Розглянуто моделі розсіяних сигналів, що використовуються при апробації методів обробки сигналів в радіолокаційних системах вертикального зондування атмосфери, а також розглянуто питання про реалізацію методів обробки сигналів на базі паралельних обчислювальних систем

Ключові слова: радіолокаційне зондування атмосфери, цифрова обробка радіолокаційних сигналів, моделі розсіяних сигналів

Рассмотрены модели рассеянных сигналов, используемые при апробации методов обработки сигналов в радиолокационных системах вертикального зондирования атмосферы, а также рассмотрен вопрос о реализации методов обработки сигналов на базе параллельных вычислительных систем

Ключевые слова: радиолокационное зондирование атмосферы, цифровая обработка радиолокационных сигналов, модели рассеянных сигналов

УДК 621.396.96:551.508.855

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РЛС ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

А.И. Литвин-Попович
Кандидат технических наук, доцент*
Контактный тел.: 068-432-93-36
E-mail: andrey_res@ukr.net
С.В. Пащенко
Инженер*
Контактный тел.: (057) 702-15-87
E-mail: res@kture.kharkov.ua
*Кафедра радиоэлектронных систем
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

1. Введение

Имитационное моделирование является одним из удобных инструментов апробации и отладки программных и аппаратных реализаций систем обработки сигналов. Вместе с тем, получение устойчивых статистических оценок функционалов качества отдельных узлов и процедур обработки требует больших вычислительных ресурсов.

В результате, время получения оценок может оказаться значительным, что затруднит оперативный контроль и выявление ошибок на первых этапах тестирования новых методов обработки сигналов. В какой-то степени эту проблему можно ослабить за счет использования средств параллельной обработки сигналов. В современных компьютерных системах используются вычислительные устройства, способные одновременно выполнять ряд операций – многоядерные универсальные и графические процессоры.

Ряд процедур обработки сигналов могут эффективно использовать параллельную обработку. Среди них – физическое моделирование рассеяния радиоволн на атмосферных неоднородностях в импульсном объеме и параметризация спектров рассеянных сигналов.

2. Имитационное моделирование

Поскольку в импульсном объеме присутствует множество неоднородностей, то рассеянный сигнал представляет собой суперпозицию отдельных отражений от каждой неоднородности в отдельности. С ростом времени наблюдения, в процесс формирования рассеянного сигнала включаются новые неоднородности, которые переносятся ветром и входят в область импульсного объема. Скорость их движения определяется векторной суммой скорости упорядоченного движения (средней скорости ветра на данной высоте) и случайных вариаций. Поскольку случайные колебания скорости отдельных отражателей независимы, то с увеличением их числа закон распределения флуктуационной компоненты зарегистрированной РЛС ВЗ скорости ветра стремится к нормальному закону в силу центральной предельной теоремы [1]. Это подтверждается экспериментальными исследованиями – при интервале наблюдения, приближающемся к интервалу стационарности

$$T_k = 0{,}2\lambda/\sigma_V\,, \qquad (1)$$

где λ – длина волны, σ_V^2 – дисперсия скорости ветра в импульсном объеме), форма амплитудного спектра рассеянного сигнала близка к функции Гаусса [1,3].

Утверждение о гауссовой форме спектральной плотности мощности (СПМ) рассеянного сигнала, как показано в [3,4], справедливо при времени накопления более нескольких секунд. При работе с меньшими временами накопления, начинают усиливаться отклонения спектра от гауссовой формы, появляются дополнительные моды. Это способствует возрастанию минимального значения невязки параметризации спектров рассеянных сигналов, а также появлению локальных минимумов целевой функции при параметризации [4]. Наличие локальных минимумов целевой функции может приводить к промахам при параметризации. Таким образом, при разработке систем вертикального зондирования атмосферы, которые должны обеспечивать высокое временное разрешение, нельзя полагаться на утверждение о гауссовой форме СПМ

© А.И. Литвин-Попович, С.В. Пащенко, 2012

рассеянного сигнала, и нужно использовать более сложные модели.

В качестве альтернатив модели «гауссовой СПМ» для коротких временных интервалов можно рассмотреть физическую модель – модель формирования рассеянного сигнала в виде суперпозиции отдельных отражений, формируемых каждой неоднородностью в отдельности. Такая модель обеспечивает возможность формирования, в том числе, многомодовых сильно флуктуирующих спектров, достаточно часто наблюдаемых в результате натурных экспериментов [1,3].

Физическая модель рассеянного сигнала представляет собой модель «блестящих точек». Координаты точечного отражателя заданы в сферической системе координат – радиус-вектор ρ_i, угол места α_i и азимут β_i. Фазовый сдвиг при распространении радиоволны определяется как $\phi_i = \frac{4\pi\rho_i c}{f_0}$, где $\rho_i = \frac{h_i}{\sin(\alpha_i)}$. Доплеровский сдвиг частоты рассеянного сигнала $f_{d_i} = \frac{2v_i}{c} f_0$, где v_i – радиальная скорость движения частицы, c – скорость света в вакууме, а f_0 - несущая частота РЛС. Амплитуда рассеянного сигнала от i-й частицы определяется как

$$A_i = K(\alpha_i, \beta_i) / \rho_i ,$$

где $K(\alpha_i, \beta_i)$ - диаграмма направленности антенны РЛС. Тогда сигнал на входе приемника РЛС можно записать в виде:

$$y = \sum_{i=1}^{N} A_i \sin\left(2\pi(f_0 + f_{d_i})t + \phi_i\right).$$

Подобным же образом можно моделировать рассеяние радиоволн местными объектами. При этом координаты и ЭПР элементов ландшафта или иных отражателей задаются в явном виде.

Параметры вычислительных устройств, использовавшихся при постановке модельных экспериментов, приведены в табл. 1. Среди них – два центральных процессора (ЦП) фирмы Intel (пп. 1, 2 в табл.) и 4 графических процессора (ГП) фирмы NVIDIA. Современные графические процессоры обеспечивают значительную пиковую вычислительную мощность за счет большого числа вычислительных ядер.

Таблица 1

№	Процессор	Число ядер	Пиковая вычисл. мощность, ГФлоп/с	Пиковая пропускная способность памяти, ГБ/с	Тип
1	i3-2100	2	40.70	21.3	ЦП
2	Q9400	4	42.56	17.0	ЦП
3	GF119	48	155.5	9.6	ГП
4	G215	96	386	54.4	ГП
5	GF116	192	461	21.3	ГП
6	GF110	480	1405	152.0	ГП

В табл. 2 приведены результаты измерения производительности процедур физического моделирования. В ячейках таблицы указано время завершения операции в миллисекундах. При физическом моделировании процесса рассеяния радиоволн, отражение от каждой неоднородности формируется независимо, поэтому системы с большим числом вычислительных устройств в общем случае имеют преимущество.

Таблица 2

M	1	2	3	4	5	6
5	0.053	0.193	0.236	0.204	0.142	0.468
10	0.078	0.197	0.223	0.195	0.149	0.454
20	0.124	0.200	0.239	0.199	0.153	0.454
50	0.298	0.238	0.271	0.232	0.191	0.454
100	0.532	0.305	0.338	0.293	0.252	0.450
200	1.096	0.451	0.484	0.406	0.372	0.465
500	2.525	0.830	0.975	0.691	0.755	0.468
1000	5.091	1.498	1.382	1.198	1.316	0.489
2000	10.02	2.773	2.443	2.197	2.527	0.557
5000	25.18	6.700	5.871	5.250	6.248	0.731
10000	50.14	14.12	10.73	10.334	12.27	0.982

Малый разрыв по времени выполнения задачи между ГП, имеющими существенно разную пиковую производительность, можно объяснить нехваткой пропускной способности локальной видеопамяти. Вследствие этого часть вычислительных ядер ГП простаивает. Рассмотрим, на примере конфигурации №3, применение оптимизации доступа к памяти.

Доступ к видеопамяти для ГП является достаточно медленной операцией, занимающей несколько сотен тактов [5], и потому по возможности следует использовать так называемую разделяемую память. Разделяемая память ГП представляет собой подобие высокоскоростной кеш-памяти ЦП, но управляемой в явном виде программистом. Можно уменьшить число обращений к видеопамяти, разместив наиболее часто используемые данные в разделяемой памяти. На рис. 1 приведены результаты измерения времени выполнения операции моделирования. При использовании разделяемой памяти, выигрыш в производительности возрастает с увеличением числа частиц и достигает 7 раз.

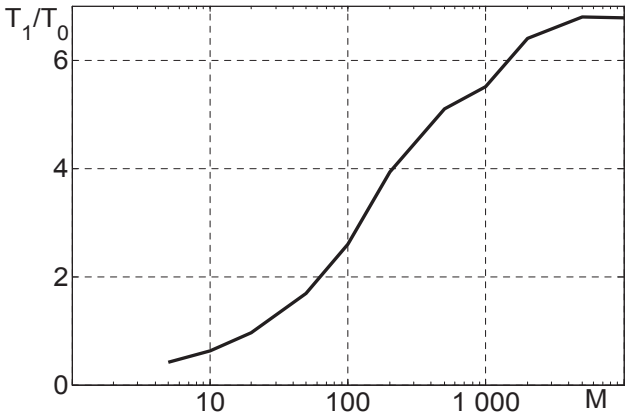

Рис. 1. Выигрыш во времени расчетов за счет применения разделяемой памяти

Таким образом, применение разделяемой памяти позволяет существенно ускорить расчеты, обеспечивая большую загрузку вычислительных ядер ГП.

3. Параметризация спектров рассеянных сигналов

Процедура параметризации спектров рассеянных сигналов [1-4] является одной из наиболее ресурсоемких стадий обработки рассеянных сигналов в РЛС ВЗ. Наиболее часто используются алгоритмы параметризации, основанные на методе наименьших квадратов, а также метод парных импульсов [3]. При работе с сигналами с интервалом накопления более 3-5 секунд можно применять метод параметризации, основанный на оптимизированной версии метода наименьших квадратов [2,3]. Оптимизация заключается в том, что минимизацию целевой функции осуществляют методом покоординатного спуска [2]. Время выполнения данной операции для разного числа точек в реализации рассеянного сигнала приведено в табл. 3.

Таблица 3

N	1	2	3	5	6
64	0.546	1.404	0.614	0.811	0.680
128	1.575	8.362	0.836	0.920	1.002
256	5.257	18.18	1.352	1.560	1.492
512	20.97	67.17	2.496	2.854	2.604
1024	92.67	221.7	7.689	5.569	4.708
2048	529.6	958.8	26.68	11.53	9.003
4096	-	4105	99.67	39.31	18.11
8192	-	-	384.9	141.3	54.19

С увеличением размера выборки, время параметризации возрастает. При этом заметно преимущество ГП (конфигурации 3,5,6) над ЦП, проявляющееся особенно при больших размерах выборки. Увеличение размера выборки позволяет снизить систематическую погрешность измерения метеопараметров, поэтому можно сказать, что применение ГП или иных процессоров со значительным количеством параллельных вычислительных устройств в данном случае является предпочтительным.

При малом времени накопления, применение оптимизированного метода наименьших квадратов приводит к увеличению погрешности оценивания метеопараметров, что вызвано появлением локальных минимумов целевой функции при параметризации спектров [4]. В этих условиях наиболее надежен метод параметризации, использующий прямое вычисление целевой функции в узлах сетки. Такой метод имеет существенно более высокую вычислительную сложность, что иллюстрирует табл. 4.

Таблица 4

N	1	2	3	5	6
64	5.491	3.681	0.716	0.281	0.305
128	45.80	34.95	3.260	1.217	0.637
256	404.5	241.3	21.83	7.800	2.794
512	3813	2394	160.9	58.42	16.96
1024	-	-	1258	453.2	122.9

С ростом размера выборки, время вычислений быстро возрастает. В данном методе преимущество ГП становится еще более заметным, что позволяет рекомендовать их применение.

Метод парных импульсов используется при параметризации рассеянных сигналов достаточно давно, начиная с метеорологических РЛС [6]. Этот метод использует вычисление автокорреляционной функции сигнала, что может быть осуществлено с помощью эффективных алгоритмов быстрого преобразования Фурье [7].

Измеренные значения времени параметризации приведены в табл. 5.

Таблица 5

N	1	2	3	5	6
64	0.047	0.070	0.427	0.327	0.464
128	0.078	0.081	0.480	0.359	0.476
256	0.141	0.172	0.444	0.390	0.495
512	0.234	0.257	0.543	0.437	0.677
1024	0.483	0.521	0.690	0.593	0.883
2048	1.061	1.052	1.029	0.842	1.343
4096	2.387	2.493	1.672	1.404	2.227
8192	5.226	5.662	3.322	2.667	4.303

Данный метод является наиболее вычислительно эффективным из всех рассмотренных, однако уступает по точности оценок методу наименьших квадратов. Можно отметить, что ГП в данном случае незначительно превосходят по производительности ЦП при больших размерах выборки, уступая им при малых ее размерах. Малое преимущество в данном случае вызвано тем, что эффективный вычислительный алгоритм преобразования Фурье завершает обработку одной реализации весьма быстро, после чего требуется ждать загрузки следующей реализации из оперативной памяти компьютера.

Результаты сопоставления точностных характеристик рассматриваемых методов параметризации приведены на рис. 2-4.

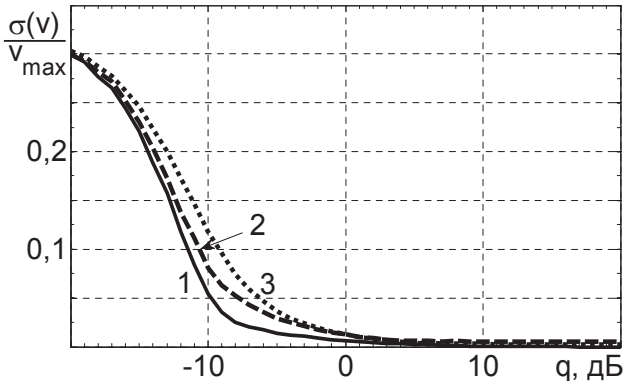

Рис. 2. Сравнение точности оценок скорости ветра различными методами

С ростом отношения сигнал/шум, погрешность оценивания скорости ветра снижается для всех методов параметризации спектров. Вместе с тем, минимальное значение погрешности характерно для метода наименьших квадратов (кривая 1), а максимальное – для метода парных импульсов. Различие особенно велико при отношениях сигнал/шум порядка -10...0 дБ.

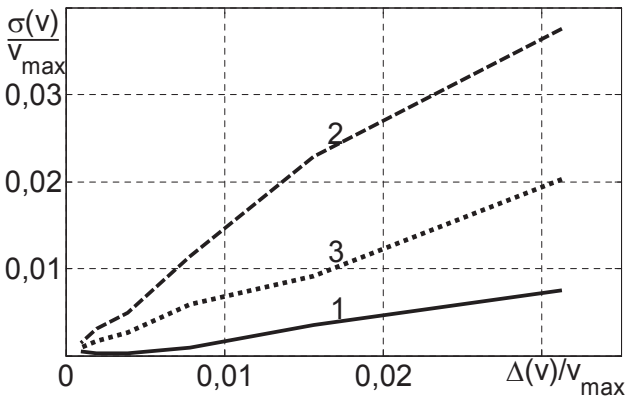

Рис. 3. Зависимость величины погрешности оценок от ширины спектра сигнала

Зависимость среднеквадратического отклонения оценок от шага сетки имеет практически линейный характер для всех методов параметризации, однако для оптимизированной версии метода наименьших квадратов (кривая 2) погрешность возрастает наиболее быстро.

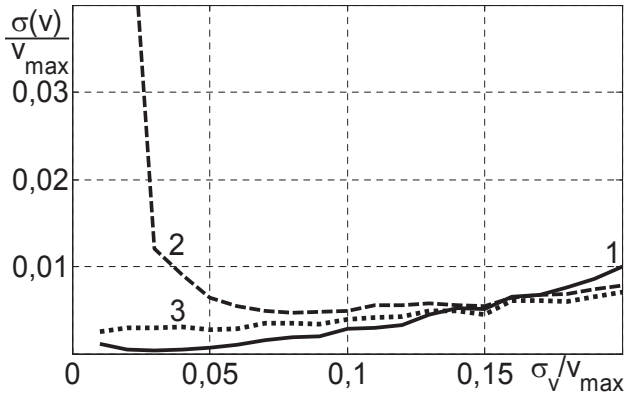

Рис. 4. Величина систематических погрешностей оценивания

С ростом ширины спектра рассеянного сигнала, погрешность параметризации для всех методов монотонно возрастает. Это вызвано уменьшением значения производной от СПМ по частоте. При малых значениях ширины спектра, параметризация с использованием оптимизированного метода наименьших квадратов приводит к аномальной ошибке.

Метод парных импульсов пригоден для предварительной грубой оценки метеопараметров, и может быть эффективно реализован на базе универсальных процессоров.

4. Выводы

Параллельное выполнение процедур вычисления целевой функции при параметризации спектров рассеянных сигналов позволяет обеспечить обработку сигналов в реальном времени при быстром темпе поступления информации. Вычислительная система, обеспечивающая подобные характеристики, может быть построена на базе многоядерного универсального процессора, на базе графического процессора или программируемой логической матрицы. При этом для грубой оценки параметров пригоден метод парных импульсов, а для получения более точных результатов – метод наименьших квадратов. Оптимизированные версии метода наименьших квадратов обеспечивают сравнимые результаты при условии одномодовых спектров рассеянного сигнала и могут применяться в тех случаях, когда перед разрабатываемой системой не ставится задача обеспечения высокого темпа выдачи результатов.

Данная работа выполнена в рамках программы NVIDIA Academic Partnership. Авторы хотели бы поблагодарить представителей корпорации NVIDIA, в частности Антона Джораева, за предоставленное оборудование (видеокарты NVIDIA GeForce GTS450). Также авторы благодарны коллегам за возможность тестирования разработанного программного обеспечения на видеокартах GeForce GT240 (G215) и GTX570 (GF110).

Литература

1. Дистанционные методы и средства исследования процессов в атмосфере Земли [Текст] / Под общ. ред. Б. Л. Кащеева, Е. Г. Прошкина, М. Ф. Лагутина. Харьков: Харьк. нац. ун-т радиоэлектроники; Бизнес Информ, 2002. 426 с.
2. Литвин-Попович, А.И. Параметризация спектров рассеянных сигналов в РЛС вертикального зондирования атмосферы / А.И. Литвин-Попович, В.Н. Олейников // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Х.:ХНУРЭ, 2008. – Вып. 152. – С. 49-52.
3. Литвин-Попович, А.И. Анализ состояния атмосферы на малых временных интервалах [Текст] / А.И. Литвин-Попович, В.Н. Олейников // «Прикладная радиоэлектроника», Х.:ХНУРЭ, 2010. - Т. 9, № 4. - С. 513-520.
4. Литвин-Попович, А.И. Обработка радиолокационных сигналов в параллельных вычислительных системах [Текст] / Литвин-Попович А.И. // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Х.:ХНУРЭ, 2011. – Вып. 166. – С. 165-172.
5. Информационные материалы Nvidia [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.nvidia.com/object/personal-supercomputing.html.
6. Довиак, Р. Доплеровские локаторы и метеорологические наблюдения. [Текст] / Р. Довиак, Д. Зрнич. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 503 с.
7. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций. 2-е изд. [Текст] / А.И.Солонина, Д.А.Улахович, С.М.Арбузов и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005 – 768с.:ил.

Abstract

The article describes the models of signals scattered by atmospheric inhomogeneities. These models are used in simulation modeling to test the methods of signal processing in radar systems of atmosphere vertical sounding, as well as during the development of assessment methods of the scattered signals parameters and methods of inhibition of active and passive noises. The application of a more complex model, which describes the properties of the scattered signals, allows reducing the errors of assessment of meteoparameters by radar systems of atmosphere vertical sounding. The complication of models and methods of processing put the problems of optimization of computational procedures of signal processing. One of the approaches that achieve the required performance under these conditions is the use of parallel computing systems - universal and graphics processor, and clusters. This approach is discussed in this article. The main purpose is to study the possibility of effective implementation of procedures for processing of radar signals based on parallel computation systems. In the study we used the method of simulation modeling and statistical processing of the results. The signals processing methods, which used during their development a physical model of scattering, provide lesser value of the error of assessment of the parameters of atmosphere. The research results can be used in development and modernization of processing systems of radar signal of atmosphere vertical sounding. The application of graphic processors for signal processing allows obtaining the results in real time using a physical model of scattering - the most detailed model of the formation of signals in radar systems of vertical sounding

Keywords: *radar atmosphere sounding, digital processing of radar signals, models of scattered signals*

УДК 316.77:[004.82+004.89]

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВЯЗЕЙ В ТРАФИКАХ ТЕЛЕФОННЫХ СЕТЕЙ

О.О. Савельев
Аспирант*
Контактный тел.: 066-706-86-70
E-mail: savelyev.oleg@gmail.com
А.И. Шевченко
Член-корреспондент НАН Украины, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*
Контактный тел.: (062) 304-60-82
E-mail: info@iai.donntu.edu.ua
*Кафедра программного обеспечения интеллектуальных систем
Институт информатики и искусственного интеллекта
Донецкий национальный технический университет
пр. Б. Хмельницкого, 84, г. Донецк, Украина, 83050

Розглядається процес аналізу трафіків телефонних мереж в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. Для дослідження обрана задача прогнозування зв'язків і її модифікації. Запропонований підхід до розв'язку задачі прогнозування тимчасових зв'язків, заснований на моделюванні мережі абонентів динамічним графом і виявленні знань про його динаміку, що використовує методи кластеризації, секвенціального аналізу, дерев рішень

Ключові слова: трафік телефонної мережі, прогнозування зв'язків, динамічний граф, виявлення знань

Рассматривается процесс анализа трафиков телефонных сетей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. Для исследования выбрана задача прогнозирования связей и ее модификации. Предложен подход к решению задачи прогнозирования временных связей, основанный на моделировании сети абонентов динамическим графом и обнаружении знаний о его динамике, использующий методы кластеризации, секвенциального анализа, деревья решений

Ключевые слова: трафик телефонной сети, прогнозирование связей, динамический граф, обнаружение знаний

1. Введение

В настоящее время человечество пользуется большим количеством электронных средств, которые ведут протоколирование всех осуществляемых с их помощью действий. Среди устройств, предназначенных для приема/передачи информации в сетях, такой протокол обозначается термином *трафик* или мониторинг. В области мобильной и стационарной телефонии существует понятие *трафик телефонной сети*

© О.О. Савельев, А.И. Шевченко, 2012