Справка за оригиналните научни приноси

Стефан Герджиков

21 декември 2020 г.

Трудно е да се претендира за *оригинални* научни приноси, доколкото в повечето случаи те са следствие на сложна и поне за мен необяснима комбинация от различни субективни и нерационални фактори, които варират от спонтанни коментари по време на научна дискусия и неочаквано възникнали неясни детайли до съвсем случайни обстоятелства, които е трудно да бъдат свързани с определено научно изследване.

С оглед на горното ще се опитам да опиша къде виждам моето участие в публикуваните резултати от статиите с повече от един автор, представени по Показатели 4 и 7 в настоящия конкурс, като дам и контекст, в който те са възникнали.

1 Ефективни конструкции за построяването на бимашини

1. Stefan Gerdjikov, Stoyan Mihov, Klaus U. Schulz, A Simple Method for Building Bimachines from Functional Finite-State Transducers, Proceedings of the 22nd International Conference Implementation and Application of Automata, CIAA 2017, pp. 113 – 125, 2017, ISBN:978-3-319-60133-5, doi:10.1007978-3-319-60134-2_10

2. Stefan Gerdjikov, Stoyan Mihov, Klaus U. Schulz, Space-Efficient Bimachine Construction Based on the Equalizer Accumulation Principle, Theoretical Computer Science, vol. 790, pp. 80 – 95, 2019, doi:10.1016j.tcs.2019.04.027

Първата статия описва: (i) общ вид на директната конструкция; (ii) нейна специализирана версия която постига гарантирана сложност[1] в брой състояния $O(n!)$; (iii) клас от примери, който показва, че втората конструкция подобрява класическата.

Доколкото ми е известно, вж. по-долу, приносът за (i) е на Стоян Михов. Трудно е (ii) да се припише на някого конкретно – според мен това витаеше във въздуха тогава – просто трябваше да се поддържа редът на пътищата и да се направи сметката. Примерът, (iii), дойде в отговор на рецензията, която получихме. Мога да кажа, че това беше първият от още няколко примера, които направих във връзка с това изследване.

Смятам, че основната идея за конструкцията, която постига $O(2^n)$ състояния, във втората статия е моя. Обобщението ѝ за mge-моноиди е на Klaus Schulz. Примерът за долна граница $\Theta(2^{n/4})$, който ми хрумна тогава, се основава на класически идеи и принципа на Дирихле.

<u>Контекст:</u> През есента на 2016 година, Стоян Михов и Klaus Schulz завършваха своя дългогодишен проект по написването на книгата *Finite State Techniques*. Тогава Стоян ме помоли за мнението ми по първата част от монографията. Това, което ме изненада, беше

[1] Тук и по-надолу с n бележим броя на състоянията на изходния преобразувател.

описанието на конструкцията за построяването на бимашина от функционален преобразувател. Те описваха *класическата* конструкция на Choffrut, въпреки че Стоян беше разказвал *директна* конструкция през 2010 година[2] на нас със Стефан Вътев, във връзка с друг проект. Моят коментар тогава, доведе до по-задълбочен размисъл, който доведе в резултат до първата от двете статии по-горе.

Както става ясно, първият резултат се нуждаеше просто да бъде написан. В края на 2016 обаче ни вълнуваше дали може броят на състоянията да се намали качествено под $n!$. Тогава видях как по същество може да преразпределяме изходите на преобразувателя. Дотогава, във всички конструкции, които знаехме, бимашината симулира изходите на един конкретен успешен път на преобразувателя. Това, което не бяхме осъзнали, беше, че този изход може да се преразпределя – можеше да се дефинира нещо като потенциал за всяка двойка от състояния – едно от левия и едно от десния автомат – и изходите можеха да се определят въз основа на този потенциал. Не беше необходимо да се взима под внимание цялата информация от успешния път! Това наблюдение най-лесно се вижда в числовия случай на изходите. След това лесно се обобщи за групи и се прехвърли за свободни моноиди.

И сигурно всичко щеше да свърши дотук. В началото на 2017, Стоян сподели на Klaus за това, с какво се занимаваме и му предложи да се включи. Klaus оцени и разбра какво сме направили, но беше скептичен дали ще може да бъде полезен с нещо. Оказа се, че греши – няколко седмици по-късно, в края на януари – той изпрати нещо, което по-късно щеше да нарече mge-моноид. Klaus беше успял да абстрахира конструкцията и да опише общите свойства на изходния моноид, при които идеята за потенциала е приложима. Тя включваше още и метод за проверка за функционалност на преобразувател с изходи в съответната структура.

Това доведе до втората статия, която постига $O(2^n)$ състояния. Все още се чудехме доколко тази оценка е точна. В тази връзка е и примерът, който ми хрумна с $\Theta(2^{n/4})$ състояния[3].

2 Аксиоматизация на моноиди

Двете статии:

- Stefan Gerdjikov, A General Class of Monoids Supporting Canonisation and Minimisation of (Sub)sequential Transducers, Proceedings of the 12th International Conference on Language and Automata Theory and Applications, LATA 2018, pp. 143 – 155, 2018, ISBN:978-3-319-77312-4, doi:10.1007978-3-319-77313-1_11.

- Stefan Gerdjikov, Generalised Twinning Property, 23rd International Conference on Implementation and Applications of Automata, pp. 173 – 185, 2018, ISBN: 978-3-319-94811-9, doi:10.1007978-3-319-94812-6_15

описват широк клас от моноиди, за които проблемите за детерминизиаци (секвенциализация), канонизация и минимизация са разрешими с помощта на директни обобщения на класическите конструкции.

Първата статия показва, че mge-моноидите, разширени с още две аксиоми способстват ефективната канонизация на преобразуватели и минимизацията на (под)последователни преобразуватели. Първата допълнителна аксиома е естествена и очевидно необходима. Втората има за цел да преодолее трудностите, които предизвикват циклите в преобазувателите. Оказва се, че в известен смисъл тя също е необходима.

[2]Предполагам, че Стоян е знаел за тази конструкция още през 2005-2007, около дипломната работа на Иван Пейков.

[3]Сега знаем, че долната граница е $\Theta(2^{n/2})$ и $\Theta(2^n)$ за функцията на изходите

Втората статия показва клас от моноиди, в който проблемът за секвенциализация на функционален преобразувател е разрешим. Добавят се три нови аксиоми: (i) аксиома, която е дуална на тази за най-общ изравнител; (ii) аксиома за спрегнатост; (iii) аксиома, която е характерна за инфинитарните[4] групи. При тези допълнителни ограничения се показва разрешимост на проблема за секвенциализация на функционални преобразуватели, което е технически по-трудно от класическите.

Конструкциите и в двете статии са класически, новото е описанието на моноидната структура.

Двете статии са конферентни, поради което резултатите са представени сбито и част от доказателствата липсват. Подробно и разширено изложение може да се намери тук.

Контекст: Дефиницията на mge-моноидите постави още по-остро въпроса за това, какви са онези свойства на моноидите, които са *важни* за конструкциите върху преобразуватели. Знаехме, че свободните моноиди и тропическите[5] моноиди имат общи свойства, които със Стоян бяхме успели да абстрахираме по-рано в контекста на секвенциализацията на преобразуватели. Концепцията за mge-моноиди изглеждаше, обаче, че води в по-правилна посока, най-малкото защото беше по-обща и по-проста в ограниченията, които налагаше.

Трябва да се отбележи, че измених дефиницята, която предложи Klaus за mge-моноид в по-удобен от алгебрична гледна точка вид. А именно, всеки моноид $\mathcal{M} = (M, \circ, e)$ дефинира по естествен начин преднаредба $\leq_M$:

$$a \leq_M b \iff \exists c(a \circ c = b).$$

Спрямо тази преднаредба, човек може да дефинира горни и долни граници и инфимуми и супремуми – разбира се, тук те няма да са единствени в общия случай и може да имаме множества от инфимуми или супремуми.

Тогава, за mge-моноидите може да си мислим като за моноиди със следните три свойства:

- лява съкратимост
- дясна съкратимост
- ако два елемента имат горна граница, то те имат и супремум.

Всъщност последното свойство е най-специфично и важно при теста за функционалност на преобразуватели – това дали един преобразувател представя графика на функция, а не просто релация, и конструкцията на бимашини.

Когато разглеждаме проблемите, свързани с последователни преобразуватели, е необходимо да имаме *инфимуми*, но не произволни – условието за произволни инфимуми се оказва твърде силно, вж. по-долу, а само за регулярни множества. Тогава, разбира се, трябва да имаме, че:

- всеки два елемента притежават инфимум.

Това обаче не е достатъчно. В първата статия, *A General Class of Monoids Supporting Canonisation and Minimisation of (Sub)sequential Transducers*, че още съвсем малко ни трябва, за да се преборим с циклите в преобразувателя и с това всяко регулярно множество да има инфимум. Това условие е:

$$\text{ако } b \leq_M a \circ c \text{ и} b \leq_M, \text{ то } b \leq_M a \circ b.$$

[4]Тоест такива, за които равенството $a^k = b^k$ за някое положително k винаги влече, че $a = b$.

[5]Сложен и неособено коректен термин за нещо просто: $(\mathbb{Q}, 0, +)$, $(\mathbb{R}, 0, +)$, $(\mathbb{N}, 0, +)$. Грешната употреба води началото си от мултипликативния моноид в *тропическите* полупръстени: $(\mathbb{Q}^*, 0, \infty, +, \min)$ и т.н.

То се оказва и необходимо в смисъл, че има mge-моноиди, при които всеки два елемента притежават инфимум, нарушават горното свойство и допускат регулярни множества без инфимуми. Това е негативният резултат от тази статия. Положителните са, че при горните условия може да намираме ефективно инфимум на регулярно множество, зададено с автомат, да канонизираме преобразувател и да минимизираме детерминиран (последователен) преобразувател.

Втората статия, Generalised Twinning Property, разширява горните изисквания, за да получи структура, в която проблемът за това дали даден функционален преобразувател е еквивалентен на детерминиран (последователен) преобразувател и в случай, че е намира такъв.

3 От моноиди към максимални факторизации и обратно

Статията:

- Stefan Gerdjikov, José Ramon González de Mendívil, Conditions for the existence of maximal factorizations, Fuzzy Sets and Systems, vol. 397, pp. 186 – 196, 2020, ISSN: 0165-0114, doi:10.1016j.fss.2019.07.006

описва връзката между свойството на моноиди да допускат *максимална факторизация*[6] и mge-моноиди. Първото свойство, за максимална факторизация, което се появява в работите на Kirsten и Mäuer от началото на века за полупръстени играе важна роля за обобщаването на класическите алгоритми за секвенциализация и минимизация на преобразуватели.

Основният ми принос в тази статия е резултатът в четвъртата част: максималната факторизация, при моноиди с дясна съкратимост е еквивалентна на съществуването на инфимуми по изброими множества[7]. При комутативни моноиди, предпоставката за дясна съкратимост отпада. Формулировката и доказателството на техническата лема в третата[8] част също са мои.

Контекст: През лятото на 2018 година, с мен се свърза José Ramon González de Mendívil. Беше попаднал на моята статия от LATA 2018 и още един препринт в arXive за обобщение на релацията на Майхил-Нероуд за рационални функции. Интересуваха го резултати свързани с последното. Той също имаше резултати в тази насока, но те се основаваха на предположение за съществуването на *максимална факторизация* в моноида. И така, той попита каква е връзката между тези две структури, които изучаваме. За мен отговорът не беше труден след като осмислих понятието за максимална факторизация. Тази наша кореспонденция доведе и до статията по-горе.

José Ramon настояваше да се разглеждат моноиди с нула, но без делители на нулата. Изложихме статията по този начин, но рецензентите отбелязаха, че това изглежда изкуствено. Принципно нямаше проблем да сменим изложението, както и направихме. Това, обаче, което вълнуваше José Ramon беше каква е връзката между моноиди с нула и максимална факторизация и моноидите без нула. Така той постави въпроса, чийто (частичен) отговор представлява лема 3 в статията.

---

[6] Поне за мен, това е неособено приятно условие от втори ред за структурата на моноида. То изисква съществуването на две функции f и g, които действат на функции от $\phi : \Sigma^* \to M$. f преобразува функциите във функции, а g – в елементи на моноида, при това $\phi = g(\phi) \circ f(\phi)$ и $f(m \circ \phi) = \phi$ за всеки елемент $m \in M$. Поради първото свойство двойката (f, g) се нарича факторизация. Второто условие, за инвариантност относно умножение отляво на f, води до термина максималност – всъщност g трябва да е абстрахира цялата информация за всевъзможните умножения от този специален вид.

[7] Условие, което изглежда силно. Например $(\mathbb{Q}, +, 0)$, не е такова.

[8] Не е трудно да се види, че има моноиди, които нарушават предпоставката на лемата.

4 Алгоритъм за минимална ПТ-декомпозиция на прости многоъгълници

Статията:

- Stefan Gerdjikov, Alexander Wolff, Decomposing simple polygon into pseudo-triangle and convex polygons, Computational Geometry Theory and Applications, vol. 41, 1-2, pp. 21 – 30, ISSN: 0925-7721, 2008

описва несложно обобщение на алгоритъма на Keil и Snoeyink за минимална декомпозиция на прости многоъгълници на изпъкнали. Новото тук е допускането на псевдо-триъгълници – илюстративно, псевдо-триъгълник това е триъгълник, от трите страни на който са изрязани по един изпъкнал многоъгълник. Както и алгоритъмът на Keil и Snoeyink, така и предложеният за намирането на минимална ПТ-декомпозиция е кубичен.

Задачата се оказа приятно динамично програмиране, в което основното беше геометричната характеризация на псевдо-триъгълниците в контекста на цялата фигура и организирането на данните. До голяма степен се справих, и резултатът се прие още през 2006 на Конференцията по изчислителна геометрия в Делфи, март 2006, като беше поканен за публикация в списание. Тук опитът на Alexander Wolff изигра много по-голяма роля – не само при описанието, но и при формалното доказателство на характеризацията на псевдо-триъгълниците, което макар и интуитивно ясно изисква определен топологичен опит, който на мен ми липсваше.

Контекст: През 2005 година, като Еразмус студент в Karlsruhe, потърсих работа в тамошния Факултет по информатика. Всъщност, исках да се занимавам с алгоритми върху графи, но в катедрата по Алгоритми попаднах на Alexander Wolff – тогава млад изследовател, който се хабилитира малко по-късно, по изчислителна геометрия. Като му обясних от какво се интересувам, той каза, че може да ми изпрати няколко статии, които след това да обсъдим.

Той се интересуваше от NP-пълни/трудни проблеми и версии с фиксирани параметри[9]. За съжаление, за това нямах предварителна подготовка, и нямаше как да си изградя интуиция за кратко време. Тогава Alexander постави далеч по-достъпната задача за декомпозицията на прости многоъгълници.

5 Ефективни алгоритми за приближено търсене[10]

Към тази група се отнасят: `REBELS` и `WallBreaker`, чиято практическа ефективност е демонстрирана, както следва:

1. WallBreaker в:

    - Sebastian Wandelt, Dong Deng, Stefan Gerdjikov, Shashwat Mishra, Petar Mitankin, Manish Patil, Enrico Siragusa, Alexander Tiskin, Wei Wang, Jiaying Wang, State-of-the-art in string similarity search and join, ACM SIGMOD Record, vol. 43, 1, pp. 64 – 76, 2014, ISSN: 0163-5808, doi:10.11452627692.2627706

2. REBELS в статиите:

[9] Това е техника, при която сложността на алгоритъма се изолира в определен параметър, относно който алгоритъмът има свръхполиномиална сложност, но иначе е полиномиален.

[10] Този принос беше използван при защитата на дисертационния ми труд през февруари 2014 г. Свидетелствата за него, приложени в този параграф обаче са нови и го представят в по-широк контекст.

- Andrey Sariev, Vladislav Nenchev, Stefan Gerdjikov, Petar Mitankin, Hristo Ganchev, Stoyan Mihov, Tinko Tinchev, Flexible Noisy Text Correction, Proceedings of 11th IAPR International Workshop On Document Analisys Systems, pp. 31 – 35, 2014, ISBN: 978-1-4799-3243-6, doi:10.1109DAS.2014.12
- Petar Mitankin, Stefan Gerdjikov, Stoyan Mihov, An approach to unsupervised historical text normalization, Proceedings of the First International Conference on Digital Access to Textual Cultural Heritage, pp. 29 – 34, 2014, ISBN:978-1-4503-2588-2, doi:10.11452595188.2595191

Идеята и на двата алгоритъма е йерархичното разбиване на дадена заявка на подзаявки, решенията от които се обединяват с помощта на ефективни инфиксни (автоматни) структури. Кратки описания на методите има в горепосочените статии. По-подробно описание може да се намери в дисертационния ми труд[11] от 2014.

5.1 WallBreaker

`WallBreaker` решава класическата задача за приближено търсене по разстояние на Левенщейн. Идейно беше разработен по време на ежеседмичните семинари в ИПОИ, по настоящем ИИКТ, в периода 2009 – 2012 година. В обсъжданията участваха още Петър Митанкин, Стоян Михов и Тинко Тичнев. Според мен основна движеща сила беше това, че Петър и аз общо взето се борихме с този проблем от различни гледни точки, а Стоян и Тинко, основно Стоян, критикуваха конструктивно нашите идеи. По-късно се намеси и Klaus Schulz. Самата имплементация беше дело на Петър.

Статията *State-of-the-art in string similarity search and join*, поставя WallBreaker в контекста на други методи и оценява неговата емпирична ефективност, като най-бърз при търсенето на близки стрингове до даден в големи бази от данни.

Контекст: Научната разработка се случи независимо от WallBreaker. В последното тримесечие на 2012 година, се появи обявата на Ulf Leser и Sebastian Wandelt за състезание конкретно по тази задача и тя достигна до Стоян и Klaus. Това обстоятелство доведе до нашето участие и съответно, като резултат от проведения в края на март 2013 Генуа форум, когато бяха представени и числата от състезанието, до съвместната статия: *State-of-the-art in string similarity search and join*. Експериментите и организация на тази статия са дело до голяма степен Sebastian Wandelt и Ulf Leser.

5.2 REBELS

За разлика от WallBreaker, който решава класическия проблем за приближено търсене, REBELS има за цел на първо място *да дефинира* подходяща близост между думи. Самата идея, която разказах по-скоро като математически привлекателна, на една от срещите в ИПОИ.

Flexible Noisy Text Correction показва цялостна систем за нормализация на исторически текстове, която използва в основата си REBELS.

An approach to unsupervised historical text normalization използва WallBreaker като първоначален филтър, за да подаде подходящи данни за трениране на REBELS, който след това се комбинира с съвременен езиков модел, както е описано в `Flexible Noisy Text Correction`. Разбира се, това внася значителен шум в системата, но въпреки това цялостната система успява да извлече част от специфичните закономерности.

Контекст: Идеята, която представих за дефинирането на близост между думи, основаща се примери, беше математическа привлекателна, но намирах за налудничава. През есента

[11] Ефективен алгоритъм за приближено търсене в регулярни множества, вж. 11.AuthorsSummary.pdf.

на 2011 нещата придобиха друго изражение, когато Тинко заяви, че подход, подобен на REBELS, с практическа имплементация ще е необходим за проекта CULTURA, по който основната ни задача бе да реализираме автоматична нормализация на исторически текстове. Така, абстрактната идея трябваше да се превърне в съвсем конкретен и при това бърз и точен модул, който е описан накратко в `Flexible Noisy Text Correction`, която като проектна статия, има за цел да даде общ поглед върху цялата система.

В началото на 2014, вече имахме пълна работеща система за нормализация на исторически текстове. Тя обаче се нуждаеше от подравнен корпус. Тогава Стоян даде идеята да пробваме да съчетаем приближено търсене в речник заедно с тази система, така че да се освободим от необходимостта от паралелен корпус.