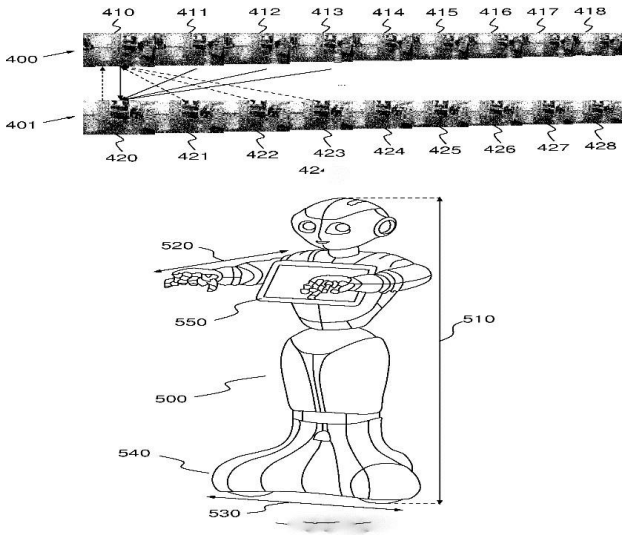
Лекция - 13

13.1 Мобильді робототехникадағы оқшаулау әдістері

Мобильді робототехниканың іргелі мәселелерінің бірі –автономды жылжыту. Бұл міндетті орындау үшін робот өз мақсатына қатысты ережелерді сақтауы тиіс. Сонымен қатар, робот қоршаған ортаның қауіптілігін назарға алу және тағайындау орнына жету мүмкіндігін барынша арттыру үшін әрекеттер жасауы керек. Мобильді робототехника контекстінде локализациялау роботтың қоршаған ортадағы жағдайын анықтайды. Мобильді робототехникалық датчиктердің көмегімен қоршаған орта туралы кеңістіктік ақпаратты алу және ұсыну картография деп аталады. Қажетті орынға жету үшін роботтардың әсері үшін кіріс деректерін жасау процесі қозғалысты жоспарлау деп аталады. Бұл мәселелерді жеке-жеке қарауға болса да, олар өзара тығыз байланысты, әсіресе оқшаулау және бейнелеу жиі бірге зерттеледі.

Оқшаулау (локализациялау) – бұл координаталардың абсолюттік немесе салыстырмалы жүйесінде көлік құралының орналасқан жерін анықтау мәселесі. Орналасқан жерді анықтау мәселесі 3000 жылдан астам уақыт бойы өзекты болып келеді. Финикиялықтарға теңіз кемелерінің орналасқан жерін триангуляциямен, корреляциямен және қашықтықты өлшеумен анықтаудың базалық әдістері белгілі. Көлік құралының бастапқы позициясы және роботтың орналасқан жері туралы априорлы білімі жоқ жаһандық оқшаулауды және белгілі үздіксіз оқшаулау деп ажыратуға болады. Локализацияланған робот кенеттен басқа орынға жылжиды, болған жеке жағдай "ұрланған Робот мәселесі" деп аталады».



1.1 Сурет –Роботты жазықтықта оқшаулау әдісі

Оқшаулау және салыстыру есептері қазіргі таңда сирек қарастырылады. Көп жағдайда робот біртіндеп картаға жаңа ақпаратты қосады және оны алу үшін карта негізінде оқшаулау пайдаланады. Бұл бір мезгілде оқшаулау және бейнелеу (бұдан әрі – SLAM) немесе параллель оқшаулау және бейнелеу (бұдан әрі – CML) деп аталады. Оқшаулау қатесі картаның сапасына және робот картасының белгісіздігіне керісінше әсер ететін негізгі проблема. Роботтың жағдайы мен қоршаған ортасы туралы білімін жаңарту үшін ықтималдық әдістерді қолданады. Ықтималдылықты модельдеуге екі негізгі тәсіл қолданылды: Кальман сүзгілеудің кеңейтілген әдісі және бөлшектерді сүзу. Екі тәсіл де дәйекті жұмыс істейді, ықтималдықтың таралуы роботтың қозғалысына және датчикке сәйкес келетін болжау және өлшеу кезеңдерінде жаңартылады. Робот қозғалысына сәйкес келетін болжау қадамы кезінде робот жағдайындағы белгісіздік артады. Өлшеу кезеңі әдетте белгісіздіктің азаюына әкеледі[7].

Калман сүзгілеудің кеңейтілген әдістері (бұдан әрі-EKF) роботтың орналасуын, сондай-ақ көп өлшемді гаусстық бөлу арқылы бағдарлауды жобалайды. SLAM базалық нұсқасында әлемдік ақпарат робот пен бағдар позициясы бар векторда және осы күй векторының ковариациялық матрицасында сақталады. Робот орын ауыстырған немесе өлшеуді жүргізген сайын, күй векторы және робот жағдайының белгісіздігін сипаттайтын ковариациялық матрица өзгереді. Алдыңғы әдістердегідей, есептеу қарқындылығы карта өлшемінің ұлғаюымен өседі. Бұл, әсіресе, SLAM-ның нақты реализациясы үшін ауыр, онда картаны жаңарту кезінде Калман күшейтуді есептеу ковариациялық матрицаны инвертирлеуді талап етеді.

SLAM әдістерінің үлкен саны жүзеге асырылды, және олардың кейбіреулері жылдамдыққа бағытталған, кейбірі дәлдік немесе басқа аспектілерге негізделеді. Карталардың визуалды көрінісі кейде алгоритмнің функционалдылығының жеткілікті дәлелі ретінде қарастырылды. 3D-ге дейін картографиялық алгоритмдерді кеңейту одан да жақсы нәтиже берді. Ал жасалатын карталардың мақсаты мен пайдалылығы жиі артқы жоспарға кеттіп қалып жатыр. Деректер жиынтығы, шамасы, бір мезгілде оқшаулау және картографиялау әдістерін сапалы салыстыру мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Циклді жабуға рұқсат бермейтін SLAM әдістері дрейфке ұшырайды және жаһандық жағдайды бағалау тұрғысынан одометриямен сапалы салыстырылады.

Калман сүзгісінің мықты математикалық фоны, зерттеу қоғамдастығына EKF негізінде SLAM үшін жеткілікті теориялық база құруға мүмкіндік берді. Ekf және роботтың орналасуының белгісіздігіне төменгі шекаралардың ұқсастығы дәлелдері тұжырымдалған. Өкінішке орай, Қалман сүзгісінің оңтайлылығы тек сызықты жүйелер үшін дәлелденген, сондықтан EKF әдістерінің әлсіздігі линеаризация қателіктеріне жатады. Линеаризация кезінде жіберілген қателерге байланысты EKF әдістері соңғы емес нәтижелер бере алады. Линеаризация процесі роботтың жағдайын бағалаудың

келісімділігіне елеулі қауіп төндіреді. Алайда, Қалман сүзгілеудің негізгі кемшілігі-бұл мүмкіндіктердің тек унимодальды таралуын модельдей алады. Бұл елеулі шектеу, өйткені робот өзінің жағдайы мен картасына қатысты көп гипотезаны сақтай алмайды. 1.2 суретте көрсетілген қарапайым жағдайды қарастырайық, мұнда робот болжаудың үш қадамын орындайды, содан кейін нақты бағдарды анықтайды. Картада екі бірдей бағдар бар болғандықтан, EKF екі жолмен жаңартылуы мүмкін: барлық жерде жүретіндігін (қызыл нүкте) ескереді, немесе өлшеу кезеңінде тек ұқсас кезеңді қарайды.

Бұл шектеу бөлшектерді сүзу арқылы еңсерілуі мүмкін. Ұсыныс бөлшектерді сүзу компьютерлік көру аймағынан пайда болды, онда ол көзбен бақылау үшін қолданылған. Ұсыныс қолдаудан тұрады және олардың әрқайсысы роботтың жағдайы мен картасы туралы бірегей гипотезасы бар бірнеше "бөлшектер" болып табылады. Бұл бөлшектердің тығыздығы роботтың орналасу ықтималдығының таралуына сәйкес келеді. Робот қозғалған сайын, бөлшектер де қозғалады және роботтың қозғалыс моделіне сәйкес кездейсоқ бұрмаланады (бұл болжау қадамына сәйкес келеді). Өлшеу кезеңінде сенсорлық кіріс әр бөлшектер үшін имитацияланады және нақты өлшемдермен салыстырылады. Осы салыстыруды негізге ала отырып, бөлшектерді лақтыруға, қайталауға немесе тыныштықта қалдыруға болады. Бөліктерді сүзудің негізгі кемшілігі есептеу күрделілігі болып табылады, өйткені белгісіздікті дұрыс модельдеу үшін бөлшектердің үлкен мөлшерін сақтау қажет[8].

Теориялық шешімдер тек SLAM бұрандалары үшін үлкен мәнге ие болды, өйткені қазіргі компьютерлердің есептеу қуаты нақты уақытта суреттерді өңдеуге мүмкіндік береді. Визуалды ақпарат табиғаты салыстырмалы түрде оңай тіркелетін, және жақсы ажыратылатын жер бетіндегі белгілерден сирек карталар құруға мүмкіндік береді. Алайда, диапазон туралы ақпарат стандартты камералармен тікелей берілмейді. Кейбір көрнекі әдістер жақын қашықтықта ақпарат алу үшін стереокамераларды пайдаланады. Басқа әдістер стереобейнені қозғалыспен алмастырады және жалғыз (монокулярлық) камераны пайдаланады. Алайда, монокулярлық тәсілдердің көпшілігі есептеу тұрғысынан күрделі болып табылады және үлкен масштабты орталарды көрсету кезінде төмен жұмыс жылдамдығымен жұмыс істейді. Бұл мәселе үлкен жаһандық картаны өзара орналасуы туралы ақпаратпен ұсақ карталарға бөлу арқылы шешілуі мүмкін.

Карталар негізінде оқшаулау

Өлі санау кезінде кумулятивті қателер проблемасын жою үшін, робот өз экстерорецепторларынан сигналдарды түсіндіруі және оларды белгілі картамен салыстыруы тиіс. Көлік құралдарының навигациясы үшін ең ескі танымал экстероцептор-географиялық байланыстыруға арналған тақырыпты қамтамасыз ететін магниттік компас. Жердің магниттік өрісі біркелкі емес болғандықтан, теңізде жүзушілер жаһандық позициялау жүйесінің компастарын (бұдан әрі – GPS) пайдалану үшін егжей–тегжейлі магниттік карталарды жасады және қолдады. Қазіргі уақытта GPS қабылдағыштары ең танымал локализациялау жүйесі болып табылады, себебі коммерциялық қол

жетімді және бағасы бойынша арзан. Ол жер айналасында айналатын ~ 1.5 ГГц сигналдарын беретін бірнеше белсенді маяктардан тұрады. Қабылдағыш белгілі жағдайлары бар жеке спутниктерден қашықтықтарға негізделген өзінің жағдайын есептейді. Аспанға анық көрінетін және жақсы ауа райы жағдайларында орналасу дәлдігі 2 метрге жуық. Дегенмен, GPS сигналы сумен оңай сіңеді және оңай көрінеді. Нәтижесінде GPS дәлдігі каньондарда, ормандарда, ауыр жапырақтарда немесе ғимараттар арасында пайдаланғанда нашарлайды. Уақытша оқшаулау дәлдігін төмендетуді GPS-ті есептей отырып еңсеруге болады. Егер GPS қабылдағышында қоршаған орта туралы деректер болса, ол бұл ақпаратты көрсетілген сигналдарды қабылдамау және оқшаулау дәлдігін жақсарту үшін пайдалана алады[9].

13.2 Мобильді робототехникадағы карталау

Карталау қоршаған ортаның кеңістіктік үлгілерін алу мәселесін шешеді. Карталардың негізгі мақсаты-әлем туралы білімдерді бөлісу. Осы білімдермен алмасу адамдарға алдын ала белгіленген жерлерде кездесіп, маршруттарды жоспарлауға мүмкіндік берді. Роботталған картографиялау-бұл робот өз сенсорлары арқылы өз ортасы туралы білім алатын процесс. Дегенмен, картаны негізгі пайдалану бірнеше роботтар арасында емес, қозғалысты жоспарлау және бір роботты оқшаулау алгоритмдері арасында болады. Қозғалысты оқшаулаудың және жоспарлаудың бірнеше әдістері бар болғандықтан, мобильді робототехникада карталардың түрлі түрлері қолданылады. Метрикалық және топологиялық карталарды ажыратуға болады. Сипаттама үшін метрикалық карталар координаттардың бекітілген жүйесін пайдаланады, ал топологиялық карталар кеңістіктік қатынастарды пайдаланады. Метрикалық карталардың мысалдары жұмыспен қамту торлары, геометриялық және бағдарлы карталар болып табылады.



1.2 Сурет – Мобильді робототехникадағы карталау

Датчик картасы сенсорлық өлшеулерді жазу және сақтау арқылы әрі қарай өңдеусіз жасалады. Сенсорлық картаның мысалы-қашықтықты өлшеу жаһандық тірек кадрында сақталатын нүктелердің бұлты. Мұндай картаның өзі өте пайдалы емес екеніне қарамастан, датчиктер карталары барлық өлшенген деректерді сақтайды және әдетте болашақта жиналған деректерді өңдеу туралы оймен жасалады.

Геометриялық карталар жадының тиімсіздігін жеңуге тырысады және қоршаған ортаның маңызды салаларын ғана білдіреді. Сонымен қатар, олар қоршаған ортаны дискретизацияламайды және жұмыспен қамту желілерімен салыстырғанда дәлірек. Геометриялық карталар екі өлшемді және үш өлшемді жағдайдағы жазықтықтағы геометриялық примитивтер, әдетте сызықтар немесе көпбұрыштар жиынтығының көмегімен ортаны модельдейді. Геометриялық карталар локализация үшін, сондай-ақ қозғалысты жоспарлау үшін қолайлы. Жад тиімді болғанымен, бұл карталар датчиктің шуынан және локализацияның белгісіздігінен салғанға қарағанда қиынырақ. Сонымен қатар, әдетте, бірнеше геометриялық примитивтермен ұсынылған болуы үшін ашық ландшафт тым күрделі. Геометриялық карталардың маңызды артықшылығының бірі: автоматтандырылған жобалау жүйесінің модельдері түрінде көптеген ғимараттар үшін қолжетімділігі болып табылады.

Бағдар картасы белгілі позициялары бар жақсы ажыратылатын объектілер жиынтығы болып табылады. Маяктан айырмашылығы, бағдар оқшаулау мақсатында ортаға орналастырылмайды. Бағдар картасының бастапқы мақсаты – локализациялау, бірақ оны қозғалысты жоспарлау үшін де пайдалануға болады. Маңызды мәселелердің бірі-сандық деректерден маңызды бағдарларды алу, бірақ олар қымбат болуы мүмкін. Картаны жасау кезінде, сондай-ақ оқшаулау кезінде қабылданатын бағдарлар картада сақталатын бағдарлармен байланысты болуы тиіс. Егер алдын ала таңдау жасалмаса, қауымдастық процесінің есептеу шығыны карта мөлшерінің ұлғаюымен артады.

Әдетте, бағдарлар камералардың бейнелерімен сәйкестендіріледі, бірақ лазерлік, эхолот немесе радар деректерінің көмегімен бағдарларды алу мүмкіндігі де бар. Ортаның ішкі объектілерінің мысалы ретінде есіктер, плакаттар және қабырға бұрыштары қарастырылады. Сыртқы ортада жағдай одан да күрделі болып отыр, себебі бағдарларды анықтау және табиғи ортаның өзгеруіне ұшырату қиын. Кейінірек талқыланатын нүктелі нысандарды немесе ағаш діңдері сияқты ірі нысандарды пайдалануға болады[10].

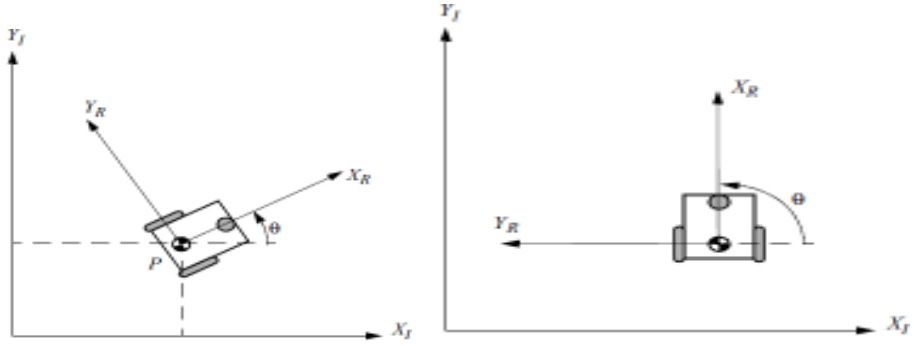
13.3 Мобильді роботтың қозғалысын басқару

Қозғалысты басқару алгоритмдері қозғалысты жоспарлауда берілген көптеген нүктелер бойынша роботты жылжыту үшін роботтың (мысалы, дөңгелектің жылдамдығы, импульстік модуляцияның ендік қуаты, атқарушы

механизмдерге кіру тогы) басқару тетігінің кіруін генерациялайды. Бұл кіріс тұйық немесе болжаушы контроллерлердің көмегімен жасалады. Бұл контроллерлердің құрылымы мен параметрлері роботтың физикалық параметрлеріне қатты байланысты. Бұл параметрлерді оңтайлы таңдау қолмен немесе контроллермен орындалуы мүмкін.

Жоғарыда аталған декомпозицияның негізгі мәселесі-бұл, маршрутты жоспарлау роботтың кинематикасы бойынша шектеулерді ескермейді, демек, генерацияламауы мүмкін.

Бұл кемшілік кездейсоқ ағаштарды жылдам іздеу арқылы шешіледі. Бұл алгоритмдер көптеген еркіндік дәрежелері бар роботтар үшін олардың кинодинамикалық шектеулерін сақтай отырып, жоспарлар жасай алады. Алайда, бұл алгоритмдер класы, егер қолайлы эвристиканы қолданбаса, баяу жұмыс істейді. Сондай-ақ, ұзақ кешенді жоспарларды жасамайтын BUG Алгоритмдер класы бар, бірақ қоршаған орта туралы қарапайым түсініктерді пайдаланады, арзан датчиктер және белгілі карталардың априориын талап етпейді. Минимализмге қарамастан, бұл алгоритмдер толық дәлелденеді-олар бар болса, жолды табады.



1.3 Сурет – Мобильді роботтың қозғалысын жоспарлау

Қозғалысты жоспарлау.

Жоспарлау-қалаған мақсатқа жету үшін қарапайым әрекеттер сериясын құру процесі. Мобильді робототехника контексінде қозғалысты жоспарлау белгілі бір мақсатқа жету үшін роботталған жетектер үшін басқару сигналдарын жасауды білдіреді. Робот қоршаған орта арқылы жол берілетін, соқтығысудан бос кеңістіктің бойымен қозғалуы тиіс. Қозғалысты жоспарлау мәселесі әдетте екі тапсырмадан тұрады, маршрутты жоспарлау және қозғалысты басқару.

Маршрутты жоспарлау.

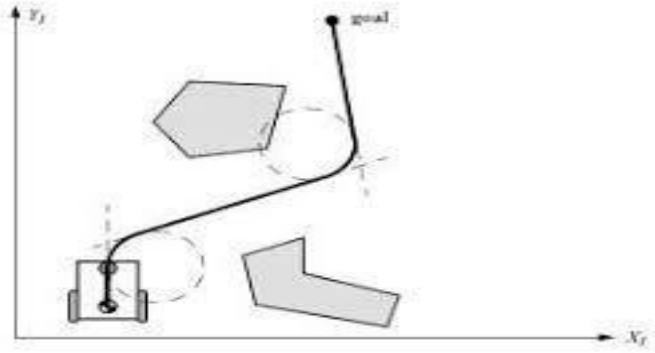
Маршрутты жоспарлау қажетті орынға дейін тасылатын жолды іздеу мәселесін шешеді. Әдетте, алынған жоспар-робот мақсатқа жету үшін өтуге тиіс нүктелердің тізбегі. Алгоритмдерді жоспарлау үшін роботтың жұмыс кеңістігінің картасы қажет. Маршруттарды жоспарлау алгоритмдерінің көпшілігі жұмыспен қамту желілерімен және геометриялық карталармен жұмыс істейді. Топологиялық карталар үшін маршрутты жоспарлау классикалық бағанға негізделген.

Геометриялық карталарда-алынған жоспардың түйіршіктілігі, яғни роботтың траекториясын құрайтын нүктелердің тығыздығы. Тығыздық рандомизацияланған роботтың жұмыс кеңістігін таңдаумен анықталады.

Өлі есептеу (кейде есептеу деп аталады) – бұл навигацияға негізделген "өлі" суға қатысты жылдамдықты есептейтін әдіс. Қазіргі уақытта ол көлік құралының ағымдағы позициясын, бұрын белгілі позициядан (тіркелген деп аталатын), өткен уақыттан және көлік құралының жылдамдығы мен бағытын бағалайтын техника үшін жалпы атау ретінде пайдаланылады. Жылдамдық пен курс экстерорецепторлармен бағалануы мүмкін болса да, проприоцептивті датчиктерді пайдалану қазіргі таңда өте танымал болып отыр.

Өлі есептеулердің негізгі кемшілігі-жағдайдың қателігі уақыт өте келе өседі. Қателердің жиналуы дәл датчиктерді қолдану және датчиктерді Мұқият калибрлеу есебінен айтарлықтай баяулауы мүмкін болса да, өлшеу қателіктері ұзақ уақыт оқшаулауға жарамсыз өлі есептерді жасай отырып, уақыт ағымымен біріктіріледі. Датчиктің шуы толығымен жойылса да, бұрыштың бастапқы орналасуын анықтаудағы ең аз қате жағдайдың дәлдігін жоғалтуға себеп болады. Дегенмен, өлі есептеу көптеген күрделі оқшаулау жүйелерінде роботтың орналасуын жылдам бағалаудың танымал әдісі болып табылады. Сонымен қатар, бұл робот ұзақ уақыт бойы жұмыс істеуге тиіс емес жағдайларда пайдалы. Мобильді робототехникалық жүйелер саласындағы "өлі есеатеудің" ең танымал әдісі-одометрия. Бұл әдіс роботтың жылдамдығын және оның атқарушы механизмдерінің сигналдарынан қозғалыс бағытын есептейді, онда доңғалақтар немесе тіректер бар. Көбінесе дөңгелекті роботтар инкременттік дөңгелектердің осіне бекітілген бұрылыс датчиктерімен жабдықталады . Бұл датчиктер дөңгелектердің айналуын өлшейді және бұл ақпарат робот алға және рульдік басқару жылдамдығына түрленеді.

Жоғарыда айтылған қателерді жинақтау мәселелерінен басқа,әдіс дөңгелектердің сырғуына сезімтал және тек кейбір беттерде ғана жұмыс істейді. Кейде одометрия термині роботтың жылдамдығын экстероцепторлармен өлшейтін және осы өлшеулерді уақыт ағымымен интеграциялайтын әдістер үшін қолданылады. Бұл әдістер оптикалық тышқандарға,радиолокациялық және дыбыстық толқындар мен камера жүйелерінің Доплерінің әсеріне негізделуі мүмкін. Өлі шоттың басқа әдістері инерциалды өлшем бірліктері мен гироскоптарды пайдалануға негізделген. Көлік құралының нақты үдеуін өлшеу үшін жердің гравитациясын, сондай-ақ Кориолистің күштері мен ортадан тепкіш күштерді ескеру қажет. Жылдамдық үдеуді өлшеу интеграциялау арқылы жанама өлшенеді, сондықтан позиция қос интегралдау жолымен есептеледі, ал қателерді жинақтау мәселесі одан да маңызды. Алайда бұл әдістер Қатты беттермен байланыспайтын көлік құралдарына, авиацияда және ғарыштық ұшулар саласында табысты қолданылып келеді[11].



1.4 Сурет – Мобильді роботтың жүру жолын жоспарлау

Мобильді робототехникадағы ең көне және ең танымал карталардың бірі – тор. Бұл тәсілде орта біртекті ұяшықтардың тұрақты торы ретінде модельделеді. Әрбір ұяшыққа ішкі кеңістіктің кейбір физикалық қасиетін сипаттайтын вектор беріледі. Егер ұяшықтар жер бедерінің жергілікті биіктігінде болса, карта биіктік торы деп аталады. Басқа рельефті сәндеу мүмкіндігі-әрбір ұяшықта жергілікті рельеф дисперсиясын сақтау. Ең көп таралған нысанда әрбір ұяшықтың ықтималдығы бар, және бұл жұмыспен қамту желілеріне әкеледі. Сонымен қатар, әр ұяшықтың жұмыс істеу ықтималдығына датчиктерді өлшеудің әсері әр ұяшыққа бөлек есептеледі. Датчиктің әрбір өлшемі датчиктің нақты көрсеткішінің қоршаған ұяшықтарды толтыруға әсерін сипаттайтын датчиктің моделіне байланысты бірнеше ұяшықтарды толтыру мүмкіндігін өзгерте алады. Мысалы, жақын ұяшықтарды толтыру ықтималдығы азайған кезде, датчиктің көрсеткішіне тең қашықтықпен ұяшықтарды толтыру ықтималдығын ұлғайтатын қашықтықты өлшеу болып табылады. Жұмыспен қамту торындағы ұяшықтар тікелей қол жетімді болғандықтан, сенсорды өлшегеннен кейін торды жаңарту тек тор өлшеміне емес, сенсор моделіне байланысты. Торды жаңарту үшін бір уақытта бірнеше датчиктер қолданылуы мүмкін, бұл жұмысбастылық торын пайдалану арқылы сенсорлық бірігу күйін қарапайым және талғампаз етеді. Сонымен қатар, жұмыспен қамту торлары бастапқыда қозғалысты жоспарлау мен оқшаулауды қолдайды. Толтырушы торлардың жетіспеушілігі олардың жадының тиімсіздігі болып табылады(бұл әсіресе үш өлшемді тормен проблемалы). Сонымен қатар, ортаның көп бөлігі бос кеңістіктен тұрады, сондықтан типтік жұмыспен қамту торының ұяшықтарының көпшілігі пайдаланылмайды. Бұл проблеманы еңсеру талпынысына қарамастан, қоршаған орта сынамаларын біркелкі іріктеуден басқа, жұмыспен қамту торының жалғыз тұжырымдамасы оның жадына қойылатын талаптарды ортаның модельдік өлшемімен өсіруге мәжбүрлейді[12].