Универзитет у Београду  
Електротехнички факултет

**Перформансе рачунарских система**

пројекат

Лазар Цветковић  
2016/0127

мај 2020.

# Опис решења

Пројекат је подељен на два дела. Први део се састоји од аналитичког решавања задатог проблема, док други део представља симулирање система и проверу резултата добијених аналитичким и емпиријским путем.

Аналитичко решавање проблема је одрађено у језику C++, иако је првобитно била планирана Java. Због једноставности, коришћен је C++ због библиотеке за линеарну алгебру Armadillo. Најпре је било потребно направити одређене матрице, и то матрицу вероватноћа прелаза, одузети њу и јединичну матрицу, а онда решити , што представља матричну једначину. Матрица је сингуларна и не може да се реши Гаусовом методом, већ коришћење null space solver-а из горепоменуте библиотеке. По решавању једначине и применом додатних операција добија се вектор нормализованих потражњи сервера. Ово представља захтев (а), тј. рачунање потражњи Gordon-Newell-овом методом. Захтев задатка под (б) представља рачунање искоришћености сервера (U), пропусне моћи (X), просечног броја послова (N\_avg), времена одзива (R), као и времена проведеног у систему (T). Ово се све једноставно добија применом Buzen-е методе. Све формуле налазе се у материјалима са предавања и вежби, а резултати аналитичког рачуна су записани у одговарајућим текстуалним датотекама.

Симулација проблема је писана у језику Java, услед непотребности и комплексности функционалности које пружа језик C++. Симулатор ради са дискретним догађајима и извршава се 24 часова симулираног времена, и покретан је за различите конфигурације улазних параметара, а све по спецификацији пројекта. По задавању броја послова и броја корисничких дискова, прави се матрица вероватноћа прелаза, инстанцирају се објекти сервера, послова и симулатора. Врши се додавање свих послова у процесорски ред, а онда након тога се покреће симулација. Сваки сервер има свој ред за чекање. Догађај представља завршетак неког посла. Како би се обезбедило хронолошко извршавање догађаја, тј. регистровање краја посла, уведен је приоритетни ред догађаја. Алгоритам симулације се своди на то да се из реда догађаја узме најстарији завршен, серверу са кога је узет додели следећи посао ако он постоји и притом закаже догађај у време завршавање тог посла; а онда одреди на који сервер посао прелази на основу генератора бројева униформне расподеле и дода у ред за чекање тог новог сервера. Притом се води статистика догађаја потребних параметара за израчунавање горенаведених ставки. Симулатор по начину рада подсећа на симулаторе језика за опис хардвера. Симулација се ради у режиму јединичне симулације, као и усредњене по траженим параметрима. Резултати се налазе у одговарајућим текстуалним датотекама.

У наставку овог рада следи поређење перформанси система добијених на горенаведена два начина, њихов табеларни, као и графички приказ.

# Мерења за n = 10

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Зависност искоришћења (U) од K за n = 10** | | | | |
|  | **АНАЛИТИЧКИ** | **СИМУЛАЦИЈА** | **СИМУЛАЦИЈА УСРЕДЊЕНО** | **РЕСУРС** |
|  | [%] | [%] | [%] |  |
| K=2 | 56.5796 | 56.6030 | 56.5803 | процесор |
| 22.6319 | 22.6131 | 22.6300 | системски  диск 1 |
| 16.9739 | 16.9402 | 16.9664 | системски  диск 2 и 3 |
| 88.2642 | 88.2660 | 88.2731 | кориснички диск |
| K=3 | 72.6400 | 72.6515 | 72.6370 | процесор |
| 29.056 | 29.0390 | 29.0497 | системски  диск 1 |
| 21.7920 | 21.7983 | 21.7859 | системски  диск 2 и 3 |
| 75.5456 | 75.6075 | 75.5433 | кориснички диск |
| K=4 | 81.8791 | 81.9128 | 81.8713 | процесор |
| 32.7516 | 32.6960 | 32.7696 | системски  диск 1 |
| 24.5637 | 24.5793 | 24.5663 | системски  диск 2 и 3 |
| 63.8657 | 63.8682 | 63.8906 | кориснички диск |
| K=5 | 87.0895 | 87.0756 | 87.0874 | процесор |
| 34.8358 | 34.7836 | 34.8460 | системски  диск 1 |
| 26.1268 | 26.1095 | 26.1295 | системски  диск 2 и 3 |
| 54.3438 | 54.4169 | 54.3356 | кориснички диск |
| K=6 | 90.1579 | 90.1564 | 90.1561 | процесор |
| 36.0632 | 36.0791 | 36.0428 | системски  диск 1 |
| 27.0474 | 27.0560 | 27.0461 | системски  диск 2 и 3 |
| 46.8821 | 46.8746 | 46.8817 | кориснички диск |
| K=7 | 92.0769 | 92.0981 | 92.0836 | процесор |
| 36.8308 | 36.8195 | 36.8199 | системски  диск 1 |
| 27.6231 | 27.6644 | 27.6217 | системски  диск 2 и 3 |
| 41.0400 | 41.0530 | 41.0487 | кориснички диск |
| K=8 | 93.3480 | 93.3192 | 93.3573 | процесор |
| 37.3392 | 37.3371 | 37.3373 | системски  диск 1 |
| 28.0044 | 28.0525 | 27.9991 | системски  диск 2 и 3 |
| 36.4057 | 36.4429 | 36.3893 | кориснички диск |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Зависност времена одзива ресурса (R) од K за n = 10** | | | | |
|  | **АНАЛИТИЧКИ** | **СИМУЛАЦИЈА** | **СИМУЛАЦИЈА УСРЕДЊЕНО** | **РЕСУРС** |
|  | [ms] | [ms] | [ms] |  |
| K=2 | 10.8417 | 14.5710 | 14.5800 | процесор |
| 25.6778 | 29.3050 | 29.3400 | системски  диск 1 |
| 17.9894 | 21.7760 | 21.8580 | системски  диск 2 и 3 |
| 91.4919 | 85.0300 | 85.2940 | кориснички диск |
| K=3 | 14.4044 | 16.2660 | 16.2610 | процесор |
| 27.6958 | 29.7910 | 29.7910 | системски  диск 1 |
| 18.9728 | 21.5310 | 21.5400 | системски  диск 2 и 3 |
| 61.3642 | 58.0860 | 58.0570 | кориснички диск |
| K=4 | 17.2088 | 17.6840 | 17.8430 | процесор |
| 28.9854 | 30.3870 | 30.3890 | системски  диск 1 |
| 19.5833 | 21.5970 | 21.6030 | системски  диск 2 и 3 |
| 47.4894 | 45.8940 | 45.9810 | кориснички диск |
| K=5 | 19.2331 | 19.1240 | 19.1110 | процесор |
| 29.7938 | 30.8630 | 30.9020 | системски  диск 1 |
| 19.9583 | 21.7310 | 21.7490 | системски  диск 2 и 3 |
| 40.0103 | 39.5910 | 39.5970 | кориснички диск |
| K=6 | 20.6878 | 20.0690 | 20.0680 | процесор |
| 30.3184 | 31.2840 | 31.2680 | системски  диск 1 |
| 20.1980 | 21.8750 | 21.8880 | системски  диск 2 и 3 |
| 35.5115 | 35.7990 | 35.7100 | кориснички диск |
| K=7 | 21.7565 | 20.8090 | 20.8170 | процесор |
| 30.6753 | 31.5470 | 31.5880 | системски  диск 1 |
| 20.3591 | 22.0080 | 22.0090 | системски  диск 2 и 3 |
| 32.5725 | 33.2300 | 33.2420 | кориснички диск |
| K=8 | 22.5640 | 21.3910 | 21.4000 | процесор |
| 30.9290 | 31.9330 | 31.8250 | системски  диск 1 |
| 20.4726 | 22.1950 | 22.1010 | системски  диск 2 и 3 |
| 30.5277 | 31.5400 | 31.4840 | кориснички диск |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Зависност времена одзива система (T) од K за n = 10** | | | |
|  | **АНАЛИТИЧКИ** | **СИМУЛАЦИЈА** | **СИМУЛАЦИЈА УСРЕДЊЕНО** |
|  | [ms] | [ms] | [ms] |
| K=2 | 883.710 | 882.970 | 883.862 |
| K=3 | 688.326 | 688.359 | 688.303 |
| K=4 | 610.657 | 610.437 | 610.712 |
| K=5 | 574.122 | 574.293 | 574.240 |
| K=6 | 554.582 | 554.526 | 554.477 |
| K=7 | 543.024 | 542.666 | 543.043 |
| K=8 | 535.630 | 536.096 | 535.570 |

# Мерења за n = 15

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Зависност искоришћења (U) од K за n = 15** | | | | |
|  | **АНАЛИТИЧКИ** | **СИМУЛАЦИЈА** | **СИМУЛАЦИЈА УСРЕДЊЕНО** | **РЕСУРС** |
|  | [%] | [%] | [%] |  |
| K=2 | 59.3237 | 59.3892 | 59.3386 | процесор |
| 23.7295 | 23.7331 | 23.7665 | системски  диск 1 |
| 17.7971 | 17.8351 | 17.8056 | системски  диск 2 и 3 |
| 92.5449 | 92.5782 | 92.5547 | кориснички диск |
| K=3 | 79.7092 | 79.7202 | 79.7086 | процесор |
| 31.8837 | 31.8809 | 31.8790 | системски  диск 1 |
| 23.9128 | 23.8951 | 23.9067 | системски  диск 2 и 3 |
| 82.8975 | 82.8431 | 82.9080 | кориснички диск |
| K=4 | 90.9929 | 90.9889 | 91.0009 | процесор |
| 36.3971 | 36.3930 | 36.3990 | системски  диск 1 |
| 27.2979 | 27.2985 | 27.3052 | системски  диск 2 и 3 |
| 70.9744 | 71.0051 | 70.9797 | кориснички диск |
| K=5 | 95.8611 | 95.8359 | 95.8573 | процесор |
| 38.3445 | 38.3363 | 38.3355 | системски  диск 1 |
| 28.7583 | 28.7730 | 28.7556 | системски  диск 2 и 3 |
| 59.8174 | 59.8011 | 59.8124 | кориснички диск |
| K=6 | 97.8683 | 97.8730 | 97.8675 | процесор |
| 39.1473 | 39.1852 | 39.1571 | системски  диск 1 |
| 29.3605 | 29.2903 | 29.3713 | системски  диск 2 и 3 |
| 50.8915 | 50.8852 | 50.9096 | кориснички диск |
| K=7 | 98.760 | 98.7551 | 98.7572 | процесор |
| 39.5040 | 39.4918 | 39.5059 | системски  диск 1 |
| 29.6280 | 29.6458 | 29.6242 | системски  диск 2 и 3 |
| 44.0187 | 44.0028 | 44.0117 | кориснички диск |
| K=8 | 99.1997 | 99.1745 | 99.1986 | процесор |
| 39.6799 | 39.6955 | 39.6822 | системски  диск 1 |
| 29.7599 | 29.8151 | 29.7620 | системски  диск 2 и 3 |
| 38.6879 | 38.6969 | 38.6826 | кориснички диск |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Зависност времена одзива ресурса (R) од K за n = 15** | | | | |
|  | **АНАЛИТИЧКИ** | **СИМУЛАЦИЈА** | **СИМУЛАЦИЈА УСРЕДЊЕНО** | **РЕСУРС** |
|  | [ms] | [ms] | [ms] |  |
| K=2 | 11.9467 | 15.795 | 15.759 | процесор |
| 26.1504 | 30.040 | 29.967 | системски  диск 1 |
| 18.2156 | 22.086 | 22.121 | системски  диск 2 и 3 |
| 138.744 | 132.13 | 132.30 | кориснички диск |
| K=3 | 19.6244 | 21.396 | 21.367 | процесор |
| 29.0799 | 31.552 | 31.483 | системски  диск 1 |
| 19.6019 | 22.245 | 22.252 | системски  диск 2 и 3 |
| 86.7171 | 83.448 | 83.542 | кориснички диск |
| K=4 | 27.8184 | 27.758 | 27.727 | процесор |
| 31.0078 | 32.893 | 32.893 | системски  диск 1 |
| 20.4696 | 22.673 | 22.680 | системски  диск 2 и 3 |
| 60.7833 | 60.077 | 60.062 | кориснички диск |
| K=5 | 34.0055 | 32.767 | 32.763 | процесор |
| 32.0110 | 33.886 | 33.832 | системски  диск 1 |
| 20.9041 | 23.087 | 23.036 | системски  диск 2 и 3 |
| 47.2445 | 48.087 | 48.045 | кориснички диск |
| K=6 | 38.1364 | 36.384 | 36.321 | процесор |
| 32.5088 | 34.406 | 34.414 | системски  диск 1 |
| 21.1131 | 23.260 | 23.281 | системски  диск 2 и 3 |
| 39.7740 | 41.223 | 41.307 | кориснички диск |
| K=7 | 40.8873 | 38.786 | 38.770 | процесор |
| 32.7691 | 34.660 | 34.743 | системски  диск 1 |
| 21.2196 | 23.453 | 23.422 | системски  диск 2 и 3 |
| 35.2994 | 37.174 | 37.196 | кориснички диск |
| K=8 | 42.7861 | 40.490 | 40.516 | процесор |
| 32.9163 | 34.965 | 34.976 | системски  диск 1 |
| 21.2784 | 23.540 | 23.522 | системски  диск 2 и 3 |
| 32.3996 | 34.524 | 34.472 | кориснички диск |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Зависност времена одзива система (T) од K за n = 15** | | | |
|  | **АНАЛИТИЧКИ** | **СИМУЛАЦИЈА** | **СИМУЛАЦИЈА УСРЕДЊЕНО** |
|  | [ms] | [ms] | [ms] |
| K=2 | 1264.25 | 1263.11 | 1263.86 |
| K=3 | 940.921 | 940.929 | 940.951 |
| K=4 | 824.240 | 824.122 | 824.119 |
| K=5 | 782.382 | 782.628 | 782.409 |
| K=6 | 766.636 | 766.441 | 766.409 |
| K=7 | 759.417 | 759.217 | 759.437 |
| K=8 | 756.051 | 756.177 | 756.071 |

# Мерења за n = 20

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Зависност искоришћења (U) од K за n = 20** | | | | |
|  | **АНАЛИТИЧКИ** | **СИМУЛАЦИЈА** | **СИМУЛАЦИЈА УСРЕДЊЕНО** | **РЕСУРС** |
|  | [%] | [%] | [%] |  |
| K=2 | 60.6180 | 60.6534 | 60.6173 | процесор |
| 24.2472 | 24.3036 | 24.2476 | системски  диск 1 |
| 18.1854 | 18.2016 | 18.1889 | системски  диск 2 и 3 |
| 94.5641 | 94.6262 | 94.5634 | кориснички диск |
| K=3 | 83.6175 | 83.6923 | 83.6194 | процесор |
| 33.4470 | 33.4910 | 33.4480 | системски  диск 1 |
| 25.0852 | 25.0940 | 25.0838 | системски  диск 2 и 3 |
| 86.9622 | 87.0350 | 86.9605 | кориснички диск |
| K=4 | 95.5149 | 95.4854 | 95.5178 | процесор |
| 38.2060 | 38.2035 | 38.2114 | системски  диск 1 |
| 28.6545 | 28.6538 | 28.6559 | системски  диск 2 и 3 |
| 74.5016 | 74.4748 | 74.4983 | кориснички диск |
| K=5 | 98.8840 | 98.8868 | 98.8832 | процесор |
| 39.5536 | 39.5612 | 39.5518 | системски  диск 1 |
| 29.6652 | 29.6953 | 29.6707 | системски  диск 2 и 3 |
| 61.7036 | 61.7443 | 61.7062 | кориснички диск |
| K=6 | 99.6681 | 99.6600 | 99.6674 | процесор |
| 39.8672 | 39.9382 | 39.8636 | системски  диск 1 |
| 29.9004 | 29.9186 | 29.9060 | системски  диск 2 и 3 |
| 51.8274 | 51.8852 | 51.8189 | кориснички диск |
| K=7 | 99.8760 | 99.8731 | 99.8758 | процесор |
| 39.9504 | 39.9454 | 39.9470 | системски  диск 1 |
| 29.9628 | 29.9894 | 29.9678 | системски  диск 2 и 3 |
| 44.5162 | 44.5713 | 44.5156 | кориснички диск |
| K=8 | 99.9435 | 99.9410 | 99.9436 | процесор |
| 39.9774 | 39.9286 | 39.9711 | системски  диск 1 |
| 29.9831 | 29.9735 | 29.9811 | системски  диск 2 и 3 |
| 38.9780 | 38.9707 | 38.9749 | кориснички диск |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Зависност времена одзива ресурса (R) од K за n = 20** | | | | |
|  | **АНАЛИТИЧКИ** | **СИМУЛАЦИЈА** | **СИМУЛАЦИЈА УСРЕДЊЕНО** | **РЕСУРС** |
|  | [ms] | [ms] | [ms] |  |
| K=2 | 12.5011 | 16.378 | 16.340 | процесор |
| 26.3635 | 30.282 | 30.209 | системски  диск 1 |
| 18.3173 | 22.251 | 22.206 | системски  диск 2 и 3 |
| 187.393 | 180.61 | 180.90 | кориснички диск |
| K=3 | 24.6150 | 26.474 | 26.339 | процесор |
| 29.8728 | 32.407 | 32.392 | системски  диск 1 |
| 19.9532 | 22.607 | 22.619 | системски  диск 2 и 3 |
| 11.2820 | 109.16 | 109.55 | кориснички диск |
| K=4 | 41.5751 | 40.812 | 40.819 | процесор |
| 32.1186 | 34.336 | 34.236 | системски  диск 1 |
| 20.9362 | 23.249 | 23.237 | системски  диск 2 и 3 |
| 71.4378 | 71.404 | 71.518 | кориснички диск |
| K=5 | 53.7455 | 51.764 | 51.726 | процесор |
| 32.9336 | 35.117 | 35.131 | системски  диск 1 |
| 21.2750 | 23.621 | 23.585 | системски  диск 2 и 3 |
| 51.0702 | 52.695 | 52.790 | кориснички диск |
| K=6 | 60.5481 | 58.080 | 58.146 | процесор |
| 33.1794 | 35.552 | 35.466 | системски  диск 1 |
| 21.3726 | 23.782 | 23.725 | системски  диск 2 и 3 |
| 41.2725 | 43.549 | 43.449 | кориснички диск |
| K=7 | 64.4547 | 61.935 | 61.931 | процесор |
| 33.2614 | 35.550 | 35.597 | системски  диск 1 |
| 21.4038 | 23.810 | 23.779 | системски  диск 2 и 3 |
| 35.9776 | 38.418 | 38.307 | кориснички диск |
| K=8 | 66.8987 | 64.315 | 64.346 | процесор |
| 33.2936 | 35.661 | 35.652 | системски  диск 1 |
| 21.4156 | 23.810 | 23.804 | системски  диск 2 и 3 |
| 32.7504 | 35.175 | 35.115 | кориснички диск |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Зависност времена одзива система (T) од K за n = 20** | | | |
|  | **АНАЛИТИЧКИ** | **СИМУЛАЦИЈА** | **СИМУЛАЦИЈА УСРЕДЊЕНО** |
|  | [ms] | [ms] | [ms] |
| K=2 | 1649.67 | 1649.79 | 1649.67 |
| K=3 | 1195.92 | 1194.64 | 1195.88 |
| K=4 | 1046.96 | 1047.26 | 1046.87 |
| K=5 | 1011.29 | 1011.76 | 1011.30 |
| K=6 | 1003.33 | 1003.46 | 1003.34 |
| K=7 | 1001.24 | 1001.45 | 1001.24 |
| K=8 | 1000.56 | 1000.47 | 1000.62 |

# Критични ресурс

Критични ресурс је ресурс са највећим искоришћењем.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| N=10 | K=2 | кориснички диск |
| K=3 | кориснички диск |
| K=4 | процесор |
| K=5 | процесор |
| K=6 | процесор |
| K=7 | процесор |
| K=8 | процесор |
| N=15 | K=2 | кориснички диск |
| K=3 | кориснички диск |
| K=4 | процесор |
| K=5 | процесор |
| K=6 | процесор |
| K=7 | процесор |
| K=8 | процесор |
| N=20 | K=2 | кориснички диск |
| K=3 | кориснички диск |
| K=4 | процесор |
| K=5 | процесор |
| K=6 | процесор |
| K=7 | процесор |
| K=8 | процесор |

# Дискусија