

Modelarea, analiza și sinteza unor structuri de conducere automată în rețea

- Rezumat -

Doctorand:

ing. Octavian Ștefan

Conducător științific:

prof. univ. dr. ing. Toma-Leonida Dragomir

1. Introducere

Un sistem de reglare în rețea este un sistem de conducere cu reacție unde informația dintre componentele buclei de reglare este transferată utilizând rețele electronice de timp real ([1]). Sistemului de conducere de bază din Fig. 1 i se asociază din punct de vedere funcțional sistemul de conducere în rețea din Fig. 2. Conform figurii, datele de la senzori la regulator și de la regulator la elementul de execuție sunt transmise utilizând rețele de comunicații.

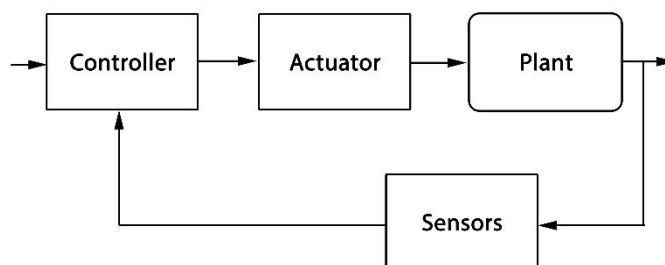


Fig. 1 – Sistem de conducere convențional

Creșterea puterii de procesare și scăderea costurilor echipamentelor au facilitat o expansiune extraordinară a rețelelor de calculatoare în ultimii ani. Prețurile scăzute, toleranța mare la defecte și fiabilitatea ridicată a rețelelor actuale au deschis o perspectivă nouă în proiectarea structurilor de conducere. Principalele avantaje ale unui sistem de conducere în rețea sunt: costuri reduse, modularitate, flexibilitate ridicată, robustețe la defecte, ușurință în reconfigurare, mentenanță și diagnoză ([2], [3]).

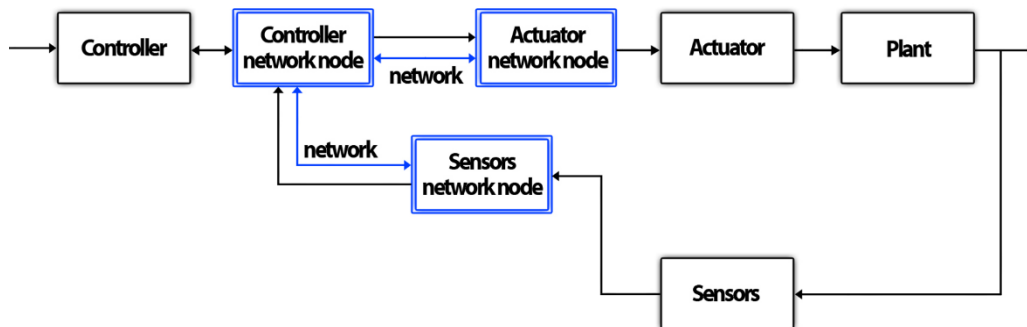


Fig. 2. – Sistem de conducere în rețea

Ideea utilizării rețelelor de calculatoare în sisteme de conducere devine din ce în ce mai interesantă pentru comunitatea științifică. Direcția de cercetare este de natură interdisciplinară, implicând cunoștințe din teoria reglării, știința calculatoarelor, rețele de comunicații și teoria informației ([4]).

Interesul ridicat pentru sistemele de conducere în rețea este susținut de numărul mare de categorii de aplicații cum ar fi: industria automotive ([5]), sisteme de teleoperare ([6]), telechirurgie ([7]) sau vehicule teleghidate ([8]).

Cu toate că prezintă o mulțime de avantaje, sistemele de conducere în rețea au și o serie de dezavantaje, induse de componentele de rețea, cum ar fi: timpi morți variabili, pierderi de informații, dezavantaje care trebuie depășite înainte ca sistemele de conducere în rețea să poată fi implementate pe scară largă în industrie ([9]).

În acest context, teza de doctorat își propune următoarele obiective:

- Definirea unui framework sistematic și unitar care să surprindă toate caracteristicile transmisiei în rețea dintr-o perspectivă intrare-ieșire, împreună cu posibile strategii de tratare a datelor ca și ajutor pentru diverse soluții de conducere în rețea;
- Dezvoltarea unui model matematic care să descrie toate caracteristicile transmisiei în rețea identificate, în vederea utilizării ulterioare pentru analiza și sinteza diverselor structuri de reglare;
- Dezvoltarea de diverse strategii de conducere pentru compensarea perturbațiilor induse de rețea, precum și studiul stabilității acestora și evaluarea performanțelor lor.

2. Conținutul tezei

Teza începe cu o scurtă prezentare a sistemelor de conducere în rețea, identificând posibilele probleme care pot apărea la transmisia datelor prin rețea. În continuare se prezintă motivația studiului și obiectivele propuse.

Analiza sistemelor de conducere în rețea impune utilizarea unui model matematic pentru transmisia datelor. Majoritatea modelelor identificate în literatura de specialitate surprind doar parțial caracteristicile transmisiei în rețea (timpuri morți variabili, pierderi de pachete, situațiile iregulare și strategiile de tratare a acestora). Pentru a umple acest gol, un nou model pe stare neliniar este propus pentru transmisia de date în rețea, care descrie în mod corect dinamica rețelei dintr-o perspectivă intrare-ieșire. Pentru a facilita și mai mult analiza și sinteza sistemelor de conducere care încorporează modelul de rețea, acesta este adus la forma unui sistem liniar cu comutații bazate pe timp. Adicional, se asociază modelului și un algoritm, ușor implementabil în orice limbaj de programare, acesta putând fi utilizat ca și emulator de rețea pentru testarea și validarea sistemelor de conducere în rețea prin simulări și experimente. O largă varietate de scenarii de transmisie pot fi prescrise algoritmului, fie prin generarea intrărilor corespunzătoare (timpuri morți, pierderi de pachete), fie prin utilizarea unor măsurători preluate din rețele reale.

Proiectarea sistemelor de conducere în rețea impune noi strategii de reglare care să asigure robustețea sistemului la perturbațiile induse de rețea. Teza prezintă un rezumat al unor soluții propuse în literatură și suplimentar propuse câteva soluții noi pentru probleme de stabilizare, respectiv de reglare având un raport eficient între performanțele obținute și complexitatea de proiectare.

O primă structură prezentată se bazează pe plasarea de observatoare atât local cât și la distanță pentru compensarea neajunsurilor induse de timpuri morți și de pachetele pierdute în sistemele de conducere în rețea, în așa fel încât să asigure obiectivele de reglare propuse. Metoda bazată pe observatoare de perturbație indusă de rețea, recent propusă în literatură pentru procese de ordinul I, este extinsă în teză pentru procese de tip benchmark de ordinul II. Gradele de libertate adiționale implică o proiectare mai elaborată și necesită o analiză mai complexă pentru determinarea parametrilor observatoarelor. Analiza identifică și un fenomen de peeking, care, dintr-o perspectivă practică, limitează aria de proiectare a parametrilor. Suplimentar, se efectuează o analiză comparativă pentru identificarea celui mai bun tip de observatoare în vederea asigurării celor mai bune performanțe (comparație între observatorul de ordin redus și cel de ordin complet). Observatorul de ordin complet se dovedește a fi mai eficient. În final, sistemul de conducere proiectat este testat atât în simulări cât și în experimente, utilizând emulatorul de rețea propus.

O a doua structură adresează problema stabilizării unui sistem de conducere în rețea care conține modelul de rețea liniar cu comutații propus. Modelul în buclă închisă obținut este definit ca și un sistem liniar cu comutații având multiple semnale de comutație. Adoptând o funcție pătratică cu comutații de tip Lyapunov, utilizată și

pentru proiectarea unui compensator după stare, stabilitatea asimptotică este demonstrată pentru variații aleatoare ale semnalelor de comutație. Problemele de stabilitate și de proiectare sunt puse sub forma unor condiții de inegalități matriciale. În final, un exemplu numeric arată pașii principali care trebuie efectuați pentru abordarea unei astfel de probleme de stabilizare.

A treia structură de conducere în rețea se bazează pe un regulator plasat la distanță și un compensator al timpului mort plasat local și abordează problematica reglării. Modelul buclei închise, care include și modelul de rețea liniar cu comutații este definit tot ca un sistem liniar cu comutații. Se prezintă o metodologie de proiectare care combină atât tehnici numerice cât și analitice. Stabilitatea buclei închise este demonstrată pentru o variație arbitrară a semnalelor de comutație, utilizând o funcție Lyapunov pătratică cu comutații. În continuare, un exemplu numeric ilustrează eficiența metodei propuse.

3. Contribuții

Principalele contribuții ale tezei sunt:

- Identificarea și definirea într-o manieră sistematică a problemelor inerente transmisiilor în rețea, subliniind posibilele situații iregulare care apar în rețelele digitale cu comutație de pachete când se utilizează protocoale neorientate pe conexiune (Capitolul 1).
- Dezvoltarea unor strategii de tratare ale situațiilor iregulare astfel încât să se asigure performanțe de reglare optime (bazate pe principiul utilizării permanente a celor mai recente informații disponibile) (Capitolul 2).
- Dezvoltarea unui model neliniar pentru transmisia în rețea care surprinde dintr-o perspectivă intrare-ieșire comportamentul unor rețele reale bazate pe comutație de pachete, caracterizat de timpi morți variabili, pierderi de pachete și situații iregulare, împreună cu strategiile de tratare a lor (Capitolul 2);
- Determinarea unui sistem linear cu comutații bazate pe timp, ca și o unealtă teoretică pentru analiza sistemelor și implementarea unui algoritm ca și emulator pentru testarea și validarea posibilelor soluții de conducere în rețea atât în simulări cât și în experimente (Capitolul 2);
- Extensia unei noi metode de compensare a timpului mort bazate pe observatoare (pentru sisteme de conducere în rețea), recent propusă în literatură, pentru modele de tip benchmark de ordinul doi, ceea ce a implicat o analiză și proiectare mai elaborată datorită gradelor de libertate adiționale (faza de proiectare), dar și datorită limitărilor de ordin practic identificate (faza de testare și validare) (Capitolul 4);
- Analiza stabilității și sinteza regulatorului pentru o structură de conducere în rețea care include modelul pentru transmisia în rețea propus de autor, un proces liniar și un compensator după stare cu comutații (Capitolul 4);
- Proiectarea și analiza unei noi structuri de conducere în rețea cu un compensator de timp mort de tip PD cu comutații și a unui observator de stare (plasate local), modelul pentru transmisia în rețea propus de autor și un compensator după stare (plasat la distanță) (Capitolul 4).

4. Lucrări publicate

Teza de doctorat este susținută de următoarele publicații:

- **O. Stefan**, T.-L. Dragomir, A. Codrean, and I. Silea, "Issues of identifying, estimating and using delay times in telecontrol systems based on TCP/IP networks," in Proc. 2nd IFAC Symposium on Telematics Applications, Timisoara, 2010, pp. 143-148.
- **O. Stefan**, A. Codrean, T.-L. Dragomir, and I. Silea, "Time delay and information loss compensation in a network control system for a DC motor," in IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, Timisoara, 2011, pp. 131-135.
- **O. Stefan**, A. Codrean, and T.-L. Dragomir, "A Nonlinear State Space Model of Network Transmissions in a Network Control System," Journal of Control Engineering and Applied Informatics, vol. 13, no. 4, pp. 58-63, 2011.
- A. Codrean, **O. Stefan**, and T.-L. Dragomir, "Design, analysis and validation of an observer-based delay compensation structure for a Network Control System," in Mediterranean Conference on Control & Automation, Barcelona, 2012, pp. 928-934.
- **O. Stefan**, A. Codrean, and T.-L. Dragomir, "Stability analysis and control synthesis for a Network Control System using a nonlinear Network Transmission Model-a switched system approach," in IEEE International Conference on Control Applications, Dubrovnik, 2012, pp. 885-890.
- **O. Stefan**, A. Codrean, and T.-L. Dragomir, "Design and analysis of a network control structure with a switched PD compensator," in International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Międzyzdroje, 2012, pp. 403-408.
- **O. Stefan**, A. Codrean, and T.-L. Dragomir, "A Network Control Structure with a Switched PD Delay Compensator and a Nonlinear Network Model," in American Control Conference, Washington, 2013, pp. 758-764.

5. Bibliografie selectivă

- [1] W. Zhang, "Stability Analysis of Networked Control Systems," Case Western Reserve University, Cleveland, Ph.D. Thesis 2001.
- [2] S. Zampieri, "Trends in Networked Control Systems," in Proceedings of the 17th IFAC World Congress, Seoul, 2008, pp. 2886-2894.
- [3] J. P. Hespanha, P. Naghshtabrizi, and Y. Xu, "A survey of Recent Results in Networked Control Systems," Proc. IEEE, vol. 95, no. 1, pp. 138-162, January 2007.
- [4] S.Y. Nof, Ed., Springer Handbook of Automation.: Springer-Verlag, 2009, ch. 13, pp. 237-248.
- [5] J. Leen and D. Heffernan, "Expanding Automotive Electronic Systems," IEEE Computer, vol. 35, no. 1, pp. 88-93, 2002.
- [6] K. Natori, T. Tsuji, K. Ohnishi, A. Haze, and K. Jezernik, "Time-Delay Compensation by Communication Disturbance Observer for Bilateral Teleoperation Under Time-Varying Delay," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 3, pp. 1050-1062, March 2010.
- [7] J. Arata et al., "A remote surgery experiment between Japan and Thailand over Internet using a low latency CODEC system," in Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Rome, 2007, pp. 953-959.
- [8] P. Seiler and R. Sengupta, "Analysis of communication losses in vehicle control problems," in Proc. of American Control Conference, Arlington, 2001, pp. 1491-1496.
- [9] P. F. Hokayem and C.T. Abdallah, "Inherent Issues in Networked Control Systems: A Survey," in Proc. American Control Conference, Boston, 2004, pp. 4897-4902.