Estimarea canalului pentru comunicații multiutilizator asistate prin suprafață reflectorizantă inteligentă: cadru, algoritmi și analiză

###### **ABSTRACT**

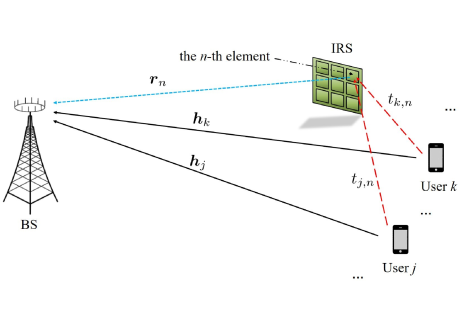
În sistemele de comunicații asistate cu suprafețe reflectorizante inteligente (IRS), achiziția informațiilor despre starea canalului (CSI) este un impediment crucial pentru obținerea câștigului de formare a fasciculului IRS din cauza supraîncărcării considerabile necesare pentru estimarea canalului.

Mai exact, conform actualului design de formare a fasciculului pentru comunicațiile asistate de IRS,K M N+K M ar trebui estimați coeficienții canalului, unde K, N și M indică numărul de utilizatori, elementele reflectorizante IRS și, respectiv, antene la stația de bază (BS). Aceste numere pot fi extrem de mari în practică, având în vedere tendința actuală de MIMO masiv (multiple-input multiple-output), adică un mare M, și conectivitate masivă, adică un mare K. Pentru a estima cu acuratețe un număr atât de mare de coeficienți de canal într-un interval scurt de timp, se propune un nou cadru de estimare a canalului, bazat pe pilot, în trei faze, pentru comunicațiile multiutilizator pe legătura ascendentă asistate de IRS, în care canalele directe de la utilizatori la BS, canalele reflectate IRS ale unui utilizator tipic și canalele reflectate IRS ale celorlalți utilizatori sunt estimate în trei faze consecutive, respectiv.

În acest cadru, demonstrăm analitic că o durată de timp constând din K+N+max(K−1,⌈(K−1)N/M⌉) simbolurile pilot este suficientă pentru ca BS să recupereze perfect toate K M N+ K M coeficienții de canal pentru cazul fără zgomot de receptor la BS.

Spre deosebire de estimarea canalului pentru comunicațiile convenționale pe legătură în sus fără IRS, unde timpul minim de estimare a canalului este independent de numărul de antene de recepție la BS, rezultatul dezvăluie rolul crucial al MIMO masiv în reducerea timpului de estimare a canalului pentru comunicațiile asistate de IRS.

Mai mult, pentru cazul zgomotului receptorului, secvențele pilot de utilizator, coeficienții de reflectare a IRS și estimatorii de canal ai BS liniară medie pătrată minimă (LMMSE) sunt caracterizați în formă închisă, iar eroarea medie pătrată (MSE) de estimare corespunzătoare este cuantificat.



Suprafață reflectorizantă inteligentă - IRS

Estimare de canal, comunicații multiutilizator - MIMO Estimator de eroare medie pătrată minimă liniară - LMMSE

Descriere

Luăm în considerare un sistem de comunicație uplink multiutilizator asistat de IRS în care mai mulți utilizatori cu o singură antenă comunică cu un BS cu mai multe antene cu ajutorul unui IRS. În cadrul acestei configurații, investighez abordarea de estimare a canalului bazată pe pilot pasiv, în care elementele IRS reflectă pasiv secvențele pilot trimise de utilizatori către BS, astfel încât BS să fie capabil să estimeze CSI asociat cu IRS.

* În primul rând, propunem un nou *cadru de estimare a canalului în trei faze* pentru comunicațiile uplink multiutilizator asistate de IRS. Fundamentul acestui cadru constă în *corelarea* dintre canalele reflectate ale diferiților utilizatori: *fiecare element IRS reflectă semnalele de la diferiți utilizatori către BS prin același canal*. Pentru a utiliza cât mai bine această corelație, cadrul propus de estimare a canalului funcționează după cum urmează. În faza I, IRS este oprit astfel încât BS să-și poată estima canalele directe cu utilizatorii. În faza II, IRS este pornit și este selectat doar un utilizator obișnuit pentru a transmite simboluri pilot diferite de zero, astfel încât canalele reflectate de IRS să poată fi estimate. În faza a III-a, ceilalți utilizatori își transmit simbolurile pilot și canalele lor reflectate IRS pot fi estimate eficient prin exploatarea faptului că aceste canale reflectate sunt *versiuni scalate ale* canalelor reflectate ale utilizatorului tipic și, prin urmare, doar *factorii de scalare (scalari)* , mai degrabă decât *canale întregi (vectori)* , trebuie estimate.
* În al doilea rând, pentru cazul ideal fără zgomot de receptor la BS, arătăm că lungimea secvenței pilot minimă teoretic pentru a estima perfect toți coeficienții canalului în cadrul trifazat propus este LA+N+max(LA−1,⌈(LA−1)NM⌉). Concret, se arată căLA și N intervalele de timp sunt suficiente pentru a estima canalele directe ale tuturor utilizatorilor și canalele reflectate IRS ale utilizatorului tipic în Faza I și, respectiv, Faza II, în timp ce max(LA−1,⌈(LA−1)NM⌉)intervalele de timp sunt suficiente pentru estimarea perfectă a canalului în Faza III. Prin urmare, lungimea minimă a secvenței pilot scade cuMîn general. Un astfel de rezultat este în contrast puternic cu rezultatele tradiționale de estimare a canalului multiutilizator fără IRS, unde lungimea minimă a secvenței pilot este independentă de numărul de antene de recepție la BS [ [6](https://www.arxiv-vanity.com/papers/1912.11783/#S1.I1.i2.p1) ] .
* În al treilea rând, pentru cazul practic cu zgomotul receptorului la BS, proiectăm soluțiile de estimare a canalului de eroare medie pătrată minimă liniară (LMMSE) în toate cele trei faze, respectiv. În fiecare fază, utilizatorul transmite pilot, coeficienții de reflexie IRS și estimatorii de canal BS LMMSE sunt caracterizați în formă închisă. Mai mult decât atât, MSE-ul corespunzător pentru estimarea canalului este, de asemenea, derivat pentru a evalua performanța cadrului nostru în trei faze propus.
* Nu în ultimul rând, această lucrare oferă câteva perspective utile cu privire la proiectarea practică a viitoarelor sisteme de comunicații asistate de IRS. Pe de o parte, rezultatele noastre dezvăluie rolul semnificativ al MIMO masiv în estimarea canalului pentru comunicațiile uplink asistate de IRS. Mai ales, în regimul masiv MIMO cuM>N, lungimea minimă a secvenței pilot în cadrul nostru este 2LA+N−1, care este scalabil cu numărul de utilizatori: dacă mai există un utilizator în sistem, doar 2 simboluri pilot suplimentare sunt suficiente pentru a estima noul MN+Mcoeficienții de canal asociați acestui utilizator. Pe de altă parte, rezultatele noastre susțin, de asemenea, adoptarea modului duplex cu divizare în timp (TDD) pentru comunicațiile asistate de IRS, unde reciprocitatea canalului dintre comunicațiile pe legătura ascendentă și pe legătura descendentă poate fi valorificată. Mai exact, dacă utilizatorii își estimează canalele pe baza pilotului trimis de BS în downlink, este dificil să se utilizeze corelația dintre canalele reflectate IRS pentru a îmbunătăți performanța de estimare a canalului din cauza lipsei de cooperare între utilizatori. În acest caz, reciprocitatea canalului care decurge din modul TDD permite cadrul nostru de estimare a canalului uplink să fie aplicabil pentru estimarea canalelor downlink, conducând la comunicații mai eficiente asistate de IRS.