

Библиографический список

1. Показатели неопределенности измерений с ограниченным числом наблюдений. Методика расчета (проект, 5-я редакция) / Кумков С.И., Игнатенкова Л.А., Чепков В.И. – Екатеринбург, 2011.
2. Оценка показателей неопределенности измерений с ограниченным числом наблюдений – <http://estimator-asuapps.rhcloud.com>.
3. Nadezhin D.Yu., Zhilin S.I. JInterval Library: Principles, Development, and Perspectives // Reliable Computing 19 (3), 2014, pp. 229-247.

УДК 528.85

Адаптация StaMPS на кластере для мониторинга подвижек земной поверхности

В.М. Брыксин, А.В. Евтюшкин, А.В. Филатов
Балтийский федеральный университет им. И.Канта,
г. Калининград

Развитие современных средств спутникового радиолокационного зондирования движется в направлении улучшения характеристик съемочной аппаратуры и увеличения орбитальной группировки для сокращения периода повторной съемки. В связи с этим появляется возможность обработки материалов высоко-периодической многопроходной съемки. Современные исследования в области радиолокационного дистанционного зондирования направлены на разработку новых методов обработки именно массивом разновременных радарных измерений и на достижение высокой точности определения смещений вплоть до первых миллиметров. В частности технология устойчивых отражателей PSI и её модификации StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers) и SqueeSAR являются в настоящее наиболее эффективной.

Усложнение применяемых методов и огромный объем исходных данных делают необходимым применение распределенных вычислений с использованием высокопроизводительных компьютерных кластеров, в связи с невозможностью расчетов на однопроцессорных вычислительных системах. Методы интерферометрии стабильных отражателей позволяют разделить процесс обработки на небольшие независимые порции, которые выполняются на кластере за конечное время (15-20 минут). Данная схема позволяет значительно сократить время обработки больших объемом радиолокационных данных и рационально использовать вычислительный кластер совместно с другими ресур-

соемкими задачами. Коммерческое ПО для интерферометрической обработки, предназначено только для установки на одиночные рабочие станции пользователей, поэтому неспособно обработать большой массив полных радиолокационных кадров.

Метод постоянных интерферометрических отражателей StaMPS для оценки смещений стабильных элементов микрорельефа земной поверхности и техногенных объектов адаптирован для расчетов на высокопроизводительном кластере и апробирован на временных рядах радарных данных в диапазонах L, C и X. Технология StaMPS авторами реализована в среде MatLab путем распараллеливания для расчетов на высокопроизводительном кластере из 128 узлов DELL PowerEdgeM600Server. Производительность повышена в 12 раз по сравнению с однопроцессорными вычислениями.

При длительной разработке нефтегазовых месторождений, угольных, соляных и рудных шахт, эксплуатации подземных хранилищ газа возникают и развиваются следующие природно-техногенные геодинамические явления: горные удары, наведенная сейсмичность, образование мульды оседания в центре, повышение газопроницаемости пород, колебания дневной поверхности, активация разломных зон, повышение напряжения и деформации вмещающих пород. Спутниковый радарный мониторинг позволяет: охватить большой временной интервал при привлечении архивных и оперативных данных, повысить частоту наблюдений, достичь точности сопоставимой с измерениями геодезическими методами за один цикл наземных наблюдений, увеличить площадь контроля, оперативно предоставлять данные широкому кругу пользователей.

На основе метода интерферометрии постоянных отражателей (PSI) обработаны 15 радарных кадров TerraSAR-X на территорию Самотлорского нефтяного месторождения за период с 3.08.2013-4.01.2014. Построено поле скоростей смещений стабильных отражающих объектов, а также временные ряды смещений за время между последовательными съемками. При обработке территории, охватываемой полным кадром размеров 50x30 км, рассчитаны смещения для 89290 стабильных отражателей, в основном представленных техногенными объектами на кустовых площадках Самотлорского месторождения и Нижневартовской ГРЭС [1-3].

На основе метода StaMPS, позволяющего рассчитывать смещения для техногенных объектов и для элементов микрорельефа земной поверхности обработаны 18 радиолокационных кадров ALOS/PALSAR за период 2007-2011 годы. Между результатами полученными на основе двух разных наборов данных (15 кадров TerraSAR-X в интервале 4

месяца и 18 кадров ALOS-1\PALSAR в интервале 5 лет) с применением двух разных методов (PSI и StaMPS) обнаружена корреляция. В первую очередь в расположении основной мульды оседания, образовавшейся в результате разработки Самотлорского месторождения. А также в смещениях на территории Нижневартовской ГРЭС и поселка Излучинск (Усть-Вахская площадь месторождения).

Методы PSI, StaMPS, SqueeSAR+StaMPS проверены на эталонных 25 кадрах спутника ENVISAT\ASAR на территорию города Лас-Вегас с заранее хорошо изученными известными результатами просадок и усканий. Кадры ASAR распространяются как тестовые вместе с коммерческим программным обеспечением SARscape, а смещения на данной территории хорошо изучены и подтверждены наземными измерениями. Значения скоростей смещений, полученные всеми тремя методами, совпали с результатами в программе SARscape. Интерес представляет количество точек (стабильных отражателей), которые были обнаружены и использованы для расчета смещений в каждом методе. Метод PSI – 20770 точек, метод StaMPS – 218625 точек, метод SqueeSAR+StaMPS – 227168 точек. Вследствие значительного времени обработки по методу SqueeSAR даже с применением кластера тестирование выполнено только на небольшом участке.

При совмещении методов StaMPS и SqueeSAR возможно использовать достоинства обеих технологий и получить смещения для более плотной сети точек, таких как техногенные объекты, стабильные элементы ландшафтов и распределенные отражатели.

Для обеспечения многопользовательского доступа при анализе результатов интерферометрической обработки применена технология геопространственной веб-публикации и разработано программное обеспечение для экспорта в формат KML с последующим отображением в GeoServer в режиме on-line с использованием технологии хранения базы данных в СУБД PostgreSQL. Результаты интерферометрической обработки публикуются на геопортале для дальнейшего анализа не только поля скоростей смещений, но также и временных диаграмм смещений для каждого объекта [4]. В ходе работы установлено, что использование предложенного подхода к публикации данных позволяет сократить нагрузки на вычислительные системы и увеличить скорость отображения не менее чем в 100 раз, а при объемах данных более 100 тыс. точек позволило проводить обработку без применения высокопроизводительных систем. Наглядное представление данных в WEB интерфейсе позволяет пользователям с различным уровнем профессиональной подготовки анализировать полученные результаты.

Предложенная технология реализована на геопорталах space.gov39.ru и metageo.aimg.kantiana.ru, где представлены результаты мониторинга вертикальных движений устойчивых интерферометрических отражателей по данным ALOS-1\PAL SAR на Самотлорскоенефтяное в ХМАО-ЮГРЕ и Губкинское газовое месторождения в ЯНАО, Самбийский полуостров в Калининградской области.

Разработан и протестирован на Самотлорском и Губкинском месторождениях способ обнаружения зон геодинамического риска на основе данных радиолокационного зондирования земной поверхности, использующий корреляционную обработку временных рядов смещений стабильных точечных отражающих объектов [5].

Архивные и оперативные данные высокого разрешения с КА Ресурс-ДК, Канопус-В, Ресурс-П области поступают из НЦОМЗ Роскосмоса на некоммерческой основе в рамках исполнения заказа Правительства Калининградской области на съемку территории области. Снимки используются для уточнения и идентификации природных и техногенных объектов являющихся устойчивыми отражателями для радарных изображений.

Спутниковые данные ALOS-1\PAL SAR за 2006-11гг. предоставлены JAXA по грантам RA1 PI-405, RA2 PI-563, RA4 PI-1070 [2, 3]. Данные TerraSAR-X на период с августа 2013 по декабрь 2014 оперативно предоставляются DLR по гранту GEO1978 «Complex study of persistent scatterer technique for subsidence monitoring in geodynamic risk areas on conditions of landscapes seasonal changes». Работа проводится при поддержке РФФИ по проекту 13-07-00419.

Библиографический список

1. Филатов А.В., Евтюшкин А.В., Брыксин В.М., Васильев Ю.В., Юрьев М.Л., Белоносов А.Ю. Использование метода интерферометрии устойчивых отражателей при геодинамическом мониторинге Самотлорского месторождения // Маркшейдерский вестник. – 2012. – № 4. – С. 57–62.

2. Bryksin V.M., Filatov A.V., Yevtyushkin A.V. Using of SAR data and DInSar-PSInSar technique for monitoring Western Siberia and Arctic // Журнал радиоэлектроники. – 2012. – № 6. – С. 1-53.

3. Filatov A., Evtyushkin A., Bryksin V. Some results of long term geodynamic monitoring of oil and gas fields and power engineering infrastructure using ENVISAT and ALOS SAR data // Proceedings of 2013 Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (AP SAR). Tsukuba, Japan, September 23-27, 2013. P. 181-184.

4. Филатов А.В., Брыксин В.М. Программа представления результатов высокоточной оценки смещений техногенных объектов «TVGeoPub» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012618325 от 14.09.2012.

5. Филатов А.В., Евтюшкин А.В., Брыксин В.М. Способ обнаружения зон геодинамического риска на основе данных радиолокационного зондирования земной поверхности // Патент РФ №2506606, Опубл. 10.02.2014 Бюл. №4.

УДК 519.688

Алгоритмы решения нечетких отношений равенств

А.В. Гуров, И.В. Пономарев

АлтГУ, г. Барнаул

Пусть $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, $Y = \{y_1, \dots, y_m\}$ – два конечных множества; $X \times Y$ – прямое произведение; $A \subset X$, $R \subset X \times Y$ – нечеткие подмножества определенные своими функциями принадлежности $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$, $\mu_R : X \times Y \rightarrow [0,1]$. Подмножество R будем интерпретировать как нечеткое отношение между элементами множеств X и Y . Определена композиция $A \circ R = B \subset Y$ представляющая собой нечеткое подмножество с функцией принадлежности

$$\mu_B(y_j) = \max_{x_i} \left\{ \min \left\{ \mu_A(x_i), \mu_R(x_i, y_j) \right\} \right\}.$$

Задача нахождения нечеткого множества A , исходя из равенства $A \circ R = B$ и известных нечетких множеств B и R , называется задачей решения нечеткой системы отношений равенств.

Понятие нечетких отношений равенств впервые было введено в [1] и является одним из ключевых понятий в теории нечетких множеств. В дальнейшем системы нечетких отношений равенств исследовались многими авторами [2–4].

В данной работе исследуются различные алгоритмы решения систем нечетких отношений равенств, которые реализованы в среде математического пакета MATLAB. Результаты решения задачи сопоставляются как между собой, так и с реальными данными. Оценивается вычислительная сложность рассматриваемых алгоритмов, с целью их использования при моделировании нечетких временных рядов. В