Compensarea globală a imperfecțiunilor liniare din cadrul comunicațiilor optice coerente cu rată mare de transfer a datelor

Autor: Alexandru-Ionuț Frunză | alexandru.frunza@mta.ro

Conducători de doctorat: Prof. univ. dr. ing. Alexandru Șerbănescu & prof. univ. dr. ing. Stéphane Azou

Această teză investighează impactul imperfecțiunilor liniare și diverse tehnici de compensare utilizate în comunicațiile optice coerente. Cercetarea se concentrează asupra următoarelor imperfecțiuni care pot apărea simultan într-un sistem optic coerent tipic: dezechilibrul (TX/RX) în fază/cuadratură, zgomotul de fază al laserului (TX/RX), dispersia cromatică, dispersia modului de polarizare și decalajul frecvenței purtătoare. Impactul acestor imperfecțiuni trebuie compensat pentru a asigura o performanță acceptabilă a comunicațiilor. Abordarea convențională de compensare implică utilizarea algoritmilor de prelucrare numerică a semnalelor (PNS). Recent, abordările de tip machine learning/deep learning (ML/DL) s-au dovedit a fi eficiente în mai multe domenii științifice și sunt, de asemenea, luate în considerare pentru compensarea imperfecțiunilor întâlnite în comunicațiile optice coerente.

În general, un algoritm PNS compensează o singură sau câteva imperfecțiuni, în scenarii particulare. Cu toate acestea, comunicațiile optice coerente sunt complexe, iar imperfecțiuni multiple sunt prezente simultan. În acest context, abordarea convențională constă în cascadarea mai multor algoritmi PNS. Această tehnică ad-hoc este problematică, deoarece interacțiunile complexe dintre imperfecțiuni și/sau algoritmi de compensare pot duce la o degradare severă a performanței.

Această lucrare propune o abordare globală bazată pe algoritmi PNS pentru a răspunde acestor probleme. În primul rând, se realizează o estimare globală a tuturor parametrilor sistemului folosind date transmise sub forma unui preambul. În plus, pentru a putea urmări evoluția imperfecțiunilor variabile în timp, se utilizează simboluri pilot inserate periodic în cadrul de date. Ambele operații de estimare se bazează pe metoda celor mai mici pătrate. După estimarea impactului imperfecțiunilor, datele transmise pot fi recuperate cu ajutorul unui detector Zero-forcing. Această tehnică evită dificultățile specifice abordării PNS convenționale și

are performanțe statistice mai bune în cazul modulațiilor de ordin superior. Performanțele tehnicii de estimare sunt comparate cu limita teoretică obținută prin calcularea limitei inferioare Cramér-Rao, în timp ce detecția este raportată la un egalizator de tip Clairvoyant modificat. În plus, o investigație experimentală a demonstrat capacitatea tehnicii propuse de a opera pe date experimentale. În ciuda avantajelor sale, similar cu abordările PNS convenționale, metoda propuse este dificil de adaptat la diferite noi scenarii, deoarece modelarea matematică trebuie reconsiderată de fiecare dată când scenariul se modifică.

Această teză propune o rețea parametrică pentru a rezolva această problemă. Rețeaua beneficiază de cunoașterea sistemului, ca și abordările PNS, dar și de flexibilitatea tehnicilor ML/DL. Rețeaua parametrică propusă realizează o compensare globală, având o arhitectură multistrat. Fiecare strat corespunde compensării uneia dintre imperfecțiuni. Prin utilizarea acestei arhitecturi, pot fi luate în considerare noi imperfecțiuni prin inserarea unui nou strat de compensare în arhitectura rețelei. De asemenea, este introdusă o tehnică originală de antrenare care utilizează un set de date redus, limitează riscul de overfitting și permite estimarea imperfecțiunilor variabile în timp. Performanța rețelei parametrice este comparată cu un o rețea de tip Perceptron multistrat și cu abordarea PNS convențională. Rețeaua parametrică depășește aceste două metode în cazul unui canal de comunicație variabil în timp pentru toate scenariile luate în considerare. În plus, o investigație experimentală a demonstrat capacitatea sa de a opera pe datele experimentale.

În viitor, se va efectua un studiu privind ordinea straturilor în arhitectura rețelei. O altă direcție de studiu este legată de reducerea complexității computaționale. Chiar dacă rețeaua parametrică are o complexitate computațională semnificativ redusă în comparație cu o rețea DL convențională, aceasta este totuși mai solicitantă din punct de vedere computațional decât metodele PNS convenționale. Acest lucru poate fi realizat prin utilizarea unor algoritmi de optimizare mai adaptați. În plus, propunem extinderea rețelei parametrice pentru a compensa imperfecțiunile neliniare prezente în cadrul comunicațiilor optice coerente.