

Vedere discussioni, statistiche e profili degli autori per questa pubblicazione su: <https://www.researchgate.net/publication/245635053>

Le sfide della costruzione di reti wireless subacquee mobili per acquatico applicazioni

Articolo in IEEE Network - giugno 2006

DOI: 10.1109/MNET.2006.1637927 - Fonte: IEEE Xplore

CITAZIONI

527

LEGGI

558

4 autori , tra cui:

[Jun-Hong Cui](#)

Università del Connecticut

155 PUBBLICAZIONI 6.190 CITAZIONI

[VEDI PROFILO](#)

[Jiejun Kong](#)

Turing Network Test LLC

70 PUBBLICAZIONI 3.869 CITAZIONI

[VEDI PROFILO](#)

[Mario Gerla](#)

Università della California, Los Angeles

386 PUBBLICAZIONI 23.019 CITAZIONI

[VEDI PROFILO](#)

Alcuni degli autori di questa pubblicazione stanno lavorando anche a questi progetti correlati:

Implementazione del gateway a livello di superficie per la rete di sensori sottomarini [Visualizza il progetto](#)

[Progetto](#) Software Defined Multipath Communications for Satellite Networks [View](#)

Le sfide della costruzione scalabile Sensore wireless subacqueo mobile Reti per applicazioni acquatiche

Jun-Hong Cui, Università del Connecticut, Storrs

Jiejun Kong e Mario Gerla, Università della California a Los Angeles

Shengli Zhou, Università del Connecticut, Storrs

Astratto

La rete mobile di sensori wireless subacquea su larga scala (UWSN) è una novità paradigma di rete per esplorare ambienti acquosi. Tuttavia, le caratteristiche degli UWSN mobili, come larghezza di banda di comunicazione ridotta, ampia propagazione ritardo, mobilità del nodo mobile e alta probabilità di errore sono significativamente diversi da reti di sensori wireless a terra. Il nuovo paradigma di rete pone sfide interdisciplinari che richiederanno nuove soluzioni tecnologiche. In particolare, in questo articolo adottiamo un approccio top-down per esplorare la sfida della ricerca lunghezze nel design UWSN mobile. Procediamo lungo lo stack di protocolli a strati all'incirca dal livello di applicazione superiore al livello fisico inferiore. Ad ogni strato, viene studiata una serie di nuove complessità del design. La conclusione è che l'edificio è scalabile. Gli UWSN mobili sono una sfida a cui è necessario rispondere con sforzi interdisciplinari di comunicazioni acustiche, elaborazione del segnale e protocollo di rete acustica mobile design.

Ta Terra è un pianeta acquatico. Il in gran parte inesplorato vastità dell'oceano, che copre circa i due terzi della superficie della Terra, ha affascinato gli esseri umani per tanto tempo come abbiamo tenuto i registri. Di recente c'è stato un file crescente interesse per il monitoraggio di ambienti acquosi (inclusi oceani, fiumi, laghi, stagni e bacini idrici, ecc.) per la scienza esplorazione specifica, sfruttamento commerciale e protezione da attacco. Il veicolo ideale per questo tipo di monitoraggio estensivo è un sistema distribuito di sensori wireless subacquei in rete, denominato Underwater Wireless Sensor Network (UWSN). Un UWSN scalabile fornirà una soluzione promettente per esplorare e osservare in modo efficiente l'ambiente acquoso menti che operano sotto i seguenti vincoli:

- Esplorazione subacquea senza equipaggio: condizioni subacquee non sono adatte per l'esplorazione umana. Alta pressione dell'acqua attività subacquee sicure, imprevedibili e le vaste dimensioni di le aree sottomarine sono le ragioni principali per l'esplosione senza razione.

- Acquisizione della conoscenza localizzata e precisa: localizzata l'esplorazione è più precisa e utile dell'esplorazione remota razione perché le condizioni ambientali sottomarine sono localmente localizzato in ogni sede e variabile nel tempo. Utilizzando SONAR a lungo raggio o altre tecnologie di rilevamento remoto possono non ci consentono di acquisire un'adeguata conoscenza del fisico eventi che accadono nell'ambiente sottomarino instabile.

- Rete subacquea senza fili: Internet è espandendosi nello spazio e sott'acqua. Esploratore sottomarino Il dottor Robert Ballard ha utilizzato Internet per ospitare live, interazione presentazioni dinamiche con studenti e visitatori di acquari da il relitto del Titanic, che ha trovato nel 1985. Tuttavia, mentre l'attuale tecnologia tethered consente

comunicazione tra un luogo sottomarino e il suolo infrastruttura, comporta costi significativi per quanto riguarda ment, manutenzione e ripristino del dispositivo per far fronte a volatili condizioni sottomarine.

- Monitoraggio subacqueo su larga scala: sott'acqua tradizionale L'esplorazione si basa su un unico subacqueo ad alto costo dispositivo o una rete sottomarina su piccola scala. Né esistente la tecnologia è adatta ad applicazioni che coprono una vasta area. L'abilitazione di una tecnologia di rete di sensori subacquei scalabile è essenziale per esplorare un enorme spazio sottomarino.

Distribuendo reti di sensori wireless scalabili in 3D spazio subacqueo, ogni sensore subacqueo può monitorare e rilevare eventi ambientali a livello locale. Questo può essere fatto con sensori di posizione fissa. Tuttavia, anche i sistemi acquosi lo sono dinamiche e processi avvengono all'interno della massa d'acqua in quanto essa promuove e si disperde nell'ambiente. Quindi a il sistema di osservazione mobile e dinamico è ottimale, e noi fare riferimento a un UMSN con sensori mobili come UWSN mobile.

In un UWSN mobile, la mobilità dei sensori può portare a due importanti benefici:

- Sensori mobili iniettati nella corrente in dimensioni relativamente grandi i numeri possono aiutare a tenere traccia dei cambiamenti nella massa d'acqua, quindi fornendo campionamento ambientale 4D (spazio e tempo), che è richiesto da molti studi sui sistemi acquatici, come l'estuario monitoraggio [1]. L'alternativa è trascinare i sensori sulle barche eo su fili ed effettui un gran numero di ripetuti esperimenti. Quest'ultimo approccio richiederebbe molto di più tempo e possibilmente costo. La moltitudine di sensori aiuta a promuovere vide un controllo extra su ridondanza e granularità.

- I sensori fluttuanti possono aiutare ad abilitare il monitoraggio dinamico copertura e aumentare la riutilizzabilità del sistema. Infatti, tramite un file

Apparato "vescica", si può controllare dinamicamente la profondità di il dispiegamento del sensore e forza il resurfacing e il recupero quando la batteria è scarica o la missione è finita.

Nelle tradizionali applicazioni di monitoraggio o sorveglianza acquatica i sensori sono generalmente fissati al fondo del mare o attaccati a pilastri o boe di superficie e sensori con calcolo di solito sono di grandi dimensioni. Pertanto, la sostituzione del sensore e i costi di ripristino sono molto alti e anche questo si traduce in bassi riusabilità del sistema.

Riassumendo, la rete auto-organizzante di servizi mobili sors fornisce un migliore supporto per quanto riguarda il rilevamento, il monitoraggio, sorveglianza, programmazione, controllo subacqueo e guasto tolleranza. Quindi, siamo dotati di un migliore rilevamento e tecnologia di sorveglianza per acquisire una conoscenza precisa luoghi sottomarini inesplorati.

Mobile UWSN è una nuova tecnica. Paragonato a reti di sensori a terra, devono farlo gli UWSN mobili impiegare comunicazioni acustiche, poiché la radio non funziona bene in ambienti sottomarini. A causa delle caratteristiche uniche di grande latenza, bassa larghezza di banda e alto tasso di errore, underwater canali acustici pongono molte sfide al protocollo design. Inoltre, negli UWSN mobili, la maggior parte dei nodi del sensore dell'acqua (ad eccezione di alcuni nodi fissi attrezzate su boe di superficie) sono mobili grazie alla corrente d'acqua affitti. Questa mobilità dei nodi è un altro problema critico da considerare nella progettazione del sistema. Inoltre, gli UWSN mobili sono significativamente leggermente diverso dall'acustica subacquea su piccola scala esistente Reti (UAN) grazie al loro sensore denso e su larga scala distribuzione. Di conseguenza, alcune nuove attività come la localizzazione e accesso multiplo sono necessari negli UWSN mobili.

Nel resto di questo articolo, esaminiamo prima le caratteristiche delle comunicazioni acustiche e alcuni lavori correlati a terra-reti di sensori wireless basate su reti acustiche subacquee funziona, identifica le caratteristiche distintive degli UWSN mobili e individuare il principio cruciale dell'architettura di rete design. Quindi, in base ai requisiti di sistema ad ampio raggio di varie applicazioni acquatiche, proponiamo due architetture di rete testures: una per l'*esplorazione acquatica a breve termine in tempi critici le applicazioni* e l'altra per le *applicazioni non critiche a lungo termine applicazioni di monitoraggio acquatico*. Per esplorare la sfida del design si estende su diversi tipi di architetture di rete, noi adottare un approccio dall'alto verso il basso, procedendo approssimativamente dal strato di applicazione superiore allo strato fisico inferiore secondo il noto stack di protocolli di rete. Alla fine, ci confrontiamo concludere che la creazione di un UWSN mobile scalabile è una sfida che deve essere risolto da sforzi interdisciplinari tra comunicazioni acustiche, elaborazione del segnale e acustica mobile progettazione del protocollo di rete tic.

Background e lavori correlati

Canali acustici subacquei

I canali acustici subacquei sono temporali e spaziali variabile a causa della natura del mezzo di trasmissione e proprietà fisiche degli ambienti. Il segnale propaga-la velocità di trasmissione in un canale acustico subacqueo è di circa $1,5 \times 10^3$ m / s, che è cinque ordini di grandezza inferiore a velocità di propagazione radio (3×10^8 m / s). La banda disponibile l'ampiezza dei canali acustici sottomarini è limitata e drammatica dipende principalmente dalla portata e dalla frequenza di trasmissione. Il la banda acustica sott'acqua è limitata a causa dell'assorbimento; maggior parte i sistemi acustici funzionano sotto i 30 kHz. Secondo [2], quasi nessun sistema di ricerca o commerciale può superare i 40 km χ kb / s come la gamma massima raggiungibile χ prodotto di velocità.

La larghezza di banda dei canali acustici subacquei in funzione su diversi chilometri è di circa diverse decine di kilobit per secondo, mentre sistemi a corto raggio su diverse decine di metri

può raggiungere centinaia di kilobit al secondo. Inoltre queste proprietà intrinseche, la comunicazione acustica subacquea i canali sono influenzati da molti fattori come perdita di percorso, rumore, multipath e diffusione Doppler. Tutti questi fattori provocano alti errore di bit e varianza del ritardo.

In breve, i canali acustici sottomarini presentano un'ampia proporzionamento di gation, larghezza di banda disponibile limitata e alto errore probabilità. Inoltre, la larghezza di banda dell'acustica subacquea I canali tic sono determinati sia dal raggio di comunicazione e frequenza dei segnali acustici. Più grande è la comunicazione gamma, minore è la larghezza di banda dell'acustica subacquea canali.

Distinzioni tra UWSN mobili e Ground-Reti di sensori basate

Un UWSN mobile è significativamente diverso da qualsiasi rete di sensori basata sui seguenti aspetti.

Metodo di comunicazione - Le onde elettromagnetiche non possono propagarsi su una lunga distanza in ambienti sottomarini. Pertanto, le reti di sensori subacquei devono fare affidamento su altri mezzi fisici, come i suoni acustici, per trasmettere i segnali. A differenza dei collegamenti wireless tra i sensori a terra, ciascuno il collegamento wireless subacqueo offre un'ampia latenza e una banda bassa larghezza. A causa di tali dinamiche di rete distinte, la comunicazione i protocolli utilizzati nelle reti di sensori a terra potrebbero non esserlo adatto a reti di sensori subacquei. Specialmente, banda bassa larghezza e grande latenza di solito si traducono in un lungo end-to-end ritardi, che comportano grandi sfide nel trasferimento affidabile dei dati e controllo della congestione del traffico. Grande latenza anche in modo significativo influisce su più protocolli di accesso. Accesso casuale tradizionale approcci nelle reti wireless RF potrebbero non funzionare in modo efficiente in scenari sottomarini.

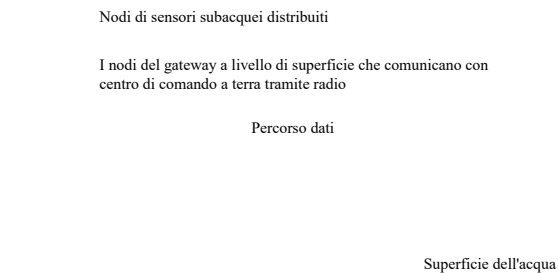
Mobilità dei nodi : la maggior parte dei nodi del sensore nel sensore a terra le reti sono tipicamente statiche, sebbene sia possibile implementare interazioni tra questi nodi sensori statici e un quantità ited di nodi mobili (ad esempio, raccolta di dati mobili entità come "muli" che possono essere o meno nodi sensori). Al contrario, la maggior parte dei nodi di sensori subacquei, tranne alcuni nodi fissi attrezzati su boe a livello del suolo, sono bassi o mobilità media a causa di correnti d'acqua e altri ter attività. Da osservazioni empiriche, oggetti sottomarini può muoversi a velocità di 2-3 nodi (o 3-6 km / h) normalmente condizioni subacquee [3]. Pertanto, se un protocollo di rete proposto per le reti di sensori a terra non considera mobilità per la maggior parte dei nodi del sensore, probabilmente fallirebbe se clonato direttamente per applicazioni acquatiche.

Sebbene ci siano state ricerche approfondite nel campo reti di sensori basate, grazie alle caratteristiche uniche del cellulare UWSN, nuove ricerche a quasi tutti i livelli del protocollo suite è richiesta.

Sistemi di rete subacquea attuali e loro Limitazioni

Un UWSN scalabile e mobile è un importante passo avanti con rispetto alle UAN esistenti su piccola scala [4, 5]. La differenza principale Le differenze tra UAN e UWSN mobili sono le seguenti fattori.

Scalabilità : un UWSN mobile è una rete di sensori scalabile, che si basa sul rilevamento localizzato e sul networking coordinato tra un gran numero di sensori a basso costo. Al contrario, un file UAN esistente è una rete su piccola scala che si basa su dati leggere strategie come la telemetria remota o presume che la comunicazione è punto a punto. Nella telemetria remota, i dati sono



■ Figura 1. Un'illustrazione dell'architettura UWSN mobile per applicazioni di monitoraggio acquatico a lungo termine non critiche in termini di tempo.

raccolti a distanza da segnali a lungo raggio. Rispetto al locale sensing, la precisione di questo metodo è fortemente influenzata da condizioni ambientali e il costo di questo metodo può essere irragionevolmente alto per soddisfare le esigenze di alta precisione applicazioni. In UAN, dove si trova la comunicazione punto a punto presunto, i nodi del sensore sono solitamente distribuiti scarsamente (in sette km erali) e quindi non è necessaria alcuna tecnica di accesso multiplo; mentre negli UWSN mobili, i nodi dei sensori sono densamente distribuiti in per ottenere una migliore copertura spaziale e quindi una buona il protocollo multi-accesso progettato è un must per evitare / ridurre sion e migliorare il rendimento del sistema.

Auto-organizzazione : negli UAN, i nodi sono generalmente fissi (quindi nessun sensore mobile multiplo si sta disperdendo), mentre un cellulare UWSN è una rete auto-organizzata. Nodi del sensore subacqueo può essere ridistribuito e spostato dai processi acquisi di avvezione e dispersione. Dopo il trasporto dalle correnti e dispersione, i sensori devono riorganizzarsi come una rete in ordine per mantenere la comunicazione. Pertanto, i sensori dovrebbero regolare calamente la loro galleggiabilità, muovendosi su e giù in base a densità dei dati misurata. In questo modo, i sensori sono mobili al fine di monitorare i cambiamenti nella massa d'acqua piuttosto che apportare osservazioni in un punto fisso. I protocolli utilizzati negli UAN (che di solito sono presi in prestito da annunci wireless a terra reti hoc) non possono essere utilizzate direttamente dagli UWSN mobili per gestire sensori auto-organizzati con velocità di trasmissione dati lente e alta tassi di dispersione.

Localizzazione : nelle UAN, la localizzazione del sensore non è desiderata poiché i nodi sono solitamente fissi, ancorati nel fondale marino o fissati a boe con sistemi OPS. Tuttavia, in mobile UWSN, la localizzazione è necessaria perché la maggior parte dei file i sensori sono mobili con la corrente. Determinazione della posizione zioni di sensori mobili negli ambienti acquatici è molto difficile lenging. Da un lato, dobbiamo affrontare il limitato capacità di comunicazione dei canali acustici. Dall'altra mano, dobbiamo considerare di migliorare la precisione della localizzazione, che potrebbe essere significativamente influenzato da un canale acustico scadente qualità e mobilità dei nodi, che introduce più errori quando

un approccio di localizzazione cooperativa (che coinvolge più nodi) è impiegato.

In sintesi, le tecniche utilizzate in una UAN esistente possono non essere applicato direttamente a un UWSN mobile.

Differenze con altri articoli di indagine sulla subacquea Reti di sensori

Le reti di sensori subacquei rappresentano una ricerca nuovissima la zona. Articoli recenti [6, 7] forniscono buone indagini su quest'area. In particolare, [6] adotta un approccio simile a questo articolo in revisione-problemi di ricerca lungo lo stack del protocollo (dal basso in alto). La differenza fondamentale tra questo articolo e [6] è questa indirizziamo UWSN "mobile" invece di UWSN "statico". In [6] gli autori presumono che la maggior parte dei sensori siano ancorati al mare pavimento. Questo tipo di impostazione di rete è sicuramente valido per un intervallo di applicazioni, in particolare per le applicazioni in cui i dispositivi mobili sono impossibili. Ad esempio, nella previsione sismica globale, non è realistico distribuire sensori mobili su scala di bacino (migliaia di chilometri) area. Inoltre, questo tipo di appli- cationi di solito non richiedono un campionamento di dati molto denso. Sul D'altra parte, lo ammettiamo a causa del duro sott'acqua condizioni, alcune applicazioni potrebbero richiedere alcuni intermedi soluzioni. Un esempio è il monitoraggio sismico per l'estrazione di petrolio da campi sottomarini [7], in cui si trova il compito di monitoraggio condotto principalmente sul fondo del mare. Un'architettura di rete naturale La tecnica per questa applicazione consiste nel distribuire sensori fissi, che sono ancorate al fondo del mare. Alcuni nodi intermedi attaccati con boe di superficie possono essere utilizzati per l'invio dei dati. Chiaramente, questa impostazione di rete non dispone di nodi mobili ity. Oltre al monitoraggio sismico, in [7] lo scenario di stormi di robot dell'acqua, che ha una mobilità "attiva" rispetto a la mobilità "passiva" negli UWSN mobili, viene anche brevemente rivelata imprecato. Preferiamo classificare questo scenario di rete in piccoli scala UAN.

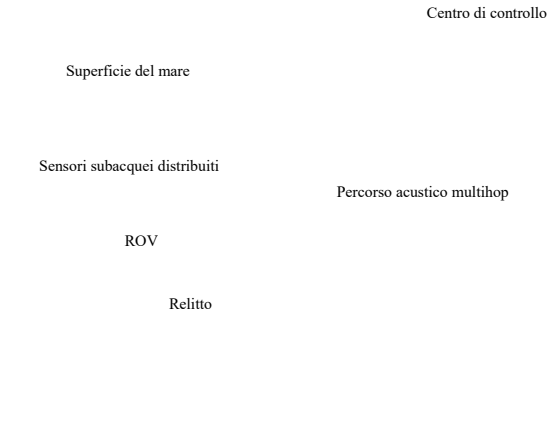
Due architetture di rete per dispositivi mobili UWSN

In generale, a seconda della versione permanente su richiesta posizionamento dei sensori, i vincoli temporali imposti dal applicazioni e il volume di dati recuperati, possiamo classificare approssimativamente gli scenari di applicazione acquatica in due ampie categorie: monitor acquatico a lungo termine non critico in termini di tempo esplorazione acquatica critica e a breve termine. Applicazione zioni che rientrano nella prima categoria includono oceanografia, marina biologia, rilevamento dell'inquinamento e monitoraggio dei giacimenti di petrolio / gas, a citarne alcuni. Gli esempi per la seconda categoria sono sotto scoperta delle risorse naturali dell'acqua, ripristino di emergenza in caso di uragano, missioni militari antisommergibili, scoperta di tesori perduti e così via. Di seguito, presentiamo un archivio UWSN mobile tecture per ogni tipo di applicazioni acquatiche e individuare il file problemi di progettazione chiave in ciascuna delle architetture UWSN mobile.

UWSN mobile per non critici a lungo termine Monitoraggio acquatico

La Figura 1 illustra l'architettura UWSN mobile per lunghi periodi termine applicazioni di monitoraggio acquatico non critiche in termini di tempo. In questo tipo di rete, i nodi dei sensori sono densamente distribuiti per coprire a area di monitoraggio continuo spaziale. I dati sono raccolti da sensori locali e trasmessi da sensori intermedi, e poi finalmente raggiungono i nodi di superficie (dotati sia di acustica e modem RF), che possono trasmettere dati a terra centro di comando via radio.

Poiché questo tipo di rete è progettato per il monitoraggio a lungo



■ Figura 2. Un'illustrazione dell'architettura UWSN mobile per applicazioni di esplorazione acquatica critiche per il tempo a breve termine.

Per svolgere le attività, il risparmio energetico è una questione centrale da considerare nella progettazione del protocollo. Tra i quattro tipi di attività dei sensori (rilevamento, trasmissione, ricezione e calcolo), trasmissione è il più costoso in termini di consumo energetico. (Nel WHOI Micro-Modem [8], la potenza di trasmissione è di 10 Watt, e la potenza di ricezione è 80 mW. Nota che Micro-Modem è progettato per comunicazioni acustiche a medio raggio (da 1 a 10 km) zioni. Per la comunicazione a brevissimo raggio in mobilità Gli UWSN, modem acustici efficienti dal punto di vista energetico, devono ancora essere sviluppati.) Tecniche efficienti per l'accesso multiplo e l'inoltro dei dati gioca un ruolo significativo nella riduzione del consumo di energia. Inoltre, a seconda della frequenza di campionamento dei dati, possiamo necessitano di meccanismi per controllare dinamicamente la modalità dei sensori (passaggio dalla modalità sleep, alla modalità sveglia e al lavoro modalità ing). In questo modo, possiamo risparmiare più energia. Ulteriore, quando i sensori stanno esaurendo la carica della batteria, dovrebbero esserlo in grado di saltare in superficie per la ricarica, per il quale a un semplice dispositivo simile a una vescica d'aria sarebbe sufficiente.

Chiaramente, negli UWSN mobili per il monitoraggio acquatico a lungo termine la localizzazione è un'attività indispensabile per localizzare i sensori mobili, poiché di solito solo i dati sensibili alla posizione sono utili in acquatico monitoraggio. Inoltre, le informazioni sulla posizione del sensore possono essere utilizzato per assistere l'inoltro dei dati, come dimostra il geo-routing per essere più efficiente del puro allagamento. Inoltre, location può aiutare a determinare se i sensori flottanti hanno attraversato il confine dell'area interessata. Se questo accade, i sensori dovrebbe avere alcuni meccanismi per il trasferimento (semovente) o pop-up sulla superficie dell'acqua per la ridistribuzione manuale. Se stesso il trasferimento necessita ovviamente di un certo controllo dell'assetto, che è consuma molta energia. Pertanto, un pratico sistema UWSN mobile Il design del tem deve affrontare efficacemente il compromesso tra efficienza energetica e auto-riorganizzazione.

Un altro problema interessante in tali sistemi UWSN mobili è la raccolta di energia. Poiché i nodi del sensore vengono distribuiti in ambienti sottomarini, che sono abbastanza diversi da ambienti di terra, possono essere sollevate molte domande naturali: Esistono nuovi mezzi per generare facilmente energia? Poteva il movimento della corrente dell'acqua può essere utilizzato per la ricarica della batteria? Sono possibili micro generatori idroelettrici? Potrebbe solare

1 A seconda delle applicazioni, ci aspettiamo che la distanza tra i nodi varia da 1 a 100 m e la copertura tipica è compresa tra [100, 10.000] m 2 . Per applicazioni che richiedono aree molto ampie, è necessario distribuire più UWSN mobili per formare una rete gerarchica.

l'energia sulla superficie dell'acqua può essere sfruttata? A causa dei giovani età dell'area della rete di sensori wireless subacquei, questi domande interessanti devono ancora essere risolte. Infine, il trasferimento dei dati affidabile, resiliente e sicuro è necessario per garantire un robusto sistema di osservazione.

UWSN mobile per attività acquatiche con tempi critici a breve termine Esplorazione

La figura 2 mostra uno scenario civile dell'architettura mobile UWSN tettura per applicazioni di esplorazione acquatica a breve termine cationi. Immagina un relitto di una nave e un'indagine su un incidente squadra vuole identificare la sede di destinazione. Approcci esistenti di solito impiegano fili / cavi legati a un telecomando veicolo (ROV). Quando il cavo è danneggiato, il ROV è spento di controllo o non recuperabile. Al contrario, distribuendo un file mobile UWSN, come mostrato in Fig. 2, il team investigativo può controllare il ROV a distanza. Il sottoscuola auto riconfigurabile La rete di sensori tollera più guasti rispetto alla rete esistente soluzione ereditata. Dopo le indagini, i sensori subacquei possono essere recuperato emettendo un comando per attivare la vescica d'aria dispositivi.

In un contesto militare, il rilevamento dei sottomarini è un esempio dell'esplorazione acquatica critica a breve termine obiettivo applicazioni. Di fronte alla tecnologia stealth all'avanguardia gies, la firma acustica di un sottomarino moderno può solo essere identificati entro un raggio molto breve. Rispetto al telecomando tecnologia di rilevamento che ha una precisione e una robustezza limitate, la rete di sensori auto-configurata può identificare il nemico sottomarino con altissima probabilità, dal momento che ogni individuo è in grado di rilevare i sottomarini e, inoltre, il la rilevazione può essere rafforzata da più osservazioni. Noi può ancora utilizzare la Fig. 2 per rappresentare questo scenario applicativo, con il ROY sostituito con il sottomarino furtivo del nemico. Il la rete di sensori wireless auto-riconfigurabile rileva il file sottomarino nemico e avvisa il centro di controllo tramite multi-hop percorsi acustici.

Questo tipo di applicazioni acquatiche richiede velocità di trasmissione dati variabili da molto piccolo (ad esempio, inviare un allarme che era un sottomarino rilevati) a relativamente alti (ad esempio, inviare immagini o anche dal vivo video del sottomarino). Poiché è limitato dalla fisica acustica e la tecnologia di codifica, la rete ad alta velocità di dati può essere solo realizzato nella banda acustica ad alta frequenza per sott'acqua comunicazione. È stato dimostrato da strumenti empirici tazioni che la larghezza di banda del collegamento può raggiungere fino a 0,5 Mb / s a distanza di 60 m [2]. Una velocità di trasmissione dati così elevata è adatta a fornire anche dati multimediali.

Rispetto al primo tipo di UWSN mobile per lunghi periodi termine monitoraggio acquatico non critico in termini di tempo, UWSN mobile per l'esplorazione acquatica critica in termini di tempo a breve termine presenta il seguenti differenze nella progettazione del protocollo:

- Il trasferimento dei dati in tempo reale è più preoccupante.
- Il risparmio energetico diventa una questione secondaria.
- La localizzazione non è un'attività da fare.

Tuttavia, il trasferimento dei dati affidabile, resiliente e sicuro lo è sempre una caratteristica avanzata desiderata per entrambi i tipi di cellulare UWSN.

Sfide di ricerca in Mobile UWSN Design

In questa sezione identifichiamo le sfide di progettazione lungo la rete stack di protocollo di lavoro in modo top-down. È chiaro che, a ogni strato, ci sono molti problemi critici in attesa di soluzione zioni. Per facilità di presentazione, in questa sezione usiamo "UWSN" per l'abbreviazione di "mobile UWSN".

Sicurezza, resilienza e robustezza

Una rete di sensori autoorganizzanti necessita di più protezioni di crittografia a causa della limitata energia, calcolo e capacità di comunicazione dei nodi sensori. Una sicurezza critica il problema è difendersi da attacchi denial-of-service, che potrebbero essere sotto forma di:

- Esaurimento delle risorse sul dispositivo di un nodo (in particolare, svuotamento batteria incorrendo in calcoli e comunicazioni extra)
- Interruzione della collaborazione di rete (ad es. Intradamento, dati aggregati, localizzazione, sincronizzazione dell'orologio)

Tali attacchi possono interrompere o addirittura disabilitare le reti di sensori pendenti di protezioni crittografiche.

In un UWSN, a causa delle caratteristiche uniche di underwater canali acustici, gli attacchi denial-of-service sono letali. Nel particolare, un attacco wormhole (in cui un utente malintenzionato registra un file pacchetto in una posizione nella rete, canalizza i dati verso un'altra posizione e riproduce il pacchetto lì) e la sua le formiche rappresentano una grande minaccia per la comunicazione acustica subacquea. Molte contromisure che sono state proposte per fermarsi gli attacchi wormhole nelle reti radio sono inefficaci negli UWSN. In [9] mostriamo che collegamenti wormhole a basso costo di *qualsiasi* lunghezza interrompere efficacemente i servizi di comunicazione negli UWSN. Il l'avversario può implementare wormhole più lunghi o più brevi rispetto alla gamma di trasmissione one-hop. Perché molti esistono contromisure wormhole proposte solo per le reti radio assicurarsi che un trasmettitore e il suo ricevitore siano fisicamente uno-altano vicini, non *possono* essere usati per contrastare sott'acqua wormhole più brevi di una distanza di un salto. Inoltre, nessun segnale nale, compresi quelli dell'avversario, possono propagarsi più velocemente rispetto ai segnali radio nelle reti di sensori a terra. Molti contromisure esistenti wormhole proposte per la rete radio le opere sfruttano questo fatto per delimitare la distanza tra un mittente e il suo ricevitore. Pertanto, per proteggersi dagli attacchi di wormhole in UWSN, sono necessarie nuove tecniche.

Un altro problema che può sorgere negli UWSN è intermittente partizionamento dovuto a turbolenza dell'acqua, correnti, navi e così via via. In effetti, potrebbero esserci situazioni in cui non è collegato percorso esiste in un dato momento tra la sorgente e la destinazione zione. Questa situazione di partizionamento intermittente può essere rilevata attraverso il routing e le osservazioni sul traffico. Una nuova rete paradigma che si occupa di tali interruzioni è stato recentemente sviluppato oped, vale a dire, rete tollerante al ritardo (DTN) [10]. DTN include l'uso di proxy store-and-forward intermedi. Se il data sink (cioè il centro di comando) sospetta la presenza di tali condizioni, può quindi sfruttare alcuni dei Tecniche DTN per raggiungere le sorgenti dati.

Trasferimento dati affidabile e / o in tempo reale

Il trasferimento affidabile dei dati è di fondamentale importanza. Ci sono tipicamente due approcci per un trasferimento dati affidabile: end-to-end o hop-by-hop. La soluzione più comune in il livello di trasporto è il protocollo TCP (Transmission Control Protocol), che è un approccio end-to-end. Ci aspettiamo prestazioni TCP può essere problematico a causa degli alti tassi di errore sostenuti sui collegamenti, che erano già stati rilevati in reti radio wireless. Tuttavia, in ambiente sottomarino menti, abbiamo un ulteriore problema: il tempo di propagazione è molto più grande del tempo di trasmissione, ponendo così le basi per il noto grande *larghezza di banda χ ritardo* prob- prodotto lem. Si consideri un percorso con 20 nodi distanziati di 50 m con a velocità di 500 kb / se dimensione del pacchetto = 1000 bit. L'ottimale La finestra TCP è quindi di 2000 pacchetti. Gestire tale finestre insolitamente grandi con gravi tassi di errore di collegamento è un file grande sfida, dal momento che TCP andrebbe in timeout e non lo sarà mai in grado di mantenere la velocità massima. Ci sono un certo numero di tecniche che possono essere utilizzate per rendere le prestazioni TCP

mance più efficiente. Tuttavia, le prestazioni di questi Le varianti TCP negli UWSN devono ancora essere studiate.

Un altro metodo per un trasferimento affidabile dei dati è il hop-by-hop approccio hop, che è favorito in wireless e soggetto a errori reti e si ritiene che sia più adatto per reti di sensori lavori. Wan et al. progettato pompa lentamente e recupera rapidamente (PSFQ) [11], che utilizza l'approccio hop-by-hop. In questo protocollo, un mittente invia pacchetti di dati al suo bors a velocità molto bassa. Quando il ricevitore rileva un pacchetto perduto, deve recuperare rapidamente i pacchetti persi. Hop-by-hop, i pacchetti di dati vengono finalmente consegnati al data sink in modo affidabile. Nel PSPQ, Automatic Repeat Request (ARQ) viene utilizzato per per hop comunicazione. Tuttavia, a causa del lungo ritardo di propagazione dei segnali acustici negli UWSN, ARQ causerebbe molto bassi utilizzo del canale. Una possibile soluzione per risolvere il problema lem è indagare sugli schemi di codifica della cancellazione che, però l'introduzione di overhead aggiuntivi, può efficacemente evitare ritrasformazioni ritardo della missione. La sfida è progettare un'efficiente su misura schema di codifica per UWSN.

Come accennato in precedenza, si desidera il trasferimento dei dati in tempo reale applicazioni di esplorazione acquatica critiche per il tempo a breve termine. Il la fornitura di servizi con limiti di tempo è ancora un altro difficile argomento di ricerca nella comunità di networking, anche per il Internet. In Internet, lo User Datagram Protocol (UDP) è di solito è preferito al TCP per il servizio in tempo reale, poiché UDP non limita i flussi di dati e consente il trasferimento dei dati altrettanto velocemente possibile. Tuttavia, al fine di fornire una trasmissione dati affidabile Inoltre, un approccio simile a UDP ovviamente non funziona. Nel reti ad hoc a terra e reti di sensori, percorso la ridondanza viene solitamente sfruttata per migliorare l'affidabilità. Negli UWSN, a causa dell'elevata probabilità di errore del canale acustico nels, è possibile utilizzare schemi di codifica di cancellazione efficienti aiutano a raggiungere un'elevata affidabilità e allo stesso tempo a ridurre i dati tempo di trasferimento sopprimendo la ritrasmissione.

Controllo della congestione del traffico

Il controllo della congestione è una questione importante, anche se difficile studiare in molti tipi di reti. Negli UWSN, alta acustica il ritardo di propagazione rende il controllo della congestione ancora più difficile ficult. Nelle reti di sensori a terra, la congestione Il problema del trol viene studiato a fondo in Congestion Rilevamento ed evitamento (CODA) [12]. In CODA, li sono due meccanismi per il controllo e la prevenzione della congestione: contropressione hop-by-hop a ciclo aperto e multi-regolazione della fonte. Nel backpres hop-by-hop a ciclo aperto modalità sicura, un nodo trasmette un messaggio di contropressione come non appena rileva la congestione. Il messaggio di contropressione lo farà essere propagato a monte verso i nodi di origine. In un densamente rete distribuita, il messaggio di contropressione sarà il molto probabilmente quello per raggiungere direttamente la fonte. Nel chiuso regolazione multisorgente loop, la sorgente utilizza gli ACK da il lavandino per auto-clock.

Per gli UWSN, ci aspettiamo che una combinazione di open e possono essere applicati circuiti chiusi, poiché ciò fornisce un buon compromise tra reazione veloce (con open) ed efficiente regolazione stazionaria (con chiuso). Considerando i poveri qualità dei canali acustici, un aspetto che merita di essere L'indagine è la distinzione tra perdite dovute a congestione e perdita a causa di interferenze esterne. Maggior parte i programmi presumono che tutte le perdite siano legate alla congestione. Il più alto la perdita, minore diventa il tasso di origine. Questo causerà problemi in sistemi subacquei dove errori / perdite casuali può essere prevalente. Dalla statistica di interarrivi del pacchetto ricevuto tic e da altre misurazioni locali, il pozzo di dati può essere in grado di inferire perdite casuali rispetto a congestione e mantenere la velocità (ed eventualmente rafforzare la codifica del canale) se la perdita non è correlata alla congestione.

Come nelle reti di sensori a terra, il risparmio energetico è fondamentale preoccupazione negli UWSN (specialmente per il non-applicazioni itoring). Un'altra sfida per l'inoltro dei dati in Gli UWSN servono a gestire la mobilità dei nodi. Questo requisito fa la maggior parte dei protocolli di inoltro dati ad alta efficienza energetica esistenti inadatto per UWSN. Esistono molti protocolli di instradamento poste per reti di sensori a terra. Sono principalmente progettati per reti fisse e di solito utilizza query flooding come metodo potente per scoprire i percorsi di consegna dei dati. Negli UWSN, tuttavia, la maggior parte dei nodi del sensore sono mobili e il La "topologia di rete" cambia drasticamente anche con piccole dimensioni posizionamenti. Pertanto, gli algoritmi di routing esistenti che utilizzano query-allagamenti progettati per reti di sensori a terra sono n più fattibile negli UWSN.

Esistono anche molti protocolli di instradamento proposti per reti mobili ad hoc basate. Questi protocolli generalmente cadono in due categorie: instradamento proattivo e instradamento reattivo (noto anche come instradamento su richiesta). In instradamento proattivo ad hoc protocolli, il costo del rilevamento proattivo dei vicini potrebbe essere molto costoso a causa dell'ampia scala di UWSN. Su dall'altra, nel routing su richiesta, l'operazione di routing viene attivato dalla richiesta di comunicazione alla fonte. Nel la fase di scoperta del percorso, la fonte cerca di stabilire a percorso verso la destinazione allagando un messaggio di richiesta di percorso sage, che sarebbe molto costoso negli UWSN su larga scala.

Senza rilevamento proattivo dei vicini e con meno allagamenti è una grande sfida fornire la consegna di pacchetti multihop servizio negli UWSN con il requisito di mobilità del nodo. Uno possibile direzione è utilizzare le informazioni sulla posizione per routing, che si rivela molto efficace nella gestione della mobilità. Tuttavia, come rendere il geo-routing efficiente dal punto di vista energetico negli UWSN deve ancora essere risposto.

Localizzazione distribuita e sincronizzazione dell'ora

Nelle applicazioni acquatiche, è fondamentale per ogni nodo sottomarino per conoscere la sua posizione attuale e l'ora sincronizzata con rispetto ad altri nodi di coordinamento. A causa del rapido assorbimento zione delle onde radio ad alta frequenza, Global Positioning System (GPS) non funziona bene sott'acqua. Finora, al nostro meglio conoscenza, posizionamento a basso costo e sincronizzazione temporale sistema mentre con alta precisione come il GPS per base a terra nodi sensore non è ancora disponibile per i nodi sensori subacquei. Pertanto, ci si aspetta che gli UWSN debbano fare affidamento su *GPS distribuito-localizzazione gratuita o schema di sincronizzazione dell'ora* , che è denominata localizzazione cooperativa o sincronizzazione dell'ora zione. Per realizzare questo tipo di approcci in una rete con mobilità dei nodi, il problema chiave è la portata e la direzione processo di misurazione. Il comune approccio senza GPS utilizzato in molte reti di sensori terrestri di misurazione del tempo differenza di arrivo (TDoA) tra un RF e un acous- Il segnale tic / ultrasuoni non è più fattibile, come comunemente il segnale RF disponibile non riesce sott'acqua. Il ricevitore-segnale-L'indice di forza (RSSI) è vulnerabile alle interferenze acustiche come il rumore della marea vicino alla costa, il rumore della nave vicino alla superficie, percorso e diffusione della frequenza Doppler. Angolo di arrivo (AoA) i sistemi richiedono dispositivi di trasmissione / ricezione direzionale, che potrebbero essere esplorati, sebbene di solito incorrono in non banali ial costo aggiuntivo.

Approcci promettenti possono includere il tempo solo acustico arrivo (ToA) si avvicina (ad esempio, misurando il tempo di andata e ritorno di facendo rimbalzare attivamente il segnale acustico), nonché la distribuzione molti punti di ancoraggio radio a livello di superficie (tramite GPS per istante informazioni sulla posizione e sulla sincronizzazione temporale). Inoltre, l'ambiente sottomarino, con il moto dell'acqua e il variare della temperatura peratura e pressione, influisce anche sulla velocità acustica

si.

Accesso multiplo efficiente

Le caratteristiche del canale acustico subacqueo, espe- larghezza di banda sostanzialmente limitata e ritardi di propagazione elevati, pose sfide uniche per il controllo dell'accesso ai media (MAC) che consente a più dispositivi di condividere un supporto wireless comune in modo efficiente ed equo. I protocolli MAC possono essere approssimativamente diviso in due categorie principali:

- Protocolli pianificati che evitano la collisione tra le trasmissioni nodi
- Protocolli basati su contese in cui i nodi competono per a canale condiviso, con conseguente coordinamento probabilistico

I protocolli pianificati includono l'accesso multiplo a divisione di tempo (TDMA), accesso multiplo a divisione di frequenza (FDMA) e code division multiple access (CDMA), dove gli utenti sono separati classificati in domini di tempo, frequenza o codice. Questi protocolli sono stati ampiamente utilizzati nei moderni sistemi di comunicazione cellulare temi. I protocolli basati sulla controversia includono l'accesso casuale (ALOHA, slot ALOHA), accesso al rilevamento della portante (CSMA), e prevenzione delle collisioni con accesso tramite handshaking (MACA, MACAW), che è alla base di numerosi standard ampiamente utilizzati incluso IEEE 802.11.

È stato osservato che i protocolli basati su contese che fare affidamento sul rilevamento del vettore e l'handshaking non sono appropriati comunicazioni subacquee [5, 6]. Una possibile direzione è per esplorare ALOHA / ALOHA a slot negli UWSN, dal satellite reti, che condividono la caratteristica del lungo ritardo di propagazione, impiegare questi approcci di accesso casuale. D'altra parte, FDMA non è adatto a causa della larghezza di banda ridotta di canale acustico subacqueo e TDMA non è efficiente a causa all'eccessivo ritardo di propagazione. Di conseguenza, CDMA ha è stata evidenziata come una promettente tecnica di accesso multiplo per reti acustiche sottomarine [5, 6]. Se più antenna ele- vengono distribuiti in determinati relè o punti di accesso, quindi tial division multiple access (SDMA) è una scelta praticabile. Come in CDMA, gli utenti possono trasmettere simultaneamente su tutta la frequenza banda di frequenza. Con diverse sequenze di firme spaziali, gli utenti sono separati al ricevitore attraverso la cancellazione delle interferenze tecniche. SDMA e CDMA possono essere ulteriormente combinati, quindi che a ogni utente venga assegnata una matrice di firma che si diffonde spazio e tempo, estendendo così il concetto di temporale o diffusione spaziale.

Strato fisico acustico

Rispetto alla loro controparte sui canali radio, la comunicazione i commenti sui canali acustici sottomarini sono gravemente limitato e prestazioni limitate. Ciò è causato dal limitazione della larghezza di banda intrinseca dei collegamenti acustici, il grande ritardo diffusione e l'elevata variabilità temporale dovuta alla gazione in ambienti sottomarini. Di conseguenza, a differenza del rapida crescita delle reti wireless sui canali radio, l'ultimo due decenni hanno assistito solo a due progressi fondamentali in comunicazioni acustiche subacquee. Uno è l'introduzione di tecniche di comunicazione digitale, ovvero non coerente key shift keying (FSK), all'inizio degli anni '80, e l'altro è l'applicazione di modulazioni coerenti, inclusa la fase shift keying (PSK) e modulazione di ampiezza in quadratura (QAM) all'inizio degli anni '90 [2]. A seguito dell'impiego di coerenti sistemi ent, il miglioramento delle prestazioni è stato moderato, e principalmente solo a causa dei miglioramenti del ricevitore [2]. Sostanziale sono necessarie innovazioni a livello fisico per rafforzare il prestazioni del sistema e offrono una velocità di trasmissione dati notevolmente più elevata per reti di comunicazione subacquee.

Un cambio di paradigma rispetto alle attuali trasmissioni a portante singola

ed equalizzazioni alla modulazione multicarrier sotto forma di il multiplexing a divisione di frequenza ortogonale (OFDM) è considerato un approccio praticabile, poiché OFDM ha avuto ben grande successo nei sistemi radio wireless a banda larga. Un altro la direzione è quella di perseguire la tecnologia multi-input multi-output (MIMO) niques per un sostanziale miglioramento della velocità e delle prestazioni. Il MIMO distribuito è possibile anche se l'antenna singola in cluster i nodi potrebbero cooperare.

[12] C.-Y. Wan, SB Eisenman e AT Campbell, "CODA: Congestion Rilevamento ed evitamento nelle reti di sensori ", *ACM SenSys '03* , Los Angeles, CA, novembre 2003.

Biografie

J UN -H ONG C UI (jcui@cse.uconn.edu) ha conseguito la laurea in informatica ence presso l'Università di Jijin, Cina, nel 1995, la sua laurea in ingegneria informatica neering presso l'Accademia cinese delle scienze nel 1998, e il suo dottorato di ricerca. grado in informatica presso l'Università della California a Los Angeles (UCLA) in 2003. Attualmente è ricercatore universitario in Informatica e Ingegneria

Sommario

In questo articolo, abbiamo richiamato l'attenzione sulla costruzione di scale UWSN mobili in grado e distribuiti per applicazioni acquatiche. Abbiamo identificato le caratteristiche uniche del mobile UWSN e ha presentato due architetture di rete per diversi tipi di applicazioni acquatiche, identificando i loro requisiti chiave menti nella progettazione del protocollo. Inoltre, abbiamo analizzato il file sfide di progettazione per l'implementazione del necessario sott'acqua reti. Seguendo un approccio dall'alto verso il basso, abbiamo discusso di sfide di progettazione di ogni livello nello stack del protocollo di rete. Il nostro studio mostra che la progettazione di UWSN mobili è un sfida clinica che richiede l'integrazione di componenti acustici comunicazioni, elaborazione del segnale e progettazione di reti mobili.

Riferimenti

[1] DA Jay *et al.* , "A Review of Recent Developments in Estuarine Scalar Flux Estimation," *Estuaries* , vol. 20, no. 2, 1997, pagg. 262-80.

[2] DB Kilfoyle e AB Baggeroer, "The State of the Art in Underwater Acoustic Telemetry", *IEEE J. Oceanic Eng.* , vol. OE-25, n. 5, gennaio 2000, pagg. 4-27.

[3] W. Broecker e T.-H. Peng, *Tracers in the Sea* , Eldigio Press, Lamont Doherty Earth Observatory della Columbia Univ., Palisades, NY, 1982, p. 689.

[4] EM Sozer, M. Stojanovic e JG Proakis, "Undersea Acoustic Net- funziona ", *IEEE J. Oceanic Eng.* , vol. OE-25, n. 1, gennaio 2000, pagg. 72-83.

[5] JG Proakis *et al.* , "Shallow Water Acoustic Networks", *IEEE Commun. Mag.* , Novembre 2001, pagg. 114-19.

[6] IF Akyildiz, D. Pompili e T. Melodia, "Challenges for Efficient Communi- cation in Underwater Acoustic Sensor Networks," *ACM SIGBED Rev.* , vol. 1, no. 1, luglio 2004.

[7] J. Heidemann *et al.* , "Underwater Sensor Networking: Research Challenges e potenziali applicazioni ", tecnologia USC / ISI. rappresentante. ISI-TR-2005-603, 2005.

[8] L. Freitag *et al.* , "Il micro-modem WHOI: comunicazioni acustiche and Navigation System for Multiple Platforms," *IEEE Oceans Conf.* , Lavare- ington, DC, 2005.

[9] J. Kong *et al.* , "Attacchi a basso costo contro la consegna dei pacchetti, la localizzazione e Servizi di sincronizzazione nelle reti di sensori subacquei ", *4 ° ACM Wksp. Wireless Sec.* , 2005.

[10] K. Fall, "A Delay Tolerant Networking Architecture for Challenged Inter- nets ", *ACM SIGCOMM 2003* , agosto 2003.

[11] C.-Y. Wan, AT Campbell e L. Krishnamurthy, "PSFQ: A Reliable Protocollo di trasporto per reti di sensori wireless ", *WNA '02* , Atlanta, GA, Settembre 2002.

neering Department presso l'Università del Connecticut. I suoi interessi di ricerca coprono la progettazione, la modellazione e la valutazione delle prestazioni di reti e distribuite sistemi. Recentemente, la sua ricerca si è concentrata principalmente sullo sfruttamento dello spazio proprietà nella modellazione di topologia di rete, mobilità di rete e gruppo appartenenza, supporto di comunicazione scalabile ed efficiente in overlay e peer- reti to-peer, algoritmo e progettazione di protocolli nella rete di sensori sottomarini lavori. Si prega di consultare <http://www.cse.uconn.edu/~jcui/> per i suoi progetti recenti e pubblicazioni.

J IEJUN K ONG (jkong@cs.ucla.edu) è un ricercatore post-dottorato presso il Comput- er Science Department presso l'UCLA. È interessato a sviluppare soluzioni efficienti e scalabili protocolli di rete capaci e sicuri per reti wireless. I suoi temi di ricerca includere instradamento sicuro e anonimo, autenticazione, controllo degli accessi, raccolta dati tributata e modellazione della sicurezza di rete nel wireless mobile reti, in particolare quelle con vincoli di rete impegnativi e elevati esigenze di sicurezza, come reti mobili ad hoc e sensori subacquei reti. Ha contribuito alla progettazione, implementazione e test di protocolli di rete all'interno di NSF iMASH, ONR MINUTEMAN / STTR e NSF Progetti WHYNET.

S HENGLI Z HOU [M'03] (shengli@engr.uconn.edu) ha ricevuto BS e M.Sc. lauree in ingegneria elettrica e scienze dell'informazione presso l'Università ty of Science and Technology of China, Hefei, in 1995 and 1998, respec- e un dottorato di ricerca. laurea in ingegneria elettrica presso l'Università di Minnesota, Minneapolis, nel 2002. È stato assistente professore presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica e Informatica dell'Università degli Studi di Connecticut, Storrs, CT dal 2003. I suoi interessi di ricerca si trovano nelle aree di comunicazioni ed elaborazione del segnale, inclusa la stima del canale e equalizzazione, comunicazioni multiutente e multicarrier, cod spazio-tempo progettazione, modulazione adattiva e design a strati incrociati. È stato Associ- da febbraio ha lavorato come editor per le *transazioni IEEE sulle comunicazioni wireless* 2005.

M ARIO G ERLA (gerla@cs.ucla.edu) ha conseguito una laurea in ingegneria dal Politecnico di Milano nel 1966, e MS e Ph.D. lauree in ingegneria neering dall'UCLA nel 1970 e nel 1973, rispettivamente. Dopo aver lavorato per Net- lavoro Analysis Corporation dal 1973 al 1976, è entrato a far parte della facoltà del Dipartimento di Informatica presso la UCLA, dove ora è professore. Il suo gli interessi di ricerca riguardano la valutazione delle prestazioni, la progettazione e il controllo di sistemi di comunicazione informatica distribuiti, reti di computer ad alta velocità, LAN wireless e reti wireless ad hoc. Ha lavorato al design, implementazione e test di vari protocolli di rete wireless ad hoc (accesso al canale, clustering, instradamento e trasporto) all'interno di DARPA WAMIS e GloMo, e più recentemente il progetto ONR MINUTEMAN. egli è conducendo anche ricerche su routing QoS, protocolli multicast e TCP trasporto per Internet di prossima generazione. Vedi <http://www.cs.ucla.edu/NRL> per pubblicazioni recenti.