

УДК 004.021

Пантюхин Д.В.

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Применение современных графических процессоров для обнаружения целей на фоне помех в автоматизированных антенных решетках

Современные графические процессоры предоставляют возможность использования их при расчетах неграфических приложений. В силу своей параллельной архитектуры они обладают высокой производительностью. Для последних поколений графических процессоров имеются языки программирования высокого уровня. Так язык программирования CUDA является C-подобным языком программирования графических процессоров фирмы nVidia восьмого и последующего поколений.

Цифровые автоматизированные антенные решетки (ЦАФАР) представляют собой совокупность приемных элементов и применяются в области радиолокации. Для обнаружения целей в присутствии помех и шумов с помощью ЦАФАР требуется обработка больших объемов данных за малое время. В силу того, что современные центральные процессоры (CPU) не справляются с поставленной задачей, либо решение на базе CPU является громоздким и дорогим, возникает необходимость в применении других аппаратных средств. Применение графических процессоров дает недорогой высокоэффективный способ решения задач радиолокации.

Рассматриваемый вариант алгоритма обнаружения целей на фоне помех в ЦАФАР [1] состоит из двух этапов. На первом этапе (этап предварительного обнаружения) проводится обзор пространства с помощью гладкого сигнала с низкой разрешающей способностью по времени и углам обзора. На втором этапе (этап дообнаружения) проводится обзор только тех областей пространства, в которых на предыдущем этапе был превышен порог обнаружения. Обзор проводится с помощью линейно частотно модулированного (ЛЧМ) сигнала, обладающего повышенной разрешающей способностью по времени и углам.

Пусть имеется плоская антенная решетка с $M=8*8$ приемными модулями. ЦАФАР способна обозревать пространство в пределах примерно 60° на 60° градусов. Эффективная разрешающая способность одного модуля составляет $1/6$ на $1/6$ радиана (примерно 10° на 10° градусов). Таким образом, все пространство разбивается на $6*6=36$ подобластей по углам, в каждой из которых вычисления независимы друг от друга, что дает возможность применения параллельных аппаратных средств. Также

проводится разбивка обозреваемого физического пространства по дальности (времени прихода отклика). Всего имеется $36 \cdot 16 = 576$ независимых блоков.

В каждом таком блоке формируется оценка обратной корреляционной матрицы принятого сигнала, что можно записать в рекуррентном виде:

$$R_n^{-1} = R_{n-1}^{-1} - \frac{\mathbf{a}_n \mathbf{a}_n^H}{1 + \mathbf{a}_n^H \mathbf{y}_n}, \text{ где } \mathbf{a}_n = R_{n-1}^{-1} \mathbf{y}_n, n = 1, \dots, N, R_0^{-1} = \frac{1}{\mu} I, \quad (1)$$

где R – комплексная корреляционная матрица принятого сигнала размерностью $64 \cdot 64$,

\mathbf{y}_n – комплексный вектор значений принятого сигнала в момент времени n ,

$N=128$ – количество используемых временных отсчетов,

$\mu=3000$ – коэффициент регуляризации,

I – единичная матрица.

Затем, используя вычисленные обратные корреляционные матрицы, строится статистика L , превышение значения которой над порогом трактуется как наличие цели в просматриваемом секторе пространства.

$$L = \frac{|\mathbf{u}^H R^{-1} \mathbf{Ys}|^2}{\mathbf{u}^H R^{-1} \mathbf{u} (1 - (\mathbf{Ys})^H R^{-1} \mathbf{Ys})}, \quad (2)$$

где \mathbf{u} – комплексный вектор коэффициентов амплитудно-фазового распределения полезного сигнала по приемным каналам размерностью $M=64$,

\mathbf{s} – нормированный комплексный вектор амплитудно-фазового распределения полезного сигнала по дискретным моментам времени размерностью $N=128$,

\mathbf{Y} – комплексная матрица сигналов размерностью $64 \cdot 128$, составленная из столбцов \mathbf{y}_n .

Основным вычислительно сложным этапом является вычисление обратных корреляционных матриц. Для ускорения расчетов таких матриц были применены графические процессоры с использованием языка программирования CUDA.

Генерация исходных данных, манипуляция с ними, визуализация результатов вычислений проводилась в пакете MATLAB. Разработка программы для вычисления значений статистики L также проводилась в пакете MATLAB. Это сделано для удобства, возможности применения различных параметров сигнала. Кроме того, на интересующем нас этапе предварительного обнаружения расчет статистики занимает около 20% всего времени вычислений, что мало по сравнению со временем вычисления обратной корреляционной матрицы. Разработка программы реализующей вычислений обратной корреляционной матрицы проводилась на языке C++ (реализация на CPU) и языке программирования графических средств CUDA (реализация на графическом

процессоре). Для всех вариантов учитывается только время расчета, без операций чтения\записи на диск (поскольку в реальной системе предполагается, что все данные уже находятся в памяти компьютера). Однако учитывается время загрузки\выгрузки данных из памяти компьютера в видео память.

Тестирование проводилось с использованием персонального компьютера (процессор: Intel Pentium 4, 3.0 ГГц; память процессора: 1 Гб; графическая плата: NVIDIA 8800 GTX; видео память: 768 Мб).

Время расчета всех 576 обратных корреляционных матриц на CPU составило **7250** мс.

Время расчета всех 576 обратных корреляционных матриц с использованием графического процессора составило **215** мс. Из них загрузка данных в графическую карту из памяти центрального процессора занимает 22 мс. (1.6ГБ/с наблюдаемой пропускной способности считывания), выгрузка результатов графической карты в память центрального процессора - 11 мс. (1.6ГБ/с наблюдаемой пропускной способности считывания).

Таким образом, было достигнуто более чем 30-кратное ускорение вычислений. Следует отметить, что, во первых, применяемый графический процессор на сегодняшний день уже не является топовым. Во вторых, в последующем требуется применение графического процессора не только для обращения матриц, но для всего алгоритма обнаружения в целом, включая режим дообнаружения с использованием ЛЧМ сигнала. В третьих, графические процессоры развиваются гораздо быстрее чем центральные процессоры, что в перспективе делает их еще более привлекательными. Уже появилась поддержка двойной точности вычислений, производители озаботились удобством программирования графических процессоров для научных расчетов.

В целом, основной вывод заключается в том, что применение графических ускорителей является на сегодняшний день самым недорогим и быстрореализуемым способом резкого увеличения вычислительной мощности стандартных ПК и соответственно, научных расчетов при моделировании и исследованиях алгоритмов радиолокации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Черемисин О.П.* Адаптивные алгоритмы обработки сигналов в многоканальных приемных системах с антенными решетками // Радиотехника и электроника, 2006, т.53, №9, с.1087-1098.