

# Gestione energetica e allocazione di potenza per Rete di sensori acustici subacquei

Lianyou Jing, *Membro studente, IEEE*, Chengbing He, *Membro, IEEE*,  
Jianguo Huang, *Senior Member, IEEE*, e Zhi Ding, *Fellow, IEEE*

**Abstract** - Questo documento indaga l'allocazione dell'energia in nodi acustici sottomarini alimentati dalla raccolta di energia. Nostro obiettivo è massimizzare la quantità totale prevista di consegne dati su fasce orarie finite. Sono considerati due scenari diversi livelli di conoscenza delle informazioni sullo stato del canale (CSI). In uno scenario, il trasmettitore riceve CSI alla fine di ciascuno epoca di trasmissione dati e si considera l'allocazione energetica problema per il rilevamento e la trasmissione. Nel secondo scenario, il trasmettitore riceve CSI ritardato dopo più fasce orarie, mentre viene considerata solo l'allocazione energetica per la trasmissione. Il canale acustico sottomarino è modellato come uno stato finito Catena di Markov per caratterizzare la sua natura variabile nel tempo. Impieghiamo un approccio di programmazione dinamica stocastica (DP) per derivare la politica di allocazione ottimale per entrambi gli scenari. Ridurre la complessità di calcolo intrinseca dell'approccio DP, anche noi presentare un algoritmo non ottimale analizzando la struttura di Soluzione DP. I nostri risultati mostrano che l'approccio DP raggiunge sub-miglioramento delle prestazioni stanziali che viene mantenuto sostanzialmente dall'algoritmo non ottimale per fornire una buona prestazione-compromesso di complessità.

**Termini dell'Indice** - Programmazione dinamica, allocazione dell'energia, raccolta di energia, rete di sensori acustici subacquei.

## I. INTRODUZIONE

U le comunicazioni di dati acustici hanno trovato ampia applicazione Reti di sensori acustici sottomarini (UNDERWATER) e loro cationi in aree come il monitoraggio ambientale, offshore esplorazione e avviso di catastrofi. Spesso queste reti lo sono necessario per fornire la raccolta di dati sensibili di ritardo e rimanere attivo per un periodo prolungato di distribuzione. La maggior parte sott'acqua i sensori non possono fare affidamento sulla tradizionale fonte di alimentazione eldrica a causa di vincoli ambientali o pratici. Di conseguenza, la durata limitata è una questione chiave che deve affrontare sott'acqua reti di rilevamento e di comunicazione più che le loro controparte basata. In generale, i sensori subacquei possono essere alimentati ereditato dalla batteria o dalla raccolta di energia. Quando alimentato La durata della batteria, del sensore e del trasmettitore è fortemente limitata.

Manoscritto ricevuto il 16 giugno 2017; accettato il 29 luglio 2017. Data di pubblicazione 9 agosto 2017; data della versione corrente 8 settembre 2017. Questo il lavoro è stato sostenuto in parte dalla National Natural Science Foundation di Cina con Grant 61471298, Grant 61531015 e Grant 61401499 e in parte dai Fondi fondamentali di ricerca per le Università centrali sotto Concessione 3102016AXXX03. L'editore associato che coordina la revisione di questo documento e ad approvarlo per la pubblicazione è stato il Dr. Amitava Chatterjee. (Autore corrispondente: Lianyou Jing.)

L. Jing, C. He e J. Huang sono con la School of Marine Science and Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, Cina (e-mail: jingly369@mail.nwpu.edu.cn; hcb@nwpu.edu.cn; jghuang@nwpu.edu.cn).

Z. Ding è con il Dipartimento di Ingegneria Elettrica e Informatica, University of California at Davis, Davis, CA 95616 USA (e-mail: zding@ucdavis.edu).

Identificatore oggetto digitale 10.1109 / JSEN.2017.2737229

1558-1748 © 2017 IEEE. È consentito l'uso personale, ma la ripubblicazione / ridistribuzione richiede l'autorizzazione IEEE.

Vedere [http://www.ieee.org/publications\\_standards/publications/rights/index.html](http://www.ieee.org/publications_standards/publications/rights/index.html) per ulteriori informazioni.

Per le batterie ricaricabili, è possibile caricare la batteria esterna molto costoso o addirittura poco pratico. Quindi, raccolta di energia offre una potenziale fonte di energia alternativa per la batteria del sensore ricarica.

La raccolta di energia dimostra un forte potenziale per alimentare i sensori subacquei acquisendo energia dal ambiente [1] - [5], come solare, vento, maremoti, tra altri. In [1], gli autori hanno proposto un monitoraggio ambientale-quadro basato su reti di sensori wireless alimentate da meccanismi adattivi di raccolta dell'energia solare e tandem batterie. Lo studio in [2] ha considerato un circuito elettronico per la raccolta di energia che gocciola da fonti bentoniche e le prestazioni a lungo termine nell'alimentazione di sensori e dispositivi in un bacino di marea litorale. In [3], l'autore ha analizzato il file applicabilità delle celle solari come fonte di alimentazione per medusa-veicoli biomimetici ispirati. In [4], l'autore ha proposto un sistema di raccolta di energia sottomarina basato su piezoelettrico guidato. I risultati sperimentali mostrano che il la mietitrice di energia posta raggiunge una densità di potenza massima di  $350 \mu W / cm^3$ .

L'energia raccolta può essere immagazzinata alimentando le batterie prolungare la durata della rete di sensori. Tuttavia, la raccolta di energia le reti basate presentano anche sfide distinte. In genere parlando, l'energia raccolta può essere sporadica e imprevedibile. Pertanto, un uso e una gestione giudiziosi dell'energia disponibile per la raccolta e la trasmissione ottimizzata dei dati dei sensori diventa un questione importante per garantire il successo dell'utilità della rete subacquea larica. Questo lavoro affronta il problema della gestione dell'energia per sensori subacquei nelle reti di comunicazione acustica.

Per le reti terrestri, un certo numero di documenti di ricerca lo hanno fatto studiato ottimizzazione della politica di trasmissione con un trasmettitore di raccolta [6], [7]. In [8] - [10], gli autori hanno studiato il problema della massimizzazione del throughput su un numero finito ber di blocchi di trasmissione per sistemi di raccolta di energia. In [11] e [12], gli autori hanno studiato la potenza ottimale allocazione per ridurre al minimo la probabilità media di interruzione nel blocco canali in dissolvenza sotto vincoli di raccolta di energia. Lo studio in [13] e [14] hanno considerato l'allocazione del potere di punto a punto (P2P) sistema di comunicazione con raccolta di energia congiunta-rete e fornitura di energia elettrica. In [15] - [17], gli autori hanno studiato il problema dell'allocazione di potenza nella stima remota multi-sensor sistemi. Inoltre, [18] e [19] hanno considerato l'effetto di batterie che soffrono di inefficienza di carica e scarica come dispositivi di accumulo di energia.

Tuttavia, i lavori di cui sopra tendono generalmente a stressare il consumo di energia durante la fase di trasmissione ma concentrandosi meno sulla fase di raccolta dati dei sensori, ovvero il

energia spesa dai dispositivi di rilevamento durante la raccolta dei dati.

I sensori subacquei spesso hanno bisogno di raccogliere informazioni di inter-est attraverso la trasduzione, il campionamento, la quantizzazione, la compressione e l'archiviazione. Il nostro studio prende in considerazione i doppi compiti di rilevamento e comunicazioni wireless in un sott'acqua ambiente.

In questo documento, consideriamo sensori dotati di subacquea trasmettitori acustici alimentati da energy harvesting. Come noi sapere, i canali di comunicazione acustica subacquea non sono link mediamente difficili [20]. Canali acustici subacquei di solito presentano caratteristiche variabili nel tempo che dipendono condizioni ambientali e stagionali sia a breve che scale temporali lunghe. Mancata ricezione nei sistemi sottomarini è comune, il che richiede meccanismi di controllo degli errori come il protocollo di richiesta di ripetizione automatica (ARQ) per ritrasformare mit ha eliminato i pacchetti per migliorare l'affidabilità [21], [22]. In ARQ, un trasmettitore invia più pacchetti al suo ricevitore. Per ogni pacchetto riuscito o fallito, il destinatario tination invia un riconoscimento (ACK) o un file mancato riconoscimento (NACK) al trasmettitore, rispettivamente. Dato un NACK, il trasmettitore ritrasmetterebbe il pacchetto non riuscito fino a un limite massimo di tentativi. Nel nostro modello di sistema, considereremo un tale meccanismo ARQ e supponiamo anche che vengano fornite le informazioni sullo stato del canale (CSI) torna al trasmettitore. Modelliamo il tempo che varia sott'acqua canale acustico come catena di Markov a stati finiti, che opportunamente rappresenta le caratteristiche del canale [23], [24]. Modelliamo anche il tasso di raccolta di energia come processo Markov di primo ordine. Data una capacità energetica finita (batteria) e un buffer di dati a il sensore, il trasmettitore deve allocare la sua energia a entrambi rilevare e raccogliere dati o trasmettere dati memorizzati nel buffer. Il nostro obiettivo generale è ottimizzare le politiche di allocazione dell'energia in modo da massimizzare il numero previsto di pacchetti riusciti su un orizzonte temporale finito soggetto a entrambi i buffer overflow e i vincoli di capacità energetica.

Esistono diversi lavori correlati che considerano il duale compiti del sensore. Gli autori di [25] hanno studiato il problema dell'energia allocazione per acquisizione e trasmissione dati in genere reti di sensori wireless. In [26], gli autori hanno esteso il considerazione di includere un'unica sorgente con batteria finita e buffer di dati. In [27], gli autori hanno studiato l'allocazione energetica problema tra rilevamento e trasmissione per massimizzare il quantità totale di dati trasmessi. In [28], l'obiettivo è per ridurre al minimo la distorsione quadratica media tra i file Campioni di origine gaussiana e loro ricostruzioni su un piano canale in dissolvenza. Tuttavia, le opere esistenti in genere non lo fanno considera l'effetto del feedback ACK / NACK e così come l'impatto del CSI ritardato.

I nostri nuovi contributi in questo articolo sono i seguenti. Ottimizziamo l'allocazione della capacità energetica limitata a massimizzare il numero di pacchetti riusciti previsti all'interno di un intervallo di tempo finito senza overflow del buffer di dati di modellando sia la raccolta di energia che l'acustica variabile nel tempo canale come processi di Markov. Incorporiamo il pratico impatto del feedback ACK / NACK insieme alla disponibilità CSI. Abbiamo considerato i casi sia ritardati che non ritardati Feedback CSI. Senza ritardo di feedback, il trasmettitore riceve i messaggi di feedback (CSI e ACK / NACK) al

Fig. 1. Il modello del sistema di comunicazione con energy harvesting.

fine di ogni fascia oraria e quindi conosce immediatamente precedente CSI. Sviluppiamo un'allocazione energetica ottimizzata politica per allocare l'energia per rilevare e trasmettere sulla base approccio di programmazione dinamica (DP). Nel secondo scenario che comporta un ritardo nel feedback, il CSI ricevuto contiene meno informazioni sulla tariffa, ma è più pratico a causa del ritardo di andata e ritorno. Per questo scenario, consentiamo backlog e focus infiniti di dati sull'allocazione dell'energia di trasmissione. Per ridurre il proponiamo anche l'elevata complessità intrinseca dell'approccio DP un algoritmo online non ottimale per affrontare le prestazioni compromesso di complessità.

Il resto di questo documento è organizzato come segue. Sezione II presenta il modello di sistema per la raccolta di energia. Noi permutate il problema di ottimizzazione nella sezione III. Noi promuoviamo pongono la soluzione di ottimizzazione basata sul principio di programmazione dinamica nella sezione IV. La sezione V affronta il compromesso tra prestazioni e complessità presentando un valore non ottimale algoritmo per ridurre la complessità computazionale della soluzione DP zione. La sezione VI fornisce i risultati numerici per la proposta soluzioni e la sezione VII conclude il documento.

## II. SYSTEM MODEL

Consideriamo una connessione sensore-collettore che coinvolge a collegamento di comunicazione acustica subacquea punto-punto (P2P) come mostrato in Fig. 1. Il trasmettitore ha una batteria ricaricabile con capacità  $E_{max}$  e un buffer di dati con dimensione  $B_{max}$  dati pacchetti. Il sensore del nodo di trasmissione richiede un'informazione sorgente / trasduttore e memorizza i dati delle informazioni nei suoi dati buffer come pacchetti. Invia anche i pacchetti di dati a una destinazione nodo su un collegamento acustico subacqueo variabile nel tempo. Noi facciamo consentire il rilevamento e la trasmissione simultanei, se necessario.

Lasciamo che l'accesso al canale sia suddiviso nel tempo con  $N$  slot totali per periodo di pianificazione, indicizzato da  $\{1, \dots, N\}$ . Il tempo di slot è indicato con  $T_{scanalatura}$ . Il nodo di invio raccoglie energia da ambiente da conservare in una cella a combustibile ricaricabile (batteria). L'energia raccolti *nei* scanalatura -esimo è indicato con  $w_i$  e presumibilmente disponibile per fasce orarie future. Lasciamo l'energia essere rifornito alla fine di ogni slot e assumere che il file il trasmettitore è a conoscenza del valore di  $w_{i-1}$  all'inizio di slot  $i$  ma ignaro del valore di  $w_i$ . Nella nostra formulazione, dividiamo la possibile energia raccolta in livelli  $Q$  indicati di  $w_i \in \{\delta_1, \dots, \delta_Q\}$ . Modelliamo il processo di raccolta di energia come un processo markoviano stazionario di primo ordine con stato noto probabilità di transizione (stimate da prove pratiche).

Allo stesso modo, modelliamo lo stato del canale acustico in base a un catena di stato Markov [23], [24]. Supponendo che varia lentamente nel tempo

e canali quasi stazionari, lo stato del canale è stazionario durante ogni slot di trasmissione ed è consentito cambiare in slot successivo secondo il modello di Markov. Lasciate  $h_i$  denotano il guadagno del canale nello slot di tempo  $i$  che è quantizzato in livelli  $K$ ,  $h_{io} \in \{\gamma_1, \dots, \gamma_K\}$ . Nel modello di sistema, la transizione di stato sono date le probabilità  $P_h(h_i | h_{i-1})$ .

Utilizziamo il controllo degli errori ARQ a livello di collegamento dati. Ciascun pacchetto di dati consiste  $l$  informazione payload bit e solo si può tentare una trasmissione di pacchetti in uno slot. Se la destinazione non riesce a decodificare correttamente il pacchetto trasmesso, invierà un messaggio NACK al trasmettitore. La trasmissione, dopo aver ricevuto un NACK, ritrasmetterà il pacchetto fallito nello slot successivo fino a quando non riceve un ACK o è senza energia.

Nella fascia oraria  $i$ , denotiamo con  $e_i$  l'energia utilizzata trasmissione. È chiaro che la probabilità di errore del pacchetto (PEP)  $P_e$  dipende dalla tecnica di correzione degli errori in avanti (FEC), la lunghezza del pacchetto, il tasso di errore di bit e la ridondanza FEC. Nel nostro problema, la lunghezza del pacchetto e la FEC sono fisse. Poi, la PEP è una funzione monotonicamente decrescente di  $e_i$ . Per esempio, per la modulazione a bassa velocità come BPSK e convolucodice di zione con codeword (pacchetto) lunghezza  $l$  in bit, il pacchetto la probabilità di errore può essere modellata come [29]

$$P_e(h_{io}, e_i) = 1 - \left( 1 - \sum_{d=d_{free}}^l \left( \sqrt{\frac{A d Q}{2 d h_i e_i}} \right)^l \right)^l \quad (1)$$

$d = d_{free}$        $A d Q$        $2 d h_i e_i$        $Scanalatura a T N f f B$

dove  $A d$  è il coefficiente spettrale ponderale della convoluzione codice mentre  $d_{free}$  è la distanza libera del convoluzionale codice.  $Q(\cdot)$  è la funzione di integrazione gaussiana di coda,  $N f$  è la densità spettrale della potenza del rumore  $e f B$  è la larghezza di banda del segnale.

Per rilevare nella fascia oraria  $i$ , indichiamo con  $v_i$  l'importo del pacchetto di dati generati dal sensore e lasciare  $s_i$  è l'importo di energia utilizzata per il rilevamento. In generale,  $v_i$  è un monotonicamente funzione non decrescente e concava in  $s_i$ . In questo lavoro, assumiamo una relazione lineare, cioè  $v_i = \lambda s_i$ .

### III. PROBLEMA F formulazione ai

Descriviamo ora il problema e il nostro obiettivo di progettazione. Nostro Il problema dell'allocazione energetica mira a massimizzare il totale previsto pacchetti di trasmissione entro una durata di tempo finita. Noi consideriamo due diversi scenari in cui si trova il feedback CSI aggiornato alla fine dello slot presente o con un ritardo finito.

#### A. Scenario 1: feedback CSI tempestivo senza ritardi

La Fig. 2 mostra il processo di aggiornamento della batteria energetica e dei dati buffer. Lasciate  $E_i$  denotare l'energia immagazzinata nella batteria e  $B_{io}$  sarà il numero di pacchetti memorizzati nel suo buffer di dati all'inizio di  $i$  scanalatura -esimo per  $i = 1, 2, \dots, N$ . Nello slot  $i$ , l'energia del trasmettitore il consumo è uguale a  $e_i$  per la trasmissione e  $s_i$  per il rilevamento, rispettivamente. Nel frattempo, l'energia raccolta  $w_i$  viene immagazzinata nel file cella a combustibile. Di conseguenza, possiamo aggiornare il livello della batteria  $E_i$  come segue

$$E_{i+1} = \min \{ E_i - (e_{io} + s_{io}) + w_{io}, E_{max} \}, \quad (2)$$

in cui  $E_{max}$  è la capacità della batteria. Equazione (2) indica anche che potrebbe essere necessaria una certa quantità di energia consumato per evitare il trabocco della batteria. Dal momento che lo assumiamo

Fig. 2. Il processo di aggiornamento della batteria di energia e del buffer dati.

l'energia viene reintegrata alla fine di ogni slot, ne abbiamo un'altra vincolo di causalità sulla carica della batteria

$$e_{io} + s_{io} \leq E_{io}. \quad (3)$$

Ciò significa la quantità totale di energia di trasmissione e l'energia di rilevamento non deve superare l'energia immagazzinata nel batteria.

Allo stesso modo, la quantità di pacchetto di dati nel buffer  $B_i$  è aggiornato come segue

$$B_{i+1} = \min \{ [B_i - u_i] + v_i, B_{max} \} \quad (4)$$

dove  $[x] + = \max \{ x, 0 \}$  e  $u_i$  è il pacchetto trasmesso in  $i$ -esimo slot. in questo articolo, consideriamo uno schema a pacchetto singolo. Quindi,

$$u_{io} = \begin{cases} 0, & \text{con probabilità } P_e(h_i, e_i) \\ 1, & \text{con probabilità } P_c(h_i, e_i) \end{cases} \quad (5)$$

dove  $P_c(h_i, e_i) = 1 - P_e(h_i, e_i)$  è il pacchetto corretto probabilità. Pertanto, la quantità di dati consegnati nella  $i$ -esima volta slot uguale

$$E[u_i] = 1 - P_e(h_i, e_i) = P_c(h_i, e_i) \quad (6)$$

e la funzione obiettivo, cioè la somma prevista dei pacchetti di dati entro il periodo di programmazione di  $N$  slot, sono dati da

$$J_1 = \max_{e_{io}, s_{io}} \sum_{io=1}^N E[u_i]. \quad (7)$$

Di conseguenza, l'allocazione dell'energia può essere ottimizzata risolvendo il seguente problema di ottimizzazione vincolata

$$\begin{aligned} & \max_{e_{io}, s_{io}} \sum_{io=1}^N E[u_{io}] \\ & \text{st } (2), (3), (4) \text{ e} \\ & e_i \geq 0, s_i \geq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Nell'ambiente di feedback CSI senza ritardi, consideriamo come allocare l'energia disponibile per il rilevamento e la trasmissione in ogni slot per massimizzare il previsto in tutto le  $N$  fasce orarie. Nello slot di tempo  $i$ , il nodo di origine deve fornire un compromesso tra  $s_i$  ed  $e_i$ . Se l'energia assegnata per il rilevamento  $s_i$  è troppo grande, il sensore potrebbe funzionare correttamente

acquisire sufficienti pacchetti di informazioni nel buffer. Tuttavia, l'energia rimanente che può essere utilizzata per la trasmissione sarà piccolo, che probabilmente determina una maggiore probabilità di errore del pacchetto e potenziale spreco di energia a causa della maggiore probabilità di pacchetto

fallimento e la necessità di ritrasmettere il pacchetto fallito. Sul D'altra parte, se l'  $e_i$  è troppo grande, la probabilità di errore del pacchetto può essere sostanzialmente ridotto. Tuttavia, il numero di file i pacchetti nel buffer possono essere bassi e insufficienti per trarne vantaggio dal tasso di errore di pacchetto inferiore (PER) per la trasmissione.

### B. Scenario 2: feedback ritardato

Senza ritardo di feedback, il trasmettitore riceve sempre il messaggio di feedback all'inizio di ogni fascia oraria. Quindi, il trasmettitore conosce lo slot CSI passato. Tuttavia, in molti sistemi pratici, il ritardo del feedback CSI potrebbe essere inevitabile a causa del ritardo di trasmissione di andata e ritorno o basato su blocco modalità di riconoscimento in cui più messaggi ACK / NACK I saggi vengono inviati periodicamente per ridurre l'overhead di feedback. Per per questo motivo, ora consideriamo un caso così più pratico che il trasmettitore riceve CSI e ACK / NACK dopo un po' di tempo ritardo.

Il feedback CSI ritardato è molto probabile per l'acustica subacquea comunicazioni. La velocità del suono viaggia a circa circa 1500 m / s. Un trasmettitore preferirebbe inviare più pacchetti di fila senza aspettare feedback individuali così per evitare inutili sprechi di rete. Ciò significa che il file feedback CSI diventa meno preciso per lo slot corrente.

Indichiamo con  $m$  il ritardo delle fasce orarie del messaggio di feedback. Il trasmettitore dovrebbe determinare se ritrasmettere o meno il pacchetto corrente quando riceve un messaggio ACK / NACK ritardato di  $m$  fasce orarie fisse. Prima di ricevere il messaggio, il pacchetto non verrà eliminato. In questo modo, il buffer dei dati è aggiornato come segue

$$B_{i+1} = \min \{ [B_{io} - u_{io-m}]^+ + \lambda s_i, B_{max} \}, \quad (9)$$

quale

$$u_{io-m} = \begin{cases} 0, & \text{con probabilità } P_e(h_{i-m}, e_{i-m}) \\ 1, & \text{con probabilità } P_c(h_{i-m}, e_{i-m}) \end{cases} \quad (10)$$

È chiaro che lo stato cuscinetto non è più un semplice Markov Catena. Più lungo è il ritardo  $m$ , più complesso è il buffer dinamica. Per evitare complicazioni eccessive, consideriamo un file more scenario limitato di buffer dati pieno *assumendo trasmettitori avere dati di carico utile illimitati da trasmettere*. In altre parole, per feedback ritardato, trascuriamo l'effetto dell'energia nel rilevamento.

La Fig.3 mostra il modello del sistema di comunicazione per lo scenario 2.

Quindi, il livello della batteria viene aggiornato come segue

$$E_{i+1} = \min \{ E_i - e_i + w_i, E_{max} \} \quad (11)$$

E il vincolo di causalità sulla batteria è dato da

$$e_{io} \leq E_i \quad (12)$$

anche la funzione obiettivo viene modificata in

$$J_m^* = \max_{e_{io}} \sum_{io=1}^N E[u_{io}] = \max_{e_{io}} \sum_{io=1}^N [1 - P_e(h_i, e_i)] \quad (13)$$

Uso autorizzato autorizzato limitato a: Università Ca'Foscari Venezia. Scaricato il 03 ottobre 2020 alle 10:39:19 UTC da IEEE Xplore. Si applicano limitazioni.

Fig. 3. Il modello del sistema di comunicazione con energy harvesting per scenario 2.

Di conseguenza, è possibile ottenere l'allocazione energetica ottimale risolvendo il seguente problema di ottimizzazione

$$\begin{aligned} \max_{e_{io}} \quad & \sum_{io=1}^N E[u_{io}] \\ \text{st} \quad & (11), (12), e_{io} \geq 0 \end{aligned} \quad (14)$$

### C. Commenti e osservazioni

Nei nostri modelli, sia l'evoluzione del buffer che quella della batteria lution sono markoviane. In generale, l'ottimizzazione i problemi in (8) e (14) sono difficili da risolvere indipendentemente perché i vincoli per l'  $i$ -esimo slot dipendono dal  $(i-1)$ -esimo fessura. Poiché l'errore di pacchetto è un processo stocastico, questi due problemi possono essere visti come uno di decisioni sequenziali sion facendo sotto lo stato del canale e il tasso di raccolta di energia incertezze. Per tale problema, possiamo usare un orizzonte finito Approccio di programmazione dinamica (DP) [30] per ottenere energia ottimalità, di cui parleremo in seguito.

## IV. OPTIMAL SOLUZIONE

In questa sezione, utilizziamo un orizzonte finito stochas-approccio DP per risolvere i problemi di allocazione dell'energia di (8) e (14). L'approccio DP divide l'ottimizzazione sequenziale problema di zione in una serie di problemi a stadio singolo. Secondo secondo il principio di ottimalità di Bellman [30], l'approccio DP è un metodo matematico ottimale ben noto per risolvere il problema problemi decisionali sequenziali. Ci sono un numero di lavori esistenti che impiegano l'approccio DP per risolvere simili problemi [24], [31] - [33].

### A. Scenario 1: feedback tempestivo senza ritardi

In questo problema, consideriamo il caso che è il CSI aggiornato insieme al messaggio ACK / NACK alla fine di ciascuno slot di trasmissione. Vale a dire, il trasmettitore conosce il valore di  $h_{i-1}$  e il messaggio ACK / NACK dell'ultimo slot all'inizio-ning di  $i$  slot. Il trasmettitore deciderà se farlo o meno ritrasmettere il pacchetto a seconda del feedback ACK / NACK.

Sia  $\mathbf{c}_i = (h_{i-1}, w_{i-1}, E_i, B_i)$  denotano lo stato di sistema nello slot di tempo  $i$  che include lo stato del canale  $h_{i-1}$ , l'energia raccolta in entrata  $w_i$ , l'energia immagazzinata in la batteria  $E_i$  e la lunghezza del buffer  $B_i$ . Assumiamo il stato iniziale  $\mathbf{c}_1 = (h_0, w_0, E_1, B_1)$  da conoscere. Partendo da

Eq. (2) e (4), la probabilità di transizione di stato è data da

$$\begin{aligned} P(\mathbf{c}_{i+1} | \mathbf{c}_i, s_i, e_i) &= P(h_i, w_i, E_{i+1}, B_{i+1} | h_{i-1}, w_{i-1}, E_i, B_i, s_i, e_i) \\ &= P(h_i, B_{i+1} | h_{i-1}, B_i, s_i, e_i) P(w_i, E_{i+1} | w_{i-1}, E_i, s_i, e_i) \\ &= P(B_{i+1} | h_{io}, B_i, s_i, e_i) P(h_i | h_{i-1}) \\ &\quad \times P(E_i | w_{i-1}, E_i, s_i, e_i) P(w_i | w_{i-1}) \\ &= \begin{cases} P(h_i | h_{i-1}) P(w_i | w_{i-1}), & \text{se (2) e (4) sono soddisfatte} \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases} \end{aligned}$$

il termine in (17a) rappresenta la ricompensa prevista per lo slot corrente. Il secondo termine in (17a) è la ricompensa futura attesa accumulato dallo slot  $i+1$  allo slot  $N$ . L'approccio DP include due passaggi. Nella fase 1, il sensore calcola l'Eq. (17a) per trovare l'ottimale  $(e_{io}^*(\mathbf{c}_i), s(\mathbf{c}_i))$  per ogni stato del sistema di ogni fascia oraria e la registra come tabella di ricerca. Nella fase 2, il sensore imposta lo stato del sistema  $\mathbf{c}_i = (h_{i-1}, w_{i-1}, E_i, B_i)$  e sceglie l'ottimale  $(e_{io}^*(\mathbf{c}_i), s(\mathbf{c}_i))$  in base alla tabella di ricerca. I dettagli della politica di DP ottimale proposta sono riassunti in Algoritmo 1.

(15)

Dato lo stato iniziale  $\mathbf{c}_1$ , il totale massimo previsto numero di pacchetti  $J_1(\mathbf{c}_1)$  può essere ottenuto ricorsivamente mettendo  $J_N(\mathbf{c}_N)$ ,  $J_{N-1}(\mathbf{c}_{N-1})$ , ...,  $J_2(\mathbf{c}_2)$  basato su Bellman equazione [30]. Per l'ultima fascia oraria  $N$  all'interno della programmazione periodo, il trasmettitore utilizzerà tutta l'energia rimanente per trasmissione, cioè  $e_N = E_N$ , per massimizzare la trasmissione pacchetto. Quindi, abbiamo

$$J_N(h_{N-1}, w_{N-1}, E_N, B_N) = \max_{e_N, s_N} E_{h_N}[u_N | h_{N-1}]$$

$$= \sum_{k=1}^K P_c(\gamma_k, E_N) P(h_N = \gamma_k | h_{N-1}) \quad (16)$$

Nella fascia oraria  $i$ , abbiamo

$$J_i(h_{i-1}, w_{i-1}, E_i, B_i) = \max_{e_{io}, w_i} E_{h_{io}}[u_{io} | h_{i-1}]$$

$$+ E_{h_i, w_i} \left[ J_{i+1}(h_i, w_i, E_{i+1}, B_{i+1}) | h_{i-1}, w_{i-1} \right] \quad (17a)$$

$$= \max_{e_{io}, w_i} \sum_{k=1}^K P_c(\gamma_k, e_i) P(h_i = \gamma_k | h_{i-1})$$

$$+ E_{h_i, w_i} \left[ J_{i+1}(h_i, w_i, E_{i+1}, B_{i+1}) | h_{i-1}, w_{i-1} \right] P_e(h_i, e_i)$$

$$+ E_{h_i, w_i} \left[ J_{i+1}(h_{io}, w_{io}, E_{i+1}, B_{i+1}) | h_{i-1}, w_{i-1} \right] P_c(h_i, e_i) \quad (17b)$$

$$= \max_{e_{io}, w_i} \sum_{k=1}^K P_c(\gamma_k, e_i) P(h_i = \gamma_k | h_{i-1})$$

$$+ \sum_{q=1}^Q \sum_{k=1}^K J_{i+1}(\gamma_k, \delta_q, E_{i+1}, B_{i+1}) P_e(\gamma_k, e_i)$$

$$\cdot P(h_i = \gamma_k | h_{i-1}) P(\delta_q | w_{i-1})$$

$$+ \sum_{q=1}^Q \sum_{k=1}^K J_{i+1}(\gamma_k, \delta_q, E_{i+1}, B_{i+1}) P_c(\gamma_k, e_i)$$

$$\cdot P(h_i = \gamma_k | h_{i-1}) P(\delta_q | w_{i-1}) \quad (17c)$$

in quale

$$B_{i+1}^{(1)} = \min \{ B_i + \lambda s_i, B_{max} \} \quad (17g)$$

$$B_{i+1}^{(2)} = \min \{ [B_i - 1] + \lambda s_i, B_{max} \} \quad (17e)$$

Notare che  $B_{i+1}^{(1)}$  e  $B_{i+1}^{(2)}$  rappresentano il numero di pacchetti nel buffer dati all'inizio dello slot  $i+1$ , con l'estensione probabilità di  $P_e(h_i, e_i)$  e  $P_c(h_i, e_i)$ , rispettivamente. Il primo

**Algoritmo 1** Algoritmo di allocazione dell'energia basato su Dynamic Programmazione per lo scenario 1

```

1: Calcola  $J_N(h_{N-1}, w_{N-1}, E_N, B_N)$ ,  $\forall h_{N-1}, \forall w_{N-1}$ ,
    $\forall E_N, \forall B_N$  basato su (16) e salva nella tabella.
2:  $i = N - 1$ .
3:  $\mathbf{c}_i = (h_{i-1}, w_{i-1}, E_i, B_i)$ 
4: mentre  $i > 0$ 
5:   Calcola  $J_i(h_{i-1}, w_{i-1}, E_i, B_i)$ ,  $\forall h_{i-1}, \forall w_{i-1}, \forall E_i, \forall B_i$ 
     basato su (17a)
6:   Trova l'ottimale  $(e_{io}^*, s_i^*(\mathbf{c}_i))$  per massimizzare
      $J_i(h_{i-1}, w_{i-1}, E_i, B_i)$ 
7:    $i = i - 1$ ;
8: end while
9: per  $i = 1; i \leq N; i = i + 1$  fai
10:   Trova l'ottimale  $(e_{io}^*(\mathbf{c}_i), s_i^*(\mathbf{c}_i))$  basato sulla riga 5.
11:   Aggiorna la batteria e il buffer dati in base a (2) e (4)
12: fine per
```

L'approccio DP può ottenere una soluzione ottimale per questo problema; tuttavia, il suo svantaggio è l'alto livello di calcolo complessità. Il metodo DP deve prima costruire una ricerca tabella contenente la soluzione ottimale per ogni stato del sistema come mostrato in Algorithm 1. Una volta ottenuta la tabella, possiamo facilmente trovare la soluzione ottimale mediante ricerche di tabelle. Il calcolo della complessità del metodo DP deriva principalmente dalla creazione di tabella di ricerca. Un problema DP potrebbe essere scomposto in molteplici sotto-problemi e la complessità computazionale di Il problema DP ha un aumento lineare con il numero di sub-problemi (fasce orarie nel nostro problema). A causa della tabella contiene tutto lo stato del sistema in ogni fascia oraria, la complessità della flessibilità di ogni sottoproblema è correlata al numero di sistemi stato. Per valutare la complessità computazionale, abbiamo impostato una misura del piede  $\rho$  per ricercare l'allocazione energetica ottimale. Poi, il numero totale di stati è  $(E_{max} \times \rho \times B_{max} \times K \times Q)$ . Per ciascuno time slot, calcoliamo l'Eq. (17 bis) per ogni stato. Risulta tempo di esecuzione lungo poiché  $E_{max}$  diventa grande e  $\rho$  diventa piccolo. Non sarà un grosso problema quando costruiremo una tabella di ricerca prima della trasmissione. Tuttavia, in alcuni casi potrebbe essere necessario aggiornare alcune informazioni statistiche, come la transizione del canale probabilità, tasso di raccolta di energia, che introduce un alto complessità di calcolo in tempo reale. Quindi, proponiamo anche un file algoritmo a bassa complessità nella sezione successiva.

**B. Scenario 2: CSI ritardato e feedback ARQ**

Nel secondo scenario che considera i ritardi di andata e ritorno e l'efficienza della larghezza di banda, il trasmettitore riceve CSI e

Uso autorizzato autorizzato limitato a: Università Ca'Foscari Venezia. Scaricato il 03 ottobre 2020 alle 10:39:19 UTC da IEEE Xplore. Si applicano limitazioni.

Feedback ARQ dopo  $m$  slot. Di conseguenza, solo il trasmettitore conosce  $h_{i-(m+1)}$  all'inizio dell' $i$ -esimo slot. In questo caso, il numero totale di stati cresce nell'ordine  $O((\frac{E_{max}}{\rho})^{2m+1} \times B_{max} \times K \times Q)$ .

Per semplificare il problema che coinvolge un gran numero di afferma, supponiamo che il buffer abbia un backlog di dati infinito. Di conseguenza, il numero di stati del sistema viene ridotto a  $\mathbf{c}_{io} = (w_{io-1}, h_{io-(m+1)}, E_{io})$ . Pertanto, il canale di stato tras-la probabilità di sizione è

$$P^{(m+1)}(h_{io} | h_{io-(m+1)}) = (P_h)^{m+1} \quad (18)$$

Quando  $m$  aumenta, il feedback CSI diventa sempre meno Informativo. Per  $m$  sufficientemente grande, la probabilità di transizione converge al vettore di probabilità di stato stazionario. Perciò, un limite superiore per  $m$  indicato con  $M$  può essere considerato. Questo significa che se  $m > M$ , allora il feedback CSI è praticamente inutilizzabile per il controllo dell'alimentazione.

Quando  $m > M$ , significa che il feedback CSI è inutile e il canale può essere considerato indipendente. In questo caso, sarà simile con (21). I dettagli della proposta ottimale Le politiche DP sono riassunte nell'Algoritmo 2.

**Algoritmo 2** Algoritmo di allocazione dell'energia basato su Dynamic Programmazione per lo scenario 2

```

1: Calcola  $J_m(h_{N+1}, w_{N-(m+1)}, E_N)$ ,  $\forall h_{N+1}, \forall w_{N-1}$ ,
    $\forall E_N$ , sulla base di (19) e salvare nella tabella.
2:  $i = N - 1$ .
3:  $\mathbf{c}_{io} = (h_{io-1}, w_{io-(m+1)}, E_i)$ 
4: mentre  $i > 0$ 
5:   se  $i > m$ 
6:     Calcola  $J_m(i(\mathbf{c}_i), \forall h_{i-1}, \forall w_{i-1}, \forall E_i)$  basato su (20)
7:   altro
8:     Calcola  $J_m(i(\mathbf{c}_i), \forall h_{i-1}, \forall w_{i-1}, \forall E_i)$  basato su (21)
```

Consideriamo ancora l'approccio DP. Per l'ultimo fascia oraria, il numero previsto di consegna dei pacchetti è calcolato come

$$J_N^m(h_{N-(m+1)}, w_{N-1}, E_N) = \sum_{k=1}^K P_c(\gamma_k, E_N) P(h_N = \gamma_k | h_{N-(m+1)}) \quad (19)$$

Per la  $i$ -esima fascia oraria ( $i > m$ ), il trasmettitore riceverà il stato del canale di feedback in ogni slot. Poi,

$$\begin{aligned} J_{io}^m(h_{io-(m+1)}, w_{i-1}, E_i) &= \max_{e_{io}} \{ E_{h_{io}}[u_{io} | h_{io-(m+1)}] \\ &\quad + E_{h_i, w_i} [J_{io+1}(w_{io}, h_{io-m}, E_{io+1}) | h_{io-(m+1)}, w_{i-1}] \} \\ &= \max_{e_{io}} \left\{ \sum_{k=1}^K P_c(\gamma_k, e_i) P(h_i = \gamma_k | h_{i-(m+1)}) \right. \\ &\quad \left. + \sum_{q=1}^Q \sum_{k=1}^K J_{i+1}(\gamma_k, \delta_q, E_{i+1}) \right. \\ &\quad \left. \times P(h_{io-m} = \gamma_k | h_{io-(m+1)}) \cdot P(\delta_q | w_{i-1}) \right\} \quad (20) \end{aligned}$$

in cui  $E_{i+1}$  viene aggiornato secondo (11).

Quando  $i \leq m$ , il trasmettitore non ha ricevuto il feed-messaggio indietro ancora e non ha informazioni sul canale.

Useremmo la probabilità di stato stazionario  $\pi_k$  come probabilità che il canale allo stato  $k$ .

$$\begin{aligned} J_{io}^m(h_{io-(m+1)}, w_{i-1}, E_i) &= \max_{e_{io}} \{ E_{h_i}[u_i] + E_{h_i, w_i} [J_{io+1}(w_{io}, h_{io-m}, E_{io+1}) | w_i] \} \\ &= \max_{e_{io}} \left\{ \sum_{k=1}^K P_c(\gamma_k, e_i) \pi_k \right. \\ &\quad \left. + \sum_{q=1}^Q \sum_{k=1}^K J_{i+1}(\gamma_k, \delta_q, E_{i+1}) \pi_k P(\delta_q | w_{i-1}) \right\} \quad (21) \end{aligned}$$

Uso autorizzato autorizzato limitato a: Università Ca'Foscari Venezia. Scaricato il 03 ottobre 2020 alle 10:39:19 UTC da IEEE Xplore. Si applicano limitazioni.

## Pagina 7

JING *et al.* : GESTIONE DELL'ENERGIA E ASSEGNAZIONE DELLA POTENZA PER LA RETE DI SENSORI ACUSTICI SUBACQUEI

6457

I dettagli più specifici della politica non ottimale sono riassunti in algoritmo 3.

Se scegliamo  $P = 1$ , il numero totale atteso di pacchetti è sostituito da

$$\begin{aligned} J_i(\mathbf{c}_i) &= \max_{e_{io}, w_i} \{ E_{h_i}[u_{io} | h_{io-1}] + E_{h_{io}, w_{io}} [J_{io+1}(w_{io}, h_{io-m}, E_{io+1}) | h_{i-1}, w_{i-1}] \} \\ &= \max_{e_{io}, w_i} \left\{ \sum_{k=1}^K P_c(\gamma_k, e_i) P(h_i = \gamma_k | h_{i-1}) \right. \\ &\quad \left. + \sum_{q=1}^Q \sum_{k=1}^K J_{i+1}(\gamma_k, \delta_q, E_{i+1}) \pi_k P(\delta_q | w_{i-1}) \right\} \quad (22) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dove} \quad \{ & \min \{ E_{i-(e_i+s_i)} + \delta_q, E_{\max} \}, \text{ se } B_{i+1} \geq 1 \\ & 0, \text{ altrimenti} \} \quad (24) \end{aligned}$$

Quindi, se  $P = 1$ , allora per lo slot successivo, la bassa complessità la soluzione si riduce a utilizzare tutta l'energia per trasmettere il pacchetto se il buffer dei dati non è vuoto. In effetti, questo schema è miope

```

9:   fine
10:  Trova la  $e$ 
11:    $i = i - 1$ ;
12: end while
13: per  $i = 1; i \leq N; i = i + 1$  fai
14:   Trova la  $e$ 
15:   Aggiorna la batteria in base a (11).
16: fine per

```

V. S OLUZIONE M YOPICA S UBOTTIMALE PER  
P ERFORMANCE -C OMPLEXITY T RADEOFF

È evidente che la complessità computazionale di

La soluzione DP ottimale cresce esponenzialmente con la batteria e la capacità del buffer e il numero di stati nel canale.

In sostanza, un nodo trasmettitore sofisticato potrebbe andare bene dotato di grande capacità energetica e dati che rendono il nostro Soluzioni DP troppo complesse da implementare. Per affrontare questo problema pratico, sviluppiamo uno schema miope per il allocazione energetica per ridurre la complessità senza significative perdita di prestazioni.

Ricorda che nel metodo DP ottimale, ci sono due parti in (17a). La prima parte è la ricompensa attuale e la seconda parte è la ricompensa prevista da tutte le slot future. È intro duce un'elevata complessità computazionale che diventa importante problema nell'attuazione pratica. Invece di calcolare il file ricompensa prevista da tutte le slot future, possiamo considerare a soluzione miope concentrandosi solo sulla ricompensa prevista di i successivi slot  $P$ . Poiché calcoliamo solo la soluzione ottimale per  $P$  slot, questo obiettivo miope può ridurre sostanzialmente la complessità quando  $N$  è grande.

Per prima cosa creiamo una ricerca di slot  $P+1$  (incluso lo slot corrente) tabella come descritto nella soluzione DP completa. Vale a dire, lo scopriamo una soluzione ottimale per gli slot  $P+1$  e la ricompensa indicata da  $J_P(\mathbf{c}_P)$ . Il metodo di calcolo è simile a (16) e (17a)

ma usando  $(P+1)$  al posto di  $N$ . Quindi, per l' $i$ -esimo ( $i \leq N-P$ ) slot, l'allocazione ottimale dell'energia per massimizzare il la ricompensa prevista per i prossimi slot  $P$  può essere ottenuta direttamente da massimizzazione  $J_1(\mathbf{c}_i)$ . Tuttavia, quando  $i > N-P$ , l'ottimale allocazione energetica per massimizzare la ricompensa attesa del prossimo  $N-i$  slot può essere ottenere da massimizzare  $J_{i-(N-P)+1}(\mathbf{c}_i)$ .

introdurre coraggiosamente un semplice canale acustico subacqueo modello [34], [35]. In questo modello, consideriamo solo il effetto della perdita di trasmissione e del rumore ambientale. Il il rapporto segnale / rumore ricevuto (SNR) è dato da

$$\text{SNR}(r, f) = \frac{P_s}{A(r, f) N_f f_B} \quad (25)$$

dove  $P_s$  è la potenza del segnale trasmesso,  $r$  è la trasmissione distanza sion,  $f$  è la frequenza del segnale,  $A(r, f)$  è la tras- perdita di missione e  $N(f)$  è la densità spettrale di potenza (PSD) di rumore ambientale,  $f_B$  è la larghezza di banda. Una proprietà distintiva dei canali acustici è quella della perdita di trasmissione per acustica le onde aumenteranno con entrambe le distanze di propagazione  $r$  e frequenza  $f$  [34], [36]. A causa della limitazione della lunghezza della carta, non diamo la formula di calcolo di  $A(r, f)$  e  $N_f$ .

Maggiori dettagli su  $A(r, f)$  e  $N_f$  possono essere trovati in [34]. Il il guadagno medio del canale  $h$  può essere calcolato approssimativamente da la perdita di trasmissione.

$$h = \frac{1}{A(d, f)} \quad (26)$$

Il modello di canale proposto in [34] è invariante nel tempo, e nel nostro problema, consideriamo il canale con variante temporale. Poi,

vista della ricompensa futura (considerando solo lo slot successivo). In effetti, è una strategia golosa del consumo di energia quando considerando un orizzonte più breve di  $P = 1$ . Questo subottimale l'approccio determina l'attuale allocazione energetica della fascia oraria sviluppare un approccio avido per il prossimo slot. Nonostante lo slot successivo non consuma tutta l'energia della batteria, l'energia residua può essere determinata nelle fasi successive.

### Algoritmo 3 Allocazione energetica basata su non ottimale

Algoritmo

```

1: Calcolare  $J^{P+1}(h^P, w^P, E^{P+1}, B^{P+1})$ ,  $\forall h^P, \forall w^P, \forall E^{P+1}, \forall B^{P+1}$  basato su (16) e salva nella tabella.
2:  $i = P$ .
3:  $\mathbf{c}_i = (h_{i-1}, w_{i-1}, E_i, B_i)$ 
4: mentre  $i > 0$ 
5:   Calcolare  $J_i(\mathbf{c}_i)$ ,  $\forall h_{i-1}, \forall w_{i-1}, \forall E_{io}, \forall B_i$  basato su (17a)
6:   Trova l'ottimale ( $e_{io}(\mathbf{c}_i), s(\mathbf{c}_i)$ ) per massimizzare  $J_i(\mathbf{c}_i)$ 
7:    $i = i - 1$ ;
8: end while
9: per  $i = 1; i \leq N - P; i_o = i_o + 1$  fai
10:   Trova l'ottimale ( $e_{io}(\mathbf{c}_i), s(\mathbf{c}_i)$ ) per massimizzare  $J_1(\mathbf{c}_i)$ 
11:   Aggiorna la batteria e il buffer dati in base a (2) e (4)
12: fine per
13: per  $i = N - P + 1; i \leq N; i_o = i_o + 1$  fai
14:   Trova l'ottimale ( $e_{i-(N-P)+1}(\mathbf{c}_i), s_i(\mathbf{c}_i)$ ) per massimizzare  $J_{i-(N-P)+1}(\mathbf{c}_i)$ 
15:   Aggiorna la batteria e il buffer dati in base a (2) e (4)
16: fine per

```

## VI. SIMULATION RESULTS

### A. Modello di canale acustico subacqueo

Il canale acustico subacqueo e la radio terrestre il canale ha parametri diversi. In questa sezione, noi

apportiamo una modifica al modello di canale. In underwater communication, spesso il collegamento di comunicazione presenta un comportamento ON / OFF con coerenza nel tempo diversi secondi. Pertanto, il canale è modellato come due stati Modello di Markov Chain (cioè il modello Gilbert-Elliott) [23], [24]: "Buono (1)" e "Cattivo (0)" e la matrice di transizione è indicata di [24]

$$P_h = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 \\ 0.1 & 0.9 \end{bmatrix} \quad (27)$$

dove  $P_{i,j}$  rappresenta la probabilità di transizione dal canale stato  $i = 0, 1$  allo stato del canale  $j = 0, 1$ . Lo stato stazionario probabilità sono date da  $\pi_0 = P_{10} / (P_{10} + P_{01}) = 1/3$  mentre  $\pi_1 = 1 - \pi_0 = 2/3$ . Usiamo lo stato stazionario probabilità di sostituire le probabilità di stato del canale in  $i$ -esimo fessura. E presumiamo che il guadagno del canale sia nello stato "Bad (0)" è la metà del guadagno del canale nello stato "Buono (1)", il che significa  $R_h = \gamma_1 / \gamma_2 = 2$ . Quindi, possiamo ottenere i guadagni del canale in gli stati "Cattivo (0)" e "Buono (1)" dato il canale medio guadagno  $\bar{h}$  e le probabilità di stato stazionario  $\pi_0$ .

In (25),  $P_s$  è la potenza del segnale trasmesso. Come sappiamo, il sensore del trasmettitore converte l'energia elettrica in acustica potenza in acqua applicata dal trasduttore acustico subacqueo. L'efficienza totale del sensore del trasmettitore  $\eta_e$  è il prodotto di efficienza elettroacustica ed efficienza dell'amplificatore di potenza. Quindi, la potenza del segnale trasmesso è data da

$$P_s = \eta_e \frac{e_{io}}{Slot \ a \ T} \quad (28)$$

In questo articolo, l'efficienza di conversione elettroacustica totale è  $\eta_e = 19\%$  [37].

Per semplificare il calcolo, assumiamo che il file il tasso di raccolta di energia assume valori da due set di stati  $\{\delta_1, \delta_2\}$ , e la matrice di transizione è data da

$$P_\delta = \begin{bmatrix} 0.75 & 0.25 \\ 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (29)$$

Uso autorizzato autorizzato limitato a: Università Ca' Foscari Venezia. Scaricato il 03 ottobre 2020 alle 10:39:19 UTC da IEEE Xplore. Si applicano limitazioni.

Fig. 4. Il rendimento medio di diverse politiche per diversi tassi medi di raccolta di energia. (a) Scenario 1. (b) Scenario 2.

TABELLA I  
PARAMETRI DI SIMULAZIONE

Ricorda che il secondo scenario (di feedback ritardato) non lo fa considera l'energia di rilevamento. Quindi, il trasmettitore usa sempre tutta l'energia immagazzinata quando disponibile, ovvero

$$e_{io} = E_{io} \quad (32)$$

Per l'algoritmo non ottimale, scegliamo  $P = 1$  a meno che altrimenti specificato.

Nel caso discusso sopra, solo il trasmettitore lo sa lo stato del canale passato e il tasso di raccolta di energia, che è chiamato caso *online*. Qui, testiamo anche il caso *offline* in cui il trasmettitore ha piena conoscenza del CSI e dell'energia raccolta. Pertanto, il caso *offline* può essere come la performance

dove  $P_{\delta_j}$  rappresenta la probabilità della raccolta di energia stato che va dallo stato  $\delta_i$  allo stato  $\delta_j$ . La probabilità di stato stazionario, rispettivamente, sono poi dato di  $[P_{\delta_1}, P_{\delta_2}] = [2/3, 1/3]$ .

E come per lo stato del canale, calcoliamo il valore  $\delta_1$  e  $\delta_2$  secondo il tasso medio di raccolta di energia

probabilità di stato stazionario e rapporto  $R = \delta_2 / \delta_1$ .

Se non diversamente specificato, i parametri di simulazione di sistema sono presentati nella tabella I. La potenza del rumore spettrale vengono calcolate la densità  $N_f$  e la perdita di trasmissione  $A(r, f)$  come in [34].

Per confronto, consideriamo la politica *Greedy* come una linea di base politica per la decisione in linea. Per il primo scenario che considera l'energia di rilevamento, il sensore acquisirà 1 pacchetto di dati di carico utile quando il numero di pacchetti nel buffer di dati è inferiore a 2. In caso contrario, il sensore non consumerà energia per senso. La politica di allocazione energetica è data da

$$e_{io} = \begin{cases} E_{io}, & \text{se } B_i > 1 \\ E_i - 1/\lambda, & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (30)$$

$$s_{io} = \begin{cases} 0, & \text{se } B_i > 1 \\ 1/\lambda, & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (31)$$

Uso autorizzato autorizzato limitato a: Università Ca' Foscari Venezia. Scaricato il 03 ottobre 2020 alle 10:39:19 UTC da IEEE Xplore. Si applicano limitazioni.

## Pagina 9

JING et al. : GESTIONE DELL'ENERGIA E ASSEGNAZIONE DELLA POTENZA PER LA RETE DI SENSORI ACUSTICI SUBACQUEI

6459

Fig. 5. Il rendimento medio di diverse politiche per diversi feedback ritardo per lo scenario 2.

superiore al metodo ACO. D'altra parte, l'*online DP* genera la migliore politica di allocazione online possibile per massimizzare la somma della ricompensa della slot corrente e quella prevista ricompensa di slot futuri. Tuttavia, *DP online* ne soffre elevata complessità computazionale. L'algoritmo non ottimale prende una visione miope dello slot futuro che coinvolge solo il prossimo  $P$  slot. Pertanto, le prestazioni della velocità effettiva peggiorano rispetto a quello del *DP online*. Ma la performance dei due metodi è molto vicino.

### C. Impatto del ritardo del feedback

La Fig. 5. mostra le prestazioni di diverse politiche rispetto al ritardo  $m$  per lo scenario 2. È chiaro che le prestazioni del caso *offline* è invariato con il ritardo  $m$  poiché sempre conosce le informazioni effettive sul canale. Il *DP offline* ha ancora le migliori prestazioni e questo risultato assistito da genio fornisce al limite superiore delle prestazioni. Quando  $m$  aumenta, il feedback le informazioni sul canale diventano meno accurate. Quindi, il per-

limite superiore. Per l'approccio DP, è simile all'algoritmo 1 e l'algoritmo 2 ma lo stato è  $\mathbf{c}_i = (E_i, B_i)$ .

Al fine di valutare più accuratamente le prestazioni di proposto metodo DP, testiamo anche l'ottimizzazione della colonia di formiche algoritmo (ACO) [38] per risolvere questo problema *offline* Astuccio. Nell'algoritmo ACO, la funzione euristica è proporzionale alla probabilità corretta del pacchetto. Il numero di formiche è uguale al numero di soluzioni possibili. Il tasso di evaporazione della colonia è 0.5. L'influenza relativa del livello di feromoni è 1 e il l'influenza relativa della funzione euristica è 5. Il numero di iterazioni è 200. Per tutti i metodi, il numero di Monte Carlo la simulazione è 500. Per maggiori dettagli sull'ACO, rimandiamo al nostro lettori di riferimenti [38].

### B. Effetto del tasso medio di raccolta dell'energia

La Fig. 4 (a) e la Fig. 4 (b) mostrano l'impatto della media tasso di raccolta di energia sulla velocità effettiva per lo scenario 1 e lo scenario 2, rispettivamente. Tutte le politiche risultano migliorate prestazioni come aumenta. Questo è intuitivo la crescita dà il trasmettitore più energia da utilizzare in ogni slot, da cui il miglioramento delle prestazioni in generale.

Da questi risultati, si può vedere che il *DP offline* ha la migliore prestazione (come limite superiore) poiché conosce tutti i file informazioni sulla raccolta di energia e sullo stato del canale. Quindi, le prestazioni miglioreranno perché il trasmettitore ha più flessibilità per allocare l'energia per più tempo slot. L' *ACO offline* ha prestazioni simili a quelle di *in linea DP*. Ciò mostra anche che il metodo DP proposto è

Fig. 6. L'impatto di  $P$  per l'algoritmo non ottimale.

### E. Effetto della condizione del canale

Confrontiamo ulteriormente le prestazioni su diversi canali condizioni. Innanzitutto, definiamo un parametro  $\eta$  per rappresentare attraverso-mettere guadagno. Ad esempio, se  $T_\alpha(\pi_0)$  e  $T_\beta(\pi_0)$  è il throughput dalla politica  $\alpha$  e dalla politica  $\beta$ , rispettivamente, allora,  $\eta = T_\alpha(\pi_0) / T_\beta(\pi_0)$ .

La Fig.7 (a) e la Fig.7 (b) presentano le prestazioni di differenti politiche in termini di guadagno di throughput per diversi valori di probabilità di stato stazionario  $\pi_0$  rispetto alla politica *Greedy*. Dal risultati, possiamo vedere che il guadagno di throughput migliora con probabilità crescente di stato stazionario  $\pi_0$ . Ciò significa che quando il file è più probabile che le condizioni del canale siano scadenti, il miglioramento della nostra politica di ottimizzazione proposta è più pronunciata. Questo è abbastanza intuitivo poiché sotto un canale più favorevole condizioni, la politica *avida* può anche già ottenere un bene prestazione.

### F. Sensibilità alla precisione CSI

Finora, abbiamo assunto che le informazioni sullo stato del feedback siano essere accurati e privi di errori. Nella pratica acustica subacquea



La formazione di *DP in linea* degrada continuamente. È notato che le prestazioni del metodo *DP online* mostrano ancora l'estensione prestazioni simili al metodo *ACO offline*. Nel frattempo, le prestazioni dell'algoritmo non ottimale si degradano quando  $m = 1$  aumenta. Quando  $m$  diventa maggiore di 1, il la formazione di subottimale è stabile, il che significa che, per  $m > 1$ , il feedback ritardato fornisce poco valore per il algoritmo non ottimale.

#### D. Soluzioni non ottimali e complessità delle prestazioni Scambio

In questa sottosezione, consideriamo le prestazioni-complexità dell'algoritmo non ottimale. La Fig. 6 mostra il file risultati dell'algoritmo non ottimale con diverse scelte di  $P$ . Chiaramente, il rendimento dell'algoritmo subottimale migliora per grande  $P$  e maggiore complessità. Per lo scenario 1, quando  $P = 6$ , le prestazioni dell'algoritmo non ottimale sono già molto vicine all'esatto approccio DP online. D'altra parte, quando il feedback CSI ha ritardi maggiori (ad esempio,  $m = 2$ ), le prestazioni il divario tra il DP e l'algoritmo non ottimale aumenta. Chiaramente, l'algoritmo subottimale è più sensibile al Ritardo feedback CSI.

sistemi, i canali non possono essere stimati accurati. Esaminare la sensibilità del nostro metodo all'accuratezza della stima del canale mazione. La Figura 8 (a) e la Figura 8 (b) presentano la produttività media di diverse politiche per diversi livelli di stima del canale probabilità di errore. Si noti che il *DP offline* ha piena conoscenza di CSI mentre la politica *Greedy* non ha bisogno di stimare il canale. Quindi il loro rendimento è insensibile alla precisione di CSI.

Per lo scenario 1, quando la probabilità di errore di stima del canale aumenta, le prestazioni si degradano di conseguenza per il *in linea DP* e gli algoritmi non ottimali e la *linea DP* algorithm è più sensibile alla probabilità di errore. Quando l'errore la probabilità è maggiore di 0.9, il *DP online* è anche peggio di Greedy; Per lo scenario 2, le prestazioni di subottimale la politica a  $m = 2$  è quasi insensibile. Questo perché quando  $m \geq 1$ , il feedback CSI non influisce più sul subottimale politica, come mostrato in precedenza dalla Fig.5.

#### G. Buffer Backlog ed effetto sulla capacità della batteria

In questo test consideriamo l'effetto della dimensione del buffer backlog. Per il nostro secondo scenario, lasciamo che il buffer dei dati abbia dati infiniti arretrato. Di conseguenza, non consideriamo l'energia di rilevamento.

Uso autorizzato autorizzato limitato a: Università Ca' Foscari Venezia. Scaricato il 03 ottobre 2020 alle 10:39:19 UTC da IEEE Xplore. Si applicano limitazioni.

Fig. 7. Il throughput medio di diverse politiche con probabilità di stato stazionario di canali diversi. (a) Scenario 1. (b) Scenario 2.

Fig. 8. Il throughput medio di diverse politiche per la probabilità di errore di stima di diversi canali. (a) Scenario 1. (b) Scenario 2.

Tuttavia, l'intera crescita tende a saturare quando  $E_{max}$  supera un certo valore. Il motivo è perché per una capacità energetica sufficientemente grande, tutta l'energia raccolta può essere immagazzinati e allocati in modo ottimale. Ogni ulteriore aumento di capacità non contribuirebbe più al rilevamento, alla trasmissione, o il successo della consegna dei pacchetti. È ovvio che l'infinito backlog di dati ha una migliore prestazioni di throughput perché non si preoccupa più

energia per il rilevamento e ha più energia per la trasmissione. Il divario di prestazioni tra dati finiti e backlog infinito è 0.0426 (pacchetto / slot) quando  $E_{max} = 1$  J.

## VII. C ONCLUSIONE

Questo lavoro indaga l'allocazione di energia tra i dati acquisizione e trasmissione per sensori subacquei in rete per massimizzare la consegna prevista dei pacchetti di dati sotto energia vincoli di raccolta. Consideriamo due diversi scenari: uno che coinvolge i ritardi di feedback del ricevitore e uno senza. Nei primi casi, il trasmettitore deve prendere in considerazione il duplice esigenza di rilevamento e trasmissione dati. Affrontiamo entrambi gli scenari problematici formulando un orizzonte finito ottimizzato mizzazione e derivazione di un approccio di programmazione dinamica. Per semplificare la complessità del secondo scenario che coinvolge

Fig. 9. La differenza di throughput medio del backlog di dati finito e infinito.

La Fig.9 mostra che la differenza di prestazioni proposta metodo *DP online* a causa del presupposto di backlog di dati infinito con diversa capacità della batteria  $E_{max}$ .

All'aumentare di  $E_{max}$ , cresce anche la media. È intuitivo che il trasmettitore può immagazzinare più energia raccolta per ulteriori slot se ha una capacità della batteria maggiore. Quindi, le prestazioni miglioreranno perché il trasmettitore ha più flessibilità per allocare l'energia per varie fasce orarie.

Uso autorizzato autorizzato limitato a: Università Ca' Foscari Venezia. Scaricato il 03 ottobre 2020 alle 10:39:19 UTC da IEEE Xplore. Si applicano limitazioni.

## Pagina 11

JING *et al.* : GESTIONE DELL'ENERGIA E ASSEGNAZIONE DELLA POTENZA PER LA RETE DI SENSORI ACUSTICI SUBACQUEI

6461

ritardi di feedback, si presume che il trasmettitore abbia infiniti backlog di dati per concentrarsi sulla necessità della trasmissione dei dati. Anche noi proporre una politica non ottimale basata su una visione miope del futuro slot per ridurre ulteriormente l'elevata complessità computazionale. I risultati della simulazione dimostrano il miglioramento delle prestazioni di politiche proposte così come l'impatto di varie pratiche fattori come la dimensione della batteria, il tasso medio di raccolta di energia, distribuzione di stato stazionario del canale e precisione CSI.

## R IFERIMENTI

- [1] C. Alippi, R. Camplani, C. Galperti e M. Roveri, "Un robusto, adattivo, quadro WSN a energia solare per il monitoraggio ambientale acquatico", *IEEE Sensors J.*, vol. 11, n. 1, pagg. 45–55, gennaio 2011.
- [2] PR Bandyopadhyay, DP Thivierge, FM McNeilly e A. Fredette, "Un circuito elettronico per la raccolta della carica di mantenimento dal microbico litorale celle a combustibile", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 38, n. 1, pagg. 32–42, gennaio 2013.
- [3] KB Joshi, JH Costello e S. Priya, "Stima dell'energia solare raccolti per veicoli meduse autonome (AJV)", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 36, n. 4, pp. 539–551, ottobre 2011.
- [4] D. Toma, J. del Rio, M. Carbonell-Ventura e J. Masalles, "Underwater sistema di raccolta dell'energia basato su piezoelettrici a pizzato", in *Proc. IEEE OCEANS*, Genova, Italia, maggio 2015, pp. 1–5.
- [5] A. Bereketli e S. Bilgen, "Acustica subacquea alimentata a distanza reti di sensori", *IEEE Sensors J.*, vol. 12, no. 12, pagg. 3467–3472, Dicembre 2012.
- [6] S. He, J. Chen, F. Jiang, D. KY Yau, G. Xing e Y. Sun, "Energy provisioning in reti di sensori wireless ricaricabili", *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 12, no. 10, pp. 1931–1942, ottobre 2013.
- [7] A. Mehrabi e K. Kim, "Massimizzare il rendimento della raccolta dati su a percorso nelle reti di sensori di energy harvesting utilizzando un sink mobile", *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 15, no. 3, pagg. 690–704, marzo 2016.
- [8] O. Ozel, K. Tutuncuoglu, J. Yang, S. Ulukus e A. Yener, "Trasmissione con nodi di raccolta di energia in canali wireless in dissolvenza: ottimale politiche", *IEEE J. Sel. Area comuni*, vol. 29, n. 8, pagg. 1732–1743, Settembre 2011.
- [9] J. Yang e S. Ulukus, "Programmazione ottimale dei pacchetti in un vesting communication system", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 60, n. 1, pagg. 220–230, gennaio 2012.
- [10] CK Ho e R. Zhang, "Allocazione ottimale dell'energia per il wireless comunicazioni con vincoli di raccolta di energia", *IEEE Trans. Segnale Processi.*, vol. 60, n. 9, pagg. 4808–4818, settembre 2012.
- [11] C. Huang, R. Zhang e S. Cui, "Optimal power allocation for outage minimizzazione della probabilità nei canali in dissolvenza con strains", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, n. 2, pagg. 1074–1087, Febbraio 2014.
- [12] S. Wei, W. Guan e KJR Liu, "Power scheduling for energy har-conferire comunicazioni wireless con limiti di capacità della batteria", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 14, n. 8, pagg. 4640–4653, agosto 2015.
- [13] J. Gong, S. Zhou e Z. Niu, "Distribuzione ottimale dell'energia per l'energia raccolta e rete elettrica coesistenti con sistemi di comunicazione wireless", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, n. 7, pp. 3040–3049, luglio 2013.
- [14] I. Ahmed, A. Ikhlef, DWK Ng e R. Schober, "Power allocation per un trasmettitore di raccolta di energia con fonti di energia ibride", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 12, pp. 6255–6267, dicembre 2013.
- [15] M. Nourian, S. Dey e A. Ahlén, "Minimizzazione della distorsione in multi-stima del sensore con energy harvesting", *IEEE J. Sel. Area comuni*, vol. 33, n. 3, pagg. 524–539, marzo 2015.
- [16] S. Knorn, S. Dey, A. Ahlén e DE Quevedo, "Distortion mini-mizzazione nella stima multi-sensore utilizzando la raccolta di energia e l'energia condivisione", *IEEE Trans. Processo del segnale.*, vol. 63, n. 11, pagg. 2848–2863, Giugno 2015.
- [17] D. Pompili, T. Melodia e IF Akyildiz, "Distributed routing algoritmi per reti di sensori acustici subacquei", *IEEE Trans. senza fili Commun.*, vol. 9, n. 9, pagg. 2934–2944, settembre 2010.
- [18] J. Yu, H. Chen, L. Xie e J.-H. Cui, "Analisi delle prestazioni dell'ibrido Schemi ARQ in reti acustiche subacquee", in *Proc. Oceani*, Settembre 2014, pagg. 1–6.
- [19] B. Tomasi e JC Preisig, "Energy efficient transmission scheduling per canali acustici subacquei non stazionari", in *Proc. ACM WUWNet*, Kaohsiung, Taiwan, 2013, pagg. 27: 1–27: 2.
- [20] B. Tomasi e JC Preisig, "Strategie di trasmissione ad alta efficienza energetica per ritardare il traffico vincolato con feedback limitato", *IEEE Trans. senza fili Commun.*, vol. 14, n. 3, pagg. 1369–1379, marzo 2015.
- [21] P. Castiglione, O. Simeone, E. Erkip e T. Zemen, "Energy management-politiche mentali per la codifica del canale sorgente a impatto zero", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 60, n. 9, pagg. 2668–2678, settembre 2012.
- [22] P. Castiglione e G. Matz, "Codifica canale sorgente neutro dal punto di vista energetico con limitazioni della dimensione della batteria e della memoria", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 62, no. 4, pp. 1373–1381, aprile 2014.
- [23] S. Mao, MH Cheung e VWS Wong, "Allocazione energetica congiunta per il rilevamento e la trasmissione in reti di sensori wireless ricaricabili", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 63, n. 6, pp. 2862–2875, luglio 2014.
- [24] O. Orhan, D. Gündüz ed E. Erkip, "Source-channel coding under vincoli di energia, ritardo e buffer", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 14, n. 7, pp. 3836–3849, luglio 2015.
- [25] A. Yadav, M. Goonewardena, W. Ajib e H. Elbiaze, "Novel retrans-schema di missione per trasmettitore e ricevitore di raccolta di energia", in *Proc. IEEE ICC*, Londra, Regno Unito, giugno 2015, pagg. 3198–3203.
- [26] DP Bertsekas, *programmazione dinamica e controllo ottimale (2 Vol Set)*. Belmont, MA, USA: Athena Scientific, 2000.
- [27] A. Fu, E. Modiano e JN Tsitsiklis, "Optimal transmission scheduling su un canale in dissolvenza con vincoli di energia e scadenze", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 5, n. 3, pagg. 630–641, marzo 2006.
- [28] J. Lee e N. Jindal, "Pianificazione efficiente dal punto di vista energetico del ritardo vincolato traffico su canali in dissolvenza", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 4, pp. 1866–1875, aprile 2009.
- [29] R. Srivastava e CE Koksall, "Energy excellent Transmission scheduling nelle reti di sensori wireless", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 5, pp. 1550–1560, maggio 2010.
- [30] M. Stojanovic, "Sul rapporto tra capacità e distanza in un canale di comunicazione acustico subacqueo", in *Proc. 1 ° ACM Int. Workshop Underwater Netw. (Wuwnet)*, Los Angeles, CA, USA, Settembre 2006, pagg. 41–47.
- [31] H. Wang, S. Wang, E. Zhang e J. Zou, "A network coding based protocollo ARQ ibrido per reti di sensori acustici subacquei", *Sensors*, vol. 16, n. 9, p. 1444, 2016.
- [32] A. Valera, PWQ Lee, H.-P. Tan, H. Liang e WKG Seah, "Implementazione e valutazione di multihop ARQ per comunicazioni affidabili in reti acustiche subacquee", in *Proc. Oceani*, maggio 2009, pagg. 1–6.
- [33] Z. Yang, L. Kaizhuo, Z. Qunfei, H. Dengfeng e F. Xuchao, "An trasmettitore di segnale integrato per UAC basato su H-bridge classe D amplificatore di potenza", in *Proc. IEEE Int. Conf. Signal Process., Commun. Comput. (ICSPCC)*, agosto 2016, pagg. 1–5.
- [34] M. Dorigo, V. Maniezzo e A. Colomi, "Ant system: Optimization by una colonia di agenti cooperanti", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. B, Cybern.*, vol. 26, n. 1, pagg. 29–41, febbraio 1996.

Lianyou Jing ha conseguito la laurea in elettronica e comunicazioni ingegneria presso la School of Marine Science and Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Cina, nel 2010, dove è attualmente citare in giudizio il Ph.D. grado. La sua attuale ricerca si concentra sull'acustica subacquea

[17] Y. Zhao, B. Chen e R. Zhang, "Gestione ottimale dell'energia per stima a distanza con un sensore di raccolta di energia ", *IEEE Trans. Wireless Commun.* , vol. 14, n. 11, pagg. 6471–6480, novembre 2015.

[18] K. Tutuncuoglu, A. Yener e S. Ulukus, "Optimum policies for an trasmettitore di raccolta di energia con perdite di accumulo di energia ", *IEEE J. Sel. Aree comuni* , vol. 33, n. 3, pagg. 467–481, marzo 2015.

[19] B. Devillers e D. Gunduz, "Un quadro generale per l'ottimizzazione dei sistemi di comunicazione per la raccolta di energia con batteria imperfetta zioni ", *J. Commun. Netw.* , vol. 14, n. 2, pp. 130–139, aprile 2012.

[20] M. Stojanovic e J. Preisig, "Underwater acoustic communication canali: modelli di propagazione e caratterizzazione statistica ", *IEEE Commun. Mag.* , vol. 47, n. 1, pagg. 84–89, gennaio 2009.

comunicazioni.

**Chengbing Ha** ricevuto il BS, MS e Ph.D. lauree presso la Scuola of Marine Science and Technology, Northwestern Polytechnical University (NPU), Xi'an, Cina, rispettivamente nel 2003, 2006 e 2009, tutti in ingegneria elettronica e delle comunicazioni. È stato membro di Facoltà in NPU dal 2009, dove attualmente è Professore Associato. Il suo la ricerca attuale si concentra sulle comunicazioni acustiche subacquee.

Uso autorizzato autorizzato limitato a: Universita CaFoscari Venezia. Scaricato il 03 ottobre 2020 alle 10:39:19 UTC da IEEE Xplore. Si applicano limitazioni.

Pagina 12

6462

IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 17, NO. 19, 1 OTTOBRE 2017

**Jianguo Huang** ha conseguito il diploma di laurea presso il Northwestern Polytechnical Università (NPU), Xi'an, Cina, nel 1967. È stato membro di facoltà in NPU dal 1967 e professore dal 1987. È Consigliere di Dottorato nell'ingegneria dell'informazione e della comunicazione. È anche l'ex preside del College of Marine Engineering. Insegna e conduce ricerche presso NPU in elaborazione di segnali e informazioni, ingegneria elettronica, wireless comunicazione e comunicazione acustica subacquea con NPU. Il suo gli interessi di ricerca generali includono la moderna elaborazione del segnale, il segnale array elaborazione, teoria della comunicazione acustica wireless e subacquea e applicazione. È membro del comitato di revisione per National Science e Technology Awards, un membro senior della IEEE Signal Processing Society, la Communication Society e la Ocean Engineering Society, il presidente della IEEE Xi'an Section, Fellow of Chinese Society of Acoustics, e il Direttore amministrativo della Signal Processing Society della provincia di Shaanxi.

**Zhi Ding** ha ricevuto il dottorato di ricerca. laurea in ingegneria elettrica alla Cornell Università, nel 1990. Dal 1990 al 2000 è stato membro di Facoltà con Auburn University e successivamente con l'Università dell'Iowa. Ha tenuto posizioni in visita presso l'Australian National University, l'Università di Hong Kong of Science and Technology, il NASA Lewis Research Center e il Laboratorio USAF Wright. Attualmente è professore di ingegneria e Imprenditorialità con l'Università della California a Davis, Davis, CA, STATI UNITI D'AMERICA. Ha una collaborazione attiva con ricercatori di diversi paesi inclusi Australia, Cina, Giappone, Canada, Taiwan, Corea del Sud, Singapore, e Hong Kong. Fa parte dei programmi tecnici di diversi seminari e conferenze. È coautore di *Modern Digital and Analog Communication Systems* , (Oxford University Press, 2009, 4a edizione). È un IEEE Distinguished Lecturer (Circuits and Systems Society dal 2004 al 2006 e la Società delle Comunicazioni dal 2008 al 2009). Ha servito come IEEE Transazioni su Wireless Communications Steering Committee Member da 2007-2009 e presidente dal 2009 al 2010. Ha ricevuto l'IEEE 2012 Premio per il riconoscimento della comunicazione wireless da IEEE Communications Società. È stato membro del Comitato tecnico sul segnale statistico e Array Processing e un membro del Comitato tecnico sul segnale Elaborazione per comunicazioni dal 1994 al 2003. Era il tecnico Program Chair della IEEE Globecom 2006. Era un editore associato di IEEE T RANSACTIONS ON S ignal P rocessing 1994-1997 e 2001-2004, e Associate Editor della IEEE S ignal P rocessing L ETTERI dal 2002 al 2005.

Uso autorizzato autorizzato limitato a: Universita CaFoscari Venezia. Scaricato il 03 ottobre 2020 alle 10:39:19 UTC da IEEE Xplore. Si applicano limitazioni.