
LORD VOROTRON: FINDING THE BEST JFA VARIANT FOR THE COMING WINTER

DRAFT

Maciej A. Czyzewski

Institute of Computing Science
Poznan University of Technology
Piotrowo 2, 60-965 Poznan, Poland
maciejanthonyczyzewski@gmail.com

Kamil Piechowiak

Institute of Computing Science
Poznan University of Technology
Piotrowo 2, 60-965 Poznan, Poland
kamil.cams@gmail.com

September 17, 2020

UWAGA! Przenioslem fragmenty ze starego szkicu, teraz jednak czuje ze powinni byc takie ogolne podsumowanie wszystkich mozliwych wariantow JFA - i w jakich przypadkach sie sprawdzaja. A tak przykazji nasza wersja z szumem+trikami ktora dobrze dziala, no i dodatek taki ze mozna teraz zrobic sobie ensamble (a nie jako glowny cel tej pracy). Dlatego wszystko co ponizej to praktycznie random/bardzo mocny szkic. Wykresy to wizualizacja smaku.

ABSTRACT

This paper studies a practical usage of machine learning (AutoML) to automate research towards discovering efficient Voronoi Diagram and Distance Transform algorithms. As the baseline we used the Jump Flooding Algorithm (JFA) - by finding new mutations which works best for specific data, and then ensembling them into one, we create new state-of-the-art algorithm in this field named **Lord Vorotron** with time complexity $\approx O(1)$ and work complexity $\approx O(N)$. The algorithm is faster and produces more accurate approximations. It could be extended into 3D space in a slice-by-slice manner. We started from the assumption that JFA has potential for improvement - some benefits can be observed for specific data by adding random noise and adjusting the step size in JFA. This showed us that, AutoML could examine this space, and find the best possible algorithm in each case. In the further part of the work, we discuss the results, compare the variants and ensemble for creating the final algorithm.

CEL: omawiamy dwa algorytmy? jeden nastepca JFA - JFAStar oraz ensamble po naszym score fn. - Lord Vorotron??????

Keywords aaaaaaaaaaaaaaaaaa · bbbbbbbbbbbbbbbb · cccccccccccccccccc

1 Introduction

This paper¹ studies a practical usage of machine learning to automate research towards discovering efficient Distance Transform algorithms (utilizing technique known as AutoML). Thus, by finding mutations which works best for specific data, and then ensembling them into one, we create new state-of-the-art algorithm in this field named Lord Vorotron with time complexity $\approx O(1)$ and work complexity $\approx O(N)$.

Notable contribution to the quick algorithm that makes Distance Transform (DT) using graphics hardware includes Hoff III et al. [1] that creates a cone for each input (point/seed) and renders those cones to obtain the Voronoi diagram as the lower envelope of these cones. [2] use planes tangent to a paraboloid and thus avoid the errors caused by the

¹the original title for this paper was “Lord Vorotron: Finding the Best JFA Variant for the Coming Winter”

tessellation of the cones. Unfortunately, the drawback of this approach is the significant amount of computation and the implementation complexity.

Jump flooding algorithm (JFA)² is an interesting way to utilize the graphics processing unit to efficiently compute Voronoi diagrams and distance transforms [3]. This method is faster and produces more accurate results [5], and furthermore, it could be extended into 3D space in a slice-by-slice manner. This is more effective than the previous research carried out by Sud et al. [4], because the speed of JFA is almost independent to the number of seeds [5].

Based on this research and findings, several efficient GPU-based algorithms which are either work optimal or time optimal have been proposed including SKW [6], PBA [7], FastGPU [8], Honda's algorithm [9] and WTO [10].

The main question that needs to be addressed now is whether JFA has potential for improvement. We found some benefits for specific data by adding random noise and adjusting the phase size in JFA. Therefore, this shows that, AutoML could examine this unknown space, and find the best possible algorithm in each case.

For convenience, this work focus on the Voronoi diagram only - because this problem can be translated to DT [3]. The algorithm would be an approximation of the output, thus we suggest using WTO [10] for exact DT (EDT). The major contributions of this paper are thus:

1. Presenting new state-of-the-art variants of algorithm for Voronoi Diagram and Distance Transform: **JFAStar** - single best variant; **Lord Vorotron** - ensemble of weak variants; and
2. Analyzing all possible variants of JFA: comparing error and speedup relative to brute force method

2 Related Work

Several efficient GPU-based algorithms which are either work optimal or time optimal have been proposed including JFA [3], SKW [6], PBA [7], FastGPU [8], Honda's algorithm [9] and WTO [10].

Reference	Algorithm	Exactness	Time	Work
Assis Zampiroli et al. [8]	FastGPU	Exact	$O(n^3/p)$	-
Cao et al. [7]	PBA	Exact	$O(n)$	$O(mN)$
Honda et al. [9]	based on SKW	Exact	$O(n)$	$O(N)$
Manduhu et al. [10]	WTO	Exact	$O(\log n)$	$O(N)$
Schneider et al. [6]	SKW	Approximate	$O(n)$	$O(N)$
Rong et al. [3]	JFA	Approximate	$O(\log n)$	$O(N \log n)$
In this paper	Lord Vorotron	Approximate	$\sim O(1)$	$\sim O(N)$

Table 1: Different GPU algorithms for computing EDT

2.1 Jump Flooding

redukcja i bridge pomiedzy intro (usunac subsection)

co to jest jump flooding? tak naprawde to nie jest algorytm do voronoi-a tylko pattern komunikacyjny w programowaniu rownoleglym - swojej pracy doktorskiej autor tej techniki podaje wiele zastosowan jednak w swoich badaniach ogranicza sie do Voronoi-a. glownym pytaniem roznych takich patternow jest ile potrzebnych jest rund/operacji komunikacji aby zagwarantowac aby dana informacja zostanie dostarczona. akurat w voronoi-u wiele komorek jest lokalna w skali calego przykladu - wiec JFA ktora gwarantuje dostarczenie informacji globalnie do kazdego punktu - wykonuje pewne niepotrzebne operacje. szybkoosc i zajetosc pamieciowa JFA jest satysfakujaca, jednak proste modyfikacje pokazuja ze algorytm ten wykonuje sie szybciej w pewnych przypadkach (i to typowych). dlatego naturalnym pytanie powinno byc w jakich oraz jakie modyfikacje wplywaja na szybkoosc dzialania.

2.2 AutoML

przenieść do Proposed Method

²a novel pattern of communication

<https://arxiv.org/pdf/1801.09373.pdf> <https://arxiv.org/pdf/1804.10120.pdf> <https://arxiv.org/pdf/1703.06353.pdf>

okay przenioslem - dodac prace co tez tak szuka algosow

3 Proposed Method

przepisac ten szkic bo jezyk sie placzy

JFA opiera sie na tym ze infomacja jest przekazywana ??????. Przekazanie odbywa sie w $\log(n)$ krokach. Wiec przeprowadzilismy krotki eksperyment applyujac losowy szum na wejsciova masce. Okazalose sie ze ilosc potrzebnych krokow spadla - powstaly losowe shortcuts. Co oznacza ze powinny istniec inne "mutacje" algorytmow lepsze w pewnych okreslonych przypadkach. Wiec szukanie najszybszego algorytmu bedzie nastepujace:

- Wymyslenie wszystkich mozliwych wariantow JFA
- Mutacje i zapisanie najlepszych wersji dla danej domeny
- Ensemblacja algorytmow tak aby wybierac najlepszy variant dla danej domeny

3.1 Domain Space

okay, zupełnie inaczej tutaj podejść, opisać jakie są przypadki i jakie są spotykane

jakie domeny i dlaczego (i jak działaly `gen_uniform`, `gen_polar`, `gen_grid`)

3.2 Search Space

bridge z score function gdziekolwiek to będzie obliczyć ile jest aktualnie wersji algosow np. czy jest to już 2do14 jak mamy 3xreal w wielomianie AKTUALNIE JEST około 7,200?

jakie modyfikacje, na to osobna sekcja? wiec co tu napisac chyba tylko o zlozonosci problemu i ze kod jest skladany i testowany a niektore wersje sa pomijane zgodnie z dzialaniem `gp_minimize` (Bayesian optimization using Gaussian Processes).

w naszym wypadku zdefiniowalismy pewien zbior variantow pewnych czesci algorytmu (Search Space), modul testujacy dana mutacje/wariant - sklada kod kernela a pozniej go weryfikuje na naszej Domain Space.

3.3 Score Function

SCORE CZY METRIC? roznica w pikselach pomiedzy bruteforce a algorytmem - napisac o tym / tez ze to wszystko to ilorazy do bruteforce

dla voronoi-a interesuja nas 2 parametry Error oraz Szybkosc, aby wyniki byly wiarygodne porownujemy je z bruteforcem (a wiec bedzie to iloraz). aby ocenic dana mutacje musimy przypisac jakis Score danej wersji, wiec uzylismy wzor ponizej

$$S(x, y) = \max\{0, \sqrt{x} \cdot (100 - y^2)\}, \quad (1)$$

$$0 \leq y \leq 100, 0 < x \quad (2)$$

ktory kaze za zbyt wysokie errorry, dajac zerowy wynik - skladnik przy y rosnie szybciej niz x wiec gdy przekroczy 100 da nam ujemny wynik - czyli 0.

3.4 Optimizer

opisac dwie osobne taktyki optymalizacji dla best single vs. ensemble

mozemy napisac ze korzystalismy z forest/gp minimize, ale tez wspomniec ze aby miec najlepszy best single to trzeba bylo optymalizowac rownoczesnie cala przestrzen (od malych do duzych, gestych po rzadkie), a zeby miec najlepszego Vorotrona - czyli ensembla to trzeba bylo dla kazdej domeny z optymalizowac a pozniej jedynie zrobic balancera!!!!!!!!!!!!

trzeba to przeszukiwać tak aby nie sfiksował na zadanych parametrach - bo niechcący ocenia na początku ze szum/dual jest nie fajny i później go już nie rozważa

3.5 Ensemble

można zapisać tabele dla każdej domeny (shape) / i zrobić przewidywania parametrów (słownik wariantu) - bo dla małych opłacalne są Circle6 a dla większych Circle12 i tak dalej - jak to zrobić?

patrzac na rezultaty możemy znaleźć jaki algorytm najlepiej sprawdza się w zadanej domenie. np. widac że dla małej ilości seedów (mało gęstych przypadków, które mają małą powierzchnię) opłaca się użyć brute force. Dla kolejnych większych przypadków innych wariantów JFA. Jak wybrać algorytm? Każdy przypadek ma 'shape' oraz 'num' więc można na CPU wyselekcjonować parę punktów albo od razu obliczyć gęstość i wybrać odpowiedni algorytm. To takich ensemble'acji najlepiej sprawdzi się drzewo decyzyjne (może być boostowane).

4 Variants

ZROBIC ŁADNE RYSUNEKZKI w Google Slides - eksport to pdf!

To compute the Voronoi diagram for a 2D grid of size $n \times n$ with a given set of seeds at some grid points, we are interested to propagate the content (in particular, position information) of each seed s to each grid point so that each grid point can decide which seed is its closest one.

Niektóre operacje propagacji informacji są zbędne - tylko w przypadkach rzadkich macierzy potrzeba jest $\log(n)$ kroków aby uzyskać prawidłowy wynik. Różne warianty omawiane w [5] pozwalają zredukować błąd klasycznego JFA. Nie zostały jednak omawiane przypadki gdzie poszczególne modyfikacje są używane z innymi.

Dlatego w tej pracy prezentujemy dodatkowe modyfikacje które można zastosować aby stworzyć nowe warianty. Pewne modyfikacje są oczywiste i wynikają z alternatywnego podejścia (zamiast anchoru³ kwadratowego można użyć koła), informacje można wstępnie rozpropagować losowo - w nadziei że pozwoli nam skończyć algorytm w mniejszej ilości kroków.

Aby badania były bardziej przejrzyste trzymaliśmy się pewnej konwencji nazewnictwa:

`[anchor_type][anchor_num][anchor_double] | [step_function] + [noise]`

dla przykładu `Circle11(1/3)Dual(1/4)\Factor3+Noise` które można przeczytać jako:

$anchor_type = Circle, anchor_num = 11, anchor_number_ratio = 1/3,$
 $anchor_double = True, anchor_distance_ratio = 1/4,$
 $step_function = Factor3, noise = True$ (3)

4.1 Noise

FIXME: figure z przykładami szumu (+local) i jak to wygląda i jak wyglądało instancja!

Zamiast zaczynać od pustej macierzy z seed-ami początkowymi można ją losowo uzupełnić szumem - tworząc przypadkowe short-cuty. Można tego dokonać osobnym kernelem który zostanie wywołany przed wykonaniem głównej części algorytmu. Interpretacja jest taka że pewne rejony które w JFA są wypełnione zerami podczas pierwszych iteracji nie podejmują żadnych decyzji. Uzupełniając szumem mogą one przypadkowo ustawić się na prawidłową wartość i propagować w kolejnej rundzie najlepszą wartość w swoim otoczeniu (zgodnie ze stepem).

dowód kamila tutaj????????????????

4.1.1 Local Noise

Można też szum uzupełniać nie losowo tylko w otoczeniu. Więc gdy w punkcie (x, y) wylosujemy losowego seed-a o wartości (x_{rand}, y_{rand}) to wyliczamy nową pozycję (x', y') która znajduje się w połowie drogi w następujący sposób: $x' = \frac{x+x_{rand}}{2}$, analogicznie dla y' . Dodatkowo jeśli (x', y') jest pusta to też uzupełniamy to pole tą informacją. Nie przejmujemy się wysyceniem w dostępie do danych. Nadpisanie będzie losowe - a szum też.

³anchorem nazywamy metodę która pobiera sąsiadów do przekazania informacji

4.2 Anchor Type

losowane punkty na okregu???

Zamiast pobierac informacje od 8 sasiadow o step size from grid points at $(x + i, y + j)$ where $i, j \in \{-step, 0, step\}$. Mozna zastosowac okrag - otwiera nam to nowe mozliwosci na swobodna modyfikacje ilosci punktow od ktorych bedziemy pobierac informacje. Naturalnie wydaje sie ze mala ilosc punktow w anchorze spowoduje wzrost bledu, a duza ilosc punktow spowoduje zmalenie bledu.

4.2.1 Anchor Num

Dlatego kolejnym parametrem bedzie mozliwosc kontrolowania ilosci punktow. Niestety nie rozwazalismy wariantu kwadratow o dowolnej ilosci punktow (poniewaz byly by to wielokrotnosci $2 \times 2 = 4$, $3 \times 3 = 9$, $4 \times 4 = 16$, $5 \times 5 = 25$) bo i tak nie dalo by sie wybrac uniformly tej wartosci. Dla okregu punkty sasiada (x_i, y_i) byly liczone nastepujaco:

$$x_i = x + step \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{[anchor_num]} \cdot i\right), y_i = y + step \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{[anchor_num]} \cdot i\right)$$

4.3 Anchor Double

Oprocz pojedynczego anchora, mozliwe jest uzycie podwójnej warstwy anchorow (czyli np. male kolko i wieksze). Idea za tym stojaca to ze male kolko wewnetrzne jest dokladne (dziala jak w JFA) - a wielkie zewnetrzne jest skautujace lub aby poprawic error wynikajacy np. z mniejszej ilosci anchor_num (w sumie to podobny mechanizm jak w Lookahead - wolny/szybki)

4.3.1 Anchor Distance Ratio

Parametr mowiacy o stosunku dlugosci step size od wewnetrznego anchora do zewnetrznego.

4.3.2 Anchor Number Ratio

Parametr mowiacy o stosunku ilosci detektorow od wewnetrznego anchora do zewnetrznego.

4.4 Step Function

Gdy nasza informacja propaguje sie szybciej lub jest bardziej zageszczona dlatego sasiedzi szybciej dostaja prawidlowa informacje - to oznacza ze mozna skrocic ilosc round wykonania algorytmu.

Step size jak i ich ilosc mozna okreslic za pomoca 2 podstawowych parametrow: shape and number of points - z ktorych pozniej mozemy okreslic np. srednia gestosc. Zaimplementowalismy 2 warianty ktore sa uzaleznione jedynie od shape: defaultowy z JFA, z JFA o podstawie 3; oraz jeden uzaleniony od shape oraz od num: logstar. Jednak aby wygeneralizowac problem stworzyalismy tez mozliwosc wygenerowania dowolnego polynomialu.

4.4.1 Special Polynomial

problem z Special - on overfituje przyklady zmieniajac 5 miejsce po przecinku aby 2 zamienialo sie np. w 1

Implementacja nie jest wazna - chodzi o idea zwiazania shape oraz num. Oraz modyfikowanie wartosci, szybkoosci spadku, ksztaltu (np. piloksznego) - jakimis parametrami. Wada tego rozwiazania jest ze trzeba optymalizowac ta funkcje na calej dziedzinie (malej, duzej, gestej, zadkiej) - bo inaczej z overfituje ona ilosc krokow i wiekosc stepu pod rozmiar.

5 Results

przeniesc legende? JAKO OSOBNY PDF? i podac w tej sekcji - tak sie nie robi ale bylo by ok i czytelnie + wiecej miejsca na wykresy a przypadkow bedzie wiecej czy wykres loss oraz score dla przypadkow powinny byc nalozony? albo polaczony subfigurem tak aby osie byly sync. i dalo sie porownac

performance plot⁴

5.1 Multi-domain Algorithm (JFAStar)

- **shapes:** {32x32, 64x64, 96x96, 128x128, 256x256, 320x320, 384x384, 448x448, 512x512, 768x768, 1024x1024, 1536x1536}
- **cases:**
 - gen_uniform: seeds=1,
 - gen_uniform: seeds=2,
 - gen_uniform: density=0.0001,
 - gen_uniform: density=0.001,
 - gen_uniform: density=0.01,
 - gen_uniform: density=0.02,
 - gen_uniform: density=0.03,
 - gen_uniform: density=0.04,
 - gen_uniform: density=0.05,
 - gen_uniform: density=0.1,

⁴wykres został zrobiony poprzez posortowanie scorów - dzięki temu widac różnice w przyroście i łatwo dostrzec który algorytm ma najwyższy score lub jaką ma charakterystykę (np. jest bardzo skuteczny dla wąskiej grupy przykładów)

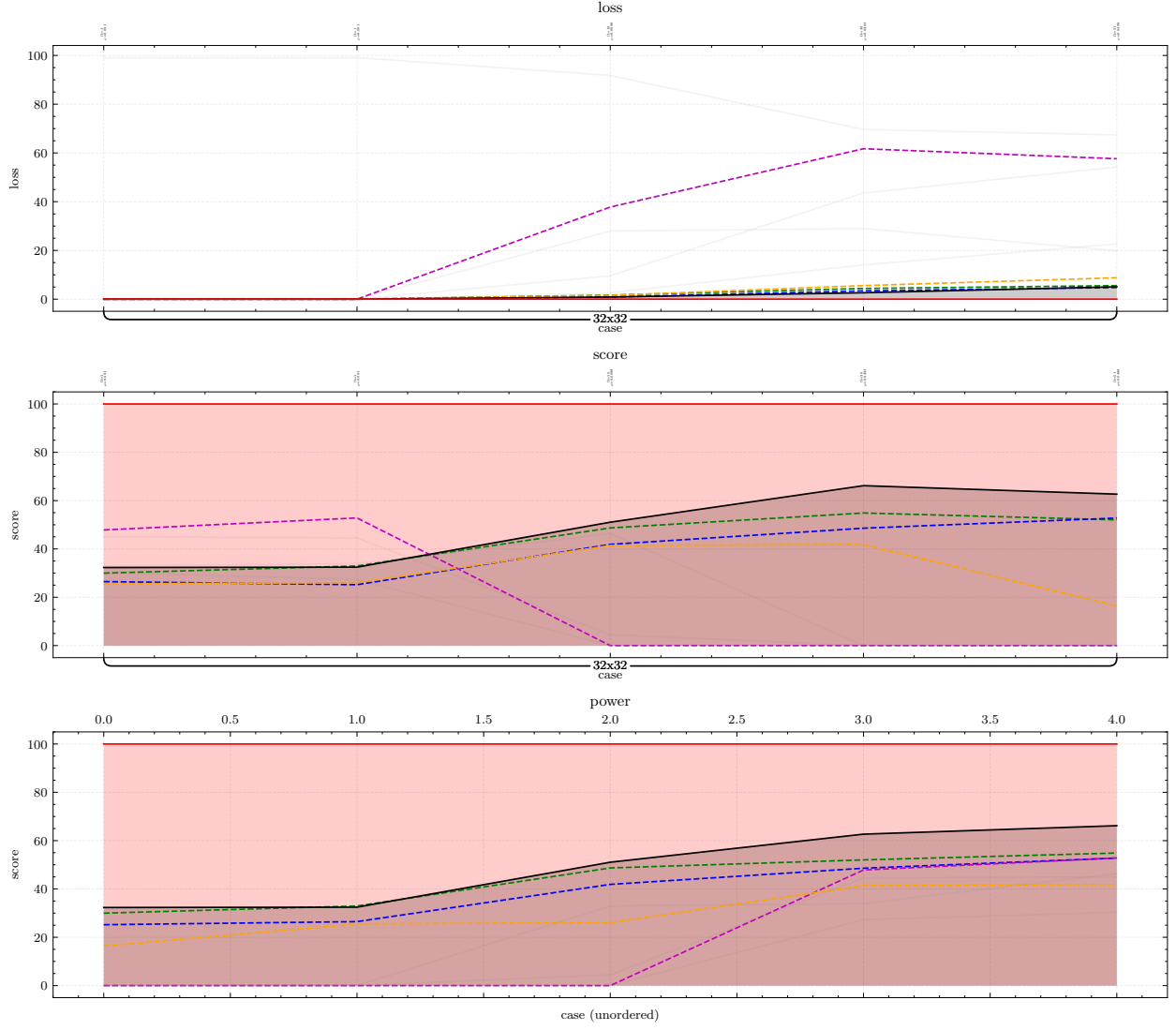


Figure 1: bla bla bla

Algorithm	$\rho=0.001$	$\rho=0.001$	$\rho=0.0098$	$\rho=0.0293$	$\rho=0.0498$	Avg. score
Square Factor3	30	33	48.7	54.9	52	44
Circle10(3/4) Special(1.68/0.45/0.98/1.12/0.81)	26.5	25.2	41.9	48.6	52.8	40
Square Special(1.0/1.0/0.0/1.0/0.2)	47.8	52.8	0	0	0	31
Circle11(1/3)Dual(3/4) Default	25.5	26.1	41.4	41.8	16.3	31
Circle8(3/4)Dual Factor3	32.9	33.9	46.4	0	0	29
Circle4(3/4)Dual(3/4) Star	45	44.6	4.5	0	0	28
Square Factor3+LNoise	30.3	27.3	0	0	0	18
SquareDual(2/3) Special(1.51/0.92/0.92/1.08/0.42)	0	0	0	0	0	0

Table 2: domain: 32x32, 64x64, 128x128, 256x256

5.2 Specific-domain Algorithm

5.2.1 32x32, 64x64, 96x96, 128x128

5.2.2 256x256, 320x320, 384x384, 448x448

5.2.3 512x512, 768x768, 1024x1024, 1536x1536

5.2.4 Low Density

5.2.5 High Density

5.3 Ensemble Across Domains (Vorotron)

bla bla

5.4 Objectives

naprawic generowanie tego wykresu napisac co nie moze byc uzyte z czym?

czyli co ma wplyw na co (w sumie to najwazniejsze mialo byc w pracy)

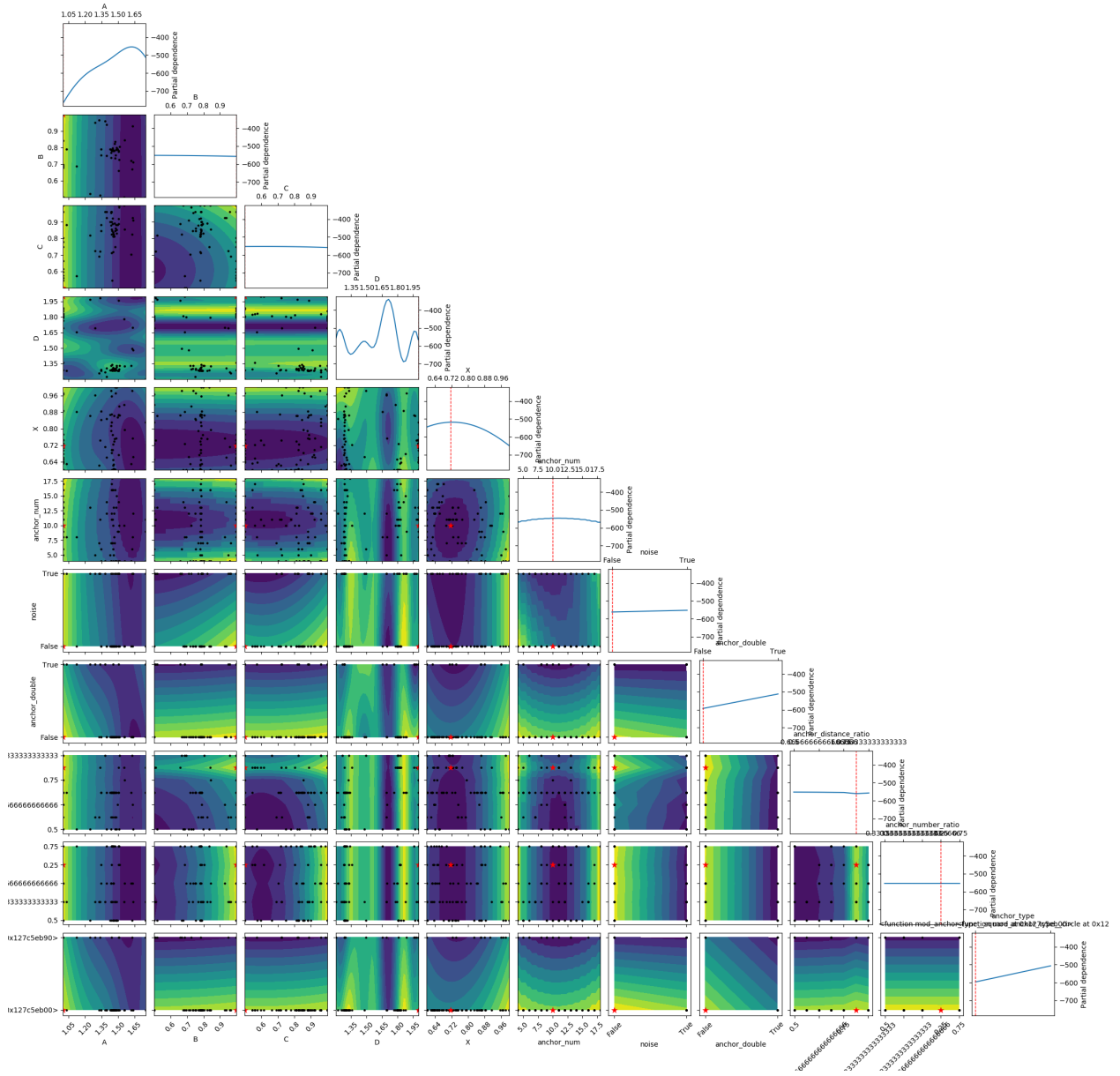


Figure 2: bla bla bla

6 Practical Usage

polaczcyc z Conclusions

Jest wiele projektow ktore potrzebuje DT lub voronoi-a. Jedyne dwa praktyczne przyklady z tej pracy to SOTA dla JFA - czyli JFAstar, oraz praktyczny Ensemble (uwzgledniajacy np. bruteforce dla malych instancji).

7 Conclusions

This paper presents the GPU's effective, almost constant, algorithm for calculating the Euclidean distance transform (DT) approximation for 2D and higher dimensional images. As mentioned in [7], it remains challenging to balance the

workload in such an approach. *Lord Vorotron* does not explicitly solve this issue but, by constructing an alternative solution utilizing random shortcuts and parameter estimation, it makes it a reasonable approximation. In practice, such a constant time algorithm is useful in many interactive applications, such as tessellations, rendering, and image processing, involving [3].

8 Acknowledgements

Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu!
Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu!
Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu!
Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu!
psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu! Dziękuję swojemu psu!

References

- [1] Kenneth E Hoff III et al. “Fast computation of generalized Voronoi diagrams using graphics hardware”. In: *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. 1999, pp. 277–286.
- [2] Ian Fischer and Craig Gotsman. “Fast approximation of high-order Voronoi diagrams and distance transforms on the GPU”. In: *Journal of Graphics Tools* 11.4 (2006), pp. 39–60.
- [3] Guodong Rong and Tiow-Seng Tan. “Jump flooding in GPU with applications to Voronoi diagram and distance transform”. In: *Proceedings of the 2006 symposium on Interactive 3D graphics and games*. 2006, pp. 109–116.
- [4] Avneesh Sud et al. “Interactive 3D distance field computation using linear factorization”. In: *Proceedings of the 2006 symposium on Interactive 3D graphics and games*. 2006, pp. 117–124.
- [5] Guodong Rong and Tiow-Seng Tan. “Variants of jump flooding algorithm for computing discrete Voronoi diagrams”. In: *4th International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering (ISVD 2007)*. IEEE. 2007, pp. 176–181.
- [6] Jens Schneider, Martin Kraus, and Rüdiger Westermann. “GPU-based real-time discrete Euclidean distance transforms with precise error bounds.” In: *VISAPP (1)*. 2009, pp. 435–442.
- [7] Thanh-Tung Cao et al. “Parallel banding algorithm to compute exact distance transform with the GPU”. In: *Proceedings of the 2010 ACM SIGGRAPH symposium on Interactive 3D Graphics and Games*. 2010, pp. 83–90.
- [8] Francisco de Assis Zampiroli and Leonardo Filipe. “A fast CUDA-based implementation for the Euclidean distance transform”. In: *2017 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS)*. IEEE. 2017, pp. 815–818.
- [9] Takumi Honda et al. “Simple and fast parallel algorithms for the Voronoi map and the Euclidean distance map, with GPU implementations”. In: *2017 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP)*. IEEE. 2017, pp. 362–371.
- [10] Manduhu Manduhu and Mark W Jones. “A work efficient parallel Algorithm for exact Euclidean distance transform”. In: *IEEE Transactions on Image Processing* 28.11 (2019), pp. 5322–5335.