ЛЕКЦИЯ № 5

БЕЙІМДІ РЕТТЕУ. АДАПТИВТІ БАҒДАРШАМДЫҚ БАСҚАРУ

Тақырып: Бейімді реттеу. Жол қозғалысын бағдаршаммен реттеу кезінде бейімделудің мәні. Бейімді реттеу әдістері. Ағын көрсеткіштерін ескере отырып, оңтайлы басқару.

1. Бейімді реттеу туралы түсінік

Бейімді реттеу - бағдаршамдық басқару параметрлерінің (цикл, фаза ұзақтықтары, фазалық реттілік) нақты уақыт режимінде қозғалыс ағынының ағымдағы жағдайына сәйкес автоматты түрде өзгеруі. Қатаң реттеуден айырмашылығы, мұнда бағдарлама алдын ала бекітілмейді, ал контроллер детекторлардан келетін ақпаратқа сүйене отырып шешім қабылдайды.

Қозғалыс қарқындылығының тәулік бойынша өзгеріп тұруы цикл мен рұқсат ету сигналдарының ұзақтылығын өзгертуді талап етеді. Олай болмаған жағдайда көлік құралдарының кідірісі өседі. Көпжоспарлы қатаң басқару кідірістерді азайтады, бірақ ол тиімді болып табылмайды. Ол қиылысқа келып қалған автомобильдер ішіндегі қысқауақыттық кездейсоқ өзгерістерді қамтамасыз ете алмайды.

Басқарудың көрсеткіштері қарқындылықтың тәуліктік, сондай ақ бір уақыттағы өзгерістерін ескеру қажет (қиылысқа кездейсоқ келген көлік құралдарын). Оны көлік құралдары мен кері байланысы бар, бейімді басқаруды енгізген кезде қамтамасыз етуге болады. Ол көлік ағынының көрсеткішері туралы үздіксіз ақпараттар беретін, қиылыс аймағында орналасқан көлік детекторларының көмегімен жүзеге асады.

Осы ақпараттарды өңдеу тәсілдеріне байланысты бейімді басқарудың алгоритмдері үш топқа бөлінеді.

1) Айталмыш циклдік реттеуде қиылыстың жағдайы туралы ақпараттар бойынша, бағдаршам сигналдарының ауысуын қамтамасыз ететін алгоритмдер.

2) Аталған уақытта қиылыс жағдайларының ақпараттық басқару көрсеткіштерін келесі кезге болжау ықтималдығы бойынша анықтауды қамтамасыз ететін статистикалық тиімділік алгоритмдері.

3) Кездейсоқ іздеу алгоритмдері. Тиімділік критериін талдаумен қатар, басқару көрсеткіштері кездейсоқ өзгереді. (Мысалы, кідірістер). Тиімділік критериі ең жоғарғы немесе ең аз шамасына жетсе, басқару тиімді болып саналады.

Көлік ағынындағы үзілісті іздеу алгоритмдеріндегі негізгі басқару көрсеткіштері болып:

- Негізгі тактің ең аз ұзақтылығы;
- негізгі тактің максимальді ұзақтылығы;
- экипаждық уақыт (ағындағы үзілісті анықтайтын интервал).

- Бұл көрсеткіштер алдын ала есептеулермен шығарылады. Барлық қиылыстардың маңына көлік детекторларын орнатады. Олардың орнатылған жерінен тоқтау сызығына дейінгі автомобильдің жылдамдығына байланысты 30-50 м аралықтарында болады.

Рұқсат ету сигналы қосылған кезде алдымен $t_{жmin}$ есептелінеді. Бұл уақыт рұқсат ету сигналын тосышыларға және көлік детекторларынан тоқтау сызығының аралығында тұрған көлік құралдарын өткізу үшін қажет.

Сонымен қатар, $t_{жmin}$ жаяужүргіншілерге жүру бөлігінен өтуге мүмкіндік беру қажет (тым болмағанда өстік сызыққа дейін).

Егер $t_{жmin}$ уақыты біткенше детектор аумағында бірде-бір автомобиль пайда болмаса, сигнал рұқсат етуден тыйым салу сигналына ауысады, яғни келесі реттеу фазасына ауысады. Егер де, $t_{жmin}$ уақыты біткенше, детектор аумағында автомобиль пайдаболса, рұқсат ету сигналы $t_{эк}$ уақытына ұзартылады,. Ол осы автомобильге детектордан тоқтау сызығына дейін өтуге мүмкіндік береді.

Егер экипаж уақыты біткенше тағы да бір автомобиль пайда болса, $t_{эк}$ жаңа санағы басталады (ағындағы үзілістің болмауы). Сондықтан $t_{эк}$ уақыты біткенге дейінгі келген әрбір автомобиль рұқсат ету сигналын ұзартады. Ал егер, автомобильдердің арасындағы уақыт аралығы $t_{эк}$ үлкен болса, рұқсат ету сигналы тыйым салуға ауысады.

Аталған алгоритм фазалық айырылысу кезінде де және жеке бағыттық қозғалысты басқару кезінде де қолданылады. Фазалық басқару кезінде, негізгі такт осы фазадағы барлық бағыттарға бірдей болғандықтан, ол ұзартылады немесе $t_{жmax}$ мен шектеледі, үзіліс байқалмаса да.

Осыдан басқарудың негізгі көрсеткіштеріне байланысты оны былай есептейді:

$t_{жmin}$=3600no/Мн

мұндағы no – бір жолаққа жүктелген және тоқтау сызығы мен көлік детекторының арасында рұқсат ету сигналын тосып тұрған автомобильдердің саны (бақылаулардың нәтижесінде алынады).

Мн – аталмыш фазадағы бір қозғалыс жолағына жүктелген қанықка ағынының орташа мәні (жуық шамамен 3600/Мн 2 с тең деп алуға болады), бірл/сағ; немесе

$t_{жmin}=5+B_{пш1}/V_{пш}$

мұндағы $B_{пш1}$ – жаяу жолдан қауіпсіздік алаңшасына дейінгі қашықтық немесе қарама-қарсы бағыттардағы ағындарды бөлу таңба сызығына дейін.

Есептеулерде $t_{жmin}$ үлкен мәнін қабылдайды, ол 7-12 с аралығында болады.

$t_{жmax}$=(1,2 – 1,3)to Ұзақтылығы осы аралықта болады.

Мұндағы to – тәуліктің ең шыңындағы сағатындағы, қатаң басқару кезіне есептелген, аталған фазадағы негізгі тактің ұзақтылығы.

Экипаждық уақыт кезінде автомобиль детектордан тоқтау сызығына дейінгі аралықты өтіп үлгері қажет. Ол автомобильдің жылдамдығына байланысты, оны бақылаулар нәтижесінде анықтайды. Одан соң, автомобиль детектордан өткеннен кейін тоқтау сызығына дейін тұрақты жылдамдықпен қозғалады. Осыны ескере отырып экипажды уақыт

$t_{эк}=3,6\ S_{дт}/v_a$

мұндағы $S_{дт}$ – көлік детекторынан тоқтау сызығына дейінгі аралық, м.

v_a – қиылысқа жақындағандағы автомобильдің орташа жылдамдығы , км/сағ

$t_{эк}$ уақытын фазалық реттеудің барлық бағыттарына есептеу қажет және басқару көрсеткіші қылып алынған мәннің үлкенін қабылдау қажет. Негізінде $t_{эк}$ уақыты 4-5 с аралығында болады.

Ағындағы үзілісті іздеу алгоритмі қатаң басқарумен салыстырғанда кідірістерді 10-60 % дейін азайтады.

Бейімді реттеудің негізгі мақсаттары:

- Кешігулерді азайту - қажетсіз күту уақытын қысқарту;
- Өткізу қабілетін арттыру - жүктелген бағыттарға көбірек уақыт беру;
- Кептелістерді болдырмау немесе тез жою;
- Энергия мен отын шығынын азайту, эмиссияны төмендету.

2. Жол қозғалысын бағдаршаммен реттеу кезінде бейімделудің мәні

Қозғалыс ағыны тұрақты емес: таңертеңгі және кешкі шыңдар, кенеттен пайда болатын кептелістер, авариялар, ауа райының өзгеруі, арнайы іс-шаралар - осылардың барлығы ағын параметрлерін күрт өзгертеді. Қатаң бағдарлама мұндай өзгерістерге жауап бере алмайды, сондықтан:

- Жүктелмеген бағыттарда бос жасыл уақыт «жоғалады»;
- Жүктелген бағыттарда кезек өсіп, кептеліс пайда болады;
- Жалпы тиімділік төмендейді.

Бейімделудің мәні - жүйенің сыртқы жағдайларға (ағын қарқындылығы, кезек ұзындығы, жылдамдық) автоматты түрде бейімделіп, әр сәтте мүмкіндігінше оңтайлы шешім қабылдауы. Бұл «кері байланыс» (feedback) принципіне негізделген: детекторлар → контроллер → бағдаршам → ағын → қайта детекторлар.

Нәтижесінде орташа кешігу 15–40 %-ға, тоқтаулар саны 10–30 %-ға төмендеуі мүмкін (зерттеулерге сәйкес).

3. Бейімді реттеу әдістері

3.1. Жергілікті (локальды) бейімді реттеу

Бір қиылыс деңгейінде жұмыс істейді. Негізгі әдістер:

1. Фазаны ұзарту / қысқарту (phase extension / gap-out) - егер ағымдағы фазада көліктер әлі өтіп жатса, жасыл уақыт ұзартылады; егер алшақтық (gap) үлкен болса - фаза мерзімінен бұрын аяқталады.
2. Минималды және максималды жасыл уақыт шектері - фаза тым қысқа немесе тым ұзын болмауы үшін.
3. Сұраныс бойынша шақыру (vehicle actuation) - детектор сигнал бергенде ғана фаза іске қосылады.

3.2. Координацияланған бейімді реттеу

Бірнеше қиылысты (коридорды) бірге басқарады. «Жасыл толқын» принципін сақтай отырып, цикл мен ығысуларды (offset) ағынға бейімдейді. Мысалдар: SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System), SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique).

3.3. Желілік (network) бейімді реттеу

Бүкіл қалалық желіні орталықтандырылған немесе таратылған алгоритмдермен басқарады. Оңтайландыру мақсаты - желі бойынша жалпы кешігуді, саяхат уақытын немесе кептеліс индексін минимизациялау. Заманауи жүйелер AI және машинное обучение әдістерін қолданады.

3.4. Кең таралған жүйелер

Жүйе	Шығу тегі	Ерекшелігі
SCATS	Австралия (Сидней)	Стратегиялық + тактикалық деңгей
SCOOT	Ұлыбритания	Цикл, split, offset оңтайландыру
OPAC / RHODES	АҚШ	Проактивті, болжамды
UTOPIA / SPOT	Италия / Еуропа	Иерархиялық басқару

4. Ағын көрсеткіштерін ескере отырып, оңтайлы басқару

Оңтайлы басқару - таңдалған критерий бойынша ең жақсы шешімді табу. Негізгі критерийлер:

- Орташа кешігуді минимизациялау (most common);
- Тоқтаулар санын азайту;
- Жалпы саяхат уақытын минимизациялау;

- Кезек ұзындығын шектеу (overflow prevention);
- Көпкритерийлі оңтайландыру (салмақ коэффициенттерімен).

4.1. Пайдаланылатын ағын көрсеткіштері

1. Қарқындылық (q) - детекторлар арқылы нақты уақытта;
2. Кезек ұзындығы (queue length) - бейнедетекторлар немесе модельдеу арқылы;
3. Алшақтық (time gap / headway) - фазаны мерзімінен бұрын аяқтау үшін;
4. Жылдамдық және саяхат уақыты - FCD (Floating Car Data) немесе Bluetooth/Wi-Fi арқылы;
5. Қанығу дәрежесі (degree of saturation) - y = q/S.

4.2. Оңтайландыру принциптері

Жергілікті деңгейде: егер ағымдағы фазаның қанығу дәрежесі жоғары болса - ұзарту; егер алшақтық үлкен болса - аяқтау. Желілік деңгейде: болжамды модельдер (MPC - Model Predictive Control) қолданылады, яғни бірнеше минут алға қарай оңтайлы жоспар құрылады және әр қадамда жаңартылады.

Заманауи тәсілдерде reinforcement learning (нығайту арқылы оқыту) және цифрлық егіздер қолданыла бастады. Бұл жүйелер тарихи деректер мен нақты уақыт ақпаратын біріктіріп, бұрынғыдан тиімдірек шешімдер қабылдайды.

5. Бейімді реттеудің артықшылықтары мен шектеулері

Артықшылықтары

- Ағын өзгерістеріне жылдам жауап беру;
- Кешігу мен тоқтаулардың азаюы;
- Отын шығыны мен эмиссияның төмендеуі;
- Бірнеше бағдарламаны қолмен ауыстырудың қажетсіздігі.

Шектеулері

- Детекторлардың сенімділігіне жоғары тәуелділік;
- Бастапқы орнату және калибрлеудің күрделілігі;
- Құны қатаң жүйелерден жоғары;
- Өте төмен қарқындылықта артықшылығы аз болуы мүмкін.