

Sul trasferimento affidabile dei dati in acustica subacquea Reti: un'indagine dal punto di vista della rete

Shengming Jiang, *member, IEEE*

Abstract — Il trasferimento affidabile dei dati mira a garantire che il nodo di destinazione può ricevere con successo ciò che è stato inviato ad esso, e i meccanismi di base ampiamente per questo scopo in le reti a radiofrequenza (RF) includono ridondanza e ritrasmissione. Tuttavia, questo problema diventa molto più impegnativo in reti acustiche subacquee (UWA) rispetto alla rete RF funziona grazie alle seguenti caratteristiche peculiari dei canali UWA: scarsa qualità e alta dinamica dei canali UWA, molto più piccoli capacità del canale e anche un ritardo di propagazione molto maggiore come connettività asimmetrica dei collegamenti UWA. Anche queste caratteristiche limitare l'applicazione estesa di meccanismi di ridondanza o influenzare migliorare le prestazioni dei meccanismi di ritrasmissione. Perciò, molti risultati della ricerca sono stati riportati in letteratura, con sono disponibili diverse strategie di progettazione e varie proposte in grado. Questo documento conduce un'indagine su molti schemi proposti dal livello di collegamento dati al livello di trasporto e discute questioni impegnative necessarie per ulteriori ricerche.

Termini dell'Indice — Trasferimento dati affidabile, acustica subacquea rete (UWAN), canale acustico subacqueo, ridondanza, ritrasmissione.

I. INTRODUZIONE

Relativo al nodo di destinazione può ricevere con successo ciò che è stato inviato ad esso, ed è la base di molte applicazioni subacquee relative alla sorveglianza tattica, difesa costiera, off-shore produzione, monitoraggio ecologico ed esplorazione scientifica così come la prevenzione delle catastrofi, ecc. Ad esempio, dati affidabili trasferimento tra una nave madre e una subacquea senza equipaggio è necessario un veicolo (UUV) per il rilevamento di mine o sottomarini per una raccolta dati di successo e controllo UUV. Un sotto comando marittimo, controllo, comunicazioni e navigazione (C3N) l'infrastruttura può essere costruita su un segnale acustico wireless affidabile tic connessioni tra nodi sottomarini distribuiti. Off-shore la produzione di petrolio può inquinare gli ambienti marini a causa del petrolio perdite e monitoraggio robusto con trasferimento dati affidabile da sensori subacquei al centro della superficie dovrebbero essere in posizione. Nella rilevazione dello tsunami, i messaggi di allarme devono essere consegnati a destinazioni rilevanti nell'area con successo e tempestività.

Manoscritto ricevuto il 21 marzo 2017; rivisto il 13 ottobre 2017 e 21 novembre 2017; accettato il 12 gennaio 2018. Data di pubblicazione 15 gennaio 2018; data della versione corrente 22 maggio 2018. Questo lavoro è stato portato dalla National Natural Science Foundation of China per il progetto "Teoria di base dell'architettura di rete aperta per Internet marino" sotto Concedi 61472237.

L'autore è con Marine Internet Laboratory, College of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, Cina (e-mail: smjiang@shmtu.edu.cn).

Identificatore di oggetto digitale 10.1109 / COMST.2018.2793964

1553-877X © 2018 IEEE. Le traduzioni e l'estrazione di contenuti sono consentite solo per la ricerca accademica. È consentito anche l'uso personale, ma la ripubblicazione / la ridistribuzione richiede l'autorizzazione IEEE. Vedere http://www.ieee.org/publications_standards/publications/rights/index.html per ulteriori informazioni.

Gli eventi principali che portano alla mancata ricezione dei dati includono bassa qualità del canale a causa di interferenze e sbiadimento del segnale portando a errori di ricezione, congestione che causa la perdita di dati e collisione che porta alla corruzione dei dati e ad attacchi di rete pregiudicare la normale operazione di inoltro dei dati. Rete gli attacchi rientrano nell'ambito della sicurezza di rete e non lo saranno discusso in questo documento e deve essere un sondaggio separato condotto.

Nelle reti wireless basate sulla radiofrequenza (RF), il cal tecniche per fornire un trasferimento dati affidabile su inaffidabile le reti includono meccanismi di ridondanza e ritrasmissione. Il meccanismo di ridondanza mira a fornire al ricevitore capacità di rilevamento e correzione degli errori, mentre si ritrasmette sion tenta di migliorare le probabilità di ricezione di successo a il ricevitore anche con garanzia di affidabilità di trasferimento. Un tipico Il meccanismo di ridondanza cal è Forward Error Control (FEC), che però da solo non può sempre garantire l'affidabilità del trasferimento bilità, a seconda della qualità del canale spesso misurata in termini di bit error rate (BER). Se il BER di un canale è troppo grande affinché il destinatario corregga tutti gli errori, ritrasmettendo il relativo i dati dovrebbero essere attivati per una corretta ricezione. Un tipico Il meccanismo di ritrasmissione cal è la richiesta di ripetizione automatica (ARQ), che utilizza congiuntamente schemi di riconoscimento presso il destinatario per aggiornare il mittente dello stato e dell'orario di ricezione schemi al trasmettitore. Ulteriori discussioni su questa parte possono essere trovato nella sezione II.

Le sfide che devono affrontare le reti acustiche sottomarine (UWAN) [1] per un trasferimento dati affidabile derivano dal seguente aspetti di abbassamento. i) Il canale acustico subacqueo (UWA) è caratterizzato da scarsa qualità e alta dinamica dovuta a condizioni di propagazione variabili nel tempo, propagazione multipath zione, dissolvenza e distorsione Doppler indotta dal movimento e diffusione, che si traducono in un BER elevato [2]. ii) UWA channels sono intrinsecamente a banda larga come la larghezza di banda occupata da il segnale non è piccolo rispetto alla sua frequenza centrale, portando ai modelli di canale a banda stretta esistenti inadeguati [3], [4]. iii) I piccoli limiti di capacità del canale UWA ampia applicazione di meccanismi di ridondanza. iv) Il lungo ritardo di propagazione dovuto alla bassa velocità delle onde acustiche (p. es., 1,5 km / s in acqua di mare) rende gli schemi ARQ molto inefficaci cent. Inoltre, i collegamenti UWA possono essere asimmetrici, che influisce sulla creazione di un canale di feedback richiesto da ARQ. Nel frattempo, i seguenti fatti tecnologici rendono affidabile progettazione dello schema di trasferimento più difficile: la maggior parte degli UWA disponibili i modem possono funzionare solo in modalità half-duplex e consumare grande quantità di energia sia per la trasmissione che per la ricezione, mentre i nodi di rete sottomarini sono spesso alimentati a batteria [5].

Fig. 1. Un'architettura generale per il controllo dell'affidabilità del trasferimento end-to-end.

Ulteriori descrizioni sulla comunicazione UWA possono essere trovate in Sezione III-A.

Per affrontare le caratteristiche peculiari degli UWAN citati sopra, molti schemi sono stati proposti come riportato in [1], utilizzando diverse strategie di progettazione come la progettazione cross-layer e design ibrido così come vari tipi di meccanismi.

In genere, questi schemi tentano di migliorare le prestazioni di semplici schemi ARQ adatti per collegamenti half-duplex come come treno a pacchetti [6] o rendere sofisticati schemi ARQ adatti in grado per i canali UWA creando collegamenti UWA full-duplex. Nel frattempo, vari schemi di codifica come i codici di cancellazione [7] e codifica di rete [8], [9] sono ampiamente utilizzati per migliorare l'esecuzione di schemi di trasferimento affidabili. Molti altri schemi come la trasmissione multi-path, il controllo della potenza e anche la trasmissione cooperativa è stata utilizzata congiuntamente con FEC o ARQ per il controllo dell'affidabilità del trasferimento. Nota che, altre tecniche di rete come il controllo degli accessi medi (MAC) e il routing sono generalmente gestiti da un livello, ad es. MAC dal livello di collegamento dati durante il routing dalla rete strato, sebbene il design a strati incrociati possa essere utilizzato congiuntamente per migliorare le loro prestazioni. Diversamente, dati end-to-end il controllo dell'affidabilità del trasferimento coinvolge il livello fisico fino al strato di trasporto. Tuttavia, questa caratteristica non è stata evidenziata nella letteratura.

Questo documento conduce un'indagine sull'affidabilità del trasferimento dei dati, schemi per UWAN riportati in letteratura, principalmente concentrandosi sulle tecnologie di rete sul livello di collegamento dati, la rete strato e lo strato di trasporto. Viene inoltre proposta una breve discussione su diversi schemi di controllo del canale sul livello fisico per la qualità del canale e il miglioramento della capacità correlata trasmissioni in grado. Tuttavia, un'indagine completa su questa parte è fuori dallo scopo di questo documento e il lettore può fare riferimento ai sondaggi pertinenti come [10] e [11] per ulteriori dettagli.

Il resto di questo documento è organizzato come segue: La sezione II offre una panoramica dei fondamenti per affidabile trasferimento dati, inclusa architettura, FEC e ARQ. Sezione III discute brevemente diversi schemi di controllo del canale UWA qualità che può avvantaggiare i programmi FEC. Sezioni IV- Revisione V schemi di trasferimento affidabili proposti rispettivamente per i dati livello di collegamento, livello di rete e livello di trasporto. Un comp viene condotta una discussione approfondita sugli schemi esaminati nella sezione VII, evidenziando le questioni rimanenti necessariamente da essere ulteriormente affrontato. Il paper si conclude nella Sezione VIII.

II. FONDAMENTALI COMPONENTI

Reliabile TRASFERIMENTO

Questa sezione esamina brevemente l'architettura e l'errore tipico schemi di controllo utilizzati per fornire un trasferimento dati affidabile.

A. Architettura per un trasferimento affidabile

Le principali funzionalità utilizzate per supportare un trasferimento affidabile sono solitamente distribuiti nei quattro strati inferiori dell'apertura modello di interconnessione di sistema (OSI) e può essere raggruppato in due livelli: livello di collegamento e del livello del percorso, come illustrato in Fig. 1. Le funzioni a livello di collegamento tentano di fornire una trasmissione affidabile sui collegamenti tra nodi vicini, principalmente combattendo errori di trasmissione causati anche da rumori e interferenze come collisione del telaio. Le funzioni a livello di percorso mirano a fornire trasferimento affidabile end-to-end su percorsi attraverso la rete, si occupa principalmente di perdite di pacchetti che si verificano durante il loro viaggi verso le loro destinazioni.

Le funzioni a livello di collegamento sono distribuite sul livello fisico per il livello di collegamento dati (DLL). Le funzioni del livello fisico sono utilizzato per la qualità del canale e il controllo degli errori. La prima parte tenta di migliorare la capacità del canale contro vari fattori deterioramento della qualità del canale, utilizzando la modulazione / demodulazione e l'allineamento delle interferenze [12], e sfruttando la trasmissione subacquea guadagni di sito tramite antenna intelligente (ad esempio, [13]) e ingressi multipli Tecnologie a uscita multipla (MIMO) [14]. La seconda parte applica principalmente la codifica del canale per consentire al ricevitore di correct errori al fine di minimizzare gli errori di ricezione, tipicamente con Schemi FEC. Tuttavia, è difficile e non conveniente affinché il livello fisico garantisca una ricezione senza errori. Quindi, si applica la DLL, in particolare il sottolivello di controllo del collegamento logico ARQ per rimediare a questa parte per una ricezione priva di errori tramite collegamento ical tramite ritrasmissione. ARQ può essere utilizzato anche per il ripristino fotogrammi in collisione che si verificano su questo livello.

Le funzioni a livello di percorso includono il controllo dell'affidabilità hop-by-hop controllo sul livello di rete e controllo dell'affidabilità end-to-end lo strato di trasporto. Quando i pacchetti senza errori viaggiano attraverso il file rete, potrebbero verificarsi congestione, che porta a pacchetti perdita. In questo caso, una ritrasmissione hop-by-hop del perduto

¹ Per semplificare la discussione d'ora in poi, "pacchetto" viene utilizzato come protocollo generale unità per fare riferimento al frame del livello di collegamento dati, al pacchetto della rete livello o il segmento del livello di trasporto.

i pacchetti possono essere eseguiti con uno schema ARQ simile a quello degli uomini sopra, cioè, il nodo a monte del collegamento ritrasmette il file pacchetti persi nel nodo a valle. Tuttavia, questo tipo di implementazione complica il nodo di rete. In pratica, il controllo dell'affidabilità hop-by-hop potrebbe non essere adottato se un end-to-

capacità di codice costante come i codici Tornado [17], che come ever non è adatto per canali altamente dinamici. Un altro tipo di tale schema, chiamati codici senza topi [18], rilascia tale costrinamento come descritto di seguito. Non vi è alcun limite teorico al numero di pacchetti di codifica da trasmettere come ridondanza

è in atto il controllo dell'affidabilità finale, che viene effettivamente adottato da la rete TCP / IP. Con una trasmissione end-to-end affidabile ity control (eg, TCP), uno schema ARQ viene eseguito tra una coppia sorgente-destinazione senza coinvolgere alcun nodo di inoltro (ad esempio, router). Cioè, il nodo di origine continua a ritrasmettere un file pacchetto fino a quando non ha ricevuto un riconoscimento positivo su pacchetto inviato, soggetto a un numero massimo di ritrasmissioni. Notare che, non è necessario per un'affidabilità end-to-end con schema trol per presumere la disponibilità di qualsiasi controllo di affidabilità schemi sugli strati inferiori. In particolare nella rete TCP / IP lavoro, TCP esegue sia il controllo dell'affidabilità della trasmissione che controllo della congestione, che rende il livello IP molto semplice e robusto.

B. Schemi tipici di controllo degli errori

Gli schemi tipici includono FEC e ARQ, che sono principalmente diverso in termini di chi (il mittente o il ricevitore) è responsabile della correzione degli errori come illustrato in Fig. 2.

1) *FEC*: Con FEC, è il ricevitore che corregge gli errori in base alla ridondanza ricevuta dal mittente per ridurre al minimo errori di bit nel processo di comunicazione. Codici di cancellazione [7] siamo Codici FEC utilizzati nei canali di cancellazione binari, se trasmessi i dati possono scomparire, mentre i canali di comunicazione wireless sono in genere canali di cancellazione. Questo tipo di codici può essere formato a livello di bit o di pacchetto. Codici di cancellazione a livello di bit per FEC a livello di bit vengono spesso utilizzati per la codifica dei canali [15], quale utilizza bit ridondanti per rilevare e correggere gli errori di bit ricevuti segnali. Diversi schemi di codifica lineare, per i quali qualsiasi linear combinazione di parole in codice è ancora una parola in codice, vengono utilizzati per codificare casualmente dello strato è la stessa di quella del corrispondente codice non DLT [25].

2) *ARQ*: Con ARQ, il mittente è responsabile dell'errore correzione ritrasmettendo i pacchetti ricevuti senza successo per assicurare l'affidabilità della trasmissione. A tal fine, un pacchetto ha bisogno per includere i bit di controllo degli errori insieme ai bit di dati come ridondanza. Questi bit sono solitamente disposti sotto forma di ridimensionamento ciclico controllo di dancy (CRC), che vengono utilizzati dal ricevitore per rilevare errori [2]. Se un pacchetto fallisce nel test CRC, viene considerato errato. Entrambi gli schemi di riconoscimento (ACK) e di temporizzazione vengono utilizzati per l'implementazione. Un ACK è un breve messaggio inviato dal destinatario al mittente corrispondente per indicarlo ha ricevuto con successo il pacchetto trasmesso dal mittente. Se il mittente non può ricevere l'ACK previsto su ciò che era inviato allo scadere del timeout, ritrasmette lo stesso pacchetto fino a quando non riceve l'ACK o il numero di nuovi tentativi supera un numero predefinito. Un riconoscimento negativo (NACK) può anche essere inviato dal destinatario per dire al mittente cosa hanno ricevuto con successo.

Gli schemi ARQ possono essere suddivisi in livello di collegamento e livello di percorso come illustrato in Fig. 2. L'ARQ a livello di collegamento viene utilizzato da una coppia di nodi vicini per eliminare gli errori di bit residui e ritrasformare con frame in collisione. L'ARQ a livello di percorso può essere eseguito da

al ricevitore, e i pacchetti codificati possono essere inviati tanti se necessario fino a quando i pacchetti non sono stati completamente ripristinati, ad esempio codici fontana [19], [20].

Codici fontane digitali [21] sono più adatti per altamente canali UWA dinamici, perché il numero di codifiche pacchetti come ridondanza possono essere regolati al volo fino al completo si ottiene il recupero, rendendo il processo di diffusione dei dati a adattarsi a diversi tassi di errore. Inoltre, un efficiente attrezzo la creazione di codici fontana può essere realizzata con disponibile algoritmi di codifica e decodifica [19], [20] per mezzo di semplici operazioni XOR [22], [23]. La trasformazione di Luby (LT) codici [19] sono i primi codici fontana pratici, con i seguenti abbassando i passaggi di codifica. 1) Il codificatore sceglie prima in modo casuale un numero di pacchetti di input (che è inferiore al numero totale ber di pacchetti di input e chiamato grado) per il pacchetto codificato secondo una probabilità di distribuzione dei gradi. 2) Il selezionato numero di pacchetti viene scelto in modo indipendente e casuale da tutti i pacchetti di input e vengono XORed insieme per generare mangiato un pacchetto codificato LT. La distribuzione dei gradi di codifica è la chiave per ottenere un'elevata probabilità di successo della decodifica.

In uno scenario di comunicazione dual-hop, il LT scomposto I codici (DLT) possono ridurre il calcolo della decodifica del nodi di terminazione. Il tradizionale LT utilizza la codifica concatenata per ridurre il carico di calcolo dei nodi di trasmissione, che è sufficiente eseguire un secondo livello di codifica del codice fontana pacchetti senza decodifica. Questa disposizione raddoppia il putazione nei nodi di destinazione [24]. Quindi, DLT consiste di due livelli di codifica dei dati, che vengono eseguiti laboriosamente dalla sorgente e dai nodi di trasmissione. È mostrato analiticamente che le prestazioni asintotiche della DLT con due pacchetti casuali dello strato è la stessa di quella del corrispondente codice non DLT [25].

2) *ARQ*: Con ARQ, il mittente è responsabile dell'errore correzione ritrasmettendo i pacchetti ricevuti senza successo per assicurare l'affidabilità della trasmissione. A tal fine, un pacchetto ha bisogno per includere i bit di controllo degli errori insieme ai bit di dati come ridondanza. Questi bit sono solitamente disposti sotto forma di ridimensionamento ciclico controllo di dancy (CRC), che vengono utilizzati dal ricevitore per rilevare errori [2]. Se un pacchetto fallisce nel test CRC, viene considerato errato. Entrambi gli schemi di riconoscimento (ACK) e di temporizzazione vengono utilizzati per l'implementazione. Un ACK è un breve messaggio inviato dal destinatario al mittente corrispondente per indicarlo ha ricevuto con successo il pacchetto trasmesso dal mittente. Se il mittente non può ricevere l'ACK previsto su ciò che era inviato allo scadere del timeout, ritrasmette lo stesso pacchetto fino a quando non riceve l'ACK o il numero di nuovi tentativi supera un numero predefinito. Un riconoscimento negativo (NACK) può anche essere inviato dal destinatario per dire al mittente cosa hanno ricevuto con successo.

Gli schemi ARQ possono essere suddivisi in livello di collegamento e livello di percorso come illustrato in Fig. 2. L'ARQ a livello di collegamento viene utilizzato da una coppia di nodi vicini per eliminare gli errori di bit residui e ritrasformare con frame in collisione. L'ARQ a livello di percorso può essere eseguito da

Fig. 2. Categorie di schemi di controllo degli errori tipici.

TABELLA I

livello di rete per consentire a ciascun collegamento in un percorso di eseguire il livello di collegamento. Il protocollo ARQ, chiamato ARQ hop-by-hop. Può essere eseguito anche da livello di trasporto per richiedere l'origine e la destinazione per eseguire uno schema ARQ come TCP, chiamato end-to-end ARQ, che in linea di principio è simile all'ARQ a livello di collegamento. Pertanto, di seguito, introduciamo più il tipico protocolli ARQ a livello di collegamento, che includono Stop-and-Wait (SW-ARQ), Go-back-N (GBN-ARQ) e Selective Repeat ARQ (SR-ARQ).

a) *SW-ARQ*: Con SW-ARQ, dopo aver trasmesso un dato pacchetto, il mittente non può trasmettere altri pacchetti di dati fino a quando ha ricevuto l'ACK per quello precedentemente trasmesso. Il destinatario deve trasmettere immediatamente un ACK al mittente dopo aver ricevuto con successo il pacchetto trasmesso da il mittente. Una volta che il mittente riceve l'ACK, continua a farlo trasmettere un altro pacchetto, se presente. Se il mittente non ha ricevuto l'ACK previsto dopo il timeout, ritrasmetterà lo stesso pacchetto di dati. Il principale punto debole di SW-ARQ è lo spreco delle risorse del canale causate dal blocco della trasmissione altri pacchetti durante il periodo di attesa per l'ACK previsto, soprattutto quando il ritardo di propagazione è elevato negli UWAN.

b) *GBN-ARQ*: con GBN-ARQ, un mittente può continuare per trasmettere pacchetti di dati anche senza ricevere gli ACK su quelli trasmessi in precedenza. Il ricevitore tiene traccia di il numero di sequenza del prossimo pacchetto di dati che si aspetta ricevere e lascia cadere qualsiasi altro. Simile a SW-ARQ, una volta il ricevitore riceve con successo il pacchetto di dati previsto, esso riconosce il mittente della ricezione. Se il mittente trova che un pacchetto di dati trasmesso non è stato ricevuto con successo-completamente tramite timeout o un NACK, torna a questo errore pacchetto di dati e ritrasmette non solo questo pacchetto ma tutti quelli che sono stati trasmessi in seguito.

c) *SR-ARQ*: la principale differenza di SR-ARQ da GBN-ARQ è che il ricevitore continua ad accettare pacchetti di dati e riconoscere ciascuno che è stato ricevuto con successo anche quando vengono ricevuti pacchetti errati. Il mittente ritrasmette solo quei pacchetti che non sono stati riconosciuti positivamente dal ricevitore.

C. FEC contro ARQ

La tabella 1 elenca le caratteristiche principali di FEC e ARQ. FEC può produrre un breve ritardo per il controllo degli errori perché lo fa

non richiede la ritrasmissione di pacchetti errati. Nessun feedback canale è richiesto in modo che possa essere utilizzato in situazioni in cui la ritrasmissione è costosa o addirittura impossibile, come ad esempio sive dispositivi di memorizzazione dei dati per la protezione dai danni. Però, la trasmissione di grandi ridondanze consuma più canali risorse ed energia e sofisticati algoritmi di codifica lo sono necessario per un compromesso ottimale tra l'efficienza del controllo degli errori e utilizzo del canale. ARQ non richiede codifiche complesse algoritmi né grande ridondanza per il controllo degli errori. Tuttavia, a il canale di feedback è necessario per il riconoscimento e l'errore il ritardo di controllo è più lungo a causa della ritrasmissione.

Nota che FEC può ottimizzare mentre ARQ può garantire affidabilità di trasferimento. Possono coesistere in un sistema perché FEC può ridurre il numero di ritrasmissioni e accorciare ritardo nel controllo degli errori, mentre ARQ alla fine garantisce per l'affidabilità. Soprattutto nelle reti wireless RF a strati (RWN), una FEC a livello di bit viene solitamente implementata livello ical mentre ARQ sul livello di collegamento dati per fornire trasferimento affidabile a livello di collegamento contro errori di bit residui e collisioni sion. Inoltre, ARQ e protocolli FEC a livello di pacchetto sono implementati anche sui livelli sopra il livello di collegamento dati a fornire un trasferimento affidabile end-to-end contro la perdita di pacchetti.

III. C hannel Q UALITÀ C ONTROLLO

La qualità del canale è la base per una comunicazione affidabile, e influenzato dalle prestazioni di ricezione del segnale che possono essere migliorato dalla modellazione dei canali contro il rumore e le interferenze. Una migliore qualità del canale può ridurre la ridondanza richiesta da FEC, mentre una maggiore capacità del canale può consentire più riduzioni dancy da utilizzare da FEC quando necessario. Diversi schemi

Pagina 5

1040

SONDAGGI E TUTORIAL SULLA COMUNICAZIONE IEEE, VOL. 20, NO. 2, SECONDO TRIMESTRE 2018

sono stati studiati per modellare i canali UWA e migliorarli la loro qualità e capacità e vengono introdotti alcuni esempi sotto per aiutare a comprendere l'intero archivio di trasferimento affidabile tecture di cui sopra a seguito di una breve descrizione su UWA canali.

A. Canali acustici subacquei

Le seguenti caratteristiche caratterizzano i canali UWA come sommarized in letteratura, e molti esempi sono illustrati da misurazioni condotte in [4].

1) *Velocità di propagazione lenta e variabile nel tempo*: acustica la velocità di propagazione delle onde nell'acqua di mare è di circa 1,5 km / s, ed è ulteriormente influenzato da temperatura, salinità e profondità [26], portando a velocità di propagazione variabili nel tempo. Propagazione lenta la velocità causa un effetto Doppler non trascurabile in una UWAN mobile come discusso nella sezione III-A.4, con conseguente notevole spostamento di qualità e distorsione indotta dal movimento [27], quale può contribuire alla dinamica della qualità del canale.

2) *Canale piccolo e affollato*: solo un'acustica limitata la larghezza di banda massima di kHz è fattibile per la comunicazione subacquea nication, ed è inoltre condiviso da altre applicazioni subacquee come la localizzazione e la navigazione. La capacità del canale è influenzato dalla conversione del segnale-calore affidabile in frequenza e perdita di diffusione, che aumentano entrambe con la propagazione del segnale distanze, limitando la velocità di trasmissione a lungo raggio. Realizzabile

la velocità relativa tra la coppia trasmettitore-ricevitore e V_x è prop-velocità di agazione. Questo effetto provoca una distorsione indotta dal movimento di diffondere la larghezza di banda (B) del segnale ricevuto a $(1 + \alpha) B$ (chiamato diffusione Doppler) e spostando la frequenza di ricezione quency (f) da un offset di αf (chiamato spostamento di frequenza) [27]. Nelle UWAN, $\alpha = 2 \times 10^{-3}$ per un veicolo subacqueo in movimento a $v = 3 \text{ m/s}$, portando a una distorsione che contribuisce alla dinamica dello stato del canale, che richiede la sincronizzazione della frequenza per ricezione efficiente.

5) *Canale a banda larga*: sistemi la cui larghezza di banda è sono inferiori all'1% della frequenza centrale dei segnali chiamato banda stretta, e quelli tra l'1% e il 20% lo sono chiamato banda larga, mentre gli altri sono chiamati banda ultra larga (UWB) [3]. Bande di frequenza popolari utilizzate dai componenti acustici le comunicazioni variano a seconda degli intervalli di comunicazione. Per esempio, una banda di frequenza popolare è di circa 8 ~ 14 kHz per le gamme fino a pochi chilometri, mentre il limite di frequenza superiore è 10 ~ 100 kHz [28], [29]. La larghezza di banda di un segnale acustico è spesso dell'ordine della sua frequenza centrale, rendendo acustica segnali di tic quasi-UWB [27]. Pertanto, i canali UWA possono essere qualificato come banda larga almeno [3]. Questo rende il popolare nar-modello di canale rowband inappropriato [4]. Le misurazioni e analisi dell'effetto di propagazione acustica condotta in [3] e [4] dimostrano le carenze del canale a banda stretta modelli in questo caso.

I canali UWA a banda larga sono tipicamente caratterizzati da

velocità dati dei canali acustici rispetto alle distanze di comunicazione sono i seguenti: circa 100 kbit / s per brevi distanze ≤ 1 km, 10 ~ 50 kbit / s per distanze medie 1 ~ 10 km e 10 kbit / s a 20 km [28].

3) *Canale inaffidabile e variabile nel tempo*: Propagazione multipercorso gation fa sì che un segnale da una sorgente arrivi al ricevitore attraverso percorsi diversi con sfasamento [29]. È causato da acous-segnale tic riflesso da fondali, superfici e oggetti fluttuanti ecc. Questi segnali che arrivano simultaneamente fuori fase possono interferire con quelli per i simboli successivi. Un altro fattore a influenzare la qualità del canale UWA sono i rumori sott'acqua abbondanti, che include principalmente il rumore ambientale dell'oceano e il rumore autonomo di navi [30] - [33]. In genere influenzano la comunicazione acustica come segue: rumore di turbolenza per la comunicazione ≤ 10 Hz, rumore di spedizione per quello che va da 10 a 100 Hz, wave e altri movimenti superficiali causati dal vento e dalla pioggia per questo 100 Hz ~ 100 kHz e rumore termico per quello > 100 kHz, rispettivamente [33], [34].

La qualità del canale UWA può cambiare in brevissimo tempo intervalli [35]. Una misura di un collegamento lungo 3000 m in un file La colonna d'acqua profonda 100 m mostra le oscillazioni del età rapporto segnale-rumore (SNR) di un equalizzatore di canale circa 9 ~ 5. 7 dB entro 0,5 minuti circa e circa 9 ~ 3. 5 dB in meno di 1,5 minuti [36]. Mostra anche un BER grande oscillazioni in brevi intervalli di tempo come segue: BER scende da 0,11 (con un equalizzatore) e 0,06 (con quattro equalizzatori) a $8 \cdot 10^{-4}$ entro circa 2 s, entrambi con incremento periodico. Come discusso in [37], il tempo di coerenza del canale può essere in un ordine di 40 ms.

4) *Distorsione Doppler non trascurabile*: a causa della lentezza velocità di propagazione, l'effetto Doppler diventa più grave come la sua grandezza è proporzionale al rapporto $\alpha = \frac{v}{v_x}$, dove v è il

statistiche di dissolvenza dipendenti dalla frequenza inclusa la media potenza di ricezione, ritardi variabili nel tempo e dipendenti dalla frequenza tassi di fluttuazione. In questo caso, la struttura del senso ampio scattering stazionario non correlato, sviluppato per sistemi a banda stretta che utilizzano scattering correlato per indicare rubinetti correlati, non è applicabile [4]. Dissolvenza dipendente dalla frequenza le statistiche includono perdite di percorso dipendenti dalla frequenza (cioè, bottom loss e surface loss), assorbimento di acqua di mare e dispersione nella colonna d'acqua. Frequenza piatta e selettiva in frequenza lo sbiadimento può verificarsi in ambienti multipath, dove un cambiamento nel può avere percorsi con differenti spostamenti Doppler, che portano a tassi di fluttuazione dipendenti dalla frequenza [4].

B. Proposte per i canali UWA

Questa sezione illustra il controllo della qualità del canale UWA dal punto di vista della modellazione dei canali, modulazione / demodulazione e sfruttamento della diversità spaziale come illusoria trati in Fig. 3. Queste proposte possono utilizzare congiuntamente l'interferenza allineamenti, controllo della potenza e comunicazione cooperativa come riassunto nella tabella II.

1) *Channel Modeling*: come accennato in precedenza, UWA channels variano nel tempo con statistiche del canale dipendenti dalla frequenza tic, che rendono difficile e complessa la modellazione dei canali. UN uno studio statistico dimostra che il paesaggio sonoro in ambienti caldi l'acqua bassa è impulsiva a causa degli schiocchi creati dallo schiocco popolazione di gamberetti che vi abita e la realizzazione del rumore mostra anche dipendenza tra campioni ravvicinati [38]. La memoria implicita di tale processo fa sì che gli impulsi a raggruppare insieme per rendere il processo esplosivo. Tuttavia, questi caratteristiche non possono essere caratterizzate da un rumore gaussiano i sistemi di comunicazione RF digitali tipicamente utilizzati. Poi un

Fig. 3. Classificazione delle proposte per un trasferimento dati affidabile negli UWAN.

rumore α -sub-gaussiano stazionario con modello di ordine di memoria m , α SGN (m), è discusso in [39] per realizzare sistemi acustici operando in acque poco profonde calde per essere resistenti agli impulsi rumore sivo causato dallo schiocco di colonie di gamberetti [40]. Questo modello caratterizza sia l'impulsività che la prontezza di un processo di rumore e un rilevatore ottimale viene quindi derivato su di essa.

Lo sono anche le caratteristiche di errore burst dei canali UWA analizzato in [41], dove un modello di canale basato su un semplice Modello Fritchman [42] è derivato. Il modello Fritchman è un catena di Markov a stati finiti partizionata (FSMC) [43] con uno stato di errore e $N - 1$ stati senza errori. È usato per modellare caratteristiche di errore nei canali di dissolvenza variabili nel tempo con lo stato del canale è l'uscita di una catena di Markov. Il parametro eteri del modello proposto sono derivati dalla sperimentazione dati, mentre la distribuzione degli errori burst e il problema le abilità vengono calcolate e confrontate con quelle sperimentali risultati. Sono necessari ulteriori studi per realizzare il modello adattabilità in tempo reale a canali UWA variabili nel tempo.

2) *Modulazione*: un quadro di progettazione congiunta di FEC e la modulazione è discussa in [44] e [45] per massimizzare il

tempo con bassa attenuazione e la loro energia è paragonabile con quello del segnale informativo. Questi effetti gravemente limitare le prestazioni di modulazione [46]. Pertanto, un adattivo lo schema di rilevamento acustico della modulazione di posizione dell'impulso (PPM) è proposto in [47] per ridurre il BER per acque molto basse una considerazione congiunta di sincronizzazione, conoscenza del canale e interferenze esterne. Tale progetto congiunto può subire il problema simile come menzionato sopra.

Un approccio di modulazione Super-Nyquist (SNQ) con SNQ la segnalazione è studiata in [48] per fornire un rendimento elevato nei canali UWA. Nella segnalazione SNQ, possono essere velocità più elevate ottenuto aumentando la velocità di segnalazione, che è disaccoppiata dalla larghezza di banda di trasmissione e può notevolmente superare il larghezza di banda di trasmissione [49]. Tuttavia, l'introduzione della segnalazione SNQ duce una grave interferenza inter-simbolo (ISI), che ne limita applicazione pratica nei sistemi RF. In realtà in UWA channels, grave ISI esce anche anche nel caso di segnalazione Nyquist in modo che l'ISI aggiuntivo introdotto utilizzando il sig-naling è molto meno significativo. In quanto tale, la segnalazione SNQ è un possibile candidato per i futuri modem UWA. Quando un basso un canale di feedback della velocità come quello per ARQ è disponibile per

tasso di bit ricevuti con successo. Un sistema di modulazione può decidere il miglior schema di modulazione e la sua costellazione massimizzare la velocità di trasmissione o ridurre al minimo il canale BER ad alta efficienza energetica. Le prestazioni di comunicazione mance può essere ottimizzato selezionando congiuntamente il codice appropriato schema per FEC (ad esempio, BCH) e lo schema di modulazione. Questo tipo di design cerca di decidere una combinazione ottimale dello schema di modulazione e della sua costellazione nonché potenza di trasmissione, tipi FEC e la sua forza per ridurre al minimo sia BER che tasso di errore del pacchetto (PER). Una croce distribuita la soluzione di comunicazione a livello viene ulteriormente studiata prendendo in tenere conto delle principali funzioni di rete di altri livelli, compreso il controllo di accesso medio (MAC) e il routing, condivisione efficiente ed equa del mezzo UWA. Tale congiuntamente schema progettato inevitabilmente complica il processo decisionale, e la quantità di tempo necessaria per prendere una decisione ottimale lo farà influenzarne la fattibilità in tempo reale.

In acque poco profonde, un ricevitore può ricevere più repliche dello stesso segnale a causa della riflessione sulla superficie dell'acqua e il fondo così come lo scattering da eterogeneo acqua. Questi segnali si sovrappongono e si deformano il segnale in ampiezza e fase. Sono anche vicini

trasmettitori per ottenere informazioni sullo stato del canale (CSI), molto è possibile ottenere una velocità target più elevata per una trasmissione affidabile.

Allo stesso modo in [50], viene utilizzato anche un canale di feedback per consentire un trasmettitore per ottenere il limite CSI (ad esempio, BER) al fine di eseguire un algoritmo in tempo reale per l'assegnazione della ridondanza a ciascuno trasmissione su un collegamento. La quantità di ridondanza è scelta secondo un framework di ottimizzazione dipendente da canale BER e il numero di bit di informazione da trasferire mittend. Tuttavia, questo schema si basa sulla disponibilità di CSI e un canale di feedback.

Uno schema di modulazione adattativa per i canali UAW è lyzed in [51], assumendo che un trasmettitore abbia un CSI perfetto, cioè, l'SNR per la trasmissione corrente. Questo schema ci prova per regolare la dimensione della costellazione della modulazione utilizzata per ottimizzare adattare le velocità di trasmissione per condizioni di canale variabili nel tempo secondo il CSI. Sia risultati analitici che simulazioni dimostrare che il sistema può acquisire in modo soddisfacente le statistiche di il canale se la stima dei parametri rilevanti (es. SNR) si ripete nel caso di variazione di canale macroscopica zioni. Le prestazioni di un sistema utilizzando congiuntamente tre di base schemi di modulazione digitale (cioè, PSK, QPSK e FSK) e diversi schemi di codifica, ad esempio, Trellis Coded Modulation (TCM),

Pagina 7

1042

SONDAGGI E TUTORIAL SULLA COMUNICAZIONE IEEE, VOL. 20, NO. 2, SECONDO TRIMESTRE 2018

Codifica Viterbi, codifica Turbo e LDPC, nei canali UWA sono stati indagati in [52] attraverso la valutazione numerica. L'osservazione più significativa è che il BER può essere ridotto scegliendo una forza del segnale forte, usando lento e robusto schemi di modulazione o applicazione di schemi di codifica dei canali.

3) *Demodulazione*: nelle RWN, equalizzatori multicanale sfruttare diversi segnali di segnale ricevuti su spazialmente separati antenne per ottenere un ulteriore miglioramento del segnale e meglio cancellazione delle interferenze, in modo che i ricevitori multicanale siano sfruttato per migliorare la velocità di comunicazione acustica negli UWAN. Equalizzazione multicanale a un singolo idrofono (equivalente alle antenne utilizzate nelle RWN) è studiato in [53]. Equalizza bande di frequenza congiuntamente contigue recanti lo stesso simbolo flussi con un processo di equalizzazione e spargimento congiunto. Per una rapida convergenza e tracking, l'equalizzatore multibanda utilizza un algoritmo di aggiornamento ricorsivo dei minimi quadrati (RLS), risultato ing in una complessità ridotta di un fattore pari al numero di bande di frequenza dotando tutte le bande di Schemi RLS e minimizzazione di un errore quadratico medio comune. Questi algoritmi vengono testati su dati acustici provenienti dal Baltico Sea, che mostra un miglioramento dell'SNR complessivo in tre diversi canali.

Per gestire il rumore impulsivo in acque poco profonde calde menzionate nella sezione III-B1, una decisione adattiva basata sulla stima del canale per identificare l'equalizzatore di feedback (CEB-DFE) e sopprimere l'impulso di rumore [54] seguendo un framework in grado per generare sistematicamente algoritmi adattivi robusti sparsi proposto per RWN in [55]. Il CEB-DFE presume che il il rumore della banda passante può essere modellato da una distribuzione definita mezzo della sua funzione caratteristica $\psi(\omega) = e^{-\delta|\omega|^\alpha}$, dove $\alpha \in (0, 2]$ è l'esponente caratteristico che controlla il cielo iness della funzione di densità di probabilità (pdf) code, mentre δ è il parametro di scala che controlla la diffusione del pdf in giro zero. Gli stimatori basati sui frattali [56] vengono utilizzati per stimare questi parametri dal rumore ambientale.

4) *Diversità di trasmissione*: come ampiamente dimostrato nel wireless RF sistemi di comunicazione, trasmettere la diversità può essere utilizzato segnale di combattimento dissolvenza e ridurre al minimo ISI per indipendentemente segnali trasmessi perché la probabilità che tutti loro svanirà allo stesso tempo è molto piccolo. MIMO è un file tecnica ampiamente accettata che può migliorare la capacità del canale qualità e qualità utilizzando la diversità di trasmissione con quanto segue presupposti chiave. Il canale è invariante durante il trans-missione di un telaio, e il CSI è conosciuto perfettamente dal ricevitore [57], insieme al presupposto implicito che il target ottenere la risposta all'impulso (TIR) l'energia è sempre concentrata

per MIMO per ottenere un miglioramento delle prestazioni [5], [61]. Un approccio simile al MIMO virtuale [62] è discusso in [61], utilizzando ampiamente nodi distribuiti nelle UWAN per fornire diver sorgente virtuale capacità di realizzare una diversità di trasmissione sufficiente. Viene mostrato con dati in mare che due fonti sono sufficienti per minimizzare il BER. Un approccio simile è discusso anche in [63], dove uno schema ARQ ibrido basato su MIMO (uwMIMO-HARQ) è si propone di sfruttare la diversità di trasmissione offerta dal multiplo antenne. Il coordinamento delle sorgenti distribuite è a questione chiave e difficile per ottenere prestazioni MIMO elevate perché la sincronizzazione della trasmissione da fonti diverse è necessario.

IV. D ATA L INK L AYER

Schemi di trasferimento affidabili implementati sul collegamento dati tentativo di livello di fornire una trasmissione affidabile a 1 hop tra due nodi adiacenti, tipicamente inclusi quelli che migliorano SW-ARQ, abilitando SR-ARQ e utilizzando ARQ ibrido oltre a ACK implicito come indicato in Fig. 3. Le proposte sono riassunte nella tabella II.

Per i collegamenti half-duplex forniti dalla maggior parte dei modem UWA in grado, SW-ARQ può essere applicato direttamente, ma il suo throughput è basso perché il canale è inattivo durante il periodo di attesa per ACK come accennato in precedenza. In realtà, la sua efficienza dipende anche dalle dimensioni dei pacchetti, dal ritardo del collegamento e qualità del collegamento e esiste una dimensione ottimale del pacchetto per il file massima efficienza [64]. Pertanto, molti schemi hanno stato proposto di migliorarne le prestazioni negli UWAN. Come accennato in precedenza, GBN-ARQ e SR-ARQ possono superare le prestazioni SW-ARQ mediante trasmissione duplex di pacchetti e ricezione ACK zione con collegamenti full-duplex. Quindi, ci sono diverse proposte con l'obiettivo di creare collegamenti UWA full-duplex.

Per supportare il funzionamento full duplex, un canale può essere suddiviso in due sottocanali: uno per la trasmissione e l'altro per la ricezione. Ciò può essere ottenuto utilizzando entrambe le divisioni di frequenza duplex (FDD) o duplex a divisione di tempo (TDD). Tuttavia, divid- zione di un canale UWA con larghezza di banda limitata con FDD si ridurrà velocità dati perché è necessaria una banda di guardia tra due canali. TDD richiede la sincronizzazione dell'ora, che è un'altra problema difficile negli UWAN [65], [66]. Inoltre, il tempo utilizzato da un nodo per passare dalla trasmissione alla ricezione gli stati influiscono sull'utilizzo del canale. Per entrambi, possibile asimmetria I carichi di traffico ric in due direzioni devono essere considerati ulteriormente al fine di mantenere l'utilizzo del canale.

in rubinetti adiacenti [58]. Tuttavia, i canali UWA stanno rapidamente cambiando, mentre le loro risposte all'impulso sono spesso scarse.

Riferimenti [58] e [59] sviluppano una parziale sparsa MIMO equalizzatore di risposta (SPRE) utilizzando l'algoritmo RLS per canali UWA orizzontali in acque poco profonde. Utilizza una TIR sparsa, i cui rubinetti coincidono con gli arrivi multipath dell'origine canale inal e una struttura che unisce SPRE e convinzione propagazione (BP) per un sistema codificato può ridurre il risultato-tassi di errore. BP si riferisce a un quasi ottimale, basato su grafici e algoritmo di rilevamento dei simboli a bassa complessità discusso in [60].

In molti sistemi sottomarini, gli spazi limitati lo rendono difficile per implementare line array per avere la necessaria diversità

A. SW-ARQ migliorato

Uno schema SW-ARQ è implementato nella rete Seaweb-lavoro [68], che adotta un protocollo MAC basato su una mano shake protocollo utilizzando due brevi frame: Request-To-Send (RTS) e Clear-To-Send (CTS). Il trasmettitore invia prima un RTS al destinatario, che risponderà con un CTS al ricevimento ing l'RTS. Solo dopo aver ricevuto il CTS, il trasmettitore invia il frame di dati. Dopo aver ricevuto un frame di dati danneggiato, il ricevitore invia un frame NACK al trasmettitore per richiederlo una ritrasmissione del frame di dati corrispondente. comunque, il le prestazioni complessive del sistema non sono così soddisfacenti principalmente a causa

Pagina 8

JIANG: SUL TRASFERIMENTO DATI AFFIDABILE NEGLI UWAN: INDAGINE DALLA PROSPETTIVA DEL NETWORKING

1043

Fig. 4. Tipo-I HARQ per la finestra di invio $M = 6$ [67]: dopo che sono stati trasmessi 6 pacchetti di dati, il mittente passa all'ascolto dell'ACK di ritorno. Per errore pacchetti 2 e 5, il pacchetto 2 può essere corretto dal destinatario, mentre il pacchetto 5 viene ritrasmesso dal mittente nella successiva finestra di invio, insieme ai nuovi dati pacchetti 7 ~ 11.

al basso utilizzo della larghezza di banda causato dalla divisione di frequenza Protocollo ad accesso multiplo (FDMA).

I seguenti meccanismi sono stati proposti per migliorare SW-ARQ contro le caratteristiche peculiari degli UWAN menzionati prima. Tipicamente, con la trasmissione di gruppo o il treno di pacchetti approcci, un gruppo di pacchetti può essere trasmesso senza in attesa del riconoscimento su ogni pacchetto uno per uno. In realtà, questo tipo di miglioramento è simile alla modifica di SR-ARQ per eseguire collegamenti UWA half-duplex in cui discutere Sezione IV-B. Notare che questo tipo di schema non elimina inate il tempo di attesa per la restituzione degli ACK ma si riduce solo tale tempo.

Uno dei primi schemi di treni a pacchetto è discusso in [6], utilizzando il riconoscimento cumulativo. Cioè, una trasmissione ter invia pacchetti M e poi si ferma ad aspettare l'ACK. Di conseguenza, il ricevitore attenderà la durata di un pacchetto M . e poi invia un ACK per tutti quelli ricevuti con successo-completamente. Una volta confermato positivamente, il trasmettitore invierà un altro gruppo di pacchetti M , inclusi quelli non riconosciuti pacchetti e nuovi pacchetti. Riconoscimento sia positivo che negativo sono stati discussi schemi di giudizio. Come analizzato in [2], il l'efficienza del throughput di questo tipo di schema può essere massimizzata selezionando le dimensioni ottimali dei pacchetti in funzione della trasmissione distanza, della velocità di trasmissione e la probabilità di errore, così come M . Pertanto, come impostare le dimensioni ottimali dei pacchetti in linea in modo adattivo [73] per UWAN multi-hop. Ogni nodo utilizza tre differenti ent bande di frequenza: una per la trasmissione di pacchetti, un'altra per ricevere pacchetti dal suo predecessore e l'ultimo per ricevere gli ACK dal suo successore. In questo caso, un nodo può trasmettere più pacchetti non riconosciuti senza attendere-ing per ACK. I pacchetti ricevuti correttamente possono essere inoltrati verso la destinazione senza effetto sulla ricezione da parte del predecessore. È necessaria una fascia di guardia tra i due canali e il canale di feedback sarà sottoutilizzato se non c'è traffico sufficiente dal destinatario al mittente.

Allo stesso modo, un SW-ARQ continuo o un ARQ simile a una giocoleria (J-ARQ) è studiato in [69] per sfruttare ulteriormente lungo ritardo di propagazione negli UWAN. Consente inoltre una trasmissione ter per trasmettere continuamente M pacchetti di dati all'inizio senza attendere l'ACK previsto corrispondente a un file pacchetto di dati trasmesso in precedenza anziché il più recente trasmesso uno. L'impostazione di M aumenta con il viaggio di andata e ritorno tempo (RTT) in modo da sfruttare un lungo ritardo di propagazione. A tal fine, un nodo dovrebbe essere in grado di terminare la sua trasmissione e passa all'ascolto quando arriva il pacchetto. La precisione della misurazione RTT influisce sul protocollo eseguito formance. Studi analitici e numerici in [70] lo dimostrano

piccolo trasferimento di dati. Pertanto, viene proposto un codice senza rata J-ARQ

per superare questa limitazione, consentendo i pacchetti codificati per un file da trasmettere senza attendere gli ACK. Il il trasmettitore viene informato solo quando è stato ricevuto un numero sufficiente di pacchetti ricevuto per recuperare il file.

Simile a J-ARQ, Stop and Wait con esponenziale Protocollo di ritrasmissione (SW-MER) proposto in [71] anche consente la trasmissione di pacchetti M insieme, ma lo sono riconosciuto anche insieme. Quelli che non sono stati positivi riconosciuto verrà ritrasmesso. Tuttavia, lo schema utilizza indipendentemente da un numero predefinito di pacchetti per la ritrasmissione delle condizioni del canale, che potrebbe causare copie non necessarie di lo stesso pacchetto da ritrasmettere. Questo problema è stato risolto da uno schema di ritrasmissione adattivo proposto in [72], quale cambia il numero di copie da ritrasmettere secondo alla qualità del canale. A tal fine, il destinatario utilizza ACK ritornando al trasmettitore per indicare quali pacchetti hanno ricevuto correttamente o per errore.

B. Abilitazione di SR-ARQ

Un modo semplice per abilitare SR-ARQ negli UWAN è per creare collegamenti UWA full-duplex utilizzando FDD o TDD. Vengono discussi gli schemi GBN-ARQ e SR-ARQ basati su FDD [73] per UWAN multi-hop. Ogni nodo utilizza tre differenti ent bande di frequenza: una per la trasmissione di pacchetti, un'altra per ricevere pacchetti dal suo predecessore e l'ultimo per ricevere gli ACK dal suo successore. In questo caso, un nodo può trasmettere più pacchetti non riconosciuti senza attendere-ing per ACK. I pacchetti ricevuti correttamente possono essere inoltrati verso la destinazione senza effetto sulla ricezione da parte del predecessore. È necessaria una fascia di guardia tra i due canali e il canale di feedback sarà sottoutilizzato se non c'è traffico sufficiente dal destinatario al mittente.

Nel [74] e [75], viene stabilito un canale full-duplex basato su TDD desiderava uno schema SR-ARQ, chiamato Underwater Selective Repeat (USR), che cerca di sfruttare il lungo ritardo di propagazione

J-ARQ può fornire una buona velocità di trasmissione dei dati, ma non per

negli UWAN. Il SR richiede diverse trasmissioni di pacchetti di dati

all'interno dello stesso RTT, mantenendo il ricevimento più quando

Pagina 9

1044

SONDAGGI E TUTORIAL SULLA COMUNICAZIONE IEEE, VOL. 20, NO. 2, SECONDO TRIMESTRE 2018

è previsto che riceva ACK. L'RTT è definito come l'ora intervallo tra la trasmissione di un pacchetto dati e la ricezione del corrispondente ACK ed è stimato misurando il tempo per lo scambio di un pacchetto di dati e il corrispondente ACK. All'inizio, un nodo adotta un protocollo SW-ARQ per l'invio solo un pacchetto di dati, quindi attende il corrispondente ACK. Se non viene ricevuto alcun ACK, il nodo ripeterà quanto sopra procedura dopo un backoff. Quando viene ricevuto l'ACK, il nodo stima l'RTT, che viene utilizzato dal nodo per stimare il numero massimo di pacchetti che possono essere trasmessi prima entra nello stato in attesa di ACK. La trasmissione dei dati i pacchetti e la ricezione degli ACK sono interlacciati nel tempo così che lo stesso canale sia utilizzato per entrambe le comunicazioni dati e feedback. In realtà, sembra che USR operi ancora in a modalità half-duplex ma con tempo di attesa adattivo a RTT.

Un altro SR-ARQ migliorato per un collegamento UWA full duplex, La ripetizione selettiva con un secondo ARQ di replica, (SR) 2 ARQ, è discusso in [76]. Diverso dal classico SR-ARQ, su ricevendo un NACK, (SR) 2 ARQ pianifica due ritrasmissioni: uno immediatamente attivo e il duplicato inserito una coda aggiuntiva e da rilasciare dopo ulteriori ritrasmissioni. La coda aggiuntiva funziona come una corsia preferenziale per i pacchetti con ACK in sospeso, che verrà iniettato sul canale più spesso che con lo schema classico. Tale design mira a soddisfare le applicazioni che richiedono la consegna di pacchetti in ordine con complessa gestione del buffer.

C. Hybrid-ARQ (HARQ)

Anche gli schemi HARQ hanno attirato molta attenzione migliorare le prestazioni ARQ negli UWAN. Questo tipo di schema utilizza congiuntamente i seguenti codici di cancellazione [77] con ARQ: bit-livello FEC sul livello fisico (cioè, livello incrociato progettato) e FEC a livello di pacchetto sul livello di collegamento dati (ovvero, progettato con SR-ARQ). 1) *FEC a livello di bit*: uno sport di traffico affidabile adattivo (ADELIN) è discusso in [78] e rinominato come Adaptive Redundancy Transport Protocol (ARRTP) con più risultati presenti in [79]. Utilizza congiuntamente codici FEC a livello di bit (ad esempio, Codici BCH e RS) come schemi di ridondanza e un livello di pacchetto codice di cancellazione per garantire l'affidabilità del trasferimento dei dati secondo le distanze internodo senza utilizzare la ritrasmissione. Cioè, diversi schemi di ridondanza differenti sono selezionati per diversi internodi distanze per migliori prestazioni di controllo del trasferimento. Anche sfrutta la proprietà di trasmissione dei canali UWA per abilitare comunicazione cooperativa per ridurre il consumo di energia e migliorare l'affidabilità del trasferimento. Le sue prestazioni sono influenzate da accuratezza della misurazione delle distanze internodi e altro ancora head può verificarsi per la selezione dello schema di ridondanza nei dispositivi mobili UWAN.

Sono due tipi di schemi HARQ per un UWAN half-duplex discusso in [67], utilizzando congiuntamente la codifica lineare binaria casuale con FEC a livello di bit con ARQ. Con tipo I HARQ come illustrato in Fig. 4, il mittente trasmette un pacchetto di dati al destinatario e attende l'ACK. Se il pacchetto di dati ricevuto è privo di errori o gli errori possono essere corretti dal destinatario stesso, un ACK è restituito al mittente, che può quindi inviare un nuovo pacchetto dati-ets dopo aver ricevuto l'ACK; in caso contrario, la ritrasmissione sarà attivato per i pacchetti non riusciti.

Con tipo II HARQ come illustrato in Fig. 5, il mittente chiama culla un pacchetto di parità per ogni pacchetto trasmesso. Il pacchetto ricevuto per errore non verrà eliminato e il destinatario chiede al mittente per trasmettere il pacchetto di parità per la correzione degli errori. Il la correzione avrà esito positivo se viene ricevuto il pacchetto di parità senza errori, altrimenti la correzione degli errori potrebbe non riuscire. In quest'ultimo caso, viene attivata una ritrasmissione del pacchetto di dati, mentre il Il pacchetto di parità ricevuto viously sarà ancora utilizzato per il pacchetto recupero quando necessario. Allo stesso modo, anche i pacchetti di parità possono essere ritrasmesso. Queste due ritrasmissioni avvengono alternativamente naturalmente fino a quando la ricezione non è andata a buon fine soggetto a un valore predefinito numero massimo di ritrasmissioni. Nel [80], i due precedenti HARQ e USR [75] (Sezione IV-B) gli schemi sono gated dalla simulazione per un multiutente single-hop con topologia a stella UWAN basato su TDMA. I risultati mostrano che HARQ per- è migliore di USR in termini di throughput di rete e ritardo medio di trasmissione dei pacchetti. Una questione importante è come a un compromesso adattivo tra la riduzione della trasmissione di ridondanza sion e riducendo al minimo il ritardo di correzione degli errori nel tempo Canali UWA.

Riferimento [81] suggerisce anche di consentire simboli di parità extra da includere opportunisticamente nel pacchetto dati da aumentare affidabilità di trasferimento per una UWAN su piccola scala utilizzando un TDMA-protocollo di pianificazione basato. In questo caso, l'intervallo di tempo di guardia tra le fasce orarie è solitamente impostato proporzionale al massimo raggio di rilevamento dei modem in modo che il ritardo di propagazione effettivo per un collegamento di comunicazione in UWAN su piccola scala potrebbe diventare molto più breve del ritardo massimo previsto, con conseguente a spese generali considerevoli per ogni trasmissione. Questo schema propone un approccio alternativo per sfruttare il lungo ritardo di propagazione in UWAN. Invece di trasmettere più pacchetti o ACK durante tempo di attesa, regola in modo adattivo la velocità del codice del canale in base al CSI seguendo la distanza dai nodi vicini anziché (SNR) utilizzato dagli schemi convenzionali. Con questo CSI, che si suppone conosciuto dal trasmettitore, la porzione disponibile di lo slot di tempo viene utilizzato per adattare la sua velocità di codice quando il tempo di guardia l'intervallo è più lungo di quello richiesto per la trasmissione senza collisioni session. Ci sono anche due possibili implementazioni per questo schema discusso, uno utilizzando una banca di codici e l'altro con rate-adaptation meno codici. Entrambe le simulazioni per ambienti UWA tipici e vengono condotti esperimenti per una prova in mare, dimostrando che, quando il CSI è disponibile, lo schema fornisce significativi guadagni in termini di affidabilità e consumi energetici di trasmissione rispetto agli schemi di codifica fissi. La sua prestazione mance dipende in gran parte dalla disponibilità e accuratezza di CSI.

2) *FEC a livello di pacchetto*: sebbene i codici senza rata siano favorevoli per un affidabile trasferimento dati point-to-point nelle UWAN [82], il canale di feedback viene eliminato durante la trasmissione dal mittente al destinatario, o dedicato solo alla trasmissione ACK o interrompe le informazioni dal destinatario al mittente dopo una serie di trasmissioni di pacchetti. Ciò esclude una possibilità affinché il destinatario invii dati urgenti al mittente o sfrutti il canale di feedback per ottenere tempestivamente CSI. Dall'altra mano, il treno di pacchetti è inefficiente per la trasmissione di piccole dimensioni volume dei dati perché il numero ottimale di pacchetti in un treno è solitamente grande (ad esempio, $M = 16$ [2]). Quindi, un ordine intrecciato schema per pacchetti in corso per aumentare l'efficienza per entrambi Vengono studiati schemi di codice senza topi e pacchetti di treni

Pagina 10

JIANG: SUL TRASFERIMENTO DATI AFFIDABILE NEGLI UWAN: INDAGINE DALLA PROSPETTIVA DEL NETWORKING

1045

Fig. 5. HARQ di tipo II per $M = 6$ [67]: per i pacchetti di errore 2 e 5, il destinatario chiede al mittente di trasmettere i loro pacchetti di parità P2 e P5. Solo P2 può correggere correttamente il pacchetto 2 e il pacchetto 5 viene ritrasmesso.

nel [83] e [84]. Questo schema divide in due un treno di pacchetti porzioni con la prima porzione da inviare prima. Il mittente interrompe per una durata per ricevere il pacchetto previsto il canale di feedback, quindi la seconda parte viene inviata con in attesa del pacchetto di feedback. Tale accordo mira a interrompere la trasmissione quasi prima dell'orario di arrivo di il pacchetto previsto sul canale di feedback per ridurre l'attesa tempo. A tal fine, un nodo deve misurare la propagazione ritardo tra i dispositivi di comunicazione durante l'handshaking. Rilevamento delle modifiche nel ritardo di propagazione durante la trasmissione è anche possibile supportare la comunicazione tra i traslochi stazioni.

Il codice LT tradizionale deve conoscere tutte le informazioni zione del file da codificare, che però non è disponibile per il traffico dati in tempo reale. Un protocollo di trasferimento data-link che utilizza il codice LT scorrevole (SLTC) per un UWAN ad albero nel [85] per supportare il trasferimento dei dati in streaming in tempo reale. Modifica il codice LT tradizionale utilizzando una lunghezza finita di codici LT a codificare i messaggi generati in tempo reale. Con SLTC, tutti gli input i simboli sono divisi in blocchi di uguale dimensione. La codifica il processo inizia dal primo blocco al successivo, uno per uno. Durante questo processo, i simboli di un blocco vengono codificati in base al rapporto overhead di codifica e BER, che influenzare l'adattabilità di SLTC al cambiamento del tempo UWAN. Pertanto, come renderli adattivi al tempo reale la condizione del canale è una questione importante.

Una trasmissione basata su codice fontana stocasticamente ottimizzata sion schema è discusso in [86] per migliorare il throughput canali UWA variabili nel tempo riducendo il sovraccarico di decodifica attraverso il controllo del rapporto di parità nei codici fontana. Formulata lo schema come un problema di ottimizzazione stocastica, che è risolto utilizzando un'approssimazione stocastica discreta con ciascuno iterazione adattabile alla stima dello stato del canale.

D. Riconoscimento implicito

Per ridurre la trasmissione di ACK sul livello di collegamento dati, un file schema ACK implicito è studiato in [87] per un multi-hop UWAN. A causa della natura di trasmissione dei media wireless, dopo un nodo trasmette un pacchetto, potrebbe sentire che il suo prossimo hop neighbour sta trasmettendo il pacchetto. Questa audizione può

servire come un ACK implicito per la corretta ricezione di il pacchetto per evitare di inviare un ACK esplicito [88]. Un modulare e implementazione leggera di questo schema in un superficiale l'ambiente sottomarino è studiato in [89] utilizzando inext-modem UWA penserosi. Uno schema simile studiato in [90] tenta di controllare la dimensione del pacchetto in modo tale che la trasmissione del pacchetto Il tempo di sion è impostato congiuntamente più piccolo del ritardo di propagazione utilizzando la pianificazione per supportare la trasmissione bidirezionale simultanea in modalità half-duplex. Questi schemi potrebbero non funzionare bene in canali a collegamenti asimmetrici.

Un BER elevato negli UWAN può causare la presenza di un ACK implicito ricevuto per errore, che attiva una ritrasmissione non necessaria di pacchetti ricevuti con successo. Pertanto, un ulteriore esplicito Il protocollo ACK viene proposto per trasferire l'ACK a ciascun dato pacchetto. Decide anche quando utilizzare l'ACK implicito o il ACK esplicito secondo il BER per hop. Questo schema è migliorato in [91] per consentire l'ascolto in tutte le direzioni e tutti i tipi di dati invece della singola direzione e unico tipo di dati nello schema originale, cioè l'udito viene eseguito in entrambe le direzioni, utilizzando sia DATA che ACK pacchetti.

V. NETWORK LAYER

Gli schemi di trasferimento affidabili sul livello di rete tentano di farlo fornire una trasmissione affidabile end-to-end tramite hop-by-hop controllo dell'affidabilità. Molti schemi utilizzano congiuntamente varie cancellazioni codici, codifica di rete, trasmissioni a percorsi multipli e coop-trasmissioni erative elencate nella Fig. 3. Ce ne sono anche diversi Schemi basati su HARQ proposti per una trasmissione affidabile, che sono discussi alla fine di questa sezione. Gli schemi proposti sono riassunti nella Tabella II.

A. Codici di cancellazione

I codici di cancellazione tipici utilizzati dai programmi di proposte includono codici Tornado, codici lineari a livello di pacchetto e fountain codici. L'esibizione end-to-end e hop-by-hop i codici di cancellazione per il trasferimento dei dati negli UWAN vengono valutati analiticamente utilizzato in [92]. Con uno schema hop-by-hop, ogni nodo di inoltra codifica i pacchetti prima di inoltrarli all'hop successivo. I risultati analitici per i codici RS mostrano che hop-by-hop

regimi superiori a quelli end-to-end. Sulla base di questa scoperta, un trasferimento dati affidabile multi-hop basato su codice di cancellazione (ECRDT) si propone di utilizzare hop-by-hop o codici di cancellazione end-to-end. Con lo schema hop-by-hop, ciascuno Il nodo di inoltra calcola il numero di pacchetti di codifica inviati al luppolo successivo in modo adattivo in base al PER percepito di il link corrispondente [92]. Lo schema end-to-end in realtà viene eseguito sul livello di trasporto e verrà discusso in Sezione VI.

1) *Codici Tornado*: uno schema HARQ, chiamato segmentato Data Reliable Transport (SDRT), è studiato in [93] - [95] per

affidabilità. Questo schema è esteso a un canale in dissolvenza per condizioni di collegamento variabili nel tempo in [100], utilizzando un framework combinando il controllo della potenza adattivo con RLC per superare il effetto di dissolvenza del canale. Nel [101], viene utilizzato un canale di feedback per consentire al destinatario di aggiornare il CSI al mittente in modo che la potenza di trasmissione e le velocità di codice possono essere regolate in base allo stato del canale per ridurre al minimo l'energia consumata per bit trasmesso cessante. Inoltre, la risorsa vincolata viene ulteriormente preso in considerazione. Ciò è dovuto a quello per il minimale energia media per bit, esiste un numero ottimale di pacchetti codificati con controllo di potenza adattivo e un file

fornire un trasferimento affidabile attraverso la rete. Il nodo di origine prima raggruppa i pacchetti in blocchi di dimensione m , quindi codifica ogni blocco utilizzando una semplice variante dei codici Tornado - un due-codice Tornado strato. I pacchetti di dati vengono inoltrati da sorgente alla destinazione blocco per blocco. Durante ogni hop-by-hop relaying, il mittente trasmette prima un numero pre-stimato di pacchetti codificati (chiamata dimensione della finestra di invio) in modo che il destinatario può recuperare i pacchetti originali. Quindi, il mittente rallenta la trasmissione in attesa di ACK. Se nessuna posizione Dopo il timeout viene ricevuto un ACK tivo, un pacchetto codificato viene inviato al destinatario e così via fino al previsto ACK viene ricevuto. Tuttavia, questo ACK non informa il mittente di cui pacchetti mancanti e necessariamente ritrasmessi. Pertanto, viene proposto un ARQ ibrido subacqueo (UW-HARQ) nel [96], adottando inoltre un NACK per informare il mittente del numero di pacchetti codificati da inviare per la decodifica. Inoltre, viene adottato uno schema di codifica lineare binario casuale per ridurre al minimo la complessità di codifica e decodifica. Tuttavia, è i tassi di codice fissi non possono adattarsi a canali UWA variabili nel tempo.

2) *Codici lineari a livello di pacchetto*: diversi miglioramenti a In letteratura sono stati riportati SDRT. Una codifica pratica protocollo Multi-hop Reliable Data Transfer (PCMRDT) basato è proposto in [97] per gestire il problema causato dal pratico difficoltà nel decidere la dimensione ottimale della vincita di invio di SDRT a causa della complessità di calcolo. Adotta una RLC (Random Linear Coding) a livello di pacchetto a causa del suo basso codifica e decodifica complessità e utilizza congiuntamente un SR-ARQ per un controllo affidabile del trasferimento per hop. Nel caso della decodifica guasto al ricevitore, SR-ARQ viene attivato per la ritrasmissione fino a quando i pacchetti non vengono ricevuti con successo. Un multi-hop anche il meccanismo di coordinamento che utilizza lo schema di pipelining adottato per eliminare alcune collisioni imposte da half-duplex Modem UWA e ridurre il ritardo end-to-end. Un particolare Lo schema RLC, GF (256), è ulteriormente adottato in un programma simile tocol, chiamato Affidabile coordinato multi-hop basato sulla codifica Trasferimento dati (CCRDT) [98]. CCRDT ci prova quasi Garanzia al 100% che i pacchetti con codifica K siano in grado di recuperare Pacchetti di dati K [88]. In questo caso, la stima del rapporto del codice dipende solo dal PER, che può essere stimato secondo alle informazioni trasportate dai pacchetti ACK / NACK che indicare il numero di pacchetti ricevuti per l'ultima trasmissione. Pertanto, per il PER è necessario un canale di feedback stima.

Un altro RLC a livello di pacchetto senza utilizzare un canale di feedback nel è indagato in [99] per un canale UWA invariante nel tempo. Un numero fisso di pacchetti codificati viene determinato in modo che il file il ricevitore può decodificare i pacchetti originali con un valore pre-specificato

potenza di trasmissione ottimale anche con velocità adattiva.

3) *Fountain Codes*: un Adaptive basato su FOUNTAIN Code protocollo di trasferimento dati affidabile multi-hop (FOCAR) per il trasferimento di dati affidabile multi-hop è studiato in [23]. FOCAR integra i codici fontana con una ritrasmissione hop-by-hop-schema in caso di guasto, considerando l'impatto del grande nodo di transizione di stato dell'acustica half-duplex attualmente disponibile modem tic. Con la proposta di trasferimento dati affidabile per hop schema, dopo che un nodo di inoltro riceve i pacchetti dal suo nodo a monte, raggruppa prima m pacchetti in un blocco e codifica i pacchetti in ogni blocco in M pacchetti con fountain codici. Quindi, il nodo di inoltro invia i pacchetti con codice M al suo nodo a valle e passa alla modalità di ricezione. Se il nodo a valle può decodificare correttamente l'originale m pacchetti di dati, invia un ACK positivo al nodo di inoltro; in caso contrario, un ACK negativo che indica il numero di vengono inviati pacchetti coperti. In quest'ultimo caso, il nodo di inoltro trasmetterà più pacchetti codificati al suo nodo a valle per il recupero. I suoi carichi di calcolo nei nodi di inoltro consumano molta energia.

Un altro trasporto e stoccaggio affidabili basati su codice fontana viene studiato il protocollo per l'archiviazione incentrata sui dati nelle UWAN nel [102] per la comunicazione tra i querist e il data center ter. Progetta uno schema di codifica fontana distribuito per affidabile consegna dei dati e uno concatenato per l'archiviazione dei dati controllo delle capacità. Gli stessi autori studiano una DLT ibrida (h-DLT) per garantire una bassa latenza di comunicazione end-to-end e bilanciamento dei costi di calcolo flessibile tra la fonte e i nodi di inoltro per comunicazioni UWA assistite da inoltro nel [103]. h-DLT codifica i dati in una modalità ibrida: cooperativa Modalità DLT e modalità LT diretta. Il pacchetto di output è cooper-codificato in modo attivo da entrambi i codificatori nel primo modo, mentre il pacchetto viene generato solo dal primo encoder in quest'ultimo modalità. Scegliendo diversi rapporti di combinazione, la codifica il sistema può assegnare in modo flessibile diversi carichi di calcolo al file due codificatori DLT.

B. Codifica di rete

L'ideale di base della codifica di rete [8] è quello di consentire il networking unità (ad esempio, router) per eseguire la codifica a livello di pacchetto combinando ing diversi pacchetti insieme in trasmissione (ad esempio, con XOR) per aumentare la velocità di trasmissione della rete. Come illustrato in Fig. 6., i pacchetti A e B vengono trasmessi su due canali rispettivamente, i percorsi laterali delle articolazioni e la loro combinazione XORed viene trasmesso una volta lungo il percorso di mezzo. In questo caso, i nodi lungo i due percorsi laterali possono avere entrambi i pacchetti A e B con

nel [112]. Consente ai nodi di trasmettere pacchetti composti di dati parzialmente originati in quel nodo e parzialmente ricevuti da quel nodo da altri nodi, attraverso una combinazione lineare casuale combinazione di loro. Tutti i nodi ricevono i messaggi di origine da tutti gli altri nodi e prova a decodificare ogni messaggio. In caso di successo, il trasferimento dei dati si considera concluso. L'idoneità lità della codifica di rete per il recupero degli errori in UWA con BER elevato canali e le impostazioni dei parametri per ottenere la formance sono studiate anche in [113], senza assumere specifiche MAC e protocolli di instradamento. Queste ipotesi sono diverse da quelli adottati dalla ricerca condotta in [105], [107], e [108].

C. Trasmissione multipath

La trasmissione a più percorsi può essere utilizzata anche per fornire pacchetti ridondanza del livello utilizzando la larghezza di banda disponibile in rete per inviare più copie dello stesso pacchetto contemporaneamente. Diversi di questi schemi congiuntamente utilizzando il controllo di potenza e FEC sono state riportate in letteratura. La prestazione di questo tipo di schemi dipende dalla disponibilità e dal

Fig. 6. Codifica di rete e flussi di lavoro MPNC (@: operatore XOR) [104].

una semplice decodifica. Tuttavia, senza tale codifica, ciascuno di i pacchetti A e B devono essere trasmessi a metà percorso per lo stesso risultato di ricezione. Nota che la codifica di rete di per sé non ha la capacità di controllare l'affidabilità del trasferimento. Può consentire una trasmissione più ridondante grazie alla sua maggiore efficienza di trasferimento di quella senza codifica di rete, e la sua La proprietà di trasmissione multipath può anche essere utilizzata per fornire ridondanza di trasmissione e diversità, quindi miglioramento prestazioni di controllo dell'affidabilità. Tuttavia, la codifica di rete l'operazione dovrebbe essere eseguita hop-by-hop e la sua efficienza

dipende dalle topologie di rete come discusso di seguito.

Riferimento [105] dimostra una migliore efficienza di controllo degli errori applicando congiuntamente la codifica di rete negli UWAN attraverso la simulazione dei seguenti due scenari. i) Rete la codifica viene eseguita solo dai nodi di inoltro; e ii) il la codifica viene eseguita anche dai nodi di origine. Il seguente gli schemi di inoltro vengono confrontati: i) inoltro a percorso singolo, ii) inoltro multipath e iii) inoltro codificato multipath. Il percorso è determinato dal routing di inoltro basato su vettori protocollo in [106]. I risultati della simulazione mostrano quella rete la codifica con codifica sorgente offre prestazioni migliori. Questo lavoro è further approfondito in [107] e [108] attraverso lo studio teorico, che può guidare l'impostazione delle configurazioni per entrambi efficienti recupero degli errori e consumo energetico. Lo schema proposto funziona come segue. I pacchetti originali dalla fonte sono diviso in generazioni, ognuna delle quali contiene K pacchetti. Questi pacchetti vengono combinati linearmente in una generazione utilizzando coefficienti generati casualmente. Un nodo di inoltro nel forwarding path combina prima linearmente i pacchetti da differenti percorsi appartenenti alla stessa generazione, e poi li ritrasmette. Dopo che il nodo di destinazione riceve i pacchetti K , può ripristinarsi i pacchetti originali tramite inversione di matrice [109].

Uno schema MPNC (Multiple Paths and Network Coding) per una specifica struttura di rete favorevole alla codifica di rete è indagato in [104] e [110]. Come illustrato in Fig. 6., tre vengono stabiliti percorsi disgiunti tra una sorgente e una destinazione paio. I gruppi di pacchetti A e B vengono trasmessi lungo i due percorsi laterali, mentre il gruppo di pacchetti $A \oplus B$ viene trasmesso lungo il percorso di mezzo. In questo caso, due percorsi qualsiasi possono collaborare a fornire una ridondanza per un altro percorso in modo che due nodi qualsiasi su lo stesso livello dovrebbe correggere gli errori del terzo nodo. Un approccio simile è studiato anche per un multi- intrecciato modello di rete del percorso in [111], dove i nodi di riconoscimento e meccanismi di ritrasmissione del feedback sono utilizzati congiuntamente.

In particolare per una UWAN a 1 salto, in cui tutti i nodi della rete il lavoro può sentirsi a vicenda, uno schema di codifica di rete casuale senza ritrasmettere le informazioni originali viene esaminato

numero di multipath nella rete.

Un grande ritardo di propagazione negli UWAN fa sì che l'RTT sia significativamente più grande di quello degli RWN. Ad esempio, RTT in Gli UWAN sono spesso nell'ordine di decine di secondi, mentre pochi millisecondi in RWN [114]. L'RTT lungo degrada gravemente Prestazioni TCP quando viene dedotta una congestione perché impiega molto tempo prima che il nodo di origine ripristini le sue connessioni TCP-finestra di controllo al livello normale. Nel [114], un protocollo di routing viene proposto il cosiddetto Linear Coded Digraph Routing (LCDR) per massimizzare il throughput TCP nelle reti mesh UWA. Il L'idea di base di Lcdr è massimizzare la ridondanza dei pacchetti in caso di perdita recupero dei pacchetti tramite l'utilizzo della larghezza di banda disponibile con trasmissioni multi-path sia dal nodo di origine che da inoltro dei nodi al nodo di destinazione con codifica di rete di Segmenti TCP.

Uno schema MPT (Multipath Power-control Transmission) è discusso in [115] per fornire un trasferimento dati affidabile per tempo applicazioni critiche. Combina il controllo della potenza con il multipath routing senza utilizzare ritrasmissioni hop-by-hop, lavorando come segue. Il nodo di origine avvia prima un percorso di instradamento multipath cess, attraverso il quale, il nodo di origine otterrà una rete parametri come la lunghezza del percorso e il numero di file percorsi. Quindi, seleziona i percorsi e calcola il transmit power per ogni nodo lungo i percorsi selezionati e invia lo stesso pacchetto lungo i percorsi selezionati. Ogni nodo di inoltro sui percorsi selezionati ritrasmette il pacchetto con la potenza di trasmissione parametri trasportati nell'intestazione del pacchetto. Quando la destinazione node riceve tutte le copie dei pacchetti, le combina a recuperare il pacchetto originale. È dimostrato che MPT può salvare significativamente energia con un basso ritardo end-to-end.

Un altro schema di trasmissione multipercorso che incorpora viene studiata una FEC basata sul codice di Hamming (MHC-FEC) nel [116] per migliorare la ridondanza complessiva di altamente affidabilità di trasferimento efficiente in termini di decodifica. Il Multicast Ad hoc Protocollo di routing On-Demand Distance Vector (MAODV) [117] viene utilizzato per stabilire più percorsi tra la sorgente e il file nodo di destinazione, mentre la natura di trasmissione del wireless

medium viene utilizzato per consentire a un pacchetto di essere consegnato in più percorsi. Ogni segmento nel pacchetto ricevuto è considerato come un'unità votare per la ricostruzione del pacchetto. Un nodo di inoltro tenta di farlo recuperare i segmenti danneggiati con un decodificatore Hamming e quindi li inoltra al nodo intermedio successivo verso il nodo di destinazione, che decodifica i pacchetti con correzione utilizzando più copie ricevute da più percorsi.

D. Trasmissioni cooperative

Uno schema di trasferimento affidabile basato sulla trasmissione cooperativa per UWAN 1-hop è studiato in [118], mirando a ridurre inefficienza del controllo degli errori causata da lunghi RTT. Un nodo è autorizzato a partecipare alla trasmissione ad altri nodi di fornendo un'altra copia dello stesso pacchetto alla destinazione nodo. Questo schema è esteso a una UWAN multi-hop in [119], consentendo l'inoltro dei nodi lungo una specifica sorgente-destinazione percorso per fornire percorsi alternativi. Quindi, vicini o altro l'inoltro dei nodi più vicini al nodo di destinazione può prendere parte sostanzialmente alla ritrasmissione e questi nodi lo sono chiamati cooperatori. Ogni volta che è richiesta una ritrasmissione, il file il nodo di destinazione lo richiede prima dai collaboratori inviando un NACK e attende i dati. Dopo il nodo di destinazione riceve con successo i dati, invia un ACK alla fonte nodo, che indica anche i collaboratori che la cooperativa missione è completata. Inoltre, adotta anche un implicito riconoscimento utilizzando un pacchetto ascoltato all'indietro come un file ACK [90].

Si sta studiando un protocollo Cooperative Hybrid ARQ (C-HARQ) recintato in [120], utilizzando uno schema FEC basato su tassi compatibili codice perforato [121]. Una collaborazione per la condivisione delle informazioni tocol utilizzando uno schema di handshake è ulteriormente discusso in [122].

pacchetti richiesti quando necessariamente. Il singolo proposto Il protocollo Band Reliable Broadcast (SBRB) espande SRB di impiegando comunicazioni a lungo raggio a una frequenza inferiore ma a un livello di potenza elevato per notificare a tutti i vicini lanciare iniziazione. Quindi il nodo utilizza la trasmissione a corto raggio in una banda ad alta frequenza ma a bassa potenza da inviare i messaggi trasmessi ai vicini. Con il Dual-Band Protocollo Reliable Broadcast (DBRB), la banda a bassa frequenza per lunghe distanze al livello di potenza elevato viene utilizzato per inviare alcuni Dati FEC per la correzione degli errori, che è l'unica differenza da SBRB. Lo studio di simulazione mostra che sia SBRB che DBRB supera di gran lunga gli altri protocolli in termini di energia consumo e tempo di completamento, mentre DBRB esegue il meglio in caso di BER elevato.

Viene studiato un altro schema di trasmissione affidabile di HARQ nel [22] per una UWAN, in cui una sorgente e un numero di i nodi vengono posizionati casualmente all'interno di una data area geografica. It incorpora codici fontana in SW-ARQ per ridurre il numero ber di trasmissioni per la diffusione affidabile dei messaggi a a numero di nodi il più possibile. Un messaggio broadcast è diviso in K pacchetti originali di lunghezza fissa, che vengono consegnati a un certo numero di ricevitori. Viene eseguito il ripristino degli errori attraverso una serie di cicli di trasmissione. Gli autori formulano ritardare il processo di trasmissione utilizzando la programmazione dinamica e ottenere politiche ottimali per ridurre al minimo il numero di trasmissioni necessarie per un recupero completo a tutti i ricevitori. It mostra che i codici fontana hanno una serie di vantaggi per Comunicazioni UWA. Un modello matematico è ulteriormente studiato sono stato in [126] per lo schema di cui sopra, considerando lo specifico caratteristiche del canale UWA, ad esempio, variazione del disponibile larghezza di banda rispetto alle distanze. Questo modello può essere utilizzato anche

Consente a un nodo sorgente di identificare un elenco di collaboratori, che viene inviato al nodo di destinazione. Un approccio simile chiamato 2H-ACK è riportato anche in [123] per un hop-by-hop affidabile ity control, dove verrà mantenuto ogni singolo pacchetto due nodi nella rete. Questo schema è migliorato con un 3 Modello di affidabilità del luppolo (3H-RM) in [124], dove tre nodi sono responsabili della corretta conservazione della copia dello stesso pacchetto di dati trasferito.

E. Trasmissione affidabile

Un protocollo di trasmissione affidabile deve controllare in modo efficiente gli errori dei messaggi ricevuti da diversi nodi senza causare tempeste di ritrasmissione. A tal fine, due ibridi FEC / ARQ protocolli di trasmissione affidabili sono studiati in [125]. Essi sfruttare la relazione tra distanza di comunicazione e la larghezza di banda disponibile per i collegamenti UWA. Ciò è dovuto al fatto che la banda di frequenza disponibile per la comunicazione è ridotto e spostato verso frequenze più basse come distanze aumentare [34]. Inoltre, il controllo della potenza del tipico i dispositivi idrici consentono di variare il raggio di comunicazione in base a un ordinamento di decine di chilometri [125].

Con il protocollo SRB (Simple Reliable Broadcast), ogni il nodo ritrasmette un messaggio di trasmissione ricevuto ai suoi vicini bors. Se un nodo non ha ricevuto tutti i pacchetti di un messaggio, esso quindi attende un intervallo di tempo predefinito e trasmette un richiesta di missione ai suoi vicini. I vicini trasmetteranno

per comprendere la comprensione della codifica di rete rispetto alla rete parametri e il loro effetto sulle prestazioni della trasmissione.

Tre protocolli di trasmissione affidabili sono discussi in [127] per una rete di sensori 3D UWA con diversi gradi di informazioni sul vicino, vale a dire, nessuna conoscenza del vicino, 1-hop conoscenza del vicino e conoscenza del vicinato 2-hop, utilizzando un file Processo NOTICE / QUERY / NACK. Cioè, subito prima trasmettendo un pacchetto QUERY, il mittente trasmette prima un breve preavviso. Se un nodo ha ricevuto l'AVVISO ma non la QUERY, invia un NACK per informare gli altri nodi.

VI. TRASPORTI L'AYER

Il grande ritardo di propagazione negli UWAN in modo significativo influenza le prestazioni del controllo dell'affidabilità end-to-end schemi come TCP. Quindi, non molti schemi tipo TCP hanno stato proposto per UWANs come elencato in fig. 3. Due proposte sono riassunti nella Tabella II.

Come accennato nella sezione VA, ECRDT [92] fornisce anche un controllo dell'affidabilità end-to-end per ridurre il ritardo end-to-end a recuperare i pacchetti persi utilizzando la ridondanza. L'operazione di codifica viene eseguito solo dai nodi di origine e di destinazione e il numero di pacchetti di codifica è determinato in base a il PER a livello di percorso, che potrebbe non essere aggiornato a causa del lungo ritardo di propagazione.

Per gestire le caratteristiche variabili nel tempo del canale UWA nels, uno schema di controllo degli errori e del flusso basato su RTT adattivo

Pagina 14

JIANG: SUL TRASFERIMENTO DATI AFFIDABILE NEGLI UWAN: INDAGINE DALLA PROSPETTIVA DEL NETWORKING

1049

(ARTFEC) è indagato per un UWAN multi-hop in [128]. It combina un controllo della finestra di congestione adattiva (ACWND) e una selezione del timeout di Q-learning. ACWND utilizza un RTT-controllo del flusso di dati basato per adattarsi a diversi canali UWA ambienti stimando lo stato della rete tramite RTT misurato in base al feedback dai dati e ACK pacchetti. Q-learning è un apprendimento di rinforzo senza modello tecnica, che può essere utilizzata per la stima che può produrre politiche quasi ottimali senza molti calcoli. Utilizza un file approccio della differenza temporale fuori politica [129], [130], in quale l'agente approssima i valori Q iterativamente. È importante studiare l'efficienza dell'apprendimento per gli UWAN dinamici.

VII. D ISCUSSIONE

Questa sezione riassume innanzitutto le caratteristiche principali di gli schemi di trasferimento affidabili rivisti proposti per gli UWAN, e poi discute le diverse strategie di progettazione adottate da loro così come le principali questioni impegnative rimanenti.

A. Osservazioni

La tabella II riassume gli schemi di trasferimento affidabili esaminati in questo documento, evidenziando i loro punti di design e il duplex modalità di collegamenti UWA così come schemi di codifica presunti o adottato da ogni schema, in particolare per il livello di collegamento e schemi a livello di percorso.

Dalla discussione sopra, possiamo scoprire che il file basic meccanismi adottati dagli schemi rivisti per il trasferimento il controllo delle capacità negli UWAN sono sempre gli stessi di quelli adottati da RWN, ovvero ridondanza e ritrasmissione. Il principale la differenza è che vengono adottati più metodi per generare ridondanza dancy piuttosto che utilizzare solo la FEC a livello di bit. Questi metodi includere codici di cancellazione a livello di pacchetto (Sezione VA), codice di rete ing (Sezione VB) e trasmissioni multipercorso (Sezione VC) così come le trasmissioni cooperative (Sezione VD). Per sig-breve trasmissione e ricezione sul livello fisico rivisto nella sezione III-B, stima del canale basata sulla dissolvenza e la modellazione del rumore così come l'acquisizione CSI viene utilizzata in modo-coesistono nello stesso sistema ma spesso operano indipendentemente senza interazione l'uno con l'altro. Questo tipo di implementazione è adatto per canali con stabile o che cambia lentamente qualità. Per gestire canali UWA altamente dinamici, FEC e

Per la ritrasmissione utilizzando ARQ su collegamenti UWA half-duplex, SW-ARQ migliorato o SR-ARQ modificato, come quelli che utilizzano treno a pacchetti [2], [6], J-ARQ [69] e SW-MER [71], sono reladecisamente semplice per migliorare gli schemi ARQ originali migliorare le loro prestazioni negli UWAN. Tuttavia, è difficile per consentire a un mittente di conoscere il momento migliore da cui passare la modalità di trasmissione alla modalità di ricezione in modo che possa ricevere l'ACK o NACK restituito dal destinatario senza aspettando molto tempo, soprattutto se la qualità del canale cambia rapidamente mentre il tempo di transizione della modalità è elevato.

Alcuni schemi presuppongono la disponibilità (ad esempio, [76]) di full-collegamenti UWA duplex o creare tale collegamento utilizzando FDD (per esempio, [73]) o TDD (ad esempio, USR [74], [75]) per poter correre l'originale SR-ARQ o GBN-ARQ. Hanno bisogno di andare oltre prendere in considerazione alcune limitazioni tecniche nella pratica implementazione cal, come la larghezza di banda limite con FDD e possibile grande tempo di transizione tra la trasmissione e modalità di ricezione [23] con TDD. In realtà, la prima generazione di Seaweb [131] si basa su FDMA, che tuttavia risulta inefficiente utilizzo della larghezza di banda ed è stato abbandonato in successive implementazioni [132]. Nota che, molti hanno recensito schemi non specificano una modalità duplex dei collegamenti UWA, né tenere conto della limitazione alla progettazione del protocollo imposta da collegamenti UWA half-duplex e il loro effetto sul protocollo prestazione.

Rispetto alle RWN, le strategie di progettazione adottate per il controllo dell'affidabilità del trasferimento end-to-end nelle UWAN hanno l'estensione seguenti caratteristiche: progettazione congiunta e dominio a livello di rete design inant. Il design del giunto può essere ulteriormente suddiviso in verticale progettazione congiunta che utilizza congiuntamente funzioni o informazioni disponibili su diversi livelli (ad esempio, disegno a strati incrociati) e orizzontalmente progettazione congiunta che combina vari schemi allo stesso livello (es. progettazione ibrida), ciascuna delle quali è discussa di seguito.

B. Progettazione di giunti verticali (progettazione a strati incrociati)

Come accennato in precedenza, in RWN, FEC e ARQ di solito coesistono nello stesso sistema ma spesso operano indipendentemente senza interazione l'uno con l'altro. Questo tipo di implementazione è adatto per canali con stabile o che cambia lentamente qualità. Per gestire canali UWA altamente dinamici, FEC e

come SNQ [48].

Tra gli schemi basati sul codice di cancellazione, il codice senza numero schemi come codici fontane (Sezione V-A3) sono più adatti in grado di canali UWA variabili nel tempo. Tuttavia, questi schemi ha bisogno di un canale di feedback per il mittente per sapere se il numero di pacchetti inviati è sufficiente per il destinatario recuperare i pacchetti originali, mentre il canale di feedback può essere utilizzato per garantire l'affidabilità del trasferimento, se necessario. Con il altri codici di cancellazione come i codici Tornado (Sezione V-A1) e codici lineari a livello di pacchetto (Sezione V-A2), è difficile affinché il mittente decida una velocità di codifica ottimale adattabile a canali UWA variabili nel tempo in tempo reale per garantire affidabilità antee senza ritrasmissione. Quindi, molti di questi tipo di schemi adottano anche canali di feedback per ottenere le informazioni necessarie per impostare le code rate ottimali o prendere decisioni di ritrasmissione, come SDRT [93] - [95], PCMRDT) [97], CCRDT [81], [98] e [101].

Gli ARQ sono spesso progettati su più livelli in modo che anche ARQ possa farlo essere utilizzato per aggiornare CSF (ad esempio, BER). Questa informazione può essere utilizzato per determinare le impostazioni dei parametri ottimali come il codice tassi e lunghezze di blocco per FEC. Gli esempi includono SBRB e DBRB [125], Schemi HARQ di tipo I e tipo II [67], così come SNQ [48] per tariffe di canale più elevate basate su CSI e [50].

Tali schemi progettati su più livelli hanno senso abilitare schemi di trasferimento affidabili per adattarsi a UWA variabili nel tempo canali con meno ridondanza pur soddisfacendo un predefinito requisito di affidabilità il più possibile. Inoltre, l'affidabilità del trasferimento può essere garantita con ARQ se necessario. Tali schemi possono essere più convenienti per garantire un salto affidabilità della trasmissione rispetto a una struttura coesistente FEC / ARQ tura senza cooperazione negli UWAN. Tuttavia, esiste ancora un file compromesso tra il costo della ridondanza e il ritardo utilizzato eliminare gli errori per una corretta ricezione e l'ottimizzazione lo è

TABELLA II
S INTESI DEL S URVEYED S CHEMES PER T RASFERIMENTO R ELIABILITY C ONTROLLO (NELLA O RDER DI R EVIEWING)

ancora un problema per i canali UWA altamente dinamici. Dall'altra la fattibilità di questi schemi dipende dalla disponibilità capacità dei canali di feedback, che però non può essere sempre garantito negli UWAN. Lo studio teorico è ancora necessario per ulteriore ottimizzazione, mentre come ottenere l'ottimizzazione

sul livello fisico. Tuttavia, a causa della propaga- ritardo nella UWAN, le prestazioni di ARQ possono diventare inaccettabile con troppe ritrasmissioni. Pertanto, var- Sono stati usati insieme vari schemi FEC a livello di pacchetto ARQ per ridurre il numero di ritrasmissioni e

il guadagno in pratica è importante per i canali UWA che variano nel tempo.

C. Design a giunto orizzontale

In molte RWN, uno schema ARQ sul livello di collegamento dati è di solito sufficiente per fornire una trasmissione dati affidabile senza errori sioni con prestazioni soddisfacenti in collaborazione con FEC

abbreviare il più possibile il ritardo per una corretta ricezione.

Tali schemi includono quelli esaminati in [18], [83], e [84] per il controllo dell'affidabilità a livello di collegamento con codici senza tag su livello di collegamento dati. In confronto con gli schemi a strati incrociati con FEC a livello di bit menzionato nella sezione VII-B, se tale il design ibrido può produrre prestazioni migliori in modo conveniente

Pagina 16

JIANG: SUL TRASFERIMENTO DATI AFFIDABILE NEGLI UWAN: INDAGINE DALLA PROSPETTIVA DEL NETWORKING

1051

necessita di un'ulteriore indagine, soprattutto se una FEC a livello di bit schema è già implementato sul livello fisico, che è spesso il caso dei modem disponibili in commercio.

Sono stati proposti più schemi ibridi per la rete strato utilizzando i codici di cancellazione o la codifica di rete come discusso nelle sezioni VA e VB, rispettivamente. Schemi di codici di cancellazione sono utilizzati principalmente come FEC a livello di pacchetto per combattere nonQuesta è una questione ancora impegnativa e viene discussa in dettaglio nella sezione VII-E.

errori di missione ma anche perdite di pacchetti che potrebbero non essere gestite dagli schemi a livello di collegamento sopra menzionati. Il design cern qui è l'adattabilità ai canali UWA variabili nel tempo. In questo senso, gli schemi di codice senza topi sono migliori di quelli con tassi di codice fissi come SDRT [93] e UW-HARQ [96]. Pertanto, molti schemi di codice senza topi sono stati studiati, tipicamente incluso PCMRDT [97], CCRDT [98], [99], [101], FOCAR [23], [102] e h-DLT [103].

Un'altra preoccupazione per gli schemi basati sulla codifica è il calcolo carichi di zione di ogni nodo coinvolto, che include la sorgente nodo, nodi di inoltro e nodo di destinazione. Questa edizione dipende principalmente dalla complessità della codifica e della decodifica algoritmi e influisce sul consumo di energia di ciascuno nodo coinvolto. Diversi schemi adottano codici lineari casuali grazie alla sua semplicità, come PCMRDT [97], CCRDT [98] e [99], [101], mentre h-DLT considera l'equilibrio dei carichi di posizionamento tra i nodi di inoltro e la destinazione nodi. Tuttavia, un'indagine completa sul guadagno formativo che può essere ottenuto da questo tipo di affidabile protocolli di trasferimento contro il consumo di energia del l'algoritmo di codifica adottato è ancora necessario per massimizzare prestazioni di trasferimento affidabili al minor costo negli UWAN.

Efficienza del controllo degli errori nell'utilizzo della codifica di rete e dei suoi canali orizzontali o verticali) non sono adatti per dispositivi mobili l'idoneità nei canali UWA con BER elevato viene studiata attivamente in [105], [107] - [109] e [113]. Diverse tras-Vengono discussi anche gli schemi che utilizzano la codifica di rete, come come una codifica di rete casuale [112] e una struttura di rete favorevole per il funzionamento della codifica di rete [104], [110], [111]. Per ottenere un guadagno di codifica di rete, un corretto piano del percorso di trasmissione è utile per combinare correttamente i dati provenienti da diversi upstream nodi come illustrato in Fig. 6 [110]. Quindi, praticamente sibile e affidabile schema di trasferimento congiunto utilizzando la codifica di rete richiedono ancora ulteriori indagini, che possono considerare congiuntamente multipath e trasmissione cooperativa per consentire controllabile multi-cast per codifica di rete.

D. Progettazione dominante a livello di rete

In Internet, il controllo dell'affidabilità del trasferimento end-to-end è condotto da un protocollo simile all'ARQ sul livello di trasporto, cioè, TCP. Questo protocollo richiede semplicemente il nodo di origine ritrasmettere i pacchetti originali finché non è stato positivo riconosciuto dell'avvenuta ricezione di quanto inviato, soggetto a un numero massimo di ritrasmissioni. Però, nelle UWAN, a causa di un ritardo di propagazione molto maggiore, l'RTT potrebbe diventare troppo lungo per fornire prestazioni ARQ accettabili. Pertanto, controllo dell'affidabilità hop-by-hop eseguito mediante inoltro i nodi sul livello di rete diventano più astratti da fornire affidabilità di trasferimento end-to-end. Pertanto, una trasmissione più affidabile per gli schemi a livello di rete che a livello di trasporto

sono stati studiati in letteratura come elencato nella Tabella II, e molti di loro sono progettati congiuntamente.

In termini di complessità e carico operativo dell'inoltro nodi, nuovi problemi stimolanti possono essere sollevati dal hop-by-hop schemi di trasferimento affidabili sul livello di rete, in particolare quando deve essere garantita l'affidabilità del trasferimento end-to-end.

Questa è una questione ancora impegnativa e viene discussa in dettaglio nella sezione VII-E.

E. Sfide rimanenti

La discussione di cui sopra dimostra che la trasformazione end-to-end Il controllo dell'affidabilità coinvolge il livello fisico, il collegamento dati livello e il livello di rete, nonché il livello di trasporto.

Questa funzione è diversa dalle altre tecnologie di rete come i protocolli MAC (Medium Access Control) e il routing protocolli. Per ottenere prestazioni di trasferimento affidabili ottimali in ambienti UWAN difficili con minor consumo di canale risorse ed energia, la maggior parte degli schemi sopra menzionati sono progettati congiuntamente verticalmente o orizzontalmente. Però, mancano di un piano sistematico, il che causa alcune importanti tante questioni non sono state affrontate bene, come quella generale complessità e distribuzioni funzionali oltre che sistematiche cooperazione come discusso di seguito.

Come accennato in letteratura, non ce ne sono tipici Canali UWA adatti a diversi ambienti [4], [133].

I modelli di canale basati su statistiche a lungo termine non possono si adattano perfettamente a canali che variano nel tempo, mentre quelli per ambienti sottomarini (p. es., acque basse o profonde, canali orizzontali o verticali) non sono adatti per dispositivi mobili UWAN. D'altra parte, il modello di canale è molto importante per migliorare l'accuratezza della stima del canale per una migliore ricezione prestazioni, quindi è necessario studiare i modelli di canale con adattabilità in tempo reale a diversi ambienti sottomarini.

Sebbene gli schemi ibridi che utilizzano FEC a livello di pacchetto possano perdita di pacchetti bat per il controllo dell'affidabilità end-to-end, l'effetto di questi schemi sulla congestione della rete, nonché lo stesso controllo della congestione non è stato preso in considerazione.

In realtà, tutti questi schemi adottano ridondanze utilizzando differenti algoritmi di codifica, mentre la ridondanza porterà a più traffico carichi di fic, che possono portare a una maggiore congestione e di più perdite se non è in atto un adeguato controllo della congestione. Dall'altra mano, come discusso per Semi-TCP [134] - [136], congestione Le funzioni trol possono essere supportate con funzioni a livello di collegamento come MAC o controllo del collegamento logico per il controllo hop-by-hop, mentre molti schemi recensiti adottano anche affidabili hop-by-hop schemi di trasferimento per il controllo dell'affidabilità del trasferimento end-to-end. Pertanto, è necessario considerarli congiuntamente per approfondire migliorare le prestazioni di controllo dell'affidabilità con minori consumi delle risorse e dell'energia del canale.

Per gli schemi congiunti orizzontalmente che utilizzano FEC a livello di pacchetto, essi non specificare che non sono implementati schemi FEC a livello di bit sul livello fisico. Tuttavia, in pratica, FEC a livello di bit gli schemi potrebbero essere incorporati nel livello fisico (ad esempio, [137]). In questo caso, se un progetto FEC a livello di pacchetto non considera lo schema FEC a livello di bit, più ridondanza e più la messa in opera per le operazioni di codifica e decodifica è inevitabile, ed entrambi causano un maggiore consumo di risorse del canale e

rispetto a un nodo sottomarino in termini di capacità di comunicazione, fornitura di energia e capacità tampone ecc.

VIII. C ONCLUSIONE

Questo sondaggio, per quanto a conoscenza dell'autore, è il primo che rivede sistematicamente gli schemi tipici utilizzati per il controllo dell'affidabilità del trasferimento negli UWAN, concentrandosi principalmente sui schemi sul livello di collegamento dati, il livello di rete e il livello di trasporto. Diverso da altre tecnologie di rete come il controllo di accesso medio (MAC) e il protocollo di routing, le prestazioni del trasferimento affidabile end-to-end dipendono dalle prestazioni di ogni strato sopra menzionato. Quindi, un progetto ottimale necessita di un piano sistematico per la distribuzione e la cooperazione delle funzioni pertinenti su questi livelli. Questo problema richiede un'indagine approfondita con ulteriori approfondimenti tenendo conto delle caratteristiche asimmetriche negli UWAN che hanno stato ignorato dalla maggior parte degli schemi recensiti qui. Questo articolo mira a fornire un quadro più completo dell'end-to-end architettura di trasferimento affidabile nelle UWAN, utile per studiare la progettazione ottimale degli schemi di trasferimento affidabili proposti per diversi strati.

R IFERIMENTI

- [1] EM Sozer, M. Stojanovic e JG Proakis, "Underwater acoustic reti", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 25, n. 1, pagg. 72–83, gennaio 2000.
- [2] M. Stojanovic, "Ottimizzazione di un protocollo di collegamento dati per un canale acustico dell'acqua", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS*, Brest, Francia, Settembre 2005, pagg. 68–73.
- [3] PA van Walree e R. Otnes, "Ultrawideband underwater acous-canali di comunicazione tic", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 38, n. 4, pp. 678–688, ottobre 2013.
- [4] PA van Walree, "Effetti di propagazione e dispersione nell'acqua canali di comunicazione acustica", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 38, n. 4, pp. 614–631, ottobre 2013.
- [5] J. Partan, J. Kurose e BN Levine, "Un'indagine sulle questioni pratiche in reti sottomarine", in *Proc. ACM Int. Rete subacquea per officina. (WUWNet)*, Los Angeles, CA, USA, settembre 2006, pagg. 17–24.
- [6] JG Proakis, EM Sozer, JA Rice e M. Stojanovic, "Shallow reti acustiche dell'acqua", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, n. 11, pp. 114–119, novembre 2001.
- [7] MG Luby, M. Mitzenmacher, MA Shokrollahi e DA Spielman, "Codici di correzione della cancellazione efficiente", *IEEE Trans. Inf. Teoria*, vol. 47, no. 2, pagg. 569–584, febbraio 2001.
- [8] R. Bassoli, H. Marques, J. Rodriguez, KW Shum e R. Tafazolli, "Teoria del codice di rete: un'indagine", *IEEE Commun. Sondaggi Tuts.*, vol. 15, no. 4, pagg. 1950–1978, 4° quarto, 2013.
- [9] SL Fong e RW Yeung, "Variable-rate linear network coding", *IEEE Trans. Far sapere. Teoria*, vol. 56, n. 6, pp. 2618–2625, giugno 2010.
- [10] M. Chitre, S. Shahabudeen e M. Stojanovic, "Underwater acous-comunicazioni e reti di tic: progressi recenti e futuro sfide", *Marine Technol. Soc. J.*, vol. 42, n. 1, pagg. 103–116, 2008.
- [11] K. Rehan e G. Qiao, "A survey of underwater acoustic communications e tecniche di rete", *Ris. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, n. 3, pagine 778–789, gennaio 2013.
- [12] N. Zhao, FR Yu, ML Jin, Q. Yan e VCM Leung, "Interference allineamento e le sue applicazioni: un sondaggio, problemi di ricerca e sfide", *IEEE Commun. Sondaggi Tuts.*, vol. 18, no. 3, pagg. 1779–1803, 3° quarto, 2016.
- [13] AO Boukalov e S.-G. Häggman, "Aspetti di sistema dell'antenna intelligente tecnologia nelle comunicazioni wireless cellulari: una panoramica", *IEEE Trans. Microw. Teoria Techn.*, vol. 48, n. 6, pp. 919–928, giugno 2000.
- [14] SM Alamouti, "Una semplice tecnica di diversità di trasmissione per cavi meno comunicazioni", *IEEE J. Sel. Aree comuni*, vol. 16, n. 8, pp. 1451–1458, ottobre 1998.
- [15] D. Declercq, M. Fossorier ed E. Biglieri, *Channel Coding Theory, Algoritmi e applicazioni*. Oxford, Regno Unito: Academic Press, 2014.

Fig. 7. Scenari per la connettività di collegamento asimmetrico [139], [140].

energia. Queste funzionalità non sono desiderabili negli UWAN in modo che è necessaria una considerazione congiunta di questi schemi di codifica.

Come discusso sopra, molti trasferimenti affidabili hop-by-hop sono stati proposti schemi a livello di rete, mentre la funzione del livello di trasporto viene quasi ignorata. Tale design impone una sfida per l'inoltro dei nodi quando trans-la garanzia di affidabilità è necessaria. Sebbene la ridondanza possa consentire un certo numero di escrementi di pacchetti, è molto difficile decidere un numero così ottimale in modo che il successo end-to-end può essere garantita un'accoglienza completa, soprattutto per orari variabili Canali UWA. In questo caso, ogni nodo di inoltro dovrebbe archiviare i pacchetti che vengono ritrasmessi da soli fino a quando non sono stati ricevuto completamente dai suoi nodi a valle o dalle loro vite sono dovuti a. Ciò significa che il nodo di inoltro dovrebbe avere un file la gestione del buffer e del buffer diventa un problema, soprattutto se il nodo ha molti pacchetti da inoltrare a diversi vicini bors. Questo requisito può essere attenuato in una certa misura da funzione del livello di trasporto, come TCP in Internet. Però, questo tipo di cooperazione sistematica non è stato affrontato finora.

In una parola, un design ottimale per l'affidabilità del trasferimento end-to-end il controllo delle capacità negli UWAN richiede un piano sistematico per distribuzione delle funzioni e cooperazione dal livello fisico fino al livello di trasporto, al fine di ridurre al minimo la trasmissione ridondanza, carico di calcolo, operazione di buffering e il consumo di risorse ed energia del canale. Tale piano necessita di un'indagine approfondita considerando ulteriormente l'asimmetria caratteristiche metriche nelle UWAN che in qualche modo sono state ignorate dagli schemi più recensiti. In genere, queste funzionalità includono collegamenti UWA asimmetrici, capacità e capacità asimmetriche così come le funzioni dei nodi nelle UWAN. Ad esempio, un file Lo scenario di collegamento asimmetrico può essere causato da un raggio direzionale con meno di 360°-larghezza piuttosto che una copertura direzionale omni-erage come illustrato in Fig. 7, o da una batimetrica ascendente profilo, in cui, il canale può sperimentare molto più alto BER nella direzione verso la pendenza ascendente rispetto al contrario direzione [138]. Per quanto riguarda la capacità asimmetrica e la capacità lità, un nodo del pozzo sulla superficie dell'acqua è solitamente molto potente

- [16] H. Mercier, VK Bhargava e V. Tarokh, "A survey of error-correggere i codici per i canali con errori di sincronizzazione dei simboli", *IEEE Commun. Sondaggi Tuts.*, vol. 12, no. 1, pagg. 87–96, 1° quarto, 2010.
- [17] MG Luby, M. Mitzenmacher, MA Shokrollahi, DA Spielman e V. Stemann, "Codici pratici resilienti alla perdita", in *Proc. Annu. ACM Symp. Teoria Comput. (STOC)*, El Paso, TX, USA, maggio 1997, pagg. 150–159.

- [40] A. Mahmood e M. Chitre, "Rumore ambientale in acque calde e poco profonde: Una prospettiva di comunicazione", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, n. 6, pp. 198–204, giugno 2017.
- [41] X. Zhang e XJ Zhang, "Caratterizzazione dell'errore di acustica subacquea-canali di tic basati sul semplice modello di Fritchman", in *Proc. IEEE Int. Conf. Processo del segnale. (ICSP)*, Hong Kong, novembre 2016, pagg. 1–5.
- [42] B. Fritchman, "Una caratterizzazione del canale binario utilizzando partizionato

[118] P. Maymounkov e D. Mazieres, "Codici senza tratti e grandi download", in *Proc. Int. Workshop Peer Peer Syst.*, Berkeley, CA, USA, 2005, pagg. 247–255.

[119] M. Luby, "Codici LT", in *Proc. Annu. IEEE Symp. Trovato. Comput. Sci. (FOCS)*, Vancouver, BC, Canada, novembre 2002, pagg. 271-280.

[120] A. Shokrollahi, "Raptor codes", *IEEE Trans. Inf. Teoria*, vol. 52, n. 6, pp. 2551–2567, giugno 2006.

[121] DJC MacKay, "Fountain codes", *IEE Proc. Commun.*, vol. 152, no. 6, pp. 1062-1068, dicembre 2005.

[122] P. Casari, B. Tomasi e M. Zorzi, "Verso una trasmissione ottimale politiche per HARQ basate sui codici delle fontane nelle reti sottomarine", in *Proc. Rete di richiesta wireless IEEE / IFIP. Servizi (WONS)*, Garmisch-Partenkirchen, Germania, gennaio 2008, pagg. 11-19.

[123] Z. Zhou *et al.*, "Data affidabili multi-hop adattivi basati su codice Fountain trasferimento per reti acustiche subacquee", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, Ottawa, ON, Canada, giugno 2012, pagg. 6396–6400.

[124] P. Pakzad, C. Fragouli e A. Shokrollahi, "Schemi di codifica per reti di linea", in *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Teoria*, Adelaide, SA, Australia, settembre 2005, pagg. 1853-1857.

[125] D. Sejdinovic, RJ Piechocki e A. Doufexi, "Analisi dell'albero AND-OR di codici LT distribuiti", in *Proc. IEEE Inf. Teoria Workshop New: Inf. Theory*, Volos, Grecia, giugno 2009, pagg. 261-265.

[126] PC Etter, *Underwater Acoustic Modeling, Principles, Techniques and Applicazioni*, 2a ed. Londra, Regno Unito: E & FN Spon, 1996.

[127] M. Stojanovic, "Underwater acoustic communications: Design considerazioni sullo strato fisico", in *Proc. Annu. Conf. Richiesta wireless New: Syst. Servizi (WONS)*, Garmisch-Partenkirchen, Germania, Gennaio 2008, pagg. 1–10.

[128] J. Catipovic, D. Brady e S. Etchenmendeny, "Development of under-modem e reti acustiche per l'acqua", *Oceanography*, vol. 6, n. 3, pagg. 112–119, 1993.

[129] JA Catipovic, "Limitazioni delle prestazioni nell'acustica subacquea telemetria", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 15, no. 3, pp. 205–216, luglio 1990.

[130] M. Stojanovic, "Comunicazione acustica subacquea", in *Wiley Enciclopedia dell'ingegneria elettrica ed elettronica*. New York, NY, USA: Wiley, 1998, pagg. 688–698.

[131] AA Syed, W. Ye e J. Heidemann, "Time synchronization for reti acustiche ad alta latenza", in *Proc. IEEE INFOCOM*, Barcellona, Spagna, aprile 2006, pagg. 1–12.

[132] D. Makhija, P. Kumaraswamy e R. Roy, "Sfide e design del protocollo MAC per reti di sensori acustici subacquei", in *Proc. Modello. Optim. Rete wireless mobile ad hoc*, Boston, MA, USA, Aprile 2006, pagg. 1–6.

[133] GE Burrowes e JY Khan, "Investigation of a short-range under-canale di comunicazione acustico dell'acqua per la progettazione del protocollo MAC", in *Proc. Processo del segnale. Commun. Syst. (ICSPCS)*, Gold Coast, QLD, Australia, dicembre 2010, pagg. 1–8.

[134] M. Stojanovic, "Sul rapporto tra capacità e distanza in un canale di comunicazione acustico subacqueo", in *Proc. ACM Int. Rete subacquea per officina. (WUWNet)*, Los Angeles, CA, USA, Settembre 2006, pagg. 41–47.

[135] K. Kredon, II, P. Djukic e P. Mohapatra, "STUMP: Exploiting diversità di posizione nel protocollo MAC subacqueo TDMA sfalsato col", in *Proc. IEEE INFOCOM*, Rio de Janeiro, Brasile, aprile 2009, pagg. 2961–2965.

[136] B. Tomasi, G. Toso, P. Casari e M. Zorzi, "Impact of time-varying canali acustici subacquei sulle prestazioni dei protocolli di instradamento", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 38, n. 4, pp. 772–784, ottobre 2013.

[137] J. Preisig, "Considerazioni sulla propagazione acustica per l'acustica subacquea sviluppo della rete di comunicazione", in *Proc. ACM Int. Workshop Rete subacquea (WUWNet)*, Los Angeles, CA, USA, settembre 2006, pag. 5.

[138] A. Mahmood e M. Chitre, "Modellazione del rumore impulsivo colorato da catene di Markov e processi alfa-stabili", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS*, Genova, Italia, maggio 2015, pagg. 1–7.

[139] A. Mahmood e M. Chitre, "Comunicazione robusta in un impulso impetuoso sive noise e Rayleigh block fading", in *Proc. ACM Int. Conf. Rete subacquea Syst. (WUWNet)*, Shanghai, Cina, ottobre 2016, Arte. no. 13.

[140] Markov chain", *IEEE Trans. Inf. Teoria*, vol. IT-13, n. 2, pp. 110–117, aprile 1967.

[141] S. Parastoo, AK Rodney, BR Predrag e S. Ramtin, "Finite-affermare la modellazione di Markov dei canali in dissolvenza: un'indagine sui principi e applicazioni", *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 25, n. 5, pagg. 57–80, Settembre 2008.

[142] D. Pompili e IF Akyildiz, "Una soluzione di comunicazione cross-layer per applicazioni multimediali in reti di sensori acustici subacquei", in *Proc. IEEE Int. Conf. Sist. Sensore mobile ad hoc (MASSA)*, Atlanta, GA, USA, settembre 2008, pagg. 275–284.

[143] D. Pompili e IF Akyildiz, "A multimedia cross-layer protocol for reti di sensori acustici subacquei", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, n. 9, pagg. 2924–2933, settembre 2010.

[144] SU Son, JW Choi e H. Kim, "Multipath effects on coherent comunicazione acustica subacquea in acque poco profonde", in *proc. Symp. Ultrasuoni. Electron.*, vol. 33. Chiba, Giappone, novembre 2012, pagg. 263-264.

[145] A. Petroni *et al.*, "Rilevamento acustico adattivo PPM in aree molto superficiali serbatoio d'acqua", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS*, Washington, DC, USA, Ottobre 2015, pagg. 1–4.

[146] U. Erez e G. Wornell, "Un'architettura super-Nyquist per la religione capace di comunicazione acustica subacquea", in *Proc. Annu. Allerton Conf. Commu. Control Comput.*, Monticello, IL, USA, settembre 2011, pagg. 469–476.

[147] JE Mazo, "Faster-than-Nyquist signaling", *Bell Syst. Technol. J.*, vol. 54, pp. 1451–1462, ottobre 1975.

[148] B. Tomasi, D. Munaretto, JC Preisig e M. Zorzi, "Real-time redun-assegnazione di dancy per canali acustici subacquei variabili nel tempo", in *Proc. ACM Int. Conf. Rete subacquea Syst. (WUWNet)*, Los Angeles, CA, USA, novembre 2012, pag. 2.

[149] B. Tomasi, L. Toni, P. Casari, L. Rossi e M. Zorzi, "Performance studio della modulazione a tasso variabile per comunicazioni subacquee basato su dati sperimentali", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS*, Seattle, WA, USA, settembre 2010, pagg. 1–8.

[150] NR Krishnamoorthy e CD Suriyakala, "Studio comparativo di codifica del controllo degli errori nel canale acustico subacqueo", in *Proc. Int. Conf. Adv. Technol. recente. Commun. Comput. (ARTCom)*, novembre 2011, pagg. 199–202.

[151] PA van Walree e G. Leus, "Robusta telemetria subacquea con equalizzazione multibanda turbo adattiva", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 34, no. 4, pp. 645–655, ottobre 2009.

[152] K. Pelekanakis e M. Chitre, "Robust equalization of mobile under-canali acustici dell'acqua", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 40, n. 4, pp. 775–784, ottobre 2015.

[153] K. Pelekanakis e M. Chitre, "Adaptive sparse channel estimation con rumore simmetrico alfa-stabile", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, n. 6, pp. 3183–3195, giugno 2014.

[154] MA Chitre, JR Potter e S.-H. Ong, "Ottimale e quasi ottimale il rilevamento del segnale nel rumore ambientale dominato dai gamberetti", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 31, n. 2, pagg. 497–503, aprile 2006.

[155] G. Bauch e N. Al-Dhahir, "Turbo spazio-tempo a complessità ridotta equalizzazione per canali MIMO selettivi in frequenza", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 1, n. 4, pp. 819–828, ottobre 2002.

[156] S. Roy, TM Duman e VK McDonald, "Miglioramento del tasso di errore nelle comunicazioni MIMO subacquee utilizzando una risposta parziale sparsa equalizzazione", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS*, Boston, MA, USA, Settembre 2006, pagg. 1–6.

[157] S. Roy, TM Duman e VK McDonald, "Miglioramento del tasso di errore nelle comunicazioni MIMO subacquee utilizzando una risposta parziale sparsa equalizzazione", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 34, n. 2, pagg. 181–201, Aprile 2009.

[158] G. Colavolpe e G. Germini, "Sull'applicazione dei grafici fattoriali e l'algoritmo del prodotto somma ai canali ISI", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 53, n. 5, pp. 818–825, maggio 2005.

[159] TC Yang e KD Heaney, "Acustica subacquea assistita dalla rete comunicazioni", in *Proc. ACM Int. Conf. Rete subacquea Syst. (WUWNet)*, Los Angeles, CA, USA, novembre 2012, pag. 37.

[160] A. Sendonaris, E. Erkip e B. Aazhang, "Diversità della cooperazione tra utenti. Parte I. Descrizione del sistema.", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, n. 11, pp. 1927-1938, novembre 2003.

[161] M. Rahmati e D. Pompili, "uwMIMO-HARQ: Hybrid ARQ for comunicazioni MIMO acustiche subacquee affidabili", in *Proc. ACM Int. Conf. Rete subacquea Syst. (WUWNet)*, Arlington, VA, USA, Ottobre 2015, p. 12.

[162] M. Schwartz, *Reti di telecomunicazione, protocolli, modellazione e Analisi*. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1987.

[163] D. Pompili e IF Akyildiz, "Overview of networking protocols for comunicazioni wireless subacquee", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 1, pagg. 97–102, gennaio 2009.

[164] T. Melodia, H. Kulhandjian, L.-C. Kuo ed E. Demirsors, "Advances in reti acustiche subacquee", in *Mobile Ad Hoc Networking: Le direzioni taglienti*, S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, e I. Stojmenovic, Eds. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2013, cap. 23, pagg. 804–852.

[165] J. Yu, H. Chen, L. Xie e J.-H. Cui, "Analisi delle prestazioni dell'ibrido Schemi ARQ in reti acustiche subacquee", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS*, St. John's, NL, Canada, settembre 2014, pagg. 1–6.

[166] RK Creber, JA Rice, PA Baxley e CL Fletcher, "Performance di reti acustiche sottomarine utilizzando l'handshaking RTS / CTS e Ritrasmissione ARQ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS*, vol. 4. Honolulu, HI, USA, novembre 2001, pagg. 2083–2086.

[167] YM Zhang, L. Xie, HF Chen e J.-H. Cui, "Sull'uso dello scorrimento Codice LT nel trasferimento di dati in tempo reale acustico subacqueo ad alta propa-gation latency", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS*, St. John's, NL, Canada, Settembre 2014, pagg. 1–5.

[168] YM Cui, J. Qing, QS Guan, F. Ji e G. Wei, "Stochastically trasmissioni ottimizzate basate su fontane su canali acustici subacquei nels", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 64, n. 5, pagg. 2108–2112, Maggio 2015.

[169] H.-P. Tan, WKG Seah e L. Doyle, "A multi-hop ARQ proto-col per reti acustiche subacquee", in *Proc. OCEANS MTS / IEEE*, Aberdeen, Regno Unito, giugno 2007, pagg. 1–6.

[170] DE Lucani, M. Médard e M. Stojanovic, "Network coding schemi per reti sottomarine: i vantaggi del riconoscimento implicito edgement", in *Proc. ACM Int. Rete subacquea per officina. (WUWNet)*, Montreal, QC, Canada, settembre 2007, pagg. 25–32.

[171] A. Valera, PWQ Lee, H.-P. Tan, H. Liang e WKG Seah, "Implementazione e valutazione di multihop ARQ per compo comunicazioni in reti acustiche subacquee", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS*, Brema, Germania, maggio 2009, pagg. 1–6.

[172] J.-W. Lee *et al.*, "Uno schema ARQ migliorato nelle acque subacquee reti di sensori di tic", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS*, Kobe, Giappone,

[69] MS Gao, W.-S. Soh e MX Tao, "Uno schema di trasmissione per protocolli ARQ continui su canali acustici subacquei ", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)* , Dresda, Germania, giugno 2009, pp. 1–5.

[70] M. Chitre e W.-S. Soh, "Acustica subacquea affidabile punto a punto trasferimento dati: per destreggiarsi o non destreggiarsi? " *IEEE J. Ocean. Eng.* , vol. 40, no. 1, pagg. 93–103, gennaio 2015.

[71] JM Daladier e MA Labrador, "Uno strato di collegamento dati a sostegno di brulicare di veicoli subacquei autonomi ", in *proc. MTS / IEEE OCEANS* , Brema, Germania, maggio 2009, pagg. 1–10.

[72] JM Daladier e MA Labrador, "Uno strato di collegamento logico adattivo protocollo per i canali di comunicazione acustica subacquea ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , Biloxi, MS, USA, ottobre 2009, pagg. 1–8.

[73] JL Talavage, TE Thiel e D. Brady, "Un efficiente negozio e protocollo in avanti per una rete locale acustica in acque poco profonde ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , vol. 1. Brest, Francia, settembre 1994, pp. 1 / 883-1 / 888.

[74] S. Azad, P. Casari, F. Guerra e M. Zorzi, "Sulle strategie ARQ finite protocolli di accesso casuale nelle reti acustiche subacquee ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , Santander, Spagna, giugno 2011, pagg. 1–7.

[75] S. Azad, P. Casari e M. Zorzi, "L'errore di ripetizione selettiva subacquea protocollo di controllo per reti acustiche multiutente: Design e parameter optimization, " *IEEE Trans. Wireless Commun.* , vol. 12, no. 10, pp. 4866–4877, ottobre 2013.

[76] L. Badia, P. Casari, M. Levorato e M. Zorzi, "Analysis of an schema di richiesta di ripetizione automatica indirizzato a canali con ritardo lungo ", in *Proc. IEEE Int. Conf. Adv. Inf. Netw. Appl. (AINA)* , Bradford, Regno Unito, Maggio 2009, pagg. 1142–1147.

[77] L. Rizzo, "Codici di cancellazione efficaci per comunicazioni informatiche affidabili protocolli " *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* , vol. 27, n. 2, pp. 24–36, aprile 1997.

[78] B. Liu, F. Garcin, FY Ren e C. Lin, "A study of forward error cor-schemi di rezione per un trasporto affidabile nelle reti di sensori sottomarini ", in *Proc. Annu. Commun. Soc. Conf. Sensor Mesh Ad Hoc Commun. Netw. (SECON)* , San Francisco, CA, USA, giugno 2008, pagg. 197–205.

[79] B. Liu, HY Chen, XF Lei, FY Ren e KR Sezaki, "Internode ridondanza basata sulla distanza trasporto affidabile nella rete di sensori sottomarini funziona ", *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.* , vol. 2010, dicembre 2010, Arte. no. 358071.

[80] AJ Lin, HF Chen e L. Xie, "Analisi delle prestazioni di ARQ pro tocols in reti acustiche subacquee multiutente ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , Washington, DC, USA, ottobre 2015, pagg. 1–6.

[81] R. Diamant e L. Lampe, "Schema di codifica adattivo per la correzione degli errori per le reti di comunicazione acustica sottomarina ", *IEEE J. Ocean. Eng.* , vol. 40, n. 1, pp. 104–114, gennaio 2015.

[82] M. Chitre e M. Motani, "Sull'uso di codici senza velocità in sott'acqua trasferimenti di file acustici ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , Aberdeen, Regno Unito, Giugno 2007, pagg. 1–6.

[83] A. Kebkal, K. Kebkal e M. Komar, "Protocollo di collegamento dati per reti acustiche dell'acqua ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , vol. 2. Brest, Francia, giugno 2005, pagg. 1174–1180.

[84] O. Kebkal, "Sull'uso dell'ordine intrecciato dei pacchetti in arrivo per un trasferimento affidabile dei dati acustici subacquei ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , Brema, Germania, maggio 2009, pagg. 1–7.

Aprile 2008, pagg. 1–5.

[91] HJ Zhuang, H.-P. Tan, A. Valera e ZJ Bai, "Opportunistic ARQ con ascolto bidirezionale per multihop affidabili sott'acqua networking ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , Sydney, NSW, Australia, Maggio 2010, pagg. 1–6.

[92] KS Geethu e AV Babu, "Analisi delle prestazioni della codifica della cancellazione trasferimento di dati basato su reti di sensori acustici subacquei ", in *Proc. Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Informat. (ICACCI)* , Kochi, India, Agosto 2015, pagg. 2145–2151.

[93] P. Xie e JH Cui, "SDRT: Reliable data transport protocol for under-reti di sensori d'acqua ", Dept. Comput. Sci. Eng., Univ. Connecticut, Mansfield, CT, USA, CSE Rep. UbiNet-TR06-03, febbraio 2006.

[94] P. Xie e J.-H. Cui, "Un protocollo di trasporto dati affidabile basato su FEC per reti di sensori subacquei ", in *Proc. IEEE Conf. Comput. Commun. Netw. (ICCCN)* , Honolulu, HI, USA, agosto 2007, pagg. 747–753.

[95] P. Xie, Z. Zhou, Z. Peng, J.-H. Cui e Z. Shi, "SDRT: un affidabile protocollo di trasporto dati per reti di sensori subacquei, " *Ad Hoc Netw.* , vol. 8, no. 7, pagg. 708–722, settembre 2010.

[96] HN Mo, AC Mingir, H. Alhumyani, Y. Albayram e J.-H. Cui, "UW-HARQ: Uno schema ARQ ibrido subacqueo: progettazione, implementazione tazione e prova iniziale ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , Hampton, VA, USA, ottobre 2012, pagg. 1–5.

[97] H. Mo *et al.* , "Trasferimento dati affidabile multi-hop basato sulla codifica per reti acustiche subacquee ", in *Proc. IEEE Glob. Telecommun. Conf. (GLOBECOM)* , Anaheim, CA, USA, dicembre 2012, pagg. 5751–5756.

[98] H. Mo *et al.* , "Trasmissione dati affidabile coordinata multi-hop basata sulla codifica fer per reti acustiche subacquee: progettazione, implementazione e test ", in *Proc. IEEE Glob. Telecommun. Conf. (GLOBECOM)* , Atlanta, GA, USA, dicembre 2013, pagg. 4566–4571.

[99] RAR Ahmed e M. Stojanovic, "Random linear packet coding per la comunicazione acustica ad alta velocità: un'analisi sperimentale ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , Yeosu, Corea del Sud, maggio 2012, pagg. 1–7.

[100] R. Ahmed e M. Stojanovic, "Random linear packet coding for fad-canali ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , San Diego, CA, USA, Settembre 2013, pagg. 1–6.

[101] R. Ahmed e M. Stojanovic, "Potere congiunto e controllo della velocità per il pacchetto codifica su canali in dissolvenza ", *IEEE J. Ocean. Eng.* , vol. 42, n. 3, pp. 697–710, luglio 2017.

[102] R. Cao e LQ Yang, "Protocollo di trasporto e conservazione affidabile con codici fontana per reti di sensori acustici subacquei ", in *Proc. ACM Int. Conf. Rete subacquea Syst. (WUWNet)* , Woods Hole, MA, USA, Settembre / ottobre 2010, art. no. 14.

[103] R. Cao e LQ Yang, "Comando acustico subacqueo affidabile comunicazioni con codici DLT ibridi ", in *Proc. IEEE Mil. Commun. Conf. (MILCOM)* , Baltimore, MD, USA, novembre 2011, pagg. 412–417.

[104] FN Xing, SB Cai, ZG Gao e DS Yang, "Estratto esteso: A protocollo basato sulla codifica di rete per un trasferimento affidabile dei dati sott'acqua reti di sensori acustici ", in *Proc. ACM Int. Laboratorio subacqueo Netw. (WUWNet)* , Seattle, WA, USA, dicembre 2011, art. no. 16.

[105] Z. Guo, P. Xie, J.-H. Cui e B. Wang, "Sull'applicazione della codifica di rete a reti di sensori subacquei ", in *Proc. ACM Int. Laboratorio subacqueo Netw. (WUWNet)* , Los Angeles, USA, settembre 2006, pagg. 109–112.

[106] P. Xie, J.-H. Cui e L. Lao, "VBF: protocollo di inoltro basato su vettori per reti di sensori subacquei ", in *Proc. IFIP Netw. Conf.* , Coimbra, Portogallo, maggio 2006, pagg. 1216–1221.

[107] Z. Guo, B. Wang e J.-H. Cui, "Recupero efficiente degli errori utilizzando la rete codifica in reti di sensori subacquei ", in *Proc. IFIP Netw. Conf.* , Atlanta, GA, USA, maggio 2006, pagg. 109–112.

[108] Z. Guo, B. Wang, P. Xie, W. Zeng e J.-H. Cui, "Efficient error recupero con codifica di rete in reti di sensori subacquei ", *Ad Hoc Netw.* , vol. 7, no. 4, pp. 791–802, giugno 2009.

[109] C. Fragouli, J.-YL Boudec e J. Widmer, "Network coding: An primer istantaneo, " *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* , vol. 36, no. 1, pagg. 63–68, gennaio 2006.

[110] SB Cai, NM Yao e ZG Gao, "Un protocollo di trasferimento dati affidabile basato su percorsi gemelli e codifica di rete per sensore acustico subacqueo rete ", *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.* , vol. 2015, n. 28, pagg. 4015–4022, 2015.

[111] DF Zhao, XY Song e GY Lun, "Un riconoscimento multi-hop tecnica di riconoscimento basata sulla codifica di rete per acustica subacquea comunicazione ", in *Proc. Int. Conf. Commun. Processo del segnale. (ICCSF)* , Chengdu, Cina, ottobre 2015, pagg. 141–152.

[112] M. Chitre e W.-S. Soh, "Codifica di rete per combattere la perdita di pacchetti in reti sottomarine ", in *Proc. ACM Int. Conf. Rete subacquea Syst. (WUWNet)* , Woods Hole, MA, USA, settembre 2010, art. no. 5.

[113] N. Chirdchoo, M. Chitre e W.-S. Soh, "Uno studio sulla codifica di rete in reti sottomarine ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , Seattle, WA, USA, maggio 2010, pagg. 1–8.

[114] C.-Y. Huang, P. Ramanathan e K. Saluja, "Il routing TCP scorre reti a maglie sottomarine, " *IEEE J. Sel. Arce comuni* , vol. 29, no. 10, pagg. 2022–2032, dicembre 2011.

[115] Z. Zhou, Z. Peng, J.-H. Cui e Z. Shi, "Efficient multipath comp comunicazione per applicazioni time-critical in sensori acustici subacquei reti sor ", *IEEE / ACM Trans. Netw.* , vol. 19, no. 1, pagg. 28–41, Febbraio 2011.

[116] JF Xu, T. Zhang e ZD Dong, "Sulla correzione degli errori in avanti con codice hamming per comunicazioni multi-path ", in *Proc. Int. Conf. Wireless Commun. Processo del segnale. (WCSP)* , Huangshan, Cina, Ottobre 2012, pagg. 1–5.

[129] P. Wang e T. Wang, "Adaptive routing for sensor networks using apprendimento per rinforzo ", in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Inf. Technol.* , Seoul, Corea del Sud, settembre 2006, pag. 219.

[130] TS Hu e YS Fei, "QELAR: un adattivo basato sull'apprendimento automatico protocollo di routing per underwa-ter sensor networks, *IEEE Trans. Mobile Comput.* , vol. 9, n. 6, pp. 796–809, giugno 2010.

[131] J. Rice *et al.* , "Evolution of Seaweb underwater acoustic networking", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , vol. 3. Providence, RI, USA, settembre 2000, pagg. 2007–2017.

[132] J. Gibson, A. Larraza, J. Rice, K. Smith e G. Xie, "Sugli impatti e vantaggi dell'implementazione di collegamenti di comunicazione full-duplex in un file rete acustica sottomarina ", in *Proc. Int. Mine Symp.* , Monterey, CA, USA, ottobre 2002, pagg. 204–213.

[133] 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.

[134] SM Jiang, Q. Zuo e G. Wei, "Disaccoppiamento del controllo della congestione da TCP per reti wireless multi-hop: Semi-TCP ", in *Proc. ACM MobiCom Workshop Challenged Netw. (CHANTS)* , Pechino, Cina, Settembre 2009, pagg. 27–34.

[135] SM Jiang, *Future Wireless and Optical Networks: Networking Modes e Cross-Layer Design* . Londra, Regno Unito: Springer-Verlag, 2012.

[136] YG Cai, SM Jiang, QS Guan e FR Yu, "Disaccoppiamento conges-controllo della rete da TCP (semi-TCP) per reti wireless multi-hop ", *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.* , vol. 2013, p. 149, dicembre 2013.

[137] L. Freitag *et al.* , "Il micro-modem WHOL: una comunicazione acustica e sistema di navigazione per più piattaforme ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , vol. 2. Washington, DC, USA, settembre 2005, pagg. 1086–1092.

[138] R. Otnes *et al.* , *Tecniche di networking acustico subacqueo* . Heidelberg, Germania: Springer, 2012.

[139] S. Zhang e DS Li, "La larghezza e la direzione del raggio riguardavano il routing per reti di sensori acustici subacquei ", in *Proc. IEEE Int. Conf. Rete di sensori ad hoc mobile* , Dalian, Cina, dicembre 2013, pagg. 17–24.

[140] S. Zhang, DS Li e J. Chen, "Un feedback adattivo basato sullo stato di collegamento

[117] M. Tarique, K.E. Tepe, S. Adibj e S. Erfani, "Review: Survey di protocolli di routing multipath per reti mobili ad hoc", *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 32, n. 6, pagg. 1125–1143, 2009.

[118] JW Lee, JY Cheon e H.-S. Cho, "Uno schema ARQ cooperativo in reti di sensori acustici subacquei", in *Proc. OCEANI MTS / IEEE*, Sydney, NSW, Australia, maggio 2010, pagg. 1–5.

[119] JW Lee e H.-S. Cho, "Uno schema ARQ cooperativo per il multi-hop reti di sensori acustici subacquei", in *Proc. IEEE Sym. Sci. Uso Cavi sottomarini correlati Tech.*, Tokyo, Giappone, aprile 2011, pagg. 1–4.

[120] A. Ghosh, JW Lee e HS Cho, "Produttività ed efficienza energetica di un protocollo ARQ ibrido cooperativo per sensore acustico subacqueo reti", *Sensors*, vol. 13, n. 11, pagg. 15385–15408, novembre 2013.

[121] J. Hagenauer, "Codici convoluzionali perforati compatibili con il tasso (RCPC codici) e le loro applicazioni", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 36, n. 4, pp. 389–400, aprile 1988.

[122] H.-W. Kim e H.-S. Cho, "Un programma MAC cooperativo basato su ARQ tocol per reti di sensori wireless subacquei", in *Proc. ACM Int. Conf. Rete subacquea Syst. (WUWNet)*, Shanghai, Cina, ottobre 2016, Arte. no. 28.

[123] M. Ayaz, A. Abdullah e I. Faye, "Dati affidabili hop-by-hop consegne per reti di sensori wireless subacquei", in *proc. Int. Conf. Comput wireless a banda larga. Commun. Appl.*, Fukuoka, Giappone, Novembre 2010, pagg. 363–368.

[124] T. Ali, LT Jung e I. Faye, "Modello di affidabilità a tre lupoli per rete di sensori wireless per l'acqua", in *Proc. Int. Conf. Comput. Inf. Sci. (ICCOINS)*, Kuala Lumpur, Malesia, giugno 2014, pagg. 1–6.

[125] P. Casari e AF Harris, III, "Efficienza energetica affidabile ampiecast in reti acustiche subacquee", in *Proc. ACM Int. Workshop Rete subacquea (WUWNet)*, Montreal, QC, Canada, settembre 2007, pagg. 49–56.

[126] P. Casari, M. Rossi e M. Zorzi, "I codici delle fontane e la loro applicazione alla trasmissione in reti subacquee: modellazione delle prestazioni e compromessi rilevanti", in *Proc. ACM Int. Rete subacquea per officina. (WUWNet)*, San Francisco, CA, USA, settembre 2008, pagg. 11-18.

[127] BZ Chen e D. Pompili, "Extended abstract: Reliable geocasting per reti di sensori acustici subacquei", in *Proc. ACM Int. Conf. Rete subacquea Syst. (WUWNet)*, Arlington, VA, USA, ottobre 2015.

[128] P. Wang, JH Li e X. Zhang, "Livello di trasporto adattivo guidato da RTT protocollo di controllo del flusso e degli errori per la trasmissione di immagini garantita da QoS su reti wireless subacquee multi-hop: progettazione, implementazione, e analisi", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, Sydney, NSW, Australia, giugno 2014, pagg. 5142–5147.

instradamento per reti di sensori acustici subacquei", *IEEE Sensors J.*, vol. 13, n. 11, pagg. 4402–4412, novembre 2013.

Shengming Jiang (A'96-M'00-SM'07) ricevuto la laurea triennale in informatica dall'istituto marittimo di Shanghai, Cina, in 1988, il master in informatica dal l'Università di Parigi VI, Francia, nel 1992, e il dottorato in informatica presso il Università di Versailles Saint-Quentin-En-Yvelines, Francia, nel 1995. Professore e Preside di il College of Information Engineering, Shanghai Università marittima, Cina. Dal 1988 al 1990, era un assistente ingegnere presso Nanjing Petrol

Azienda di trasporti, Cina. Era un ricercatore associato con il Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica e Computer Dipartimento di Scienze, Università di Scienza e Tecnologia di Hong Kong, dal 1995 al 1997. E 'stato Collaboratore Tecnico presso il Centro per Wireless Communications, National University of Singapore, dal 1997 al 2000 e un membro senior dello staff tecnico, nonché il leader facente funzione del Network Strategic Group dal 2001 al 2003. È stato Associato Scienziato capo e leader del laboratorio QoS end-to-end, Institute per Infocomm Research, Singapore, dal 2003 al 2004. È stato Preside Docente della Facoltà di Tecnologia Avanzata, Università di Glamorgan (attualmente, University of South Wales), Regno Unito, dal 2007 al 2009. Era un Professore alla Scuola di Ingegneria Elettronica e dell'Informazione, Sud China University of Technology dal 2004 al 2013.

I suoi interessi di ricerca includono problemi di rete sia cablati che reti wireless e mobile computing con oltre 25 anni di esperienze internazionali di ricerca e sviluppo in Francia, Hong Kong, Singapore, Regno Unito e Cina. Attualmente è leader nella ricerca di Internet marino. Ha pubblicato oltre 140 articoli su aree correlate, alcuni dei quali sono stati pubblicati su prestigiose riviste internazionali e conferenze, come IEEE / ACM T RANSACTIONS ON N ETWORKING , IEEE J ufficiale SU S ELETTO A REAS IN C COMUNICAZIONI , l'IEEE T RANSACTIONS ON C COMUNICAZIONI , l'IEEE T RANSACTIONS ON W IRELESS C COMUNICAZIONI , IEEE T RANSACTIONS ON V EHICULAR T ECHNOLOGIE , ACM SIGCOMM Computer Communication Review e IEEE INFOCOM.