

Remigiusz Olejnik

**Projektowanie lokalnych sieci komputerowych
z wykorzystaniem syntetycznego metakryterium
jakościowego**

Szczecin 2015

dr inż. Remigiusz Olejnik
Wydział Informatyki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Żołnierska 49
71-210 Szczecin
e-mail: r.olejnik@ieee.org

Recenzenci:

dr inż. Adam Czubak (Uniwersytet Opolski)

dr inż. Dariusz Rzońca (Politechnika Rzeszowska)

Elektroniczna wersja publikacji dostępna jest pod adresem:

<http://remigiusz.olejnik.name>

© Remigiusz Olejnik, Szczecin 2015

ISBN: 978-83-65106-00-1 (publikacja elektroniczna w formacie PDF)

ISBN: 978-83-65106-01-8 (książka w miękkiej oprawie)

Wydawca: Remigiusz Olejnik, office@remigiusz.olejnik.name

Skład w systemie L^AT_EX: Remigiusz Olejnik

Nakład: 200 egz.

Druk: PolishDruk.pl, ul. Przemysłowa 34, 85-758 Bydgoszcz

Spis treści

Wykaz użytych skrótów	v
Spis rysunków	vii
Spis tablic	ix
Przedmowa	xi
Rozdział 1. Wstęp	1
Rozdział 2. Metody projektowania sieci komputerowych	3
2.1. Przegląd literatury	3
2.1.1. Pozycje książkowe	3
2.1.2. Publikacje w czasopismach	8
2.2. Proces projektowania sieci	10
2.3. Podejścia w projektowaniu sieci komputerowych	11
2.4. Metodyka projektowania sieci komputerowych	12
2.4.1. Podejście tradycyjne	12
2.4.2. Wykorzystanie komputera zamiast eksperta	12
2.5. Struktura programu wspomagającego projektowanie sieci	15
2.6. Oprogramowanie wspomagające projektowanie sieci	16
2.6.1. Wstęp	16
2.6.2. Generatory topologii	17
2.6.3. PARSEC	17
2.6.4. OPNET Modeler	18
2.6.5. OMNeT++	18
2.6.6. ns-2	19
2.6.7. Network Workbench	19
2.6.8. QualNet	20
2.6.9. Podsumowanie	20
2.7. Parametry jakościowe sieci telekomunikacyjnych	20
2.8. Klasyfikacja metod projektowania	21
2.9. Zagadnienia optymalizacji	23
2.9.1. Optymalizacja globalna	23
2.9.2. Polioptymalizacja	24
2.9.3. Optimum w sensie Pareto	24

2.9.4.	Optymalizacja wielokryterialna	25
2.9.5.	Inne metody optymalizacji wykorzystywane w projektowaniu sieci . .	28
2.10.	Podsumowanie	28
Rozdział 3. Metoda parametrycznego projektowania lokalnych sieci komputerowych		31
3.1.	Metoda komputerowego wspomaganie projektowania parametrycznego lokalnych sieci komputerowych (pdLAN)	31
3.2.	Model sieci LAN — IEEE 802.3	33
3.2.1.	Parametry elementów sieci przewodowych IEEE 802.3	33
3.2.2.	Odwzorowanie rzeczywistych parametrów elementów sieci na parametry $r_1 \dots r_9$ oraz $s_1 \dots s_2$	34
3.2.3.	Wskaźniki jakości sieci	35
3.2.4.	Normalizacja wskaźników jakości	38
3.2.5.	Globalny wskaźnik jakości GQ	38
3.3.	Model sieci WLAN — IEEE 802.11b	39
3.3.1.	Parametry elementów sieci bezprzewodowych IEEE 802.11b	40
3.3.2.	Odwzorowanie rzeczywistych parametrów elementów sieci na parametry $r_1 \dots r_4$, $s_1 \dots s_4$ oraz $t_1 \dots t_3$	41
3.3.3.	Wskaźniki jakości sieci	41
3.3.4.	Normalizacja wskaźników jakości	46
3.3.5.	Globalny wskaźnik jakości GQ	47
3.4.	Metoda pdLAN a modele sieci LAN oraz WLAN	47
3.5.	Zastosowane metody optymalizacji	47
3.5.1.	<i>Iterated hill-climber (ihc)</i>	48
3.5.2.	<i>Stochastic hill-climber (shc)</i>	49
3.5.3.	<i>Simulated annealing (sa)</i>	49
3.5.4.	<i>Exhaustive search (enum)</i>	50
Rozdział 4. Wyniki badań symulacyjnych		53
4.1.	Algorytm zastosowany w badaniach symulacyjnych	54
4.2.	Wykorzystanie globalnego wskaźnika jakości GQ do oceny wydajności projektowanej sieci	55
4.2.1.	GQ dla sieci LAN	55
4.2.2.	GQ dla sieci WLAN	55
4.2.3.	$GQ1$ a $GQ2$	56
4.3.	Badania dla modelu sieci LAN	62
4.3.1.	Zmiana rozmiaru sieci (parametry N i P)	62
4.3.2.	Zmiana wielkości ruchu w sieci (parametr <i>ruch</i> wpływający na A) .	62
4.3.3.	Zmiana parametru q_{1max}	64
4.3.4.	Zmiana parametru q_{2max}	68
4.3.5.	Dobór wag $w_1 \dots w_4$	72

4.4.	Badania dla modelu sieci WLAN	75
4.4.1.	Zmiana rozmiaru sieci (parametr N)	75
4.4.2.	Zmiana zapasu mocy (parametr ΔP)	76
4.4.3.	Zmiana parametru l_{min}	77
4.4.4.	Zmiana parametru q_{1max}	78
4.4.5.	Zmiana parametru q_{2max}	80
4.4.6.	Dobór wag $w_1 \dots w_3$	81
4.5.	Efektywne metody optymalizacji	81
4.5.1.	Badania z pracy [38]	81
4.5.2.	Badania z pracy [39]	82
4.5.3.	Badania dla danych z dodatku B	84
4.5.4.	Wnioski	85
4.6.	Wnioski	86
Rozdział 5. Podsumowanie		87
Dodatek A. Tabele z wynikami badań symulacyjnych		89
A.1.	Globalny wskaźnik jakości GQ w ocenie wydajności projektowanej sieci . . .	89
A.2.	Badania dla sieci LAN	91
A.3.	Badania dla sieci WLAN	103
A.4.	Badania nad metodami optymalizacji	106
Dodatek B. Tabele elementów sieci wykorzystane w badaniach symulacyjnych		117
B.1.	Elementy sieci LAN	117
B.2.	Elementy sieci WLAN	118
Bibliografia		127
Summary		133

Wykaz użytych skrótów

- **ATM** *Asynchronous Transfer Mode* — technologia szerokopasmowej połączeniowej sieci transmisji danych
- **BER** *Bit Error Rate* — bitowa stopa błędów
- **BGP** *Border Gateway Protocol* — protokół routingu (bram granicznych)
- **CA** *Capacity Assignment* — wyznaczanie przepustowości kanałów
- **CBR** *Constant Bit Rate* — strumień danych o stałym zapotrzebowaniu na przepustowość
- **CFA** *Capacity and Flow Assignment* — jednoczesne wyznaczanie przepływów i przepustowości kanałów
- **CSMA** *Carrier Sense Multiple Access* — wielodostęp z nasłuchiowaniem nośnej
- **CSMA/CD** *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect* — wielodostęp z nasłuchiowaniem nośnej i wykrywaniem kolizji
- **EA** *Evolutionary Algorithms* — algorytmy ewolucyjne
- **EIGRP** protokół routingu opracowany przez firmę Cisco
- **FA** *Flow Assignment* — wyznaczanie przepływów w sieci
- **FD** *Flow Deviation* — algorytm odchyłek strumienia
- **FDDI** *Fiber Distributed Data Interconnect* — standard transmisji danych w światłowodowej sieci pierścieniowej
- **FTP** *File Transfer Protocol* — protokół transmisji plików w sieci Internet
- **GA** *Genetic Algorithms* — algorytmy genetyczne
- **GP** *Gradient Projection* — algorytm gradientu rzutowanego
- **HTTP** *HyperText Transfer Protocol* — protokół obsługujący usługę WWW
- **IEEE** *Institute of Electrical and Electronics Engineers* — międzynarodowa organizacja zajmująca się m.in. pracami standaryzacyjnymi
- **IEEE 802.3** standard sieci LAN (Ethernet o logicznej topologii magistrali)
- **IEEE 802.11** standard sieci WLAN
- **IGRP** *Interior Gateway Routing Protocol* — protokół routingu (bram wewnętrznych)
- **IP** *Internet Protocol* — protokół warstwy sieciowej w sieci Internet
- **IP** *Integer Programming* — programowanie całkowitoliczbowe
- **LAN** *Local Area Network* — sieć lokalna
- **LP** *Linear Programming* — programowanie liniowe
- **MAN** *Metropolitan Area Network* — sieć metropolitalna (miejska)
- **Mbps** *Megabits per second* — megabity na sekundę

- **MPLS** *MultiProtocol Label Switching* — wieloprotokołowa komutacja etykiet (w sieciach ATM, X.25, Frame Relay)
- **MST** *Minimum Spanning Tree* — minimalne drzewo rozpinające
- **NN** *Neural Networks* — sieci neuronowe
- **OSPF** *Open Shortest Path First* — otwarty protokół routingu oparty na algorytmie SPF
- **pdLAN** *parametric design of LAN* — parametryczne projektowanie sieci lokalnych
- **PL** programowanie liniowe
- **PLC** programowanie całkowitoliczbowe
- **RIP** *Routing Information Protocol* — protokół routingu oparty na zestawie algorytmów wektorowych
- **RSVP** *Resource reSerVation Protocol* — protokół rezerwacji zasobów
- **SA** *Simulated Annealing* — symulowane wyżarzanie (algorytm optymalizacji)
- **SNMP** *Simple Network Management Protocol* — protokół nadzoru i zarządzania siecią
- **SPF** *Shortest Path First* — algorytm routingu z wybieraniem najpierw najkrótszej ścieżki
- **TCFA** *Topology, Capacity and Flow Assignment* — jednoczesne wyznaczanie przepływów, przepustowości kanałów i struktury sieci
- **TCP** *Transmission Control Protocol* — protokół warstwy transportowej w sieci Internet
- **TCP/IP** *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* — model odniesienia dla sieci Internet
- **TDMA** *Time Division Multiple Access* — zwielokrotniony dostęp z podziałem czasu
- **TELNET** protokół dostępu do zdalnych zasobów terminalowych w sieci Internet
- **TS** *Tabu Search* — metoda optymalizacji oparta na idei listy ruchów zabronionych („tabu”)
- **UMTS** *Universal Mobile Telecommunications System* — standard sieci telefonii komórkowej trzeciej generacji
- **VBR** *Variable Bit Rate* — strumień danych o zmiennym zapotrzebowaniu na przepustowość
- **VoIP** *Voice over IP* — usługa transmisji głosu przez sieci IP
- **WAN** *Wide Area Network* — sieć rozległa
- **WLAN** *Wireless Local Area Network* — lokalna sieć bezprzewodowa
- **\mathcal{D}** przestrzeń rozwiązań (*solution space*) zadania optymalizacji
- **\mathcal{D}^*** podzbiór rozwiązań zadania optymalizacji

Spis rysunków

2.1.	Podejście tradycyjne do projektowania sieci	13
2.2.	Wykorzystanie systemu eksperckiego do uzyskania początkowej struktury sieci	13
2.3.	Wykorzystanie komputera do wygenerowania struktury początkowej, analizy oraz optymalizacji sieci	14
2.4.	Wykorzystanie systemu komputerowego do analizy i optymalizacji struktury sieci utworzonej przez eksperta	15
2.5.	Struktura typowego systemu komputerowego wspomagania projektowania sieci	16
3.1.	Schemat metody pdLAN	32
3.2.	Struktura sieci LAN dla $N = 15$, $P = 3$	34
3.3.	Struktura sieci WLAN dla $N = 4$	39
4.1.	Zmienność znormalizowanych wskaźników jakości (LAN)	56
4.2.	Zmienność globalnego wskaźnika jakości (LAN)	57
4.3.	Zmienność znormalizowanych wskaźników jakości (WLAN)	58
4.4.	Zmienność globalnego wskaźnika jakości (WLAN)	59
4.5.	Zmienność znormalizowanych wskaźników jakości [36]	60
4.6.	Zmienność globalnego wskaźnika jakości [36]	61
4.7.	Zmienność GQ przy zmianie rozmiaru sieci (LAN)	63
4.8.	Zmienność GQ przy zmianie ruchu w sieci ($N = 23$, $P = 2$)	65
4.9.	Zmienność GQ przy zmianie ruchu w sieci ($N = 71$, $P = 4$)	66
4.10.	Zmienność GQ przy zmianie ruchu w sieci ($N = 157$, $P = 7$)	67
4.11.	Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{1max} ($N = 23$, $P = 2$)	69
4.12.	Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{1max} ($N = 71$, $P = 4$)	70
4.13.	Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{1max} ($N = 157$, $P = 7$)	71
4.14.	Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{2max} ($N = 23$, $P = 2$)	72
4.15.	Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{2max} ($N = 71$, $P = 4$)	73
4.16.	Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{2max} ($N = 157$, $P = 7$)	74
4.17.	Zmienność GQ przy zmianie rozmiaru sieci (WLAN)	76
4.18.	Zmienność GQ przy zmianie ΔP (WLAN)	77
4.19.	Zmienność GQ przy zmianie l_{min} (WLAN)	78
4.20.	Zmienność GQ przy zmianie q_{1max} (WLAN)	79
4.21.	Zmienność GQ przy zmianie q_{2max} (WLAN)	80

Spis tablic

3.1. Parametry urządzeń sieciowych (US, UG)	34
3.2. Parametry okablowania (OK)	35
A.1. Globalny wskaźnik jakości GQ w ocenie projektowanej sieci LAN	90
A.2. Globalny wskaźnik jakości GQ w ocenie projektowanej sieci WLAN	90
A.3. Wpływ zmiany rozmiaru sieci na wskaźniki jakości (LAN)	91
A.4. Wpływ wzrostu ruchu w sieci na wskaźniki jakości ($N = 23, P = 2$)	92
A.5. Wpływ wzrostu ruchu w sieci na wskaźniki jakości ($N = 71, P = 4$)	92
A.6. Wpływ wzrostu ruchu w sieci na wskaźniki jakości ($N = 157, P = 7$)	93
A.7. Wpływ zmiany parametru q_{1max} na wskaźniki jakości ($N = 23, P = 2$)	94
A.8. Wpływ zmiany parametru q_{1max} na wskaźniki jakości ($N = 71, P = 4$)	95
A.9. Wpływ zmiany parametru q_{1max} na wskaźniki jakości ($N = 157, P = 7$)	96
A.10. Wpływ zmiany parametru q_{2max} na wskaźniki jakości ($N = 23, P = 2$)	97
A.11. Wpływ zmiany parametru q_{2max} na wskaźniki jakości ($N = 71, P = 4$)	98
A.12. Wpływ zmiany parametru q_{2max} na wskaźniki jakości ($N = 157, P = 7$)	99
A.13. Wpływ doboru wag na wskaźniki jakości ($N = 23, P = 2$)	100
A.14. Wpływ doboru wag na wskaźniki jakości ($N = 71, P = 4$)	101
A.15. Wpływ doboru wag na wskaźniki jakości ($N = 157, P = 7$)	102
A.16. Wpływ zmiany rozmiaru sieci na wskaźniki jakości (WLAN)	103
A.17. Wpływ zmiany parametru ΔP na wskaźniki jakości (WLAN)	103
A.18. Wpływ zmiany parametru l_{min} na wskaźniki jakości (WLAN)	104
A.19. Wpływ zmiany parametru q_{1max} na wskaźniki jakości (WLAN)	104
A.20. Wpływ zmiany parametru q_{2max} na wskaźniki jakości (WLAN)	105
A.21. Wpływ doboru wag na wskaźniki jakości (WLAN)	105
A.22. Wpływ zmiany parametru T_{max} w metodzie sa ($T_{max} = 1$)	106
A.23. Wpływ zmiany parametru T_{max} w metodzie sa ($T_{max} = 2$)	106
A.24. Wpływ zmiany parametru T_{max} w metodzie sa ($T_{max} = 3$)	106
A.25. Wpływ zmiany parametru T_{max} w metodzie sa ($T_{max} = 4$)	107
A.26. Wpływ zmiany parametru kT w metodzie sa ($T_{max} = 1$)	108
A.27. Wpływ zmiany parametru kT w metodzie sa ($T_{max} = 4$)	109
A.28. Wpływ zmiany ilości iteracji t_{MAX} w metodzie ihc	110
A.29. Wpływ zmiany ilości iteracji t_{MAX} w metodzie shc	110
A.30. Wpływ zmiany parametru T_{max} w metodzie sa	110

A.31. Wpływ zwiększających się wymiarów zadania i liczby elementów sieciowych . . .	111
A.32. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} oraz rozmiaru zadania na rezultaty metody ihc ($t_{MAX} = 4 \dots 5$)	112
A.33. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} oraz rozmiaru zadania na rezultaty metody ihc ($t_{MAX} = 6 \dots 7$)	112
A.34. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} oraz rozmiaru zadania na rezultaty metody ihc ($t_{MAX} = 8 \dots 20$)	112
A.35. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} ($t_{MAX} = 1 \dots 50$) na rezultaty metody ihc (LAN)	113
A.36. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} ($t_{MAX} = 100 \dots 400$) na rezultaty metody ihc (LAN)	113
A.37. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} na rezultaty metody shc (LAN)	113
A.38. Wpływ parametru T_{max} na rezultaty metody sa (LAN)	114
A.39. Wpływ parametru kT na rezultaty metody sa (LAN)	114
A.40. Wpływ parametru t_{MAX} na rezultaty metody ihc (WLAN)	114
A.41. Wpływ parametru T_{max} na rezultaty metody sa (WLAN)	115
A.42. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} na rezultaty metody shc (WLAN)	116
B.1. Rzeczywiste parametry urządzeń sieciowych cz. 1	119
B.2. Rzeczywiste parametry urządzeń sieciowych cz. 2	120
B.3. Odwzorowanie marki na parametr r_8	121
B.4. Parametry urządzeń sieciowych cz. 1	122
B.5. Parametry urządzeń sieciowych cz. 2	123
B.6. Rzeczywiste parametry okablowania	124
B.7. Parametry okablowania	124
B.8. Rzeczywiste parametry SR	124
B.9. Odwzorowanie marki na parametr r_2	124
B.10. Parametry SR	125
B.11. Rzeczywiste parametry AP	125
B.12. Odwzorowanie marki na parametr s_2	125
B.13. Parametry AP	125
B.14. Rzeczywiste parametry AN	126
B.15. Odwzorowanie marki na parametr t_2	126
B.16. Parametry AN	126

Przedmowa

Celem niniejszej monografii jest zapoznanie Czytelnika z autorską propozycją metody projektowania lokalnych sieci komputerowych z wykorzystaniem syntetycznego metakryterium jakościowego. Zaproponowana metoda obejmuje modele zarówno dla sieci lokalnych przewodowych jak i bezprzewodowych.

Monografia oparta jest o treść rozprawy doktorskiej pt. „Metoda parametrycznego projektowania lokalnych sieci komputerowych”, którą niżej podpisany obronił przed Radą Wydziału Informatyki Politechniki Szczecińskiej w dn. 20 grudnia 2005 r. Rozprawa ta zrealizowana została pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Evgeny Ochina (Wydział Informatyki, Politechnika Szczecińska), recenzentami w przewodzie doktorskim byli natomiast prof. dr hab. inż. Tadeusz Czachórski (Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN w Gliwicach) oraz prof. dr inż. Jerzy Sołdek (Wydział Informatyki, Politechnika Szczecińska). Rozprawa ta do chwili obecnej była pracą nieopublikowaną.

Treść niniejszej monografii różni się w szczegółach względem oryginalnej rozprawy, stąd też w procesie wydawniczym powołani zostali nowi recenzenci naukowci specjalizujący się w dziedzinie sieci komputerowych, reprezentujący krajowe ośrodki naukowe.

Autor wyraża nadzieję, iż monografia będzie przydatna zarówno w procesie dydaktycznym, jak też jako materiał źródłowy przy dalszych pracach badawczych.

*Remigiusz Olejnik
Szczecin, 20 grudnia 2015 r.*

Rozdział 1

Wstęp

Monografia niniejsza podejmuje problematykę projektowania sieci komputerowych. Sieci komputerowe obecne są, choć często w sposób „przezroczysty”, niewidoczny dla użytkownika, w każdej niemal dziedzinie aktywności współczesnego człowieka. Od samych początków przy budowaniu sieci komputerowych obecny był problem: jak ją zbudować? jak ją zaprojektować tak, by spełniała wymagania i założenia przyszłego użytkownika? Środowiska naukowe i inżynierskie od lat siedemdziesiątych XX wieku przedstawiają propozycje rozwiązań tego rodzaju problemów w postaci rozmaitych algorytmów, metod, podejść, a nawet rozbudowanych programów wspomagających proces projektowania sieci komputerowych. Gwałtowny rozwój systemów i usług telekomunikacyjnych, w tym systemów mobilnych i bezprzewodowych wskazuje, że problem, choć może z inną perspektywą, wciąż pozostaje i pozostanie aktualny.

W obrębie dziedziny projektowania sieci komputerowych można wyróżnić dwa obszary badań: projektowanie topologiczne oraz projektowanie parametryczne. Pierwszy z nich ma na celu znalezienie odpowiedniego do założeń schematu połączeń pomiędzy węzłami sieci, natomiast drugi ma na celu znalezienie parametrów węzłów sieci oraz łączących je kanałów transmisyjnych spełniających odpowiednie założenia i wymagania.

Projektowanie parametryczne lokalnych sieci komputerowych ma za zadanie poszukiwanie dostosowanych do założeń i wymagań zbiorów parametrów sieci lokalnych: parametrów urządzeń sieciowych umożliwiających komunikację stacji roboczych, parametrów okablowania łączącego urządzenie sieciowe ze stacjami roboczymi, innymi urządzeniami sieciowymi oraz serwerami udostępniającymi usługi sieciowe, parametrów stacji roboczych pracujących w sieci oraz parametrów serwerów świadczących usługi sieciowe dla użytkowników korzystających ze stacji roboczych.

W praktyce spotykane problemy ograniczają się najczęściej do doboru parametrów urządzeń sieciowych oraz okablowania. Dzieje się tak z racji uprzedniego istnienia zespołu stacji roboczych tworzących przyszłą sieć wraz z interfejsami sieciowymi, które stanowią współcześnie standardowe wyposażenie komputerów osobistych. Dla sieci bezprzewodowych dobierane są odpowiednie parametry odnoszące się do elementów składowych sieci.

W świetle powyższych definicji opracowana metoda pozwala na *projektowanie parametryczne* lokalnych sieci komputerowych, które zdefiniować można ostatecznie w sposób następujący: *dla znanej topologii i technologii, przy znanych ograniczeniach i założeniach należy dobrać w sposób optymalny elementy sieci charakteryzujące się wybranymi parametrami wpływającymi na istotne z punktu widzenia projektanta wskaźniki jakości sieci.*

Praca prezentuje oryginalne, wcześniej w literaturze nie podejmowane, podejście do projektowania lokalnych sieci komputerowych. Przez sieć lokalną (LAN) rozumiana jest sieć prywatna, obejmująca pojedynczy budynek lub grupę budynków w obszarze o średnicy maksymalnie kilku kilometrów [55].

Prezentowana metoda, nazywana *metodą parametryczną*, oparta jest o ideę wykorzystania *syntetycznego metakryterium jakościowego* do oceny projektowanej sieci. Metoda taka, zaimplementowana w postaci programu komputerowego pozwala na zmniejszenie pracochłonności tradycyjnego procesu projektowania przez poszukiwanie oraz proponowanie najlepszego możliwego zbioru parametrów dla żądanych kryteriów. W szczególności metoda przedstawiona jest w rozdziale 3.

W pracy przedstawiono również badania, mające na celu *zweryfikowanie możliwości wykorzystania globalnego wskaźnika jakości sieci do oceny wydajności projektowanej sieci w procesie projektowania parametrycznego*. Wartość wykorzystanego *metakryterium jakościowego* wskazała odkrywczo na względną efektywność proponowanej sieci. Bardziej szczegółowo zdefiniowane zostanie ono w dalszej części pracy.

W rozdziale 2 przeprowadzona jest krytyczna analiza metod projektowania sieci komputerowych. Rozdział 3 przedstawia opracowaną metodę parametrycznego projektowania lokalnych sieci komputerowych wraz z zależnością globalnego wskaźnika jakości sieci od parametrów sieci oraz modelami sieci lokalnych dla standardów IEEE 802.3 i IEEE 802.11, a zakończony jest prezentacją wykorzystanych w badaniach symulacyjnych metod optymalizacji. Rozdział 4 zawiera wyniki badań symulacyjnych przeprowadzonych w celu weryfikacji możliwości wykorzystania syntetycznego metakryterium jakościowego do oceny wydajności projektowanej sieci. Monografię kończy rozdział 5 stanowiący podsumowanie.

Rozdział 2

Metody projektowania sieci komputerowych

Na zawartość niniejszego rozdziału składa się przegląd literatury podejmującej problematykę projektowania sieci, w niektórych przypadkach rozszerzony o obszerniejsze cytowanie, opis procesu projektowania, metodyki oraz podejść w projektowaniu sieci komputerowych bazujące na publikacjach [31], [32] oraz [33], omówienie oprogramowania wspomagającego projektowanie sieci (na podstawie [31]), wraz z opisem typowej struktury programu wspomagającego projektowanie sieci. Rozdział kończą trzy podrozdziały: 1) dotyczący parametrów jakościowych sieci telekomunikacyjnych, 2) zawierający klasyfikację metod projektowania oraz 3) omówienie zagadnień optymalizacji związanych z poruszaną problematyką.

2.1. Przegląd literatury

2.1.1. Pozycje książkowe

W pracy zbiorowej [51] omówione są m. in. zasady projektowania podsystemu zbierania i rozprowadzania informacji pomocniczej do sterowania siecią. Ponadto jeden z rozdziałów poświęcony jest problematyce optymalizacji niezawodności oraz rozptyłu informacji w sieci. Zdefiniowane są założenia wstępne w procesie projektowania sieci teleinformatycznych:

- określenie zbioru węzłów sieci,
- określenie zbioru kanałów (topologii),
- określenie średnich natężeń strumieni informacji wymienianych pomiędzy wszystkimi parami węzłów,
- określenie przepustowości kanałów,
- określenie rozptyłu informacji w sieci.

Dalsze rozważania ograniczone są założeniem, że jakość sieci może być określona za pomocą zespołu pewnych wielkości liczbowych i charakterystyk, takich jak:

- niezawodność,
- jakość przesyłanych informacji,
- koszt budowy kanałów i węzłów.

Autorzy szerzej poruszają zagadnienia optymalizacji niezawodności sieci oraz zagadnienia rozpręwu informacji w sieci, z uwzględnieniem przepływów wieloskładnikowych. Wywody zakończone są analizą aspektów numerycznych rozważanych zadań optymalizacji. Pozycja zakończona jest ważnym rozdziałem dotyczącym symulacji sieci komputerowych.

J. Seidler w swojej monografii [48] przedstawia w sposób kompleksowy szeroką problematykę związaną z projektowaniem sieci:

- reguły doboru trasy, z uwzględnieniem wskaźników jakości sieci (średni ważony czas przechodzenia pakietu przez sieć oraz parametry charakteryzujące straty strumienia pakietów) oraz optymalizacji reguł doboru trasy i adaptacyjnych reguł doboru trasy,
- maksymalizacja przepływów międzybiegunowych (maksymalizacja całkowitych przepływów jedno- i wieloskładnikowych),
- przepływy optymalne (dla różnych funkcji kryterialnych: liniowej, nieliniowej; składnika pojedynczego — metoda FD (*Flow Deviation*) (odchyłek strumienia), metoda gradientu rzutowanego GP (*Gradient Projection*); przepływy wieloskładnikowe — metoda FD),
- optymalizacja sieci o strukturze drzewiastej (optymalizacja przepustowości kanałów sieci przy istniejących możliwościach zwiększania przepustowości istniejących kanałów oraz przy możliwości tworzenia nowych kanałów; omówione są algorytmy dla optymalizacji topologicznej: bez uwzględnienia ograniczeń nakładanych na sieć, z uwzględnieniem ograniczeń przepustowości, algorytm odwróconego drzewa, algorytm Essau-Williamsa),
- optymalizacja przepustowości i topologii sieci (dla sieci o dowolnej strukturze: optymalizacja przepustowości kanałów dla liniowej oraz nieliniowej funkcji kosztów; minimalizacja kosztu tworzenia sieci z uwzględnieniem jakości przepływu; optymalizacja jakości przesyłania informacji przez sieć).

Inna monografia tegoż autora ([50]) ma zbliżony zakres tematyczny.

W monografii [6], pomimo jednoznacznego tytułu, nie znajdziemy nic na temat projektowania sieci komputerowych. Pozycja ta, z początku lat 80. XX wieku, prezentuje bowiem problematykę związaną z budową i eksploatacją narodowych sieci rozległych, opartych o duże ośrodki obliczeniowe, z uwzględnieniem problemów spotykanych przy projektowaniu tego rodzaju systemów, co jednak odbiega znacząco od tematyki niniejszej pracy.

A. S. Tanenbaum [54] prezentuje znane w początku lat 80. XX wieku metody projektowania topologii sieci. Są to heurystyczne algorytmy i metody rozwiązujące ówczesny problem, który ograniczał się do projektowania mającego na celu osiągnię-

cie wymaganej przepustowości sieci przy minimalnym koszcie. Rozważania poprzedza wprowadzenie do problemu projektowania topologii, zbieżne w najważniejszych punktach do przedstawionego w [51]. Problem projektowania topologii można sformułować następująco [54]:

Dane:

- rozmieszczenie komputerów obliczeniowych i terminali,
- macierz ruchu (γ_{ij}),
- macierz kosztów (c_{ij}).

Ograniczenia przepustowości:

- niezawodność,
- opóźnienie/przepustowość.

Zmienne:

- topologia,
- przepustowość linii,
- rozdział przepływu.

Cel:

- minimalizacja kosztów.

Niezależnie od sposobu sformułowania zadania widać, że problem jest złożony obliczeniowo. Zaproponowane jest rozbieżenie problemu projektowania na podproblemy, konkretnie: 1) projektowanie sieci szkieletowej oraz 2) projektowanie sieci dostępu lokalnego.

1) Projektowanie sieci szkieletowej:

1. jaka powinna być jej topologia,
2. wyznaczenie przepustowości linii,
3. wyznaczenie przepływu.

2) Projektowanie sieci dostępu lokalnego:

1. gdzie umieścić koncentratory,
2. którym koncentratorom przyporządkować poszczególnych użytkowników,
3. jak przyłączyć terminale użytkownika.

W dalszej części pracy przedstawione są algorytmy dla podproblemu projektowania sieci szkieletowej (bazujące na generowaniu pewnej topologii początkowej a następnie heurystycznym jej modyfikowaniu i sprawdzaniu, czy topologia wynikowa jest „lepiej” od pierwotnej) oraz podproblemu projektowania sieci dostępu lokalnego (algorytmy lokalizacji koncentratora (metoda ADD oraz DROP), przydziału abonentów do koncentratorów oraz rozmieszczenia terminali (algorytmy minimalnego drzewa rozpinającego MST Prima, Kruskala oraz MST z ograniczeniami)).

Robertazzi [47] definiuje problem projektowania sieci, wskazuje matematyczne metody wspomagające projektowanie (programowanie liniowe, programowanie całkowitoliczbowe, programowanie dynamiczne), algorytmy specjalizowane (problem przy-

porządkowania terminali, problem lokalizacji koncentratora, algorytmy MST z ograniczeniami i bez — algorytmy Kruskala, Prima, Essau-Williamsa, Sharmy-El Bardai, projektowanie sieci rozproszonych — CA, CFA, Branch X-Change, Cut Saturation, algorytmy routingu — Dijkstry oraz Forda-Fulkersona-Floyda), a także problematykę niezawodności sieci.

Kershenbaum [25] omawia metodykę projektowania sieci, pokazuje zwyczajową budowę narzędzi wspomagających projektowanie; omawia klasyczne metody analizy strat i opóźnień w sieciach, zaznając czytelnika z elementami teorii grafów oraz problematykę złożoności obliczeniowej. Kolejno następują podstawowe algorytmy: MST (Kruskala, Prima), Shortest Path (Dijkstry, Bellmana, Floyda), algorytmy dla przepływów jednoskładnikowych (F-F, przepływy o minimalnym koszcie), dla sieci scentralizowanych (MST z ograniczeniami, Esau-Williamsa, Sharmy, przy porządkowania terminali (zachłanny, wymiany), lokalizacji koncentratora (Center of Mass, Add, Drop)), routingu (Bertsekas-Gallagera, statyczne SPF, adaptacyjny, FD). Cały rozdział poświęcony jest problematyce projektowania sieci o topologii kratowej (*mesh*). Nie pominięto także problematyki kryteriów niezawodnościowych w procesie projektowania i oceny wydajności oraz odporności sieci.

Podręcznik [30] podejmujący szeroką problematykę sieci LAN nie pomija zagadnienia ich projektowania. Wg autorów zadanie zaprojektowania „optymalnego” rozwiązania sieciowego można ująć następująco: *„mając określony zestaw pożądaných aplikacji i usług, należy tak dobrać architekturę sieci i związane z nią zestawy protokołów komunikacyjnych (...) a także topologię sieci i technologię sieciową, by zapewnić efektywną realizację aplikacji, spełniając jednocześnie wymagania narzucone na koszty realizacji i funkcjonowania oraz wydajność i/lub jakość oraz niezawodność pracy sieci LAN”*.

Etap projektowania sieci jest jednym z trzech etapów planowania i instalacji sieci:

- etap wstępnego rozpoznania,
- etap projektowania,
- etap instalacji i wdrożenia.

Celem etapu wstępnego rozpoznania jest zebranie informacji o specyfice i potrzebach użytkownika ([24, 30]).

Na etap projektowania składają się kolejne kroki:

- określenie topologii sieci, w tym lokalizacji urządzeń końcowych i serwerów,
- wybór technologii sieciowej,
- wyznaczenie struktury sieci,
- określenie sposobu ewentualnego dołączenia sieci lokalnej do sieci rozległej,
- ustalenie stopnia ochrony danych w sieci,
- dokonanie oceny dostępnego sprzętu i wyboru platformy sprzętowej,

- ustalenie sposobu zarządzania siecią,
- przygotowanie projektu sieci w postaci raportu.

Kolejno omówione są uwarunkowania mające wpływ na wybór konkretnych topologii sieci i standardów sieci LAN oraz problematyka niezawodności i bezpieczeństwa sieci.

Monografia [24] poświęcona jest w całości algorytmom projektowania struktur sieci WAN. Autor wskazuje, na tle wcześniejszych osiągnięć, wybrane i usystematyzowane wyniki własnych badań. Tam też odnaleźć można klasyfikację problemów struktur sieci rozległych, tutaj tylko zasygnalizowaną przez wymienienie konkretnych algorytmów.

Struktura sieci to schemat rozmieszczenia kanałów między węzłami sieci.

Projektowanie struktury sieci to kompleks zagadnień związanych z:

1. wyznaczeniem struktury sieci,
2. określeniem przepustowości kanałów,
3. określeniem reguły doboru tras (przepływu w sieci).

Z projektowaniem *struktur sieci rozległych* związane są cztery podstawowe zadania:

- wyznaczanie przepływów w sieci — *Flow Assignment (FA)*,
- wyznaczanie przepustowości kanałów — *Capacity Assignment (CA)*,
- jednoczesne wyznaczanie przepływów i przepustowości kanałów — *Capacity and Flow Assignment (CFA)*,
- jednoczesne wyznaczanie przepływów, przepustowości kanałów i struktury sieci — *Topology, Capacity and Flow Assignment (TCFA)*.

Zadania te rozwiązywane są dla różnych założeń oraz różnych wskaźników jakości działania sieci. Do ważniejszych wskaźników sieci należą:

- średnie opóźnienie pakietu,
- koszt budowy sieci,
- przepustowość sieci,
- parametry niezawodnościowe,
- koszt transmisji danych.

Model sieci zbudowany jest w oparciu o teorię grafów i teorię masowej obsługi; algorytmy opierają się na metodach programowania liniowego, nieliniowego, całkowitoliczbowego oraz metodach optymalizacji dyskretnej. Algorytmy dla zadań CFA oraz TCFA należą do klasy problemów NP-zupełnych; ich rozwiązania oparte na metodzie podziału i oszacowań wymagają długiego czasu obliczeń, stąd też zaproponowane są również algorytmy heurystyczne.

Algorytmy zaprezentowane w [24] obejmują:

Algorytmy optymalizacji przepływów:

- algorytm wyznaczania maksymalnego przepływu,
- algorytm wyznaczania maksymalnego przepływu o minimalnym koszcie,
- algorytm FD,

- algorytm wyznaczania przepływów bez rozgałęzień,
- algorytm wyznaczania przepływów wieloskładnikowych o minimalnym koszcie.
Algorytmy dla zadania CFA:
- problem z kryterium opóźnieniowym (algorytm dokładny oraz heurystyczny),
- problem z kryterium kosztowym (algorytm dokładny oraz heurystyczny),
- problemy uwzględniające zmienne w czasie natężenia strumieni ruchu wejściowego (z kryterium opóźnieniowym oraz kosztowym),
- problemy związane z wyznaczaniem rozmieszczenia zasobów (segmentów bazy danych oraz hostów),
- problem dwukryterialny uwzględniający średnie opóźnienie oraz koszt budowy lub eksploatacji sieci (algorytm dokładny oraz heurystyczny).
Algorytmy dla zadania TCFA:
- problem z kryterium opóźnieniowym,
- problem z maksymalnym przepływem wieloskładnikowym,
- problem z niejednoczesnymi przepływami pojedynczych składników.

Chudzikiewicz w ramach rozprawy doktorskiej [9] poruszył problematykę dotyczącą projektowania sieci komputerowych o strukturze logicznej typu hipersześcianu n -wymiarowego, pod kątem ich niezawodności na polu walki oraz wnikliwości diagnostycznej.

Pióro oraz Medhi [45] przedstawiają bieżący stan wiedzy oraz wyniki własnych badań w zakresie modeli sieci telekomunikacyjnych, problemów projektowania oraz algorytmów optymalizacji. Omówione są ponadto podstawowe metody i algorytmy optymalizacji: programowanie liniowe, całkowitoliczbowe oraz dynamiczne, heurystyki stochastyczne (*Local Search*, *Simulated Annealing*, *Evolutionary Algorithms*, mniej znane *Simulated Allocation*, *Tabu Search*, metody dekompozycji LP, metody gradientowe (FD, GP)). Uwzględnione zostały również problemy projektowania topologii i lokalizacji węzłów.

2.1.2. Publikacje w czasopismach

W [52] zaproponowano zmianę sposobu numeracji węzłów na etapie generowania topologii sieci w procesie opisanym w [54], co pozwala na zmniejszenie koniecznej liczby perturbacji w celu uzyskania optymalnej topologii.

Elbaum i Sidi [13] opisują wykorzystanie algorytmów genetycznych do projektowania topologicznego sieci LAN. Funkcja kryterialna bazuje na minimalizacji średniego opóźnienia w sieci. Omówiony jest model sieci oraz kryteria wydajności (ob-

ciążenie, opóźnienie, koszt) stosowane przy projektowaniu sieci. Wyniki numeryczne kończą publikację.

Artykuł [15] zawiera opis łączenia sieci LAN za pomocą mostów; jest to również problem kombinatoryczny i pokazane zostało rozwiązanie przy użyciu heurystyk, konkretnie zastosowano metaheurystykę Tabu Search do rozwiązania zadania MST dla kryterium kosztowego.

W [8] przedstawione jest wykorzystanie algorytmów genetycznych do rozwiązania problemu projektowania sieci transmisji danych. W publikacji tej można również znaleźć zestawienie wykorzystania algorytmów genetycznych do rozwiązania różnych problemów projektowania w obrębie dziedziny projektowania sieci telekomunikacyjnych.

Publikacja [18] również pokazuje zastosowanie algorytmów genetycznych, tutaj jednak adaptacyjnych, do problemu projektowania topologicznego sieci LAN, w oparciu o algorytm MST. Pokazany jest model sieci LAN oparty o założenie zachowania się pojedynczego segmentu sieci jak systemu kolejkowego $M/M/1$.

Kolejnym przykładem stosowania nowoczesnych metod ewolucyjnych jest zastosowanie algorytmu *fuzzy simulated evolution* do projektowania topologii przełączanych sieci korporacyjnych [58]. Jako wskaźniki jakości sieci przyjęto koszt budowy sieci, średnie opóźnienie w sieci (oparte o założenie zachowania się segmentu sieci jak kolejki $M/M/1$) oraz maksymalną liczbę przeskoków pomiędzy węzłem źródłowym i docelowym. Klarownie przedstawiono również wcześniejsze osiągnięcia w zakresie projektowania sieci korporacyjnych.

W [12] zaproponowano metodykę projektowania sieci korporacyjnej oraz pokazano jej praktyczne zastosowanie.

Publikacja [19] poświęcona jest problematyce umieszczania zasobów sieciowych (takich jak serwery czy stacje zarządzające) w sieciach w sposób optymalny. Pokazano, że jest to kombinatoryczny problem NP-zupełny, co dla dużych sieci oznacza długi wymagany czas obliczeń dla znalezienia optimum. Kolejno skonstruowany jest model sieci, ruchu i opóźnień w sieci. Artykuł kończy porównanie trzech technik heurystycznych: algorytmu zachłannego, SA oraz GA.

Pierre [44] pokazuje modularną metodykę leżącą u podstaw budowy oprogramowania wspomagającego projektowanie sieci telekomunikacyjnych. Pokazana jest specyfika sieci telekomunikacyjnych różnego rodzaju (sieci głosowe, sieci transmisji

danych — scentralizowane oraz rozproszone, sieci z integracją usług) oraz złożoność występujących problemów kombinatorycznych. Następnie omówiono — na przykładach — istniejące narzędzia do projektowania sieci. Kolejno wysunięto postulaty odnośnie wymagań odnośnie takiego systemu, który powinien integrować funkcje edytora sieci, edytora ruchu w sieci, generatora ruchu w sieci, generatora taryf oraz generatora sieci służącego do generowania sieci o losowych parametrach. Pokazano również praktyczne zastosowanie do rozwiązania problemu projektowania topologicznego sieci rozproszonych, z wykorzystaniem algorytmów genetycznych (GA) i symulowanego wyżarzania (SA) jako heurystyk znajdujących optymalną sieć.

Arabas i Kozdrowski [2] pokazują wykorzystanie technik ewolucyjnych do projektowania dwuwarstwowych sieci telekomunikacyjnych, w których warstwa wyższa korzysta z zasobów warstwy niższej. Ponadto opisany jest dobór operatorów genetycznych. Pracę kończy porównanie wyników z wynikami uzyskiwanymi przy wykorzystaniu programowania całkowitoliczbowego.

W [21] zaprezentowano prototyp programu *i*-CAD wspomagającego projektowanie hierarchicznych sieci intranetowych dla zastosowań multimedialnych. Zadaniem programu jest zaprojektowanie sieci o trzech poziomach dającej użytkownikom akceptowalną wydajność przy minimalnych nakładach poniesionych na budowę. Technologie sieciowe (zasoby sprzętowe oraz protokoły) dobierane są przez program zależnie od wymagań użytkowników, a następnie generowana jest topologia sieci. Podejście ewolucyjne skutkuje znalezieniem w przestrzeni rozwiązań sieci o minimalnym koszcie. Opisany problem i jego rozwiązanie są najbardziej zbliżone do problematyki poruszanej w niniejszej monografii.

2.2. Proces projektowania sieci

Proces projektowania sieci jest wieloetapowy.

1. Pierwszym etapem jest zebranie założeń, wymagań odnośnie co do planowanej sieci. Głównym parametrem, interesującym klienta jest całkowity koszt budowy sieci. Z punktu widzenia inżyniera istotnymi parametrami są te, które odpowiadają za strukturę i charakterystykę sieci: rozmieszczenie terytorialne węzłów, charakterystyki węzłów (rodzaj generowanego ruchu), wymagania w zakresie dopuszczalnych opóźnień oraz zadanej minimalnej wymaganej przepustowości.
2. Etap drugi to wykonanie samego projektu sieci, w oparciu o specjalistyczną wiedzę i doświadczenie.
3. Etap trzeci to symulacja działania i weryfikacja zadanej wydajności w odniesieniu do zaprojektowanej sieci.

4. Etap czwarty to fizyczna realizacja sieci. Dochodzi do niej, o ile etap trzeci zakończy się pozytywnie; w przeciwnym razie projekt jest modyfikowany i po raz kolejny poddawany ocenie.

2.3. Podejścia w projektowaniu sieci komputerowych

Kershenbaum [25] wyróżnia trzy podejścia do projektowania sieci. Są one opisane w kolejności od nieformalnych do formalnych.

- Projektowanie ręczne:
 - bazuje na wiedzy i doświadczeniu człowieka (eksperta),
 - jest bardzo elastyczne: wszystkie rodzaje ograniczeń i założeń mogą być brane pod uwagę,
 - zarówno projekty „od zera” jak i dla istniejących sieci są możliwe do wykonania,
 - często decyzje projektanta mogą być subiektywne i niespójne, co może powodować niemożliwość powtórzenia tego samego projektu dla tych samych danych,
 - jest zbyt pracochłonne aby móc rozpatrzyć wszystkie potencjalne warianty i możliwości projektu, więc projekt zawiera przyzwyczajenia projektanta, niekoniecznie jest więc najlepszym możliwym projektem.

Automatyzacja procesu projektowania może pomóc przezwyciężyć większość problemów, ale bardzo ważnym jest, aby uczynić narzędzia interaktywnymi tak, aby zapewnić wpływ projektanta na ostateczny kształt projektu. Ponadto dobre narzędzia powinny umożliwiać nadzór użytkownika nad całym procesem projektowania oraz brać pod uwagę dane dostępne tylko dla projektanta, a niekoniecznie dla systemu.

- Heurystyki:
 - w odróżnieniu od projektowania ręcznego dają wyniki powtarzalne i dające się porównywać z wynikami innych metod (o ile dotyczą tej samej klasy problemów),
 - wiele alternatywnych wariantów projektu może być brane pod uwagę i porównywane między sobą (co nie jest możliwe przy ręcznym projektowaniu),
 - poprzez udostępnienie systemu bazującego na heurystykach możemy udostępnić „doświadczenie systemu”.

Najczęściej heurystyki rozwiązują pewien konkretny problem dla określonego typu sieci, istnieją jednak także bardziej elastyczne podejścia, jak np. algorytmy zachłanne, które to mogą być zastosowane do projektowania różnego rodzaju sieci. Heurystyki są cenne z powodu możliwości otrzymania dobrych (ale prawie zawsze suboptymalnych) wyników w rozsądnym czasie, bowiem zamiast prze-

szukiwać w sposób sekwencyjny pełną przestrzeń rozwiązań \mathcal{D} , rozważania są ograniczone do pewnego podzbioru rozwiązań \mathcal{D}^* .

- Techniki optymalizacji formalnej:

W tej grupie możemy umieścić wszystkie tradycyjne podejścia matematyczne używane do rozwiązywania pewnych aspektów projektowania sieci komputerowych (programowanie liniowe, nieliniowe oraz całkowitoliczbowe, algorytmy kombinatoryczne, optymalizacja dyskretna [26, 41, 53]). Wszystkie one mogą być w łatwy sposób zautomatyzowane; poza problemami sieci o małych wymiarach, nie jest jednak możliwe przejrzenie wszystkich możliwych rozwiązań z przestrzeni rozwiązań \mathcal{D} w rozsądnym czasie. Istotne jest również, aby być pewnym, że metoda odnajduje globalne optimum, a nie jedno z lokalnych.

2.4. Metodyka projektowania sieci komputerowych

2.4.1. Podejście tradycyjne

Podejście to oparte jest na wiedzy eksperta. Klient dostarcza ekspertowi swoje wymagania stawiane projektowanej sieci (lokalizacja węzłów, parametry łączy i węzłów, wskaźniki jakości sieci mające znaczenie dla klienta (dopuszczalne średnie opóźnienie, minimalna przepustowość, całkowity koszt budowy sieci, parametry niezawodnościowe, koszt transmisji danych itd.). Na podstawie tych danych ekspert tworzy pierwszą strukturę projektowanej sieci. Struktura ta podlega ocenie pod kątem zadanych przez klienta wskaźników jakości. Kolejnym etapem jest optymalizacja aktualnej struktury tak, aby uczynić ją „lepszą” z punktu widzenia któregoś z uwzględnianych wskaźników jakości. Następnie ekspert odpowiada na pytanie, czy aktualna struktura odpowiada potrzebom klienta. Jeśli nie, kroki następujące po stworzeniu pierwotnej struktury sieci muszą być powtórzone. Jeśli tak, projekt sieci może być przekazany klientowi.

Podejście to pokazane jest na rysunku 2.1 ¹.

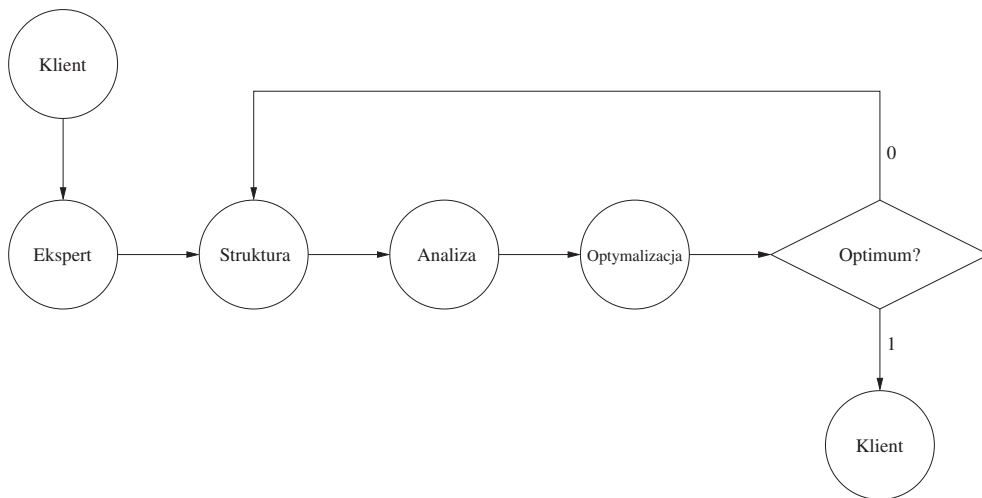
2.4.2. Wykorzystanie komputera zamiast eksperta

Systemy komputerowe zamiast eksperta mogą być wykorzystane na wielu etapach procesu projektowania sieci.

System ekspercki wykorzystany do uzyskania początkowej struktury sieci

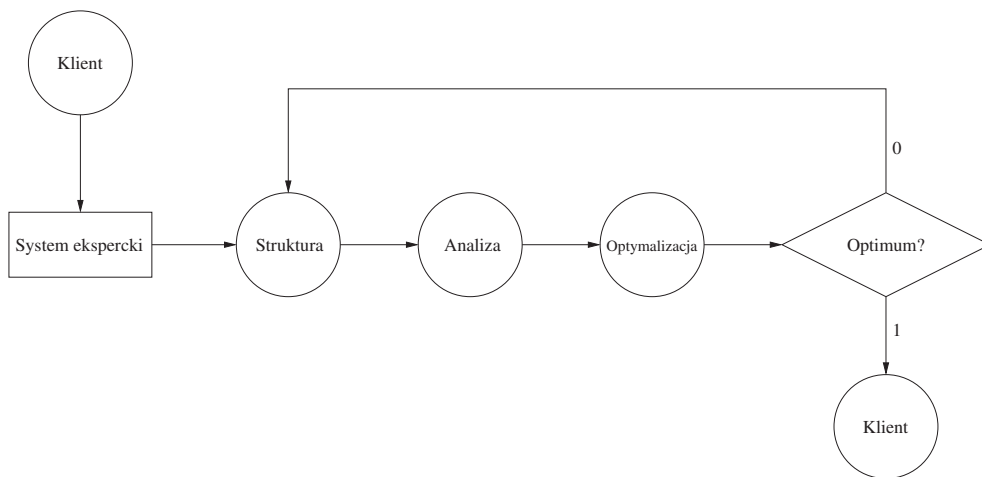
System ekspercki, bazujący na bazie wiedzy oraz regułach wnioskowania uprzednio uzyskanych od ekspertów, może być wykorzystany do wygenerowania początkowej

¹ Kółka wskazują etapy procesu projektowania sieci oparte o działanie człowieka.



Rysunek 2.1. Podejście tradycyjne do projektowania sieci

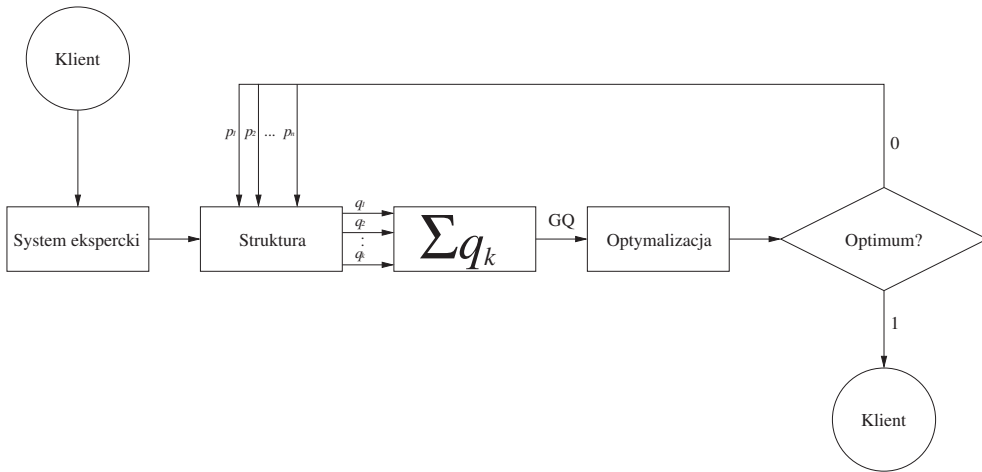
struktury sieci, przyjmując wymagania klienta jako dane wejściowe. Podejście to pokazane jest na rysunku 2.2 ².



Rysunek 2.2. Wykorzystanie systemu eksperckiego do uzyskania początkowej struktury sieci

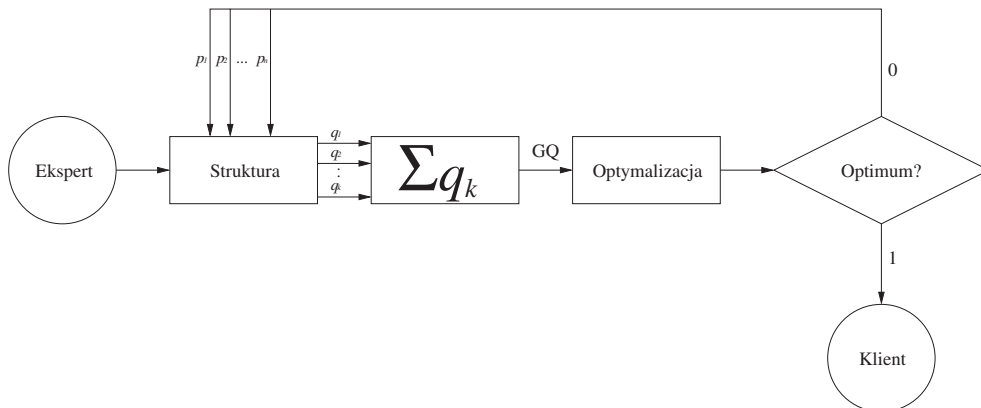
² Kółka wskazują etapy procesu projektowania sieci oparte o działanie człowieka, natomiast prostokąty — realizowane przez komputer.

Wykorzystanie systemu komputerowego do analizy i optymalizacji struktury sieci System komputerowy może być wykorzystany do analizy i optymalizacji struktury sieci. Istnieje wiele algorytmów i nowoczesnych narzędzi, które mogą pomóc uniknąć wielu czasochłonnych operacji takich jak np. optymalizacja oparta na metodach matematycznych. Podejście to pokazane jest na rysunku 2.3.



Rysunek 2.3. Wykorzystanie komputera do wygenerowania struktury początkowej, analizy oraz optymalizacji sieci; q_k — wskaźniki jakości sieci, GQ — ważony wskaźnik jakości sieci, p_n — zmienne parametry struktury

Przypadek szczególny: klient jest ekspertem W tym przypadku pierwszy etap (tworzenie struktury początkowej) może być pominięty, o ile klient potrafi utworzyć w sposób poprawny początkową strukturę pożądaną sieci. Podejście to pokazane jest na rysunku 2.4.



Rysunek 2.4. Wykorzystanie systemu komputerowego do analizy i optymalizacji struktury sieci utworzonej przez eksperta

2.5. Struktura programu wspomagającego projektowanie sieci

Idealny system komputerowego wspomaganie projektowania sieci komputerowych powinien [25]:

- umożliwiać użytkownikowi korzystanie z adekwatnych do zadania podejść,
- wspomagać użytkownika w zebraniu wymagań stawianych systemowi,
- przedstawiać wyniki w wygodnej postaci,
- zawierać procedury weryfikacji poprawności decyzji użytkownika.

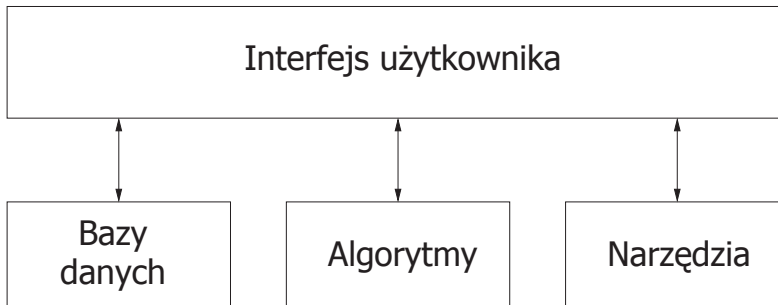
Ponadto użytkownik powinien móc ingerować w proces projektowania na każdym etapie.

Główne elementy składowe takiego systemu to:

- interfejs użytkownika — moduł ten jest odpowiedzialny za komunikację systemu z użytkownikiem: pozwala wprowadzać dane oraz przetwarza wyniki na postać zrozumiałą i wygodną dla użytkownika,
- procedury bazodanowe — wspomagają użytkownika przy wyborze sprzętu (i oprogramowania) pracującego w sieci oraz ułatwiają zarządzanie danymi przyporządkowanymi konkretnym urządzeniom jak np. przepustowość i odpowiadający jej koszt związany z połączeniem,
- algorytmy — „serce” systemu odpowiadające za przetworzenie danych wejściowych i stworzenie optymalnego projektu sieci; najczęściej składa się z zestawu algorytmów rozwiązujących konkretne, bardziej szczegółowe problemy,
- narzędzia — elementy wspomagające i koordynujące pracę pozostałych skład-

ników systemu oraz komunikację z systemem operacyjnym i urządzeniami wejścia/wyjścia.

Na rysunku 2.5 przedstawiona jest struktura wewnętrzna typowego systemu komputerowego wspomaganego projektowania sieci komputerowych.



Rysunek 2.5. Struktura typowego systemu komputerowego wspomaganego projektowania sieci (źródło: [25])

2.6. Oprogramowanie wspomagające projektowanie sieci

Poniżej omówiono kilka środowisk symulacyjnych, używanych w symulacji sieci komputerowych. Dwa spośród nich (OPNET Modeler³ oraz QualNet) to produkty komercyjne, pozostałe są pakietami dostępnymi bez opłaty. Omówienie programów poprzedzone jest krótkim wstępem zapoznającym z ideami symulacji. Uwzględniono też specyficzne programy, jakimi są generatory topologii.

2.6.1. Wstęp

Etapy symulacji, według Bazewicza [4], to:

1. zapoznanie się z ogólną strukturą systemu rzeczywistego, który ma być symulowany oraz szczegółami istotnymi z punktu widzenia celu symulacji; efektem jest werbalny opis systemu rzeczywistego,
2. przejście od opisu werbalnego do opisu formalnego, który definiuje pewien model systemu; eliminuje się możliwe braki lub dwuznaczności werbalnego opisu systemu; stosuje się również rozmaite założenia upraszczające, aby zmniejszyć złożoność modelu systemu⁴,

³ Aktualna nazwa: Riverbed Modeler.

⁴ Założenia upraszczające dla sieci z komutacją pakietów:

- wykładnicze rozkłady czasów obsługi pakietów,

3. opracowanie modelu symulacyjnego (dla symulacji komputerowej: symulacja cyfrowa oraz dyskretny model symulacyjny),
4. realizacja modelu symulacyjnego w postaci programu ściśle odwzorowującego model symulacyjny,
5. analiza wyników,
6. porównanie z systemem rzeczywistym (ewentualnie powrót do opisu systemu).

Głównymi zaletami symulacji są: niski koszt badań symulacyjnych oraz fakt, iż niepotrzebny jest model analityczny symulowanego systemu rzeczywistego, natomiast cele symulacji to:

- ogólne badanie jakości i weryfikacja założeń projektowych,
- określenie przydatności wariantów topologii do założonych zadań,
- weryfikacja słuszności doboru wielkości przepustowości kanałów i pojemności buforów,
- określenie wskaźników jakości.

Przedstawione programy symulacyjne mają „wbudowane” modele różnych systemów rzeczywistych, wymagają od użytkownika (projektanta) jedynie wybrania modelu, zadania parametrów wejściowych oraz analizy wyników.

2.6.2. Generatory topologii

Generowanie początkowej topologii jest kolejnym, po zebraniu wymagań, etapem projektowania sieci w procesie projektowania topologicznego. Służyć do tego mogą opracowane uprzednio algorytmy i gotowe programy. Wymienić należy tutaj generator Bessie [1], NEM [60] oraz Tiers [7, 61]. Problematyka generowania topologii poruszana jest również w [20].

2.6.3. PARSEC

PARSEC (*PARallel Simulation Environment for Complex programs*) jest językiem symulacyjnym opartym na języku C, stworzonym przez Parallel Computing Laboratory na Uniwersytecie Kalifornijskim (UCLA) [3]. Jedną z najważniejszych cech wyróżniających PARSEC jest możliwość symulacji równoległej na wielu platformach równoległych. PARSEC jest ściśle językiem symulacyjnym (i równoległym),

-
- niezależność węzłów,
 - proces Poissona dla reprezentacji strumienia pakietów.

przez co trudno porównywać go z całym środowiskami służącymi do symulacji. PAR-SEC nie jest oprogramowaniem typu *open source*.

2.6.4. OPNET Modeler

OPNET Modeler [62] jest komercyjnym środowiskiem do modelowania i symulacji systemów komunikacyjnych, przyspieszającym proces tworzenia projektu sieci. Pozwala na intuicyjne odwzorowanie rzeczywistego systemu z wykorzystaniem rozbudowanego środowiska graficznego. Podejście hierarchiczne upraszcza specyfikację i reprezentację dużego i złożonego systemu.

OPNET posiada rozbudowaną bibliotekę protokołów (m.in. HTTP, TCP, IP, OSPF, BGP, EIGRP, RIP, RSVP, Frame Relay, FDDI, Ethernet, ATM, bezprzewodowe sieci LAN IEEE 802.11), modeli aplikacyjnych oraz urządzeń sieciowych (routery, przełączniki, stacje robocze, generatory pakietów). Dostępne są też bardziej specjalizowane modele jak np. MPLS, PNNI, DOCSIS, UMTS, IP Multicast czy sieci z komutacją łączy (Circuit Switch).

OPNET Modeler pozwala na dowolną reprezentację wyników symulacji, w łatwy sposób można uzyskać też standardowe parametry statystyczne oraz wizualizację zdarzeń symulacyjnych. Umożliwia import danych z plików tekstowych, plików w formacie XML oraz popularnych narzędzi firm tj. m.in. HP, Concord, Network Associates' Sniffer, NetScout, Infovista.

Środowisko OPNET Modeler można uruchomić na komputerach z systemami Windows NT, Windows 2000, bądź UNIX.

Inne narzędzia firmy MIL3 Inc. to m.in.: OPNET CAPEX Optimizer (narzędzie, które pozwala zmaksymalizować zysk oraz uzyskać większy zwrot z poniesionych nakładów), OPNET Netbiz (automatyzuje proces projektowania i analizy sieci w zależności od planowanego wzrostu ruchu i nowych technologii; pozwala na optymalizację, wizualizację, analizę i symulację sieci), OPNET WDM Guru (narzędzie przeznaczone głównie dla producentów urządzeń sieciowych i służy do projektowania wydajnych sieci optycznych).

2.6.5. OMNeT++

OMNeT++ [67] jest pakietem symulacyjnym napisanym w języku C++, którego główne zastosowanie to symulacja sieci komputerowych i innych systemów rozproszonych. Celem przyświecającym autorowi było stworzenie darmowego symulatora, który byłby rzeczywistą alternatywą do kosztownych (kilka tysięcy USD) produktów komercyjnych.

Modele symulacyjne składają się z hierarchicznie zagnieżdżonych modułów komunikujących się z wykorzystaniem przekazywania komunikatów. Działanie modułów jest opisywane w języku C++, natomiast struktura całego modułu — w języku

opisu topologii. Moduły mogą być wykorzystane w sposób elastyczny, umożliwiając tworzenie modeli z dowolnym stopniem zagnieżdżenia. Topologia w OMNeT++ jest przechowywana w formie czytelnej dla człowieka, może być również tworzona z wykorzystaniem edytora graficznego⁵.

Pakiet zawiera graficzny edytor topologii, środowisko graficzne, w którym można uruchamiać animacje i śledzenie jak też środowisko do uruchamiania symulacji wsadowych. Środowisko OMNeT++ zawiera modele protokołów TCP, IP, FDDI oraz wiele innych jak np. File System Simulator czy Ethernet.

OMNeT++ jest oprogramowaniem typu *open source*, darmowym dla użytku niekomercyjnego. Może być uruchomiony na platformach Linux, Solaris (z kompilatorem gcc) oraz Windows (z kompilatorem gcc wraz ze środowiskiem Cygwin, bądź MS Visual C++).

2.6.6. ns-2

ns-2 [64] jest symulatorem przeznaczonym głównie do badań naukowych związanych z sieciami komputerowymi. Umożliwia symulacje z wykorzystaniem protokołu TCP, routingu, protokołów rozgłaszania grupowego (*multicast*) z modelami różnych mediów transmisyjnych: przewodowych, radiowych tak lokalnych (IEEE 802.11) jak i satelitarnych. Symuluje również warstwy wyższe modelu ISO OSI jak np. protokół HTTP. Pozwala korzystać z gamy algorytmów dotyczących topologii czy zarządzania ruchem [16].

ns-2 zawiera bibliotekę generatorów topologii i generatorów ruchu oraz moduł NAM (network animator). ns-2 jest następcą programu ns-LBNL Network Simulator [63]⁶.

2.6.7. Network Workbench

Network Workbench [46, 68] jest — w odróżnieniu od narzędzi komercyjnych typu OPNET czy darmowych typu ns — dużo łatwiejszy w obsłudze, nie wymaga długiego okresu czasu koniecznego do nauki obsługi; stworzony został z myślą o studentach, konkretnie w celu ułatwienia realizacji procesu dydaktycznego w zakresie nauczania sieci komputerowych. Network Workbench symuluje działanie pięciowarstwowego stosu protokołów, wzorowanego na siedmiowarstwowym modelu ISO OSI.

⁵ W przypadku innych symulatorów: OPNET przechowuje informacje o topologii sieci w zamkniętym formacie binarnym, który może być odczytywany i zapisywany przez edytor graficzny i programy z dołączoną specjalną biblioteką. Większość programów niekomercyjnych (PARSEC, ns) nie dopuszcza możliwości opisu topologii: model tworzony jest z potrzebnych węzłów i połączeń między nimi.

⁶ Aktualnie dostępny jest również symulator *ns-3*, który jednak nie jest kompatybilny wstecznie z *ns-2*.

Zastosowanie dydaktyczne zmusza studentów do tworzenia fragmentów programów, które współpracując z Network Workbench pozwalają na konkretne symulacje.

Network Workbench dostępny jest bez opłaty.

2.6.8. QualNet

Qualnet⁷ [69] (składający się z modułów: Qualnet Developer, Model Designer, Simulator, Planner, Parallel Simulator) funkcjonalnie jest zbliżony do OPNET'a. Pozwala na budowanie w sposób intuicyjny, w środowisku graficznym, odwzorowania rzeczywistej sieci, a następnie symulowania jej działania i w ten sposób uzyskiwania przewidywanych wyników wydajności rzeczywistej sieci. QualNet pozwala symulować tak sieci przewodowe jak i bezprzewodowe, dysponuje zróżnicowanymi źródłami ruchu w sieci (CBR, FTP, TELNET, HTTP, VoIP, VBR), różnorodnymi typami węzłów (stacja robocza, wiele modeli routerów, przełączniki), wieloma metodami dostępu do medium transmisyjnego (np. CSMA, TDMA, Aloha) czy protokołów routingu (np. IGRP, RIPv2, OSPFv2). Umożliwia dostarczanie danych z rzeczywistej sieci z wykorzystaniem protokołu SNMP.

QualNet jest dość skomplikowanym narzędziem, wymagającym czasu na naukę obsługi. Napisany jest w języku Java, może działać na platformie Windows NT (i wyżej), Linux oraz Solaris z zainstalowanym środowiskiem Java JRE bądź SDK w wersji 1.3 lub 1.4.

Pakiet QualNet jest pakietem komercyjnym, który można jednak testować bezpłatnie przez okres 14 dni.

2.6.9. Podsumowanie

Problematyka budowania symulatorów, z uwzględnieniem oryginalnej metodyki przyjętej przy konstruowaniu symulatora sieci opartych na protokołach z rodziny TCP/IP, omówiona jest w [57]. Publikacja [16] również porusza problemy spotykane przy budowaniu symulatorów sieci, ze szczególnym uwzględnieniem sieci globalnych (Internet).

Do popularnych symulatorów należą też — obok omówionych — także programy: Harvard TCP/IP simulator 1.0 [65] oraz Nist-net [66].

2.7. Parametry jakościowe sieci telekomunikacyjnych

Wydajność oceniana jest najczęściej pod względem przepustowości, opóźnienia, dokładności i ewentualnie niezawodności [4].

Jako parametry jakościowe przyjmowane są:

⁷ Aktualnie pakiet Qualnet nie jest dostępny do zastosowań innych niż militarne.

- Gotowość — np. czas odpowiedzi; na gotowość wpływają takie wskaźniki jakości jak przepustowość czy opóźnienie; gotowość może być scharakteryzowana współczynnikiem gotowości A , który definiujemy jako stosunek czasu w którym są realizowane funkcje do czasu w którym powinny być zrealizowane.
- Przepustowość — liczba wszystkich bezbłędnie transmitowanych bitów informacyjnych wychodzących w określonym czasie ze wszystkich węzłów końcowych.
- Opóźnienie — średni czas pomiędzy rozpoczęciem transmisji danych a bezbłędnym ich odbiorem w węzle końcowym; na opóźnienie składają się następujące składowe: czas propagacji sygnału w linii transmisyjnej, czas oczekiwania w kolejce oraz czas przetwarzania.
- Dokładność — miarą dokładności jest stopa błędów (BER — *bit error rate*) tj. stosunek liczby bitów błędnych, powtórzonych i nie odebranych do ogólnej liczby przesłanych bitów⁸.
- Niezawodność — np. prawdopodobieństwo powstania awarii, prawdopodobieństwo pracy bezawaryjnej, przeciętny czas międzyawaryjny (MTBF — *mean time between failures*), przeciętny czas naprawy (MTTR — *mean time to repair*), współczynnik gotowości (stosunek MTBF do przeciętnego czasu eksploatacji).
- Sprawność transmisji — stosunek wartości TRIB (*transfer rate of information bits* tzn. stosunek liczby bitów informacyjnych odebranych w fazie wymiany danych do czasu trwania wymiany danych) do szybkości transmisji.
- Koszty — np. koszty realizacji, koszty eksploatacji.

Problematyka związana ze wskaźnikami jakości poruszana jest szeroko przez Higginbottoma [22]. Praktycznie jednak najczęściej projektant zmuszony jest do wybrania wskaźników jakości, które będą brane pod uwagę. Zwraca na to uwagę Seidler [48]: „Sieć charakteryzuje wiele parametrów. Na ogół posługujemy się jednak tylko dwoma podstawowymi parametrami, a mianowicie parametrem charakteryzującym koszt tworzenia sieci i parametrem charakteryzującym jakość przesyłania informacji przez sieć.” Owe dwa parametry są również podstawą do konstrukcji globalnego wskaźnika jakości w metodzie będącej tematem niniejszej pracy.

2.8. Klasyfikacja metod projektowania

Stworzenie jednej klasyfikacji metod projektowania sieci nie jest możliwe. Wynika to przede wszystkim ze złożoności problemu jakim jest proces projektowania. Metody i algorytmy projektowania można dzielić na wiele sposobów, m.in. na 1) ogólne i specjalizowane, 2) ręczne, ręczne z wykorzystaniem symulatorów i zautomatyzowane, 3) dla sieci LAN, MAN oraz WAN, 4) dla projektowania topologicznego oraz parametrycznego itd.

⁸ Dla sieci z komutacją pakietów $BER \approx 10^{-15}$.

Poniższe zestawienie, bazujące na [33], obejmuje algorytmy rozwiązujące konkretne, najczęściej bardzo wąsko sformułowane zadania. Dodać trzeba, że algorytmy te pozwalają na projektowanie nowych sieci, dla wyspecyfikowanych jej żądanych parametrów, nie pozwalają natomiast na tworzenie projektów dla już istniejącej sieci, gdy chcemy przeprojektować ją, dodać nowe węzły, połączenia bądź zmienić charakterystyki już istniejących elementów składowych sieci. Zestawienie to dalekie jest od kompletności, nie uwzględnia także wielu z algorytmów i metod omawianych w niniejszym rozdziale, pokazuje jednak zarys problematyki projektowania sieci.

- Algorytmy dla sieci scentralizowanych:
 - Problem lokalizacji koncentratora:
 - * Center of Mass
 - * Add
 - * Drop
 - Problem przyporządkowania stacji do koncentratorów:
 - * Metody zachłanne
 - Problem konfiguracji:
 - * Minimalne drzewo rozpinające (MST): algorytmy Kruskala, Prima oraz zachłanne
 - * Algorytm Essau-Williamsa
 - * Algorytm Sharmy
 - * Algorytm Sharmy-El Bardai
- Algorytmy dla sieci rozproszonych:
 - Problem routingu:
 - * Najkrótsza ścieżka:
 - Algorytm Dijkstry
 - Algorytm Bellmana
 - Algorytm Floyda
 - * Przepływy w sieciach:
 - Algorytm Forda-Fulkersona (F-F) (maksymalnego przepływu — minimalnego przekroju)
 - Zmodyfikowany algorytm F-F (maksymalnego przepływu — minimalnego kosztu)
 - Algorytm Flow Deviation (FD)
 - Algorytm Bertsekas-Gallagera (BG)
 - Problem z kryterium przepustowości
 - Problem z kryterium opóźnieniowym
 - Problem z kryterium niezawodnościowym
 - Problem konfiguracji
 - Algorytmy dla problemów mieszanych:
 - * Algorytm wymiany gałęzi (Branch X-Change)

- * Algorytm Cut Saturation
- Jednoczesne wyznaczanie przepływów i przepustowości :
 - * Algorytmy z kryterium opóźnieniowym
 - * Algorytmy z kryterium kosztowym
 - * Algorytm dwukryterialny (koszt i opóźnienie)
- Jednoczesne wyznaczanie przepływów, przepustowości i struktur

2.9. Zagadnienia optymalizacji

Metody optymalizacji pełnią istotną rolę w procesie projektowania sieci komputerowych, niezależnie od stosowanego podejścia, metody czy algorytmu. Niniejszy podrozdział prezentuje zagadnienia związane z teorią optymalizacji niezbędne dla dalszych rozważań na temat metody parametrycznego projektowania sieci LAN.

2.9.1. Optymalizacja globalna

Celem optymalizacji globalnej [70, 71] jest znalezienie globalnie najlepszego rozwiązania dla modelowanego systemu przy świadomości istnienia wielu minimów lokalnych. Do najważniejszych metod optymalizacji globalnej zaliczamy między innymi:

- Metody dokładne:
 - podejścia naiwne *naive approaches* — zbieżne tylko przy pewnych założeniach; niepraktyczne przy problemach o większych wymiarach,
 - przeszukiwanie całkowite *complete search* — przeglądanie całej przestrzeni rozwiązań \mathcal{D} [29],
 - metoda podziału i ograniczeń *branch and bound* [29, 75],
 - adaptacyjne poszukiwanie stochastyczne;
- Metody heurystyczne:
 - strategie ewolucyjne — bazują na analogiach do procesów biologicznych tj. naturalnej selekcji i przetrwania najlepiej przystosowanych gatunków, dzięki czemu „gorsze” rozwiązania zadania optymalizacji są odrzucane [29, 74],
 - symulowane wyżarzanie *simulated annealing* — bazuje na odniesieniu do fizycznego procesu związanego ze stygnięciem struktur krystalicznych i osiągnięciem równowagi w pewnym stanie energii [29, 73],
 - *tabu search* — główna idea to zabronić ruchu w przestrzeni rozwiązań \mathcal{D} w kierunku „ostatnio” odwiedzanym, umieszczonym na tzw. liście „tabu”, co najmniej w najbliższych kilku krokach, dzięki czemu pozwala na dotarcie do „nieznanych” obszarów przestrzeni rozwiązań \mathcal{D} [29, 72].

2.9.2. Polioptymalizacja

Kulikowski [27] podaje — przy okazji omawiania metod optymalizacji statycznej — wskazówki dotyczące się jednoczesnej optymalizacji szeregu wskaźników jakości sterowania. Przywoływany jest tam przykład takiego problemu: w procesie produkcyjnym można otrzymać produkty końcowe o różnych własnościach lub wskaźnikach jakościowych (jak np. procentowa zawartość składników pożytecznych i szkodliwych, wilgotność, ciężar, trwałość itp.); optymalizacji tego procesu należy dokonać w taki sposób, aby uzyskać maksymalną ilość produktów końcowych przy ekstremalnych wartościach wskaźników jakościowych.

Podane jest również, jak należy sformułować problem optymalizacji w sytuacjach, w których występują wektorowe wskaźniki jakości $\mathbf{F}(\mathbf{x})$. Zakładając, że dane są funkcje wektorowe $\mathbf{F}(\mathbf{x})$, $\mathbf{G}(\mathbf{x})$ na zbiorze wypukłym i domkniętym X przestrzeni wektorowej skończonej wymiarowej, których składowe są funkcjami wklęsłymi zmiennej \mathbf{x} , wektor $\hat{\mathbf{x}}$ spełniający ograniczenia

$$\mathbf{G}(\hat{\mathbf{x}}) \geq \mathbf{0}; \hat{\mathbf{x}} \in X$$

(tzw. wektor dopuszczalny) można nazwać polioptymalnym, jeśli nie istnieje inny wektor dopuszczalny \mathbf{x} , dla którego

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}) \geq \mathbf{F}(\hat{\mathbf{x}}).$$

Nierówność powyższą należy rozumieć w ten sposób, że dla każdej składowej $\mathbf{F}_i(\mathbf{x})$ wektora $\mathbf{F}(\mathbf{x})$ zachodzi warunek $\mathbf{F}_i(\mathbf{x}) \geq \mathbf{F}_i(\hat{\mathbf{x}})$, $i = 1, 2, \dots, m$.

Optymalizacja wektorowa polega na znajdowaniu wszystkich rozwiązań polioptymalnych. Określone w powyższy sposób optimum jest zwane w literaturze ekonomicznej optimum w sensie Pareto.

W [27] można znaleźć również dowód wskazujący na ścisły związek optymalizacji wektorowej z optymalizacją skalarną tzn. z optymalizacją w zwykłym sensie.

2.9.3. Optimum w sensie Pareto

Definicje zaczerpnięte z [40].

Minimum — wektor $x^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*]^T$ minimalizujący wartość funkcji celu $f(x^*)$.

Minimum globalne — funkcja określona na zbiorze X w przestrzeni R^N osiąga globalne minimum w punkcie x^* zbioru X , jeżeli $f(x) \geq f(x^*)$ dla każdego $x \in X$.

Optimum w sensie Pareto — punkt $x^* \in X$ jest nazywany optymalnym w sensie Pareto wtedy i tylko wtedy, gdy nie istnieje takie $x \in X$, że $f_i(x) \leq f_i(x^*)$, dla $i = 1, 2, \dots, I$ przy $f_i(x) < f_i(x^*)$ dla co najmniej jednej wartości i . Definicja ta bazuje na intuicyjnym przekonaniu, że punkt x^* jest optymalnym, jeżeli żadne z kryteriów nie może zostać polepszone bez pogorszenia co najmniej jednego z pozostałych kryteriów.

2.9.4. Optymalizacja wielokryterialna

W praktycznych zastosowaniach, gdy decydent przy podejmowaniu decyzji bierze pod uwagę więcej niż jedno kryterium, mamy do czynienia z klasą wielokryterialnych zadań decyzyjnych [11, 23, 42, 49]. Aby optymalizacja miała sens, spełnione muszą być następujące warunki:

- operacje matematyczne (dodawanie i mnożenie) powinny być wykonywalne, tzn. zgodne są miary jednostek, w jakich wyrażane są kryteria,
- należy wyeliminować efekty skali wartości kryteriów,
- preferencje należy zawrzeć w systemie wag przypisanych do kryteriów.

Jednym ze sposobów rozwiązania problemu optymalizacji wielokryterialnej jest zastosowanie **metakryterium**:

Niech

$$K_i^0 = \max_{x \in D} \{K_i(x)\}$$

oraz

$$K_i^* = \frac{K_i(x)}{K_i^0(x)},$$

wówczas:

$$MK(x) = \sum_{i=1}^k \alpha_i K_i^*(x),$$

gdzie α_i oznaczają wagi poszczególnych kryteriów, przy czym

$$\alpha_i > 0 \quad \text{oraz} \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1.$$

Szersze omówienie stosowanych metod podejmowania decyzji uwzględniających wielu kryteriów można znaleźć w [56], gdzie zaprezentowane są wszystkie współczesne metody optymalizacji wielokryterialnej. W sposób syntetyczny podsumowane są one w [28]. Można je podzielić na grupy:

1. Metody nie wymagające informacji związanej z preferencjami dotyczącymi atrybutów (metoda dominacji, MAXMIN oraz MAXIMAX).
2. Metody dla zadanego standardowego poziomu atrybutu (metoda grupowania, metoda wydzielenia).
3. Metody dla porządkowej preferencji dotyczącej atrybutów (metoda leksykograficzna, metoda eliminacji, metoda permutacji).
4. Metody dla numerycznie określonej preferencji dotyczącej atrybutów (metoda przypisania liniowego, prosta addytywna metoda wagowa, metoda ELECTRE).

Także nowoczesne, heurystyczne metody stochastyczne stosowane są do rozwiązywania problemów wielokryterialnych, co pokazane jest w pozycjach [11, 40] (GA, EA) czy w [43] (GA, TS, SA, NN).

Z punktu widzenia niniejszej pracy i prezentowanej metody parametrycznego projektowania lokalnych sieci komputerowych, bazującej na idei wykorzystania globalnego wskaźnika jakości jako metakryterium integrującego dobrane przez projektanta wskaźniki jakości sieci, istotne jest zaprezentowanie zastosowanej metodyki. Idea zaczerpnięta została z [49], a pozycja ta jest źródłem kolejnego paragrafu.

Równoczesne uwzględnienie wielu wskaźników jakości

Seidler [49] opisuje techniki optymalizacyjne stosowane w celu równoczesnego uwzględnienia wielu wskaźników jakości. Wskaźniki te oznaczane są przez, odpowiednio, q_1, \dots, q_M . Zależność danego wskaźnika jakości od podlegającego wyborowi zespołu zmiennych x nazywana jest *funkcją wskaźnikową* i oznaczana jako $q_m(x)$. Zadanie polegające na wyborze zespołów zmiennych korzystnych z punktu widzenia kilku wskaźników jakości nazywa się *zadaniem polioptymalizacji*.

Zespół wskaźników jakości można uwzględnić równocześnie tworząc zależny od nich *wtórny syntetyczny wskaźnik jakości*

$$Q'(x) \equiv Q(q_1(x), \dots, q_M(x)),$$

przy czym $Q'(q_1, \dots, q_M)$ jest pewną ustaloną funkcją, i traktować należy $Q'(x)$ jako funkcję kryterialną. Inne podejście polega na wybraniu jednego wskaźnika jakości, np. $q_1(x)$ jako podstawowy i wymaganiu, aby pozostałe były ustalone bądź zawierały się w określonych przedziałach

$$\check{Q}_m \equiv \langle q_m - \Delta_m, q_m + \Delta_m \rangle.$$

Można to też interpretować jako nadanie jednemu wskaźnikowi, wybranemu jako kryterium, najwyższego priorytetu, pozostałym zaś nadanie jednakowych niższych priorytetów.

Trzecim sposobem równoczesnego uwzględniania wielu wskaźników jakości jest znalezienie takiego zbioru zespołu zmiennych, w obrębie którego nie można polepszyć żadnego ze wskaźników nie pogarszając co najmniej jednego z pozostałych. Zbiór taki nazywamy *zbiorem punktów kompromisowych*.

Wskaźnik syntetyczny

Wskaźniki q_1, \dots, q_M nazywamy *pierwotnymi wskaźnikami jakości*. Jeśli dwa spośród takich wskaźników mają taki sens, że zwiększenie jednego i drugiego jest korzystne, to są to *wskaźniki zgodne*. Zgodnymi nazwiemy także dwa wskaźniki, których zmniejszenie jest korzystne. Jeśli natomiast korzystne jest zwiększenie jednego ze wskaźników, natomiast niekorzystne jest zwiększenie drugiego, mówimy, że są to *wskaźniki niezgodne*. Zmieniając znak jednego z dwóch wskaźników niezgodnych, uzyskamy parę wskaźników zgodnych. Dalej założono, że:

Wszystkie wskaźniki są zgodne, malenie każdego z nich jest korzystne.

Tworzymy funkcję $Q(q)$ zespołu wskaźników $q \equiv (q_1, \dots, q_M)$. Korzystając z funkcji $Q(q)$ *wskaźnik syntetyczny* definiujemy wzorem

$$Q'(x) \equiv Q(q_1(x), \dots, q_M(x)).$$

Najprostszym przykładem funkcji $Q(q)$ jest funkcja liniowa

$$Q(q) = \sum_{m=1}^M \beta_m q_m,$$

przy czym β_m — współczynniki wagowe; przy założeniu zgodności wskaźników przyjmujemy, że $\beta_m \geq 0$.

Jeśli przyjmiemy ogólną postać funkcji ważącej jako

$$Q_\gamma(q) \equiv \left[\sum_{m=1}^M \beta_m q_m^\gamma \right]^{1/\gamma},$$

to oczywiście dla $\gamma = 1$ otrzymamy wcześniejszy wzór

$$Q_1(q) = \sum_{m=1}^M \beta_m q_m.$$

Oczywistym niedostatkiem tej funkcji jest to, że nie uwzględnia rozrzutów poszczególnych wskaźników jakości. Rozrzuty takie uwzględnia funkcja $Q_2(q)$

$$Q_2(q) = \left[\sum_{m=1}^M \beta_m q_m^2 \right]^{1/2} = \sqrt{\sum_{m=1}^M \beta_m q_m^2}.$$

W granicznym przypadku

$$\lim_{\gamma \rightarrow +\infty} Q_\gamma(q) = \max_m q_m,$$

tak więc syntetycznym wskaźnikiem jakości staje się dla $\gamma \rightarrow +\infty$ wartość największego z poszczególnych wskaźników, a więc wobec założenia o zgodności wskaźników, wartość najbardziej niekorzystnego wskaźnika.

Metody uwzględniające wskaźniki z priorytetami oraz zbiory punktów kompromisowych nie są tutaj przytaczane, a szczegółowe opisy można znaleźć w [49].

Zastosowanie globalnego wskaźnika jakości w metodzie pdLAN

Przedstawiona powyżej idea uwzględnia względną wagowość kryteriów w systemie wag, dobieranych proporcjonalnie do ważności odpowiadających im zmiennych. Zaletą tego podejścia jest fakt, że jest najprostszą, intuicyjną i prostą w użyciu, podstawową wadą — że nie można mieszać funkcji malejących i rosnących (muszą być zgodne) [11]. Ponadto wskaźniki jakości muszą być znormalizowane. Wykorzystanie powyższej idei w metodzie parametrycznego projektowania sieci LAN pokazane jest w rozdziale 3.

2.9.5. Inne metody optymalizacji wykorzystywane w projektowaniu sieci

Czerwiński [10] prezentuje m. in. interesujące z punktu widzenia wykorzystania przy realizacji postawionego problemu metody programowania całkowitoliczbowego oraz dynamicznego. Przedstawione są również praktyczne przykłady rozwiązywania problemów optymalizacji wielocelowej.

Programowanie całkowitoliczbowe (dyskretne) od „zwykłego” programu liniowego różni się tym, że zbiór rozwiązań dopuszczalnych składa się jedynie z pewnej skończonej liczby zdyskretyzowanych punktów. Wiele metod rozwiązywania zadań PL i PLC, ze szczególnym uwzględnieniem metody podziału i ograniczeń zaprezentowanych jest w [59].

Programowanie dynamiczne jest natomiast pewną metodą rozwiązywania zadań optymalizacji z wieloma zmiennymi decyzyjnymi. Podstawowa idea programowania dynamicznego polega na podziale procesu obliczania wartości zmiennych dających ekstremum funkcji n zmiennych na n etapów, w których — w każdym etapie — znajdowane jest ekstremum funkcji jednej zmiennej.

Także w [23] prezentowane są stosowane w dziedzinie projektowania sieci zagadnienia: problem maksymalnego przepływu wraz z twierdzeniem Forda-Fulkersona [17] stosowane w projektowaniu topologicznym, metody optymalizacji dyskretnej [53] takie jak cytowane wyżej zadanie programowania całkowitoliczbowego, czy metoda podziału i ograniczeń (*branch and bound*).

Metoda polegająca na przeglądzie pełnym zbioru \mathcal{D} jest możliwa do zastosowania, o ile zbiór rozwiązań dopuszczalnych jest niewielki. Schemat jej jest dość prosty:

1. generowanie wszystkich elementów zbioru,
 2. ustalenie wartości funkcji celu $f(x)$ dla każdego rozwiązania,
 3. wybór rozwiązania maksymalizującego (minimalizującego) wartość funkcji celu.
- Metoda ta zastosowana została w badaniach symulacyjnych prezentowanych w rozdziale 4 jako odniesienie dla zastosowanych metod heurystycznych.

Przegląd zbioru \mathcal{D} zastąpiony może być przeglądem ukierunkowanym, co pozwala ocenić pewne podzbiory rozwiązań i ewentualnie je odrzucić lub pominąć czasowo, nie tracąc rozwiązania optymalnego.

2.10. Podsumowanie

Zaprezentowana w niniejszym rozdziale problematyka pokazuje jak złożonym problemem jest projektowanie sieci komputerowych i telekomunikacyjnych. Problematyka to specyficzna, integruje bowiem tak zagadnienia naukowe (jak np. funkcjonowanie technologii sieciowych czy analiza przepustowości, nadmiarowości, opóźnień itd.), jak też zagadnienia będące nierzadko sztuką i bazujące na intuicji oraz zagad-

nień z dziedziny optymalizacji i badań operacyjnych. Pokazane zostały różne podejścia i techniki wspierające i wspomagające projektanta w tym trudnym zadaniu. Dominujące bowiem podejście to projektowanie z użyciem wyspecjalizowanych programów symulacyjnych zawierających biblioteki elementów sieciowych oraz modele sieci w wielu technologiach.

Podkreślić należy, że dziedzina projektowania sieci komputerowych (i szerzej: telekomunikacyjnych) jest dziedziną wciąż się rozwijającą. W ostatnich latach badania w Polsce prowadziły co najmniej trzy zespoły badawcze, w zakresie sieci rozległych [24], sieci telekomunikacyjnych [45] oraz sieci odpornych na awarie [9].

Niniejsza praca prezentująca **metodę parametrycznego projektowania sieci lokalnych** zagospodarowuje więc nieznany dotychczas obszar badań.

Rozdział 3

Metoda parametrycznego projektowania lokalnych sieci komputerowych

Rozdział niniejszy zawiera dokładny opis proponowanej metody parametrycznego projektowania lokalnych sieci komputerowych. Na rozdział składają się cztery podrozdziały: opis metody pdLAN, model sieci przewodowej IEEE 802.3, model sieci bezprzewodowej IEEE 802.11 oraz opis zastosowanych w badaniach symulacyjnych metod optymalizacji.

3.1. Metoda komputerowego wspomaganie projektowania parametrycznego lokalnych sieci komputerowych (pdLAN)

Automatyzacja procesu projektowania sieci komputerowych znajduje realizację w opracowanej metodzie pdLAN [33, 34], umożliwiającej komputerowe wspomaganie projektowania parametrycznego lokalnych sieci komputerowych.

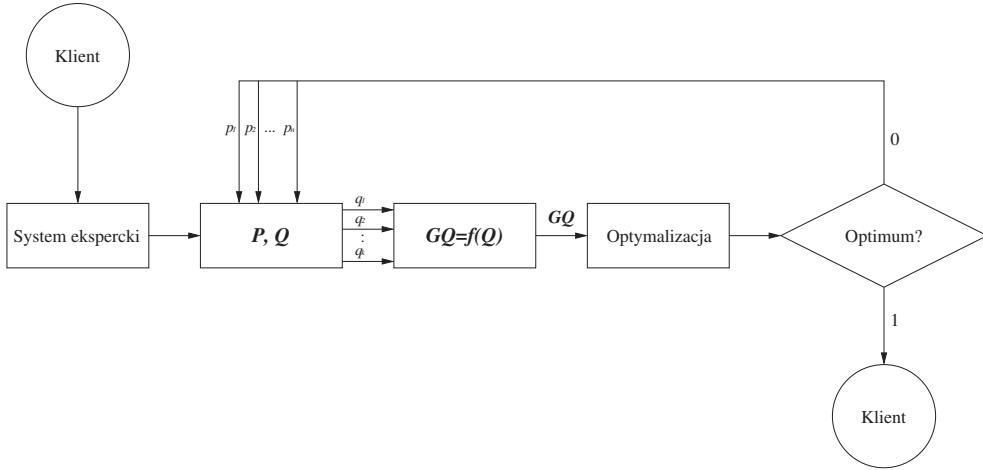
Generalnie metoda pdLAN obejmuje trzy etapy:

- dialog klient — system ekspercki, na podstawie którego tworzona jest pierwotna struktura i/lub zbiór parametrów sieci,
- obliczenie globalnego, ważonego wskaźnika jakości sieci GQ na podstawie parametrów jakości sieci mających wpływ na wskaźniki jakości q_k ,
- formalną (opartą na metodach matematycznych) optymalizację sieci.

Schemat działania metody przedstawiony jest na rysunku 3.1 ¹.

Metoda bazuje na dwóch ideach: modelowaniu algorytmicznym (opisie procesu zmienności stanu sieci w zależności od jej parametrów, sygnałów wejściowych, warunków początkowych i czasu) oraz optymalizacji parametrycznej i składa się z siedmiu etapów:

¹ Oparte na systemie komputerowym generowanie zbioru parametrów sieci oraz jego analiza i optymalizacja; kółka wskazują etapy procesu projektowania oparte na doświadczeniu człowieka, prostokąty natomiast — etapy oparte na systemach komputerowych; q_k — wskaźniki jakości sieci, GQ — ważony, globalny wskaźnik jakości sieci, p_n — podlegające zmianom parametry sieci.



Rysunek 3.1. Schemat metody pdLAN

1. Nieformalne projektowanie architektury sieci z udziałem eksperta (w tym: zebranie założeń i wymagań).
2. Nieformalna synteza N -wymiarowego wektora zmiennych parametrów sieci

$$P\{p_1, p_2, \dots, p_N\},$$

oraz zadanie dopuszczalnych wartości tych parametrów

$$P_{min} \leq P \leq P_{max}.$$

3. Nieformalna synteza K -wymiarowego wektora wskaźników jakości sieci

$$Q\{q_1, q_2, \dots, q_K\},$$

oraz zadanie dopuszczalnych wartości tych parametrów

$$Q_{min} \leq Q \leq Q_{max}.$$

4. Nieformalna synteza procedury obliczającej globalny wskaźnik jakości GQ jako funkcji parametrów sieci.
5. Formalne obliczenie wskaźników jakości sieci.
6. Formalne obliczenie globalnego wskaźnika jakości sieci GQ .
7. Formalna optymalizacja parametryczna sieci tzn. uzyskanie takiej wartości wektora P^* , przy której wartość GQ osiąga ekstremum.

Iteracyjnie wykonywane są etapy 5, 6 i 7, aż do osiągnięcia zadanych (w etapie 1) wymagań i założeń.

Wyżej zaprezentowany algorytm jest bardzo ogólną ideą, niezależną od konkretnej sieci tzn. stosowanych w niej technologii czy topologii.

Niniejsza praca pokazuje zastosowanie omówionej metody dla lokalnych sieci komputerowych budowanych w technologiach: IEEE 802.3 oraz IEEE 802.11b, czyli najpopularniejszych w chwili obecnej technologii stosowanych przy budowie sieci przewodowych oraz bezprzewodowych.

W podrozdziale 4.1 pokazano schemat algorytmu wykorzystanego w badaniach symulacyjnych.

3.2. Model sieci LAN — IEEE 802.3

Rozważania zawężone zostają do przewodowych sieci lokalnych opartych na technologii Ethernet i budowanych w topologii hierarchicznej (drzewa).

Struktura takiej sieci opiera się na jednym głównym urządzeniu sieciowym (UG) oraz po jednym urządzeniu sieciowym (US) dla każdego segmentu sieci. Każdy z segmentów podłączony jest bezpośrednio do UG łączem o długości l_2 . W segmencie natomiast stacje robocze dołączone są łączami o długości l_1 do US. Liczba segmentów to P , natomiast liczba stacji roboczych — N . Zakłada się równomierne rozłożenie stacji w segmentach. Przykład takiej sieci przedstawiony jest na rysunku 3.2. Ponadto znany jest rodzaj ruchu w sieci i jego ukierunkowanie — macierz ruchu A oraz macierz przyporządkowania stacji do segmentów R . Macierz $S = R^T \cdot A \cdot R$ wskazuje na ruch pomiędzy segmentami.

3.2.1. Parametry elementów sieci przewodowych IEEE 802.3

Do zbioru parametrów sieci należą te zmienne, które wpływają na wskaźniki jakości. W naszym przypadku są to parametry charakteryzujące urządzenia sieciowe wchodzące w skład sieci oraz okablowanie.

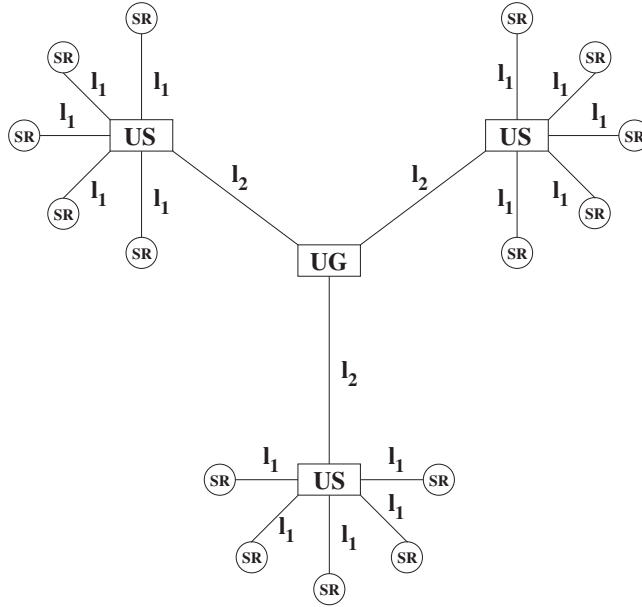
Parametry urządzeń sieciowych (US, UG)

Parametry urządzeń sieciowych US oraz UG zostały zebrane w tabeli 3.1.

Parametry okablowania (OK)

Parametry okablowania OK zostały zebrane w tabeli 3.2.

Należy zwrócić uwagę na parametr s_1 : dyskretne wartości maksymalnej prędkości obsługiwanej przez okablowanie narzucone są przez dyskretne wartości prędkości dla urządzeń sieciowych, w praktyce obecne jest jedynie górne ograniczenie na maksymalną obsługiwaną prędkość.



Rysunek 3.2. Struktura sieci LAN dla $N = 15$, $P = 3$

	nazwa parametru	zakres zmienności
r_1	cena	zmienna ciągła
r_2	ilość portów	zmienna ciągła
r_3	maksymalna prędkość	10 / 100 / 1000 [Mbps]
r_4	<i>matrix port / uplink</i>	0 / 1
r_5	dodatkowe sloty	0 / 1
r_6	narzędzia RMON, cmd, telnet	0 / 1
r_7	SNMP	0 / 1
r_8	marka	zmienna ciągła [0...1]
r_9	<i>aggregated links / resilient links</i>	0 / 1

Tablica 3.1. Parametry urządzeń sieciowych (UG, US)

3.2.2. Odwzorowanie rzeczywistych parametrów elementów sieci na parametry $r_1 \dots r_9$ oraz $s_1 \dots s_2$

Rzeczywiste parametry elementów sieciowych mogą się różnić od tych podanych w tabelach 3.1 oraz 3.2. Dotyczy to zwłaszcza parametrów nie podawanych w specyfikacjach w formie wymaganej w niniejszym modelu. Należy wówczas dokonać odwzorowania tych parametrów na parametry $r_1 \dots r_9$ oraz s_1 i s_2 , dotyczy to zwłaszcza

	nazwa parametru	zakres zmienności
s_1	maksymalna prędkość	10 / 100 / 1000 [Mbps]
s_2	koszt za jednostkę długości	zmienna ciągła

Tablica 3.2. Parametry okablowania (OK)

parametru r_8 , który zawsze jest w formie nazwy producenta, który należy odwzorować na wartość liczbową. Przykładowe odwzorowanie pokazane jest w tabelach urządzeń sieciowych wykorzystanych w badaniach symulacyjnych w dodatku B.

3.2.3. Wskaźniki jakości sieci

W pracach [34], [35] pokazano przykładową zależność wskaźników jakości sieci od parametrów elementów sieci. Po dostosowaniu do potrzeb metody pdLAN zależność ta opisana jest jako zależność czterech wskaźników jakości od zestawionych uprzednio parametrów elementów sieci.

Wskaźnikami jakości sieci określamy te parametry, które mówią nam o pewnych cechach sieci związanych z: wydajnością, możliwością rozbudowy sieci, zarządzalnością czy całkowitym kosztem budowy sieci [30]. Wszystkie wskaźniki jakości sieci zależą od parametrów elementów składowych sieci [34]. Do najczęściej wykorzystywanych wskaźników jakości sieci należą: opóźnienie, koszt budowy sieci, niezawodność, zarządzalność i możliwość rozbudowy sieci.

Średnie opóźnienie w sieci

Średnie opóźnienie w sieci [13, 18, 19, 47, 58] może być obliczone przy wykorzystaniu uproszczonego wyrażenia [15] zaprezentowanego przez [5] dla sieci typu Ethernet, z uwzględnieniem następujących założeń:

- metoda dostępu do medium *non-persistent* (nieciągły) CSMA/CD,
- proces Poissona dla reprezentacji strumienia pakietów,
- skończona liczba stacji roboczych.

Pomimo, że to uproszczenie nie oddaje w pełni funkcjonowania sieci Ethernet, użycie tego rodzaju uproszczeń jest usprawiedliwione, jako że jest tylko jednym z elementów całego procesu projektowania sieci, w którym występuje dużo więcej uproszczeń, dzięki którym problem jest możliwy do rozwiązania. Ponadto zakłada się, że:

- zachowanie pojedynczego segmentu sieci opisane jest kolejką M/M/1,
- średnie opóźnienie w segmencie rośnie wraz ze wzrostem ruchu w segmencie:

$$L_p \rightarrow C_p \Rightarrow D_p \rightarrow \infty$$

Pominięte zostały przy tym, jako mało znaczące, składowe opóźnienia wynikłe z propagacji pakietów.

Dla zaproponowanego modelu sieci, gdzie:

- N — liczba stacji w sieci,
- A — macierz ruchu w sieci ($N \times N$) ($a_{i,j}$ — ruch pomiędzy stacją i oraz j),
- P — liczba segmentów sieci,
- R — macierz przyporządkowania stacji do segmentów ($N \times P$),

$$r_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if stacja}(i) \in \text{segment}(j) \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

$$\sum_{j=1}^P r_{i,j} = 1, \quad i \in \{1, 2, \dots, n\},$$

- S — macierz ruchu pomiędzy segmentami ($P \times P$):
 - $s_{i,j}$ — wskazuje na ruch pomiędzy użytkownikami w segmencie i oraz j ;
 - $S = R^T \cdot A \cdot R$,
- średnie opóźnienie przesłania bitu przez segment k , gdzie C_k jest przepustowością segmentu, a L_k średnim ruchem w segmencie, $L_k < C_k$,

średnie opóźnienie może być opisane wyrażeniem:

$$D = \frac{1}{\Gamma} \left[\sum_{k=1}^P \frac{L_k}{C_k - L_k} \right],$$

gdzie

$$\Gamma = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j},$$

oraz

$$C_i = \min(r_3^{UG}, r_3^{US}, s_1), \quad i \in \{1, 2, \dots, P\}.$$

Ponadto zakłada się, że ruch w segmencie stanowi sumę ruchu przychodzącego oraz ruchu wychodzącego:

$$L_k = \sum_{i=1}^P s_{i,k} + \sum_{i=1}^P s_{k,i} - s_{k,k}.$$

W powyższym wyrażeniu ostatni składnik, pomniejszający ruch w segmencie, to ruch ukierunkowany od stacji k do stacji k ($s_{k,k}$).

$$q_1 = f_1 \left(N, P, A, R, r_3^{UG}, r_3^{US}, s_1 \right)$$

Średnie opóźnienie w sieci q_1 [s]:

$$q_1 = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}} \sum_{k=1}^P \frac{\sum_{i=1}^P s_{i,k} + \sum_{i=1}^P s_{k,i} - s_{k,k}}{\min(r_3^{US}, r_3^{UG}, s_1) - \left[\sum_{i=1}^P s_{i,k} + \sum_{i=1}^P s_{k,i} - s_{k,k} \right]}.$$

Koszt budowy sieci

Koszt budowy sieci zależy od kosztu składników wchodzących w jej skład, tj. urządzeń sieciowych oraz okablowania.

$$q_2 = f_2 \left(N, P, r_1^{UG}, r_1^{US}, l_1, l_2, s_2 \right)$$

Koszt budowy sieci q_2 [PLN]:

$$q_2 = (P \cdot l_2 + N \cdot l_1) \cdot s_2 + r_1^{UG} + P \cdot r_1^{US}.$$

Niezawodność sieci

Niezawodność sieci określona jest jako funkcja pozostających w nadmiarze portów w urządzeniach sieciowych, faktu istnienia rozwiązań typu „resilient links” oraz marki urządzeń sieciowych. Zmienne pomocnicze: q_{3pG} oraz q_{3pS} wskazują na istnienie nadmiarowych portów w urządzeniach UG oraz US.

$$q_3 = f_3 \left(N, P, r_2^{US}, r_2^{UG}, r_8^{US}, r_8^{UG}, r_9^{US}, r_9^{UG} \right)$$

Niezawodność sieci q_3 [0...1]:

$$q_3 = \frac{1}{3} \left[r_9^{US} \cdot r_9^{UG} + \frac{1}{2} (r_8^{US} + r_8^{UG}) + \frac{1}{2} (q_{3pS} + q_{3pG}) \right],$$

$$q_{3pG} = \begin{cases} 1, & \text{if } r_2^{UG} > P \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

$$q_{3pS} = \begin{cases} 1, & \text{if } r_2^{US} > \frac{N}{P} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Rozbudowa i zarządzalność

Na wskaźnik dotyczący możliwości rozbudowy i zarządzalność, podobnie jak wyżej, mają wpływ jedynie parametry urządzeń UG i US.

$$q_4 = f_4 \left(N, P, r_2^{US}, r_2^{UG}, r_4^{US}, r_4^{UG}, r_5^{US}, r_5^{UG}, r_6^{US}, r_6^{UG}, r_7^{US}, r_7^{UG} \right)$$

Wskaźnik wskazujący na możliwości rozbudowy i zarządzalność w odniesieniu do sieci q_4 [0...1]:

$$q_4 = \frac{1}{10} \left[q_{3pS} + q_{3pG} + r_4^{US} + r_4^{UG} + r_5^{US} + r_5^{UG} + \frac{1}{3} (r_6^{US} + r_6^{UG}) + r_7^{US} + r_7^{UG} \right].$$

3.2.4. Normalizacja wskaźników jakości

Jak to zaznaczono przy wzorach, wskaźniki q_1 i q_2 dają wynik w miarach fizycznych (odpowiednio: sekundach i jednostkach pieniężnych); wskaźniki q_3 i q_4 natomiast dają najbardziej pożądaną formę wynikową w postaci liczby z zakresu $[0 \dots 1]$. Aby jednak móc zbudować jeden, globalny wskaźnik jakości sieci jako funkcję wyżej opisanych wskaźników jakości sieci, wszystkie wskaźniki muszą być znormalizowane i dawać w wyniku liczby z zakresu $[0 \dots 1]$. Normalizacja w odniesieniu do wskaźników q_1 i q_2 polega na dokonaniu następujących operacji:

$$q_{1N} = 1 - \frac{q_1 - q_{1min}}{q_{1max} - q_{1min}},$$

oraz

$$q_{2N} = 1 - \frac{q_2 - q_{2min}}{q_{2max} - q_{2min}},$$

gdzie q_{1max} i q_{2max} są zadanymi nieprzekraczalnymi wartościami tych wskaźników jakości, natomiast q_{1min} i q_{2min} — wartościami minimalnymi tych wskaźników. Dla wskaźników q_3 i q_4 normalizacja nie jest wymagana:

$$q_{3N} = q_3,$$

$$q_{4N} = q_4.$$

3.2.5. Globalny wskaźnik jakości GQ

Problematyka budowania globalnego wskaźnika jakości jako metakryterium integrującego w sposób syntetyczny kilka kryteriów — wskaźników jakości przedstawiona została w podrozdziale 2.9.4 w oparciu o [49]. W prezentowanej metodzie pdLAN wykorzystać można dowolne funkcje wiążące GQ ze wskaźnikami jakości q_i , $i = 1 \dots 4$. W ramach badań przeprowadzonych badań symulacyjnych (rozdział 4) zastosowano dwie podstawowe zależności:

$$Q_1(q) = \sum_{i=1}^4 w_i q_i,$$

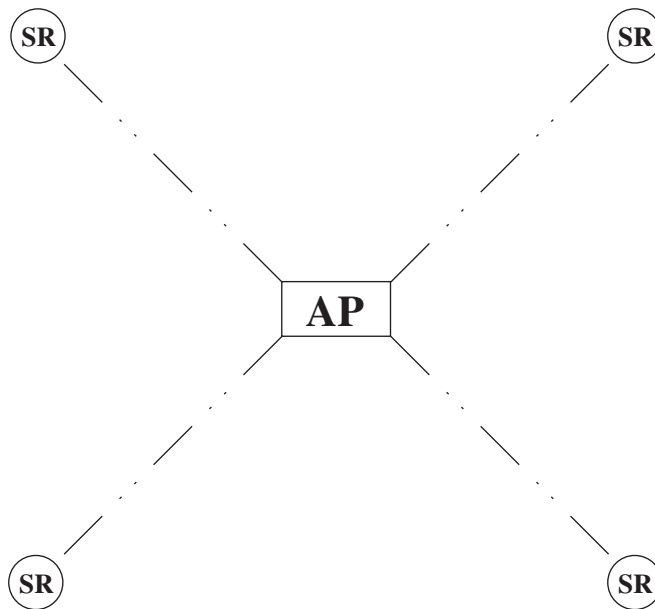
oraz

$$Q_2(q) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 w_i q_i^2}.$$

Dobór wag w_i przedyskutowany jest w odpowiednich częściach rozdziału 4. W prezentowanym modelu korzystniejsze jest zwiększanie się wskaźników jakości, tak więc również przy globalnym wskaźniku jakości wyższe wartości oznaczają „lepsze” rozwiązanie.

3.3. Model sieci WLAN — IEEE 802.11b

W niniejszym rozdziale przedstawiony jest model matematyczny bezprzewodowej lokalnej sieci komputerowej, opartej o technologię zgodną ze standardem IEEE 802.11b. Zakłada się, że sieć zbudowana jest z N stacji roboczych (SR) oraz jednego centralnego urządzenia pośredniczącego (*access point* (AP)), tworzącego „komórkę dostępową”, dalej nazywanego „punktem dostępowym”. Przykład struktury takiej sieci dla $N = 4$ stacji roboczych przedstawiony jest na rysunku 3.3. Stacje robocze wyposażone są w radiowe interfejsy sieciowe, charakteryzujące się parametrami, które będą podawane dalej w odniesieniu do stacji roboczych (SR). Punkty dostępowe mogą być ponadto wyposażone w anteny zewnętrzne (AN), które — dzięki zyskowi energetycznemu — pozwalają na zwiększenie zasięgu „komórki dostępowej”. Sieć pracuje w trybie *infrastructure*, tzn. wykorzystuje jeden kanał radiowy. Parametry składowych elementów sieci bezprzewodowych (SR, AP oraz AN) zestawione i omówione są w następnym rozdziale. Przedstawiony model jest uniwersalny niezależnie od wykorzystywanego standardu tzn. jest również słuszny dla sieci budowanych w oparciu o urządzenia zgodne ze standardem IEEE 802.11a oraz IEEE 802.11g, które charakteryzują się wyższymi dostępnymi prędkościami transmisji. Standard IEEE 802.11b jest obecnie najbardziej popularny, stąd też badania symulacyjne w oparciu o dane elementów sieciowych zgodnych z tym standardem.



Rysunek 3.3. Struktura sieci WLAN dla $N = 4$

3.3.1. Parametry elementów sieci bezprzewodowych IEEE 802.11b

Spośród wielu parametrów charakteryzujących elementy sieci WLAN wybrano najbardziej istotne z punktu widzenia konstrukcji trzech wybranych wskaźników jakości. Parametry te omówione są w niniejszym podrozdziale.

Parametry stacji roboczej (SR)

r_1 — cena [PLN]

r_2 — marka

r_3 — maksymalna moc nadajnika P_{max}^{TX} [dBm]

r_4 — czułość odbiornika S_{min}^{RX} [dBm]

Parametry punktu dostępowego (AP)

s_1 — cena [PLN]

s_2 — marka

s_3 — maksymalna moc nadajnika P_{max}^{TX} [dBm]

s_4 — czułość odbiornika S_{min}^{RX} [dBm]

Parametry anteny (AN)

t_1 — cena [PLN]

t_2 — marka

t_3 — zysk energetyczny anteny względem anteny izotropowej [dBi]

Zmienność parametrów $r_1 \dots r_4$, $s_1 \dots s_4$ oraz $t_1 \dots t_3$

Wszystkie wymienione parametry są zmiennymi ciągłymi. Za wyjątkiem parametrów oznaczających markę (r_2 , s_2 , t_2) przyjmujących wartości z zakresu $[0 \dots 1]$, żaden z parametrów nie jest ograniczony tzn. może przyjmować dowolną wartość (oczywiście praktycznie nie ma to miejsca, a ponadto wiadomo, że parametry oznaczające cenę będą zawsze nieujemne, podobnie jest z mocą nadajników czy zyskiem energetycznym anten, natomiast czułość odbiorników jest wyrażana liczbą ujemną).

Dodatkowe założenie

Czułość odbiornika S_{min}^{RX} jest przez producentów podawana zazwyczaj w odniesieniu do czterech prędkości sieci: 11 Mbps, 5,5 Mbps, 2 Mbps oraz 1 Mbps. W celu uproszczenia modelu w dalszej części pracy parametr r_4 oraz s_4 będzie wskazywał czułość odbiornika S_{min}^{RX} dla prędkości 2 Mbps. Przy prędkości tej możliwa jest wciąż względnie komfortowa praca, a jednocześnie można osiągnąć zdecydowanie większy zasięg komórki dostępowej.

3.3.2. Odwzorowanie rzeczywistych parametrów elementów sieci na parametry $r_1 \dots r_4$, $s_1 \dots s_4$ oraz $t_1 \dots t_3$

Podobnie jak dla sieci LAN (IEEE 802.3), także w przypadku sieci WLAN rzeczywiste parametry elementów sieciowych mogą się różnić od tych podanych powyżej. Należy wówczas dokonać odwzorowania tych parametrów na parametry $r_1 \dots r_4$, $s_1 \dots s_4$ oraz $t_1 \dots t_3$. Dotyczy to zwłaszcza parametrów r_2 , s_2 oraz t_2 , który zawsze jest w formie nazwy producenta i należy go odwzorować na wartość liczbową. Przykładowe odwzorowanie pokazane jest w tabelach urządzeń sieciowych wykorzystanych w badaniach symulacyjnych w dodatku B. Poważnym problemem, który należy zasygnalizować, jest nierzadko uzyskanie danych technicznych dotyczących mocy i czułości torów nadawczych i odbiorczych.

3.3.3. Wskaźniki jakości sieci

Podobnie jak dla sieci LAN, wskaźnikami jakości sieci określamy te parametry, które mówią nam o pewnych cechach sieci związanych z: wydajnością, możliwością rozbudowy sieci, zarządzalnością czy całkowitym kosztem budowy sieci [30]. W niniejszym modelu wyprowadzono zależności trzech wskaźników jakości. Są to:

- maksymalny zasięg komórki dostępowej q_1 ,
- koszt budowy sieci q_2 ,
- niezawodność sieci q_3 .

Maksymalny zasięg komórki dostępowej

Bilans mocy BM Przez bilans mocy (BM_{AB}) toru transmisyjnego $A - B$ rozumiemy sumę mocy nadajnika A P_A^{TX} oraz czułości odbiornika B S_B^{RX} pomniejszoną o tłumienie ośrodka pomiędzy nadajnikiem A i odbiornikiem B T_{AB} oraz powiększoną o zyski energetyczne anten: nadawczej Z_A^{TX} i odbiorczej Z_B^{RX} .

$$BM_{AB} = P_A^{TX} - S_B^{RX} - T_{AB} + Z_A^{TX} + Z_B^{RX}.$$

Wartość BM można interpretować w następujący sposób: ujemny bilans mocy ($BM < 0$) — tor transmisyjny nie pozwala na transmisję, nieujemny bilans mocy ($BM \geq 0$) — tor transmisyjny pozwala na transmisję.

Zakłada się jednakowe zyski energetyczne anten przy nadawaniu i odbiorze i wprowadza oznaczenia Z_A i Z_B :

$$Z_A = Z_A^{TX} = Z_A^{RX},$$

oraz

$$Z_B = Z_B^{TX} = Z_B^{RX},$$

w związku z czym

$$BM_{AB} = P_A^{TX} - S_B^{RX} - T_{AB} + Z_A + Z_B.$$

Analogicznie:

$$BM_{BA} = P_B^{TX} - S_A^{RX} - T_{BA} + Z_A + Z_B.$$

Tłumienie ośrodka pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem jest identyczne niezależnie od kierunku transmisji:

$$T_{AB} = T_{BA},$$

dzięki czemu równania powyższe można przepisać w postaci:

$$\begin{cases} BM_{AB} = P_A^{TX} - S_B^{RX} - T_{AB} + Z_A + Z_B \\ BM_{BA} = P_B^{TX} - S_A^{RX} - T_{AB} + Z_A + Z_B. \end{cases}$$

Tłumienie Tłumienie w powietrzu może być obliczone ze wzoru na tłumienie w wolnej przestrzeni, powstałego z przekształcenia równania Friisa:

$$T = 36,56 + 20 \cdot \log_{10}(f) + 20 \cdot \log_{10}(0,621371192 \cdot l),$$

gdzie f — częstotliwość [MHz], l — odległość [km].

W dalszej części pracy odległość l wyrażana będzie w metrach [m], w związku z czym wzór przyjmie postać:

$$T = 36,56 + 20 \cdot \log_{10}(f) + 20 \cdot \log_{10}(0,000621371192 \cdot l).$$

Jako częstotliwość f można przyjąć wartość $f = 2450$ [MHz], jako że pasmo ISM 2,4 GHz w którym pracują sieci zgodne ze standardem IEEE 802.11b obejmuje zakres częstotliwości 2400-2500 MHz. Wzór powyższy może być więc przepisany w następujący sposób:

$$T = 36,56 + 20 \cdot \log_{10}(2450) + 20 \cdot \log_{10}(0,000621371192 \cdot l),$$

$$T = 104,3433217 + 20 \cdot \log_{10}(0,000621371192 \cdot l).$$

Tłumienie T_{AB} w torze transmisyjnym $A - B$ można więc wyrazić:

$$T_{AB} = 104,3433217 + 20 \cdot \log_{10}(0,000621371192 \cdot l_{AB}).$$

Równanie to w dalszym ciągu będzie przedstawiane z wykorzystaniem stałych a i b o wartościach $a = 104$ oraz $b = 6,21 \cdot 10^{-4}$, co pozwala na jego wyrażenie jako:

$$T_{AB} = a + 20 \cdot \log_{10}(b \cdot l_{AB}).$$

Wracając do bilansu mocy, zakłada się, że A — punkt dostępowy, B — stacja robocza. Podstawiając do wzorów odpowiednie parametry z podrozdziału 3.3.1 otrzymujemy:

$$\begin{cases} BM_{AB} = s_3 - r_4 + t_3^A + t_3^B - T_{AB} \\ BM_{BA} = r_3 - s_4 + t_3^A + t_3^B - T_{AB}, \end{cases}$$

gdzie t_3^A oraz t_3^B oznaczają, odpowiednio, zysk energetyczny anteny A oraz anteny B. W omawianym modelu sieci w antenę wyposażony może być jedynie punkt dostępowy, czyli $t_3^A > 0$, $t_3^B = 0$.

Bilans mocy BM może posłużyć bądź do obliczenia zasięgu komórki dostępowej (przez wyliczenie odległość l), bądź sprawdzenia, czy dla określonej odległości l sieć będzie funkcjonować. W pracy rozpatrzony jest pierwszy przypadek — wskaźnik jakości q_1 będzie przyjmować wartość maksymalnego zasięgu komórki dostępowej l . Aby dokonać tego obliczenia, należy wprowadzić dodatkowy parametr: zapas mocy ΔP , którego wartość określona w decybelach [dB] pozwala na zaprojektowanie sieci z pewnym „zapasem” energetycznym, wynikłym choćby z konieczności uwzględnienia tłumienia otoczenia w np. środowisku biurowym, czy tłumienia kabli i złączek łączących antenę z punktem dostępowym.

Ogólnie, aby sieć funkcjonowała, wartość bilansu mocy BM musi być większa od wartości zapasu mocy ΔP :

$$\begin{cases} BM_{AB} > \Delta P \\ BM_{BA} > \Delta P. \end{cases}$$

Po podstawieniu do powyższych wzorów otrzymujemy:

$$\begin{cases} s_3 - r_4 + t_3^A + t_3^B - T_{AB} > \Delta P \\ r_3 - s_4 + t_3^A + t_3^B - T_{AB} > \Delta P. \end{cases}$$

Po przeniesieniu parametrów na prawą stronę:

$$\begin{cases} T_{AB} < s_3 - r_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P \\ T_{AB} < r_3 - s_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P. \end{cases}$$

Podstawiając zależność na tłumienie:

$$\begin{cases} a + 20 \cdot \log_{10}(b \cdot l_{AB}) < s_3 - r_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P \\ a + 20 \cdot \log_{10}(b \cdot l_{BA}) < r_3 - s_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P. \end{cases}$$

Porządkując i przenosząc znane wartości na prawą stronę:

$$\begin{cases} 20 \cdot \log_{10}(b \cdot l_{AB}) < s_3 - r_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a \\ 20 \cdot \log_{10}(b \cdot l_{BA}) < r_3 - s_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \log_{10}(b \cdot l_{AB}) < \frac{s_3 - r_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20} \\ \log_{10}(b \cdot l_{BA}) < \frac{r_3 - s_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} b \cdot l_{AB} < 10^{\frac{s_3 - r_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20}} \\ b \cdot l_{BA} < 10^{\frac{r_3 - s_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20}}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} l_{AB} < \frac{10^{\frac{s_3 - r_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20}}}{b} \\ l_{BA} < \frac{10^{\frac{r_3 - s_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20}}}{b}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} l_{AB}^{gran} = \frac{10^{\frac{s_3 - r_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20}}}{b} \\ l_{BA}^{gran} = \frac{10^{\frac{r_3 - s_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20}}}{b}, \end{cases}$$

$$l_{max} = \min(l_{AB}^{gran}, l_{BA}^{gran}),$$

$$l_{max} = \min\left(\frac{10^{\frac{s_3 - r_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20}}}{b}, \frac{10^{\frac{r_3 - s_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20}}}{b}\right).$$

Wskaźnik jakości q_1 [m] — maksymalny zasięg komórki dostępowej określony jest jako:

$$q_1 = l_{max},$$

$$q_1 = \min \left(\frac{10^{\frac{s_3 - r_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20}}}{b}, \frac{10^{\frac{r_3 - s_4 + t_3^A + t_3^B - \Delta P - a}{20}}}{b} \right).$$

Uwzględniając założenie, że

$$t_3^B = 0,$$

otrzymujemy:

$$q_1 = \min \left(\frac{10^{\frac{s_3 - r_4 + t_3^A - \Delta P - a}{20}}}{b}, \frac{10^{\frac{r_3 - s_4 + t_3^A - \Delta P - a}{20}}}{b} \right).$$

Koszt budowy sieci

Koszt budowy sieci zależy od kosztu składników wchodzących w jej skład tj. urządzeń sieciowych: interfejsów sieciowych w stacjach roboczych (SR), punktu dostępowego (AP) oraz anteny (AN):

$$q_2 = f_2(N, r_1, s_1, t_1).$$

Koszt budowy sieci q_2 [PLN]:

$$q_2 = (N \cdot r_1 + s_1 + t_1).$$

Niezawodność sieci

Niezawodność sieci określona jest jako funkcja marki urządzeń sieciowych oraz stosunku bilansu mocy BM_{q_3} i zapasu mocy ΔP :

$$q_3 = f_3(r_2, s_2, t_2, BM_{q_3}, \Delta P).$$

Niezawodność sieci q_3 [0 ... 1]:

$$q_3 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{3}(r_2 + s_2 + t_2) + q_{3p} \right].$$

Zmienna pomocnicza q_{3p} określona jest następująco:

$$q_{3p} = \begin{cases} 1, & \text{if } BM_{q_3} - \Delta P > 0 \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Zmienna BM_{q_3} jest natomiast zdefiniowana jak następuje:

$$BM_{q_3} = \min(BM_{AB}(l = l_{min}), BM_{BA}(l = l_{min})),$$

gdzie l_{min} [m] jest parametrem dostarczonym przez projektanta, oznaczającym minimalny zasięg komórki dostępowej.

Korzystając z wyprowadzonych wyżej wzorów oraz pamiętając, że $t_3^B = 0$ otrzymujemy:

$$BM_{q_3} = \min \left(\left[s_3 - r_4 + t_3^A - T_{AB}(l = l_{min}) \right], \left[r_3 - s_4 + t_3^A - T_{BA}(l = l_{min}) \right] \right),$$

$$T_{AB}(l = l_{min}) = T_{BA}(l = l_{min}) = a + 20 \cdot \log_{10}(b \cdot l_{min}).$$

3.3.4. Normalizacja wskaźników jakości

Wskaźnik q_1 daje wynik w [m], wskaźnik q_2 w [PLN], natomiast q_3 daje wynik w postaci liczby z zakresu $[0 \dots 1]$. Aby jednak móc zbudować jeden, globalny wskaźnik jakości sieci jako funkcję wyżej opisanych wskaźników jakości sieci, wszystkie wskaźniki muszą być znormalizowane i dawać w wyniku liczby z zakresu $[0 \dots 1]$. Normalizacja w odniesieniu do wskaźników q_1 i q_2 polega na dokonaniu następujących operacji:

$$q_{1N} = 1 - \frac{q_1 - q_{1min}}{q_{1max} - q_{1min}},$$

oraz

$$q_{2N} = 1 - \frac{q_2 - q_{2min}}{q_{2max} - q_{2min}},$$

gdzie q_{1max} i q_{2max} są zadanymi nieprzekraczalnymi wartościami tych wskaźników jakości, natomiast q_{1min} i q_{2min} — wartościami minimalnymi tych wskaźników. Zauważyć jednak trzeba, że interesuje nas maksymalizacja zasięgu (q_1) oraz minimalizacja kosztów (q_2), wskaźniki te są więc niezgodne. Aby korzystna była maksymalizacja wszystkich wskaźników, należy zmodyfikować wzór wyrażający zależność q_{1N} :

$$q_{1N} = 1 - \left[1 - \frac{q_1 - q_{1min}}{q_{1max} - q_{1min}} \right],$$

co oczywiście daje:

$$q_{1N} = \frac{q_1 - q_{1min}}{q_{1max} - q_{1min}}.$$

Dla wskaźnika q_3 normalizacja nie jest wymagana:

$$q_{3N} = q_3.$$

3.3.5. Globalny wskaźnik jakości GQ

Analogicznie jak w modelu sieci LAN, zastosowano dwie podstawowe zależności:

$$Q_1(q) = \sum_{i=1}^3 w_i q_i,$$

oraz

$$Q_2(q) = \sqrt{\sum_{i=1}^3 w_i q_i^2}.$$

Dobór wag w_i przedyskutowany jest w odpowiednich częściach rozdziału 4. Podobnie jak przy modelu sieci LAN, korzystniejsze jest zwiększanie się wskaźników jakości, tak więc również przy globalnym wskaźniku jakości wyższe wartości oznaczają „lepsze” rozwiązanie.

3.4. Metoda pdLAN a modele sieci LAN oraz WLAN

Zwrócić należy uwagę na odwzorowanie konkretnych elementów modelu sieci (tak dla sieci LAN jak i dla WLAN) na etapy metody pdLAN przedstawionej na początku niniejszego rozdziału.

1. Etap 1, polegający na zebraniu założeń i wymagań użytkownika (projektanta) jest pominięty w skonstruowanych modelach — dopiero realizacja praktyczna obejmuje ten etap (podrozdział 4.1).
2. Etap 2 metody odpowiada zebraniu parametrów elementów sieciowych oraz określeniu ich dopuszczalnych wartości.
3. Etap 3 to określenie wskaźników jakości dla sieci LAN i WLAN.
4. Etap 4 polega na podjęciu decyzji odnośnie wykorzystywanych zależności globalnego wskaźnika jakości (GQ) od wskaźników jakości (będących funkcją parametrów sieci).
5. Etapy 5–7, określane mianem „formalnych” (tzn. łatwych do zautomatyzowania, w odróżnieniu od „nieformalnych”, wymagających udziału człowieka), realizowane są na poziomie implementacji praktycznej (podrozdział 4.1).

3.5. Zastosowane metody optymalizacji

W badaniach symulacyjnych (rozdział 4) wykorzystano cztery metody optymalizacji zaczerpnięte z [29] i opisane w niniejszym podrozdziale.

3.5.1. Iterated hill-climber (ihc)**procedure** iterated hill-climber**begin** $t \leftarrow 0$ inicjalizuj $best$ **repeat** $local \leftarrow FALSE$ wybierz losowo aktualny punkt v_c oblicz funkcję celu $eval$ dla v_c **repeat** wybierz wszystkie nowe punkty z sąsiedztwa punktu v_c wybierz spośród tych punktów punkt v_n dla którego funkcja celu $eval$ jest najlepsza **if** $eval(v_n)$ jest lepsza od $eval(v_c)$ **then** $v_c \leftarrow v_n$ **else** $local \leftarrow TRUE$ **until** $local$ $t \leftarrow t + 1$ **if** v_c jest lepszy od $best$ **then** $best \leftarrow v_c$ **until** $t = MAX$ **end**

Wewnętrzna pętla zawsze odnajduje lokalne optimum, w zewnętrznej pętli natomiast wybierany jest kolejny losowy punkt, dla którego poszukiwane są w jego sąsiedztwie punkty o lepszej wartości funkcji celu. Procedura kończy swe działania po MAX liczbie iteracji. (W zrealizowanej implementacji i przeprowadzonych badaniach (rozdział 4) liczba iteracji MAX określana jest zmienną t_{MAX} .) Najlepszy punkt jest zwracany w zmiennej $best$.

Początkowo wszystkie możliwe rozwiązania w sąsiedztwie v_c są rozważane, przy czym wybierane jest to o najlepszej wartości $eval(v_n)$ i to rozwiązanie rywalizuje z v_c : jeśli $eval(v_c)$ jest gorsze od $eval(v_n)$, v_n staje się v_c , w przeciwnym przypadku osiągnięte jest lokalne bądź globalne optimum ($local = TRUE$) i wykonywana jest kolejna iteracja algorytmu ($t \leftarrow t + 1$) z nowym punktem startowym.

Sukces bądź porażka pojedynczej iteracji zależą całkowicie od punktu początkowego. Do wad metody **ihc** należy zaliczyć fakt, że zazwyczaj kończy z rozwiązaniami będącymi optimumami lokalnymi. Ponadto brakuje informacji na ile odkryte optimum lokalne różni się od globalnego optimum, a uzyskane optimum zależy od początkowej konfiguracji. Zaletą metody **ihc** jest fakt bardzo prostej implementacji.

3.5.2. Stochastic hill-climber (shc)

procedure stochastic hill-climber

begin

$t \leftarrow 0$

wybierz losowo aktualny punkt v_c

oblicz funkcję celu $eval$ dla v_c

repeat

wybierz punkt v_n z sąsiedztwa punktu v_c

wybierz punkt v_n z prawdopodobieństwem $\frac{1}{1+e^{\frac{eval(v_c)-eval(v_n)}{T}}}$

$t \leftarrow t + 1$

until $t = MAX$

end

Algorytm ten składa się tylko z jednej pętli, poszukiwania są prowadzone tylko od jednego punktu startowego. Zamiast sprawdzać całe sąsiedztwo aktualnego punktu v_c i wybierać z niego punkt najlepszy, wybierany jest tylko jeden punkt v_n z sąsiedztwa i przyjmowany jako nowy punkt v_c z pewnym prawdopodobieństwem zależnym od względnej różnicy pomiędzy tymi punktami (tzn. wartości funkcji celu $eval$ dla tych punktów). Reguła ustanawiania nowego punktu bazująca na prawdopodobieństwie wiąże się jednak z realną możliwością wybrania punktu nieoptymalnego, tzn. takiego, dla którego wartość funkcji celu jest gorsza od funkcji celu dla punktu bieżącego. Prawdopodobieństwo to zależy ponadto od dodatkowego parametru T (parametr T pozostaje stały podczas wykonywania procedury). Zmienność funkcji $\frac{1}{1+e^{\frac{eval(v_c)-eval(v_n)}{T}}}$ dowodzi, że dla punktów o lepszej wartości funkcji celu prawdopodobieństwo ich wybrania jest większe od 0,5, dla punktów o gorszej wartości funkcji celu — mniejsze od 0,5, dla punktów o tej samej wartości funkcji celu natomiast równe jest 0,5. Im większa wartość parametru T , tym mniejszy wpływ różnicy wartości funkcji celu dla punktów v_c i v_n ; dla $T = 1$, $p = 1$, dla $T \rightarrow +\infty$, $p \rightarrow 0,5$ i wówczas poszukiwanie staje się losowe; dla $T = 1$ metoda **shc** staje się metodą **ihc**. Podobnie jak w metodzie **ihc**, także dla metody **shc** w zrealizowanej implementacji i przeprowadzonych badaniach liczba iteracji MAX określana jest zmienną t_{MAX} .

3.5.3. Simulated annealing (sa)

procedure simulated annealing

begin

$t \leftarrow 0$

inicjalizuj T

wybierz losowo aktualny punkt v_c

oblicz funkcję celu $eval$ dla v_c

repeat

repeat

 wybierz nowy punkt v_n z sąsiedztwa punktu v_c

if $eval(v_c) < eval(v_n)$

then $v_c \leftarrow v_n$

else if $random[0,1) < \frac{1}{1+e^{\frac{eval(v_c)-eval(v_n)}{T}}}$

then $v_c \leftarrow v_n$

until (warunek zakończenia)

$T \leftarrow g(T,t)$

$t \leftarrow t + 1$

until (warunek przerywania)

end

Metoda **sa** bazuje na analogii z termodynamiki, na zmniejszaniu temperatury przy schładzaniu kryształów; temperatura nie może być zmniejszana zbyt gwałtownie, grozi to bowiem pojawianiem się nieregularności w kryształach a energia kryształu jest wyższa niż w idealnym kryształ. Podobne zjawiska obserwować można w metalurgii przy schładzaniu metali.

Algorytm **sa** wymaga zdefiniowania zmiennych T , funkcji $g(T,t)$ oraz warunków zakończenia i przerywania (w tym parametru T_{min} oraz kT określających odpowiednio „temperaturę minimalną” przy której procedura kończy działanie oraz liczbę iteracji pętli wewnętrznej).

Zasada działania opiera się na poszukiwaniu optymalnych punktów w sąsiedztwie punktu v_c — punkt v_n staje się punktem v_c jeżeli wartość funkcji celu $eval$ jest lepsza dla v_n lub z pewnym prawdopodobieństwem, analogicznie jak dzieje się to w metodzie **shc**. Wpływ na prawdopodobieństwo ma parametr T , który ulega zmianie podczas wykonywania procedury, poczynając od $T = T_{max}$. W odróżnieniu od metody **shc**, w metodzie **sa** zmiana parametru T następuje podczas działania procedury. Ponadto zawsze przyjmowany jest nowy punkt, o ile jest lepszy od bieżącego.

W zrealizowanej implementacji pętla wewnętrzna wykonywana jest kT razy, po czym, po zmniejszeniu wartości t o 1 wartość T ulega zmniejszeniu do $0,8 \cdot T$. Pętla zewnętrzna wykonywana jest dopóki $T \geq T_{min}$.

3.5.4. Exhaustive search (enum)

procedure exhaustive search

begin

$t \leftarrow 0$

for each v_c **in** search space (\mathcal{D})


```
    oblicz funkcję celu eval dla  $v_c$   
     $t \leftarrow t + 1$   
until  $t = MAX$   
end
```

Metoda ta to proste obliczanie wartości funkcji celu *eval* dla każdej wartości $v_c \in \mathcal{D}$, dopóki nie zostanie odnalezione najlepsze globalne rozwiązanie. Wadą tej metody jest jej duża złożoność obliczeniowa, wprost zależna od wielkości \mathcal{D} ; w powyższym przykładzie liczba obliczeń wynosi *MAX*, gdzie *MAX* jest rozmiarem \mathcal{D} . Zaletą metody jest jej duża prostota.

W badaniach symulacyjnych przedstawionych w rozdziale 4 metoda ta służy jako punkt odniesienia przy badaniach pozostałych metod optymalizacji oraz jako metoda dokładna przy badaniu wpływu pozostałych parametrów metody.

Rozdział 4

Wyniki badań symulacyjnych

Rozdział niniejszy prezentuje wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych potwierdzających możliwość wykorzystania globalnego wskaźnika jakości GQ do oceny wydajności projektowanej sieci. Zastosowanie metod optymalizacji, jakkolwiek nie jest to głównym celem pracy, pokazuje jednak możliwość uzyskania optymalnego zestawu elementów sieciowych, dla zadanych uprzednio parametrów wejściowych. Przez „wydajność” projektowanej sieci rozumiane jest tutaj kryterium będące wypadkową wskaźników jakości branych pod uwagę, a dobranych w prezentowanych wcześniej modelach sieci LAN i WLAN. W dużej mierze adekwatność GQ i „wydajności” zależy od zastosowanego systemu wag, które projektant powinien dobrać tak, aby odzwierciedlały względną istotność w odniesieniu do konkretnych wskaźników jakości.

Na rozdział niniejszy składają się cztery podrozdziały. Pierwszy z nich zawiera opis algorytmów stosowanych w badaniach symulacyjnych, drugi — rozważania dotyczące zastosowania globalnego wskaźnika jakości do oceny wydajności projektowanej sieci, dwa kolejne natomiast zawierają zasadniczą treść rozdziału tj. opis przeprowadzonych symulacji. Mając na uwadze czytelność rozdziału, materiał źródłowy (tabele z wynikami badań) zamieszczony został w dodatku A, stanowi on jednakże integralny element pracy. Dla większej czytelności zrezygnowano także z umieszczania oznaczeń jednostek w których są wyrażane parametry elementów sieciowych, parametry wymagane przez modele sieci oraz wskaźniki jakości sieci, zarówno przy podawaniu parametrów wykorzystanych w konkretnych badaniach, jak i w danych zestawionych w tabelach. Jednostki te są następujące: dla modelu sieci LAN — q_1 [s], q_2 [PLN], q_3 [0 ... 1], q_4 [0 ... 1], $q_{1N} \dots q_{4N}$ [0 ... 1], $ruch$ [b], q_{1min} [s], q_{1max} [s], q_{2min} [PLN], q_{2max} [PLN]; dla modelu sieci WLAN — q_1 [m], q_2 [PLN], q_3 [0 ... 1], $q_{1N} \dots q_{3N}$ [0 ... 1], r_1 [PLN], s_1 [PLN], t_1 [PLN], r_2 [0 ... 1], s_2 [0 ... 1], t_2 [0 ... 1], r_3 [dBm], r_4 [dBm], s_3 [dBm], s_4 [dBm], t_3 [dBi], ΔP [dB], l_{min} [m], q_{1min} [m], q_{1max} [m], q_{2min} [PLN], q_{2max} [PLN]; pozostałe parametry są niemianowane.

4.1. Algorytm zastosowany w badaniach symulacyjnych

Aby dowieść poprawności funkcjonowania metody pdLAN, wykonano badania symulacyjne oparte o zaprezentowane w rozdziale 3 modele sieci. Badania przeprowadzono w środowisku MATLAB w oparciu o następujący algorytm:

1. Zadanie parametrów przez użytkownika (projektanta);
2. Obliczenie wskaźników jakości i sprawdzenie założeń;
3. Obliczenie globalnego wskaźnika jakości GQ ;
4. Optymalizacja.

Zadawane w pierwszym kroku parametry są odmienne dla badań dla sieci LAN oraz WLAN.

Dla sieci LAN parametrami są: N , P , l_1 , l_2 , q_{1max} , q_{2max} , q_{1min} , q_{2min} , $ruch$. Na podstawie parametru N oraz P oraz założenia o równomiernym rozmieszczeniu stacji w segmentach tworzona jest macierz R , kolejno budowana jest macierz A , w oparciu o parametr $ruch$ specyfikujący ruch generowany przez każdą ze stacji. Mając do dyspozycji macierze R oraz A tworzona jest macierz S .

Dla sieci WLAN parametrami są: N , ΔP , l_{min} , q_{1max} , q_{2max} , q_{1min} , q_{2min} .

Drugim krokiem jest obliczenie wskaźników jakości, $q_1 \dots q_4$ dla sieci LAN, bądź $q_1 \dots q_3$ dla sieci WLAN. Sprawdzane są też założenia podane przez projektanta tzn. ograniczenia q_{1max} , q_{2max} , a dla sieci WLAN również wymaganie q_{1min} . Jeżeli dana kombinacja elementów sieciowych nie spełnia wymagań i ograniczeń, wskaźniki jakości przyjmują wartość 0, co pociąga za sobą $GQ = 0$.

Na trzecim kroku obliczany jest globalny wskaźnik jakości GQ . W badaniach obliczano GQ dla dwóch omawianych zależności: ważonej sumy oraz wskaźnika opartego na funkcji potęgowej. W dalszej części rozważań oznaczane są one odpowiednio: $GQ1$ oraz $GQ2$.

Czwarty krok to optymalizacja. Praktycznie, dla metody **enum** w pętli obliczane są wartości wskaźników jakości oraz globalnego wskaźnika jakości GQ dla wszystkich kombinacji elementów sieciowych. Metody **ihc**, **shc** oraz **sa** natomiast obejmują już krok drugi i trzeci od pierwszej iteracji, przekazując parametry konkretnej kombinacji elementów sieciowych. Metody te korzystają z procedury obliczającej GQ i na bazie jego wartości podejmują decyzje dotyczące optymalizacji. Możliwe jest więc połączenie kroków 2–4 w jeden, integrujący wspomniane operacje.

Program oparty o powyższy algorytm ma do dyspozycji bazę danych z parametrami urządzeń sieciowych (dodatek B).

4.2. Wykorzystanie globalnego wskaźnika jakości GQ do oceny wydajności projektowanej sieci

Możliwość wykorzystania globalnego wskaźnika jakości GQ do oceny wydajności sieci w procesie jej parametrycznego projektowania jest tezą niniejszej rozprawy. Wykorzystanie takie (dla sieci LAN) pokazano w pracy [36], jednak dokonano tego dla małego rozmiaru zadania tzn. dla małej liczby urządzeń sieciowych. Poniżej przedstawiono tabele z zestawieniem wybranych kombinacji UG, US oraz OK (dla sieci LAN) bądź SR, AP i AN (dla sieci WLAN), wskaźników jakości $q_1 \dots q_4$ (dla sieci LAN) bądź $q_1 \dots q_3$ (dla sieci WLAN), znormalizowanych wskaźników jakości $q_{1N} \dots q_{4N}$ (dla sieci LAN) bądź $q_{1N} \dots q_{3N}$ (dla sieci WLAN), oraz wartości globalnego wskaźnika jakości dla dwóch prezentowanych zależności $GQ1$ oraz $GQ2$.

4.2.1. GQ dla sieci LAN

Tabela A.1 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 23$, $P = 2$, $l_1 = 30$, $l_2 = 50$, $q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}$, $q_{2max} = 25000$, $q_{1min} = 0$, $q_{2min} = 0$, $ruch = 512$, $w_1 = 0,2$, $w_2 = 0,6$, $w_3 = 0,1$, $w_4 = 0,1$.

Zmienność znormalizowanych wskaźników jakości oraz globalnego wskaźnika jakości przedstawiają wykresy¹ na rysunkach: 4.1 oraz 4.2.

Wnioski

Dla wszystkich wartości wskaźników jakości wartości $GQ1$ oraz $GQ2$ zmieniają się podobnie. Wyraźnie zauważyć można duży wpływ wag na zachowanie GQ , konkretnie dla kombinacji 3 i 5, gdy wartość q_{2N} (dla którego $w_2 = 0,6$) jest niska, maleje też wartość GQ , dla kombinacji 4 natomiast, wraz ze znacznym wzrostem q_{2N} rośnie wartość GQ .

4.2.2. GQ dla sieci WLAN

Tabela A.2 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

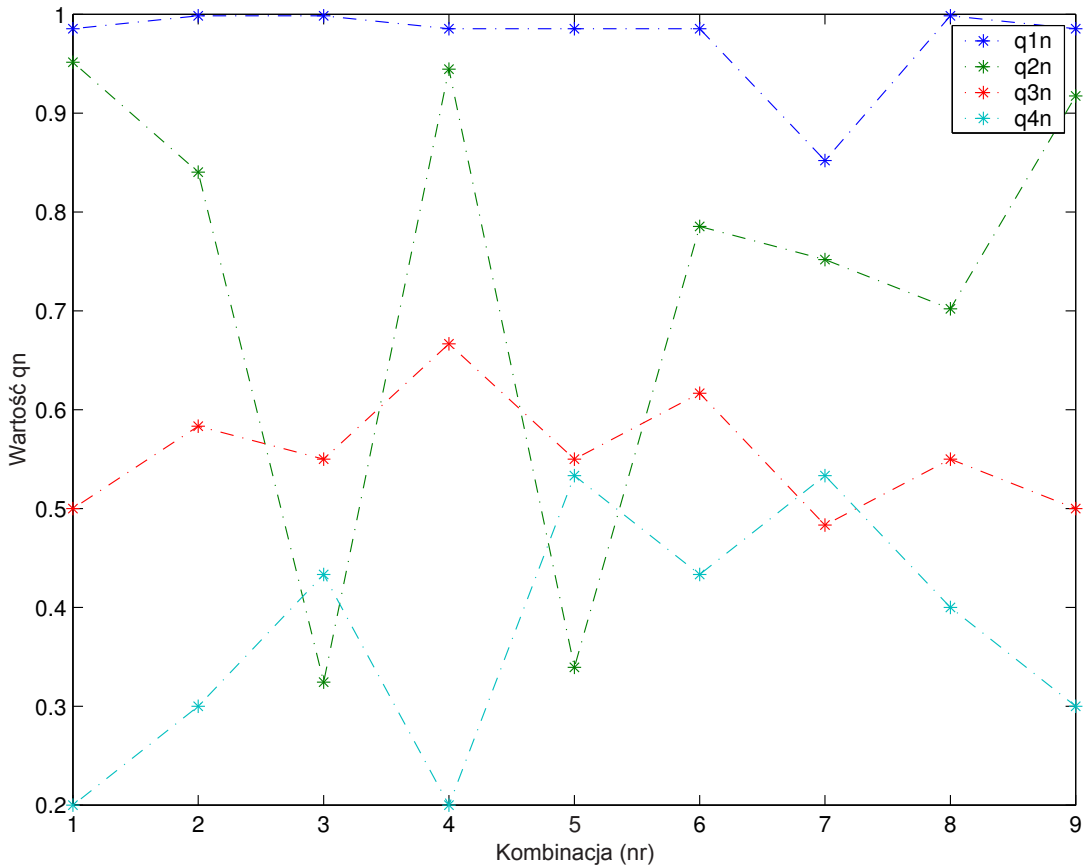
- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.10, B.13, B.16),
- $N = 5$, $\Delta P = 3$, $l_{min} = 150$, $q_{1max} = 10000$, $q_{1min} = l_{min}$, $q_{2max} = 5000$, $q_{2min} = 0$, $w_1 = 0,4$, $w_2 = 0,4$, $w_3 = 0,2$.

Zmienność znormalizowanych wskaźników jakości oraz globalnego wskaźnika jakości przedstawiają wykresy na rysunkach: 4.3 oraz 4.4.

¹ przerywane linie na wszystkich wykresach mają jedynie wartość pomocniczą i nie należy interpretować ich jako ciągłości zmiennych

Wnioski

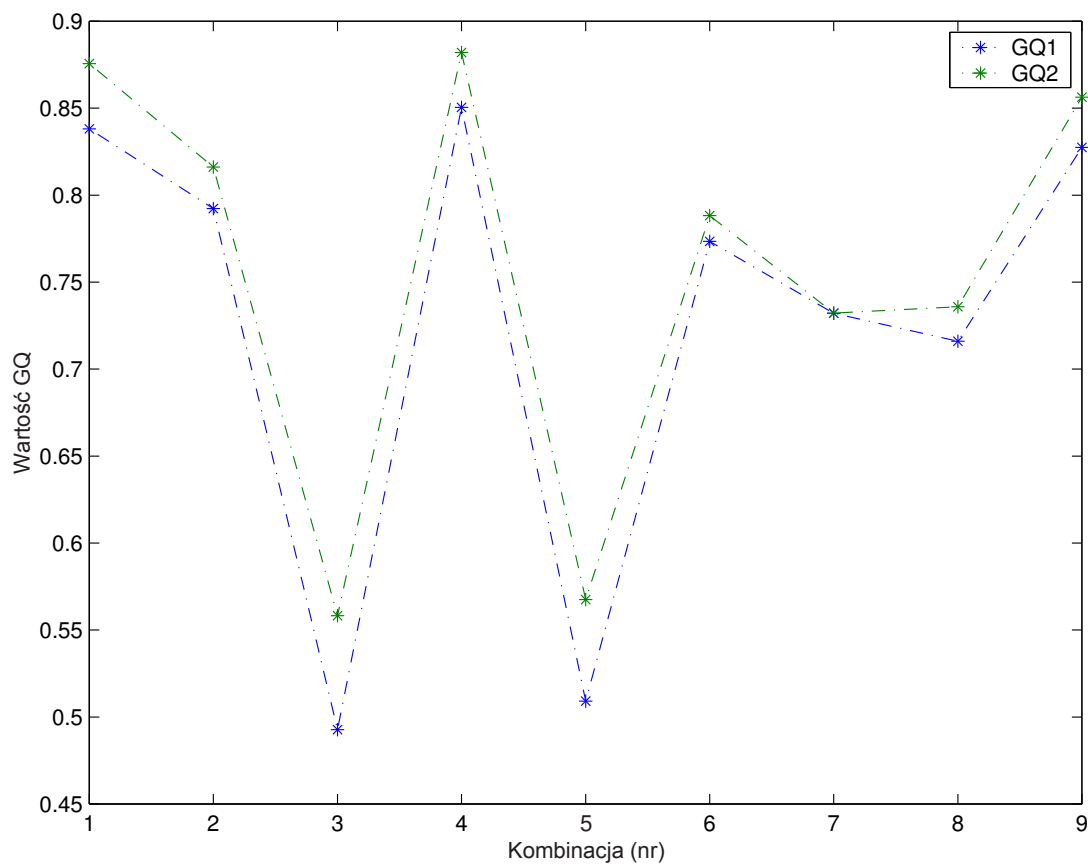
Podobnie jak dla sieci LAN, widać tutaj silny wpływ wag na wartość GQ , zwłaszcza dla kombinacji 1 i 2, dla niskich wartości q_{1N} uzyskuje się niską wartość GQ , która rośnie dla kombinacji 3 i 4, wraz ze wzrostem wartości q_{1N} . Inaczej niż dla sieci LAN, zauważalne stają się różnice pomiędzy $GQ1$ i $GQ2$: dla sytuacji dużych rozrzutów wartości wskaźników jakości (kombinacje: 2, 6, 10) widać również duże różnice pomiędzy wartościami $GQ1$ i $GQ2$.



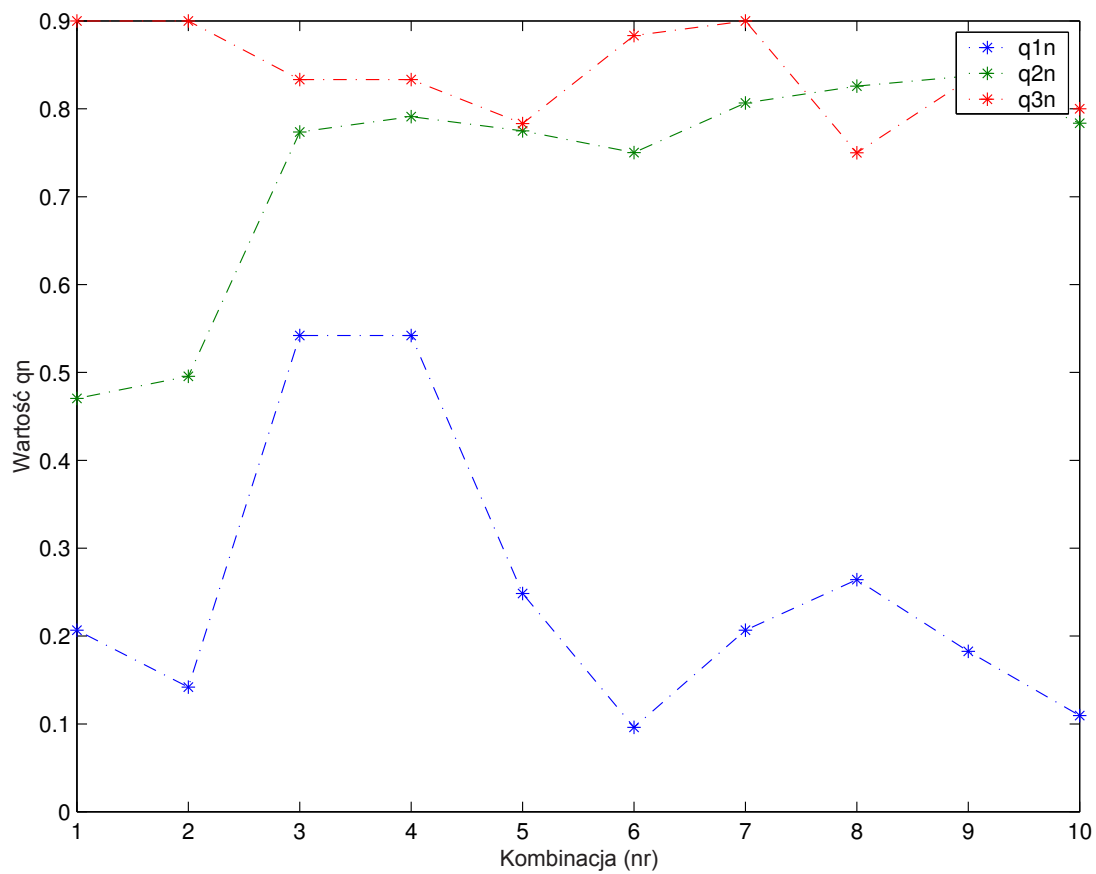
Rysunek 4.1. Zmienność znormalizowanych wskaźników jakości (LAN)

4.2.3. $GQ1$ a $GQ2$

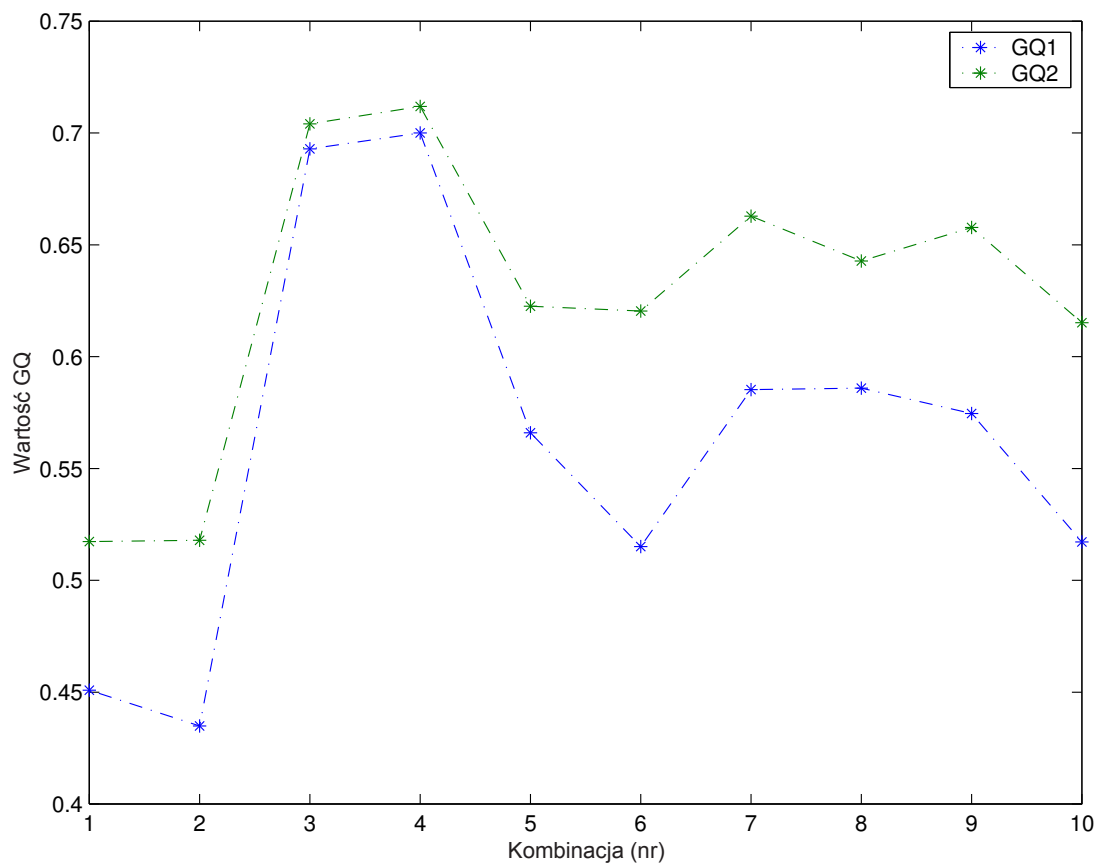
W publikacji [36] pokazano zmienność $GQ1$ oraz $GQ2$ dla skrajnego przypadku gdy wartości trzech wskaźników jakości dążą do 1, czwarty natomiast dąży do 0. W tym miejscu warto zaprezentować jedynie wykresy to obrazujące (rysunki: 4.5 oraz



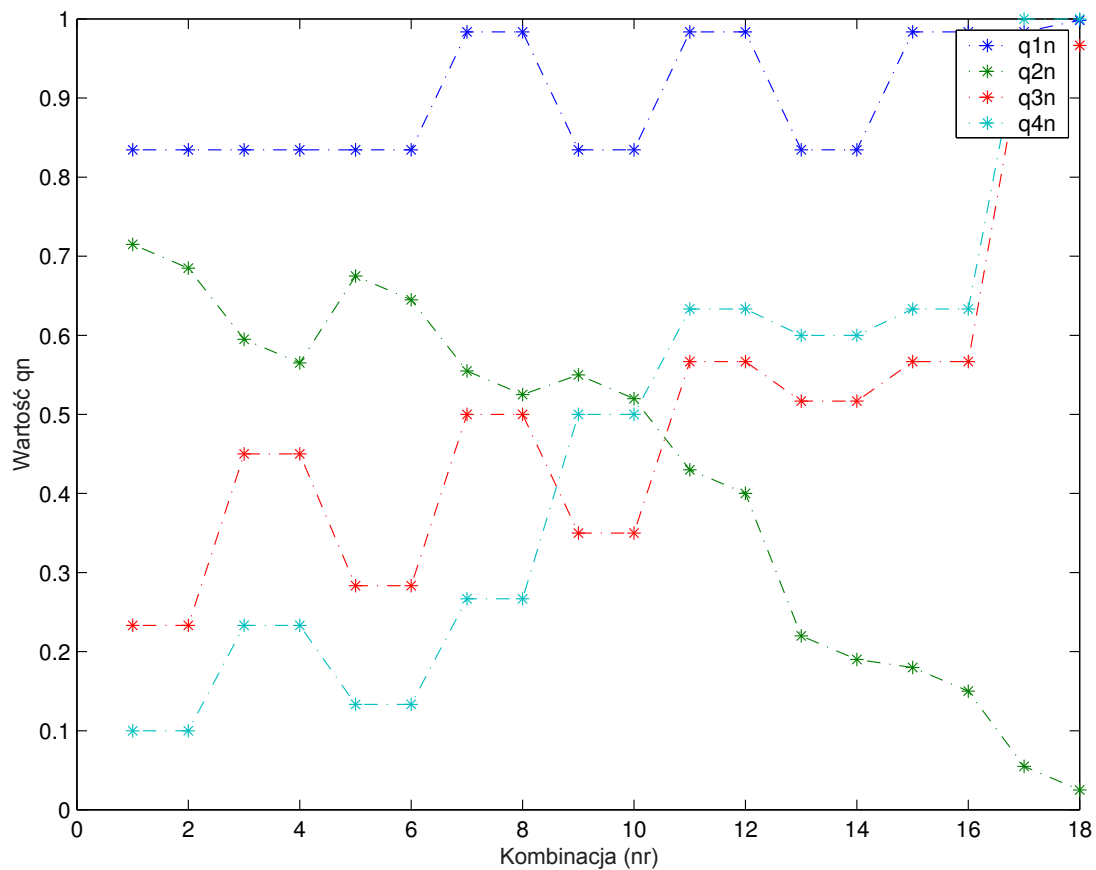
Rysunek 4.2. Zmienność globalnego wskaźnika jakości (LAN)



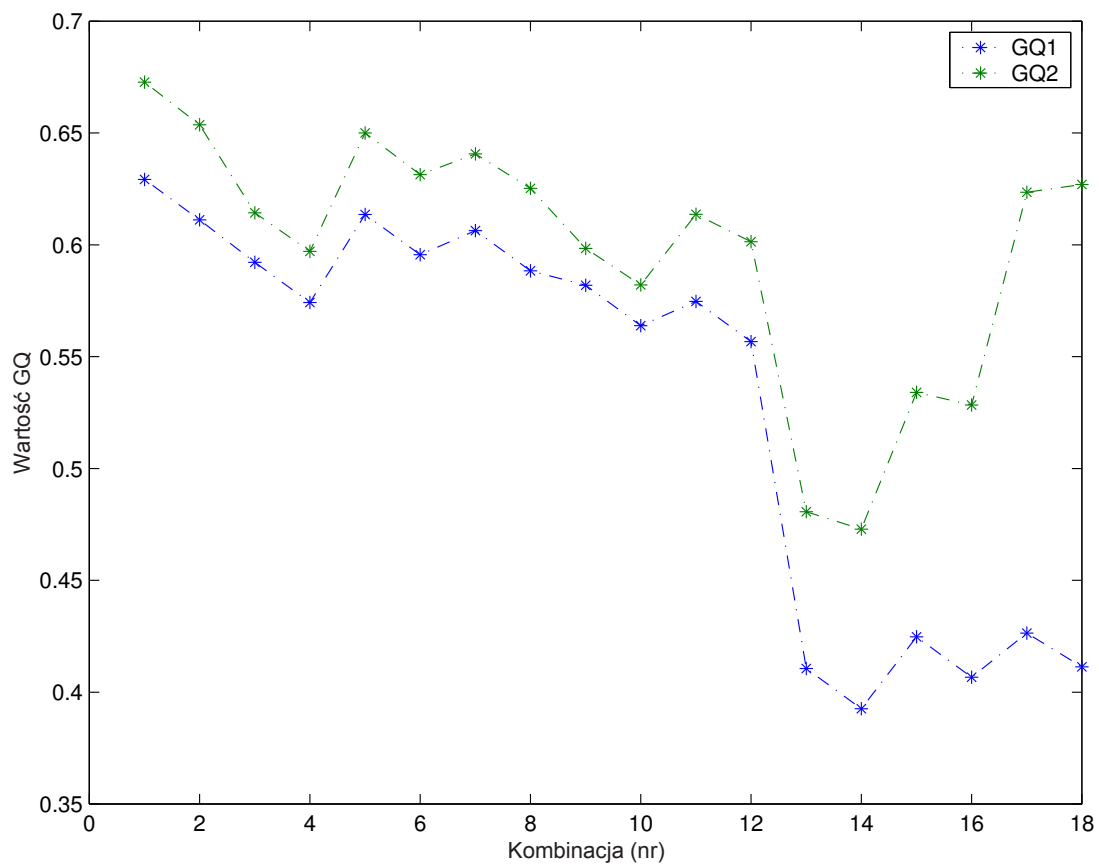
Rysunek 4.3. Zmienność znormalizowanych wskaźników jakości (WLAN)



Rysunek 4.4. Zmienność globalnego wskaźnika jakości (WLAN)



Rysunek 4.5. Zmienność znormalizowanych wskaźników jakości [36]



Rysunek 4.6. Zmienność globalnego wskaźnika jakości [36]

4.6). Dla malejącej wartości q_{2N} (dla którego jest też najwyższa wartość przypisanej wagi) a rosnących wartościach pozostałych wskaźników jakości obserwujemy przyrost wartości $GQ2$ przy malejącym $GQ1$. Dowodzi to wspomianej w podrozdziale 2.9.4 niekorzystnej cechy syntetycznego wskaźnika jakości budowanego na bazie funkcji potęgowej.

4.3. Badania dla modelu sieci LAN

Badania dla modelu sieci LAN obejmują:

- zmianę rozmiaru sieci (parametry N i P),
- zmianę ruchu w sieci (parametr *ruch* wpływający na A),
- zmianę parametru q_{1max} ,
- zmianę parametru q_{2max} ,
- dobór wag ($w_1 \dots w_4$).

4.3.1. Zmiana rozmiaru sieci (parametry N i P)

Tabela A.3 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $l_1 = 30$, $l_2 = 50$, $q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}$, $q_{2max} = 25000$, $q_{1min} = 0$, $q_{2min} = 0$, $ruch = 512$, $w_1 = 0,2$, $w_2 = 0,6$, $w_3 = 0,1$, $w_4 = 0,1$.

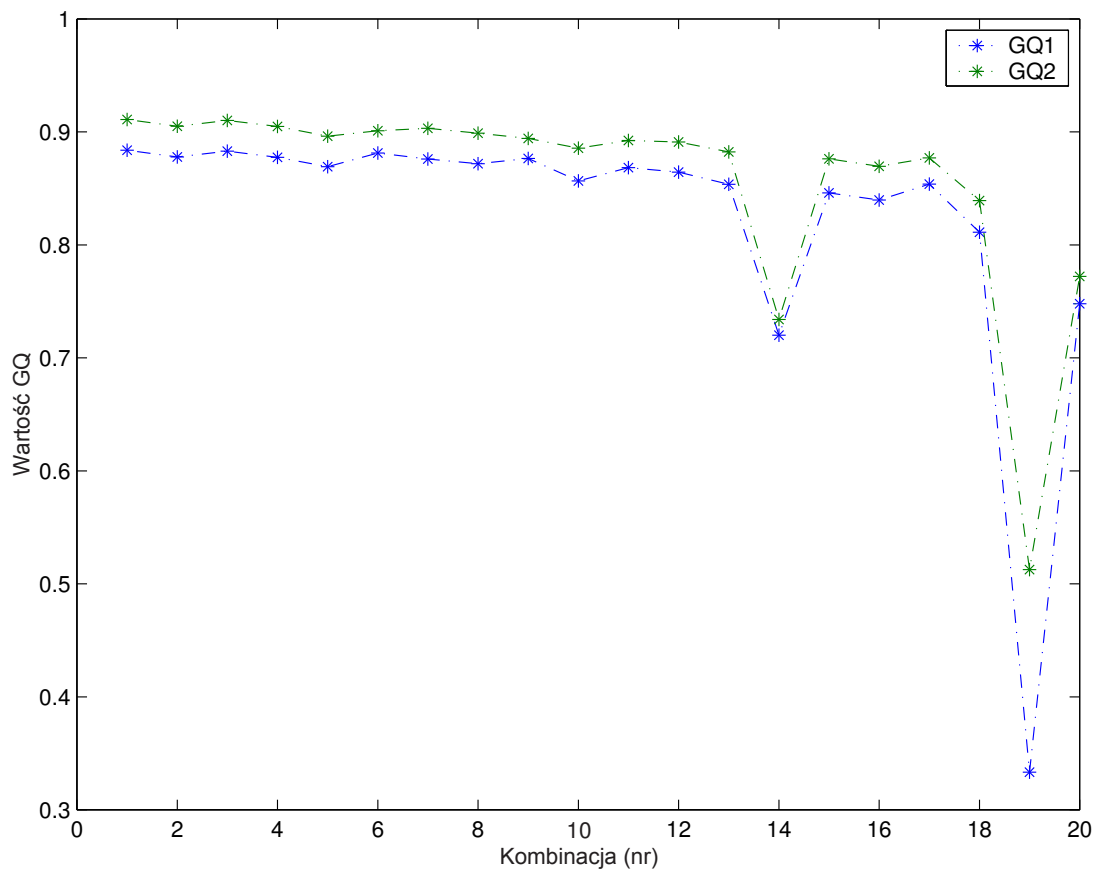
Badania przeprowadzono dla kilku wartości $N = 2$ do $N = 32$ dla $P = 1 \dots 4$. Zmienność GQ przy zmianie rozmiaru sieci pokazana jest na wykresie (rysunek 4.7).

Wnioski

Poza dwoma wyjątkami dość dużego spadku wartości GQ (dla $N = 32$, $P = 1$ oraz $N = 117$, $P = 3$, kiedy to drastycznie spadała wartość q_{2N} , najbardziej istotnego wskaźnika jakości) można zaobserwować powolne zmniejszanie się wartości GQ (zarówno $GQ1$ jak i $GQ2$) dla rosnącego rozmiaru sieci. Celem sprawdzenia jak metoda „radzi” sobie z nietypowymi rozmiarami sieci zastosowano dodatkowe zestawy parametrów: $N = 23$ i $P = 2$, $N = 71$ i $P = 4$, $N = 117$ i $P = 3$ oraz $N = 157$ i $P = 7$. Parametry $N = 23$ i $P = 2$, $N = 71$ i $P = 4$ oraz $N = 157$ i $P = 7$ opisujące odpowiednio małą, średnią i dużą sieć LAN zastosowane zostały w dalszych badaniach.

4.3.2. Zmiana wielkości ruchu w sieci (parametr *ruch* wpływający na A)

Badania wpływu zmiany ruchu w sieci przeprowadzono dla trzech wielkości sieci: małej ($N = 23$, $P = 2$), średniej ($N = 71$, $P = 4$) oraz dużej ($N = 157$ i $P = 7$). Parametr *ruch* staje się elementem $a_{i,j}$ macierzy A dla $0 \leq i, j \leq N$, $a_{k,k} = 0$ dla $0 \leq k \leq N$.

Rysunek 4.7. Zmienność GQ przy zmianie rozmiaru sieci (LAN)

$$N = 23, P = 2$$

Tabela A.4 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4 B.5, B.7),
- $N = 23, P = 2, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}, q_{2max} = 25000, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, w_1 = 0,2, w_2 = 0,6, w_3 = 0,1, w_4 = 0,1.$

$$N = 71, P = 4$$

Tabela A.5 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 71, P = 4, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}, q_{2max} = 25000, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, w_1 = 0,2, w_2 = 0,6, w_3 = 0,1, w_4 = 0,1.$

$$N = 157, P = 7$$

Tabela A.6 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 157, P = 7, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}, q_{2max} = 25000, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, w_1 = 0,2, w_2 = 0,6, w_3 = 0,1, w_4 = 0,1.$

Wnioski

Dla obu zależności globalnego wskaźnika jakości uzyskujemy podobny spadek wartości GQ rzędu 0,05–0,15. Ponadto zaobserwować można fakt, że dla większych sieci wartość GQ jest mniejsza niż dla mniejszych sieci oraz że przy mniejszym ruchu następuje wyżej odnotowany spadek wartości GQ . Zmienność GQ przy zmianie rozmiaru ruchu w sieci pokazana jest na wykresach — rysunki: 4.8, 4.9 oraz 4.10.

Wiersze tabeli z brakującymi wartościami wskaźników jakości („—”) oznaczają, że żadna kombinacja elementów sieciowych nie spełnia założeń.

4.3.3. Zmiana parametru q_{1max}

Badania wpływu zmiany parametru q_{1max} przeprowadzono dla trzech wielkości sieci: małej ($N = 23, P = 2$), średniej ($N = 71, P = 4$) oraz dużej ($N = 157$ i $P = 7$).

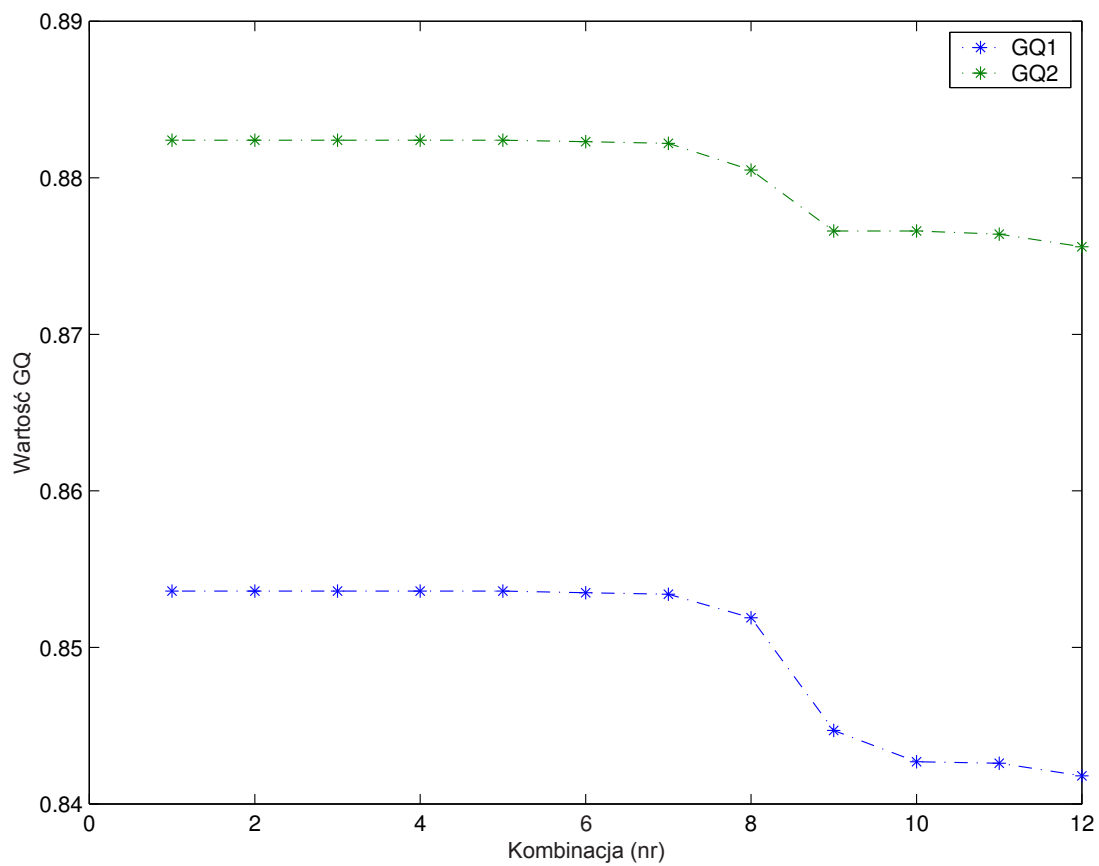
$$N = 23, P = 2$$

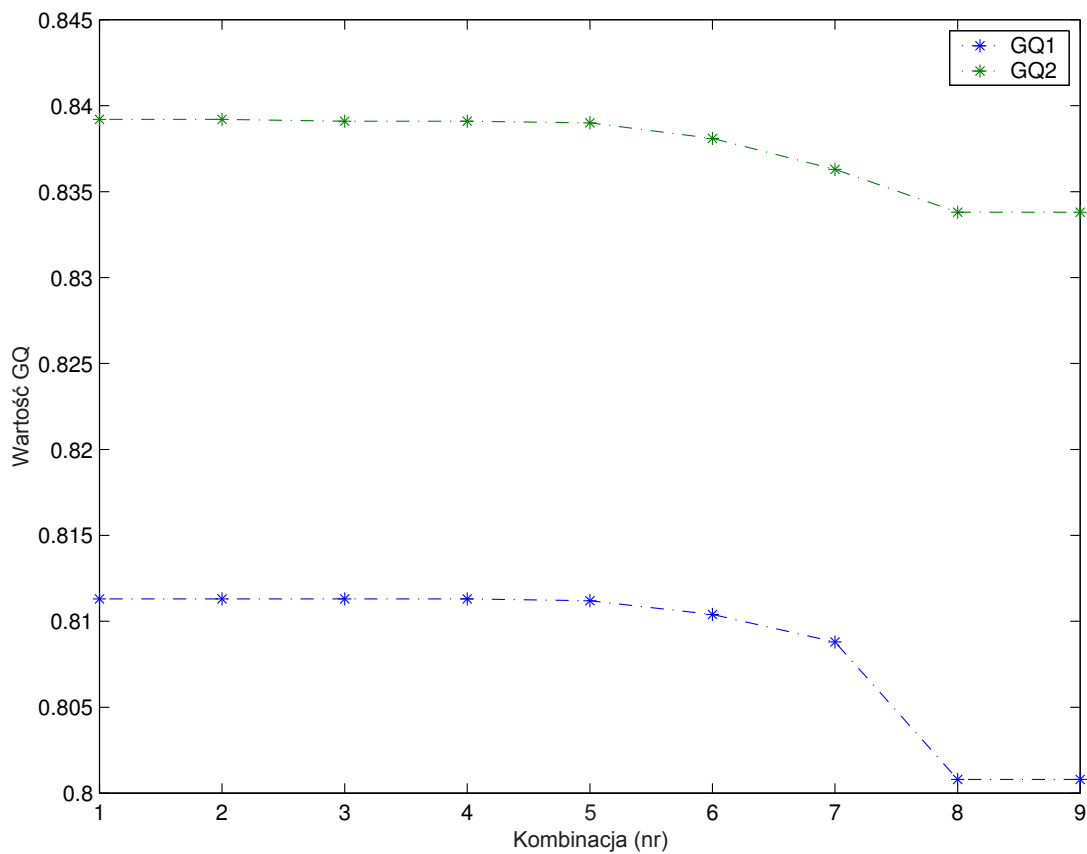
Tabela A.7 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 23, P = 2, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{2max} = 25000, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, ruch = 512, w_1 = 0,2, w_2 = 0,6, w_3 = 0,1, w_4 = 0,1.$

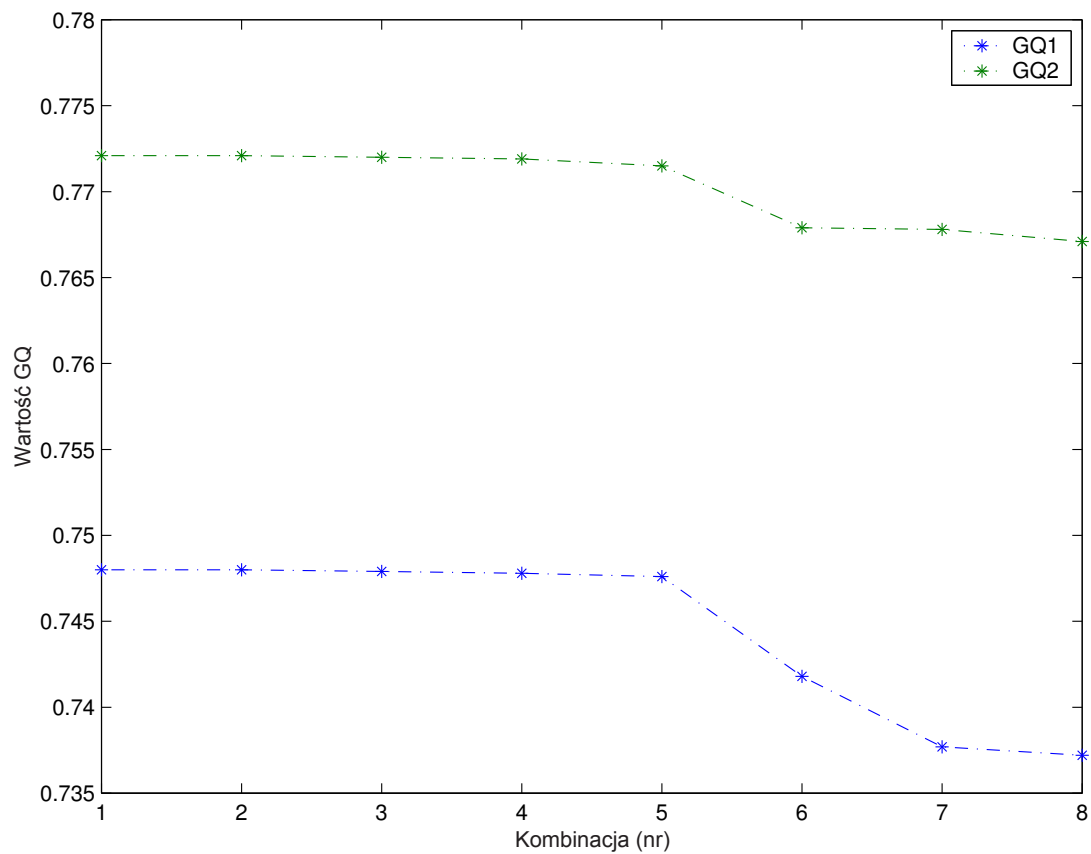
$$N = 71, P = 4$$

Tabela A.8 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

Rysunek 4.8. Zmienność GQ przy zmianie ruchu w sieci ($N = 23$, $P = 2$)



Rysunek 4.9. Zmienność GQ przy zmianie ruchu w sieci ($N = 71$, $P = 4$)



Rysunek 4.10. Zmienność GQ przy zmianie ruchu w sieci ($N = 157$, $P = 7$)

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 71, P = 4, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{2max} = 25000, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, ruch = 512, w_1 = 0,2, w_2 = 0,6, w_3 = 0,1, w_4 = 0,1$.

$N = 157, P = 7$

Tabela A.9 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 157, P = 7, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{2max} = 25000, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, ruch = 512, w_1 = 0,2, w_2 = 0,6, w_3 = 0,1, w_4 = 0,1$.

Wnioski

Rosnące wymagania na opóźnienie powodują zmniejszanie wskaźnika jakości q_{1N} , co pociąga także zmniejszanie się GQ . Zarówno $GQ1$ jak i $GQ2$ wykazują podobną zmienność. Podobnie jak w przypadku parametru A , także tutaj wiersze tabeli z brakującymi wartościami wskaźników jakości („—”) oznaczają, że żadna kombinacja elementów sieciowych nie spełnia założeń.

4.3.4. Zmiana parametru q_{2max}

Badania wpływu zmiany parametru q_{1max} przeprowadzono dla trzech wielkości sieci: małej ($N = 23, P = 2$), średniej ($N = 71, P = 4$) oraz dużej ($N = 157$ i $P = 7$).

$N = 23, P = 2$

Tabela A.10 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 23, P = 2, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, ruch = 512, w_1 = 0,2, w_2 = 0,6, w_3 = 0,1, w_4 = 0,1$.

$N = 71, P = 4$

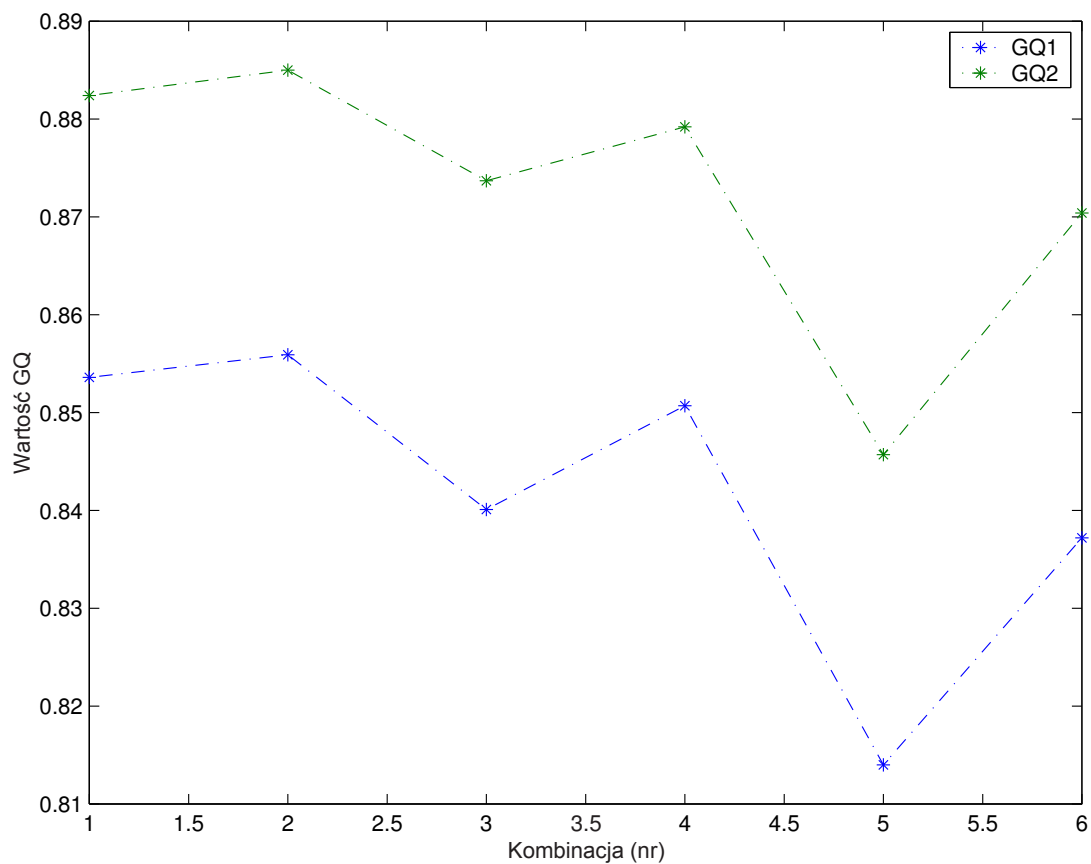
Tabela A.11 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 71, P = 4, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, ruch = 512, w_1 = 0,2, w_2 = 0,6, w_3 = 0,1, w_4 = 0,1$.

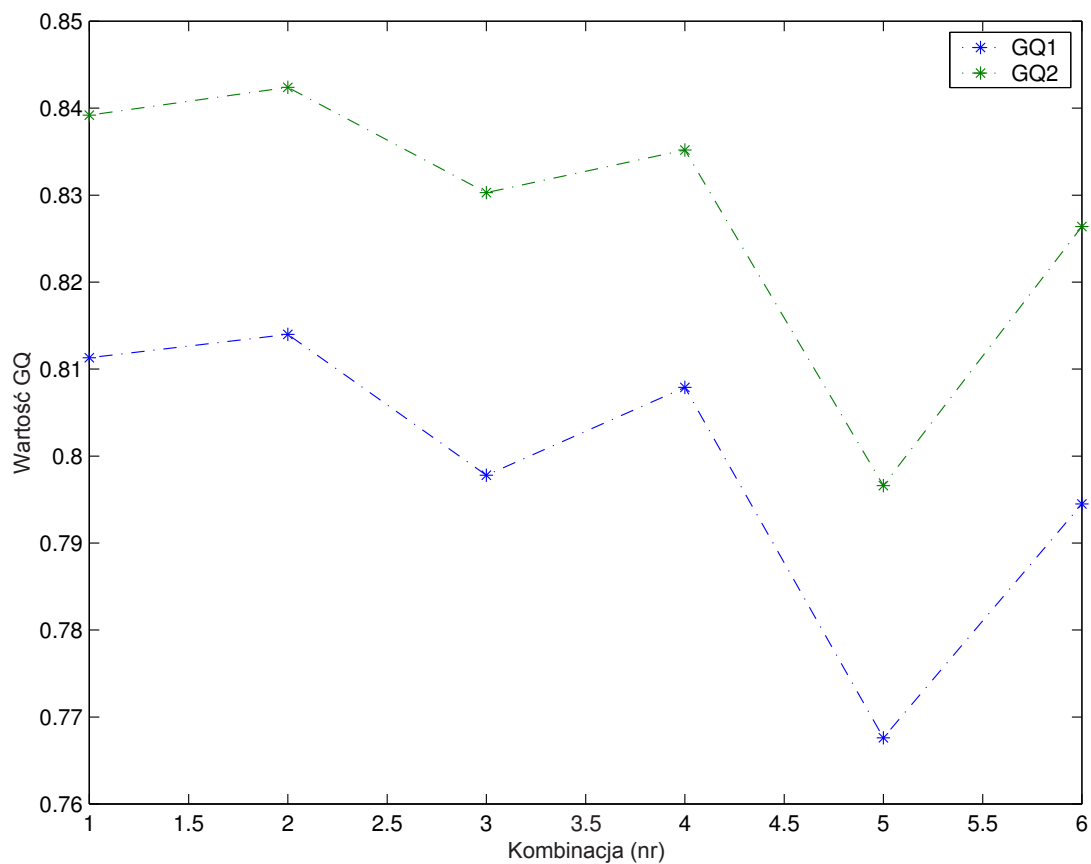
$N = 157, P = 7$

Tabela A.12 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

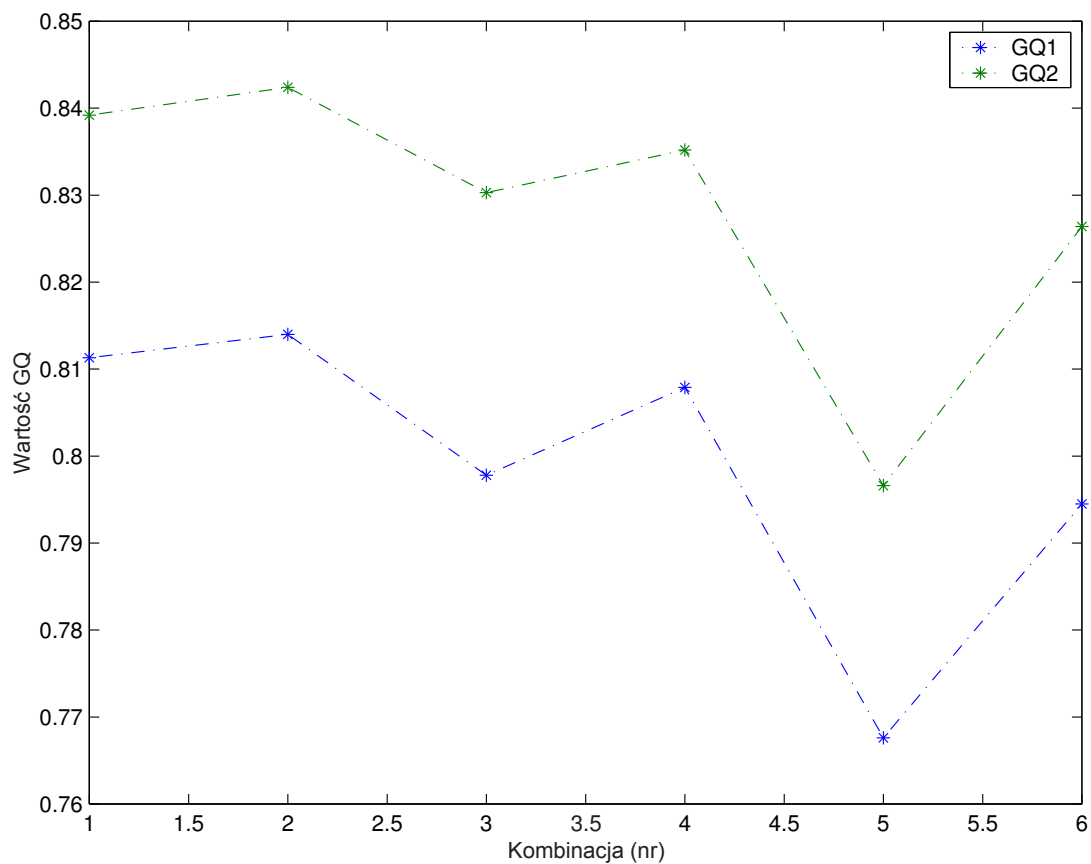
- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 157, P = 7, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, ruch = 512, w_1 = 0,2, w_2 = 0,6, w_3 = 0,1, w_4 = 0,1$.



Rysunek 4.11. Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{1max} ($N = 23$, $P = 2$)



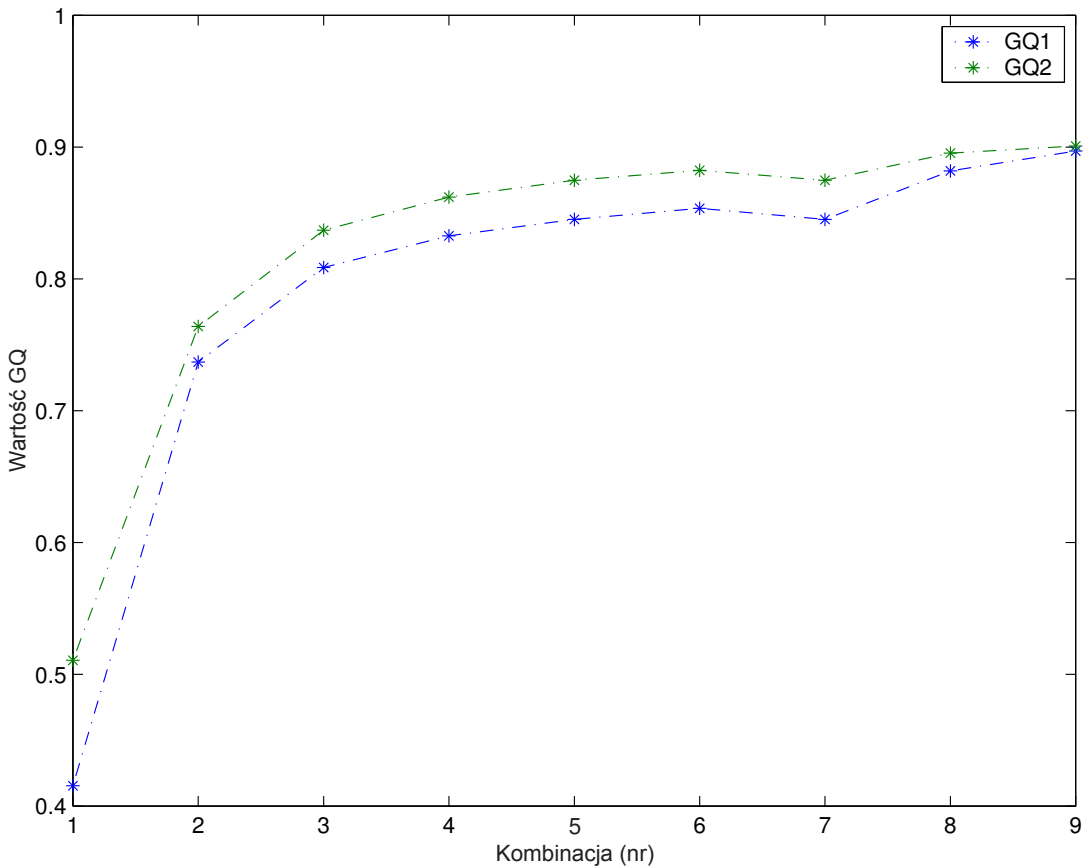
Rysunek 4.12. Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{1max} ($N = 71$, $P = 4$)



Rysunek 4.13. Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{1max} ($N = 157, P = 7$)

Wnioski

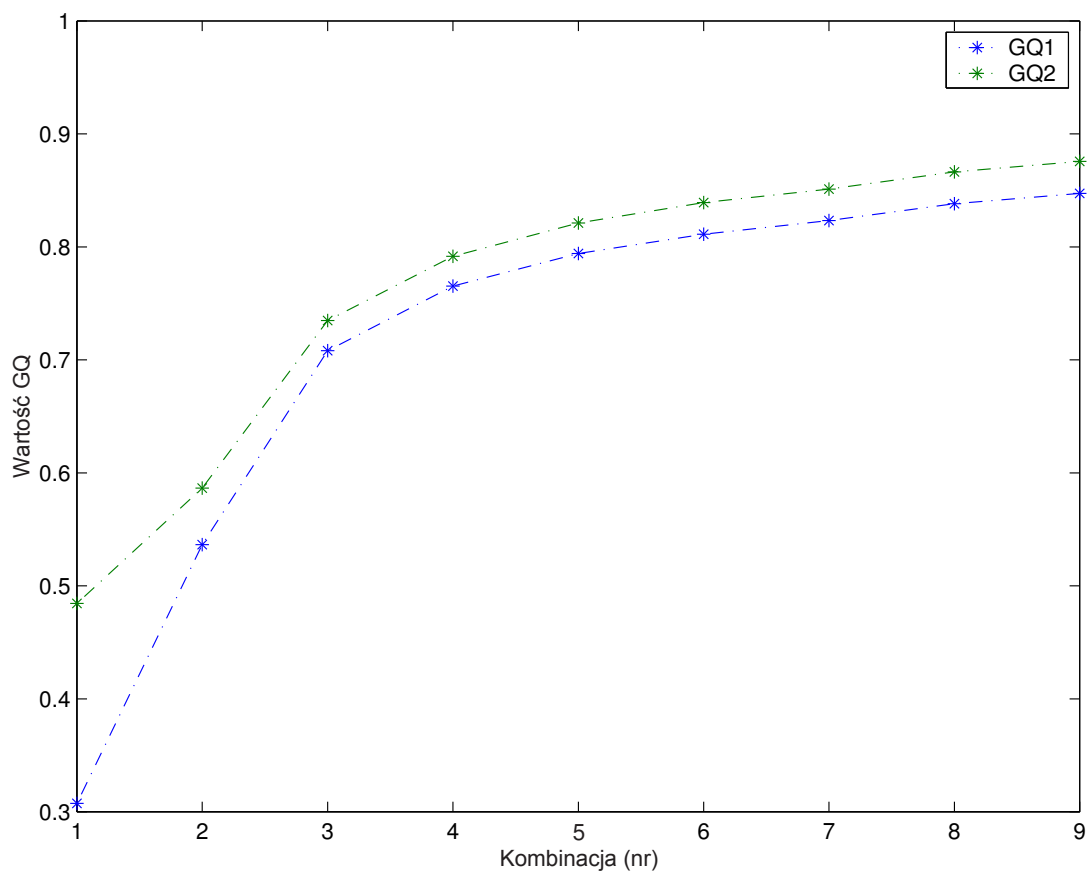
Rosnąca wartość q_{2max} oznacza większe możliwe nakłady na budowę sieci. Oczywiście jest więc, że jeśli będzie to brane pod uwagę w ramach zintegrowanego wskaźnika jakości, wraz ze wzrostem możliwości finansowych użytkownika (projektanta), rosnać będzie także globalny wskaźnik jakości. Dane zebrane w tabelach i przedstawione na wykresach to potwierdzają: wzrost q_{2max} powoduje znaczne zwiększenie wartości GQ , niezależnie od tego, czy jest to $GQ1$, czy $GQ2$.



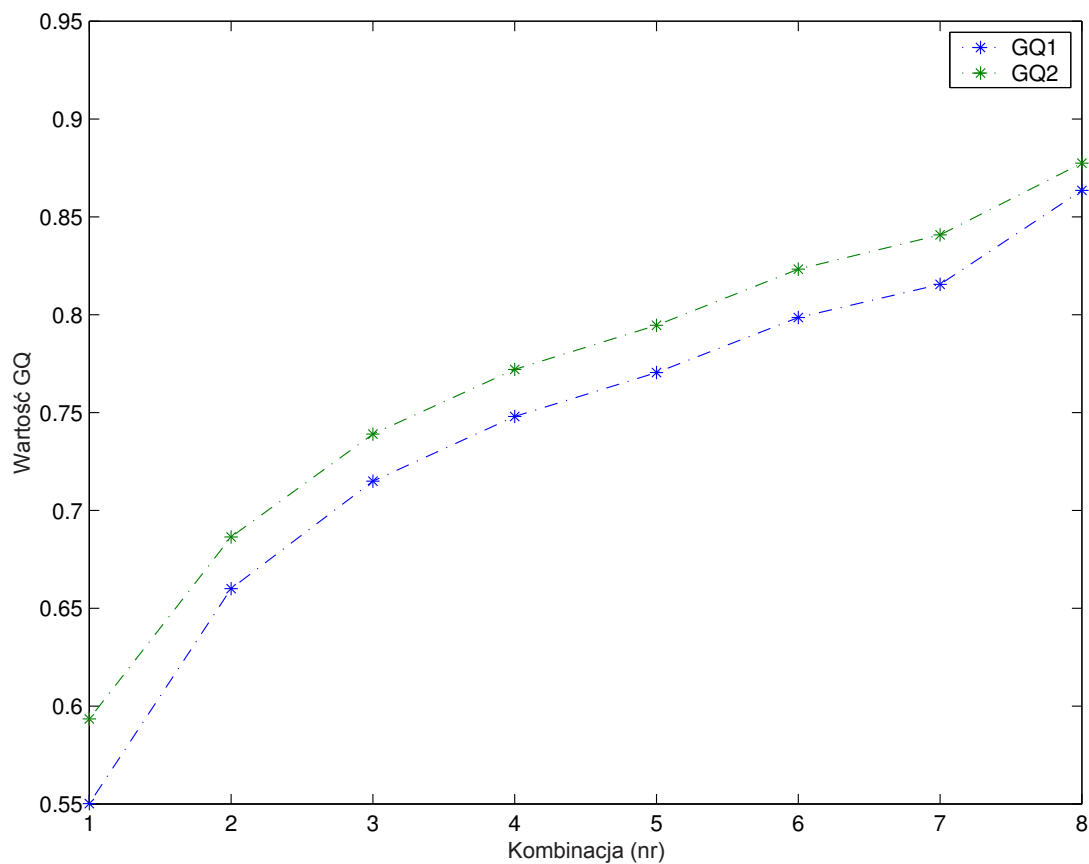
Rysunek 4.14. Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{2max} ($N = 23$, $P = 2$)

4.3.5. Dobór wag $w_1 \dots w_4$

Badania wpływu doboru wag przeprowadzono dla trzech wielkości sieci: małej ($N = 23$, $P = 2$), średniej ($N = 71$, $P = 4$) oraz dużej ($N = 157$ i $P = 7$).



Rysunek 4.15. Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{2max} ($N = 71$, $P = 4$)



Rysunek 4.16. Zmienność GQ przy zmianie parametru q_{2max} ($N = 157$, $P = 7$)

$$N = 23, P = 2$$

Tabela A.13 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 23, P = 2, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}, q_{2max} = 25000, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, ruch = 512$.

$$N = 71, P = 4$$

Tabela A.14 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 71, P = 4, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}, q_{2max} = 25000, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, ruch = 512$.

$$N = 157, P = 7$$

Tabela A.15 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 157, P = 7, l_1 = 30, l_2 = 50, q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}, q_{2max} = 25000, q_{1min} = 0, q_{2min} = 0, ruch = 512$.

Wnioski

Dla wszystkich przypadków widać wpływ jaki powoduje umiejętnie dokonany wybór wag wskazujących preferencje użytkownika (projektanta) wobec konkretnych wskaźników jakości. Jest to praktycznie jedyny możliwy sposób „sterowania” prezentowaną metodą przez użytkownika, jakkolwiek wpływ ten jest bardzo duży i nie zależy od stosowanej zależności GQ .

4.4. Badania dla modelu sieci WLAN

Badania dla modelu sieci WLAN obejmują:

- zmianę rozmiaru sieci (parametr N),
- zmianę zapasu mocy (parametr ΔP),
- zmianę minimalnego zasięgu komórki dostępowej (parametr l_{min}),
- zmianę parametru q_{1max} ,
- zmianę parametru q_{2max} ,
- dobór wag ($w_1 \dots w_3$).

4.4.1. Zmiana rozmiaru sieci (parametr N)

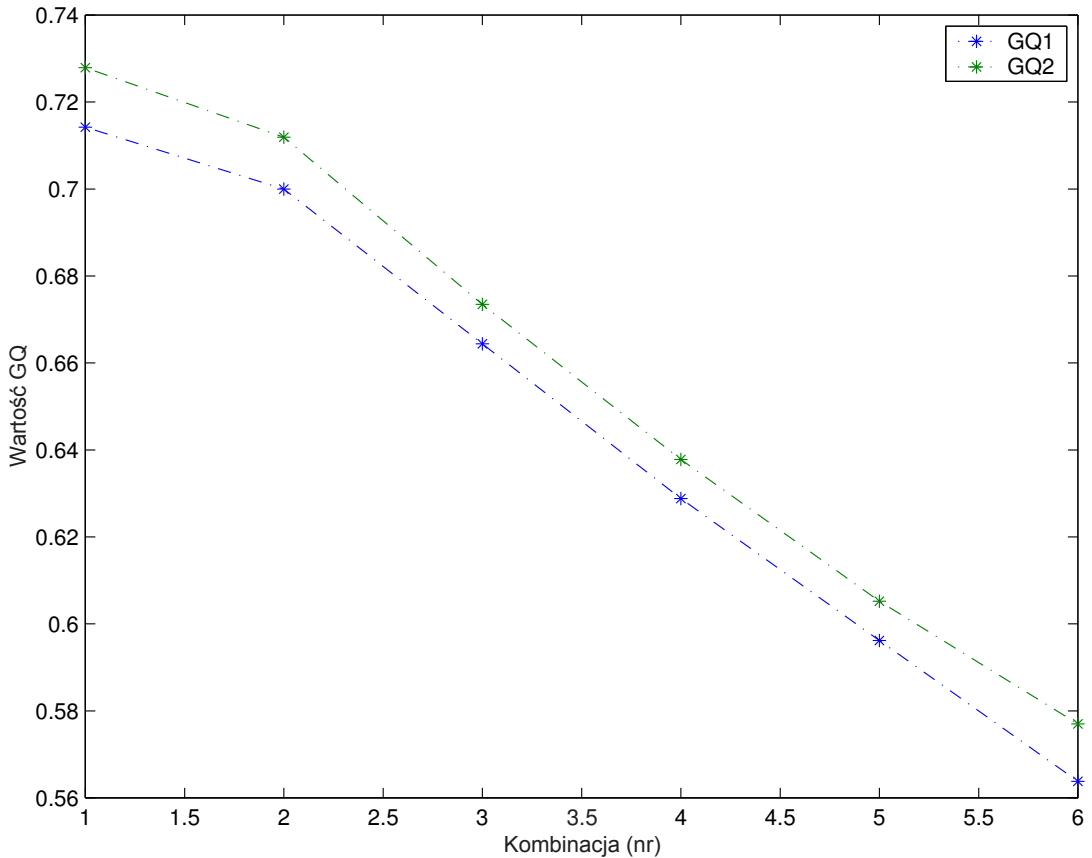
Tabela A.16 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.10, B.13, B.16),

- $\Delta P = 3$, $l_{min} = 150$, $q_{1max} = 10000$, $q_{1min} = l_{min}$, $q_{2max} = 5000$, $q_{2min} = 0$, $w_1 = 0,4$, $w_2 = 0,4$, $w_3 = 0,2$.

Wnioski

Zwiększenie rozmiaru sieci WLAN (parametr N) powoduje dość duże zmniejszenie wartości GQ , wskutek zmniejszających się wartości q_{2N} . Dzieje się dla obu zależności GQ .



Rysunek 4.17. Zmienność GQ przy zmianie rozmiaru sieci (WLAN)

4.4.2. Zmiana zapasu mocy (parametr ΔP)

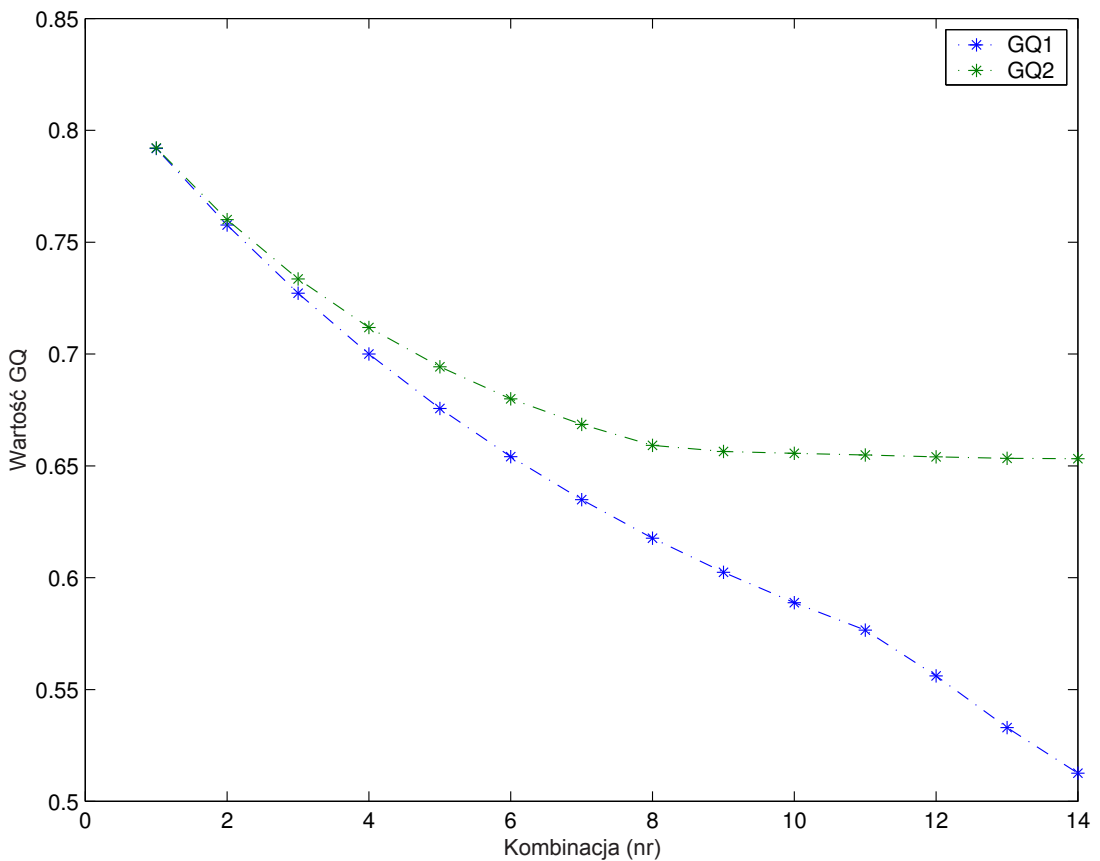
Tabela A.17 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.10, B.13, B.16),

- $N = 5$, $l_{min} = 150$, $q_{1max} = 10000$, $q_{1min} = l_{min}$, $q_{2max} = 5000$, $q_{2min} = 0$, $w_1 = 0,4$, $w_2 = 0,4$, $w_3 = 0,2$.

Wnioski

Zmniejszenie wartości zapasu mocy ΔP jednoznacznie powoduje zmniejszenie zasięgu komórki dostępowej (q_{1N}). Dla zastosowanego zestawu wag powoduje to także znaczne zmniejszenie globalnego wskaźnika jakości $GQ1$; wartość $GQ2$ natomiast, dla wartości $\Delta P \in [7 \dots 20]$ bardzo nieznacznie się zmniejsza.



Rysunek 4.18. Zmienność GQ przy zmianie ΔP (WLAN)

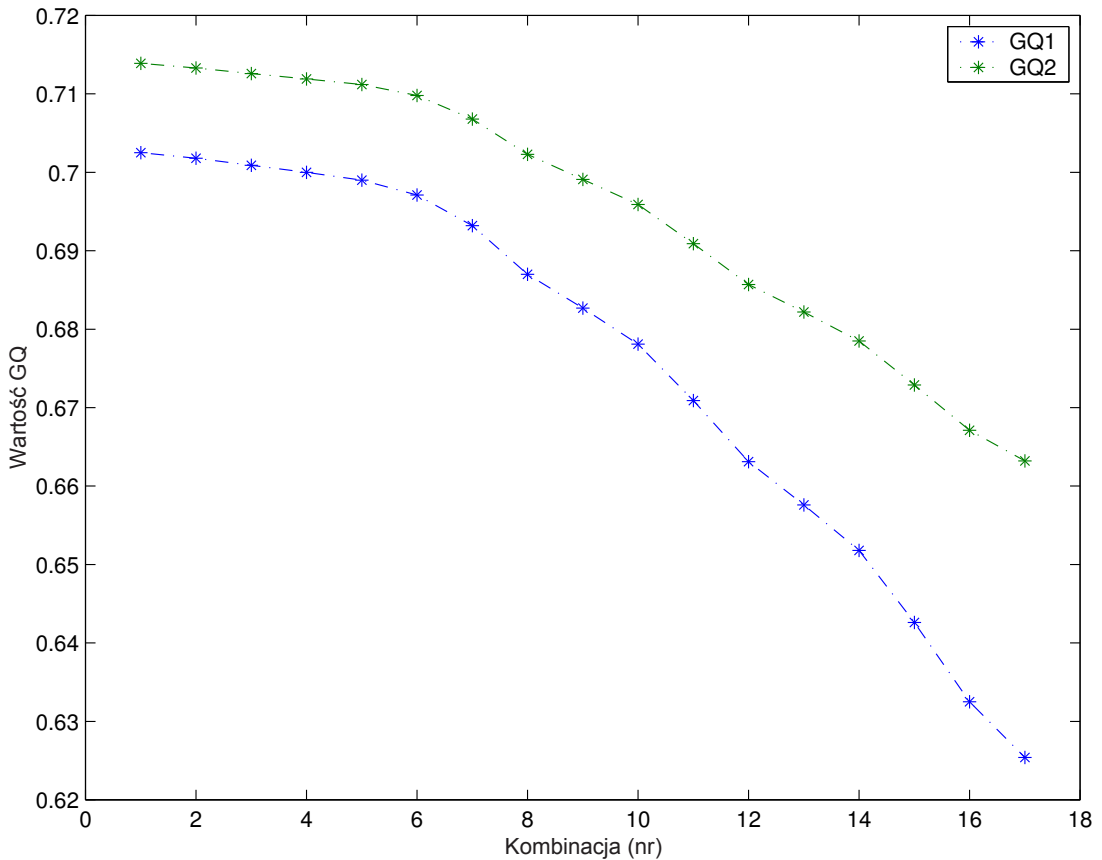
4.4.3. Zmiana parametru l_{min}

Tabela A.18 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.10, B.13, B.16),
- $N = 5$, $\Delta P = 3$, $q_{1max} = 10000$, $q_{1min} = l_{min}$, $q_{2max} = 5000$, $q_{2min} = 0$, $w_1 = 0,4$, $w_2 = 0,4$, $w_3 = 0,2$.

Wnioski

Zwiększanie wymagania na minimalny zasięg komórki dostępowej wpływa na niewielkie zmniejszenie GQ . Dla wyższych wartości l_{min} widać rozbieżność pomiędzy $GQ1$ i $GQ2$.



Rysunek 4.19. Zmienność GQ przy zmianie l_{min} (WLAN)

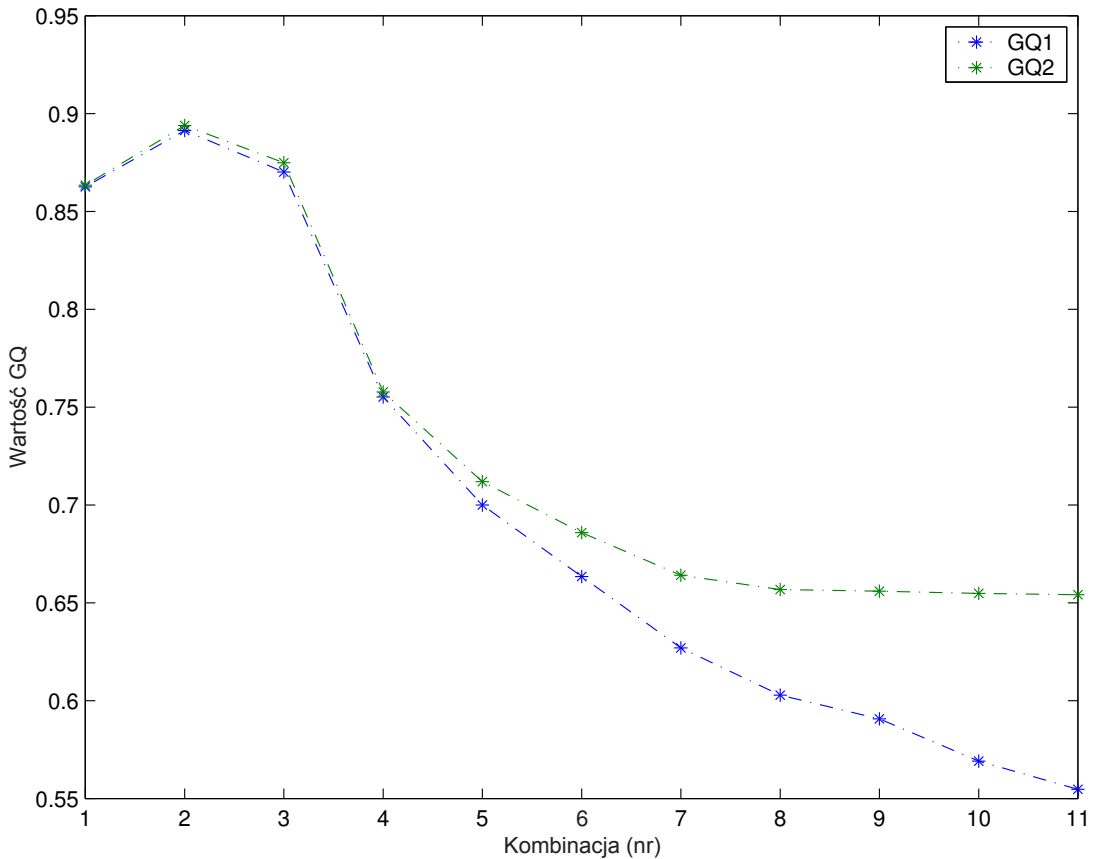
4.4.4. Zmiana parametru q_{1max}

Tabela A.19 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.10, B.13, B.16),
- $N = 5$, $\Delta P = 3$, $l_{min} = 150$, $q_{1min} = l_{min}$, $q_{2max} = 5000$, $q_{2min} = 0$, $w_1 = 0,4$, $w_2 = 0,4$, $w_3 = 0,2$.

Wnioski

Dla rosnącej wartości q_{1max} obserwujemy zmniejszanie się wartości GQ . Dla wyższych wartości q_{1max} zauważamy znane już zjawisko rozbieżności pomiędzy $GQ1$ i $GQ2$. Dla wartości $q_{1max} = 1000$ nie odnaleziono odpowiadającej kombinacji elementów sieciowych.



Rysunek 4.20. Zmienność GQ przy zmianie q_{1max} (WLAN)

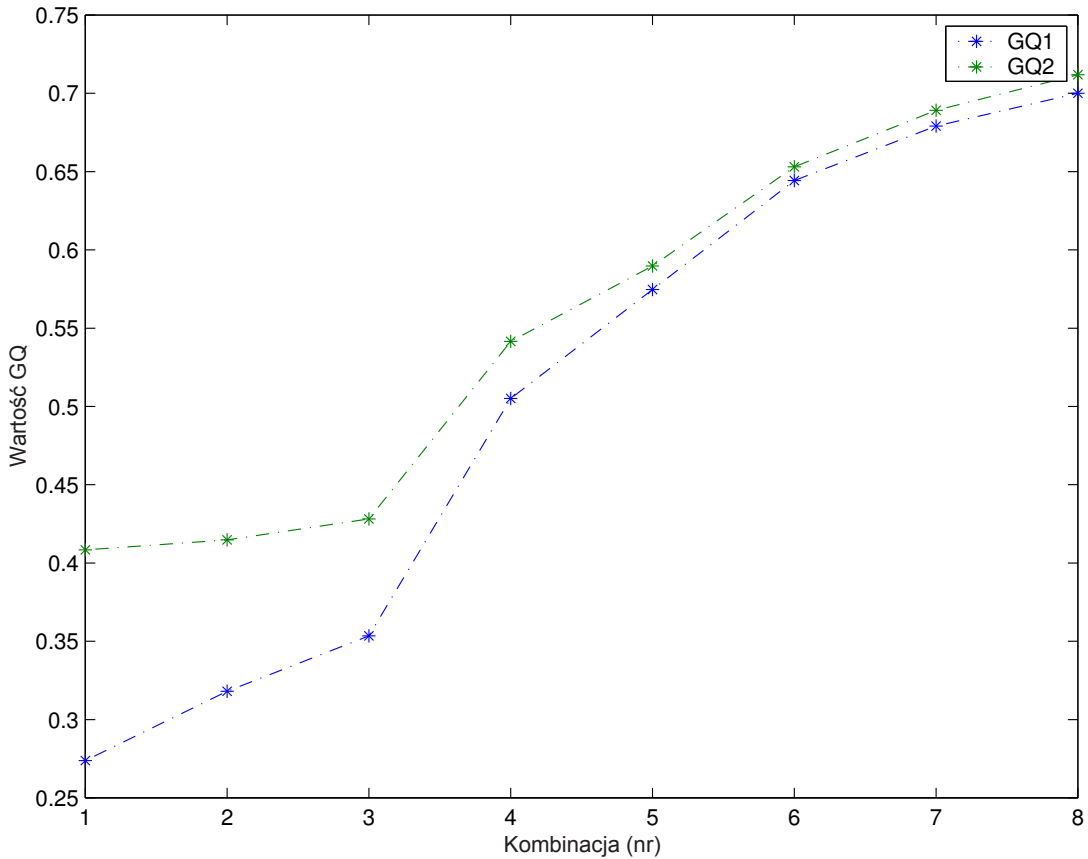
4.4.5. Zmiana parametru q_{2max}

Tabela A.20 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.10, B.13, B.16),
- $N = 5$, $\Delta P = 3$, $l_{min} = 150$, $q_{1max} = 10000$, $q_{1min} = l_{min}$, $q_{2min} = 0$, $w_1 = 0,4$, $w_2 = 0,4$, $w_3 = 0,2$.

Wnioski

Odwrotnie niż dla q_{1max} , dla rosnącej wartości q_{2max} rośnie także wartość GQ , tak samo jak miało to miejsce dla sieci LAN przy rosnących środkach przeznaczonych na projektowaną sieć. Wskaźniki $GQ1$ oraz $GQ2$ poza początkową rozbieżnością, zachowują się podobnie.



Rysunek 4.21. Zmienność GQ przy zmianie q_{2max} (WLAN)

4.4.6. Dobór wag $w_1 \dots w_3$

Tabela A.21 zawiera wyniki uzyskane dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.10, B.13, B.16),
- $N = 5$, $\Delta P = 3$, $l_{min} = 150$, $q_{1max} = 10000$, $q_{1min} = l_{min}$, $q_{2max} = 5000$.

Wnioski

Analogicznie jak dla przypadku sieci LAN, dla wszystkich przypadków widać wpływ jaki powoduje umiejętnie dokonany wybór wag wskazujących preferencje użytkownika (projektanta) wobec konkretnych wskaźników jakości.

4.5. Efektywne metody optymalizacji

Wyniki badań nad metodami optymalizacji dla metody pdLAN publikowane były w pracach: [37, 38, 39]. Niestety, żadne z tych badań nie były przeprowadzone dla rzeczywistych danych elementów sieciowych, jakkolwiek wnioski z nich wynikające pozostają wciąż aktualne. Część badań została przeprowadzona również dla danych z dodatku B.

4.5.1. Badania z pracy [38]

Dla danych przedstawionych w pracy [38] przeprowadzono szczegółowe badania dla metody **sa**.

Symulacje przeprowadzono dla t iteracji, $t = 1, \dots, t_{MAX}$, $t_{MAX} = 3$. Każda z tabel zawiera więc po 3 zestawy wyników, uzyskanych w każdej z iteracji: początkową wartość $eval$ (init v_c) oraz wartości globalnego wskaźnika jakości po ostatniej (spośród kT) iteracji pętli wewnętrznej (zmienna i).

Czcionką pogrubioną wskazane są przypadki uzyskania wartości globalnego wskaźnika jakości lepszej od wartości początkowej $eval$ (init v_c), względnie od najlepszej wartości globalnego wskaźnika jakości uzyskanej w poprzednich iteracjach. Przez $eval_{max}$ oznaczona jest maksymalna uzyskana wartość globalnego wskaźnika jakości. Warto dodać, iż globalnym maksimum w naszym przypadku jest wartość 0,6848. Zastosowano globalny wskaźnik jakości $GQ1$.

Zmiana parametru T_{max} ($t_{MAX} = 3$, $r = 0,8$, $T_{min} = 1$, $kT = 4$)

Wyniki zestawiono w tabelach: A.22, A.23, A.24 oraz A.25. Wyraźnie widać, że dla wyższych wartości T_{max} w obrębie jednej iteracji dokonywanych jest więcej wyborów nowego punktu, a więc i porównań, stąd też większa jest szansa na uzyskanie lepszych rozwiązań. Dla $T_{max} = 1$ oraz $T_{max} = 2$ nie osiągamy globalnego maksimum; osiągamy je dopiero dla $T_{max} = 3$, choć tylko w jednej z trzech iteracji. Dla $T_{max} = 4$

udaje się osiągnąć globalne ekstremum w każdej z iteracji, można by więc nawet zrezygnować w takim przypadku z wielu kolejnych iteracji (parametr $t_{MAX} = 3$) i wybieraniu najlepszego rozwiązania.

Zmiana parametru kT dla $T_{max} = 1$ ($t_{MAX} = 3$, $r = 0,8$, $T_{min} = 1$, $T_{max} = 1$)

Wyniki zestawiono w tabeli A.26. Zwiększanie liczby iteracji (parametr kT) nie powoduje znaczącej poprawy uzyskiwanych wyników przy kilku iteracjach procedury ($t_{MAX} = 3$) i wybieraniu najlepszej wartości. Gdyby jednak decydować się na jedną iterację procedury, wówczas zwiększenie parametru kT jednoznacznie powoduje polepszenie uzyskiwanych rezultatów.

Zmiana parametru kT dla $T_{max} = 4$ ($t_{MAX} = 3$, $r = 0,8$, $T_{min} = 1$, $T_{max} = 4$)

Wyniki zestawiono w tabeli A.27. Wnioski z badań nad wpływem parametru T_{max} znajdują potwierdzenie przy zwiększeniu parametru T_{max} : wyraźnie widać lepsze efekty dla wyższych wartości kT : dla $kT = 3$ oraz $kT = 4$ uzyskujemy globalne maksimum, przy czym dla $kT = 4$ w każdej z iteracji całej procedury.

Wnioski z badań nad metodą **sa**

Zauważalny jest znany fakt dotyczący metody **sa**, która jest metodą stochastyczną, czyli bazującą w poszukiwaniu optimum na pewnym prawdopodobieństwie, mianowicie, możliwe jest przyjęcie punktu dla którego wartość funkcji celu nie jest lepsza. Jakkolwiek, poprzez umiejętny dobór parametrów metody takich jak t_{MAX} , kT , T_{min} , T_{max} oraz r , możemy mieć wpływ na jej działanie. Zamieszczone przykłady obliczeniowe pokazują, że duży wpływ na uzyskiwane wyniki mają parametry T_{max} (im wyższa wartość, tym lepiej) oraz kT (podobnie — wyższe wartości dają lepsze wyniki). Wyższe wartości obu tych parametrów powodują, że mamy niemal pewność (ale nigdy gwarancji!) osiągnięcia globalnego optimum. Dyskusja doboru i wpływu parametrów metody **sa** na uzyskiwane wyniki i wnioski z niej płynące dowodzą jednocześnie skuteczności jej stosowania jako ostatniego etapu procesu zautomatyzowanego projektowania parametrycznego lokalnych sieci komputerowych, pozwala bowiem na dość szybkie uzyskanie globalnego optimum, co w procesie tym oznacza odnalezienie spełniającego wymagania projektanta zestawu elementów sieciowych.

4.5.2. Badania z pracy [39]

W pracy [39] przedstawiono wyniki szczegółowych badań przeprowadzonych dla metod: **ihc**, **shc** oraz **sa**, dla danych różniących się od tych z dodatku B.

Dane otrzymane w wyniku symulacji zebrane są w kolejnych paragrafach. Dla każdego przypadku dokonanych zostało po pięć przebiegów symulacji. W kolumnie „eval” umieszczona jest wartość globalnego wskaźnika jakości, natomiast w kolumnie

„itGQ” — liczba obliczeń tego wskaźnika. Globalne optimum zaznaczone zostało czcionką pogrubioną.

Zwiększanie liczby iteracji t_{MAX} w metodzie **ihc**

Wyniki zestawiono w tabeli A.28. Dla metody **ihc** zwiększenie liczby iteracji powoduje zwiększenie prawdopodobieństwa uzyskania globalnego optimum, wiąże się to jednak ze zwiększeniem liczby obliczeń globalnego wskaźnika jakości.

Zwiększanie liczby iteracji t_{MAX} w metodzie **shc**, $T = 4$

Wyniki zestawiono w tabeli A.29. Zwiększanie liczby iteracji t_{MAX} w metodzie **shc** nie wpływa na poprawę wyników optymalizacji. Dla żadnej z wartości nie uzyskano globalnego optimum.

Zwiększanie parametru T_{max} w metodzie **sa**, $t_{MAX} = 1$, $r = 0,8$, $T_{min} = 1$, $kT = 4$

Wyniki zestawiono w tabeli A.30. Zwiększanie parametru T_{max} w metodzie **sa** nie powoduje zauważalnej poprawy uzyskiwanych wyników: jedynie niewielki procent znalezionych rozwiązań stanowi globalne optimum. Wzrost wartości parametru T_{max} powoduje jednocześnie wzrost liczby obliczeń globalnego wskaźnika jakości. Zasadniczo wyniki zgodne są z wynikami badań z pracy [38] dotyczącymi wpływu parametru T_{max} na rezultaty metody **sa** (podrozdział 4.5.1).

Badanie zachowania metod optymalizacji dla zwiększających się wymiarów zadania i liczby elementów sieciowych

Parametry metod: **ihc** — $t_{MAX} = 3$; **shc** — $t_{MAX} = 10$, $T = 4$; **sa** — $T_{max} = 7$, $t_{MAX} = 1$, $r = 0,8$, $T_{min} = 1$, $kT = 4$. Wyniki zestawiono w tabeli A.31.

Punktem odniesienia jest wynik metody **enum**, która jest metodą dokładną, obliczającą wartość globalnego wskaźnika jakości dla wszystkich kombinacji. Wyniki metody **shc** dyskwalifikują ją z praktycznego wykorzystania, bowiem tylko w jednym przypadku znalezione zostało globalne optimum. Metoda **sa**, charakteryzująca się stałą liczbą obliczeń globalnego wskaźnika jakości, daje dobre efekty dla zadań o małych rozmiarach tablic; dla większych rozmiarów zadania rezultaty są dużo gorsze tzn. nie jest osiągnięte globalne optimum. Jest to możliwe w przypadku dokładnego doboru parametrów dla metody, co przedstawione zostało w podrozdziale 4.5.1. Największe nadzieje pokładać należy w metodzie **ihc**, która najczęściej odnajduje globalne optimum przy liczbie obliczeń niższej nawet o połowę względem metody dokładnej, a w odróżnieniu od metody **sa** charakteryzuje się dużą prostotą (jeden parametr t_{MAX} do dobrania).

Wpływ liczby iteracji t_{MAX} oraz rozmiaru zadania na rezultaty metody **ihc**

Wyniki zestawiono w tabelach: A.32, A.33 oraz A.34. Wyraźnie widać spadek efektywności metody **ihc** dla rosnącego rozmiaru zadania przy tej samej liczbie iteracji t_{MAX} . Dopiero zwiększenie t_{MAX} pozwala na osiągnięcie dobrych wyników: dla liczby kombinacji wynoszącej 800 wartość t_{MAX} musi wynosić co najmniej 15; powoduje to oczywisty wzrost liczby obliczeń globalnego wskaźnika jakości, ale jakkolwiek liczb ta jest co najmniej o połowę niższa niż w wypadku metody dokładnej (**enum**).

Wnioski

Przeprowadzone i przytoczone badania symulacyjne dowodzą nieskuteczności metody **shc** — nie odnajduje ona globalnego optimum. Metoda **sa**, bardziej szczegółowo dyskutowana w podrozdziale 4.5.1, daje dobre wyniki przy małej liczbie obliczeń GQ , ale wadą tej metody jest konieczność dobrania kilku parametrów (T_{min} , T_{max} , t_{MAX} , r , kT). Z zaprezentowanych danych wynika, iż najlepsze rezultaty daje metoda **ihc**, z zastrzeżeniem, że liczba iteracji t_{MAX} musi być dobrana w zależności od rozmiaru zadania. Przeprowadzone badania wskazują, że wartość t_{MAX} musi być co najwyżej 40–50 razy mniejsza od rozmiaru zadania (liczby kombinacji elementów sieciowych w bazach), aby dawać zadowalające rezultaty.

4.5.3. Badania dla danych z dodatku B

Badania dla elementów sieci LAN

Badania przeprowadzone zostały dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.4, B.5, B.7),
- $N = 23$, $P = 2$, $l_1 = 30$, $l_2 = 50$, $q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}$, $q_{2max} = 25000$, $q_{1min} = 0$, $q_{2min} = 0$, $ruch = 512$, $w_1 = 0,2$, $w_2 = 0,6$, $w_3 = 0,1$, $w_4 = 0,1$.

Liczba kombinacji: 11532; globalne optimum: 0,8536.

Dla każdego przypadku dokonanych zostało po pięć przebiegów symulacji. W kolumnie „eval” umieszczona jest wartość globalnego wskaźnika jakości, natomiast w kolumnie „itGQ” — liczba obliczeń tego wskaźnika. Globalne optimum zaznaczone zostało czcionką pogrubioną.

Tabela A.35 zawiera wyniki badania zachowania metody **ihc** przy zwiększaniu liczby iteracji t_{MAX} w zakresie $[0 \dots 50]$, natomiast tabela A.36 dla t_{MAX} przyjmujące wartości z zakresu $[100 \dots 400]$. W pierwszym przedziale globalne optimum uzyskano tylko dwukrotnie, dla $t_{MAX} = 50$. W drugim natomiast — wraz ze wzrostem t_{MAX} uzyskujemy większe prawdopodobieństwo uzyskania globalnego optimum; przy $t_{MAX} = 350$ oraz $t_{MAX} = 400$ optimum uzyskano dla każdego przebiegu symulacji.

Tabela A.37 zawiera wyniki badania zachowania metody **shc** przy zwiększaniu liczby iteracji t_{MAX} . Globalne optimum nie zostało uzyskane.

Tabela A.38 zawiera wyniki badania zachowania metody **sa** przy zwiększaniu parametru T_{max} ($t_{MAX} = 1$, $r = 0,8$, $T_{min} = 1$, $kT = 4$). Jak już zauważono wyżej, zwiększanie wartości T_{max} nie powoduje znacznego zwiększenia prawdopodobieństwa odnalezienia globalnego optimum przez metodę **sa**.

Tabela A.39 zawiera wyniki badania zachowania metody **sa** przy zwiększaniu parametru kT ($t_{MAX} = 1$, $T_{max} = 100$, $r = 0,8$, $T_{min} = 1$). Zwiększanie wartości kT nie powoduje zwiększenia prawdopodobieństwa odnalezienia globalnego optimum przez metodę **sa**.

Niepowodzenia metody **sa** upatrywać należy w zbyt małej liczbie iteracji względem rozmiaru zadania.

Badania dla elementów sieci WLAN

Badania przeprowadzone zostały dla następujących parametrów wejściowych:

- parametry elementów sieciowych zgodne z dodatkiem B (tabele: B.10, B.13, B.16),
- $N = 5$, $\Delta P = 3$, $l_{min} = 150$, $q_{1max} = 10000$, $q_{1min} = l_{min}$, $q_{2max} = 5000$, $q_{2min} = 0$, $w_1 = 0,4$, $w_2 = 0,4$, $w_3 = 0,2$.

Liczba kombinacji: 126; globalne optimum: 0,7000.

Dla każdego przypadku dokonanych zostało po pięć przebiegów symulacji. W kolumnie „eval” umieszczona jest wartość globalnego wskaźnika jakości, natomiast w kolumnie „itGQ” — liczba obliczeń tego wskaźnika. Globalne optimum zaznaczone zostało czcionką pogrubioną.

Tabela A.40 zawiera wyniki badania zachowania metody **ihc** przy zwiększaniu liczby iteracji t_{MAX} w zakresie [1 ... 4]. Wraz ze wzrostem t_{MAX} uzyskujemy większe prawdopodobieństwo uzyskania globalnego optimum.

Tabela A.42 zawiera wyniki badania zachowania metody **shc** przy zwiększaniu liczby iteracji t_{MAX} w zakresie [1 ... 15]. Globalne optimum uzyskane zostało w pojedynczych przypadkach.

Tabela A.41 zawiera wyniki badania zachowania metody **sa** przy zwiększaniu parametru T_{max} ($t_{MAX} = 1$, $r = 0,8$, $T_{min} = 1$, $kT = 4$). Większe wartości T_{max} nie powodują zwiększenia prawdopodobieństwa odnalezienia globalnego optimum przez metodę **sa**. Ponadto, już przy wartości $T_{max} = 4$ liczba obliczeń globalnego wskaźnika jakości (itGQ) przekracza wartość obliczeń GQ dla metody dokładnej, dającej gwarancję uzyskania globalnego optimum, mija się więc z celem stosowanie w takim przypadku metody **sa**.

4.5.4. Wnioski

Podsumowując wyniki badań dotyczących wykorzystania heurystycznych metod optymalizacji, zauważyć należy, że:

- metoda **shc** zdecydowanie nie nadaje się do praktycznego wykorzystania z racji nie odnajdywania globalnego optimum,
- metoda **sa** radzi sobie z prezentowanym zadaniem dobrze jedynie w przypadku dokładnego dobrania parametrów metody,
- metoda **ihc** natomiast daje najlepsze efekty i jest najprostsza w użyciu, potrzeba bowiem wyspecyfikować jeden parametr (t_{MAX}), którego wartość musi być co najwyżej 40–50 razy mniejsza od rozmiaru zadania (liczby kombinacji elementów sieciowych w bazach).

Ponadto stwierdzić należy, że wyniki badań przedstawione w [38] oraz [39] potwierdzone zostały także dla zadania z rzeczywistymi parametrami elementów sieciowych (z dodatku B).

4.6. Wnioski

W rozdziale zaprezentowano wyniki przeprowadzonych badań pokazujących możliwość wykorzystania globalnego wskaźnika jakości GQ do oceny wydajności projektowanej sieci. Raz jeszcze należy podkreślić, iż przez „wydajność” rozumiana jest globalna ocena „jakości” sieci, integrująca obok wskaźnika jakości typowo „wydajnościowego” jakim jest opóźnienie, także koszt sieci, jej niezawodność oraz możliwość rozbudowy (dla modelu sieci LAN; dla modelu sieci WLAN są to: zasięg komórki dostępowej, koszt sieci oraz jej niezawodność). Pokazano jak globalny wskaźnik jakości przyjmuje różne wartości zależnie od parametrów elementów sieciowych oraz w zależności od funkcji wykorzystanej do jego budowy. Przeprowadzono dokładne analizy wpływu parametrów wykorzystywanych w modelach sieci LAN (N , P , $ruch$, q_{1max} , q_{2max}) oraz WLAN (N , ΔP , l_{min} , q_{1max} , q_{2max}) oraz wag (odpowiednio: $w_1 \dots w_4$ oraz $w_1 \dots w_3$) na uzyskiwane wartości globalnego wskaźnika jakości. Pokazano, jak wartości GQ zależą od doboru wag i jak istotne jest aby dobrane zostały zależnie od względnej istotności konkretnych wskaźników jakości tzn. tak, aby najwyższe wartości przypisane były do wskaźników najbardziej istotnych, co pozwala uniknąć „niedobrych” wyborów, gdy źle dobrane wskaźniki powodują maksymalizację GQ dla nie najlepszej kombinacji elementów sieciowych. Badania nad metodami optymalizacji jednoznacznie wskazały najlepszą z prezentowanych metod (**ihc**), jakkolwiek nie jest celem niniejszej rozprawy dogłębne studium nad metodami optymalizacji, ale raczej pokazanie ich wykorzystania jako ostatniego etapu procesu parametrycznego projektowania sieci.

Rozdział 5

Podsumowanie

Praca niniejsza za cel miała przedstawienie metody komputerowego wspomaganie projektowania parametrycznego lokalnych sieci komputerowych z wykorzystaniem syntetycznego metakryterium jakościowego.

Cel ten został osiągnięty — opisana w rozdziale 3 metoda pdLAN spełnia wymienione kryteria, obejmuje także dwa modele sieci, przewodowej w standardzie IEEE 802.3 oraz bezprzewodowej w standardzie IEEE 802.11. Istotą metody jest wykorzystanie globalnego wskaźnika jakości, będącego funkcją wskaźników jakości sieci, do całościowej oceny projektowanej sieci. Globalny wskaźnik jakości może być budowany na wiele sposobów, w pracy pokazano dwie zależności: ważoną sumę oraz funkcję potęgową.

Skuteczności metody dowiedziono implementując ją w środowisku MATLAB oraz przeprowadzając szczegółowe badania (rozdział 4), w tym także nad metodami optymalizacji. Dowiedziono, iż użycie globalnego wskaźnika jakości GQ oraz odpowiedniej metody optymalizacji (np. **ihc**) pozwala na automatyzację procesu projektowania lokalnych sieci komputerowych w sposób pokazany w metodzie pdLAN.

Przez „wydajność” rozumiane jest w pracy pewne metakryterium jakościowe będące wypadkową wskaźników jakości istotnych z punktu widzenia projektanta. Adekwatność tego metakryterium do oceny projektowanej sieci zależy w dużej mierze od zastosowanego systemu wag dobieranych tak, aby uwzględniały względną istotność odpowiednich wskaźników jakości. Zatem raz jeszcze należy podkreślić istotność doboru przez projektanta wag w modelach sieci.

Badania pokazały, że różnice pomiędzy $GQ1$ i $GQ2$ są raczej niewielkie, rosnące w przypadkach skrajnych. Do wad zaprezentowanego modelu sieci LAN zaliczyć należy zbytne uproszczenie zależności wskaźnika q_1 od parametrów elementów sieciowych, co skutkowało jednakowymi niemal wartościami wskaźnika dla różnych kombinacji elementów.

Z racji nietypowego podejścia do problemu projektowania sieci (dobór parametrów), trudno przedstawioną metodę porównywać z innymi, omawianymi w rozdziale 2.

Globalny wskaźnik jakości stosowany jest w wielu dziedzinach życia — w pracy [14] opisano jego wykorzystanie do oceny jakości akustycznej obiektów sakralnych.

Przedstawione w niniejszej pracy zastosowanie do oceny jakości projektowanej sieci komputerowej pokazuje nowe obszary zastosowań, zarazem jednak wskazuje wady tego rodzaju „uniwersalnego” podejścia.

Dalsze prace

Dalsze prace w obrębie rozbudowy zaprezentowanej metody pdLAN mogą być prowadzone w następujących kierunkach:

- opracowanie heurystyki wybierającej metodę optymalizacji w zależności od rodzaju zadania,
- w obrębie metod optymalizacji: poszukiwanie efektywnych hybrydowych (heurystyczno-dokładnych) metod optymalizacji,
- zwiększenie liczby parametrów i/lub wskaźników jakości, celem uwzględnienia wpływu innych parametrów (np. serwerów świadczących usługi sieciowe itp.),
- uwzględnienie problematyki rozbudowy (przeprojektowania) istniejących sieci na przykład poprzez algorytm odwzorowania istniejącej sieci na parametry zamiast początkowego zbierania wymagań i założeń odnośnie sieci — tzw. *incremental design*,
- porównanie uzyskiwanych wyników z wynikami dawanymi przez wieloatrybutowe metody wspomagania podejmowania decyzji,
- opracowanie modeli dla innych topologii i/lub technologii sieci.

Dodatek A

Tabele z wynikami badań symulacyjnych

Dodatek niniejszy zawiera zestawienie tabel zawierających wyniki badań symulacyjnych opisanych w rozdziale 4.

A.1. Globalny wskaźnik jakości GQ w ocenie wydajności projektowanej sieci

nr	UG	US	OK	q_1	q_2	q_3	q_4	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	$GQ1$	$GQ2$
1	1	8	3	$1,454 \cdot 10^{-8}$	1209,1	0,5000	0,2000	0,9855	0,9516	0,5000	0,2000	0,8381	0,8756
2	48	24	1	$1,4515 \cdot 10^{-9}$	3990,6	0,5833	0,3000	0,9985	0,8404	0,5833	0,3000	0,7923	0,8162
3	46	19	1	$1,4515 \cdot 10^{-9}$	16891	0,5500	0,4333	0,9985	0,3244	0,5500	0,4333	0,4927	0,5582
4	56	55	3	$1,454 \cdot 10^{-8}$	1387,1	0,6667	0,2000	0,9855	0,9445	0,6667	0,2000	0,8505	0,8820
5	43	19	3	$1,454 \cdot 10^{-8}$	16515	0,5500	0,5333	0,9855	0,3394	0,5500	0,5333	0,5091	0,5675
6	60	38	1	$1,454 \cdot 10^{-8}$	5362,3	0,6167	0,4333	0,9855	0,7855	0,6167	0,4333	0,7734	0,7882
7	21	16	2	$1,4791 \cdot 10^{-7}$	6205,8	0,4833	0,5333	0,8521	0,7518	0,4833	0,5333	0,7321	0,7322
8	17	49	2	$1,4515 \cdot 10^{-9}$	7447,8	0,5500	0,4000	0,9985	0,7021	0,5500	0,4000	0,7160	0,7358
9	34	24	2	$1,454 \cdot 10^{-8}$	2064,8	0,5000	0,3000	0,9855	0,9174	0,5000	0,3000	0,8275	0,8563

Tablica A.1. Globalny wskaźnik jakości GQ zastosowany do oceny projektowanej sieci LAN

nr	SR	AP	AN	q_1	q_2	q_3	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	$GQ1$	$GQ2$
1	6	2	2	2185,2	2647	0,9000	0,2066	0,4705	0,9000	0,4509	0,5173
2	6	2	1	1547,0	2522,4	0,9000	0,1418	0,4955	0,9000	0,4349	0,5179
3	2	2	6	5488,9	1132	0,8333	0,5420	0,7736	0,8333	0,6929	0,7041
4	2	1	6	5488,9	1044	0,8333	0,5420	0,7912	0,8333	0,7000	0,7119
5	3	3	3	2597,1	1125	0,7833	0,2484	0,7750	0,7833	0,5660	0,6226
6	5	1	1	1095,2	1249	0,8333	0,0960	0,7502	0,8833	0,5151	0,6204
7	4	1	5	2185,2	967	0,9000	0,2066	0,8066	0,9000	0,5853	0,6628
8	3	3	7	2751,0	871	0,7500	0,2641	0,8258	0,7500	0,5859	0,6428
9	1	1	4	1947,5	813	0,8333	0,1825	0,8374	0,8333	0,5746	0,6578
10	1	3	1	1288,8	1082	0,8000	0,1095	0,7836	0,8000	0,5172	0,6152

Tablica A.2. Globalny wskaźnik jakości GQ zastosowany do oceny projektowanej sieci WLAN

A.2. Badania dla sieci LAN

nr	N, P	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	$GQ1$	$GQ2$
1	$N = 2, P = 1$	28	28	3	0,9905	0,8763	0,9333	0,6667	0,8839	—
1	$N = 2, P = 1$	56	56	3	0,9905	0,9877	0,6667	0,2000	—	0,9110
2	$N = 2, P = 2$	23	6	3	0,9809	0,9749	0,5667	0,4000	0,8778	—
2	$N = 2, P = 2$	56	56	3	0,9809	0,9817	0,6667	0,2000	—	0,9051
3	$N = 4, P = 1$	28	28	3	0,9905	0,8749	0,9333	0,6667	0,8830	—
3	$N = 4, P = 1$	56	56	3	0,9905	0,9863	0,6667	0,2000	—	0,9101
4	$N = 4, P = 2$	23	6	3	0,9841	0,9735	0,5667	0,4000	0,8776	—
4	$N = 4, P = 2$	56	56	3	0,9841	0,9803	0,6667	0,2000	—	0,9048
5	$N = 4, P = 4$	23	6	3	0,9809	0,9606	0,5667	0,4000	0,8692	—
5	$N = 4, P = 4$	56	56	3	0,9809	0,9682	0,6667	0,2000	—	0,8963
6	$N = 8, P = 1$	28	28	3	0,9905	0,8720	0,9333	0,6667	0,8813	—
6	$N = 8, P = 1$	56	55	3	0,9905	0,9723	0,6667	0,2000	—	0,9010
7	$N = 8, P = 2$	23	6	3	0,9850	0,9707	0,5667	0,4000	0,8761	—
7	$N = 8, P = 2$	56	56	3	0,9850	0,9775	0,6667	0,2000	—	0,9032
8	$N = 8, P = 3$	23	6	3	0,9833	0,9642	0,5667	0,4000	0,8719	—
8	$N = 8, P = 3$	56	56	3	0,9833	0,9714	0,6667	0,2000	—	0,8989
9	$N = 16, P = 1$	28	29	3	0,9905	0,8643	0,9333	0,6667	0,8766	—
9	$N = 16, P = 1$	56	8	3	0,9905	0,9691	0,6000	0,2000	—	0,8942
10	$N = 16, P = 2$	23	55	3	0,9854	0,9436	0,6333	0,3000	0,8566	—
10	$N = 16, P = 2$	56	7	3	0,9854	0,9576	0,6000	0,2000	—	0,8856
11	$N = 16, P = 3$	23	6	3	0,9837	0,9586	0,5667	0,4000	0,8685	—
11	$N = 16, P = 3$	56	6	3	0,9837	0,9645	0,6000	0,3000	—	0,8925
12	$N = 16, P = 4$	26	6	3	0,9828	0,9138	0,5667	0,4000	0,8645	—
12	$N = 16, P = 4$	56	56	3	0,9828	0,9598	0,6667	0,2000	—	0,8912
13	$N = 23, P = 2$	23	55	3	0,9855	0,9386	0,6333	0,3000	0,8536	—
13	$N = 23, P = 2$	56	7	3	0,9855	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8824
14	$N = 32, P = 1$	23	61	3	0,9904	0,6756	0,6333	0,5333	0,7201	—
14	$N = 32, P = 1$	6	61	3	0,9904	0,6810	0,6000	0,5333	—	0,7341
15	$N = 32, P = 2$	23	8	3	0,9855	0,9371	0,5667	0,3000	0,8461	—
15	$N = 32, P = 2$	56	8	3	0,9855	0,9430	0,6000	0,2000	—	0,8762
16	$N = 32, P = 3$	23	7	3	0,9839	0,9272	0,5667	0,3000	0,8398	—
16	$N = 32, P = 3$	56	7	3	0,9839	0,9331	0,6000	0,2000	—	0,8695
17	$N = 32, P = 5$	23	6	3	0,9826	0,9343	0,5667	0,4000	0,8538	—
17	$N = 32, P = 5$	6	2	3	0,9826	0,9506	0,5000	0,3000	—	0,8771
18	$N = 71, P = 4$	23	8	3	0,9830	0,8801	0,5667	0,3000	0,8113	—
18	$N = 71, P = 4$	56	8	3	0,9830	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8392
19	$N = 117, P = 3$	23	61	3	0,9834	0,0333	0,6333	0,5333	0,3333	—
19	$N = 117, P = 3$	57	61	3	0,9984	0,0205	0,6667	0,4333	—	0,5127
20	$N = 157, P = 7$	23	8	3	0,9816	0,7749	0,5667	0,3000	0,7480	—
20	$N = 157, P = 7$	54	8	3	0,9816	0,7782	0,6000	0,2000	—	0,7721

Tablica A.3. Wpływ zmiany rozmiaru sieci na wskaźniki jakości (LAN)

nr	ruch	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	GQ1	GQ2
1	ruch = 256	23	55	3	0,9855	0,9386	0,6333	0,3000	0,8536	—
1	ruch = 256	56	7	3	0,9855	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8824
2	ruch = 512	23	55	3	0,9855	0,9386	0,6333	0,3000	0,8536	—
2	ruch = 512	56	7	3	0,9855	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8824
3	ruch = 768	23	55	3	0,9855	0,9386	0,6333	0,3000	0,8536	—
3	ruch = 768	56	7	3	0,9855	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8824
4	ruch = 1024	23	55	3	0,9854	0,9386	0,6333	0,3000	0,8536	—
4	ruch = 1024	56	7	3	0,9854	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8824
5	ruch = 2048	23	55	3	0,9854	0,9386	0,6333	0,3000	0,8536	—
5	ruch = 2048	56	7	3	0,9854	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8824
6	ruch = 10240	23	55	3	0,9850	0,9386	0,6333	0,3000	0,8535	—
6	ruch = 10240	56	7	3	0,9850	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8823
7	ruch = 20480	23	55	3	0,9843	0,9386	0,6333	0,3000	0,8534	—
7	ruch = 20480	56	7	3	0,9843	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8822
8	ruch = 102400	23	55	3	0,9767	0,9386	0,6333	0,3000	0,8519	—
8	ruch = 102400	56	7	3	0,9767	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8805
9	ruch = 204800	23	55	3	0,9409	0,9386	0,6333	0,3000	0,8447	—
9	ruch = 204800	9	7	3	0,9984	0,9457	0,5333	0,2000	—	0,8766
10	ruch = 512000	50	55	3	0,9982	0,9300	0,6500	0,2000	0,8427	—
10	ruch = 512000	9	7	3	0,9982	0,9457	0,5333	0,2000	—	0,8766
11	ruch = 1024000	50	55	3	0,9977	0,9300	0,6500	0,2000	0,8426	—
11	ruch = 1024000	9	7	3	0,9977	0,9457	0,5333	0,2000	—	0,8764
12	ruch = 2048000	50	55	3	0,9941	0,9300	0,6500	0,2000	0,8418	—
12	ruch = 2048000	9	7	3	0,9941	0,9457	0,5333	0,2000	—	0,8756
13	ruch = 5120000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	ruch = 5120000	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tablica A.4. Wpływ wzrostu ruchu w sieci na wskaźniki jakości ($N = 23$, $P = 2$)

nr	ruch	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	GQ1	GQ2
1	ruch = 256	23	8	3	0,9831	0,8800	0,5667	0,3000	0,8113	—
1	ruch = 256	56	8	3	0,9831	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8392
2	ruch = 512	23	8	3	0,9830	0,8800	0,6333	0,3000	0,8113	—
2	ruch = 512	56	8	3	0,9830	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8392
3	ruch = 768	23	8	3	0,9829	0,8800	0,6333	0,3000	0,8113	—
3	ruch = 768	56	8	3	0,9829	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8391
4	ruch = 1024	23	8	3	0,9828	0,8800	0,6333	0,3000	0,8113	—
4	ruch = 1024	56	8	3	0,9828	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8391
5	ruch = 2048	23	8	3	0,9825	0,8800	0,6333	0,3000	0,8112	—
5	ruch = 2048	56	8	3	0,9825	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8390
6	ruch = 10240	23	8	3	0,9786	0,8800	0,6333	0,3000	0,8104	—
6	ruch = 10240	56	8	3	0,9786	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8381
7	ruch = 20480	23	8	3	0,9707	0,8800	0,6333	0,3000	0,8088	—
7	ruch = 20480	56	8	3	0,9707	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8363
8	ruch = 102400	50	8	3	0,9979	0,8714	0,5833	0,2000	0,8008	—
8	ruch = 102400	9	8	3	0,9979	0,8790	0,5333	0,2000	—	0,8338
9	ruch = 204800	50	8	3	0,9971	0,8714	0,5833	0,2000	0,8008	—
9	ruch = 204800	9	8	3	0,9971	0,8790	0,5333	0,2000	—	0,8338
10	ruch = 512000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	ruch = 512000	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tablica A.5. Wpływ wzrostu ruchu w sieci na wskaźniki jakości ($N = 71$, $P = 4$)

nr	<i>ruch</i>	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	$GQ1$	$GQ2$
1	<i>ruch</i> = 256	23	8	3	0,9819	0,7749	0,5667	0,3000	0,7480	—
1	<i>ruch</i> = 256	54	8	3	0,9819	0,7782	0,6000	0,2000	—	0,7721
2	<i>ruch</i> = 512	23	8	3	0,9816	0,7749	0,5667	0,3000	0,7480	—
2	<i>ruch</i> = 512	54	8	3	0,9816	0,7782	0,6000	0,2000	—	0,7721
3	<i>ruch</i> = 768	23	8	3	0,9813	0,7749	0,5667	0,3000	0,7479	—
3	<i>ruch</i> = 768	54	8	3	0,9813	0,7782	0,6000	0,2000	—	0,7720
4	<i>ruch</i> = 1024	23	8	3	0,9810	0,7749	0,5667	0,3000	0,7478	—
4	<i>ruch</i> = 1024	54	8	3	0,9810	0,7782	0,6000	0,2000	—	0,7719
5	<i>ruch</i> = 2048	23	8	3	0,9796	0,7749	0,5667	0,3000	0,7476	—
5	<i>ruch</i> = 2048	54	8	3	0,9796	0,7782	0,6000	0,2000	—	0,7715
6	<i>ruch</i> = 10240	23	8	3	0,9510	0,7749	0,5667	0,3000	0,7418	—
6	<i>ruch</i> = 10240	50	8	3	0,9981	0,7663	0,5833	0,2000	—	0,7679
7	<i>ruch</i> = 20480	50	8	3	0,9980	0,7663	0,5833	0,2000	0,7377	—
7	<i>ruch</i> = 20480	50	8	3	0,9980	0,7663	0,5833	0,2000	—	0,7678
8	<i>ruch</i> = 102400	50	8	3	0,9951	0,7663	0,5833	0,2000	0,7372	—
8	<i>ruch</i> = 102400	50	8	3	0,9951	0,7663	0,5833	0,2000	—	0,7671
9	<i>ruch</i> = 204800	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	<i>ruch</i> = 204800	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tablica A.6. Wpływ wzrostu ruchu w sieci na wskaźniki jakości ($N = 157$, $P = 7$)

nr	q_{1max}	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	$GQ1$	$GQ2$
1	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}$	23	55	3	0,9855	0,9386	0,6333	0,3000	0,8536	—
1	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}$	56	7	3	0,9855	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8824
2	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-6}$	23	55	3	0,9971	0,9386	0,6333	0,3000	0,8559	—
2	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-6}$	56	7	3	0,9971	0,9414	0,6000	0,2000	—	0,8850
3	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-7}$	50	55	3	0,9855	0,9300	0,6500	0,2000	0,8401	—
3	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-7}$	9	7	3	0,9855	0,9457	0,5333	0,2000	—	0,8737
4	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-7}$	23	55	3	0,9709	0,9386	0,6333	0,3000	0,8507	—
4	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-7}$	56	7	3	0,9709	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8792
5	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-8}$	50	55	3	0,8548	0,9300	0,6500	0,2000	0,8140	—
5	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-8}$	9	7	3	0,8548	0,9457	0,5333	0,2000	—	0,8457
6	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-8}$	50	55	3	0,9710	0,9300	0,6500	0,2000	0,8372	—
6	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-8}$	9	7	3	0,9710	0,9457	0,5333	0,2000	—	0,8704
7	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-9}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-9}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tablica A.7. Wpływ zmiany parametru q_{1max} na wskaźniki jakości ($N = 23$, $P = 2$)

nr	q_{1max}	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	$GQ1$	$GQ2$
1	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}$	23	8	3	0,9830	0,8800	0,5667	0,3000	0,8113	—
1	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}$	56	8	3	0,9830	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8392
2	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-6}$	23	8	3	0,9966	0,8800	0,5667	0,3000	0,8140	—
2	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-6}$	56	8	3	0,9966	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8424
3	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-7}$	50	8	3	0,9832	0,8714	0,5833	0,2000	0,7978	—
3	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-7}$	9	8	3	0,9832	0,8790	0,5333	0,2000	—	0,8303
4	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-7}$	23	8	3	0,9661	0,8800	0,5667	0,3000	0,8079	—
4	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-7}$	56	8	3	0,9661	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8352
5	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-8}$	50	8	3	0,8319	0,8714	0,5833	0,2000	0,7676	—
5	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-8}$	9	8	3	0,8319	0,8790	0,5333	0,2000	—	0,7966
6	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-8}$	50	8	3	0,9664	0,8714	0,5833	0,2000	0,7945	—
6	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-8}$	9	8	3	0,9663	0,8790	0,5333	0,2000	—	0,8264
7	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-9}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-9}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tablica A.8. Wpływ zmiany parametru q_{1max} na wskaźniki jakości ($N = 71$, $P = 4$)

nr	q_{1max}	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	GQ1	GQ2
1	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}$	23	8	3	0,9816	0,7749	0,5667	0,3000	0,8113	—
1	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-6}$	54	8	3	0,9816	0,7782	0,6000	0,2000	—	0,8392
2	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-6}$	23	8	3	0,9963	0,7749	0,5667	0,3000	0,8140	—
2	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-6}$	54	8	3	0,9963	0,7782	0,6000	0,2000	—	0,8424
3	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-7}$	50	8	3	0,9822	0,7663	0,5833	0,2000	0,7978	0,8303
4	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-7}$	23	8	3	0,9633	0,7749	0,5667	0,3000	0,8079	—
4	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-7}$	50	8	3	0,9664	0,7663	0,5833	0,2000	—	0,8352
5	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-8}$	50	8	3	0,8218	0,7663	0,5833	0,2000	0,7676	0,7966
6	$q_{1max} = 5 \cdot 10^{-8}$	50	8	3	0,9644	0,7663	0,5833	0,2000	0,7945	0,8264
7	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-8}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	$q_{1max} = 1 \cdot 10^{-8}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tablica A.9. Wpływ zmiany parametru q_{1max} na wskaźniki jakości ($N = 157$, $P = 7$)

nr	q_{2max}	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	$GQ1$	$GQ2$
1	$q_{2max} = 1000$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	$q_{2max} = 1000$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	$q_{2max} = 1500$	1	7	3	0,9855	0,2473	0,5000	0,2000	0,4155	—
2	$q_{2max} = 1500$	56	7	3	0,9855	0,2099	0,6000	0,2000	—	0,5106
3	$q_{2max} = 5000$	6	7	3	0,9855	0,7608	0,5333	0,3000	0,7369	—
3	$q_{2max} = 5000$	56	7	3	0,9855	0,7630	0,6000	0,2000	—	0,7639
4	$q_{2max} = 10000$	6	7	3	0,9855	0,8804	0,5333	0,3000	0,8087	—
4	$q_{2max} = 10000$	56	7	3	0,9855	0,8815	0,6000	0,2000	—	0,8369
5	$q_{2max} = 15000$	6	7	3	0,9855	0,9203	0,5333	0,3000	0,8326	—
5	$q_{2max} = 15000$	56	7	3	0,9855	0,9210	0,6000	0,2000	—	0,8621
6	$q_{2max} = 20000$	6	55	3	0,9855	0,9301	0,6000	0,3000	0,8451	—
6	$q_{2max} = 20000$	56	7	3	0,9855	0,9407	0,6000	0,2000	—	0,8748
7	$q_{2max} = 25000$	23	55	3	0,9855	0,9386	0,6333	0,3000	0,8536	—
7	$q_{2max} = 25000$	56	7	3	0,9855	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8824
8	$q_{2max} = 30000$	6	55	3	0,9855	0,9534	0,6000	0,3000	0,8451	—
8	$q_{2max} = 30000$	56	7	3	0,9855	0,9605	0,6000	0,2000	—	0,8748
9	$q_{2max} = 40000$	28	28	3	0,9855	0,8748	0,9333	0,6667	0,8820	—
9	$q_{2max} = 40000$	56	55	3	0,9855	0,9653	0,6667	0,2000	—	0,8954
10	$q_{2max} = 50000$	28	28	3	0,9855	0,8998	0,9333	0,6667	0,8970	0,9009

Tablica A.10. Wpływ zmiany parametru q_{2max} na wskaźniki jakości ($N = 23$, $P = 2$)

nr	q_{2max}	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	$GQ1$	$GQ2$
1	$q_{2max} = 2000$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	$q_{2max} = 2000$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	$q_{2max} = 3500$	1	8	3	0,9830	0,0681	0,5000	0,2000	0,3075	—
2	$q_{2max} = 3500$	56	8	3	0,9830	0,0494	0,6000	0,2000	—	0,4845
3	$q_{2max} = 5000$	6	8	3	0,9830	0,4275	0,5333	0,3000	0,5364	—
3	$q_{2max} = 5000$	56	8	3	0,9830	0,4297	0,6000	0,2000	—	0,5865
4	$q_{2max} = 10000$	6	8	3	0,9830	0,7137	0,5333	0,3000	0,7082	—
4	$q_{2max} = 10000$	56	8	3	0,9830	0,7148	0,6000	0,2000	—	0,7348
5	$q_{2max} = 15000$	6	8	3	0,9830	0,8091	0,5333	0,3000	0,7654	—
5	$q_{2max} = 15000$	56	8	3	0,9830	0,8099	0,6000	0,2000	—	0,7917
6	$q_{2max} = 20000$	6	8	3	0,9830	0,8569	0,5333	0,3000	0,7941	—
6	$q_{2max} = 20000$	56	8	3	0,9830	0,8574	0,6000	0,2000	—	0,8212
7	$q_{2max} = 25000$	23	8	3	0,9830	0,8800	0,5667	0,3000	0,8113	—
7	$q_{2max} = 25000$	56	8	3	0,9830	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,8392
8	$q_{2max} = 30000$	23	8	3	0,9830	0,9000	0,5667	0,3000	0,8233	—
8	$q_{2max} = 30000$	56	8	3	0,9830	0,9049	0,6000	0,2000	—	0,8512
9	$q_{2max} = 40000$	23	8	3	0,9830	0,9250	0,5667	0,3000	0,8383	—
9	$q_{2max} = 40000$	56	8	3	0,9830	0,9287	0,6000	0,2000	—	0,8665
10	$q_{2max} = 50000$	23	8	3	0,9830	0,9400	0,5667	0,3000	0,8473	—
10	$q_{2max} = 50000$	56	8	3	0,9830	0,9430	0,6000	0,2000	—	0,8757

Tablica A.11. Wpływ zmiany parametru q_{2max} na wskaźniki jakości ($N = 71$, $P = 4$)

nr	q_{2max}	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	GQ1	GQ2
1	$q_{2max} = 5000$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	$q_{2max} = 5000$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	$q_{2max} = 10000$	6	8	3	0,9816	0,4510	0,5333	0,3000	0,5502	0,5935
3	$q_{2max} = 15000$	6	8	3	0,9816	0,6340	0,5333	0,3000	0,6600	0,6865
4	$q_{2max} = 20000$	6	8	3	0,9816	0,7255	0,5333	0,3000	0,7150	—
4	$q_{2max} = 20000$	54	8	3	0,9816	0,7227	0,6000	0,2000	—	0,7390
5	$q_{2max} = 25000$	23	8	3	0,9816	0,7749	0,5667	0,3000	0,7480	—
5	$q_{2max} = 25000$	54	8	3	0,9816	0,7782	0,6000	0,2000	—	0,7721
6	$q_{2max} = 30000$	23	8	3	0,9816	0,8124	0,5667	0,3000	0,7705	—
6	$q_{2max} = 30000$	54	8	3	0,9816	0,8151	0,6000	0,2000	—	0,7946
7	$q_{2max} = 40000$	23	8	3	0,9816	0,8593	0,5667	0,3000	0,7986	—
7	$q_{2max} = 40000$	54	8	3	0,9816	0,8614	0,6000	0,2000	—	0,8233
8	$q_{2max} = 50000$	23	8	3	0,9816	0,8875	0,5667	0,3000	0,8155	—
8	$q_{2max} = 50000$	54	8	3	0,9816	0,8891	0,6000	0,2000	—	0,8408
9	$q_{2max} = 100000$	28	29	3	0,9816	0,8453	0,9333	0,6667	0,8635	—
9	$q_{2max} = 100000$	57	8	3	0,9982	0,9406	0,6000	0,2000	—	0,8775

Tablica A.12. Wpływ zmiany parametru q_{2max} na wskaźniki jakości ($N = 157$, $P = 7$)

w_1	w_2	w_3	w_4	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	$GQ1$	$GQ2$
0,25	0,25	0,25	0,25	28	28	3	0,9855	0,7997	0,9333	0,6667	0,8463	0,8553
0,6	0,1	0,1	0,1	28	28	3	0,9855	0,7997	0,9333	0,6667	0,8312	0,8821
0,1	0,6	0,1	0,1	23	55	3	0,9855	0,9386	0,6333	0,3000	0,7551	—
0,1	0,6	0,1	0,1	56	7	3	0,9855	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,8256
0,1	0,1	0,6	0,1	28	28	3	0,9855	0,7997	0,9333	0,6667	0,8052	0,8533
0,1	0,1	0,1	0,6	28	28	3	0,9855	0,7997	0,9333	0,6667	0,6718	0,7175
1	0	0	0	9	7	1	0,9985	0,9315	0,5333	0,2000	0,9985	0,9985
0	1	0	0	1	7	3	0,9855	0,9548	0,5000	0,2000	0,9548	0,9548
0	0	1	0	28	28	1	0,9855	0,7855	0,9333	0,6667	0,9333	0,9333
0	0	0	1	16	16	1	0,9855	0,6351	0,5333	0,6667	0,6667	0,6667
0,70	0,15	0,10	0,05	28	28	3	0,9855	0,7997	0,9333	0,6667	0,9364	0,9408
0,15	0,70	0,10	0,05	56	55	3	0,9855	0,9445	0,6667	0,2000	0,8856	—
0,15	0,70	0,10	0,05	56	7	3	0,9855	0,9526	0,6000	0,2000	—	0,9049
0,10	0,15	0,70	0,05	28	28	3	0,9855	0,7997	0,9333	0,6667	0,9052	0,9083
0,05	0,10	0,15	0,70	28	28	3	0,9855	0,7997	0,9333	0,6667	0,7359	0,7445

Tablica A.13. Wpływ doboru wag na wskaźniki jakości ($N = 23$, $P = 2$)

w_1	w_2	w_3	w_4	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	$GQ1$	$GQ2$
0,25	0,25	0,25	0,25	28	29	3	0,9830	0,6337	0,9333	0,6667	0,8042	0,8191
0,6	0,1	0,1	0,1	28	29	3	0,9980	0,6337	0,9333	0,6667	0,8132	—
0,6	0,1	0,1	0,1	32	29	3	0,9983	0,5205	0,9333	0,6667	—	0,8698
0,1	0,6	0,1	0,1	23	8	3	0,9830	0,8800	0,5667	0,3000	0,7130	—
0,1	0,6	0,1	0,1	56	8	3	0,9830	0,8859	0,6000	0,2000	—	0,7795
0,1	0,1	0,6	0,1	28	29	3	0,9830	0,6337	0,9333	0,6667	0,7883	0,8390
0,1	0,1	0,1	0,6	28	29	3	0,9830	0,6337	0,9333	0,6667	0,6550	0,7000
1	0	0	0	9	8	1	0,9983	0,8371	0,5333	0,2000	0,9983	0,9983
0	1	0	0	1	8	3	0,9830	0,8882	0,5000	0,2000	0,8882	0,8882
0	0	1	0	28	29	1	0,9830	0,5918	0,9333	0,6667	0,9333	0,9333
0	0	0	1	16	16	1	0,9830	0,3497	0,5333	0,6667	0,6667	0,6667
0,70	0,15	0,10	0,05	28	29	3	0,9855	0,7954	0,9333	0,6667	0,9098	—
0,70	0,15	0,10	0,05	57	8	3	0,9985	0,9308	0,6000	0,2000	—	0,9211
0,15	0,70	0,10	0,05	56	8	3	0,9855	0,9494	0,6000	0,2000	0,8370	0,8558
0,10	0,15	0,70	0,05	28	29	3	0,9830	0,6337	0,9333	0,6667	0,8800	0,8882
0,05	0,10	0,15	0,70	28	29	3	0,9830	0,6337	0,9333	0,6667	0,7192	0,7282

Tablica A.14. Wpływ doboru wag na wskaźniki jakości ($N = 71$, $P = 4$)

w_1	w_2	w_3	w_4	UG	US	OK	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	q_{4N}	$GQ1$	$GQ2$
0,25	0,25	0,25	0,25	28	29	3	0,9816	0,3813	0,9333	0,6667	0,7407	0,7786
0,6	0,1	0,1	0,1	28	29	3	0,9816	0,3813	0,9333	0,6667	0,7871	—
0,6	0,1	0,1	0,1	32	29	3	0,9982	0,2677	0,9333	0,6667	—	0,8582
0,1	0,6	0,1	0,1	23	8	3	0,9816	0,7749	0,5667	0,3000	0,6498	—
0,1	0,6	0,1	0,1	54	8	3	0,9816	0,7782	0,6000	0,2000	—	0,7069
0,1	0,1	0,6	0,1	28	29	3	0,9816	0,3813	0,9333	0,6667	0,7630	0,8234
0,1	0,1	0,1	0,6	28	29	3	0,9816	0,3813	0,9333	0,6667	0,6296	0,6817
1	0	0	0	10	8	1	0,9982	0,6775	0,5333	0,2000	0,9982	0,9982
0	1	0	0	2	8	3	0,9816	0,7825	0,5000	0,2000	0,7825	0,7825
0	0	1	0	28	29	1	0,9816	0,2902	0,9333	0,6667	0,9333	0,9333
0	0	0	1	16	29	1	0,9816	0,2401	0,5667	0,6667	0,6667	0,6667
0,70	0,15	0,10	0,05	57	8	3	0,9982	0,7622	0,6000	0,2000	0,8831	0,9070
0,15	0,70	0,10	0,05	54	8	3	0,9816	0,7782	0,6000	0,2000	0,7620	0,7787
0,10	0,15	0,70	0,05	28	29	3	0,9816	0,3813	0,9333	0,6667	0,8420	0,8661
0,05	0,10	0,15	0,70	28	29	3	0,9816	0,3813	0,9333	0,6667	0,6939	0,7103

Tablica A.15. Wpływ doboru wag na wskaźniki jakości ($N = 157$, $P = 7$)

A.3. Badania dla sieci WLAN

nr	N	SR	AP	AN	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	$GQ1$	$GQ2$
1	$N = 3$	2	1	6	0,5420	0,8268	0,8333	0,7142	0,7279
2	$N = 5$	2	1	6	0,5420	0,7912	0,8333	0,7000	0,7119
3	$N = 10$	2	1	6	0,5420	0,7022	0,8333	0,6644	0,6735
4	$N = 15$	2	1	6	0,5420	0,6132	0,8333	0,6288	0,6378
5	$N = 20$	3	3	6	0,5420	0,5486	0,8000	0,5962	—
5	$N = 20$	2	1	6	0,5420	0,5242	0,8333	—	0,6052
6	$N = 25$	3	3	6	0,5420	0,4676	0,8000	0,5638	0,5770

Tablica A.16. Wpływ zmiany rozmiaru sieci na wskaźniki jakości (WLAN)

nr	ΔP	SR	AP	AN	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	$GQ1$	$GQ2$
1	$\Delta P = 0$	2	1	6	0,7719	0,7912	0,8333	0,7919	0,7922
2	$\Delta P = 1$	2	1	6	0,6863	0,7912	0,8333	0,7577	0,7601
3	$\Delta P = 2$	2	1	6	0,6100	0,7912	0,8333	0,7272	0,7336
4	$\Delta P = 3$	2	1	6	0,5420	0,7912	0,8333	0,7000	0,7119
5	$\Delta P = 4$	2	1	6	0,4814	0,7912	0,8333	0,6757	0,6943
6	$\Delta P = 5$	2	1	6	0,4274	0,7912	0,8333	0,6541	0,6800
7	$\Delta P = 6$	2	1	6	0,3793	0,7912	0,8333	0,6349	0,6685
8	$\Delta P = 7$	2	1	6	0,3364	0,7912	0,8333	0,6177	0,6592
9	$\Delta P = 8$	2	1	6	0,2981	0,7912	0,8333	0,6024	—
9	$\Delta P = 8$	2	1	4	0,1095	0,8474	0,8333	—	0,6564
10	$\Delta P = 9$	2	1	6	0,2641	0,7912	0,8333	0,5888	—
10	$\Delta P = 9$	2	1	4	0,0960	0,8474	0,8333	—	0,6556
11	$\Delta P = 10$	2	1	6	0,2337	0,7912	0,8333	0,5766	—
11	$\Delta P = 10$	2	1	4	0,0839	0,8474	0,8333	—	0,6549
12	$\Delta P = 12$	2	1	6	0,1825	0,7912	0,8333	0,5561	—
12	$\Delta P = 12$	2	1	4	0,0635	0,8474	0,8333	—	0,6540
13	$\Delta P = 15$	2	1	6	0,1247	0,7912	0,8333	0,5330	—
13	$\Delta P = 15$	4	1	4	0,0290	0,8134	0,9000	—	0,6534
14	$\Delta P = 20$	2	1	5	0,0242	0,8406	0,8333	0,5126	—
14	$\Delta P = 20$	4	1	4	0,0097	0,8134	0,9000	—	0,6532

Tablica A.17. Wpływ zmiany parametru ΔP na wskaźniki jakości (WLAN)

nr	l_{min}	SR	AP	AN	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	$GQ1$	$GQ2$
1	$l_{min} = 10$	2	1	6	0,5484	0,7912	0,8333	0,7025	0,7139
2	$l_{min} = 50$	2	1	6	0,5466	0,7912	0,8333	0,7018	0,7133
3	$l_{min} = 100$	2	1	6	0,5443	0,7912	0,8333	0,7009	0,7126
4	$l_{min} = 150$	2	1	6	0,5420	0,7912	0,8333	0,7000	0,7119
5	$l_{min} = 200$	2	1	6	0,5397	0,7912	0,8333	0,6990	0,7112
6	$l_{min} = 300$	2	1	6	0,5349	0,7912	0,8333	0,6971	0,7098
7	$l_{min} = 500$	2	1	6	0,5251	0,7912	0,8333	0,6932	0,7068
8	$l_{min} = 800$	2	1	6	0,5097	0,7912	0,8333	0,6870	0,7023
9	$l_{min} = 1000$	2	1	6	0,4988	0,7912	0,8333	0,6827	0,6991
10	$l_{min} = 1200$	2	1	6	0,4874	0,7912	0,8333	0,6781	0,6959
11	$l_{min} = 1500$	2	1	6	0,4693	0,7912	0,8333	0,6709	0,6909
12	$l_{min} = 1800$	2	1	6	0,4499	0,7912	0,8333	0,6631	0,6857
13	$l_{min} = 2000$	2	1	6	0,4361	0,7912	0,8333	0,6576	0,6822
14	$l_{min} = 2200$	2	1	6	0,4216	0,7912	0,8333	0,6518	0,6785
15	$l_{min} = 2500$	2	1	6	0,3985	0,7912	0,8333	0,6426	0,6729
16	$l_{min} = 2800$	2	1	6	0,3735	0,7912	0,8333	0,6325	0,6671
17	$l_{min} = 3000$	2	1	6	0,3556	0,7912	0,8333	0,6254	0,6632

Tablica A.18. Wpływ zmiany parametru l_{min} na wskaźniki jakości (WLAN)

nr	q_{1max}	SR	AP	AN	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	$GQ1$	$GQ2$
1	$q_{1max} = 1000$	—	—	—	—	—	—	—	—
2	$q_{1max} = 1500$	5	1	5	0,9102	0,7964	0,9000	0,8626	0,8634
3	$q_{1max} = 2000$	3	1	5	0,9716	0,8486	0,8167	0,8914	0,8939
4	$q_{1max} = 5000$	1	1	6	0,9777	0,7812	0,8333	0,8702	0,8749
5	$q_{1max} = 8000$	2	1	6	0,6801	0,7912	0,8333	0,7552	0,7578
6	$q_{1max} = 10000$	2	1	6	0,5420	0,7912	0,8333	0,7000	0,7119
7	$q_{1max} = 12000$	2	1	6	0,4505	0,7912	0,8333	0,6634	0,6859
8	$q_{1max} = 15000$	2	1	6	0,3595	0,7912	0,8333	0,6270	0,6641
9	$q_{1max} = 18000$	2	1	6	0,2991	0,7912	0,8333	0,6028	—
9	$q_{1max} = 18000$	2	1	4	0,1140	0,8474	0,8333	—	0,6568
10	$q_{1max} = 20000$	2	1	6	0,2690	0,7912	0,8333	0,5907	—
10	$q_{1max} = 20000$	2	1	4	0,1025	0,8474	0,8333	—	0,6560
11	$q_{1max} = 25000$	2	1	6	0,2148	0,7912	0,8333	0,5691	—
11	$q_{1max} = 25000$	2	1	4	0,0819	0,8474	0,8333	—	0,6548
12	$q_{1max} = 30000$	2	1	6	0,1789	0,7912	0,8333	0,5547	—
12	$q_{1max} = 30000$	2	1	4	0,0682	0,8474	0,8333	—	0,6542

Tablica A.19. Wpływ zmiany parametru q_{1max} na wskaźniki jakości (WLAN)

nr	q_{2max}	SR	AP	AN	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	$GQ1$	$GQ2$
1	$q_{2max} = 700$	—	—	—	—	—	—	—	—
2	$q_{2max} = 800$	2	1	5	0,2641	0,0038	0,8333	0,2738	0,4084
3	$q_{2max} = 900$	2	1	5	0,2641	0,1144	0,8333	0,3181	0,4148
4	$q_{2max} = 1000$	2	1	5	0,2641	0,2030	0,8333	0,3535	0,4281
5	$q_{2max} = 1500$	2	1	6	0,5420	0,3040	0,8333	0,5051	0,5416
6	$q_{2max} = 2000$	2	1	6	0,5420	0,4780	0,8333	0,5747	0,5897
7	$q_{2max} = 3000$	2	1	6	0,5420	0,6520	0,8333	0,6443	0,6530
8	$q_{2max} = 4000$	2	1	6	0,5420	0,7390	0,8333	0,6791	0,6891
9	$q_{2max} = 5000$	2	1	6	0,5420	0,7912	0,8333	0,7000	0,7119

Tablica A.20. Wpływ zmiany parametru q_{2max} na wskaźniki jakości (WLAN)

w_1	w_2	w_3	SR	AP	AN	q_{1N}	q_{2N}	q_{3N}	$GQ1$	$GQ2$
1	0	0	6	3	6	0,6100	0,4955	0,9000	0,6100	0,6100
0	0	1	6	1	4	0,1825	0,5935	0,9167	0,9167	0,9167
0	1	0	3	1	4	0,1418	0,8554	0,8167	0,8554	0,8554
$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	2	1	6	0,5420	0,7912	0,8333	0,7222	0,7335
0,1	0,1	0,8	4	1	6	0,4274	0,7572	0,9000	0,8385	0,8506
0,1	0,8	0,1	2	1	5	0,2641	0,8406	0,8333	0,7822	—
0,1	0,8	0,1	3	1	4	0,1418	0,8554	0,8167	—	0,8087
0,8	0,1	0,1	6	3	6	0,6100	0,4955	0,9000	0,6276	0,6350
0,4	0,4	0,2	2	1	6	0,5420	0,7912	0,8333	0,7000	0,7119
0,4	0,2	0,4	2	1	6	0,5420	0,7912	0,8333	0,7084	—
0,4	0,2	0,4	6	3	6	0,6100	0,4955	0,9000	—	0,7225
0,2	0,4	0,4	2	1	6	0,5420	0,7912	0,8333	0,7582	—
0,2	0,4	0,4	4	1	4	0,1610	0,8134	0,9000	—	0,7706

Tablica A.21. Wpływ doboru wag na wskaźniki jakości (WLAN)

A.4. Badania nad metodami optymalizacji

$T_{max} = 1, eval_{max} = \mathbf{0,6723}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,4023	0,6129
T=1,0000, i=4	0,6293	0,6556	0,6723

Tablica A.22. Wpływ zmiany parametru T_{max} w metodzie **sa** ($T_{max} = 1$)

$T_{max} = 2, eval_{max} = \mathbf{0,6815}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,3988	0,6426
T=2,0000, i=4	0,6293	0,6132	0,6589
T=1,6000, i=4	0,6556	0,6723	0,6815
T=1,2800, i=4	0,6589	0,6723	0,6684
T=1,0240, i=4	0,6756	0,6815	0,6684

Tablica A.23. Wpływ zmiany parametru T_{max} w metodzie **sa** ($T_{max} = 2$)

$T_{max} = 3, eval_{max} = \mathbf{0,6848}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,408	0,6684
T=3,0000, i=4	0,6293	0,6407	0,6553
T=2,4000, i=4	0,6556	0,6537	0,6848
T=1,9200, i=4	0,6589	0,6537	0,6848
T=1,5360, i=4	0,6589	0,6570	0,6848
T=1,2280, i=4	0,6756	0,6537	0,6848

Tablica A.24. Wpływ zmiany parametru T_{max} w metodzie **sa** ($T_{max} = 3$)

$T_{max} = 4, eval_{max} = \mathbf{0,6848}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,5924	0,6295
T=4,000, i=4	0,6293	0,6684	0,6589
T=3,200, i=4	0,6556	0,6815	0,6848
T=2,5600, i=4	0,6589	0,6684	0,6815
T=2,0480, i=4	0,6589	0,6815	0,6723
T=1,6384, i=4	0,6756	0,6684	0,6589
T=1,3107, i=4	0,6848	0,6815	0,6456
T=1,0486, i=4	0,6848	0,6848	0,6848

Tablica A.25. Wpływ zmiany parametru T_{max} w metodzie **sa** ($T_{max} = 4$)

$kT = 2, eval_{max} = \mathbf{0,6456}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,3786	0,5722
T=1,0000, i=2	0,6456	0,3786	0,6016
$kT = 3, eval_{max} = \mathbf{0,6456}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,3958	0,3956
T=1,0000, i=3	0,6293	0,3956	0,4155
$kT = 4, eval_{max} = \mathbf{0,6723}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,4023	0,6129
T=1,0000, i=4	0,6293	0,6556	0,6723
$kT = 5, eval_{max} = \mathbf{0,6723}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,6295	0,3886
T=1,0000, i=5	0,6456	0,6723	0,4180
$kT = 6, eval_{max} = \mathbf{0,6589}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,3825	0,3919
T=1,0000, i=6	0,6589	0,6570	0,4154
$kT = 7, eval_{max} = \mathbf{0,6556}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,5625	0,5924
T=1,0000, i=7	0,6556	0,6556	0,6180

Tablica A.26. Wpływ zmiany parametru kT w metodzie **sa** ($T_{max} = 1$)

$kT = 1, eval_{max} = \mathbf{0,6556}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,5625	0,5924
T=4,000, i=1	0,6456	0,5625	0,6016
T=3,200, i=1	0,6456	0,5722	0,6180
T=2,5600, i=1	0,6293	0,5625	0,6016
T=2,0480, i=1	0,6293	0,6293	0,6147
T=1,6384, i=1	0,6456	0,6426	0,6180
T=1,3107, i=1	0,6589	0,6556	0,6180
T=1,0486, i=1	0,6556	0,6556	0,6180
$kT = 2, eval_{max} = \mathbf{0,6756}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,5758	0,4022
T=4,000, i=2	0,6456	0,6426	0,3890
T=3,200, i=2	0,6293	0,6556	0,3890
T=2,5600, i=2	0,6589	0,6556	0,5998
T=2,0480, i=2	0,6556	0,6723	0,6162
T=1,6384, i=2	0,6589	0,6756	0,6295
T=1,3107, i=2	0,6589	0,6756	0,6429
T=1,0486, i=2	0,6756	0,6756	0,6298
$kT = 3, eval_{max} = \mathbf{0,6848}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,4121	0,6407
T=4,000, i=3	0,6293	0,6016	0,6132
T=3,200, i=3	0,6589	0,6684	0,6426
T=2,5600, i=3	0,6556	0,6848	0,6298
T=2,0480, i=3	0,6589	0,6848	0,6756
T=1,6384, i=3	0,6589	0,6848	0,6723
T=1,3107, i=3	0,6723	0,6848	0,6756
T=1,0486, i=3	0,6756	0,6848	0,6848
$kT = 4, eval_{max} = \mathbf{0,6848}$			
	t=1	t=2	t=3
$eval$ (init v_c)	0,6456	0,5924	0,6295
T=4,000, i=4	0,6293	0,6684	0,6589
T=3,200, i=4	0,6556	0,6815	0,6848
T=2,5600, i=4	0,6589	0,6684	0,6815
T=2,0480, i=4	0,6589	0,6815	0,6723
T=1,6384, i=4	0,6756	0,6684	0,6589
T=1,3107, i=4	0,6848	0,6815	0,6456
T=1,0486, i=4	0,6848	0,6848	0,6848

Tablica A.27. Wpływ zmiany parametru kT w metodzie **sa** ($T_{max} = 4$)

$t_{MAX} = 1$		$t_{MAX} = 2$		$t_{MAX} = 3$	
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,6848	25	0,6848	44	0,6848	81
0,6848	31	0,6848	44	0,6848	51
0,6756	25	0,6848	44	0,6848	39
0,6848	13	0,6848	50	0,6848	75
0,6848	19	0,6848	50	0,6848	63

Tablica A.28. Wpływ zmiany ilości iteracji t_{MAX} w metodzie **ihc**

$t_{MAX} = 1$		$t_{MAX} = 3$		$t_{MAX} = 5$		$t_{MAX} = 8$		$t_{MAX} = 10$	
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,6293	2	0,4288	4	0,3825	6	0,6429	9	0,6461	11
0,6456	2	0,5885	4	0,6407	6	0,6589	9	0,5853	11
0,6088	2	0,6815	4	0,4022	6	0,3958	9	0,6521	11
0,4121	2	0,6848	4	0,5924	6	0,6570	9	0,6521	11
0,6088	2	0,6426	4	0,6390	6	0,6521	9	0,6129	11

Tablica A.29. Wpływ zmiany ilości iteracji t_{MAX} w metodzie **shc**

$T_{max} = 4$		$T_{max} = 5$		$T_{max} = 6$		$T_{max} = 7$		$T_{max} = 8$	
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,6848	29	0,6570	33	0,6592	37	0,6684	37	0,6553	41
0,6684	29	0,6589	33	0,6848	37	0,6848	37	0,6848	41
0,6848	29	0,6848	33	0,6684	37	0,6848	37	0,6570	41
0,6815	29	0,6848	33	0,6723	37	0,6553	37	0,6553	41
0,6684	29	0,6426	33	0,6553	37	0,6848	37	0,6553	41

Tablica A.30. Wpływ zmiany parametru T_{max} w metodzie **sa**

ihc		shc		sa		enum	
<i>liczba kombinacji: 75</i>							
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,6848	81	0,6461	61	0,6684	37	0,6848	75
0,6848	51	0,5853	61	0,6848	37	0,6848	75
0,6848	39	0,6521	61	0,6848	37	0,6848	75
0,6848	75	0,6521	61	0,6553	37	0,6848	75
0,6848	63	0,6129	61	0,6848	37	0,6848	75
<i>liczba kombinacji: 90</i>							
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,6848	57	0,6553	61	0,6848	37	0,6848	90
0,6848	69	0,6592	61	0,6848	37	0,6848	90
0,6756	81	0,4213	61	0,6848	37	0,6848	90
0,6848	63	0,6553	61	0,6848	37	0,6848	90
0,6848	75	0,6556	61	0,6756	37	0,6848	90
<i>liczba kombinacji: 108</i>							
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,6848	69	0,5923	61	0,6570	37	0,6848	108
0,6848	75	0,6723	61	0,6592	37	0,6848	108
0,6848	57	0,6589	61	0,6461	37	0,6848	108
0,6848	69	0,6723	61	0,6848	37	0,6848	108
0,6086	51	0,6298	61	0,6848	37	0,6848	108
<i>liczba kombinacji: 144</i>							
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,6864	57	0,5902	61	0,6848	37	0,6864	144
0,6864	69	0,5757	61	0,6570	37	0,6864	144
0,6864	63	0,6864	61	0,6864	37	0,6864	144
0,6772	45	0,6848	61	0,6772	37	0,6864	144
0,6864	45	0,6570	61	0,6864	37	0,6864	144
<i>liczba kombinacji: 180</i>							
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,6755	63	0,6119	61	0,6864	37	0,6880	180
0,6603	45	0,6684	61	0,6772	37	0,6880	180
0,6848	57	0,5887	61	0,6603	37	0,6880	180
0,6848	45	0,6864	61	0,6788	37	0,6880	180
0,6864	69	0,6103	61	0,6723	37	0,6880	180

Tablica A.31. Wpływ zwiększających się wymiarów zadania i liczby elementów sieciowych

$t_{MAX} = 4$		$t_{MAX} = 5$	
<i>liczba kombinacji: 180;</i>			
<i>globalne optimum: 0,6880</i>			
eval	itGQ	eval	itGQ
0,6880	112	0,6880	107
0,6848	82	0,6880	59
0,6788	106	0,6880	113
0,6848	76	0,6880	95
0,6880	106	0,6848	95

Tablica A.32. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} oraz rozmiaru zadania na rezultaty metody **ihc** ($t_{MAX} = 4 \dots 5$)

$t_{MAX} = 6$		$t_{MAX} = 7$	
<i>liczba kombinacji: 294;</i>			
<i>globalne optimum: 0,6880</i>			
eval	itGQ	eval	itGQ
0,6880	132	0,6880	133
0,6880	180	0,6880	133
0,6848	132	0,6880	157
0,6880	120	0,6880	169
0,6880	138	0,6880	133

Tablica A.33. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} oraz rozmiaru zadania na rezultaty metody **ihc** ($t_{MAX} = 6 \dots 7$)

$t_{MAX} = 8$		$t_{MAX} = 9$		$t_{MAX} = 10$		$t_{MAX} = 15$		$t_{MAX} = 20$	
<i>liczba kombinacji: 800; globalne optimum: 0,7051</i>									
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,7043	230	0,7019	171	0,6880	232	0,7051	297	0,7051	422
0,7051	224	0,6880	171	0,6888	268	0,7051	321	0,7051	422
0,7019	158	0,7051	207	0,7051	226	0,7051	303	0,7051	524
0,7051	200	0,6888	213	0,6717	232	0,7051	357	0,7051	410
0,6787	146	0,7051	177	0,7051	208	0,7051	351	0,7051	572

Tablica A.34. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} oraz rozmiaru zadania na rezultaty metody **ihc** ($t_{MAX} = 8 \dots 20$)

$t_{MAX} = 1$		$t_{MAX} = 2$		$t_{MAX} = 5$		$t_{MAX} = 8$		$t_{MAX} = 10$		$t_{MAX} = 20$		$t_{MAX} = 50$	
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,8399	31	0,8505	38	0,8417	107	0,8506	170	0,8489	190	0,8459	404	0,8520	1076
0,8009	19	0,8021	32	0,8352	113	0,8506	164	0,8506	184	0,8521	332	0,8536	992
0,8260	7	0,8135	32	0,8403	89	0,8430	176	0,8520	226	0,8481	338	0,8535	1028
0,8306	19	0,8313	20	0,8506	89	0,8506	134	0,8490	202	0,8489	362	0,8535	914
0,7903	19	0,8391	44	0,8400	95	0,8520	182	0,8535	202	0,8486	398	0,8536	914

Tablica A.35. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} ($t_{MAX} = 1 \dots 50$) na rezultaty metody **ihc** (LAN)

$t_{MAX} = 100$		$t_{MAX} = 150$		$t_{MAX} = 200$		$t_{MAX} = 300$		$t_{MAX} = 350$		$t_{MAX} = 400$	
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,8521	2002	0,8520	2856	0,8536	3746	0,8536	6000	0,8536	6734	0,8536	7924
0,8536	1990	0,8535	3090	0,8536	3980	0,8536	5736	0,8536	6530	0,8536	7642
0,8520	1924	0,8536	2838	0,8536	3812	0,8536	5628	0,8536	6668	0,8536	7738
0,8536	1804	0,8536	2976	0,8535	3710	0,8521	5916	0,8536	6896	0,8536	7708
0,8535	1918	0,8536	2976	0,8536	4010	0,8536	5622	0,8536	6542	0,8536	7756

Tablica A.36. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} ($t_{MAX} = 100 \dots 400$) na rezultaty metody **ihc** (LAN)

$t_{MAX} = 100$		$t_{MAX} = 200$		$t_{MAX} = 300$		$t_{MAX} = 500$		$t_{MAX} = 800$		$t_{MAX} = 1000$	
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,7577	601	0,8317	1201	0,8337	1801	0,8141	3001	0,8273	4801	0,8191	6001
0,7857	601	0,8386	1201	0,8451	1801	0,8411	3001	0,8024	4801	0,8084	6001
0,7922	601	0,7858	1201	0,8103	1801	0,8163	3001	0,8321	4801	0,8312	6001
0,8135	601	0,8029	1201	0,8452	1801	0,8338	3001	0,7861	4801	0,8038	6001
0,8447	601	0,7734	1201	0,8420	1801	0,8317	3001	0,8020	4801	0,7593	6001

Tablica A.37. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} na rezultaty metody **shc** (LAN)

$T_{max} = 4$		$T_{max} = 8$		$T_{max} = 100$	
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,8046	169	0,7714	241	0,8318	505
0,7761	169	0,8389	241	0,7832	505
0,7785	169	0,8326	241	0,8358	505
0,8002	169	0,8098	241	0,8320	505
0,8364	169	0,8367	241	0,8404	505

Tablica A.38. Wpływ parametru T_{max} na rezultaty metody **sa** (LAN)

$kT = 8$		$kT = 10$		$kT = 20$	
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,8064	1009	0,8388	1261	0,8074	2521
0,8465	1009	0,8481	1261	0,7879	2521
0,7630	1009	0,8113	1261	0,7902	2521
0,8044	1009	0,7825	1261	0,8340	2521
0,8141	1009	0,8064	1261	0,8261	2521

Tablica A.39. Wpływ parametru kT na rezultaty metody **sa** (LAN)

$t_{MAX} = 1$		$t_{MAX} = 2$		$t_{MAX} = 3$		$t_{MAX} = 4$	
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,5829	19	0,7000	26	0,6022	51	0,7000	52
0,7000	37	0,5854	32	0,6647	51	0,7000	76
0,5701	13	0,7000	26	0,7000	45	0,7000	70
0,5725	19	0,6934	38	0,7000	63	0,7000	88
0,7000	13	0,7000	38	0,7000	57	0,6691	58

Tablica A.40. Wpływ parametru t_{MAX} na rezultaty metody **ihc** (WLAN)

$T_{max} = 4$		$T_{max} = 8$	
eval	itGQ	eval	itGQ
0,6691	169	0,6691	241
0,6929	169	0,6936	241
0,6936	169	0,7000	241
0,7000	169	0,6929	241
0,6538	169	0,7000	241

Tablica A.41. Wpływ parametru T_{max} na rezultaty metody **sa** (WLAN)

$t_{MAX} = 1$		$t_{MAX} = 3$		$t_{MAX} = 5$		$t_{MAX} = 8$		$t_{MAX} = 10$		$t_{MAX} = 15$	
eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ	eval	itGQ
0,6691	7	0,6647	19	0,6647	31	0,7000	49	0,5275	61	0,5737	91
0,6222	7	0,6222	19	0,5430	31	0,6085	49	0,6106	61	0,6538	91
0,5482	7	0,6691	19	0,6245	31	0,5692	49	0,5476	61	0,6022	91
0,5676	7	0,5676	19	0,5500	31	0,5676	49	0,5669	61	0,5416	91
0,5417	7	0,7000	19	0,5662	31	0,5660	49	0,6691	61	0,5819	91

Tablica A.42. Wpływ liczby iteracji t_{MAX} na rezultaty metody **shc** (WLAN)

Dodatek B

Tabele elementów sieci wykorzystane w badaniach symulacyjnych

Dodatek niniejszy zawiera zestawienie tabel zawierających odpowiednie parametry elementów sieci wykorzystane w badaniach symulacyjnych opisanych w rozdziale 4. Na dodatek składają się dwa podrozdziały zawierające, odpowiednio, tabele dla sieci LAN oraz WLAN.

B.1. Elementy sieci LAN

Parametry urządzeń sieciowych (US, UG)

Tabele: B.1 oraz B.2 zawierają zestawienie rzeczywistych parametrów urządzeń sieciowych stosowanych przy budowie sieci LAN, konkretnie są to przełączniki (*switch*) dostępne na polskim rynku w styczniu 2005 roku. Tabela B.3 zawiera odwzorowanie, dzięki któremu można przejść od opisu marki w postaci słownej do wymaganej przez algorytm wartości liczbowej parametru r_8 . Dzięki temu odwzorowaniu otrzymujemy tabele: B.4 oraz B.5.

Parametry okablowania (OK)

Tabela B.6 zawiera zestawienie rzeczywistych parametrów okablowania stosowanego przy budowie sieci LAN, konkretnie są to kable kategorii 5 dostępne na polskim rynku w styczniu 2005 roku. Po podzieleniu ceny zbiorczego opakowania przez długość kabla uzyskujemy cenę jednostkową za odcinek o długości 1 [m]. W ten sposób uzyskujemy parametr s_2 tabeli B.7. Parametr s_1 tzn. maksymalna dopuszczalna prędkość pracy ustalona jest na podstawie informacji zawartej w nazwie bądź specyfikacji. W odniesieniu do okablowania kategorii 5 określono górne ograniczenie na prędkość na 1000 [Mbps]. W ten sposób dokonane zostaje przejście do parametrów okablowania zawartych w tabeli B.7.

B.2. Elementy sieci WLAN

Parametry SR

Tabela B.8 zawiera zestawienie rzeczywistych parametrów adapterów sieciowych dla sieci budowanych w standardzie IEEE 802.11b dostępnych na polskim rynku w styczniu 2005 roku. Tabela B.9 zawiera odwzorowanie, dzięki któremu można przejść od opisu marki w postaci słownej do wymaganej przez algorytm wartości liczbowej parametru r_2 . Dzięki temu odwzorowaniu otrzymujemy tabelę B.10.

Parametry AP

Tabela B.11 zawiera zestawienie rzeczywistych parametrów punktów dostępnych dla sieci budowanych w standardzie IEEE 802.11b dostępnych na polskim rynku w styczniu 2005 roku. Tabela B.12 zawiera odwzorowanie, dzięki któremu można przejść od opisu marki w postaci słownej do wymaganej przez algorytm wartości liczbowej parametru s_2 . Dzięki temu odwzorowaniu otrzymujemy tabelę B.13.

Parametry AN

Tabela B.14 zawiera zestawienie rzeczywistych parametrów zewnętrznych anten dookólnych wykorzystywanych w sieciach budowanych w standardzie IEEE 802.11b dostępnych na polskim rynku w styczniu 2005 roku. Tabela B.15 zawiera odwzorowanie, dzięki któremu można przejść od opisu marki w postaci słownej do wymaganej przez algorytm wartości liczbowej parametru s_2 . Dzięki temu odwzorowaniu otrzymujemy tabelę B.16.

Nr	Nazwa	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9
1	NS-500	65,00	5	100	0	0	0	0	Asmax	0
2	NS-800	78,00	8	100	0	0	0	0	Asmax	0
3	F5D5131ee5	162,00	5	10	0	0	0	0	Belkin	0
4	F5D5131ee8	198,00	8	10	0	0	0	0	Belkin	0
5	DES-1005D	82,00	5	100	0	0	0	0	D-Link	0
6	DES-1008D	132,00	8	100	1	0	0	0	D-Link	0
7	DES-1016D	299,00	16	100	0	0	0	0	D-Link	0
8	DES-1024D	339,00	24	100	0	0	0	0	D-Link	0
9	DGS-1005D	293,00	5	1000	0	0	0	0	D-Link	0
10	DGS-1008D	428,00	8	1000	0	0	0	0	D-Link	0
11	DGS-1016D	1096,00	16	1000	0	0	0	0	D-Link	0
12	DGS-1024D	1582,00	16	1000	0	0	0	0	D-Link	0
13	DES-1016R+	503,00	16	100	0	1	0	0	D-Link	0
14	DES-1024R+	607,00	24	100	0	1	0	0	D-Link	0
15	DES-1218R	1224,00	16	100	0	0	1	0	D-Link	0
16	DES-3326S	2767,00	24	100	0	1	1	1	D-Link	0
17	DES-1216T	2035,00	16	1000	0	1	0	0	D-Link	0
18	DES-1224T	2915,00	24	1000	0	1	0	0	D-Link	0
19	DES-3324SR	7685,00	24	1000	0	1	1	1	D-Link	1
20	GN-SW008A	107,00	8	10	1	0	0	0	Gigabyte	0
21	GN-SW005A	103,00	5	10	1	0	0	0	Gigabyte	0
22	J4817A	1110,00	12	100	0	1	0	0	HP	0
23	J4097B	268,00	8	100	1	0	0	0	HP	0
24	J4868A	701,00	24	100	0	1	0	0	HP	0
25	J4898A	1441,00	8	1000	0	0	0	0	HP	0
26	J4818A	1225,00	24	100	0	1	0	0	HP	0
27	J4897A	4247,00	24	1000	0	0	0	0	HP	0
28	J4812A	1514,00	12	100	0	1	1	1	HP	1
29	J4813A	1567,00	24	100	0	1	1	1	HP	1
30	J4903A	6413,00	24	1000	0	1	1	1	HP	1
31	J4904A	12588,00	48	1000	0	1	1	1	HP	1
32	J4902A	4352,00	8	1000	0	1	1	1	HP	1
33	J4904A	12588,00	48	1000	0	1	1	1	HP	1

Tablica B.1. Rzeczywiste parametry urządzeń sieciowych cz. 1

Nr	Nazwa	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9
34	PS800	94,00	8	100	0	0	0	0	Lantech	0
35	PSR500	80,00	5	100	0	0	0	0	Lantech	0
36	GE-500	286,00	5	1000	0	0	0	0	Lantech	0
37	GE-800	523,00	8	1000	0	0	0	0	Lantech	0
38	SR216	407,00	16	100	0	0	0	0	Linksys	0
39	SD216	328,00	16	100	0	0	0	0	Linksys	0
40	SD205	153,00	5	100	0	0	0	0	Linksys	0
41	SD208	224,00	8	100	0	0	0	0	Linksys	0
42	EF3116	566,00	16	100	0	1	0	0	Linksys	0
43	EF3124	679,00	24	100	0	1	0	0	Linksys	0
44	SR224	669,00	24	100	0	0	0	0	Linksys	0
45	SD2005	484,00	5	1000	0	0	0	0	Linksys	0
46	SD2008	699,00	8	1000	0	0	0	0	Linksys	0
47	SR224G	1142,00	24	1000	0	0	0	0	Linksys	0
48	SR2016	1767,00	16	1000	0	0	0	0	Linksys	0
49	SR2024	2422,00	24	1000	0	1	0	0	Linksys	0
50	USR997930	483,00	8	1000	0	0	0	0	U.S. Robotics	0
51	USR997931	1684,00	24	1000	0	0	0	0	U.S. Robotics	0
52	3C16790	153,00	5	100	0	0	0	0	3Com	0
53	3C16791	214,00	8	100	0	0	0	0	3Com	0
54	3C16794	187,00	8	100	0	0	0	0	3Com	0
55	3C16792	400,00	16	100	0	0	0	0	3Com	0
56	3C16793	121,00	5	100	0	0	0	0	3Com	0
57	3C1670800A	586,00	8	1000	0	0	0	0	3Com	0
58	3C16470	496,00	16	100	0	0	0	0	3Com	0
59	3C16471	650,00	24	100	0	0	0	0	3Com	0
60	3C17203A	3727,00	24	100	0	1	1	1	3Com	0
61	3C17204	7247,00	48	100	0	1	1	1	3Com	0
62	3C17206	2005,00	24	100	0	1	1	1	3Com	0

Tablica B.2. Rzeczywiste parametry urządzeń sieciowych cz. 2

Marka	r_8
Asmax	0,4
Belkin	0,5
D-Link	0,6
Gigabyte	0,3
HP	0,8
Lantech	0,2
Linksys	0,7
U.S. Robotics	0,9
3Com	1,0

Tablica B.3. Odwzorowanie marki na parametr r_8

Nr	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9
1	65,00	5	100	0	0	0	0	0,4	0
2	78,00	8	100	0	0	0	0	0,4	0
3	162,00	5	10	0	0	0	0	0,5	0
4	198,00	8	10	0	0	0	0	0,5	0
5	82,00	5	100	0	0	0	0	0,6	0
6	132,00	8	100	1	0	0	0	0,6	0
7	299,00	16	100	0	0	0	0	0,6	0
8	339,00	24	100	0	0	0	0	0,6	0
9	293,00	5	1000	0	0	0	0	0,6	0
10	428,00	8	1000	0	0	0	0	0,6	0
11	1096,00	16	1000	0	0	0	0	0,6	0
12	1582,00	16	1000	0	0	0	0	0,6	0
13	503,00	16	100	0	1	0	0	0,6	0
14	607,00	24	100	0	1	0	0	0,6	0
15	1224,00	16	100	0	0	1	0	0,6	0
16	2767,00	24	100	0	1	1	1	0,6	0
17	2035,00	16	1000	0	1	0	0	0,6	0
18	2915,00	24	1000	0	1	0	0	0,6	0
19	7685,00	24	1000	0	1	1	1	0,6	1
20	107,00	8	10	1	0	0	0	0,3	0
21	103,00	5	10	1	0	0	0	0,3	0
22	1110,00	12	100	0	1	0	0	0,8	0
23	268,00	8	100	1	0	0	0	0,8	0
24	701,00	24	100	0	1	0	0	0,8	0
25	1441,00	8	1000	0	0	0	0	0,8	0
26	1225,00	24	100	0	1	0	0	0,8	0
27	4247,00	24	1000	0	0	0	0	0,8	0
28	1514,00	12	100	0	1	1	1	0,8	1
29	1567,00	24	100	0	1	1	1	0,8	1
30	6413,00	24	1000	0	1	1	1	0,8	1
31	12588,00	48	1000	0	1	1	1	0,8	1
32	4352,00	8	1000	0	1	1	1	0,8	1
33	12588,00	48	1000	0	1	1	1	0,8	1

Tablica B.4. Parametry urządzeń sieciowych cz. 1

Nr	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9
34	94,00	8	100	0	0	0	0	0,2	0
35	80,00	5	100	0	0	0	0	0,2	0
36	286,00	5	1000	0	0	0	0	0,2	0
37	523,00	8	1000	0	0	0	0	0,2	0
38	407,00	16	100	0	0	0	0	0,7	0
39	328,00	16	100	0	0	0	0	0,7	0
40	153,00	5	100	0	0	0	0	0,7	0
41	224,00	8	100	0	0	0	0	0,7	0
42	566,00	16	100	0	1	0	0	0,7	0
43	679,00	24	100	0	1	0	0	0,7	0
44	669,00	24	100	0	0	0	0	0,7	0
45	484,00	5	1000	0	0	0	0	0,7	0
46	699,00	8	1000	0	0	0	0	0,7	0
47	1142,00	24	1000	0	0	0	0	0,7	0
48	1767,00	16	1000	0	0	0	0	0,7	0
49	2422,00	24	1000	0	1	0	0	0,7	0
50	483,00	8	1000	0	0	0	0	0,9	0
51	1684,00	24	1000	0	0	0	0	0,9	0
52	153,00	5	100	0	0	0	0	1,0	0
53	214,00	8	100	0	0	0	0	1,0	0
54	187,00	8	100	0	0	0	0	1,0	0
55	400,00	16	100	0	0	0	0	1,0	0
56	121,00	5	100	0	0	0	0	1,0	0
57	586,00	8	1000	0	0	0	0	1,0	0
58	496,00	16	100	0	0	0	0	1,0	0
59	650,00	24	100	0	0	0	0	1,0	0
60	3727,00	24	100	0	1	1	1	1,0	0
61	7247,00	48	100	0	1	1	1	1,0	0
62	2005,00	24	100	0	1	1	1	1,0	0

Tablica B.5. Parametry urządzeń sieciowych cz. 2

Nr	Nazwa	Cena
1	Seven UTP 24AWG 4x2 100 m linka	104,00
2	Belden UTP 4x2 305 m drut	221,00
3	UTP 24AWG 4x2 305 m drut	181,00

Tablica B.6. Rzeczywiste parametry okablowania

Nr	s_1	s_2
1	1000	1,04
2	1000	0,72
3	1000	0,59

Tablica B.7. Parametry okablowania

Nr	Nazwa	Cena	Marka	Moc	Czułość
1	DWL-510	99,00	D-Link	15,0	-87,0
2	DWL-610	89,00	D-Link	16,0	-90,0
3	WL-570	81,00	Lantech	13,0	-90,0
4	WPC11	123,00	Linksys	14,0	-89,0
5	WMP11	140,00	Linksys	12,0	-89,0
6	PCI 802.11B	377,08	ORiNOCO	15,0	-91,0

Tablica B.8. Rzeczywiste parametry SR

Marka	r_2
D-Link	0,5
Lantech	0,4
Linksys	0,8
ORiNOCO	1,0

Tablica B.9. Odwzorowanie marki na parametr r_2

Nr	r_1	r_2	r_3	r_4
1	99,00	0,5	15,0	-87,0
2	89,00	0,5	16,0	-90,0
3	81,00	0,4	13,0	-90,0
4	123,00	0,9	14,0	-89,0
5	140,00	0,9	12,0	-89,0
6	377,08	1,0	15,0	-91,0

Tablica B.10. Parametry SR

Nr	Nazwa	Cena	Marka	Moc	Czułość
1	DWL-700AP	185,00	D-Link	18,0	-87,0
2	DWL-900AP+	273,00	D-Link	15,0	-87,0
3	AP790B	223,00	Lantech	13,0	-92,0

Tablica B.11. Rzeczywiste parametry AP

Marka	s_2
D-Link	0,5
Lantech	0,4

Tablica B.12. Odwzorowanie marki na parametr s_2

Nr	s_1	s_2	s_3	s_4
1	185,00	0,5	18,0	-87,0
2	273,00	0,5	15,0	-87,0
3	223,00	0,4	13,0	-92,0

Tablica B.13. Parametry AP

Nr	Nazwa	Cena	Marka	Zysk
1	ANT24-0500	364,00	D-Link	5,0
2	ANT24-0800	489,00	D-Link	8,0
3	ANT24-0801	497,00	D-Link	8,5
4	Horizon XPmini	133,00	Interline	7,0
5	Horizon XPmidi	167,00	Interline	9,0
6	Ranger HP	414,00	Interline	15,0
7	DOK-9	243,00	Netrack	9,0

Tablica B.14. Rzeczywiste parametry AN

Marka	t_2
D-Link	0,9
Interline	1,0
Netrack	0,7

Tablica B.15. Odwzorowanie marki na parametr t_2

Nr	t_1	t_2	t_3
1	364,00	0,9	5,0
2	489,00	0,9	8,0
3	497,00	0,9	8,5
4	133,00	1,0	7,0
5	167,00	1,0	9,0
6	414,00	1,0	15,0
7	243,00	0,7	9,0

Tablica B.16. Parametry AN

Bibliografia

- [1] F. Adelstein, F. Hosch, G. G. Richard III, L. Schwiebert „Bessie: Portable Generation of Network Topologies for Simulation”, Proceedings of 7th International Conference on Computer Communications and Networks, Lafayette, LA, USA, 12-15 Oct 1998, pp. 787–791
- [2] J. Arabas, S. Kozdrowski „Applying an Evolutionary Algorithm to Telecommunication Network”, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 5, no. 4, 2001, pp. 309–322
- [3] R. Bagrodia et al. „Parsec: A Parallel Simulation Environment for Complex Systems”, IEEE Computer, vol. 31, no. 10, 1998, pp. 77–85
- [4] M. Bazewicz (red.) „Własności i funkcje sieci komputerowych. Część II. Komunikacja”, Wydawnictwo PWr, Wrocław 1980
- [5] D. Bertsekas, R. Gallager „Data networks”, Prentice-Hall, New Jersey 1987
- [6] A. W. Butrimenko „Projektowanie i eksploatacja sieci komputerowych”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1983
- [7] K. L. Calvert, M. B. Doar, E. W. Zegura „Modelling Internet Topology”, IEEE Communications Magazine, June 1997, pp. 160–163
- [8] Ch.-H. Chu, G. Premkumar, H. Chou „Digital data networks design using genetic algorithms”, European Journal of Operational Research, no. 127, 2000, pp. 140–158
- [9] J. Chudzikiewicz „Sieci komputerowe o strukturze logicznej typu hipersześcianu”, Instytut Automatyki i Robotyki, Wydział Cybernetyki, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2002
- [10] Z. Czerwiński „Matematyka na usługach ekonomii”, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1984
- [11] K. Deb „Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms”, John Wiley and Sons Ltd, Chichester 2001
- [12] E. Drakopoulos „Enterprise network planning and design: methodology and application”, Computer Communications, no. 22, 1999, pp. 340–352
- [13] R. Elbaum, M. Sidi „Topological Design of Local-Area Networks Using Genetic Algorithms”, IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 4, no. 5, 1996, pp. 766–778
- [14] Z. Engel, K. Kosała „Globalny wskaźnik oceny jakości akustycznej obiektów sakralnych”, LI Otwarte Seminarium z Akustyki, str. 310–312, Gdańsk-Sobieszewo 2004
- [15] V. J. M. F. Filho, R. D. Galvao „Design of Interconnection of Local Area Networks”, Int. Trans. Opl. Res., vol. 5, no. 3, 1998, pp. 211–231

- [16] S. Floyd, V. Paxson „Difficulties in Simulating the Internet”, IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 9, no. 4, 2001, pp. 392–403
- [17] L. R. Ford Jr, D. R. Fulkerson „Przepływy w sieciach”, PWN, Warszawa 1969
- [18] M. Gen, R. Cheng, S. Oren „Network design techniques using adapted genetic algorithms”, Advances in Engineering Software, no. 32, 2001, pp. 731–744
- [19] R. Giladi, E. Korach, R. Ohayon „Placement of network resources in communication networks”, Computer Networks, no. 43, 2003, pp. 195–209
- [20] H. Tangmunarunkit, R. Govindan, S. Jamin, S. Shenker, W. Willinger „Network Topology Generators: Degree-Based vs. Structural”, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 32, no. 4, 2002, pp. 147–159
- [21] S. J. Habib, A. C. Parker, D. C. Lee „Automated design of hierarchical intranets”, Computer Communications, no. 25, 2002, pp. 1066–1075
- [22] G. N. Higginbottom „Performance Evaluation of Communication Networks”, Artech House, Boston-London 1998
- [23] E. Ignasiak (red.) „Badania operacyjne”, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001
- [24] A. Kasprzak „Projektowanie struktur rozległych sieci komputerowych”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001
- [25] A. Kershenbaum „Telecommunications Network Design Algorithms”, McGraw-Hill, New York 1993
- [26] B. Korte, J. Vygen „Combinatorial Optimization. Theory and Algorithms”, Springer-Verlag, Berlin 2002
- [27] R. Kulikowski „Sterowanie w wielkich systemach”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1974
- [28] M. Kwiesielewicz „Przegląd metod wieloatrybutowych wspomagających podejmowanie decyzji”, WEiA, PG, Gdańsk 1998
- [29] Z. Michalewicz, D. B. Fogel „How to Solve It: Modern Heuristics”, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 2002
- [30] K. Nowicki, J. Woźniak „Przewodowe i bezprzewodowe sieci LAN”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002
- [31] R. Olejnik „Komputerowe wspomaganie projektowania sieci komputerowych — stan bieżący”, VII Poznańskie Warsztaty Telekomunikacyjne, str. 4.8-1–3, Poznań 2002
- [32] R. Olejnik „Methodology of Computer Network Design”, International Conference of Computer Information Systems and Industrial Management Applications (CISIM'03), str. 261–267, Ełk 2003
- [33] R. Olejnik „Zagadnienia komputerowego wspomagania projektowania sieci komputerowych”, V Ogólnopolskie Warsztaty Doktoranckie 2003, str. 210–213, Istebna-Zaolzie 2003
- [34] R. Olejnik „Zależność wskaźników jakości sieci od parametrów sieci w projektowaniu parametrycznym lokalnych sieci komputerowych”, VIII Poznańskie Warsztaty Telekomunikacyjne, str. 139–141, Poznań 2003

- [35] R. Olejnik „Wskaźniki jakości oraz parametry sieci w projektowaniu parametrycznym lokalnych sieci komputerowych” VIII Sesja Naukowa WI PS, str. 75–80, Szczecin 2003
- [36] R. Olejnik „Globalny wskaźnik jakości w projektowaniu parametrycznym lokalnych sieci komputerowych”, VI Międzynarodowe Warsztaty Doktoranckie OWD 2004, str. 339–343, Istebna-Zaolzie 2004
- [37] R. Olejnik „Metody optymalizacji w projektowaniu parametrycznym lokalnych sieci komputerowych”, IX Poznańskie Warsztaty Telekomunikacyjne, str. 205–209, Poznań 2004
- [38] R. Olejnik „Metoda symulowanego wyżarzania (*simulated annealing*) w projektowaniu parametrycznym lokalnych sieci komputerowych”, Roczniki Informatyki Stosowanej WI PS nr 7, str. 119–127, Wydział Informatyki Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2004
- [39] R. Olejnik „Heurystyczne metody optymalizacji w projektowaniu parametrycznym lokalnych sieci komputerowych” w: „Wysokowydajne sieci komputerowe” (red. A. Grzywak, A. Kwiecień), str. 111–122, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005
- [40] A. Osyczka „Evolutionary Algorithms for Single and Multicriteria Design Optimization”, Physica-Verlag, Heidelberg 2002
- [41] Ch. H. Papadimitriou, K. Steiglitz „Combinatorial Optimization. Algorithms and Complexity”, Prentice-Hall Inc., New Jersey 1982
- [42] M. Peschel, C. Riedel „Polioptrymalizacja. Metody podejmowania decyzji kompromisowych w zagadnieniach inżyniersko-technicznych”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1979
- [43] D. T. Phem, D. Karaboga „Intelligent Optimisation Techniques. Genetic Algorithms, Tabu Search, Simulated Annealing and Neural Networks”, Springer-Verlag, Heidelberg 2000
- [44] S. Pierre „Towards a modular methodology for designing software in telecommunication network planning”, Advances in Engineering Software, no. 30, 1999, pp. 49–68
- [45] M. Pióro, D. Medhi „Routing, Flow and Capacity Design in Communication and Computer Networks”, Elsevier, San Francisco 2004
- [46] J. M. Pullen „The Network Workbench: network simulation software for academic investigation of Internet concepts”, Computer Networks, no. 32, 2000, pp. 365–378
- [47] T. G. Robertazzi „Planning Telecommunication Networks”, IEEE Press, New York 1999
- [48] J. Seidler „Analiza i synteza sieci łączności dla systemów teleinformatycznych”, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1979
- [49] J. Seidler, A. Badach, W. Molisz „Metody rozwiązywania zadań optymalizacji”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980
- [50] J. Seidler „Principles of Computer Communication Network Design”, Ellis Horwood Limited Publishers, Chichester 1983
- [51] W. Sobczak (red.) „Problemy teleinformatyki”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1984

- [52] S. K. Srivatsa, P. Seshaiyah „On the topological design of a Computer Network”, *Computer Networks and ISDN Systems*, no. 27, 1995, pp. 567–569
- [53] M. Sysło, N. Deo, J. Kowalik „Algorytmy optymalizacji dyskretnej”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999
- [54] A. S. Tanenbaum „Sieci komputerowe” (*1st edition*), Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1988
- [55] A. S. Tanenbaum „Sieci komputerowe” (*4th edition*), Wydawnictwo Helion, Gliwice 2004
- [56] P. Vincke „Multicriteria Decision-Aid”, John Wiley and Sons, Chichester 1992
- [57] S. Y. Wang, H. T. Kung „A new methodology for easily constructing extensible and high-fidelity TCP/IP network simulators”, *Computer Networks*, no. 40, 2002, pp. 257–278
- [58] H. Youssef, S. M. Sait, S. A. Khan „Topology design of switched enterprise networks using a fuzzy simulated evolution algorithm”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, no. 15, 2002, pp. 327–340
- [59] K. Zorychta, W. Ogryczak „Programowanie liniowe i całkowitoliczbowe”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1981
- [60] *network manipulator (nem)*
<http://www.labri.fr/perso/magoni/nem>
- [61] Tiers
<http://www.pobox.com/~doar>
- [62] OPNET Modeler
<http://www.opnet.com/products/modeler>
- [63] ns version 1 — LBNL Network Simulator
<http://www-nrg.ee.lbl.gov/ns>
- [64] The Network Simulator — ns-2
<http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [65] Extensible and High-Fidelity Network Simulator and Emulator
<http://eecs.harvard.edu/networking/simulator.html>
- [66] NIST Net Home Page
<http://www-x.antd.nist.gov/nistnet>
- [67] OMNeT++ Discrete Event Simulator — Home
<http://www.omnetpp.org>
- [68] Network Workbench Homepage
<http://netlab.gmu.edu/networkbench>
- [69] QualNet Network Simulator by Scalable Network Technologies
<http://www.scalable-networks.com>
- [70] Global Optimization
<http://solon.cma.univie.ac.at/~neum/glopt.html>
- [71] E. W. Weisstein et al. „Global Optimization” — A Wolfram Web Resource
<http://mathworld.wolfram.com/GlobalOptimization.html>

- [72] E. W. Weisstein et al. „Tabu Search” — A Wolfram Web Resource
<http://mathworld.wolfram.com/TabuSearch.html>
- [73] E. W. Weisstein et al. „Simulated Annealing” — A Wolfram Web Resource
<http://mathworld.wolfram.com/SimulatedAnnealing.html>
- [74] E. W. Weisstein et al. „Evolution Strategies” — A Wolfram Web Resource
<http://mathworld.wolfram.com/EvolutionStrategies.html>
- [75] E. W. Weisstein et al. „Branch and Bound Algorithm” — A Wolfram Web Resource
<http://mathworld.wolfram.com/BranchandBoundAlgorithm.html>

Summary

*The monograph presents a method of local area network design using a synthetic performance metacriterion. This method is a parametric method — it aims to find parameters of the nodes and interconnecting communication channels satisfying predefined assumptions and requirements. Two network models have been developed, both for wired (IEEE 802.3 standard) and for wireless (IEEE 802.11 standard) networks. Then proposals of the network parameters and network quality indices that are built on their basis are presented. There are four network quality indices for wired network — average delay in the network, cost of the network construction and reliability of the network — and three network quality indices for wireless network model (maximum range of access cell, cost of network construction and reliability of the network). Normalized quality indices are included in the performance metacriterion — global quality index, which is used in the assessment process of designed network. For construction of the global quality index two functions have been used — weighted sum and the power function. Three optimization methods have been used in order to find best combinations of network components: iterated hill-climber (**ihc**), stochastic hill-climber (**shc**) and simulated annealing (**sa**), which have been compared with exhaustive search (**enum**) reference method.*

Simulation studies were carried out in MATLAB environment. The ability of using a global quality index to assess the quality of LAN and WLAN networks has been verified, and the impact of network parameters on the variability of used synthetic performance metacriterion has been checked. A detailed study on the effectiveness of optimization methods has been carried out as well as the impact of choosing the weights on the value of global quality index has been examined.

Obtained results indicate the ability to automate the process of local area network design by using of synthetic performance metacriterion — global network quality index with a suitable method of optimization, as shown in presented method.

