

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Ерпанова Айнұра Убайдуллаевна

«Лазерлі қашықтық өлшеуішпен жабдықталған мобильді роботтың
навигациясы және басқарылуы»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071600 – Аспап жасау мамандығы

Алматы 2020



SATBAYEV
UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтық техника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ

РТЖАТҚ кафедра меңгерушісі

техника ғылым кандидаты



Қ.А. Ожикенов

«23» мамыр 2020 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Лазерлі қашықтық өлшеуішпен жабдықталған мобильді роботтың навигациясы және басқарылуы»

5B071600 – Аспап жасау мамандығы бойынша

Орындаған

Ерпанова А.У.

Ғылыми жетекшісі
физика-математика ғылымдарының
кандидаты, қауымдастырылған
профессор



Бақтыбаев М.Қ.

« 23 » мамыр 2020 ж.

Алматы 2020



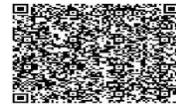
SATBAYEV
UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты
«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

5B071600 – Аспап жасау

БЕКІТЕМІН

РТжАТҚ кафедра меңгерушісі
техника ғылым кандидаты



Қ.А. Ожикенов
«23» қаңтар 2020 ж.

ТАПСЫРМА

дипломдық жұмысты орындауға

Білім алушыға Ерпанова Айнура Убайдуллаевна

Тақырыбы: «Лазерлі қашықтық өлшеуішпен жабдықталған мобильді роботтың навигациясы және басқарылуы»

Университет ректорының бұйрығымен бекітілген №726-б «27» қаңтар 2020 ж.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «15» мамыр 2020 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: Лазерлі қашықтық өлшеуіш, мобильді роботтың навигациясы

Дипломдық жұмыста әзірленуге жататын мәселелер тізімі:

- а) робот және оның ортасына виртуалды модель жасау;
- б) жасалынған модельге бағдарламалық жабдықтаманы таңдау;
- в) автаномды навигациялық жүйені әзірлеу.

Графикалық материалдың тізбегі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

14 слайд

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 21 әдебиеттер тізімі


Дипломдық жобаны дайындау

КЕСТЕСІ

| Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі | Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері | Ескертпелер |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Теориялық бөлім | 22.01 – 15.02.2020 ж. | Орындалды |
| Есептеу бөлімі | 22.01 – 15.02.2020 ж. | Орындалды |
| Бағдарламалық бөлім | 15.03 – 20.04.2020 ж. | Орындалды |
| Зерттеу бөлімі | 15.03 – 20.04.2020 ж. | Орындалды |
| Қорытынды бөлім | 15.03 – 20.04.2020 ж. | Орындалды |

Аяқталған дипломдық жобаға және оған қытысты бөлімдерінің кеңесшілері мен қалып бақылаушының

ҚОЛТАҢБАЛАРЫ

| Бөлімдердің атауы | Ғылыми жетекшілер, кеңесшілер, (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы) | Қол қойылған күні | Қол |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Қалып бақылаушы | Ж.С.Бигалиева, техника ғылымдары магистрі, лектор | 23.05.2020 ж. |  |



Ғылыми жетекшісі

Бақтыбаев М.Қ.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Ерпанова А.У.

Күні «23» мамыр 2020 ж.

АҢДАТПА

Мобильді робот – өндіріс өнімділігін арттыратын, қателіктерді болдырмайтын, уақытты үнемдейтін және бақылауды күшейтетін толықтай автономды интеллектуалды машиналар болып табылады. Қазіргі таңда мобильді роботтың қозғалу ортасына және қозғалуына байланысты қолдану аясы артып барады. Бұл дипломдық жұмыста қарапайым лазерлі қашықтық сенсорларды (дальномер) қолдана отырып, мобильді робот үшін SLAM алгоритмына негізделген навигация және басқаруды жасау және оның жұмысын виртуалды ортада модельдеу қарастырылған

Дипломдық жұмыстың міндеттері бойынша лазерлі дальномермен жабдықталған мобильді роботтың орнын анықтау, жасалынған модельге бағдарламалық жабдықтаманы жасау және роботтың навигациялық жүйесін әзірлеу сияқты тапсырмалар орындалды. Тәжірибенің негізгі бөлігі ROS, яғни Robotic Operating System және Gazebo плагиндері арқылы жасалынды

Жұмыстың практикалық маңыздылығы ретінде басқару операторымен байланыс үзілген жағдайдағы роботтың лазерлі қашықтық өлшеуіш датчиктер арқылы автономды қозғалысын айтуға болады

АННОТАЦИЯ

Мобильный робот – это полностью автономные интеллектуальные машины, которые повышают производительность производства, предотвращают ошибки, экономят время и усиливают контроль. В настоящее время область применения мобильного робота увеличивается в зависимости от среды движения и движения. В данной дипломной работе предусмотрено создание навигации и управления, основанного на алгоритме SLAM для мобильного робота с использованием простых лазерных дистанционных датчиков (дальномер) и моделирование его работы в виртуальной среде.

Задачами дипломной работы были определение местоположения мобильного робота, оснащенного лазерным дальномером, разработка программного обеспечения для модели и разработка системы навигации робота. Большая часть эксперимента была выполнена с использованием ROS, Robotic Operating System и плагинов Gazebo.

Практическая значимость работы заключается в автономном движении робота с помощью лазерных дальномеров в случае отключения от оператора управления.

ANNOTATION

A mobile robot is a fully Autonomous intelligent machine that increases production productivity, prevents errors, saves time, and increases control. Currently, the scope of application of the mobile robot is increasing depending on the traffic and movement environment. This thesis provides for the creation of navigation and control based on the SLAM algorithm for a mobile robot using simple laser remote sensors (rangefinder) and modeling its operation in a virtual environment.

According to the tasks of the thesis, such tasks as determining the location of a mobile robot equipped with a laser rangefinder, developing software for the developed model and developing the robot's navigation system were performed. The main part of the experience was developed using ROS plugins, i.e. Robotic Operating System and Gazebo

The practical significance of this work is the Autonomous movement of the robot through laser rangefinder sensors in the event of a break in communication with the control operator.

МАЗМҰНЫ

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Кіріспе | 9 |
| 1 Навигациялық жүйелердің теориялық негіздемесі | 10 |
| 1.1 Техникалық оптика | 10 |
| 1.2 Навигациялық жүйелердің түрлері | 11 |
| 1.3 Мобильді роботтарды басқарудың қолданыстағы шешімдері | 13 |
| 2 Қосымша техникалық жабдықтар бойынша зерттеу | 14 |
| 2.1 Роботтың навигациялық сенсорикасы | 14 |
| 2.2 Қашықтық өлшеуіш түрлері | 18 |
| 3 Мобильді роботтың бағдарламалық жасақтама және автономды басқару навигациясы | 23 |
| 3.1 Роботтың виртуалды моделі және лазерлі қашықтық өлшеуіш | 23 |
| 3.2 Роботты жүйелерді дамытуға арналған бағдарламалық қамтамасыздандыру | 29 |
| 3.3 Мобильді роботтың басқару контроллері | 30 |
| 3.4 Мобильді роботтың одометриясы | 31 |
| 3.5 Мобильді роботтың автономды навигациялық жүйесі | 32 |
| Қорытынды | |
| Қысқартулар және терминдер | |
| Пайдаланылған әдебиеттер тізімі | |
| А Қосымшасы | |
| Б Қосымшасы | |
| В Қосымшасы | |
| Г Қосымшасы | |

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта робототехника дамыған индустрияға айналды: әлемдегі әртүрлі кәсіпорындарда мыңдаған роботтар жұмыс істейді, су астындағы манипуляторлар су астындағы зерттеулер мен құтқару құралдарының таптырмайтын аксессуарына айналды, ғарышты зерттеу әртүрлі интеллект деңгейіне ие роботтардың кеңінен қолданылуына негізделген. Роботтық манипуляторларды қолдана отырып, әртүрлі салалардағы ауыр, зиянды, шаршататын және монотонды жұмыстарды автоматтандыруға ерекше көңіл бөлінеді.

Автономды мобильді робот болуы керек негізгі функциялардың бірі - өзі орналасқан жердің параметрлерін дәл анықтау және рельеф карталарын құру мүмкіндігі. Робот SLAM (ағылшын тілінде simultaneous localization and mapping - бір уақытта локализация және картаны құру) мәселесін шешуі керек. Кезкелген SLAM әдісінің негізі ол қоршаған кеңістіктегі объектілерге дейінгі қашықтықты өлшеу және оларға қатысты позициялардың өзгеруін бағалау мүмкіндігі. Қашықтықты өлшегіштер ретінде, мысалы, лазерлік дальномерлер немесе радарлар қолданылады. Роботтың орналасуындағы өзгерісті бағалау үшін қозғалтқыштардың (сенсорлардың) бұрыштық сенсорлары, визуалды одометрлер немесе инерциялық өлшеу құралдары қолданылады. Заттарға дейінгі қашықтық және роботтың қазіргі жағдайы туралы мәліметтерді қолдана отырып, қоршаған кеңістіктің картасы жасалынған. Пайдаланылған қашықтық өлшегіштерге байланысты карта тегіс 2D немесе 3D болуы мүмкін.

Таңдалған тақырыптың өзектілігі қазіргі робототехникада роботты локализациялау әдістерін дамытудың маңыздылығына және рельеф карталарын құру барысында оның навигациясымен басқарылуына байланысты.

Жұмыстың мақсаты қарапайым лазерлі қашықтық сенсорларды (дальномер) қолдана отырып, мобильді робот үшін SLAM алгоритмына негізделген навигация және басқаруды жасау және оның жұмысын виртуалды ортада модельдеу.

Мақсатқа сәйкес келесі міндеттерді шешу қажет:

- теориялық негіздерді оқып үйрену және SLAM есептерін шешудің негізгі әдістері мен тәсілдерімен танысу;
- әр түрлі тәсілдерді талдау негізінде лазерлі дальномермен жабдықталған мобильді роботтың орнын анықтау;
- робот және оның ортасына виртуалды модель жасау ;
- жасалынған модельге бағдарламалық жабдықтаманы таңдау;
- автономды навигациялық жүйені әзірлеу.

Дипломдық жұмыс кіріспеден, үш бөлімнен, қорытындыдан, қысқартулардан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады.

1 Навигациялық жүйелердің теориялық негіздемесі

1.1 Техникалық оптика

Техникалық оптика - бұл оптикалық ақпаратты қабылдауға арналған құрылғыдан және үлгіні тану жүйесінен тұратын жүйе. 60-жылдардың аяғында дербес пән ретінде қалыптасқан техникалық көзқарас. Оның даму тарихында келесі кезеңдерді бөлуге болады:

- 1955 ж. - Массачусетс технологиялық институтының профессоры Оливер Сельфриж «Модель тану және заманауи компьютерлер» атты мақала жариялады. Онда автор компьютерді дыбыс пен бейнені тану құралдарымен жабдықтау туралы теориялық идеяны алға тартты[1].

- 1960 ж. - суреттерді өңдеудің алғашқы бағдарламалық жүйелерінің пайда болуы (негізінен ұшақтар мен спутниктерден алынған фотосуреттерден болатын кедергілерді жою үшін), баспа кейіпкерлерін тану саласындағы қолданбалы зерттеулер дами бастады[1].

- 1970 жылдар - МІТ-тің аспиранты Лаврен Робертс екі өлшемді кескіндерді талдауға негізделген заттардың үшөлшемді кескіндерін машина жасау туралы тұжырымдамасын ұсынды. Бұл кезеңде деректерді терең талдау басталды. Нысандарды тану үшін құрылымдық, ерекшелік және құрылымды қоса жаңа тәсілдер қолданыла бастады[1, 2].

- 1979 ж. - Гамбург университетінің профессоры Ханс-Хельмут Нагель динамикалық көріністерді талдау теориясының негізін қалады, бұл бізге қозғалатын заттарды тануға мүмкіндік береді.

- 1980 жылдардың аяғында роботтар айналасындағы әлемді қанағаттанарлық түрде бағалай алатын және оператордың көмегінсіз кейбір әрекеттерді орындай алатын роботтар құрылды [2].

- 90-жылдардың басынан бастап модульдік парадигмаға сәйкес кескіндерді өңдеу алгоритмдерін жасау әдетке айналды. Адамның көрнекі қабылдау принциптерін зерттей отырып, Дэвид Марр кескінді талдау өсіп келе жатқан ақпарат жолының бірнеше деңгейіне негізделуі керек деп ұсынды

- 2003 ж. - сатылымда жер бетін танудың алғашқы сенімді жүйелері пайда болды [3].

Қазіргі уақытта техникалық оптика - бұл кибернетиканың толықтай құрылған бөлімі. Түрлі роботтардың үлкен саны (үйдегі техникадан әскериге дейін) техникалық көзқарасты белгілі бір жолмен қолданады.

Өрістің дамуына қарамастан, компьютерлер әлі де адам сияқты «көре алмайды». Камералар адамның көру жүйесіне тең келмейді, ал адамдар болжау мен болжамдарға сене алатын болса, машинаның көру жүйелері кескіннің жеке пикселдерін зерттеп, өңдеп, білім базасы мен кескінді тану функцияларын қолдана отырып қорытынды жасауға тырысу арқылы «көруі» керек.

Өзекті мәселелердің бірі ретінде компьютерге адамға қарағанда анағұрлым қиын болатын үлгіні тану болып қала береді. Адам үшін үлгіні тану табиғи процесс. Біз фотосуретте таныс адамды оңай табамыз немесе затты фондан бөліп

аламыз. Теориялық тұрғыдан кескіндердің шексіз дерлік мәліметтер базасына ие заманауи компьютерлер кіріс суреттеріндегі нысандарды оңай жіктей алатын сияқты. Алайда бірқатар жайттар бұған кедергі келтіреді:

1. Суреттер әртүрлі масштабта болуы мүмкін. Адамның көзқарасы бойынша объектілер бірдей деп қабылданады, әр түрлі суреттерде әр түрлі аймақ орналасқан.

2. Анықталуы керек нысан кескіннің әртүрлі орындарында болуы мүмкін.

3. Нысанның үлгісі әр түрлі жарықтық пен контрастқа ие болуы мүмкін.

4. Адамдар бөлек нәрсе ретінде қабылдайтын объект кескіннен ерекшеленбейді, тіпті басқа заттардың аясында жоғалуы мүмкін. Сонымен қатар, кескіндердің көпшілігі жетілмеген және шу, кедергілер бар.

5. Сурет - нағыз үш өлшемді әлемді бейнелейтін екі өлшемді проекция. Сондықтан көру бұрышының өзгеруі немесе айналуы оның екі өлшемді проекциясына, яғни кескініне түбегейлі әсер етеді. Көру бұрышына, айналу немесе объектінің қашықтығына байланысты нақты объект мүлдем басқа проекцияларды береді.

6. Нысан кескінде мүлдем көрінбеуі мүмкін, бұл іздеу алгоритмінің жалған оң нәтижесіне әкеледі.

Техникалық оптиканың маңызды міндеттерінің бірі SLAM, яғни бір уақытта локацияға орналастыру және картаға түсіру болып табылады [4].

Бұл міндет мобильді роботтың белгісіз кеңістік картасын құрумен және бір уақытта навигациямен байланысты. Тапсырма үшін бастапқы деректер керек, яғни белгілі бір орта (бөлме, ашық аймақ, су немесе ауа) және сенсорлары бар робот туралы ақпараттар қажет. Кез-келген уақытта роботтың орналасқан жерін және уақыттың алғашқы сәтінен бастап қазіргі уақытқа дейін байқауға болатын қоршаған кеңістіктің картасын білу қажет. Роботтың орнын бастапқы роботпен байланысты жергілікті координаттар жүйесінде роботтың орнын көрсету қисынды, себебі оның кеңістіктегі орны туралы априори ақпарат жоқ. Салынған картаға қойылатын талаптар әр түрлі болуы мүмкін. Ең бастысы - роботтың бойымен жүру мүмкіндігі. Онсыз орналасуды есептеу және картаны құру дербес жүзеге асырылады, бұл қатенің үнемі өсуіне әкеледі. Басқа талаптар адамның қабылдауына қол жетімділікті, үлкен кеңістікті қолдауды және т.б. қамтуы мүмкін.

1.2 Навигациялық жүйелердің түрлері

Навигациялық жүйенің үш түрі бар:

- Глобалды. Ұзақ маршруттар бойынша қозғалу кезінде құрылғының абсолютті координаталарын анықтау;

- Жергілікті. Кейбір нүктеге қатысты құрылғының координаталарын анықтау. Бұл схема тактикалық пилотсыз ұшақтар мен жердегі роботтарды жасаушылардан бұрын белгілі болған аймақта миссияларды орындайтын адамдарға қажет;

- Жеке. Өз денесінің бөліктерін роботты орналастыру және манипуляторлармен жабдықталған құрылғылар үшін маңызды объектілермен өзара әрекеттесу.

Әзірленген модульде жергілікті навигациялық жүйе бар, өйткені оны бұрын белгісіз ортада пайдалану керек; Бұл мүмкін, шектеулі жағдайда, мүмкін, сырттан эиген координаттары туралы мәлімет алады. Өз денесінің бөліктерін орналастыру да артық функция болып табылады.

Навигациялық жүйелер тағы бір ерекшелікке сәйкес жіктеледі - олар енжар және белсенді бола алады. Пассивті навигациялық жүйеге сыртқы көздерден өзіміздің координаттарымыз және қозғалысымыздың басқа сипаттамалары туралы ақпарат алу кіреді. Мысалы, GPS көмегімен навигациялық басқару. Жергілікті навигациялық жүйелерде GPS қолдану қажет емес, өйткені жақсы жағдайда кепілдендірілген дәлдік тек 1-2 метрді құрайды [4]. Қаланың тығыз дамуы жағдайында, төсеніштің едәуір бөлігі жақын орналасқан ғимараттармен, шатырлармен және басқа да кедергілермен жасырылған жағдайда, координаталарды анықтау дәлдігі 20-30 метрге дейін түсуі мүмкін. Мұндай дәлдік жергілікті навигация мәселесін шешуде қолайсыз.

Жергілікті навигацияның тағы бір пассивті тұжырымдамасы - маяктардың көмегімен роботтың жұмыс аймағында борттық микропроцессормен өңделетін радио сигналдарының көздерін орналастыру. Мұндай жүйені детерминирленген емес ортада қолдануға болмайды, демек ол белгілі бір тар шеңберлі міндеттерді шешуге мүмкіндік береді.

Белсенді навигациялық жүйелер орналасқан жерді тек сыртқы көздерден алынған деректерді пайдаланбай-ақ анықтауға арналған. Қоршаған орта туралы ақпарат алуға мүмкіндік беретін техникалық құрылғыларды қарастырамыз.

- Лазерлі қашықтық өлшеуіш. Оны қолдана отырып, біз үлкен қашықтықта (4000 метрге дейін) жылдамдықты секундына 222,000 нүктеге дейінгі дәлдікті 1 мм дәлдікпен есептей аламыз. Алайда, бұл сканерлер қарапайым тұтынушыларға арналмаған, өйткені олардың құны өте жоғары. Сонымен қатар, әйнек бар жерлерде (шағылыстыруға байланысты) және су астында (шашырау салдарынан) оларды қолдануда бірқатар проблемалар бар [5].

- Ультрадыбыстық сонарлар. Бағалары салыстырмалы түрде төмен болғанына қарамастан, өлшеулердің дәлдігі төмен, көру бұрышы және ұзақ уақыт жауап беруі арқасында танымал емес.

- Инфрақызыл диапазондар. Төмен құны мен қол жетімділігіне қарамастан, олардың көлемі өлшеу дәлдігінің төмендігі мен шамамен 150 сантиметрдің төменгі диапазонына байланысты шектелген.

- Одометрлер. Одометр дегеніміз дискілерден алынған мәліметтер негізінде жүріп өткен қашықтықты есептеуге мүмкіндік беретін құрылғы. Нақты жағдайда одометрлер доңғалақтардың сырғып кетуі және сырғанауы сияқты жағымсыз әсерлерге ұшырайды. Егер біз жүрілген қашықтықты есептегенде тек одометрге сенсек, жинақталған қателер карта құрылысын қиындатып қана қоймай, бұл тапсырманы мүмкін емес етуі мүмкін. Сондықтан, әдетте, одометр басқа сенсорлармен бірге көмекші сенсор ретінде қолданылады.

- Бейнекамералар. Бейнекамералар басқа сенсорларға қарағанда қоршаған орта туралы көбірек ақпарат бере алады. Қазіргі уақытта көру қабілетінің техникалық мәселелерін шешу үшін екі жұпты камерадан тұратын стереожүйелер кеңінен қолданылады. Мұндай жүйе кедергілерге дейінгі қашықтықты есептеп қана қоймай, оның 3D моделін құруға мүмкіндік береді. Бейнекамераларды пайдалану кезінде жиі кездесетін проблемалар: жоғары есептеу күрделілігі, дәл емес калибрлеу, жарықтандыруға тәуелділік, шағылысатын беттермен жұмыс кезінде қате мәліметтер, біртекті орта.

- Инерциялық өлшеу құралдары. Инерциялық навигацияның мәні қозғалатын объектіге орнатылған аспаптар мен құрылғылардың көмегімен объектінің үдеуін және оның бұрыштық жылдамдығын анықтау болып табылады. Осы мәліметтерді қолдана отырып, объектінің орналасқан жері, оның жылдамдығы мен қозғалыс бағыты анықталады. Әр инерциялық өлшеу құралында кем дегенде акселерометр мен гироскоп бар. Мұндай құрылғылар көптеген қозғалыс параметрлерін - координаттар, жылдамдық, үдеу, азимутты шығара алады. Осының арқасында ғарышты, ауаны, жер үсті көліктерін және басқа да қозғалатын объектілерді навигация мәселелерін шешуде инерциалды навигациялық әдістер жиі қолданылады.

Әзірленген модульде қолданылатын навигациялық жүйе белсенді, себебі ол сенсорлардың мәліметтері негізінде орналасқан жерді анықтауға арналған.

1.3 Мобильді роботтарды басқарудың қолданыстағы шешімдері

Қазіргі уақытта SLAM мәселесін шешетін көптеген жүйелер бар. Бұл жүйелердің көпшілігі коммерциялық емес немесе тар салалар болып табылады. Бұл технологияның техникалық көру саласындағы міндеттерді дәл шешетін деңгейге жетпегендігімен байланысты. Алайда Google Прожект Танго атты жаңа технологияны ұсыну арқылы алға үлкен қадам жасады.

Прожект Танго - бұл қоршаған кеңістіктің 3D моделін құру технологиясы. Технология Google компаниясының арнайы смартфондары мен планшеттерінде қолдануға арналған. Құрылғы бірнеше камералар мен тереңдік датчиктерінің мәліметтерін қолдана отырып, нақты уақыт режимінде қоршаған кеңістіктің 3D моделін құра алады. Бұл баламасы жоқ революциялық технология. Алайда жоба әзірлену үстінде және дайын өнім ретінде жоқ. Осы себепті, техникалық сипаттамалар белгісіз. Жоба сәтті аяқталса да, аппараттық платформалардың саны тым көп болғандықтан, сондай-ақ олардың қымбаттығына байланысты бұл шешім кең таралмайды. Өз кезегінде мен әзірлеген алгоритм көптеген бюджеттік платформаларда қолданылады.

Қазіргі уақытта әмбебап шешім болмаған жағдайда SLAM мәселесі жоғарыда аталған датчиктер мен осы сенсорларға арналған бағдарламалық қамтамасыздандырудың көмегімен шешіледі. Датчиктер әрдайым дәл өлшеуді қамтамасыз етпейтіндіктен және уақыт өте келе қателіктердің жиналуына бейім болғандықтан, роботтың орналасуы оның нақты жағдайынан айтарлықтай

ерекшеленуі мүмкін. Бұл кемшілікті жою үшін SLAM қолданатын алгоритмдердің көпшілігі келесі тәсілдерді қолданады: жетілдірілген Кальман сүзгісі, бөлшектердің сүзгісі немесе графикадағы SLAM. Оларды толығырақ қарастырайық.

Кеңейтілген Кальман фильтрі - динамикалық жүйенің күй векторын бағалайтын және дәлдігі төмен өлшеулерді қолданатын рекурсивті фильтр. Бұл тәсілдің басты кемшілігі алгоритмнің күрделілігінің байқалған жер санына квадраттық тәуелділігі болып табылады.

Бөлшектердің сүзгісі Бөлшектерді сүзгілеуге негізделген әдістердің көрнекті өкілдерінің бірі - Монте-Карло әдісі. Бұл әдіс роботты ғарышта локализациялау үшін қолданылады және «бөлшектер» деп аталатын суреттер жиынтығында жұмыс істейді. Оның артықшылығы логарифмдік күрделілігінде.

Графтар бойынша жасалынған SLAM. Бұл әдіспен сызбалық карта түрінде карта көрінісі қолданылады. Мұндай графиктің тораптары картадағы роботтың орналасуы және диапазонды байланыстырғыштар көмегімен алынған карта нүктелері, ал жиектері картадағы роботтың салыстырмалы позициясы мен осы позициялардан байқалатын карта элементтері арасындағы байланыс болып табылады [6]. Бұл тәсіл алдыңғы тәсілдермен салыстырғанда картаны салу дәлдігінде азырақ.

Мәселе мобильді платформада шешілгендіктен, алгоритм есептеу ресурстарына таңданбауы керек. Сондықтан, робот модулін нақтылау үшін жоғарыда аталған алгоритмдер қолданылмайды, бірақ жоғарылатылған дәлдікке өз сенсоры қолданылады. Қозғалыс параметрлерін дәл бағалаумен қатар, аялдама кезінде жинақталған қатені дербес жоя алады.

2 Қосымша техникалық жабдықтар бойынша зерттеу

2.1 Роботтың навигациялық сенсорикасы

Автономды мобильді роботтың сенсорлық жүйесіне арналған сенсорлардың негізгі түрлері:

- Жылдамдық және үдеу датчиктері (акселерометрлер, гироскоптар, кодерлер және т.б.);
- Спутниктік навигация (GPS);
- Стереоскопиялық бейне жүйелер;
- Қашықтық өлшеуіш датчиктер.

Сенсордың әр түрінің жұмысының негізгі принциптерін бөлек қарастырамыз.

Локациялық, жылдамдық және үдеу датчиктері.

а) Бұрыш сенсоры

Айналмалы осьтің (біліктің) орнын анықтауға болады. Бұл құрылғыда механикалық қозғалыс электрлік сигналдарға айналады, олар объектінің орнын анықтайды, біліктің айналу бұрышы, оның позициясы және айналу бағыты

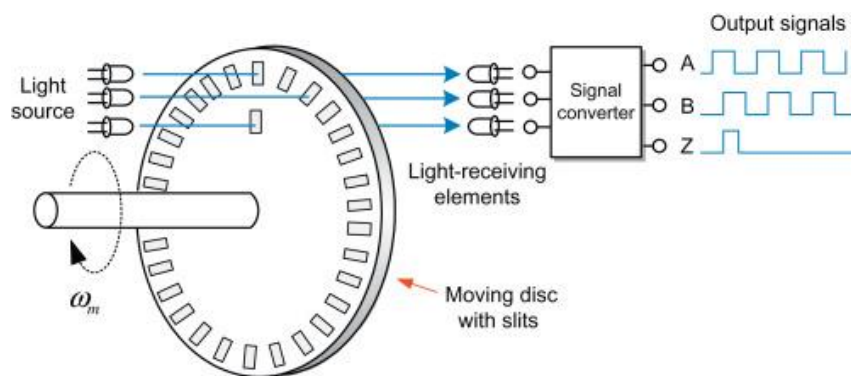
туралы ақпарат береді. Кодтағыштың көмегімен біз ұзындық пен қашықтықты өлшей аламыз немесе орын ауыстыруды орната аламыз.

Кодерлердің келесі түрлерін ажыратады: инкрементті және абсолютті.

Инкрементті кодер дегеніміз - импульсті сандық кодты шығару арқылы айналатын заттардың бұрылу бұрышын анықтайтын құрылғы. Қуатты өшіру кезінде абсолютті бұрыштық позицияны сақтаудың қажеті болмаған кезде біліктің (осьтің) айналу жылдамдығын анықтау үшін қолданылады. Яғни, білік тұрақты болса, импульстардың берілуі тоқтайды. Басқаша айтқанда, егер біз осы типтегі кодтаушыны қоссақ, бұрылыс ол өшірілгенге дейін емес, нөлден басталады. Инкрементті кодерлердің басты артықшылықтары: олардың қарапайымдылығы, сенімділігі және салыстырмалы түрде арзан бағасы.

Абсолютті кодер объектінің әр позициясы үшін әр түрлі болатын сандық кодты қамтамасыз етеді, электр тогының бұзылуы және қалпына келуі жағдайында да осьтің бұрылу бұрышын анықтауға мүмкіндік береді және объектінің бастапқы орнына оралуын талап етпейді, бұл осы типтегі кодерлердің сөзсіз артықшылығы болып табылады. Айналу бұрышы әрдайым белгілі болғандықтан, бұл жағдайда импульстік есептегіш қажет емес. Абсолютті кодер сигнал кедергіге және дірілге ұшырамайды, сондықтан білікке дәл баптау қажет емес [7].

Кодерлердің іс-әрекет принциптеріне қарай төмендегі түрлерге бөлінеді: оптикалық, магниттік, магниторезистикалық кодерлер. Мысалы, қарапайым оптикалық кодтағыштың жұмыс принципін қарастырамыз (2.1 сурет).



2.1 сурет - Оптикалық кодердің блок-схемасы

Әрекет принципіне сәйкес, олар мыналарды ажыратады: оптикалық, магниттік, магниторезистикалық кодерлер. Мысалы, қарапайым оптикалық кодтағыштың жұмыс принципін қарастырамыз. Оптикалық кодердің дизайны арнайы оптикалық диск, жарық шығаратын диод және фото детектордан тұрады. Оптикалық масштабтағы диск (дискінің беті мөлдір және мөлдір емес бөлімдерден тұрады) білікке қатаң бекітілген. Нысан бұрылған кезде арнайы фото детектор ақпаратты оқып, оны электрлік импульстарға айналдырады.

б) акселерометр

Акселерометр - бұл объектінің үдеуін өлшеу үшін қолданылатын сенсор. Акселерометрлердің маңызды қасиеттерінің бірі - олардың барлық сыртқы күштерге, соның ішінде ауырлық күшіне сезімталдығы. Жұмыс принципіне сәйкес акселерометрлер механикалық және пьезоэлектрлік болып бөлінеді. Механикалық акселерометр - серпімді суспензияға бекітілген сезімтал масса. Көрінетін үдеу болған кезде массаның бастапқы күйден ауытқуы осы үдеудің шамасы туралы ақпарат береді. Пьезоэлектрлік акселерометрлер кейбір кристалдардың қасиеттеріне сүйенеді.

Механикалық гироскоптардың ішінде айналмалы гироскоп ерекшеленеді - айналу осі кеңістіктегі бағытын еркін өзгерте алатын тез айналатын қатты зат. Бұл жағдайда гироскоптың айналу жылдамдығы оның айналу осінің айналу жылдамдығынан едәуір асады. Мұндай гироскоптың негізгі қасиеті - оған сыртқы күштердің әсері болмаған кезде кеңістікте айналу осінің өзгермеген бағытын ұстап тұру және сыртқы күштердің әрекетіне тиімді қарсы тұру мүмкіндігі. Бұл қасиет негізінен гироскоптың меншікті айналуының бұрыштық жылдамдығының шамасымен анықталады.

Тербелмелі гироскоптың жұмыс принципі Кориолис күшінің тербелмелі затқа әсер етуіне негізделген. Егер объект белгілі бір жылдамдықпен v (t) айналса, айналмалы жазықтықта болса және айналу осі тербеліс осіне перпендикуляр болса, онда Кориолис үдеуі $a = 2 [\Omega \times v]$ (2.1) болады [8]. Тербелістер заңын біліп, a мәнін өлшеп, бұрыштық жылдамдықты Ω алуға болады.

Спутниктік навигация жүйесі - жер мен ғарыш аппараттарының жиынтығынан тұратын, орналасқан жері мен нақты уақытын, сондай-ақ жер, су және әуе объектілерінің қозғалыс параметрлерін анықтауға арналған кешенді электронды-техникалық жүйе.

Спутниктік навигация жүйесінің негізгі элементтері:

- Орбиталық топтастыру арнайы радио сигналдарын шығаратын жерсеріктер;

- Жердегі бақылау және мониторинг жүйесі (жер сегменті), оның ішінде жер серіктерінің қазіргі жағдайын өлшеу және орбита туралы ақпаратты түзету үшін алынған ақпаратты оларға беру;

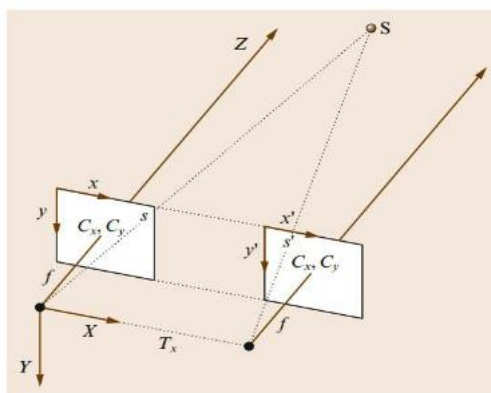
- Координаттарды айқындау үшін қолданылатын спутниктік навигациялық жүйелердің тұтынушылық жабдығы («спутниктік навигаторлар»);

- Жер үстіндегі маяк жүйесінің координаталарды анықтау және дәлдігін арттыру.

- Координаттарды анықтаудың дәлдігін едәуір жақсартатын қолданушыларға түзетулер жіберуге арналған ақпараттық радио жүйесі.

Спутниктік жүйелердің жұмыс принципі жер орбитасында орналасқан спутниктерден радио сигналдарын алуға негізделген. Әр түрлі спутниктерден келетін сигналдардың кешіктірілу уақытын салыстыра отырып, координаталарды есептеуге болады. Қазіргі уақытта спутниктік навигациялық жүйелер GPS болып табылады.

Стереоскопиялық бейнежазбалар бейнені тануда, бақылауда және т.б. кеңінен қолданылады. Осындай жүйенің жұмыс істеуінің жеңілдетілген принципін қарастырамыз [9]. 2.2 суретте идеалды стереоскопиялық жүйе көрсетілген.



2.2 сурет - Қарапайым стереоскопиялық жүйенің схемасы

Стереоскопиялық жүйені қолдана отырып, XYZ ғаламдық координаттарында S нүктесінің координаталарын алу механизмін қарастырамыз. Cx, Cy камераларының фокустық жазықтықтарының орталықтарының координаттары; фокустық ұзындықтар - f; орталықтар арасындағы қашықтық - Tx. S және s нүктелері - S проекциясының x және x' жақтауларына координаттары. s және s' нүктелерінде y және y' координаттары бірдей. X координатасындағы айырмашылық сәйкессіздік деп аталады.

Фокустық жазықтықтағы 3D нүктелердің проекциясы трансформация түрінде ұсынылуы мүмкін, яғни P-мен белгіленген камералардың бірінің проекциялық матрицасын қолдана отырып жасалынады.

$$P = \begin{pmatrix} F_x & 0 & C_x & -F_x T_x \\ 0 & F_y & C_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2.2)$$

мұндағы Fx және Fy - суреттің фокустық ұзындығы, ал Cx және Cy - оптикалық орталықтар. Содан

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2.3)$$

мұндағы (x/z, y/z) кескін нүктелерінің координаталары. Содан кейін Q репродуктивті матрицасын қолдана отырып, S нүктесінің координаталарын аламыз.

$$Q = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -C_x \\ 0 & 1 & 0 & -C_y \\ 0 & 0 & 0 & F_x \\ 0 & 0 & -1/T_x & (C_x - C_{x'})/T_x \end{pmatrix}. \quad (2.4)$$

Сонда сәйкессіздік $d = x - x'$ екенін біліп,

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ W \end{pmatrix} = Q \begin{pmatrix} x \\ y \\ d \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (2.5)$$

мұндағы $(X/W, Y/W, Z/W)$ - S нүктесінің қажетті координаталарын аламыз. Мобильді роботтарды навигациялау қазіргі заманғы робототехниканың өзекті міндеті болып табылады. Навигация процесі келесі қадамдарды қамтиды:

- а) қоршаған ортаны картаға түсіру;
- б) роботтың траекториясын түзету;
- в) маршрутты жоспарлау (мақсатқа апаратын оңтайлы жолды таңдау);
- г) жергілікті қозғалыстарды бақылау;
- д) роботпен маршруттың қауіпті аймақтарын айналып өту.

Бұл мәселелердің алгоритмдік шешімі, роботты жылжыту барысында толықтырылатын априори ретінде белгілі жер үсті топографиясы туралы ақпаратқа негізделуі керек. Маршрутты жоспарлау үшін қозғалыс аймағы туралы ғаламдық ақпарат пайдаланылады (мысалы, рельеф матрицасы түрінде). Оның әр элементі бетінің белгілі бір аймағына сәйкес келеді. Матрицаның жеке элементінің көрсеткіштері облыстың сызықтық координаттарын, ал элементтің мәні осы ауданды салыстырмалы биіктігін анықтайды.

Белгілі маршрут бойынша жергілікті қозғалыстар роботқа жақын орналасқан жердің табиғаты туралы ақпарат негізінде басқарылады.

Егер біз қозғалыс бағытын роботтың бастапқы және түпкілікті (мақсатты) позицияларын қоса қозғалыс бағдарларының (қосалқы бағалауларының) бірізділігі ретінде анықтасақ, онда бағдарлау міндеті белгілі бір ішкі топтаманы қалыптастыруды және роботтың қозғалысын оңтайландыратын осындай ішкі жиынды таңдауды қамтиды [10].

Роботтың қозғалыс бағытын анықтау процесінің алдында қоршаған ортаны картаға түсіру керек. Роботтың жергілікті қозғалысы қозғалыс траекториясын түзету және беттің қауіпті учаскелерін айналып өту міндетімен байланысты.

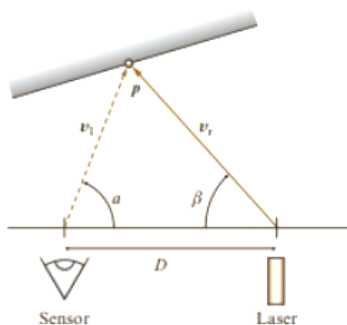
2.2 Қашықтық өлшеуіш түрлері

Екі түрлі қашықтық өлшеуіштерді қарастырамыз. Оларға лазерлі қашықтық өлшеуіш және ультрадыбыстық сонарлар жатады.

Лазерлі қашықтық өлшеуіш қашықтықты өлшеу үшін пайдаланылатын сенсор және ол үшін лазер сәулесі қолданылады. Лазерлі қашықтық өлшеуіштің екі негізгі түрі бар:

Модуляция қашықтығын өлшеуіш - амплитудасы немесе жиілігі модуляциясы бар үздіксіз лазерлік сигнал шығаратын лазер диапазонын тапқыш. Жіберілген және қабылданған сигналдардың фазалары арасындағы айырмашылықты есептей отырып, нысанаға дейінгі қашықтықты есептейді.

Триангуляциялық қашықтық өлшеуіш- стереоскопиялық жүйелер сияқты принциптерге негізделген (2.3 сурет).



2.3 сурет - Триангуляциялық лазерлік қашықтық өлшеуіш сұлбасы

Лазер сәулесі жарық нүктесін жасайды, сенсор осы жердің орнын анықтайды. Екі датчиктің салыстырмалы жағдайын біле отырып, біз нүктенің координаттарын есептей аламыз.

ТОF ауқымын анықтағыш(ұшудың уақытты басқару датчиктері) - робототехникада кеңінен қолданылатын лазерлік қашықтық өлшеуіш түрі. Бұл сенсордың негізгі жұмыс принципі өте қарапайым: эмитент зерттелетін кеңістікке лазер сәулесін жібереді, ол кедергілермен соқтығысады, шағылысады және қабылдағышқа тиеді. (t) сигналдың шығуы мен қабылдануы арасындағы уақытты біле отырып, біз кедергіге дейінгі қашықтықты таба аламыз: $R = c * t / 2$ (2.6)

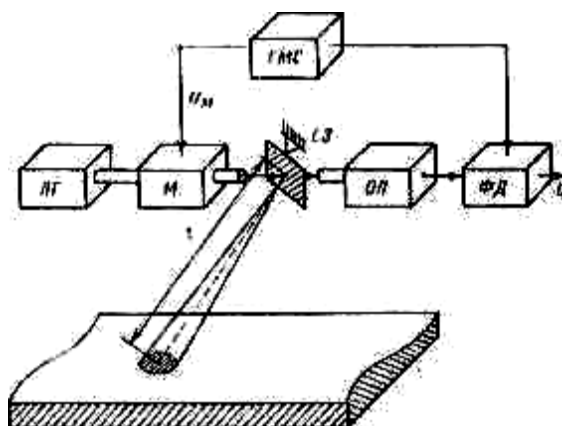
Қашықтық өлшеуіш нәтижелерін сканерлеу деп аталады. Нәтижелер 2D немесе 3D болса да сканерлей алады. Қарапайым 2D TOF диапазонының құрылғысын қарастырайық. Эмитент сәулені қалаған бағытта көрсететін айналмалы айнаны шығаратын лазер сәулесін шығарады. Осылайша, 2D кеңістікті алуға болады, сканерлеуді екі бағаннан тұратын кесте түрінде бейнелеуге болады: біріншісі - бағыт (мысалы, 0°-дан 160° дейін), екінші бағанға сәйкес қашықтықта өлшенеді. Лазерлі қашықтық өлшеуіш стандартты ажыратымдылығы 0,155°-тен 0,5°-ға дейін болып есептеледі. Бір қарап шығудың жылдамдығы бар-жоғы 0,05 секундта 720 өлшеуді жүзеге асыра отырып, 180° кесінді алады.

Лазерлік сәулеленуді қолдану кеңейтілген объектілердің беткі элементтеріне дейінгі қашықтықты өлшеу жүйелерінде әсіресе перспективалы

болып табылады, өйткені жоғары үйлесімді оптикалық сәуле тар жарық сәулелерін қалыптастыруға мүмкіндік береді. Осының арқасында объектінің бетіндегі жарық дақтары аз болады және беткі элементтердің жоғары ажыратымдылығын қамтамасыз етуге болады.

2.4 суретте үзіліссіз сәуле шығаратын лазерлік қашықтық өлшеуіш жүйесінің функционалды диаграммасы көрсетілген. Оптикалық сигналының лазерлік генераторы үздіксіз режимде жұмыс істейді және модулятордан өтетін оптикалық сигнал шығарады. Модуляторда қарқындылық сигналы HMS модельдеу сигналының генераторы тудыратын периодты сигналмен $U_m(t) = a \cos \omega_0 t$ (2.7) моделденеді. Модулятордан кейінгі жарық сәулесі сканерлеу айнасынан қашықтық өлшенетін бет элементінің бағытына шағылысады. Шағылысқан сигнал оптикалық қабылдағышқа беріледі, содан кейін фазалық детекторға кернеу түрінде беріледі $U_0(t) = b \cos \omega_0 (t - \tau)$ (2.8). Бұл кернеудің фазасы r шағылысу нүктесіне дейінгі қашықтыққа пропорционал

$$\varphi = \omega_0 \tau = \frac{\omega_0 2r}{c} \quad (2.9)$$



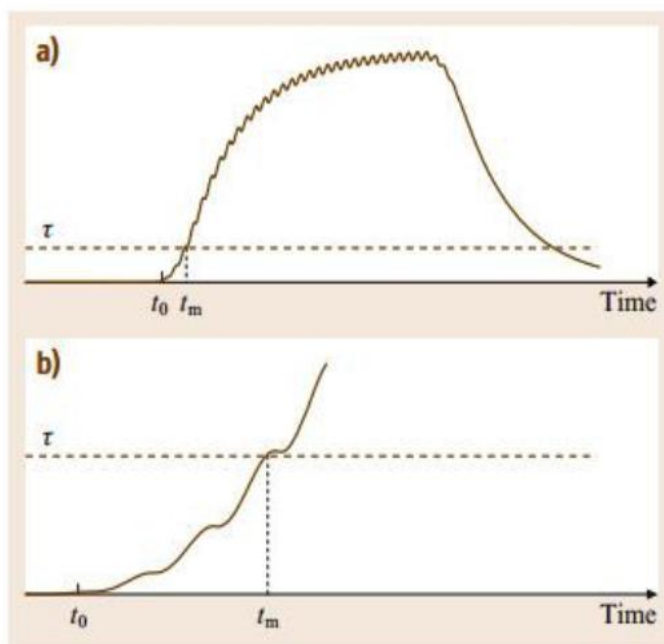
2.4 сурет - Лазерлік диапазон жүйесі

Ультрадыбыстық сонарлар

Эхо-импульстің сонарының типтік мысалын қарастырайық.

- Polaroid 6500. Эмитент жиілігі 49,4 кГц болатын 16 циклге созылатын дыбыстық импульсті жібереді. Содан кейін қысқа кідірістен кейін эмитент қабылдау режиміне өтеді (2.4 сурет).

Айта кету керек, көптеген зерттеулер ультрадыбыстық сәулеленудің физикалық қасиеттерін, әртүрлі кедергілермен соқтығысқан кездегі дыбыстық толқынның күйін, нәтижесінде пайда болған жаңғырықты, сондай-ақ көпқонарлы жүйелердің өзара әрекетін егжей-тегжейлі зерттейді. Ультрадыбыстық сенсорлар мобильді роботтың 2D навигациясын жүзеге асырудың ең танымал және арзан шешімдерінің бірі болып табылады.



2.5 сурет - Эхо-импульстік сонарлық сигналды қабылдау процесі

Сенсор түрлерінің артықшылықтары мен кемшіліктері

2.1 - кестеде қарастырылатын датчиктердің негізгі артықшылықтары мен кемшіліктері келтірілген.

2.1 Кесте - Датчиктердің артықшылықтары мен кемшіліктері туралы жиынтық мәліметтері

| Сенсорлар | Артықшылықтары | Кемшіліктері |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Гироскоп | Ол айналу бұрышын да, жылдамдығын да, моментін де өлшей алады. | Калибрлеуді қажет етеді |
| Кодер | Қоршаған ортамен араласпайды. | Айналу бұрышы мен жылдамдығын өлшеу үшін қолданылады. |
| Акселерометр | Қарапайым және арзан сенсор. Пайдалануға дайын көптеген жағдайлары жасалған. | Өлшеу дәлдігі төмен. Үй ішінде күрделі жұмысты тудырады |
| Спутниктік навигация | Жер шарындағы кез-келген нүктенің координаталарын анықтауға мүмкіндік беретін ғаламдық жүйе. | Өлшеу дәлдігі төмен. Жабық орындарда жұмыс күрделенеді |
| Стереоскопиялық жүйелер | Толық 3D картасын құру мүмкіндігі Бұл процесте үлкен ақпарат болып есептеледі | Орын жақсы жарықтандырылған болуы керек, өлшеу дәлдігі осыған байланысты. Өлшеу дәлдігі қашықтыққа байланысты. Алгоритмнің күрделілігі |

| | | |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лазерлік қашықтық өлшеуіштер | Қоршаған ортамен араласпайды | Сәуле шағылысып, айна бетіне түскен кезде қате есептеулер. Сенсорлардың барлық түрлерінің ішіндегі ең қымбаты. |
| Ультрадыбыстық ультрадыбыс | 2D және 3D карталарын құру. Өте жақсы дәлдік. Сканерлеудің ең жақсы бұрыштық шешімі бар. | Тек 2D картасын салуға болады. Фантом жаңғырығы. |

Кестеде рельеф карталарын жасауға арналған датчиктердің сандық параметрлері көрсетілген.

2.2 Кесте - Датчиктердің сандық параметрлерінің жиынтық салыстырмалы кестесі

| Қасиеттері | Датчик түрі | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|----------|
| | Спутниктік навигациялық жүйелер | Стереобейнекамералар | Ультрадыбыстық сонар | Лазерлік қашықтық өлшеуіш | |
| | | | | 2D | 3D |
| Түрі | белсенді | пассивті | белсенді | белсенді | белсенді |
| Қашықтық дәлдігі | 3-5м-ден | 10см | 20см | 10мм | 5см |
| Қашықтық өлшеу диапазоны | — | 1-50м | 1-5м | 0-80м | 0-120м |
| Өлшеу жиілігі | — | 10-30Гц | 100Гц | 75Гц | 15Гц |
| 3D картасын құру мүмкіндігі | бар | бар | жоқ | жоқ | жоқ |

Автономды басқарудың әмбебап жүйесін құру жоспарланғандықтан, стандартты құрылғылар қозғалыс параметрлерін сенсор ретінде қолданыла алады. Егер олар жоқ болса, барлық параметрлерді анықтайтын датчиктер жиынтығын орнату керек (жылдамдық және үдеу), бұл үшін кодерлер мен акселерометрлер немесе әмбебап гироскопиялық сенсорларды қолдануға болады.

Спутниктік навигация жүйесін қажетті дәлдік қамтамасыз етпейтіндіктен, сыртқы роботтың жағдайы туралы қосымша ақпарат көзі ретінде ғана пайдалануға болады.

Навигация үшін стерео камераларды пайдалану біздің міндетімізде де мүмкін емес, өйткені өлшеулердің қажетті дәлдігі мен сенімділігі қамтамасыз

етілмейді. Бұған себеп жұмыс ортасында айнымалы жарық болуы мүмкін болуында.

2.1 кестеден лазерлік қашықтық өлшеуіштердің ең тиімді қашықтық өлшеуіш болғандықтан, ақпарат жинау жылдамдығы және басқа сенсорлардың ішіндегі ең дәлдігі бар болғандығынан, лазерлі қашықтық өлшеуіш навигацияның негізгі құралы ретінде пайдалануға таңдалады [9].

3 Мобильді роботтың бағдарламалық жасақтама және автономды басқару навигациясы

3.1 Роботтың виртуалды моделі және лазерлі қашықтық өлшеуіш

Нақты зерттеу жабдықтарын табу әрдайым мүмкін бола бермейді. Бұл бірінші кезекте роботтардың, датчиктердің бағаларына байланысты, мысалы, жоғары дәлдіктегі лазерлік диапазонды жүйенің бағасы асып кететін сандарға жетуі мүмкін. Сондай-ақ, роботты жүйелер жақсы реттелген және кез-келген бұзылу нақты зерттеулерді ұзақ уақытқа қалдыруы мүмкін. Сондықтан, нақты роботтық жүйелерді визуализациялауға мүмкіндік беретін жақсы бағдарлама зерттеушілерге ақша мен уақытты үнемдеуге мүмкіндік береді. Әрі қарай, жұмыста роботтарды және жұмыс ортасын визуализациялау үшін қолданыстағы шешімдерге шолу жасалады.

Динамикалық кедергілері бар ортадағы роботтың сызықтық және бұрыштық жылдамдықтарын анықтау виртуалды маңызды болып саналады. Келесі кезеңде динамикалық объектілермен жұмыс істеу кезінде ұсынылған алгоритмнің шектеулерін ескеру қажет.

Осы уақытқа дейін барлық ойлар мен қорытындылар роботты қоршаған кеңістік статикалық деген болжамға негізделген. Бұл жағдайда қашықтықтағы кескіннің барлық нүктелері қозғалыссыз нысандарға жатады, бұл қозғалыс параметрлерін анықтау үшін қайталанатын сүзгілеу әдісін қолдануға мүмкіндік береді. Роботтың нақты жұмысы кезінде қозғалатын заттар: адамдар, автомобильдер, басқа роботтар ауқымды іздеушінің көзқарасына түсуі мүмкін. Сканерлеу диапазонын қарау аймағында динамикалық нысандар болған кезде, байланысқан координат жүйесінде тұрақты нүктенің қозғалыс теңдеулері дұрыс емес. Нәтижесінде, динамикалық объектілерге қатысты қашықтықтағы кескіндегі нүктелер үшін теңдеулердің шешімдері статикалық объектілерге қатысты нүктелер шешімдерінен өзгеше болатынына әкеледі.

Динамикалық объектілердің нүктелеріне қатысты өлшеулер қайталанатын сүзу әдісін қолдана отырып, жылжымалы роботтың жылдамдығын анықтауда қателікке әкеледі. Егер олардың саны аз болса - объект алыс немесе өлшемі аз болса - қателік елеусіз болады, сканерлеуді алдын-ала өңдеу кезінде бұл нүктелер алынып тасталуы мүмкін. Әйтпесе, олардың әсері елеулі болуы мүмкін, мұндай тармақтарды бөліп алып, қайталанатын сүзгіден өткізуге болмайды.

Роботтардың визуализация құралдары

Осы жұмыста пайдаланылатын роботтық операциялық жүйенің пакетіне кіретін Gazebo және Rviz пакеттері робот пен ПО үшін визуализация құралы ретінде пайдаланылды.

Gazebo мобильді робот пен ПО-ның физикалық қасиеттерін, әртүрлі сенсорлардың оқуларын және т.б. модельдеуге мүмкіндік береді.

Rviz виртуалды робот моделін құруға және сенсор деректерін, карталарды, маршруттарды визуализациялауға мүмкіндік береді.

Жұмыс ортасының шектеулері.

Негізгі сенсор ретінде 2D лазер диапазонын іздеу құралы таңдалды, ол роботтың жұмыс ортасына бірқатар шектеулер қояды:

- жұмыс ортасының беті - жазықтық;
- лазер сәулесі ортаның бетіне параллель орналасқан, сенсор роботқа бекітілген;
- орта объектілерінің беттері айна және мөлдір беттер болып табылмайды, сенсорды өлшеу сенімділігі қамтамасыз етіледі.

Енгізілген шектеулер біздің проблеманы ұшақтағы автономды навигация проблемасына дейін азайтуға мүмкіндік береді. Жоғарыда аталған роботтың операциялары болып табылады.

Жүйеде бұл мәселені шешуге арналған қуатты бағдарламалық құралдар бар.

Роботтың виртуалды моделі.

4-дөңгелекті роботтың виртуалды моделі 3.1 кестеде көрсетілген параметрлермен жасалды.

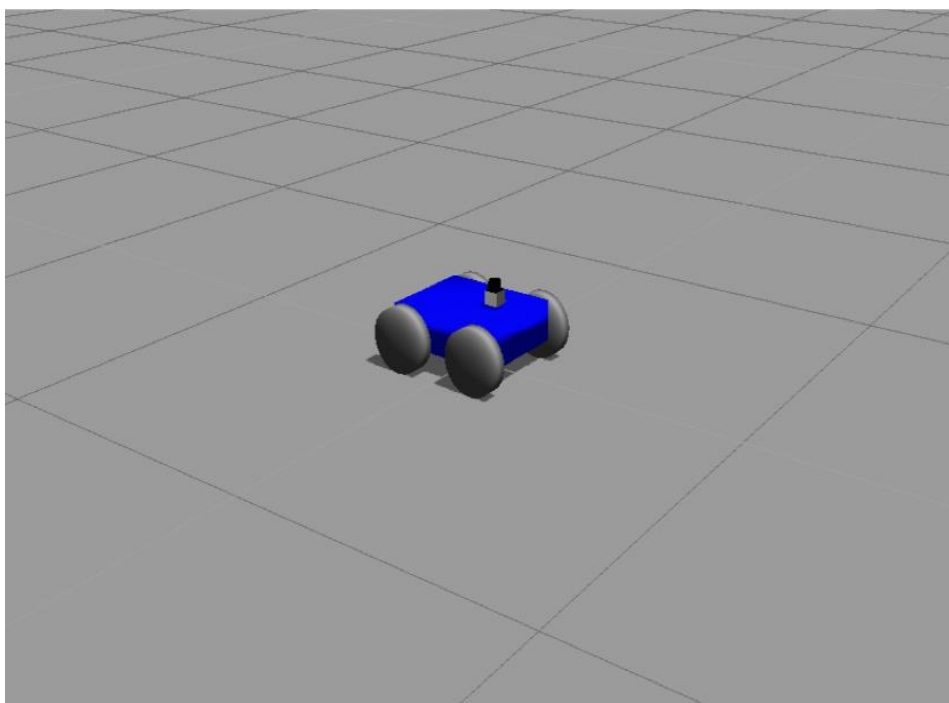
3.1 Кесте - Төрт доңғалақты роботтың физикалық параметрлері

| Робот негізінің өлшемдері | (0.125 м; 0.3 м; 0.4 м) |
|------------------------------------------|---------------------------|
| Негізгі массасы | 7 кг |
| Дөңгелектің радиусы | 0.1 м |
| Доңғалақтың ені | 0.05 м |
| Доңғалақтың салмағы | 0.5 кг |
| Оң жақ алдыңғы доңғалақтың координаттары | (0.15; -0.175; -0.03125) |
| Артқы доңғалақтың оң координаттары | (-0.15; -0.175; -0.03125) |
| Сол жақ алдыңғы доңғалақ координаттары | (0.15; 0.175; -0.03125) |
| Артқы доңғалақтың сол жақ координаттары | (-0.15; 0.175; -0.03125) |
| Лазерлік рангфайндер координаттары | (0.1; 0; 0.1125) |

3.2 Кесте - Лазерлі қашықтық өлшеуіштің параметрлері

| Датчиктің өлшемдері | (0.125 м; 0.3 м; 0.4 м) |
|------------------------------------|-------------------------|
| Датчиктің салмағы | 1e-5 кг |
| Минималды өлшеу қашықтығы | 0.10 м |
| Максималды өлшеу қашықтығы | 30.0 м |
| Өлшемі | 0.01 м |
| Сканерлеуге арналған өлшеулер саны | 720 |
| Минималды көру бұрышы | -1.570796 |
| Максималды көру бұрышы | 1.570796 |
| Бұрыштық өлшемі | 1 |
| Лазерлік рангфиндер координаттары | (0.1; 0; 0.1125) |

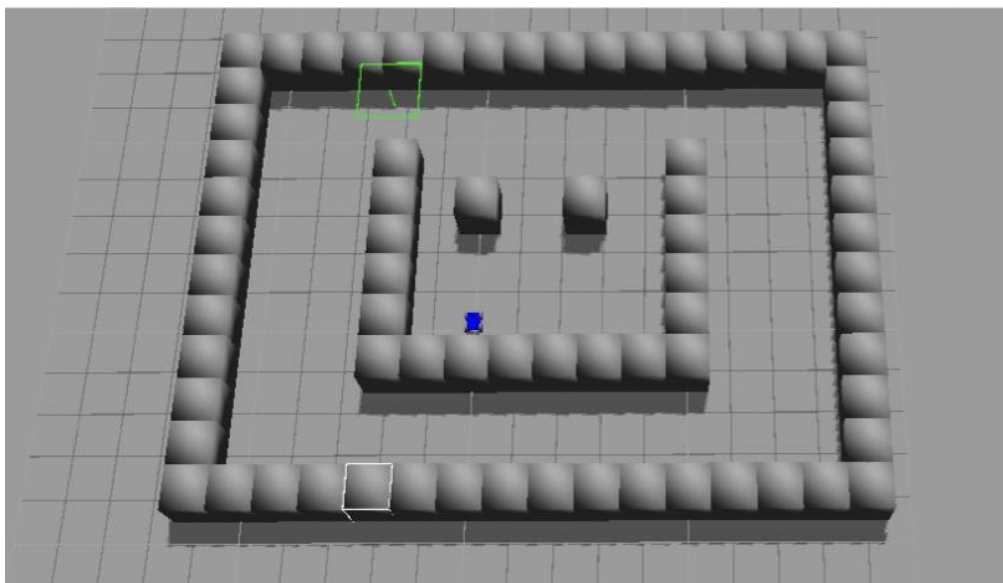
Роботта одометрияны дәл өлшеу үшін IMU сенсоры орнатылған. Төмендегі суретте виртуалды робот моделінің өзі көрсетілген.



3.1 сурет - Роботтың виртуалды моделі

Виртуалды орта.

Төменде Робот Ортасы және ондағы роботтың бастапқы орналасуы бейнеленген.



3.2 сурет - Мобильді роботтың виртуалды ортасы

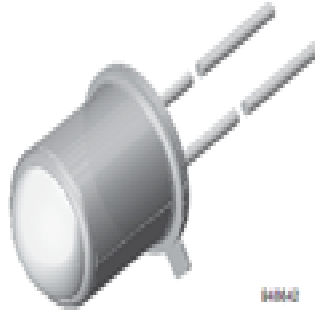
Іс жүзінде теориялық тұжырымдамаларды тексеру, күшейту сатыларының тұрақтылығын тексеру және шағылысқан лазер сәулесінің өлшеу каналының сезімталдығы мен шу деңгейін алдын-ала бағалау үшін прототиптік модель жасалды және зерттелді.

Прототипті жасау кезінде эмитент ретінде 5 мВт және толқын ұзындығы 650 нм болатын қызыл лазерлі жарықдиодты стандартты модуль (3.3 суретті қараңыз) қолданылды.



3.3 сурет - Лазерлі жарықдиодты модуль

Шағылысқан лазер сәулесін тіркеу үшін фотодетектор ретінде brw24r пин-фотодиод пайдаланылды (3.4 суретті қараңыз). Бұл фотодиодтың артықшылықтары көзге көрінетін спектрдің қызыл аймағында жоғары сезімталдықты, тар радиациялық үлгіні және кішкене p-n түйіспе сыйымдылығын (5 пФ) қамтиды. Максималды жұмыс жиілігі 35 МГц.



3.4 сурет - bpw24r PIN-фотодиод

Жұмыс және анықтамалық сигналдарды қалыптастыру үшін AD9850 микросхемасы негізінде сигнал генераторының DDS модулі қолданылды (3.5 суретті қараңыз). Жасалған синусоидалы тербелістердің жұмыс диапазоны 1 Гц-тен 40 МГц-ке дейін, баптау қадамы - 1 Гц, жиіліктің тұрақсыздығы - 10⁻⁵.



3.5 сурет - AD9850 DDS сигнал генераторының модулі

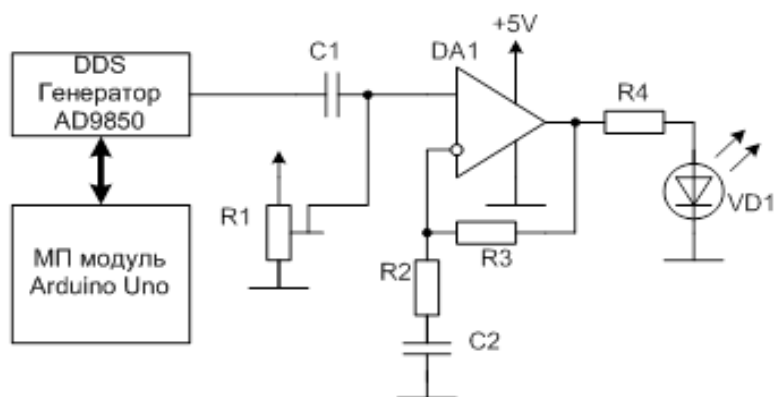
Микропроцессорды басқару модулі ретінде сағаттық жиілігі 16 МГц болатын қазіргі заманғы ATmega328 микро-контроллеріне негізделген стандартты Arduino Uno тақтасын қолдандық (3.6 суретті қараңыз).



3.6 сурет - Arduino Uno микропроцессорлық модулі

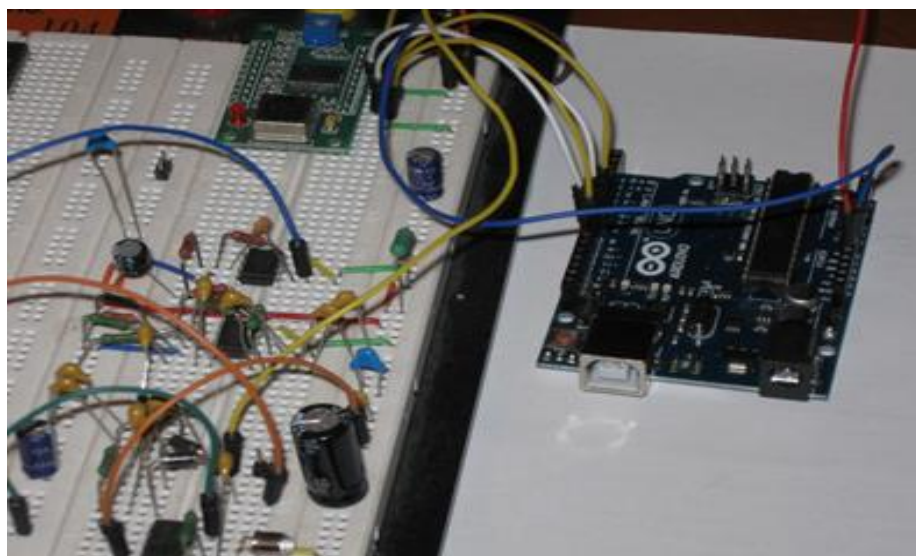
3.7 суретте лазерлік модулятордың диаграммасы келтірілген. DDS генераторының шығуынан 10 МГц жиілігі және амплитудасы 0,5 В болатын

үйлесімді сигнал DA1 AD8042 жұмыс күшейткішінің негізінде салынған $KU = 3$ кернеуі бар электронды күшейткішке беріледі. Триммер R1 резисторын пайдалану тікелей токтағы жұмыс нүктесінің оңтайлы орнын таңдауды қамтамасыз етеді.



3.7 сурет - Лазер модуляторының функционалды диаграммасы

Лазерлік сәулеленудің модуляторы және шағылысқан сигналдың өлшеу каналы бөлек дәнекерленбейтін электрлік тақталарда жинақталған (3.8 сурет).



3.8 сурет - Сигналды өлшеу каналының платасы

Жалпы, прототиптеу нәтижелері ұсынылған өлшеу әдісінің тікелей жиілікті түрлендіру әдісіне негізделгендігін растайды. Өлшеуіш каналының сезімталдығы шағылысқан лазерлік сигналды тіркеу үшін жеткілікті. Шығу сигналының деңгейі одан әрі қарапайым тәсілдерге оның фазасын анықтауға және объектке дейінгі қашықтықты есептеуге мүмкіндік береді.

3.2 Роботты жүйелерді дамытуға арналған бағдарламалық қамтамасыздандыру

Роботқа бағдарламалық жасақтама жасау кезінде уақыт пен күшті үнемдеуге көмектесетін кітапханалар мен бағдарламалық пакеттер бар. Робот жүйелерін дамыту үшін бағдарламалық қамтамасыздандыруға келесі талаптар қойылады:

- Бағдарламалық жасақтама басқа модульдермен, сыртқы кітапханалармен және басқалармен тығыз байланысты болатын мәселені шешуге көмекші модульдер құруға мүмкіндік беруі керек. Сонымен бірге бағдарламаны құру процесі пакет менеджерді құрғаннан гөрі тапсырманы шешуге мүмкіндігінше жеңілдетілуі керек.

- Роботтық жүйені пайдалану кезінде бір машинада оннан астам тығыз өзара әрекеттесетін процестерді іске қосуға болатындықтан, бағдарламалық жасақтама әзірлеушінің жағдайын мүмкіндігінше жеңілдететін осы әрекеттестікті басқаруға қамқорлық жасауы керек.

- алгоритмдерді орындау. Күрделі жүйелер көптеген функцияларды орындай алады, мысалы: Роботтың координаттарын анықтау, сенсорлық мәліметтер негізінде бөлме картасын құру, автономды навигация, жоспарлау және т.б. Егер алгоритмдерді іске асыру басты мақсат болмаса, онда дайын, үйлесімді шешімдерді қолданған дұрыс.

Жоғарыда аталған себептерге байланысты ROS бағдарламалық жасақтамасын (Robot Operating System) пайдалану туралы шешім бұрын қабылданғаннан бірнеше рет қабылданды. Әрі қарай, осы бағдарламалық жасақтаманың негізгі принциптері қарастырылады.

Robotic Operating System

ROS - таратылған жұмыс үшін функционалдылықты қамтамасыз ететін роботты бағдарламалау негізі. ROS алғашында 2007 жылы Стэнфорд университетінің Жасанды интеллект зертханасында Коммутатор деген атпен жасалынған. 2008 жылы даму жиырмадан астам ынтымақтастық институттарымен бірге робототехника ғылыми-зерттеу институты /робототехника институты Уиллоу Гаражда жалғасты.

ROS операциялық жүйенің стандартты қызметтерін ұсынады, мысалы: аппараттық абстракция, құрылғыны басқарудың төмен деңгейі, жиі қолданылатын функциялардың орындалуы, процестер арасындағы хабарлама және пакеттік басқару. ROS графикалық архитектураға негізделеді, мұнда мәліметтерді өңдеу және олардың арасында хабарлама жібере алатын тораптарда өңдеу жүзеге асырылады. Кітапхана Unix тәрізді (Ubuntu) жүйелерге бағытталған, алайда Windows және MacOS платформаларына қолдау көрсету белсенді дамуда.

ROS негізгі артықшылықтары:

- операциялық жүйенің архитектурасы;
- қауымдастық қолдайтын пакеттер жиынтығы (ros-pkg);
- коммерциялық және ғылыми жобаларда қолдануға ақысыз.

ROS файлдық жүйесін түсіну. Графтар концепциясы.

Файлдық жүйенің негізгі бірлігі пакет болып табылады. Әр бумада кітапханалар, орындалатын файлдар, сценарийлер және т.б. бар. Әр бумада манифест бар, онда пакеттің қысқаша сипаттамасы, пакеттер арасындағы тәуелділік, пакеттің нұсқасы, лицензия және т.б. сияқты мета ақпараттары бар.

Біз бірнеше ұғымдарды енгіземіз:

Түйін (Node) - бұл басқа түйіндермен байланыс үшін ROS-ны қолданатын кейбір орындалатын процесс.

- Хабарламалар (Messages) - тақырыптарды жариялау немесе жазылу үшін түйін пайдаланатын арнайы ROS деректер түрі.

- Тақырыптар (Topics) - түйіндер хабарлама алу үшін тақырыпқа жазыла алады немесе хабарлама жіберу үшін тақырыпқа жариялана алады.

- Мастер (Master) - ROS үшін қызмет атауы.

- `rosout` - бұл `stdout` / `stderr` эквиваленті.

ROS бағдарламасында кателерді өңдеуде және өңдеуде көмектесетін көптеген құралдар бар, әр түрлі процестердің ROS ішінде қалай өзара әрекеттесетінін оңай көруге болады. `Rviz` пакеті ROS құрамына кіреді, ал `Gazebo` - ROS үйлесімді.

`Tf` пакетін қарастырамыз, бұл әзірлеушіге координаталық түрлендірумен жұмысты жеңілдетуге көмектеседі. Робот жүйесінің конфигурациясы роботтың әр түрлі бөліктерімен байланысты координат жүйелерін қолдану арқылы сипатталған. `tf` координат жүйелерінің күйін бақылайды және кез-келген уақытта (кейбір уақыттан $t = 0$ -ге дейін) бір координат жүйесінің басқасына қатысты орнын және бағытын анықтауға мүмкіндік береді. Ол үшін кейбір түйіндер `tf` тақырыбына жазылады (жариялайды), осылайша қажетті ақпаратты алады [13].

3.3 Мобильді роботтың басқару контроллері

4 доңғалақты робот үшін белгілі бір жабдықты (джойстик, пернетақта) пайдалану арқылы аппарат командаларын жіберуге мүмкіндік беретін контроллер жасау қажет. Біздің міндетімізде командалар сызықтық және бұрыштық жылдамдықты білдіреді.

Контроллер үшін `Gazebo` плагинін құру.

`Gazebo`-ға пайдаланушыға джойстик арқылы `gazebo/cmd_vel` тақырыбынан өтетін жылдамдықты оқуға мүмкіндік беретін плагин жасалды. Біз оны қажетті жылдамдық деп атаймыз және оны `w` арқылы белгілейміз. Осы жылдамдыққа негізделген контроллер доңғалақтарға роботты `v` белгілі бір жалпы жылдамдықпен қамтамасыз ететін крутящий шамаларды айтады, олар мүмкіндігінше `w`-қа жақын болуы керек. Бастапқыда бақылаудың келесі моделін қолдану туралы шешім қабылданды:

`r` - дөңгелектердің радиусы;

`c` - доңғалақтардың орталықтары арасындағы қашықтық (оң және алдыңғы доңғалақтардың орталықтары арасындағы);

Онда:

$$V_{lin} = w_{lin} / r , \quad (3.1)$$

$$V_{rot} = w_{ang} \cdot c / 2r . \quad (3.2)$$

және сол және оң доңғалақтардың айналу жылдамдығын былай жазуға болады:

$$V_{lin} - V_{rot} \qquad V_{lin} + V_{rot} \quad (3.3)$$

Оң және сол доңғалақтардың осы жылдамдықтары v жылдамдығынан шамасына жуық болуы керек. Алайда бұған қол жеткізу мүмкін болмады.

Модельді келесідей өзгертуім қажет болды:

$$V_{lin} = w_{lin} / r , \quad (3.4)$$

$$V_{rot} = w_{ang} \cdot k \cdot c / 2r . \quad (3.5)$$

Доңғалақтың жылдамдық формулалары өзгеріссіз қалады.

$K = 1.26402$ коэффициенті сызықтық регрессия әдісін қолдана отырып есептелді, стандартты қате - 0.01564, сәйкесінше, p -value $< 2.2e-16$, R -ге гипотеза мен сценарий тексерілген мәліметтер жұмыс үшін қолданылады.

Содан кейін джойстик батырмасын басуды басқаратын, сызықты және бұрыштық жылдамдыққа түрлендіретін және gazebo/cmd_vel-те шығаратын модуль құрылды.

Қорытындылай келе, әзірленген Gazebo қосылатын модулі тек доңғалақ контроллері ретінде ғана жұмыс істемейді, сонымен қатар Rviz ортасындағы ПА жұмысын және роботтың РО-дағы орнын болашақта пайдаланылатын визуализациялау үшін доңғалақ осьтерінің орны туралы қосымша ақпаратты жариялайды.

3.4 Мобильді роботтың одометриясы

Одометрия - бұл қозғалысты өлшеу үшін жетектердің қозғалысы туралы мәліметтерді қолдану. Одометрия роботтың жағдайына белгілі бір баға алуға көмектеседі. Бұл бағалау содан кейін SLAM алгоритмдерінде роботтың орналасуы мен қозғалысын бастапқы бағалау ретінде жиі қолданылады. Роботтың одометриясының стандартты схемасы - дөңгелектердің бұрылу бұрышын оқитын кодерлерді қолдану.

V_x v_y v_θ робот жылдамдығы сәйкесінше x , y және θ -ге тең болсын

$$w_{left} \qquad w_{right} \quad (3.6)$$

оң және сол доңғалақтардың бұрыштық жылдамдықтары. Содан кейін біз белгілейтініміз:

$$v_{ang} = (w_{right} - w_{left}) \cdot r/c, \quad (3.7)$$

$$v_{lin} = (w_{right} + w_{left}) \cdot r/2. \quad (3.8)$$

және робот жылдамдығы төмендегіге тең болатындығын аламыз:

$$v_x = v_{lin} \cdot \cos(\theta), \quad (3.9)$$

$$v_y = v_{lin} \cdot \sin(\theta), \quad (3.10)$$

$$v_\theta = v_{ang}. \quad (3.11)$$

Осылайша, одометрия қысқа мерзімді дәлдікті қамтамасыз ететін және іріктеудің жоғары деңгейіне мүмкіндік беретін арзан құрал болып табылады.

Алайда, ұзақ уақытты қарастырғанда, қателіктердің жинақталуы робот жүретін жолға пропорцияда өсетін бағдарлау қателігінің артуына әкелетінін ескеру қажет.

Қателік негіздері:

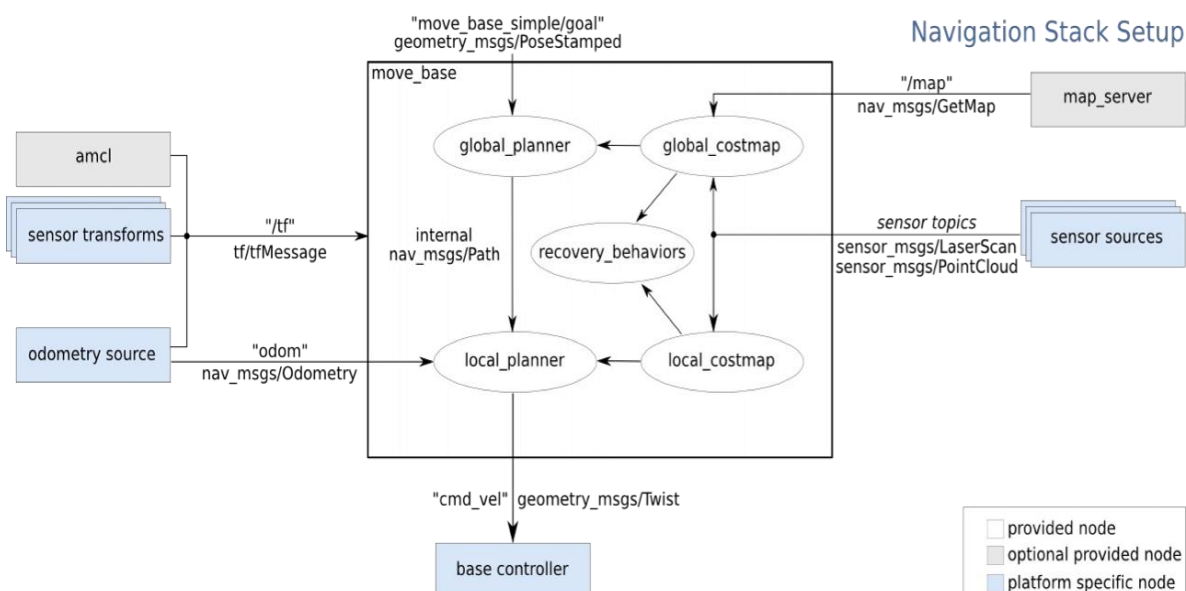
- доңғалақтардың радиусын өлшеу кезіндегі қателік;
- доңғалақтың әртүрлі өлшемдері (бірнеше дөңгелегі бар роботтар үшін);
- кодерлерден импульстарды санаудағы қателер;
- одометрді өңдеу жиілігі төмен.

Тәжірибелер барысында одометрия мәліметтері роботтың жоғары сызықтық жылдамдықтарында және өз осін айналдыру кезінде дәл емес екендігі белгілі болды. Сондықтан, аппараттың жылдамдығын 2 м/с-қа дейін шектеу туралы шешім қабылданды, сонымен қатар IMU сенсорын қосымша пайдалану керек. Одометрия деректері мен IMU сенсоры `robot_pose_ekf` (ROS пакеті) [15] көмегімен өңделді, соңғы одометрия деректерін алу үшін кеңейтілген Кальман сүзгісі пайдаланылды.

3.5 Мобильді роботтың автономды навигациялық жүйесі

Аппараттың контроллерін құрып, одометрияны бағалау модулін жасағаннан кейін мобильді робот үшін автономды навигациялық модуль құрылды. Бұл жұмыста біз осы мәселені `move_base` пакетін қолдана отырып ұсынатын ROS мүмкіндіктерін пайдаландық. Әрі қарай жұмыста осы басқару жинағының қасиеттері мен ұйымдастырылуы қарастырылады.

`move_base` пакеті



3.9 сурет - move_base пакетінің конфигурация диаграммасы

Осы схеманың компоненттерін қарастырыңыз:

- карта (map_server). Map_server торабы кіріске кейбір PO карталарын береді, бұл карта global_costmap - жаһандық кедергілерді құру үшін пайдаланылады, соған сәйкес алгоритм маршрутты қай нүктеге қою керектігін шешеді.

- Одометрия (одометрия көзі). Модуль TF арқылы өзгеруі мүмкін: base_link, мұнда base_link роботпен байланысты координаттар жүйесі, ал odom - РА қозғалатын координаттар жүйесі.

- мобильді роботтың координаттары (amcl, sensor transforms). Бір алгоритмді қолдану қажет (мысалы, Монте-Карло адаптивті әдісі - amcl), ол tf арқылы координаталық түрлендірулер тобын береді: map → odom → base_link. Бұл жұмыста есептеу шығындарын азайту үшін біз fake_localization пакетін қолдандық, ол tf-де amcl сияқты бірдей түрлендірулерді қамтамасыз етеді, бірақ соңғыларынан айырмашылығы, модельдеуден картадағы роботтың орны туралы мәліметтерді қолданады және нәтижесінде есептеу ресурстарын үнемдейді.

- local_costmap құру үшін қолданылатын сенсорлардың (сенсорлық көздердің) деректері, оны маршрут бойынша қолданушы агенттің қозғалысын қамтамасыз ету үшін бағдарлама қолданады.

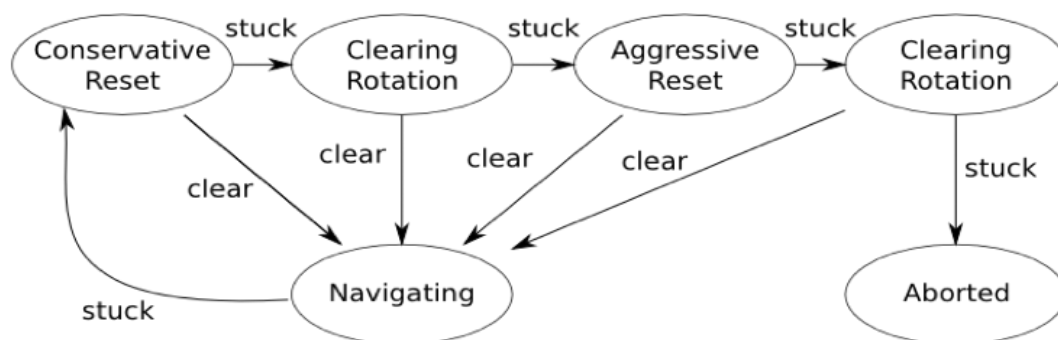
- global_planner. Жол жоспарлаушылары пайдаланатын nav_core::BaseGlobalPlanner интерфейсі бар. Осындай жоспарлаушылардың бірі navfn. Ол бас нүктеден аяғына дейін ең аз жолды есептеу үшін Дижкстраның алгоритмін қолданады.

- local_planner. nav_core::BaseLocalPlanner жергілікті жоспарлаушылар қолданатын интерфейсті ұсынады. base_local_planner - осы интерфейсті қолданатын плагиндердің бірі. Бұл пакетте ұшақта жергілікті роботты навигациялау үшін TRA (Trajectory Rollout approach) және DWA (Dynamic Window approach) әдістерін енгізу қарастырылған. Маршрутты және кедергілер

картасын (costmap) қабылдап, шығыс жылдамдығын шығарады, содан кейін робот контроллеріне жіберіледі [16].

Мобильді роботтың тәртібі

move_base Default Recovery Behaviors



3.10 сурет - Роботтың қалпына келтіру кезіндегі әрекеті

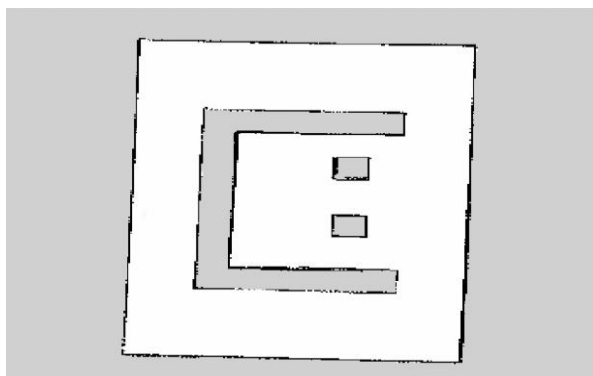
move_base командасын шақырған кезде қолданушы қойған мақсатқа пайдаланушы орнатқан белгілі бір қате шегінде қол жеткізілгендігін қамтамасыз етуге тырысады. Сайып келгенде, move_base пайдаланушыға мақсатқа қол жеткізілгені немесе мақсатқа жету мүмкін еместігі туралы хабарлайды. Егер робот тұрып қалса, модуль қалпына келтіру режиміне өтеді. Әдетте, move_base робот қозғалысын қалпына келтіру үшін келесі әрекеттерді орындайды:

- пайдаланушы анықтаған аумақтан тыс кедергілер робот картасынан алынып тасталады; ,
- мүмкін болса, робот оның алдындағы кеңістікті тазарту үшін орнына бұрылады;
- егер бұл да орындалмаса, робот робот айнала алатын карта аймағын толығымен тазартады;
- осыдан кейін ол ротацияны жалғастырады.

Егер жоғарыда айтылғандардың ешқайсысы көмектеспесе, мақсат қол жетімсіз болып саналады және оның орындалуы тоқтатылады. Пайдаланушы қалпына келтіру режимін қалауы бойынша теңшей алады.

Мобильді роботтың картасын жасау

Gmapping пакетін қолдана отырып, жұмыс ортасының картасы жасалды. Бұл пакетте Рао-Блэквеллдің бөлшектік сүзгілері (Rao-Blackwellized Particle Filters) қолданылады. Бұл карта содан кейін map_server сайтына жүктеледі және навигация үшін пайдаланылады.



3.11 сурет - Мобильді роботтың картасы

Навигацияның демонстрациялық модулі

Мобильді роботтың (`move_base_demo`) автономды қозғалысына арналған демонстрациялық модуль жасалды. Бағдарлама келесідей жұмыс істейді:

- Rviz интерфейсі арқылы қолданушы агенттің ағымдағы мақсатын белгілейді;

- роботтың қозғалыс бағыты салынуда;

- модуль мақсатқа жетудің бағытын ұстануға мүмкіндік беретін контроллерге командаларды жібереді;

- қозғалыс робот мақсатқа жеткенде немесе қандай да бір себептермен, мысалы, робот қозғалыс процесінде толығымен тұрып қалса, ол аяқталады.

Мобильді роботпен байланыс операторы жоғалған жағдайда төтенше жағдайды басқару модулі[18] .

Модульдің жұмыс принципі:

- Оператор роботты басқарған кезде әрбір л метрде роботтың орны арнайы кезекте сақталады;

- Егер оператор роботты басқаруды жоғалтса (робот пен джойстик пернетақтасы арасындағы байланысты жоғалту) және ол операторды біраз уақыт күтпесе, арнайы контроллер басқаруды қабылдайды және сол уақытта мақсатты кезекте тұрған нүктелерден офлайн режимде өтеді;

- Егер мақсаттардың біреуіне қол жеткізу мүмкін болмаса, робот оған мүмкіндігінше жақындауға тырысады, содан кейін келесі нысанаға ауысады;

- Егер мақсаттардың біреуі қол жетімсіз болып қалса, робот оған мүмкіндігінше жақындауға тырысады, ал бос болмаса, кезектен келесі нысанаға ауысады.

Екі бағдарлама жасалды:

- `teleop_tracker` - роботтың қозғалысын бақылайды және нысандардың кезегін толтырады; ол оператормен байланыс күйін тыңдайды, ал егер біраз уақыт ішінде жауап күтілмесе (осы әрекетте 4 секунд), ол бос болмаса, мақсатты кезектен бастап `goal_controller`-ге жібереді. Егер оператор құрылғыға бақылауды қайтаратын болса, `teleop_tracker` ағымдағы мақсаттан бас тарту үшін `goal_controller` сұранысын жібереді;

- `goal_controller` - `teleop_tracker`-ден мақсатты алады, осы мақсатты `move_base`-ке жібереді және оның орындалған-орындалмағанын тексереді және нәтижесі туралы хабарлайды. Егер контроллер ағымдағы мақсаттан бас тарту туралы сұрау алса, `goal_controller` `move_base`-ке ұқсас сұранысты жібереді, ал роботтың автономды қозғалысы тоқтайды, басқару операторға оралады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл жұмыста мобильді роботтардың автономды навигациясы мәселесінің өзектілігі көрсетілген. Робот жүйелерінде қолданылатын датчиктердің заманауи түрлері талданды, күрделі роботты жүйелерді құруда қолданылатын заманауи шешімдер мен бағдарламалық қамтамасыздандыруларға шолу жасалды.

Жасалынған жұмыстар:

- 4 доңғалақты робот пен оның қозғалу ортасының виртуалды модельдері;
- 4 доңғалақты робот-контроллер;
- автономды навигацияның демонстрациялық модулі;
- мобильді роботпен байланыс операторы жоғалған жағдайда төтенше жағдайды басқару модулі.

Жобаның одан арғы жұмыс жоспарлары `move_base` модулін жақсарту, өзіміздің `жергілікті_controller` плагинімізді құру, жүйені роботтың нақты прототипімен тестілеу болып табылады.

Қысқартулар және терминдер

DWA - Dynamic Window approach. Көріністің динамикалық тәсілі

TRA - Trajectory Rollout approach. Траекторияны орналастыру тәсілі

IMU - Inertial Measurement Unit. Инерциялық өлшеу бірлігі

SLAM - Simultaneous Localization and Mapping. Бір уақытта локализация және картаны құру

ROS - Robot Operating System. Роботты басқару жүйесі

TOF - Time of Flight. Таратылу уақыты

GPS - Global Positioning System. Ғаламдық позициялау жүйесі

БЖ - Бағдарламалық жасақтама

PM - роботты модуль.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. О некоторых особенностях применения не доопределённых моделей в робототехнике / В.Э. Карпов // V Международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». – М., – 2009. – Физматлит. – С. 520-532.
2. An EKF SLAM Algorithm for Mobile Robot with Sensor Bias Estimation / X. Xie, Y. Yu, X. Lin, C. Sun // 2016 IEEE International Conference. – М., – 2016. – С. 281 – 285.
3. Построение карты мобильным роботом, оснащённым лазерным дальномером, методом рекуррентной фильтрации / С.Л. Зенкевич, А.А. Минин // Мехатроника, автоматизация, управление. – М., – 2007. – No 8. – С. 5-12.
4. Минин Андрей Анатольевич. Навигация и управление мобильным роботом, оснащённым лазерным дальномером : Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.02.05 / Андрей Анатольевич Минин ; [Место защиты: Москва. ун-т им. Н.Э. Баумана]. — Москва, 2008.
5. Алгоритм локальной навигации и картографии для бортовой системы управления автоматического мобильного робота / Р.В. Кучерский, С.В. Манько // In 2013 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR). – М., –2013 – С. 13-22.
6. A Flexible and Scalable SLAM System with Full 3D Motion Estimation / S. Kohlbrecher, O. von Stryk, J. Meyer, U. Klingauf. // Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), 2011 IEEE International Symposium. – М., – 2011. – P. 155-160
7. Зенкевич С.Л. Минин А.А. Построение карты мобильным роботом, оснащённым лазерным дальномером, методом рекуррентной фильтрации //Мехатроника, автоматизация, управление. - 2007. - No8. - С.5-12.
8. Минин А.А. Определение параметров собственного движения мобильного робота, оснащённого лазерным дальномером //Экстремальная робототехника: Труды Всероссийской научно-технической конференции. -СПб., 2007.-С.205-213.
9. Минин А. А. Навигация и управление мобильным роботом, оснащённым лазерным дальномером: диссертация кандидата технических наук: 50.02.05, Москва, 2008.
10. Kiyoshi Okuda, Masamichi Miyake, Hiroyuki Takai, Keihachiro Tachibana. Obstacle arrangement detection using multichannel ultrasonic sonar for indoor mobile robots. Artificial Life and Robotics. September 2010, Volume 15, Issue 2, pp 229- 233.
11. Elfes A. A sonar-based mapping and navigation system. Robotics and Automation. Proceedings. 1986 IEEE International Conference on (Volume:3). Apr 1986. pp. 1151 — 1156.
12. Све Лин Хту Аунг. Навигация и управление движением мобильного робота в городских условиях: диссертация кандидата технических наук: 50.02.05, Москва, 2011.

13. http://wiki.ros.org/move_base
14. http://wiki.ros.org/costmap_2d
15. http://wiki.ros.org/nav_core
16. http://wiki.ros.org/base_local_planner
17. <http://wiki.ros.org/navfn>
18. <http://wiki.ros.org/amcl>
19. Probabilistic Robotics, by Thrun, Burgard, and Fox.
20. Артемиев В. М. Навигационные системы роботов. – М.: Машиностроение, 1988. – 396 с.
21. <http://www.sick.com>

Goal_controller.h

```

#ifndef GOAL_CONTROLLER_H_
#define GOAL_CONTROLLER_H_

#include <ros/ros.h>
#include <move_base_msgs/MoveBaseAction.h>
#include <actionlib/client/simple_action_client.h>

typedef actionlib::SimpleActionClient<move_base_msgs::MoveBaseAction>
MoveBaseClient;

class GoalController
{
public:
    GoalController();
    ~GoalController();
    //bool isEqual(const robot_msgs::Goal &goal);
    void sendGoal(const move_base_msgs::MoveBaseGoal& goal);
    MoveBaseClient* move_base_client_;
    inline bool isStarted();
    inline void setStarted();
private:
    bool is_started_;
};

inline bool GoalController::isStarted()
{
    return is_started_;
}

inline void GoalController::setStarted()
{
    is_started_ = true;
}

GoalController::GoalController()
{
    move_base_client_ = new MoveBaseClient("move_base", true);
    while(!move_base_client_->waitForServer(ros::Duration(5.0))){
        ROS_INFO("Waiting for the move_base action server to come up");
    }
}

```

```

//velocity vector which will be used for saving inf about joint states
std::vector<double> wheel_speed;

void jointStatesCallback(const sensor_msgs::JointState& joint_states) {

    //vecPos = joint_states.position;
    wheel_speed = joint_states.velocity;
    //vecEff = joint_states.effort;

}

int main(int argc, char** argv){

    ros::init(argc, argv, "odometry_publisher");
    ROS_INFO("odometry_publisher node loaded!");

    ros::NodeHandle n;
    ros::Publisher odom_pub = n.advertise<nav_msgs::Odometry>("odom", 50);

    ros::Subscriber joint_subscriber = n.subscribe("/gazebo/joint_states", 1,
    jointStatesCallback);

    wheel_speed.assign(4, 0.0);

    ros::Time current_time, last_time;
    current_time = ros::Time::now();
    last_time = ros::Time::now();

    ros::Rate r(100.0);
    while(n.ok()){

        ros::spinOnce();    // check for incoming messages
        current_time = ros::Time::now();

        //calculating odom

        double v_left = ((wheel_speed[0] + wheel_speed[2]) / 2.0) *
        (ROBOT_WHEEL_RADIUS); //! need to test

        double v_right = ((wheel_speed[1] + wheel_speed[3]) / 2.0) *
        (ROBOT_WHEEL_RADIUS); //! need to test!
    }
}

```

```
robotjoy_teleop.cpp
```

```
#include <ros/ros.h>
#include <sensor_msgs/Joy.h>
#include <geometry_msgs/Twist.h>
#include <std_msgs/Int32.h>
```

```
class RobotJoyTeleop
```

```
{
```

```
public:
```

```
    RobotJoyTeleop();
```

```
private:
```

```
    void joyCallback(const sensor_msgs::Joy::ConstPtr& joy);
```

```
    ros::NodeHandle* nh_;
```

```
    double max_vel_x_;
```

```
    double max_rotational_vel_;
```

```
    double speed_multiplier_;
```

```
    std::string cmd_topic_;
```

```
    ros::Publisher vel_pub_;
```

```
    ros::Publisher verification_pub_;
```

```
    ros::Subscriber joy_sub_;
```

```
};
```

```
RobotJoyTeleop::RobotJoyTeleop():
```

```
    max_vel_x_(1.3),
```

```
    max_rotational_vel_(1.0),
```

```
    cmd_topic_("/gazebo/cmd_vel")
```

```
{
```

```
    nh_ = new ros::NodeHandle("~");
```

```
    nh_->param("/max_lin_vel", max_vel_x_, max_vel_x_);
```

```
    nh_->param("/max_ang_vel", max_rotational_vel_, max_rotational_vel_);
```

```
    nh_->param<std::string>("/cmd_topic", cmd_topic_, cmd_topic_);
```

Gazebo_plugin

```

#ifndef DIFF_DRIVE_GAZEBO_PLUGIN_H_
#define DIFF_DRIVE_GAZEBO_PLUGIN_H_

#include <boost/bind.hpp>
#include <ros/ros.h>
#include <ros/time.h>
#include <gazebo/common/Plugin.hh>
#include <gazebo/common/Time.hh>
#include <sensor_msgs/JointState.h>
#include <nav_msgs/Odometry.h>
#include <geometry_msgs/Twist.h>
#include <tf/transform_broadcaster.h>

namespace gazebo
{
class DiffDrivePlugin : public ModelPlugin
{
public:
    DiffDrivePlugin();
    ~DiffDrivePlugin();
    void Load(physics::ModelPtr parent, sdf::ElementPtr sdf);
    void OnUpdate();
    void callbackCmdVel(const geometry_msgs::Twist &cmd_vel);
    // void publishGroundTruth(common::Time &current_time);
    void publishJointStates();
    void parseSDF(sdf::ElementPtr sdf);
private:
    event::ConnectionPtr update_connection_; // Pointer to the update event
connection
    ros::NodeHandle* node_; // ROS Nodehandle
    ros::Publisher joint_state_pub_; // ROS Subscribers and Publishers
    ros::Subscriber cmd_vel_sub_;
    ros::Publisher ground_truth_pose_pub_;
    //r_ - robot
    std::string cmd_vel_topic_; // topic names
    std::string odom_topic_;
    std::string joint_states_topic_;

    double r_w_sep_; // wheel separation [m]

```

```

double r_w_rad_; // wheel radius [m]
double r_w_torq_; // maximum torque applied to the wheels [Nm]
double r_max_lin_vel_; // maximum linear speed of the robot [m/s]
/*double r_x_; // robot pose
double r_y_;
double r_th_;
double r_vx_;
double r_vy_;
double r_vth_;
double r_lin_vel_; //robot lin and ang speed
double r_ang_vel_*/
int r_num_joints_;

physics::WorldPtr world_; // pointers to the model and world
physics::ModelPtr model_;
physics::LinkPtr base_link_;

physics::JointPtr *r_joints_;
sensor_msgs::JointState r_joint_states_;

//common::Time prv_update_t_; // simulation time of the last update
//common::Time prv_print_t_;
};

// Register this plugin with the simulator
GZ_REGISTER_MODEL_PLUGIN(DiffDrivePlugin)
}

#end

```