

Параллельные вычисления при решении задач восстановления коэффициента отражения земной поверхности по спутниковым данным

А.В. Кожевникова¹, М.В. Тарасенков^{1,2}, В.В. Белов^{1,2*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Поступила в редакцию 15.11.2012 г.

Рассматривается вопрос о применении параллельных вычислений для решения задачи атмосферной коррекции спутниковых изображений. Показано, что распараллеливание по пачкам траекторий алгоритмов метода Монте-Карло позволяет существенно снизить время расчетов.

Ключевые слова: перенос оптического излучения, метод Монте-Карло, сферическая геометрия, параллельные вычисления; optical radiation transfer, Monte Carlo method, spherical geometry, parallel computing.

Введение

Спутниковый мониторинг уже на протяжении многих лет является одним из самых эффективных способов наблюдения за состоянием земной поверхности. Принимаемое оптической системой излучение формируется световыми потоками, исходящими от наблюдаемого элемента, и диффузно рассеянными в атмосфере потоками, источниками которых являются как сама наблюдаемая поверхность, так и внешние источники, освещающие ее (Солнце, Луна и т.п.). Игнорирование этих процессов, как правило, приводит к ошибочным результатам при интерпретации спутниковых измерений, поэтому приходиться на приемник излучение нуждается в соответствующей коррекции. Для решения этой проблемы существует ряд подходов и программно-информационных средств [1–4].

Один из способов коррекции состоит в том, что по данным измерений атмосферных параметров восстанавливается оптическая модель атмосферы, а затем путем расчета компонент излучения для каждого наблюдаемого пикселя производится коррекция зафиксированной приемником его яркости в предположении, что наблюдаемая поверхность однородна (будем называть этот способ далее однородной коррекцией). Такой способ применим для случаев невысокой замутненности атмосферы. Одним из методов расчета компонент излучения является метод Монте-Карло [5]. Общим недостатком всех алгоритмов на основе этого метода является их

высокая трудоемкость. Для устранения этого недостатка целесообразно использовать возможности параллельных вычислений. Нами осуществлено распараллеливание алгоритмов метода Монте-Карло по пачкам фотонных траекторий. Параллельные вычисления не являются новым подходом для решения данной проблемы, например, ранее он использовался в [6, 7].

Рассмотрим структуру этих алгоритмов и результаты проверки эффективности данного способа распараллеливания вычислений.

Постановка задачи и алгоритм коррекции

Задача рассматривается в следующей постановке (рис. 1).

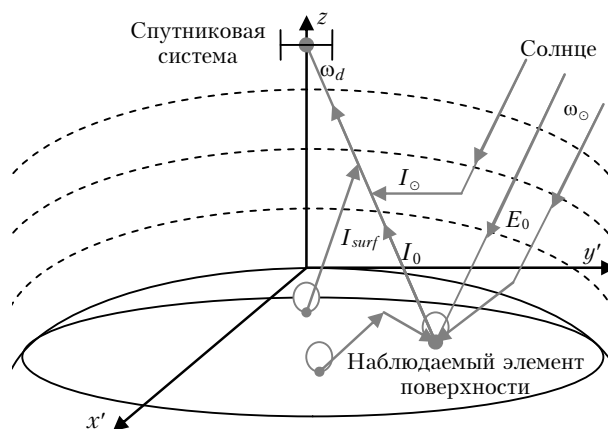


Рис. 1. Геометрическая схема постановки задачи

* Анна Викторовна Кожевникова (avk@iao.ru); Михаил Викторович Тарасенков (tmv@iao.ru); Владимир Васильевич Белов (belov@iao.ru).

На некотором расстоянии от поверхности Земли находится спутниковая сканирующая оптико-электронная система, которая формирует изображение земной поверхности. С каждым ее элементом связано направление оптической оси приемника ω_d . Предположим, что модель атмосферы представлена в виде набора по высоте однородных слоев, ограниченных сферическими поверхностями. Пусть оптические параметры атмосферы заданы генератором LOWTRAN-7 [8]. На Землю в направлении ω_o падает поток солнечного излучения. Поверхность Земли будем считать однородной и отражающей излучение по закону Ламберта. Необходимо по измерениям интенсивности оптического излучения восстановить коэффициент отражения элемента поверхности.

В случае однородной поверхности коэффициент отражения

$$r_{surf(i)} = \frac{Q_i}{E_0 + \gamma Q_i}, \quad (1)$$

где

$$Q_i = \frac{I_{sum(i)} - I_{\odot(i)}}{I_{surf(i)} + \frac{\mu_i \exp(-\tau_i)}{\pi}}, \quad (2)$$

где I_{sum} – суммарная интенсивность излучения, зарегистрированная приемником при наблюдении i -го пикселя; I_{\odot} – интенсивность солнечной дымки [9]; I_{surf} – интенсивность поверхностной дымки при единичной светимости земной поверхности [10]; τ – оптическая толщина; γ – вклад отраженного излучения (от соседних точек); E_0 – освещенность Земли Солнцем; μ_i – косинус угла между направлением на спутниковую систему и вертикалью в точке поверхности.

Величины I_{\odot} , I_{surf} , E_0 , γ моделируются методом Монте-Карло. Алгоритмы статистических оценок I_{\odot} и I_{surf} были распараллелены по пачкам фотон-

ных траекторий (в каждой пачке по 5000 траекторий) на 30 процессорах. Схема распараллеливания приведена на рис. 2.

Программы для определения E_0 и γ не нужны в применении параллельных вычислений, так как для небольших участков земной поверхности их значения почти не меняются, поэтому время расчета последовательной программой составляет несколько секунд.

Пример расчета

Для оценки эффективности выбранного способа распараллеливания выполним атмосферную коррекцию изображения участка западного побережья Африки (27,5–27,9° с.ш. и 13,4–12,9° з.д.), время измерений 11 ч 25 мин 19 августа 2011 г. Изображения сформированы в 3-м канале прибора MODIS (0,47 мкм) с пространственным разрешением 500 м. Данный участок был выбран по следующим причинам – на нем есть переход «суша–море», нет населенных пунктов, небо безоблачно, что упрощает анализ результатов расчетов.

Для задания оптической модели атмосферы были взяты измерения аэрозольной оптической толщи (AOT) прибором MODIS и с использованием генератора оптических моделей [8] была выбрана модель, наиболее близкая по AOT. Измерения AOT по выбранному участку практически не отличаются, поэтому была использована одна оптическая модель для всего участка, соответствующая метеорологической дальности видимости $S_M = 24$ км. Следует отметить, что для более точного задания модели среды в разных источниках (например, [2]) используются данные измерений не только AOT, но и концентрации озона, водяного пара, температуры, давления и др. Задание оптической модели атмосферы, адекватно описывающей ту или иную ситуацию, является отдельной нетривиальной задачей,

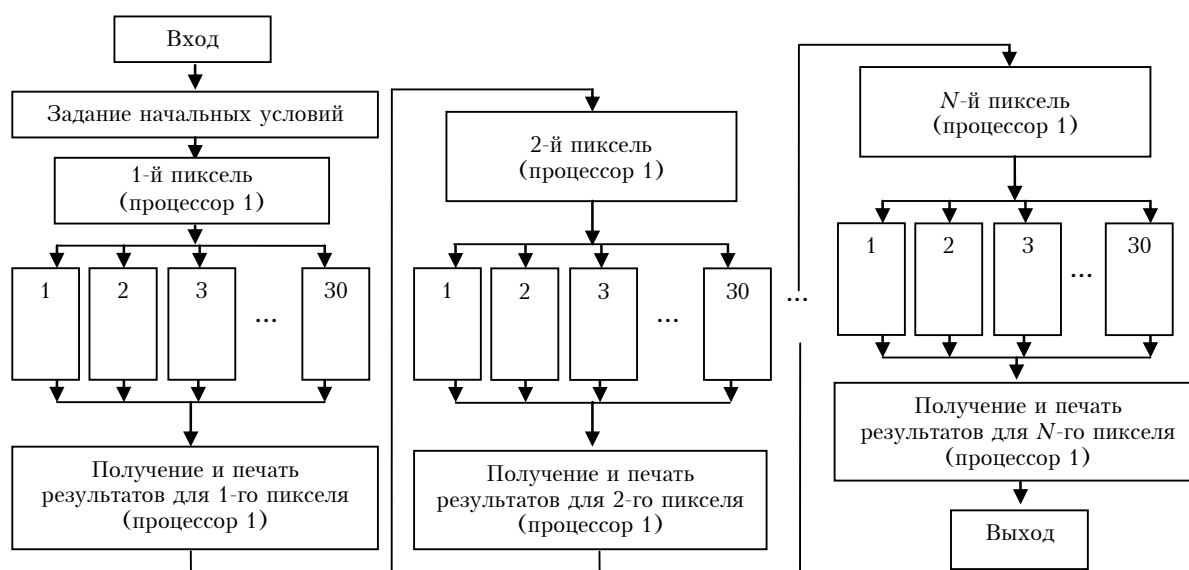


Рис. 2. Блок-схема параллельной программы

которую мы оставим за рамками настоящей статьи и ограничимся менее точным способом ее задания.

На кластере ТГУ СКИФ SIBERIA [11] были выполнены расчеты без использования технологий параллельных вычислений и с использованием алгоритма с распараллеливанием по пачкам траекторий с применением технологий MPI на 30 процессорах. Результаты сравнения времени атмосферной коррекции изображений приведены в таблице.

Сравнение времени работы последовательного $T_{\text{посл}}$ и параллельного $T_{\text{пар}}$ алгоритмов

Характеристика	$T_{\text{посл}}$, с	$T_{\text{пар}}$, с	Ускорение
I_{\odot}	2410,2	82,6	29,2
I_{surf}	4436,2	147,8	29,9
r_{surf}	6855,6	236,1	29

Из таблицы видно, что ускорение работы составляет 29 раз при использовании 30 процессоров. Для сравнения в работе [6] методом Монте-Карло выполнялся расчет с использованием 32 процессоров ЭВМ ПС-2000. При этом ускорение составляло порядка 10 раз. Эффективность алгоритма распараллеливания зависит от характеристик вычислительной машины и технологии программирования. Полученное распараллеленным алгоритмом распределение коэффициента отражения показано на рис. 3.

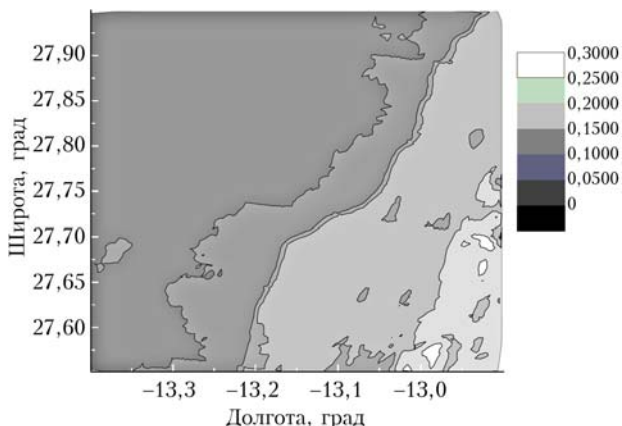


Рис. 3. Коэффициенты отражения тестового участка земной поверхности, восстановленные распараллеленным алгоритмом

Результаты, полученные последовательным алгоритмом, отличаются от результатов работы распараллеленного алгоритма в пределах статистической погрешности, что ожидаемо.

Заклучение

Проведенная работа показала, что применение методов параллельных вычислений значительно сокращает время работы программ. Ускорение практически равно числу процессоров. Если рассматривать

большие по площади участки неоднородной земной поверхности, учитывая поляризацию излучения, то использование распараллеливания по пачкам траекторий станет эффективным инструментом для получения результатов за приемлемое время расчетов.

Авторы благодарят Н.В. Кабанову и С.В. Афонина за предоставленные спутниковые данные.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, Минобрнауки РФ (гос. задание ТГУ в части проведения НИР № 5.4160.2011 и программа «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., соглашение № 14.В37.21.0612); грантов РФФИ № 11-01-00673-а, 12-05-33068 мол а вед, проекта № 11-01-00228-а, госконтрактов Минобрнауки № 11.519.11.5009, 11.518.11.7045 и № 8325.

1. Протасов К.Т., Бусыгин Л.А., Белов В.В. Метод преобразования гистограмм яркостей и вейвлет-коррекция атмосферных искажений спутниковых изображений // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 2. С. 136–142.
2. Vermote E.F., Vermeulen A. Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09). Algorithm Theoretical Background document, version 4.0. 1999. [Электронный ресурс]: http://modis.gsfc.nasa.gov/atbd/atbd_nod08.pdf
3. Афонин С.В., Белов В.В., Соломатов Д.В. Решение задач температурного мониторинга земной поверхности из космоса на основе RTM-метода // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 12. С. 1056–1063.
4. Reinersman P.N., Carder K.L. Monte Carlo simulation of the atmospheric point-spread function with an application to correction for the adjacency effect // Appl. Opt. 1995. V. 34, N 21. P. 4453–4471.
5. Марчук Г.И., Михайлов Г.А., Назаралиев М.А., Дарбинян Р.А., Каргин Б.А., Елепов Б.С. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. Новосибирск: Наука, 1976. 284 с.
6. Зуев В.Е., Белов В.В., Веретенников В.В. Теория систем в оптике дисперсных сред. Томск: Спектр, 1997. 216 с.
7. Fang Q., Boas D.A. Monte Carlo Simulation of Photon Migration in 3D Turbid Media Accelerated by Graphics Processing Units // Opt. Express. 2009. V. 17, N 22. P. 20178–20190.
8. Kneizys F.X., Shettle E.P., Anderson G.P., Abreu L.W., Chetwynd J.H., Selby J.E.A., Clough S.A., Gallery W.O. User Guide to LOWTRAN-7. ARGL-TR-86-0177. ERP 1010. Hansom AFB. MA 01731, 1988. 137 p.
9. Белов В.В., Тарасенков М.В., Пискунов К.П. Параметрическая модель солнечной дымки в видимой и УФ-области спектра // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 4. С. 294–297.
10. Белов В.В., Тарасенков М.В. Статистическое моделирование интенсивности световых потоков, отраженных сферической земной поверхностью // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 1. С. 14–20.
11. Межрегиональный супервычислительный центр ТГУ [Электронный ресурс] / Томский государственный университет, 2007. URL: <http://skif.tsu.ru/>

A.V. Kozhevnikova, M.V. Tarasenkova, V.V. Belov. **Parallel computing for solving problems of reconstruction of the earth surface reflection coefficient from satellite data.**

The problem of application of parallel computing for solving the problem of atmospheric correction of satellite images is considered in the paper. It is demonstrated that parallel computing of trajectory packages for the Monte Carlo algorithms allows the computation time to be decreased significantly.