

Vedere discussioni, statistiche e profili degli autori per questa pubblicazione su: <https://www.researchgate.net/publication/3231120>

Reti acustiche subacquee

Articolo in IEEE Journal of Oceanic Engineering - Febbraio 2000

DOI: 10.1109/48.820738 - From: IEEE Xplore

CITAZIONI

785

LEGGI

709

3 autori , tra cui:

[Ethem Sozer](#)
The MathWorks, Inc

18 PUBBLICAZIONI 1.546 CITAZIONI

VEDI PROFILO

[JG Proakis](#)
Università della California, San Diego

248 PUBBLICAZIONI 28.188 citazioni

VEDI PROFILO

Reti acustiche subacquee

Ethem M. Sozer, Milica Stojanovic e John G. Proakis, *Life Fellow, IEEE*

Abstract— Con i progressi della tecnologia moderna acustica che ha consentito comunicazioni affidabili ad alta velocità, la ricerca si concentra sulla comunicazione tra i vari remoti strumenti all'interno di un ambiente di rete. Acustica subacquea (UWA) le reti sono generalmente formate da acusticamente connesse sensori del fondo oceanico, veicoli subacquei autonomi e una stazione di superficie, che fornisce un collegamento a un controllo a terra centro. Sebbene molte applicazioni richiedano il monitoraggio a lungo termine di l'area di distribuzione, il limite dei nodi di rete alimentati a batteria la durata delle reti UWA. Inoltre, acustica per acque poco profonde caratteristiche del canale, come la larghezza di banda disponibile bas multipath variabile e grandi ritardi di propagazione limitano l'efficienza delle reti UWA. In un tale ambiente, progettare una rete UWA che massimizza il throughput e l'affidabilità mentre ridurre al minimo il consumo di energia diventa un compito molto difficile. L'obiettivo di questo documento è esaminare la tecnologia di rete esistente e la sua applicabilità ai canali acustici subacquei. Inoltre, presentiamo un esempio e uno schema di rete acustica per acque poco alcune direzioni di ricerca future.

Termini dell'Indice— Reti acustiche, telemetria, comunicazioni subacquee comunicazioni.

I. INTRODUZIONE

Un comportano il monitoraggio a lungo termine di aree oceaniche selezionate. Applicazioni di comunicazione SUBACQUEA principalmente L'approccio tradizionale per il fondo o la colonna oceanica il monitoraggio consiste nel dispiegare sensori oceanografici, registrare i dati, e recuperare gli strumenti. Questo approccio crea lunghi ritardi nel ricevere le informazioni registrate. Inoltre, se un errore si verifica prima del ripristino, tutti i dati vengono persi. La soluzione ideale per queste applicazioni (come la raccolta dati da hot vent comunità, attività minerarie o trivellazioni offshore, ecc.) comunicazione in tempo reale tra gli strumenti subacquei e un centro di controllo all'interno di una configurazione di rete.


Le reti acustiche subacquee di base (UWA) sono formate da establishing di collegamenti acustici a due vie tra vari strumenti come veicoli subacquei autonomi (AUV) e sensori. La rete viene quindi collegata a una stazione di superficie che può essere connesso a una spina dorsale, come Internet, tramite un collegamento RF. Questa configurazione crea un ambiente interattivo in cui gli scienziati possono estrarre dati in tempo reale da più strumenti subacquei distanti. Dopo aver valutato il risultato dati, messaggi di controllo possono essere inviati a singoli strumenti e la rete può essere adattata alle mutevoli situazioni. Poiché i dati sono trasferito alla stazione di controllo quando è disponibile, perdita di dati viene impedito fino a quando non si verifica un errore.

Le reti sottomarine possono essere utilizzate anche per aumentare gamma di erazione di AUV. La comunicazione wireless fattibile

Manoscritto ricevuto il 15 luglio 1999; rivisto il 10 agosto 1999.
Gli autori sono con il Dipartimento di Ingegneria Elettrica e Informatica, Northeastern University, Boston, MA 02115 USA.
Identificatore articolo editore S 0364-9059 (00) 00294-6.

la portata di un AUV è limitata dalla portata acustica di un singolo modem che varia da 10 a 90 km [1]. Saltando il control e messaggi di dati attraverso una rete che copre vaste aree, la gamma di AUV può essere notevolmente aumentata. Tuttavia, come notato in [2], gli effetti dei ritardi nel tempo di propagazione dovrebbero essere considerato.

Il canale acustico in acque poco profonde differisce dal canale radio nels sotto molti asnetti. La larghezza di banda disnonibile dell'UWA



Testo originale

In addition, shallow-water acoustic

[Contribuisci a una traduzione migliore](#)

generata insieme a quella del canale radio. Scambiare dati tra le transazioni possono ridurre il throughput del sistema notevolmente se non viene preso in considerazione. Inoltre, poiché l'oceanogli strumenti inferiori sono alimentati a batteria, l'efficienza energetica è una caratteristica desiderabile per le reti sottomarine. Attenzione speciale È opportuno tenere conto di questi fatti quando si progetta una rete protocollo.

[1]. Il paper è diviso in due parti. La prima parte è un file panoramica dei principi di progettazione della rete. Esaminiamo più accesso, accesso ai media, richiesta di ripetizione automatica (ARQ) e metodi di instradamento per reti di comunicazione. Una panoramica di il lavoro svolto fino ad oggi sullo sviluppo della rete UWA opere è anche incluso in questa sezione. La seconda parte presenta a esempio di progetto di una rete di acque poco profonde. Topologia di rete è determinato a fornire il minimo consumo di energia, che è un vincolo importante per la subacquea alimentata a batteria modem. Un metodo di accesso ai media basato sull'accesso multiplo con protocollo di prevenzione delle collisioni (MACA) [22] e viene condotta una simulazione Opnet. Prestazioni di rete viene valutato in termini di ritardo e analisi del rendimento. Infine, La sezione IV riassume le conclusioni e fornisce uno schema di future direzioni di ricerca in questo settore.

II. NETWORK DESIGN PRINCIPLES

La progettazione di una rete di informazioni viene comunemente eseguita sotto forma di un'architettura stratificata [7]. I primi tre strati di questa struttura gerarchica sono il livello fisico, il collegamento dati livello e il livello di rete.

Il livello fisico è incaricato di convertire l'input logico formazione (bit 0 e 1) in segnali che vengono trasmessi il canale di comunicazione. All'estremità ricevente, è responsabile di rilevare il segnale corrotto dal rumore e dall'interruzione di altri canali tortioni e riconvertendolo in frammenti logici.

I bit sono spesso raggruppati in pacchetti, che vengono elaborati a livello di collegamento dati. Questo livello ha due funzioni principali:

inquadramento e controllo della correzione degli errori. Il framing si riferisce alla definizione di un pacchetto, che include la sequenza di informazioni, sincronizzato

preamboli di nizzazione, indirizzi di origine e destinazione e altre informazioni di controllo. Controllo della correzione degli errori nei dati Lo strato di collegamento è più comunemente implementato tramite un file ciclico controllo di ridondanza (CRC). I bit ridondanti sono formati da i bit nel pacchetto e aggiunti ad esso. Al ricevitore, a il controllo viene eseguito per rilevare errori in un pacchetto. Se il CRC fallisce, un nodo può chiedere che il pacchetto venga ritrasmesso. Questo procedura è nota come richiesta di ripetizione automatica (ARQ). Nel per implementare una procedura ARQ, i nodi in una rete deve seguire un protocollo di collegamento dati. Protocolli comunemente usati sono Stop & Wait, Go Back N e Selective Repeat Protocol. Questi protocolli controllano la sequenza logica dello scambio di pacchetti tra due nodi e riconoscendo correttamente pacchetti ricevuti. Formano il controllo del collegamento logico (LLC) sottolivello del livello di collegamento dati. Se sono presenti più di due nodi comunicando sullo stesso canale, cioè se il canale è è necessario adottare misure aggiuntive per orchestrare il accesso di più sorgenti allo stesso supporto. Queste misure sono conosciuti come il controllo di accesso ai media (MAC). Esempi di I protocolli MAC sono il protocollo Aloha, il supporto di rilevamento del vettore protocolli di accesso (CSMA) (Ethernet è un protocollo di questo tipo) e Protocolli token. Questi protocolli formano il sottolivello MAC di il livello di collegamento dati.

Il livello sopra il livello di collegamento dati è il livello di rete. Come ogni strato in un'architettura di rete lo fa, questo strato presume perfetto funzionamento dello strato sottostante. Quindi, il livello di rete manipola i pacchetti senza mettere in dubbio la loro correttezza. La sua funzione principale è quella di routing. L'instradamento implica la ricerca un percorso attraverso la rete e inoltrare i pacchetti da dalla sorgente alla destinazione lungo quel percorso. Se tutti i pacchetti dello stesso messaggio seguono lo stesso percorso, stabilito dal algoritmo di instradamento all'inizio di uno scambio di messaggi, il si dice che la rete utilizzi la commutazione del circuito virtuale. Se un nuovo percorso è determinato per ogni pacchetto, la rete utilizza il datagramma commutazione. Trovare un percorso attraverso la rete è spesso soggetto a un criterio di ottimalità, come ridurre al minimo la distanza del percorso (il ritardo, il numero di salti o qualche altra "distanza" sicuro). Algoritmi di instradamento statico che calcolano il percorso più breve includono l'algoritmo Dijkstra e l'algoritmo Bellman – Ford. Gli algoritmi statici forniscono la base per la progettazione di molti algoritmi di instradamento dinamico utilizzati in reti pratiche che hanno per adattarsi alle mutevoli condizioni operative.

In questa sezione, esaminiamo i metodi e i protocolli utilizzati in il livello di collegamento dati e il livello di rete. Un trattamento di strato fisico è oltre lo scopo di questo documento. Discutiamo anche possibili topologie di rete, che rappresentano un vincolo importante nella progettazione di un protocollo di rete.

A. Topologie di rete

Esistono tre topologie di base che possono essere utilizzate per connettere i nodi di rete: centralizzato, distribuito e multihop topologia [9]. In uno scenario di rete centralizzata, la comunicazione zione tra i nodi avviene attraverso una stazione centrale, che a volte è chiamato l' *hub* della rete. La rete è con-collegato a una spina dorsale in questa stazione centrale. Questa configurazione

funziona per reti UWA in acque profonde, dove una boa di superficie sia con un modem acustico che con un modem RF funge da hub e controlla la comunicazione da e verso gli strumenti del fondo oceanico. Uno dei principali svantaggi di questa configurazione è la presenza di un file unico punto di guasto [9]. Se l'hub si guasta, l'intera rete si chiude giù. Inoltre, a causa della portata limitata di un singolo modem, la rete il lavoro non può coprire grandi aree.

Le due topologie successive sono classificate come peer-to-peer reti. Fornisce una topologia peer-to-peer completamente connessa collegamenti punto a punto tra ogni nodo della rete. Come la topologia elimina la necessità di instradamento. Tuttavia, l'output potenza necessaria per comunicare con nodi ampiamente separati è eccessivo. Inoltre, un nodo che sta tentando di inviare pacchetti a un file il nodo remoto può bloccare i segnali a un nodo vicino, che è chiamato il problema del *vicino-lontano* [9].

Le reti peer-to-peer multihop si formano stabilendo collegamenti di comunicazione solo tra nodi vicini. Mes-i saggi vengono trasferiti dalla sorgente alla destinazione saltando pacchetti da nodo a nodo. Viene gestito il routing dei messaggi da algoritmi intelligenti in grado di adattarsi alle mutevoli condizioni. Le reti multihop possono coprire aree relativamente più ampie poiché il la portata della rete è determinata dal numero di nodi piuttosto che la gamma modem. Tuttavia, come il numero di luppoli aumenta, aumenta anche il ritardo del pacchetto. Attenzione speciale dovrebbe essere dato alle applicazioni che sono sensibili ai ritardi. Nella Sezione III-A, confrontiamo completamente connesso e multihop topologie di rete per un esempio specifico.

B. Metodi di accesso multipli

In molte reti di informazione, la comunicazione è rapida e la quantità di tempo che un utente trascorre in trasmissione su il canale è solitamente inferiore alla quantità di tempo in cui rimane inattivo. Pertanto, gli utenti della rete dovrebbero condividere la frequenza disponibile e tempo in modo efficiente. In questa sezione, ne discutiamo tre principali metodi di accesso multiplo: divisione di frequenza multipla access (FDMA), accesso multiplo a divisione di tempo (TDMA) e codice accesso multiplo alla divisione (CDMA). Confrontiamo questi metodi dal punto di vista di una comunicazione acustica in acque poco profonde rete.

1) *Accesso multiplo a divisione di frequenza (FDMA)*: FDMA divide la banda di frequenza disponibile in sottobande e assegna ogni sottobanda a un singolo utente. Il canale viene utilizzato solo da quell'utente fino a quando non viene rilasciato. La larghezza di banda di FDMA i canali possono essere più piccoli della larghezza di banda di coerenza di canale di trasmissione. In tal caso, gli utenti FDMA sono vulnerabili in grado di sbiadire. Il grave dissolvenza presente nei canali UWA crea un ambiente difficile per i sistemi basati su FDMA. Questo il problema è solitamente risolto codificando [32]. Inoltre, a causa del file fixed larghezze di banda del canale, questo metodo non è flessibile e può essere molto inefficiente nel traffico a raffica [6], [9], [10].

2) *Time Division Multiple Access (TDMA)*: invece di considerando la banda di frequenza, TDMA divide un intervallo di tempo, chiamato un frame, in fasce orarie. Ogni fascia oraria è assegnata a un singolo utente. Gli slot di tempo e i bit di overhead vengono combinati in cornici. Le collisioni di pacchetti da fasce orarie adiacenti sono preventilato includendo tempi di guardia proporzionali al ritardo di propagazione presente nel canale. Come conseguenza, TDMA richiede più overhead di FDMA [6].

l'utente coincide con il modello di salto dell'utente desiderato. Il gli effetti della MAI possono essere controllati mediante un'attenta progettazione dei codici con grandi guadagni di diffusione e impiegando ricevitori multiutente. Nel un ambiente di rete, in cui il traffico dati è sotto forma di raffica, se la trasmissione viene interrotta durante i periodi di inattività, come silenzio nella parola, la capacità del sistema (il numero di utenti che può essere supportato) può essere aumentato. Se un utente trasmette solo il 50% delle volte, la capacità del sistema può essere raddoppiata [11]. Da

Negli ambienti cellulari, dove si trovano molte sottoreti centralizzate combinati insieme, TDMA viene utilizzato con FDMA per ridurre l'effetti di interferenza intercell. Ad esempio, in GSM, l'Euro-sistema cellulare mobile, un modello di riutilizzo a sette cellule è utilizzato dividendo la banda di frequenza in sette sottobande. Gli utenti TDMA accedono all'intera banda di frequenza disponibile che è assegnati a una cella durante la loro fascia oraria. La trasmissione superiore la larghezza di banda relativa a FDMA aumenta la resistenza di

Sistema TDMA a dissolvenza selettiva in frequenza [10].

Poiché i dati vengono memorizzati nel buffer fino allo slot di tempo assegnato, la trasmissione avviene a raffica. Il trasmettitore può essere spento durante i periodi di inattività e il consumo della batteria può essere ridotto. La trasmissione burst richiede anche un bit rate elevato rispetto a FDMA e aumenta l'ISI. Pertanto, gli equalizzatori adattivi lo sono normalmente richiesti nei sistemi TDMA [6], [10].

Uno dei principali vantaggi di TDMA rispetto a FDMA è il suo flessibilità. Poiché l'hardware del modem di ogni utente è lo stesso, il numero di fasce orarie assegnate a un utente può essere modificato senza la necessità di hardware aggiuntivo. In questo modo, il tasso di utenti può essere aumentato su richiesta [9].

Il principale svantaggio del TDMA nell'acustica subacquea reti è che richiede una sincronizzazione rigorosa. Un modo di establishing un riferimento temporale comune nelle topologie centralizzate è quello di trasmettere segnali di sonda periodici. Tuttavia, le fasce orarie formato in questo modo dovrebbe essere mantenuto abbastanza a lungo per evitare collisioni dovute a differenze nei ritardi di propagazione. L'eccessivo i ritardi presenti nel canale sottomarino provocano grandi tempi morti, che si traduce in un rendimento ridotto.

3) *Code Division Multiple Access (CDMA)*: CDMA consente più utenti per operare simultaneamente su tutta la frequenza banda di frequenza. I segnali di diversi utenti si distinguono per mezzi di codici di pseudonimo (PN) utilizzati per la diffusione i messaggi dell'utente. Esistono due tecniche di spargimento di base: sequenza diretta (DS) e specifica di diffusione di frequenza luppolata (FH) trum. Nel caso DS-CDMA, i segnali di informazione sono lineari modulato utilizzando codici PN a banda larga, mentre in FH-CDMA le frequenze portanti degli utenti vengono modificate secondo a modello ottenuto dai codici PN. Un codice PN univoco è as-firmato per ogni utente nel sistema.

L'ampia larghezza di banda dei canali CDMA fornisce resistenza alla dissolvenza selettiva in frequenza. In un sistema FH, bande di frequenza separati da più della larghezza di banda di coerenza del canale (l'inverso della diffusione multipath) dissolvenza indipendente; quindi, uno schema di codifica può essere impiegato per estrarre un guadagno di diversità dal canale in dissolvenza. In un sistema DS, risoluzione temporale fine dei codici di diffusione prevede la possibilità di coerentemente combinare gli arrivi multipath utilizzando i filtri Rake nel file ricevitore. Se i componenti multipath risolvibili svaniscono indipendenti conseguenza, è possibile estrarre un guadagno di diversità temporale presente in il canale [6], [11].

La capacità del sistema CDMA è per lo più limitata da più interferenze di accesso (MAI). Questa interferenza è causata dal segnale dell'utente generato dai segnali di altri utenti, che, a causa della natura della segnalazione a spettro esteso, può sovrapporsi alla segnale generato sia in tempo che in frequenza. In un sistema DS-CDMA, ogni utente attivo contribuisce con un segnale a banda larga all'intero MAI, aumentando efficacemente il livello di rumore. In un FH-CDMA sistema, MAI è causato quando un modello di salto di un'interferenza

ogni utente aggiuntivo aumenta solo l'interferenza complessiva, il sistema del sistema peggiorano, ma non ci sono limiti rigidi in capacità di un sistema CDMA.

I sistemi CDMA sono vulnerabili al problema del *vicino-lontano* [11]. Un algoritmo di controllo della potenza viene utilizzato per ridurre l'uscita livello di potenza di ogni nodo in modo tale da poterlo stabilire affidabile trasferimento di pacchetti senza creare interferenze eccessive. Questo la riduzione al minimo della potenza di uscita è essenziale anche sott'acqua reti per ridurre il consumo della batteria. È mostrato in [12] che il fabbisogno energetico dei sistemi CDMA può essere inferiore a quello dei sistemi TDMA.

I segnali a spettro esteso possono essere utilizzati per risolvere le collisioni al ricevitore utilizzando rilevatori multiutente [13] - [15]. Theoretically, se i codici di lunghezza sono utilizzati nel sistema, collisioni coinvolgendo al massimo gli utenti può essere risolto. In questo modo, il receiving node può rispondere a tutti i messaggi e al numero di collisioni sono diminuite. Questa proprietà riduce sia la batteria consumo e aumenta il throughput della rete. Anno Domini- Un ulteriore aumento della capacità del sistema può essere ottenuto utilizzando antenne direzionali.

In conclusione, compaiono segnali CDMA e a spettro esteso essere una promettente tecnica di accesso multiplo per acque poco profonde reti acustiche.

C. Protocolli di accesso ai media

Il canale UWA ha risorse molto limitate, poiché abbiamo citato nella sezione I. Queste scarse risorse dovrebbero essere condivise in a modo equo ed efficiente mediante un protocollo di accesso ai media. In questa sezione, esaminiamo i protocolli di accesso ai media esistenti e discutere la loro efficacia in una rete sottomarina.

1) *ALOHA*: il protocollo ALOHA originale è basato su accesso casuale degli utenti al mezzo. Ogni volta che un utente ha informazioni da inviare, le trasmette immediatamente. Un riconoscimento edgement (ACK) viene rispedito dal destinatario se il pacchetto viene ricevuto senza errori. A causa della trasmissione arbitraria volte, si verificano collisioni e i pacchetti vengono persi. Se ciò accade, il file il destinatario non emette un ACK e, dopo aver selezionato casualmente volte, i mittenti ritrasmettono i loro pacchetti. Perché il casuale i tempi di ritrasmissione sono selezionati in modo indipendente, le possibilità di una collisione ripetuta sono bassi. A causa delle ritrasmissioni, il file tempo medio richiesto per trasmettere con successo un pacchetto il canale è più lungo del minimo richiesto per un singolo trasmissione di pacchetti. Il rapporto tra il tempo utile (tempo richiesto per la trasmissione di informazioni) al tempo medio totale che il canale è occupato nella trasmissione di questa informazione definisce il velocità effettiva di uno schema di accesso ai media. Con il semplice ALOHA metodo, il rendimento massimo ottenibile è del 18% [8].

Una versione migliorata del protocollo ALOHA, lo slot Metodo ALOHA, è stato proposto da Roberts [16]. In questo metodo, l'ora è divisa in fasce orarie e l'orologio locale di ciascuna

si traduce in un rendimento ridotto. In [31], CSMA è impiegato, ma, come notato anche dagli autori, la questione più importante di quella disegno era l'affidabilità, non l'efficienza.

3) *Accesso multiplo con sistema di prevenzione delle collisioni (MACA)*: il Il protocollo MACA è stato proposto da Karn [22] per rilevare collisioni al ricevente in alternativa al CSMA. Questo protocollo utilizza due pacchetti di segnalazione denominati RTS (request-to-send) e clear-to-send (CTS). Quando A vuole inviare un messaggio a B, prima emette un comando RTS che contiene la lunghezza del file messaggio che deve essere inviato. Se B riceve l'RTS, restituisce a Comando CTS che contiene anche la lunghezza del messaggio. Non appena A riceve il CTS, inizia la trasmissione dei dati pacchetto. Qualsiasi nodo che ascolta un CTS (C in questo caso) ne differisce trasmissione per la lunghezza del pacchetto di dati per evitare collisioni. Se un nodo ascolta un RTS ma non un CTS, decide che è disattivato di portata del ricevitore e trasmette il proprio pacchetto. Perciò,

Pagina 5

SOZER *et al.* : RETI ACUSTICHE SUBACQUEE

75

Fig. 1. Il nodo A può comunicare con il nodo B, ma non con il nodo C. Nodo B può comunicare sia con A che con C.

nodo nella rete è sincronizzato in base a questi slot.

Quando un nodo vuole inviare un pacchetto, attende fino alla volta successiva e quindi inizia la trasmissione. Limitazione della trasmissione dei pacchetti

L'azione di fasce orarie predeterminate riduce il tempo vulnerabile durante il quale può verificarsi una collisione. Con questo metodo, il massimo rendimento massimo è aumentato al 36%.

ALOHA diventa inefficiente nel traffico a raffiche che si verifica in reti di informazione. Inoltre, tentando di risolvere le collisioni relative trasmissioni aumentano il consumo energetico della rete nodi e riduce la durata della rete.

2) *Carrier Sense Media Access (CSMA)*: in ALOHA, utenti non prendere in considerazione lo stato del canale. Ciò si traduce in un alto tasso di collisioni. Le scarse risorse del canale possono essere utilizzato molto meglio se gli utenti ascoltano il canale prima di trasmettere un pacchetto. I metodi di accesso ai media basati su questa idea sono chiamati carrier sense media access (CSMA) [9]. Dettagli e varie forme di questo metodo possono essere trovate in [17] - [20].

Il metodo CSMA cerca di evitare le collisioni ascoltando per un vettore in prossimità del trasmettitore. Questo approccio non evita collisioni al ricevitore [21]. Lasciati considerare una rete formata da tre utenti, come mostrato in Fig. 1. Il circuito i ganci intorno a ciascun nodo ne mostrano il raggio di comunicazione nodo. Supponiamo che il nodo A stia inviando un pacchetto al nodo B. Allo stesso tempo, il nodo C ascolta il canale e, perché lo è fuori dalla gamma di A e non rileva il vettore di A, esso inizia la trasmissione. Questo crea una collisione in B, che è il nodo ricevente. Il nodo A è stato nascosto dal nodo C. Questa situazione è chiamata lo scenario del *nodo nascosto* [21]. Per consentire a B di sentire entrambi i messaggi, il nodo C dovrebbe rimandarne la trasmissione. Tuttavia, se il file la destinazione del pacchetto di C non è B, non c'è motivo di differire la trasmissione, a condizione che il nodo B abbia la capacità di trattare con l'interferenza generata dal segnale dal nodo C [21].

Nel caso in cui B invii un pacchetto ad A, C rileva un vettore. Questo crea una situazione di *nodo esposto*, dove C è esposto al nodo B.

Il CSMA non può risolvere questi problemi senza aggiungere una guardia tempo tra le trasmissioni proporzionale al massimo tempo di propagazione presente nella rete. La vasta propagazione nei canali sottomarini possono causare questo metodo diventare molto inefficiente. Se consideriamo un'acustica subacquea rete con una portata massima di 10 km, velocità dati di 1 kbit/s, e una dimensione del pacchetto di 1000 bit, il ritardo di trasmissione e l'estensione del ritardo massimo di propagazione diventa rispettivamente di 1 s e 6,7 s. In questa situazione, la maggior parte delle volte il canale sarà inattivo, che

questo protocollo può risolvere sia il nodo nascosto che quello esposto i problemi.

Il controllo automatico della potenza può essere incorporato nel MACA protocollo in modo semplice [22]. Durante l'ex RTS-CTS cambiare, i nodi apprendono il livello di potenza minimo necessario per comunicazione responsabile per tentativi ed errori. Con il controllo della potenza, a il nodo che ascolta un CTS non deve interrompere le sue trasmissioni. Se restringe la sua potenza di uscita a un livello che non sarà sentito da nodo che ha inviato il CTS, può continuare le sue transazioni con il nodi che richiedono meno potenza di uscita [22].

Questo protocollo si basa fortemente sulla simmetria del canale, cioè, un CTS dovrebbe essere sentito da tutti i nodi all'interno dell'intervallo del nodo ricevente. Tuttavia, in caso di controllo dell'alimentazione, questo la simmetria può essere persa. Pertanto, è meglio inviare segnali CTS a un livello più alto per garantire che tutti i nodi all'interno dell'intervallo possano ascoltare.

Questo protocollo può essere utilizzato come base per un programma di accesso ai media per le reti UWA. Fornisce informazioni per il collegamento algoritmi e ha la capacità di evitare le collisioni prima di loro si verificano. Lo scambio extra RTS-CTS aggiunge overhead, ma la riduzione L'azione delle ritrasmissioni può compensare questo aumento. Come mai, molti aspetti del protocollo, come ACK e scheduling, devono essere presi in considerazione dal progettista. Questo protocollo e le sue estensioni adatte ai canali di interesse UWA lo sono discusso ulteriormente nella sezione III-B.

4) *MACAW*: Il protocollo MACAW è una versione modificata di MACA. Viene proposto da Bharghavan [21] per migliorare il prestazioni e affidabilità di MACA.

In MACA, la transazione tra due nodi avviene come file scambio di pacchetti RTS-CTS-DATA. In altre parole, pacchetto la ricezione non viene riconosciuta. Riconoscendo la corretta pacchetti ricevuti, normalmente una funzione eseguita nel collegamento dati strato, a volte è rinviato a una fase successiva. Vale a dire, su altamente collegamenti affidabili, dove i pacchetti raramente contengono errori, inviando la conoscenza su ogni salto di un collegamento fa perdere tempo. Aumentare il throughput, i messaggi, piuttosto che i pacchetti, possono essere riconosciuti bordato in tali reti. Se c'è un pacchetto errato (o più) in un messaggio, il nodo di destinazione chiederà al nodo di origine ritrasmettere. Pertanto, la procedura ARQ non viene implementata ogni due nodi lungo la via di comunicazione, ma solo tra i nodi di origine e di destinazione. Di conseguenza, non può essere implementato a livello di collegamento dati, ma a livello

Pagina 6

76

IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING, VOL. 25, NO. 1, GENNAIO 2000

superiore al livello di rete (dopo aver trovato il percorso). Questo layer è il layer di trasporto.

Se il canale di comunicazione è di scarsa qualità, un messaggio probabilmente conterrà un pacchetto errato. Recupero degli errori nel pacchetto di dati a livello di trasporto ora richiederà extra-ritardo cessante. In genere, la correzione degli errori viene eseguita meglio in il livello di collegamento dati per canali a bassa affidabilità come la radio o canali acustici in acque poco profonde. A tal fine, un ACK il pacchetto viene trasmesso dopo ogni transazione andata a buon fine. Incluso la sione di un pacchetto extra nella transazione aumenta il sovraccarico, che diminuisce il rendimento. Tuttavia, è mostrato in [21] che, per i canali radio, il guadagno in throughput supera l'input piega in testa.

Il protocollo MACAW ignora il controllo della potenza e l'asimmetria tentativi che possono verificarsi. Le sue prestazioni sotto le esigenze di controllo da indagare. Inoltre, l'effetto di aggiungere più overhead al protocollo in un ambiente in cui i ritardi di propagazione sono cessivo dovrebbe essere affrontato.

D. Richiesta di ripetizione automatica (ARQ)

ARQ viene utilizzato per rilevare errori nel livello di controllo del collegamento quindi per richiedere la ritrasmissione di pacchetti errati. Là ci sono tre schemi ARQ di base: Stop & Wait, Go Back N e

comunicazione all'inizio di una transazione. Nel datagramma commutazione, ogni nodo che è coinvolto nella transazione fa una decisione di instradamento, che è quella di determinare il salto successivo del file pacchetto.

Molti dei metodi di instradamento si basano sul *percorso più breve* algoritmo. In questo metodo, viene assegnato ogni collegamento nella rete un costo che è funzione della distanza fisica e delle congestione. L'algoritmo cerca di trovare il percorso più breve, ovvero il percorso con il costo più basso, da un nodo di origine a un nodo di destinazione. In un'implementazione distribuita, ogni nodo determina il costo di inviare un pacchetto di dati ai suoi vicini e condivide queste informazioni accoppiamento con gli altri nodi della rete. In questo modo, ogni node mantiene una base di dati che riflette il costo del possibile itinerari.

Per iniziare, consideriamo il problema più generale in cui la rete i nodi di lavoro possono spostarsi. Questa situazione può essere visualizzata come una rete sottomarina con entrambi i sensori fissi del fondo oceanico sors e AUV. Gli strumenti formano temporaneamente una rete senza l'ausilio di alcuna infrastruttura preesistente. Questi tipi di le reti sono chiamate reti *ad hoc* [23].

Nelle reti *ad hoc*, il problema principale è ottenere il massimo sfruttamento di ogni singolo collegamento nella rete, in modo da cide sul percorso migliore per un pacchetto. Tuttavia, se la comunicazione Il mezzo cationico è molto variabile come nell'acustica per acque poco profonde

Protocollo di ripetizione selettiva.

L'ARQ Stop & Wait è il più semplice di tutti e tre. La fonte del pacchetto attende prima un ACK dalla destinazione invio del successivo pacchetto di dati. Se dopo un timeout preimpostato il messaggio non viene ricevuto, la sorgente ritrasmette il pacchetto. Il canale rimane inattivo durante il tempo di propagazione di andata e ritorno. In full duplex link, il throughput del sistema può essere aumentato se il file source continua a trasmettere lo stesso pacchetto mentre è in attesa del file ACK. Tuttavia, questo metodo ha un consumo energetico eccessivo.

Nel metodo Go Back N ARQ, la sorgente trasmette i pacchetti in una finestra di dimensione N senza attendere alcun ACK. I dati i pacchetti sono numerati e la destinazione invia un ACK pacchetti contenenti il numero del pacchetto riconosciuto. ACK per un pacchetto riconosce tutti i pacchetti precedenti. Se la fonte non riceve un ACK per un pacchetto, inizia ritrasmissioni a partire dal pacchetto non riconosciuto. Il destinazione accetta i pacchetti in ordine, il che elimina la necessità per il buffering.

Se un buffer viene utilizzato nella destinazione, i pacchetti possono essere cepted out of order. La sorgente deve quindi trasmettere solo il file pacchetti non riconosciuti. Questo metodo è chiamato Selective Retorba ARQ. Questo schema ARQ è il più efficiente di tutti e tre. I dettagli di questi schemi ARQ possono essere trovati in [8].

Torna indietro N e il protocollo di ripetizione selettiva richiedono full duplex collegamenti. In [29], un metodo Go Back N ARQ è impiegato da as-firma di bande di frequenza dedicate per la ricezione e la trasmissione. Dividendo la larghezza di banda limitata in modo il duplex a divisione di quenza riduce la velocità di trasmissione dati del sistema.

E. Routing

Esistono due metodi di base utilizzati per instradare i pacchetti una rete di informazioni: instradamento del *circuito virtuale* e *datagramma* instradamento. Le reti che utilizzano circuiti virtuali decidono il percorso del file

canale, il numero di aggiornamenti di instradamento può essere molto alto. Cur-la ricerca sugli affitti sul percorso si concentra sulla riduzione del sovraccarico aggiunto instradando i messaggi e allo stesso tempo trovando il meglio per ACK, che sono due requisiti contrastanti. In un recente articolo [27], gli autori hanno confrontato quattro protocolli di routing di rete *ad hoc* cols presentati in letteratura:

- vettore della distanza della sequenza di destinazione (DSDV) [24];
- algoritmo di routing ordinato temporalmente (TORA) [25];
- instradamento dinamico della sorgente (DSR) [26];
- vettore di distanza su richiesta *ad hoc* (AODV) [28].

DSDV mantiene un elenco dei *prossimi hop* per ogni nodo di destinazione che appartiene al percorso di distanza più breve. Il protocollo richiede a ogni nodo di trasmettere periodicamente gli aggiornamenti di instradamento mantenere le tabelle di instradamento.

TORA è un algoritmo di instradamento distribuito. I percorsi sono scoperto su richiesta. Questo protocollo può fornire più percorsi a una destinazione molto rapidamente. L'ottimalità del percorso è considerata come seconda priorità e l'overhead di routing viene ridotto. DSR utilizza il routing della sorgente, ovvero il percorso di ogni pacchetto è incluso nella sua intestazione. Ogni nodo intermedio che riceve il pacchetto controlla l'intestazione per il salto successivo e inoltra il file pacchetto. Ciò elimina la necessità di nodi intermedi per Ottieni le migliori informazioni di instradamento per instradare i pacchetti.

AODV utilizza il rilevamento del percorso su richiesta come in TORA e ha le caratteristiche di manutenzione dei DSR e li impiega in uno schema di instradamento hop-by-hop invece di instradamento sorgente. Anche, gli aggiornamenti periodici sono utilizzati in questo protocollo.

In un ambiente radio mobile, DSR fornisce le migliori prestazioni formance in termini di affidabilità, overhead di routing e path op-tempestività [27]. L'effetto di lunghi ritardi di propagazione e canale le asimmetrie causate dal controllo del potere sono problemi che devono essere affrontati quando si considera l'applicazione di queste reti protocolli di instradamento ai canali UWA.

si presume il posizionamento, consentendo applicazioni che richiedono rapido dispiegamento in aree sconosciute.

I nodi sono dotati di sensori in grado di rilevare il presenza di oggetti o attività vari nella zona. Le informazioni Le informazioni raccolte dai sensori devono essere trasmesse alla base stazione, o il nodo principale che si trova anche sull'oceano parte inferiore. I nodi hanno modem di comunicazione acustica che può trasmettere e ricevere informazioni. Il numero totale di nodi non è limitato, con circa diverse decine di nodi come-firmato per nodo master. Il nodo master è collegato a un sur-boa di fronte, dalla quale viene realizzato un collegamento radio a riva. I nodi sono collegati al nodo master in modo gerarchico maniera. Il numero di salti necessari per un nodo sensore per comunicare con il nodo master determina il livello di il nodo. Ad esempio, un nodo che comunica direttamente con il nodo master è un nodo di primo livello. Un nodo che deve comunicare nicate tramite un nodo di primo livello per arrivare al nodo master è un nodo di secondo livello.

La velocità di trasmissione delle informazioni desiderata nella rete è 100 bit / s da ogni nodo. La banda di frequenza disponibile è 8–15 kHz. La rete è asincrona e i nodi trasmettono informazioni quando diventano disponibili. Come nella maggior parte dei sistemi di comunicazione acustica, l'incertezza sulla prop-ritardi di agazione impedisce la progettazione di un strettamente sincrono sistema. I nodi trasmettono informazioni in pacchetti la cui dimensione è 256 bit. Al massimo, un nodo può trasmettere cinque pacchetti all'ora; tuttavia, un ciclo di lavoro così elevato è improbabile. Il la modalità di trasmissione è half-duplex.

La rete è vincolata dal consumo di energia, perché i modem acustici sono alimentati a batteria, così come il sensore processori. Per risparmiare energia, i nodi devono averne due modalità di funzionamento: una modalità di sospensione e una modalità attiva. Nel

Pagina 7

SOZER et al. : RETI ACUSTICHE SUBACQUEE

77

F. Sviluppo di reti UWA

Ci sono solo poche applicazioni di rete UWA ri-portato in letteratura. Un'area locale acustica in acque profonde network (ALAN) è stato distribuito a Monterey Canyon, CA, per acquisizione dati a lungo termine e monitoraggio degli oceani da molteplici sorgenti dei fondali oceanici [1]. La rete è stata progettata per il trasferimento dati dai nodi del fondo oceanico a una stazione dispiegata in superficie e segnali di comando e controllo nella direzione inversa. Ogni volta che un nodo raccoglie una quantità predeterminata di dati, esso si sveglia e invia insieme una richiesta al ricevitore di superficie con la dimensione dei dati che trasmetterà. Alla ricezione di alla richiesta, il ricevitore di superficie programma un tempo di trasmissione ciò dipende dal ritardo di propagazione di andata e ritorno e notifica il nodo di origine con un ACK. Immediatamente il nodo di origine invia il pacchetto di dati quando riceve l'ACK. Richiesta, ACK, e le trasmissioni di dati vengono effettuate con frequenza diversa bande. Se si verifica una collisione sul canale di richiesta, il ricevitore cerca di decodificare la collisione utilizzando una struttura multiutente. Ciò aumenta il throughput della rete eliminando la necessità di ritrasmissioni. Perché questo protocollo si basa su stima corretta dei tempi di propagazione di andata e ritorno, qualsiasi l'errore nel processo di stima riduce il rendimento del file sistema provocando ritrasmissioni o prolungate inutilmente tempi morti. Tuttavia, poiché l'alternativa a questa soluzione è correggere il tempo tra le trasmissioni e il viaggio di andata e ritorno massimo tempo di propagazione, è ancora vantaggioso.

Un protocollo store-and-forward è stato proposto in [29] per essere utilizzato in acque poco profonde ALAN. Il protocollo è un file modificato versione del protocollo PRN (packet radio network) [30] che corrisponde alle caratteristiche del canale acustico in acque poco profonde. Dif-diverso da PRN, ogni nodo della rete ne utilizza tre separati

canali (bande di frequenza) da trasmettere, da cui ricevere pacchetti in suo predecessore e di ricevere gli ACK dal suo successore. In questo modo, l'effettivo impiego di uno schema Go Back N ARQ è abilitato. I pacchetti vengono instradati utilizzando stabilito dinamicamente percorsi, in modo che i nodi associati a una transazione non possano farlo essere utilizzato per altre transazioni contemporaneamente.

È stato sviluppato un protocollo di comunicazione peer-to-peer controllare gli AUV [31]. Il protocollo di accesso ai media della rete il lavoro è CSMA. Quando un messaggio diventa disponibile per la missione in un nodo, il nodo inizia ad ascoltare il canale. quando il canale diventa inattivo, attende per un certo periodo di tempo, chiamato ritardo di trasmissione, che è proporzionale al round trip massimo tempo di propagazione e invia il suo pacchetto di dati. Se non può ricevere un ACK dalla destinazione, la fonte rinvia il pacchetto dopo un periodo di timeout calcolato in modo adattivo utilizzando il massimo tempo di propagazione di andata e ritorno e priorità della sorgente. A causa di i tempi di inattività extra tra le trasmissioni, questo protocollo ha a bassa produttività. D'altra parte, è altamente affidabile.

III. D ESIGN E sempio : AS HALLOW -W ATER N RETE

Una rete di comunicazione acustica subacquea è collegata sidered che consiste in un gran numero di nodi operativi in un ambiente con acque poco profonde a una profondità di circa 50-100 m. I nodi sono montati sul fondo e separati da distanze fino a 10 km. Nessuna geometria speciale del nodo

modalità sleep, un nodo consuma molta meno energia rispetto a modalità attiva. Un nodo viene risvegliato dal sonno acusticamente, cioè, anche quando dorme, ogni nodo cerca continuamente a segnale di attivazione a bassa potenza. Dopo aver rilevato questo segnale, il nodo si accende automaticamente.

L'obiettivo della progettazione della rete è ottenere un buon compromesso tra la qualità del servizio e il consumo energetico. Nel in particolare, una buona qualità del servizio include la massima velocità di trasmissione al minimo ritardo, nonché affidabilità di rete bilità nel senso della sua capacità di adattarsi alle interruzioni del canale e guasti ai nodi.

A. Topologia della rete e consumo energetico

Uno degli obiettivi di progettazione della rete è ridurre al minimo l'energia consumo fornendo al contempo una connettività affidabile tra nodi della rete e il nodo master. Per valutare i compromessi coinvolti in un tale progetto, analizziamo il sistema su larga scala e parametri di canale che determinano il consumo energetico di il network.

Supponendo che sia possibile supportare un numero qualsiasi di connessioni da una strategia di accesso multipla scelta, vogliamo determinare il consumo di energia in funzione della topologia della rete, ovvero come una funzione delle connessioni stabilite tra la rete nodi. Come è stato sottolineato in precedenza, a causa della natura del file applicazione, l'effettiva geometria della rete è tale che il nodo lo- i cationi non possono essere determinati con precisione. D'altra parte, lo è

IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING, VOL. 25, NO. 1, GENNAIO 2000

La Fig. 2 mostra l'energia totale consumata per entrambe le strategie. Le curve tratteggiate rappresentano il caso di accesso diretto, che ovviamente richiede più energia. Per accesso diretto, inclusione di ogni nodo aggiuntivo si traduce in un aumento dell'energia totale. Per l'inoltro, la situazione è invertita: l'inclusione di ogni nodo nazionale diminuisce il consumo energetico totale perché il nodo aggiuntivo funge da relè aggiuntivo lungo il stessa distanza. Il prezzo da pagare, ovviamente, è la necessità un sofisticato protocollo di comunicazione e l'aumento ritardo del pacchetto.

Quindi, la strategia che riduce al minimo il consumo di energia è inoltro. I risparmi energetici sono maggiori per un numero maggiore di salti di staffetta e diventano più pronunciati a distanze maggiori. Nello specifico, per distanze dell'ordine di alcune decine di chilogrammi contatori che sono di interesse per il progetto attuale, il risparmio sono significativi. Di conseguenza, una topologia di rete che implementa connessioni solo tra i nodi vicini è con- sidered.

B. Media Access Protocol

La strategia di accesso multiplo viene scelta come FDMA o CDMA. Nel caso di FDMA, modem acustici che impiegano Viene utilizzata la modulazione MFSK codificata Hadamard. Dettagli di questo il design del modem può essere trovato in [32]. In alternativa a FDMA, segnalazione a sequenza diretta a spettro esteso e CDMA considerato per la rete. Viene impiegato un ricevitore Rake il ricevitore per utilizzare la propagazione multipath di canale acustico per acque poco profonde. Il design del modem è dato in [33].

Il protocollo di accesso ai media per la rete di acque poco profonde è basato sul protocollo MACA, che utilizza RTS-CTS-DATA ex- modificare. La rete utilizza lo schema ARQ Stop & Wait. Se la sorgente non può ricevere un CTS dalla destinazione dopo un file intervallo di tempo predeterminato, si ripete RTS. Se, dopo le prove di RTS, la fonte non può ricevere un CTS, decide che il collegamento non è più disponibile e torna a uno stato di basso consumo. Se la la sorgente riceve un CTS, trasmette immediatamente il pacchetto di dati. Un segnale ACK viene inviato dalla destinazione alla ricezione di un pacchetto di dati corretto per fornire un riconoscimento positivo a sorgente nel livello di collegamento dati.

ragionevole presumere in prima approssimazione che una divisa la distribuzione dei nodi fornisce la migliore copertura dell'area.

Per quantificare il consumo energetico della rete, integriamo vestire uno scenario semplificato in cui nodi e un master nodo sono disposti linearmente lungo un tratto di lunghezza. I nodi sono distribuiti uniformemente in modo che la distanza tra ciascuno di due nodi adiacenti, compresa la distanza dalla stazione base a il nodo più vicino ad esso, è . Due comunicazioni estreme in questo scenario sono possibili strategie. Nella prima strategia, ciascuno node ha un accesso diretto al nodo master (completamente connesso topologia). Nella seconda strategia, ogni nodo trasmette solo a il suo vicino più prossimo, che poi trasmette le informazioni al nodo master (topologia peer-to-peer multihop). L'energia la somma per entrambi questi casi è determinata di seguito.

Per determinare l'energia necessaria per la trasmissione di un singolo pacchetto dati di durata da un nodo a distanza dal nodo master, finito relay hops, assumiamo che un file required la qualità della ricezione si ottiene se il livello di potenza ricevuto è . Per raggiungere un livello di potenza all'ingresso del ricevitore in distanza, la potenza del trasmettitore deve essere , dove è l'attenuazione. L'attenuazione è data come [3]

dove è il fattore di diffusione dell'energia (è 1 per cilindrico, 1.5 per pratico, e 2 per diffusione sferica), e

è un termine dipendente dalla frequenza ottenuto dall'assorbimento coefficiente . Il coefficiente di assorbimento per la frequenza l'intervallo di interesse viene calcolato in base all'espressione di Thorp [3] come

in dB / km per in kHz.

Per trasmettere un pacchetto di dati da un nodo a un altro tramite un file distanza , ogni nodo deve trasmettere a un livello di potenza e ciascuno deve trasmettere per la durata di un file

pacchetto . Quindi, l'energia totale consumata per la trasmissione al di sopra di un luppolo è

Quando ciascuno dei file nodi ha un pacchetto da trasmettere, il totale l'energia consumata per l'inoltro dei pacchetti è

Per una strategia di accesso diretto, l'energia totale consumata è

(4)

Durante una transazione, tutte le altre richieste di trasmissione vengono clined. Se la fonte della trasmissione che è stata rifiutata non è informato, ripete la sua richiesta. In tal modo, la fonte aumenta la sua potenza come dettato dall'algoritmo di controllo della potenza. Questa situazione si traduce in un maggiore consumo della batteria e in maggiore probabilità di collisioni. Per prevenire questi indesiderabili effetti, viene aggiunto un comando WAIT. Questo comando informa il nodo di origine che la destinazione è occupata e invierà un CTS come appena possibile.

(5)

Se due nodi si inviano un RTS a vicenda, potrebbe verificarsi un deadlock perché entrambi i nodi emetteranno il comando WAIT quando ricevere RTS l'uno dall'altro. Ogni nodo attenderà quindi per sempre affinché l'altro nodo invii un CTS. Questo problema è risolto da assegnando priorità ai pacchetti che sono diretti verso il nodo master, come spiegato di seguito.

(6)

Supponiamo che il nodo A sia un nodo di livello inferiore rispetto al nodo B, quello è, A è più vicino al master e, quindi, il genitore di B. Nodo A e il nodo B si inviano entrambi RTS. A causa della trasmissione

Pagina 9

SOZER *et al.* : RETI ACUSTICHE SUBACQUEE

79

Fig. 2. Energia totale (normalizzata) necessaria per trasmettere un pacchetto da ciascuno degli N nodi al nodo master. Le curve piene rappresentano l'inoltro ($E = PT$); tratteggiata le curve rappresentano l'accesso diretto ($E = PT$). Il parametro sulle curve è il numero di salti. Per l'inoltro, il numero di salti aumenta dalla curva superiore verso il basso: sebbene vengano inviati più pacchetti quando ci sono più salti, il consumo totale di energia è inferiore. Per l'accesso diretto, c'è poca differenza tra i file curve, e la situazione si ribalta: il numero di luppoli aumenta da 1 per il minor consumo energetico a 5 per il più alto.

ritardi, i pacchetti arrivano a destinazione mentre entrambi i nodi lo sono in attesa di un pacchetto CTS. Quando il nodo B riceve l'RTS, esso rileva che il pacchetto proviene dalla propria destinazione, il nodo A. Node B controlla se il nodo A è il suo genitore o figlio. A quel punto il nodo A riceve l'RTS del nodo B e fa lo stesso controllo. Poiché il nodo B è il suo figlio, il nodo A decide che deve attendere per il nodo B per completare la trasmissione dei dati. Pertanto, il nodo A invia immediatamente un CTS, mette in coda il proprio pacchetto di dati, e attende il pacchetto CTS del nodo B.

C. Inizializzazione e instradamento

Poiché la rete in esame è una rete *ad hoc*, è necessario un algoritmo di inizializzazione per stabilire preliminari collegamenti autonomamente. Questo algoritmo si basa sul polling, e come tale garantisce la connettività a tutti i nodi che sono acusticamente raggiungibile da almeno uno dei loro vicini più prossimi. Durante l'inizializzazione, i nodi creano *tabelle adiacenti*. Questi

le tabelle contengono un elenco dei vicini di ogni nodo e una misurazione della qualità sicuro del loro collegamento, che può essere l'SNR ricevuto dal corrispondente vicino spondante. Le tabelle dei vicini vengono quindi raccolte da nodo master e viene formato un albero di instradamento. Il nodo master decide sulle rotte primarie (e secondarie) verso ciascuna destinazione. L'inizializzazione termina quando il nodo master invia route primarie ai nodi. L'algoritmo di inizializzazione è descritto in dettaglio in [34]. It fornisce un singolo set di connessioni o più connessioni tra i nodi. Sono desiderabili più connessioni fornire una maggiore robustezza ai guasti.

Fig. 3. La rete è composta da un master, quindici sensori e un nodo sonda.

Le prestazioni dei collegamenti acustici tra i nodi possono grado e persino un collegamento può essere perso definitivamente a causa di un nodo

Pagina 10

80

IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING, VOL. 25, NO. 1, GENNAIO 2000

Fig. 4. Throughput della rete rispetto al carico offerto.

fallimento. In questi casi, la rete dovrebbe essere in grado di adattarlo-self alle mutevoli condizioni senza interrompere il pacchetto trasferimento. Questa robustezza può essere ottenuta utilizzando un adattivo algoritmo di instradamento.

Nella progettazione corrente, il nodo master crea un albero di instradamento a seconda delle tabelle adiacenti riportate dai suoi nodi. Se un nodo segnala che le prestazioni di un collegamento sono diminuite o non lo sono più disponibile, il nodo master seleziona i nuovi percorsi che prendono il posto del collegamento fallito. Vengono riportate le modifiche nell'albero di instradamento a tutti i nodi correlati. Questa procedura garantisce che i nodi non lo faranno tentare di utilizzare un collegamento non riuscito. In questo modo, la trasmissione si evitano sioni che aumentano il consumo della batteria.

D. Risultati

Le prestazioni della rete sono state testate utilizzando la radio di Opnet Strumento di modellazione. Abbiamo modificato il modello di canale radio standard di Opnet per abbinare le caratteristiche dell'acqua bassa canale acustico. Queste caratteristiche includono la trasmissione perdita di sione in funzione della distanza e della frequenza e la probabilità di errore in funzione del SNR. Il pacchetto dati il processo di generazione è modellato come un processo di Poisson. Sebbene questo modello non riflette la situazione reale in cui i dati generano erazione in diversi nodi può essere dipendente, fornisce un modo per la valutazione delle prestazioni.

I nodi di rete utilizzano modem basati su FDMA. Sebbene potenzialmente inferiore a CDMA in un numero di canali UWA, questa tecnica è considerata per motivi di interesse pratico. Vale a dire, il progetto di rete utilizzato nella simulazione è destinato a sostenere un esperimento in corso in cui una serie di acustica modem che utilizzano un -ary schema di modulazione FSK sono de-utilizzato in una zona con acque poco profonde. In questo esperimento, il disponibile banda di frequenza è divisa in sottobande e ogni sottobanda è assegnato a un cluster di nodi. Viene distribuito un cluster di nodi

interferenza. Ogni cluster comunica con il nodo master tramite il suo nodo di primo livello.

La Fig.3 mostra la topologia di rete creata utilizzando la rete redattore di lavoro di Opnet. La rete è composta da un unico master nodo e quindici nodi sensore. I nodi del sensore sono suddivisi in tre cluster. Il nodo master utilizza il gruppo di frequenze . Sensore ai nodi vengono assegnati i gruppi di frequenza A, B e C, come mostrato in la figura. Le linee che collegano i nodi rappresentano il virtuale percorsi di comunicazione creati dai modem acustici. C'è anche un nodo sonda nella rete che viene utilizzato per la simulazione . Il nodo sonda inizia i generatori di numeri casuali e registra le statistiche alla fine della simulazione. I dettagli di il modello di simulazione può essere trovato in [35].

Utilizzando simulazioni, abbiamo ottenuto il throughput e caratteristiche di ritardo del pacchetto della rete proposta per i dati pacchetti di 256 bit di lunghezza. Il rendimento è definito come il numero di pacchetti di dati trasmessi con successo per unità di tempo. Pacchetto il ritardo è calcolato facendo la media del tempo trascorso dal momento a pacchetto di dati viene generato e quando il pacchetto viene ricevuto da destinazione finale.

La Fig. 4 mostra la variazione del rendimento medio di sistema in funzione del carico offerto (il numero di pacchetti al secondo che vengono offerti alla rete per trasmettere). Il il rendimento del sistema aumenta fino a raggiungere il carico offerto 10 - 6 pacchetti al secondo. A questo punto, il sistema raggiunge saturazione e produttività rimangono costanti. Se aumentiamo ulteriormente il carico offerto il rendimento del sistema inizia a diminuire. Ciò è dovuto al fatto che non utilizziamo il routing dinamico. Se un il nodo di origine non può completare una transazione a causa della congestione, lascia cadere il pacchetto. Il rendimento del sistema è così ridotto a causa della bassa velocità di trasmissione dati e dell'elevato ritardo di propagazione di canale sottomarino.

La Fig. 5 mostra il ritardo del pacchetto end-to-end del sistema. Come previsto, il ritardo end-to-end sperimentato dalle informazioni raccolte

nella stessa regione geografica generale. Il vicino
ai cluster vengono assegnate bande di frequenza diverse per garantire bassi

quences aumenta con l'aumentare del carico. Tuttavia, tra 10^{-6}
e il ritardo end-to-end rimane costante e viene offerto

Pagina 11

Fig. 5. Variazione del ritardo end-to-end sperimentato dalle sequenze di informazioni di livello 3.

Fig. 6. Consumo di batteria del nodo master e consumo medio di batteria dei nodi di livello 1, 2 e 3 in funzione del tempo.

carico maggiore di comincia a diminuire. Questo è essere-
causa dei nodi di livello superiore altamente congestionati. A causa di conges-
zione, i nodi di alto livello non possono completare la transazione. Come-
mai, i nodi di primo livello continuano a comunicare con
nodo master e l'unica transazione completata si verifica tra
nodi di primo livello e nodo master. Inoltre, il ritardo end-to-end
non include i pacchetti persi.

La Fig.6 presenta il consumo di batteria del nodo master,
e il consumo medio della batteria di livello 1, livello 2 e
nodi di livello 3 in funzione del tempo. Il consumo della batteria

diminuisce per i nodi di livello superiore, il che è dovuto al fatto che
i nodi di livello inferiore trasportano più traffico.

Il progetto di rete sopra descritto fa parte di una rete più ampia
studio di sviluppo del lavoro. Lo studio si concentra su varie
Tiple tecniche di accesso e vari protocolli di rete. Il cur-
fase di affitto nello sviluppo della rete è il test in mare del
Rete basata su FDMA. Una serie di esperimenti sotto il nome
di SEAWEB è prevista per i prossimi due anni. Questi esper-
si concentreranno su progetti di rete di maggiore complessità,
con l'obiettivo di condurre un'analisi di fattibilità di vari

Pagina 12

tecniche di networking e determinare quelle tecniche che sono più adatti per l'uso nei canali di acque poco profonde.

IV. CONCLUDING REMARKS E FUTURO DIREZIONI

In questo articolo, l'attenzione si è concentrata sul problema della progettazione reti UWA responsabili in grado di trasferire dati da una varietà di sensori per le strutture a terra. Grandi impedimenti alla progettazione di tali reti sono state considerate, che sono: 1) severi limiti di potenza imposti dalla potenza della batteria; 2) grave limitazioni della larghezza di banda; e 3) caratteristiche del canale incluso lunghi tempi di propagazione, multipath e fading del segnale. Vari metodi di accesso multiplo, protocolli di rete e algoritmo di instradamento sono stati considerati anche i ritmi.

Tra i metodi di accesso multiplo considerati, sembra che CDMA, ottenuto sia con il salto di frequenza che con la selezione diretta quence, fornisce il metodo più robusto per la rete subacquea ambiente di lavoro. Attualmente sono in fase di sviluppo i modem che utilizzano questi tipi di segnali a spettro esteso per fornire la capacità di accesso multiplo ai vari nodi della rete lavoro. Contemporaneamente allo sviluppo del modem attuale, li Sono diverse le indagini sulla progettazione di algoritmi di routing e protocolli di rete.

L'esempio di progettazione della rete di acque poco profonde è servito a illustrare la metodologia di progettazione che incarna il potere e vincoli di larghezza di banda. Dati sperimentali che verranno raccolti nei prossimi due o tre anni verranno utilizzati per valutare il prestazioni della rete ed eventualmente convalidare un numero delle ipotesi e dei compromessi inclusi nel progetto. Sopra il nel prossimo decennio, sono previsti miglioramenti significativi nel progettazione e prestazioni delle reti UWA come maggiore esperienza è ottenuto attraverso esperimenti in mare e simulazione di rete utensili.

RIFERIMENTI

[1] J. Catipovic, D. Brady e S. Etchemendy, "Development of underwater modem e reti acustiche ", *Oceanography* , vol. 6, pagg. 112–119, Marzo 1993.
[2] J. Catipovic, L. Freitag e S. Merriam, "Underwater acoustic local area rete per ROV e comunicazioni strumentali ", in *Proc. AUVS'91* , Washington, DC, agosto 1991, pagg. 447–460.
[3] L. Berkovskikh e Y. Lysanov, *Fundamentals of Ocean Acoustic* . New York: Springer, 1982.
[4] A. Quazi e W. Konrad, "Underwater acoustic communications," *IEEE Commun. Mag.* , pagg. 24–29, marzo 1982.
[5] M. Stojanovic, "Recenti progressi nell'acustica subacquea ad alta velocità comunicazioni ", *IEEE J. Oceanic Eng.* , vol. 21, pagg. 125-136, aprile, 1996.
[6] TS Rappaport, *Wireless Communications* . Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1996.
[7] A. Tannenbaum, *Computer Networks* , 3a ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1996.
[8] D. Bertsekas e R. Gallager, *Data Networks* , NJ: Prentice Hall, 1992.
[9] K. Pahlavan e AH Levesque, *Wireless Information Networks* , New York: Wiley, 1995.
[10] DD Falconer, F. Adachi e B. Gudmundson, "Multiplo a divisione di tempo metodi di accesso per comunicazioni personali wireless ", *IEEE Commun. Mag.* , pagg. 33–36, gennaio 1995.
[11] R. Kohno, R. Meidan e LB Milstein, "Spread spectrum methods for comunicazioni wireless ", *IEEE Commun. Mag.* , pagg. 33–36, gennaio 1995.
[12] AC Chen, "Panoramica della tecnologia di accesso multiplo a divisione di codice per comunicazioni wireless ", in *Proc. IECON'98* , 1998, pagg. T15-T24.
[13] D. Brady e JA Catipovic, "Adaptive multiuser detection for undercanali acustici dell'acqua ", *IEEE J. Oceanic Eng.* , vol. 19, pagg. 158–165, Febbraio 1994.

Reti acustiche subacquee

[14] Z. Zvonar, D. Brady e JA Catipovic, "Adaptive decentralized linear ricevitore multiutente per telemetria acustica in acque profonde ", *J. Acoust. Soc. Amer.* , pp. 2384–2387, aprile 1997.
[15] M. Stojanovic e Z. Zvonar, "Elaborazione multicanale della banda larga segnali di comunicazione multiutente nei canali acustici in acque poco profonde ", *IEEE J. Oceanic Eng.* , vol. 21, pp. 156-166, aprile 1996.
[16] LG Roberts, "Sistema di pacchetti ALOHA con e senza slot e capture, " *ACMSIGCOM Comput. Commun. Rev.* , pagg. 28–42, 1975.
[17] L. Kleinrock e FA Tobagi, "Carrier percepisce l'accesso multiplo per canali radio a commutazione di pacchetto ", in *Proc. ICC'74* , giugno 1974, pp. 21B-1–21B-7.
[18] , "Commutazione di pacchetti nei canali radio, parte I: Carrier rileva multiplo modalità di accesso e le loro caratteristiche di throughput-delay ", *IEEE Trans. Commun.* , pagg. 1400–1416, 1975.
[19] FA Tobagi e L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels, part II: Il problema del terminale nascosto nel vettore di accesso multiplo e occupato soluzione di tono ", *IEEE Trans. Commun.* , pagg. 1417–1433, 1975.
[20] H. Takagi e L. Kleinrock, "Correzione all'analisi del throughput per sistemi CSMA esistenti ", *IEEE Trans. Commun.* , pagg. 243–245, 1987.
[21] V. Bhargavan, A. Deers, S. Shenker e L. Zhang, "MACAW: A media protocollo di accesso per LAN wireless ", *ACMSIGCOMM* , pagg. 212–225, Agosto 1994.
[22] P. Karn, "MACA — A new channel access method for packet radio", in *ARRL / CRRL Amateur Radio 9th Computer Network Conf.* , Settembre 1990.
[23] DB Johnson, "Routing in ad hoc networks of mobile hosts", in *Workshop on Mobile Computing and Applications* , dicembre 1994, pagg. 159–163.
[24] CE Perkins e P. Bhagwat, "Sequenza di destinazione altamente dinamica percorso vettoriale di distanza (DSDV) per computer portatili ", in *Proc. SIGCOMM'94* , agosto 1994, pagg. 234–244.
[25] VD Park e MS Corson, "Un instradamento distribuito altamente adattivo algoritmo per reti wireless mobili ", in *Proc. INFOCOM'97* , apr. 1997, pagg. 1405–1413.
[26] DB Johnson e DA Maltz, "Protocolli per wireless adattivo e rete mobile ", *IEEE Personal Commun.* , 1996.
[27] J. Broch, DA Maltz, DB Johnson, Y. Hu e J. Jetcheva, "A performance confronto del protocollo di routing di rete ad hoc wireless multi-hop cols ", in *ACM / IEEE Int. Conf. Mobile Computing and Networking* , ott. 1998.
[28] CE Perkins, "Routing Ad hoc on demand distance vector (AODV)", Internet-Draft, draft-ietf-manet-aodv-00.txt, 1997.
[29] JL Talavage, TE Thiel e D. Brady, "Un efficiente store-and-for-protocollo di reparto per una rete locale acustica in acque poco profonde ", in *Proc. OCEANS'94* , Brest, Francia, settembre 1994, pagg. 1883-1888.
[30] J. Jubin e JD Tornow, "The DARPA packet radio network protocols ", in *Proc. IEEE* , vol. 75, gennaio 1987, pagg. 21–32.
[31] SM Smith e JC Park, "Un protocollo di comunicazione peer-to-peer per comunicazione acustica subacquea ", in *OCEANS'97* , ottobre 1997, pp. 268–272.
[32] KF Scussel, JA Rice e S. Merriam, "New MFSK acoustic modem per il funzionamento in canali sottomarini avversi ", in *Proc. Oceans Conf.* , Halifax, NS, Canada, ottobre 1997, pagg. 247–254.
[33] EM Sozer *et al.* , "Modem basato su spettro esteso a sequenza diretta per comunicazione acustica subacquea e misurazioni dei canali, "in Proc. OCEANS'99, novembre 1999, da pubblicare, da pubblicare.
[34] JG Proakis, M. Stojanovic e JA Rice, "Design of a communication rete per modem acustici per acque poco profonde ", in *Proc. Oceans Comm. Conf.* , MD, novembre 1998.
[35] EM Sozer, M. Stojanovic e JG Proakis, "Design and simulation di una rete locale acustica sottomarina ", in *OPNETWORK'99* , Washington, DC, agosto 1999.

Ethem M. Sozer ha ricevuto la BS e la MS lauree presso la Middle East Technical University, Ankara, Turchia, rispettivamente nel 1994 e nel 1997. Attualmente sta lavorando per il dottorato di ricerca. laurea in ingegneria elettrica presso la Northeastern University, Boston, MA.
I suoi interessi di ricerca includono l'acustica subacquea comunicazioni, reti di dati e cellulari comunicazioni.

John G. Proakis (S'58 – M'62 – SM'82 – F'84 – LF'97) ha ricevuto la laurea BSEE presso l'Università di Cincinnati, Cincinnati, OH, nel 1959, laurea in SM dal Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, nel 1961, e il Ph.D. grado in ingegneria presso la Harvard University, Cambridge, MA, nel 1966.

Milica Stojanovic ha ricevuto il Dipl. Ing. grado in ingegneria elettrica presso l'Università di Belgrado, Belgrado, Jugoslavia, nel 1988, e il MS e Ph.D. lauree in ingegneria elettrica dalla Northeastern University, Boston, MA, nel 1991 e 1993, rispettivamente.
È stata borsista post-dottorato presso il

Istituto oceanografico Woods Hole, Woods Hole, MA, dove ora è investigatrice ospite. È stata anche Visiting Assistant Professor presso la Northeastern University. I suoi interessi di ricerca includono la teoria delle comunicazioni digitali e l'elaborazione adattiva del segnale, con problemi correlati alla radio mobile e alle comunicazioni acustiche subacquee.

Era un membro del personale al MIT Lincoln Laboratorio, Lexington, MA, dal 1961 al 1963, e un membro dello staff tecnico di GTE da Dal 1966 al 1969. Dal settembre 1969 lo è nella facoltà del Dipartimento di Ingegneria Elettrica e Informatica, Northeastern University, Boston, MA, dove ha ricoperto la carica di Dipartimento Chair (1984-1997), Associate Dean e Direttore della Graduate School of Engineering (1982-1984) e Acting Dean (1992-1993). Il suo professionista l'esperienza e gli interessi riguardano l'area generale delle comunicazioni digitali e elaborazione del segnale digitale. È autore del libro *Digital Communications* (New York: McGraw-Hill, 3a ed., 1995) e coautore di *Introduction to Elaborazione del segnale digitale* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 3a ed., 1996), *Laboratorio di elaborazione del segnale digitale* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991), *Advanced Digital Signal Processing* (New York: Macmillan, 1992), *Elaborazione digitale dei segnali vocali* (New York: Macmillan, 1992), *Comunità ingegneria dei sistemi di nicazione* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1994), *Elaborazione del segnale digitale mediante MATLAB* (Boston, MA: PWS, 1997) e *Sistemi di comunicazione contemporanei che utilizzano MATLAB* (Boston, MA: PWS, 1998).