

## Aufgabe 2.1: Netzwerkentwurf

**2D-Gitter:**  $16 \times 8 = 128$

Durchmesser: 20.6, gerundet 21

Grad der Knoten: 4

**2D-Torus:**  $16 \times 8 = 128$

Durchmesser: 10.31, gerundet 10

Grad der Knoten: 4

**7D-Hypercube:**  $2^7 = 128$

Durchmesser: 7

Grad der Knoten: 7

Wenn Geld egal wäre, würden wir den Hypercube implementieren, da mit diesem der Durchmesser am geringsten ist. Allerdings ist die Anzahl der Verbindungen auch sehr hoch, weswegen der 2D-Torus die zweite Wahl wäre. Dieser erfordert lediglich 22 Verbindungen mehr als das 2D-Gitter, bietet aber rund die Hälfte der Distanz des 2D-Gitters.

## Aufgabe 2.2

(b) Der Aufruf `open("b.txt", O_RDONLY)` schlägt fehl. Der ausgegebene Fehler lautet: *Can't open file!: Bad address.*

(c) In Zeile 112 und 117 sind die Indizes für den Dateinamen falsch. In Zeile 72 wurde `i` anstelle von `j` inkrementiert.

(e)

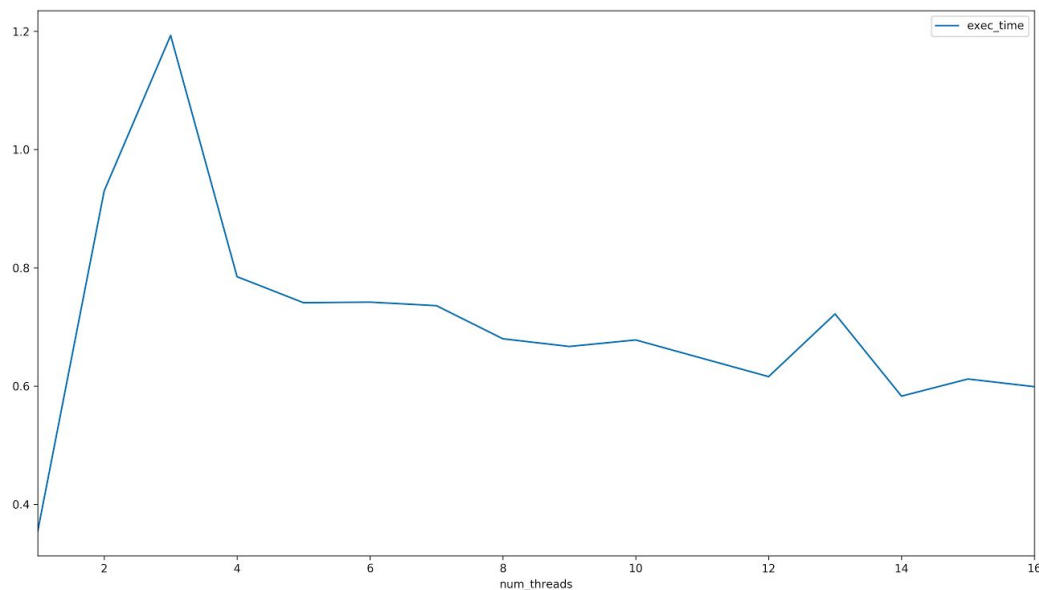
```
~/Desktop/Uni/Computational Science Uni Potsdam/SS2019/Parallel Computing/Abgabe 02/cluster-computing-q3/lat2/mat2 - ssh mml.a.txt < mml
74     for (k = 0; k < o+cols; ++k) {
75         y = o+data[i] * o+cols + k] * b+data[k] * b+cols + j];
76     }
77 }
78 }
79 }
80 }
81 }
82 }
83 }
84 }
85 }
86 }
87 }
88 }
89 }
90 }
91 }
92 }
93 }
94 }
95 }
96 }
97 }
98 }
99 }
100 }
101 }
102 }
103 }
104 }
105 }
106 }
107 }
108 }
109 }
110 }
111 }
112 }
113 }
114 }
115 }
116 }
117 }
118 }
119 }
120 }
121 }
122 }
123 }
124 }
125 }
126 }
127 }
128 }
129 }
130 }
131 }
132 }
133 }
134 }
135 }
136 }
137 }
138 }
139 }
140 }
141 }
142 }
143 }
144 }
145 }
146 }
147 }
148 }
149 }
150 }
151 }
152 }
153 }
154 }
155 }
156 }
157 }
158 }
159 }
160 }
161 }
162 }
163 }
164 }
165 }
166 }
167 }
168 }
169 }
170 }
171 }
172 }
173 }
174 }
175 }
176 }
177 }
178 }
179 }
180 }
181 }
182 }
183 }
184 }
185 }
186 }
187 }
188 }
189 }
190 }
191 }
192 }
193 }
194 }
195 }
196 }
197 }
198 }
199 }
200 }
201 }
202 }
203 }
204 }
205 }
206 }
207 }
208 }
209 }
210 }
211 }
212 }
213 }
214 }
215 }
216 }
217 }
218 }
219 }
220 }
221 }
222 }
223 }
224 }
225 }
226 }
227 }
228 }
229 }
230 }
231 }
232 }
233 }
234 }
235 }
236 }
237 }
238 }
239 }
240 }
241 }
242 }
243 }
244 }
245 }
246 }
247 }
248 }
249 }
250 }
251 }
252 }
253 }
254 }
255 }
256 }
257 }
258 }
259 }
260 }
261 }
262 }
263 }
264 }
265 }
266 }
267 }
268 }
269 }
270 }
271 }
272 }
273 }
274 }
275 }
276 }
277 }
278 }
279 }
280 }
281 }
282 }
283 }
284 }
285 }
286 }
287 }
288 }
289 }
290 }
291 }
292 }
293 }
294 }
295 }
296 }
297 }
298 }
299 }
300 }
301 }
302 }
303 }
304 }
305 }
306 }
307 }
308 }
309 }
310 }
311 }
312 }
313 }
314 }
315 }
316 }
317 }
318 }
319 }
320 }
321 }
322 }
323 }
324 }
325 }
326 }
327 }
328 }
329 }
330 }
331 }
332 }
333 }
334 }
335 }
336 }
337 }
338 }
339 }
340 }
341 }
342 }
343 }
344 }
345 }
346 }
347 }
348 }
349 }
350 }
351 }
352 }
353 }
354 }
355 }
356 }
357 }
358 }
359 }
360 }
361 }
362 }
363 }
364 }
365 }
366 }
367 }
368 }
369 }
370 }
371 }
372 }
373 }
374 }
375 }
376 }
377 }
378 }
379 }
380 }
381 }
382 }
383 }
384 }
385 }
386 }
387 }
388 }
389 }
390 }
391 }
392 }
393 }
394 }
395 }
396 }
397 }
398 }
399 }
400 }
401 }
402 }
403 }
404 }
405 }
406 }
407 }
408 }
409 }
410 }
411 }
412 }
413 }
414 }
415 }
416 }
417 }
418 }
419 }
420 }
421 }
422 }
423 }
424 }
425 }
426 }
427 }
428 }
429 }
430 }
431 }
432 }
433 }
434 }
435 }
436 }
437 }
438 }
439 }
440 }
441 }
442 }
443 }
444 }
445 }
446 }
447 }
448 }
449 }
450 }
451 }
452 }
453 }
454 }
455 }
456 }
457 }
458 }
459 }
460 }
461 }
462 }
463 }
464 }
465 }
466 }
467 }
468 }
469 }
470 }
471 }
472 }
473 }
474 }
475 }
476 }
477 }
478 }
479 }
480 }
481 }
482 }
483 }
484 }
485 }
486 }
487 }
488 }
489 }
490 }
491 }
492 }
493 }
494 }
495 }
496 }
497 }
498 }
499 }
500 }
501 }
502 }
503 }
504 }
505 }
506 }
507 }
508 }
509 }
510 }
511 }
512 }
513 }
514 }
515 }
516 }
517 }
518 }
519 }
520 }
521 }
522 }
523 }
524 }
525 }
526 }
527 }
528 }
529 }
530 }
531 }
532 }
533 }
534 }
535 }
536 }
537 }
538 }
539 }
540 }
541 }
542 }
543 }
544 }
545 }
546 }
547 }
548 }
549 }
550 }
551 }
552 }
553 }
554 }
555 }
556 }
557 }
558 }
559 }
560 }
561 }
562 }
563 }
564 }
565 }
566 }
567 }
568 }
569 }
570 }
571 }
572 }
573 }
574 }
575 }
576 }
577 }
578 }
579 }
580 }
581 }
582 }
583 }
584 }
585 }
586 }
587 }
588 }
589 }
590 }
591 }
592 }
593 }
594 }
595 }
596 }
597 }
598 }
599 }
600 }
601 }
602 }
603 }
604 }
605 }
606 }
607 }
608 }
609 }
610 }
611 }
612 }
613 }
614 }
615 }
616 }
617 }
618 }
619 }
620 }
621 }
622 }
623 }
624 }
625 }
626 }
627 }
628 }
629 }
630 }
631 }
632 }
633 }
634 }
635 }
636 }
637 }
638 }
639 }
640 }
641 }
642 }
643 }
644 }
645 }
646 }
647 }
648 }
649 }
650 }
651 }
652 }
653 }
654 }
655 }
656 }
657 }
658 }
659 }
660 }
661 }
662 }
663 }
664 }
665 }
666 }
667 }
668 }
669 }
670 }
671 }
672 }
673 }
674 }
675 }
676 }
677 }
678 }
679 }
680 }
681 }
682 }
683 }
684 }
685 }
686 }
687 }
688 }
689 }
690 }
691 }
692 }
693 }
694 }
695 }
696 }
697 }
698 }
699 }
700 }
701 }
702 }
703 }
704 }
705 }
706 }
707 }
708 }
709 }
710 }
711 }
712 }
713 }
714 }
715 }
716 }
717 }
718 }
719 }
720 }
721 }
722 }
723 }
724 }
725 }
726 }
727 }
728 }
729 }
730 }
731 }
732 }
733 }
734 }
735 }
736 }
737 }
738 }
739 }
740 }
741 }
742 }
743 }
744 }
745 }
746 }
747 }
748 }
749 }
750 }
751 }
752 }
753 }
754 }
755 }
756 }
757 }
758 }
759 }
760 }
761 }
762 }
763 }
764 }
765 }
766 }
767 }
768 }
769 }
770 }
771 }
772 }
773 }
774 }
775 }
776 }
777 }
778 }
779 }
780 }
781 }
782 }
783 }
784 }
785 }
786 }
787 }
788 }
789 }
790 }
791 }
792 }
793 }
794 }
795 }
796 }
797 }
798 }
799 }
800 }
801 }
802 }
803 }
804 }
805 }
806 }
807 }
808 }
809 }
810 }
811 }
812 }
813 }
814 }
815 }
816 }
817 }
818 }
819 }
820 }
821 }
822 }
823 }
824 }
825 }
826 }
827 }
828 }
829 }
830 }
831 }
832 }
833 }
834 }
835 }
836 }
837 }
838 }
839 }
840 }
841 }
842 }
843 }
844 }
845 }
846 }
847 }
848 }
849 }
850 }
851 }
852 }
853 }
854 }
855 }
856 }
857 }
858 }
859 }
860 }
861 }
862 }
863 }
864 }
865 }
866 }
867 }
868 }
869 }
870 }
871 }
872 }
873 }
874 }
875 }
876 }
877 }
878 }
879 }
880 }
881 }
882 }
883 }
884 }
885 }
886 }
887 }
888 }
889 }
890 }
891 }
892 }
893 }
894 }
895 }
896 }
897 }
898 }
899 }
900 }
901 }
902 }
903 }
904 }
905 }
906 }
907 }
908 }
909 }
910 }
911 }
912 }
913 }
914 }
915 }
916 }
917 }
918 }
919 }
920 }
921 }
922 }
923 }
924 }
925 }
926 }
927 }
928 }
929 }
930 }
931 }
932 }
933 }
934 }
935 }
936 }
937 }
938 }
939 }
940 }
941 }
942 }
943 }
944 }
945 }
946 }
947 }
948 }
949 }
950 }
951 }
952 }
953 }
954 }
955 }
956 }
957 }
958 }
959 }
960 }
961 }
962 }
963 }
964 }
965 }
966 }
967 }
968 }
969 }
970 }
971 }
972 }
973 }
974 }
975 }
976 }
977 }
978 }
979 }
980 }
981 }
982 }
983 }
984 }
985 }
986 }
987 }
988 }
989 }
990 }
991 }
992 }
993 }
994 }
995 }
996 }
997 }
998 }
999 }
1000 }
```

## Aufgabe 2.3: Parallele Berechnung von PI

1. PCAM-Modell für Monte-Carlo-Berechnung von pi:
  - a. **Partition:** Die  $N$  Monte-Carlo Simulationen sind unabhängig voneinander. Daher kann theoretisch jede Zufallssimulation parallel ausgeführt werden.
  - b. **Communication:** Das berechnen der einzelnen Monte-Carlo Simulationen ist komplett unabhängig und erfordert keine Kommunikation zwischen den einzelnen Tasks. Sind alle Zufallsexperimente berechnet worden, müssen die Ergebnisse zusammengeführt werden um das endgültige Ergebnis zu berechnen.
  - c. **Agglomeration:** Jede einzelne Monte-Carlo Simulation parallel auszuführen ist wahrscheinlich nicht effizient, da das Erstellen der Threads länger dauern würde als die Berechnung selber. Daher ist es sinnvoll die geforderten  $N$  Simulationen in  $k$  (möglichst) gleichgroße Teile aufzuteilen. Also  $k$  größere Teilaufgaben mit jeweils  $N/k$  zufälligen Simulationen. Die Auswahl von  $k$  hängt von der Hardware- und Systemarchitektur des ausführenden Rechners ab.
  - d. **Mapping:** Bei einer Architektur wie dem Zuse-Cluster macht es am meisten Sinn den oben genannten Parameter  $k$  auf die Anzahl der verfügbaren Hardware-Threads zu setzen. So werden die verfügbaren Ressourcen optimal ausgenutzt. Die "Kommunikation" am Ende der Simulationen kann über *shared memory* stattfinden und sollte zu vernachlässigen sein. Für die Ausführung auf einem Node des Zuse-Clusters heißt das konkret, dass  $k=16$  einen Knoten voll ausnutzen sollte.

2.

(e)



(f) Die folgende Tabelle gibt den Durchschnitt, die Standardabweichung und den Median des relativen Fehlers unserer Implementierung für verschiedene Anzahlen von Samples an, wobei jeder Durchlauf 100 mal wiederholt wurde um die Statistiken zu berechnen.

Relative Error Statistics for 100 runs.

	num_samples	mean	std	median
0	10000	0.004739	0.002600	0.004777
1	100000	-0.000720	0.001829	-0.001004
2	1000000	0.000020	0.000425	0.000016
3	10000000	-0.000555	0.000179	-0.000540

Die geringe Standardabweichung weist nicht darauf hin, dass hier ein grundlegendes Problem bei der Reproduzierbarkeit herrscht. Allerdings ist zu erwarten, dass in allen 100 Durchlaufen das exakt gleiche Ergebnis berechnet wird, da der Zufallszahlengenerator deterministisch ist und immer den gleichen Startzustand verwendet. Ein möglicher Grund für die Abweichungen ist, dass der Zufallszahlengenerator nicht Thread-Sicher gebaut ist. Es gibt kein Mutex oder eine kritische Sektion, welche den exklusiven Zugriff auf die Methode *pr\_random* garantiert. So kann der Zustand der globalen Variable *state* von einem Thread verändert werden während ein anderer die Variable schon geändert und verwenden möchte. Eine weitere Möglichkeit ist, dass durch die zufällige Reihenfolge mit der die Threads auf den Zufallszahlengenerator zugreifen die Zufalls-Samples bei jedem Durchlauf anders auf die Threads verteilt werden. So kann durch verschiedene Kombinationen von *x* und *y* jedes mal leicht abweichende Ergebnisse zustande kommen.