

Оперативное моделирование радиолокационных изображений и распознавание реальных объектов

Д.А. Жердев^{1,2}, В.В. Прокудин¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

²Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация. В работе рассматривается модернизация параллельного алгоритма формирования радиолокационных изображений трехмерных моделей с синтезированием апертуры антенны. При формировании описания трёхмерной сцены использован подход построения структуры, с использованием которой возможно более эффективное и производительное вычисление рассеяния от множества поверхностей объекта. Кроме того, важной задачей является эффективное распознавание объектов на радиолокационных изображениях. Таким образом, на основании реализованной параллельной программы моделирования может быть достигнута высокая производительность, необходимая для моделирования множества радиолокационных изображений объектов с разных ракурсов наблюдения и последующего построения базы данных изображений.

1. Введение

Данное исследование является продолжением идей и методов, используемых в работе [1], где было рассмотрено высокопроизводительное моделирование радиолокационных изображений с синтезированием апертуры антенны. В данной работе ставится цель получения большего ускорения параллельного алгоритма формирования радиолокационного изображения модели за счет построения kd дерева описывающего трехмерную сцену [2]. Для достижения поставленной цели используется технология CUDA с высокопроизводительным вычислением на графических ускорителях. При формировании радиолокационного изображения объекта возникают трудности оперативного вычисления траекторного радиолокационного сигнала по маршруту движения носителя. В данном исследовании был реализован алгоритм получения радиолокационных характеристик с постарением структуры kd дерева, с помощью которого может быть описана любая трехмерная сцена.

2. Моделирование и распознавание

При формировании модельных радиолокационных изображений основной вычислительно затратной частью алгоритма является формирование излучаемых и отраженных радиолокационных сигналов. В данной работе была реализована модификация параллельного алгоритма, для которого на этапе построения траекторного сигнала было использовано

предварительно вычисляемое kd дерево трехмерной сцены. Последующее выполнение синтезирования апертуры радиолокатора выполнялось аналогично, как и в работе [1]. Данный подход сокращения вычисляемых операций позволил добиться трехкратного ускорения по сравнению с предыдущей реализацией алгоритма.

Кроме того, в ходе исследовательской работы были проведены эксперименты распознавания объектов на радиолокационных изображениях. Существует множество методов и подходов распознавания радиолокационных изображений, среди которых можно выделить популярные методы свёрточных нейронных сетей [3], опорных векторов, ближайших соседей и т.д. [4]. В данной работе было выполнено распознавание с использованием метода опорных подпространств [5]. Для построения изображений использовались трехмерные модели танка, БМП, БТР. Все размеры моделей были приведены к соответственным размерам их реальных прототипов в абсолютной системе трехмерных координат. При создании обучающей выборки использовались значения параметров из таблицы 1. Угол места наблюдения составлял 17°, что соответствует условиям получения контрольной выборки с реальными РИ. Для каждого объекта были смоделированы 100 изображений с шагом поворота объекта в плоскости наблюдения 3,6°. На рисунке 3 приведены реальные и модельные РИ БТР.

Далее будут приведены результаты исследований, связанных с построением обучающей модельной выборки и последующим распознаванием реальных изображений с использованием модельных изображений в качестве эталонов. На рисунке 1, а), б) приведены натурные радиолокационные изображения танка из широко известной базы данных MSTAR, а на рисунке 2, а), б) – изображения, полученные путем моделирования радиолокационных изображений этого же танка с использованием метода синтезирования апертуры, для углов азимута 17° и 15° и углов места 17° и 100° соответственно.

Таблица 1. Параметры моделирования изображения танка.

№	Параметр	Значение
1	Начальное положение РСА (x,y,z), м	(-4335.5,1325.5,-50)
2	Режим съемки	прожекторный
3	Длина синтезирования, м	100
4	Число выборок на длине синтезирования	400
5	Минимальная длина волны (ЛЧМ), м	0,02941
6	Максимальная длина волны (ЛЧМ), м	0,03327
7	Длина импульса, мкс	0,5
8	Шаг дискретизации по времени, нс	0,5
9	Минимальное расстояние дальности, м	4510
10	Максимальное расстояние дальности, м	4630

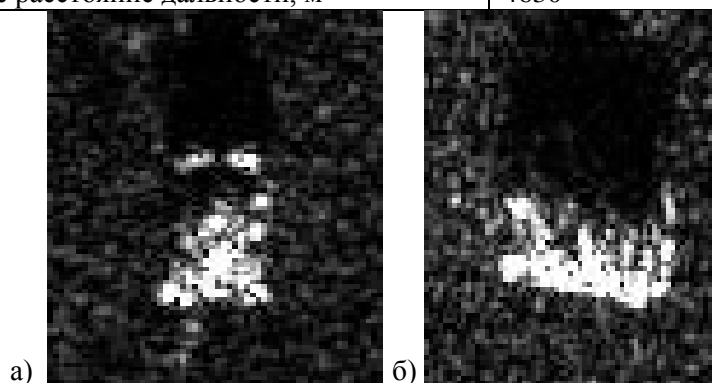


Рисунок 1. Реальные РИ танка из базы MSTAR: а) $\theta = 17^\circ$, $\varphi=15^\circ$; б) $\theta = 17^\circ$, $\varphi=100^\circ$.

Результаты распознавания трех классов, полученные с использованием исходного алгоритма распознавания по показателю сопряженности [5] (без разбиения на подклассы), приведены в таблице 2. Заметим, что результат 62,78% верных распознаваний трех классов получен на

относительно небольшой обучающей выборке (300 изображений). Обучающая выборка базы MSTAR содержит 587 изображений.

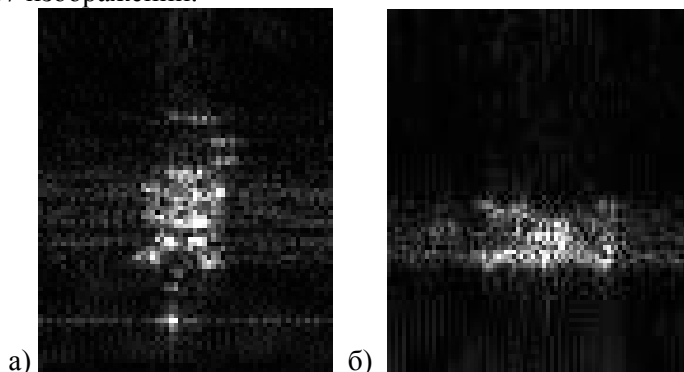


Рисунок 2. РИ танка, полученные моделированием синтезирования апертуры: а) $\theta = 17^\circ$, $\varphi = 15^\circ$; б) $\theta = 17^\circ$, $\varphi = 100^\circ$.

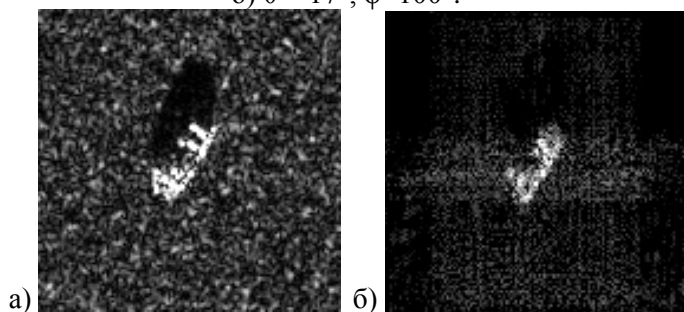


Рисунок 3. Реальное (а) и модельное (б) РИ БТР на подстилающей поверхности.

Таблица 2. Результаты распознавания с использованием для обучения модельных изображений.

	Оценённый класс			
	ВМР2	ВТР70	Т72	
ВМР2	402	124	61	68,48%
ВТР70	134	43	19	21,93%
Т72	119	51	412	70,79%

При бинарной классификации двух классов: БМП и танка с использованием того же алгоритма был достигнут результат 80,24%. Результаты распознавания двух классов без разбиения на подклассы приведены, в таблице 3.

Таблица 3. Результаты распознавания двух классов.

	Оценённый класс		
	ВМР2	Т72	
ВМР2	496	91	84,50%
Т72	140	442	75,94%

Кроме того, был проведен эксперимент по распознаванию реальных изображений путем обучения на модельных изображениях, полученных с использованием метода трассировки [6]. В таблице 4 указаны результаты распознавания. Общий процент верного распознавания по трем классам составил 27,6%. Эти результаты показывают, что использование в качестве эталонов изображений, полученных методом трассировки, для распознавания не вполне пригодно. Возможно, они могут использоваться для создания упрощенной модели трехмерной сцены.

Необходимо заметить, что в базе MSTAR обучающая выборка имеет 587 изображений. В отличие от модельных изображений поворот объекта на изображениях базы MSTAR

осуществляется с неравномерным шагом и с достаточно большими ошибками позиционирования.

Таблица 4. Результаты распознавания для метода трассировки.

	Оценённый класс			
	BMP2	BTR70	T72	
BMP2	207	270	221	29,66%
BTR70	78	67	51	34,18%
T72	331	146	105	18,04%

3. Заключение

В работе показано, что результаты экспериментов распознавания реальных изображений демонстрируют возможность эффективного использования разрабатываемого программного комплекса в качестве инструментального средства формирования обучающих изображений путем моделирования. Кроме того, получено ускорение параллельного алгоритма на основе использования подхода построения структуры, с помощью которой возможно выполнение оперативного и эффективного вычисления рассеяния от множества поверхностей объекта.

4. Литература

- [1] Жердев, Д.А. Технология распознавания радиолокационных изображений с формированием эталонов путем моделирования / Д.А. Жердев, В.В. Прокудин, Е.Ю. Минаев // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ), 2018. – С. 2260-2264.
- [2] Horn, D.R. Interactive kd tree GPU raytracing / D.R. Horn, J. Sugerman, M. Houston, P. Hanrahan // Proceedings of the 2007 symposium on Interactive 3D graphics and games – ACM. – 2007. – P. 167-174.
- [3] Савченко, А.В. Тригонометрическая система функций в проекционных оценках плотности вероятности нейросетевых признаков изображений / А.В. Савченко // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 1 – С. 149-158. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-1-149-158.
- [4] Borodinov, A.A. Classification of radar images with different methods of image preprocessing / A.A. Borodinov, V.V. Myasnikov // CEUR Proceedings. – 2018. – Vol. 2210. – P. 6-13.
- [5] Fursov, V. Support subspaces method for synthetic aperture radar automatic target recognition / V. Fursov, D. Zherdev, N. Kazanskiy // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2016. – Vol. 13(5).
- [6] Zherdev, D.A. Support plane method applied to ground objects recognition using modelled SAR images / D.A. Zherdev, V.A. Fursov // Applications of Digital Image Processing XXXVIII. – International Society for Optics and Photonics. – 2015. – Vol. 9599. – С. 95992J.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки и проекта РФФИ № 18-37-00457 мол_а.

High performance radar images modelling and recognition of real objects

D.A. Zherdev^{1,2}, V.A. Prokudin¹

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

²Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

Abstract. In the work there is a modernization of the parallel algorithm for the radar images formation of 3D models with the synthesis of the antenna aperture. In the formation of the scene description, the various structures are used in which it is possible to use more efficient and derived calculations. In addition, it is the topical task to recognize objects on radar images. Thus, on the basis of the implemented parallel program for modelling, the high performance required for simulating multiple radar images can be achieved.