Мехатроника жүйелерін басқаруда ЖИ қолдану

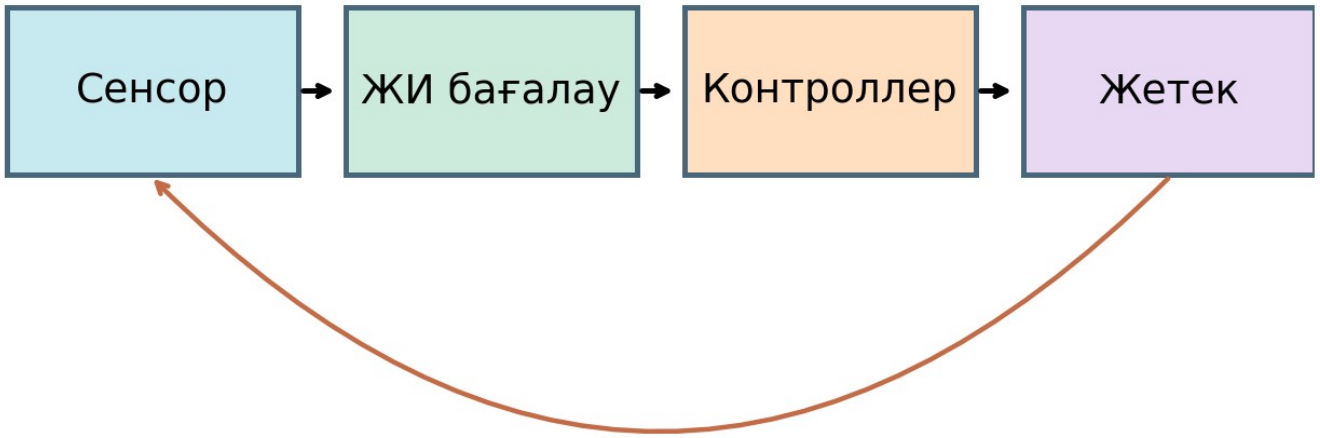
Негізгі ұғымдар, алгоритмдер, робототехника мысалдары және инженерлік проблемалар

Ақ фон • көрнекі схемалар • салыстыру • практикалық тапсырмалар

Дәрістің мақсаты

- Мехатрондық жүйенің сенсор–контроллер–жетек құрылымын түсіндіру.
- Классикалық PID пен ЖИ негізіндегі басқаруды салыстыру.
- Жүйе динамикасын үйрену, адаптивті реттеу және MPC-ке көмек тәсілдерін талдау.
- Нақты уақыт, тұрақтылық және қауіпсіздік шектеулерін ескеру.
- ЖИ қолданылатын инженерлік кейсті жобалау.

Мехатрондық басқару контуры



Сенсорлар күйді өлшейді; ЖИ моделі ақауды, үйкелісті немесе динамиканы бағалайды; контроллер басқару әсерін есептейді; жетек орындауды қамтамасыз етеді.

Кері байланыс үздіксіз жаңарып тұрады.

Классикалық және ЖИ басқару

Әдіс	Артықшылығы	Шектеуі
PID	Қарапайым, түсінікті	Күрделі бейсызықтық
MPC	Шектеуді ескереді	Есептеу шығыны
ЖИ модель + PID	Белгісіз әсерді бағалау	Дерек сапасына тәуелді
RL саясаты	Күрделі әрекетті үйрену	Қауіпсіз оқыту қиындығы

ЖИ қай жерде қолданылады?

Жүйені идентификациялау

Кіріс–шығыс деректерінен динамикалық модельді бағалау.

Болжамды диагностика

Діріл, ток және температурадан тозу белгілерін анықтау.

Адаптивті басқару

Жүктеме өзгергенде параметрді немесе өтемақыны жаңарту.

Қозғалыс жоспарлау

Кедергі, энергия және уақыт шектеуімен траекторияны таңдау.

Жүйенің математикалық моделі

- Жалпы күй теңдеуі: $\dot{x} = f(x,u,d)$, мұнда x — күй, u — басқару, d — сыртқы әсер.
- Өлшеу теңдеуі: $y = h(x) + v$, мұнда v — сенсор шуылы.
- ЖИ моделі белгісіз f динамикасының бөлігін немесе сыртқы әсерді жуықтай алады.
- Басқару тұрақтылығы тек модельдің дәлдігіне ғана емес, шектеулер мен кешігуге де тәуелді.

ЖИ + PID: гибридті схема

Негізгі контур

PID жылдам әрі тексерілген кері байланыс береді.

ЖИ модулі

Үйкеліс, жүктеме немесе қателікті алдын ала болжайды.

Шектеу қабаты

Момент, жылдамдық және температура лимитін сақтайды.

Fallback режимі

ЖИ сенімсіз болса, классикалық басқаруға ауысады.

Робот жетегінің мысалы

- Міндет: робот буынының бұрышын берілген траектория бойынша дәл қадағалау.
- Кіріс деректері: бұрыш, жылдамдық, мотор тогы, температура, жүктеме.
- ЖИ моделі үйкеліс моментін болжайды; PID қателікті түзетеді.
- Метрикалар: RMS tracking error, overshoot, settling time, энергия және максимал момент.
- Модельді алдымен симуляцияда, кейін шектелген стендтік сынақта тексеру керек.

Нақты уақыттағы басқару

Latency

Есептеу кідірісі басқару сапасын төмендетуі мүмкін.

Sampling

Контроллердің дискреттеу периоды жүйе динамикасына сай болуы тиіс.

Edge AI

Жергілікті inference желілік тәуелділікті азайтады.

Determinism

Ең нашар орындалу уақыты және watchdog қажет.

Проблемалар және инженерлік шешімдер

Проблема	Қауіп	Шешім
ЖИ қатесі	Тұрақсыз команда	Шектеу, fallback
Domain shift	Басқа жүктемеде қате	Онлайн бақылау, қайта баптау
Кідіріс	Тербеліс	Edge inference, WCET
Сенсор істен шығуы	Қате күй бағасы	Redundancy, диагностика
Қауіпсіздік	Адамға/жабдыққа зиян	E-stop, лимит, сынақ

Практикалық инженерлік тапсырма

- Роботтың бір айналмалы буынын басқару үшін PID және ЖИ+PID құрылымын салыстырыңыз.
- Өлшенетін сигналдарды және модельдің шығыс шамасын анықтаңыз.
- Қауіпсіздік шектерін жазыңыз: максимал бұрыш, жылдамдық, момент, температура.
- Simulink немесе Python модельдеу жоспарын және сынақ сценарийлерін жасаңыз.
- ЖИ модулі істен шыққандағы fallback алгоритмін сипаттаңыз.

Қорытынды және бақылау сұрақтары

- ЖИ мехатроникада модельді нақтылау, диагностика және басқару сапасын арттыру үшін қолданылады.
- ЖИ классикалық басқаруды толық алмастыруға міндетті емес: гибридті жүйелер практикалық болуы мүмкін.
- Неліктен басқару контурында кідіріс қауіпті?
- Fallback және шектеу қабаты қандай қызмет атқарады?