

# Spis treści

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| Summary                                                           | v         |
| Przedmowa                                                         | ix        |
| Spis treści                                                       | xv        |
| Terminologia polska i angielska                                   | 1         |
| Ważniejsze oznaczenia                                             | 5         |
| <b>1 Wprowadzenie</b>                                             | <b>11</b> |
| 1.1 Rozproszona informacja obrazowa i akumulacja danych . . . . . | 11        |
| 1.2 Prototypy metod akumulacyjnych . . . . .                      | 15        |
| 1.3 Pomiary i błędy w analizie obrazów . . . . .                  | 16        |
| 1.3.1 Mierzenie i pomiary . . . . .                               | 16        |
| 1.3.2 Błędy, wartości typowe i nietypowe, błędy grube . . . . .   | 17        |
| 1.4 Rozpatrywana klasa obrazów . . . . .                          | 18        |
| 1.5 Zagadnienie efektywności i czasu obliczeń . . . . .           | 19        |
| 1.6 Uwaga techniczna wizualizacja obrazów . . . . .               | 20        |
| <b>I Podstawy</b>                                                 | <b>21</b> |
| <b>2 Akumulacja danych i transformata Hougha</b>                  | <b>23</b> |
| 2.1 Histogram . . . . .                                           | 23        |
| 2.1.1 Pomiary i funkcja indeksująca . . . . .                     | 23        |
| 2.1.2 Histogram ostry i jego moda . . . . .                       | 25        |
| 2.1.3 Zliczanie, inkrementacja, głosowanie . . . . .              | 26        |
| 2.1.4 Histogram o wartościach rzeczywistych . . . . .             | 26        |
| 2.1.5 Histogram rozmyty . . . . .                                 | 27        |
| 2.1.6 Histogram wielowymiarowy . . . . .                          | 28        |
| 2.2 Przestrzeń obrazu i przestrzeń parametrów . . . . .           | 29        |
| 2.2.1 Przestrzeń obrazu i obraz . . . . .                         | 29        |
| 2.2.2 Obiekty parametryczne i ich widoki w obrazie . . . . .      | 30        |
| 2.2.3 Przestrzeń parametrów i akumulator . . . . .                | 32        |
| 2.3 Akumulacja . . . . .                                          | 33        |

|           |                                                                                             |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.1     | Metody akumulacji danych . . . . .                                                          | 33        |
| 2.3.2     | Odwzorowanie piksla w przestrzeni parametrów . . . . .                                      | 33        |
| 2.3.3     | Odwzorowanie zbioru piksli w przestrzeni parametrów . . . . .                               | 34        |
| 2.3.4     | Akumulacja i transformata Hougha . . . . .                                                  | 36        |
| 2.4       | Ilustracja: podstawowa wersja transformaty Hougha . . . . .                                 | 39        |
| 2.5       | Relacje akumulacji i statystyki . . . . .                                                   | 42        |
| 2.5.1     | Częstość i prawdopodobieństwo . . . . .                                                     | 42        |
| 2.5.2     | Odporność . . . . .                                                                         | 42        |
| 2.6       | Wybrane rozszerzenia i wersje transformaty Hougha . . . . .                                 | 44        |
| 2.6.1     | Akumulacja w przestrzeni obrazu i hierarchia – przykład<br>detekcji środka okręgu . . . . . | 44        |
| 2.6.2     | Uogólniona transformata Hougha – detekcja obiektu o do-<br>wolnym kształcie . . . . .       | 46        |
| 2.6.3     | Rozmycie – kontynuacja przykładu detekcji środka okręgu . . . . .                           | 48        |
| 2.6.4     | Randomizacja . . . . .                                                                      | 49        |
| 2.6.5     | Akumulacja danych . . . . .                                                                 | 50        |
| <b>3</b>  | <b>Estymacja na podstawie histogramu rozmytego</b>                                          | <b>53</b> |
| 3.1       | Wartość modalna histogramu rozmytego . . . . .                                              | 53        |
| 3.2       | Przykład wprowadzający: przejście od mody do średniej . . . . .                             | 54        |
| 3.3       | Rozdzielczość histogramu i skala funkcji rozmycia w literaturze . . . . .                   | 58        |
| 3.4       | Histogram nieokresowy . . . . .                                                             | 60        |
| 3.4.1     | Kwadratowa funkcja rozmycia . . . . .                                                       | 61        |
| 3.4.2     | Inne funkcje rozmycia . . . . .                                                             | 62        |
| 3.4.3     | Stopień rozmycia histogramu nieokresowego . . . . .                                         | 63        |
| 3.5       | Histogram okresowy . . . . .                                                                | 63        |
| 3.5.1     | Funkcja rozmycia $\cos^2$ i analogia wektorowa . . . . .                                    | 64        |
| 3.5.2     | Uwaga o zastosowaniu w analizie obiektów wydłużonych . . . . .                              | 67        |
| 3.5.3     | Stopień rozmycia histogramu okresowego . . . . .                                            | 67        |
| 3.6       | Wybór stopnia rozmycia histogramu . . . . .                                                 | 68        |
| 3.7       | Uwaga o podobieństwie funkcji rozmycia . . . . .                                            | 70        |
| <b>II</b> | <b>Zadania</b>                                                                              | <b>73</b> |
| <b>4</b>  | <b>Przykład prostej metody akumulacyjnej</b>                                                | <b>75</b> |
| 4.1       | Detektor krawędzi . . . . .                                                                 | 75        |
| 4.2       | Uzyskiwanie podzbiorów głosujących . . . . .                                                | 76        |
| 4.3       | Estymatory wyniku pomiaru . . . . .                                                         | 77        |
| 4.3.1     | Średnia – detektor Sobla . . . . .                                                          | 78        |
| 4.3.2     | Mediana – detektor medianowy . . . . .                                                      | 79        |
| 4.3.3     | Moda – detektor akumulacyjny . . . . .                                                      | 79        |
| 4.4       | Przykłady obliczeń . . . . .                                                                | 80        |
| 4.5       | Poprawianie jakości wyników przez uciąganie . . . . .                                       | 84        |
| 4.6       | Dyskusja wyników – własności metod . . . . .                                                | 88        |
| 4.7       | Ciągłe przejście: detektor akumulacyjny – detektor Sobla . . . . .                          | 91        |
| 4.8       | Podsumowanie . . . . .                                                                      | 95        |

|          |                                                                                   |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5</b> | <b>Zadanie parametryczne: nakładanie obrazów</b>                                  | <b>97</b>  |
| 5.1      | Nakładanie obrazów i obrazy multimodalne . . . . .                                | 97         |
| 5.2      | Klasyfikacja metod . . . . .                                                      | 100        |
| 5.3      | Wybrane miary jakości nałożenia . . . . .                                         | 101        |
| 5.3.1    | Miary błędu . . . . .                                                             | 101        |
| 5.3.2    | Wartość akumulowana jako funkcja podobieństwa . . . . .                           | 103        |
| 5.4      | Metody wybrane do porównań . . . . .                                              | 104        |
| 5.4.1    | Wersje ostre i rozmyte . . . . .                                                  | 104        |
| 5.4.2    | GHT: uogólniona transformata Hougha . . . . .                                     | 105        |
| 5.4.3    | DAHT: bezpośrednia akumulacja parametrów . . . . .                                | 106        |
| 5.4.4    | MIHT: zmodyfikowana iteracyjna transformata Hougha . . . . .                      | 106        |
| 5.4.5    | Uwagi . . . . .                                                                   | 108        |
| 5.5      | Porównanie metod na przykładach testowych: odporność . . . . .                    | 108        |
| 5.5.1    | Testy . . . . .                                                                   | 108        |
| 5.5.2    | Wyniki . . . . .                                                                  | 110        |
| 5.5.3    | Odporność . . . . .                                                               | 113        |
| 5.6      | Weryfikacja wskazówek co do wyboru skali . . . . .                                | 113        |
| 5.6.1    | Zadanie testowe . . . . .                                                         | 113        |
| 5.6.2    | Wyniki . . . . .                                                                  | 117        |
| 5.6.3    | Wnioski . . . . .                                                                 | 118        |
| 5.7      | Przykład kontroli jakości radioterapii: hierarchia . . . . .                      | 119        |
| 5.7.1    | Zadanie . . . . .                                                                 | 119        |
| 5.7.2    | Hierarchia . . . . .                                                              | 121        |
| 5.7.3    | Wyniki . . . . .                                                                  | 123        |
| 5.8      | Podsumowanie . . . . .                                                            | 124        |
| <b>6</b> | <b>Zadanie nieparametryczne: detekcja obiektów wydłużonych</b>                    | <b>127</b> |
| 6.1      | Detekcja linii . . . . .                                                          | 127        |
| 6.2      | Model linii . . . . .                                                             | 129        |
| 6.3      | Metoda akumulacji . . . . .                                                       | 131        |
| 6.3.1    | Warunki konieczne i obszar pikseli głosujących . . . . .                          | 131        |
| 6.3.2    | Intensywność i kierunek . . . . .                                                 | 135        |
| 6.3.3    | Współczynniki zgodności i funkcja $\cos^2$ . . . . .                              | 136        |
| 6.3.4    | Wartość akumulowana i akumulator . . . . .                                        | 136        |
| 6.3.5    | Rozmycie w kierunku kąta i trójwymiarowy akumulator . . . . .                     | 137        |
| 6.3.6    | Wyniki – śledzenie grzbietów . . . . .                                            | 141        |
| 6.4      | Przykład wyników wstępnych . . . . .                                              | 143        |
| 6.5      | Sposób wizualizacji . . . . .                                                     | 143        |
| 6.6      | Rozszerzenia metody . . . . .                                                     | 143        |
| 6.6.1    | Parzyste i nieparzyste odległości między pikselami i rozmycie położenia . . . . . | 145        |
| 6.6.2    | Lokalna jednorodność kierunku . . . . .                                           | 147        |
| 6.6.3    | Ciągłość linii i rozmycie w kierunku długości . . . . .                           | 159        |
| 6.6.4    | Izotropowość i rozmycie w kierunku szerokości . . . . .                           | 162        |
| 6.7      | Przykład wyników końcowych . . . . .                                              | 173        |
| 6.8      | Parametry . . . . .                                                               | 173        |
| 6.9      | Złożoność obliczeniowa i wymagana pamięć . . . . .                                | 176        |

|          |                                                                   |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.9.1    | Oszacowania . . . . .                                             | 176        |
| 6.9.2    | Optymalna rozdzielczość obrazu . . . . .                          | 178        |
| 6.9.3    | Rosnące moce obliczeniowe i obliczenia równoległe . . . . .       | 179        |
| 6.10     | Badania własności metody . . . . .                                | 181        |
| 6.10.1   | Niezmienniczość względem szerokości linii i kompensacja . . . . . | 181        |
| 6.10.2   | Niezmienniczość względem kierunku i szerokości linii . . . . .    | 190        |
| 6.10.3   | Odporność na szum . . . . .                                       | 195        |
| 6.11     | Podsumowanie . . . . .                                            | 207        |
| <b>7</b> | <b>Podsumowanie krytyczne</b>                                     | <b>211</b> |
|          | <b>Dodatki</b>                                                    | <b>213</b> |
| <b>A</b> | <b>Dowody własności histogramów rozmytych...</b>                  | <b>213</b> |
| <b>B</b> | <b>Lokalne wyrównywanie histogramu</b>                            | <b>217</b> |
| <b>C</b> | <b>Cyfrowa reprezentacja kierunków i odległości</b>               | <b>221</b> |
|          | <b>Literatura</b>                                                 | <b>227</b> |
|          | <b>Spis rysunków</b>                                              | <b>241</b> |
|          | <b>Spis tabel</b>                                                 | <b>247</b> |
|          | <b>Indeks</b>                                                     | <b>248</b> |