
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 14, 2020

UWAGA! Przenioslem fragmenty ze starego szkicu, teraz jednak czuje ze powinni byc to 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.

Keywords aaaaaaaaaaaaaaaaaa · bbbbbbbbbbbbbbbb · cccccccccccccccccc

1 Introduction

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

Jump flooding algorithm (JFA)¹ 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

¹a novel pattern of communication

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 version of JFA made as involved ensemble of weak learners; and
2. Proposing, for an input set of seeds in a 2D grid, the first parallel algorithm in GPU to compute in constant time (i.e. independent of the number of seeds) a highly accurate Voronoi diagram and distance transform.

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. szybkość 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 szybkość dzialania.

2.2 AutoML

przeniesc do Proposed Method

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.

dla voronoi-a interesuja nas 2 parametry Error oraz Szybkość, 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

$$S(x, y) = \max\{0, x \cdot (100 - y^{1.5})\}, \quad (1)$$

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

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 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 wejsciowa 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

jakie domeny i dlaczego (i jak dzialaly gen_uniform, gen_polar, gen_grid)

- **shapes:** {(64, 64), (128, 128), (256, 256), (512, 512), (768, 768)}
- **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,

3.2 Search Space

bridge z score function gdziekolwiek to bedzie

jakie modyfikacje, na to osobna sekcja? wiec co tu napisac

3.3 Ensemble

patrzac na rezultaty mozemy znalezc jaki algorytm najlepiej sprawdza sie w zadanej domenie. np. widac ze dla malej ilosci seedow (malo gestych przypadkow, ktore maja mala powierzchnie) oplaca sie uzyc bruteforce. Dla kolejnych wiekszych przypadkow innych wariantow JFA. Jak wybrac algorytm? Kazdy przypadek ma 'shape' oraz 'num' wiec mozna na CPU wysemplowac pare punktow albo odrazu obliczyc gestosc i wybrac odpowiedni algorytm. To takich ensemblacji najlepiej sprawdzi sie drzewo decyzyjne (moze byc boostowane).

4 Variants

ZROBIC LADNE RYSUNECHKI! wyjasnic slownictwo? np. co okreslamy przez anchor

4.1 Noise

w początkowej wersji dodanie szumu pozwoliło zmienić złożoność - dodatkowo mamy na to dowód kamila

przed wykonaniem algorytmu punkty informacja o punktach jest losowo rozrzucona po macierzy - tworząc przypadkowe short-cuty

4.2 Local Noise

czy jest możliwe losowanie szumu w takich plamach? aby lokalne seedy losowały lokalne seedy? - albo próbują modyfikować wylosowany - hehe - czyli prostując jestem na pozycji (x,y) wylosowałem punkt (a,b) rzucam nim w okolice (a+rand(density), b+rand(density))

4.3 Anchor Type

oryginalnie jest to kwadrat 3x3, my proponujemy okrąg (rownomierny), lub losowane punkty na okręgu (doimplementować).

4.4 Anchor Double

oprócz pojedynczego anchora, możliwe jest użycie podwójnej warstwy anchorów (czyli np. małe kolko i większe) - idea - małe kolko jest dokładne - a większe jest skautujące (w sumie to podobny mechanizm jak w Lookahead - wolny/szybki)

ratio pomiędzy zewnętrznymi a wewnętrznymi (doimplementować)

4.5 Anchor Num

ile ma być punktów w anchorze (np. na okręgu). czy da się to sensownie zaimplementować dla kwadratu? tak naprawdę tylko 3x3, 5x5 mają jakikolwiek sens

4.6 Step Function

aktualnie 3 warianty, standard JFA, zmieniona podstawa na 3, oraz logstar kroków, powinna istnieć też wersja 4-ta, uzależniona od num oraz shape - pozwalająca na robienie pilokształtnych lub isogaussowskich ciągów.

wielomian z 3 parametrami (uzależniony od dwóch wejści - shape, num)

4.7 Correction???

można doimplementować flagę dla +1, +2 (jak u JFA), lub przechowywanie 2 najlepszych i ich przekazywanie (pewnie dużo wolniejsze więc się nie opłaca)

5 Results

przenieść legendę? JAKO OSOBNY PDF? i podać w tej sekcji - tak się nie robi ale było by ok i czytelnie + więcej miejsca na wykresy a przypadków będzie więcej

5.1 Performance

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

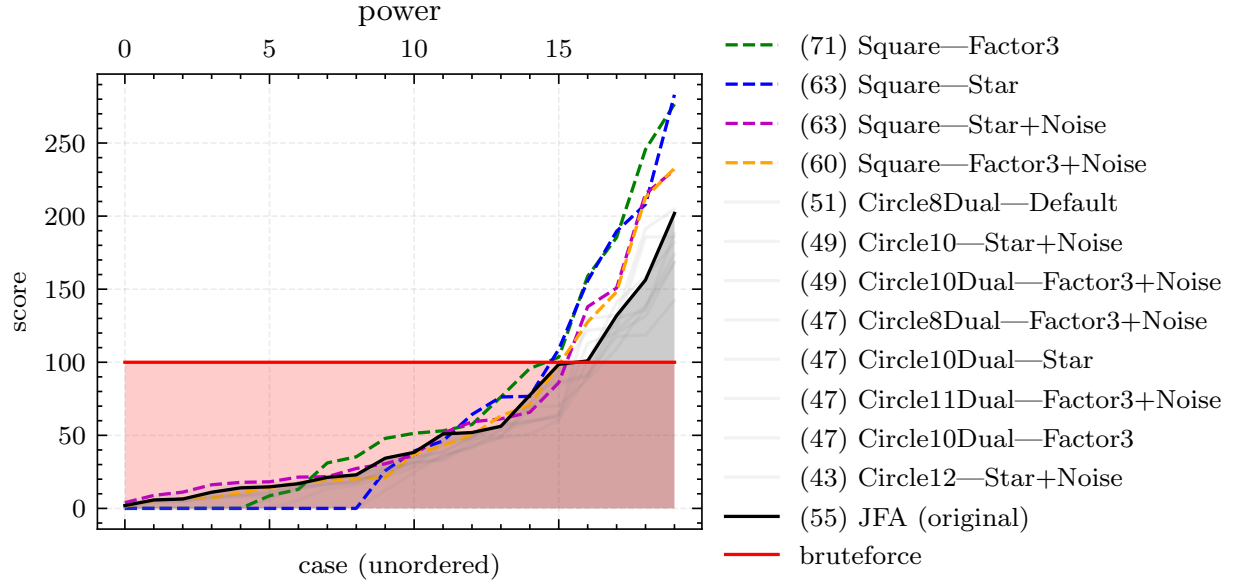


Figure 1: bla bla bla

5.2 Performance? ale taki inny

te same dane jak w poprzedniej sekcji tylko nie posortowane - dlatego widac jak wygladaja "gorki" dla danych shapow i rosnacych gestosci

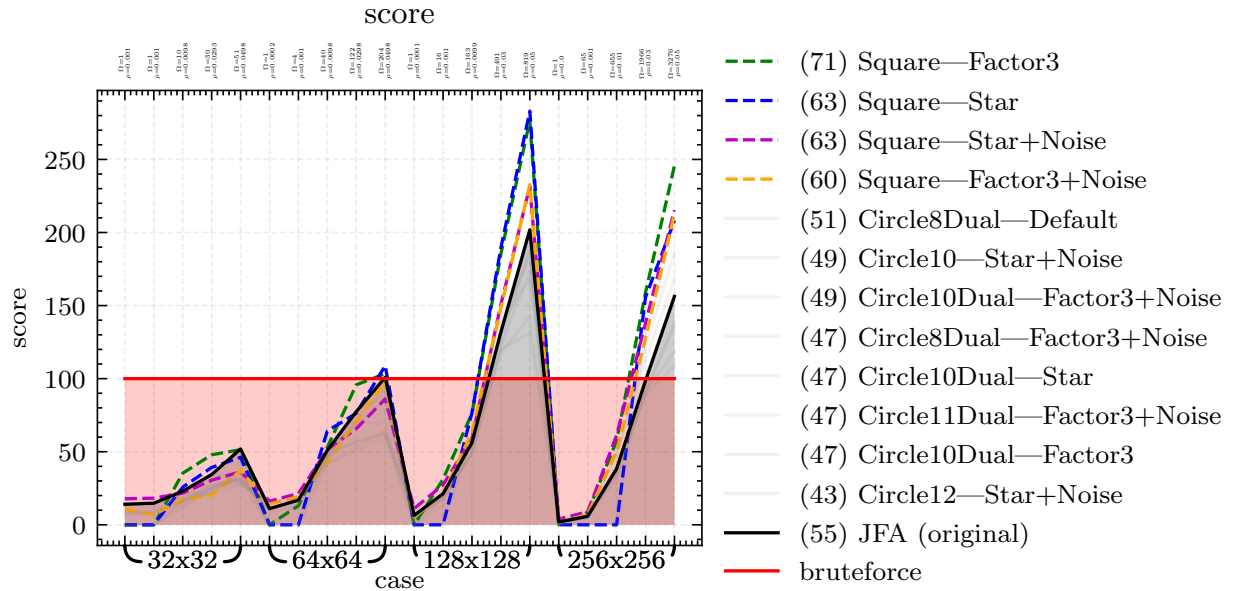


Figure 2: bla bla bla

Algorithm	$\rho=0.0003$	$\rho=0.001$	$\rho=0.0099$	$\rho=0.0298$	$\rho=0.0499$	Avg. score
SquarelFactor3	0	13.2	55.5	122.0	169.3	71
SquarelStar	0	0	41.7	115.2	161.5	63
SquarelStar+Noise	12.3	19	48.4	96.3	142.3	63
SquarelFactor3+Noise	7.9	13.6	43.5	91.6	145.2	60
Circle8DualDefault	0	9.8	39.3	85.6	123.3	51
Circle10DualStar+Noise	11.8	16.3	43.4	79.2	98.7	49
Circle10DualFactor3+Noise	5.5	10.9	37.8	81.4	110.6	49
Circle8DualFactor3+Noise	6.8	12.7	42.2	82.7	94.2	47
Circle10DualStar	0	0	28.2	85.0	124.2	47
Circle11DualFactor3+Noise	6	12	35.2	76.9	107.2	47
Circle10DualFactor3	0	4.8	40.8	80.2	109.3	47
Circle12lStar+Noise	10.6	14.7	37	70.3	87.2	43
Circle13lFactor3+Noise	6.2	10.4	32.6	70.9	92.2	42
Circle15DualStar	0	1.6	35.8	68.2	101.9	41
Circle17DualStar	0	1.3	34.4	65.0	95.4	39
Circle6lFactor3+Noise	7.7	15.7	53.2	79.6	34.9	38
Circle7DualDefault	0	6.4	37	66.7	79.7	37
Circle6DualDefault	0	4.8	36.2	67.2	79.0	37
Circle6DualStar+Noise	14.7	20.9	42.1	59.2	32.4	33
Circle8DualStar	0	0	0	49.0	78.7	25
Circle9DualStar	0	0	0.2	39.1	74.9	22
Circle9DualFactor3	0	0	5.4	35.9	69.9	22
SquareDualFactor3	0	4.9	19.2	35.8	49.8	21
Circle8DualFactor3	0	0	5.8	37.6	64.2	21
Circle10lFactor3	0	1.1	12.9	32.5	52.6	19
Circle14lFactor3	0	1	10.7	36.4	50.1	19
Circle9lFactor3	0	1.1	9.5	31.6	46.0	17
Circle10lStar	0	0	2.8	30.9	49.0	16
SquareDualDefault+Noise	2.1	3.5	12.3	26.7	37.8	16
Circle7DualFactor3	0	0	0	2.5	0.0	0
Circle7DualStar	0	0	0	1.9	0.0	0
Circle6DualStar	0	0	0	0.0	0.1	0

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

5.3 Error Rate

score jest scisle powiazany z errorem ale tutaj przejrzyście widac w jakich przypadkach jest naprawde zle i ile (szarych) czesto jest bardzo szybkich - ale rowniez bardzo blednych dlatego maja finalnie niskie scory

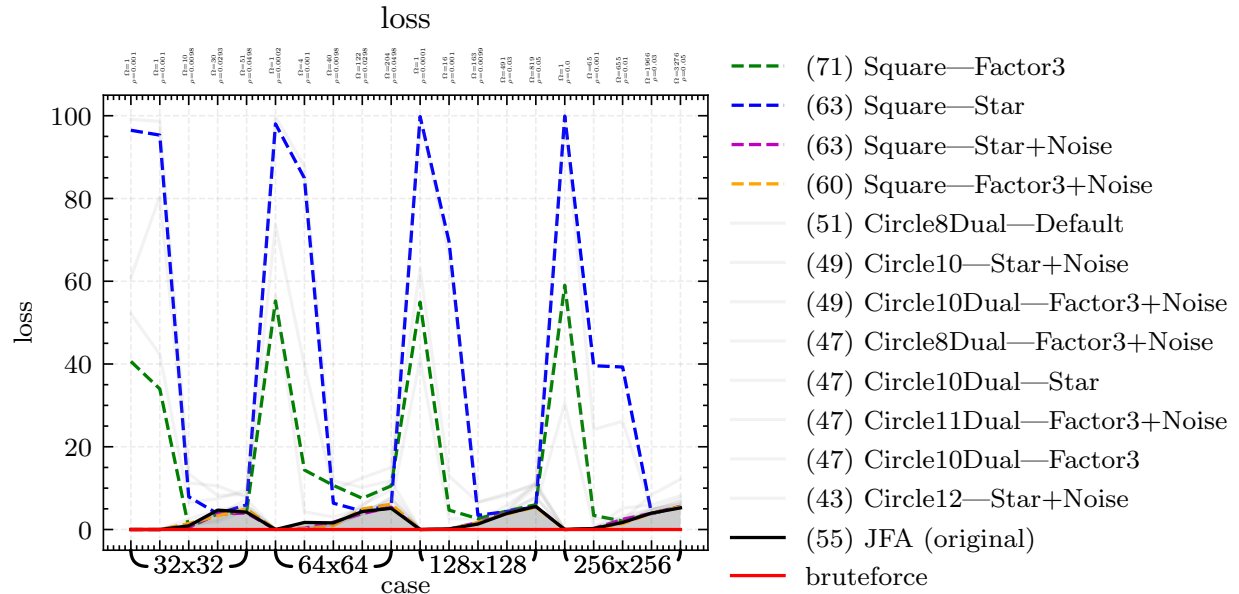


Figure 3: bla bla bla

5.4 Objectives

naprawić generowanie tego wykresu

czyli co ma wpływ na co (w sumie to najważniejsze miało być w pracy)

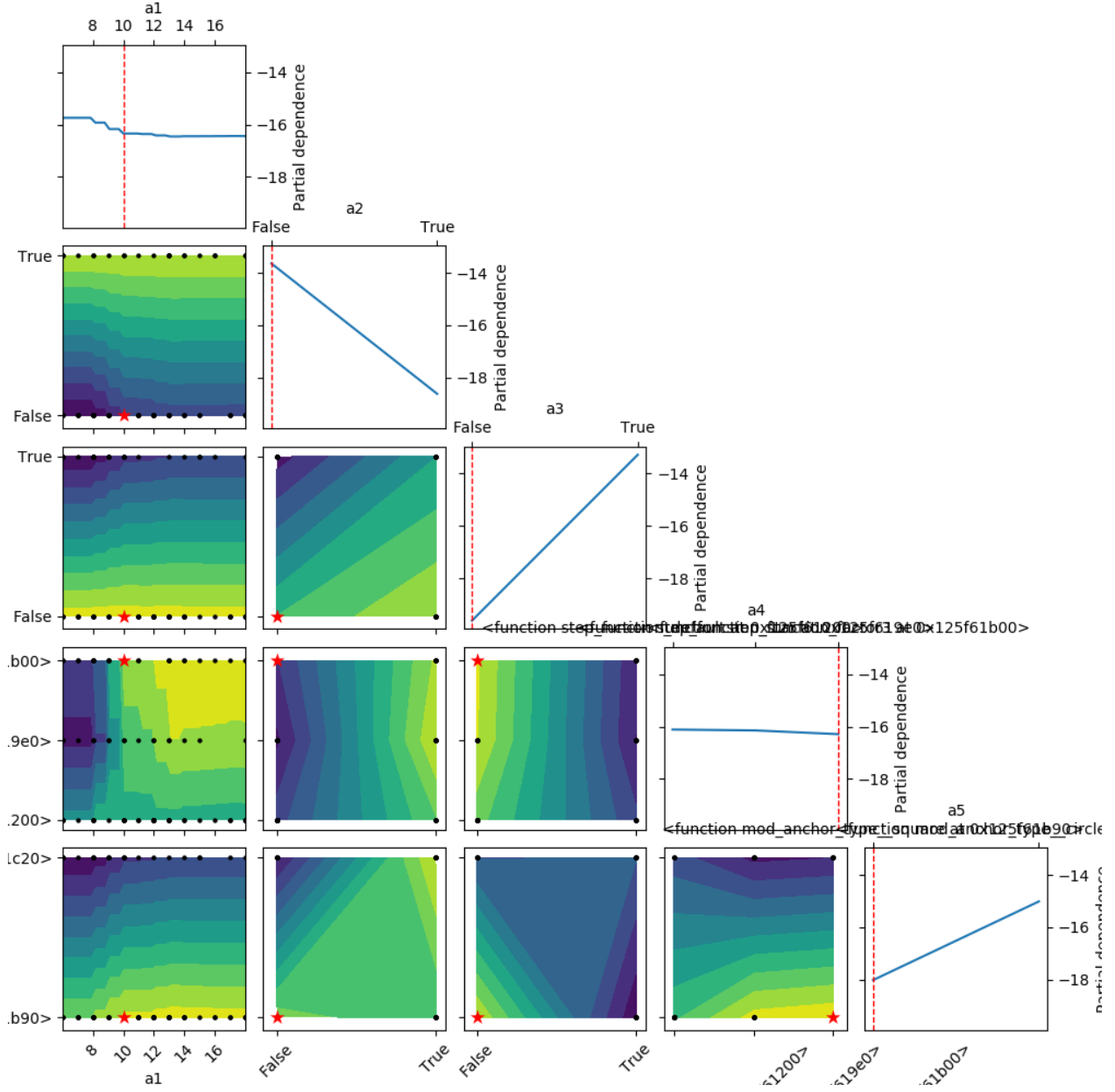


Figure 4: bla bla bla

6 Practical Usage

polaczyc z Conclusions

Jest wiele projektów które potrzebuje DT lub voronoi-a. Jedyne dwa praktyczne przykłady z tej pracy to SOTA dla JFA - czyli JFAstar, oraz praktyczny Ensemble (uwzględniający np. bruteforce dla małych 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 (I)*. 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.