В заключение можно сделать вывод, что технологии миниатюризации перспективны. Такие технологии, как 3D-SiP и 3D-MID, позволяют существенно сократить габариты электронных устройств, а так же значительно повысить их надёжность. Применение улучшенных таким образом блоков может быть разнообразным, включая построение систем высокопроизводительных вычислений.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.577.21.0225), уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57716X0225).

Исследование было проведено с использованием оборудования Центра Коллективного Пользования «Функциональное тестирование и диагностика микро- и наносистемная технология» на основе НПК «Технологический Центр».

Литература

1. Баденко В. Л. Высокопроизводительные вычисления: учеб. пособие – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 180 с.
2. Карен Карпентер, Яна Вардаман. Технология SiP выходит в свет / Печатный монтаж, №2, 2006, с.4-7
3. Что такое трехмерные схемы на пластиках // ЗАО предприятие Остек URL:http://www.3dmid.ru/ (дата обращения 18.03.2018)
4. Сомонов В. В., Туричин Г. А., Земляков Е. В., Бабкин К. Д., Климова-Корсмик О. Г. Прямое лазерное выращивание изделий из порошковых материалов: принцип, оборудование и материалы // Технические науки в России и за рубежом: материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2016 г.). — М.: Буки-Веди, 2016. — С. 34-38. — URL https://moluch.ru/conf/tech/archive/228/10881/ (дата обращения: 20.03.2018).

А.Ю. Горчаков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ OPENMP ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МНОГОПОТОЧНОГО МЕТОДА НЕРАВНОМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ.

(Вычислительный центр им. А.А. Дородницина Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук)

Рассмотрим задачу поиска глобального минимума:

$$f(x) \to min, x \in X \quad (1)$$

где X параллелепипед $\in R^n$. Идея метода неравномерных покрытий [1], [2] состоит в разбиении исходного множества X на подмножества с отсевом подмножеств, которые заведомо не содержат глобального минимума. В процессе решения задачи происходит обновление – лучшего решения, найденного на данный момент. Для отсева подмножеств и тестирования метода используются библиотеки интервального анализа и тестовых функций [3], [4], разработанные в ФИЦ ИУ РАН. Для выполнения расчетов были использованы вычислительные ресурсы ФИЦ ИУ РАН [5].

Однопоточный вариант, с небольшими сокращениями, из библиотеки [4] выглядит следующим образом:

```
1.  std::vector<Box> pool;
2.  pool.push_back(ibox);
3.  std::vector<double> c(dim);
4.  std::vector<double> recordVec(dim);
5.  double recordVal = std::numeric_limits<double>::max();
6.  int step = 0;
7.  while (!pool.empty()) {
8.    if(step > maxstep) break;
9.    step++;
10.   Box b = pool.back();
11.   pool.pop_back();
12.   getCenter(b, c);
13.   double v = bm.calcFunc(c);
14.   if (v < recordVal) {
15.      recordVal = v;
16.      recordVec = c;
17.   }
18.   auto lb = bm.calcInterval(b).lb();
19.   if (lb <= recordVal - eps) split(b, pool);
20.   return recordVal;
```

Как видно, при параллельной реализации, возможны две критические секции кода, строки 14-16 (обновление рекорда) и строка 19 (разбиение подмножества). Кроме этого, здесь реализован поиск в «глубину», который в ряде случаев приводит к излишнему количеству итераций, из-за медленного обновления рекордного значения. Распараллеливание осуществлялось с помощью директивы OpenMP - *#pragma omp parallel for*. Критическую секцию в строке 19 удалось устранить за счет введения массива векторов pool_new. Критическую секцию «обновления рекорда» пришлось оставить. Параллельный вариант метода неравномерных покрытий с поиском в «ширину» выглядит следующим образом:

```
1. std::vector<Box> pool;
2. int n_thr = omp_get_max_threads();
3. std::vector<Box> pool_new[n_thr];
4. pool.push_back(ibox);
5. std::vector<double> c(dim);
6. std::vector<double> recordVec(dim);
7. double recordVal = std::numeric_limits<double>::max();
8. int step = 0;
9. while (!pool.empty()) {
10. #pragma omp parallel for shared(pool, pool_new, recordVec, recordVal) firstprivate(c) schedule(dynamic) num_threads(n_thr)
```

```
for(int i = 0; i < std::min(maxstep+1-step, pool.size()); i++) {
Box b = pool[i];
getCenter(b, c);
double v = bm.calcFunc(c);
#pragma omp critical
{
   if (v < recordVal) {
      recordVal = v;
      recordVec = c;
   }
}
   auto lb = bm.calcInterval(b).lb();
   if (lb <= recordVal - eps) split(b, pool_new[omp_get_thread_num()]);
 }
step = std::min((long unsigned int) maxstep+1, step+pool.size());
if(step > maxstep) break;
pool.clear();
int pool_size = 0;
for(int i = 0; i < n_thr; i++) pool_size += pool_new[i].size();
pool.reserve(pool_size);
for(int i = 0; i < n_thr; i++)
if(pool_new[i].size() > 0) {
   std::move(pool_new[i].begin(), pool_new[i].end(),
                std::inserter(pool, pool.end()));
   pool_new[i].clear();
}
}
}
```

Результаты численных расчетов метода в однопоточном варианте:

Функция	Размерность задачи	Время/сек	Кол-во шагов	Время на подзадачу/микросек
Biggs EXP4	4	0.0376	1,443	26.08
Biggs EXP5	5	0.50	12,453	40.43
Biggs EXP5	6	177.79	3,834,581	46.37
Chichinadze	2	0.32	20,503	15.72
Colville	4	4.04	205,535	19.64
Deckkers-Aarts	2	37.92	3,808,065	9.96
Dolan	5	14.91	1,098,735	13.57
Egg Holder	2	0.0159	873	18.20
Goldstein Price	2	13.35	445,565	29.96
Hansen	2	0.73	41,371	17.56
Hartman 6	6	1.19	13,985	84.99
Helical Valley	3	0.0216	1,335	16.15
Hosaki	2	5.84	487,161	11.98
Langerman-5	5	0.20	2,389	83.08

Mishra 8	2	0.0161	503	32.06
Mishra 8	3	9.05	235,131	38.51
Quintic	3	0.87	62,713	13.95
Schwefel 2.36	2	9.00	1,524,563	5.90
Shubert	2	0.35	9,331	37.18
Shubert 2	2	0.80	53,581	14.86
Trigonometric 1	3	0.13	719	176.74
Whitley	3	0.0046	227	20.40

Результаты численных расчетов метода в многопоточном варианте (количество потоков - 64)

Функция	Размерность задачи	Время/сек	Кол-во шагов	Время на подзадачу/микросек	Ускорение	Ускорение решения подзадач
Biggs EXP4	4	0.0176	1,081	16.28	2.14	1.60
Biggs EXP5	5	0.0339	18,335	1.85	14.87	21.89
Biggs EXP5	6	6.42	2,719,857	2.36	27.69	19.64
Chichinadze	2	0.0270	20,441	1.32	11.93	11.89
Colville	4	0.33	204,857	1.59	12.41	12.37
Deckkers-Aarts	2	2.81	3,807,999	0.74	13.48	13.48
Dolan	5	1.02	1,074,283	0.95	14.65	14.32
Egg Holder	2	0.0100	775	12.89	1.59	1.41
Goldstein Price	2	0.85	445,553	1.91	15.69	15.68
Hansen	2	0.0730	41,391	1.76	9.95	9.95
Hartman 6	6	0.10	14,139	7.18	11.70	11.83
Helical Valley	3	0.0030	1,157	2.58	7.23	6.27
Hosaki	2	0.36	487,155	0.73	16.42	16.42
Langerman-5	5	0.04	2,449	17.33	4.68	4.79
Mishra 8	2	0.0019	385	5.00	8.38	6.41
Mishra 8	3	0.53	222,103	2.37	17.19	16.24
Quintic	3	0.0668	65,089	1.03	13.09	13.58
Schwefel 2.36	2	0.99	1,524,567	0.65	9.12	9.12
Shubert	2	0.0522	9,273	5.63	6.65	6.60
Shubert 2	2	0.0511	54,033	0.94	15.60	15.73
Trigonometric 1	3	0.0078	607	12.88	16.25	13.72
Whitley	3	0.0008	185	4.27	5.86	4.78

Как видно из таблицы на задачах с небольшим количеством шагов ускорение работы метода незначительно. Это связано с тем, что в начале работы процессор загружен не полностью. Количество задач растет как 1,2,4,8,16 и т.д. Второй фактор замедляющий работу метода на всех тестовых функциях – это критическая секция связанная с обновлением рекордного значения. Необходимо отметить, что обновление рекордного значения происходит достаточно редко (примерно в 1% подзадач) и эффективной реализацией данного участка кода было бы применение блокировок на «запись» и «чтение». К сожалению, методами OpenMP реализовать данный вид блокировок не удалось.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-07-00510.

Литература

[1] Евтушенко Ю. Г. Численный метод поиска глобального экстремума функций (перебор на неравномерной сетке) //Журнал вычислительной математики и математической физики, 1971, vol. 6. – pp.1390-1403.

[2] Gorchakov A. Y. Application of method nonuniform coverings for maximum information content of predicate search //International Journal of Open Information Technologies. 2017. Т. 5. N. 2. – pp. 29-33.

[3] Posypkin M., Usov A. Implementation and verification of global optimization benchmark problems //Open Engineering. – Т. 7. – №. 1. – С. 470-478.

[4] Global optimization test functions [Электронный ресурс]: сайт. – https://github.com/alusov/mathexplib (дата обращения: 19.03.2018).

[5] Федеральный исследовательский центр Информатика и управление РАН [Электронный ресурс]: сайт. – Москва: ФИЦ ИУ РАН. – URL: http://frccsc.ru

В.П. Заярный, С.А. Парпула

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ КОРОТКИХ ЩЕЛЕВЫХ АНТЕНН МИКРОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

(Волгоградский государственный технический университет)

Известно, что антенны и антенные устройства являются важнейшими функциональными звеньями в радиотехнических системах, поэтому, в настоящее время продолжается разработка и исследование их новых образцов. Учитывая существующую тенденцию к миниатюризации элементной базы в составе объемных интегральных схем микроволнового и оптического диапазонов для сверхбыстрой передачи и обработки информации, а также разработка новых антенн с минимизацией их размеров для антенных решеток [1], исследование их электродинамических характеристик представляется важным и актуальным.

В данной работе при помощи компьютерного моделирования исследовались диаграммы направленности (ДН) плоских симметричных антенн осевого излучения с линейно расширяющимся раскрывом (рис. 1), длина L которых соизмерима с длиной волны излучения в окрестности частоты f_0 = 10 ГГц (±2 ГГц), а угол раскрыва антенн изменялся в пределах от 30° до 120° с интервалом