

Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării - UEFISCDI

Cod proiect: PN-III-P1-1.1-PD-2019-0757

Titlu: Strategii coaliționale de control distribuit pentru sisteme dinamice cuplate - LEADERS

Raport științific și tehnic - Etapa 1

PD 217/2020

În cadrul acestui proiect se propune elaborarea de strategii coaliționale de control distribuit bazat pe model (eng. Distributed Model Predictive Control - DMPC). Aceste strategii sunt potrivite pentru procese complexe care sunt alcătuite din sub-procese (sau module) independente (din punct de vedere a obiectivelor de control), dar interconectate între ele (prin dinamică sau resurse comune). În controlul distribuit, pentru fiecare modul este proiectat un regulator local (sau agent) care elaborează o comandă, pe baza informațiilor relevante primite de la modulele din vecinătatea sa. Ideea de lucru din controlul coalițional distribuit este introducerea și utilizarea unei arhitecturi de control flexibile, care poate funcționa fie în mod non-cooperativ (în care toate modulele sunt controlate local) sau în mod parțial sau total cooperativ. Cea de-a doua opțiune de control oferă posibilitatea modulelor aparținând unei vecinătăți de a se grupa ad-hoc într-o singură unitate sau coaliție. În metodologia DMPC, coalițiile de sub-sisteme sunt controlate ca entități independente, dar care rămân interconectate cu celelalte sub-sisteme din rețea.

Rezumat etapa I

Obiectivul principal definit pentru acest proiect este dezvoltarea de algoritmi coaliționali de control distribuit, potriviți pentru sub-sisteme dinamice cuplate și testarea acestor strategii în simulare și în experimente de laborator. Pentru a realiza acest obiectiv, au fost definite un set de obiective specifice, corespunzătoare fiecărei etape din planul de realizare a proiectului.

Astfel, obiectivul 1 definit pentru etapa I din planul de realizare a proiectului este elaborarea unei metodologii de control coalițional într-un cadru de control predictiv distribuit, cuprinzând diferite proceduri de selecție și de activare a coalițiilor.

În cadrul acestei etape de lucru au fost create diferite protocoale de management a coalițiilor. O analiză cuprinzătoare a fost realizată pe baza căreia a fost formulată o procedură generală care permite activarea mai multor coaliții de mici dimensiuni în aceeași perioadă de eșantionare, în locul unei coaliții unice de dimensiuni mai mari. În această manieră s-a evitat pericolul generat de cazul extrem al controlului centralizat, în care resursele necesare pentru comunicarea la un anumit moment de timp, între sub-sistemele din cadrul arhitecturii de control sunt maxime. În cadrul controlului centralizat, care este echivalent cu o coaliție realizată între toate sub-sistemele din rețea, fiecare sub-sistem trebuie să realizeze un schimb de informații cu toate sub-sistemele existente în rețea, în timp ce în cadrul unor coaliții de mici dimensiuni propuse în cadrul acestei etape, sub-sistemele comunică doar cu cele din vecinătatea lor, minimizându-se astfel efortul de comunicație necesar.

Mai mult, a fost proiectată o procedură secvențială de selecție a coalițiilor (adică o metodologie de a alege câte și care sub-sisteme să fie grupate într-o singură entitate). Astfel, atunci când este necesar, se pornește de la una (sau mai multe) coaliții de dimensiuni minime

(două sub-sisteme într-o coaliție), crescându-se progresiv dimensiunea coalițiilor, la trei sub-sisteme, și așa mai departe. Această abordare de lucru a introdus implicit mai multe combinații posibile pentru coaliții, făcând astfel necesară executarea unui studiu exhaustiv în etapa de proiectare a proiectului. În acest mod, a fost realizată o investigație a procedurilor existente disponibile în cadrul controlului coalițional, din punctul de vedere a modalităților de selecție și activare a coalițiilor.

Descriere științifică și tehnică

Protocoalele de management a coalițiilor elaborate în această etapă sunt diferite de rezultatele anterioare descrise în [1], în care la fiecare perioadă de eșantionare se activează doar o singură coaliție. În plus, strategia de selecție a coaliției din [1] se bazează pe un mecanism aleator, ceea ce înseamnă că, la fiecare iterație posibilitatea activării unei coaliții de mari dimensiuni este ridicată.

În urma efectuării unui studiu exhaustiv a literaturii de specialitate din domeniul de cercetare a controlului coalițional, au fost identificate diferite abordări de management a coalițiilor practicate. În continuare se vor rezuma foarte punctual, câteva dintre strategiile de control coalițional, formulate în contextul controlului bazat pe model (MPC) decentralizat. În [2] este prezentat un algoritm de control în care fiecare agent rezolvă o problemă de optimizare locală și calculează o valoare de cost asociată unei posibile coaliții cu vecinii săi. Se pornește de la premiza că agenții sunt raționali, în sensul că vor intra într-o coaliție doar dacă această acțiune îmbunătățește valoarea de cost asociată individului. Astfel, în acest caz, performanța unei coaliții este privită ca un index economic a rețelei de sub-sisteme. În [3] este introdusă valoarea Benzhaf inițial folosită în teoria jocurilor cooperative, ca index de valorizare a legăturilor de comunicare active între agenți. Această valoare a fost utilizată sub formă de restricții în problema de optimizare rezolvată la nivel local, în ideea că o valoare Benzhaf mare asociată unei legături de comunicare, va împiedica activarea acesteia, și implicit formarea coalițiilor dintre respectivii agenți. În mod asemănător, în [4] a fost folosită aceeași metodologie de evaluare a legăturilor de comunicare activate în rețea, utilizând valoarea Shapley pentru restricțiile legăturilor de comunicare. O abordare asemănătoare este introdusă în [5], în care, legăturile de comunicare din rețea sunt activate sau dezactivate în funcție de contribuția lor din punct de vedere a performanței globale a sistemului. Procedura de creare a coalițiilor se bazează pe comutarea secvențială între diferite topologii, prin activarea/dezactivarea legăturilor de comunicare dintre agenți, pornind inițial de la o topologie în care toate legăturile de comunicare dintre toți agenții sunt activate.

În cadrul acestei etape de lucru, analizând rezultatele din literatura de specialitate, formulate în domeniul MPC decentralizat, a fost implementată o procedură de management a coalițiilor dintre agenți particularizată pe nevoile specifice impuse de controlul coalițional distribuit. Diferența față de abordările propuse în literatură este dată de faptul că, ideea de control coalițional a fost particularizată pentru contextul non-cooperativ DMPC și nu MPC decentralizat. Cu alte cuvinte, se urmărește ca agenții să comunice doar cu vecinii cu care are loc schimbul de informații, implicit legăturile de comunicare nu se dezactivează atunci când se formează sau se distrug coalițiile. Astfel, Obiectivul 1 propus pentru etapa 1 din planul de realizare a fost îndeplinit cu succes, și rezultatele obținute vor fi diseminate în [6].

Deoarece în etapele viitoare ale planului de realizare se vor folosi strategiile elaborate în etapa curentă, în Figura 1, este exemplificată problema controlului coalițional distribuit aplicat în aplicații cu plutoane de vehicule.

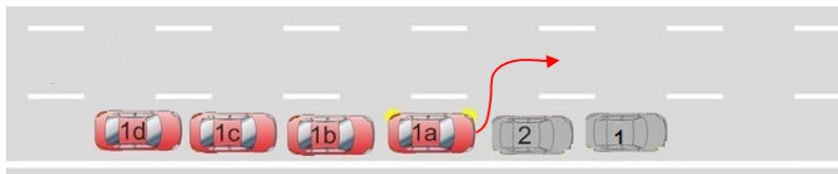


Figura 1. Plutonul se desparte iar vehiculele formează două coaliții.

Se consideră plutonul cu 6 vehicule prezentat în Figura 1, în care leader-ul plutonului este vehiculul de culoare gri, notat cu 1. Inițial, vehiculele următor succesor leader-ului, sunt controlate de agenți locali ce rezolvă probleme non-cooperative DMPC, pe baza informațiilor de la vehiculul predecesor, și trimit informații către vehiculul succesor. Cât timp nu apare nici o perturbație în pluton, nu este formată nici o coaliție. La un moment dat, al treilea vehicul din pluton, de culoare roșie, marcat cu 1a, decide să părăsească plutonul. Acest eveniment perturbator, va avea ca efect separarea plutonului în două părți. Astfel, vehiculele gri, notate cu 1 și 2, vor forma o coaliție și vehiculele roșii notate cu 1b, 1c și 1d, vor forma o a doua coaliție. În acest sens, pentru ca vehiculul 1a să poată părăsi plutonul în condiții de siguranță pentru toți participanții implicați, acesta va trebui să își comunice intențiile către vehiculele 2 și 1b. În consecință, plutonul gri controlat de prima coaliție, va trebui să accelereze, iar plutonul roșu controlat de cea de-a doua coaliție va trebui să frâneze. După ce vehiculul 1a a părăsit plutonul și banda de circulație, cele două coaliții se vor dizolva, iar vehiculele componente vor ajunge în configurația inițială, formând un singur pluton de 5 vehicule, ce este controlat distribuit non-cooperativ.

Bibliografie

- [1] A. Maxim, J. M. Maestre, C. F. Caruntu, and C. Lazar. Robust coalitional distributed model predictive control algorithm with stability via terminal constraint. In *Proceedings of the 2018 IEEE Conference on Control Technology and Applications*, Copenhagen, Denmark, August 21-24, pp. 964–969, 2018.
- [2] F. Fele, E. Debada, J.M. Maestre and E.F. Camacho, Coalitional Control for Self-Organizing Agents, *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 23, no. 9, pp. 2883-2897, 2018.
- [3] F.J. Muros, E. Algaba, J.M. Maestre, and E.F. Camacho, The Benzhaf value as a design tool in coalition control, *Systems & Control Letters*, vol. 104, pp. 21-30, 2017.
- [4] F. J. Muros, J.M. Maestre, E. Algaba, T. Alamo, and E.F. Camacho, Network control design for coalitional schemes using game-theoretic methods, *Automatica*, vol. 78., pp. 320-332, 2017.
- [5] P. Chanfreud, J.M. Maestre, F.J. Muros and E.F. Camacho, A coalitional control scheme with topology-switchings convexity guarantees, In *Proceedings of the 2019 IEEE 58th Conference on Decision and Control*, Nice, France, December 11-13, pp. 1096-1101, 2019.
- [6] A. Maxim and C. F. Caruntu, A comprehensive analysis of selection and activation procedures in coalitional DMPC framework - va fi publicată.

Director Proiect,
S.I.dr.ing. Anca MAXIM