1\} \{0.29; 0.38\} \{0.48; 0.38\}$

Особенность: один и тот же скелет может быть описан несколькими цепочками в зависимости от выбора начальной вершины обхода. Одна цепочка может быть превращена в другую операцией циклического сдвига. Таким образом, описание инвариантно к повороту фигуры.

Рогов А.А., Быстров М.Ю. Структурное распознавание бинарных изображений с использованием скелетов. // Доклады Всероссийской конференции "Математические методы распознавания образов", (ММРО-15). Петрозаводск, 2011.

Идея выравнивания двух последовательностей

Символьные последовательности:

DEBCABD--BDECABCS
--BCA-DEABDEC---

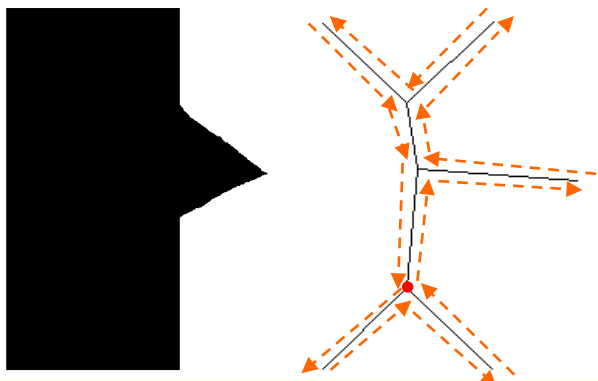
Матрица подстановок:

	-	A	B	...
-	∅	s(-,A)	s(-,B)	...
A	s(A,-)	0	s(A,B)	...
B	s(B,-)	s(B,A)	0	...
...	0

Последовательности цепочек примитивов:

{0,299;1} {0,299;0,25} {0,48; 0,38} {0,299;1} {0,299; 0,4} {0,48; 0,38}
{0,29; 1} {0,29; 0,25} { - ; - } {0,29; 1} {0,29; 0,75} { - ; - }

Процедура парного выравнивания цепочек примитивов

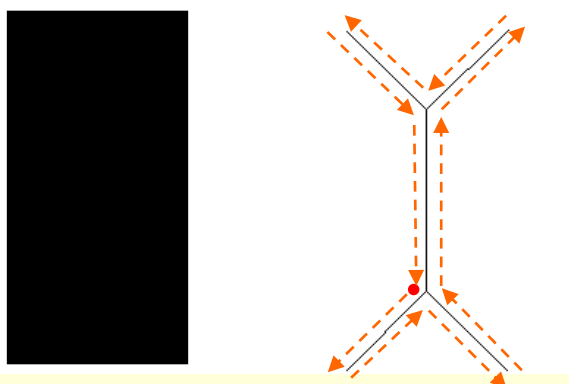


Базовая цепочка $B : b_1, \dots, b_N = \{l_1, \alpha_1\} \{l_2, \alpha_2\} \dots \{l_N, \alpha_N\} \in \Omega$

$\{0,3; 1\} \{0,3; 0,25\} \{0,29; 1\} \{0,29; 0,36\} \{0,31; 0,25\} \{0,39; 1\}$

$\{0,39; 0,28\} \{0,17; 0,35\} \{0,29; 1\} \{0,29; 0,25\} \{0,3; 1\}$

$\{0,3; 0,4\} \{0,17; 0,47\} \{0,31; 0,39\}$



Ссылочная цепочка $R : r_1, \dots, r_K = \{l_1, \alpha_1\} \{l_2, \alpha_2\} \dots \{l_K, \alpha_K\} \in \Omega$

$\{0,29; 1\} \{0,29; 0,25\} \{0,29; 1\} \{0,29; 0,38\} \{0,48; 0,38\} \{0,29; 1\}$

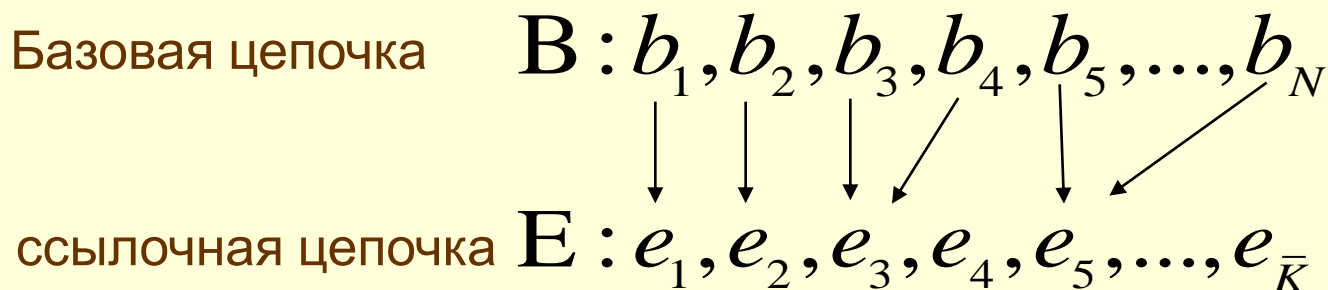
$\{0,29; 0,25\} \{0,29; 1\} \{0,29; 0,38\} \{0,48; 0,38\}$

$g = \text{"-"}, g \in \Omega$

Расширенная ссылочная цепочка $E : e_1, \dots, e_{\bar{K}}$

$-\{0,29; 1\} \{0,29; 0,25\} - \{0,29; 1\} \{0,29; 0,38\} - \{0,48; 0,38\} - \{0,29; 1\} \{0,29; 0,25\} - \{0,29; 1\} \{0,29; 0,38\} - \{0,48; 0,38\} -$

Механизм парного выравнивания цепочек



Вектор ссылок $\mathbf{z} = \{z_t\} : t = 1 \dots N, z_t \in \{1, \dots, \bar{K}\}$

где N – число элементов в базовой цепочке,

t – порядковый номер элемента в базовой цепочке,

\bar{K} - количество элементов в расширенной ссылочной цепочке.

Задача поиска оптимального парного выравнивания:

поиск вектора ссылок $\hat{\mathbf{z}}$, доставляющего минимум некоторой критериальной функции $J(\mathbf{z})$

Решается при помощи **динамического программирования**.

Для поиска наилучшего из оптимальных выравниваний, получаемых при изменении начала обхода скелета, используется операция циклического сдвига.

Парно-сепарабельная функция

Узловая функция (различие):

$$d(\omega', \omega'') = (l' - l'')^2 + (\alpha' - \alpha'')^2$$

Узловая функция в терминах
вектора ссылок:

$$\psi_t(z_t) = d(\omega'_t, \omega''_{z_t}),$$

$$t \in \{1, \dots, N\}, z_t \in \{1, \dots, \bar{K}\}$$

Функция связи (взаиморасположение):

$$\gamma_t(z_{t-1}, z_t) = \begin{cases} \infty, & z_t < z_{t-1} \\ \infty, & z_t = z_{t-1} \wedge e_{z_t} \neq g \\ c, & z_t = z_{t-1} \wedge e_{z_t} = g \\ 0, & z_t - z_{t-1} = 1 \wedge e_{z_t} \neq g \wedge e_{z_{t-1}} \neq g \\ 0,5c, & z_t - z_{t-1} = 1, \\ 0, & z_t - z_{t-1} = 2 \wedge e_{z_t} \neq g \wedge e_{z_{t-1}} \neq g \\ 0,5c, & z_t - z_{t-1} = 2, \\ (z_t - z_{t-1})c. & t \in \{2, \dots, N\} \end{cases}$$

Парно-сепарабельный критерий:

$$J(\mathbf{z}) = \sum_{t=1}^N \psi_t(z_t) + \sum_{t=2}^N \gamma_t(z_{t-1}, z_t) \rightarrow \min(\mathbf{z})$$

Функция парного сравнения цепочек примитивов

$F(\hat{\mathbf{z}})$ - функция сравнения двух выровненных последовательностей примитивов, определяется оптимальным элайнментом

$$\hat{\mathbf{z}} = \{z_t\}, t = \{1, \dots, N\}, z_t \in \{1, \dots, \bar{K}\}$$

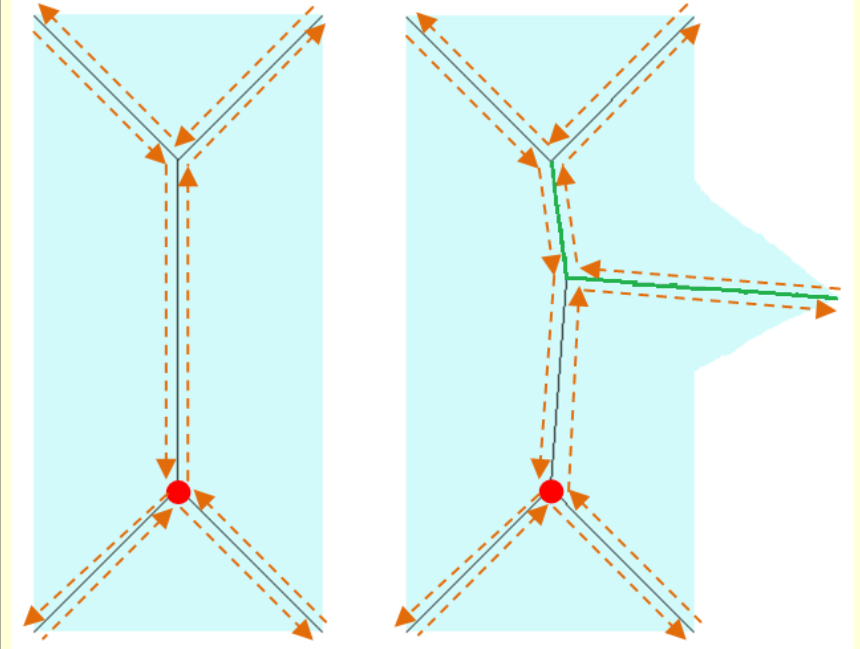
Предлагается получить функцию $F(\hat{\mathbf{z}})$ на основе разбора оптимального элайнмента следующим образом:

$$F(\hat{\mathbf{z}}) = \sum_{t=1}^N \rho(\omega'_t, \omega''_{z_t}), \text{ где}$$

$$\rho(\omega', \omega'') = \begin{cases} c, & \omega' = g \vee \omega'' = g, \\ (l' - l'')^2 + (\alpha' - \alpha'')^2, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$\hat{\mathbf{z}} \in \{1, \dots, \bar{K}\}$$

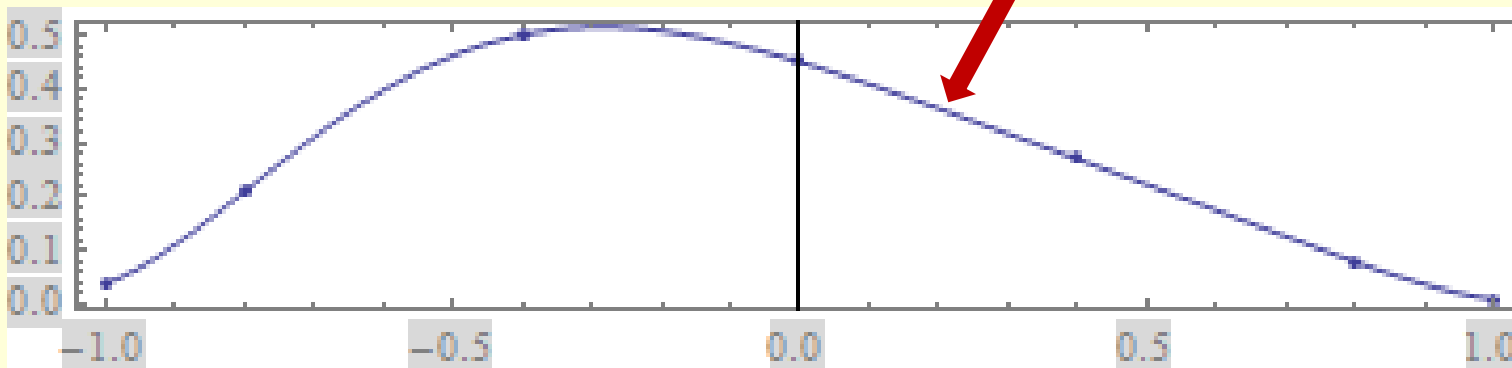
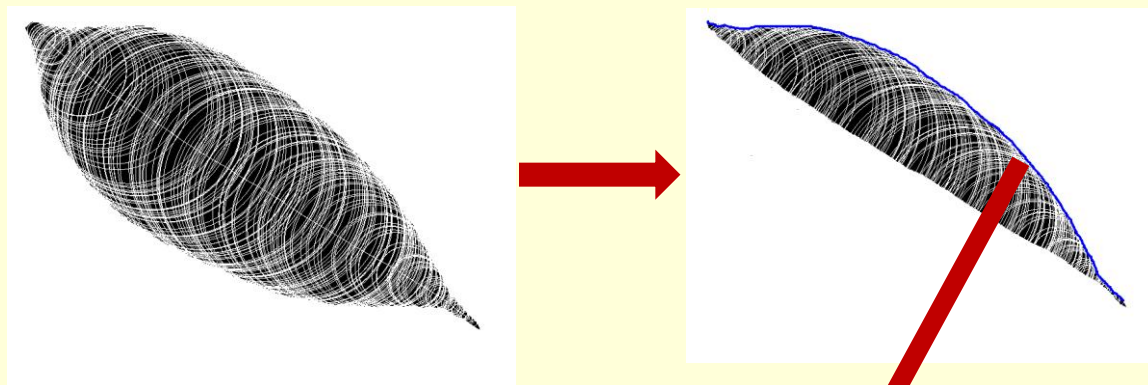
Пример обхода скелетов и выравнивания цепочек примитивов

Обход скелетов	Базовая цепочка	Ссылочная цепочка
	{ 0,3 1}	{ 0,299 1}
	{ 0,3 0,25}	{ 0,299 0,25}
	{ 0,29 1}	{ 0,299 1}
	{ 0,29 0,36}	{ 0,299 0,38}
	{ 0,31 0,25}	{ 0,48 0,38}
	{ 0,39 1}	-
	{ 0,39 0,28}	-
	{ 0,17 0,35}	-
	{ 0,29 1}	{ 0,29 1}
	{ 0,29 0,25}	{ 0,29 0,25}
	{ 0,3 1}	{ 0,29 1}
	{ 0,3 0,4}	{ 0,29 0,38}
	{ 0,17 0,47}	-
	{ 0,31 0,39}	{ 0,48 0,38}

$$F(\hat{z}) = 0,876 \text{ при } c = 0,2$$

Параметрическое описание ширины многочленами Лежандра

Схема получения параметрического описания функции ширины:



$$\mathbf{p} = \{p_0, \dots\} = \{0,298; 0,113; -0,309; 0,135; 0,011; -0,037; 0,024\}$$

Учет параметрического описания ширины в узловой функции

Функция различия ширины двух скелетных ребер:

$$f(\mathbf{p}', \mathbf{p}'') = \sum_{i=0}^n (p'_i - p''_i)^2$$

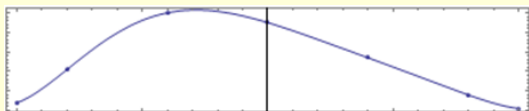
Описание скелетного примитива:

$$\omega = \{l, \alpha, \mathbf{p}\}$$

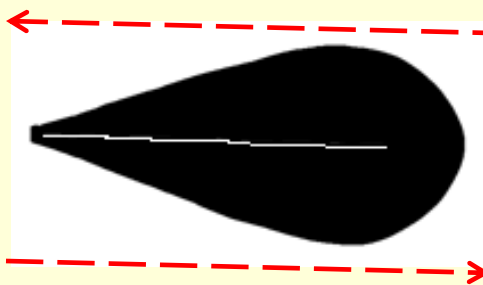
Узловая функция, учитывающая параметризацию ширины:

$$d(\omega', \omega'') = (l' - l'')^2 + (\alpha' - \alpha'')^2 + f(\mathbf{p}', \mathbf{p}'')$$

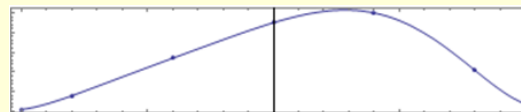
Замечание:



$$\mathbf{p}_2 = \{0,63 \text{ } -0,46 \text{ } -0,16 \text{ } 0,13\}$$



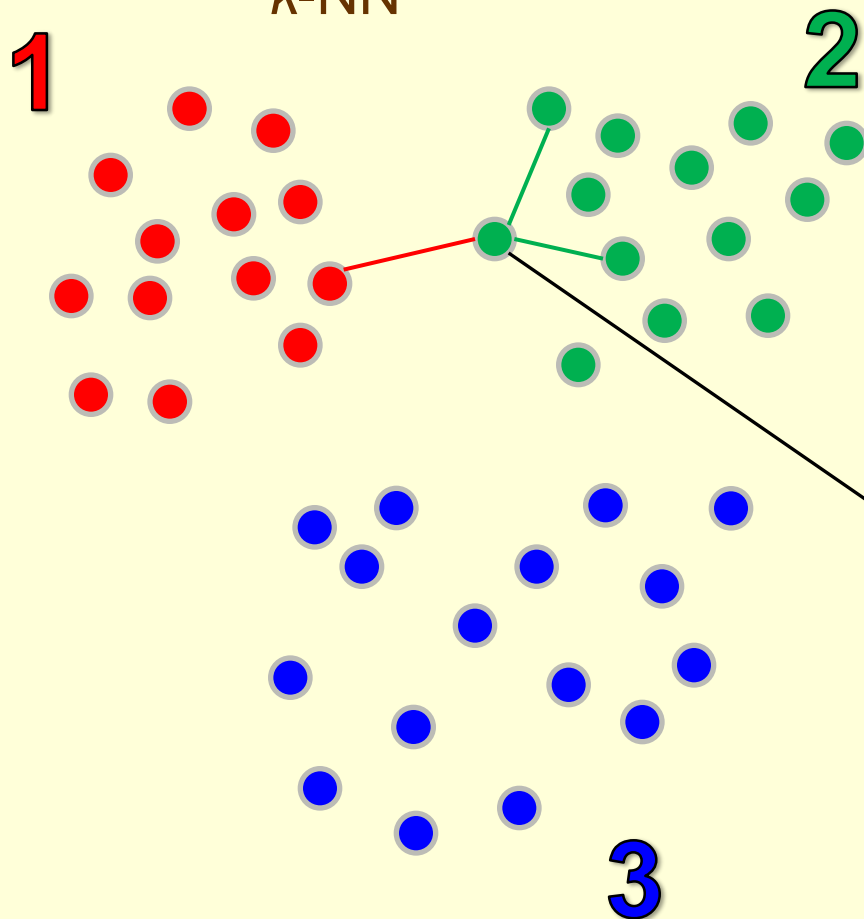
$$\mathbf{p}_1 = \{0,63 \text{ } 0,46 \text{ } -0,16 \text{ } -0,13\}$$



Экспериментальные исследования на реальных данных (база Flavia)

Алгоритм классификации:

k -NN



Оценка точности классификации

Объект	1-ый класс	2-ой класс	3-й класс	Предсказание	Результат
j	✓	✓✓		2	Correct
Точность классификации					$\frac{\sum Correct}{N_{класс}}$

Таблица сопряженности классов базы Flavia

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
1	51																																51	
2		49						2							5	4						1			2				1			1	65	
3	2		17												1	1		1		3				1	5	2							33	
4				59															1														60	
5					65																												65	
6						56		1																									57	
7							53		5																4	1			1				64	
8								50										2											3				55	
9		2					1		12			1													2	1			2				21	
10										54								3											2				59	
11											32	1	6						6			3											48	
12							1					59	4																1				65	
13											5		25	5	1				1										4				41	
14		1									1		8	43										2									55	
15		6	1		1			8						1	41	13								6		2			4				83	
16		1	7											4	4	26							2	4	1								49	
17																	74																	74
18																		37									1			1			39	
19				5	2						5		1	1	1	1		1	45				5						3			3		70
20	1																				62					3								66
21	2																3					59												64
22		1	18						1	5	4	1	6	3		3		5	3				46		4	1			1	1		8	111	
23					3				4		2	1	1	6	2	6				3				35										63
24	2	1					2		6			1										1			50	3								66
25	1	1	21				3		12							2					1		1		10	35			1			1	89	
26		1	1				1																		4	42								49
27																		1										44				1		46
28																													50					50
29					2		1		5						5									3						42				58
30				8							1			1					12	2			2				2				58			86
31																											4			1	52			57
32													1																				46	47
	59	63	65	72	73	56	62	51	55	59	50	63	52	65	60	56	77	62	61	66	60	55	55	65	54	52	53	55	57	64	53	56	1906	

Результат экспериментальных исследований на базе листьев Flavia

Оценивание качества классификации:

Точность классификации (Precision):

$$Precision = \frac{tp}{tp + fp} \quad tp - true \text{ positives}$$

Полнота классификации (Recall):

$$Recall = \frac{tp}{tp + fn} \quad fn - false \text{ negatives}$$

F1-мера классификации :

$$F1 = 2 \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}$$

Результат экспериментальных исследований на базе листьев Flavia

Точность классификации (Precision) для 32 классов (LOO; $P=7$; k -NN, $k=5$):

0.86 (1)	0.78 (2)	0.26 (3)	0.82 (4)	0.89 (5)	1.00 (6)	0.85 (7)	0.98 (8)
0.22 (9)	0.98 (10)	0.64 (11)	0.94 (12)	0.48 (13)	0.66 (14)	0.68 (15)	0.46 (16)
0.96 (17)	0.60 (18)	0.74 (19)	0.94 (20)	0.98 (21)	0.84 (22)	0.64 (23)	0.77 (24)
0.65 (25)	0.81 (26)	0.83 (27)	0.91 (28)	0.74 (29)	0.91 (30)	0.98 (31)	0.82 (32)

Средняя точность классификации – **77%**

Результат экспериментальных исследований на базе листьев Flavia

Полнота классификации (Recall) для 32 классов (LOO; $P=7$; k -NN, $k=5$):

1.00 (1)	0.75 (2)	0.52 (3)	0.98 (4)	1.00 (5)	0.98 (6)	0.83 (7)	0.91 (8)
0.57 (9)	0.92 (10)	0.67 (11)	0.91 (12)	0.61 (13)	0.78 (14)	0.49 (15)	0.53 (16)
1.00 (17)	0.95 (18)	0.64 (19)	0.93 (20)	0.92 (21)	0.41 (22)	0.56 (23)	0.76 (24)
0.39 (25)	0.86 (26)	0.96 (27)	1.00 (28)	0.72 (29)	0.67 (30)	0.91 (31)	0.98 (32)

Средняя полнота классификации – **79%**

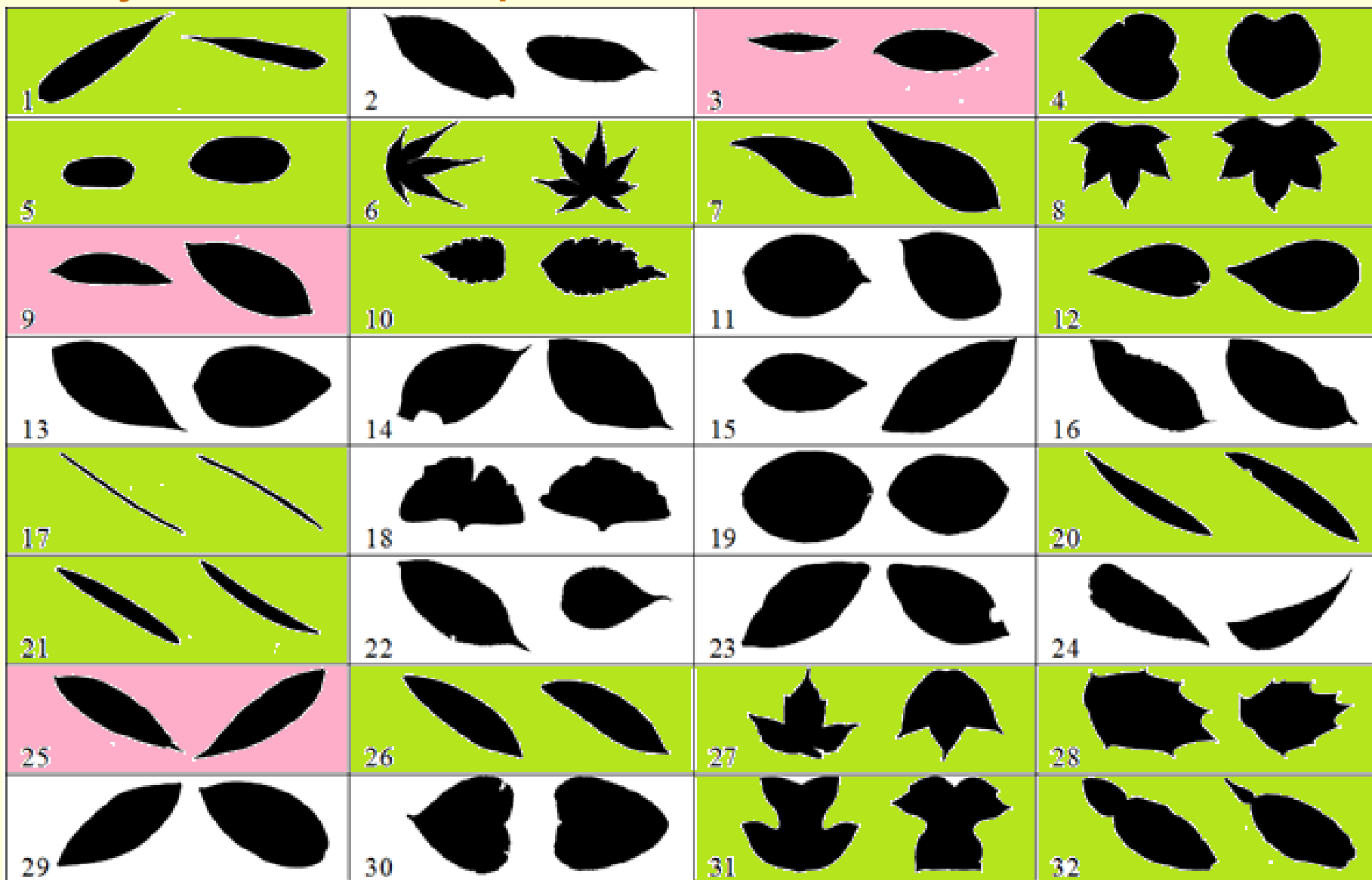
Результат экспериментальных исследований на базе листьев Flavia

F1-мера классификации для 32 классов (LOO; $P=7$; k -NN, $k=5$):

0.93 (1)	0.77 (2)	0.35 (3)	0.89 (4)	0.94 (5)	0.99 (6)	0.84 (7)	0.94 (8)
0.32 (9)	0.92 (10)	0.65 (11)	0.92 (12)	0.54 (13)	0.72 (14)	0.57 (15)	0.5 (16)
0.98 (17)	0.73 (18)	0.69 (19)	0.94 (20)	0.95 (21)	0.55 (22)	0.59 (23)	0.76 (24)
0.49 (25)	0.83 (26)	0.89 (27)	0.95 (28)	0.73 (29)	0.77 (30)	0.95 (31)	0.89 (32)

Средняя F1-мера классификации – **77%**

Результат экспериментальных исследований



Дальнейшие направления исследований

- Исследовать влияние параметра склейки на результат классификации в задаче распознавания листьев растений
- Провести исследования по выявлению симметрии на изображениях листьев при помощи оценки (псевдо-)симметричности цепочек примитивов с целью ускорения вычислений мер различия
- Провести экспериментальные исследования на других известных базах изображений листьев («Leaves from Swedish Trees», «Middle European Woods (MEW) 2010», ...) и сравнить с результатами классификации другими известными методами описания формы

Спасибо за внимание!