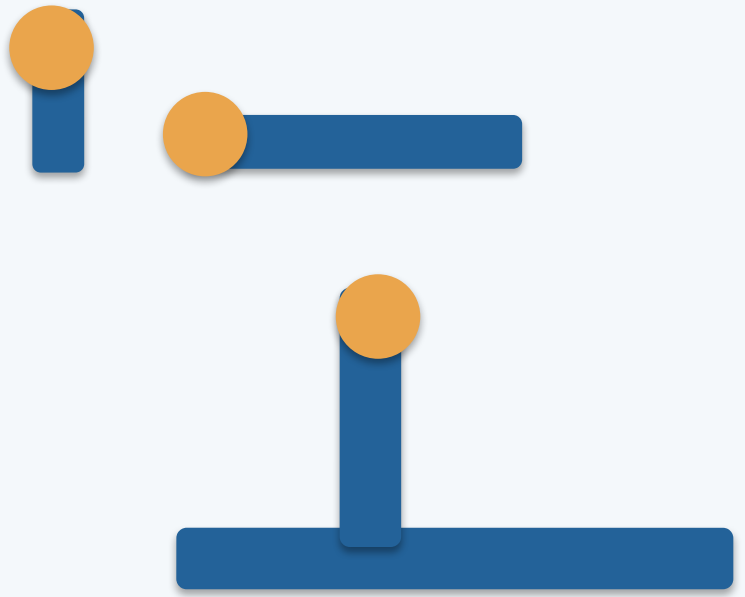
Робототехникалық жүйелерді басқару әдістері

Қозғалысты дәл, тұрақты және қауіпсіз басқару

Мақсат → модель → сенсор → алгоритм → әрекет



Дәріс беруші: механика кафедрасының PhD, ассистент-профессоры Б.И. Ахметова

Басқару жүйесінің міндеті және құрамы

- Басқару жүйесі роботтың қажетті күйін (орын, жылдамдық, бағдар, күш) қамтамасыз ететін алгоритмдер мен техникалық құралдардың жиынтығы.
- Басқару нысаны — робот механизмі; басқарушы құрылғы — контроллер; өлшеу құралы — энкодер, IMU, камера, LiDAR және басқа сенсорлар.
- Басқарудың сапасы дәлдік, орнығу уақыты, артық реттеу, орнықтылық, энергия тұтыну және қауіпсіздік көрсеткіштерімен бағаланады.
- Жобалауда қозғалыс моделі, белгісіздік, сыртқы кедергі, байланыс кідірісі және атқарушы механизм шектеулері ескеріледі.

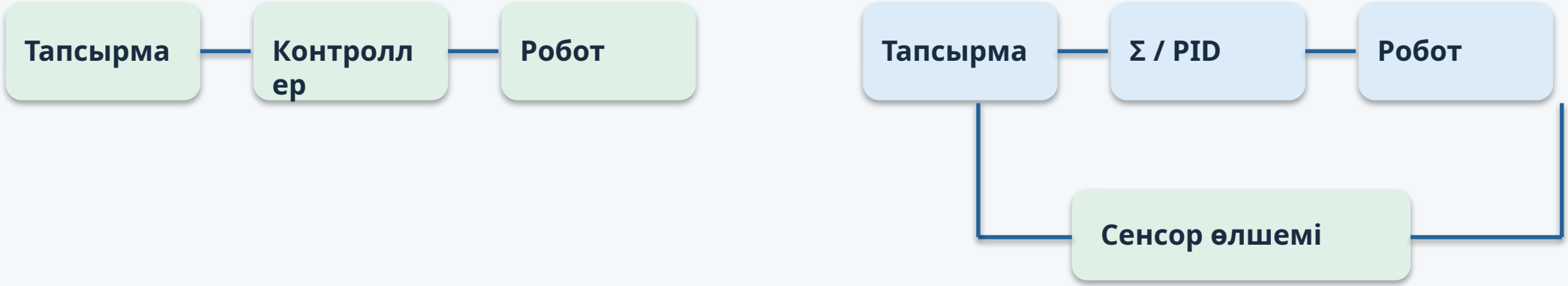
Ашық және жабық контурлы басқару

Ашық контур

Сенсор арқылы түзету жоқ; қарапайым, бірақ кедергіні өтемейді.

Жабық контур

Өлшенген нәтиже берілген мәнмен салыстырылып, қате түзетіледі.



Кері байланыс — роботтың нақты күйіне қарай басқару әсерін үздіксіз жаңарту принципі.

PID-регулятор: практикалық негізі

$$u(t) = Kp \cdot e(t) + Ki \cdot \int e(t)dt + Kd \cdot de(t)/dt$$

P — пропорционал

Қателікке жылдам жауап береді. Kp тым үлкен болса, тербеліс туындауы мүмкін.

I — интегралдық

Тұрақты қатені жояды. Шамадан тыс интеграл жинақталуы артық реттеуге әкеледі.

D — дифференциалдық

Қате өзгерісін ескеріп, тербелісті азайтады; өлшеу шуына сезімтал.

Қолданылуы: мотор жылдамдығын реттеу, дөңгелек бұрылысын бақылау, манипулятор буынының позициясын тұрақтандыру.

Роботтың қозғалысын басқару деңгейлері

Жоғарғы деңгей — Миссия, маршрут, тапсырмалар тізбегі; секундтар–минуттар.

Орта деңгей — Траектория, қозғалыс профилі, кедергіден айналып өту.

Төменгі деңгей — Мотор тогы, момент, жылдамдық және позиция контурлары.

Әр деңгейдің жаңарту жиілігі мен есептеу ресурсына қойылатын талаптары әртүрлі.

Модельге негізделген басқару

Кинематикалық басқару

Роботтың геометриясы мен қозғалыс байланыстарын пайдаланады. Жылдамдық пен траекторияны есептеуге ыңғайлы.

Динамикалық басқару

Масса, инерция, күш және моментті ескереді. Жылдам әрі дәл манипуляцияда маңызды.

MPC — болжамды басқару

Шектеулерді ескере отырып, алдағы уақыттағы әрекеттерді оңтайландырады.

Робасты / адаптивті әдістер

Параметр белгісіздігіне төзімділікті арттырады немесе модельді жұмыс барысында бейімдейді.

Мобильді роботтың навигациясын басқару



1. Локализация: роботтың ағымдағы орны мен бағдарын бағалау.

2. Карталау: ортаның геометриялық немесе семантикалық моделін құру.

3. Жол жоспарлау: мақсатқа жететін қауіпсіз маршрутты таңдау.

4. Қозғалысты қадағалау: траекториядан ауытқуды түзету.

5. Реактивті қауіпсіздік: күтпеген кедергіде жылдам тоқтау немесе айналып өту.

Күш пен импедансты басқару

Позициялық басқару

Робот буынының немесе жұмыс органының қажетті координатасын ұстайды. Қатты ортамен жанасуда артық күш пайда болуы мүмкін.

Күш / импеданс басқаруы

Контакт күшін немесе күш пен ығысудың байланысын реттейді. Құрастыру, тегістеу және қауіпсіз өзара әрекет үшін қолданылады.

Импеданс моделі: $F = M\cdot\ddot{x} + B\cdot\dot{x} + K\cdot x$ (қарапайым бірөлшемді модель)

Мұнда M — виртуалды инерция, B — демпфирлеу, K — серпімділік.

Жасанды интеллектке негізделген әдістер

Күшейтілген оқыту

Агент әрекет нәтижесінен сыйақы алып, басқару саясатын үйренеді.

Еліктеу арқылы оқыту

Адам демонстрациялары негізінде әрекет үлгісін меңгереді.

Көру арқылы басқару

Камерадан алынған белгілер қозғалысты түзету үшін пайдаланылады.

Гибридті тәсіл

Классикалық реттегіш, модель және AI бірге қолданылады.

Маңыздысы: AI әдістері сенімділікті тексеруді, шектеулерді және қауіпсіздік бақылауын алмастырмайды.

Басқару әдістерін салыстыру

Әдіс	Артықшылығы	Шектеуі	Типтік қолдану
Ашық контур	Қарапайым	Кедергіге сезімтал	Қарапайым цикл
PID	Жеңіл енгізіледі	Күрделі байланысқа шектеулі	Мотор реттеу
MPC	Шектеулерді ескереді	Есептеу шығыны	Траектория
Адаптивті	Параметрге бейімделеді	Баптау күрделі	Белгісіз жүктеме
AI / RL	Күрделі саясатты үйренеді	Дерек және валидация керек	Күрделі орта

Тәжірибелік кейс: қоймалық мобильді робот

- Міндет: қоймадағы мобильді робот жүкті А нүктесінен В нүктесіне жеткізіп, адамдар мен кедергілерден қауіпсіз айналып өтеді.
- Жоғарғы деңгей: мақсат координатасын және жолды жоспарлау; орта деңгей: траекторияны жаңарту және жылдамдық шектеулері.
- Төменгі деңгей: сол және оң дөңгелек жылдамдықтарын энкодер деректері бойынша PID реттегіштерімен басқару.
- Сенсорлар: LiDAR немесе камера — кедергіге; энкодер мен IMU — қозғалыс күйін бағалауға; қауіпсіздік датчиктері — тоқтатуға.
- Бағалау көрсеткіштері: маршрут қатесі, жеткізу уақыты, энергия шығыны, қауіпсіз тоқтау қашықтығы.

Бақылау сұрақтары және өзіндік жұмыс

- 1. Ашық және жабық контурлы басқарудың негізгі айырмашылығы қандай?
- 2. PID реттегішінің P, I және D мүшелері қандай міндет атқарады?
- 3. Неліктен мобильді роботта басқару бірнеше деңгейге бөлінеді?
- 4. MPC әдісінің PID-пен салыстырғандағы артықшылығы мен шектеуі неде?
- 5. Контакт күшін басқару қандай өндірістік операцияларда қажет?
- Өзіндік жұмыс: екі дөңгелекті роботқа арналған сенсор–контроллер–жетек схемасын құрып, бір басқару әдісін таңдауыңызды негіздеңіз.

Негізгі әдебиет: Siciliano & Khatib, Springer Handbook of Robotics; Corke, Robotics, Vision and Control.