
Marcin Pilipczuk

e-mail malcin@mimuw.edu.pl
www http://www.mimuw.edu.pl/~malcin/

Wykształcenie i kariera naukowa

od 2012 adiunkt na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu
Warszawskiego

2012 tytuł doktora nauk matematycznych w zakresie informatyki
temat rozprawy doktorskiej: *New techniques applicable to selected NP-hard problems*
promotor: dr hab. Łukasz Kowalik

2008 – 2012 studia doktoranckie na Uniwersytecie Warszawskim na kierunku informatyka

2009 tytuł magistra matematyki
temat pracy magisterskiej: *Charakteryzacja zwartych podzbiorów krzywych o omega-
ciągłych pochodnych*
promotor: prof. dr hab. Paweł Strzelecki

2008 tytuł magistra informatyki
temat pracy magisterskiej: *Nowe algorytmy rozwiązujące problem szerokości grafu*
współautor pracy magisterskiej: Marek Cygan
promotor: dr hab. Łukasz Kowalik

2003 – 2009 Jednoczesne Studia Informatyczno-Matematyczne na Uniwersytecie Warszawskim

Nagrody i wyróżnienia

06.2012 nagroda za najlepszą pracę studencką (Best Student Paper Award) za pracę *On group
feedback vertex set parameterized by the size of the cutset* (współautorzy Marek Cygan
i Michał Pilipczuk) na konferencji 38th Workshop on Graph-Theoretic Concepts in
Computer Science (WG 2012)

12.2008 praca magisterska *Nowe algorytmy rozwiązujące problem szerokości grafu* (współautor
Marek Cygan) została wyróżniona I nagrodą w XXV Ogólnopolskim konkursie na
najlepsze prace magisterskie z informatyki organizowanym przez oddział wrocławski
Polskiego Towarzystwa Informatycznego

07.2008 nagroda za najlepszą pracę studencką (Best Student Paper Award) za pracę *Faster
Exact Bandwidth* (współautor Marek Cygan) na konferencji 34th Workshop on Graph-
Theoretic Concepts in Computer Science (WG 2008)

2007 1. miejsce na finałach światowych konkursu ACM International Collegiate Program-
ming Contest

Zainteresowania naukowe

Głównym obszarem moich zainteresowań są algorytmy dokładne dla problemów NP-trudnych, ze szczególnym uwzględnieniem złożoności parametryzowanej (ang. parameterized complexity). Po krótkim wprowadzeniu do tej dziedziny, przedstawię trzy najciekawsze kierunki moich badań, po czym podsumuję poboczny nurt moich badań w zakresie algorytmów aproksymacyjnych.

Wprowadzenie. Bardzo wiele z problemów optymalizacyjnych pojawiających się w praktyce najprawdopodobniej nie może być rozwiązanych w sposób dokładny w czasie wielomianowym, gdyż ich wersje decyzyjne są NP-trudne. W praktycznych zastosowaniach skuteczne okazują się być algorytmy, których pesymistyczna złożoność obliczeniowa jest wykładnicza, gdyż dostarczane przez te zastosowania dane wejściowe mają szczególne własności. W latach 90. ubiegłego wieku Downey i Fellows zaproponowali ścisłe matematyczne ujęcie tego zjawiska poprzez wprowadzenie do instancji problemu dodatkowego parametru, który obrazowałby faktyczną trudność tej instancji. Formalnie, *język parametryzowany* to podzbiór $L \subseteq \Sigma^* \times \mathbb{N}$ dla pewnego skończonego alfabetu Σ . Instancją problemu parametryzowanego jest para $(x, k) \in \Sigma^* \times \mathbb{N}$, gdzie x jest instancją problemu w klasycznym ujęciu, a k jest parametrem. Problem parametryzowany nazwiemy FPT (*fixed parameter tractable*), jeśli istnieje algorytm (tzw. algorytm FPT) rozwiązujący ten problem w czasie $O(f(k)n^\gamma)$ dla pewnej obliczalnej funkcji f niezależnej od rozmiaru danych n oraz stałej γ niezależnej od k . Intuicyjnie oznacza to, że cała trudność problemu leży w wielkości parametru k : dla małych wartości k jesteśmy w stanie efektywnie rozwiązywać nasz problem. W szczególności, dla każdej konkretnej wartości k otrzymujemy algorytm wielomianowy o złożoności $O(n^\gamma)$.

Ujęcie problemów NP-trudnych w ramy złożoności parametryzowanej okazało się bardzo trafnym pomysłem. W wielu zastosowaniach pozwoliło to na opracowanie i analizę efektywnych algorytmów mimo, że rozwiązywany problem w ogólności był NP-trudny. Złożoność parametryzowana jest obecnie prężnie rozwijającą się poddziedziną informatyki teoretycznej: co roku odbywają się dwie konferencje wyłącznie poświęcone tej dziedzinie (IPEC oraz WorKer), zaś na konferencji ICALP w 2012 roku spośród 71 prac przyjętych w ścieżce A (algorytmy, złożoność obliczeniowa oraz teoria gier), aż 10 prac dotyczyło złożoności parametryzowanej.

Bardzo bliskim zagadnieniem jest pojęcie jądra (ang. *kernel*), czyli algorytmu, który w czasie wielomianowym zmniejsza wejściową instancję I do rozmiaru zależnego tylko od parametru k . W zastosowaniach, jądro jest formą wstępnego przetworzenia danych wejściowych, zmniejszającą rozmiar analizowanej instancji.

Czasem okazuje się, iż podejście parametryzowane nie daje oczekiwanych rezultatów; wówczas czasem nie pozostaje nic innego, jak rozwiązać problem algorytmem dokładnym, o ponadwielomianowej zależności złożonościowej od klasycznej miary wielkości instancji. Tu jednak wciąż pozostaje duże pole do usprawnień: klasycznym przykładem jest problem komiwojażera, gdzie naiwne rozwiązanie działa dla n -wierzchołkowego grafu w czasie $O(n!)$, podczas gdy prosty algorytm oparty o programowanie dynamiczne poprawia tę złożoność do $O(2^n n^{O(1)})$. Badania nad algorytmami umiarkowanie wykładniczymi, czyli takimi, które, mimo, że są wciąż ponadwielomianowe, są szybsze od naiwnych rozwiązań, w ciągu ostatniej dekady doprowadziły do rozwoju wielu interesujących technik, takich jak algorytm szybkiego spłotu podzbiorów (ang. fast subset convolution), zaawansowane metody mierzenia złożoności algorytmów rozgałęziających się czy techniki algebraiczne oparte o lemat Zippela-Schwarza.

Złożoność parametryzowana problemów rozcinań grafu. Najintensywniejszym kierunkiem moich badań w zakresie złożoności parametryzowanej jest analiza problemów rozcinań grafu (ang. graph separation problems). W problemach należących do tej klasy należy dany graf zmodyfikować w minimalnym stopniu tak, by otrzymać żądaną własność separacyjną; np., w problemie MULTIWAY CUT żądamy, by każdy terminal w grafie był w osobnej spójnej składowej. Większość problemów separacyjnych okazuje się NP-trudna, zaś, ze względu na wymóg małej zmiany, naturalnym jest parametryzowanie liczbą modyfikacji (np. usunięcie wierzchołków lub krawędzi, zależnie od wariantu). Algorytmy parametryzo-

wane dla problemów rozcinania grafu stały się jedną z ważniejszych części złożoności parametryzowanej, gdyż zarówno same algorytmy jak i techniki stosowane przy ich opracowywaniu okazały się bardzo pomocne w innych, pozornie niezwiązanych problemach, takich jak różne warianty problemu znajdowania minimalnego zbioru rozcyklającego.

Wraz z zespołem udało się nam osiągnąć kilka znaczących wyników w zakresie złożoności parametryzowanej problemów rozcinania grafu. Najciekawszym wynikiem jest opracowanie eleganckiej techniki zwanej *Randomized Contractions*, dającą m.in. algorytm parametryzowany dla problemu UNIQUE LABEL COVER. Ponadto możemy się pochwalić kilkoma innymi algorytmami parametryzowanymi (np. dla problemu SUBSET FEEDBACK VERTEX SET czy MULTIWAY CUT) jak i kilkoma wynikami z zakresu trudności kernelizacji omawianych problemów.

Przełamywanie trudnych barier w algorytmach umiarkowanie wykładniczych. W zakresie algorytmów umiarkowanie wykładniczych, najciekawsze — i zarazem najtrudniejsze — pytania powstają, kiedy dla danego problemu najszybszy znany algorytm trafia na pewną, trudną do pokonania, *barierę* złożoności. Przykładowo, najlepszy znany algorytm dla problemu komiwojażera jest oparty o proste programowanie dynamiczne i działa w czasie $O(2^n n^{O(1)})$, a do dziś nie wiemy, czy tę złożoność można poprawić. Przełamywanie takich barier często skutkuje odkryciem nowej, ciekawej techniki lub nowymi obserwacjami dotyczącymi badanego problemu.

Najciekawszym naszym wynikiem w tym zakresie jest algorytm o złożoności $O((2-\varepsilon)^n)$ dla problemu szeregowania zadań oznaczanego $1|\text{prec}|\sum C_i$. Ciekawość wyniku tkwi nie w samej (znikomej) poprawie złożoności, lecz w tym, że rozważany problem jest specjalnym wariantem problemu komiwojażera z zależnościami, a rozwiązuje się go przez programowanie dynamiczne w czasie $O(2^n n^{O(1)})$, właściwie identyczne z algorytmem dla klasycznego problemu komiwojażera. Przełamanie bariery 2^n dla tego problemu było otwartym pytaniem przez kilka lat.

Algorytmy parametryzowane szerokością drzewiastą. Trzecim istotnym kierunkiem badań jest analiza problemów parametryzowanych szerokością drzewiastą grafu. Szerokość drzewiasta grafu jest parametrem określającym, jak dany graf przypomina drzewo; mała szerokość oznacza, że graf posiada bardzo dużo małych separatorów i możliwe jest efektywne rozwiązywanie NP-trudnych problemów za pomocą programowania dynamicznego. W takim programowaniu dynamicznym zazwyczaj, dla danego separatora, pamięta się minimalne rozwiązanie dla każdego możliwego „zachowania” rozwiązania na separatorze. Tym samym, złożoność algorytmu wyznaczona jest przez liczbę możliwych „zachowań” na małym separatorze; taka zależność wydawała się konieczna i optymalna.

Zaskakująco, udało nam się przebić tę granicę dla wielu problemów grafowych zawierających wymóg spójności. Dla separatora wielkości t , liczba możliwości, w jakie wierzchołki separatora mogą być połączone w spójne składowe jest rzędu $2^{O(t \log t)}$; mimo to, udało nam się opracować algorytmy dla wielu problemów z wymogiem spójności (np. znajdowanie drzewa Steinera, cyklu Hamiltona czy minimalnego spójnego zbioru dominującego) działające w czasie $O(2^{O(t)} n^{O(1)})$. Ponadto, wiele z naszych algorytmów jest optymalnych, przy założeniu, że formuł w postaci CNF-SAT z n zmiennymi nie da się rozwiązać w czasie szybszym niż $O(2^n n^{O(1)})$.

Algorytmy aproksymacyjne. Poza głównymi nurtami pracy, zajmowałem się też pewnymi problemami z zakresu algorytmów aproksymacyjnych. Najciekawszym kierunkiem badań były tzw. problemy wielowarstwowe. Rozważaliśmy uogólnienie wielu klasycznych problemów aproksymacyjnych na przypadek wielu warstw. Koncepcję tę przedstawię na przykładzie problemu SET COVER. Mamy dane uniwersum U o n elementach, h rodzin podzbiorów U oraz liczbę k . Chcemy tak wybrać k elementów z uniwersum i podrodzinę każdej z h rodzin tak, by każdy wybrany element był pokryty przez co najmniej jeden zbiór (wersja *union*) lub by każdy wybrany element był pokryty przez co najmniej jeden zbiór z każdej warstwy (wersja *intersection*). To zagadnienie odpowiada problemowi pokrycia k budynków przez jedną z sieci dostawczych (*union*) lub dostarczenia do k budynków każdej z h usług (*intersection*). Pokazaliśmy wiele wyników negatywnych i pozytywnych dla wielowarstwowych wariantów problemów SET COVER, FACILITY LOCATION i k -SPANNING TREE.

Publikacje

Publikacje w czasopismach naukowych

1. Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Riste Skrekovski. *Some results on Vizing's conjecture and related problems*. Discrete Applied Mathematics 160(16-17), 2484-2490, 2012.
2. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Kernelization Hardness of Connectivity Problems in d -Degenerate Graphs*. Discrete Applied Mathematics 160(15), 2131-2141, 2012.

Wersja konferencyjna:

Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Kernelization Hardness of Connectivity Problems in d -Degenerate Graphs*. Proceedings of WG 2010, Lecture Notes in Computer Science 6410, 147-158.

3. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *The stubborn problem is stubborn no more (a polynomial algorithm for 3-compatible colouring and the stubborn list partition problem)*. SIAM Journal of Computing 41(4), 815-828, 2012.

Wersja konferencyjna:

Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *The stubborn problem is stubborn no more (a polynomial algorithm for 3-compatible colouring and the stubborn list partition problem)*. Proceedings of SODA 2011, 1666-1674.

4. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk. *Bandwidth and distortion revisited*. Discrete Applied Mathematics 160(4-5), 494-504, 2012.
5. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk. *Even Faster Exact Bandwidth*. ACM Transactions on Algorithms 8(1), 8, 2012.

Wersja konferencyjna:

Marek Cygan, Marcin Pilipczuk. *Faster Exact Bandwidth*. Proceedings of WG 2008, Lecture Notes in Computer Science 5344, 101-109.

6. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Capacitated Domination Faster Than $O(2^n)$* . Information Processing Letters 111(23-24), 1099-1103, 2011.

Wersja konferencyjna:

Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Capacitated Domination Faster Than $O(2^n)$* . Proceedings of SWAT 2010, Lecture Notes in Computer Science 6139, 74-80.

7. Marek Cygan, Geevarghese Philip, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Dominating set is fixed parameter tractable in claw-free graphs*. Theor. Comput. Sci. 412(50), 6982-7000, 2011.

8. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *An Improved FPT Algorithm and a Quadratic Kernel for Pathwidth One Vertex Deletion*. Algorithmica 64(1), 170-188, 2012.

Wersja konferencyjna:

Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *An Improved FPT Algorithm and Quadratic Kernel for Pathwidth One Vertex Deletion*. Proceedings of IPEC 2010, Lecture Notes in Computer Science 6478, 95-106.

9. Daniel Binkele-Raible, Ljiljana Brankovic, Marek Cygan, Henning Fernau, Joachim Kneis, Dieter Kratsch, Alexander Langer, Mathieu Liedloff, Marcin Pilipczuk, Peter Rossmanith, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Breaking the 2^n -barrier for Irredundance: Two lines of attack*. J. Discrete Algorithms 9(3), 214-230, 2011.
 Wersja konferencyjna:
 Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Irredundant Set Faster Than $O(2^n)$* . Proceedings of CIAC 2010, Lecture Notes in Computer Science 6078, 288-298.
10. Vesna Andova, Saso Bogoev, Darko Dimitrov, Marcin Pilipczuk, Riste Skrekovski. *On the Zagreb index inequality of graphs with prescribed vertex degrees*. Discrete Applied Mathematics 159(8), 852-858, 2011.
11. Marcin Pilipczuk. *Characterization of compact subsets of curves with omega-continuous derivatives*. Fundamenta Mathematicae 211(2), 175-195, 2011.
12. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk. *Exact and approximate bandwidth*. Theor. Comput. Sci. 411(40-42), 3701-3713, 2010.
 Wersja konferencyjna:
 Marek Cygan, Marcin Pilipczuk. *Exact and Approximate Bandwidth*. Proceedings of ICALP (1) 2009, Lecture Notes in Computer Science 5555, 304-315.
13. Piotr Hofman, Marcin Pilipczuk. *A few new facts about the EKG sequence*. Journal of Integer Sequences 11, article 08.4.2, 2008.
14. Marcin Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *The negative association property for the absolute values of random variables equidistributed on a generalized Orlicz ball*. Positivity 12(3), 421-474, 2008.

Publikacje konferencyjne (bez wersji w czasopiśmie)

15. Rajesh Chitnis, Marek Cygan, MohammadTaghi Hajiaghayi, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk. *Designing FPT algorithms for cut problems using randomized contractions*. Proceedings of FOCS 2012, to appear.
16. Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk. *Finding a maximum induced degenerate subgraph faster than 2^n* . Proceedings of IPEC 2012, to appear.
17. Marek Cygan, Fabrizio Grandoni, Stefano Leonardi, Marcin Pilipczuk, Piotr Sankowski. *A Path-Decomposition Theorem with Applications to Pricing and Covering on Trees*. Proceedings of ESA 2012, Lecture Notes in Computer Science 7501, 349-360.
18. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Sitting Closer to Friends Than Enemies, Revisited*. Proceedings of MFCS 2012, Lecture Notes in Computer Science 7464, 296-307.
19. Stefan Kratsch, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Magnus Wahlström. *Fixed-Parameter Tractability of Multicut in Directed Acyclic Graphs*. Proceedings of ICALP (1) 2012, Lecture Notes in Computer Science 7391, 581-593.
20. Marek Cygan, Stefan Kratsch, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Magnus Wahlström. *Clique Cover and Graph Separation: New Incompressibility Results*. Proceedings of ICALP (1) 2012, Lecture Notes in Computer Science 7391, 254-265.
21. Stefan Kratsch, Marcin Pilipczuk, Ashutosh Rai, Venkatesh Raman. *Kernel Lower Bounds Using Co-nondeterminism: Finding Induced Hereditary Subgraphs*. Proceedings of SWAT 2012, Lecture Notes in Computer Science 7357, 364-375.

22. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk. *On group feedback vertex set parameterized by the size of the cutset*. Proceedings of WG 2012, to appear.
23. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Solving the 2-Disjoint Connected Subgraphs Problem Faster Than 2^n* . Proceedings of LATIN 2012, Lecture Notes in Computer Science 7256, 195-206.
24. Marek Cygan, Fabrizio Grandoni, Stefano Leonardi, Marcin Mucha, Marcin Pilipczuk, Piotr Sankowski. *Approximation Algorithms for Union and Intersection Covering Problems*. Proceedings of FSTTCS 2011, LIPIcs 13, 28-40.
25. Marek Cygan, Jesper Nederlof, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Johan M. M. van Rooij, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Solving Connectivity Problems Parameterized by Treewidth in Single Exponential Time*. Proceedings of FOCS 2011, 150-159.
26. Marek Cygan, Daniel Lokshtanov, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Saket Saurabh. *On the Hardness of Losing Width*. Proceedings of IPEC 2011, Lecture Notes in Computer Science 7112, 159-168.
27. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *On Multiway Cut Parameterized above Lower Bounds*. Proceedings of IPEC 2011, Lecture Notes in Computer Science 7112, 1-12.
28. Marek Cygan, Daniel Lokshtanov, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Saket Saurabh. *On Cutwidth Parameterized by Vertex Cover*. Proceedings of IPEC 2011, Lecture Notes in Computer Science 7112, 246-258.
29. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Scheduling Partially Ordered Jobs Faster Than 2^n* . Proceedings of ESA 2011, Lecture Notes in Computer Science 6942, 299-310.
30. Marek Cygan, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Jakub Onufry Wojtaszczyk. *Subset Feedback Vertex Set Is Fixed-Parameter Tractable*. Proceedings of ICALP (1) 2011, Lecture Notes in Computer Science 6755, 449-461.
31. Marek Cygan, Dániel Marx, Marcin Pilipczuk, Michał Pilipczuk, Ildikó Schlotter. *Parameterized Complexity of Eulerian Deletion Problems*. Proceedings of WG 2011, Lecture Notes in Computer Science 6986, 131-142.
32. Marek Cygan, Łukasz Kowalik, Marcin Mucha, Marcin Pilipczuk, Piotr Sankowski. *Fast Approximation in Subspaces by Doubling Metric Decomposition*. Proceedings of ESA (1) 2010, Lecture Notes in Computer Science 6346, 72-83.