



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ

ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ



Региональный трек
Всероссийского конкурса
научно-технологических проектов

«БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ»

направление

Умный город и безопасность

название работы

**«Коллаборативный 3D робот
манипулятор»**

участник(и)

Окорочков Артём Александрович

#большиевызовы
#МГК

mgk.olimpiada.ru

г. Москва
2021

Применение коллаборативных роботов на предприятиях

Коллаборативный робот (кобот) – это робот, созданный для совместной работы с человеком, спроектированный так, чтобы не подвергать опасности находящегося рядом работника.



Обслуживание оборудования



Упаковка и укладка в поддоны



Сверление и закручивание, дозирование и склеивание



Полировка



Лабораторный анализ и тестирование



Работа со станками с чпу

Преимущества коботов:

- универсальность
- простое программирование
- быстрая настройка
- нетребовательность к установке и эксплуатации
- безопасная работа вместе с людьми
- малое потребление энергии
- низкая себестоимость и быстрая окупаемость

Недостатки коботов:

- ограниченная скорость движения в целях безопасности для человека
- меньше создаваемые усилия по той же причине

Гипотеза: я предполагаю, что использование технологии 3D печати для производства коллаборативных роботов приведёт к повышению их доступности и более широкому использованию в качестве помощников для человека.

Цель проекта : изучить возможность создания коллаборативного робота - манипулятора с привлечением технологии 3D печати.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Познакомиться с литературой по коллаборативной робототехнике и инженерной графике.
- Спроектировать модель робота в графической программе.
- Напечатать элементы конструкции на 3D принтере.
- Произвести сборку модели, дополнив её моторами и датчиками.
- Написать программу управления роботом.
- Осуществить запуск модели.
- Выявить недостатки в конструкции и работе модели.
- Найти способы решения возникших проблем.
- Произвести оценку эффективности модели.

Для реализации проекта я использовал

Специальное оборудование :



Ноутбук



3D Принтер

Двигатели и элементы электроники :



ШД Nema 17
с драйвером



ШД Nema 57
с драйвером



ШД 28 YBL48
с драйвером



КД с редук-
тором 1:100



Arduino Uno и
Motor shield



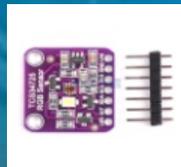
Sensor shield



Сенсорная
кнопка



ИК датчик
движения



RGB датчик

Расходные материалы и дополнительное оборудование :



Филамент



Провод



Шлейфы



Подшипники



Металлические
10 мм шарики



Кулер



Блоки питания

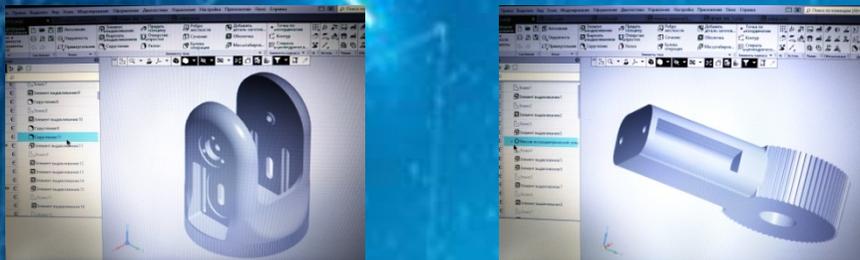


Мультиметр

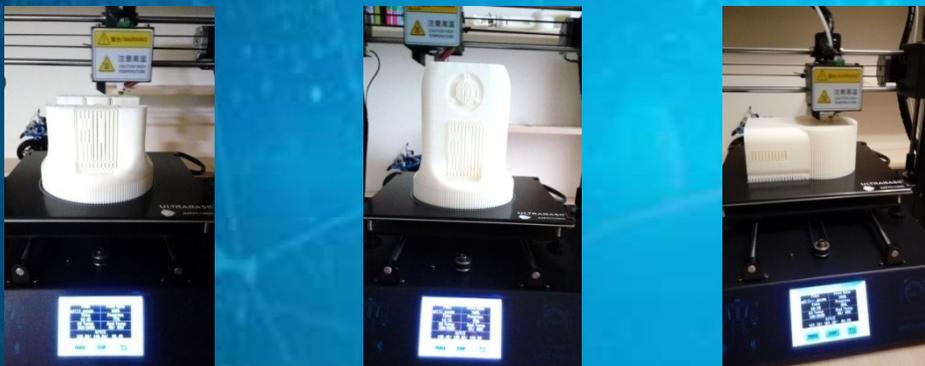


Паяльная
станция

3D робот - манипулятор после моделирования, печати и сборки



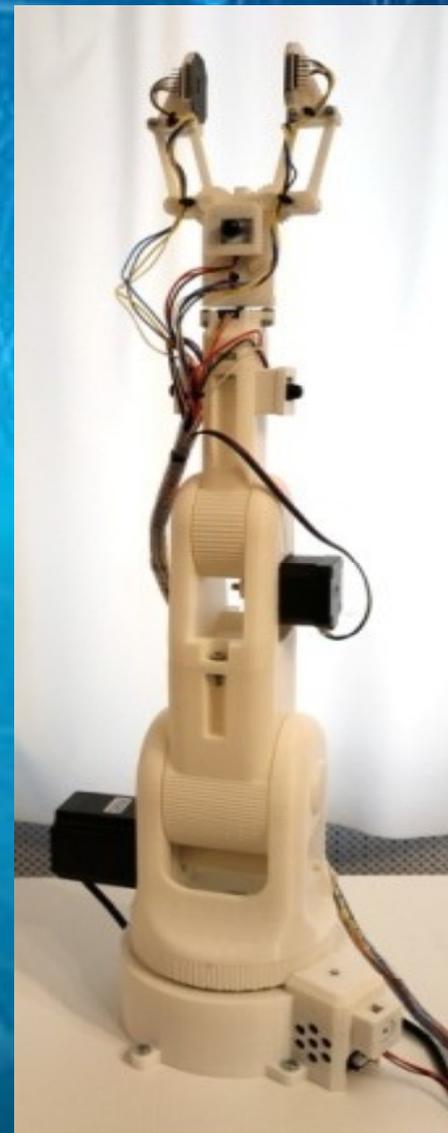
Моделирование элементов в «Компас 3D»



Печать элементов на 3D принтере



Сборка фрагментов конструкции



Готовая модель робота

Программирование модели



Для написания программы я использовал среду разработки Arduino IDE, созданную на языке java. IDE представляет собой блокнот для написания кода, препроцессор, линковщик, компилятор и загрузчик программы на плату Arduino. В данной среде нет никакого особого языка программирования и программы (скетчи) пишутся на языке C или C++. А все особенности сводятся к наличию библиотек, включающих в себя некоторые функции и объекты. При компиляции среда разработки создает временный .cpp файл, в который и передаётся компилятору, а затем загрузчику.

Фрагменты скетча

```
MANIPULATOR_CUBE_2 | Arduino 1.8.7
200
201
202 int RGB_SENSOR()
203 {
204   int RGB;
205   for (int i = 0; i < 3; i++)
206     RGB |= (pinMode(i) < 0) ? pinMode(i) : 0;
207   return RGB;
208 }
209
210 void setup()
211 {
212   pinMode(13, OUTPUT);
213   pinMode(12, OUTPUT);
214   pinMode(11, OUTPUT);
215   pinMode(10, OUTPUT);
216   pinMode(9, OUTPUT);
217   pinMode(8, OUTPUT);
218   pinMode(7, OUTPUT);
219   pinMode(6, OUTPUT);
220   pinMode(5, OUTPUT);
221   pinMode(4, OUTPUT);
222   pinMode(3, OUTPUT);
223   pinMode(2, OUTPUT);
224   pinMode(1, OUTPUT);
225   pinMode(0, OUTPUT);
226 }
227
228 void loop()
229 {
230   digitalWrite(13, HIGH);
231   digitalWrite(12, HIGH);
232   digitalWrite(11, HIGH);
233   digitalWrite(10, HIGH);
234   digitalWrite(9, HIGH);
235   digitalWrite(8, HIGH);
236   digitalWrite(7, HIGH);
237   digitalWrite(6, HIGH);
238   digitalWrite(5, HIGH);
239   digitalWrite(4, HIGH);
240   digitalWrite(3, HIGH);
241   digitalWrite(2, HIGH);
242   digitalWrite(1, HIGH);
243   digitalWrite(0, HIGH);
244 }
245
246 void loop()
247 {
248   digitalWrite(13, LOW);
249   digitalWrite(12, LOW);
250   digitalWrite(11, LOW);
251   digitalWrite(10, LOW);
252   digitalWrite(9, LOW);
253   digitalWrite(8, LOW);
254   digitalWrite(7, LOW);
255   digitalWrite(6, LOW);
256   digitalWrite(5, LOW);
257   digitalWrite(4, LOW);
258   digitalWrite(3, LOW);
259   digitalWrite(2, LOW);
260   digitalWrite(1, LOW);
261   digitalWrite(0, LOW);
262 }
263
264 void loop()
265 {
266   digitalWrite(13, HIGH);
267   digitalWrite(12, LOW);
268   digitalWrite(11, HIGH);
269   digitalWrite(10, LOW);
270   digitalWrite(9, HIGH);
271   digitalWrite(8, LOW);
272   digitalWrite(7, HIGH);
273   digitalWrite(6, LOW);
274   digitalWrite(5, HIGH);
275   digitalWrite(4, LOW);
276   digitalWrite(3, HIGH);
277   digitalWrite(2, LOW);
278   digitalWrite(1, HIGH);
279   digitalWrite(0, LOW);
280 }
281
282 void loop()
283 {
284   digitalWrite(13, LOW);
285   digitalWrite(12, HIGH);
286   digitalWrite(11, LOW);
287   digitalWrite(10, HIGH);
288   digitalWrite(9, LOW);
289   digitalWrite(8, HIGH);
290   digitalWrite(7, LOW);
291   digitalWrite(6, HIGH);
292   digitalWrite(5, LOW);
293   digitalWrite(4, HIGH);
294   digitalWrite(3, LOW);
295   digitalWrite(2, HIGH);
296   digitalWrite(1, LOW);
297   digitalWrite(0, HIGH);
298 }
299
300 void loop()
301 {
302   digitalWrite(13, HIGH);
303   digitalWrite(12, HIGH);
304   digitalWrite(11, LOW);
305   digitalWrite(10, LOW);
306   digitalWrite(9, HIGH);
307   digitalWrite(8, HIGH);
308   digitalWrite(7, LOW);
309   digitalWrite(6, LOW);
310   digitalWrite(5, HIGH);
311   digitalWrite(4, HIGH);
312   digitalWrite(3, LOW);
313   digitalWrite(2, LOW);
314   digitalWrite(1, HIGH);
315   digitalWrite(0, HIGH);
316 }
317
318 void loop()
319 {
320   digitalWrite(13, LOW);
321   digitalWrite(12, LOW);
322   digitalWrite(11, HIGH);
323   digitalWrite(10, HIGH);
324   digitalWrite(9, LOW);
325   digitalWrite(8, LOW);
326   digitalWrite(7, HIGH);
327   digitalWrite(6, HIGH);
328   digitalWrite(5, LOW);
329   digitalWrite(4, LOW);
330   digitalWrite(3, HIGH);
331   digitalWrite(2, HIGH);
332   digitalWrite(1, LOW);
333   digitalWrite(0, LOW);
334 }
335
336 void loop()
337 {
338   digitalWrite(13, HIGH);
339   digitalWrite(12, LOW);
340   digitalWrite(11, LOW);
341   digitalWrite(10, HIGH);
342   digitalWrite(9, HIGH);
343   digitalWrite(8, LOW);
344   digitalWrite(7, LOW);
345   digitalWrite(6, HIGH);
346   digitalWrite(5, HIGH);
347   digitalWrite(4, LOW);
348   digitalWrite(3, LOW);
349   digitalWrite(2, HIGH);
350   digitalWrite(1, HIGH);
351   digitalWrite(0, LOW);
352 }
353
354 void loop()
355 {
356   digitalWrite(13, LOW);
357   digitalWrite(12, HIGH);
358   digitalWrite(11, HIGH);
359   digitalWrite(10, LOW);
360   digitalWrite(9, LOW);
361   digitalWrite(8, HIGH);
362   digitalWrite(7, HIGH);
363   digitalWrite(6, LOW);
364   digitalWrite(5, LOW);
365   digitalWrite(4, HIGH);
366   digitalWrite(3, HIGH);
367   digitalWrite(2, LOW);
368   digitalWrite(1, LOW);
369   digitalWrite(0, HIGH);
370 }
371
372 void loop()
373 {
374   digitalWrite(13, HIGH);
375   digitalWrite(12, HIGH);
376   digitalWrite(11, LOW);
377   digitalWrite(10, HIGH);
378   digitalWrite(9, LOW);
379   digitalWrite(8, LOW);
380   digitalWrite(7, HIGH);
381   digitalWrite(6, HIGH);
382   digitalWrite(5, LOW);
383   digitalWrite(4, LOW);
384   digitalWrite(3, HIGH);
385   digitalWrite(2, HIGH);
386   digitalWrite(1, LOW);
387   digitalWrite(0, LOW);
388 }
389
390 void loop()
391 {
392   digitalWrite(13, LOW);
393   digitalWrite(12, LOW);
394   digitalWrite(11, HIGH);
395   digitalWrite(10, HIGH);
396   digitalWrite(9, LOW);
397   digitalWrite(8, LOW);
398   digitalWrite(7, HIGH);
399   digitalWrite(6, HIGH);
400   digitalWrite(5, LOW);
401   digitalWrite(4, LOW);
402   digitalWrite(3, HIGH);
403   digitalWrite(2, HIGH);
404   digitalWrite(1, LOW);
405   digitalWrite(0, LOW);
406 }
407
408 void loop()
409 {
410   digitalWrite(13, HIGH);
411   digitalWrite(12, LOW);
412   digitalWrite(11, LOW);
413   digitalWrite(10, HIGH);
414   digitalWrite(9, HIGH);
415   digitalWrite(8, LOW);
416   digitalWrite(7, LOW);
417   digitalWrite(6, HIGH);
418   digitalWrite(5, HIGH);
419   digitalWrite(4, LOW);
420   digitalWrite(3, LOW);
421   digitalWrite(2, HIGH);
422   digitalWrite(1, HIGH);
423   digitalWrite(0, LOW);
424 }
425
426 void loop()
427 {
428   digitalWrite(13, LOW);
429   digitalWrite(12, HIGH);
430   digitalWrite(11, HIGH);
431   digitalWrite(10, LOW);
432   digitalWrite(9, LOW);
433   digitalWrite(8, HIGH);
434   digitalWrite(7, HIGH);
435   digitalWrite(6, LOW);
436   digitalWrite(5, LOW);
437   digitalWrite(4, HIGH);
438   digitalWrite(3, HIGH);
439   digitalWrite(2, LOW);
440   digitalWrite(1, LOW);
441   digitalWrite(0, HIGH);
442 }
443
444 void loop()
445 {
446   digitalWrite(13, HIGH);
447   digitalWrite(12, HIGH);
448   digitalWrite(11, LOW);
449   digitalWrite(10, HIGH);
450   digitalWrite(9, LOW);
451   digitalWrite(8, LOW);
452   digitalWrite(7, HIGH);
453   digitalWrite(6, HIGH);
454   digitalWrite(5, LOW);
455   digitalWrite(4, LOW);
456   digitalWrite(3, HIGH);
457   digitalWrite(2, HIGH);
458   digitalWrite(1, LOW);
459   digitalWrite(0, LOW);
460 }
461
462 void loop()
463 {
464   digitalWrite(13, LOW);
465   digitalWrite(12, LOW);
466   digitalWrite(11, HIGH);
467   digitalWrite(10, HIGH);
468   digitalWrite(9, LOW);
469   digitalWrite(8, LOW);
470   digitalWrite(7, HIGH);
471   digitalWrite(6, HIGH);
472   digitalWrite(5, LOW);
473   digitalWrite(4, LOW);
474   digitalWrite(3, HIGH);
475   digitalWrite(2, HIGH);
476   digitalWrite(1, LOW);
477   digitalWrite(0, LOW);
478 }
479
480 void loop()
481 {
482   digitalWrite(13, HIGH);
483   digitalWrite(12, LOW);
484   digitalWrite(11, LOW);
485   digitalWrite(10, HIGH);
486   digitalWrite(9, HIGH);
487   digitalWrite(8, LOW);
488   digitalWrite(7, LOW);
489   digitalWrite(6, HIGH);
490   digitalWrite(5, HIGH);
491   digitalWrite(4, LOW);
492   digitalWrite(3, LOW);
493   digitalWrite(2, HIGH);
494   digitalWrite(1, HIGH);
495   digitalWrite(0, LOW);
496 }
497
498 void loop()
499 {
500   digitalWrite(13, LOW);
501   digitalWrite(12, HIGH);
502   digitalWrite(11, HIGH);
503   digitalWrite(10, LOW);
504   digitalWrite(9, LOW);
505   digitalWrite(8, HIGH);
506   digitalWrite(7, HIGH);
507   digitalWrite(6, LOW);
508   digitalWrite(5, LOW);
509   digitalWrite(4, HIGH);
510   digitalWrite(3, HIGH);
511   digitalWrite(2, LOW);
512   digitalWrite(1, LOW);
513   digitalWrite(0, HIGH);
514 }
515
516 void loop()
517 {
518   digitalWrite(13, HIGH);
519   digitalWrite(12, HIGH);
520   digitalWrite(11, LOW);
521   digitalWrite(10, HIGH);
522   digitalWrite(9, LOW);
523   digitalWrite(8, LOW);
524   digitalWrite(7, HIGH);
525   digitalWrite(6, HIGH);
526   digitalWrite(5, LOW);
527   digitalWrite(4, LOW);
528   digitalWrite(3, HIGH);
529   digitalWrite(2, HIGH);
530   digitalWrite(1, LOW);
531   digitalWrite(0, LOW);
532 }
533
534 void loop()
535 {
536   digitalWrite(13, LOW);
537   digitalWrite(12, LOW);
538   digitalWrite(11, HIGH);
539   digitalWrite(10, HIGH);
540   digitalWrite(9, LOW);
541   digitalWrite(8, LOW);
542   digitalWrite(7, HIGH);
543   digitalWrite(6, HIGH);
544   digitalWrite(5, LOW);
545   digitalWrite(4, LOW);
546   digitalWrite(3, HIGH);
547   digitalWrite(2, HIGH);
548   digitalWrite(1, LOW);
549   digitalWrite(0, LOW);
550 }
551
552 void loop()
553 {
554   digitalWrite(13, HIGH);
555   digitalWrite(12, LOW);
556   digitalWrite(11, LOW);
557   digitalWrite(10, HIGH);
558   digitalWrite(9, HIGH);
559   digitalWrite(8, LOW);
560   digitalWrite(7, LOW);
561   digitalWrite(6, HIGH);
562   digitalWrite(5, HIGH);
563   digitalWrite(4, LOW);
564   digitalWrite(3, LOW);
565   digitalWrite(2, HIGH);
566   digitalWrite(1, HIGH);
567   digitalWrite(0, LOW);
568 }
569
570 void loop()
571 {
572   digitalWrite(13, LOW);
573   digitalWrite(12, HIGH);
574   digitalWrite(11, HIGH);
575   digitalWrite(10, LOW);
576   digitalWrite(9, LOW);
577   digitalWrite(8, HIGH);
578   digitalWrite(7, HIGH);
579   digitalWrite(6, LOW);
580   digitalWrite(5, LOW);
581   digitalWrite(4, HIGH);
582   digitalWrite(3, HIGH);
583   digitalWrite(2, LOW);
584   digitalWrite(1, LOW);
585   digitalWrite(0, HIGH);
586 }
587
588 void loop()
589 {
590   digitalWrite(13, HIGH);
591   digitalWrite(12, HIGH);
592   digitalWrite(11, LOW);
593   digitalWrite(10, HIGH);
594   digitalWrite(9, LOW);
595   digitalWrite(8, LOW);
596   digitalWrite(7, HIGH);
597   digitalWrite(6, HIGH);
598   digitalWrite(5, LOW);
599   digitalWrite(4, LOW);
600   digitalWrite(3, HIGH);
601   digitalWrite(2, HIGH);
602   digitalWrite(1, LOW);
603   digitalWrite(0, LOW);
604 }
605
606 void loop()
607 {
608   digitalWrite(13, LOW);
609   digitalWrite(12, LOW);
610   digitalWrite(11, HIGH);
611   digitalWrite(10, HIGH);
612   digitalWrite(9, LOW);
613   digitalWrite(8, LOW);
614   digitalWrite(7, HIGH);
615   digitalWrite(6, HIGH);
616   digitalWrite(5, LOW);
617   digitalWrite(4, LOW);
618   digitalWrite(3, HIGH);
619   digitalWrite(2, HIGH);
620   digitalWrite(1, LOW);
621   digitalWrite(0, LOW);
622 }
623
624 void loop()
625 {
626   digitalWrite(13, HIGH);
627   digitalWrite(12, LOW);
628   digitalWrite(11, LOW);
629   digitalWrite(10, HIGH);
630   digitalWrite(9, HIGH);
631   digitalWrite(8, LOW);
632   digitalWrite(7, LOW);
633   digitalWrite(6, HIGH);
634   digitalWrite(5, HIGH);
635   digitalWrite(4, LOW);
636   digitalWrite(3, LOW);
637   digitalWrite(2, HIGH);
638   digitalWrite(1, HIGH);
639   digitalWrite(0, LOW);
640 }
641
642 void loop()
643 {
644   digitalWrite(13, LOW);
645   digitalWrite(12, HIGH);
646   digitalWrite(11, HIGH);
647   digitalWrite(10, LOW);
648   digitalWrite(9, LOW);
649   digitalWrite(8, HIGH);
650   digitalWrite(7, HIGH);
651   digitalWrite(6, LOW);
652   digitalWrite(5, LOW);
653   digitalWrite(4, HIGH);
654   digitalWrite(3, HIGH);
655   digitalWrite(2, LOW);
656   digitalWrite(1, LOW);
657   digitalWrite(0, HIGH);
658 }
659
660 void loop()
661 {
662   digitalWrite(13, HIGH);
663   digitalWrite(12, HIGH);
664   digitalWrite(11, LOW);
665   digitalWrite(10, HIGH);
666   digitalWrite(9, LOW);
667   digitalWrite(8, LOW);
668   digitalWrite(7, HIGH);
669   digitalWrite(6, HIGH);
670   digitalWrite(5, LOW);
671   digitalWrite(4, LOW);
672   digitalWrite(3, HIGH);
673   digitalWrite(2, HIGH);
674   digitalWrite(1, LOW);
675   digitalWrite(0, LOW);
676 }
677
678 void loop()
679 {
680   digitalWrite(13, LOW);
681   digitalWrite(12, LOW);
682   digitalWrite(11, HIGH);
683   digitalWrite(10, HIGH);
684   digitalWrite(9, LOW);
685   digitalWrite(8, LOW);
686   digitalWrite(7, HIGH);
687   digitalWrite(6, HIGH);
688   digitalWrite(5, LOW);
689   digitalWrite(4, LOW);
690   digitalWrite(3, HIGH);
691   digitalWrite(2, HIGH);
692   digitalWrite(1, LOW);
693   digitalWrite(0, LOW);
694 }
695
696 void loop()
697 {
698   digitalWrite(13, HIGH);
699   digitalWrite(12, LOW);
700   digitalWrite(11, LOW);
701   digitalWrite(10, HIGH);
702   digitalWrite(9, HIGH);
703   digitalWrite(8, LOW);
704   digitalWrite(7, LOW);
705   digitalWrite(6, HIGH);
706   digitalWrite(5, HIGH);
707   digitalWrite(4, LOW);
708   digitalWrite(3, LOW);
709   digitalWrite(2, HIGH);
710   digitalWrite(1, HIGH);
711   digitalWrite(0, LOW);
712 }
713
714 void loop()
715 {
716   digitalWrite(13, LOW);
717   digitalWrite(12, HIGH);
718   digitalWrite(11, HIGH);
719   digitalWrite(10, LOW);
720   digitalWrite(9, LOW);
721   digitalWrite(8, HIGH);
722   digitalWrite(7, HIGH);
723   digitalWrite(6, LOW);
724   digitalWrite(5, LOW);
725   digitalWrite(4, HIGH);
726   digitalWrite(3, HIGH);
727   digitalWrite(2, LOW);
728   digitalWrite(1, LOW);
729   digitalWrite(0, HIGH);
730 }
731
732 void loop()
733 {
734   digitalWrite(13, HIGH);
735   digitalWrite(12, HIGH);
736   digitalWrite(11, LOW);
737   digitalWrite(10, HIGH);
738   digitalWrite(9, LOW);
739   digitalWrite(8, LOW);
740   digitalWrite(7, HIGH);
741   digitalWrite(6, HIGH);
742   digitalWrite(5, LOW);
743   digitalWrite(4, LOW);
744   digitalWrite(3, HIGH);
745   digitalWrite(2, HIGH);
746   digitalWrite(1, LOW);
747   digitalWrite(0, LOW);
748 }
749
750 void loop()
751 {
752   digitalWrite(13, LOW);
753   digitalWrite(12, LOW);
754   digitalWrite(11, HIGH);
755   digitalWrite(10, HIGH);
756   digitalWrite(9, LOW);
757   digitalWrite(8, LOW);
758   digitalWrite(7, HIGH);
759   digitalWrite(6, HIGH);
760   digitalWrite(5, LOW);
761   digitalWrite(4, LOW);
762   digitalWrite(3, HIGH);
763   digitalWrite(2, HIGH);
764   digitalWrite(1, LOW);
765   digitalWrite(0, LOW);
766 }
767
768 void loop()
769 {
770   digitalWrite(13, HIGH);
771   digitalWrite(12, LOW);
772   digitalWrite(11, LOW);
773   digitalWrite(10, HIGH);
774   digitalWrite(9, HIGH);
775   digitalWrite(8, LOW);
776   digitalWrite(7, LOW);
777   digitalWrite(6, HIGH);
778   digitalWrite(5, HIGH);
779   digitalWrite(4, LOW);
780   digitalWrite(3, LOW);
781   digitalWrite(2, HIGH);
782   digitalWrite(1, HIGH);
783   digitalWrite(0, LOW);
784 }
785
786 void loop()
787 {
788   digitalWrite(13, LOW);
789   digitalWrite(12, HIGH);
790   digitalWrite(11, HIGH);
791   digitalWrite(10, LOW);
792   digitalWrite(9, LOW);
793   digitalWrite(8, HIGH);
794   digitalWrite(7, HIGH);
795   digitalWrite(6, LOW);
796   digitalWrite(5, LOW);
797   digitalWrite(4, HIGH);
798   digitalWrite(3, HIGH);
799   digitalWrite(2, LOW);
800   digitalWrite(1, LOW);
801   digitalWrite(0, HIGH);
802 }
803
804 void loop()
805 {
806   digitalWrite(13, HIGH);
807   digitalWrite(12, HIGH);
808   digitalWrite(11, LOW);
809   digitalWrite(10, HIGH);
810   digitalWrite(9, LOW);
811   digitalWrite(8, LOW);
812   digitalWrite(7, HIGH);
813   digitalWrite(6, HIGH);
814   digitalWrite(5, LOW);
815   digitalWrite(4, LOW);
816   digitalWrite(3, HIGH);
817   digitalWrite(2, HIGH);
818   digitalWrite(1, LOW);
819   digitalWrite(0, LOW);
820 }
821
822 void loop()
823 {
824   digitalWrite(13, LOW);
825   digitalWrite(12, LOW);
826   digitalWrite(11, HIGH);
827   digitalWrite(10, HIGH);
828   digitalWrite(9, LOW);
829   digitalWrite(8, LOW);
830   digitalWrite(7, HIGH);
831   digitalWrite(6, HIGH);
832   digitalWrite(5, LOW);
833   digitalWrite(4, LOW);
834   digitalWrite(3, HIGH);
835   digitalWrite(2, HIGH);
836   digitalWrite(1, LOW);
837   digitalWrite(0, LOW);
838 }
839
840 void loop()
841 {
842   digitalWrite(13, HIGH);
843   digitalWrite(12, LOW);
844   digitalWrite(11, LOW);
845   digitalWrite(10, HIGH);
846   digitalWrite(9, HIGH);
847   digitalWrite(8, LOW);
848   digitalWrite(7, LOW);
849   digitalWrite(6, HIGH);
850   digitalWrite(5, HIGH);
851   digitalWrite(4, LOW);
852   digitalWrite(3, LOW);
853   digitalWrite(2, HIGH);
854   digitalWrite(1, HIGH);
855   digitalWrite(0, LOW);
856 }
857
858 void loop()
859 {
860   digitalWrite(13, LOW);
861   digitalWrite(12, HIGH);
862   digitalWrite(11, HIGH);
863   digitalWrite(10, LOW);
864   digitalWrite(9, LOW);
865   digitalWrite(8, HIGH);
866   digitalWrite(7, HIGH);
867   digitalWrite(6, LOW);
868   digitalWrite(5, LOW);
869   digitalWrite(4, HIGH);
870   digitalWrite(3, HIGH);
871   digitalWrite(2, LOW);
872   digitalWrite(1, LOW);
873   digitalWrite(0, HIGH);
874 }
875
876 void loop()
877 {
878   digitalWrite(13, HIGH);
879   digitalWrite(12, HIGH);
880   digitalWrite(11, LOW);
881   digitalWrite(10, HIGH);
882   digitalWrite(9, LOW);
883   digitalWrite(8, LOW);
884   digitalWrite(7, HIGH);
885   digitalWrite(6, HIGH);
886   digitalWrite(5, LOW);
887   digitalWrite(4, LOW);
888   digitalWrite(3, HIGH);
889   digitalWrite(2, HIGH);
890   digitalWrite(1, LOW);
891   digitalWrite(0, LOW);
892 }
893
894 void loop()
895 {
896   digitalWrite(13, LOW);
897   digitalWrite(12, LOW);
898   digitalWrite(11, HIGH);
899   digitalWrite(10, HIGH);
900   digitalWrite(9, LOW);
901   digitalWrite(8, LOW);
902   digitalWrite(7, HIGH);
903   digitalWrite(6, HIGH);
904   digitalWrite(5, LOW);
905   digitalWrite(4, LOW);
906   digitalWrite(3, HIGH);
907   digitalWrite(2, HIGH);
908   digitalWrite(1, LOW);
909   digitalWrite(0, LOW);
910 }
911
912 void loop()
913 {
914   digitalWrite(13, HIGH);
915   digitalWrite(12, LOW);
916   digitalWrite(11, LOW);
917   digitalWrite(10, HIGH);
918   digitalWrite(9, HIGH);
919   digitalWrite(8, LOW);
920   digitalWrite(7, LOW);
921   digitalWrite(6, HIGH);
922   digitalWrite(5, HIGH);
923   digitalWrite(4, LOW);
924   digitalWrite(3, LOW);
925   digitalWrite(2, HIGH);
926   digitalWrite(1, HIGH);
927   digitalWrite(0, LOW);
928 }
929
930 void loop()
931 {
932   digitalWrite(13, LOW);
933   digitalWrite(12, HIGH);
934   digitalWrite(11, HIGH);
935   digitalWrite(10, LOW);
936   digitalWrite(9, LOW);
937   digitalWrite(8, HIGH);
938   digitalWrite(7, HIGH);
939   digitalWrite(6, LOW);
940   digitalWrite(5, LOW);
941   digitalWrite(4, HIGH);
942   digitalWrite(3, HIGH);
943   digitalWrite(2, LOW);
944   digitalWrite(1, LOW);
945   digitalWrite(0, HIGH);
946 }
947
948 void loop()
949 {
950   digitalWrite(13, HIGH);
951   digitalWrite(12, HIGH);
952   digitalWrite(11, LOW);
953   digitalWrite(10, HIGH);
954   digitalWrite(9, LOW);
955   digitalWrite(8, LOW);
956   digitalWrite(7, HIGH);
957   digitalWrite(6, HIGH);
958   digitalWrite(5, LOW);
959   digitalWrite(4, LOW);
960   digitalWrite(3, HIGH);
961   digitalWrite(2, HIGH);
962   digitalWrite(1, LOW);
963   digitalWrite(0, LOW);
964 }
965
966 void loop()
967 {
968   digitalWrite(13, LOW);
969   digitalWrite(12, LOW);
970   digitalWrite(11, HIGH);
971   digitalWrite(10, HIGH);
972   digitalWrite(9, LOW);
973   digitalWrite(8, LOW);
974   digitalWrite(7, HIGH);
975   digitalWrite(6, HIGH);
976   digitalWrite(5, LOW);
977   digitalWrite(4, LOW);
978   digitalWrite(3, HIGH);
979   digitalWrite(2, HIGH);
980   digitalWrite(1, LOW);
981   digitalWrite(0, LOW);
982 }
983
984 void loop()
985 {
986   digitalWrite(13, HIGH);
987   digitalWrite(12, LOW);
988   digitalWrite(11, LOW);
989   digitalWrite(10, HIGH);
990   digitalWrite(9, HIGH);
991   digitalWrite(8, LOW);
992   digitalWrite(7, LOW);
993   digitalWrite(6, HIGH);
994   digitalWrite(5, HIGH);
995   digitalWrite(4, LOW);
996   digitalWrite(3, LOW);
997   digitalWrite(2, HIGH);
998   digitalWrite(1, HIGH);
999   digitalWrite(0, LOW);
1000 }
1001
1002 void loop()
1003 {
1004   digitalWrite(13, LOW);
1005   digitalWrite(12, HIGH);
1006   digitalWrite(11, HIGH);
1007   digitalWrite(10, LOW);
1008   digitalWrite(9, LOW);
1009   digitalWrite(8, HIGH);
1010   digitalWrite(7, HIGH);
1011   digitalWrite(6, LOW);
1012   digitalWrite(5, LOW);
1013   digitalWrite(4, HIGH);
1014   digitalWrite(3, HIGH);
1015   digitalWrite(2, LOW);
1016   digitalWrite(1, LOW);
1017   digitalWrite(0, HIGH);
1018 }
1019
1020 void loop()
1021 {
1022   digitalWrite(13, HIGH);
1023   digitalWrite(12, HIGH);
1024   digitalWrite(11, LOW);
1025   digitalWrite(10, HIGH);
1026   digitalWrite(9, LOW);
1027   digitalWrite(8, LOW);
1028   digitalWrite(7, HIGH);
1029   digitalWrite(6, HIGH);
1030   digitalWrite(5, LOW);
1031   digitalWrite(4, LOW);
1032   digitalWrite(3, HIGH);
1033   digitalWrite(2, HIGH);
1034   digitalWrite(1, LOW);
1035   digitalWrite(0, LOW);
1036 }
1037
1038 void loop()
1039 {
1040   digitalWrite(13, LOW);
1041   digitalWrite(12, LOW);
1042   digitalWrite(11, HIGH);
1043   digitalWrite(10, HIGH);
1044   digitalWrite(9, LOW);
1045   digitalWrite(8, LOW);
1046   digitalWrite(7, HIGH);
1047   digitalWrite(6, HIGH);
1048   digitalWrite(5, LOW);
1049   digitalWrite(4, LOW);
1050   digitalWrite(3, HIGH);
1051   digitalWrite(2, HIGH);
1052   digitalWrite(1, LOW);
1053   digitalWrite(0, LOW);
1054 }
1055
1056 void loop()
1057 {
1058   digitalWrite(13, HIGH);
1059   digitalWrite(12, LOW);
1060   digitalWrite(11, LOW);
1061   digitalWrite(10, HIGH);
1062   digitalWrite(9, HIGH);
1063   digitalWrite(8, LOW);
1064   digitalWrite(7, LOW);
1065   digitalWrite(6, HIGH);
1066   digitalWrite(5, HIGH);
1067   digitalWrite(4, LOW);
1068   digitalWrite(3, LOW);
1069   digitalWrite(2, HIGH);
1070   digitalWrite(1, HIGH);
1071   digitalWrite(0, LOW);
1072 }
1073
1074 void loop()
1075 {
1076   digitalWrite(13, LOW);
1077   digitalWrite(12, HIGH);
1078   digitalWrite(11, HIGH);
1079   digitalWrite(10, LOW);
1080   digitalWrite(9, LOW);
1081   digitalWrite(8, HIGH);
1082   digitalWrite(7, HIGH);
1083   digitalWrite(6, LOW);
1084   digitalWrite(5, LOW);
1085   digitalWrite(4, HIGH);
1086   digitalWrite(3, HIGH);
1087   digitalWrite(2, LOW);
1088   digitalWrite(1, LOW);
1089   digitalWrite(0, HIGH);
1090 }
1091
1092 void loop()
1093 {
1094   digitalWrite(13, HIGH);
1095   digitalWrite(12, HIGH);
1096   digitalWrite(11, LOW);
1097   digitalWrite(10, HIGH);
1098   digitalWrite(9, LOW);
1099   digitalWrite(8, LOW);
1100   digitalWrite(7, HIGH);
1101   digitalWrite(6, HIGH);
1102   digitalWrite(5, LOW);
1103   digitalWrite(4, LOW);
1104   digitalWrite(3, HIGH);
1105   digitalWrite(2, HIGH);
1106   digitalWrite(1, LOW);
1107   digitalWrite(0, LOW);
1108 }
1109
1110 void loop()
1111 {
1112   digitalWrite(13, LOW);
1113   digitalWrite(12, LOW);
1114   digitalWrite(11, HIGH);
1115   digitalWrite(10, HIGH);
1116   digitalWrite(9, LOW);
1117   digitalWrite(8, LOW);
1118   digitalWrite(7, HIGH);
1119   digitalWrite(6, HIGH);
1120   digitalWrite(5, LOW);
1121   digitalWrite(4, LOW);
1122   digitalWrite(3, HIGH);
1123   digitalWrite(2, HIGH);
1124   digitalWrite(1, LOW);
1125   digitalWrite(0, LOW);
1126 }
1127
1128 void loop()
1129 {
1130   digitalWrite(13, HIGH);
1131   digitalWrite(12, LOW);
1132   digitalWrite(11, LOW);
1133   digitalWrite(10, HIGH);
1134   digitalWrite(9, HIGH);
1135   digitalWrite(8, LOW);
1136   digitalWrite(7, LOW);
1137   digitalWrite(6, HIGH);
1138   digitalWrite(5, HIGH);
1139   digitalWrite(4, LOW);
1140   digitalWrite(3, LOW);
1141   digitalWrite(2, HIGH);
1142   digitalWrite(1, HIGH);
1143   digitalWrite(0, LOW);
1144 }
1145
1146 void loop()
1147 {
1148   digitalWrite(13, LOW);
1149   digitalWrite(12, HIGH);
1150   digitalWrite(11, HIGH);
1151   digitalWrite(10, LOW);
1152   digitalWrite(9, LOW);
1153   digitalWrite(8, HIGH);
1154   digitalWrite(7, HIGH);
1155   digitalWrite(6, LOW);
1156   digitalWrite(5, LOW);
1157   digitalWrite(4, HIGH);
1158   digitalWrite(3, HIGH);
1159   digitalWrite(2, LOW);
1160   digitalWrite(1, LOW);
1161   digitalWrite(0, HIGH);
1162 }
1163
1164 void loop()
1165 {
1166   digitalWrite(13, HIGH);
1167   digitalWrite(12, HIGH);
1168   digitalWrite(11, LOW);
1169   digitalWrite(10, HIGH);
1170   digitalWrite(9, LOW);
1171   digitalWrite(8, LOW);
1172   digitalWrite(7, HIGH);
1173   digitalWrite(6, HIGH);
1174   digitalWrite(5, LOW);
1175   digitalWrite(4, LOW);
1176   digitalWrite(3, HIGH);
1177   digitalWrite(2, HIGH);
1178   digitalWrite(1, LOW);
1179   digitalWrite(0, LOW);
1180 }
1181
1182 void loop()
1183 {
1184   digitalWrite(13, LOW);
1185   digitalWrite(12, LOW);
1186   digitalWrite(11, HIGH);
1187   digitalWrite(10, HIGH);
1188   digitalWrite(9, LOW);
1189   digitalWrite(8, LOW);
1190   digitalWrite(7, HIGH);
1191   digitalWrite(6, HIGH);
1192   digitalWrite(5, LOW);
1193   digitalWrite(4, LOW);
1194   digitalWrite(3, HIGH);
1195   digitalWrite(2, HIGH);
1196   digitalWrite(1, LOW);
1197   digitalWrite(0, LOW);
1198 }
1199
1200 void loop()
1201 {
1202   digitalWrite(13, HIGH);
1203   digitalWrite(12, LOW);
1204   digitalWrite(11, LOW);
1205   digitalWrite(10, HIGH);
1206   digitalWrite(9, HIGH);
1207   digitalWrite(8, LOW);
1208   digitalWrite(7, LOW);
1209   digitalWrite(6, HIGH);
1210   digitalWrite(5, HIGH);
1211   digitalWrite(4, LOW);
1212   digitalWrite(3, LOW);
1213   digitalWrite(2, HIGH);
1214   digitalWrite(1, HIGH);
1215   digitalWrite(0, LOW);
1216 }
1217
1218 void loop()
1219 {
1220   digitalWrite(13, LOW);
1221   digitalWrite(12, HIGH);
1222   digitalWrite(11, HIGH);
1223   digitalWrite(10, LOW);
1224   digitalWrite(9, LOW);
1225   digitalWrite(8, HIGH);
1226   digitalWrite(7, HIGH);
1227   digitalWrite(6, LOW);
1228   digitalWrite(5, LOW);
1229   digitalWrite(4, HIGH);
1230   digitalWrite(3, HIGH);
1231   digitalWrite(2, LOW);
1232   digitalWrite(1, LOW);
1233   digitalWrite(0, HIGH);
1234 }
1235
1236 void loop()
1237 {
1238   digitalWrite(13, HIGH);
1239   digitalWrite(12, HIGH);
1240   digitalWrite(11, LOW);
1241   digitalWrite(10, HIGH);
1242   digitalWrite(9, LOW);
1243   digitalWrite(8, LOW);
1244   digitalWrite(7, HIGH);
1245   digitalWrite(6, HIGH);
1246   digitalWrite(5, LOW);
1247   digitalWrite(4, LOW);
1248   digitalWrite(3, HIGH);
1249   digitalWrite(2, HIGH);
1250   digitalWrite(1, LOW);
1251   digitalWrite(0, LOW);
1252 }
1253
1254 void loop()
1255 {
1256   digitalWrite(13, LOW);
1257   digitalWrite(12, LOW);
1258   digitalWrite(11, HIGH);
1259   digitalWrite(10, HIGH);
1260   digitalWrite(9, LOW);
1261   digitalWrite(8, LOW);
1262   digitalWrite(7, HIGH);
1263   digitalWrite(6, HIGH);
1264   digitalWrite(5, LOW);
1265   digitalWrite(4, LOW);
1266   digitalWrite(3, HIGH);
1267   digitalWrite(2, HIGH);
1268   digitalWrite(1, LOW);
1269   digitalWrite(0, LOW);
1270 }
1271
1272 void loop()
1273 {
1274   digitalWrite(13, HIGH);
1275   digitalWrite(12, LOW);
1276   digitalWrite(11, LOW);
1277   digitalWrite(10, HIGH);
1278   digitalWrite(9, HIGH);
1279   digitalWrite(8, LOW);
1280   digitalWrite(7, LOW);
1281   digitalWrite(6, HIGH);
1282   digitalWrite(5, HIGH);
1283   digitalWrite(4, LOW);
1284   digitalWrite(3, LOW);
1285   digitalWrite(2, HIGH);
1286   digitalWrite(1, HIGH);
1287   digitalWrite(0, LOW);
1288 }
1289
1290 void loop()
1291 {
1292   digitalWrite(13, LOW);
1293   digitalWrite(12, HIGH);
1294   digitalWrite(11, HIGH);
1295   digitalWrite(10, LOW);
1296   digitalWrite(9, LOW);
1297   digitalWrite(8, HIGH);
1298   digitalWrite(7, HIGH);
1299   digitalWrite(6, LOW);
1300   digitalWrite(5, LOW);
1301   digitalWrite(4, HIGH);
1302   digitalWrite(3, HIGH);
1303   digitalWrite(2, LOW);
1304   digitalWrite(1, LOW);
1305   digitalWrite(0, HIGH);
1306 }
1307
1308 void loop()
1309 {
1310   digitalWrite(13, HIGH);
1311   digitalWrite(12, HIGH);
1312   digitalWrite(11, LOW);
1313   digitalWrite(10, HIGH);
1314   digitalWrite(9, LOW);
1315   digitalWrite(8, LOW);
1316   digitalWrite(7, HIGH);
1317   digitalWrite(6, HIGH);
1318   digitalWrite(5, LOW);
1319   digitalWrite(4, LOW);
1320   digitalWrite(3, HIGH);
1321   digitalWrite(2, HIGH);
1322   digitalWrite(1, LOW);
1323   digitalWrite(0, LOW);
1324 }
1325
1326 void loop()
1327 {
1328   digitalWrite(13, LOW);
1329   digitalWrite(12, LOW);
1330   digitalWrite(11, HIGH);
1331   digitalWrite(10, HIGH);
1332   digitalWrite(9, LOW);
1333   digitalWrite(8, LOW);
1334   digitalWrite(7, HIGH);
1335   digitalWrite(6, HIGH);
1336   digitalWrite(5, LOW);
1337   digitalWrite(4, LOW);
1338   digitalWrite(3, HIGH);
1339   digitalWrite(2, HIGH);
1340   digitalWrite(1, LOW);
1341   digitalWrite(0, LOW);
1342 }
1343
1344 void loop()
1345 {
1346   digitalWrite(13, HIGH);
1347   digitalWrite(12, LOW);
1348   digitalWrite(11, LOW);
1349   digitalWrite(10, HIGH);
1350   digitalWrite(9, HIGH);
1351   digitalWrite(8, LOW);
1352   digitalWrite(7, LOW);
1353   digitalWrite(6, HIGH);
1354   digitalWrite(5, HIGH);
1355   digitalWrite(4, LOW);
1356   digitalWrite(3, LOW);
1357   digitalWrite(2, HIGH);
1358   digitalWrite(1, HIGH);
1359   digitalWrite(0, LOW);
1360 }
1361
1362 void loop()
1363 {
1364   digitalWrite(13, LOW);
1365   digitalWrite(12, HIGH);
1366   digitalWrite(11, HIGH);
1367   digitalWrite(10, LOW);
1368   digitalWrite(9, LOW);
1369   digitalWrite(8, HIGH);
1370   digitalWrite(7, HIGH);
1371   digitalWrite(6, LOW);
137
```

Основные конструктивные недоработки и их решение



Первая недоработка связана с конструкцией «пальцев» гриппера. Чтобы придать схвату универсальность, я изменил форму «пальцев» и дополнил их встроенными датчиками цвета RGB. Кроме того, в целях безопасности для человека, я разместил на гриппере инфракрасный датчик движения.



Вторую недоработку я выявил при монтаже двигателя плечевого узла. Фиксированные круглые крепёжные отверстия на детали не позволяют произвести микро подгонку мотора по высоте. В результате между ведущей шестернёй вала мотора и ведомой шестернёй предплечья возникает люфт. Для устранения которого, я заменил круглые отверстия на вертикальные прорези и перепечатал деталь.



Третья недоработка связана со слабым удерживающим моментом ШД Nema 17 равным 4 кг/см, как оказалось недостаточным для работы с плечом рычага длиной 0,48 м и массой 0,8 кг. Для устранения этого недостатка, я заменил в нижней части конструкции два ШД Nema 17 на один ШД Nema 57с удерживающим моментом 20 кг/см и перепечатал деталь.

Подведение итогов работы

Запуск готовой модели я оцениваю положительно. Предварительные расчёты оказались верными. Непредвиденных ситуаций не возникло. Робот справился с решением поставленной задачи.



Напечатанный 3D робот-манипулятор имеет следующие характеристики:

Специализация: универсальный, настольный мини робот

Тип запястья: классическое запястье

Количество осей робота: 3

Достигаемость: min 0,065 м; max 0,42 м

Грузоподъемность: 0,5 кг

Точность \ повторяемость : 0.1 мм

Вес : 3,3 кг

Примерная стоимость: около 16 тыс. рублей

Вывод

Цель проекта достигнута. Напечатан и собран коллаборативный робот-манипулятор, выполняющий сортировку, укладку, анализ и умеющий работать совместно с человеком. Готовая модель имеет относительно небольшую себестоимость около 16 тыс. руб., доступность в изготовлении и простоту настройки. На сегодняшний день при средней зарплате около 30 тыс. рублей сотрудника такой же специализации предприятие сэкономит около 14 тыс. рублей на человека в месяц при окупаемости за 83 часа. Данный 3D робот может применяться в качестве учебной модели в школах на уроках информатики, в техникумах для обучения основам программирования, в кружках по робототехнике, в небольших лабораториях, исключая вредность производства, как альтернативный вариант более дорогостоящим подобным роботам.

Список используемых источников

1. А.Д.Ботвинников, В.Н. Виноградов , Черчение 9 класс. Учебник,
2. Жарков Н.В., Минеев М.А., Финков М.В., Компас -3D. Полное руководство. 2-е издание.-СПб.: «Наука и Техника»,2018г.
3. Лаксонен А., Олимпиадное программирование, Москва «ДМК»,2018г.
4. Петин В.А., Биняковский А.А, Практическая энциклопедия ARDUINO, Москва «ДМК»,2019г.
5. Шилдт Г., С++ Шаг за шагом, Москва, ЭКОМ, 2013г.
6. <https://top3dshop.ru/blog/kollaborativ-robot-opredelenie-i-primenenie.html>
7. <https://roboticsandautomationnews.com>
8. <https://www.3dpulse.ru/news/roboty/>
9. <https://robo-hunter.com/news/kollaborativnaya-revolyciya>