

## Assignment No. 9

**PRN:** 2020BTECS00025

**Name:** Sahil Santosh Otari

**Course:** High Performance Computing Lab

**Title:** Implementation of Matrix-matrix Multiplication (global and shared Memory), Prefix sum, 2D Convolution using CUDA C

### Problem Statement 1:

Implement Matrix-matrix Multiplication using global memory in CUDA C. Analyze and tune the program for getting maximum speed up. Do Profiling and state what part of the code takes the huge amount of time to execute.

### Code:

```
%%cu
#include<stdio.h>
#include <time.h>
const int n=256;
__global__ void multiply(int *mat1, int *mat2, int *result, int n)
{
    int row = blockIdx.y * blockDim.y + threadIdx.y;
    int col = blockIdx.x * blockDim.x + threadIdx.x;
    if(row<n && col<n)
    {
        for(int k=0; k<n; k++)
        {
            result[row*n+col]+=mat1[row*n+k]*mat2[k*n+col];
        }
    }
}

int main()
{
    clock_t start, end;
    start = clock();
    int mat1[n*n];
    int mat2[n*n];
    for(int i=0;i<n*n;i++)
```

```

{
    mat1[i]=i+1;
    mat2[i]=n*n-i;
}
int result[n*n];
int *d_mat1, *d_mat2, *d_result;
cudaMalloc(&d_mat1, n*n*sizeof(int));
cudaMalloc(&d_mat2, n*n*sizeof(int));
cudaMalloc(&d_result, n*n*sizeof(int));

cudaMemcpy(d_mat1, mat1, n*n*sizeof(int), cudaMemcpyHostToDevice);
cudaMemcpy(d_mat2, mat2, n*n*sizeof(int), cudaMemcpyHostToDevice);

int b_size=2;
int g_size=ceil(n/2.0);
dim3 threads(b_size, b_size);
dim3 blocks(g_size, g_size);
multiply<<<blocks,threads>>>(d_mat1,d_mat2,d_result,n);
cudaDeviceSynchronize();

cudaMemcpy(result, d_result, n*n*sizeof(int), cudaMemcpyDeviceToHost);

end = clock();
double duration = ((double)end - start) / CLOCKS_PER_SEC;
printf("\nTime taken to execute in seconds : %f\n", duration);

for(int i=0;i<n;i++)
{
    for(int j=0;j<n;j++)
    {
        printf("%d ",result[i*n+j]);
    }
    printf("\n");
}
return 0;
}

```

Screenshots:

For data size = 32

Time taken to execute in seconds : 0.102138

191488	190960	190432	189904	189376	188848	188320	187792	187264	186736	186208	185680	185152	184624	184096	183568	183040	182512	181984	181456	180928	180400	179872
732160	730608	729056	727504	725952	724400	722848	721296	719744	718192	716640	715088	713536	711984	710432	708880	707328	705776	704224	702672	701120	699568	698016
1272832	1270256	1267680	1265104	1262528	1259952	1257376	1254800	1252224	1249648	1247072	1244496	1241920	1239344	1236768	1234192	1231616	1229040	1226464	1223888			
1813504	1809904	1806304	1802704	1799104	1795504	1791904	1788304	1784704	1781104	1777504	1773904	1770304	1766704	1763104	1759504	1755904	1752304	1748704	1745104			
2354176	2349552	2344928	2340304	2335680	2331056	2326432	2321808	2317184	2312560	2307936	2303312	2298688	2294064	2289440	2284816	2280192	2275568	2270944	2266320			
2894848	2889200	2883552	2877904	2872256	2866608	2860960	2855312	2849664	2844016	2838368	2832720	2827072	2821424	2815776	2810128	2804480	2798832	2793184	2787536			
3435520	3428848	3422176	3415504	3408832	3402160	3395488	3388816	3382144	3375472	3368800	3362128	3355456	3348784	3342112	3335440	3328768	3322096	3315424	3308752			
3976192	3968496	3960800	3953104	3945408	3937712	3930016	3922320	3914624	3906928	3899232	3891536	3883840	3876144	3868448	3860752	3853056	3845360	3837664	3829968			
4516864	4508144	4499424	4490704	4481984	4473264	4464544	4455824	4447104	4438384	4429664	4420944	4412224	4403504	4394784	4386064	4377344	4368624	4359904	4351184			
5057536	5047792	5038048	5028304	5018560	5008816	4999072	4989328	4979584	4969840	4960096	4950352	4940608	4930864	4921120	4911376	4901632	4891888	4882144	4872400			
5598208	5587440	5576672	5565904	5555136	5544368	5533600	5522832	5512064	5501296	5490528	5479760	5468992	5458224	5447456	5436688	5425920	5415152	5404384	5393616			
6138880	6127088	6115296	6103504	6091712	6079920	6068128	6056336	6044544	6032752	6020960	6009168	5997376	5985584	5973792	5962000	5950208	5938416	5926624	5914832			

For data size = 64

Time taken to execute in seconds : 0.096571

2928640	2926560	2924480	2922400	2920320	2918240	2916160	2914080	2912000	2909920	2907840	2905760	2903680	2901600	2899520	2897440	2895360	2893280	2891200	2889120	2887040	2884960	2882880
11448320	11442144	11435968	11429792	11423616	11417440	11411264	11405088	11398912	11392736	11386560	11380384	11374208	11368032	11361856	11355680	11349504	11343328	11337152	11330976			
19968000	19957728	19947456	19937184	19926912	19916640	19906368	19896096	19885824	19875552	19865280	19855008	19844736	19834464	19824192	19813920	19803648	19793376	19783104	19772832			
28487680	28473312	28458944	28444576	28430208	28415840	28401472	28387104	28372736	28358368	28344000	28329632	28315264	28300896	28286528	28272160	28257792	28243424	28229056	28214688			
37007360	36988896	36970432	36951968	36933504	36915040	36896576	36878112	36859648	36841184	36822720	36804256	36785792	36767328	36748864	36730400	36711936	36693472	36675008	36656544			
45527040	45504480	45481920	45459360	45436800	45414240	45391680	45369120	45346560	45324000	45301440	45278880	45256320	45233760	45211200	45188640	45166080	45143520	45120960	45098400			
54046720	54020064	53993408	53966752	53940096	53913440	53886784	53860128	53833472	53806816	53780160	53753504	53726848	53700192	53673536	53646880	53620224	53593568	53566912	53540256			
62566400	62535648	62504896	62474144	62443392	62412640	62381888	62351136	62320384	62289632	62258880	62228128	62197376	62166624	62135872	62105120	62074368	62043616	62012864	61982112			
71086080	71051232	71016384	70981536	70946688	70911840	70876992	70842144	70807296	70772448	70737600	70702752	70667904	70633056	70598208	70563360	70528512	70493664	70458816	70423968			
79605760	79568816	79527872	79488928	79449984	79411040	79372096	79333152	79294208	79255264	79216320	79177376	79138432	79099488	79060544	79021600	78982656	78943712	78904768	78865824			
88125440	88082400	88039360	87996320	87953280	87910240	87867200	87824160	87781120	87738080	87695040	87652000	87608960	87565920	87522880	87479840	87436800	87393760	87350720	87307680			
96645120	96597984	96550848	96503712	96456576	96409440	96362304	96315168	96268032	96220896	96173760	96126624	96079488	96032352	95985216	95938080	95890944	95843808	95796672	95749536			
105164800	105113568	105062336	105011104	104959872	104908640	104857408	104806176	104754944	104703712	104652480	104601248	104550016	104498784	104447552	104396320	104345088	104293856	104242624	104191392			
113684480	113629152	113573824	113518496	113463168	113407840	113352512	113297184	113241856	113186528	113131200	113075872	113020544	112965216	112909888	112854560	112799232	112743904	112688576	112633248			
122204160	122144736	122085312	122025888	121966464	121907040	121847616	121788192	121728768	121669344	121609920	121550496	121491072	121431648	121372224	121312800	121253376	121193952	121134528	121075104			
130723840	130660320	130596800	130533280	130469760	130406240	130342720	130279200	130215680	130152160	130088640	130025120	129961600	129898080	129834560	129771040	129707520	129644000	129580480	129516960			
139243520	139175904	139108288	139040672	138973056	138905440	138837824	138770208	138702592	138634976	138567360	138499744	138432128	138364512	138296896	138229280	138161664	138094048	138026432	137958816			
147763200	147691488	147619776	147548064	147476352	147404640	147332928	147261216	147189504	147117792	147046080	146974368	146902656	146830944	146759232	146687520	146615808	146544096	146472384	146400672			
156282880	156207072	156131264	156055456	155979648	155903840	155828032	155752224	155676416	155600608	155524800	155448992	155373184	155297376	155221568	155145760	155069952	154994144	154918336	154842528			

For data size = 128

Time taken to execute in seconds : 0.088841

45793280	45785024	45776768	45768512	45760256	45752000	45743744	45735488	45727232	45718976	45710720	45702464	45694208	45685952	45677696	45669440	45661184	45652928	45644672	45636416	45628160	45619904	45611648
181059584	181034944	181010304	180985664	180961024	180936384	180911744	180887104	180862464	180837824	180813184	180788544	180763904	180739264	180714624	180689984	180665344	180640704	180616064	180591424	180566784	180542144	180517504
316325888	316284864	316243840	316202816	316161792	316120768	316079744	316038720	315997696	315956672	315915648	315874624	315833600	315792576	315751552	315710528	315669504	315628480	315587456	315546432	315505408	315464384	315423360
451592192	451534784	451477376	451419968	451362560	451305152	451247744	451190336	451132928	451075520	451018112	450960704	450903296	450845888	450788480	450731072	450673664	450616256	450558848	450501440	450444032	450386624	450329216
586858496	586784704	586710912	586637120	586563328	586489536	586415744	586341952	586268160	586194368	586120576	586046784	585972992	585899200	585825408	585751616	585677824	585604032	585530240	585456448	585382656	585308864	585235072
722124800	722034624	721944448	721854272	721764096	721673920	721583744	721493568	721403392	721313216	721223040	721132864	721042688	720952512	720862336	720772160	720681984	720591808	720501632	720411456	720321280	720231104	720140928
857391104	857284544	857177984	857071424	856964864	856858304	856751744	856645184	856538624	856432064	856325504	856218944	856112384	856005824	855899264	855792704	855686144	855579584	855473024	855366464	855259904	855153344	855046784
992657408	992534464	992411520	992288576	992165632	992042688	991919744	991796800	991673856	991550912	991427968	991305024	991182080	991059136	990936192	990813248	990690304	990567360	990444416	990321472	990198528	990075584	989952640
1127923712	1127784384	1127645056	1127505728	1127366400	1127227072	1127087744	1126948416	1126809088	1126669760	1126530432	1126391104	1126251776	1126112448	1125973120	1125833792	1125694464	1125555136	1125415808	1125276480	1125137152	1124997824	1124858496
1263190016	1263034304	1262878592	1262722880	1262567168	1262411456	1262255744	1262100032	1261944320	1261788608	1261632896	1261477184	1261321472	1261165760	1261009048	1260853336	1260697624	1260541912	1260386200	1260230488	1260074776	1259919064	1259763352
1398456320	1398284224	1398112128	1397940032	1397767936	1397595840	1397423744	1397251648	1397079552	1396907456	1396735360	1396563264	1396391168	1396219072	1396046976	1395874880	1395702784	1395530688	1395358592				

## Analysis:

Number of threads	Data Size (n)	Execution time
$O(n^2)$	32	0.102138
$O(n^2)$	64	0.096571
$O(n^2)$	128	0.088841
$O(n^2)$	256	0.091417

For performing the matrix-matrix multiplication, we have used the block of  $n^2$  threads, as we have to calculate  $n^2$  elements in the resultant matrix. For calculating each element of the result matrix, a row of the first matrix and one column of the second matrix is needed. So, we have assigned the unique row and column to each thread. We can get the unique row and column by using the block indexes and thread indexes, as they are unique as a combination.

## Problem Statement 2:

Implement Matrix-matrix Multiplication using shared memory in CUDA C. Analyze and tune the program for getting maximum speed up. Do Profiling and state what part of the code takes the huge amount of time to execute.

### Code:

```
%%cu
#include<stdio.h>
#include <time.h>
const int n = 128;
__global__ void multiply(int *mat1, int *mat2, int *result, int n)
{
    int row = blockIdx.y;
    int col = blockIdx.x;
    int k = threadIdx.x;

    __shared__ int temp[1000];
    temp[k]=mat1[row*n+k]*mat2[k*n+col];
```

```

__syncthreads();

for(int i=0;i<n;i++)
{
    result[row*n+col]+=temp[i];
}
}

int main()
{
    clock_t start, end;
    start = clock();
    int mat1[n*n];
    int mat2[n*n];
    for(int i=0;i<n*n;i++)
    {
        mat1[i]=i+1;
        mat2[i]=n*n-i;
    }
    int result[n*n];
    int *d_mat1, *d_mat2, *d_result;
    cudaMalloc(&d_mat1, n*n*sizeof(int));
    cudaMalloc(&d_mat2, n*n*sizeof(int));
    cudaMalloc(&d_result, n*n*sizeof(int));

    cudaMemcpy(d_mat1, mat1, n*n*sizeof(int), cudaMemcpyHostToDevice);
    cudaMemcpy(d_mat2, mat2, n*n*sizeof(int), cudaMemcpyHostToDevice);

    dim3 blocks(n,n);
    multiply<<<blocks,n>>>(d_mat1,d_mat2,d_result,n);
    cudaDeviceSynchronize();

    cudaMemcpy(result, d_result, n*n*sizeof(int), cudaMemcpyDeviceToHost);

    end = clock();
    double duration = ((double)end - start) / CLOCKS_PER_SEC;
    printf("\nTime taken to execute in seconds : %f\n", duration);

    for(int i=0;i<n;i++)
    {

```

```

for(int j=0;j<n;j++)
{
    printf("%d ",result[i*n+j]);

}

printf("\n");

}

return 0;
}

```

Output:

For data size = 16

```

Time taken to execute in seconds : 0.136724
13056 12920 12784 12648 12512 12376 12240 12104 11968 11832 11696 11560 11424 11288 11152 11016
47872 47480 47088 46696 46304 45912 45520 45128 44736 44344 43952 43560 43168 42776 42384 41992
82688 82040 81392 80744 80096 79448 78800 78152 77504 76856 76208 75560 74912 74264 73616 72968
117504 116600 115696 114792 113888 112984 112080 111176 110272 109368 108464 107560 106656 105752 104848 103944
152320 151160 150000 148840 147680 146520 145360 144200 143040 141880 140720 139560 138400 137240 136080 134920
187136 185720 184304 182888 181472 180056 178640 177224 175808 174392 172976 171560 170144 168728 167312 165896
221952 220280 218608 216936 215264 213592 211920 210248 208576 206904 205232 203560 201888 200216 198544 196872
256768 254840 252912 250984 249056 247128 245200 243272 241344 239416 237488 235560 233632 231704 229776 227848
291584 289400 287216 285032 282848 280664 278480 276296 274112 271928 269744 267560 265376 263192 261008 258824
326400 323960 321520 319080 316640 314200 311760 309320 306880 304440 302000 299560 297120 294680 292240 289800

```

For data size = 32

```

Time taken to execute in seconds : 0.092112
191488 190960 190432 189904 189376 188848 188320 187792 187264 186736 186208 185680 185152 184624 184096 183568 183040 182512 181984 181456 180928 180400 179872 179344
732160 730608 729056 727504 725952 724400 722848 721296 719744 718192 716640 715088 713536 711984 710432 708880 707328 705776 704224 702672 701120 699568 698016 696464
1272832 1270256 1267680 1265104 1262528 1259952 1257376 1254800 1252224 1249648 1247072 1244496 1241920 1239344 1236768 1234192 1231616 1229040 1226464 1223888 1221312 1218736 1216160 1213584 1211008 1208432 1205856 1203280 1200704 1198128 1195552 1192976 1190400 1187824 1185248 1182672 1180100 1177524 1174948 1172372 1169796 1167220 1164644 1162068 1159492 1156916 1154340 1151764 1149188 1146612 1144036 1141460 1138884 1136308 1133732 1131156 1128580 1125996 1123412 1120828 1118244 1115660 1113076 1110492 1107908 1105324 1102740 1100156 1097572 1094988 1092404 1089820 1087236 1084652 1082068 1079484 1076900 1074316 1071732 1069148 1066564 1063980 1061396 1058812 1056228 1053644 1051060 1048476 1045892 1043308 1040724 1038140 1035556 1032972 1030388 1027804 1025220 1022636 1020052 1017468 1014884 1012300 1009716 1007132 1004548 1001964 999380 996796 994212 991628 989044 986460 983876 981292 978708 976124 973540 970956 968372 965788 963204 960620 958036 955452 952868 950284 947700 945116 942532 939948 937364 934780 932196 929612 927028 924444 921860 919276 916692 914108 911524 908940 906356 903772 901188 898604 896020 893436 890852 888268 885684 883100 880516 877932 875348 872764 870180 867596 865012 862428 859844 857260 854676 852092 849508 846924 844340 841756 839172 836588 834004 831420 828836 826252 823668 821084 818500 815916 813332 810748 808164 805580 802996 800412 797828 795244 792660 790076 787492 784908 782324 779740 777156 774572 771988 769404 766820 764236 761652 759068 756484 753900 751316 748732 746148 743564 740980 738396 735812 733228 730644 728060 725476 722892 720308 717724 715140 712556 709972 707388 704804 702220 699636 697052 694468 691884 689300 686716 684132 681548 678964 676380 673796 671212 668628 666044 663460 660876 658292 655708 653124 650540 647956 645372 642788 640204 637620 635036 632452 629868 627284 624700 622116 619532 616948 614364 611780 609196 606612 604028 601444 598860 596276 593692 591108 588524 585940 583356 580772 578188 575604 573020 570436 567852 565268 562684 560100 557516 554932 552348 549764 547180 544596 542012 539428 536844 534260 531676 529092 526508 523924 521340 518756 516172 513588 511004 508420 505836 503252 500668 498084 495500 492916 490332 487748 485164 482580 479996 477412 474828 472244 469660 467076 464492 461908 459324 456740 454156 451572 448988 446404 443820 441236 438652 436068 433484 430900 428316 425732 423148 420564 417980 415396 412812 410228 407644 405060 402476 399892 397308 394724 392140 389556 386972 384388 381804 379220 376636 374052 371468 368884 366300 363716 361132 358548 355964 353380 350796 348212 345628 343044 340460 337876 335292 332708 330124 327540 324956 322372 319788 317204 314620 312036 309452 306868 304284 301700 299116 296532 293948 291364 288780 286196 283612 281028 278444 275860 273276 270692 268108 265524 262940 260356 257772 255188 252604 250020 247436 244852 242268 239684 237100 234516 231932 229348 226764 224180 221596 219012 216428 213844 211260 208676 206092 203508 200924 198340 195756 193172 190588 188004 185420 182836 180252 177668 175084 172500 169916 167332 164748 162164 159580 156996 154412 151828 149244 146660 144076 141492 138908 136324 133740 131156 128572 125988 123404 120820 118236 115652 113068 110484 107900 105316 102732 100148 97564 94980 92396 89812 87228 84644 82060 79476 76892 74308 71724 69140 66556 63972 61388 58804 56220 53636 51052 48468 45884 43300 40716 38132 35548 32964 30380 27796 25212 22628 20044 17460 14876 12292 9708 7124 4540 1956
11004928 10983920 10962912 10941904 10920896 10899888 10878880 10857872 10836864 10815856 10794848 10773840 10752832 10731824 10710816 10689808 10668800 10647792

```

For data size = 64

```

Time taken to execute in seconds : 0.092176
2928640 2926560 2924480 2922400 2920320 2918240 2916160 2914080 2912000 2909920 2907840 2905760 2903680 2901600 2899520 2897440 2895360 2893280 2891200 2889120 2887040 2884960 2882880 2880800 2878720 2876640 2874560 2872480 2870400 2868320 2866240 2864160 2862080 2860000 2857920 2855840 2853760 2851680 2849600 2847520 2845440 2843360 2841280 2839200 2837120 2835040 2832960 2830880 2828800 2826720 2824640 2822560 2820480 2818400 2816320 2814240 2812160 2810080 2808000 2805920 2803840 2801760 2799680 2797600 2795520 2793440 2791360 2789280 2787200 2785120 2783040 2780960 2778880 2776800 2774720 2772640 2770560 2768480 2766400 2764320 2762240 2760160 2758080 2756000 2753920 2751840 2749760 2747680 2745600 2743520 2741440 2739360 2737280 2735200 2733120 2731040 2728960 2726880 2724800 2722720 2720640 2718560 2716480 2714400 2712320 2710240 2708160 2706080 2704000 2701920 2699840 2697760 2695680 2693600 2691520 2689440 2687360 2685280 2683200 2681120 2679040 2676960 2674880 2672800 2670720 2668640 2666560 2664480 2662400 2660320 2658240 2656160 2654080 2652000 2649920 2647840 2645760 2643680 2641600 2639520 2637440 2635360 2633280 2631200 2629120 2627040 2624960 2622880 2620800 2618720 2616640 2614560 2612480 2610400 2608320 2606240 2604160 2602080 2600000 2597920 2595840 2593760 2591680 2589600 2587520 2585440 2583360 2581280 2579200 2577120 2575040 2572960 2570880 2568800 2566720 2564640 2562560 2560480 2558400 2556320 2554240 2552160 2550080 2548000 2545920 2543840 2541760 2539680 2537600 2535520 2533440 2531360 2529280 2527200 2525120 2523040 2520960 2518880 2516800 2514720 2512640 2510560 2508480 2506400 2504320 2502240 2500160 2498080 2496000 2493920 2491840 2489760 2487680 2485600 2483520 2481440 2479360 2477280 2475200 2473120 2471040 2468960 2466880 2464800 2462720 2460640 2458560 2456480 2454400 2452320 2450240 2448160 2446080 2444000 2441920 2439840 2437760 2435680 2433600 2431520 2429440 2427360 2425280 2423200 2421120 2419040 2416960 2414880 2412800 2410720 2408640 2406560 2404480 2402400 2400320 2398240 2396160 2394080 2392000 2389920 2387840 2385760 2383680 2381600 2379520 2377440 2375360 2373280 2371200 2369120 2367040 2364960 2362880 2360800 2358720 2356640 2354560 2352480 2350400 2348320 2346240 2344160 2342080 2340000 2337920 2335840 2333760 2331680 2329600 2327520 2325440 2323360 2321280 2319200 2317120 2315040 2312960 2310880 2308800 2306720 2304640 2302560 2300480 2298400 2296320 2294240 2292160 2290080 2288000 2285920 2283840 2281760 2279680 2277600 2275520 2273440 2271360 2269280 2267200 2265120 2263040 2260960 2258880 2256800 2254720 2252640 2250560 2248480 2246400 2244320 2242240 2240160 2238080 2236000 2233920 2231840 2229760 2227680 2225600 2223520 2221440 2219360 2217280 2215200 2213120 2211040 2208960 2206880 2204800 2202720 2200640 2198560 2196480 2194400 2192320 2190240 2188160 2186080 2184000 2181920 2179840 2177760 2175680 2173600 2171520 2169440 2167360 2165280 2163200 2161120 2159040 2156960 2154880 2152800 2150720 2148640 2146560 2144480 2142400 2140320 2138240 2136160 2134080 2132000 2129920 2127840 2125760 2123680 2121600 2119520 2117440 2115360 2113280 2111200 2109120 2107040 2104960 2102880 2100800 2098720 2096640 2094560 2092480 2090400 2088320 2086240 2084160 2082080 2080000 2077920 2075840 2073760 2071680 2069600 2067520 2065440 2063360 2061280 2059200 2057120 2055040 2052960 2050880 2048800 2046720 2044640 2042560 2040480 2038400 2036320 2034240 2032160 2030080 2028000 2025920 2023840 2021760 2019680 2017600 2015520 2013440 2011360 2009280 2007200 2005120 2003040 2000960 1998880 1996800 1994720 1992640 1990560 1988480 1986400 1984320 1982240 1980160 1978080 1976000 1973920 1971840 1969760 1967680 1965600 1963520 1961440 1959360 1957280 1955200 1953120 1951040 1948960 1946880 1944800 1942720 1940640 1938560 1936480 1934400 1932320 1930240 1928160 1926080 1924000 1921920 1919840 1917760 1915680 1913600 1911520 1909440 1907360 1905280 1903200 1901120 1899040 1896960 1894880 1892800 1890720 1888640 1886560 1884480 1882400 1880320 1878240 1876160 1874080 1872000 1869920 1867840 1865760 1863680 1861600 1859520 1857440 1855360 1853280 1851200 1849120 1847040 1844960 1842880 1840800 1838720 1836640 1834560 1832480 1830400 1828320 1826240 1824160 1822080 1820000 1817920 1815840 1813760 1811680 1809600 1807520 1805440 1803360 1801280 1799200 1797120 1795040 1792960 1790880 1788800 1786720 1784640 1782560 1780480 1778400 1776320 1774240 1772160 1770080 1768000 1765920 1763840 1761760 1759680 1757600 1755520 1753440 1751360 1749280 1747200 1745120 1743040 1740960 1738880 1736800 1734720 1732640 1730560 1728480 1726400 1724320 1722240 1720160 1718080 1716000 1713920 1711840 1709760 1707680 1705600 1703520 1701440 1699360 1697280 1695200 1693120 1691040 1688960 1686880 1684800 1682720 1680640 1678560 1676480 1674400 1672320 1670240 1668160 1666080 1664000 1661920 1659840 1657760 1655680 1653600 1651520 1649440 1647360 1645280 1643200 1641120 1639040 1636960 1634880 1632800 1630720 1628640 1626560 1624480 1622400 1620320 1618240 1616160 1614080 1612000 1609920 1607840 1605760 1603680 1601600 1599520 1597440 1595360 1593280 1591200 1589120 1587040 1584960 1582880 1580800 1578720 1576640 1574560 1572480 1570400 1568320 1566240 1564160 1562080 1560000 1557920 1555840 1553760 1551680 1549600 1547520 1545440 1543360 1541280 1539200 1537120 1535040 1532960 1530880 1528800 1526720 1524640 1522560 1520480 1518400 1516320 1514240 1512160 1510080 1508000 1505920 1503840 1501760 1499680 1497600 1495520 1493440 1491360 1489280 1487200 1485120 1483040 1480960 1478880 1476800 1474720 1472640 1470560 1468480 1466400 1464320 1462240 1460160 1458080 1456000 1453920 1451840 1449760 1447680 1445600 1443520 1441440 1439360 1437280 1435200 1433120 1431040 1428960 1426880 1424800 1422720 1420640 1418560 1416480 1414400 1412320 1410240 1408160 1406080 1404000 1401920 1399840 1397760 1395680 1393600 1391520 1389440 1387360 1385280 1383200 1381120 1379040 1376960 1374880 1372800 1370720 1368640 1366560 1364480 1362400 1360320 1358240 1356160 1354080 1352000 1349920 1347840 1345760 1343680 1341600 1339520 1337440 1335360 1333280 1331200 1329120 1327040 1324960 1322880 1320800 1318720 1316640 1314560 1312480 1310400 1308320 1306240 1304160 1302080 1300000 1297920 1295840 1293760 1291680 1289600 1287520 1285440 1283360 1281280 1279200 1277120 1275040 1272960 1270880 1268800 1266720 1264640 1262560 1260480 1258400 1256320 1254240 1252160 1250080 1248000 1245920 1243840 1241760 1239680 1237600 1235520 1233440 1231360 1229280 1227200 1225120 1223040 1220960 1218880 1216800 1214720 1212640 1210560 1208480 1206400 1204320 1202240 1200160 1198080 1196000 1193920 1191840 1189760 1187680 1185600 1183520 1181440 1179360 1177280 1175200 1173120 1171040 1168960 1166880 1164800 1162720 1160640 1158560 1156480 1154400 1152320 1150240 1148160 1146080 1144000 1141920 1139840 1137760
```

For data size = 128

```
Time taken to execute in seconds : 0.091690
45793280 45785024 45776768 45768512 45760256 45752000 45743744 45735488 45727232 45718976 45710720 45702464 45694208 45685952 45677696 45669440 45661184 45652880 45644624 45636368 45628112 45619856 45611600 45603344 45595088 45586832 45578576 45570320 45562064 45553808 45545552 45537296 45529040 45520784 45512528 45504272 45496016 45487760 45479504 45471248 45462992 45454736 45446480 45438224 45429968 45421712 45413456 45405200 45396944 45388688 45380432 45372176 45363920 45355664 45347408 45339152 45330896 45322640 45314384 45306128 45297872 45289616 45281360 45273104 45264848 45256592 45248336 45240080 45231824 45223568 45215312 45207056 45198800 45190544 45182288 45174032 45165776 45157520 45149264 45141008 45132752 45124496 45116240 45107984 45100000 45091744 45083488 45075232 45066976 45058720 45050464 45042208 45033952 45025696 45017440 45009184 45000928 44992672 44984416 44976160 44967904 44959648 44951392 44943136 44934880 44926624 44918368 44910112 44901856 44893600 44885344 44877088 44868832 44860576 44852320 44844064 44835808 44827552 44819296 44811040 44802784 44794528 44786272 44778016 44769760 44761504 44753248 44744992 44736736 44728480 44720224 44711968 44703712 44695456 44687200 44678944 44670688 44662432 44654176 44645920 44637664 44629408 44621152 44612896 44604640 44596384 44588128 44579872 44571616 44563360 44555104 44546848 44538592 44530336 44522080 44513824 44505568 44497312 44489056 44480800 44472544 44464288 44456032 44447776 44439520 44431264 44423008 44414752 44406496 44398240 44389984 44381728 44373472 44365216 44356960 44348704 44340448 44332192 44323936 44315680 44307424 44299168 44290912 44282656 44274400 44266144 44257888 44249632 44241376 44233120 44224864 44216608 44208352 44200096 44191840 44183584 44175328 44167072 44158816 44150560 44142304 44134048 44125792 44117536 44109280 44101024 44092768 44084512 44076256 44068000 44059744 44051488 44043232 44034976 44026720 44018464 44010208 44001952 43993696 43985440 43977184 43968928 43960672 43952416 43944160 43935904 43927648 43919392 43911136 43902880 43894624 43886368 43878112 43869856 43861600 43853344 43845088 43836832 43828576 43820320 43812064 43803808 43795552 43787296 43779040 43770784 43762528 43754272 43746016 43737760 43729504 43721248 43712992 43704736 43696480 43688224 43679968 43671712 43663456 43655200 43646944 43638688 43630432 43622176 43614016 43605760 43597504 43589248 43580992 43572736 43564480 43556224 43547968 43539712 43531456 43523200 43514944 43506688 43498432 43490176 43481920 43473664 43465408 43457152 43448896 43440640 43432384 43424128 43415872 43407616 43399360 43391104 43382848 43374592 43366336 43358080 43349824 43341568 43333312 43325056 43316800 43308544 43300288 43292032 43283776 43275520 43267264 43259008 43250752 43242496 43234240 43225984 43217728 43209472 43201216 43192960 43184704 43176448 43168192 43159936 43151680 43143424 43135168 43126912 43118656 43110400 43102144 43093888 43085632 43077376 43069120 43060864 43052608 43044352 43036096 43027840 43019584 43011328 43003072 42994816 42986560 42978304 42970048 42961792 42953536 42945280 42937024 42928768 42920512 42912256 42904000 42895744 42887488 42879232 42870976 42862720 42854464 42846208 42837952 42829696 42821440 42813184 42804928 42796672 42788416 42780160 42771904 42763648 42755392 42747136 42738880 42730624 42722368 42714112 42705856 42697600 42689344 42681088 42672832 42664576 42656320 42648064 42639808 42631552 42623296 42615040 42606784 42598528 42590272 42582016 42573760 42565504 42557248 42548992 42540736 42532480 42524224 42515968 42507712 42499456 42491200 42482944 42474688 42466432 42458176 42449920 42441664 42433408 42425152 42416896 42408640 42400384 42392128 42383872 42375616 42367360 42359104 42350848 42342592 42334336 42326080 42317824 42309568 42301312 42293056 42284800 42276544 42268288 42260032 42251776 42243520 42235264 42227008 42218752 42210496 42202240 42193984 42185728 42177472 42169216 42160960 42152704 42144448 42136192 42127936 42119680 42111424 42103168 42094912 42086656 42078400 42070144 42061888 42053632 42045376 42037120 42028864 42020608 42012352 42004096 41995840 41987584 41979328 41971072 41962816 41954560 41946304 41938048 41929792 41921536 41913280 41905024 41896768 41888512 41880256 41872000 41863744 41855488 41847232 41838976 41830720 41822464 41814208 41805952 41797696 41789440 41781184 41772928 41764672 41756416 41748160 41739904 41731648 41723392 41715136 41706880 41698624 41690368 41682112 41673856 41665600 41657344 41649088 41640832 41632576 41624320 41616064 41607808 41599552 41591296 41583040 41574784 41566528 41558272 41550016 41541760 41533504 41525248 41516992 41508736 41500480 41492224 41483968 41475712 41467456 41459200 41450944 41442688 41434432 41426176 41417920 41409664 41401408 41393152 41384896 41376640 41368384 41360128 41351872 41343616 41335360 41327104 41318848 41310592 41302336 41294080 41285824 41277568 41269312 41261056 41252800 41244544 41236288 41228032 41219776 41211520 41203264 41195008 41186752 41178496 41170240 41161984 41153728 41145472 41137216 41128960 41120704 41112448 41104192 41095936 41087680 41079424 41071168 41062912 41054656 41046400 41038144 41029888 41021632 41013376 41005120 40996864 40988608 40980352 40972096 40963840 40955584 40947328 40939072 40930816 40922560 40914304 40906048 40897792 40889536 40881280 40873024 40864768 40856512 40848256 40840000 40831744 40823488 40815232 40806976 40798720 40790464 40782208 40773952 40765696 40757440 40749184 40740928 40732672 40724416 40716160 40707904 40699648 40691392 40683136 40674880 40666624 40658368 40650112 40641856 40633600 40625344 40617088 40608832 40600576 40592320 40584064 40575808 40567552 40559296 40551040 40542784 40534528 40526272 40518016 40509760 40501504 40493248 40484992 40476736 40468480 40460224 40451968 40443712 40435456 40427200 40418944 40410688 40402432 40394176 40385920 40377664 40369408 40361152 40352896 40344640 40336384 40328128 40319872 40311616 40303360 40295104 40286848 40278592 40270336 40262080 40253824 40245568 40237312 40229056 40220800 40212544 40204288 40196032 40187776 40179520 40171264 40163008 40154752 40146496 40138240 40129984 40121728 40113472 40105216 40096960 40088704 40080448 40072192 40063936 40055680 40047424 40039168 40030912 40022656 40014400 40006144 39997888 39989632 39981376 39973120 39964864 39956608 39948352 39940096 39931840 39923584 39915328 39907072 39898816 39890560 39882304 39874048 39865792 39857536 39849280 39841024 39832768 39824512 39816256 39808000 39799744 39791488 39783232 39774976 39766720 39758464 39750208 39741952 39733696 39725440 39717184 39708896 39700640 39692384 39684128 39675872 39667616 39659360 39651104 39642848 39634592 39626336 39618080 39609824 39601568 39593312 39585056 39576800 39568544 39560288 39552032 39543776 39535520 39527264 39519008 39510752 39502496 39494240 39485984 39477728 39469472 39461216 39452960 39444704 39436448 39428192 39419936 39411680 39403424 39395168 39386912 39378656 39370400 39362144 39353888 39345632 39337376 39329120 39320864 39312608 39304352 39296096 39287840 39279584 39271328 39263072 39254816 39246560 39238304 39230048 39221792 39213536 39205280 39197024 39188768 39180512 39172256 39164000 39155744 39147488 39139232 39130976 39122720 39114464 39106208 39097952 39089696 39081440 39073184 39064928 39056672 39048416 39040160 39031904 39023648 39015392 39007136 38998880 38990624 38982368 38974112 38965856 38957600 38949344 38941088 38932832 38924576 38916320 38908064 38899808 38891552 38883296 38875040 38866784 38858528 38850272 38842016 38833760 38825504 38817248 38808992 38800736 38792480 38784224 38775968 38767712 38759456 38751200 38742944 38734688 38726432 38718176 38709920 38701664 38693408 38685152 38676896 38668640 38660384 38652128 38643872 38635616 38627360 38619104 38610848 38602592 38594336 38586080 38577824 38569568 38561312 38553056 38544800 38536544 38528288 38520032 38511776 38503520 38495264 38487008 38478752 38470496 38462240 38453984 38445728 38437472 38429216 38420960 38412704 38404448 38396192 38387936 38379680 38371424 38363168 38354912 38346656 38338400 38330144 38321888 38313632 38305376 38297120 38288864 38280608 38272352 38264096 38255840 38247584 38239328 38231072 38222816 38214560 38206304 38198048 38189792 38181536 38173280 38165024 38156768 38148512 38140256 38132000 38123744 38115488 38107232 38098976 38090720 38082464 38074208 38065952 38057696 38049440 38041184 38032928 38024672 38016416 38008160 37999904 37991648 37983392 37975136 37966880 37958624 37950368 37942112 37933856 37925600 37917344 37909088 37900832 37892576 37884320 37876064 37867808 37859552 37851296 37843040 37834784 37826528 37818272 37810016 37801760 37793504 37785248 37776992 37768736 37760480 37752224 37743968 37735712 37727456 37719200 37710944 37702688 37694432 37686176 37677920 37669664 37661408 37653152 37644896 37636640 37628384 37620128 37611872 37603616 37595360 37587104 37578848 37570592 37562336 37554080 37545824 37537568 37529312 37521056 37512800 37504544 37496288 37488032 37479776 37471520 37463264 37455008 37446752 37438496 37430240 37421984 37413728 37405472 37397216 37388960 37380704 37372448 37364192 37355936 37347680 37339424 37331168 37322912 37314656 37306400 37298144 37289888 37281632 37273376 37265120 37256864 37248608 37240352 37232096 37223840 37215584 37207328 37199072 37190816 37182560 37174304 37166048 37157792 37149536 37141280 37133024 37124768 37116512 37108256 37100000 37091744 37083488 37075232 37066976 37058720 37050464 37042208 37033952 37025696 37017440 37009184 37000928 36992672 36984416 36976160 36967904 36959648 36951392 36943136 36934880 36926624 36918368 36910112 36901856 36893600 36885344 36877088 36868832 36860576 36852320 36844064 36835808 36827552 36819296 36811040 36802784 36794528 36786272 36778016 36769760 36761504 36753248 36744992 36736736 36728480 36720224 36711968 36703712 36695456 36687200 36678944 36670688 36662432 36654176 36645920 36637664 36629408 36621152 36612896 36604640 36596384 36588128 36579872 36571616 36563360 36555104 36546848 36538592 36530336 36522080 36513824 36505568 36497312 36489056 36480800 36472544 36464288 36456032 36447776 36439520 36431264 36423008 36414752 36406496 36398240 36389984 36381728 36373472 36365216 36356960 36348704 36340448 36332192 36323936 36315680 36307424 36299168 36290912 36282656 36274400 36266144 36257888 36249632 36241376 36233120 36224864 36216608 36208352 36200096 36191840 36183584 36175328 36167072 36158816 36150560 36142304 36134048 36125792 36117536 36109280 36101024 36092768 36084512 36076256 36068240 36059984 36051728 36043472 36035216 36026960 36018704 36010448 36002192 35993936 35985680 35977424 35969168 35960912 35952656 35944400 35936144 35927888 35919632 35911376 35903120 35894864 35886608 35878352 35870096 35861840 35853584 35845328 35837072 35828816 35820560 35812304 35804048 35795792 35787536 35779280 35771024 35762768 35754512 35746256 35738000 35729744 35721488 35713232 35704976 35696720 35688464 35680208 35671952 35663696 35655440 35647184 35638928 35630672 35622416 35614160 35605904 35597648 35589392 35581136 35572880 35564624 35556368 35548112 35539856 35531600 35523344 35515088 35506832 35498576 35490320 35482064 35473808 35465552 35457296 35449040 35440784 35432528 35424272 35416016 35407760 35399504 35391248 35382992 35374736 35366480 35358224 35349968 35341712 35333456 35325200 35316944 35308688 35300432 35292176 35283920 35275664 35267408 35259152 35250896 35242640 35234384 35226128 35217872 35209616 35201360 35193104 35184848 35176592 35168336 35160080 35151824 35143568 35135312 35127056 35118800 35110544 35102288 35094032 35085776 35077520 35069264 35061008 35052752 35044504 35036248 35027992 35019736 35011480 35003224 34994968 34986712 34978456 34970200 34961944 34953688 34945432 34937176 34928920 34920664 34912408 34904152 34895896 34887640 34879384 34871128 34862872 34854616 34846360 34838104 34829848 34821592 34813336 34805080 34796824 34788568 34780312 34772056 34763800 34755544 34747288 34739032 34730776 34722520 34714264 34706008 34697752 34689496 34681240 34672984 34664728 34656472 34648216 34639960 34631704 34623448 34615192 34606936 34598680 34590424 34582168 34573912 34565656 34557400 34549144 34540888 34532632 34524376 345
```

### Problem Statement 3:

Implement 2D Convolution using shared memory using CUDA C. Analyze and tune the program for getting maximum speed up. Do Profiling and state what part of the code takes the huge amount of time to execute.

### Code:

```
%%cu
#include<stdio.h>
#include <time.h>
const int n = 128;
__global__ void calculate2DConvolution(int *image, int *mask, int *result,
int n, int maskdim)
{
    int offset = maskdim/2;
    int row = blockIdx.y * blockDim.y + threadIdx.y;
    int col = blockIdx.x * blockDim.x + threadIdx.x;
    if(row<n && col<n)
    {
        int start_row = row - offset;
        int start_col = col - offset;
        for(int i=0;i<maskdim;i++)
        {
            for(int j=0;j<maskdim;j++)
            {
                if(start_row+i>=0 && start_row+i<n && start_col+j>=0 &&
start_col+j<n)
                {
                    int cr = start_row+i, cc = start_col+j;
                    result[row*n+col]+=image[cr*n+cc]*mask[i*maskdim+j];
                }
            }
        }
    }
}
int main()
{
    clock_t start, end;
    start = clock();
    int maskdim =3;
```



```

int image[n*n];
for(int i=0;i<n*n;i++)
{
    int x=i/n;
    int y=i%n;
    image[i]=min(x,y);
}
int mask[]={1,2,3,4,5,6,7,8,9};
int result[n*n];
int *d_image, *d_mask, *d_result;
cudaMalloc(&d_image,n*n*sizeof(int));
cudaMalloc(&d_mask, maskdim*maskdim*sizeof(int));
cudaMalloc(&d_result, n*n*sizeof(int));
cudaMemcpy(d_image, image, n*n*sizeof(int), cudaMemcpyHostToDevice);
        cudaMemcpy(d_mask,      mask,      maskdim*maskdim*sizeof(int),
cudaMemcpyHostToDevice);
    int thread=2;
    int block=ceil((n*1.0)/thread);
    dim3 blocks(block,block);
    dim3 threads(thread,thread);

calculate2DConvolution<<<blocks,threads>>>>(d_image,d_mask,d_result,n,maskdim);

    cudaDeviceSynchronize();
    cudaMemcpy(result, d_result, n*n*sizeof(int), cudaMemcpyDeviceToHost);

    end = clock();
    double duration = ((double)end - start) / CLOCKS_PER_SEC;
    printf("\nTime taken to execute in seconds : %f\n", duration);
    for(int i=0;i<n;i++)
    {
        for(int j=0;j<n;j++)
        {
            printf("%d ",result[i*n+j]);
        }
        printf("\n");
    }
    return 0;
}

```

For data size = 16



Time taken to execute in seconds : 0.149074

9 17 24 24 24 24 24 15  
15 37 56 63 63 63 63 39  
18 48 82 101 108 108 108 66  
18 51 93 127 146 153 153 93  
18 51 96 138 172 191 198 120  
18 51 96 141 183 217 236 147  
18 51 96 141 186 228 262 167  
9 25 46 67 88 109 127 77

```
time: 1.2 s (started: 2023-11-06 04:44:18 +00:00)
```

For data size = 32



```
Time taken to execute in seconds : 0.092642
```

[illegible]

For data size = 64

Time taken to execute in seconds : 0.091365

[illegible]

For data size = 128

