

# Spis treści

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| Wykaz stosowanych skrótów .....                                     | 7         |
| <b>1. Wprowadzenie .....</b>                                        | <b>11</b> |
| <b>2. Charakterystyka widma fal radiowych .....</b>                 | <b>14</b> |
| 2.1. Prognozowanie tłumienia propagacyjnego fal radiowych .....     | 16        |
| 2.1.1. Model Egliego .....                                          | 17        |
| 2.1.2. Model Okumury .....                                          | 19        |
| 2.1.3. Model Haty .....                                             | 20        |
| 2.1.4. Modele COST-231 .....                                        | 22        |
| 2.1.5. Model Longley-Rice’a .....                                   | 24        |
| 2.2. Zaniki sygnału .....                                           | 25        |
| 2.2.1. Model kanału z zanikami Rayleigha .....                      | 28        |
| 2.2.2. Model kanału z zanikami Rice’a .....                         | 31        |
| 2.2.3. Model kanału <i>m</i> -Nakagamiego .....                     | 32        |
| 2.3. Zarządzanie widmem .....                                       | 34        |
| <b>3. Metody zwiększania efektywności wykorzystania widma .....</b> | <b>39</b> |
| 3.1. Wielotonowa ortogonalna modulacja częstotliwości (OFDM) .....  | 39        |
| 3.2. Systemy wieloantenowe .....                                    | 43        |
| 3.3. Współdzielenie widma .....                                     | 48        |
| <b>4. Technologia radia kognitywnego .....</b>                      | <b>50</b> |
| 4.1. Sieci kognitywne standardu IEEE 802.11 .....                   | 55        |
| 4.1.1. Warstwa fizyczna .....                                       | 58        |
| 4.1.2. Przydział zasobów .....                                      | 59        |
| 4.1.3. Otwarta pętla zwrotna .....                                  | 59        |
| 4.1.4. Zamknięta pętla zwrotna .....                                | 59        |
| 4.2. Sieci kognitywne standardu IEEE 802.22 .....                   | 61        |
| 4.2.1. Architektura sieci 802.22 .....                              | 61        |
| 4.2.2. Łączenie kanałów .....                                       | 62        |
| <b>5. Tworzenie świadomości widmowej .....</b>                      | <b>64</b> |
| 5.1. Metody autonomiczne sensingu .....                             | 67        |
| 5.2. Metody kooperacyjne sensingu .....                             | 71        |
| 5.3. Mapy środowiska radiowego .....                                | 73        |

|           |                                                                                 |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6.</b> | <b>Charakterystyka metod sensingu widma .....</b>                               | <b>76</b>  |
| 6.1.      | Detekcja energii .....                                                          | 76         |
| 6.1.1.    | Prawdopodobieństwo detekcji w kanale AWGN .....                                 | 77         |
| 6.1.2.    | Aproksymacja wariancji szumu .....                                              | 79         |
| 6.1.3.    | Prawdopodobieństwo detekcji w kanale z zanikami .....                           | 82         |
| 6.2.      | Detekcja kowariancji .....                                                      | 83         |
| 6.3.      | Detekcja cech cyklostacjonarnych .....                                          | 85         |
| 6.4.      | Detekcja wykorzystująca testy zgodności statystycznej .....                     | 89         |
| 6.4.1.    | Test Kołmogorowa-Smirnowa .....                                                 | 90         |
| 6.4.2.    | Dwuwymiarowy test Kołmogorowa-Smirnowa (2D K-S) .....                           | 91         |
| 6.4.3.    | Test Andersona-Darlinga (AD) .....                                              | 92         |
| 6.5.      | Detekcja wykorzystująca filtr dopasowany .....                                  | 92         |
| 6.6.      | Detekcja falkowa .....                                                          | 95         |
| <b>7.</b> | <b>Ocena efektywności sensingu .....</b>                                        | <b>98</b>  |
| 7.1.      | Miary i kryteria oceny efektywności sensingu .....                              | 98         |
| 7.1.1.    | Okresowość sensingu .....                                                       | 98         |
| 7.1.2.    | Czas realizacji sensingu .....                                                  | 99         |
| 7.1.3.    | Zasięg interferencji .....                                                      | 100        |
| 7.1.4.    | Czułość detekcji .....                                                          | 101        |
| 7.2.      | Charakterystyka efektywności sensingu systemu kognitywnego<br>IEEE 802.22 ..... | 102        |
| 7.2.1.    | Wymagania dotyczące ochrony sygnałów użytkowników pierwotnych .....             | 102        |
| 7.2.2.    | Wymagania odnośnie detekcji sygnałów .....                                      | 105        |
| 7.3.      | Porównawcza ocena efektywności metod sensingu .....                             | 106        |
| <b>8.</b> | <b>Mapy środowiska radiowego .....</b>                                          | <b>109</b> |
| 8.1.      | Architektura REM .....                                                          | 109        |
| 8.2.      | Techniki tworzenia zobrazowań .....                                             | 110        |
| 8.2.1.    | Metody bezpośrednie .....                                                       | 111        |
| 8.2.1.1.  | Metoda najbliższych sąsiadów .....                                              | 112        |
| 8.2.1.2.  | Metoda IDW .....                                                                | 112        |
| 8.2.1.3.  | Kriging .....                                                                   | 113        |
| 8.2.2.    | Metody pośrednie .....                                                          | 115        |
| 8.2.3.    | Metody hybrydowe .....                                                          | 116        |
| 8.3.      | Eksperymentalna weryfikacja konstrukcji REM .....                               | 116        |
| 8.4.      | Miary dokładności zobrazowania .....                                            | 120        |
| 8.5.      | Sieci sensorów pomiarowych .....                                                | 124        |
| 8.6.      | Wnioski .....                                                                   | 125        |
|           | <b>Bibliografia .....</b>                                                       | <b>127</b> |
|           | <b>Wykaz rysunków .....</b>                                                     | <b>142</b> |
|           | <b>Wykaz tabel .....</b>                                                        | <b>144</b> |
|           | <b>Biogramy .....</b>                                                           | <b>145</b> |