

Wybrane zagadnienia wielokryterialnego planowania sieci WLAN

Selected issues of multi-objective WLAN planning

Adam Pieprzycki^{a,*}, Wiesław Ludwin^b

^a Zakład Informatyki PWSZ Tarnów, ul. Mickiewicza 8, 33-100 Tarnów, Poland

^b AGH w Krakowie, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland

Article history:

Received 29 November 2018

Received in revised form

22 December 2018

Accepted 24 December 2018

Available online 27 December 2018

Streszczenie

Celem artykułu jest zastosowanie wielokryterialnego podejścia do planowania MOO (*Multi Objective Optimisation*) sieci łączności bezprzewodowej WLAN (*Wireless Local Area Network*) z wykorzystaniem wybranych rojowych metod optymalizacji.

W tym celu, w procesie poszukiwania ekstremów dwóch funkcji kryterialnych, które są wskaźnikami optymalizacyjnym, zastosowano dwa algorytmy rojowe: kukułki MOCS (*Multi Objective Cuckoo Search*) oraz optymalizacji rojem cząstek MOPSO (*Multi Objective Particle Swarm Optimisation*). Wyniki porównano z jednokryterialnym SOO (*Single Objective Optimisation*) zasięgowym planowaniem sieci bazującym na regularnym rozmieszczeniu punktów testujących TP (*test point*) z wykorzystaniem rojowego algorytmu kukułki CS (*Cuckoo Search*).

Słowa kluczowe: wielokryterialne algorytmy optymalizacji, planowanie, WLAN, optymalizacja nieliniowa

Wstęp

W procesie projektowania i budowy sieci WLAN z infrastrukturą można wyróżnić szereg etapów [1]. Do najważniejszych z nich należy:

1. ustalenie liczby stacji abonenckich ST (*Station*) współpracujących z punktami dostępu AP (*Access Point*) wraz z ich szczegółową charakterystyką, w tym wymaganiami i rodzajem realizowanych usług telekomunikacyjnych,
2. wybór techniki transmisji oraz standardu sieci,
3. przeprowadzenie wstępnych testów empirycznych, np. umożliwiających oszacowanie zasięgu radiowego sieci,
4. wykonanie projektu sieci,
5. przeprowadzenie testów zasięgu i/lub przepustowości zaprojektowanej sieci,
6. sporządzenie dokumentacji z przeprowadzonych testów w sieci oraz dokonanie analizy osiągniętych wyników w odniesieniu do wstępnych założeń oraz ewentualnej modyfikacji projektu sieci,
7. budowa i uruchomienie sieci WLAN,
8. utrzymanie sieci i jej ewentualna optymalizacja.

W artykule porównano skuteczność planowania sieci WLAN – rozmieszczenia punktów AP z zastosowaniem dwóch typów optymalizacji wielokryterialnej oraz (w celach porównawczych) zadania optymalizacji jednokryterialnej, które reprezentuje klasyczne – czyli zasięgowe podejście do planowania sieci. Dodat-

kowo, zaproponowano wykorzystanie oceny globalnej rozwiązań z zastosowaniem *Metody Unitaryzacji Zerowanej* MUZ.

W artykule analizowano, czy uwzględnienie w funkcji kryterialnej, właściwości protokołów wielodostępu do kanału radiowego (przepustowości sieci) pozwoli na optymalne rozmieszczenie punktów dostępu AP w wybranym wewnątrzbudynkowym środowisku radiokomunikacyjnym.

Podczas próby sformułowania zadania optymalizacji (zaplanowania sieci WLAN) może okazać się koniecznym uwzględnienie nie jednej a kilku – niekiedy wzajemnie przeciwstawnych – funkcji kryterialnych.

W zadaniu planowania – liczba punktów dostępu AP do sieci WLAN, ich wzajemne położenie zarówno względem siebie, jak i względem stacji ST, którymi posługują się użytkownicy oraz dobór parametrów pracy tych punktów (np.: mocy wyjściowej nadajnika, numeru kanału radiowego, parametrów techniki dostępu do łącza radiowego, rozmiaru pakietu) są wynikiem wyznaczenia optimum przyjętej (jednej lub kilku) funkcji kryterialnej.

Funkcje kryterialne mogą także uwzględniać między innymi, takie parametry sieci WLAN, jak: zasięg radiowy, odległości między punktem dostępu AP a stacjami ST, tłumienie fali radiowej na trasie punkt AP–stacja ST, stosunek mocy nośnej do mocy zakłóceń interferencyjnych (*Signal to Interference Ratio*) na wejściu odbiornika, stosunek mocy nośnej do sumy mocy zakłóceń interferencyjnych i szumów własnych (*Signal to Interference and Noise Ratio*), bitową stopę błędów (*Bit Error Rate*), pakietową stopę błędów (*Packet Error Rate*), moc sy-

*Corresponding author: a_pieprzycki@pwszstar.edu.pl

gnału nośnej na wejściu odbiornika stacji ST, moc interferencji, przepływność (szybkość transmisji), wskaźniki sprawiedliwego wykorzystania zasobów (*Jain's Fairness Index*) czy (*Capacity Fairness Index*).

Charakterystyka wybranych rojowych algorytmów optymalizacji

Dla potrzeb niniejszej pracy, w procesie poszukiwania ekstremów funkcji kryterialnych posłużono się algorytmami [2]:

- kukułki CS (*Cukko Serach*) [3],
- wielokryterialnym algorytmem kukułki MOCS (*Multi Objective Cukko Serach*) [4],
- wielokryterialnym algorytmem optymalizacji rojem cząstek (ptasim) MOPSO (*Multi Objective Particle Swarm Optimization*) [5].

Wielokryterialny algorytm kukułki MOCS [4] jest jednym z nowszych wielokryterialnych algorytmów rojowych, w którym w porównaniu z jednokryterialnym algorytmem kukułki CS:

- każda kukułka składa jednorazowo K jaj, i podrzuca je do losowo wybranego gniazda, gdzie każde jajko k odpowiada rozwiązaniu k -tej funkcji kryterialnej,
- każde gniazdo jest opuszczane z prawdopodobieństwem i budowane jest, zgodnie z podobieństwami/różnicami w jajkach, nowe gniazdo z K jajami.

Wielokryterialny algorytm ptasi MOPSO, zaproponowany w 2002 roku [5] przez C. Coello, A. Coello i M. Salazar Lechuga jest wielokryterialną wersją algorytmu PSO (*Particle Swarm Optimization*), w której w celu określenia kierunku lotu cząstki zastosowano pomysł dominacji w sensie Pareto. Wszystkie niezdominowane cząstki w roju (wektory wartości funkcji kryterialnych), gromadzone są w globalnej podgrupie zwanej re-

pozytorium, a każda cząstka, stosując probabilistyczne zasady dominacji, wybiera spośród członków tego repozytorium swój najlepszy „cel”, do przeprowadzenia własnego lotu.

Analogicznie jak w algorytmie ptasim PSO [4,6], cząstki roju w algorytmie MOPSO dzielą się informacjami i poruszają się w kierunku globalnie najlepszych cząstek oraz w kierunku zapamiętanej swojej najlepszej cząstce.

Zadanie optymalizacji

Przy formułowaniu zadania optymalizacji, wykorzystano:

- model propagacyjny MWM (*Multi Wall Model*) [7,8] o parametrach wyznaczonych empirycznie (Tab. 3) [9], które charakteryzują wewnątrzbudynkowe środowisko radiokomunikacyjne,
- model matematyczny przepustowości sieci [10], uwzględniający początkowy rozmiar okna rywalizacji oraz maksymalną liczbę stanów procedury *backoff*, i ponowień transmisji pakietów dla mechanizmu DCF (*Distributed Coordination Function*) protokołu CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*),
- transmisję UDP (*User Datagram Protocol*), opartą na pakietach o ładunku 1472 B i 1500-bajtowej jednostce MTU,
- rojowy algorytm kukułki CS dla optymalizacji jednokryterialnej [3],
- wielokryterialne algorytmy rojowe: kukułki MOCS [4] oraz optymalizacji rojem cząstek MOPSO [5],
- analizę rozwiązań wskaźnikami: jakości globalnej metody MUZ [11] oraz wydajności (*Performance Metric*) sieci WLAN [12].

Scenariusz testowy

Tabela 1. Dane techniczne punktów dostępu AP i stacji abonenckich ST w analizowanej sieci WLAN

Sieć WLAN standardu IEEE 802.11b/g	
Czułości P_S^{thr} odbiornika stacji ST, gwarantujące na jego wyjściu $BER \leq 10^{-5}$ i odpowiadające im szybkości transmisji M_{TR}	P_S^{th} [dBm] = {−90; −89; −88; −87; −86; −85; −84; −82; −79; −75; −72; −68}
	M_{TR} [Mb/s] = {1,0; 2,0; 5,5; 6,0; 9,0; 11,0; 12,0; 18,0; 24,0; 36,0; 48,0; 54,0}
Moc zastępcza promieniowana izotropowo $EIRP$ punktu dostępu AP	$EIRP = 20$ dBm
Rozmiar pola ładunku pakietu $L_{DATA_payload}$	$L_{DATA_payload} = 1472$ B
Zastosowane urządzenie, jako stacja ST	TP-Link TL-WN651G/ AR5212 ath5k/ Ubuntu 10.04
Zastosowane urządzenie, jako punkt AP	TP-Link MR3220v1/OpenWrt Barrier Breaker 14.07 LuCI Trunk (0.12+svn-r10530)

Tabela 2. Dane opisujące zadania optymalizacji

Kryterium stopu algorytmów– maksymalna liczba iteracji		$N_{iter}^{max} = 100$
MOPSO	Liczebność „roju”	$N_{ps0} = 50$
	Współczynnik poznawczy	$c_1 = \{1,00; 3,00\}$
	Współczynnik społeczny	$c_2 = \{3,00; 1,00\}$
MOCS	Liczba gniazd	$N_{nest} = 50$
	Prawdopodobieństwo wykrycia jaja podzuczonego przez kukułkę	$p_a = \{0,35; 0,50\}$
CS	Liczba gniazd	$N_{nest} = 50$
	Prawdopodobieństwo wykrycia jaja podzuczonego przez kukułkę	$p_a = 0,50$

Tabela 3. Parametry modelu propagacyjnego MWM wyznaczone empirycznie

Parametry	Wartości parametrów
Wartość tłumienia odniesienia	$L_0 = 42,92$
Współczynnik propagacji	$n_{prop}^{MWM} = 3,07$
Tłumienie przeszkody (gips)	$L_{w_gips} = 6,32$
Tłumienie przeszkody (pustak)	$L_{w_pustak} = 7,97$
Tłumienie przeszkody (drewno)	$L_{w_drewno} = 3,12$

W zadaniu optymalizacji zastosowano trzy funkcje kryterialne, które zdefiniowano jako:

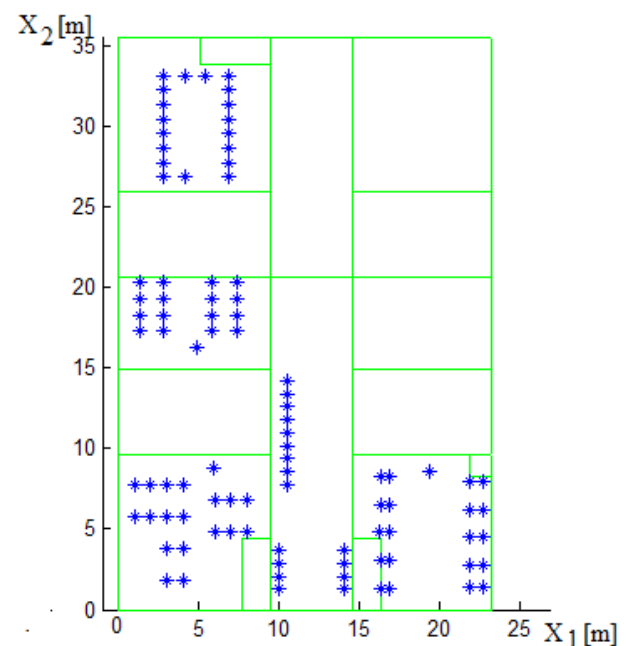
$$F_{c_1} = \sum_{j=1}^{N_{AP}} \sum_{i=1}^{N_{STj}} d_{ji}, \quad (1)$$

$$F_{c_2} = \sum_{j=1}^{N_{AP}} \sum_{i=1}^{N_{STj}} d_{ji}, \quad (2)$$

$$F_{c_3} = \sum_{j=1}^{N_{AP}} \sum_{k=1}^{N_{STj}} M_{TRjk}, \quad (3)$$

gdzie: N_{AP} – liczba punktów dostępu AP, N_{STj} – liczba stacji abonenckich ST obsługiwanych przez j -ty punkt dostępu AP, d_{ji} – odległość między j -tym punktem dostępu AP, a stacją i -tą stacją abonenką ST, S_{jk} – przepustowość dla k -tej stacji ST przedzielonej do j -tego punktu dostępu, M_{TRj} – szybkość transmisji dla k -tej stacji ST przedzielonej do j -tego punktu dostępu.

Rozwiązanie wielokryterialnego zadania optymalizacji polegało na określeniu maksymalnych wartości zestawu dwóch funkcji kryterialnych.

**Rysunek 1.** Rzut poziomy wybranych pomieszczeń i korytarzy jednego piętra z 93 stacjami ST

Opierając się na zestawach funkcji (F_{c_1}, F_{c_2}) oraz (F_{c_1}, F_{c_3}), poszukiwano za pomocą dwóch wybranych algorytmów optymalizacji wielokryterialnej MOO (Tab. 1) analogicznie jak w pracy [9] (Rys. 1) – najlepszego przydziału dziewięćdziesięciu trzech stacji ST ($N_{ST} = 93$) do ograniczonej liczby punktów AP ($N_{AP} = \{1 \div 6\}$) – od jednego do sześciu.

W poszukiwaniu ekstremów dwóch zestawów funkcji kryterialnych (F_{c_1}, F_{c_2}) oraz (F_{c_1}, F_{c_3}) wykorzystano algorytmy MOPSO [5] i MOCS [4] o parametrach wyszczególnionych

w tabeli 2. – a to ze względu na ich wzajemne uzupełnianie się. Algorytm MOPSO generował rozwiązania optymalne w sensie Pareto z większą wartością funkcji F_{c_1} , zaś MOCS z większymi wartościami F_{c_2} [13].

W celach porównawczych, sformułowano i następnie rozwiązano za pomocą algorytmu kukułki CS [3] (tab. 2) zadanie optymalizacji jednokryterialnej SOO, w którym wykorzystano funkcję kryterialną F_{c_4} :

$$F_{c_4} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{AP}} N_{STj}}{N_{ST}} \quad (4)$$

Miejsca – punkty testowe TP, w których wyznaczano za pomocą modelu MWM poziomy mocy sygnału $RSSI$ znajdowały się w węzłach siatki o wymiarach 1×1 m, co dla całego rozważanego obszaru z rysunku 1. dało 864 lokalizacje.

Analiza rozwiązań

Do budowy rankingu rozwiązań zastosowano metodę MUZ [11] i obliczono zmienną agregowaną GQ_i (*Global Quality*) jakości globalnej:

$$GQ_i = \frac{1}{N_{F_c}} \sum_{j=1}^{N_{F_c}} z_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, N_p^{true}), \quad (5)$$

gdzie: N_{F_c} – liczba zastosowanych zmiennych diagnostycznych (np. funkcji kryterialnych, parametrów sieci lub różnych wskaźników jakości/wykorzystania sieci), N_p^{true} – liczba wszystkich przypadków z frontu Pareto, z_{ij} – unormowana zmienna diagnostyczna obliczana dla stymulanty (St) ze wzoru:

$$z_{ij} = \frac{c_{ij} - \min_i F_{c_{ij}}}{\max_i F_{c_{ij}} - \min_i F_{c_{ij}}} \left(\begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, N_p^{true} \\ j = 1, 2, \dots, N_{F_c} \end{array} \right), \quad (6)$$

$$F_{c_j} \in St,$$

w przypadku destymulanty (De) ze wzoru:

$$z_{ij} = \frac{\max_i F_{c_{ij}} - c_{ij}}{\max_i F_{c_{ij}} - \min_i F_{c_{ij}}} \left(\begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, N_p^{true} \\ j = 1, 2, \dots, N_{F_c} \end{array} \right), \quad (7)$$

$$F_{c_j} \in De,$$

zaś w przypadku nominanty (No) ze wzoru:

$$z_{ij} = \begin{cases} \frac{F_{c_{ij}} - \min_i F_{c_{ij}}}{c_1 - \min_i F_{c_{ij}}} \left(\begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, N_p^{true} \\ j = 1, 2, \dots, N_{F_c} \end{array} \right), \\ 1, c_1 \leq F_{c_j} \leq c_2 \\ \frac{F_{c_{ij}} - \max_i F_{c_{ij}}}{c_2 - \max_i F_{c_{ij}}} \left(\begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, N_p \\ j = 1, 2, \dots, N_{F_c} \end{array} \right), \end{cases} \quad (8)$$

$$F_{c_j} \in No,$$

Dodatkowo, oprócz optymalizowanych wartości dwóch funkcji kryterialnych (stymulant), w budowaniu rankingu rozwiązań wzięto pod uwagę odchylenie standardowe liczby przydzielanych stacji ST do punktów AP (destymulant), jak również sprawdzono obciążenie punktów AP stacjami ST (nominanta), dla których przyjęto najmniejszą ($c_1 = 1$) i największą ($c_2 = 20$) liczbę stacji ST.

Stymulanta (St) to zmienna diagnostyczna, której wzrost wartości jest kojarzony z poprawą, a spadek z pogorszeniem się oceny analizowanego zjawiska. Destymulanta (De) to zmienna diagnostyczna, której wzrost jest kojarzony ze spadkiem, a spadek ze wzrostem oceny danego zjawiska. Nominanta (No) to taka zmienna diagnostyczna, dla której istnieje najkorzystniejsza (z punktu widzenia zjawiska złożonego) wartość lub przedział wartości.

Podgrupę najlepszych obiektów (rozwiązań) można określić, jako [11]:

$$GQ_i^{best} \in [\max GQ_i - \frac{1}{3}(\max GQ_i - \min GQ_i), \max GQ_i] \quad (9)$$

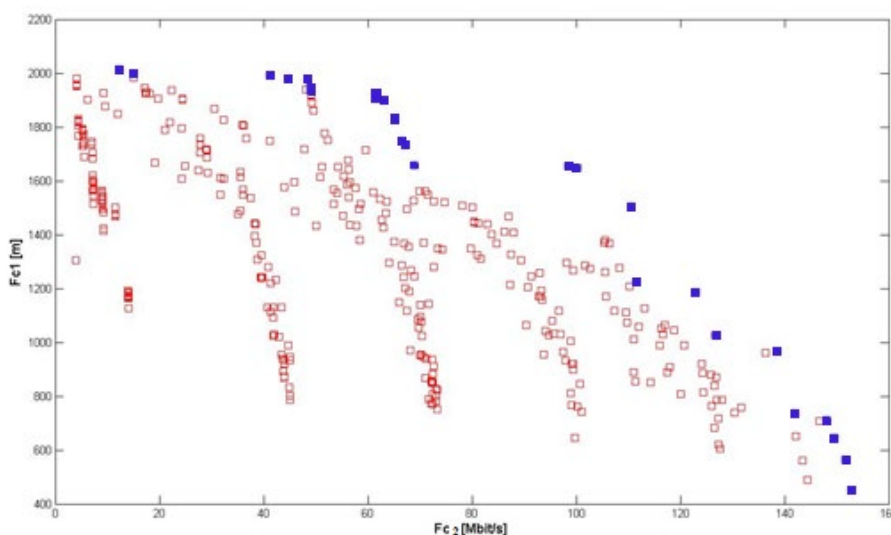
Dodatkowo, do oceny i porównania otrzymanych rozwiązań wybrano wskaźnik wydajności sieci WLAN [12] łączący w sobie zasięg radiowy oraz przepustowości osiągnięte przez poszczególne stacje ST wymieniające dane z punktami AP sieci WLAN [10, 12]. Wskaźnik ten zdefiniowano, jako:

$$PM = \sum_{j=1}^{N_{AP}} \sum_{i=1}^{N_{STj}} S_{ji} \cdot (d_{ji}^2 - d_{j(i-1)}^2), \quad (10)$$

gdzie: S_{ji} – przepustowość dla i -tej stacji ST przydzielonej do j -tego punktu AP, d_{ji} – odległość między i -tą stacją należącą do j -tego punktu AP.

Tabela 4. Wartości wybranych funkcji kryterialnych (front Pareto) uzyskane w ramach zadania MOO maksymalizacji zestawu funkcji i najlepszych rozwiązań (8 z 28)

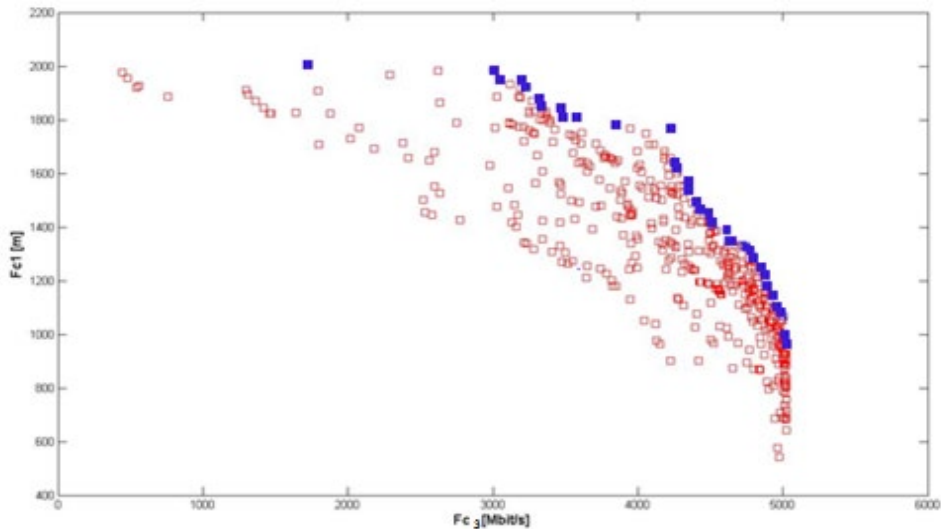
Nr	F_{c_1} [m]	F_{c_2} [Mb/s]	F_{c_3} [Mb/s]	$\sigma_{N_{ST}}$	$N_{ST}^{AP,n}$	GQ_i^{best}	PM [(Mb/s) m ²]
18.	1509,16	106,81	4118,00	17,48	2,17,52,8,14	0,66	2730,94
21.	1186,58	122,98	4818,00	14,09	5,17,31,38,2	0,72	1690,56
23.	967,23	138,70	4368,00	16,76	2,10,50,21,1,9	0,66	7733,02
24.	736,14	142,04	4374,00	14,27	6,4,21,3,44,15	0,66	5169,51
25.	711,24	148,10	4884,00	10,06	26,2,30,17,6,12	0,74	1146,20
26.	646,27	149,56	4704,00	11,83	31,33,5,5,10,9	0,70	1033,40
27.	565,34	151,71	4962,00	10,94	15,17,4,20,2,35	0,72	2013,03
28.	451,56	152,85	4986,00	9,95	3,4,16,32,17,21	0,72	1048,57

**Rysunek 2.** Rozwiązania i front Pareto (punkty koloru niebieskiego) dla zestawu funkcji MOO (F_{c_1} , F_{c_2})**Tabela 5.** Wartości wybranych funkcji kryterialnych (front Pareto) uzyskane w ramach zadania MOO maksymalizacji zestawu funkcji i najlepszych rozwiązań (13 z 47)

Nr	F_{c_1} [m]	F_{c_2} [Mb/s]	F_{c_3} [Mb/s]	$\sigma_{N_{ST}}$	$N_{ST}^{AP,n}$	GQ_i^{best}	PM [(Mb/s) m ²]
31.	1389,89	19,26	4610,00	1,50	48,45	0,62	248,86
35.	1328,70	63,58	4746,00	16,27	20,54,19	0,62	867,91
36.	1313,50	66,16	4776,00	16,27	20,54,19	0,63	875,33
37.	1288,50	66,44	4800,00	16,27	20,54,19	0,63	834,85
38.	1249,50	66,55	4854,00	16,27	51,37,5	0,62	1070,35
39.	1224,80	68,18	4878,00	16,27	20,54,19	0,63	800,88
40.	1186,57	69,05	4884,00	15,58	19,53,21	0,63	717,95
41.	1184,20	68,19	4896,00	16,27	20,54,19	0,62	778,92
42.	1149,70	69,32	4932,00	16,27	20,54,19	0,62	703,58
43.	1106,20	69,72	4956,00	10,71	29,45,19	0,66	743,95
44.	1084,10	97,54	4986,00	13,99	18,8,46,0,21	0,68	1144,38
45.	1068,20	98,30	5004,00	13,99	18,8,46,0,21	0,69	1116,69
47.	967,04	71,14	5022,00	7,48	23,29,41	0,67	520,56

Wszystkie rozwiązania optymalne w sensie Pareto poddano analizie – określając wskaźnik GQ_i . Analizowano także wyniki uzyskane dla zadania optymalizacji jednokryterialnej $SOO(F_{C_4})$ (tab. 6, tab. 7, rys. 4).

Najlepsze rozwiązania GQ_i^{best} wyszczególniono w tabelach: 4, 5 i 8.



Rysunek 3. Rozwiązania i front Pareto (punkty koloru niebieskiego) dla zestawu funkcji MOO

Tabela 6. Wartości funkcji kryterialnej F_{C_4} oraz liczba i współrzędne punktów AP

N_{AP}	$P_S^{thr}(1) = -90 \text{ dBm}$			$P_S^{thr}(6) = -87 \text{ dBm}$		
	Współrzędne punktu AP [m]		F_{C_4}	Współrzędne punktu AP [m]		F_{C_4}
	X_{1AP}	X_{2AP}		X_{1AP}	X_{2AP}	
$AP_1 (ch_{nr} = 1)$	13,89	15,30	0,998	13,96	17,92	0,99
$AP_1 (ch_{nr} = 1)$	15,51	8,24	1,00	10,48	11,70	1,00
$AP_2 (ch_{nr} = 6)$	7,39	21,80		5,48	35,60	

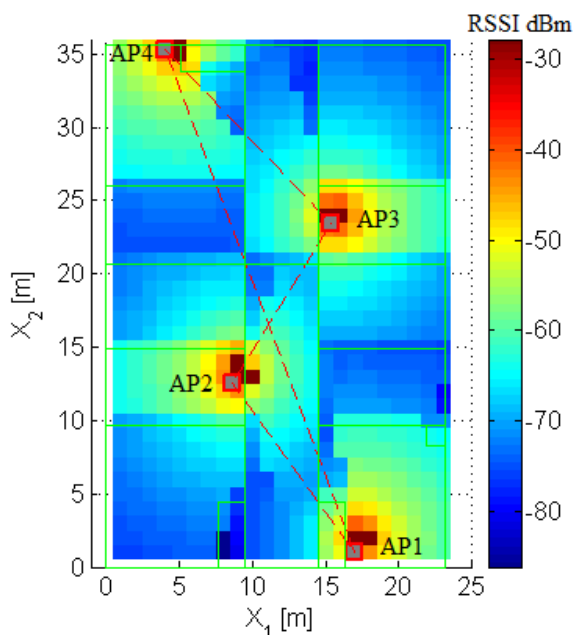
Tabela 7. Wartości funkcji kryterialnej F_{C_4} i współrzędne punktów AP

N_{AP}	$P_S^{thr}(36) = -75 \text{ dBm}$			$P_S^{thr}(54) = -68 \text{ dBm}$		
	Współrzędne punktu AP [m]		F_{C_4}	Współrzędne punktu AP [m]		F_{C_4}
	X_{1AP}	X_{2AP}		X_{1AP}	X_{2AP}	
$AP_1 (ch_{nr} = 1)$	11,07	13,47	0,67	11,90	9,66	0,42
$AP_1 (ch_{nr} = 1)$	9,82	25,88	0,98	11,86	9,67	0,79
$AP_2 (ch_{nr} = 6)$	13,92	10,21		11,74	26,11	
$AP_1 (ch_{nr} = 1)$	13,20	26,84	0,997	5,37	9,91	0,92
$AP_2 (ch_{nr} = 6)$	0,62	14,30		14,58	10,77	
$AP_3 (ch_{nr} = 11)$	16,46	9,50		11,60	26,03	
$AP_1 (ch_{nr} = 1)$	16,96	0,97	1,00	19,31	26,62	0,89
$AP_2 (ch_{nr} = 6)$	8,66	12,59		11,00	15,02	
$AP_3 (ch_{nr} = 11)$	15,40	23,43		6,01	31,45	
$AP_4 (ch_{nr} = 1)$	4,09	35,32		0,01	2,29	

AP_1 ($ch_{nr} = 1$)	18,11	35,60		0,01	2,90	
AP_2 ($ch_{nr} = 6$)	17,27	0,01		16,32	3,56	
AP_3 ($ch_{nr} = 11$)	12,33	15,52	1,00	11,45	15,64	0,94
AP_4 ($ch_{nr} = 1$)	0,01	6,73		17,02	15,32	
AP_5 ($ch_{nr} = 6$)	3,20	35,60		8,12	27,75	
AP_1 ($ch_{nr} = 1$)	17,55	21,98		19,18	8,92	
AP_2 ($ch_{nr} = 6$)	23,17	7,35		15,85	29,46	
AP_3 ($ch_{nr} = 11$)	0,01	26,96	1,00	23,17	32,93	0,81
AP_4 ($ch_{nr} = 1$)	0,01	0,01		1,19	26,76	
AP_5 ($ch_{nr} = 6$)	5,16	20,69		0,01	0,01	
AP_6 ($ch_{nr} = 11$)	2,59	14,37		11,41	15,30	

Tabela 8. Wyniki uzyskane dla maksymalizacji jednokryterialnej SOO (F_{c_4}) i najlepszych rozwiązań GQ_i^{best}

Optymalizacja SOO (F_{c_4})	F_{c_1} [m]	F_{c_2} [Mb/s]	F_{c_3} [Mb/s]	$\sigma_{\overline{N_{ST}}}$	$N_{ST}^{AP_n}$	GQ_i^{best}	PM [(Mb/s) m ²]
(54) = -68 dBm	686,68	70,60	5016,00	8,52	36,38,19	0,63	339,20
	587,26	98,89	5022,00	10,11	13,21,40,0,19	0,66	348,46
	628,94	98,40	5022,00	6,26	21,0,0,19,19,34	0,69	465,40
(36) = -75 dBm	737,91	71,31	5022,00	9,42	19,42,32	0,63	366,74
	611,99	71,60	5022,00	13,59	24,50,0,19	0,67	256,01
	630,21	98,40	5022,00	6,26	0,21,34,19,19	0,69	459,60
	691,16	93,28	4824,00	8,26	0,21,0,13,36,23	0,66	704,73



Rysunek 4. Rozmieszczenie 4 punktów AP w sieci dla pomieszczeń z rysunku 1., opartej na kryterium zasięgu dla SOO (F_{c_4}) i $P_S^{thr}(36) = -75$ dBm

Na rysunku 4. przedstawiono wzajemne rozmieszczenie czterech punktów AP dla przypadku $P_S^{thr}(36) = -75$ dBm. Dwa z tych punktów AP_1 i AP_4 pracowały w tym samym kanale radiowym, zaś pozostałe dwa AP_2 i AP_3 używały wzajemnie niezakłócających się kanałów radiowych (tab. 6). Algorytm optymalizacji kuli CS spowodował, że działające w tym samym kanale radiowym punkty AP_1 i AP_4 (rys. 4) zostały rozsunięte na maksymalnie dużą odległość.

Ocena i porównanie rozwiązań

Dla analizowanego scenariusza $N_{ST} = 93$ stacji ST (Rys. 1), oszacowano wymaganą [14] liczbę punktów N_{AP} jako:

$$N_{AP}^{93ST} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ST}} M_{TR_i} \cdot \theta_i}{M_{TR}^{max} \cdot TUL} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ST}} M_{TR_i} \cdot \theta_i}{S_{TUL}} = \left[\frac{93 \cdot 6 \cdot 0,2}{54 \cdot 0,5} \right] = 5, \quad (11)$$

gdzie:

M_{TR_i} – wymagana szybkość transmisji i -tej stacji abonenckiej ST,

θ_i – współczynnik, określający aktywności użytkownika obsługującego się i -tą stacją abonencką ST,

M_{TR}^{max} – maksymalna szybkość transmisji ST/AP,

TUL (Throughput Upper Limit) – wykorzystanie punktu AP,

S_{TUL} – górna granica przepustowości dla punktu AP.

Przyjęte, ostrożne założenia mają umożliwić transmisję UDP (np. „telefonii internetowej” VoIP (*Voice over Internet Protocol*), przesyłanie plików TFTP (*Trivial File Transfer Protocol*), gier sieciowych czy skompresowanej transmisji wideo w standardzie MPEG4.

Na Rysunku 5 przedstawiono wyszczególnione dla MOO (F_{c_1}, F_{c_2}) najlepsze (GQ_i^{best}) rozwiązania (na czarno: AP_1, AP_2, AP_3 i na czerwono: AP_4, AP_5, AP_6). Wprowadzenie, ozna-

w w zadaniu MOO (F_{c_1}, F_{c_2}) dla przypadków GQ_i^{best} z największym wskaźnikiem PM , otrzymano, dla liczby N_{ST} stacji ST przydzielonych punktom AP, rozwiązania o relatywnie dużym odchyleniu standardowym $\sigma_{N_{ST}}$.

Podsumowanie

Zastosowanie optymalizacji wielokryterialnej daje możliwość uwzględnienia różnych funkcji kryterialnych, wybranych do

Tabela 9. Zestawienie wybranych wyników obliczeń dla najlepszych rozwiązań GQ_i^{best}

Algorytm	N_{AP}	Współrzędne AP [m]		N_{ST}^{APn}
		X_{AP}	Y_{AP}	
MOO (F_{c_1}, F_{c_2}) Lp. 27 tab. 4	AP_1 ($ch_{nr} = 1$)	9,40	30,30	2
	AP_2 ($ch_{nr} = 6$)	3,40	20,62	4
	AP_3 ($ch_{nr} = 11$)	4,63	26,56	15
	AP_4 ($ch_{nr} = 1$)	9,25	1,93	17
	AP_5 ($ch_{nr} = 6$)	15,11	11,80	20
	AP_6 ($ch_{nr} = 11$)	10,19	10,55	35
MOO (F_{c_1}, F_{c_3}) Lp. 44 tab. 5	AP_1 ($ch_{nr} = 1$)	8,83	14,09	18
	AP_2 ($ch_{nr} = 6$)	14,02	27,68	8
	AP_3 ($ch_{nr} = 11$)	14,25	22,57	46
	AP_4 ($ch_{nr} = 1$)	19,05	14,64	21
SOO (F_{c_4}) $P_S^{thr} (36) = -75$ dBm	AP_1 ($ch_{nr} = 6$)	23,17	7,35	21
	AP_2 ($ch_{nr} = 1$)	0,01	0,01	18
	AP_3 ($ch_{nr} = 6$)	5,16	20,69	36
	AP_4 ($ch_{nr} = 11$)	2,59	14,37	18

czonemu kolorem szarym, obszaru zabronionego skutkowało modyfikacją położenia trzech punktów: AP_4, AP_5, AP_6 (rys. 5) i doprowadziło do bardziej równomiernego przydziału stacji ST do punktów AP: $N_{ST}^{APn} = \{1, 17, 18, 19, 20, 18\}$ (wszystkie AP na czarno), przy jednoczesnym spadku $\sigma_{N_{ST}} = 6,55$, kosztem zmniejszenia się wartości $F_{c_1} = 509,71$, $F_{c_2} = 149,95$ i $PM = 1397,85$ oraz zwiększenia $F_{c_3} = 5022$.

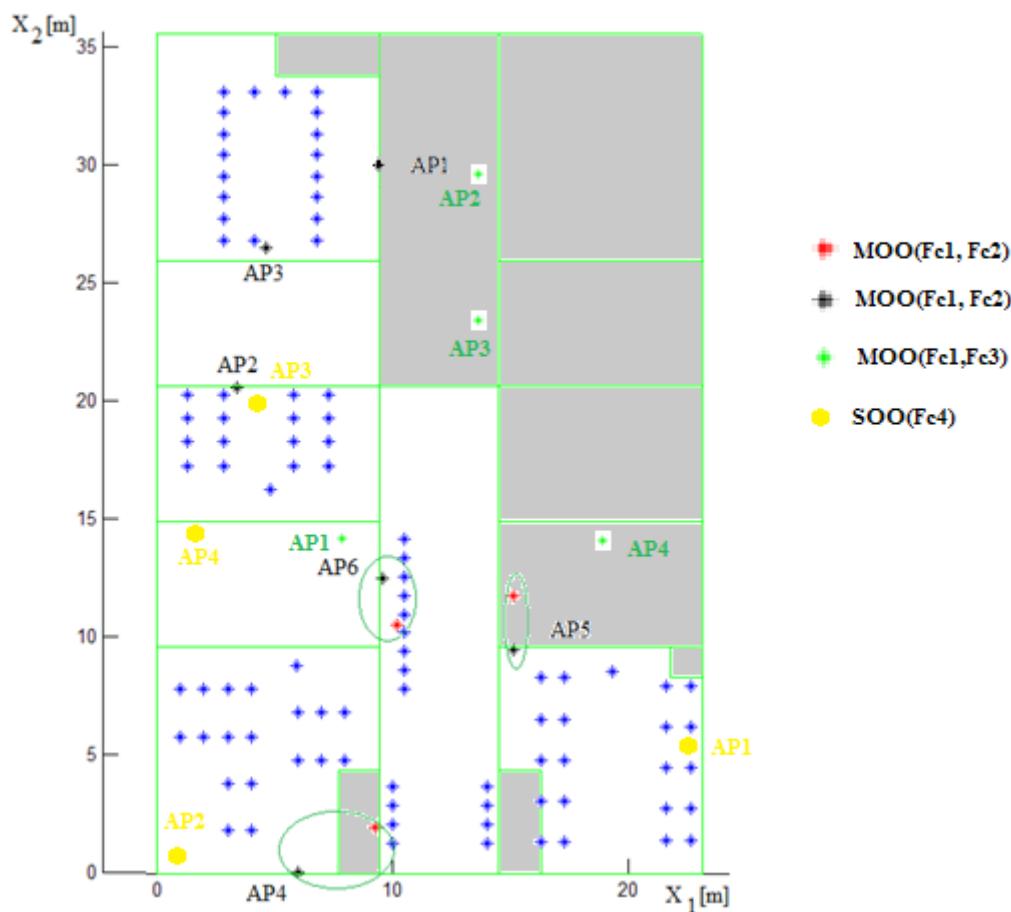
Dla rozważanej modyfikacji zadania optymalizacji wielokryterialnej MOO (F_{c_1}, F_{c_2}) (rys. 5), wartość PM była nie tylko większa w porównaniu z najlepszym (GQ_i^{best}) przypadkiem otrzymanym dla zadania MOO (F_{c_1}, F_{c_3}), ale także była ona większa od wszystkich najlepszych przypadków w zadaniu optymalizacji jednokryterialnej SOO (F_{c_4}) (Tab. 8).

Analizując otrzymane wyniki, należy jednak zauważyć, że

opisu sieci WLAN. Dwa analizowane zestawy funkcji MOO porównano z zasięgową optymalizacją jednokryterialną SOO. Z otrzymanych wyników utworzono front Pareto, zastosowano metodę MUZ, a najlepsze wyniki oceniono za pomocą wskaźnika efektywności PM .

Analizując wyniki uzyskane dla zadań optymalizacji MOO (F_{c_1}, F_{c_2}) oraz MOO (F_{c_1}, F_{c_3}) można zauważyć, że w pierwszym przypadku rozwiązania oraz front Pareto rozwiązań uzależniony był od liczby punktów AP (tab. 4 i rys. 2). W zadaniu MOO (F_{c_1}, F_{c_3}) rozwiązania zbiegały się i osiągnęły swoje maksimum ($F_{c_3} = N_{ST} \cdot M_{TR}^{max}$) (tab. 5 i rys. 3).

Zgodnie ze wzorem (11), uzyskanie założonych parametrów wymagało zastosowania, co najmniej 5 punktów AP (np.: lp 18, lp. 21 w tabeli 4). Dla zadania optymalizacji SOO (F_{c_4}) otrzy-



Rysunek 5. Rozmieszczenie 6 punktów AP w sieci dla pomieszczenia z Rysunku 1.

mano maksimum dla P_S^{thr} (36) już przy czterech punktach AP (Tab. 7). Także dla zadania MOO (F_{c1} , F_{c3}) najlepsze rozwiązania znaleziono dla maksymalnie 4 punktów AP (Tab. 5).

Porównując wyniki obliczeń otrzymane dla trzech metod planowania sieci WLAN (Tab. 4, 5, 8), można zauważyć, że w zadaniu pierwszym – MOO (F_{c1} , F_{c2}) uzyskano największe wartości PM (Tab. 4), a modyfikacja położenia punktów AP (Rys. 5) doprowadziła do osiągnięcia wartości maksymalnej przez funkcję F_{c3} (3) i do zmniejszenia odchylenia standardowego $\sigma_{N_{ST}}$, przy którym liczba N_{ST}^{APn} stacji ST przypadających na jeden punkt AP, nie przekroczyła dwudziestu.

Można zauważyć, że uwzględnienie w funkcji kryterialnej, na której oparto planowanie infrastruktury sieci standardu IEEE 802.11, przepustowości tej sieci (2) pozwoliło (w porównaniu do dwóch pozostałych rozważanych typów optymalizacji MOO (F_{c1} , F_{c3}) i SOO (F_{c4}) na bardziej efektywne rozmieszczenie punktów dostępu AP w wybranym wewnątrzbudynkowym środowisku radiokomunikacyjnym.

Podziękowania

Przedstawione badania powstały przy użyciu zasobów obliczeniowych PLGrid.

Literatura

1. Krzysztofik WJ, Jurczyk K, Implementacja systemów bezprzewodowych bluetooth i wlan w instytucjach na przykładzie uczelni, w KKRRiT, 2003.
2. Filipowicz B, Kwiecień J, Algorytmy stadne w problemach optymalizacji, Pomiary Automatyka, Robotyka, 2011; 12:152–157.
3. Yang X-S, Nature-inspired optimisation algorithms, Elsevier, 2014.
4. Yang X-S, Deb S, Multiobjective cuckoo search for design optimization, Computers & Operations Research, 2013; 40(6):1616–1624.
5. Coello C, Coello A, Salazar Lechuga M, MOPSO: A Proposal for Multiple Objective Particle Swarm Optimization, CEC Congress on Evolutionary Computation, New Jersey, USA, 2002.
6. Kwiecień J, Algorytmy stadne w rozwiązaniu wybranych zagadnień optymalizacji dyskretnej i kombinatorycznej, Kraków AGH, 2015.
7. Lott M, Forkel I, A Multi-Wall-and-Floor Model for Indoor Radio Propagation, w VTC, 2001.
8. Krzysztofik WJ, Herbatowski P, Modele propagacyjne wyko-

- rzystywane do projektowania sieci WLAN wewnątrz budynków, w KKRRiT, 2006.
9. Pieprzycki A, Ludwin W, Planowanie sieci WLAN za pomocą wielokryterialnego algorytmu kukułki, w KKRRiT, Gdańsk, 2018.
 10. Pieprzycki A, Ludwin W, Analiza porównawcza wybranych modeli sieci WLAN standardu IEEE 802.11 z infrastrukturą, w Krajowe Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki KSTiT, Warszawa, 2012.
 11. Kukuła K, Metoda unitaryzacji zerowanej, WN PWN, 2000.
 12. Methodology for Testing Wireless LAN Performance,[Online]. Available: http://www.super-g.com/collateral/atheros_benchmark_whitepaper.pdf.
 13. Pieprzycki A, Ludwin W, Wybrane aspekty optymalizacji wielokryterialnej w planowaniu sieci WLAN, w KSTiT, 2018.
 14. Gajewski P, Wszelak S, Technologie bezprzewodowe sieci teleinformatycznych, WKŁ, 2008.

Abstract

The aim of the article is to apply a multicriteria approach to MOO (*Multi Objective Optimization*) planning for WLAN (*Wireless Local Area Network*) using selected swarm optimization methods.

For this purpose, in the process of searching for the extremum of two criterion functions, which are an optimization index, two swarm algorithms were used: MOCS (*Multi Objective Cuckoo Search*) and MOPSO (*Multi Objective Particle Swarm Optimization*). The results were compared with the single-criterion SOO (*Single Objective Optimization*) range-based network planning based on the regular distribution of TP (*test point*) using the CS (*Cuckoo Search*) algorithm.

Keywords: Cuckoo Search, Multi Objective Swarm Optimization, Multi Objective Cuckoo Search, WLAN planning, non-linear optimization
