

# Obsah

|                                                                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I. Zpracování diskrétních signálů (M. Sedláček)</b>                                                                 | <b>1</b>  |
| 1. Úvod části o zpracování signálů                                                                                     | 2         |
| <b>2. Vzorkování signálu a rekonstrukce</b>                                                                            | <b>5</b>  |
| 2.1. Vzorkovací věta . . . . .                                                                                         | 5         |
| 2.2. Diracův impuls a jeho vlastnosti . . . . .                                                                        | 6         |
| 2.3. Odvození průběhu spektra vzorkovaného signálu . . . . .                                                           | 8         |
| 2.4. Rekonstrukce spojitého signálu z posloupnosti vzorků . . . . .                                                    | 9         |
| 2.4.1. Rekonstrukce pomocí ideální dolnofrekvenční propusti . . . . .                                                  | 9         |
| 2.4.2. Rekonstrukce pomocí vzorkovače s pamětí (Lagrangeova interpolátoru řádu 0, schodovitá interpolace) . . . . .    | 11        |
| 2.4.3. Rekonstrukce pomocí lineárního interpolátoru (lineární interpolace) . . . . .                                   | 12        |
| 2.4.4. Chyba rekonstrukce signálu . . . . .                                                                            | 13        |
| 2.5. Blokovaná struktura systémů pro číslicové zpracování signálů . . . . .                                            | 14        |
| <b>3. Fourierovy transformace</b>                                                                                      | <b>16</b> |
| 3.1. Základní diskrétní signály . . . . .                                                                              | 16        |
| 3.2. Fourierova transformace diskrétních signálů (FTD) . . . . .                                                       | 17        |
| 3.2.1. Základní vlastnosti FTD . . . . .                                                                               | 20        |
| 3.2.2. Příklady spekter důležitých diskrétních signálů . . . . .                                                       | 21        |
| 3.2.3. Diskrétní konvoluce . . . . .                                                                                   | 23        |
| 3.3. Diskrétní Fourierova transformace (DFT) . . . . .                                                                 | 24        |
| 3.3.1. Základní vlastnosti DFT . . . . .                                                                               | 26        |
| 3.3.2. Volba počtu bodů N pro DFT . . . . .                                                                            | 29        |
| 3.3.3. Kruhová konvoluce a její užití . . . . .                                                                        | 32        |
| 3.4. Rychlá Fourierova transformace (FFT) . . . . .                                                                    | 34        |
| 3.4.1. Vyjádření DFT pomocí matic . . . . .                                                                            | 38        |
| 3.5. Použití DFT pro zpracování spojitých signálů . . . . .                                                            | 38        |
| 3.6. Využití DFT pro spektrální analýzu periodických signálů . . . . .                                                 | 39        |
| 3.6.1. Souvislost DFT s koeficienty Fourierovy řady . . . . .                                                          | 45        |
| 3.6.2. Volba délky DFT při analýze zašuměného signálu pro dosažení požadované hodnoty SNR hodnot DFT spektra . . . . . | 47        |
| 3.7. Interpolovaná diskrétní Fourierova transformace . . . . .                                                         | 48        |
| 3.8. DFT frekvenční lupa . . . . .                                                                                     | 53        |
| 3.9. Krátkodobá Fourierova transformace – (STFT) . . . . .                                                             | 54        |

|                                                                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. Číslicové filtry</b>                                                                                                     | <b>58</b> |
| 4.1. Rozdělení číslicových filtrů . . . . .                                                                                    | 58        |
| 4.1.1. Číslicové filtry s konečnou impulsní odezvou – FIR filtry . . . . .                                                     | 59        |
| 4.1.2. Číslicové filtry s nekonečnou impulsní odezvou – IIR filtry . . . . .                                                   | 62        |
| 4.1.3. Rozdělení číslicových filtrů podle účelu . . . . .                                                                      | 66        |
| 4.1.4. Princip adaptivních číslicových filtrů a příklady jejich aplikací . . . . .                                             | 72        |
| 4.2. Metody návrhu číslicových filtrů . . . . .                                                                                | 74        |
| 4.2.1. Návrh filtrů s konečnou impulsní odezvou . . . . .                                                                      | 75        |
| 4.2.2. Návrh filtrů s nekonečnou impulsní odezvou . . . . .                                                                    | 82        |
| 4.3. Transpozice číslicových filtrů . . . . .                                                                                  | 88        |
| 4.4. Porovnání vlastností FIR filtrů a IIR filtrů . . . . .                                                                    | 89        |
| 4.5. Mediánový filtr jako příklad nelineárního filtru . . . . .                                                                | 90        |
| <b>5. Zpracování stochastických signálů</b>                                                                                    | <b>92</b> |
| 5.1. Popis náhodných signálů z hlediska amplitudové struktury . . . . .                                                        | 94        |
| 5.1.1. Popis amplitudového rozdělení pomocí funkčních závislostí, signály<br>spojité v čase . . . . .                          | 94        |
| 5.1.2. Poznámky k teorii odhadů . . . . .                                                                                      | 98        |
| 5.1.3. Popis amplitudového rozdělení pomocí číselných hodnot . . . . .                                                         | 98        |
| 5.1.4. Dvě základní spojitá rozdělení pravděpodobností . . . . .                                                               | 102       |
| 5.2. Popis náhodných signálů v časové oblasti . . . . .                                                                        | 104       |
| 5.2.1. Korelační a kovarianční funkce určené ze souboru . . . . .                                                              | 104       |
| 5.2.2. Korelační a kovarianční funkce určené jako střední hodnoty v čase . . .                                                 | 106       |
| 5.2.3. Užití korelačních funkcí . . . . .                                                                                      | 108       |
| 5.2.4. Korelační a kovarianční posloupnosti – signály diskrétní v čase . . . . .                                               | 111       |
| 5.2.5. Měření korelačních funkcí . . . . .                                                                                     | 114       |
| 5.3. Popis náhodných signálů ve frekvenční oblasti . . . . .                                                                   | 117       |
| 5.3.1. Definice a vlastnosti výkonových spektrálních hustot . . . . .                                                          | 117       |
| 5.3.2. Bílý šum signálů analogových a signálů diskrétních v čase . . . . .                                                     | 120       |
| 5.3.3. Frekvenční oblast – výkon, energie a výkonová spektrální hustota<br>stochastických signálů diskrétních v čase . . . . . | 122       |
| 5.3.4. Způsoby získání výkonových spektrálních hustot . . . . .                                                                | 125       |
| 5.3.5. Použití výkonových spektrálních hustot . . . . .                                                                        | 129       |
| 5.3.6. Souvislost statistických parametrů vstupního a výstupního signálu<br>v LTID systémech . . . . .                         | 129       |
| 5.4. Měření signálů za přítomnosti šumů . . . . .                                                                              | 132       |
| 5.4.1. Korelační filtrace . . . . .                                                                                            | 132       |
| 5.4.2. Průměrování signálu . . . . .                                                                                           | 133       |
| 5.4.3. Frekvenční filtrace . . . . .                                                                                           | 134       |
| 5.4.4. Synchronní (koherentní) detekce . . . . .                                                                               | 135       |
| 5.4.5. Společný popis metod zpracování signálu za přítomnosti šumu . . . . .                                                   | 136       |
| 5.4.6. Vlnková transformace . . . . .                                                                                          | 136       |
| 5.4.7. Princip zvyšování SNR zašuměného signálu . . . . .                                                                      | 137       |



|                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>II. Zpracování obrazů (V. Hlaváč)</b>                                             | <b>139</b> |
| <b>6. Úvod části o zpracování obrazů</b>                                             | <b>140</b> |
| 6.1. Zpracování obrazových signálů, vztah k počítačovému vidění a počítačové grafice | 140        |
| 6.2. Reprezentace obrazu a úlohy analýzy obrazu                                      | 141        |
| 6.3. Obrazová funkce a trojrozměrný svět                                             | 144        |
| <b>7. Digitální obraz</b>                                                            | <b>146</b> |
| 7.1. Digitalizace                                                                    | 146        |
| 7.2. Vlastnosti digitálního obrazu                                                   | 147        |
| 7.3. Metrické a topologické vlastnosti obrazu                                        | 147        |
| 7.4. Další pojmy                                                                     | 150        |
| 7.5. Barevný obraz                                                                   | 152        |
| <b>8. Pořízení obrazu</b>                                                            | <b>154</b> |
| 8.1. Obrazy jako radiometrická měření                                                | 154        |
| 8.1.1. Radiometrické úvahy, pojmy                                                    | 154        |
| 8.1.2. Rovnice ozáření                                                               | 156        |
| 8.1.3. Odrazivost povrchu                                                            | 157        |
| 8.1.4. Rovnice ozáření a tvar ze stínování                                           | 160        |
| 8.1.5. Tvar z fotometrického sterea                                                  | 161        |
| 8.2. Praktické otázky kolem pořízení intenzitního 2D obrazu                          | 163        |
| 8.2.1. Optická část pohledem geometrické optiky                                      | 163        |
| 8.2.2. Snímače světelné energie používané v kamerách                                 | 167        |
| 8.2.3. Kamera                                                                        | 167        |
| <b>9. Geometrické transformace a transformace hodnot jasu</b>                        | <b>170</b> |
| 9.1. Geometrické transformace                                                        | 170        |
| 9.1.1. Transformace souřadnic bodů                                                   | 171        |
| 9.1.2. Aproximace jasové funkce                                                      | 172        |
| 9.2. Transformace hodnot jasu                                                        | 175        |
| 9.2.1. Jasové korekce                                                                | 175        |
| 9.2.2. Transformace jasové stupnice                                                  | 176        |
| <b>10. Diskrétní lineární integrální transformace</b>                                | <b>179</b> |
| 10.1. Základní teorie                                                                | 179        |
| 10.2. Fourierova transformace                                                        | 180        |
| 10.3. Hadamardova transformace                                                       | 183        |
| 10.4. Diskrétní kosinová transformace                                                | 184        |
| 10.5. Vlnková transformace (wavelets)                                                | 184        |
| 10.6. Další lineární integrální transformace                                         | 185        |
| 10.7. Použití lineárních diskretních transformací pro zpracování obrazů              | 186        |
| <b>11. Filtrace šumu, poruch a detekce hran</b>                                      | <b>191</b> |
| 11.1. Statistický princip filtrace šumu                                              | 191        |
| 11.2. Lokální filtrace                                                               | 191        |
| 11.3. Lokální vyhlazování obrazu                                                     | 192        |
| 11.3.1. Lineární metody vyhlazování                                                  | 193        |
| 11.3.2. Nelineární metody vyhlazování                                                | 195        |



|                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.4. Hledání hran . . . . .                                                                     | 197        |
| 11.4.1. Pojem hrany a princip gradientních operátorů . . . . .                                   | 197        |
| 11.4.2. Jednoduché konvoluční masky aproximující derivace obrazové funkce . . . . .              | 200        |
| 11.4.3. Hrany jako průchody nulou druhé derivace obrazové funkce . . . . .                       | 202        |
| 11.4.4. Volba měřítka ve zpracování obrazů . . . . .                                             | 204        |
| 11.4.5. Cannyho hranový detektor . . . . .                                                       | 205        |
| 11.5. Obnovení obrazu při známé degradaci . . . . .                                              | 208        |
| 11.5.1. Lineární model degradací . . . . .                                                       | 208        |
| 11.5.2. Matematický popis snadno odstranitelných degradací . . . . .                             | 209        |
| 11.5.3. Obnovení obrazu inverzní filtrací nebo Wienerovou filtrací . . . . .                     | 209        |
| <b>12. Matematická morfologie . . . . .</b>                                                      | <b>211</b> |
| 12.1. Základní morfologické pojmy . . . . .                                                      | 211        |
| 12.2. Binární matematická morfologie . . . . .                                                   | 213        |
| 12.2.1. Dilatace . . . . .                                                                       | 213        |
| 12.2.2. Eroze . . . . .                                                                          | 215        |
| 12.2.3. Transformace tref či miň . . . . .                                                       | 217        |
| 12.2.4. Otevření a uzavření . . . . .                                                            | 217        |
| 12.3. Šedotónová matematická morfologie . . . . .                                                | 219        |
| 12.3.1. Vršek, stín, šedotónová dilatace a eroze . . . . .                                       | 219        |
| 12.3.2. Věta o homeomorfismu stínu, vlastnosti eroze, dilatace, otevření<br>a uzavření . . . . . | 222        |
| 12.3.3. Transformace vrchní část klobouku . . . . .                                              | 223        |
| 12.4. Skelet a označování objektů . . . . .                                                      | 224        |
| 12.4.1. Transformace zachovávající homotopický strom . . . . .                                   | 224        |
| 12.4.2. Skelet, maximální kruh . . . . .                                                         | 225        |
| 12.4.3. Ztenčování, ztlušťování a homotopický skelet . . . . .                                   | 227        |
| 12.4.4. Značkování oblastí, konečná eroze . . . . .                                              | 229        |
| 12.4.5. Vzdálenostní funkce a efektivní výpočet konečné eroze . . . . .                          | 232        |
| 12.4.6. Geodetické transformace . . . . .                                                        | 233        |
| 12.4.7. Morfologická rekonstrukce . . . . .                                                      | 234        |
| 12.5. Granulometrie . . . . .                                                                    | 236        |
| 12.6. Morfologická segmentace a rozvodí . . . . .                                                | 238        |
| 12.6.1. Segmentace částic, jejich značkování a rozvodí . . . . .                                 | 238        |
| 12.6.2. Morfologická segmentace binárních obrazů . . . . .                                       | 239        |
| 12.6.3. Šedotónová segmentace, rozvodí . . . . .                                                 | 240        |
| <b>Literatura . . . . .</b>                                                                      | <b>243</b> |
| <b>Rejstřík . . . . .</b>                                                                        | <b>249</b> |