

Моделирование компьютерной томографии с использованием Geant4 и облачных ресурсов

В. В. Андрияшен^{1,2}, А.А.Проворов^{1,2}, А. Герасимов^{1,3}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Объединённый институт ядерных исследований

³Институт физики высоких энергий

Изучается задача распознавания химического состава образцов при помощи микротомографа MARS, спроектированного на базе детекторов Medipix[1]. В работе рассмотрена разработка программы для моделирования прохождения рентгеновского излучения через вещество. Приложение использует возможности пакета Geant4[2] для симуляции взаимодействия гамма-квантов с атомами при помощи методов Монте Карло. Поскольку для симуляции требуются большие вычислительные мощности, был использован облачный ресурс, созданный компанией Amazon — Amazon EC2.

Моделируемая установка состоит из источника рентгеновских лучей, исследуемого объекта и детектора. Источник генерирует излучение, используя энергетический спектр реальной рентгеновской трубки. Детектор регистрирует их попадание после прохождения через объект. В процессе измерений объект поворачивается с фиксированным шагом по углу от 0 до 360 градусов. Каждому углу поворота соответствует одно и то же число испущенных квантов излучения — экспозиция. При использовании реальных размеров детектора для получения статистически достоверного результата необходима экспозиция порядка 10^8 частиц на проекцию. При помощи алгоритмов томографической реконструкции по проекциям восстанавливаются слои исследуемого объекта.

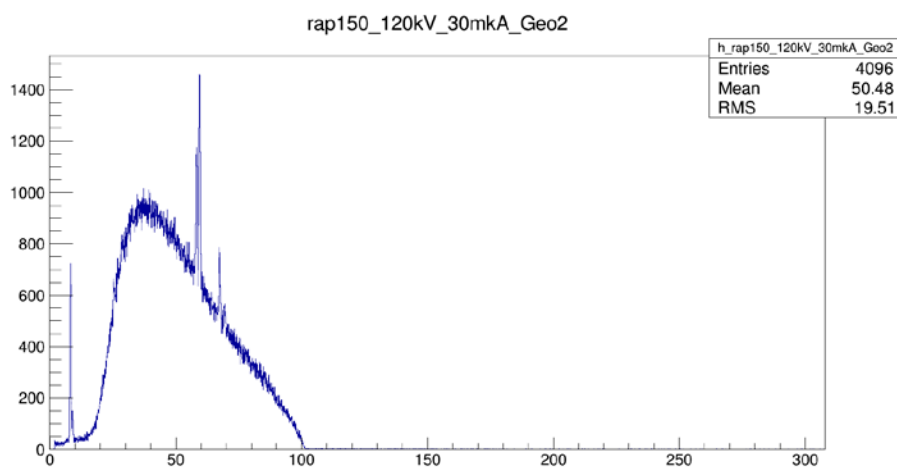


Рис. 1. Спектр рентгеновской трубки, используемый при моделировании

Интенсивность рентгеновских лучей при их прохождении через образец меняется согласно формуле:

$$I_{out} = I_0 e^{-\int f(\vec{r}) dl} \quad (1)$$

Алгоритмы реконструкции позволяют определить значение коэффициента поглощения в разных точках объекта, что позволяет анализировать его внутреннюю структуру[3]. Одной из важных особенностей детектора MARS является способность регистрировать гамма-кванты с энергией выше заранее заданных порогов. Это позволяет построить кривую зависимости коэффициента поглощения от энергии, что теоретически позволяет идентифицировать различные вещества.

Практический интерес представляет моделирование дефектов томографической установки, таких как фокусное пятно, дефект оси вращения, смещение рентгеновской трубки. Симуляция позволяет выяснить, как эти факторы влияют на итоговые изображения: их контраст и видность деталей.

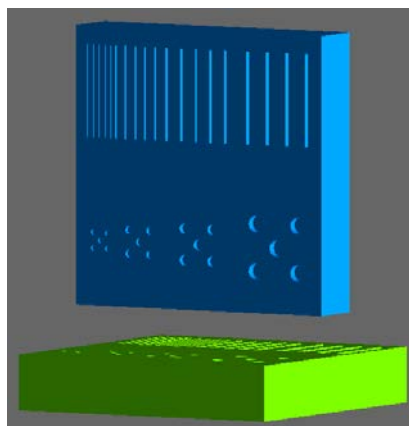


Рис. 2. Моделируемый объект

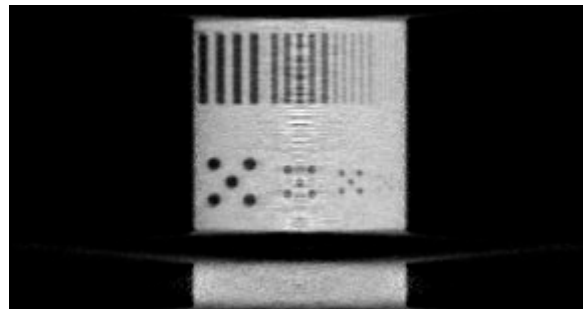


Рис. 3. Результат реконструкции объекта по томографическим проекциям, полученным в ходе моделирования

Проведение большого количества вычислений в короткое время требует больших вычислительных мощностей, которые не может предоставить персональный компьютер. Для решения этой проблемы было решено воспользоваться возможностями сторонней организации, специализирующейся на предоставлении вычислительных мощностей. В качестве такой организации был выбран Amazon[4]. В частности, с облачными вычислениями связан сервис AWS (Amazon Web Services), центральной частью которого является Amazon EC2 (Elastic Cloud). В данной работе также понадобился сервис хранения данных - Amazon S3 (Simple Storage Service). Amazon EC2 предоставляет т.н. инстансы - виртуальные серверы с определенными операционными системами. Тип инстанса определяется этой ситемой и закрепленными за ним ресурсами. Стоимость инстанса (цена за час работы) определяют ресурсы. Инстанс считается работающим, даже если он не выполняет никакой полезной работы.

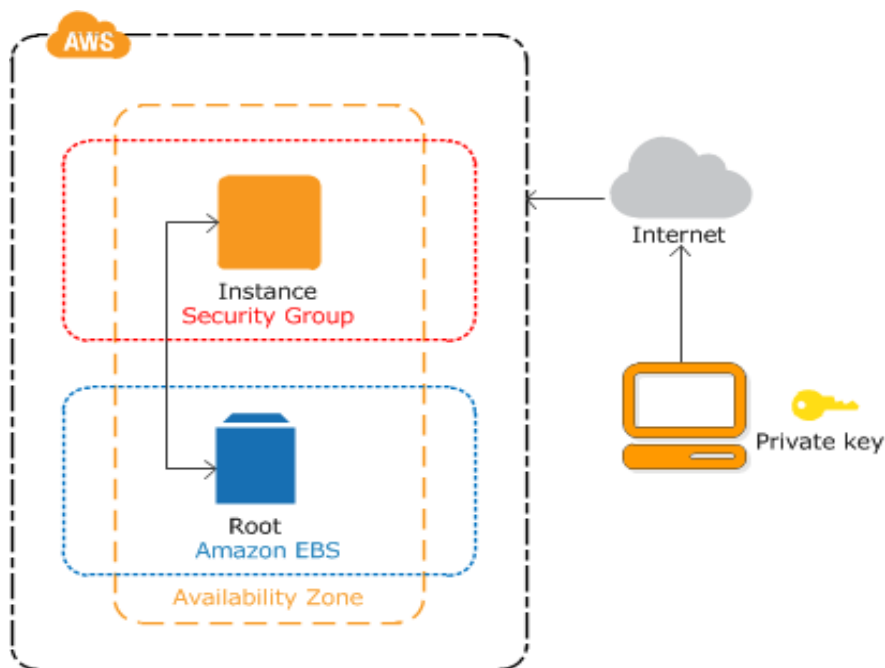


Рис. 4. Принцип подключения к инстансу

При создании инстанса используется некоторый шаблон, называемый AMI (Amazon Machine Image). Есть два основных пути создания инстанса: использовать готовый шаблон, предоставляемый Amazon, и создать собственный шаблон при помощи пользовательской операционной системы. Основным преимуществом первого метода является то, что нет нужды конфигурировать и загружать собственную ОС, вместо этого можно воспользоваться одной из относительно широкого диапазона предоставляемых. Из недостатков - появляется необходимость конфигурировать уже запущенную систему и загружать средства для решения определенной задачи напрямую в инстанс, что, к тому же, не всегда возможно ввиду ограниченного числа стандартных AMI. Однако, настроенную систему можно сохранить в шаблон и пользоваться им при создании произвольного числа инстансов, что очень полезно, если задача разбивается на независимые куски и одна конфигурация пригодна для каждого из них. Второй способ более пригоден, если для решения задачи требуются специфические свойства определенных ОС, а также если среда для вычислений создавалась долгое время и полностью перенести все необходимые компоненты на чистую ОС затруднительно. К недостаткам можно отнести сравнительное неудобство (по сравнению с первым способом) процедуры создания инстанса (в особенности для решения простых задач) и требование привлечения дополнительного сервиса - Amazon S3 - сервиса для хранения данных.

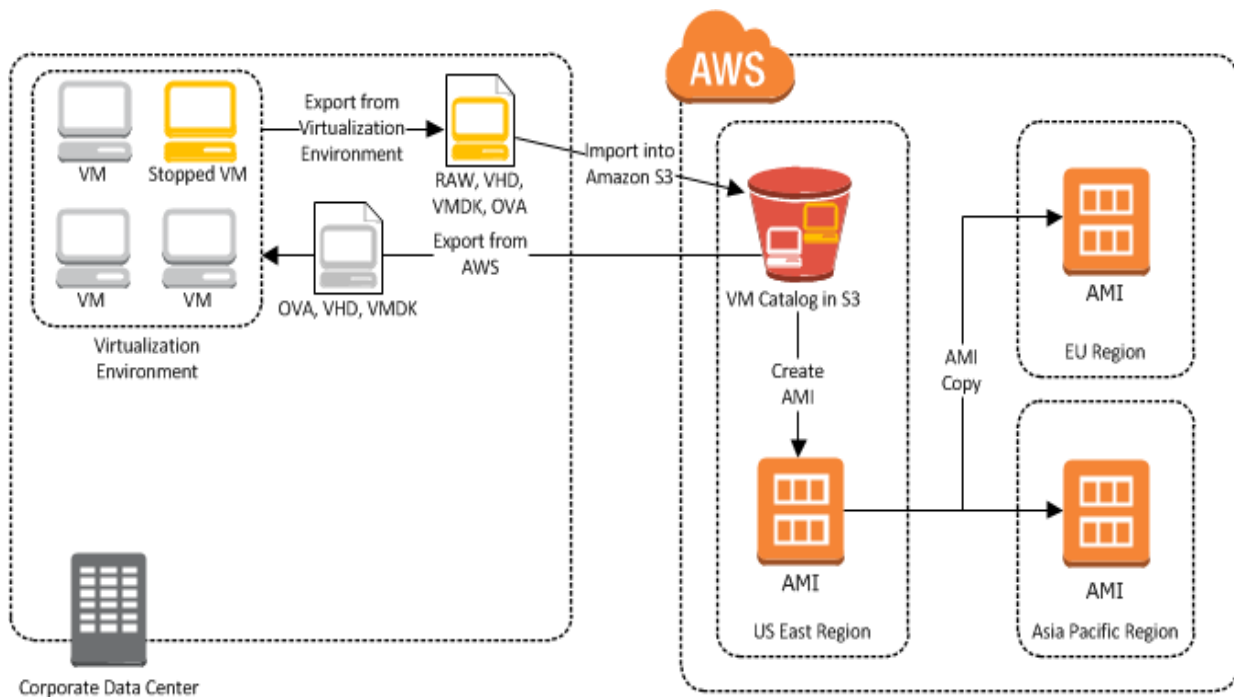


Рис. 5. Принцип создания шаблона для инстанса из виртуальной машины

В ходе работы удалось установить необходимое программное обеспечение (основным рабочим компонентом которого является Geant4) как на инстанс, созданный по стандартному шаблону, предоставляемому Amazon, так и на виртуальную машину, ОС: Debian 64bit, использованную для создания AMI и, далее, инстанса.

Удалось добиться существенного увеличения производительности по сравнению с ПК, запустив 361 инстанс для обчета каждого градуса в отдельности. Конфигурация ПК: Intel Core i7-3610QM @ 2.30GHz. Конфигурация инстанса на Amazon: Inter(R) Xeon(R) CPU E5-2676 v3 @ 2.40GHz. 10^7 частиц на ПК: 3 минуты, на инстансе Amazon: 2 минуты. Таким образом, $10^{8.5}$ частиц на инстансе обчисляются за 40.8 часов. При этом, была использована наименее производительная из предоставленных конфигураций железа, так как единственной существенной особенностью была производительность процессора, а также ввиду того, что была использована версия Geant4, не поддерживающая параллельное исполнение на многоядерных процессорах. Тесты также показали, что существенного роста скорости обчета на более дорогих инстансах не наблюдается.

Литература

1. R. Ballabriga, M. Campbell, E. Heijne, X. Llopart, L. Tlustos, and W. Wong. Medipix3: A 64 k pixel detector readout chip working in single photon counting mode with improved spectrometric performance // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2011, V. 633, P. 15 – 18.
2. J. Allison [et al.] Geant4 developments and applications // IEEE Transactions on Nuclear Science, 2006, V. 53, P. 270 – 278.
3. Henrik Turbell. Cone-Beam Reconstruction Using Filtered Backprojection.. Linköping: Linköping University Electronic Press, 2001. , 177 c.
4. S. Ostermann, A. Iosup, N. Yigitbasi, R. Prodan, T. Fahringer and D. Epema. A Performance Analysis of EC2 Cloud Computing Services for Scientific Computing // Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, 2010, V. 34, P.115 – 131.