



WYDZIAŁ INFORMATYKI, ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI

KATEDRA INFORMATYKI

PRACA MAGISTERSKA

*Optymalizacja podziału dyskretnego modelu
symulacyjnego na potrzeby symulacji równoległej*

*Optimization of the discrete simulation model division for parallel
simulation*

Autorzy:	<i>Jakub Ziarko</i>
Kierunek studiów:	<i>Informatyka</i>
Typ studiów:	<i>Stacjonarne</i>
Opiekun pracy:	<i>dr hab. inż. Wojciech Turek</i>

Kraków, 2021

Oświadczenie studenta

Upředzony o odpowiedzialności karnej na podstawie art. 115 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz.U. z 2018 r. poz. 1191 z późn. zm.): „Kto przywłaszcza sobie autorstwo albo wprowadza w błąd co do autorstwa całości lub części cudzego utworu albo artystycznego wykonania, podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 3. Tej samej karze podlega, kto rozpowszechnia bez podania nazwiska lub pseudonimu twórcy cudzy utwór w wersji oryginalnej albo w postaci opracowania, artystycznego wykonania albo publicznie zniekształca taki utwór, artystyczne wykonanie, fonogram, wideogram lub nadanie.”, a także upředzony o odpowiedzialności dyscyplinarnej na podstawie art. 308 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.) „Student podlega odpowiedzialności dyscyplinarnej za naruszenie przepisów obowiązujących w uczelni oraz za czyn uchybiający godności studenta.”, oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem(-am) osobiście, samodzielnie i że nie korzystałem(-am) ze źródeł innych niż wymienione w pracy.

Jednocześnie Uczelnia informuje, że zgodnie z art. 15a ww. ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych Uczelni przysługuje pierwszeństwo w opublikowaniu pracy dyplomowej studenta. Jeżeli Uczelnia nie opublikowała pracy dyplomowej w terminie 6 miesięcy od dnia jej obrony, autor może ją opublikować, chyba że praca jest częścią utworu zbiorowego. Ponadto Uczelnia jako podmiot, o którym mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.), może korzystać bez wynagrodzenia i bez konieczności uzyskania zgody autora z utworu stworzonego przez studenta w wyniku wykonywania obowiązków związanych z odbywaniem studiów, udostępniać utwór znajdujący się w prowadzonych przez niego bazach danych, w celu sprawdzenia z wykorzystaniem systemu antyplagiatowego. Minister właściwy do spraw szkolnictwa wyższego i nauki może korzystać z prac dyplomowych znajdujących się w prowadzonych przez niego bazach danych w zakresie niezbędnym do zapewnienia prawidłowego utrzymania i rozwoju tych baz oraz współpracujących z nimi systemów informatycznych.

.....
(czytelny podpis studenta)

Spis treści

1	Wstęp	4
2	Przegląd literatury – SZKIELET POZIOMU 2	6
2.1	Metody partycjonowania grafów	6
2.2	Podejście na które się zdecydowałem	8
3	Algorytm	9
4	Wyniki	10

1. Wstęp

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel,

nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

2. Przegląd literatury – SZKIELET POZIOMU 2

2.1. Metody partycjonowania grafów

1. [PODZIAŁ METOD PARTYCJONOWANIA -OD TYCH NAJMNIEJ WAŻNYCH DO NAJWAŻNIEJSZYCH] Rozbudowany podział metod został zaproponowany przez autorów artykułu - [12] oraz [18] Zgodnie z ich analizą metody dzielimy na:

a. [TUTAJ O METODACH SPEKTRALNYCH] Metody spektralne - partycjonowanie spektralne daje dobre rezultaty i jest metodą w miarę często używaną [20, 21, 13]. Są to jednak metody kosztowne z racji na obliczanie wektorowa własnego odpowiadającego drugiej najmniejszej wartości własnej (Fielder wektor). Istnieją udane próby ulepszenia czasu wykonania tych metod, które polegają na liczeniu Fielder wektora poprzez algorytm wielopoziomowy - MSB [1]. Jednak nawet te metody wciąż charakteryzują się wysoką złożonością.

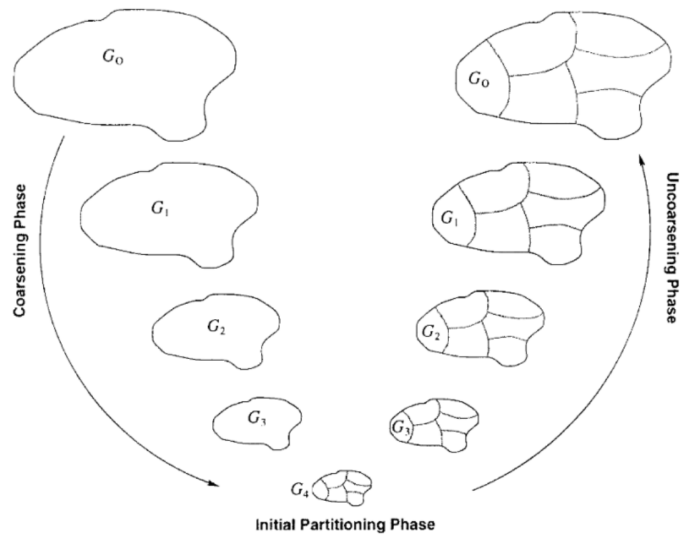
b. [TUTAJ O REKURSYWNYCH METODACH] Metody rekursywne - Są to metody często prostsze w implementacji, jednak nie sprawdzają się tak dobrze w kontekście bardziej skomplikowanych problemów głównie ze względu na to, że mają zachłanną naturę. Ponadto wykorzystanie takich algorytmów w kontekście niepodzielnych obszarów nie zdaje egzaminu, ze względu na ich specyfikę. Podejście do partycjonowania zakładające dzielenie grafu na coraz mniejsze części sprawia, że nie jesteśmy w stanie uwzględnić części niepodzielnych, lub rozwiązanie tego problemu byłoby skomplikowane. Przykład - dzielimy siatkę na 4 części. Można sobie wyobrazić sytuację, kiedy obszar niepodzielny zajmuje 50% całej siatki. Po pierwszej turze rekursywnego algorytmu mamy dwie partycje, każda zajmująca 50% powierzchni. Chcielibyśmy podzielić każdą z nich na dwie części, natomiast nie jesteśmy w stanie tego zrobić ponieważ jedna z nich jest w całości obszarem niepodzielnym. Metoda [2] zakłada że dzielimy siatkę na liczbę obszarów, która jest równa potęgze liczby dwa. Ta metoda potrafi także dzielić siatkę wedle możliwości obliczeniowych poszczególnych rdzeni procesora. Czasami metody rekursywne są implementowane jako faza metod bisekcji spektralnej [20].

c. [TUTAJ O METODACH GEOMETRYCZNYCH] Metody geometryczne - inną klasą metod są metody geometryczne [15, 22, 16, 17, 19]. Ich cechą charakterystyczną jest szybki czas wykonania, natomiast gorsze rezultaty podziału. Najlepsze wyniki spośród wyżej wymienionych metod prezentują [16, 17], natomiast z powodu losowej natury wymagane jest wielokrotne użycie algorytmu (od 5 do 50 razy) aby uzyskać wynik porównywalny z metodami spektralnymi. Wielokrotnie wywołanie zwiększa czas otrzymywania rezultatu, natomiast jest on wciąż niższy od metod spektralnych. Metody geometryczne są aplikowalne tylko w przypadku kiedy dostępne są współrzędne wszystkich wierzchołków w grafie. Dla wielu dziedzin problemów (programowanie liniowe, VLSI), nie otrzymujemy współrzędnych wraz z grafem. Istnieją algorytmy, które są w stanie obliczyć współrzędne dla wierzchołków grafu [4] wykorzystując metody spektralne ale są bardzo kosztowne i dominują czas potrzebny na samo partycjonowanie grafu.

d. [TUTAJ O METODACH WIELOPOZIOMOWYCH]

Metody wielopoziomowe [12, 23, 3, 5, 9, 8, 10, 7, 14] - cechą charakterystyczną tego podejścia jest redukcja wielkości grafu poprzez łączenie wierzchołków i krawędzi, następnie dzielenie zmniejszonego grafu na partycje, ostatnią fazą jest przywrócenie początkowego grafu zachowując podział. Często graf zmniejszany jest aż liczba wierzchołków nie osiągnie liczby partycji, którą chcemy otrzymać [18], a fazie przywracania grafu do początkowej wielkości towarzyszy algorytm, którego celem jest ulepszanie podziału [6]. Algorytm

ten, bazując na zmniejszonym grafie, niesie za sobą niższy koszt obliczeniowy. Metody te zostały stworzone z myślą o zmniejszeniu czasu partycjonowania kosztem jego jakości. Obecnie dają jednak bardzo dobre rezultaty również w kwestii jakości podziału. Faza zmniejszania grafu często jest stosunkowo łatwa do zrównoleglenia [?]. Fazą, która nie podlega zrównolegleniu jest faza ulepszania istniejącego podziału. Najczęściej bazuje ona na metodzie Fiduccia-Mattheyses [?], która jest zoptymalizowaną pod kątem czasu działania heurystyką Kernighan-Lin (KL) [?]. Biblioteki jak Party [18], Metis [12], Jostle [23], Chaco [10], dające state-of-the-art wyniki w kwestii jakości partycjonowania najczęściej bazują na schemacie wielopoziomowym [10].



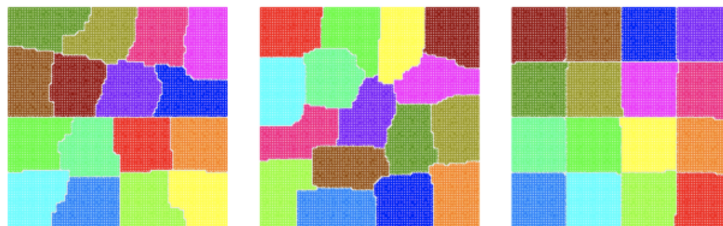
Rysunek 1: Wielopoziomowe partycjonowanie grafu przedstawiające fazę zmniejszania grafu, następnie przypisanie partycji na zmniejszonym grafie, na końcu przywrócenie grafu to początkowej wielkości. Źródło[11].

2.2. Podejście na które się zdecydowałem

[TUTAJ O TYM NA JAKIE PO-
DEJSCIE SIE ZDECYDOWA-
ŁEM I DLACZEGO]

[WSTĘP] Wszystkie wyżej wy-
mienione metody zajmują się pro-
blemem partycjonowania grafu,
często są to metody, które biorą
pod uwagę zmienną gęstość grafu
[tutaj muszę dodać publikację],
jednak żadna z nich nie bierze
pod uwagę obszarów niepodziel-
nych oraz obszarów niebiorących udziału w obliczeniach. Jest to rozszerzenie problemu
partycjonowania o dodatkowe warunki.

[DLACZEGO PARTY - PORÓWNANIE DO INNYCH BIBLIOTEK] W celu rozwiąza-
nia tego problemu zdecydowałem się zaadaptować jedną z istniejących metod. Biblioteka
Party [18] okazała się dawać najlepsze rezultaty w porównaniu do innych bibliotek dają-
cych rezultaty state-of-the-art.



Rysunek 2: Partycjonowanie siatki 100x100 na 16 ob-
szarów. Od lewej - pmetis[12] uzyskuje edge-cut wy-
noszący 688, następnie Jostle[23] z wynikiem 695 oraz
Party[18] z wynikiem 615.

3. Algorytm

4. Wyniki

Materialy źródłowe

- [1] S. Barnard and H. Simon. A fast multilevel implementation of recursive spectral bisection for partitioning unstructured problems. pages 711–718, 01 1993.
- [2] M. Berger and S. Bokhari. A partitioning strategy for nonuniform problems on multiprocessors. *IEEE Transactions on Computers*, C-36, 06 1987.
- [3] T. N. Bui and C. Jones. A heuristic for reducing fill-in in sparse matrix factorization. In *PPSC*, 1993.
- [4] T. F. Chan, J. R. Gilbert, and S.-H. Teng. Geometric spectral partitioning. Technical report, 1995.
- [5] C.-K. Cheng and Y.-C. Wei. An improved two-way partitioning algorithm with stable performance (vlsi). *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 10(12):1502–1511, 1991.
- [6] R. Diekmann and B. Monien. Using helpful sets to improve graph bisections. 08 1994.
- [7] J. Garbers, H. Promel, and A. Steger. Finding clusters in vlsi circuits. In *1990 IEEE International Conference on Computer-Aided Design. Digest of Technical Papers*, pages 520–523, 1990.
- [8] Hagen and Kahng. A new approach to effective circuit clustering. In *1992 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design*, pages 422–427, 1992.
- [9] L. Hagen and A. Kahng. Fast spectral methods for ratio cut partitioning and clustering. In *1991 IEEE International Conference on Computer-Aided Design Digest of Technical Papers*, pages 10–13, 1991.
- [10] B. Hendrickson and R. Leland. A multi-level algorithm for partitioning graphs. pages 28– 28, 02 1995.
- [11] G. Karypis and V. Kumar. Multilevelk-way partitioning scheme for irregular graphs. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 48(1):96–129, 1998.
- [12] G. Karypis and V. Kumar. Kumar, v.: A fast and high quality multilevel scheme for partitioning irregular graphs. *siam journal on scientific computing* 20(1), 359-392. *Siam Journal on Scientific Computing*, 20, 01 1999.
- [13] R. Leland and B. Hendrickson. An improved spectral graph partitioning algorithm for mapping parallel computations. 16, 09 1992.
- [14] N. Mansour, R. Ponnusamy, A. Choudhary, and G. C. Fox. Graph contraction for physical optimization methods: A quality-cost tradeoff for mapping data on parallel computers. In *Proceedings of the 7th International Conference on Supercomputing, ICS '93*, page 1–10, New York, NY, USA, 1993. Association for Computing Machinery.

- [15] G. Miller, S. Teng, and W. Thurston. A cartesian parallel nested dissection algorithm. 1994.
- [16] G. Miller, S.-H. Teng, and S. Vavasis. A unified geometric approach to graph separators. In *[1991] Proceedings 32nd Annual Symposium of Foundations of Computer Science*, pages 538–547, 1991.
- [17] G. L. Miller, S. Teng, W. Thurston, and S. A. Vavasis. Automatic mesh partitioning. In A. George, J. Gilbert, and J. Liu, editors, *Graphs Theory and Sparse Matrix Computation*, The IMA Volumes in Mathematics and its Application, pages 57–84. Springer-Verlag, 1993. Vol 56.
- [18] B. Monien and S. Schamberger. Graph partitioning with the party library: helpful-sets in practice. In *16th Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing*, pages 198–205, 2004.
- [19] B. Nour-Omid, A. Raefsky, and G. Lyzenga. Solving finite element equations on concurrent computers. 1987.
- [20] A. Pothen, H. D. Simon, and K.-P. Liou. Partitioning sparse matrices with eigenvectors of graphs. *SIAM J. Matrix Anal. Appl.*, 11(3):430–452, May 1990.
- [21] A. Pothen, H. D. Simon, L. Wang, and S. T. Barnard. Towards a fast implementation of spectral nested dissection. In *Proceedings of the 1992 ACM/IEEE Conference on Supercomputing*, Supercomputing '92, page 42–51, Washington, DC, USA, 1992. IEEE Computer Society Press.
- [22] P. Raghavan. Line and plane separators. Technical report, LAPACK WORKING NOTE 63 (UT CS-93-202), 1993.
- [23] C. Walshaw and M. Cross. Mesh partitioning: A multilevel balancing and refinement algorithm. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 22, 07 2004.