

Ю.В. Ильюшин, В.Е. Трушников**МНОГОПОТОЧНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ
СЕЙСМОРАЗВЕДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Рассмотрена обработка большого объема данных на гибридных суперкомпьютерах, исходные данные для обработки были получены путем аэрокосмической фотосъемки средствами дистанционного зондирования местности. Рассмотрен вопрос применения технологии nvidia cuda для решения задач геологоразведки и геоэкологии. Приведенный в статье метод был апробирован на предприятии добычи минеральной воды ОАО «Нарзан» город Кисловодск. Программные алгоритмы имеют авторские свидетельства о государственной регистрации.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, измерение объектов, обработка результатов, алгоритмы, программное обеспечение.

Введение

В процессе добычи минеральной воды региона кавказских минеральных вод одной из главнейших задач является добыча минеральной воды с минимального нанесения ущерба экологии региона. Это задача прежде всего решается с помощью методов очистки и принципиально новых методов добычи минеральной воды. Однако, сростом методов добычи минеральной воды, все больше становится актуальным вопрос нахождение оптимальных методов поиска месторождений минеральной воды. До недавнего времени в регионе кавказских минеральных вод данные задачи решались с помощью различного рода геологических партий, проводивший исследования на территории северной части главного кавказского хребта. В последствии поиск минеральные воды осуществлялся с помощью анализа рек берущих свое начало у подножия горы Эльбрус. Однако, этот метод имеет свои недостатки, это главным образом связано с тем что химический состав реки образуется за счет огромного количества источников и притоков впадающих в нее (так, например, река Кич-малка имеет не

менее 96 притоков), что существенно затрудняет возможности однозначно идентифицировать класс Нарзана (минеральные воды Кисловодского на месторождении), и мест его залегания. Поэтому было принято решение о поиске дополнительных методов разведки, в частности было предложено использовать для сбора геоданных беспилотные летательные аппараты (БПЛА) проводящие аэрофотосъемку местности, и впоследствии, обработку данных фотографий. Применение данного метода осложнялось отсутствием возможности обработки большого объема данных за короткий промежуток времени. Сейчас данную задачу на себя взяли многопроцессорные и многоядерные системы, однако, для обработки данных в многопроцессорных системах персональных компьютеров, было необходимо использование дополнительных плат расширения, которые существенно увеличивали стоимость системы в целом. С целью снижения стоимости было принято решение о применении технологии nvidia CUDA (англ. Compute Unified Device Architecture), для решения задач обработки геоданных беспилотных летательных аппаратов.

Принцип аэрофотосъемки и его последующей обработки

Для обработки данных получаемые с БПЛА Trimble, предназначено программное обеспечение – фотограмметрический модуль например, Trimble Business Center (TBC) [1].

Модуль TBC основан на современной технологии Trimble Inpho, известной более 20 лет как лидер в области цифровой воздушной фотограмметрии. Технология Inpho была специально модернизирована под специфические требования БПЛА. Внедрение новейших алгоритмов компьютерной визуализации позволяет получать высокоточные результаты в автоматическом режиме с минимальным использованием ручного труда. Надежная фотограмметрическая система обеспечивает прекрасные результаты, при этом для обработки не требуются специальные навыки и опыт в области фотограмметрии.

Фотограмметрический модуль TBC работает с новейшими геодезическими модулями, позволяющими обрабатывать картографические проекты полностью, включая воздушную съемку, снимки Trimble VISION, данные съемки GNSS и электронных тахеометров.

Определение центров фотографирования. Процесс фототриангуляции позволяет уточнить центры фотографирования, с автоматическим поиском связующих точек на перекрывающихся снимках для исправления их относительного положения и ориентации. Простое измерение наземных контрольных точек позволяет корректировать абсолютную позицию и масштаб центров фотографирования. Выравнивание снимков происходит автоматически одним нажатием кнопки мыши, при этом на обработку одного снимка уходит не более 10 секунд (включая уточнение параметров калибровки камеры).

Автоматическое распределение связующих точек происходит с высо-

кой плотностью по всей поверхности проекта, включая и участки с низкой контрастностью. Дополнительные функции: полная калибровка камеры, автоматический контроль качества и удаление грубых ошибок.

Измерение фотограмметрических точек. При помощи «виртуального телескопа» TBC пользователи могут обнаруживать пересечение точек от многочисленных воздушных станций фотографирования и/или наземных фотостанций Trimble VISION, что позволяет производить измерения дискретных точек. Кроме того, можно точно и достоверно измерять различные наземные объекты: углы зданий, кроны деревьев, и другие объекты.

Создание 3D облаков точек. Создавайте облака точек в 3D, получаемые от уравниваемых фотостанций. Благодаря 25-летнему опыту создания технологии, алгоритмы построения облаков точек используемое в TBC опираются на самые современные модули построения и уточнения цифровых моделей местности ПО Inpho. Полностью автоматизированный процесс адаптирует параметры для обеспечения точности, высочайшей детализации и верные результаты при скорости обработки около 3 сек. на снимок и точностью по высоте около 1–2 пикселей.

Создание ЦММ. Создавайте трехмерные цифровые модели местности с помощью уравниваемых фотостанций. Растровая ЦММ строится на основе облака точек путем сложной интерполяции, фильтрации шумов, моделирования краев и распознавания резких скачков для максимальной детализации получаемой модели.

Создание цифровых ортофотопланов. Автоматическое создание трансформированных геопривязанных ортофотопланов. Жесткое «True-Ortho» трансформирование снимков в сочетании с выдающимся геометрическим элементарным алгоритмом поиска швов и

радиометрическим выравниванием позволяет создавать непревзойденные по качеству ортофотопланы. Адаптивное смещение швов основывается на анализе текстуры снимков. Применяется радиометрическая корректировка, как отдельного снимка, так и групп снимков для создания равномерных по цвету и интенсивности ортофотопланов, готовых для использования в ГИС. Автоматическая обработка одного занимает около 4 с.

Анализ глубин рек по данным аэрофотосъемки

Первый блок, который мы рассмотрим, был снят с борта БПЛА ZALA 421-04ф. Данные для исследований были предоставлены ОАО «Газпром космические системы». Блок состоял из 26 маршрутов. Общее число снимков в блоке составило 595. Использовалась предварительно откалиброванная цифровая камера Canon EOS 500D. Высота залета над местностью составила около 500 м, размер пиксела на местности приблизительно равен 8 см. На местности были измерены и промаркированы 25 опорных точек, точность координат опорных точек не превышала 10 см. Общий перепад высот местности протяженностью около 3-х км достаточно большой: ~70 м.

Сначала этот же блок аэросъемки был обработан в автоматическом режиме по упрощенной схеме, без уравнивания и использования опорных точек. Привязка осуществлялась по центрам проекции, трансформирование снимков проводилось сразу в программе PHOTOMOD GeoMosaic без учета рельефа. Последующий контроль полученных «псевдо» ортофотопланов по опорным точкам показал расхождения на опорных точках, превышающие 17 м. Такая невысокая точность ортофотоплана обусловлена как большим перепадом высот, так и неточностью измерений центров проекций в полете.

Затем блок был подвергнут строгой фотограмметрической обработке. При уравнивании три из измеренных опорных точек считались контрольными. Среднеквадратическая ошибка уравнивания составила по опорным точкам 15 см, 16 см, 12 см, по контрольным точкам 23 см, 29 см и 57 см. Расхождения на связующих точках составили 8 см, 14 см и 69 см. Общий вид блока представлен на рисунке.

В процессе уравнивания было обнаружено, что координаты центров проекций из телеметрической информации содержат систематическую ошибку, главная из компонент которой составляет 10,5 м по высоте Z . Среднеквадратические ошибки на центрах проекции после вычитания систематической ошибки составили 84 см, 239 см и 75 см. Существенно большая ошибка по Y (вдоль полета), скорее всего, связана с неточным определением моментов съемки в телеметрии. Большие ошибки по Z на связующих точках возможно связаны с неточной калибровкой камеры и с накопленной ошибкой при съемке камерой с шелевым затвором. Наибольшие ошибки на связующих точках наблюдаются на краях и в углах снимков.

Дальнейшая обработка блока проводилась по стандартной схеме. Был построен рельеф в автоматическом режиме и сделано ортотрансформирование с учетом построенного рельефа.

Для анализа результатов создается массив данных подлежащих обработке. В этом массиве существуют огромное количество столбцов состоящих из разностных характеристик. Сумма которых позволяет определить удаленность объекта исследования. Произведем алгоритм расчета глубины водных источников. Данный алгоритм достаточно просто необходимо произвести суммирование всех элементов столбцов – слоев. Для демонстрации преимущества применения техноло-

гии гибридных вычислений напишем две программы одна из которых будет складывать элементы в простом линейном алгоритме другую в параллельном алгоритме применительно к технологии гибридных вычислений Nvidia CUDA [1, 2]. Код программного линейного алгоритма приведен ниже:

```
for j := 1 to n do begin
  for i := 1 to m do begin
    s[j] := s[j] + a[i,j];
    sum := sum + a[i,j]
  end;
```

Код программного параллельного алгоритма приведен ниже:

```
__global__ void add( int *a, int *b, int *c ) {
  int tid = blockIdx.x;
  if (tid < N)
    c[tid] = a[tid] + b[tid];
  sum := sum + a[tid]
```

Из приведенных выше программных кодов видно, что у линейного алгоритма присутствуют два идентификатора i, j строки и столбца. У параллельного алгоритма такой идентификатор задается в настройках массивов, а идентификатор tid задает номер потока данных. Таким образом первый приведенный программный код создает единый поток данных производящих суммирующую операцию. А параллельный алгоритм в свою очередь создает группу блоков равный числу ядер процессора. Для которых в свою очередь были созданных параллельные массивы данных. Программный код к созданию такого рода данных приведен ниже [3–7]:

```
HANDLE_ERROR( cudaMalloc
( (void*)&dev_a, sizeof( int ) ) );
HANDLE_ERROR( cudaMalloc
( (void*)&dev_b, sizeof( int ) ) );
HANDLE_ERROR( cudaMalloc
( (void*)&dev_c, sizeof( int ) ) );
```

После ее создания необходимо произвести копирования данных на вычислительный процессор с помощью программного оператора `cudaMemcpy DeviceToHost` для организации вычислений по векторным типам данных.

```
cudaMemcpy( dev_a, &z, sizeof(int),
cudaMemcpyHostToDevice ) ;
cudaMemcpy( dev_b, &d, sizeof(int),
cudaMemcpyHostToDevice ) ;
cudaMemcpy( dev_c, &k, sizeof( int ),
cudaMemcpyHostToDevice ) ;
```

Вызов модуля расчета производился по схеме с жесткой привязкой к ядру исполнителю:

```
add<<<1,N>>>( dev_t_mas , dev_z,
dev_k1, dev_k2, dev_l, dev_a, dev_t_
zad, dev_k, dev_d, dev_s);
```

Что позволило обеспечить функционирование данного модуля исключительно на первом процессоре вычислителя. В неограниченном количестве потоков (основное отличие графического процессора от процессора персонального компьютера состоит в наличии у графического процессора сотен арифметико-логических устройств в отличие от одного у процессора персонального компьютера). Изменяя первый параметр функции можно производить вычисления на других вычислителях, если таковые имеются в системе. Также комбинация данных параметров позволит создавать программные управления для высокопроизводительных систем на базе вычислителей NVidia tesla. Однако в связи с тем, что вычислители tesla обладают встроенными 4 процессорами по 2000 ядер каждое, необходимо производить дополнительный расчет потоковых операций.

Тем самым создается возможность параллельного решения группы данных [8, 9]. За счет это и осуществляется рост производительности.

Результаты расчета данных были идентично, однако время затраченное на расчет составило: для линейного алгоритма – 15 мин.; для параллельного алгоритма – 58 сек. Стоит отметить, что для расчета не применялись дополнительные методики расчета такие как, например, метод сечения, метод разделения переменных и многих других. Применение данных методик

существенно сократит время расчета, но только при условии ее применения к параллельной методике.

Вывод

Использование беспилотных летательных аппаратов в качестве аэро-съемочной платформы имеет большое будущее. Применение беспилотных летательных аппаратов совместно с программно-аппаратной платформы nvidia cuda позволит существенно увеличить скорость обработки данных получаемых средствами аэрофото-съемки. Однако не следует забывать, что при применении технологии nvidia cuda дает общественный рост производительности только в случае применения параллельных алгоритмов, для случаев когда данная задача не может быть распараллелена применение технологии nvidia cuda не даст существенных результатов. В качестве примера невозможности применения технологии nvidia cuda стоит считать невозможность составления рельефа местности линейных объектов. Однако в случае когда аэрофото-съемка ведется на большой площади программно-аппаратные технологии nvidia cuda позволяют существенно сократить время расчета, как высотных, так и глубинных характеристик, за счет одновременного обхода графа с нескольких сторон. В том числе производительность может увеличиться за счет построения рельефа местности в

двунаправленный режим или много направленном режиме. Так, как аппаратная архитектура cuda несет в себе минимум 96 арифметико-логических устройств данная система может поддерживать минимум 96-и направленный режим обработки растровых изображений. 96 арифметико-логических устройств находятся в самых дешевых бюджетных версиях графических ускорителей с поддержкой технологии nvidia cuda. При рассмотрении более расширенных версий данной технологии возможно применение графических ускорителей класса Tesla. В данных ускорителях находится 4 процессора по 2000 арифметико-логических устройств в каждом. Суммарной производительностью до 1 терафлопса. Применение графического ускорителя на локальном персональном компьютере позволяет построить матрицу высот для карт графического объекта геометрическими размерами 100 гектар за 6 сек. На обычных персональных компьютерах данная задача выполняется в течение суток.

Применение данной технологии несет в себе ряд существенных сложностей. Так в частности для применения программных средствах технология nvidia cuda необходима доработка всех программных средств, программистами довольно высокого класса, знающих язык C++ на уровне поддержки аппаратных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://nova-bpla.ru/obrabotka-izobrazhenij>
2. Ilyushin Y.V., Pervukhin D.A., Afanasieva O.V. et al. Designing of Distributed Control System with Pulse Control // Middle-East Journal of Scientific Research. – No. 21(3). – 436–439 (2014).
3. Ilyushin Y.V., Kucherenko I.A., Lyashenko A.L., Plotnikov A.V., Ponomarchuk P.A., Efimenko S.V., Pervukhin D.A. Simulation of thermal processes on supercomputers // Computer modeling and simulation: Proceedings of the international scientific and technical

- conference, 2–4 July 2014. – St. Petersburg. Univ Polytechnic. University Press, 2014. – Pp. 162–164.
4. Ильющин Ю.В., Кучеренко И.А., Кравцова А.Л. Расчет системы управления температурного поля лавового датчика на супер-компьютере по технологии CUDA // Материалы V Международной научной конференции «Системный синтез и прикладная синергетика». Т III. – Пятигорск: ФГАОУ ВПО «СКФУ», 2013. – С. 58–62.
5. Ильющин Ю.В., Первухин Д.А. Анализ системы распространения взрывных волн на

гибридном суперкомпьютере // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2014. – № 1–2. – С. 38–42.

6. Ильюшин Ю.В., Новожилов И.М., Ляшенко А.Л., Кучеренко И.А. Моделирование температурных процессов на суперкомпьютере // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2014. – № 4/2014. – С. 42–46.

7. Ильюшин Ю.В., Первухин Д.А., Кучеренко И.А. Моделирование распределенной системы управления на гибридном суперкомпьютере. Свидетельство № 2013660602

Дата регистрации 11.11.2013, Бюллетень № 12, 2013.

8. Ильюшин Ю.В., Першин И.М., Первухин Д.А. и др. Моделирование процесса температурного поля на основе параллельного алгоритма синтеза регулятора гибридного суперкомпьютера. Свидетельство № 2014613035, Дата регистрации 17.03.2014. Бюллетень № 4, 2014.

9. Ильюшин Ю.В. Введение в программирование на гибридных суперкомпьютерах по технологии Nvidia CUDA. – СПб.: Изд-во СатисЪ, 2014. – 73 с. **ТИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ильюшин Юрий Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: bdbyu@rambler.ru, Трушников Вячеслав Евстафьевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: tvye@yandex.ru, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

UDC 681.5

MULTITHREADING ANALYSIS OF SEISMIC DATA USING COMPUTER TECHNOLOGY

Ilyushin Yu.V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: bdbyu@rambler.ru, Trushnikov V.E., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: tvye@yandex.ru, National Mineral Resource University «University of Mines», 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Considered processing large amounts of data on hybrid supercomputer for processing the raw data were obtained by means of photography aerospace remote sensing area. The article also discusses the use of technology nvidia cuda for solving exploration and Geoecology The example in this paper, the method was tested at the plant production of mineral water of «Narzan» Kislovodsk. Software algorithms given in this article are the author's certificate of state registration.

Key words: aerial photography, measurement of objects, analysis of algorithms, software.

REFERENCES

1. <http://nova-bpla.ru/obrabotka-izobrazhenij>
2. Ilyushin Y.V., Pervukhin D.A., Afanasieva O.V. et al. Designing of Distributed Control System with Pulse Control. *Middle-East Journal of Scientific Research*, no 21(3), 436–439 (2014).
3. Ilyushin Y.V., Kucherenko I.A., Lyashenko A.L., Plotnikov A.V., Ponomarchuk P.A., Efimenko S.V., Pervukhin D.A. Simulation of thermal processes on supercomputers. *Computer modeling and simulation: Proceedings of the international scientific and technical conference*, 2–4 July 2014. St.-Petersburg. Univ Polytechnic. University Press, 2014, pp. 162–164.
4. Ilyushin Yu.V., Kucherenko I.A., Kravtsova A.L. *Materialy V Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Sistemnyi sintez i prikladnaya sinergetika», t. III.* (Proceedings of V International Conference on System Analysis and Applied Synergetics, vol III.), Pyatigorsk, FGAOU VPO «SKFU», 2013, pp. 58–62.
5. Ilyushin Yu.V., Pervukhin D.A. *Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeistviya terrorizmu.* 2014, no 1–2, pp. 38–42.
6. Ilyushin Yu.V., Novozhilov I.M., Lyashenko A.L., Kucherenko I.A. *Izvestiya SPbGETU «LETI».* 2014, no 4/2014, pp. 42–46.
7. Ilyushin Yu.V., Pervukhin D.A., Kucherenko I.A. *Svidetel'stvo no 2013660602.* Modelirovanie raspredelennoi sistemy upravleniya na gibridnom super-komp'yutere (Certificate no 2013660602. Hybrid supercomputer-aided modeling of a distributed control system), 11.11.2013.
8. Ilyushin Yu.V., Pershin I.M., Pervukhin D.A. *Svidetel'stvo no 2014613035.* Modelirovanie protsesssa temperaturnogo polya na osnove parallelnogo algoritma sinteza regul'yatora gibridnogo superkomp'yutera (Certificate no. 2014613035. Temperature field behavior modeling based on parallel algorithm of hybrid supercomputer control synthesis), 17.03.2014.
9. Ilyushin Yu.V. *Vvedenie v programmirovaniye na gibridnykh superkomp'yuterakh po tekhnologii Nvidia CUDA* (Introduction to hybrid supercomputer-aided programming based on NVIDIA CUDA technology), Saint-Petersburg, Izd-vo Satis", 2014, 73 p.