

**Scuola Dottorale di Ateneo
Scuola di Specializzazione**

**Dottorato di ricerca
in Informatica
Ciclo 31
Anno di discussione 2019**

***Analisi e ottimizzazioni nel routing basato sulla profondità per
Reti di sensori subacquei***

**SETTORE SCIENTIFICO DISCIPLINARE DI AFFERENZA : INF / 01
Tesi di Dottorato di Muhammad Mohsin Raza Jafri, matricola 956255**

Coordinatore del Dottorato

Prof. Riccardo Focardi

Supervisor del Dottorando

Prof. Andrea Marin

Astratto

Le reti di sensori sottomarini (UWSN) utilizzano nodi di sensori e comunicazioni acustiche per rilevare gli attributi fisici dell'acqua come temperatura, pressione, ecc. Ricerche su Gli UWSN sono emersi grazie al loro ampio spettro di applicazioni che include l'estensione gestione dei giacimenti petroliferi e prevenzione delle catastrofi acquose, nonché sorveglianza militare. Le condizioni dinamiche dell'acqua, i vincoli energetici e il un'elevata probabilità di errore durante la trasmissione dei dati sono sfide importanti nella progettazione di protocolli di instradamento negli UWSN. Uno dei principali schemi di routing è il routing basato sulla profondità (DBR) che esegue un routing anycast specializzato verso i sink di superficie, basato lungo il profondità misurata dai sensori di pressione.

In questa tesi, studiamo e ottimizziamo alcuni protocolli di routing per UWSN, in particolare quelli basati su DBR. A questo scopo, abbiamo progettato un nuovo simulatore per lo studio del DBR e dei suoi miglioramenti. Il nostro simulatore è basato su AquaSim-NG e NS-3 (Network Simulator). Rispetto allo stato dell'arte, abbiamo implementato la comunicazione cross-layer richiesto da DBR e un'accurata rappresentazione delle modalità operative dell'acustica modem con il consumo energetico associato. Abbiamo sviluppato alcuni modelli analitici per gli UWSN con l'obiettivo di (i) identificare il raggio di trasmissione ottimale per il sensore nodi dato lo stato del sistema, (ii) trovare il numero ottimale di salti tra l'origine e la destinazione in varie impostazioni di rete, (iii) valutando il ruolo di soglia di profondità nella definizione dello schema di instradamento. In questo lavoro, un ruolo fondamentale è giocato dal consumo di energia e dalla durata prevista della rete. Infine, basato in base ai nostri risultati, abbiamo progettato il protocollo di instradamento Residual Energy-Depth (RD) che migliora la durata della rete.

Elenco delle pubblicazioni

1. Mohsin Raza Jafri, Simonetta Balsamo, Andrea Marin e Robert Martin, "Implementazione del routing basato sulla profondità e il suo miglioramento in Aqua-Sim Next Generazione per Underwater Wireless Sensor Networks ", pubblicato su International Journal of Communication Systems, 2018, edizione n. e3714, Wiley Online Library ..
2. Mohsin Raza Jafri, Andrea Marin, Andrea Torsello, Majid Ghaderi "On the Optimalità dei protocolli di instradamento opportunistici per reti di sensori subacquei ", accitato negli atti della 21a ACM International Conference on Modeling, Analysis e Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), 2018.
3. Kishor Patil, Mohsin Raza Jafri, Dieter Fiems e Andrea Marin, "Stochastic Modeling of Depth Based Routing in Underwater Sensor Networks ", **presentato** in Ad-Rivista Hoc Networks, Elsevier, 2018.
4. Simonetta Balsamo, Dieter Fiems, Mohsin Raza Jafri e A. Marin "Analisi di prestazioni nel routing basato sulla profondità per reti di sensori wireless subacquei " accettato negli Atti del 7 ° Workshop sulle Nuove Frontiere in Quantitativo metodi in Informatica, InfQ'2017, 5–7 dicembre, Venezia, Italia. Springer, pagg. 18–31.
5. Mohsin Raza Jafri, "Adaptive Holding time and Depth-Based Routing for Underwater Wireless Sensor Networks ", accettato negli Atti dell'undicesimo EAI In-conferenza internazionale sulle metodologie e gli strumenti di valutazione delle prestazioni, VAL-UETOOLS'2017, 5–7 dicembre, Venezia, Italia. ACM.
6. Mohsin Raza Jafri, S.Balsamo e A. Marin "Identificare la trasmissione ottimale range in Depth-Based Routing For UWSN, "accettato negli In Proceedings del 31st European Simulation and Modeling Conference - ESM'2017, October 25-27, IST, Lisbona, Portogallo. EUROSIS, pagg. 288-292.
7. Kishor Patil, Mohsin Raza Jafri, Dieter Fiems e Andrea Marin, "Performance Evaluation of Depth Based Routing in UnderwaterSensor Networks ", accettato in gli atti di StochMod 2018 13-15 giugno, Lancaster University, UK. (Fast Abstracto)

Prefazione

In questa tesi abbiamo presentato il nostro lavoro di ricerca pubblicato con Andrea Marin, Dieter Fiems, Majid Ghaderi, Simonetta Balsamo, Andrea Torsello e qualche altro senior re-ricercatori. Parte del lavoro di ricerca è ancora in fase di revisione tra pari. voglio ringraziare tutti i miei coautori, membri del gruppo di ricerca (ACADIA) e Nicola Miotello per il loro supporto. Sono grato ai miei genitori, alla mia famiglia, ai miei amici specialmente a Moid, Zeeshan, Kishor, Heider e Tahir per il loro supporto e guida durante le difficili fasi di ricerca. Inoltre, vorrei ringraziare il prof. Riccardo Focardi, preside della scuola di dottorato di Informatica presso l'Università Ca' Foscari. Durante questi tre anni, abbiamo promosso ha fornito un contributo di ricerca originale e concreto relativo al dominio della subacquea reti di sensori (UWSN).

La tesi si compone di tre parti principali. La prima parte introduce la terminologia di base gies di comunicazione acustica, UWSN e protocolli di instradamento in UWSN. Spiega anche i suggerimenti per la progettazione del protocollo di routing per gli UWSN e il routing basato sulla profondità. Il secondo parte fornisce la revisione della letteratura dei simulatori di rete per la comunicazione subacquea. Discute il nostro contributo originale relativo al simulatore subacqueo basato su NS3, ovvero AquaSim-NG. La terza parte illustra alcuni modelli probabilistici che abbiamo proposto una migliore comprensione e ottimizzazione del routing negli UWSN. Grazie all'osservazione che abbiamo derivato, abbiamo introdotto alcune nuove variazioni per l'opportunistic protocolli di instradamento negli UWSN.

Organizziamo il resto della tesi come segue. Il capitolo 2 introduce il basic terminologie di comunicazione subacquea e UWSN. Spiega anche la classificazione dei protocolli di instradamento e dei metodi di valutazione delle prestazioni comunemente usati per le UWSN. Il Capitolo 3 spiega brevemente il routing basato sulla profondità e il suo stato dell'arte. Discute la teoria delle metriche di instradamento utilizzate nei classici schemi di instradamento basati sulla profondità. capitolo 4 introduce il nostro primo contributo in UWSNs che è la progettazione di subacquea basata su NS3 simulatore cioè AquaSim-NG. Copre anche la convalida completa e i risultati sperimentali del simulatore. I capitoli 5, 6 e 7 introducono i modelli stocastici per ottimizzare il metriche di routing di protocolli di routing opportunistici e basati sulla profondità. Considerando il k-hop comunicazione tra il nodo sorgente e il pozzo in termini di efficienza energetica, ottimale configurazione sono state identificate. Il Capitolo 8 definisce un'espressione matematica da trovare il raggio di trasmissione ottimale per i nodi in termini di probabilità di consegna del pacchetto. I capitoli 9 e 10 propongono nuovi protocolli di routing opportunistico distribuito per ottenere una maggiore durata della rete e un minor consumo di energia.

Contenuti

<u>I. Preliminari</u>	xii
<u>1. Introduzione</u>	1
<u>1.1. Dichiarazione di tesi</u>	4
<u>1.1.1. Problema di ricerca</u>	4
<u>1.1.2. Idea chiave</u>	4
<u>1.1.3. Obiettivi</u>	5
<u>1.1.4. Contributo</u>	5
<u>1.1.5. Pubblicazioni</u>	6
<u>2. Reti di sensori subacquei: concetti di base</u>	8
<u>2.1. Introduzione alle reti di sensori wireless subacquee</u>	9
<u>2.1.1. Il ruolo della comunicazione acustica</u>	11
<u>2.2. Progettazione del protocollo di routing per UWSN</u>	13
<u>2.2.1. Problemi di localizzazione e affidabilità</u>	13
<u>2.2.2. Classificazione dei protocolli di instradamento sulla base della localizzazione</u>	14
<u>2.2.3. Protocolli di instradamento opportunistico</u>	15
<u>2.3. Altri lavori correlati</u>	16
<u>2.4. Valutazione delle prestazioni di UWSN</u>	17
<u>2.4.1. Ruolo dei modelli analitici</u>	17
<u>2.4.2. Ruolo dei simulatori</u>	18
<u>2.4.3. Ruolo delle sperimentazioni</u>	19
<u>2.5. Sfide aperte nell'implementazione di UWSN</u>	19
<u>3. Introduzione al routing basato sulla profondità</u>	21
<u>3.1. Stato dell'arte del routing basato sulla profondità</u>	22
<u>3.1.1. Evoluzione del routing basato sulla profondità in routing opportunistico</u>	26
<u>3.2. Perché DBR?</u>	26
<u>3.3. Il protocollo di routing DBR</u>	26
<u>3.3.1. Metodologia di DBR</u>	27
<u>3.3.2. Calcolo del tempo di permanenza in DBR</u>	29
<u>3.3.3. Calcolo del tempo di permanenza in EEDBR</u>	29
<u>3.4. Osservazioni conclusive</u>	30
	v
<u>II. Un nuovo simulatore per gli UWSN</u>	31
<u>4. Progettazione di un simulatore: AquaSim-Next Generation per UWSN</u>	33
<u>4.1. Precedenti lavori su simulatori subacquei</u>	34
<u>4.2. Contributi</u>	36
<u>4.3. Progettazione del simulatore</u>	37
<u>4.3.1. Lo strato fisico</u>	37
<u>4.3.2. Il livello MAC</u>	39

4.3.3. Il livello di rete.....	39
4.4. Validazione del simulatore ed esperimenti di simulazione.....	41
4.4.1. Scenari simulati e metodologia.....	42
4.4.2. Impatto dei parametri di configurazione sulle prestazioni di DBR.....	42
4.4.3. Convalida incrociata con il modello del livello fisico in Matlab.....	43
4.5. Osservazioni conclusive.....	45

III. Analisi e ottimizzazioni nel routing basato sulla profondità

46

5. Modellazione stocastica dell'instradamento basato sulla profondità nelle reti di sensori subacquei

5.1. Introduzione.....	49
5.2. Lavoro correlato.....	50
5.3. Motivazione del problema e contributo.....	51
5.4. DBR e il suo modello stocastico.....	51
5.4.1. Riepilogo del routing basato sulla profondità.....	51
5.4.2. Modello di posizione del nodo.....	52
5.4.3. Probabilità di consegna di un nodo.....	53
5.4.4. Analisi della comunicazione k-hop.....	54
5.4.5. Calcolo del ritardo medio end-to-end.....	55
5.4.6. Consumo di energia.....	56
5.5. Risultati numerici.....	57
5.5.1. Probabilità di consegna.....	57
5.5.2. Ritardo medio end-to-end.....	62
5.5.3. Consumo di energia.....	65
5.5.4. Validazione del modello tramite simulazione.....	65
5.6. Osservazioni conclusive.....	66

6. Sull'ottimizzazione dei protocolli di instradamento opportunistici per i servizi subacquei

67

sor Networks

6.1. Introduzione.....	68
6.2. Lavoro correlato.....	69
6.3. Contributi.....	70
6.4. Ottimizzazione basata sulla soglia.....	71
6.4.1. Modellazione di ipotesi e obiettivi.....	71
6.4.2. Il modello per processi a punti stazionari generali.....	72
6.4.3. Il modello per processi puntiformi di Poisson omogenei.....	74
6.4.4. Determinazione della soglia ottimale per PPP omogenei.....	75
6.5. Valutazione delle prestazioni UWSN.....	77
6.5.1. Analisi della percolazione.....	78

vi

6.6. Risultati numerici e simulazione.....	79
6.7. Osservazioni conclusive.....	83

7. Analisi delle prestazioni nel routing basato sulla profondità per wireless subacqueo

84

Reti di sensori

7.1. Introduzione.....	85
7.2. Lavoro correlato.....	86
7.3. Instradamento basato sulla profondità.....	86
7.4. Un modello per protocollo multi-hop con antenna direzionale.....	87
7.4.1. Analisi del consumo energetico.....	92
7.4.2. Analisi del ritardo end-to-end.....	93
7.5. Valutazione e ottimizzazione numerica.....	94

7.6. Osservazioni conclusive.	97	
8. Identificazione del raggio di trasmissione ottimale nel routing basato sulla profondità per UWSN		98
8.1. Introduzione.	99	
8.2. Lavoro correlato.	100	
8.3. Dichiarazione problema.	100	
8.4. DBR e suo modello di simulazione.	101	
8.4.1. Modellazione del consumo energetico a livello fisico	101	
8.4.2. Livello di rete DBR e relativo modello di simulazione.	102	
8.5. Esperimenti di simulazione.	103	
8.5.1. Scenari di simulazione e indici di performance	104	
8.5.2. Impatto del raggio di trasmissione sul costo energetico della rete, pacchetto rapporto di consegna e numero totale di trasmissioni	104	
8.5.3. Raggio di trasmissione ottimale in funzione della densità del nodo	106	
8.6. Osservazioni conclusive.	107	
9. Schema di instradamento basato sull'energia residua (RD) per gli UWSN		108
9.1. Introduzione.	109	
9.2. Contributi.	110	
9.3. Schema di instradamento basato su RD.	110	
9.3.1. Selezione dello spedizioniere.	111	
9.3.2. Caratteristiche specifiche	112	
9.4. Esperimenti di simulazione.	113	
9.4.1. Scenari simulati e metodologia.	113	
9.4.2. Confronto di RD, DBR e PDBR.	113	
9.5. Osservazioni conclusive.	120	
10. Tempo di attesa adattivo e instradamento basato sulla profondità per UWSN		121
10.1 Sfondo.	122	
10.2 Motivazione e contributo del problema.	123	
10.3 Modello di sistema.	123	
10.4. Metodologia dell'AHT.	124	
10.5 Risultati e discussione.	126	
10.6 Osservazioni conclusive.	126	
11. Conclusione		128

Lista delle figure

2.1. Rilevamento sottomarino tramite UWSN.	10
3.1. Metodologia dell'EEDBR.	24
3.2. Metodologia di Hydrocast (tratto da [1]).	25
3.3. Metodologia di DBR.	28

3.4. Scenario considerato nell'esempio 1.	29	
4.1. Architettura di AquaSim-NG.	37	
4.2. Ritardo medio end-to-end dei pacchetti con vari valori di δ in DBR (sec).		43
4.3. Consumo energetico totale della rete con valore diverso di δ in DBR (joule).	44	
4.4. Analisi del rapporto di consegna dei pacchetti tra i modelli per DBR.	44	
4.5. Analisi del consumo energetico totale tra i modelli per DBR (joule).	45	
5.1. Progettazione del modello probabilistico per DBR.	53	
5.2. Probabilità di consegna per la trasmissione diretta dalla sorgente al pozzo per diversi posizioni della destinazione.	57	
5.3. Probabilità di consegna per la trasmissione diretta dalla sorgente al pozzo per diversi livelli di destinazione.	58	
5.4. Probabilità di consegna per un numero totale diverso di livelli di profondità.	58	
5.5. Probabilità di consegna per diversi b/N_0	59	
5.6. Ritardo medio per un numero totale diverso di livelli di profondità (sec).	59	
5.7. Ritardo medio per diversi b/N_0 (sec).	60	
5.8. Probabilità di consegna totale.	60	
5.9. Ritardo end-to-end medio (sec).	61	
5.10 Ritardo medio (sec).	61	
5.11 Consumo di energia (joule).	63	
5.12. Confronto tra modello stocastico e simulazione Monte-Carlo per la dissoluzione del luppolo tribuzione.	63	
5.13. Confronto tra modello stocastico e simulazione Monte-Carlo per la media ritardo (sec).	64	
5.14. Confronto tra modello stocastico e simulazione Monte-Carlo per Total de-probabilità di livrea.	64	
5.15. Confronto tra modello stocastico e simulazione Monte-Carlo per la media ritardo end-to-end (sec).	65	
6.1. Schizzo di un UWSN.	69	

viii

Pagina 9

Lista delle figure

6.2. Soglia ottimale (T) in funzione del numero atteso di edizionieri per il modello considerato nell'esempio 2 (km).	76	
6.3. Soglia ottimale (T) in funzione della probabilità di consegna del pacchetto (km).		80
6.4. Probabilità di consegna dei pacchetti nel modello di simulazione. d è misurato in m.		80
6.5. Risultati analitici: soglia ottimale e probabilità di consegna del pacchetto per diversi valori della densità dei nodi espressi in nodi / km ³ , si misura T in m.	82	
6.6. Risultati analitici: soglia ottimale in funzione della densità dei nodi per diverse probabilità di consegna del pacchetto target. T è misurato in m e λ in nodi / km ³	82	
6.7. Validazione del modello: risultati analitici e stime Aquasim-NG per $\lambda = 50$ e $\lambda = 75$ nodi / km ³ . T si misura in m.	83	
7.1. Schizzo di una trasmissione in DBR.	86	
7.2. Rappresentazione grafica del modello studiato nella Sezione 7.4.	8	
7.3. Grafico della probabilità che nessuno dei nodi sia più distante di y metri da x_0 riceve correttamente un pacchetto inviato da x_0	89	
7.4. Consumo energetico previsto per unità di distanza per $\alpha = 1, 2$	92	
7.5. Consumo energetico previsto per unità di distanza per $\alpha = 1, 5$	93	
7.6. Tempo previsto per unità di distanza per $\alpha = 1, 5$	94	
7.7. Funzione di costo per l'esempio della sezione 7.5.	95	

7.8. Soluzione del problema di ottimizzazione (7.11)	95
7.9. Consumo energetico previsto per unità di distanza per la configurazione ottimale	96
7.10. Ritardo previsto per unità di distanza per la configurazione ottimale	96
8.1. Potenza di trasmissione richiesta per varie distanze	103
8.2. Costo energetico della rete in funzione del raggio di trasmissione	105
8.3. Rapporto di consegna dei pacchetti con diverse densità di nodi	105
8.4. Gamma di trasmissione ottimale per diverse densità di nodi con il minimo costo ergia	106
9.1. Cambiamento di tendenza nel calcolo del tempo di permanenza nello schema basato su RD	111
9.2. Variazione del tempo di tenuta di quattro nodi con profondità casuale per RD schema	112
9.3. Confronto del rapporto di consegna con velocità di mobilità del nodo = 1 m / s per DBR, PDBR e RD	114
9.4. Confronto del rapporto di consegna con velocità di mobilità del nodo = 3 m / s per DBR, PDBR e RD	114
9.5. Confronto del consumo energetico con velocità di mobilità del nodo = 1 m / s per DBR, PDBR e RD	115
9.6. Confronto del consumo di energia con velocità di mobilità del nodo = 3m / s per DBR, PDBR e RD	115
9.7. Confronto del ritardo end-to-end con la velocità di mobilità del nodo = 1 m / s per DBR, PDBR e RD	116
9.8. Confronto del ritardo end-to-end con la velocità di mobilità del nodo = 3 m / s per DBR, PDBR e RD	116
9.9. Confronto del rapporto di consegna con valore $\delta = R / 2$ per DBR, PDBR e RD	118
9.10. Confronto del rapporto di consegna con valore $\delta = R$ per DBR, PDBR e RD	118

ix

Pagina 10

Lista delle figure

9.11. Confronto del consumo di energia con valore $\delta = R / 2$ per DBR, PDBR e RD	119
9.12. Confronto del consumo di energia con valore $\delta = R$ per DBR, PDBR e RD	119
10.1. Variazione della durata del tempo di permanenza dovuta a modifiche del fattore delta per AHT	124
10.2. Rapporto di consegna dei pacchetti di rete per vari numeri di nodi distribuiti per DBR e AHT	125
10.3. Consumo energetico totale della rete per vari numeri di nodi distribuiti per DBR e AHT	126
10.4. Ritardo end-to-end della rete per vari numeri di nodi distribuiti per DBR e AHT	127

X

Elenco delle tabelle

[3.1. Confronto dei protocolli di instradamento in base alle loro caratteristiche](#) 25

[4.1. Parametri di simulazione.](#) 42

[5.1. Elenco delle notazioni utilizzate nel modello](#) 52

[6.1. Parametri di simulazione.](#) 81

[8.1. Parametri di simulazione.](#) 104

[9.1. Parametri di simulazione.](#) 113

[9.2. Tempo di scadenza previsto dell'energia del primo nodo in unità di tempo per DBR, PDBR e RD.](#) 114

[9.3. Tempo di scadenza dell'energia del primo nodo in unità di tempo con valore diverso di \$\delta\$ per DBR, PDBR e RD.](#) 117

Parte I.

Preliminari

xii

Pagina 14

1

introduzione

Pagina 15**1. Introduzione**

L'importanza degli oceani deriva principalmente dalla loro vasta area di copertura della superficie terrestre e le risorse sottomarine inesplorate. Con la rapida crescita della popolazione della Terra e le risorse terrestri in rapida diminuzione, al centro della ricerca umana sta aumentando verso l'ambiente marino. A parte le primarie Anche le risorse sottomarine, i trasporti e l'importanza militare degli oceani hanno attratto l'attenzione delle superpotenze mondiali negli ultimi decenni. Anche se per molto tempo i mari sono serviti soprattutto come mezzo per affari e trasporti, anche questi hanno definito le politiche militari a lungo termine nel secolo scorso. L'importante aspetti hanno portato a un importante sviluppo nella ricerca subacquea. Disegni di grande scala reti sottomarine, sistemi di comunicazione acustica subacquea, comunicazione in fibra, e reti di sensori sottomarini (UWSN) sono alcuni dei principali campi che sono stati riconosciuti per il loro ruolo in questo campo di ricerca.

La progettazione del sistema di comunicazione subacquea è considerata una delle più impegnative settori della ricerca marina. Infatti, nella progettazione di una comunicazione subacquea wireless sistema cationico, è necessario considerare fattori specifici come la diffusione Doppler e la dispersione del segnale in modo che l'hardware costoso con requisiti rigorosi venga richiesto da reti su larga scala. Al fine di progettare una tecnica di comunicazione efficace, è stato necessario ideare nuovi protocolli e dispositivi elettronici poiché ora è sempre possibile a questo portare la forte esperienza maturata nel campo della progettazione di reti terrestri di quelli subacquei. In effetti, la tecnologia di comunicazione convenzionale in radiofrequenza (RF) niques si comportano in modo inefficiente negli scenari subacquei a causa della loro rapida attenuazione e assorbimento del segnale. La presenza di zone d'ombra e l'effetto multipath causa anche il deterioramento del segnale al variare della velocità del segnale acustico con la profondità e salinità dell'acqua. Queste cause comportano anche perdite temporanee di connettività tra i nodi sottomarini. Per affrontare questi problemi, alcuni dei romanzi di comunicazione schemi utilizzano anche ritrasmissioni di pacchetti mirate a migliorare il throughput di rete a il costo di un elevato consumo energetico di rete.

L'implementazione di sensori per rilevare gli attributi fisici dell'acqua definisce il ideologia principale di UWSN. Sebbene diversi modi di comunicazione, ad es. Fibra ottica, acustiche e radiofrequenze (RF), sono utilizzate per il monitoraggio della subacquea ambiente, la comunicazione acustica è considerata come un mezzo più fattibile ed economico uno. Le applicazioni degli UWSN mostrano il potenziale per migliorare la qualità della vita di generazioni future in quanto queste possono sostenere la vita umana nel fornire cibo e naturale risorse. Inoltre, il monitoraggio continuo degli oceani è fondamentale per la comprensione I cambiamenti climatici della Terra. Applicazioni marine su larga scala come la gestione dei fondali marini, il monitoraggio dell'inquinamento sottomarino e il rilevamento delle mine marine richiedono una rete a basso costo comunicazione sensibile ai ritardi e reti con capacità di riconfigurazione.

Le sfide aperte affrontate dalla ricerca negli UWSN includono la riduzione dei costi per lo sviluppo hardware, gestendo le frequenti perdite di trasmissione, contenendo l'errore-condizioni subacquee inclini e gestione della mobilità continua dei nodi causata dall'oceano

correnti. Inoltre, è necessario implementare veicoli e design subacquei di schemi di localizzazione subacquea per assistere le applicazioni marine. La loro inclusione in anche gli UWSN affrontano le sfide, compreso il grande consumo di energia e la limitata capacità di larghezza di banda. Pertanto, l'implementazione del sensore a bassa potenza nodi e schemi di comunicazione semplici ma efficienti sono preferiti rispetto a reti complesse infrastrutture negli UWSN a causa della loro non fattibilità in ambiente acquoso.

2

Pagina 16

In questo contesto, la progettazione del protocollo di routing che sono su misura per gestire tale specifica le condizioni assumono un'importanza primaria. I ricercatori industriali e accademici hanno dedicato grandi sforzi in questa direzione e hanno proposto diverse soluzioni.

Negli UWSN, i protocolli di routing assicurano una trasmissione efficiente dei dati tra i server distribuiti nodi sensori, veicoli sottomarini, lavandini mobili e lavandini in superficie. Inoltre, il i dati raccolti dai pozzi in superficie vengono solitamente trasferiti alla stazione base a terra tramite comunicazione RF o satellitare. Esistono più classificazioni di routing protocolli sulla base di varie ideologie di routing. Alcuni di loro includono (i) Mittente-basato (ii) basato sul ricevitore (iii) opportunistico (iv) basato sulla profondità (v) basato sulla localizzazione e (vi) Protocolli di instradamento senza localizzazione. Queste classificazioni sono utili nella selezione dei protocolli di routing considerando i target delle applicazioni subacquee desiderate.

Le caratteristiche salienti delle classificazioni degli schemi di routing non solo glorificano la loro importanza, ma anche sottolineare le carenze. Ad esempio, schemi di routing opportunistici migliorare il throughput della rete ma aumentare il consumo di energia della rete man mano che essi aumentare il numero possibile di nodi di inoltro verso il sink. Questa capacità fa più adatti per le applicazioni sensibili ai dati, ad esempio il monitoraggio dell'inquinamento sottomarino suonare. Nella letteratura precedente sono presenti diversi lavori relativi alla progettazione del simulatore per gli UWSN in quanto utili per la valutazione delle prestazioni del percorso di nuova concezione protocolli. Un'indagine dettagliata sul routing basato sulla profondità e altri percorsi opportunistici protocolli possono essere trovati in [2]. Uno dei protocolli di instradamento più utilizzati per UWSNs è il Depth-based routing (DBR) la cui semplicità di implementazione si unisce a la sua efficacia sono le ragioni principali della sua popolarità. L'idea di DBR si basa su un semplice considerazione: mentre nelle reti sottomarine dobbiamo considerare una distribuzione dei nodi e quindi la localizzazione del nodo sembra essere più impegnativa di quanto accade per le reti terrestri, osserviamo che è possibile recuperare facilmente il file posizione in una delle tre dimensioni, cioè quella verticale. Questo può essere fatto grazie a sensori di pressione economici installati nelle particelle di rete. In generale, l'obiettivo di protocolli di instradamento nelle reti sottomarine è quello di portare in profondità i dati raccolti alla superficie dell'oceano, dove alcune boe le raccoglieranno e le ritrasmetteranno alla base stazione tramite comunicazioni RF. DBR sfrutta ampiamente le informazioni di profondità a disposizione dei nodi per progettare un percorso verso la superficie. Trasmissioni ridondanti sono ottenuti grazie ad un algoritmo di allagamento controllato.

DBR è classificato come protocollo di instradamento basato sul ricevitore e implementa il protocollo allagamento grazie all'idea del tempo di tenuta e della soglia di profondità. In altre parole, questi i meccanismi hanno lo scopo di controllare il numero di ritrasmissioni dello stesso pacchetto dai vicini del mittente. Il tempo di attesa è un periodo di inattività in cui viene mantenuto qualsiasi nodo il pacchetto ricevuto nella coda di invio prima della sua ritrasmissione. Questo è usato per decidere il data forwarder di un nodo e dipende dalla differenza di profondità tra il mittente e ricevitore. Se durante il tempo di attesa un nodo ascolta la ritrasmissione del pacchetto che viene tenuto in coda, quindi viene scartato in base al presupposto che esso è già stato inoltrato da un nodo con profondità inferiore. La soglia di profondità è il differenza di profondità minima per l'idoneità del nodo di inoltro dei pacchetti e viene utilizzata migliorare l'efficienza energetica del protocollo. Infine, i nodi mantengono una cronologia dei pacchetti su evitare la ritrasmissione di vecchi pacchetti.

Sebbene ci siano molti simulatori progettati per reti sottomarine, ci sono anche la necessità di studiare le prestazioni dei ben noti protocolli di instradamento prendendo in considerazione

contare le loro peculiarità. In questa tesi, proponiamo due nuove varianti di DBR, e anche ha esteso la sua implementazione in AquaSim-NG [3] al fine di includerne una più accurata

1. Introduzione

modello di consumo energetico dei nodi. Teniamo conto delle modalità operative di i modem acustici installati sui nodi dei sensori subacquei. Infine, noi ha enfatizzato le interazioni tra i livelli tra il livello fisico e quello di instradamento. Questo ci ha permesso di effettuare un confronto tra diversi protocolli disponibili in termini di media consumo energetico, connettività e durata. Infine, quando possibile, modalità analitica els sono stati sviluppati per calcolare i parametri ottimali per il protocollo dato il la densità della rete e le caratteristiche delle comunicazioni acustiche.

1.1. Dichiarazione di tesi

1.1.1. Problema di ricerca

Nell'ultimo decennio, gli UWSN sono stati ampiamente studiati a causa dei loro aspetti peculiari che li distinguono dalle comuni reti terrestri wireless. In effetti, la maggior parte degli UWSN utilizzare comunicazioni acustiche anziché RF e i nodi sono soggetti a elevata mobilità causato da correnti d'acqua. Di conseguenza, gli algoritmi di routing specializzati sono stati sviluppato per affrontare questo difficile scenario. DBR è uno dei primi protocolli che sono stati sviluppati a questo scopo, ed è ancora ampiamente adottato nelle attuali implementazioni degli UWSN.

A causa dell'elevato costo della distribuzione della rete e della scarsa disponibilità dell'esperimento tal risorse, è necessario valutare le prestazioni degli schemi di routing classici nonché progettare nuovi schemi di instradamento efficienti dal punto di vista energetico per gli UWSN basati su considerazioni su simulazioni accurate o modelli analitici. Inoltre, c'è un difficile sfida per ottenere una migliore durata della rete insieme a una riduzione end-to-end ritardo per applicazioni di monitoraggio subacqueo a lungo termine.

1.1.2. Idea chiave

Diversi protocolli di instradamento sono disponibili nella letteratura sugli UWSN e tutti includono un insieme di parametri di configurazione che dipendono dalle caratteristiche delle distribuzioni, come, le condizioni dell'acqua che determinano la probabilità di perdita delle trasmissioni, il densità dei nodi e le correnti oceaniche presenti nell'area di dispiegamento che caratterizzano i modelli di mobilità dei granuli. Chiaramente, sta valutando la configurazione ottimale, simulazioni svolgono un ruolo cruciale sebbene richiedano tempo e costi di calcolo correre. A questo scopo, in questa tesi, sviluppiamo un nuovo simulatore per UWSN al fine di valutare le prestazioni dei protocolli di instradamento basati sulla profondità e dei relativi miglioramenti. Con rispetto allo stato dell'arte, il nostro simulatore è più preciso nella gestione del cross-layer comunicazioni richieste da DBR e nella stima del consumo energetico dei nodi. Quest'ultimo fattore è importante per valutare sia la durata di vita di un singolo nodo che di Rete. In effetti, protocolli ingiusti nel distribuire il carico di lavoro tra i granuli causa una breve durata della rete che si disconnette presto. Sfortunatamente, DBR tende a soffrire di questo problema, poiché i nodi più vicini alla superficie tendono ad essere maggiori sottolineato rispetto ad altri.

Sulla base del nostro simulatore, abbiamo valutato le prestazioni di DBR e due varianti di quello proponiamo di prolungare la vita della rete. Inoltre, concepiamo tre modelli analitici finalizzato a stimare alcuni parametri cardine della configurazione di DBR data la rete proprietà. I risultati che abbiamo proposto sono stati convalidati in modo incrociato con le simulazioni

1.1. Dichiarazione di tesi

e consente ai professionisti di configurare parzialmente la rete senza essere costoso set di simulazione con l'obiettivo di ottimizzare le prestazioni della rete.

1.1.3. Obiettivi

Come accennato nella sezione precedente, nonostante il gran numero di protocolli di routing che sono stati sviluppati per UWSN, ci sono pochissimi risultati analitici che studiano i loro configurazioni ottimali dati i parametri del sistema (densità dei nodi, frequenza di trasmissione, ecc.).

In questa tesi ci proponiamo di lavorare nel campo dell'analisi e simulazione dei protocolli di routing per gli UWSN. Nella fase iniziale abbiamo contribuito allo sviluppo del campo di implementando un nuovo strumento di simulazione per reti sottomarine. Nelle fasi successive, noi si è concentrato sulla valutazione delle prestazioni dei protocolli di instradamento delle UWSN elaborando alcuni nuovi modelli stocastici che consentono una migliore comprensione delle dinamiche di protocolli di instradamento subacqueo, specificatamente per quanto riguarda le loro prestazioni. Durante nella nostra ricerca, intendiamo anche identificare le configurazioni ottimali delle metriche di routing per il routing basato sulla profondità progettando il modello probabilistico.

1.1.4. Contributo

[1] Progettazione e implementazione di un nuovo simulatore per (UWSN)

In questo lavoro, abbiamo studiato lo stato dell'arte degli strumenti di simulazione per gli UWSN con particolare attenzione a quelli basati sul Network Simulator (NS), ovvero il strumento più utilizzato nella comunità di networking. Abbiamo sviluppato un nuovo strumento, basato su Network Simulator (NS), che estende il precedente Aquasim-NG per comprendere un modello dettagliato del consumo energetico dei sensori subacquei. Specificamente, la gestione delle fasi di lavoro del modem e un'accurata implementazione dei modelli di interferenza rende questo strumento uno strumento prezioso per le prestazioni valutazione degli UWSN. Inoltre, proponiamo un nuovo protocollo di routing Energia residua-protocollo basato su profondità (RD) che migliora la durata della rete rispetto allo stato di protocolli all'avanguardia. Lo strumento ha svolto un ruolo centrale nella nostra attività di ricerca e viene utilizzato validare i modelli stocastici che proponiamo nelle nostre pubblicazioni. Questo lavoro di ricerca ha incluso il Dr. Robert Martin dell'Università del Connecticut, USA.

[2,3] Analisi delle prestazioni nel routing basato sulla profondità per UWSN

Nonostante la sua semplice formulazione, il corretto funzionamento del DBR dipende da un insieme di parametri di configurazione i cui valori non sono facilmente stimabili utilizzando simulazione stocastica. Sebbene DBR sia ampiamente adottato per le implementazioni UWSN effettive, in letteratura ci sono pochissimi modelli per la sua analisi, e quindi trovare il parametro di rameter è un compito difficile. In questo lavoro, abbiamo lavorato per coprire parzialmente questa lacuna proponendo una serie di modelli analitici che consentano il calcolo efficiente delle prestazioni indici di mance delle reti che utilizzano DBR. In particolare, il modello proposto mira a determinare la potenza di trasmissione ottimale per le reti DBR studiando il trade-off tra l'energia consumata per un certo raggio di trasmissione e il numero di ritrasmissioni necessarie per raggiungere il lavandino. Questo lavoro di ricerca ha incluso il prof. Dieter Fiems dall'Università di Ghent, Belgio. In [3], lo stesso problema viene risolto utilizzando simulazioni stocastiche.

[4] Protocollo di instradamento basato su tempo di attesa adattivo e profondità (AHT) per UWSN

1. Introduzione

In questo lavoro, proponiamo uno schema di routing per parametrizzare la configurazione del protocollo che dipende dalle condizioni locali di ogni nodo, in particolare dal numero di per-
ha ricevuto i vicini. Le simulazioni mostrano che la soluzione aiuta a controllare l'energia
consumo della rete riducendo il ritardo end-to-end dei pacchetti.

[5] Sull'ottimizzazione dei protocolli di instradamento opportunistici per gli UWSN

Il modello introdotto in questo lavoro dimostra che l'ottimalità dei protocolli opportunistici può essere raggiunto introducendo una soglia sui forwarder idonei di un pacchetto. Il
il lavoro fornisce un metodo computazionale per derivare questa soglia e studia il trade-off
tra il rapporto di consegna dei pacchetti e il numero previsto di forwarder per ciascuna trasmissione. Riteniamo che l'implementazione di UWSN utilizzando DBR possa trarre grandi vantaggi da
questo risultato poiché la soglia di profondità è un parametro-chiave che caratterizza il protocollo
definizione. Questo lavoro nasce dalla collaborazione con il Prof. Majid Ghaderi del
Università di Calgary.

[6,7] Modellazione stocastica del routing basato sulla profondità nelle UWSN

Infine, i lavori proposti in [6] e [7] sono i risultati della mobilità della ricerca
a Gand. Questi lavori propongono i modelli probabilistici in cui la mobilità dei nodi gioca il ruolo di
ruolo centrale. I modelli consentono l'analisi dell'impatto della mobilità su alcuni rilevanti
indici di prestazione compreso il rapporto di consegna del pacchetto e il consumo di energia.
Entrambi i modelli di [5] e [6] sono stati validati con simulazioni eseguite in NS3
basato AquaSim-NG. Il lavoro di ricerca ha incluso il prof. Dieter Fiems e Kishor Patil
dall'Università di Ghent, Belgio.

1.1.5. Pubblicazioni

1. Mohsin Raza Jafri, Simonetta Balsamo, Andrea Marin e Robert Martin, "Implementazione del routing basato sulla profondità e il suo miglioramento in Aqua-Sim Next Generazione per Underwater Wireless Sensor Networks ", pubblicato su International Journal of Communication Systems, 2018, edizione n. e3714, Wiley Online Library ..
2. Simonetta Balsamo, Dieter Fiems, Mohsin Raza Jafri e A. Marin "Analisi di prestazioni nel routing basato sulla profondità per reti di sensori wireless subacquei " accettato negli Atti del 7 ° Workshop sulle Nuove Frontiere in Quantitativo metodi in Informatica, InfQ'2017, 5-7 dicembre, Venezia, Italia. Springer, pagg. 18-31.
3. Mohsin Raza Jafri, S.Balsamo e A. Marin "Identificare la trasmissione ottimale range in Depth-Based Routing For UWSN, "accettato negli In Proceedings del 31st European Simulation and Modeling Conference - ESM'2017, October 25-27, IST, Lisbona, Portogallo. EUROSIS, pagg. 288-292.
4. Mohsin Raza Jafri, "Adaptive Holding time and Depth-Based Routing for Underwater Wireless Sensor Networks ", accettato negli Atti dell'undicesimo EAI In-conferenza internazionale sulle metodologie e gli strumenti di valutazione delle prestazioni, VAL-UETOOLS'2017, 5-7 dicembre, Venezia, Italia. ACM.
5. Mohsin Raza Jafri, Andrea Marin, Andrea Torsello, Majid Ghaderi "On the Optimalità dei protocolli di instradamento opportunistici per reti di sensori subacquei ", accitato negli atti della 21a ACM International Conference on Modeling, Analysis e Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), 2018.

eling of Depth Based Routing in Underwater Sensor Networks ", **presentato** in Ad-Rivista Hoc Networks, Elsevier, 2018.

7. Kishor Patil, Mohsin Raza Jafri, Dieter Fiems e Andrea Marin, "Performance Evaluation of Depth Based Routing in UnderwaterSensor Networks ", accettato in gli atti di StochMod 2018 13-15 giugno, Lancaster University, UK. (Fast Abstracto)

2

Reti di sensori subacquei: base Concetti

8

Pagina 22

2.1. Introduzione alle reti di sensori wireless subacquee

Il 1 ° giugno 2015, la Cina ha dovuto affrontare il disastro marittimo più mortale della sua storia [4] quando la nave viaggiava con 454 persone a bordo nel fiume Yangtze. Un enorme temporale ha capovolto la nave e ha causato la sua completa distruzione. Morirono circa 442 persone e solo 12 era stato salvato. Dopo aver affrontato raffiche oltre i 118 km / h, la nave è affondata approssimativamente Acque profonde 15 metri. Ci sono volute circa 12 ore per fornire supporto di salvataggio a grandezza naturale a spedire e anche 30 giorni per identificare il numero esatto di persone soccorse. Uno dei principali le ragioni del disastro sembravano essere il ritardo nella notifica del temporale allo staff tecnico della nave. Questo tipo di incidenti ci ricorda ripetutamente il importanza della ricerca acquatica compresa la progettazione e l'analisi dell'acustica subacquea sistemi di comunicazione.

2.1. Introduzione al sensore wireless subacqueo

Reti

Il progresso della comunicazione subacquea è necessario per la ricerca scientifica comunità poiché gli oceani coprono il 70% della superficie terrestre [5]. Presenza di oceani, mari, fiumi e laghi guidano gli aspetti principali della nostra vita quotidiana poiché fornisce un ef- mezzo efficace per il commercio e il trasporto. Secondo [6], circa il 95 per cento dei il volume degli oceani è inesplorato, lasciando così enormi margini di miglioramento nella ricerca. Negli ultimi cento anni, la maggior parte della ricerca ha riguardato la comunicazione subacquea è stato fatto principalmente per scopi militari durante le guerre mondiali. Ci sono tre principali modi di comunicazione nelle reti sottomarine, che includono acustica, radiofrequenza (RF) e comunicazione ottica. A causa delle sue caratteristiche intrinseche, i ricercatori pre- segnale acustico per la comunicazione subacquea come elettromagnetico ad alta frequenza le onde affrontano sfide estreme causate dall'ambiente acquoso. La fibra ottica è anche considerato come un possibile mezzo di comunicazione, ma ha i suoi vincoli che includono alta dispersione e grandi costi di implementazione dovuti all'ampia area di copertura smantellamento di reti sottomarine. Principali scoperte sviluppate nella ricerca subacquea sono state fatte dopo la proposta dell'equazione sonar passiva [7] che modella il canale perdita nella comunicazione subacquea.

Negli ultimi decenni sono emerse reti di sensori wirele: subacquee (UWSN) come argomento importante per la ricerca acquatica [8], grazie alle loro numerose applicazioni in la gestione e sorveglianza dell'ambiente sottomarino. Esempi significativi di queste applicazioni includono la gestione dei giacimenti petroliferi, il rilevamento delle mine marine, la prevenzione di catastrofi acquose, ecc. Gli UWSN di solito consistono in stazioni base a terra, diversi pozzi che galleggiano sulla superficie dell'acqua e un numero generalmente maggiore di nodi attrezzati con sensori che rimangono sott'acqua a vari livelli di profondità. I nodi percepiscono il fisico attributi dell'ambiente acquoso mentre i lavelli in superficie raccolgono i dati dal file nodi e trasmetterlo alla stazione base onshore per ulteriori elaborazioni. Sott'acqua i veicoli assistono i nodi nell'esecuzione delle loro operazioni. L'uso di operato a distanza veicoli (ROV) o veicoli subacquei autonomi (AUV) dipende dai requisiti di applicazioni.

La comunicazione acustica [10] è ampiamente adottata in ambienti sottomarini a causa di le loro due proprietà principali. Innanzitutto, deve affrontare una bassa interferenza del segnale a causa della sua lunghezza longitudinale natura. In secondo luogo, può viaggiare a una grande distanza a causa della sua frequenza molto bassa mentre il segnale ad alta frequenza viene assorbito rapidamente nell'acqua. Ampia copertura di trasmissione di migliaia di contatori consentono una distribuzione efficiente degli UWSN. La Figura 2.1 mostra il file

2. Reti di sensori subacquei: concetti di base

Data Center onshore

Collegamento acustico

Trasmettitore sonar

Nodo sensore

Collegamento radio

Livello

Figura 2.1.: Rilevamento sottomarino utilizzando UWSN

applicazione di UWSN in cui i nodi vengono utilizzati per rilevare la presenza di un sottomarino in l'acqua.

Nella progettazione degli UWSN, dobbiamo tenere conto di alcuni aspetti che sono cruciali per il loro corretto funzionamento:

Contenere il consumo di energia: i nodi UWSN sono alimentati da una batteria il cui la sostituzione è particolarmente impegnativa. Pertanto, uno degli aspetti principali che noi Bisogna considerare quando si valuta la performance di un protocollo è la sua energia attesa consumo e se ha la capacità di bilanciare il consumo di energia tra i nodi.

Reagire ai movimenti dei nodi: il movimento delle onde rende il mantenimento di percorsi permanenti in l'ambiente sottomarino estremamente difficile. Pertanto, protocolli come adhoc vettore di distanza su richiesta (AODV) [11] che cerca un percorso e poi lo mantiene molto tempo non sono applicabili in generale.

Limitazioni sulla larghezza di banda disponibile: la comunicazione subacquea pone alcuni gravi limitazioni sulla larghezza di banda disponibile che è molto inferiore a quella disponibile per reti terrestri elettromagnetiche basate su RF.

Grande ritardo di trasmissione: la velocità di propagazione del segnale acustico in acque acquose l'ambiente varia da 1450 a 1500 m / s, il che causa un aumento del ritardo di trasmissione. Pone serie sfide per le applicazioni sensibili ai ritardi, ad esempio il monitoraggio sismico e rilevamento delle inondazioni, ecc.

Tra le principali peculiarità degli UWSN, la nostra enfasi è sul consumo di energia di i modem acustici che è molto più alto di quello consumato nel wireless terrestre comunicazione. Inoltre, i nodi sono suscettibili a frequenti movimenti imprevedibili a causa del moto ondoso. Di conseguenza, la progettazione di algoritmi per gli UWSN può significare differiscono notevolmente da quelli proposti nelle reti di sensori wireless terrestri (WSN) e gli strumenti di simulazione devono tenere conto dei fattori che possono essere negli scenari terrestri trascurato (ad esempio, il ritardo di propagazione dei pacchetti).

Nella ricerca precedente, diversi sforzi come miglioramenti nella progettazione del sonar attrezzature, strategie di localizzazione subacquea, schemi di distribuzione dei nodi, subacquea è stato dimostrato che le architetture di comunicazione e l'utilizzo di veicoli subacquei affrontare le sfide della comunicazione subacquea. Un design avanzato del nodo può aumentare il raggio di rilevamento e fornisce elevate capacità di elaborazione dei dati, ma richiede

10

2.1. Introduzione alle reti di sensori wireless subacquee

circuiti complessi e un elevato consumo energetico che riduce la durata del sensore nodo sor. Per mitigare questo problema, alcuni degli UWSN prendono in considerazione la raccolta di energia tecniche e dipendono dalla risorsa marina naturale, *ovvero* i movimenti delle onde e attività metaboliche dei batteri, ecc.

La localizzazione della rete è una delle principali sfide nella comunicazione subacquea, che viene affrontato attraverso varie tecniche, ad esempio schemi di localizzazione offline, satellite comunicazione e sistema di posizionamento globale (GPS). Nella rete subacquea su larga scala anche i lavori, la comunicazione satellitare e il GPS sono considerati una valida soluzione per identificare la posizione dei nodi distribuiti. Tuttavia, queste tecniche sono molto costose da implementare sia in termini di costo hardware che di consumo energetico.

Infatti, le apparecchiature di trasmissione necessarie per la comunicazione satellitare e la posi- è costoso e il suo consumo di energia è proibitivo in un ambiente in cui la sostituzione della batteria è quasi impossibile. In una certa misura, tecniche di localizzazione offline, basato sul passaggio di messaggi può sembrare un approccio praticabile. Tuttavia, anche in questo caso, l'en- consumo di energia dovuto all'overhead indotto dallo scambio dei messaggi richiesti dai protocolli diventa una limitazione importante. In conclusione, possiamo dire che di più i protocolli di instradamento efficaci e utilizzati per gli UWSN sono privi di localizzazione, *ovvero* non ne sono a conoscenza la posizione dei nodi in un determinato momento.

Recentemente, il design del veicolo subacqueo è stato introdotto come uno dei più importanti molti settori della ricerca acquatica, per il suo potenziale estremamente utile per le applicazioni. Diversi tipi di veicoli subacquei includono nodi di corriere, veicoli azionati a distanza, veicoli subacquei autonomi e robot subacquei, ecc. Alcuni di loro possono controllare il loro movimento verticale unidimensionale mentre altri hanno la capacità di controllare il loro Movimento tridimensionale. I nodi Courier vengono spesso utilizzati per raccogliere dati dai nodi in varie profondità e possono controllare solo il loro movimento verticale. I ROV sono utili per le applicazioni di monitoraggio delle catastrofi in quanto i loro modelli di mobilità possono essere modificati in base alle condizioni ambientali. Per il monitoraggio a lungo termine, gli AUV sono preferiti come possono controllare il loro movimento 3D senza l'input permanente dalla base a terra stazione.

2.1.1. Il ruolo della comunicazione acustica

A causa della natura longitudinale delle onde sonore, il mezzo acquatico aiuta l'acustica segnale nel coprire la distanza di chilometri, che è abbastanza utile per la navigazione a lungo raggio comunicazione. Al contrario, i segnali RF subiscono un'elevata attenuazione e la diffusione doppler in ambiente sottomarino per la loro natura trasversale.

Il fenomeno del movimento delle particelle del segnale acustico è spiegato dall'equazione delle onde [12] . Può essere modellato dall'espressione matematica calcolando il file spostamento delle particelle sonore nel mezzo liquido. Sebbene il suddetto le caratteristiche del segnale acustico sono utili per le trasmissioni a lungo raggio, tuttavia, problemi di frequenza e larghezza di banda inferiori limitano un'elevata velocità di trasmissione dei dati. Di conseguenza, la velocità di trasmissione del segnale acustico è limitata a pochi kilobyte al secondo [13] , che è piuttosto basso rispetto alla comunicazione RF. Anche la qualità del segnale è peggiorata a causa di altri fattori dell'ambiente sottomarino come temperatura, turbolenza, salinità, e il rumore della spedizione ecc.

La comunicazione RF non viene utilizzata nelle reti sottomarine poiché il segnale ad alta frequenza è rivolto forte dissolvenza, rumore non gaussiano, diffusione doppler e forte attenuazione. Il saliente le caratteristiche della comunicazione acustica lo rendono in grado di gestire quanto sopra

11

2. Reti di sensori subacquei: concetti di base

problemi in modo efficiente, sebbene debba ancora affrontare le sfide dell'elevato consumo energetico, larghezza di banda ridotta e ampio ritardo end-to-end. Inoltre, le reti sottomarine sono diverse per molti aspetti dalle reti terrestri. Ad esempio, il consumo di energia è maggiore a causa della maggiore distanza percorsa dai segnali acustici e della complessa elaborazione del segnale. Poiché la velocità di comunicazione è uguale alla velocità del suono (cioè 1500 m / s) [14] , il anche il ritardo di propagazione è molto più alto di quello delle reti terrestri.

Il consumo di potenza di trasmissione di un segnale acustico negli UWSN viene calcolato da l'equazione del sonar passivo presentata in [15] . Calcola il rapporto segnale-rumore (SNR) al ricevitore in base ad alcuni parametri tra cui la potenza di trasmissione e il la perdita di assorbimento gioca i ruoli principali. L'SNR viene calcolato come segue [16] :

$$SNR = SL - TL - NL + DI \quad (2.1)$$

dove SL è il livello di potenza della sorgente, TL è la perdita di trasmissione, NL è il rumore totale perdita e DI è l'indice di direttività. In questa equazione, tutte le quantità vengono misurate dbreμPa dove il valore di riferimento di 1μPa è uguale a $0,67 \times 10^{-18} \text{ Watt / m}^2$ [16] . Noi usiamo la notazione dB per indicare dbreμPa.

La perdita di assorbimento del segnale acustico viene calcolata secondo quanto noto Formula di Thorp [15] :

$$10 \log_{10} \alpha(f) = \begin{cases} 0,1 f^2 / (1 + f^2) + 44 f^2 / (4100 + f) + 2,75 * 10^{-4} f^2 + 0,003, & \text{se } f \geq 0,4 \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$\left(0,002 + 0,11 \left(f / (1 + f) \right) + 0,011 f, \quad \text{se } f < 0,4 \right) \quad (2.2)$$

dove f è la frequenza misurata in kHz e $\alpha(f)$ è misurata in dB / km.

La perdita di trasmissione TL viene calcolata combinando la perdita di assorbimento totale $\alpha(f)$ e la perdita di diffusione:

$$TL = 10 \log A(l, f) = k * 10 \log(l) + l * 10 \log(\alpha(f)), \quad (2.3)$$

dove l è la distanza euclidea tra il mittente e il destinatario e k è la diffusione coefficiente.

Il modello di rumore è costituito da quattro componenti principali: il fattore del vento ($N_w(f)$), la nave fattore ping ($N_s(f)$), fattore termico (fattore $N_{th}(f)$) e fattore turbolenza ($N_t(f)$) che sono definiti come segue:

$$10 \log(N_t(f)) = 17 - 30 \log(f),$$

$$10 \log(N_s(f)) = 40 + 20(s - 0,5) + 26 \log(f) - 60 \log(f + 0,03),$$

$$10 \log(N_w(f)) = 50 + 7,5w^{1/2} + 20 \log(f) - 40 \log(f + 0,4),$$

$$10 \log(N_{th}(f)) = -15 + 20 \log(f),$$

dove s è la costante di spedizione e il suo valore varia da 0 a 1. w è la costante del vento avente un valore positivo che mostra la velocità del vento. Una discussione sulla pratica i valori assunti da queste costanti possono essere trovati in [15]. Infine, per calcolare il totale perdita di rumore NL combiniamo questi componenti:

$$NL = N_t(f) + N_s(f) + N_w(f) + N_{th}(f). \quad (2.4)$$

Si noti che la frequenza di trasmissione (f) influisce in modo dominante sul livello di rumore in quanto maggiore la frequenza tende ad aumentare la perdita di rumore del segnale.

12

2.2. Progettazione del protocollo di routing per UWSN

Come accennato in precedenza, i protocolli di routing mirano principalmente a fornire un elevato nettività, basso consumo energetico e basso ritardo dei pacchetti capitalizzando l'intrinseco caratteristiche della comunicazione acustica. Dal punto di vista funzionale, routing i protocolli trasmettono i dati rilevati raccolti dai nodi sottomarini ai nodi sink in superficie, che alla fine li trasmettono alla stazione base per ulteriori elaborazioni.

I nodi sottomarini sono generalmente dotati di batterie difficili da sostituire o ricarica e per questo il risparmio energetico è un fattore chiave nella progettazione del routing algoritmi e una semplice strategia di allagamento si rivelano altamente inefficienti. Nella letteratura, sono state proposte diverse strategie per introdurre nuovi protocolli di routing o per ottimizzare i protocolli proposti in precedenza, comprese specifiche strategie di distribuzione dei nodi, schemi di calization e selezione della gamma di trasmissione. La dinamica del moto ondoso, i vincoli energetici dei nodi dispiegati e l'elevata probabilità di errore di trasmissione lo sono anche le principali sfide nella progettazione di protocolli di instradamento efficienti nelle UWSN.

2.2.1. Problemi di localizzazione e affidabilità

Ci sono molte sfide nella progettazione dei protocolli di routing a livello di rete che sono considerati cruciali per ottenere un'elevata qualità del servizio nelle applicazioni subacquee per cui è richiesta molta attenzione. Tra queste sfide, la mobilità 3D dei nodi indotto dal movimento ondoso è molto critico. Il risultato di questo movimento è il cambiamento continuo nelle informazioni sulla posizione dei dispositivi dispiegati nell'ambiente subacqueo vironment, anche se legati tramite boe o vasi in superficie. Il continuo la mobilità dei nodi rende l'applicazione della trasmissione a percorso fisso tra la sorgente

e i nodi di destinazione non sono fattibili. In effetti, i percorsi di instradamento dei dati sono generalmente interrotti e dopo poco tempo è necessaria una nuova formazione del sentiero. Questo fenomeno spiega l'incapacità dell'uso di schemi di comunicazione terrestre in condizioni di ter ambienti. Gli schemi di localizzazione sono progettati per trovare e aggiornare continuamente informazioni sulla posizione dei nodi; tuttavia hanno un alto costo energetico dovuto alla ridondanza trasmissioni. Alcuni degli schemi di localizzazione progettati in precedenza impiegano la sincronizzazione cronologia e nodi di riferimento per risolvere questo problema poiché i nodi prevedono il cambiamento in le informazioni sulla loro posizione comunicando tra loro.

Erol et al. [17] propongono un sistema di posizionamento basato su beacon mobile per prevedere la posizione dei nodi, ma richiede un elevato consumo di energia per il controllo del movimento di fari. Mirza et al. [18] propone uno schema di localizzazione in cui ha il modello statistico è stato sviluppato per modellare il movimento dello sciame marino. Migliora il meccanismo di previsione per la posizione dei nodi, ma richiede un'implementazione del circuito complesso, che in turno consuma una grande quantità di energia.

Inoltre, le rotte dati fisse non sono applicabili a causa del multipath, della diffusione doppler, e rumore di turbolenza. Protocolli orientati alla connessione come il controllo della trasmissione protocollo (TCP), funzionano in modo inefficiente a causa di questo problema e sono considerati inadatti per le applicazioni subacquee. Xie et al. [19] propongono un trasporto affidabile dei dati del segmento protocollo in cui utilizzano codici tornado per correggere i pacchetti errati. Il i pacchetti vengono trasmessi sotto forma di blocchi e un meccanismo di controllo della finestra è stato introdotto per evitare la congestione dei dati.

13

2. Reti di sensori subacquei: concetti di base

2.2.2. Classificazione dei protocolli di instradamento sulla base della localizzazione

Negli UWSN, ci sono principalmente due ampie categorie di protocolli di instradamento, *ovvero* localizzazione-protocolli di instradamento basati e privi di localizzazione. Questa classificazione si basa sulla disponibilità capacità delle informazioni sulla posizione per i nodi di eseguire il routing dei dati. In pratica, queste informazioni sono difficili da ottenere e quindi aggiornare a causa della continua mobilità del nodi. Per risolvere questo problema per applicazioni subacquee specifiche, vengono distribuiti i nodi in posizioni fisse nell'acqua o vengono utilizzati schemi di localizzazione offline.

Protocolli di instradamento basati sulla localizzazione

Nei protocolli basati sulla localizzazione [20], i nodi eseguono il routing dei dati utilizzando la loro posizione informazione. Alotta et al. [21] usa le informazioni sulla posizione dei nodi per proporre la rete lavorando tra le reti sottomarine eterogenee. Queste reti eterogenee contenere le apparecchiature di più fornitori. Introducono uno stack di comunicazione a consentire la cooperazione tra i modem multi-vendor e i veicoli subacquei. Il i nodi distribuiti utilizzano la trasmissione a percorso fisso per instradare i dati verso il nodo sink. Il i nodi utilizzano il sistema di posizionamento globale per aggiornare le modifiche nella loro posizione. Zhou et al. [22] migliorare il rapporto di consegna dei pacchetti e l'affidabilità della rete utilizzando il multipath comunicazione (MPT) tra i nodi di origine e di destinazione. Un modello statistico è stato ideato per identificare i possibili percorsi tra la sorgente e la destinazione mentre il percorso ottimale viene selezionato sulla base del consumo energetico calcolato e il tasso di errore dei pacchetti lungo i percorsi. Il consumo di energia su possibili percorsi per lo stesso pacchetto è stato calcolato per la selezione di un percorso ottimale. Nel complesso, il lo schema proposto riduce al minimo il tasso di errore del pacchetto per la trasmissione.

Cario et al. [23] propone un'architettura dettagliata di UWSN per il monitoraggio dell'acqua qualità negli allevamenti ittici artificiali. Sono stati effettuati esperimenti per analizzare il formance dell'architettura proposta in termini di throughput complessivo della rete. Essi dispiegò staticamente i nodi appendendoli con le boe di superficie. Inoltre escogitano stack di comunicazione definito dal software per fornire più capacità di rete ai nodi distribuiti.

Protocolli di instradamento senza localizzazione

I protocolli senza localizzazione [2] presumono che i nodi conoscano solo le loro informazioni di profondità (e potenzialmente quello dei loro vicini) quando prendono decisioni di instradamento, e lo sono principalmente adottato per reti con elevata mobilità dei nodi, channel fading, ecc., grazie alle loro capacità possibilità di trovare nuove rotte per ogni trasmissione. Le informazioni approfondite del dispiegato i nodi vengono identificati attraverso i sensori basati sulla pressione installati a bordo.

Questi protocolli eseguono un allagamento controllato per ogni trasmissione: in questo modo allagamento viene eseguito distingue i vari protocolli proposti in letteratura. Come un di conseguenza, il consumo di energia per ogni trasmissione può essere molto elevato a causa del ridondanza nell'inoltro dei pacchetti. Tuttavia, rappresentano i protocolli senza localizzazione la scelta più realistica nell'implementazione dei protocolli di routing per le UWSN. Nel mostrano infatti robustezza ai movimenti dei nodi, la variabilità del fading nel ambiente sottomarino e l'effetto Doppler nelle comunicazioni acustiche. Sebbene, questi protocolli consumano un'elevata quantità di energia per la trasmissione, sembrano essere più realistici e mostrare la capacità di affrontare le peggiori condizioni dell'acqua ambiente.

14

2.2. Progettazione del protocollo di routing per UWSN

Il protocollo di routing basato sulla profondità (DBR) [24] è uno dei primi protocolli esistenti introdotto nella categoria del routing senza localizzazione. DBR presuppone che un nodo non lo faccia conosce la sua posizione ma è consapevole della sua profondità grazie alla presenza di sensori di pressione. L'obiettivo di DBR è quello di consegnare un pacchetto raccolto in qualsiasi parte della rete a i lavandini che galleggiano sulla superficie dell'acqua. A tal fine, il protocollo si basa su alcuni algoritmi tra cui uno ereditato dal progetto della rete veicolare, *ovvero* l'idea di trattenere il tempo. Fondamentalmente, ogni nodo che riceve un pacchetto da inoltrare, attende un tempo inversamente proporzionale alla differenza di profondità dal nodo sorgente. Se una node ascolta una trasmissione di un pacchetto che viene trattenuto in coda, quindi si astiene da ritrasmetterlo. Questo meccanismo consente al protocollo di ridurre le collisioni, di controllare l'allagamento e massimizzare la distanza percorsa fino alla superficie in un solo balzo.

Un altro protocollo, Resilient pressure routing (RPR) [25], utilizza informazioni sulla profondità, riconoscimenti espliciti e meccanismi crittografici per fornire dati protetti comunicazione. Il nodo mittente utilizza la fase di rilevamento per identificare la presenza del file ricevitore nel suo raggio di trasmissione. La fase di scoperta è piuttosto dispendiosa in termini di energia richiede un grande overhead di controllo.

Profondità di ponderazione e instradamento basato sulla profondità di divisione dell'area di inoltro (WDFAD-DBR) [26] è un altro schema di instradamento efficiente dal punto di vista energetico in cui gli autori mirano a risolvere la zona vuota problema. Questo problema sorge a causa dell'assenza di nodi vicini nella trasmissione gamma di alcuni dei nodi distribuiti. Risulta in una perdita di dati durante la trasmissione tra la sorgente e il lavandino in superficie. Ogni nodo del forwarder considera il valore di profondità non solo del mittente ma anche del proprio spedizioniiere atteso per trovare il proprio inoltro eleggibilità. Ogni nodo divide la sua possibile area di inoltro in primario e ausiliario aree di protezione per ridurre al minimo i percorsi ridondanti verso il lavandino. Lo schema proposto migliora l'efficienza energetica, tuttavia, richiede la costruzione e l'aggiornamento continuo del tabelle adiacenti per ogni nodo, che a loro volta consumano trasmissioni extra.

2.2.3. Protocolli di instradamento opportunistico

I protocolli di routing opportunistici forniscono resilienza ai nodi distribuiti per condizioni di derwater poiché di solito selezionano un insieme di spedizionieri idonei per l'inoltro dei dati. L'insieme degli spedizionieri viene deciso sulla base di diverse metriche, ad esempio la differenza di profondità tra mittente e destinatario, ora di arrivo dei pacchetti al destinatario ed ex-

costo di trasmissione previsto (ETX), ecc. La presenza di più spedizionieri e la disponibilità di più percorsi verso il lavandino in superficie si traduce in un aumento tutta la velocità di trasmissione della rete; tuttavia, c'è un grande consumo di energia a causa della ridondanza trasmissioni e il problema del terminale nascosto. Il problema del terminale nascosto è definito come un'incapacità dello spedizioniere ottimale di limitare le trasmissioni dell'altro idoneo spedizionieri del nodo mittente.

Metriche di instradamento efficienti, ad es. Anticipo di pacchetto previsto (EPA) e anticipo normalizzato (NADV), sono progettati per risolvere i problemi sopra menzionati. Alcune delle recenti opportunità i protocolli di routing tunistic [1, 27] mirano anche a risolvere le altre principali sfide quali includere problema ottimale locale, problema del collo di bottiglia e problema del foro di copertura. Energia-Efficient Cooperative Opportunistic Routing Protocol [28] propone un collegamento migliorato schema di instradamento basato su cui è stata impiegata la logica fuzzy per la selezione del set forwarder zione. L'implementazione è stata eseguita in AquaSim basato su NS2 [29].

15

Pagina 29

2. Reti di sensori subacquei: concetti di base

2.3. Altri lavori correlati

Akyildiz et al. [30] discute le principali sfide dell'UWSN in un'indagine dettagliata. Il gli autori suggeriscono l'utilizzo di veicoli sottomarini e strategie di dispiegamento efficaci di nodi sensori come un modo per affrontare i problemi del ritardo end-to-end e del buco di copertura. Discutono le sfide per specifiche applicazioni subacquee e propongono il possibile soluzioni nel contesto di architetture di comunicazione UWSN 2D e 3D. Ulteriore- inoltre, classificano gli schemi di comunicazione, secondo il modello OSI a strati e concentrarsi sulla progettazione di schemi di localizzazione offline per migliorare le prestazioni di questi schemi di comunicazione proposti.

In [31], gli autori propongono un nuovo schema di routing; Protocollo di routing Channel Aware (CARP) che garantisce una comunicazione affidabile tra i luppoli sulla base della loro rapporto di consegna dei pacchetti ai destinatari immediati. Inoltre, zone d'ombra nella rete sono identificati dalla trasmissione precedente riuscita e il throughput complessivo della rete è migliorato. In totale, lo schema preferisce i nodi con alta probabilità di successo del trasferimento missione al fine di migliorare il throughput complessivo della rete, che è estremamente utile per le applicazioni subacquee sensibili ai dati. I nodi utilizzano percorsi dati fissi per la trasmissione verso il sink e memorizzare le informazioni sul percorso, che richiede estremamente complesso circuiti.

Xie et al. [19] propongono un protocollo di trasporto dati segmentato (SDRT) che principalmente opera blocco per blocco della trasmissione di pacchetti. Combinano la correzione degli errori in avanti (FEC) e richiesta di ripetizione automatica (ARQ) per formulare il loro approccio ibrido e migliorare l'utilizzo del canale. Lo schema proposto offre una sostituzione per il livello di trasporto protocolli progettati per reti terrestri (cioè, TCP e UDP) che non sono adatti per l'ambiente sottomarino. Durante la trasmissione blocco per blocco, implementano un file idea della finestra di trasmissione per evitare la congestione.

Ad un livello inferiore, l'analisi dettagliata delle perdite di canale sottomarino rispetto al presenza di comunicazione multipath tra l'origine e il nodo di destinazione è stato molto utile per calcolare la probabilità di consegna complessiva della rete. Zhou et al. [22] calcola il numero di possibili percorsi tra la sorgente e i nodi sink e ottimizzare il consumo di energia dei nodi coinvolti nel percorso più breve. Un simile tipo di analisi è stato proposto nel clustering spettrale basato sulla qualità di Link Routing Protocol (LRP) [32], in cui gli autori escogitano un cluster basato sulla qualità schema di instradamento. Migliora il rapporto di consegna dei pacchetti man mano che vengono stabiliti i collegamenti tra i nodi con un'elevata probabilità di consegna di pacchetti di successo. Implementazione del cluster Il routing basato su ter riduce la trasmissione ridondante, ma aumenta il calcolo complessità per i nodi nonché il consumo energetico della rete.

Stefanov et al. [33] prevedere la connettività di rete in un ambiente sottomarino gerarchico architettura di rete del sensore di tic. Gli autori tentano di migliorare l'SNR della rete introducendo i concetti di regioni limitate dalla copertura e dalle interferenze. Un della piega nella regione di interferenza determina un aumento della probabilità di consegna e velocità di trasmissione della rete. In [34], gli autori hanno utilizzato vari modelli di propagazione acustica per studiare le prestazioni dettagliate di DBR e delle sue versioni migliorate. Discutono di modelli importanti che vengono utilizzati per analizzare le perdite di canale, diffusione Doppler e raggio tracciamento. Questi modelli includono il modello Thorp, l'equazione parabolica di Monterey Miami e Modello di ray tracing di Bellhop.

16

2.4. Valutazione delle prestazioni di UWSN

2.4. Valutazione delle prestazioni di UWSN

Anche l'analisi e la convalida dei protocolli di instradamento nelle reti sottomarine hanno attirato molto di attenzione negli ultimi anni. La particolarità di queste reti richiede l'adeguamento dei protocolli opportunistici definiti per le reti veicolari. Tuttavia, mentre per veicoli reti (terrestri), sono stati proposti diversi modelli analitici (si veda, ad esempio, [35]), i risultati sono disponibili per le reti subacquee. Alcuni dei principali metodi per valutare e convalidare le prestazioni degli schemi di comunicazione includono lo sviluppo dell'analitica modelli, simulatori subacquee, implementazione di schemi utilizzando la tecnologia del banco di prova e vera sperimentazione. A causa dell'elevato costo della distribuzione della rete, minore disponibilità di risorse sperimentali e attrezzature di laboratorio inadeguate, modellazione analitica e subacquea i simulatori sono considerati un modo più praticabile per valutare le prestazioni dei protocolli. Il sono necessarie l'implementazione di modelli di canale dettagliati e stack di protocolli strutturati per l'analisi del flusso di pacchetti strato per strato e le prestazioni di nuove comunicazioni schemi. Sono stati proposti molti modelli sperimentali per valutare le prestazioni a livello fisico e per calcolare le perdite nel canale acustico, ad esempio Bellhop modello di ray tracing [36], equazione parabolica di Monterey Miami [37] e modello di Thorp [15]. Tra questi il modello Thorp è considerato il più semplice e considera principalmente la frequenza del segnale come fattore decisivo della perdita di trasmissione.

2.4.1. Ruolo dei modelli analitici

I modelli analitici consentono ai ricercatori di comprendere l'impatto dei parametri di rete eteri e configurazioni di protocollo sulle prestazioni del sistema in modo rigoroso. Nonostante di solito richiedono ipotesi più rigorose rispetto ai modelli di simulazione corrispondenti, la valutazione delle prestazioni mediante il modello analitico richiede meno tempo, poiché stime di simulazione accurate possono richiedere un'elevata potenza di calcolo.

I risultati dei modelli analitici sono utili per correlare il comportamento di comunicazione dell'acqua e le sue metriche di prestazione con teorie consolidate della letteratura. Il compromesso tra le metriche delle prestazioni può essere studiato in base a obiettivi degli schemi progettati e loro applicazioni. La convalida dei simulatori è stata uno degli obiettivi dei modelli stocastici, utile anche nella valutazione del rischio in caso di massime prestazioni del Mac e schemi di routing.

Al meglio della nostra conoscenza degli UWSN, non ci sono molti modelli analitici da valutare. Valutare le prestazioni degli schemi di comunicazione in modo da avere margini di miglioramento in questo campo di ricerca. Tra i pochi lavori disponibili, De Souza et al. [38] propone un modello per analizzare il consumo di energia negli UWSN multi-hop. Alcuni altri lavori studiano schedulazioni stocastiche per le politiche di trasmissione dei dati per affrontare la latenza di rete tenendo conto del consumo di energia. Questo design è particolarmente correlato al Livello Mac poiché aumenta l'utilizzo del canale evitando le collisioni di pacchetti. Il considera accuratamente il ritardo di accodamento, il ritardo di propagazione e il ritardo di elaborazione per modellare il ora di arrivo dei pacchetti. Marinakis et al. [39] formulare il problema di accesso al canale in termini di grafi diretti e fornire un'euristica per ottenere la latenza minima.

Tuttavia, l'assorbimento acustico (come nella formula sperimentale di Thorp) e il routing

i protocolli vengono estratti nel calcolo della perdita di trasmissione. Il modello è utile specificamente per le applicazioni time-critical, la gestione dei disastri e sismica monitoraggio, ecc. Il modello mira anche a migliorare l'utilizzo del canale utilizzando SNR a il nodo ricevente evitando le trasmissioni ridondanti per il riconoscimento dei dati.

Pagina 31

2. Reti di sensori subacquei: concetti di base

Li et al. [40] sviluppa un nuovo protocollo di routing basato su un modello Markov che ottimizza il trade-off tra la probabilità di consegna del pacchetto e il consumo di energia. Mentre gli autori forniscono una selezione del percorso di instradamento consapevole dell'energia, l'inaffidabilità dei collegamenti e l'impatto della mobilità dei nodi sulla trasmissione dei dati viene ignorato.

2.4.2. Ruolo dei simulatori

C'è molta ricerca in corso nel campo della progettazione di protocolli per gli UWSN, che include lo sviluppo di routing a basso consumo energetico e protocolli MAC. In questo contesto lo sviluppo di simulatori affidabili e precisi gioca un ruolo fondamentale per confrontare i nuovi e schemi precedenti e per convalidare in modo incrociato i modelli analitici. In particolare, il protocollo che principalmente consideriamo nel nostro lavoro, DBR, rappresenta un importante punto di riferimento per il protocolli di instradamento subacqueo.

Molti gruppi di ricerca hanno adottato Network Simulator (NS) come strumento per valutare le prestazioni di schemi di comunicazione di nuova concezione e come mezzo per collegare il campo esperimentali sulle comunicazioni acustiche con modelli di simulazione e altri fuori campo ricerca. Network Simulator-2 (NS2) [41] è una delle simulazioni più utilizzate strumenti per lo sviluppo e la sperimentazione di nuovi schemi di comunicazione. Contiene il file implementazione di quasi tutti i principali protocolli fisici, MAC e di livello superiore per entrambi reti cablate e wireless, consentendo ai ricercatori di valutare e confrontare facilmente le prestazioni formulazione di nuovi protocolli. La maggior parte dei simulatori per gli UWSN sono stati progettati utilizzando le classi base di NS2. AquaSim [29], basato su NS2, mostra l'implementazione zione di un gran numero di MAC e protocolli di instradamento per UWSN. Usa il modello Thorp per analizzare le perdite di canale, tuttavia, deve affrontare perdite di memoria a causa di problemi di compatibilità con Sistema operativo Linux. Pertanto, è stato sostituito dal simulatore avanzato NS3, che copre le carenze di NS2.

Petrioli et al. [42] sviluppare un framework di rete per la simulazione subacquea, Emulazione e test di vita reale (SUNSET) per l'implementazione e la convalida di subacquea schemi di comunicazione. SUNSET è considerato il primo paradigma open source per robusta simulazione ed emulazione di sistemi di comunicazione acustica grazie alla sua ampia set di librerie. Tuttavia, anche in questo caso gli autori concentrano la loro attenzione sull'inferiore strati dello stack del protocollo di comunicazione. La versione avanzata di questo simulatore contiene implementazione completa dello stack di protocollo per reti definite da software in applicazioni subacquee plicature. Gli stack sono stati esaminati dal confronto con lo sperimentale risultati e sono stati convalidati, tuttavia, le ultime versioni non sono ad accesso aperto.

Alcuni lavori (vedi, ad esempio, [33]) propongono progetti di simulazione di reti acustiche subacquee opere (UAN). Tuttavia, dobbiamo considerare che le peculiarità degli UWSN non lo consentono uno per applicare direttamente i risultati ottenuti per gli UAN agli UWSN. Questo modello contiene un'implementazione Matlab del modello di canale acustico e calcola anche l'estensione parametri importanti, ad esempio, risposta all'impulso del canale, ritardo end-to-end, ecc. Fornisce la capacità di implementare la batimetria di rete al fine di identificare risultati realistici per un particolare ambiente sottomarino. King et al. [43] esegue una revisione critica di cinque simulatori di reti subacquee e sviluppare un simulatore basato su eventi utilizzando OMNET ++ e rete MiXiM. È sviluppato sulla base dei moduli MiXiM per il livello MAC. Per il livello di routing, impiegano un semplice protocollo di routing basato su cluster insieme all'aggiunta di file l'animatore basato su GUI per le simulazioni.

2.5. Sfide aperte nell'implementazione di UWSN

2.4.3. Ruolo delle sperimentazioni

A seconda della disponibilità di risorse sperimentali, gli esperimenti in tempo reale lo sono considerato come il modo più autentico per esaminare le prestazioni del subacqueo progettato modelli e architetture. Convalida le prestazioni del Mac e dei protocolli di routing anche secondo i progetti orientati all'applicazione. Ad esempio, le prestazioni dei dati i protocolli di routing critici possono essere valutati nel contesto di applicazioni critiche per i dati, ad es. monitoraggio sismico o prevenzione dei disastri. Lo stesso è il caso con la convalida di energia- tecniche di raccolta che pretendono di raccogliere energia dal moto ondoso ecc. e mirano per funzionare in modo efficiente per applicazioni di lunga durata, ad esempio, monitoraggio di fuoriuscite di petrolio. Là sono alcuni esperimenti fatti specificamente per analizzare le prestazioni della proposta di UWSN architetture.

Caiti et al. [8] implementare un'architettura UWSN su larga scala in cui le operazioni sono assistite sia da nodi di sensori che da veicoli sottomarini. Analizzano la risposta all'impulso del canale (CIR) tra i nodi comunicanti. A parte la presenza dell'effetto multipath, i percorsi di consegna dei pacchetti riusciti hanno mostrato un SNR più elevato rispetto al SNR medio. Il la perdita di trasmissione e il tempo di andata e ritorno (RTT) aumentano durante il giorno a causa di l'effetto del profilo di velocità del suono (SSP). RTT sembrava anche variare con i cambiamenti nel file profondità dei nodi distribuiti che è ancora una volta causata da SSP. Durante la sera, è stata notata la creazione di zone d'ombra, che ha comportato la diminuzione della rete complessiva portata. Hanno utilizzato il modello di ray tracing di Bellhop e hanno confermato l'indice di somiglianza dei risultati sperimentali.

2.5. Sfide aperte nell'implementazione di UWSN

Ci sono molte sfide che i ricercatori devono affrontare durante la progettazione di nuove architetture per gli UWSN. Questi possono essere classificati in base al modello OSI. Onde elettromagnetiche può funzionare sufficientemente bene in acqua dolce ma al prezzo di utilizzare circuiti complessi. Tuttavia, è in corso del lavoro relativo all'uso delle onde EM per la comunicazione in scenari di acqua dolce [44]. La velocità del segnale acustico varia da 1450 m / s a 1500 m / s a causa del cambiamento di profondità del segnale, che influisce sul ritardo di propagazione tra i nodi comunicanti. SSP viene utilizzato per esplorare le opportunità per ridurre al minimo la media ritardo end-to-end della rete in base alle esigenze di application-oriented disegni. I modelli di ray tracing sono progettati per identificare il cambiamento nelle traiettorie del segnale, che varia a causa della profondità dell'acqua. Il fondo del mare influisce in gran parte sul traiettorie, che dovrebbero essere analizzate per valutare le condizioni realistiche.

La presenza di zone d'ombra influisce in gran parte sulla comunicazione durante il giorno in quanto essa provoca una perdita temporanea di connettività tra i nodi e un aumento del tasso di errore di bit (BER). A causa della distribuzione a lungo termine, i nodi devono affrontare i problemi di corrosione che interessano le prestazioni dei circuiti. È necessaria molta attenzione per affrontare la corrosione delle correnti vaganti e corrosione galvanica poiché erodono rapidamente i nodi e i veicoli sottomarini.

La maggior parte dei nuovi protocolli di routing e Mac funzionano in modo efficiente, ma a loro volta richiedono maggiore complessità dei nodi distribuiti. Questo generalmente implica un aumento dei costi energetici, che è molto più alto di quello richiesto per le reti di sensori terrestri. Energia- tecniche di raccolta è uno degli attuali temi di ricerca che mira a risolvere il problema questione dell'elevato consumo di energia per il monitoraggio a lungo termine delle reti sottomarine. Come rispetto all'elevata disponibilità di velocità di trasmissione dati nelle reti di sensori terrestri, munication affronta il problema della larghezza di banda molto bassa. Questo problema può essere risolto tramite ibrido

2. Reti di sensori subacquei: concetti di base

tecniche medie all'interno della rete o implementazione di Internet of thing (IoT) in UWSN, che può fornire servizi a più applicazioni utilizzando la stessa distribuita nodi. Poiché i loro sistemi sono utilizzati per il monitoraggio a lungo termine, è necessario che i nodi potrebbero essere in grado di ottimizzare le loro prestazioni rispetto alle condizioni dell'ambiente. Ciò richiede la progettazione di problemi di ottimizzazione per utilizzare in modo efficiente la rete risorse di lavoro per eseguire le funzioni necessarie. Progettazione di strategie di distribuzione dei nodi è anche uno dei temi primari della ricerca attuale in quanto i nodi subiscono continui mobilità, che può sfidare qualsiasi schema di comunicazione subacquea. Questo movimento varia ampiamente con le 24 ore, i mesi e le stagioni. Il costo per l'attrezzatura subacquea è piuttosto alto a causa delle difficili condizioni dell'acqua, che è necessario affrontare. La maggior parte il nuovo lavoro dovrebbe essere svolto considerando la rete su larga scala, il che è realistico necessario per applicazioni subacquee. La sicurezza della rete è una delle maggiori sfide a causa degli scopi militari. Recentemente, il lavoro di ricerca è andato avanti con rispetto agli attacchi denial of service e fuzzy, utilizzati per infettare la rete, tuttavia, questi tipi di attacchi devono essere affrontati utilizzando reti di dati denominate e schemi di indirizzamento dei nodi efficienti.

Come discusso in precedenza, il routing negli UWSN è un problema impegnativo non solo perché delle caratteristiche intrinseche di questa classe di reti wireless ma anche dovute al indici di performance di cui tenere conto contemporaneamente come la rete il rendimento, il rapporto di consegna dei pacchetti e il costo dell'energia. Ad esempio, algoritmo di instradamento i ritmi devono garantire un basso costo energetico al fine di massimizzare la durata della rete nodi. Questi indici delle prestazioni dipendono in gran parte dalle impostazioni di configurazione di protocolli di routing utilizzati come la maggior parte dei protocolli di routing più recenti (si veda, ad esempio, [23]) progettato secondo le applicazioni mirate degli UWSN. Ad esempio, Porto et.al [45] proporre una forma estesa di protocollo DACAP (Distance-Aware Collision Avoidance Protocol) di aumentandolo con potenza di trasmissione ottimizzata e selezione della portata per i nodi del sensore. Il controllo fine di questi parametri porta ad un miglioramento dell'efficienza energetica mentre la connettività di rete viene preservata. Inoltre, gli autori scoprono che il file la selezione del raggio di trasmissione ottimale in DACAP dipende dalla densità di rete.

Pertanto, è fondamentale che i parametri del protocollo siano configurati per bilanciare i vari indici di performance. Per un dato costo, la configurazione ottimale raggiunge il miglior compromesso tra consumo di energia, ritardo medio end-to-end, rendimento, consegna probabilità, ecc.

Ci sono diversi parametri che devono essere considerati, inclusa la trasmissione potenza dei nodi, la configurazione delle metriche di routing e la selezione del protocollo Mac, ecc., che devono essere impostati per configurare una rete che utilizza qualsiasi protocollo di routing. Complessivamente, l'identificazione delle impostazioni di rete ottimali e la configurazione dei protocolli di routing sono utili per ottenere i migliori risultati per gli UWSN. Un esempio importante, tra questi parametri è l'identificazione di un raggio di trasmissione ottimale dei nodi. Nella vista di preservare l'energia ai nodi, le trasmissioni brevi sembrano essere più convenienti, tuttavia, dobbiamo tenere conto del fatto che saranno richiesti più inoltri.

La potenza di trasmissione di un nodo dipende dalla distanza necessaria per coprire a trasmissione unica [15]. D'altra parte, le trasmissioni a lunga distanza tendono a esaurirsi la batteria rapidamente. Dal punto di vista della riduzione del ritardo end-to-end, le trasmissioni lunghe sono chiaramente ottimali, ma questo requisito deve essere sempre bilanciato con quella di una corretta politica per il risparmio energetico. L'obiettivo di questa tesi è quello di integrando simulazione e modellazione analitica per sviluppare un framework che ci permetta di studiare la configurazione ottimale di una classe di protocolli di routing opportunistici.

3

Introduzione al routing basato sulla profondità

21

3. Introduzione al routing basato sulla profondità

Il routing basato sulla profondità è considerato una delle categorie più importanti per instradamento dell'acqua grazie alla sua facilità di implementazione e robustezza nei confronti dei nodi mobilità. Il routing basato sulla profondità utilizza le informazioni sulla profondità dei nodi da cui creare un percorso

il nodo di origine al sink in superficie. In generale, il routing basato sulla profondità viene anche definito come instradamento basato sulla pressione poiché i sensori di pressione sono collegati ai nodi per stimare la loro profondità. Nel routing basato sulla profondità, i dati vengono inoltrati dai nodi ad alta profondità a quelli bassi nodi di profondità. I protocolli di questa categoria mirano a garantire un elevato rapporto di consegna dei pacchetti con un consumo energetico di rete controllato in quanto preferiscono selezionare un insieme di ammissibili forwarder invece di un singolo forwarder per la comunicazione hop to hop.

Nel routing basato sulla profondità, la posizione del livello è considerata sulla superficie del acqua. Al fine di migliorare le prestazioni della rete, vari protocolli di routing basati sulla profondità propongono metriche di instradamento efficienti, ad es. tempo di attesa, anticipo pacchetto previsto (EPA) e anticipo normalizzato (NADV), ecc. In [2], l'esecuzione di diversi protocolli di instradamento è stata confrontata in termini di consumo energetico, ritardo end-to-end e rete portata. Gli autori hanno evidenziato la differenza nell'approccio di routing di questi protocolli. Suggestiscono anche alcune importanti linee guida per la progettazione di profondità protocolli di instradamento. Eseguono un ampio sondaggio e classificano i vari in base alla profondità schemi di instradamento sulla base della selezione dei candidati e dei programmi di coordinamento dei candidati cedures. I principali vantaggi e carenze dei principali schemi di routing basati sulla profondità hanno stato individuato.

Questi protocolli sono anche considerati come protocolli di routing opportunistici in quanto forniscono un'opportunità di inoltro dei dati ai molteplici nodi ricevitori al fine di aumentare il resilienza della rete contro condizioni di elevata mobilità dei nodi.

La maggior parte di questi protocolli non sono completamente distribuiti in quanto ricevono anche assistenza da il nodo mittente per prendere le decisioni di inoltro, ad esempio, hydrocast [1] e void aware percorso di pressione (VAPR) [27]. Hydrocast utilizza gli schemi di localizzazione offline mentre VAPR segue l'approccio della comunicazione basata su cluster. Tuttavia, entrambi i protocolli inoltrano ancora i dati dai nodi ad alta profondità ai nodi a bassa profondità.

3.1. Stato dell'arte del routing basato sulla profondità

Tra gli schemi di routing basati sulla profondità, il protocollo DBR (Depth-Based Routing) [24] è considerato come il protocollo di routing pionieristico. DBR adotta uno schema di inoltro basato sul ricevitore in cui i potenziali spedizionieri vengono scelti in base alla differenza di profondità tra i file mittente e destinatario. I nodi stimano la loro profondità tramite sensori di pressione a bordo e aggiungere queste informazioni a qualsiasi pacchetto che inviano, in modo che tutti i destinatari possano farlo calcolare la differenza di profondità tra loro e il trasmettitore.

Al fine di ridurre le trasmissioni di pacchetti ridondanti, DBR introduce il concetto di un tempo di attesa del pacchetto, *ovvero* un tempo che un potenziale forwarder attende prima di inviare il file pacchetto. Il tempo di attesa è inversamente proporzionale alla differenza di profondità tra il mittente e ricevitore. Per un dato intervallo di trasmissione, con questo meccanismo, il protocollo mira per coprire la distanza più lunga verso la superficie ad ogni passo di avanzamento, come ricevitori più lontano dalla superficie attendere più a lungo e quindi rilasciare il pacchetto se sentono il comunicazione dei nodi più vicini alla superficie.

Energy Efficient DBR (EEDBR) [46] è una variazione più recente di DBR in cui il l'energia residua delle batterie dei nodi viene presa in considerazione per la selezione del spedizionieri così come la differenza di profondità. È un approccio basato sul mittente in cui

il nodo mittente sfrutta il valore dell'energia residua dei suoi vicini di profondità inferiore per identificare e quindi selezionare il forwarder ottimale da un insieme specificato di forwarder. Questi idonei i server di inoltro trattengono il pacchetto di dati per un tempo di attesa, che viene calcolato in base al loro energia residua.

Tutti i nodi memorizzano l'elenco dei loro vicini a bassa profondità come loro forwarder idonei. Dopo aver ricevuto i pacchetti, il nodo ricevente scopre la loro idoneità per l'inoltro dei dati-dopo aver verificato il suo ID nell'elenco inviato dal nodo mittente. L'elenco è ordinato sul file

base dei valori di energia residua dei nodi di forwarding. Non c'è tempo di attesa per il nodo che risiede in cima alla lista in quanto inoltra immediatamente il pacchetto, mentre i rimanenti nodi nell'elenco calcolano il loro tempo di permanenza sulla base dei loro posizioni nell'elenco. Durante il tempo di attesa, dopo aver sentito lo stesso pacchetto di dati da un altro nodo sensore, i nodi di inoltro generano un numero casuale e confrontano al valore del rapporto di consegna (calcolato e trasmesso dal sink) ricevuto nel file pacchetto di dati. I nodi sopprimono la trasmissione, se il numero casuale è inferiore a rapporto di consegna. In caso contrario, il pacchetto di dati viene trasmesso. Nel caso in cui nessun pacchetto di dati viene ascoltato durante il tempo di attesa, il pacchetto di dati viene trasmesso quando viene trattenuto il tempo scade.

La Figura 3.1 spiega i criteri di inoltro dei pacchetti di EEDBR, in cui sia la profondità vengono prese la differenza dei nodi comunicanti e l'energia residua del ricevitore in considerazione. Il mittente mantiene l'elenco dei suoi vicini di bassa profondità e del destinatario trova la sua idoneità per l'inoltro in quanto riceve la tabella degli spedizionieri idonei dal mittente. In questo caso, il nodo A calcola il tempo di permanenza del pacchetto in base al suo residuo energia dopo aver trovato il suo ID nell'elenco di inoltro inviato dal nodo B. Se rileva un pacchetto basso rapporto di consegna della rete, decide l'inoltro dei pacchetti in base a quelli generati numero casuale.

Hydrocast [1] è un altro protocollo di instradamento ben progettato ed efficiente dal punto di vista energetico. Propone un'unica direzione verticale che dirige verso la superficie utilizzando le informazioni di profondità dei nodi. Utilizza la localizzazione offline presso un centro di monitoraggio che utilizza la misurazione della distanza locale assicurazioni (raccolte con i dati del sensore) per selezionare il sottoinsieme di forwarder che massimizza l'avidità progresso. Notare che la localizzazione distribuita in genere richiede molta iterazione. Le sfide principali che Hydrocast affronta sono l'inaffidabilità dei canali acustici e la presenza di zone vuote nella rete. Un sottoinsieme di vicini di ogni nodo mittente è selezionati come spedizionieri idonei per evitare la sfida del canale acustico inaffidabile. Inoltre, per sopprimere i terminali nascosti durante l'inoltro opportunistico, Hydrocast propone una semplice euristica avida che cerca un cluster di nodi sensori con il massimo progresso verso il lavandino. Hydrocast propone un processo di percorso di recupero a gestire il problema minimo locale nella rete.

Un minimo locale si verifica quando i nodi vicini con una profondità inferiore alla profondità del nodo mittente non esistono. A causa del moto ondoso dell'acqua, i nodi sono continuamente cambiano le loro posizioni che portano al cambiamento dei vicini per qualsiasi nodo. C'è sempre una possibilità che un nodo di inoltro possa perdere i suoi vicini a bassa profondità che è il file causa del problema minimo locale.

La Figura 3.2 [1] mostra la motivazione del problema dell'idrocasto così come quella proposta soluzioni. Un nodo trova se si tratta di un nodo di superficie o non di superficie utilizzando dominating formula triangolo e identifica il problema massimo locale. A causa di questo problema, la copertura vengono creati buchi. Utilizzando la formula di NADV e formazione di cluster, hydrocast calcola l'avanzamento previsto del pacchetto verso il sink in superficie. Zone avanzate per ogni nodo sono definiti utilizzando la forma conica verticale del grappolo. È anche utile per risolvere il problema

3. Introduzione al routing basato sulla profondità



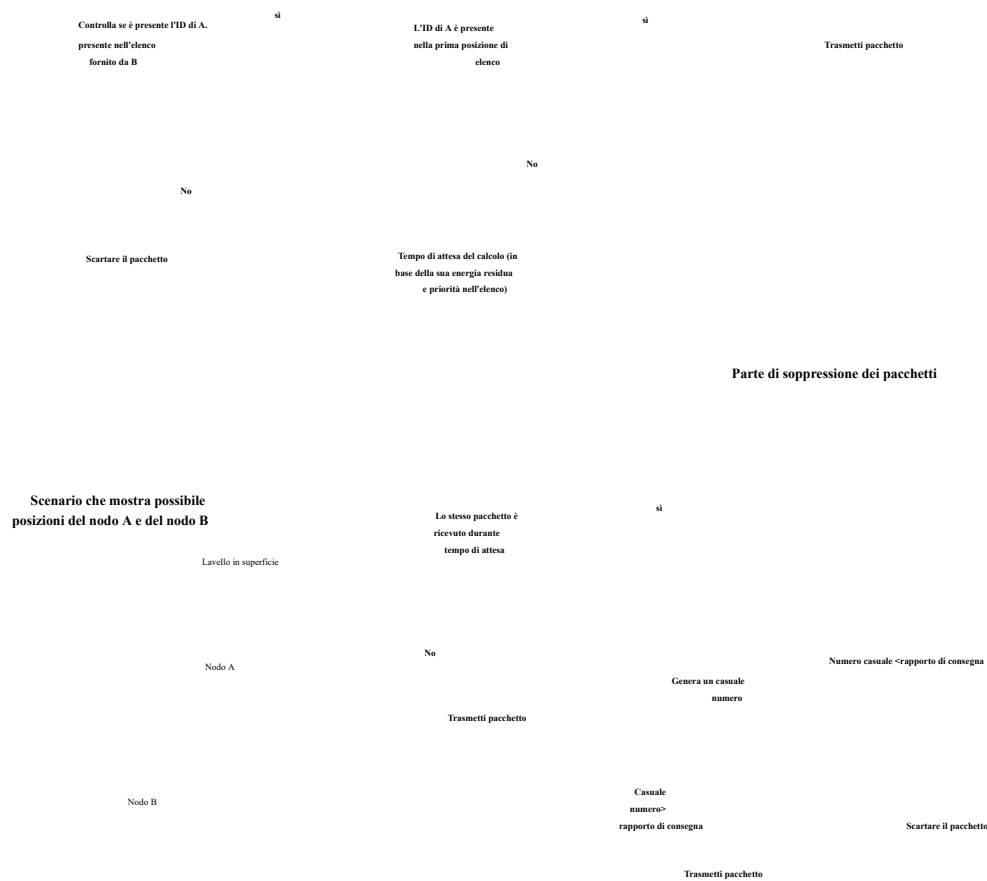
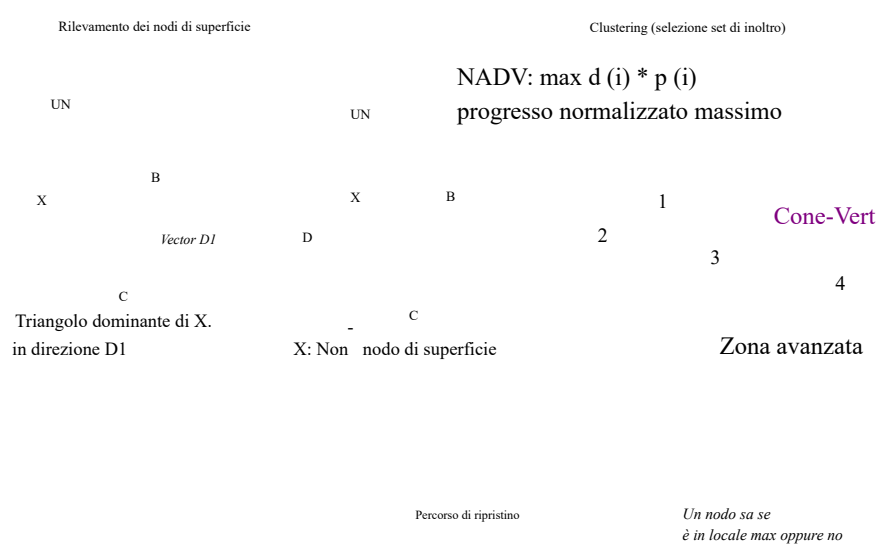


Figura 3.1 .: Metodologia dell'EEDBR

3.1. Stato dell'arte del routing basato sulla profondità



Percorso di ripristino

La scoperta del percorso è ancora costosa: inondazioni 3D limitate dal salto

Approccio al recupero

Figura 3.2 .: Metodologia di Hydrocast (tratto da [1])

Tabella 3.1 .: Confronto dei protocolli di instradamento in base alle loro caratteristiche

Protocollo	Decisione di inoltro	Selezione del gruppo di candidati	Coordinamento dei candidati
DBR	Singola entità	Basato sul lato ricevitore	Basato su timer
EEDBR	Singola entità	Basato sul lato mittente	Basato su timer
Hydrocast	Raggruppato	Approccio ibrido	Controllo basato su pacchetti
VAPR	Raggruppato	Approccio ibrido	Controllo basato su pacchetti
GEDAR	Raggruppato	Approccio ibrido	Controllo basato su pacchetti
WDFAD-DBR in cluster		Approccio ibrido	Basato su timer

problema terminale nascosto. Utilizza un percorso di recupero identificando i nodi di superficie e il loro problema massimo locale.

Profondità di ponderazione e protocollo di routing division-dbr dell'area di inoltro (WDFAD-DBR) [26] minimizzare la presenza di buchi di copertura durante l'inoltro dei dati tenendo conto le informazioni di profondità dei luppoli vicini. La divisione dell'area di inoltro migliora il rapporto di consegna tuttavia, richiede un grande overhead di rete per la previsione dei vicini. Nel [47], gli autori propongono il protocollo GEDAR (Geographic and Opportunistic Routing), che introduce l'idea del controllo automatico della topologia in caso di presenza di un vuoto buco negli UWSN. I nodi controllano la loro profondità per spostarsi verso il buco vuoto, sebbene questo il movimento può comportare un elevato consumo di energia.

25

3. Introduzione al routing basato sulla profondità

3.1.1. Evoluzione del routing basato sulla profondità in routing opportunistico

I protocolli di routing opportunistici sono stati evoluti dal routing basato sulla profondità mirano anche a inoltrare i pacchetti verso i nodi a bassa profondità dai nodi ad alta profondità. A differenza dei precedenti protocolli di routing basati sulla profondità, i protocolli di routing opportunistici, ad esempio, [1] e [27], utilizza la localizzazione offline. Anche se riescono ad aumentare la rete e riducendo al minimo il consumo di energia, la loro implementazione sembra ancora scarsa un po 'irrealistico a causa della continua mobilità dei nodi. In contrasto con questi romanzi opportunistici approcci (vedere, ad esempio, [1] e [2], DBR è un protocollo di routing completamente distribuito come mostra la capacità di affrontare le peggiori condizioni subacquee.

Come discusso in precedenza nella sezione 2.2.3, Protocolli di instradamento opportunistici per UWSN sono classificati come basati sul destinatario e sul mittente [2]. Per gli algoritmi basati sul ricevitore, a il nodo che riceve un pacchetto decide se sarà un forwarder in base ad alcuni fattori tra cui la differenza di profondità tra sé e il mittente di solito suona il maggiore ruolo (altri fattori possono essere l'energia residua in una batteria). Algoritmi basati sul mittente, attivi d'altra parte, sono più difficili da implementare e richiedono che il nodo mittente lo specifichi quali nodi vicini saranno i forwarder.

3.2. Perché DBR?

Sebbene ci siano più protocolli opportunistici progettati nell'ultimo decennio, tuttavia, DBR [24] è ancora considerato lo schema di instradamento più applicabile a causa della sua completa natura distribuita e semplicità di implementazione. DBR è un instradamento opportunistico protocollo per UWSN che fornisce buone prestazioni sia con il nodo alto che con quello basso scenari di mobilità. A differenza di molti dei suoi miglioramenti, DBR funge da perfetto ricevitore-protocollo di instradamento basato, che lo rende adatto a condizioni subacquee soggette a errori. Non dipende da schemi di localizzazione offline che sono difficili da implementare in diversi ambienti sottomarini.

DBR mostra una grande differenza rispetto alla sua versione successiva, ad esempio EEDBR, VAPR e Hydrocast. Lo svantaggio principale di EEDBR è che l'implementazione del mittente-based schema di inoltro è molto più complicato di quello di DBR e richiede quindi nodi per mantenere le informazioni di instradamento e le tabelle dei vicini.

DBR è un inoltro basato sul destinatario e il destinatario decide se inoltrare i dati oppure no, al contrario, in EEDBR, il mittente seleziona l'insieme di spedizionieri idonei e partecipa anche al calcolo del tempo di permanenza fornendo loro l'elenco ordinato secondo i loro valori di energia residua. In DBR, il ricevitore usa il concetto di profondità soglia e tempo di attesa del calcolo sulla base della differenza di profondità con il mittente, tuttavia, in EEDBR, il ricevitore calcola il tempo di permanenza sulla base della loro energia residua e il valore di priorità che viene nuovamente assegnato dal mittente e calcolato sulla base di informazioni sull'energia residua del ricevitore. Inoltre, VAPR, WDFAD-DBR e hydrocast utilizzare schemi di localizzazione offline che li rendono più complessi e difficili da implementare.

3.3. Il protocollo di routing DBR

L'obiettivo del protocollo DBR è trasmettere un pacchetto contenente i dati raccolti da un nodo sottomarino arbitrario al lavandino che galleggia sulla superficie. In DBR, i nodi utilizzano trasmissioni acustiche omnidirezionali e si presume che i nodi ne siano consapevoli

26

3.3. Il protocollo di routing DBR

profondità. In pratica, questo è possibile grazie a sensori in grado di misurare la pressione a un nodo. Una volta che un nodo esegue una trasmissione, codifica la propria profondità nel pacchetto e solo i nodi vicini con una profondità inferiore a quella del mittente sono idonei per l'inoltro quel pacchetto. Per controllare il packet flooding, DBR utilizza due meccanismi: il primo è l'introduzione di una *soglia di profondità*, cioè tutti i nodi la cui differenza di profondità con il mittente è inferiore a questa soglia non è possibile inoltrare il pacchetto. Questo è mirato a ritrasmissioni nulle da nodi troppo vicini al mittente. Il secondo meccanismo consiste nell'introduzione di un *tempo di attesa*. Intuitivamente, il tempo di attesa è il ritardo che un nodo deve attendere prima di inoltrare un pacchetto ricevuto: ritardi brevi ne implicano una maggiore probabilità di essere lo spedizioniere.

3.3.1. Metodologia di DBR

Durante l'inoltro del pacchetto, ogni nodo trasmittente modifica il valore di profondità del file pacchetto con un proprio valore. Al fine di gestire l'alta mobilità dei nodi e la dinamica condizioni del canale sottomarino, le rotte non sono permanenti. Pertanto, ogni pacchetto contiene: **(i)** l'ID del nodo del forwarder **(ii)** la profondità del forwarder **(iii)** Pacchetto numero di sequenza, **(iv)** ID nodo del nodo di origine.

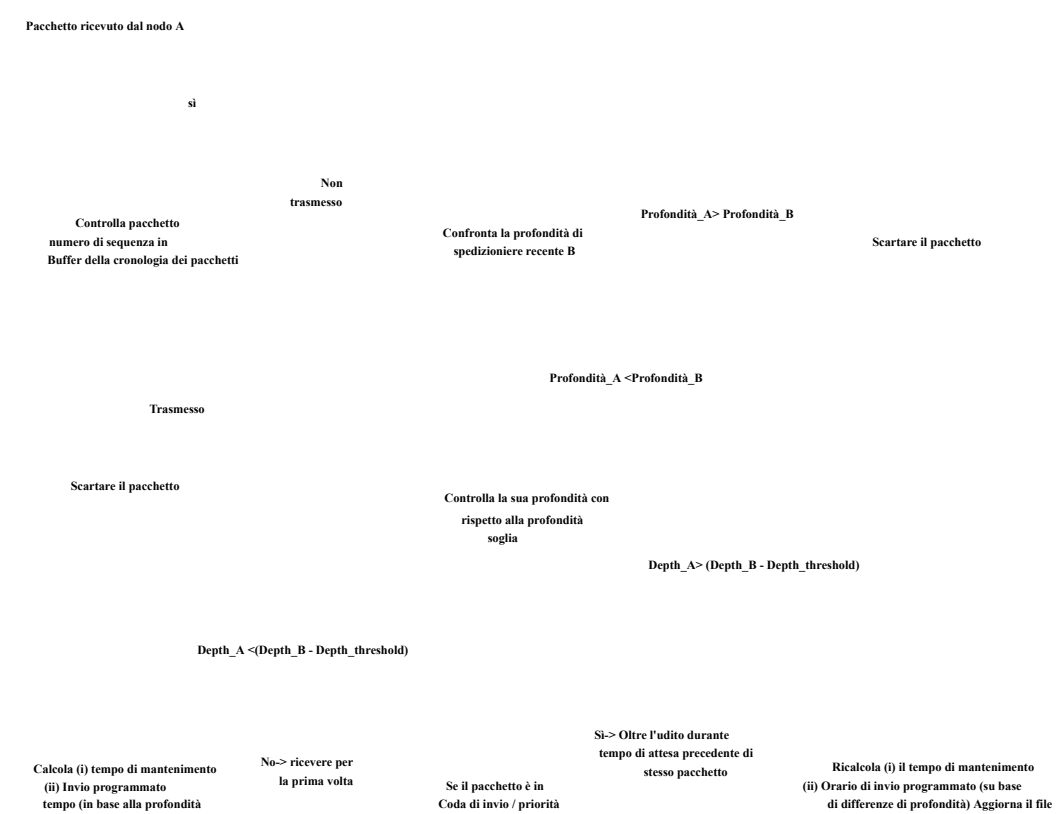
La Figura 3.3 spiega l'algoritmo impiegato da DBR. Quando il nodo riceve il pacchetto, controlla il suo numero di sequenza per la trasmissione precedente. Dopo aver trovato il suo inoltro per l'idoneità, il nodo verifica la soglia di profondità e quindi calcola il tempo di permanenza del file pacchetto, che alla fine decide l'ora di invio programmata del pacchetto. Se il file node riceve lo stesso pacchetto che si trova nella coda di invio, ripianifica l'ora di invio di il pacchetto.

La configurazione ottimale di DBR dipende da un insieme di parametri tra cui a Di fondamentale importanza è la scelta della potenza di trasmissione, il tempo di tenuta e la soglia di profondità. Nello specifico, la potenza di trasmissione determina la distanza oltre il quale il pacchetto può essere ricevuto correttamente, il che a sua volta influisce sul numero di salti necessario per raggiungere il sink, il consumo energetico complessivo, la probabilità di consegna del pacchetto e il ritardo end-to-end. In generale, c'è un compromesso tra lunga e breve distanza trasmissioni, *vale a dire*, troppi salti alla destinazione portano a ritardi end-to-end elevati mentre troppo pochi richiedono una potenza di trasmissione elevata che consuma troppo velocemente le batterie dei nodi.

Esempio 1. Considera lo scenario mostrato nella Figura 3.4. A è il nodo di trasmissione e il cerchio indica la sua area di trasmissione. Il pacchetto viene ricevuto da tutti i nodi in raggio di trasmissione ad eccezione di E la cui ricezione è disturbata dal rumore. Il gli spedizionieri idonei sono l'insieme di nodi la cui profondità è inferiore alla soglia di profondità (linea tratteggiata in figura), ad esempio, i nodi C, E e F. Quindi i nodi C e F competono per la ritrasmissione secondo una “race policy” sui loro tempi di permanenza: quella con il ritardo più breve sarà lo spedizioniere. B e D sono gli spedizionieri non idonei, quindi scartare il pacchetto di A.

Altre importanti caratteristiche di DBR sono le seguenti [24] .
Percorsi multipli di inoltro dei dati: DBR utilizza code prioritarie per memorizzare i pacchetti che vengono ordinati in base all'ora di invio programmata.
Evitare la ritrasmissione dello stesso pacchetto: DBR utilizza un buffer della cronologia dei pacchetti di lunghezza fissa in cui il numero di sequenza del pacchetto e l'ID sorgente dei pacchetti che sono già stati trasmessi vengono memorizzati. Se il destinatario trova la copia di un file già pacchetto trasmesso o scartato, scarta il pacchetto.

3. Introduzione al routing basato sulla profondità



Trasmettere

Figura 3.3 .: Metodologia del DBR

28

3.3. Il protocollo di routing DBR

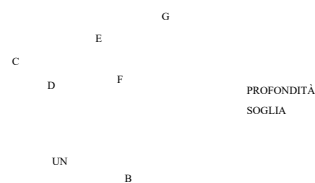


Figura 3.4 .: Scenario considerato nell'Esempio 1

Ridurre il numero di interferenze: Nella sua formulazione originale, al fine di ridurre il numero di salti lungo il percorso di inoltra, DBR mira a selezionare il nodo di inoltra con la minima profondit . Nella sua definizione di base, il tempo di permanenza   calcolato in tale formato modo in cui il nodo con la massima differenza di profondit  con il mittente ha il minimo tempo di attesa. Possono verificarsi trasmissioni ridondanti, se il vicino con un massimo la differenza di profondit  non riesce a sopprimere la trasmissione di altri spedizionieri idonei a causa di lungo ritardo di propagazione tra di loro. Per ridurre questo comportamento indesiderato, il i tempi di attesa sono scalati di un fattore δ che garantisce che siano sempre abbastanza lunghi comprendono il ritardo di propagazione intermedio.

In DBR, identifichiamo tre modalit  operative dei nodi sensori [48] : (i) Trasmissione modalit : i nodi trasmettono solo i pacchetti accodati e ignorano qualsiasi altro pacchetto ricevuto mentre questa modalit    attiva; (ii) Modalit  di ricezione: i nodi ricevono i pacchetti e il modem rimane acceso; (iii) Modalit  inattiva: il modem acustico   spento durante il nodo attende la scadenza dei tempi di attesa per i pacchetti gi  memorizzati nel buffer.

3.3.2. Calcolo del tempo di permanenza in DBR

Nella formulazione originale di DBR, l'unica variabile di stato utilizzata per calcolare la holding il tempo   la differenza di profondit  tra il mittente e il destinatario. Secondo [24] l'azienda il tempo dipende dalla differenza di profondit  d tra i nodi come:

$(2\tau \)$

$$f_{DBR}(d) = \delta * (T - d) \quad (3.1)$$

dove T è il massimo raggio di trasmissione di un nodo, τ è il massimo ritardo di propagazione di un salto, ovvero $\tau = T / v_0$ (dove v_0 è la velocità di propagazione del suono nell'acqua) e δ è un fattore di scala del tempo di mantenimento, che viene scelto per ottenere l'ottimale prestazioni della rete e per ridurre al minimo il problema del terminale nascosto. C'è un compromettere la scelta corretta di δ . In effetti, piccoli valori di δ portano a un tempo di tenuta più elevato valori che riducono il consumo energetico della rete, ma che, d'altro canto, aumentano il pacchetto ritarda e peggiora il throughput. Al contrario, valori più alti di δ riducono il tempi di attesa, ma le trasmissioni ridondanti avvengono con una probabilità maggiore e quindi osserviamo un maggiore consumo di energia.

3.3.3. Calcolo del tempo di permanenza in EEDBR

In EEDBR, i nodi calcolano invece il tempo di tenuta sulla base della loro energia residua di differenza di profondità. Questa è anche una delle principali differenze tra DBR e EEDBR

29

Pagina 43

3. Introduzione al routing basato sulla profondità

mentre altre differenze includono l'implementazione del routing basato sul mittente e la profondità ridotta tabelle dei vicini. Queste differenze rendono le prestazioni dell'EEDBR più dipendenti sulle condizioni della rete, ad esempio, scenari di mobilità dei nodi. Gli ID dei nodi dovrebbero essere inclusi nel nodo mittente, altrimenti non possono agire come spedizioniere idoneo in EEDBR. Il tempo di permanenza in EEDBR viene calcolato come segue:

$$f_{EEDBR} = \left(1 - \frac{\text{current_energy}}{\text{energia_iniziale}} \right) * \text{max_holding_time} + p \quad (3.2)$$

dove max_holding_time indica il tempo massimo per il quale un nodo può contenere un pacchetto. È un parametro di sistema. p è il valore di priorità e funge da fattore di scala tra i nodi aventi la stessa energia residua.

3.4. Osservazioni conclusive

Questo capitolo evidenzia l'importanza del DBR tra i protocolli di instradamento opportunistico cols. DBR mostra la capacità di affrontare lo scenario di mobilità ad alto nodo con il minimo sovraccarico di controllo. Rispetto a EEDBR, Hydrocast, VAPR e molte successive opportunità tic, DBR è interamente uno schema di inoltro completo basato sul ricevitore. Mantiene un elevato rapporto di consegna dei pacchetti introducendo il fattore di scala temporale durante il calcolo di trattenere il tempo. Questa durata del tempo di attesa definisce l'ora di invio programmata per any pacchetto ricevuto ed eventualmente la selezione del forwarder a bassa profondità del nodo mittente. Abbiamo anche discusso in dettaglio e identificato le metodologie di EEDBR e Hydrocast le loro carenze durante le difficili condizioni subacquee.

30

Pagina 44

Seconda parte.

Un nuovo simulatore per gli UWSN

4

Progettazione di un simulatore: AquaSim-Next Generazione per UWSN

4. Progettazione di un simulatore: AquaSim-Next Generation per UWSN

Nell'ultimo decennio, gli UWSN sono stati ampiamente studiati a causa dei loro aspetti peculiari che li distingue dalle WSN terrestri. Tra questi aspetti degli UWSN, abbiamo solo Sottolineo che la trasmissione acustica è molto più lenta rispetto a quella terrestre la comunicazione wireless e i nodi sono soggetti a frequenti movimenti imprevedibili a causa del moto ondoso. Le applicazioni degli UWSN vanno dal monitoraggio ambientale alla difesa militare. I protocolli di routing negli UWSN propongono vari metodi per i dati instradamento dai nodi alle stazioni base. La definizione di protocolli di instradamento efficienti in Gli UWSN sono un argomento di ricerca impegnativo a causa delle caratteristiche intrinseche di questi reti, come la necessità di gestire la mobilità dei nodi e la difficoltà di bilanciamento l'energia consumata dai nodi.

I simulatori per reti subacquee svolgono un ruolo importante nella convalida delle prestazioni di schemi precedenti così come per la valutazione preliminare della nuova comunicazione schemi. Questi simulatori sono generalmente progettati in più linguaggi di scripting, ad esempio C, C++, Matlab, Python e Java, ecc. A causa del costo dell'attrezzatura subacquea, lo è quasi impossibile analizzare le prestazioni di nuovi schemi di comunicazione attraverso sperimentazione. Pertanto, la progettazione di simulatori per la comunicazione subacquea ha stato uno dei principali temi di ricerca negli ultimi anni. L'implementazione di Il modello a strati completo nei simulatori è utile per analizzare la sequenza del pacchetto flusso durante la comunicazione da nodo a nodo.

Il contributo principale di questo capitolo è la presentazione di un nuovo simulatore per lo studio del DBR protocollo e le sue varianti, nonché nuovi protocolli di routing. Il nostro simulatore è basato su AquaSim-Next Generation (NG) [3] che è uno strumento specializzato per studiare sott'acqua reti. Con il nostro lavoro miglioriamo lo stato dell'arte del protocollo di rotta sottomarina simulatori implementando, tra le altre caratteristiche, una dettagliata comunicazione cross-layer e un modello accurato delle modalità operative del modem acustico e della loro energia consumo. Il simulatore è open source e scaricabile gratuitamente [49] .

Struttura del capitolo Il capitolo è strutturato come segue. La sezione 4.1 discute il stato dell'arte sui simulatori di rete progettati per reti subacquee. Fornisce anche alcuni dettagli rilevanti delle loro implementazioni, alcune informazioni sulle loro librerie e le loro capacità di animazione. La sezione 4.2 spiega i dettagli del nostro contributo in questo lavoro proposto. La sezione 4.3 fornisce una descrizione dettagliata del meccanismo di trasmissione dei dati utilizzato da DBR e come viene implementato nel simulatore basato su eventi. Sezione 4.4 discute la validazione del nostro simulatore e l'impatto dei parametri di configurazione di DBR sugli indici di performance mediante simulazioni. La sezione 4.5 conclude il capitolo. Il lavoro descritto in questo capitolo è stato pubblicato in [50] .

4.1. Precedenti lavori su simulatori subacquei

In letteratura troviamo un'ampia serie di simulatori sviluppati per UWSN. Sebbene alcuni di questi si basano sul framework fornito da Network Simulator-3 (NS3) come [51], alcuni altri sono strumenti autonomi sviluppati in alcuni programmi di uso generale lingue [52] .

Climent et al. [51] propongono il simulatore basato su NS3 per la loro architettura a più sink degli UWSN. Lo scopo del simulatore è analizzare la loro proposta di efficienza energetica architettura adattiva gerarchica e robusta (EETA). Il simulatore esamina anche il file meccanismo di tolleranza agli errori del protocollo e convalida le sue prestazioni. EETA implementa

4.1. Precedenti lavori su simulatori subacquei

Menta la classe base del modello di rete acustica sottomarina (UAN) precedentemente progettato per NS3, che calcola la perdita di trasmissione del segnale acustico e la probabilità di consegna dei pacchetti. Tuttavia, il simulatore non ha la capacità di supportare il romanzo opportunistico protocolli di instradamento.

Maseiro et al. [52] progettano un'architettura sottomarina dettagliata nel loro strumento, vale a dire De-firmare, simulare, emulare e realizzare banchi di prova per protocolli di rete sottomarina (DESERT). DESERT è uno strumento multi-tasking in quanto mostra la capacità di emulare la rete utilizzando le sue librerie basate su C e C ++. È stato progettato utilizzando le classi base di NS-Miracle [53] che è una versione migliorata di NS. Come altri simulatori basati su NS, alcuni di le librerie sono state implementate in tool command language (TCL) e OTCL. Il gli autori si concentrano sui protocolli di routing statico per la comunicazione multihop e progettazione del livello di rete. Validano anche le prestazioni stimate dal simulatore da utilizzando la loro tecnologia del banco di prova.

In [54], gli autori escogitano un simulatore 3D e un animatore per l'ambiente sottomarino utilizzando le applicazioni del Fast Light Toolkit (FLTK). Include anche OpenGL per Rendering 3D e animazione. Tuttavia, considerano solo i protocolli di basso livello e quindi ignorare la valutazione degli schemi di instradamento. Lo scopo principale del simulatore è quello di aumentare le capacità di NS2 progettando un animatore di rete 3D (NAM). FLTK è utile per i suoi widget GUI che visualizzano la mobilità dei nodi in base all'implementazione modelli di mobilità.

Guerra et al. [55] escogita un altro simulatore basato su NS2 per reti subacquee, chiamato World Ocean Simulation System (WOSS), progettato specificamente per lo studio della fisica e protocolli di livello MAC. Impiegano anche modelli di ray tracing per definire i limiti sull'ampiezza del segnale trasmesso durante la propagazione acustica. Gli autori convalidano il prestazioni del simulatore confrontando i risultati con i dati sperimentali ottenuti dalle reti di comunicazione sottomarine dell'Isola di Pianosa. A parte l'acustica modelli di canale, Aloha, T-lohi MAC e protocollo di prevenzione delle collisioni in base alla distanza (DA-CAP) sono stati testati per analizzare le prestazioni dei progetti di livelli MAC. Prestazione la valutazione dei vari schemi implementati è stata eseguita considerando sia Poisson e traffico generato guidato dagli eventi.

In [15], per la prima volta, gli autori presentano il modello del canale acustico in NS2 per spiegare la comunicazione del livello fisico ai nodi nelle reti sottomarine e confronta anche i risultati con i modelli analitici progettati in Matlab. La base classe del simulatore implementa il modello di consumo energetico utilizzando Thorp's modello e l'equazione del sonar passivo. Consumo di energia per varie distanze tra i nodi comunicanti sono stati calcolati assumendo la soglia di 30 dB SNR al nodo ricevente. I simulatori successivi di comunicazione subacquea seguono principalmente il modello sopra menzionato grazie alle sue prestazioni accurate.

Borowski et al. [56] esaminare il canale acustico e la sua perdita di trasmissione da affrontare le tribolazioni nella propagazione acustica e fornisce un modello per calcolare il canale perdita. Adottano un approccio a impulsi misurati, rumore e perdita di trasmissione dati in ordine per simulare il canale in modo più realistico. Contrariamente al nostro lavoro, si concentrano sull'analisi del Bit-Error-Rate (BER) in un canale invariante nel tempo superficiale piuttosto che sulla valutazione delle prestazioni degli algoritmi di instradamento.

AquaSim [29] fornisce modelli di simulazione di protocolli fisici, MAC e pochi routing progettato per UWSN. Tuttavia, AquaSim si basa sull'architettura eterogenea di NS2 e implementa uno stile di programmazione orientato agli oggetti basato su quattro diversi script le lingue. Di conseguenza, l'implementazione di nuovi modelli di simulazione e il loro

4. Progettazione di un simulatore: AquaSim-Next Generation per UWSN

l'efficienza può essere in qualche modo ingombrante. AquaSim mostra anche il potenziale per demonizzare le strategie i nodi distribuiti in uno scenario 2D utilizzando il suo Network Animator (NAM). Alcuni degli ultimi simulatori derivati da AquaSim propongono l'animazione 3D, quindi migliorare la qualità delle interfacce GUI per il routing opportunistico in UWSN.

In [3], gli autori propongono un nuovo framework per la simulazione di UWSN, AquaSim-NG, basato su NS3 [57] e le sue librerie. Rispetto a NS2, NS3 mostra diversi elementi essenziali miglioramenti ma d'altra parte soffre di una quantità ancora limitata di sviluppati biblioteche. L'intera struttura di AquaSim-NG è stata codificata in un linguaggio unico, C++ ed è stata ottenuta una gestione della memoria più efficiente. Questo, insieme a altre ottimizzazioni che sono state implementate, rendono AquaSim-NG più efficiente e framework di simulazione di facile utilizzo per UWSN rispetto ad AquaSim. AquaSim-NG ha un gran numero di librerie portate dalla sua versione precedente, inoltre ha funzionalità integrate migliorate relative a sicurezza, simulazione in tempo reale e informazioni integrazione centrica.

Le opere che sono strettamente legate a quella qui presentata sono [24, 46] dove il gli autori implementano DBR e EEDBR, rispettivamente, in NS2. Rispetto a queste opere, il nostro simulatore sfrutta la comunicazione inter-layer implementata in AquaSim-NG sviluppato per NS3 ma non era presente nelle librerie per NS2 [3]. Inter-Layer. La comunicazione a livello è una caratteristica importante da considerare per ottenere risultati accurati stime degli indici di performance di DBR. Un altro miglioramento rispetto alle versioni presentate in [24] è che il nostro simulatore tiene conto del calcolo del file durata della modalità operativa dei nodi del sensore e quindi può fornire una stima accurata di perdita di pacchetti, ritardo di pacchetti end-to-end e durata della batteria.

4.2. Contributi

In questa sezione sottolineiamo i contributi del nostro lavoro.

1. Sviluppiamo un simulatore open source [49] per il protocollo DBR e le sue varianti in AquaSim-NG che consente alla comunità di ricerca di ottenere stime accurate degli indici di prestazione per architetture di instradamento basate sulla profondità. Uno dei caratteri La caratteristica del DBR è che la sua definizione richiede comunicazioni cross-layer e quindi abbiamo dedicato particolare attenzione anche all'implementazione di modelli accurati per il livello fisico, MAC e di rete insieme alle loro interdipendenze. Il simulatore è stato implementato nei linguaggi C e C++. Copre alcune carenze di AquaSim [29] che includono una cattiva gestione della memoria, limitata supporto del modulo in tempo reale e ripida curva di apprendimento dell'utente.
2. Il nostro modello è convalidato con un'accurata implementazione di un simulatore di basso livello sviluppato in Matlab che tiene conto degli aspetti astratti dal precedente implementazione DBR di AquaSim-NG. Nello specifico, il simulatore Matlab si basa sul recente lavoro di Parastoo et al. [58] dove una statistica dettagliata viene fornito il modello dei canali sottomarini. Gli esperimenti mostrano la robustezza di l'implementazione del DBR proposto. Molte somiglianze sono state trovate tra i vicini approssimazioni degli indici di prestazione confrontando i due simulatori. It è principalmente dovuto all'implementazione della propagazione basata sulla gamma e del rumore specializzato generatori nel nostro modello. Queste funzionalità sono utili per calcolare i file localizzati interferenza del pacchetto che è efficace nel prevedere la probabilità di consegna del pacchetto.

quelli, offre una maggiore semplicità d'uso e una migliore gestione della memoria grazie alla de-allocazione automatica degli oggetti. Dalla prospettiva di implementazione del modello tivo, consideriamo l'allocazione dell'intestazione dei pacchetti e una gestione realistica delle code dei pacchetti. Il supporto per il problema del terminale occupato fornisce precisione nella valutazione delle prestazioni considerando il calcolo del consumo energetico.

4. Infine, osserviamo che il nostro simulatore è più veloce e scala meglio con il numero di nodi rispetto ai precedenti [24] disponibili in letteratura. Mostriamo anche un'analisi approfondita dell'impatto dei parametri di configurazione DBR sulla UWSN prestazioni basate su esperimenti di simulazione effettuati con lo strumento che noi proponiamo. Sincronizzazione tra le modalità operative del modem acustico e la configurazione del protocollo del livello superiore consente un calcolo preciso dei risultati.

4.3. Progettazione del simulatore

In questa sezione descriviamo il simulatore che proponiamo per DBR. Diamo una descrizione che introduce la scelta dell'implementazione strato per strato. In pratica, abbiamo ha eseguito un refactoring delle classi AquaSimPhyCmn (Physical Layer), AquaSimMac (MAC Layer) e AquaSimRouting (Routing Layer) che saranno descritti in dettaglio in le seguenti tre sottosezioni.

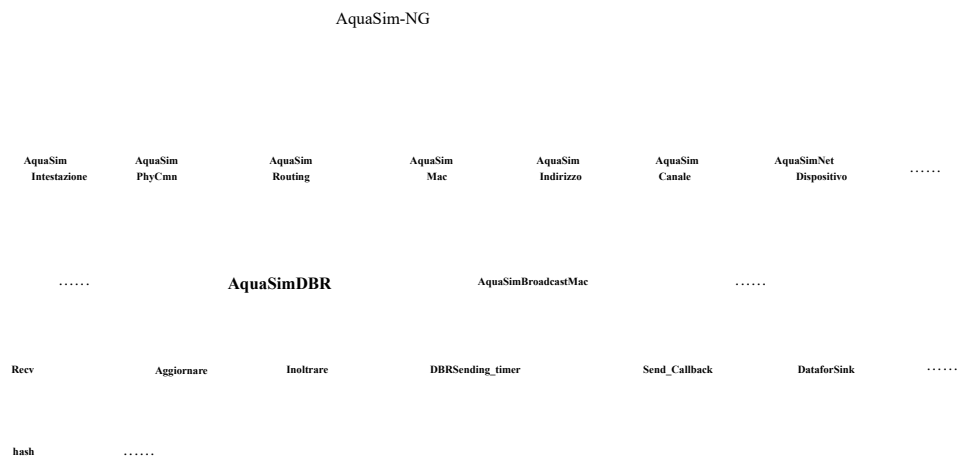


Figura 4.1 .: Architettura di AquaSim-NG

4.3.1. Lo strato fisico

I modelli per la propagazione delle onde acustiche mirano a rappresentare matematicamente il qualità del segnale trasmesso in funzione di diversi fattori, come quello esterno rumore e la distanza tra la sorgente e la destinazione. Pertanto, è possibile calcolare la probabilità di consegna del pacchetto in un canale sottomarino dati alcuni parametri come l'assorbimento e gli effetti di attenuazione dell'acqua. Questi effetti variano ampiamente con la profondità del nodo, il moto ondoso e la temperatura dell'acqua (si veda, ad esempio, [59]).

37

4. Progettazione di un simulatore: AquaSim-Next Generation per UWSN

Stima della probabilità di consegna dei pacchetti Un elemento cardine del nostro modello è la funzione $f(x)$, ovvero la probabilità che un pacchetto venga ricevuto correttamente da un nodo posto a distanza x dal mittente. Usiamo uno dei modelli più comuni per il canale acustico, ovvero , il modello di Urick [58, 60]. Secondo questo modello la perdita di percorso su una distanza d per a il segnale di frequenza v è data dalla seguente formula:

$$A(d, v) = d^{-k_a(v)}, \quad (4.1)$$

dove $a(v)$ è il coefficiente di assorbimento e k è il fattore di diffusione.

Il fattore di diffusione k tiene conto della geometria della propagazione del segnale.

In modo informale, possiamo pensare che k sia usato per modellare diverse caratteristiche delle antenne:

ad esempio, in generale, un'antenna omnidirezionale avrà un valore di k inferiore a

uno associato ad un'antenna direzionale.

Per la diffusione sferica si assume solitamente che $k = 2$ (si veda, tra gli altri, [1]). $a(v)$ si ottiene utilizzando la formula di Thorp [60].

L'SNR medio $\Gamma(d)$ a una distanza d dal nodo sorgente è dato da:

$$\Gamma(d) = \frac{E_b / A(d, v)}{N_0},$$

dove $A(d, v)$ è calcolato dalla Formula (4.1), E_b è l'energia di trasmissione media per bit e N_0 è la densità di potenza del rumore.

Coerentemente con la maggior parte della letteratura sulla comunicazione acustica, adottiamo dBrepa come unità per la perdita totale del percorso (vedere, ad esempio, [15]).

Consideriamo un effetto di dissolvenza di Rayleigh su piccola scala modellato come in [58] dove la probabilità La capacità di errore per ogni bit è indipendente e calcolata come:

$$p_e(d) = \int_0^\infty p_e(x) p_d(x) dx, \quad (4.2)$$

dove:

$$p_d(x) = \frac{1}{\Gamma(d)} e^{-x/\Gamma(d)}.$$

Assumiamo la modulazione di keying shift binaria che è ampiamente utilizzata nell'acustica moderna modem. In [61] l'espressione per $p_e(d)$ è data come:

$$p_e(d) = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\Gamma(d)}{1 + \Gamma(d)}} \right).$$

Poiché assumiamo pacchetti di dimensione m bit ed errori indipendenti, la probabilità che a il nodo riceve correttamente un pacchetto a distanza d dalla sorgente è:

$$f(d) = (1 - p_e(d))^m. \quad (4.3)$$

Per cambiare le modalità operative [48] dei nodi, accediamo ai loro stati tramite la classe base AquaSimNetDevice. Serve anche per impostare i parametri di rete ter di nodi, ad esempio, la sua posizione e il suo indirizzo di rete. Inoltre, lo stato del modem è controllato dalle funzioni nelle classi di AquaSimPhyCmn.

Il modem acustico passa dalla modalità inattiva alla modalità di ricezione quando rileva la sveglia in entrata tono su (che viene inviato dai nodi trasmettenti prima dell'inizio della trasmissione del pacchetto missione) e rimane in questa modalità fino alla fine della ricezione del pacchetto. In seguito la modalità viene nuovamente impostata su inattivo. Quindi, il nodo rimane in modalità inattiva, se l'invio queue è vuoto mentre se si verifica la scadenza di un tempo di attesa per il pacchetto accodato, esso passa alla modalità di trasmissione. Durante questa modalità, il nodo trasmette tutti gli accodati pacchetti con tempo di attesa scaduto prima di tornare in modalità inattiva.

4.3.2. Il livello MAC

La nostra implementazione del livello MAC si basa sulla classe BroadcastMac su cui si basa il protocollo Broadcast MAC precedentemente sviluppato [62] disponibile su AquaSim-NG che è esso stesso derivato dalla classe base di UnderwaterMac. L'interfaccia con il routing layer è gestito dalla funzione Recv che abbiamo implementato per consentire la compatibilità con DBR. BroadcastMac è la scelta naturale per la simulazione basata su inondazioni controllate protocolli come DBR. Il suo comportamento è piuttosto semplice: quando un nodo ha un pacchetto da inviare, esso trasmette semplicemente il pacchetto dopo aver rilevato che il canale è inattivo, altrimenti si arresta. Noi

impostare il numero massimo di volte di backoff dopo il quale il pacchetto viene scartato. Il modello implementa un meccanismo di consegna best-effort senza riconoscimenti. La congestione è gestita dalla funzione Backoff Handler.

La classe di AquaSimBroadcastMac controlla le impostazioni del modem e ha l'estensione capacità di cambiare rapidamente lo stato del dispositivo di rete utilizzando le funzioni di PowerOn () e PowerOff (). Questo gioca un ruolo fondamentale nella stima della rete lavoro consumo energetico.

4.3.3. Il livello di rete

I dettagli del protocollo di routing DBR sono stati discussi nella sezione [3.3](#).

L'implementazione del livello di rete viene eseguita nella classe AquaSimDBR che rappresenta il cuore del nostro simulatore DBR e incorpora le funzioni necessarie per l'interfacciamento con il livello inferiore, *ovvero* il protocollo Broadcast MAC.

Le caratteristiche principali di DBR sono implementate in tre funzioni:

- *Recv* implementa la ricezione di un pacchetto dal livello MAC ed esegue l'operazione descritte dall'algoritmo 1. Nello specifico, questa funzione calcola la holding volte ed esegue l'operazione di inserimento o eliminazione dei pacchetti dalla priorità coda all'arrivo di un nuovo pacchetto o di una copia di uno già memorizzato, rispettivamente. Nella nostra implementazione, consentiamo flessibilità nello specificare il tempo di attesa per poter confrontare le diverse politiche di instradamento che possono prendere in considerazione diverse variabili di stato come la profondità e l'energia residua dei nodi. Il la funzione del tempo di mantenimento può essere specificata da un file separato per la rameterizzazione della simulazione più facile. I parametri nella holding definita dall'utente le funzioni time vengono impostate tramite uno script C++ accedendo alle variabili di stato tramite AquasimNetDevice (ad esempio, per conoscere la profondità del nodo) o utilizzando la classe di AquaSimHeader per quanto riguarda le informazioni sui pacchetti (es. La profondità del mittente).
- *Forward* esegue le operazioni richieste per inoltrare un pacchetto una volta che è stato mantenuto scade.
- *Update* viene utilizzato per gestire la coda di invio prioritario in base al calcolo dei tempi di attesa.

Le intestazioni dei pacchetti sono gestite dalla classe della libreria AquaSimHeader che tiene conto le peculiarità della comunicazione UWSN come coerentemente implementata da AquaSimAddress.

Presentiamo ora maggiori dettagli sull'algoritmo 1. I pacchetti ricevuti vengono prima controllati tramite una funzione di puntatore hash per evitare trasmissioni ridondanti (riga 14). Il

4. Progettazione di un simulatore: AquaSim-Next Generation per UWSN

Algoritmo 1: elaborazione dei pacchetti ricevuti nella coda di invio a livello di instradamento

- 1: hashPtr ← numero di sequenza memorizzato di pacchetti già scartati o trasmessi
- 2: GetPosition (). Z ← valore della profondità del nodo corrente
- 3: packet → GetUid () ← ID sequenza del pacchetto
- 4: queue.purge (packet) ← controlla se il pacchetto è nella coda di invio
- 5: profondità ← valore di profondità memorizzato del mittente
- 6: coda ← coda di pacchetti schedulati per invio
- 7: latest_time ← fornisce il pacchetto con i più recenti
- 8: Queue_Item ←
fornisce il pacchetto memorizzato nella coda di invio con l'ora di invio pianificata e l'id della sequenza

```

9: orario di invio programmato
10: holding_time ← tempo di attesa calcolato per il pacchetto corrente

11: if ((hashPtr! = NULL)) allora
12:   if ((model-> GetPosition (). z) > depth) then
13:     se queue.purge (packet) allora
14:       pacchetto = 0;
15:       return false;
16:     finisci se
17:   else {(model-> GetPosition (). z) < depth}
18:     double schedule_send_time = Simulator :: Now (). ToDouble (Time :: S) +
tempo di attesa;
19:     int pck_id = pacchetto-> GetUid ();
20:     if (queue.purgenow (packet, schedule_send_time)) then
21:       if (queue.empty ()) allora
22:         Queue_Item * q = new Queue_Item (packet, schedule_send_time, pck_id);
23:         queue.insert (q);
24:         latest_time = schedule_send_time;
25:         Send_Timer-> Schedule (Seconds (holding_time));
26:         restituire vero;
27:       altro {(queue.update (packet, sched_send_time, pck_id))}
28:         Queue_Item * q = new Queue_Item (packet, schedule_send_time, pck_id);
29:         queue.insert (q);
30:         latest_time = schedule_send_time;
31:         Send_Timer-> Schedule (Seconds (holding_time));
32:         restituire vero;
33:       finisci se
34:     altro
35:       pacchetto = 0;
36:       return false;
37:     finisci se
38:   finisci se
39: finire se

```

40

4.4. Validazione del simulatore ed esperimenti di simulazione

la funzione di puntatore hash aumenta l'efficienza della rete scartando la trasmissione in precedenza pacchetti scartati o scartati e memorizza gli ID di sequenza dei pacchetti fino a un valore specificato numero. Vediamo che il pacchetto ricevuto viene considerato per l'inoltro solo se la profondità specificato nell'intestazione è maggiore della profondità corrente del nodo (test alla riga 20). Oth- In caso contrario, viene utilizzato per eliminare i pacchetti accodati con lo stesso ID di sequenza (righe 16-19). Il tempo di invio programmato per i pacchetti accettati viene calcolato tenendo conto del tempo di permanenza fornito come input per la funzione. Quindi, questi pacchetti vengono archiviati in ordine in base ai tempi di attesa nella coda di invio (righe 24-36). Se l'invio queue ha già una copia di un pacchetto con lo stesso ID, l'algoritmo ne mantiene uno singolo copia di quel pacchetto e l'ora di invio programmata è impostata su quella con la prima tempo di scadenza. I nodi hanno un buffer a capacità finita e i pacchetti ricevuti in eccesso la capacità del buffer viene scartata. Tuttavia, a causa dell'elevato ritardo di propagazione dell'acustica canale, il buffer dei nodi è in grado di memorizzare tutti i pacchetti ricevuti in qualsiasi specifico momento.

La comunicazione cross-layer necessaria per controllare le modalità operative dei modem è implementato dalla funzione Send_Callback nella classe di AquaSimDBR. Infine, il modello passa i dati di controllo al livello dell'applicazione nel sink e nel nodo di origine utilizzando DataForSink. La Figura 4 [1](#) illustra l'architettura della classe principale di AquaSimDBR

e le sue sottoclassi.

Nota 1. *In contrasto con i precedenti modelli di DBR implementati in NS2, nel nostro implementazione, siamo in grado di studiare il cosiddetto problema del terminale occupato [63]. Questa edizione di DBR è causato dal fatto che il calcolo dei tempi di detenzione basato solo sulle differenze di profondità tendono a scegliere un piccolo insieme di percorsi con una probabilità molto alta. Come un Di conseguenza, alcuni nodi sono molto più stressati dal traffico di rete di altri e come la densità della rete aumenta, iniziano a rilasciare pacchetti, provocando così una riduzione della metrica del rapporto di consegna del pacchetto. Questo è un problema chiave di DBR e l'importanza di un simulatore in grado di riprodurre questo fenomeno è testimoniato dalla letteratura recente sull'argomento (vedere, ad esempio, [63]).*

4.4. Validazione del simulatore e simulazione esperimenti

Per validare il nostro simulatore, confrontiamo le stime che otteniamo da noi- ing la nostra implementazione DBR su AquaSim-NG (utilizzando la strategia basata sulla profondità per il calcolo dei tempi di detenzione) e le stime precedentemente ottenute con il DBR implementazione su Aquasim. Si noti che il confronto è significativo per gli UWSN il cui i parametri sono impostati in modo tale che il problema del terminale occupato sia trascurabile. Infatti, come discusso nella Sezione 4.3 , forniamo un modello più dettagliato per il livello di rete che ci permette di calcolare l'effetto delle interferenze dovute al terminale occupato in più modo accurato. In tutti i nostri esperimenti, in questi casi, abbiamo una differenza tra i nostri stime e quelle derivate in [24] inferiori al 7%.

È stata effettuata una seconda serie di esperimenti per convalidare la nostra implementazione di lo strato fisico. La complessità della fisica della trasmissione subacquea rende il implementazione del livello fisico impegnativo e soggetto a errori. Per evitare questi problemi, seguendo la procedura di [58], abbiamo confrontato le stime del Implementazione di AquaSim-NG con quella di un modello Matlab.

41

4. Progettazione di un simulatore: AquaSim-Next Generation per UWSN

Parametro	Valore
Dimensioni della rete	250 m × 250 m × 250 m
Distribuzione	Uniforme casuale
Energia iniziale dei nodi	50J
Dimensione del pacchetto	64 byte
Gamma di trasmissione	75m
Velocità di mobilità dei nodi	1 m / s, 3 m / s
Consumo di potenza di trasmissione	2 W
Ricezione del consumo di energia	0,1 W
Consumo energetico inattivo	1 mW
Modello di mobilità	Camminata casuale
f	3 kHz

Tabella 4.1 : Parametri di simulazione

Come conseguenza di questa modellazione più accurata, possiamo studiare l'impatto del problema terminale occupato e modalità operative dei nodi sulle prestazioni della rete ottenere nuove informazioni sul comportamento degli UWSN. I lavori precedenti non li considerano caratteristiche e ottenere stime diverse per reti con alta densità di nodi.

4.4.1. Scenari simulati e metodologia

Nelle simulazioni, confrontiamo diversi scenari per DBR con varie soglie di profondità e tenendo i meccanismi di calcolo del tempo. I nodi di rete vengono distribuiti in modo casuale con distribuzione spaziale uniforme, il lavandino è posto sulla superficie dell'acqua e la sorgente il nodo è posizionato alla massima profondità e in una posizione casuale con tutti gli altri nodi muovendosi alla velocità di 1 m / s o 3 m / s, secondo l'esperimento. Il nodo di origine trasmette un pacchetto ogni 2 secondi con una dimensione del pacchetto di 64 byte. Altri dettagli delle impostazioni di simulazione sono presenti nella tabella 4.1. Notare che queste impostazioni sono coerenti con quelli proposti in [24].

Tutte le stime riportate nelle sottosezioni seguenti si basano su 15 indipendenti esperimenti e costruiamo gli intervalli di confidenza del 95%. Le larghezze dell'intervallo sono state sempre al di sotto del 5% dell'indice atteso misurato durante la simulazione.

4.4.2. Impatto dei parametri di configurazione sulle prestazioni di DBR

In questa sezione si studia come il valore scelto per il parametro δ influisce sulla prestazione della rete. Intuitivamente, valori più brevi per δ riducono la probabilità di interferenze ma aumenta il ritardo end-to-end della rete, mentre valori maggiori portano a un'energia spreco dovuto all'elevata probabilità di danneggiamento dei pacchetti causato dalle interferenze.

La Figura 4.2 mostra il ritardo end-to-end in reti con varie densità di nodi e scelte differenti per i parametri δ . Per $\delta = R / 4$ osserviamo un ritardo end-to-end che è circa il 12% superiore a quello osservato per $\delta = R$. Inoltre, osserviamo che il ritardo end-to-end diminuisce man mano che la rete diventa più densa a causa della diminuzione ritardo di propagazione accumulato tra la sorgente e la destinazione. Figura 4.3 punti eliminare il compromesso tra la velocità della rete e il suo consumo energetico che aumenta

42

4.4. Validazione del simulatore ed esperimenti di simulazione

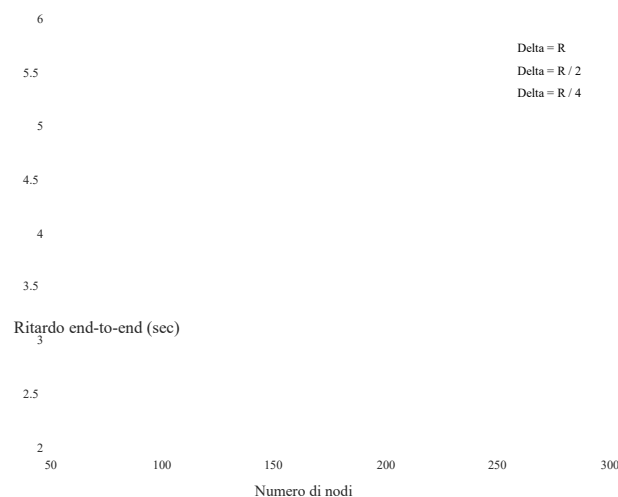


Figura 4.2.: Ritardo medio end-to-end di pacchetti con vari valori di δ in DBR (sec)

con i valori scelti per δ . Il maggiore consumo di energia è dovuto all'aumento numero di trasmissioni nella rete e quindi i nodi trascorrono più tempo in modalità di trasmissione che consuma molta energia. Consultando la figura 4.3, è chiaro che all'aumentare del numero di nodi distribuiti, aumenta il consumo totale di energia ma le osservazioni valgono per tutti i valori considerati di δ .

Nota 2. Vale la pena sottolineare che il trade off tra consumo di energia e il ritardo end-to-end è stato accuratamente studiato per la prima volta in questo articolo grazie al

4.4.3. Convalida incrociata con il modello di livello fisico in Matlab

Lo scopo principale di questa sezione è convalidare il nostro simulatore con una statistica del livello fisico-modello tico implementato in Matlab basato sui risultati mostrati in [58]. Consideriamo il rapporto di consegna dei pacchetti, consumo energetico totale e indici di prestazione. Figura- La figura 4.4 mostra il confronto tra le stime ottenute dal simulatore di DBR e quelli ottenuti utilizzando il modello statistico di [58]. Possiamo vedere che le tendenze mostrati dalle simulazioni sono molto vicini con una maggiore differenza nelle reti sparse. Questo è dovuto al fatto che il nostro modello considera la durata delle modalità operative dei nodi e la caduta di pacchetti a causa del problema del terminale occupato. Chiaramente, questi problemi lo sono più evidente nelle reti sparse. La figura 4.5 mostra il consumo energetico stimato dai due modelli di simulazione. In questo caso si osserva una maggiore discrepanza tra i file due modelli (tra il 20%) anche se il trend è mantenuto. Ciò è dovuto al fatto che il modello Matlab non tiene conto del diverso consumo energetico di le diverse modalità operative e del carattere di comunicazione inter-livello del protocollo- istics. Pertanto, in Matlab, il modello di simulazione è in grado di indagare in modo efficiente le metriche delle prestazioni a livello fisico grazie a un preciso modello di canale, ma non è in grado di incorporare importanti MAC e caratteristiche dello strato di routing come un accurato gestione delle code di pacchetti e rilevamento del canale inattivo.

4. Progettazione di un simulatore: AquaSim-Next Generation per UWSN

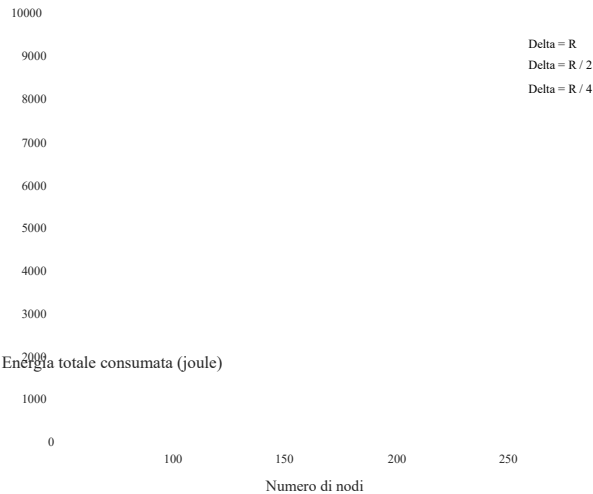


Figura 4.3 .: Consumo energetico totale della rete con diverso valore di δ in DBR (joule)



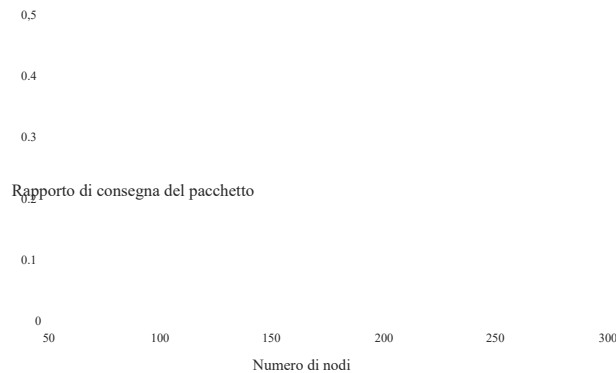


Figura 4.4 :: Analisi del rapporto di consegna dei pacchetti tra i modelli per DBR

44

Pagina 58

4.5. Osservazioni conclusive

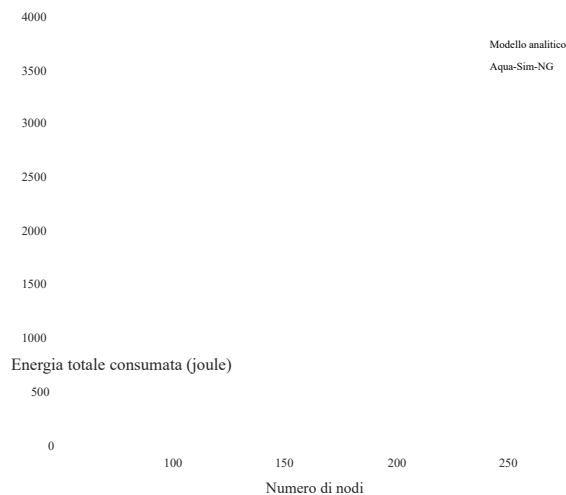


Figura 4.5 :: Analisi del consumo energetico totale tra i modelli per DBR (joule)

4.5. Osservazioni conclusive

In questo lavoro, abbiamo presentato un nuovo simulatore basato su AquaSim-NG per profondità protocolli di instradamento. Rispetto ai lavori precedenti, il nostro modello di simulazione è più efficiente grazie alle caratteristiche progettuali di AquaSim-NG e NS3. Inoltre, ne consideriamo due aspetti che sono stati precedentemente astratti e per i quali dimostriamo essere importanti valutare accuratamente le prestazioni del sistema, *ovvero* il calcolo accurato dell'energia consumo associato a diverse modalità operative e alla comunicazione inter-layer caratteristiche richieste dagli schemi basati su DBR.

Pertanto, i principali punti di forza del nostro simulatore sono l'implementazione del layer architettura di DBR, l'uso delle librerie AquaSim-NG e il supporto di reti 3D con mobilità. Lo strumento proposto viene quindi utilizzato per studiare il pa-parametri di DBR. Rispetto ai risultati precedenti, i nostri risultati espongono i problemi di basso rapporto di consegna e alto ritardo end-to-end per determinati scenari di lavoro di DBR. Questi le osservazioni sono state precedentemente ignorate a causa dell'implementazione più astratta del

stack di protocollo.

Lo strumento è disponibile con le sue librerie complete su [[49](#)] .

45

Pagina 59

Parte III.

Analisi e ottimizzazioni in Instradamento basato sulla profondità

46

Pagina 61

5

Modellazione stocastica della profondità Instradamento nelle reti di sensori subacquei

5.1. introduzione

L'interesse per gli UWSN basati sulla comunicazione acustica è cresciuto rapidamente negli ultimi decennio. In questo campo, la progettazione di protocolli di comunicazione efficienti dal punto di vista energetico è compito fondamentale in quanto la sostituzione della batteria potrebbe non essere fattibile in scenari pratici. Durante il routing i protocolli giocano un ruolo fondamentale nel determinare l'efficienza degli UWSN, solo pochi studi indagare modelli analitici stocastici per la loro analisi quantitativa e ottimizzazione. Nel lavoro proposto in questo capitolo, consideriamo il protocollo di routing DBR [24] , e definire un modello stocastico che ci consenta di derivare numericamente prestazioni importanti indici, come il ritardo end-to-end, il consumo di energia e la probabilità di consegna dei pacchetti bilità, in termini di parametri di configurazione. Il modello tiene conto di fattori peculiari degli UWSN, compreso l'impatto della distribuzione e della mobilità dei nodi e l'elevato perdita di missione del canale acustico. Presentiamo approfondimenti utili nell'impostazione del DBR parametri di configurazione per ottimizzare il trade-off tra probabilità di erogazione, energia consumo e ritardo end-to-end.

5.1. introduzione

Come accennato nei capitoli precedenti, negli ultimi due decenni, le applicazioni subacquee come la gestione dei fondali marini, il rilevamento delle mine marine, il monitoraggio ambientale, ecc ha motivato l'adozione degli UWSN come infrastruttura di comunicazione. Come conseguenza, molti sforzi di ricerca sono stati dedicati allo studio delle loro prestazioni e alla derivazione di linee guida per il loro design. A differenza della maggior parte delle reti wireless terrestri, gli UWSN adottano ampiamente comunicazione acustica come le sue proprietà intrinseche come l'interferenza del segnale basso e grande la copertura di trasmissione lo rende adatto per l'ambiente subacqueo. Come il loro ter-controparti restrial, gli UWSN adottano protocolli di routing multi-hop che mirano a fornire i pacchetti di dati raccolti ai nodi sink in superficie. Il design di questi protocolli di routing cols deve tenere conto del consumo energetico della rete - la sostituzione della batteria lo è considerato non fattibile o proibitivamente costoso - così come per prestazioni comuni in dices come il ritardo end-to-end previsto, la probabilità di consegna del pacchetto e la rete portata.

Tra i protocolli di instradamento per le UWSN, un ruolo importante è svolto dalla localizzazione-protocolli liberi [2]. Sebbene tali protocolli forniscano un'elevata resilienza di rete, ciò può venire a scapito di un notevole consumo energetico causato da pacchetti ridondanti trasmissioni e il problema del terminale nascosto. In questo lavoro, studiamo questo compromesso proponendo e analizzando un modello stocastico per DBR. In particolare, proponiamo un file modello stocastico numericamente trattabile in grado di catturare accuratamente le dinamiche di DBR. Per questo modello, dimostriamo che è possibile calcolare in modo efficiente le principali metriche delle prestazioni compreso il ritardo medio end-to-end, la probabilità di consegna e l'energia attesa consumo. Rispetto alla simulazione, queste misurazioni delle prestazioni possono essere calcolate molto più veloce, il che a sua volta consente di velocizzare la procedura di ottimizzazione per trovare il file configurazione ottimale dell'UWSN. Rispetto al lavoro precedente che affronta il problema di valutare le prestazioni di DBR, questo è il primo modello analitico che prende in considerazione conto distribuzione e mobilità dei nodi, nonché proprietà intrinseche dell'acustica trasmissioni inclusa la perdita di percorso e il tasso di errore di bit. Il modello è convalidato da confrontandone i risultati con le stime ottenute ricorrendo a simulazioni stocastiche.

Struttura del capitolo Il resto di questo capitolo è strutturato come segue. Nel

5. Modellazione stocastica dell'instradamento basato sulla profondità nelle reti di sensori subacquei

discutendo il lavoro correlato e introducendo la motivazione per il modello in esame, in modo spettacolare. La sezione 5.4 presenta quindi il modello stocastico e l'algoritmo numerico per calcolare in modo efficiente le misure chiave delle prestazioni del modello. Nella sezione 5.5, noi illustriamo il nostro approccio con alcuni esempi numerici prima di trarre conclusioni in Sezione 5.6.

5.2. Lavoro correlato

In questa sezione, discutiamo alcuni lavori di ricerca relativi ai risultati che noi descriviamo in questo capitolo. Nell'ultimo decennio, l'analisi delle prestazioni di UWSN e la loro ottimizzazione e controllo hanno attirato l'attenzione di molti ricercatori. Però, la maggior parte degli autori si basa su simulazioni di rete piuttosto che su modelli analitici. In generale, mentre i modelli di simulazione sono molto accurati, ottenere gli indici di performance è molto tempo consumare e la loro adozione per scopi di ottimizzazione può essere molto costoso. Tra i modelli analitici, Guan et al. [64] esaminano l'incertezza spaziale e temporale di un canale acustico subacqueo e sviluppano un modello statistico che viene utilizzato per proporre un nuovo schema MAC distribuito con una strategia di trasmissione ottimizzata. Pignieri et al. [65] propone un modello analitico per i canali nelle reti sottomarine. In questi giornali, né il calcolo del ritardo medio end-to-end e del consumo di energia né il viene considerato l'impatto dei protocolli di instradamento sulle prestazioni delle reti.

Gli UWSN sono diversi per molti aspetti dalle loro controparti terrestri. Per esempio, il consumo di energia è maggiore a causa delle distanze più lunghe che devono essere attraversate e a causa di elaborazione del segnale complessa. Poiché la velocità di comunicazione è uguale alla velocità del suono, il ritardo di propagazione è anche molto superiore alla velocità nelle reti terrestri. Il routing è una parte cruciale di qualsiasi rete e quindi la maggior parte dei lavori recenti negli UWSN si sono concentrati sullo sviluppo di algoritmi di instradamento efficienti. Ayaz et al. [13] fornisce un sondaggio dettagliato sui protocolli di routing utilizzati negli UWSN e li classifica in base alla loro funzionalità. Poiché la mobilità dei nodi influisce in gran parte sulle prestazioni degli UWSN, molti sono stati sviluppati schemi di instradamento basati sulla posizione [17, 66] che mantengono la dimensione completa delle informazioni sulla posizione. Al contrario, DLR necessita solo di informazioni approfondite sui nodi che può essere ottenuto facilmente e con poca energia grazie ai sensori di pressione. Per questo motivo, DBR è ampiamente utilizzato ed è spesso la base della maggior parte del routing e del MAC schemi di distribuzione [67].

Negli UWSN, si noti che gli schemi di localizzazione completi che calcolano la distanza euclidea tra tutti i nodi vicini consumano una notevole energia quanto i dispositivi devono ottenere le informazioni richieste sulle posizioni di questi nodi. Quindi, questi algoritmi sono difficili da attuare nella pratica. Yu et al. [26] propongono una profondità di ponderazione e un Protocollo di instradamento DBR della divisione di area di inoltro che tiene conto della differenza di profondità di due hop: non solo la differenza di profondità del salto corrente, ma anche la differenza di profondità di il prossimo salto previsto. Raggiunge un rapporto di consegna dei pacchetti migliorato mentre affronta il problema di fori di copertura durante la trasmissione verso il livello. Lavoro più recente di Rehman et al. [28] propone un protocollo di instradamento opportunistico cooperativo efficiente dal punto di vista energetico che migliora la durata della rete applicando la logica fuzzy per la selezione del nodo del relé verso il sink di rete. Chao et al. [68] riduce al minimo il numero previsto di trasmissioni per la consegna riuscita di un pacchetto al lavandino. Pochi altri lavori [69, 70, 71] sfruttano la capacità di un nodo, ad esempio, la capacità di muoversi autonomamente per ridurre al minimo il consumo di energia nella rete di sensori distribuita.

5.3. Motivazione e contributo del problema

In questo lavoro, consideriamo lo schema DBR e analizziamo le sue prestazioni attraverso uno stocastico-modello. In contrasto con i precedenti lavori in letteratura, forniamo un algoritmo calcolare in modo efficiente vari indici di performance, inclusa la distribuzione del numero di hop necessari per inviare dal fondo della rete a un nodo di superficie, il livello consumo energetico dipendente e ritardo medio end-to-end. Come spiega il modello per l'impatto del dispiegamento del nodo e l'elevata perdita di trasmissione del canale acustico, può essere utilizzato per comprendere il comportamento di DBR a livello di rete.

Sebbene molti modelli stocastici siano stati proposti e analizzati per studiare il carattere caratteristiche dei canali sottomarini, solo pochi risultati sono disponibili per lo studio e l'ottimizzazione protocolli di instradamento errati degli UWSN. Miriamo a colmare questa lacuna ideando un probabilistico modello per valutare le prestazioni di DBR. I modelli analitici degli UWSN sono importanti strumenti che forniscono informazioni sul comportamento dinamico degli schemi di comunicazione in il fisico, il MAC e gli strati di rete più alti. Il modello qui proposto trova applicazioni pratiche nella progettazione di un UWSN dotato di DBR. Può supportare il lancio di un tale UWSN trovando i parametri di configurazione ottimali senza ricorrere a studi di simulazione costosi in termini di tempo. Pertanto, possiamo riassumere il nostro contributo come segue:

- Proponiamo un modello probabilistico bidimensionale di DBR che ne cattura la chiave caratteristiche, inclusi i ritardi di trasmissione, il canale acustico, la mobilità dei nodi e tempi di attesa basati sulle differenze di profondità.
- Dimostriamo che gli indici di performance chiave possono essere calcolati rapidamente. Inventiamo schemi di calcolo per calcolare la distribuzione hop, la probabilità di consegna, il consumo energetico dipendente dal livello e ritardo end-to-end.
- Per mezzo di un esempio numerico, discutiamo di come dipendono le prestazioni della rete su caratteristiche ambientali come la densità dei nodi e la trasmissione complessiva perdita, dimostrando così che il modello in questione può supportare la progettazione di UWSN.

5.4. DBR e il suo modello stocastico

Ricordiamo brevemente l'attuale DBR e introduciamo un modello stocastico per valutarne le prestazioni.

5.4.1. Riepilogo del routing basato sulla profondità

Tuttavia, abbiamo già discusso l'architettura dettagliata di DBR nella Sezione 3.3 tuttavia, forniamo qui una breve descrizione con l'obiettivo di mantenere il capitolo contenuto il più possibile. DBR [24] è un protocollo di inoltro di pacchetti per UWSN che utilizza le informazioni di profondità per trasmettere le informazioni dai sensori subacquei ai pozzi di dati in superficie. In DBR, ogni nodo ha un sensore di pressione che consente al nodo di stimarne la profondità mentre i nodi sono generalmente inconsapevoli della loro esatta posizione 3D.

Il determinante chiave che decide quale nodo inoltrerà le informazioni è il file differenza di profondità tra il mittente e il nodo ricevente. Più precisamente, quando a il nodo trasmette un pacchetto, include le proprie informazioni di profondità nell'intestazione. Tra i (possibili multipli) nodi che ricevono correttamente il pacchetto, viene deciso il forwarder

5. Modellazione stocastica dell'instradamento basato sulla profondità nelle reti di sensori subacquei

Tabella 5.1 : Elenco delle notazioni utilizzate nel modello

Notazione	Definizione
U	Numero totale di nodi distribuiti nella rete
L	Numero totale di livelli di profondità nella rete per un nodo
Δ_d	Profondità totale della rete
Δ_w	Larghezza totale della rete
M	Numero di posizioni orizzontali su un particolare livello per un nodo
S	Posizione del nodo di origine al livello inferiore della rete
T	Posizione del nodo sink al livello superiore della rete
(i, j)	Ubicazione di un nodo con posizione j a livello i nella rete
b_j	Probabilità che il nodo occupi la posizione j a un particolare livello nella rete
$d_{ij}^{i', j'}$	Distanza euclidea tra i nodi nelle posizioni (i, j) e (i', j')
T_r	Gamma di trasmissione di un nodo
N_{ij}	Insieme di nodi all'interno del raggio di trasmissione del nodo in (i, j)
$p_m(d)$	Probabilità che il pacchetto venga consegnato con successo a distanza d
$P_{ij}^{i', j'}$	Probabilità di accettazione di un pacchetto dalla posizione (i, j) a (i', j')
$h_k(i, j)$	Probabilità che il pacchetto sia accettato in (i, j) in k -hop
$D_P(i, j; i', j')$	Ritardo di propagazione quando il pacchetto viene inviato da (i, j) a (i', j')
$D_H(i, j; i', j')$	Tempo di attesa quando il pacchetto viene inviato da (i, j) a (i', j')
w_{jk}	Ritardo medio della comunicazione k -hop per raggiungere (i, j)
$c_{ij}^{i', j'}$	Consumo energetico medio alla posizione (i', j') da (i, j) nella comunicazione k -hop

secondo due meccanismi. Innanzitutto, viene installata una *soglia di profondità*. Questo è il minimo differenza di profondità che consente a un nodo ricevente di diventare uno spedizioniere idoneo. Secondo, con l'obiettivo di massimizzare la distanza percorsa da un salto, dipendente dalla differenza di profondità viene introdotto il *tempo di attesa*. Cioè, ogni pacchetto da inoltrare viene conservato nel ricevitore nodo per un intervallo di tempo che decresce linearmente con la differenza di profondità tra il mittente (come indicato nell'intestazione del pacchetto) e se stesso. In questo modo, i nodi più vicini al file surface hanno tempi di attesa più brevi e in realtà inoltrano il pacchetto se correttamente ricevere il pacchetto. Una volta che un nodo ascolta una ritrasmissione di un pacchetto memorizzato in la sua *coda di priorità*, rimuove questo pacchetto e annulla il suo tempo di attesa per prevenire trasmissioni ridondanti.

Il tempo di permanenza D_H per una certa differenza di profondità d può essere espresso come segue [24]:

$$D_H(d) = \frac{(2\tau)}{\delta} (T_r - d), \quad (5.1)$$

dove T_r è il massimo raggio di trasmissione di un nodo, τ è la massima propagazione ritardo di un salto, ovvero $\tau = T_r / v_0$ (dove v_0 è la velocità di propagazione del suono in acqua) e δ è un fattore di scala che viene scelto per ottenere prestazioni ottimali della rete e per ridurre al minimo il problema del terminale nascosto. Scegliamo $\delta = T_r / 4$ nel resto in secondo la letteratura [24].

5.4.2. Modello di posizione del nodo

Per motivi di leggibilità, presentiamo un modello per DBR in un ambiente bidimensionale. L'estensione a 3 dimensioni è semplice.

Consideriamo un UWSN con nodi U . Il nodo di destinazione o sink si trova in superficie livello mentre il nodo di origine si trova nella parte inferiore. Pur assumendo posizioni fisse per source e sink, consentiamo il movimento dei nodi che trasmettono le informazioni. Nel

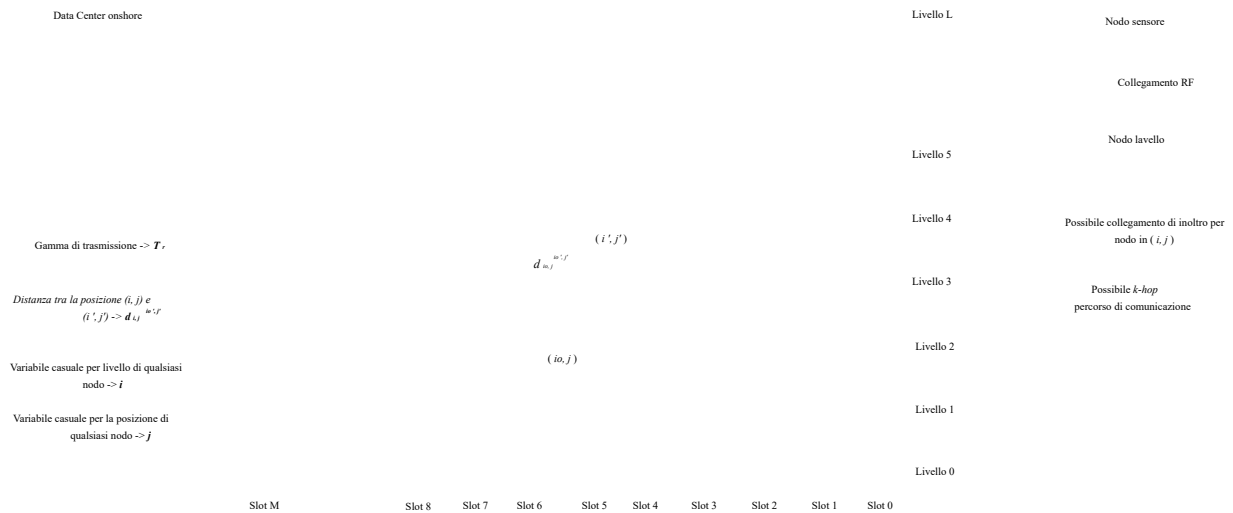


Figura 5.1 .: Progettazione del modello probabilistico per DBR

In particolare, dividiamo la differenza di profondità totale ΔD tra source e sink in $L + 1$ livelli di profondità, il livello 0 è il livello della sorgente e il livello L è il livello del lavandino. Ad ogni livello di profondità è presente un nodo sensore che si sposta casualmente in orizzontale direzione. La Figura 5.1 mostra il progetto del modello probabilistico per DBR.

I nodi possono spostarsi, ma rimangono a un livello di profondità fisso. Per semplificare l'analisi, noi dividere l'intervallo Δw in cui i nodi si muovono orizzontalmente negli slot M con lo stesso length e supponiamo che il nodo si trovi sempre in uno dei limiti dello slot $M + 1$ (che etichettiamo da 0 a M). Si assume la posizione del nodo a ogni livello essere una variabile casuale indipendente. Sia b_j la probabilità in cui si trova il nodo posizione j . Assumiamo qui che la distribuzione della posizione orizzontale del nodo è indipendente dal livello ($j \in \{0, 1, \dots, M\}$). Per facilità di riferimento, arruoliamo il maggiore notazioni del modello in tabella 5.1.

5.4.3. Probabilità di consegna di un nodo

Consideriamo il canale acustico subacqueo descritto in [72]. La perdita del percorso $A(d, f)$ del canale acustico su una distanza euclidea d per un segnale avente frequenza f può essere espresso come:

$$A(d, f) = d^{-s} a(f) d^{-\alpha}.$$

Qui, il fattore di diffusione s descrive la geometria della propagazione; fattore di diffusione $s = 2$ corrisponde allo spargimento sferico e $s = 1$ allo spargimento cilindrico. L'assorbimento il coefficiente di azione $a(f)$ dipende dalla frequenza ed è espresso in dB / km utilizzando quelli di Thorp formula sperimentale, vedere [60].

Possiamo quindi esprimere il rapporto segnale / rumore medio sulla distanza d in termini di la perdita di percorso:

$$\Gamma(d) = \frac{e_b}{N_0 A(d, f)} = \frac{e_b}{N_0 d^s a(f) d^{-\alpha}}.$$

5. Modellazione stocastica dell'instradamento basato sulla profondità nelle reti di sensori subacquei

Qui, e_b è l'energia di trasmissione media per bit e N_0 è la densità di potenza del rumore del canale di rumore gaussiano bianco additivo. Assumiamo la codifica binaria di sfasamento tecnica di modulazione ampiamente utilizzata nei modem acustici [73]. In accordo con [27], la probabilità di errore del bit sulla distanza d può essere espressa come:

$$q_e(d) = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \Gamma(d)} \right).$$

$$2 \quad 1 + \Gamma(d)$$

Per un pacchetto di dati con m bit, la probabilità che il pacchetto venga consegnato con successo su una distanza d è quindi uguale:

$$p_m(d) = (1 - q_e(d))^m.$$

Per facilità di notazione, introduciamo una notazione per la distanza euclidea tra i nodi.

Sia $d_{ij}^{i',j'}$ rappresentano la distanza tra i nodi (i, j) e (i', j') ,

$$d_{ij}^{i',j'} = \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{L}\right)^2 (i - i')^2 + \left(\frac{\Delta W}{M}\right)^2 (j - j')^2}.$$

Inoltre, sia $N_{ij} = \{(i', j') : d_{ij}^{i',j'} \leq T_r\}$ essere l'insieme di nodi nel raggio di trasmissione di nodo (i, j) .

In DBR, un pacchetto è accettato da un nodo in posizione (i', j') se (i) nodo (i', j') è nella raggio di trasmissione del nodo mittente (i, j) , (ii) nodo (i', j') riceve con successo il pacchetto e (iii) tutti i nodi situati in N_{ij} che sono sopra (i', j') non accettano il pacchetto. Permettere $P_{ij}^{i',j'}$ denotano la probabilità che un pacchetto di dati venga ricevuto con successo a (i', j') quando viene inviato da (i, j) , abbiamo quindi,

$$P_{ij}^{i',j'} = b_j \cdot p_m \left(d_{ij}^{i',j'} \right)^L \prod_{\ell=i'+1}^L (1 - Q(\ell; i, j)),$$

per $(i', j') \in N_{ij}$ e dove $Q(\ell; i, j)$ è la probabilità che il pacchetto sia consegnato al livello ℓ ,

$$Q(\ell; i, j) = \sum_{k=0}^M b_k p_m \left(d_{ij}^{\ell k} \right) 1_{\{(\ell, k) \in N_{ij}\}}.$$

Qui $1_{\{\cdot\}}$ denota la funzione indicatore che è uguale a 1 se il suo argomento è vero e 0 se il suo argomento è falso. In altre parole, la somma di cui sopra include solo i nodi all'interno di raggio di trasmissione del nodo alla posizione (i, j) .

5.4.4. Analisi della comunicazione k-hop

Ci concentriamo ora sul numero di salti necessari affinché i dati vengano consegnati correttamente dalla sorgente al pozzo. Per prima cosa calcoliamo la probabilità che qualsiasi nodo nella rete raccoglie il pacchetto di dati dalla sorgente in un balzo. Chiaramente nodi situati in un immediato Il livello superiore della sorgente avrà zero probabilità di ricevere i dati in uno o più hop, poiché è possibile solo la comunicazione diretta. Sia S la posizione della sorgente al livello inferiore e T è la posizione del lavandino a livello della superficie della rete. Permettere

54

5.4. DBR e il suo modello stocastico

$h_k(i, j)$ rappresentano la probabilità che i dati siano accettati a (i, j) in k salti. Il one-hop la probabilità può essere scritta come:

$$h_1(i, j) = \sum_{i_0'=1}^{i_0-1} \sum_{j_0'=1}^M P_{i_0'j_0'}^{ij} P_{i_0'j_0'}^{i',j'}.$$

Nota che i termini nella somma sono solo diversi da zero per $(i', j') \in N_{i_0'j_0'} \cup N_{ij}$. Inoltre, noi assumiamo qui che la posizione dei nodi (ai diversi livelli) possa essere modellata da un variabile casuale indipendente per ogni trasmissione.

Allo stesso modo, la probabilità di consegna in due salti può essere scritta come:

$$h_2(i, j) = \sum_{i_0'=1}^{i-1} \sum_{j_0'=1}^M P_{i_0'j_0'}^{ij} h_1(i_0', j_0'),$$

mentre la probabilità di consegna della comunicazione k hop può essere scritta per induzione come:

$$h_k(i, j) = \sum_{i_0'=1}^{i-1} \sum_{j_0'=1}^M P_{i_0'j_0'}^{ij} h_{k-1}(i_0', j_0'). \quad (5.2)$$

Dati i valori $h_k(i, j)$, ora possiamo facilmente esprimere la probabilità di consegna al sink. Infatti, il pacchetto raggiunge il sink se viene consegnato in un numero qualsiasi di hop,

$$\bar{h} = \sum_{k=0}^L h_k(L, T).$$

5.4.5. Calcolo del ritardo medio end-to-end

La velocità di propagazione del segnale acustico in acqua è $v_0 = 1500$ m / s che è molto inferiore a quello dei segnali terrestri basati sulla radiofrequenza. Quindi, la propagazione il ritardo è significativo in UWSN e può avere un impatto considerevole sulle prestazioni di il sistema. Oltre al ritardo di propagazione, dobbiamo anche tenere conto dell'effetto di tempi di attesa che dipendono dalla differenza di profondità tra i nodi di invio e di ricezione. Siano $D_P(i, j; i', j')$ e $D_H(i, j; i', j')$ denotano i ritardi di propagazione e di mantenimento quando il pacchetto viene inviato da (i, j) a (i', j') , quindi:

$$D_P(i_0, j; i', j') = \frac{d_{ij}^{i'j'}}{v_0}, \quad (5.3)$$

e:

$$D_H(i_0, j; i', j') = \frac{2\tau}{\delta} \left(T_r - \frac{\Delta D}{L} (i_0' - i) \right), \quad (5.4)$$

per $i' > i$ e (i', j') (L, T). Inoltre, $D_H(i, j; L, T) = 0$, poiché non c'è tempo di mantenimento al lavandino.

Per trovare il ritardo medio, è necessario esplorare ogni possibile percorso della rete. A tal fine, sia $W_{i,j}$ indicano il tempo di attesa per un pacchetto di portata (i, j) e lasciate $H_{i,j}$ denotano il numero di salti necessari. Calcoliamo ora i ritardi medi w_k $_{ij}$, dato che ci vuole k salti per raggiungere (i, j) ,

$$w_{ij}^k = E [W_{i,j} | \{H_{i,j} = k\}].$$

55

Pagina 69

5. Modellazione stocastica dell'instradamento basato sulla profondità nelle reti di sensori subacquei

Usiamo ancora uno schema ricorsivo, simile a quello per i calcoli del ritardo, per il calcolo lating la probabilità di accettazione per i pacchetti di dati in k salti. Per iniziare, ne troviamo uno comunicazione del luppolo,

$$w_{ij}^1 = \sum_{i_0'=1}^{i-1} \sum_{j_0'=0}^M \left(D_H(0, S; i', j') + D_P(0, S; i', j') + D_H(i', j'; i, j) + D_P(i, j; i', j') \right) P_{0S}^{i'j'} P_{i'j'}^{ij},$$

Per calcolare w_k $_{ij}$ per $k > 1$, condizioniamo la posizione dell'ultimo salto. Cioè, per raggiungere (i, j) in k salti, dobbiamo raggiungere alcuni (i', j') in k - 1 salti, e poi raggiungere (i, j) direttamente comunicazione. Il tempo di attesa è quindi la somma del tempo di attesa per raggiungere (i', j') e i tempi di trasmissione e di mantenimento per raggiungere (i, j) da (i', j') ,

$$w_{ij}^k = \sum_{i_0'=1}^{i-1} \sum_{j_0'=0}^M \left(w_{i'j'}^{k-1} + D_H(i', j'; i_0, j) + D_P(i_0, j; i', j') + D_H(i', j'; i, j) + D_P(i, j; i', j') \right) P_{i_0j_0'}^{i'j'} P_{i'j'}^{ij}. \quad (5.5)$$

Infine, possiamo calcolare il tempo medio di attesa end-to-end, condizionato al pacchetto raggiungendo il sink, sommando il numero di salti necessari per raggiungere (L , T), e dividendo per la probabilità che il pacchetto raggiunga il sink,

$$\bar{W} = \frac{1}{h} \sum_{k=0}^L w_{kT}.$$

5.4.6. Consumo di energia

Al fine di studiare il consumo di energia previsto nella rete, abbiamo ricorsivamente calcolato il consumo di energia per tutte le posizioni dei nodi nella rete da trasmettere a un nodo particolare in un numero fisso di salti. Più precisamente, sia $C_{ij}(i', j')$ l'energia consumata in posizione (i', j') per la trasmissione dalla sorgente al nodo (i, j) e sia $H_{i,j}$ denotiamo il numero di salti da trasmettere al nodo (i, j) come prima, quindi studiamo la media consumo energetico dato il numero di luppoli,

$$c_{ij}^K(i', j') = E[C_{ij}(i', j') | H_{i,j} = K].$$

Nota che $c_{ij}^K(i', j') = 0$ per $i \leq i'$ poiché i nodi sopra (i, j) non possono inoltrare a (i, j) . Per iniziare con una comunicazione one hop, abbiamo

$$c_{ij}^1(i', j') = \gamma P_{ij}^{i', j'}.$$

Qui γ indica la quantità di energia che una singola trasmissione richiede. Cioè, $C_{ij}(i', j') = \gamma$ se il singolo salto di inoltra è in posizione (i', j') e $C_{ij}(i', j') = 0$ se non è così.

Calcoliamo ulteriormente i valori $c_{ij}^K(i', j')$ per $K > 0$ ricorsivamente. C'è il consumo di energia alla posizione (i', j') se viene raggiunta in $K - 1$ salti, seguita da comunicazione diretta, o se (i', j') fa parte di un $(K - 1)$ percorso di salto verso qualche nodo intermedio (sopra il livello i'), da quale (i, j) viene raggiunto. Abbiamo:

$$c_{ij}^K(i', j') = \gamma h_K(i', j') P_{ij}^{i', j'} + \sum_{\ell=i'+1}^{i'-1} \sum_{m=0}^M c_{\ell m}^{K-1}(i', j') P_{\ell m}^{i', j'}. \quad (5.6)$$

56

5.5. Risultati numerici

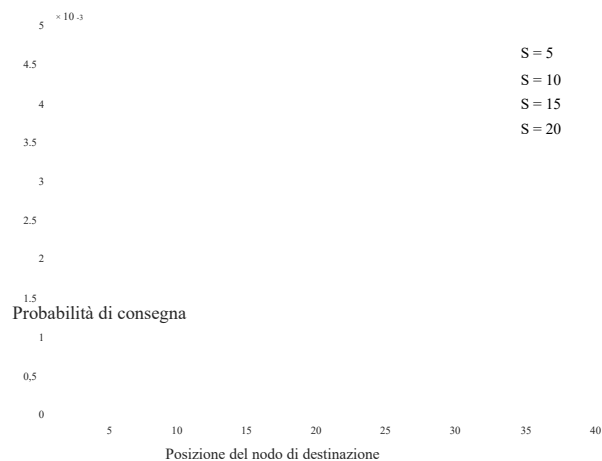


Figura 5.2 : Probabilità di consegna per la trasmissione diretta dalla sorgente al pozzo per diversi posizioni della destinazione

Possiamo finalmente calcolare il consumo di energia a ogni livello della rete, per

sommando il numero di salti per raggiungere la destinazione e sommando il posizioni diverse allo stesso livello,

$$c(i) = \sum_{k=0}^L \sum_{m=0}^M c_{LT}^K \text{ (io sono) } .$$

5.5. Risultati numerici

In questa sezione, studiamo numericamente le diverse misure delle prestazioni del modello in mano. Assumiamo che la profondità totale della rete sia $\Delta D = 500\text{m}$ con $L = 50$ profondità livelli. Notare che c'è un solo nodo sensore per ogni livello di profondità, il che significa che ce ne sono 50 nodi nella rete. Manteniamo i valori dei parametri numerici in linea con il valori in [24]: poniamo $s = 2$, $v_0 = 1500 \text{ m/s}$, $\delta = T_r / 4$ e $\tau = T_r / v_0$. Infine, assumiamo pacchetti di dati di 50 byte. Questi valori dei parametri vengono utilizzati in tutti i grafici.

5.5.1. Probabilità di consegna

Per prima cosa esaminiamo le probabilità di consegna per la comunicazione diretta. Lo assumiamo ogni nodo può spostarsi orizzontalmente in $M = 50$ posizioni in un intervallo di $\Delta w = 500 \text{ m}$, ogni posizione è ugualmente probabile. Scegliamo inoltre l'energia di trasmissione in modo tale $e_b / N_0 = 57\text{dB}$, e supponiamo che il raggio di trasmissione sia limitato solo dalla trasmissione errori ($T_r = \infty$). La Fig. 5.2 mostra la probabilità di consegna tramite una trasmissione diretta dal sorgente a un nodo al livello 10 rispetto alla posizione di questo nodo per diverse posizioni sorgente S come indicato. La distanza più breve tra sorgente e pozzo si ottiene se entrambi sono allineati, che porta anche alla massima probabilità di consegna.

La Fig. 5.3 mostra la stessa probabilità di consegna, ma ora fissiamo la posizione della destinazione nodo a 10 e variare il suo livello di profondità. Anche in questo caso, vengono assunte diverse posizioni S della sorgente come indicato. Esiste un livello di profondità ottimale esplicito: all'inizio la probabilità di consegna

57

5. Modellazione stocastica dell'instradamento basato sulla profondità nelle reti di sensori subacquei

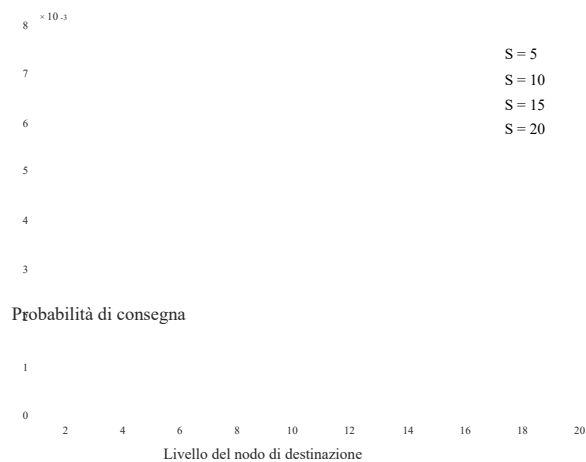


Figura 5.3.: Probabilità di consegna per trasmissione diretta dalla sorgente al pozzo per diversi livelli di destinazione

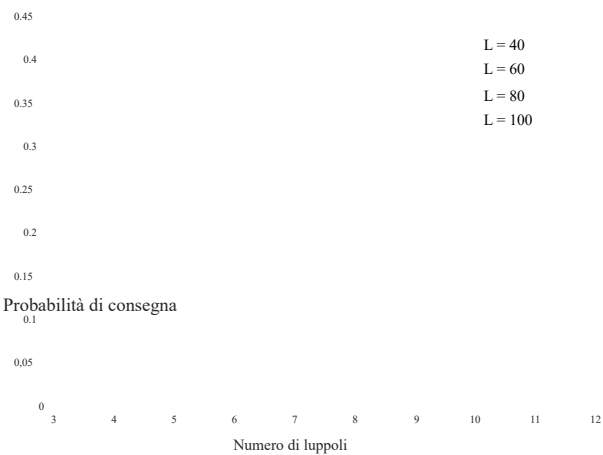


Figura 5.4 .: Probabilità di consegna per un diverso numero totale di livelli di profondità

58

5.5. Risultati numerici

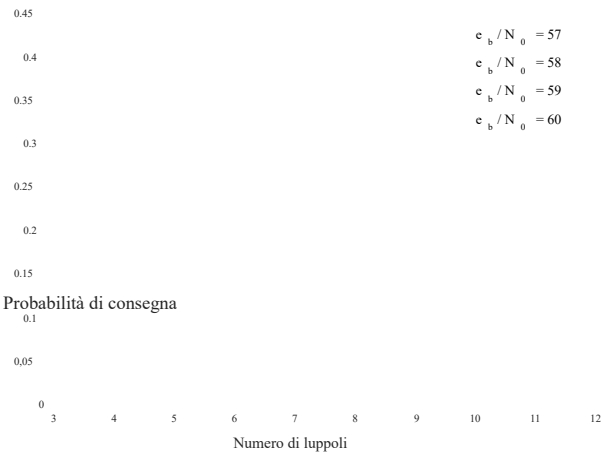


Figura 5.5 .: Probabilità di consegna per diversi e_b / N_0

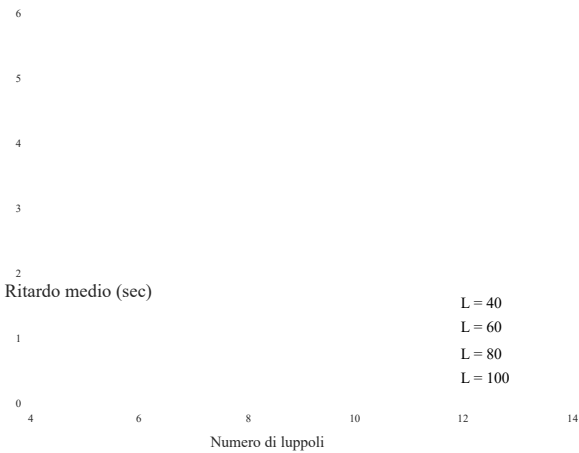


Figura 5.6 .: Ritardo medio per diversi livelli di profondità totali (sec)

5. Modellazione stocastica dell'instradamento basato sulla profondità nelle reti di sensori subacquei

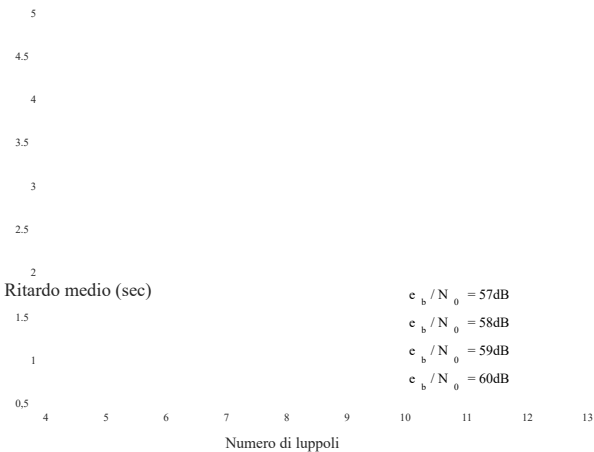


Figura 5.7 .: Ritardo medio per diversi c_b / N_0 (sec)

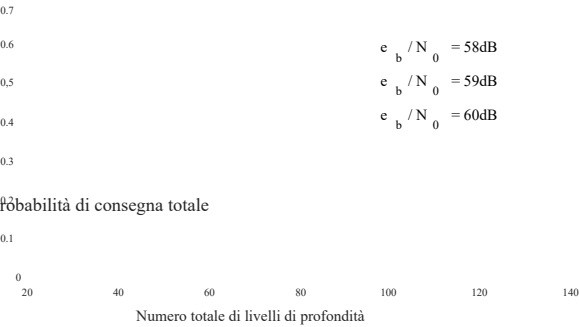


Figura 5.8 .: Probabilità di consegna totale

60

5.5. Risultati numerici

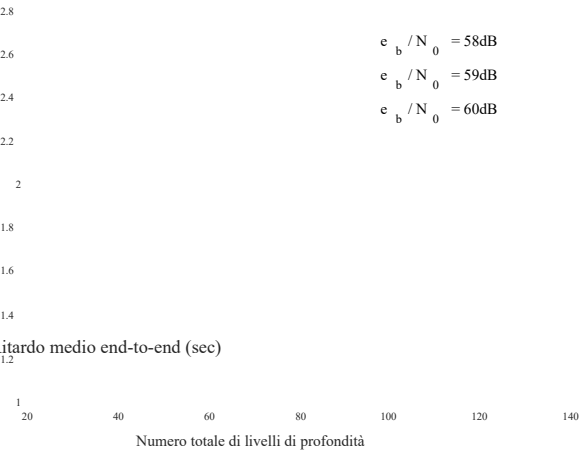


Figura 5.9 .: Ritardo medio end-to-end (sec)



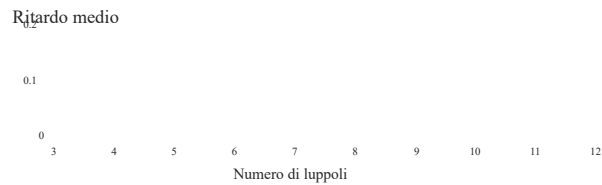


Figura 5.10.: Ritardo medio (sec)

Pagina 75

5. Modellazione stocastica dell'instradamento basato sulla profondità nelle reti di sensori subacquei

è piccolo in quanto è probabile che il pacchetto venga consegnato a nodi superiori. La consegna la probabilità quindi aumenta prima con il livello di profondità. Tuttavia, se il livello di profondità è già alta, la possibilità di trasmettere con successo è bassa. Da qui la probabilità di consegna diminuisce con l'aumentare dei livelli di profondità.

Per i grafici rimanenti, assumiamo che il nodo possa spostarsi in $M = 15$ slot che si estendono una portata $\Delta w = 150$ m. Impostiamo la portata di trasmissione a un quinto della portata totale di rete cioè, $T_r = \Delta D / 5 = 100$ m e fissa la posizione della sorgente e del pozzo: $S = T = 10$.

Ci concentriamo ora sul numero di hop necessari per la consegna dei dati al sink.

Si noti che il numero di salti non può superare il numero di livelli di profondità. La Fig. 5.4 e la Fig. 5.5 mostrano la massa di probabilità funzione del numero di salti necessari per consegnare il pacchetto dalla sorgente al sink. In 5.4, descriviamo la funzione massa di probabilità per reti con diversi livelli L . In 5.5, noi rappresentiamo la funzione massa di probabilità per diverse potenze di trasmissione e b/N_0 .

Dalle cifre possiamo osservare che la probabilità di consegna è zero per i primi 4 salti che non è sorprendente in quanto il raggio di trasmissione è di 100 m. Inoltre, la maggior parte dei file la massa di probabilità è compresa tra 5 e 9 salti, che è di nuovo in linea con la trasmissione gamma. Infine, si è visto che la comunicazione end-to-end con un minor numero di hop è più probabile se ci sono più nodi (cioè aumentando L , vedi Fig. 5.4), o se la potenza di trasmissione aumenta (vedi Fig. 5.5).

5.5.2. Ritardo end-to-end medio

La Fig. 5.6 mostra il ritardo medio condizionato al numero di salti richiesti per i dati per raggiungere il lavandino. In questa figura, fissiamo b/N_0 a 57 dB e mostriamo il ritardo medio per diverso numero di livelli di profondità L tra la sorgente e il lavandino. D'altro canto, La Fig. 5.7 fissa il numero di livelli di profondità a $L = 50$ e varia la potenza di trasmissione come indicato. Si vede subito che il ritardo condizionale end-to-end cresce in modo quasi lineare con il numero di salti, ed è in gran parte insensibile ai cambiamenti nella potenza di trasmissione e il numero di livelli di profondità. Questo non è del tutto inaspettato come lo è il ritardo end-to-end in gran parte dominata dai tempi di permanenza ai nodi.

In Fig. 5.8 e Fig. 5.9, rappresentiamo la probabilità di consegna al pozzo e il corrispondente ritardo medio end-to-end di s_{cond} (condizionato al fatto che il pacchetto raggiunga il sink). Di nuovo impostare la profondità totale su $\Delta D = 500$ m e variare il numero di livelli di profondità. Mentre fissiamo il totale profondità, aumentando il numero di livelli significa che la differenza di profondità tra adiacente i livelli diminuiscono. La Fig. 5.8 mostra fondamentalmente la probabilità di consegna al sink rispetto al numero di livelli di profondità per diversi b/N_0 come indicato. Si può vedere dalla figura che il file la probabilità di consegna totale in generale aumenta all'aumentare del numero di livelli di profondità. Questo è previsto man mano che aggiungiamo sensori aggiuntivi, rendendo meno probabile che il pacchetto venga perso. Tuttavia, la curva non è monotona in aumento, il che può essere spiegato dall'interazione tra i livelli di profondità e il raggio di trasmissione fisso T_r . La Fig. 5.9 mostra che il file il ritardo medio end-to-end diminuisce all'aumentare del numero di livelli di profondità. Inoltre,

mentre la probabilità di consegna aumenta con c_b / N_0 , ha l'effetto opposto sulla media ritardo end-to-end.

Nella Fig. 5.10, studiamo l'effetto del parametro di scala δ sul ritardo medio. Il parametro δ è fondamentale per i tempi di mantenimento. Un δ maggiore implica tempi di attesa più brevi per ciascuno nodo intermedio e quindi riduce il ritardo medio. Questa cifra rappresenta effettivamente la media ritardo end-to-end, condizionato al numero di salti. Come notato in precedenza, il file end-to-end il ritardo cresce in modo approssimativamente lineare con il numero di salti. Ora può essere visto chiaramente

62

5.5. Risultati numerici

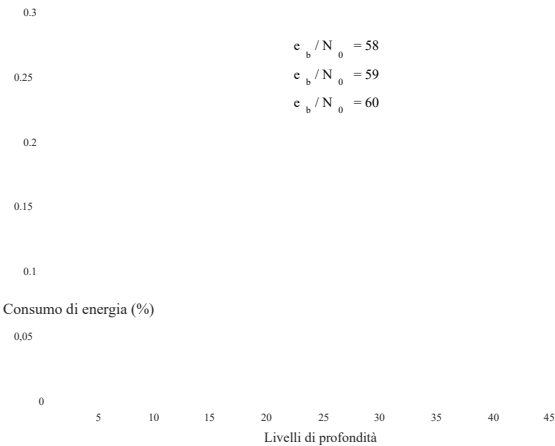


Figura 5.11 .: Consumo energetico (joule)

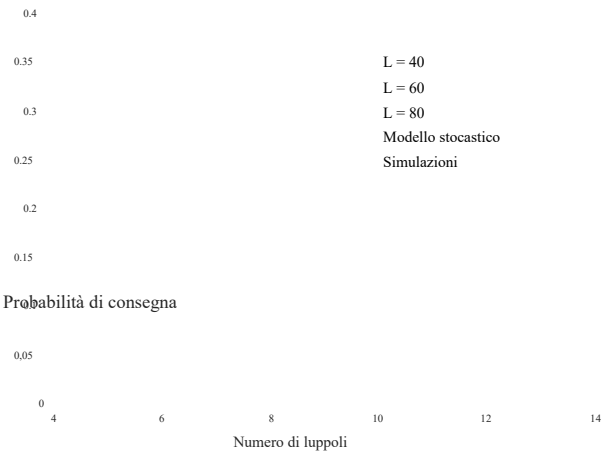


Figura 5.12 .: Confronto tra modello stocastico e simulazione Monte-Carlo per tribuzione

5. Modellazione stocastica dell'instradamento basato sulla profondità nelle reti di sensori subacquee

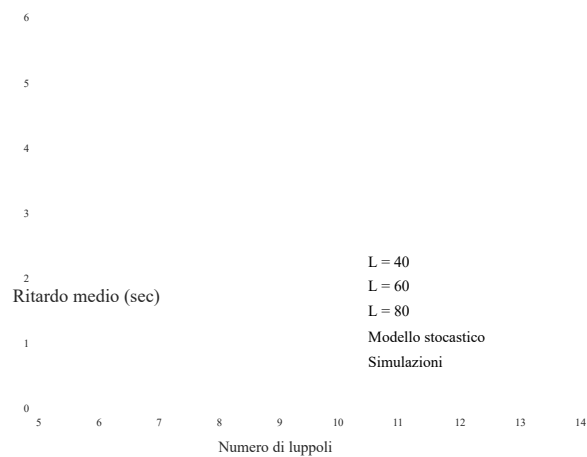


Figura 5.13 .: Confronto tra modello stocastico e simulazione Monte-Carlo per il ritardo medio (sec)

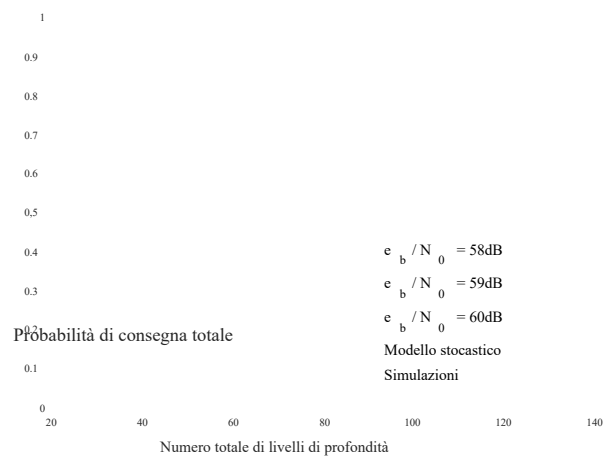


Figura 5.14 .: Confronto tra modello stocastico e simulazione Monte-Carlo per Total de-probabilità di livrea

5.5. Risultati numerici

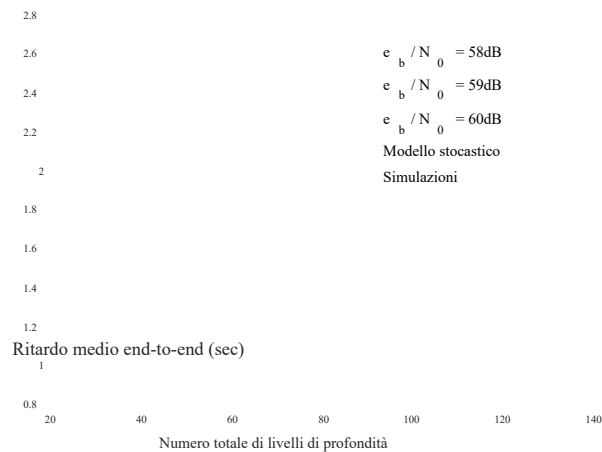


Figura 5.15.: Confronto tra modello stocastico e simulazione Monte-Carlo per Mean end-to-end ritardo alla fine (sec)

che la pendenza del ritardo condizionale end-to-end dipende da δ .

5.5.3. Consumo di energia

Infine, la Fig. 5.11 mostra il consumo di energia ai diversi livelli di profondità della Rete. Assumiamo che la quantità di energia per una trasmissione sia $\gamma = 1$, tale che il grafico descrive il numero medio di volte in cui i nodi di ogni livello partecipano alla trasmissione. Idealmente, si mira a un dispendio energetico uniforme in modo tale che la durata di tutti i nodi è approssimativamente uguale. È comunque chiaro dalla figura che l'energia il consumo a livelli prossimi sia alla fonte che al pozzo è maggiore rispetto all'energia consumo da parte dei nodi al centro della rete. Ciò suggerisce che è utile aumentare la densità dei nodi vicino al pozzo e alla sorgente.

5.5.4. Validazione del modello tramite simulazione

Valutiamo ora le prestazioni del modello tramite simulazioni e confrontiamo il file risultati della simulazione con il modello stocastico. Manteniamo la stessa dimensione della rete: a profondità di 500 m e una larghezza di 150 m. Ad ogni iterazione, distribuiamo in modo casuale un nodo in ogni livello di profondità, disegnando la posizione da una distribuzione uniforme. Le posizioni dei nodi cambiano da un'iterazione all'iterazione successiva. Il numero di posizioni disponibili che un nodo può assumere ad un particolare livello di profondità sono fissati a $M = 15$ in accordo con il modello stocastico. Sebbene la sorgente e il sink possano essere posizionati casualmente in basso e rispettivamente a livello di superficie della rete, li posizioniamo in una posizione 10 per coerenza nell'esperimento. Tutti gli altri parametri di rete sono simili a quelli nel modello stocastico. La Fig. 5.12 mostra il confronto della distribuzione del luppolo come mostra la Fig. 5.13 il confronto del ritardo medio per il diverso numero di nodi distribuiti nella rete. Inoltre, la Fig. 5.14 mostra la probabilità di consegna totale e la Fig. 5.15 mostra il ritardo end-to-end per entrambi i modelli. Si può vedere dalla figura che quella differenza tra i risultati delle simulazioni e il modello analitico è trascurabile.

5. Modellazione stocastica dell'instradamento basato sulla profondità nelle reti di sensori subacquei

Per confrontare l'efficienza del modello analitico e del modello di simulazione, confrontiamo ridurre la loro complessità temporale. Per il modello stocastico, la maggior parte del tempo viene speso su calcolo della probabilità di consegna e distribuzioni di luppolo. Nella peggiore delle ipotesi, la complessità temporale del modello stocastico è $O(L^3 M^2)$, dove L è il numero di profondità livelli nella rete e M è il numero di posizioni che un nodo può assumere orizzontalmente. Per le simulazioni Monte-Carlo, simuliamo solo le posizioni dei nodi, e poi calcolare le misure di performance con un approccio analitico per ridurre la varianza del Simulazione Monte-Carlo, vedere ad esempio [74]. Quindi, la complessità temporale di una singola iterazione è $O(L^3)$, che corrisponde alla complessità del modello stocastico con $M = 1$ (come il i nodi sono in una posizione fissa in ogni iterazione). Per M moderato, il numero di campioni necessari nelle simulazioni Monte Carlo superano notevolmente M^2 , il che implica che il modello stocastico possa calcolare le varie misure di performance più velocemente.

5.6. Osservazioni conclusive

In questo capitolo abbiamo proposto un modello stocastico numericamente trattabile per il valutazione formativa del DBR. Nello specifico, abbiamo considerato quattro indici di performance: la distribuzione del luppolo, la probabilità di consegna del pacchetto, il consumo energetico atteso e il previsto ritardo end-to-end. Il modello è stato validato confrontando il indici di performance media ottenuti dalla sua analisi con le stime ottenute da a simulazione stocastica. Con un esempio numerico, abbiamo illustrato che il nostro modello può essere utilizzato per valutare l'impatto di vari parametri di configurazione della rete (ad es. potenza di missione e fattore di scala δ definito da DBR) su questi indici. La nostra analisi ha dimostrato che il numero di salti nel percorso può influenzare notevolmente le prestazioni di il protocollo. Il modello proposto può essere ulteriormente utilizzato per scopi di ottimizzazione dati lo sforzo computazionale limitato richiesto, rispetto alla rete di sensori sottomarini simulazioni.

6

Sull'ottimalità del routing opportunistico Protocolli per reti di sensori subacquei

67

Pagina 81

6. Sull'ottimizzazione dei protocolli di instradamento opportunistici per reti di sensori subacquei

Nel capitolo precedente, abbiamo discusso un modello di prestazioni di UWSN equipaggiate con DBR con l'obiettivo di valutare l'impatto del raggio di trasmissione su un insieme di indici di performance ora, ci concentriamo su un altro parametro che caratterizza l'implementazione di DBR: la soglia di profondità. In questo capitolo, facciamo un passo importante da coprire

questo divario. Studiamo un'astrazione di un protocollo di instradamento opportunistico e ne deriviamo condizioni di lavoro temporali basate sulle caratteristiche della rete. Nello specifico, lo dimostriamo utilizzando una *soglia di profondità*, ovvero la lunghezza minima di un salto di trasmissione verso la superficie, è fondamentale per l'ottimizzazione dei protocolli opportunistici e diamo un metodo numerico per calcolarlo. Inoltre, dimostriamo che esiste una soglia di profondità critica al di sopra della quale nessun pacchetto può essere trasmesso con successo ai sink di superficie nelle reti di grandi dimensioni, che evidenzia ulteriormente l'importanza di configurare correttamente il protocollo di routing. Noi discutiamo le implicazioni dei nostri risultati e convalidarli mediante simulazioni stocastiche su NS3.

6.1. introduzione

Come discusso nei capitoli precedenti, gli UWSN pongono diverse sfide di ricerca dovute a le loro caratteristiche peculiari: i) la bassa velocità di trasmissione dati e la bassa velocità di propagazione dovuta a l'adozione della trasmissione acustica, ii) l'elevata mobilità dei nodi, iii) la limitata capacità della batteria dei granuli e difficoltà nel sostituirli o ricaricarli. Accanto comprendere le caratteristiche dello strato fisico che sono molto diverse da quelle delle reti terrestri tradizionali basate sulla radiofrequenza (vedere ad esempio [15, 72, 60]), la progettazione di protocolli di instradamento efficienti e affidabili sono fondamentali per lo sviluppo di queste reti. Per in una certa misura, i protocolli di instradamento ideati per gli UWSN ereditano alcune delle caratteristiche di quelli sviluppati per le reti veicolari, soprattutto per quelle di cui i nodi non sono a conoscenza della loro posizione. Negli UWSN che consideriamo, l'obiettivo del routing è trovare un multi-hop route da qualsiasi granello sottomarino alle boe che galleggiano in superficie (vedi Figura 6.1). Mentre i protocolli di routing basati sul flooding come il noto AODV [11] non può essere adottato a causa dell'elevata variabilità delle posizioni dei nodi, negli UWSN abbiamo il vantaggio che i granuli possono facilmente stimare la loro profondità grazie alla pressione a bordo sensori. Pertanto, la maggior parte dei protocolli mira a elaborare una strategia di allagamento controllato (si veda, ad esempio, [13] e i riferimenti ivi contenuti) con l'obiettivo di coprire il più lungo distanza con un salto e riducendo il consumo energetico totale della rete.

I protocolli di instradamento basati sulla profondità per gli UWSN sono classificati in *basati sul destinatario* e *sul mittente* basati [2]. (Vedi anche [13] per una discussione più dettagliata). I protocolli basati sul destinatario decidono se un salto è necessario basandosi su alcuni fattori tra cui la profondità della differenza tra se stesso e il mittente di solito gioca il ruolo principale (altri fattori possono essere l'energia residua in una batteria). Gli algoritmi basati sul mittente, d'altra parte, sono di più difficile da implementare e richiede che il nodo mittente specifichi quali nodi vicini lo faranno essere lo spedizioniere. In questo capitolo ci concentreremo sugli algoritmi di instradamento basati sul ricevitore e supponiamo che l'unico fattore che viene utilizzato per decidere l'inoltro sia la differenza di profondità tra il mittente e il destinatario. Questo è il caso di molti protocolli, incluso DBR che è ancora uno dei protocolli maggiormente utilizzati nelle implementazioni effettive di UWSN ed è adottato come benchmark per la valutazione delle prestazioni di nuovi protocolli di routing (vedere, ad esempio, [13, 46]).

68

Sonobuoys

Superficie dell'oceano

Granello subacqueo

Figura 6.1.: Schizzo di una UWSN.

6.2. Lavoro correlato

Nella letteratura recente sulle reti sottomarine, i protocolli di instradamento opportunistici hanno sono stati un argomento di primaria importanza in quanto sono in grado di gestire un'elevata mobilità dei nodi. Però, mentre reagiscono rapidamente ai continui cambiamenti dei percorsi verso la superficie pozzì, i protocolli opportunistici possono consumare abbastanza energia. Pertanto, l'ottimale la configurazione dei protocolli di instradamento opportunistici date le caratteristiche della rete è ampiamente diffusa riconosciuto come un argomento di ricerca di importanza cruciale. Questo obiettivo può essere raggiunto sia da modellazione analitica, possibilmente utilizzando descrizioni formali del sistema come in [75, 76, 77] o per simulazione. Coutinho et al. [2, 10] forniscono una rassegna dettagliata di opportunistica protocolli di routing e classificarli sulla base dei loro meccanismi di inoltro. Essi suggeriscono anche alcune importanti linee guida di progettazione per gli schemi di instradamento distribuito. Il evidenzia la classificazione dei protocolli basati sul mittente, sul destinatario e sul tempo di attesa la loro importanza e idoneità nel contesto delle varie condizioni subacquee.

In [78] gli autori propongono un modello stocastico per valutare il consumo energetico totale e il ritardo end-to-end di un UWSN in condizioni ideali, comunque il modello lo consideri propagazione cilindrica invece della più comune sferica che usiamo qui. A Pigneri et al. [38] gli autori focalizzano la loro attenzione sull'impatto delle interferenze sulla rete prestazione. Rispetto al nostro lavoro, il modello analitico che propongono non considerare l'implementazione del protocollo di routing multi-hop.

Zhou et al. [22] propongono un modello di comunicazione multipath per UWSN in cui essi calcolare il numero di possibili percorsi per la trasmissione tra il nodo sorgente e il file Lavello. In questo modello, identificano il consumo energetico ottimale per il singolo pacchetto delivery, partendo dal presupposto che un nodo conosca alcuni parametri di rete come lunghezza del percorso e numero di percorsi disponibili. Questo può essere difficile da ottenere nella realtà implementazioni dovute alla mobilità del nodo.

Oltre agli UWSN, sono stati ideati modelli analitici anche nell'area dei veicoli reti per ottimizzare le prestazioni dei protocolli di instradamento opportunistico. Probabilmente il il lavoro più vicino a quello che proponiamo qui è [35]. Gli autori forniscono un argomento qualitativo sull'ottimalità dell'algoritmo di instradamento basato sulla soglia per le reti terrestri

69

6. Sull'ottimizzazione dei protocolli di instradamento opportunistici per reti di sensori subacquei

una linea. Le ipotesi di utilizzo sono più rigorose di quelle qui considerate, e il mono-dimensionalità dello scenario non consente di estendere banalmente il risultato. In effetti, in [35] gli spedizionieri idonei dispongono di informazioni complete sulla distanza con il nodo di origine, mentre nel nostro caso conoscono solo una delle tre componenti (quella verticale, cioè il differenza di profondità) del vettore tridimensionale che rappresenta le loro posizioni relative.

Oltre a questi lavori, molti altri articoli (vedere, ad esempio, [50, 1, 46, 2] affrontano il problema lem di valutazione delle prestazioni e ottimizzazione del protocollo UWSN mediante simulazione stocastica. Sfortunatamente, la simulazione di reti di grandi dimensioni può richiedere molto tempo sommando e rende molto difficile la loro ottimizzazione soprattutto perché i parametri dipendono su diverse caratteristiche delle reti come la densità dei nodi, la frequenza di trasmissione quency, la codifica utilizzata, solo per citarne alcuni.

6.3. Contributi

In questa sezione riassumiamo i principali risultati presentati in questo capitolo. Supporre che un nodo con differenza di profondità x dal mittente riceve correttamente un pacchetto e lascia $p(x)$ essere la probabilità che lo inoltri nella direzione della superficie. In questo scenario, il nostro contributo come segue:

- Il primo problema che affrontiamo è la derivazione dell'ottimo condizionato $p(x)$ sul numero previsto di spedizionieri v . Avere più di 1 spedizionario previsto può essere utile per creare percorsi ridondanti in superficie e per aumentare il pacchetto rapporto di consegna. La nostra prima scoperta è che la forma ottimale di $p(x)$ è basata sulla soglia, cioè, $p(x) = 1$ se la differenza di profondità è al di sopra di una certa soglia e $p(x) = 0$ altrimenti. Questo risultato è valido per ipotesi molto lievi sulla topologia di rete, poiché richiediamo solo la stazionarietà del processo puntuale che modella le posizioni dei nodi.
- Un secondo contributo consiste nel fornire una formula analitica e una numerica algoritmo per il calcolo della soglia ottimale quando i nodi formano un processo del punto di Poisson omogeneo (PPP). È interessante notare che già protocolli come DBR ha introdotto l'idea di una soglia di profondità sotto la quale i nodi non sono idonei per guardiani ma, per quanto ne sappiamo, questa è la prima volta che l'ottimalità di quella scelta è dimostrata nell'ambiente tridimensionale degli UWSN e che un viene fornito un approccio numerico efficiente per il calcolo della soglia ottimale. Infatti, la derivazione della soglia ottimale sulla base di simulazioni stocastiche può richiedere molto tempo.
- Il terzo contributo che diamo è la stima della probabilità di consegna del pacchetto dato il numero previsto di spedizionieri per UWSN di grandi dimensioni assumendo uno stazionario Distribuzione PPP dei nodi. Basiamo la nostra analisi sulla teoria della percolazione alberi e derivare una semplice formula che, combinata con i risultati sopra menzionati, consente di fissare un rapporto di consegna del pacchetto target e ottenere la soglia ottimale che consente quella qualità del servizio.
- Infine, affrontiamo un caso di studio di un UWSN realistico e confrontiamo l'analitico risultati con le stime delle simulazioni ottenute con il simulatore Aquasim-NG [3], a Libreria NS3 per l'analisi di reti sottomarine. Il simulatore è stato progettato e verificato da uno dei nostri precedenti lavori di ricerca [50] e fornisce un dettaglio

70

6.4. Ottimizzazione basata sulla soglia

modello di simulazione di sensori subacquei. Lo strumento è open source e può essere disattivato caricato liberamente [49]. È interessante notare che, sebbene il modello non prenda in considerazione l'estensione mobilità dei nodi, il confronto con le simulazioni mostra che è robusto con rispetto alla mobilità dei nodi. Discutiamo le nostre motivazioni dettagliate anche nella Sezione 6.6.

Struttura del capitolo Questo capitolo è strutturato come segue. La sezione 6.4.1 dimostra l'ottimalità della forma basata sulla soglia della probabilità di inoltrare $p(x)$ e dà gli algoritmi per il calcolo di questa soglia nel caso di Poisson omogeneo processi. Nella Sezione 6.5, mettiamo in relazione il numero previsto di forwarder con il pacchetto probabilità di consegna ricorrendo alla teoria della percolazione. Nella sezione 6.6, valutiamo l'accuratezza del nostro modello analitico rispetto alle simulazioni stocastiche eseguite in NS3. Infine, nella Sezione 6.7, diamo alcune osservazioni finali. Il lavoro descritto in questo capitolo apparirà in [79].

6.4. Ottimizzazione basata sulla soglia

In questa sezione studiamo un UWSN che impiega un protocollo opportunistico basato sulla soglia: (vedere, ad esempio, [6, 1]). Studiamo una formulazione astratta di tali protocolli che funzionano in questo modo: ogni nodo che riceve correttamente un pacchetto decide se inoltra il pacchetto in base alla differenza di profondità tra il mittente e il destinatario. Come menzionato prima, negli UWSN, i nodi possono facilmente stimare la loro profondità per mezzo di sensori di pressione, ma possono farlo conosce a malapena la loro posizione assoluta. La differenza di profondità x tra il mittente e il ricevitore viene calcolato grazie alle informazioni di profondità che il mittente inserisce nel file pacchetto. Sia $p(x)$ la probabilità che un nodo con differenza di profondità x dal mittente inoltrerà il pacchetto e sarà v il numero atteso desiderato di forwarder.

Il risultato principale che dimostriamo in questa sezione è quello di massimizzare la distanza alla superficie coperta da una trasmissione, $p(x)$ è sempre una funzione a gradini, cioè, $p(x)$ è 0 sotto una soglia di profondità T ed è 1 altrimenti. *Questo risultato è indipendente dalle caratteristiche di il processo stocastico che modella le posizioni dei nodi e la modellazione della funzione la probabilità di una trasmissione riuscita.* Forniamo anche un metodo numerico per calcolare la soglia ottimale data la densità dei nodi e la probabilità di errore nelle trasmissioni.

6.4.1. Modellazione di ipotesi e obiettivi

Consideriamo un UWSN distribuito in uno spazio tridimensionale. Il processo spaziale mod- La distribuzione del sensore è arbitraria ma invariante al movimento. Ogni nodo ne è consapevole profondità grazie ad un sensore di pressione incorporato nel nodo e assumiamo la superficie a essere coperti da nodi sink che raccolgono i pacchetti raccolti sott'acqua (es. sonobuoy). Il nostro obiettivo è progettare un protocollo di routing multi-hop senza stato in grado di connettere ciascuno nodo del sensore con la superficie.

Il protocollo multi hop senza stato funziona come segue:

- Un nodo n trasmette un messaggio con i dati raccolti e specifica la propria profondità nel pacchetto
- Tutti i nodi che potenzialmente ricevono il messaggio e la cui profondità è inferiore a quello del trasmettitore sono gli spedizionieri candidati. Chiamiamo questo insieme di nodi $S(n) = \{n_1, n_2, \dots\}$

71

6. Sull'ottimizzazione dei protocolli di instradamento opportunistici per reti di sensori subacquei

- Ogni nodo riceve correttamente il pacchetto con una probabilità $f(d)$ che dipende da la distanza euclidea tra il mittente e il destinatario $f(d): \mathbb{R}^+ \rightarrow [0, 1]$, con $f(d)$ rigorosamente monotonicamente decrescente e

$$\lim_{d \rightarrow \infty} f(d) = 0;$$

- Ogni nodo $n_i \in S$ che ha ricevuto correttamente il pacchetto calcola la differenza di profondità Δ_i tra se stesso e il mittente e ritrasmette (cioè, inoltra) il pacchetto con una probabilità che dipende solo da questo valore. Chiamiamo questa probabilità $p(x): \mathbb{R}^+ \rightarrow [0, 1]$, dove x è la differenza di profondità

Miriamo a determinare $p(x)$ in modo tale che, dato il numero atteso di forwarder v , il la distanza prevista coperta in una trasmissione è massimizzata.

Assumiamo che i nodi siano distribuiti in \mathbb{R}^3 secondo un processo puntuale (PP) Φ che soddisfa alcune condizioni di cui parleremo in seguito. Φ è un casuale numerabile raccolta di punti in \mathbb{R}^3 . Siano \mathcal{B}_3 gli insiemi di Borel, allora la σ -algebra è costituita da \mathcal{B}_3 con la misura di Lebesgue. Per ogni $B \in \mathcal{B}_3$, sia $N(B)$ la misura di conteggio, cioè un casuale variabile associata al numero di nodi presenti in B . Definiamo $\Lambda(B) = E\{N(B)\}$ come la misura dell'intensità di Φ , e assumiamo che sia diffusa e ammetta la funzione di intensità $\lambda(b)$ tale che per ogni $B \in \mathcal{B}_3$:

$$\Lambda(B) = \int_B \lambda(b) db.$$

Φ è localmente finito, cioè per ogni B tale che $|B| < \infty$ abbiamo che $N(B) < \infty$, dove $|B|$ è la misura di Lebesgue di B . Assumiamo che Φ sia semplice, cioè $N(\{x\}) \in \{0, 1\}$ quasi sicuramente per ogni $x \in \mathbb{R}^3$ e stazionario. Di conseguenza, $\Lambda(B) = \lambda |B|$ per una certa intensità $\lambda \in \mathbb{R}^+$. Sia $R \in \mathbb{R}^+$ essere il raggio di trasmissione di un nodo n , cioè assumiamo che per euclideo distanze maggiori di R l'effetto del segnale trasmesso da n è trascurabile.

6.4.2. Il modello per processi a punti stazionari generali

Supponiamo che il nodo mittente si trovi nella posizione o . Sia Φ_o il PP ottenuto da condizionato alla presenza di un punto in o e che contiene solo i nodi che ricevono direttamente la trasmissione da o . Formalmente, stiamo calcolando il Palm ridotto distribuzione di Φ condizionata su o e poi un diradamento. Quindi, Φ_o ha densità diffusa misurare all'interno della sfera con raggio R e centro o .

Poiché i nodi prendono le loro decisioni di essere forwarder in base alla differenza di profondità con il mittente, proiettiamo Φ_o ristretto a semisfera con centro o e raggio R accessi la direzione verticale verso la superficie, cioè consideriamo la funzione di mappatura $\zeta: \mathbb{R}^3 \rightarrow [-R, R]$ e considera solo i punti in $[0, R]$:

$$\zeta(y) = y \cdot \frac{y - o}{|y - o|} \quad (6.1)$$

dove $y \in \mathbb{R}^3$ e $y \cdot \frac{y - o}{|y - o|}$ denota la componente di profondità di y e o , rispettivamente. Adesso molla $\lambda_o(x)$ sia la funzione di intensità di questo processo. Quindi, il numero previsto di spedizionieri v è dato da:

$$v = \int_0^R \lambda_o(x) p(x) dx, \quad (6.2)$$

72

6.4. Ottimizzazione basata sulla soglia

e la distanza prevista coperta da una trasmissione è:

$$\ell = \int_0^R x \lambda_o(x) p(x) dx. \quad (6.3)$$

Date le espressioni per ℓ e v , vogliamo determinare la funzione ottima $p(x)$ che seleziona i nodi del relé in base alla differenza di profondità che dà il previsto desiderato numero di forwarder e massimizza la distanza coperta da una singola trasmissione hop.

Il problema è risolto nel Teorema 6.4.1.

Teorema 6.4.1. *Dato il problema di ottimizzazione:*

$$\text{massimizzare:} \quad \int_0^R x \lambda_o(x) p(x) dx \quad (6.4)$$

$$\text{soggetto a:} \quad 0 \leq p(x) \leq 1, \quad (6.5)$$

$$\int_0^R \lambda_o(x) p(x) dx = v, \quad (6.6)$$

dove $\lambda_o(x)$ è strettamente positivo ovunque in $[0, R]$. Quindi, il problema (6.4) ha un'unica soluzione $p^*(x)$ definita come segue:

$$p^*(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < T \\ 1 & \text{se } x \geq T \end{cases}, \quad (6.7)$$

ogniquale volta esiste una T in $[0, R]$ tale che:

$$\int_T^R \lambda_o(x) dx = v. \quad (6.8)$$

Prova. Permettere

$$\Lambda_o(x) = \int_0^x \lambda_o(u) du,$$

e osservare che $\Lambda_o(x)$ è strettamente crescente in modo monotonicamente grazie alle ipotesi su $\lambda_o(x)$ e definiamo $t = \Lambda_o(x)$ che implica $dt = \lambda_o(x) dx$. Notare che $\Lambda_o(x)$ è monotonicamente crescente e quindi invertibile. Pertanto, l'equazione (6.4) può essere riscritta come:

$$\int_0^{\Lambda_o(R)} \Lambda_o^{-1}(t) p(\Lambda_o^{-1}(t)) dt$$

e i vincoli diventano:

$$0 \leq p(\Lambda_o^{-1}(t)) \leq 1$$

$$\int_0^{\Lambda_o(R)} p(\Lambda_o^{-1}(t)) dt = v.$$

Dato $Z(t) = p(\Lambda_o^{-1}(t))$ possiamo riscrivere il problema di ottimizzazione come:

$$\text{massimizzare: } \int_0^{\Lambda_o(R)} \Lambda_o^{-1}(t) Z(t) dt \quad (6.9)$$

$$\text{soggetto a: } 0 \leq Z(t) \leq 1, \quad (6.10)$$

$$\int_0^{\Lambda_o(R)} Z(t) dt = v. \quad (6.11)$$

73

Pagina 87

6. Sull'ottimizzazione dei protocolli di instradamento opportunistici per reti di sensori subacquei

Ora, poiché $\Lambda_o^{-1}(x)$ è anche monotonicamente crescente come $\Lambda_o(x)$, l'unica soluzione al problema di ottimizzazione è:

$$Z(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < T' \\ 1 & \text{se } x \geq T' \end{cases}$$

ogniquale volta esiste T' tale che:

$$\int_{T'}^{\Lambda_o(R)} Z(t) dt = v.$$

Ora, ricorda che $Z(x) = p(\Lambda_o^{-1}(x))$ e che $\Lambda_o^{-1}(x)$ è strettamente monotonicamente crescente, quindi l'ottimo $p^*(x)$ deve seguire la definizione (6.7), dove $T = \Lambda_o^{-1}(T')$. D

6.4.3. Il modello per processi puntiformi di Poisson omogenei

Nella sezione precedente abbiamo dimostrato il Teorema 6.4.1 per un PP stazionario generale. Ora noi supponi che Φ sia un processo omogeneo del punto di Poisson (PPP) e fornisci un metodo per il calcolo della soglia ottimale T . Ricordiamo che un PPP omogeneo è movimento-invariante, quindi il Teorema 6.4.1 è ancora valido. In generale, un'espressione analitica per T può essere derivato solo per alcune istanze di $f(x)$, mentre deve esserlo un approccio numerico adottata negli altri casi.

Sia Φ un processo omogeneo del punto di Poisson (PPP) con intensità λ , cioè il numero di nodi in ogni insieme $B \in \mathcal{B}_3$ ha distribuzione:

$$\Pr\{N(B) = k\} = \frac{(\lambda |B|)^k}{k!} e^{-\lambda |B|},$$

per $k \geq 0$, e per $B_1, B_2 \in \mathcal{B}$, tali che $B_1 \cap B_2 = \emptyset$ abbiamo che $N(B_1)$ è indipendente da $N(B_2)$. Se condizioniamo il processo alla presenza di un nodo trasmettente in o , allora, per Teorema di Slivnyak [80, Thm. 8.10] la distribuzione Palm risultante non cambia con rispetto a quello di un PPP con la stessa intensità dove aggiungiamo un nodo in o . Senza perdita di generalità, supponiamo che o sia all'origine degli assi. Seguendo le linee della Sezione 6.4.2, otteniamo prima il processo Φ' con il processo di diradamento, cioè selezioniamo

i punti che ricevono correttamente il pacchetto. Un nodo in y riceve il pacchetto inviato da o con probabilità $f(\|y\|_2)$, dove $\|y\|_2$ denota la norma L2 di y . Notare che, noi ipotizziamo che per $\|y\|_2 > R$, abbiamo $f(\|y\|_2) = 0$. Quindi Φ' è un non omogeneo punto processo nella sfera con centro o e raggio R . Più specificamente, dal diradamento teorema per PPP [80, Thm. 2.36], poiché la funzione di assottigliamento dipende solo da posizione di un punto, quindi Φ' è un PPP con funzione di intensità:

$$\lambda_o(y) = \lambda f(\|y\|_2).$$

Infine, definiamo un altro PP mappando Φ' limitato alla mezza sfera che contiene i punti più vicini alla superficie di o (cioè quelli le cui componenti verticali sono positive). Questa mappatura produce un PPP non omogeneo in $[0, R]$ dal teorema di mappatura [80, Thm. 2.34] con funzione intensità:

$$\begin{aligned} \lambda_o(x) &= \int_0^{\sqrt{R^2 - x^2}} \int_{-u}^{\sqrt{u^2 - z^2}} \lambda'(\sqrt{x^2 + z^2 + u^2}) dz du \\ &= \int_0^{\sqrt{R^2 - x^2}} \int_{-u}^{\sqrt{u^2 - z^2}} \lambda f(\sqrt{x^2 + z^2 + u^2}) dz du = \int_0^{\sqrt{R^2 - x^2}} 2\pi u f(\sqrt{x^2 + u^2}) du. \end{aligned}$$

74

Pagina 88

6.4. Ottimizzazione basata sulla soglia

Possiamo semplificare l'espressione dell'integrale cambiando la variabile $\alpha^2 = x^2 + u^2$, cioè $\alpha d\alpha = u du$, ottenendo così:

$$\lambda_o(x) = 2\pi \lambda \int_x^R \alpha f(\alpha) d\alpha. \quad (6.12)$$

D'ora in poi, chiamiamo

$$b(x) = \int_x^R \alpha f(\alpha) d\alpha,$$

e quindi possiamo riscrivere $\lambda_o(x) = 2\pi \lambda b(x)$.

6.4.4. Determinazione della soglia ottimale per PPP omogenei

Per determinare la soglia ottimale T , dobbiamo risolvere l'equazione (6.8) in T . In nel caso di PPP, possiamo riscrivere l'equazione (6.8) come:

$$\int_T^R b(x) dx = \frac{v}{2\pi\lambda},$$

sia $v_p = v / (2\pi\lambda)$. Possiamo scrivere $b(x)$ come:

$$b(x) = \int_0^R \alpha f(\alpha) d\alpha - \int_0^x \alpha f(\alpha) d\alpha.$$

Se $f(\alpha)$ è continua in $[0, R]$ definiamo $H(x)$ tale che $H''(x) = xf(x)$. Notare che:

$$\int_0^y \int_0^x H''(\alpha) d\alpha dx = H(y) - H(0) - yH'(0).$$

Quindi, possiamo riscrivere l'equazione (6.8) come:

$$v_p = R \int_0^R \alpha f(\alpha) d\alpha - \int_0^R \int_0^x \alpha f(\alpha) d\alpha dx - T \int_0^R \alpha f(\alpha) d\alpha + \int_0^T \int_0^x \alpha f(\alpha) d\alpha dx,$$

cioè, usando la funzione $H(x)$:

$$v_p = R(H'(R) - H'(0)) - (H(R) - H(0) - RH'(0)) - T(H'(R) - H'(0)) + H(T) - H(0) - TH'(0),$$

che si riduce a:

$$H(T) - TH'(R) = v_p + H(R) - RH'(R). \quad (6.13)$$

Osserva che possiamo scrivere il residuo dell'equazione (6.13) come:

$$r(T) = H(T) - TH'(R) - v_p - H(R) + RH'(R),$$

e quindi:

$$\frac{\partial r(T)}{\partial T} = H'(T) - H'(R).$$

Poiché $H'(x)$ è strettamente crescente in modo monotono e $0 \leq T \leq R$, concludiamo che $r(t)$ è decrescente monotonicamente in $[0, R]$ e quindi è particolarmente semplice trovarne l'unicità root, se esiste.

75

Pagina 89

6. Sull'ottimizzazione dei protocolli di instradamento opportunistici per reti di sensori subacquei

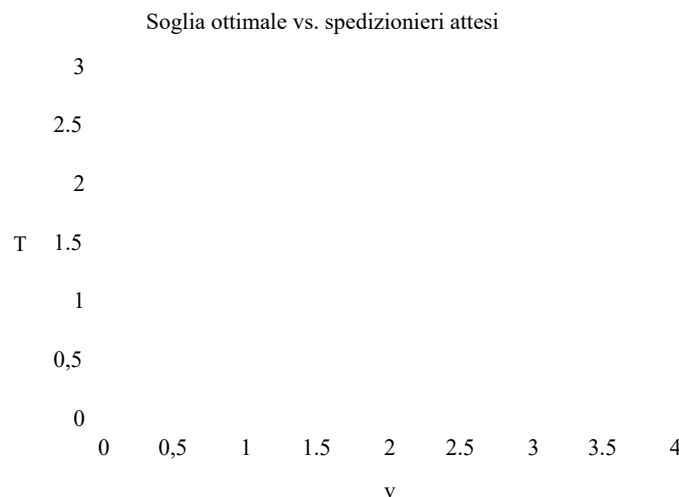


Figura 6.2.: Soglia ottimale (T) in funzione del numero atteso di spedizionieri per il modello considerato nell'esempio 2 (km)

Proposizione 6.4.1. *Se il problema di ottimizzazione considerato nel Teorema 6.4.1 ammette a soluzione, allora questo è unico.*

Pertanto, ogni volta che $H(R)$, $H'(R)$, $H''(R)$ hanno espressioni simboliche, si può derivare facilmente la soglia ottimale.

Esempio 2 (Calcolo della soglia ottimale T). *Consideriamo un esempio in cui la probabilità di una corretta ricezione dei pacchetti decade in modo esponenziale con la distanza euclidea dal nodo sorgente, cioè $f(x) = e^{-ax}$ per qualche parametro $a > 0$. Poi abbiamo:*

$$H''(x) = xe^{-ax}, H'(x) = -\frac{e^{-ax}(ax + 1)}{a^2}, H(x) = \frac{e^{-ax}(ax^2 + 2x + 2)}{a^3}$$

Pertanto, per trovare la soglia ottimale, dobbiamo risolvere il seguente non lineare equazione:

$$e^{-\alpha T} \frac{\alpha T + 2}{\alpha^3} + e^{-\alpha R} \frac{\alpha T + 2}{\alpha^3} - \alpha^2 R^2 + \alpha^2 RT - 2\alpha R + \alpha T + 2 - v_p = 0.$$

Ad esempio, supponiamo una rete con una densità di 2 nodi per km^3 e sia $\alpha = 1.8$, con $R = 3 \text{ km}$. Si noti che a 3 km di distanza, la probabilità di una corretta ricezione è $4,5 \cdot 10^{-3}$. Quindi, la soglia di profondità ottimale T per avere 2 forwarder previsti è $T = 0,567 \text{ km}$. È interessante notare che se l'intensità è di 1 nodo per km^3 allora,

con gli stessi parametri è impossibile raggiungere l'obiettivo di 2 spedizionieri attesi. Nella Figura 6.2 mostriamo la soglia ottimale T in funzione del numero atteso di spedizionieri per questo esempio.

In molti casi pratici, le espressioni simboliche di $H(t)$ e $H'(t)$ non sono note e quindi la soluzione esplicita o numerica dell'equazione (6.13) non è computazionalmente fattibile. Tuttavia, possiamo riconsiderare il problema originale, ovvero:

$$r(T) = v_p - \int_T^R b(x) dx = 0,$$

76

Pagina 90

6.5. Valutazione delle prestazioni UWSN

e ricordiamo che $r(T)$ è monotona decrescente in $[0, R]$. Pertanto, la soluzione per T può essere facilmente trovata numericamente grazie allo schema di iterazione Newton-Raphson:

$$T_{(n+1)} = T_{(n)} - \frac{r(T_{(n)})}{r'(T_{(n)})}, \quad n \geq 0 \quad (6.14)$$

dove al denominatore dobbiamo valutare numericamente l'integrale:

$$r'(T_{(n)}) = - \int_{T_{(n)}}^R b(x) dx,$$

mentre al numeratore:

$$r(T_{(n)}) = v_p - \int_{T_{(n)}}^R b(x) dx,$$

che può essere valutato in modo efficiente poiché la funzione integrando interna non dipende da X .

6.5. Valutazione delle prestazioni UWSN

In questa sezione, studiamo l'impatto della soglia su alcuni indici di performance del Rete. L'analisi si basa sui seguenti presupposti:

H1 I numeri di forwarder per ogni nodo sono variabili casuali indipendenti;

H2 La rete è sufficientemente grande per presumere che abbia un numero infinito di nodi su uno spazio tridimensionale completo (cioè, i nodi non sono dispiegati su un piano);

H3 I nodi formano un PPP stazionario;

H4 Il protocollo di rete implementa un perfetto meccanismo di contesa, cioè l'impatto delle collisioni sulle prestazioni del sistema è trascurabile.

L'ipotesi H1 tende ad essere verificata grazie alle caratteristiche degli UWSN. In effetti, il file il meccanismo di prevenzione delle collisioni introduce alcuni ritardi (possibilmente casuali) tra i file istante in cui un nodo riceve un pacchetto e il momento in cui questo viene inoltrato (vedere ad esempio, [24]). Di conseguenza, se questi ritardi sono sufficientemente grandi, la topologia della rete potrebbe cambiare tra due diversi eventi di inoltrato. Infine, per reti dense, il numero di nodi sopra la soglia che riceve correttamente il pacchetto dipende fortemente dalla probabilità di una corretta ricezione che si presume dipenda solo dalla distanza. Ipotesi H2 e H3 sono necessari per applicare la teoria della percolazione per stimare il pacchetto probabilità di consegna e rappresentano lo scenario tipico in questo tipo di analisi. Finalmente, H4 è ragionevole per gli UWSN tolleranti al ritardo. Ci sono diversi meccanismi che sono stati

introdotto per evitare collisioni nelle trasmissioni ridondanti ma prima di menzionarle noi .
 dovrebbe ricordare che, a differenza delle reti terrestri senza fili o cablate [81], i pacchetti in
 Gli UWSN tendono ad essere piuttosto piccoli, nell'ordine di 300-400 bit e questo è la trasmissione
 il tempo ha una componente non trascurabile che dipende dalla bassa velocità di propagazione del
 il segnale acustico. Per evitare collisioni nell'inoltro dei pacchetti, la maggior parte dei file
 i protocolli tendono ad evitare il rilevamento della portante con l'obiettivo di ridurre il consumo di energia,

77

Pagina 91

6. Sull'ottimizzazione dei protocolli di instradamento opportunistici per reti di sensori subacquei

tuttavia può essere adottata una contesa statistica o deterministica del canale. Nel
 contesa statistica, i nodi aspettano un tempo casuale prima di inoltrare il pacchetto. Nel
 in questo caso, il compromesso è tra ritardi maggiori che riducono la probabilità di collisioni
 e brevi ritardi che migliorano il tempo di risposta del sistema. Un altro approccio è basato
 sull'introduzione di un ritardo deterministico la cui durata è inversamente proporzionale
 alla differenza di profondità tra i nodi di invio e di ricezione. Con rispetto al
 contesa statistica, questo approccio tende a ridurre il ritardo end-to-end delle trasmissioni
 favorendo le trasmissioni dei nodi di relè che coprono la distanza maggiore nel
 direzione della superficie.

6.5.1. Analisi della percolazione

Consideriamo il PPP stazionario che modella le posizioni dei nodi nella UWSN e,
 senza perdita di generalità, posizionare il mittente all'origine dell'asse. Sia V_T sia
 il camper che modella il numero di spedizionieri quando la soglia di profondità è T , quindi il
 la seguente proposizione vale:

Proposizione 6.5.1. *Data una soglia di profondità T , sia $E[V_T] > 0$, allora V_T è un Poisson
 variabile casuale con intensità v .*

Prova. Abbiamo già osservato che la ridotta distribuzione del palmo ottenuta dalla condizione-
 L'ing sulla posizione del mittente è ancora un PPP stazionario con la stessa intensità del file
 quello originale del teorema di Slivnyak. Notiamo che, dato T , il numero atteso di for-
 warders v è data dall'equazione (6.2) e dall'ipotesi $v > 0$. Poiché la probabilità che
 un nodo è un forwarder dipende solo dalla sua posizione, dal teorema di assottigliamento per i PPP,
 il processo risultante è un processo di Poisson (possibilmente non stazionario). Come conseguenza,
 il numero di nodi in una regione finita B è una variabile casuale di Poisson. Se prendiamo B come
 semisfera con raggio R i cui punti sono più vicini alla superficie del nodo mittente,
 sappiamo che la sua aspettativa è v , e quindi la distribuzione del numero di nodi è
 un Poisson rv con intensità v .

D

Grazie alle ipotesi $H1$ e $H2$, utilizziamo la teoria della percolazione per stimare il pacchetto
 probabilità di consegna. Supponiamo che al tempo epoch 0 il nodo situato all'origine invii
 un pacchetto. Questo viene inoltrato dai nodi V_T , dove V_T è un rv di Poisson con intensità v .
 Dato che il processo puntuale è stazionario e grazie a $H1$ possiamo supporre che l'inoltro
 processo in nuovo eseguito per ogni spedizioniere. Ricordiamo che, ad ogni passo di inoltro, il file
 i nodi di inoltro sono più vicini alla superficie del nodo di invio, ovvero la propagazione del
 il pacchetto non è monotono sul piano orizzontale ma è monotono nella direzione di
 superficie. Stimiamo la probabilità di consegna del pacchetto come la probabilità che l'albero
 generato dall'inoltro del pacchetto ha una dimensione infinita.

Nota 3. *È importante notare che i nodi che formano l'albero non dovrebbero essere intesi
 come i nodi coinvolti nell'inoltro del messaggio, ma piuttosto come le trasmissioni
 coinvolti. In effetti, un nodo può essere coinvolto più volte nel processo di inoltro. Questo
 di solito viene evitato nelle reti senza mobilità dei nodi, ma è una scelta praticabile negli UWSN
 a causa dell'elevata instabilità dei percorsi.*

Formalmente, sia $Z_0 = 1$ la trasmissione iniziale e Z_n il numero di pacchetti ritrasformati
 missioni che si verificano dopo n salti. Quindi, abbiamo la seguente relazione ricorsiva:

$$\sum_{n=0}^{Z_n}$$

$$Z_{n+1} = \sum_{i=1}^{X_{n,i}} X_{n,i}, \quad n \geq 0,$$

78

6.6. Risultati numerici e simulazione

dove $X_{n,i}$ è la variabile casuale che modella il numero di forwarder del nodo i trasmesso dopo n salti. Chiaramente, per ipotesi, $X_{n,i}$ sono iid variabili casuali il cui distribuzione è la stessa di V_T , cioè un Poisson rv con intensità v . Tale ramo-processo è un processo di Galton-Watson [82]. La distribuzione di V_T è chiamata prole distribuzione.

Usiamo i seguenti due risultati:

1. Se $v \leq 1$, il processo di ramificazione non cresce per sempre con probabilità 1;
2. Se $v > 1$, la probabilità che il processo non cresca per sempre è la minima radice positiva dell'equazione $G(s) = s$, dove $G(s)$ è la probabilità che genera funzione della distribuzione della prole. Nel nostro caso, dobbiamo trovare il minimo radice positiva η della seguente equazione:

$$e^{v(s-1)} = s, \quad (6.15)$$

e la probabilità di consegna corretta del pacchetto sarà $1 - \eta$.

Esempio 3 (rapporto di consegna del pacchetto e soglia ottimale). Consideriamo nuovamente il file rete con i parametri introdotti nell'esempio 2. Vogliamo studiare l'ottimale soglia in funzione della probabilità di consegna del pacchetto desiderata p_s . Dato p_s , possiamo trovare il corrispondente numero atteso di forwarder risolvendo l'equazione (6.15) e quindi la soglia ottimale T risolvendo l'equazione (6.13) usando il Newton Raphson algoritmo (6.14). Nella Figura 6.3 mostriamo i risultati per questo esempio. È importante da notare che quando il numero previsto di spedizionieri ≤ 1 , la consegna del pacchetto la probabilità è 0. Possiamo quindi identificare un valore critico per la soglia T che lo consente la connettività dell'UWSN con probabilità positiva (vedere Definizione 6.5.1). Nel nostro caso, la soglia critica è 1.03474 km.

Definizione 6.5.1 (Soglia critica). La soglia critica per un UWSN è la soglia il cui corrispondente numero previsto di spedizionieri è 1.

Chiaramente, per gli UWSN di grandi dimensioni la soglia di profondità non dovrebbe mai essere superiore a quella critica soglia.

6.6. Risultati numerici e simulazione

In questa sezione, consideriamo uno scenario del mondo reale e valutiamo l'accuratezza della proposta metodo rispetto alle stime ottenute mediante simulazioni stocastiche. Noi iniziare con la descrizione del modello di simulazione, quindi mostrare i risultati ottenuti. Un elemento cardine del nostro modello è la funzione $f(x)$, cioè la probabilità che un pacchetto sia ricevuto correttamente da un nodo posto a distanza x dal mittente. Il modello per il calcolo di $f(x)$ è stato discusso in dettaglio nella Sezione 4.3. Nel nostro ambiente, abbiamo usato segnali acustici con $v = 10$ kHz, quindi $a(v) = 1,1870$ db / km. v indica la frequenza di il segnale mentre $a(v)$ è il coefficiente di assorbimento. Assumiamo la codifica binaria shift modulazione ampiamente utilizzata nei moderni modem acustici. La Figura 6.4 mostra il grafico di $f(x)$ per la parametrizzazione utilizzata nelle simulazioni, quando la potenza di trasmissione è 140 db re μ Pa (vedere, ad esempio, [15]). Come è possibile vedere, possiamo prendere $R = 700$ m.

¹ Si noti che nel nostro caso la distribuzione della prole è di Poisson e quindi il caso deterministico è escluso.

6. Sull'ottimizzazione dei protocolli di instradamento opportunistici per reti di sensori subacquei

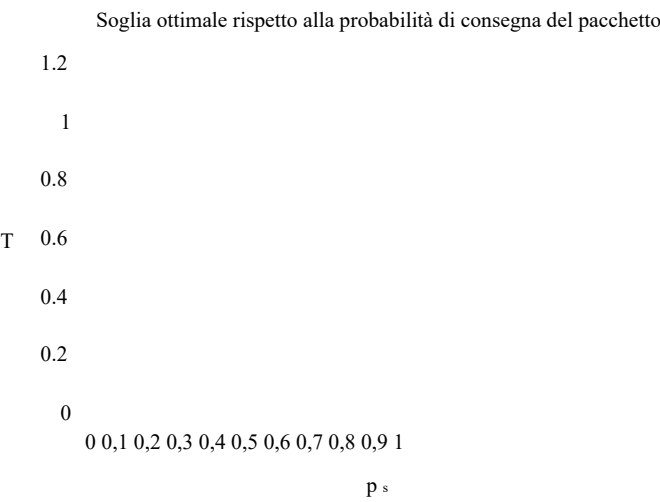


Figura 6.3 .: Soglia ottimale (T) in funzione della probabilità di consegna del pacchetto (km)

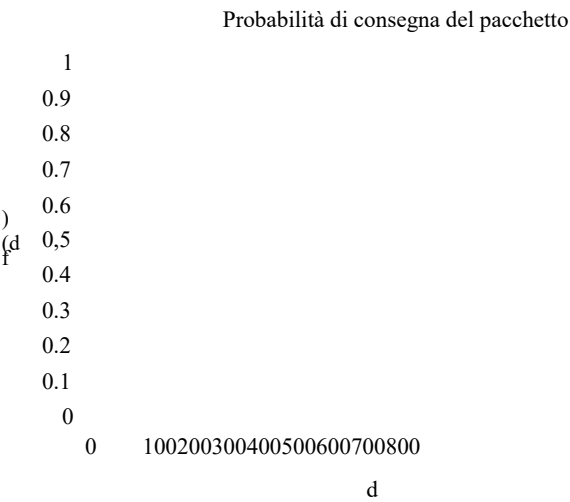


Figura 6.4 .: Probabilità di consegna dei pacchetti nel modello di simulazione. d è misurato in m.

6.6. Risultati numerici e simulazione

Parametro	Valore
Dimensioni della rete	2000 m × 2000 m × 2000 m
Distribuzione	Uniforme casuale
Energia iniziale dei nodi	100J
Dimensione del pacchetto	40 byte
Gamma di trasmissione	700m
Velocità di mobilità dei nodi	1 m / s, 3 m / s
Consumo di potenza di trasmissione	3,5 W.
Ricezione del consumo di energia	0,1 W
Consumo energetico inattivo	1 mW
Modello di mobilità	Markov gaussiano
Velocità dati	50 kb / s
Velocità di generazione dei pacchetti	0,5 pacchetti / i
f	10 kHz

Tabella 6.1.: Parametri di simulazione

Altri dettagli del modello di simulazione Nelle simulazioni di rete, utilizziamo un UWSN con il protocollo di instradamento basato su una soglia calcolata come discusso nella Sezione 6.4. Lo strumento di simulazione che abbiamo utilizzato è specializzato per le reti sottomarine, vale a dire AquaSim-NG [3], basato sulle librerie NS3 [57]. Il simulatore rappresenta l'architettura a strati dei protocolli di rete sottomarina e modalità operative di modem. È open source e scaricabile gratuitamente da [49]. I pacchetti vengono sempre inviati dal fondo della rete a una velocità di 0,5 pacchetti al secondo. Usiamo la trasmissione Implementazione del protocollo MAC proposto in [62]. Al fine di ridurre al minimo la congestione, noi utilizzare il tempo di permanenza calcolato come in DBR [24]. Quattro nodi sink in superficie sono stati de-utilizzato in posizioni casuali. Ogni stima è la media di 15 esperimenti indipendenti e nei grafici mostriamo gli intervalli di confidenza del 98%. I dettagli della simulazione i parametri sono mostrati nella Tabella 6.1. Osservando ciò, abbiamo seguito la parametrizzazione proposto in [24] sebbene i modem commerciali possano avere una velocità di trasmissione dati inferiore. Ma, tuttavia, numerosi esperimenti di simulazione mostrano che, con le restanti impostazioni, questo parametro non influisce in modo significativo sul rapporto di consegna del pacchetto.

Discussione dei risultati La Figura 6.5 mostra la probabilità di consegna del pacchetto $p_s(T)$ as funzione della soglia T ottenuta con il modello analitico per tre differenti nodi densità. Come previsto, tuttavia, densità di nodi più elevate consentono soglie di profondità elevate. La relazione non è lineare come mostrato nella Figura 6.6. Il grafico della Figura 6.5 mostra chiaramente le soglie critiche per le tre densità. Inoltre, è interessante osservarlo la riduzione della soglia di profondità per aumentare la probabilità di consegna del pacchetto da 0,7 a 0,8 è inferiore a quello richiesto per passare da 0,8 a 0,9. Ciò suggerisce che il numero di percorsi ridondanti necessari per ottenere un'elevata probabilità di consegna dei pacchetti può essere piuttosto alto.

La Figura 6.7 mostra la convalida del modello rispetto alla simulazione stocastica per due densità dei nodi. Tuttavia, osserviamo che le previsioni del modello sono piuttosto accurate i valori della probabilità di consegna del pacchetto tendono ad essere sovrastimati quando la profondità la soglia è bassa. Possiamo spiegare questo con l'osservazione che stiamo assumendo a perfetto meccanismo di contesa per il canale mentre, quando il numero di file attesi spedizionieri aumenta, la probabilità di stazioni nascoste o interferenze con altri in ritardo

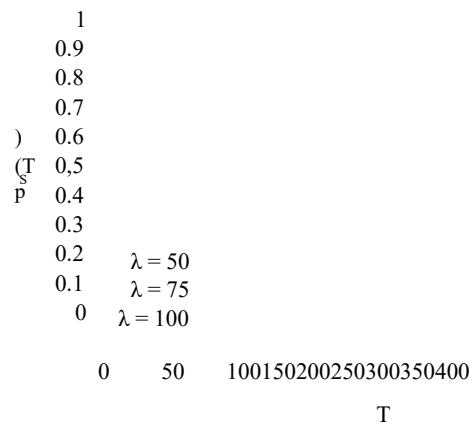


Figura 6.5 .: Risultati analitici: soglia ottimale e probabilità di consegna dei pacchetti per valori ferenti della densità dei nodi espressi in nodi / km 3 , in cui si misura T m.

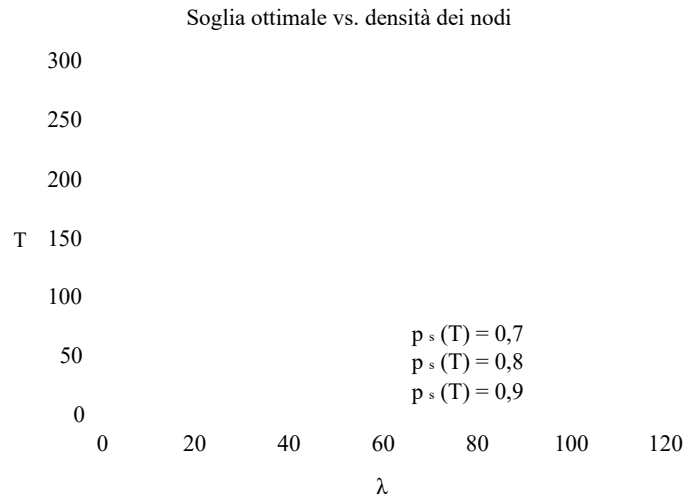
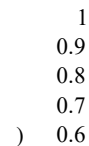


Figura 6.6 .: Risultati analitici: soglia ottimale in funzione della densità dei nodi per diverse probabilità di consegna del pacchetto target. T è misurato in me λ in nodi / km 3 .



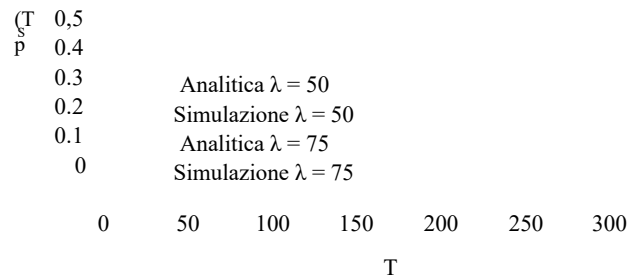


Figura 6.7.: Validazione del modello: risultati analitici e stime Aquasim-NG per $\lambda = 50$ e $\lambda = 75$ nodi / km³. T si misura in m.

le trasmissioni possono peggiorare le prestazioni del sistema. Un altro aspetto importante da osservare è che il modello di simulazione tiene conto della mobilità dei nodi sottomarini. It può essere sorprendente che le stime della simulazione corrispondano strettamente ai risultati dell'analisi modello che apparentemente non contiene alcuna nozione di mobilità. Spieghiamo questo effetto dal *Teorema di spostamento* per PPP [Thm. 2.33] [80] che sostanzialmente afferma che in a PPP se i nodi sono spostati da vettori casuali indipendenti V_x nel punto x , allora il processo punto risultante è ancora un PPP. Dal momento che stiamo usando il Gauss-Markov stazionario modello [83], le condizioni sono soddisfatte e, nonostante la mobilità, il processo di pacchetto l'invio avviene ancora in una diversa realizzazione del PPP ma con le stesse statistiche.

6.7. Osservazioni conclusive

La maggior parte degli studi mirava a valutare le prestazioni dei protocolli di instradamento per le UWSN ricorrere a simulazioni stocastiche che di solito richiedono molto tempo. In molti casi, le ottimizzazioni di rete basate su queste simulazioni sono computazionalmente proibitive. In questo capitolo, proponiamo un modello analitico che ci ha permesso di dimostrare che l'introduzione di una soglia di profondità, simile a quella proposta dal DBR [24], è cruciale per la definizione di protocolli di instradamento ottimali. La soglia di profondità T viene utilizzata per controllare il numero di forwarders inibendo l'invio dei nodi la cui profondità è diversa dal mittente è inferiore a T e lo forza per tutti i nodi la cui differenza di profondità è superiore a T . Il modello analitico ci ha permesso di introdurre un metodo efficiente per il calcolo di la soglia di profondità ottimale data una probabilità di consegna del pacchetto target quando i nodi la distribuzione spaziale può essere modellata da un PPP omogeneo. Nonostante le ipotesi richiesti dall'analisi del modello, abbiamo dimostrato che le simulazioni Aquasim-NG basate su NS3 mostrano stime della probabilità di consegna del pacchetto che sono abbastanza vicine a quelle derivate analiticamente.

Instradamento per sensore wireless subacqueo

Reti

84

Pagina 98

7.1. introduzione

In questo capitolo, continuiamo il nostro lavoro sulla formulazione e l'analisi dei modelli per l'ottimizzazione del routing basato sulla profondità. Proponiamo qui un'analisi stocastica che mira a valutare le prestazioni degli UWSN utilizzando DBR in termini di attesi consumo di energia e ritardo end-to-end previsto. Sotto una serie di presupposti, diamo espressioni per questi indici di prestazione che possono essere valutati in modo efficiente, e quindi essi può essere adottato come base per l'ottimizzazione dei parametri di configurazione del protocollo.

7.1. introduzione

Gli UWSN condividono con le loro controparti terrestri alcuni fattori importanti tra cui il grande importanza della conservazione dell'energia ai nodi. Questa esigenza è dovuta al fatto che i nodi sono autonomi e dotati di una batteria difficile o costosa sostituire. Alcuni sforzi di ricerca sono stati fatti nella direzione dello sviluppo di nodi sensori

con la capacità di raccogliere energia dall'ambiente, i risultati sembrano essere ancora nelle prime fasi [84, 85, 86]. In il sensore wireless terrestre reti, la maggior parte degli UWSN adotta la comunicazione acustica invece di quella tradizionale uno basato sulla radiofrequenza. Questa scelta realizzativa è dovuta al fatto che acustica le comunicazioni coprono lunghe distanze con bassa energia e sono meno soggette al problema di interferenze. Di conseguenza, la maggior parte dei metodi sviluppati per le performance la valutazione delle reti terrestri (vedi, ad esempio, [87, 88, 75]) non è applicabile a reti sottomarine. Un'altra caratteristica di UWSN è che i nodi sono soggetto ad elevata mobilità causata da correnti d'acqua. Di conseguenza, schemi di routing che adottano la strategia di flooding solo nella fase di routing discovery e poi memorizzano il file sequenza di nodi alla destinazione in memoria (ad esempio, [89]), non sono applicabili.

Nello scenario sottomarino, le rotte cambiano continuamente e nella maggior parte dei casi il l'opzione migliore è quella di eseguire un flooding controllato per ogni trasmissione di pacchetti [2]. Per affrontare questo problema, il DBR [24] mira a consegnare i pacchetti raccolti qualsiasi parte della rete ai lavandini che galleggiano sulla superficie dell'acqua anche attraverso allagamento controllato. Inoltre, una volta che un nodo riceve un pacchetto che viene memorizzato nella sua holding coda, rimuove il pacchetto e annulla il tempo di attesa corrispondente. In questo modo, per ad ogni trasmissione, DBR cerca di massimizzare la distanza percorsa evitando collisioni e trasmissioni ridondanti. Ci sono diversi parametri che devono essere impostati per configurare una rete che impiega DBR tra cui il ruolo principale è svolto dalla trasmissione energia. Nell'ottica di preservare l'energia ai nodi, sembrano essere brevi trasmissioni più conveniente, tuttavia, dobbiamo tenere conto del fatto che l'inoltro multiplo sarà richiesto. La potenza di trasmissione di un nodo dipende dalla distanza richiesta per coprire attraverso un'unica trasmissione [15]. D'altra parte, le trasmissioni a lunga distanza tendono per scaricare rapidamente la batteria.

In questo capitolo, proponiamo un modello per studiare l'impatto della potenza di trasmissione su il consumo energetico totale della rete e il ritardo end-to-end. Il modello si basa su una serie di risultati dal campo di ricerca sulla geometria stocastica [90] e su sulla manipolazione delle funzioni ipergeometriche. Forniamo espressioni dettagliate per costo energetico previsto e costo temporale per unità di distanza di una certa potenza di trasmissione. Queste espressioni sono estremamente veloci da valutare e quindi sono appropriate per lo studio la potenza di trasmissione ottimale in determinate condizioni di rete.

Il capitolo è strutturato come segue. Nella Sezione 7.2 discutiamo alcuni lavori correlati. Nella Sezione 7.3, introduciamo brevemente le caratteristiche principali di DBR. La sezione 7.4 presenta il nostro

7. Analisi delle prestazioni nel routing basato sulla profondità per reti di sensori wireless subacquee

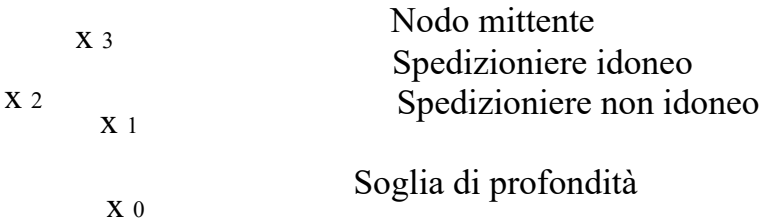


Figura 7.1 :: Schizzo di una trasmissione in DBR.

modello stocastico e derivazione degli indici di performance. Nella sezione 7.5, mostriamo alcuni risultati numerici e illustrano un esempio di ottimizzazione, quindi la Sezione 7.6 fornisce alcune considerazioni finali. Il lavoro descritto in questo capitolo è stato pubblicato in [78].

7.2. Lavoro correlato

I seguenti articoli discutono i risultati della ricerca che sono strettamente correlati ai nostri risultati. In [38] gli autori ottimizzano alcuni indici di prestazione per un generico protocollo multi hop in UWSN rispetto al numero ottimale di inoltri. Rispetto a questo lavoro, noi concentrarsi su un protocollo specifico e risolvere il problema di ottimizzazione in base al suo parametro configurazioni. Infatti, visto il numero ottimale di luppoli, non è chiaro come si dovrebbe configurare i parametri del protocollo per raggiungere quella condizione. In [39] gli autori propongono una valutazione delle prestazioni di un protocollo di comunicazione simile ad Aloha per le UWSN in un tempo impostazione a fessura. [65] propone un modello markoviano per un singolo canale acustico ma c'è non tiene conto del comportamento multi-hop di DBR.

7.3. Instradamento basato sulla profondità

In questa sezione, ricordiamo brevemente alcune caratteristiche salienti del DBR inoltre, la sua esauriente la descrizione è stata data nel capitolo 3. DBR è un protocollo di instradamento opportunistico definito per gli UWSN che funziona in modo molto semplice. Diamo la spiegazione nel caso di antenne omnidirezionali seguendo lo schema della Figura 7.1. Ricordiamo che l'obiettivo di modello è quello di consegnare un pacchetto ai nodi che galleggiano sulla superficie. Supporre che il nodo x_0 trasmette un pacchetto che non può raggiungere la superficie a causa della trasmissione limitata raggio. Il pacchetto contiene la profondità di x_0 e ogni nodo che lo riceve correttamente calcola la differenza di profondità tra sé e x_0 . Uno dei parametri di configurazione del protocollo è la soglia di profondità: ogni nodo la cui differenza di profondità è inferiore al la soglia di profondità non è uno spedizioniiere idoneo. Questo parametro viene utilizzato per prevenire corto raggio comunicazioni, ma in alcuni casi può anche assumere valori negativi per evitare i problemi connessi ai minimi locali nella topologia di rete [1], cioè le situazioni in

86

7.4. Un modello per protocollo multi-hop con antenna direzionale

$x_0 \quad x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_{n-1} \quad x_n$

R

Figura 7.2.: Rappresentazione grafica del modello studiato nella Sezione 7.4.

quale nodo vuole trasmettere un pacchetto alla superficie ed è a una profondità più bassa della sua vicini ma non possono raggiungere la superficie in un solo passaggio. In questo lavoro assumiamo la profondità soglia per essere 0, vale a dire, assumiamo tutti i nodi che hanno una profondità inferiore a quella del mittente per essere spedizioniieri idonei. Tra gli spedizioniieri idonei scegliamo il nodo di inoltri come segue: ogni nodo calcola un ritardo la cui durata è inversamente proporzionale al differenza di profondità. Questo ritardo è chiamato *tempo di attesa*. Quindi, il nodo si comporta come segue: it mantiene il pacchetto nella sua coda di attesa per la durata del tempo di attesa. Se durante questo periodo ascolta una ritrasmissione del pacchetto, quindi lo cancella dalla sua coda di attesa in caso contrario, alla scadenza, inoltra il pacchetto. In una situazione ideale questo meccanismo ha due effetti: previene le collisioni di pacchetti e le trasmissioni ridondanti e sceglie il file nodo più vicino alla superficie come packet forwarder in modo completamente distribuito. Assumiamo che il meccanismo del tempo di tenuta funzioni in modo ideale, in altre parole un nodo con differenza di profondità d sarà uno spedizioniiere se e solo se due condizioni sono soddisfatte:

1. Riceve correttamente il pacchetto,

Nell'esempio della Figura 7.1, il nodo x_1 sarà il forwarder se e solo se correttamente riceve il pacchetto inviato da x_0 mentre x_2 e x_3 fallisce.

7.4. Un modello per protocollo multi-hop con direzionale antenna

Consideriamo un modello in cui un nodo x_0 invia un pacchetto di dati in una certa direzione (ad es. verso la superficie). Seguendo la convenzione di DBR [24], assumiamo che le posizioni di i nodi di relè candidati in quella direzione sono indipendenti e distribuiti uniformemente (vedi Figura 7.2). Se assumiamo di avere n potenziali nodi di relè in un raggio R, abbiamo può utilizzare i risultati delle statistiche dell'ordine per caratterizzare la distribuzione del nodo i-esimo. Sia $X_{(i)}$ essere la variabile casuale che denota la distanza da x_0 all'i-esimo nodo, con $1 \leq i \leq n$. Quindi, il pdf di $X_{(i)}$ è quella delle statistiche di ordine marginale i-esimo di n variabili casuali uniformi indipendenti nell'intervallo reale (0, R) che corrisponde a a distribuzione Beta ridimensionata:

$$f_{X(i)}^*(x) = \frac{(n-1) x^{i-1} (R-x)^{n-i}}{i \theta - 1 R^n},$$

dove x è la distanza da x_0 . Per scopi pratici, non possiamo caratterizzare l'esatto numero di nodi n in una distanza R , ma in molti casi conosciamo la densità attesa di

87

7. Analisi delle prestazioni nel routing basato sulla profondità per reti di sensori wireless subacquee

i nodi. Quindi, lasciamo $n \rightarrow \infty$ e $R \rightarrow \infty$, come segue:

$$\lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ R \rightarrow \infty}} \frac{n}{R} = \delta, \quad (7.1)$$

dove $\delta \in \mathbb{R}^+$ è il numero atteso di nodi per unità di distanza (densità) della Rete. Ora, sia $X_{(i)}$ rv associato alla distanza tra x_0 e i -esimo e sia $f_{X_{(i)}}$ il suo pdf

Proposizione 7.4.1. *Il pdf della posizione dell' i -esimo nodo sulla linea in una rete con densità δ è dato da:*

$$f_{X(i)}(x) = \frac{\delta_i e^{-\delta x} x^{i-1}}{(i-1)!}. \quad (7.2)$$

Prova. Dobbiamo calcolare il limite:

$$\lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ R \rightarrow \infty}} f_{X(i)}^*(X),$$

sotto il vincolo ([7.1](#)). Possiamo scrivere:

$$\lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ R \rightarrow \infty}} f^*_{X(i)}(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(n-1)!}{(i-1)!} x^{i-1} (6^n - x)^{n-i} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{(i-1)!(n-i)!} x^{i-1} (6^n - x)^{n-i}$$

$$= \frac{x^{i-1}}{(i-1)!} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{(n-i)!} \left(\frac{\delta x}{n}\right)^{n-i} = \frac{\delta^i x^{i-1}}{(i-1)!} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{(n-i)!} \left(\frac{\delta x}{n}\right)^{n-i} = \frac{\delta^i e^{-\delta x} x^{i-1}}{(i-1)!},$$

$$\frac{1}{e^{-\delta x}} = e^{\delta x}$$

che completa la dimostrazione.

D Notare che,

secondo la Proposizione 7.4.1 il pdf di $X_{(i)}$ è quello di una Gamma rv di forma i e tasso δ . In altre parole, non a caso, otteniamo un processo punto di Poisson omogeneo sulla linea, dove la distribuzione dell' i -esimo nodo distante dall'origine x_0 è data dalla somma di i rv esponenziali indipendenti con tasso δ .

La seguente proposizione giocherà un ruolo importante nell'analisi che proponiamo, poiché dà la probabilità che tutti i nodi più distanti di una certa soglia y non riesca a ricevere un pacchetto inviato da x_0 .

Proposizione 7.4.2. *La probabilità che tutti i nodi si trovino dopo una certa soglia y non ricevere un pacchetto inviato da x_0 è:*

$$pf(y) = \exp\left(-\frac{\delta}{\lambda} e^{-\lambda y}\right). \quad (7.3)$$

Prova. Consideriamo un nodo arbitrario la cui posizione è condizionata nell'intervallo (y, R) , $y > 0$, $R \rightarrow \infty$, e ricorda che stiamo assumendo che un nodo alla distanza x

88

Pagina 102

7.4. Un modello per protocollo multi-hop con antenna direzionale

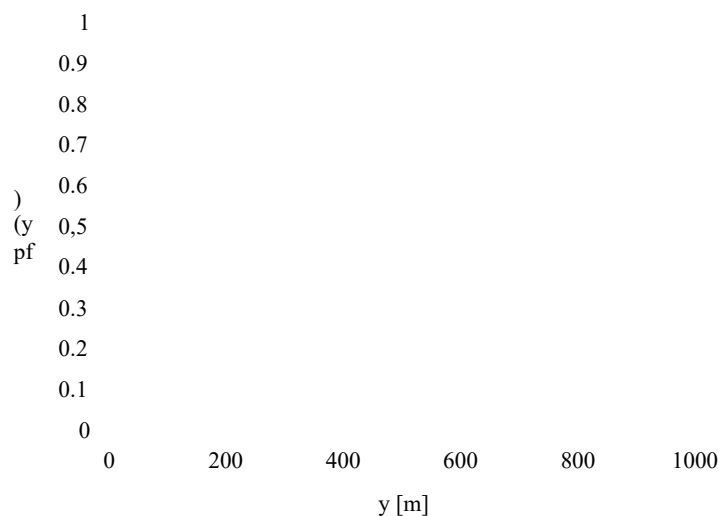


Figura 7.3.: Grafico della probabilità che nessuno dei nodi sia più distante di y metri da x_0 riceve correttamente un pacchetto inviato da x_0 .

ricevere con successo un pacchetto inviato da x_0 con probabilità $e^{-\lambda x}$, $\lambda > 0$ [1]. Poi abbiamo che la probabilità che un tale nodo non riceva un pacchetto è:

$$pfs(y) = \int_y^R (1 - e^{-\lambda x}) \frac{1}{R - y} dx = 1 + \frac{e^{-\lambda R} - e^{-\lambda y}}{\lambda (R - y)}.$$

Pertanto, possiamo calcolare la probabilità che tutti i nodi siano più lontani di y da x_0 non riesce a ricevere un pacchetto (ricorda che sia la posizione che gli eventi del pacchetto corretto ricezione sono indipendenti) e lasciate $R \rightarrow \infty$:

$$pf(y) = \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ R \rightarrow \infty}} \left(1 + \frac{e^{-\lambda R} - e^{-\lambda y}}{\lambda (R - y)}\right)^n,$$

che sotto il vincolo (7.1) può essere scritto come:

$$pf(y) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{e^{-\lambda \delta} - e^{-\lambda y}}{\lambda (\delta - y)} \right)^n,$$

e riscritto come:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{e^{-\lambda \delta} - e^{-\lambda y}}{\lambda n - \lambda y \delta} \right)^n = \frac{1}{n} e^{-\lambda y} \lambda - \frac{\lambda y \delta}{n}.$$

Ora la dimostrazione della proposizione segue facilmente.

D

Esempio 4. Consideriamo una rete in cui la probabilità di ricezione corretta a 250 m è $1/e$, ovvero $\lambda = 1/250$ in una rete con una densità di 10 nodi per km, ovvero $\delta = 0,01$ nodi per metro.

Nella Figura 7.3 mostriamo la probabilità che tutti i nodi dopo un certo y non riescano a ricevere un pacchetto inviato da x_0 , $pf(y)$.

89

Pagina 103

7. Analisi delle prestazioni nel routing basato sulla profondità per reti di sensori wireless subacquee

Si noti che impostando $y = 0$ nell'equazione (7.3) possiamo calcolare la probabilità che all i nodi non riescono a ricevere il pacchetto come:

$$pf(0) = e^{-\delta/\lambda}. \quad (7.4)$$

Ora ricorda che i -esimo nodo sarà il forwarder di un pacchetto se e solo se il seguente le condizioni sono soddisfatte:

1. Il nodo i , posto in $X_{(i)}$, riceve correttamente il pacchetto da x_0 ;
2. Tutti i nodi $X_{(i+1)}, X_{(i+2)}, \dots$ non riescono a ricevere il pacchetto.

Quindi, la probabilità P_i che lo spedizioniere sia l' i -esimo nodo è:

$$P_{i0} = \int_0^\infty f_{X_{(i)}}(x) e^{-\lambda x} pf(x) dx, \quad (7.5)$$

ottenibile dall'assunzione di indipendenza dell'evento di corretta ricezione di un pacchetto. Poiché $E[X_{(i)}] = i/\delta$, abbiamo che la distanza attesa coperta da la trasmissione è:

$$L = \sum_{i=0}^{\infty} i P_i.$$

Purtroppo, non è facile da trovare un'espressione forma chiusa per P_i , ma visto che siamo interessati solo a un'aspettativa possiamo procedere come segue. Sia T l'rv che prende valore i con probabilità P_i , allora abbiamo:

$$L = \frac{E[T]}{\delta}.$$

La proposizione seguente fornisce l'espressione per $E[T]$ e quindi per L .

Teorema 1. In una rete con densità δ e probabilità di ricezione corretta $e^{-\lambda x}$, con x la distanza tra la sorgente e la destinazione, la distanza attesa ambita da un trans la missione è $E[T]/\delta$ dove può essere calcolato il forwarder atteso nella rete $E[T]$ come:

$$E[T] = 1 - e^{-\delta/\lambda + \frac{\delta}{\lambda} (\gamma + E_1(\frac{\delta}{\lambda}) + \log(\frac{\delta}{\lambda}))},$$

$\gamma \approx 0,577216$ è la costante di Eulero e

$$\int_0^\infty \frac{1}{1+t} dt$$

$$E_1(x) = \int_0^x t e^{-\delta t} dt,$$

è la funzione integrale esponenziale [91, Cap. 6.2].

Prova. Calcoliamo $E[T]$ come $\sum_{i=0}^{\infty} \Pr\{T \geq i\}$. Per $i \geq 2$ condizionando in posizione x del $(i-1)$ esimo nodo la probabilità che almeno un nodo in (x, ∞) ritrasmetterà il pacchetto, cioè:

$$\Pr\{T \geq i\} = \int_0^{\infty} f_{X(i-1)}(x) (1 - e^{-\frac{\delta e^{-\lambda x}}{\lambda}}) dx, \quad i \geq 2 \quad (7.6)$$

mentre $\Pr\{T \geq 1\} = 1 - e^{-\delta/\lambda}$. Si può mostrare che l'integrale (7.6) converge a $1 - (i-1) F(i-1)(a; b; z)$ dove

$$a = \left(\frac{\delta}{\lambda}, \dots, \frac{\delta}{\lambda} \right)$$

90

Pagina 104

7.4. Un modello per protocollo multi-hop con antenna direzionale

e

$$b = \left(1 + \frac{\delta}{\lambda}, \dots, 1 + \frac{\delta}{\lambda} \right)$$

e $c = -\delta/\lambda$.

Nota 4. La funzione ipergeometrica generalizzata ${}_pF_q(a, b; z)$, dove $a = (a_1, \dots, a_p)$, $b = (b_1, \dots, b_q)$, è definito come:

$${}_pF_q(a, b; z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(a_1)_n \cdots (a_p)_n z^n}{(b_1)_n \cdots (b_q)_n n!}, \quad (7.7)$$

dove $a \in \mathbb{R}_p$, $b \in \mathbb{R}_q$, $z \in \mathbb{C}$ e $(a_i)_0 = 1$, $(a_i)_n = a(a+1) \cdots (a+n-1)$ è il Pochhammer simbolo. È noto che se $p < q+1$ allora la serie converge (assolutamente) per qualsiasi finito z [91, cap. 16]. Nel nostro caso, abbiamo $p = q = i-1$ e quindi la convergenza è dimostrato.

Ora, usando la definizione di serie ipergeometrica generalizzata (vedi Equazione (7.7)), possiamo riscrivere l'Integral (7.6) come:

$$\Pr\{T \geq i\} = 1 - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{[(\delta/\lambda)^k]^{i-1} \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)^k}{(1 + \delta/\lambda)^k K!} = 1 - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\delta)^{i-1} \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)^k}{\delta + k\lambda K!}.$$

Si noti che l'ultima espressione per $i=1$ fornisce esattamente $1 - e^{-\delta/\lambda}$ e quindi possiamo estendere la sua validità per $i \geq 1$. Notando che $\Pr\{T=i\} = \Pr\{T \geq i\} - \Pr\{T \geq i+1\}$, e poiché le serie sono assolutamente convergenti, abbiamo:

$$\Pr\{T=i\} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\delta)^{i-1} \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)^k (-k\lambda)}{\delta + k\lambda K!}.$$

Calcoliamo ora $E[T]$:

$$E[T] = \sum_{i=1}^{\infty} \Pr\{T \geq i\} = \sum_{i=1}^{\infty} \left(1 - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\delta)^{i-1} \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)^k}{\delta + k\lambda K!} \right)$$

che può essere riscritto come:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \left(1 - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(\delta)^{i-1} \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)^k}{\delta + k\lambda K!} \right) = - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)^k}{K!} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(\delta)^{i-1}}{\delta + k\lambda}.$$

Osserva che $\delta/(\delta + k\lambda) < 1$ per ipotesi e quindi possiamo scrivere:

$$E[T] = - \sum_{k=1}^{\infty} \left(-\frac{\delta}{\lambda} \right)^k \frac{1}{K!} \frac{(\delta + \lambda k)}{\lambda k} \quad (7.8)$$

Possiamo riscrivere la serie (7.8) come:

$$E[T] = - \sum_{k=1}^{\infty} \left(-\frac{\delta}{\lambda} \right)^k \frac{1}{K!} - \sum_{k=1}^{\infty} \left(-\frac{\delta}{\lambda} \right)^k \frac{1}{k!} \frac{\delta}{k \lambda}.$$

91

Pagina 105

7. Analisi delle prestazioni nel routing basato sulla profondità per reti di sensori wireless subacquee

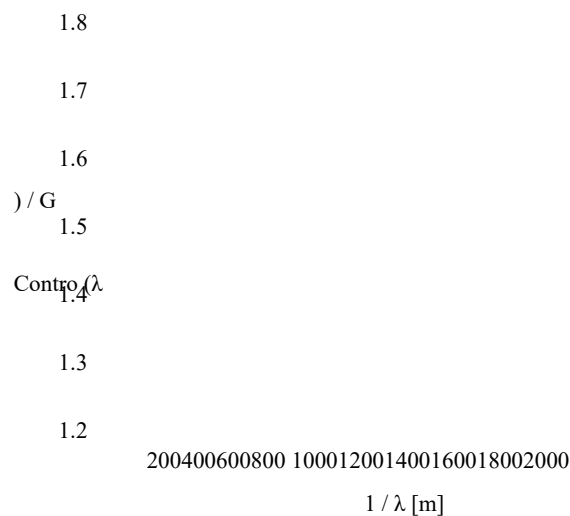


Figura 7.4.: Consumo energetico previsto per unità di distanza per $\alpha = 1.2$

Dall'osservazione che:

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(-\frac{\delta}{\lambda} \right)^k \frac{1}{K!} = e^{-\delta/\lambda} - 1$$

e da [91, Eq. 6.6.2]:

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(-\frac{\delta}{\lambda} \right)^k \frac{1}{k!} \frac{\delta}{k \lambda} = \frac{\delta}{\lambda} \sum_{k=1}^{\infty} \left(-\frac{\delta}{\lambda} \right)^k \frac{1}{k!} = -\frac{\delta}{\lambda} \left(\gamma + \log \left(\frac{\delta}{\lambda} \right) + E_1 \left(\frac{\delta}{\lambda} \right) \right),$$

il teorema è dimostrato.

D

7.4.1. Analisi del consumo energetico

Alla luce del Teorema 1 possiamo trarre alcune conclusioni sulla trasmissione ottima alimentazione per il nodo mittente. Ricorda che la probabilità che un nodo riceva correttamente un pacchetto inviato alla distanza d è $e^{-\lambda d}$, cioè valori alti del parametro λ modellano un sistema in quale la lunghezza di trasmissione prevista è breve. Modelliamo l'energia consumata per a trasmissione in funzione di λ come segue:

$$E_n(\lambda) = G \frac{1}{\lambda^\alpha}, \quad (7.9)$$

dove G è una costante di normalizzazione e α è un parametro che dipende da alcuni ambienti fattori mentali come la profondità del nodo, la salinità e il coefficiente di diffusione [59]. Infatti, nelle reti sottomarine, la potenza di trasmissione viene consumata dalla diffusione di

il segnale e dalla sua attenuazione. Quest'ultimo fattore dipende dalla frequenza adottata dalla rete come affermato dalla formula di Thorp [60], ma tende ad essere minore per minore frequenze. Il coefficiente di diffusione, è inferiore a quello delle reti terrestri, cioè il suo valore è compreso tra 1 e 2. Nel nostro caso possiamo assumere $\alpha > 1$, e calcoliamo l'atteso

92

7.4. Un modello per protocollo multi-hop con antenna direzionale

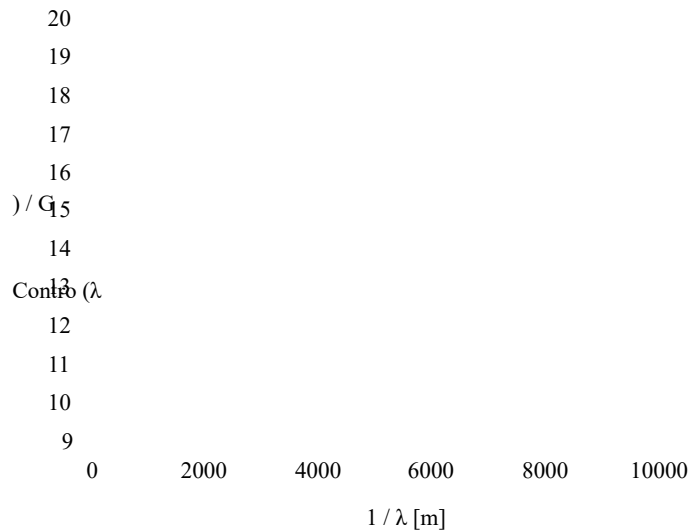


Figura 7.5.: Consumo energetico previsto per unità di distanza per $\alpha = 1.5$

consumo energetico per unità di distanza come:

$$\text{Contro}(\lambda) = \frac{E_n(\lambda)}{L},$$

dove L è calcolato grazie al Teorema 1. Si può dimostrare che per $\alpha > 1$ (che è il caso per scenari pratici), abbiamo che $\text{Cons}(\lambda) \rightarrow 0$ come $\lambda \rightarrow \infty$, mentre $\text{Cons}(\lambda) \rightarrow \infty$ come $\lambda \rightarrow 0$. Ciò conferma l'idea che, dal punto di vista del consumo energetico, è più conveniente eseguire molte trasmissioni multi-hop brevi piuttosto che lunghe trasmissioni. Tuttavia, come vedremo nella sezione 7.4.2, il consumo di energia non lo è l'unico requisito di un UWSN, vale a dire, dobbiamo considerare anche il problema del ritardo end-to-end. Le trasmissioni brevi richiedono che il pacchetto venga inviato più volte per un file la corretta ricezione e il meccanismo multi-hop utilizzato da protocolli come DBR richiede attendere la scadenza del tempo di attesa ad ogni passo di inoltramento / ritrasmissione.

Studieremo il compromesso tra il risparmio energetico e il ritardo tra i bassi e i tempi sezioni seguenti. Nelle Figure 7.4 e 7.5 mostriamo grafici di $\text{Cons}(\lambda) / G$ per alcuni pratici valori di $\alpha = 1,2$ e $\alpha = 1,5$ [92]. Si noti che nel grafico la funzione tende ancora a ∞ per $\lambda \rightarrow 0$ anche se la scala è stata scelta per mostrare il massimo intorno a 100.

7.4.2. Analisi del ritardo end-to-end

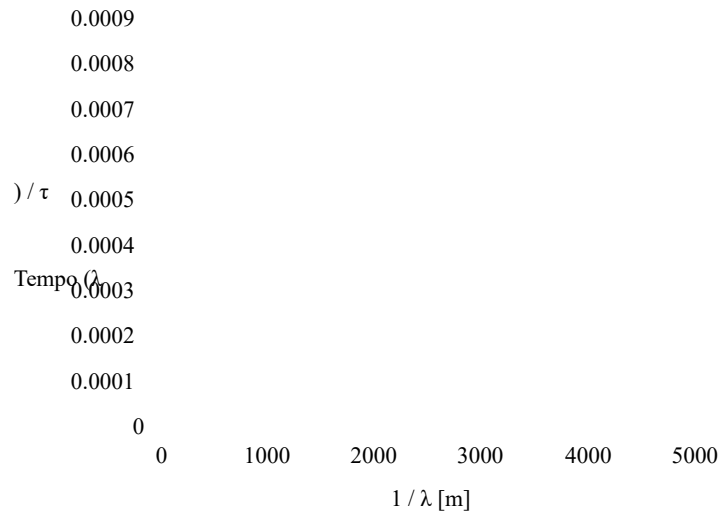
In questa sezione introduciamo un indice delle prestazioni che misura la velocità con cui il pacchetto viene inoltrato nella rete. A tal fine misuriamo il tempo previsto richiesto da un pacchetto per coprire un'unità di distanza. Si noti che quando nessuno degli spedizionieri idonei riceve correttamente il pacchetto inviato da x_0 questo deve essere rispedito e il tempo di attesa deve essere atteso di recente.

Sia τ il tempo richiesto dalla trasmissione del pacchetto. Quindi, il tempo previsto per coprire un'unità di distanza è dato da:

$$\text{Tempo}(\lambda) = \frac{\text{Tr}(\lambda) \tau}{E[L \mid \text{trasmissione corretta}]}, \quad (7.10)$$

Pagina 107

7. Analisi delle prestazioni nel routing basato sulla profondità per reti di sensori wireless subacquee

Figura 7.6.: Tempo previsto per unità di distanza per $\alpha = 1.5$

cioè, il numero atteso di trasmissioni $Tr(\lambda)$ necessarie per ottenere un pacchetto riuscito per-reparto moltiplicato per il tempo richiesto da ciascuna trasmissione e diviso per il
 aspettativa supplementare della distanza percorsa da una trasmissione. Dall'indipendente
 ipotesi, $Tr(\lambda)$ è il valore atteso di una variabile casuale geometrica. Il fallimento
 la probabilità è data dall'equazione (7.4). L'equazione (7.4) può essere usata anche per il calcolo
 dell'aspettativa condizionata e dopo aver semplificato l'equazione (7.5) otteniamo:

$$Tempo(\lambda) = \frac{\tau}{L} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{\lambda}}$$

Nella Figura 7.6 mostriamo il grafico del $Tempo(\lambda) / \tau$ per $\alpha = 1.5$. Come previsto, abbiamo che:

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} Tempo(\lambda) = \infty, \lim_{\lambda \rightarrow 0} Tempo(\lambda) = 0.$$

7.5. Valutazione e ottimizzazione numerica

In questa sezione studiamo un semplice esempio di problema di ottimizzazione. Dal precedente
 sezioni, abbiamo osservato che dal punto di vista del consumo energetico previsto esso
 è più conveniente eseguire più trasmissioni con una portata ridotta per fornire un pacchetto,
 mentre per ridurre al minimo il ritardo end-to-end dovremmo massimizzare la trasmissione
 energia. Possiamo studiare questo compromesso introducendo una funzione di costo definita lineare
 combinazione di questi due indici di performance:

$$Costo(\lambda) = a \cdot Contro(\lambda) + b \cdot Tempo(\lambda),$$

dove $a, b \geq 0$ sono alcune costanti di peso. Considerando che la velocità di propagazione di
 i segnali acustici nell'ambiente sottomarino sono $v_0 = 1500 \text{ m/s}$, prendiamo $2s$ per la somma di
 il tempo di attesa e il tempo di invio. Poiché il consumo di energia dipende fortemente da
 l'implementazione tecnica dei modem acustici, assumiamo come unità di misura base
 per l'energia, l'energia ϵ richiesta per avere $1/\lambda = 100 \text{ m}$, che implica $G = 1000$.

7.5. Valutazione e ottimizzazione numerica

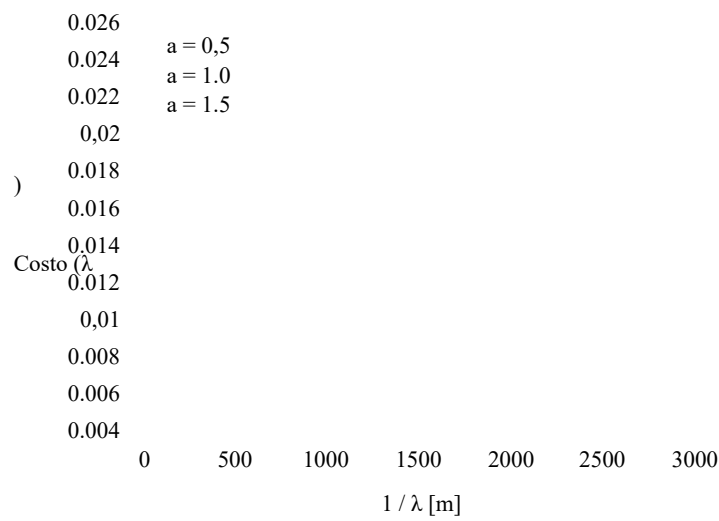


Figura 7.7 .: Funzione di costo per l'esempio della Sezione 7.5

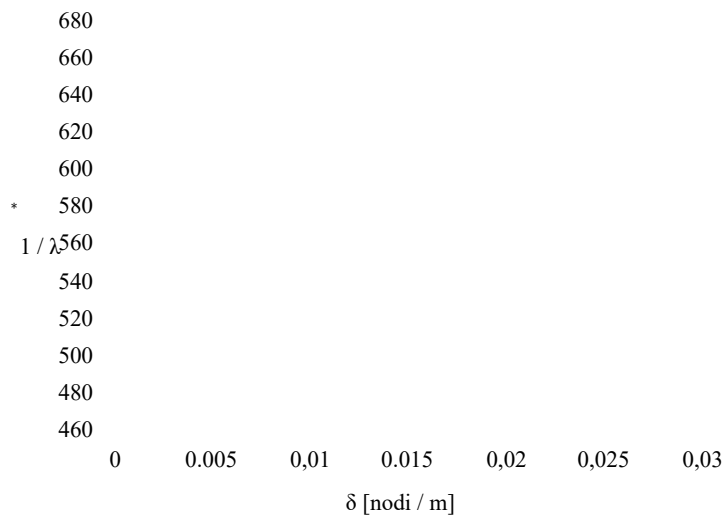


Figura 7.8 .: Soluzione del problema di ottimizzazione (7.11)

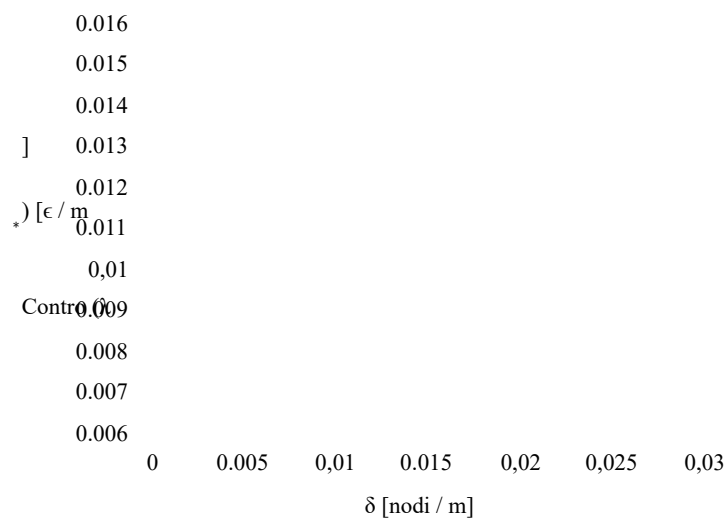


Figura 7.9 :: Consumo energetico previsto per unità di distanza per la configurazione ottimale razione.

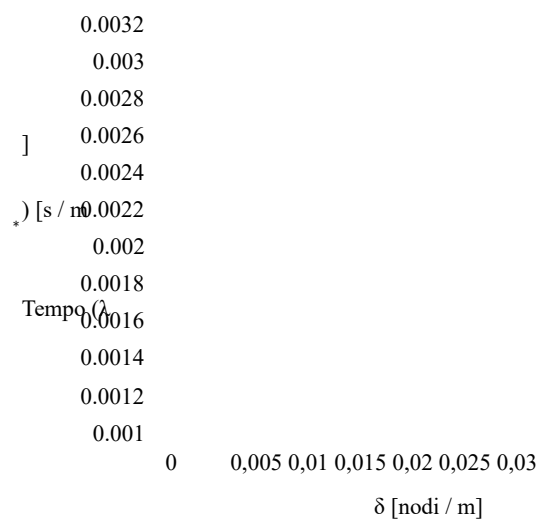


Figura 7.10 :: Ritardo previsto per unità di distanza per la configurazione ottimale.

7.6. Osservazioni conclusive

Prendiamo $b = 1 \text{ m / se}$ a che varia da $0,5 \text{ m / } \epsilon$ a $1,5 \text{ m / } \epsilon$. Nella Figura 7.7 mostriamo il file soluzione grafica al problema di ottimizzazione. Sfortunatamente, la riduzione al minimo di la funzione di costo non ammette una soluzione esplicita, tuttavia semplici approcci numerici può essere adottato per risolvere il problema.

Studiamo ora la relazione tra la densità dei nodi e la trasmissione ottimale λ^* . Sia λ^* la soluzione del problema di ottimizzazione:

$$\lambda^* = \operatorname{argmin}_{\lambda} \{\text{Costo}(\lambda)\}. \quad (7.11)$$

Nella Figura 7.8 mostriamo λ^* come funzione di δ . Notiamo che per densità di nodi molto basse, il modello suggerisce una strategia che preferisce ripetere molte trasmissioni a corto raggio, ovvero, si basa su trasmissioni ridondanti per fornire un pacchetto. La potenza di trasmissione ottimale ha un massimo intorno a $\delta = 0,006$ ma poi diminuisce nuovamente poiché i nodi sono così densi che il protocollo possa ottenere buone prestazioni con bassa energia. Il fatto che λ^* non è una funzione monotona delle densità dei nodi non significa che il protocollo non possa farlo trarre vantaggio quando si passa da $\delta = 0,002$ a $0,05$ come mostrato nelle Figure 7.9 e 7.10. Queste due cifre mostrano i grafici del consumo energetico previsto e del ritardo per metro associato a λ^* . Osserviamo che, come previsto, densità di nodi più elevate danno costi inferiori e quindi prestazioni migliori.

7.6. Osservazioni conclusive

In questo capitolo, abbiamo proposto un modello per un protocollo di instradamento opportunistico per UWSN, ovvero DBR. Nonostante le ipotesi fatte per consentire una tracciabilità analitica degli indici di performance, il modello fornisce una visione dell'impatto del parametro impostazioni sul comportamento del protocollo. Nello specifico, due importanti indici di performance sono stati considerati: il consumo energetico previsto e il ritardo per unità di distanza coperto da una trasmissione hop. Sulla base di questi indici di performance, o su una combinazione delle due, si può ottimizzare il parametro più importante che è la trasmissione energia. I lavori futuri includono l'estensione del modello per far fronte al 3D caratteristica delle antenne omnidirezionali e per consentire un dispiegamento non omogeneo di i nodi di rete. In quest'ultimo caso, il modello potrebbe essere utilizzato anche per la determinazione della distribuzione ottimale dei nodi per un consumo energetico omogeneo dei nodi, e quindi per una maggiore durata della rete.

Identificazione della gamma di trasmissione ottimale in Routing basato sulla profondità per UWSN

8.1. introduzione

Nella maggior parte del nostro lavoro precedente, ci siamo concentrati sulla modellazione stocastica basata sulla profondità instradamento. Questi lavori includono l'identificazione del numero ottimale di salti tra i nodi di origine e di destinazione e, il calcolo della soglia di profondità ottimale considerando il consumo di energia della rete e il rapporto di consegna dei pacchetti. In questo capitolo, noi presentare uno studio di simulazione con l'obiettivo di comprendere l'impatto della trasmissione range dei nodi sugli indici di performance della rete, con particolare attenzione a la sua efficienza energetica. Lo studio si basa su un'ampia serie di simulazioni eseguite in AquaSim-NG utilizzando una libreria che è stata sviluppata con l'obiettivo di fornire un file stima accurata del consumo energetico dei nodi. Il risultato principale di questo capitolo mostra la relazione tra il raggio di trasmissione che fornisce l'energia DBR ottimale efficienza e densità dei nodi in una UWSN.

8.1. introduzione

Negli UWSN, la mobilità dei nodi crea strategie basate sull'identificazione e la memorizzazione di percorsi difficili da applicare nella pratica. Le rotte sono continuamente interrotte e quelle nuove lo sono creato [93]. DBR [24] è un algoritmo di instradamento senza localizzazione e si basa solo sulla profondità informazioni sui nodi per trasmettere i dati dalla sorgente al nodo sink. Quando un node trasmette un pacchetto che tutti i suoi vicini possono riceverlo a causa della natura broadcast di la trasmissione acustica considerata, tuttavia sono ammissibili solo i vicini di bassa profondità per l'inoltro. Quando viene inviato un pacchetto, il protocollo mira a selezionare il vicino che è più vicino alla superficie come spedizioniere in modo che il numero totale di salti sia ridotto e, come di conseguenza, vengono ridotti anche il ritardo end-to-end e il consumo di energia. Questo consente all'algoritmo di controllare l'allagamento e ridurre la probabilità di interferenza. Come discusso in dettaglio nel capitolo 3, la selezione dello spedizioniere si basa su due strategie: il primo è l'introduzione della soglia di profondità che indica la profondità oltre la quale un nodo non può essere uno spedizioniere, mentre il secondo è il tempo di attesa, cioè un ritardo di cui la durata è proporzionale alla differenza di profondità tra mittente e candidato spedizioniere. Quindi, quando un nodo riceve un pacchetto che deve essere inoltrato, attende il Scadenza del tempo di attesa e decide di ritrasmettere il pacchetto solo se nessun altro nodo nel suo raggio di ricezione lo ha precedentemente inoltrato. DBR è considerato il pioniere e uno degli schemi più affidabili nella categoria degli algoritmi di instradamento opportunistico per UWSN ed è ancora ampiamente studiato nella letteratura recente sugli UWSN.

L'effettiva implementazione di una UWSN utilizzando DBR deve affrontare alcuni problemi di progettazione per quanto riguarda l'identificazione dei parametri di configurazione ottimali per il protocollo tale come costanti per il calcolo del tempo di tenuta e del valore di soglia della profondità. Tuttavia, dovrebbe essere chiaro che anche la configurazione dei parametri del livello fisico influisce sulle prestazioni della rete. In particolare, la gamma di trasmissione del nodo fortemente influenza il costo energetico del protocollo. Gli intervalli di trasmissione elevati consumano più energia e aumenta la probabilità di interferenze ma consente a DBR di coprire distanze maggiori con un salto. Questa considerazione suggerisce che devono esistere valori ottimali per intervalli di trasmissione (vedere [94] per un modello analitico di indirizzamento delle reti terrestri questo problema). Un'altra osservazione importante è che il raggio di trasmissione ottimale dipende dalla densità del nodo, poiché densità inferiori implicano un raggio di trasmissione più lungo in per evitare perdite di pacchetti dovute all'assenza di vicini idonei nell'intervallo del mittente.

99

8. Identificazione del raggio di trasmissione ottimale nel routing basato sulla profondità per gli UWSN

8.2. Lavoro correlato

Harris et.al [15] propongono un modello di simulazione per calcolare una potenza di trasmissione accurata richiesta per soddisfare la soglia SNR di 20dB al ricevitore per vari disturbi intermedi tanze tra i nodi. Progettano anche un modello per un canale acustico e forniscono la sua completa implementazione in NS2 utilizzando l'equazione sonar passiva. Noi usiamo questo lavoro per modellare gli eventi di trasmissione corretti nel nostro modello di simulazione. Nella letteratura sulle reti sottomarine, gli aspetti del livello fisico sono stati presi in considerazione per migliorare le prestazioni del routing e dei protocolli MAC. A tal fine, efficienti servizi locali strategie di izzazione, selezione ottimale del raggio di trasmissione e progettazione delle modalità operative dei modem acustici si è dimostrato utile per aumentare la durata della rete, migliorandola la robustezza della sua connettività e la riduzione del ritardo end-to-end.

Porto et.al [45] propone una forma estesa di prevenzione delle collisioni sensibile alla distanza tocol (DACAP) aumentandolo con potenza di trasmissione ottimizzata e selezione della gamma per i nodi del sensore. Tuttavia, a differenza di DACAP, non è necessario vero per DBR che il raggio di trasmissione ottimale è il raggio minimo che assicura la connessione di rete

nettività come risulterà evidente dai nostri esperimenti. Gao et.al [95] forniscono un'analisi modello per la valutazione del consumo energetico della rete. Sulla base di questo modello, loro propongono un metodo per ottenere il raggio di trasmissione ottimale per un dispiegamento casuale Rete.

In [96], gli autori suggeriscono un nuovo schema di instradamento fornito con trasmissione regolabile tecnica della gamma di sion per i nodi del sensore con l'obiettivo di ridurre al minimo il ritardo end-to-end e aumentare l'efficienza energetica. La proposta di Energy efficient Innovative Time Re-Il protocollo di comunicazione (E-ITRC) sfrutta la comunicazione basata su relè per ridurre il numero previsto di salti intermedi verso la stazione base. Tuttavia, E-ITRC adotta una regolazione dinamica della gamma di trasmissione e quindi, rispetto al DBR, richiede un'implementazione del protocollo molto più sofisticata. Infine, esaminano l'impatto della gamma di trasmissione su alcuni indici di performance rilevanti come il efficienza energetica e connettività di rete. Tuttavia, solo una trasmissione hop ha stato considerato e l'astrazione del modello analitico rende difficile derivare a regola pratica per l'impostazione dei parametri del protocollo.

Sebbene tutti questi documenti mirino a specificare il raggio di trasmissione ottimale per il combinazione di alcuni livelli MAC e protocollo di routing, sempre al meglio delle nostre conoscenze non c'è lavoro considerando i range di trasmissione ottimali di DBR tenendo conto l'implementazione dettagliata della rete (ad esempio, problemi di terminale occupato e così via). Per colmare questa lacuna, adottiamo la nostra implementazione [97] di DBR in AquaSim-NG [3] che a Il simulatore basato su NS3 e le sue librerie sono state progettate con una più efficiente e dettagliata framework di simulazione per UWSN. AquaSim-NG è una versione migliorata di AquaSim [29] che è un simulatore specializzato per reti subacquee e contiene livelli completi architettura.

8.3. Dichiarazione problema

Quando distribuiamo una UWSN utilizzando il protocollo di routing DBR, l'impostazione del livello di rete parametri, cioè il tempo di permanenza e la soglia di profondità, sono utili per ridurre al minimo il consumo di energia ma potrebbe non essere sufficiente. In effetti, la selezione di un ottimo il raggio di trasmissione a livello fisico può ridurre drasticamente il costo energetico della rete

100

8.4. DBR e suo modello di simulazione

(e quindi la sua durata) pur mantenendo un rapporto di consegna dei pacchetti ragionevolmente alto. Trans- la portata della missione gioca un ruolo fondamentale nella determinazione del consumo di energia e del pacchetto rapporto di consegna in una UWSN che implementa DBR. Concentriamoci sul costo energetico definito come l'energia prevista richiesta per inviare correttamente un pacchetto al nodo sink. Trans breve gli intervalli di missione causano problemi nella connettività di rete e quindi spesso richiedono ritrasmissioni di pacchetti che causano un elevato consumo di energia. D'altra parte molto le lunghe distanze di trasmissione richiedono più energia per pacchetto e causano l'aumento del numero di trasmissioni ridondanti causate da terminali nascosti.

In questo lavoro, cerchiamo il valore ottimale del raggio di trasmissione dato un certo nodo densità che si traduce in un basso consumo energetico e mantiene un pacchetto ragionevole alto rapporto di consegna. Inoltre, una scelta appropriata del raggio di trasmissione riduce il carico problema terminale [63] limitando il carico sui nodi più stressati dalla rete traffico.

Contributi In questo capitolo, affrontiamo il problema della stima della traslazione ottimale gamma di missione per gli UWSN basati su DBR ricorrendo a un modello di simulazione dettagliato che tiene conto di un'ampia serie di aspetti pertinenti delle implementazioni di rete scopo, usiamo l'estensione di AquaSim-NG [3] presentata nel capitolo 4. Grazie allo sviluppo, il nostro modello di simulazione è in grado di affrontare il problema notoriamente importante per la stima dell'efficienza energetica della rete [24]. Abbiamo considerato diversi scenari e abbiamo derivato sperimentalmente una relazione

tra il raggio di trasmissione ottimale e la densità dei nodi.

Struttura del capitolo La sezione 8.4 richiama brevemente le caratteristiche principali di DBR e descrive il nostro modello di simulazione. Nella Sezione 8.5 mostriamo i risultati della nostra simulazione esperimenti e discuterli. Infine, la Sezione 8.6 fornisce alcune osservazioni finali. Il lavoro descritto in questo capitolo è stato pubblicato in [98] .

8.4. DBR e suo modello di simulazione

In questa sezione richiama brevemente DBR e presentiamo le caratteristiche principali della nostra simulazione modello. Adottiamo un approccio dal basso verso l'alto basato sulla partizione dei livelli dello stack di protocollo. Particolare attenzione sarà dedicata all'analisi del consumo energetico e della probabilità di perdita a livello fisico.

8.4.1. Modellazione del consumo energetico a livello fisico

A livello fisico, il consumo di potenza di trasmissione di un segnale acustico negli UWSN è calcolato usando l'equazione passiva del sonar presentata in [15] che fornisce l'SNR al ricevitore in base ad alcuni parametri tra i quali un ruolo importante è giocato dalla potenza di trasmissione e fattore di Attenuazione-Rumore (AN). Notare che la trasmissione a frequenza (f) influenza in modo preponderante il livello di rumore poiché una frequenza più alta tende ad aumentare la perdita di rumore del segnale. Inoltre l'equazione del sonar passivo utilizza anche l'indice di direttività (DI) che mostra la capacità dell'idrofono del ricevitore di evitare rumori indesiderati. Supponiamo che sia valore come 3 dB.

La potenza di trasmissione richiesta per raggiungere un obiettivo SNR al ricevitore alla distanza d può essere calcolato utilizzando l'algoritmo (2) come segue [15]: L'algoritmo (2) prevede accuratamente

101

8. Identificazione del raggio di trasmissione ottimale nel routing basato sulla profondità per gli UWSN

Algoritmo 2: calcolo del consumo di potenza di trasmissione

```

1: AN [i] ← Attenuazione Rumore f attore per frequenza
2: della larghezza di banda del segnale
3: k ← Coefficiente di diffusione
4: d ← Distanza euclidea tra i nodi
5: Thorp (f [i]) ← perdita di attenuazione per la frequenza
6: della larghezza di banda del segnale
7: Rumore (f [i]) ← perdita di rumore per frequenza del segnale
8: larghezza di banda
9: Pr ← Soglia SNR del ricevitore
10: Pt ← Potenza di trasmissione richiesta per il successo
11: segnale di trasmissione
12: Num_freq ← Numero di frequenze in
13: larghezza di banda del segnale
14: DI ← Indice di direttività

15: da i ← 0 a Num_freq do
16:   AN [i] ← - (k * 10 * log10 (d) + d * Thorp (f [i]) + DI + log10 (Rumore (f [i])));
17:   se AN [i] > AN [max_index] allora
18:     max_index ← i
19:   finisci se
20: fine per
21: Pt = Pr - AN [max_index];
22: return Pt;
```


la potenza di trasmissione richiesta considerando le varie distanze tra i comunicanti nodi. Mirando a un SNR specifico sul ricevitore, l'equazione del sonar passivo fornisce potenza di trasmissione richiesta che aumenta notevolmente con la distanza (vedere, ad esempio, [15]).

La Figura 8.1 mostra la potenza di trasmissione richiesta per ottenere con successo il segnale forza di 20 dbreμPa al ricevitore.

8.4.2. Livello di rete DBR e relativo modello di simulazione

In DBR, i nodi utilizzano sensori basati sulla pressione per stimare la loro profondità e fare affidamento su queste informazioni per trasmettere i pacchetti al sink in superficie. Poiché DBR è un allagamento controllato schema basato sulla corretta impostazione dei suoi parametri, vale a dire la *soglia di profondità* e il *tempo di mantenimento*, gioca un ruolo fondamentale per ottenere alte prestazioni con un basso sumption. Intuitivamente, la selezione del forwarder si basa sull'invio pianificato del pacchetto tempo che viene deciso sulla base del calcolo del tempo di permanenza. Il pacchetto tiene- il tempo è proporzionale alla differenza di profondità tra il mittente e il candidato forwarder e quindi favorisce i nodi che consentono ai pacchetti di coprire distanze maggiori verso i lavandini. La soglia di profondità viene utilizzata per prevenire nodi con una bassa differenza di profondità diventare candidati spedizionieri. Durante il tempo di attesa, i nodi scartano il file pacchetto accodato dopo aver rilevato la sua trasmissione da un vicino di profondità inferiore. Tar DBR ottiene il vicino di profondità più basso del mittente come un spedizioniiere di pacchetti ottimale che è anche utile nel sopprimere le trasmissioni di altri vicini ammissibili del nodo mittente. Grazie a its natura stateless e distribuita, DBR è in grado di gestire il routing in UWSN con elevata mobilità dei nodi e mantiene un basso utilizzo delle risorse (non è necessario memorizzare il routing

102

8.5. Esperimenti di simulazione

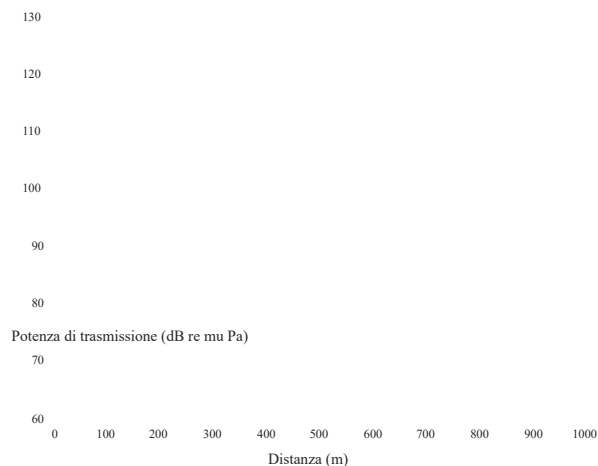


Figura 8.1 : Potenza di trasmissione richiesta per varie distanze

tabelle) e facilità di implementazione.

Secondo [24] in DBR, il tempo di permanenza si ottiene come segue:

$$f_{DBR}(d) = \frac{(2\tau)}{\delta} * (T - d),$$

dove T è il massimo raggio di trasmissione di un nodo, τ è la massima propagazione ritardo di un salto, ovvero $\tau = T / v_0$ (dove v_0 è la velocità di propagazione del suono nell'acqua), d è la differenza di profondità tra il mittente e il destinatario e δ è un fattore di scala dei tempi di permanenza scelti per ottenere la performance ottimale di la rete e per ridurre al minimo il problema del terminale nascosto. L'analisi dell'impatto di questi parametri di configurazione sulle prestazioni di rete è stato fatto in [24] .

Tuttavia, in questo capitolo ci concentriamo sull'impatto di un parametro di configurazione in strato fisico, ovvero il raggio di trasmissione, sulle prestazioni di rete espresse in termini del rapporto di consegna dei pacchetti previsto e del costo energetico.

8.5. Esperimenti di simulazione

In questa sezione, affrontiamo il problema dell'identificazione del raggio di trasmissione ottimale di nodi sensori rispetto al costo energetico della rete ricorrendo alla simulazione modello. Studiamo gli UWSN con diversi numeri di nodi distribuiti in uno spazio fisso di $500\text{m} \times 500\text{m} \times 500\text{m}$ secondo una distribuzione casuale uniforme. Il numero di nodi varia da 100 a 800 e quindi si ricreano scenari simili a quelli che sono stati precedentemente studiati per altri scopi in [24]. La soglia di profondità è $1/4$ della raggio di trasmissione massimo e il modello di mobilità è una passeggiata casuale. Per il livello MAC, implementiamo il protocollo Broadcast MAC [62] che supporta in modo efficiente il funzionamento di protocolli di instradamento basati sul flooding. Il nodo di origine viene posizionato nella parte inferiore del file Rete. Sono stati distribuiti più sink in superficie e il nodo di origine trasmette un file pacchetto singolo dopo ogni due secondi. La Tabella 8. 1 riassume l'impostazione dell'esperimento.

Insieme a questa ottimizzazione studiamo anche il rapporto di consegna dei pacchetti per l'ottimale

103

Pagina 117

8. Identificazione del raggio di trasmissione ottimale nel routing basato sulla profondità per gli UWSN

Parametro	Valore
Dimensioni della rete	$500\text{ m} \times 500\text{ m} \times 500\text{ m}$
Distribuzione	Uniforme casuale
Energia iniziale dei nodi	500J
Dimensione del pacchetto	64 byte
Velocità di mobilità dei nodi	2 m / s
Potenza assorbita in ricezione	0,1 W.
Consumo energetico inattivo	1 mW
Modello di mobilità	Camminata casuale
δ	Gamma di trasmissione
f	3 kHz

Tabella 8.1 .: Parametri di simulazione

gamme di trasmissione. Il rapporto di consegna dei pacchetti è una buona misura per osservare l'impatto del terminale trafficato soprattutto per quanto riguarda le lunghe distanze di trasmissione.

8.5.1. Scenari di simulazione e indici di performance

Per identificare il raggio di trasmissione ottimale, calcoliamo le seguenti prestazioni indici: (i) Costo energetico della rete definito come l'energia prevista necessaria per il successo consegna un pacchetto misurato in Joule per pacchetto, (ii) rapporto di consegna pacchetto e (iii) totale numero di trasmissioni di rete. Per ogni misurazione ne abbiamo eseguite 20 indipendenti esperimenti e costruire gli intervalli di confidenza al 95% la cui larghezza è sempre inferiore al 7% del valore misurato.

8.5.2. Impatto del raggio di trasmissione sul costo energetico della rete, rapporto di consegna dei pacchetti e numero totale di trasmissioni

In questo esperimento si studia il costo energetico della rete in funzione della trasmissione portata del sensore. La figura 8.2 mostra i risultati dei nostri esperimenti, cioè le stime del costo energetico della rete in funzione del raggio di trasmissione delle reti

da 500 a 800 nodi. Osserviamo che per gamme di trasmissione molto basse il costo di le ritrasmissioni dovute a rotte interrotte diventano proibitive dal punto di vista del energia consumata dalle reti, mentre all'aumentare del raggio di trasmissione si ha sia per affrontare il problema del maggior costo per la trasmissione del singolo pacchetto e l'esplosione del numero di ritrasmissioni a causa del problema del terminale nascosto e il conseguente aumento del numero di collisioni. Possiamo anche osservarlo come densità di aumentano i nodi, il costo per trasmissioni ridondanti e le conseguenti collisioni diventare dominante nell'aumentare il costo energetico della rete anche nel suo funzionamento ottimale punto. Per le quattro densità di rete considerate abbiamo un raggio di trasmissione ottimale di circa 180 metri. Vedremo più avanti che sopra una certa densità di nodi il raggio di trasmissione ottimale tende a stabilizzarsi a questo valore nell'ipotesi di Tabella 8.1.

Consultando la Figura 8.3, il rapporto di consegna dei pacchetti aumenta rapidamente con il piega nel raggio di trasmissione grazie alla disponibilità di più percorsi tra la sorgente nodo e i lavandini. Tuttavia, dopo aver raggiunto il punto massimo, diminuisce a causa di

104

8.5. Esperimenti di simulazione

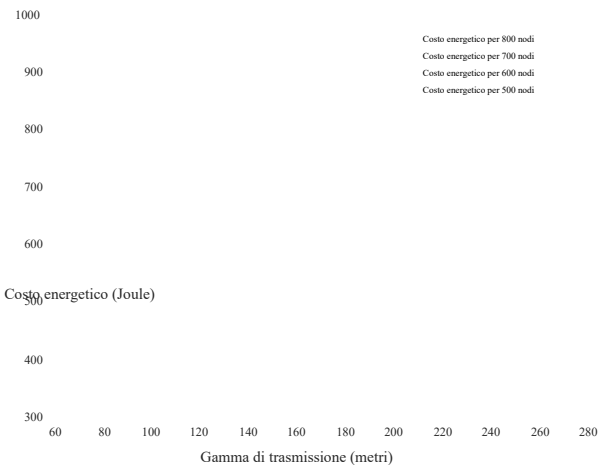
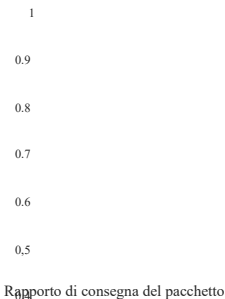


Figura 8.2 .: Costo energetico della rete in funzione del raggio di trasmissione.



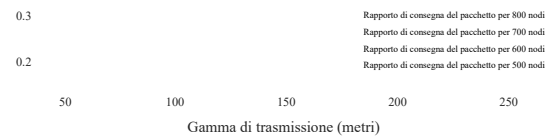


Figura 8.3 .: Rapporto di consegna dei pacchetti con diverse densità di nodi.

8. Identificazione del raggio di trasmissione ottimale nel routing basato sulla profondità per gli UWSN

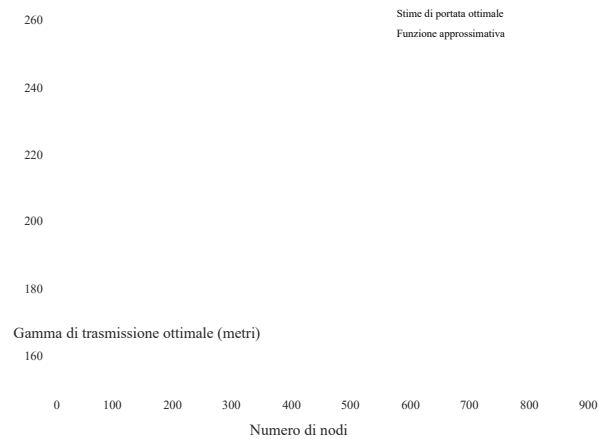


Figura 8.4 .: Gamma di trasmissione ottimale per diverse densità di nodi con energia minima costo.

le trasmissioni ridondanti e i problemi causati dai terminali occupati. È interessante notare che il raggio di trasmissione associato al rapporto ottimale di consegna del pacchetto è coerente con il valore che ottimizza il costo energetico.

Vale anche la pena notare che, come osservato in [63], esiste una forte correlazione tra elevato rapporto di consegna dei pacchetti e riduzione del problema del terminale occupato. Ne vale la pena si noti che i rapporti di consegna dei pacchetti diminuiscono dopo aver raggiunto il massimo ma sembrano diventare più stabile. Anche per quanto riguarda il rapporto ottimale di consegna dei pacchetti, Gli imenti suggeriscono che le reti con densità di 500 nodi superano quelle con maggiore densità in caso di portata di trasmissione superiore a 200 e questo può suggerire che la scoperta le densità ottimali potrebbero essere un problema interessante per lavori futuri. Tuttavia, noi Occorre osservare che una rete con un'elevata densità di nodi tende ad essere più resistente ai guasti e quindi altri indici di performance dovrebbero essere analizzati prima di trarre conclusioni.

8.5.3. Raggio di trasmissione ottimale in funzione della densità del nodo

Al fine di studiare sperimentalmente la connessione tra il raggio di trasmissione ottimale e la densità dei nodi di rete, abbiamo eseguito un ampio set di simulazioni per ogni data densità e individuato il valore ottimale per il costo energetico. Ciò è stato fatto assumendo la convessità della funzione $E_c = f(r)$, dove E_c è il costo energetico in funzione di raggio di trasmissione r . Quindi, si è proceduto utilizzando un metodo di bisezione. Figura 8.4 mostra il raggio di trasmissione ottimale per vari numeri di nodi distribuiti. Osserviamo quello per reti con un numero di nodi superiore a 500 il raggio di trasmissione ottimale si stabilizza a circa 180 metri. Come osservato nella sezione 8.5.2, questo valore viene ottimizzato

sia il costo dell'energia della rete che il suo rapporto di consegna dei pacchetti. Come il numero di distribuiti nodi diminuisce, il raggio di trasmissione ottimale aumenta a 240 metri associati 100 nodi al diminuire del numero di forwarder intermedi provocando la diminuzione in totale consumo energetico della rete.

Secondo i nostri esperimenti se ρ è la densità dei nodi di rete espressa in atteso numero di nodi per km^3 , possiamo dire che il raggio di trasmissione ottimale r^* per DBR

106

8.6. Osservazioni conclusive

diminuisce con ρ più alto come:

$$r^* \propto \rho^{-1/6}.$$

Nella Figura 8.4 tracciamo la funzione $745 / \rho^{1/6}$ e possiamo vedere che fornisce un buono approssimazione delle stime del range ottimale. Osserviamo che questo risultato è abbastanza diverso dalla legge empirica proposta in [45] per DACAP dove la trasmissione ottimale è stato riscontrato che l'intervallo diminuisce con β come $1/\sqrt{\beta}$ dove β è la densità del nodo bidimensionale.

8.6. Osservazioni conclusive

In questo lavoro abbiamo studiato l'impatto della configurazione fisica dei nodi parametri di livello sulle prestazioni del protocollo di routing DBR. Per raggiungere il ns goal, è stato sviluppato un nuovo simulatore basato su AquaSim-NG che rispetto a i suoi predecessori forniscono una modellazione accurata delle modalità operative del modem, il interazioni trasversali richieste da questo protocollo e dal problema del terminale occupato. Il simulator può essere scaricato dal repository ufficiale di AquaSim-NG [97]. In particolare, abbiamo affrontato il problema di determinare la fornitura ottimale del raggio di trasmissione il costo energetico più basso data la densità della rete. A questo scopo abbiamo prima studiato il comportamento del costo energetico in funzione del raggio di trasmissione per reti con dato nodo densità e verificato empiricamente l'esistenza di questo valore ottimale. Quindi, abbiamo cercato questo valore ottimale per diverse densità di nodi. Infine, abbiamo studiato la relazione tra la densità di rete e il raggio di trasmissione ottimale. Come previsto, lo abbiamo scoperto reti sparse richiedono intervalli di trasmissione ottimali più elevati, ma a questi valori tende diminuire lentamente con reti più dense.

In particolare, abbiamo focalizzato la nostra attenzione su tre indici di performance: la rete costo energetico definito come la quantità di energia spesa dalla rete per fornire con successo un pacchetto, il rapporto di consegna del pacchetto e il numero totale di trasmissioni in una simulazione periodo di 200s. Abbiamo osservato che, secondo i nostri esperimenti, la trasmissione varia che minimizzano i costi energetici sono anche quelli che massimizzano il rapporto di consegna del pacchetto. Dagli esperimenti che eseguiamo, abbiamo osservato che il raggio di trasmissione ottimale diminuisce come $1 / \rho^{1/6}$ dove ρ è il numero atteso di nodi per km^3 . Lavori futuri includere lo sviluppo di un modello analitico per convalidare questa legge empirica.

Crediamo che i risultati di questo lavoro, combinati con quanto precedentemente sviluppato ottimizzazioni a livello di rete studiato in [24], possono essere utili per l'ottimizzazione di il consumo di energia negli UWSN che adottano il protocollo di instradamento DBR.

9

Instradamento basato sulla profondità di energia residua (RD) schema per gli UWSN

Negli UWSN, gli schemi di instradamento senza localizzazione presumono che i nodi non abbiano informazioni sulla loro posizione, ad eccezione della loro profondità che può essere misurata da un sensore di pressione. In DBR, i nodi trasmettono i propri pacchetti ma solo i vicini con estensione di profondità inferiori al mittente sono idonei per il loro inoltrato verso un lavandino in superficie. Seguendo le linee di DBR, proponiamo un protocollo di instradamento nuovo e completamente distribuito col, denominato Residual Energy-Depth based routing (RD). Tiene conto del residuo di energia alle batterie dei nodi per selezionare i nodi forwarder e migliora la rete fornendo un consumo di energia più uniforme tra di loro. Confrontiamo le sue prestazioni con quelle di DBR e un protocollo di instradamento basato sul ricevitore che implementa uno schema probabilistico di inoltrato opportunistico.

9.1. introduzione

Come descritto nel [capitolo 2](#), il routing negli UWSN è un problema impegnativo a causa delle caratteristiche intrinseche di questa classe di reti wireless (lungo ritardo di propagazione, mobilità dei nodi, ecc.) e per gli indici di prestazione che devono essere presi in considerazione account, come il throughput di rete, il rapporto di consegna dei pacchetti e il costo dell'energia. In particolare, gli algoritmi di routing devono garantire un basso costo energetico per massimizzare la durata dei nodi della rete.

Tra le opere che considerano il problema enrgy, Energy-Efficient Cooperative Opportunistic Routing Protocol [\[28\]](#) propone uno schema di routing basato su relay migliorato in cui la logica fuzzy è stata impiegata per la selezione dell'insieme dello spedizioniere. L'implemento è stato fatto in AquaSim basato su NS2 [\[29\]](#). Un altro lavoro recente, Routing a basso consumo energetico protocollo [\[68\]](#) mira a migliorare il throughput di rete poiché considera il col-probabilità di lisione come fattore per identificare il percorso tra la sorgente e il nodo sink. Al fine di comunicare i dati relativi alle collisioni di pacchetti, un grande sovraccarico di rete è richiesto che non è sempre fattibile. In [\[67\]](#), Li et al. propongono un MAC cross-layer schema, denominato DBR-MAC, che è stato specificamente progettato per il routing DBR tocol. Mette a punto l'algoritmo di backoff adattivo basato sulla profondità che aiuta i nodi a ridurre al minimo il tempo di backoff in caso di ricezione di un canale vuoto per la trasmissione. DBR-MAC minimizza la probabilità di collisione quindi aumenta il throughput della rete.

Alcune delle idee utilizzate per sviluppare protocolli opportunistici per le UWSN sono ispirate da i precedenti lavori su reti veicolari. In questo lavoro consideriamo un protocollo denominato instradamento distribuito veicolare che impiega un tempo di permanenza basato sulla probabilità per il nodi di inoltrato. In [\[35\]](#) gli autori studiano il trade-off tra la rete end-to-fine del ritardo e il rendimento. La strategia di inoltrato ottimale viene proposta anche mentre considerando il modello di mobilità autostradale per i nodi. Una volta adattato alla subacquea reti, ci riferiamo a questo protocollo come PDBR.

Considerando le applicazioni sensibili al ritardo di UWSN, Hsu et al. [\[99\]](#) propone un percorso protocollo in cui definiscono il routing opportunistico come un modello di ottimizzazione non lineare. Elaborano un'euristica che consiste di due fasi, vale a dire la selezione dell'insieme di spedizionieri e la prioritizzazione dell'inoltrato dei pacchetti. Il modello proposto riduce al minimo l'end-to end ritardo della rete. Profondità-basa subacquea instradamento opportunistico (DUOR) [\[100\]](#) obiettivi per risolvere il problema di percorsi estremamente lunghi e buchi vuoti durante l'inoltrato dei dati. DUOR assegna la priorità al parametro di conteggio hop per evitare un percorso lungo verso il sink nodo che a sua volta migliora la durata della rete. Specifiche basate sulla qualità del collegamento basate sulla coda Il protocollo di routing tra clustering [\[32\]](#) riduce al minimo la perdita di percorso utilizzando un clustering dinamico

9. Schema di instradamento basato sull'energia residua (RD) per gli UWSN

approccio. I cluster vengono creati sulla base del rapporto segnale / rumore minimo tra i i nodi comunicanti inoltre, cluster head raccoglie i dati e li inoltra al file Lavello.

9.2. Contributi

In questa sezione sottolineiamo i contributi del nostro lavoro.

1. Presentiamo un nuovo protocollo di routing denominato Residual energy-Depth (RD) basato schema. In questo schema, il meccanismo per il calcolo del tempo di permanenza si basa su entrambi sulle informazioni sulla profondità e sull'energia residua ai nodi. Le simulazioni lo dimostrano presenta una migliore durata prevista della rete e un rapporto di consegna dei pacchetti più elevato rispetto a DBR e Probabilistic DBR (PDBR) sul costo di un piccolo aumento del consumo energetico complessivo previsto. Intuitivamente, lo schema RD supera il principale problema di DBR, ovvero il fatto che si tenda a scegliere sempre la stessa strada per il sink nodi. Chiaramente, scegliendo percorsi alternativi, lo schema RD consuma più energia tuttavia il traffico è meglio bilanciato sulla rete e quindi l'aspettativa di vita (cioè, il tempo medio alla disconnessione dei nodi a causa della batteria completa consumo di alcuni nodi) dell'intero sistema.
2. Mostriamo anche un'analisi approfondita dell'impatto della configurazione DBR, PDBR e RD parametri sulle prestazioni UWSN sulla base di esperimenti di simulazione effettuati con lo strumento che proponiamo.

Struttura del capitolo Il capitolo è strutturato come segue. La sezione [9.3](#) introduce il calcolo basato su RD del tempo di permanenza. Nella sezione [9.4](#), discutiamo l'impatto dei parametri di configurazione di DBR, PDBR e RD sugli indici di performance di mezzi di simulazioni. La sezione [9.5](#) conclude il capitolo e discute alcuni lavori futuri. Il lavoro presentato in questo capitolo è stato pubblicato in [[50](#)] .

9.3. Schema di instradamento basato su RD

In questa sezione, definiamo lo schema di instradamento basato su RD. In RD, i nodi prendono in considerazione della propria energia residua e informazioni di profondità al fine di prendere decisioni di routing in una moda distribuita.

Lo schema di instradamento basato su RD combina due fattori per il calcolo del tempo di attesa: il (i) Profondità dei nodi e (ii) Energia residua dei nodi. In contrasto con l'energia precedente-schema di routing basato su EEDBR [46], manteniamo un approccio di routing basato sul ricevitore che è più facile da implementare e più robusto per i movimenti dei nodi basati sul mittente uno. I nodi non hanno bisogno di formulare tabelle adiacenti complesse che sono difficili da mantenere grazie alla mobilità continua dei nodi, inoltre, riduce al minimo il sovraccarico di rete, che è necessario per tenersi in contatto con la posizione dei nodi vicini. Informalmente, il RD il protocollo tende a ottimizzare il ritardo end-to-end e il throughput quando i nodi le batterie immagazzinano una buona quantità di energia. Tuttavia, poiché l'energia viene consumata (ad es. nei terminali occupati) il protocollo privilegia la scelta di percorsi non ottimali in ordine per migliorare il bilanciamento del carico della rete e quindi la sua aspettativa di vita. In pratica, i nodi calcolano il tempo di permanenza utilizzando sia la propria energia residua che la profondità differenza con il mittente.

Figura 9.1 .: Cambiamento di tendenza nel calcolo del tempo di permanenza nello schema basato su RD

Di conseguenza, a differenza di altri protocolli di instradamento sensibili all'energia [46] , il formato dei pacchetti inviati è identico a quello del DBR originale. La Figura 9.1 mostra il variazione nei criteri di selezione dello spedizioniere causata dal calcolo della partecipazione tempo.

9.3.1. Selezione dello spedizioniere

Quando la rete si avvia, il nostro schema segue la procedura di selezione dello spedizioniere prioritaria da informazioni approfondite dei nodi considerando la loro piena energia residua. Durante il tempo di attesa calcolo, è implementato a causa del valore più alto di $\arccot(r_0/r)$ rispetto al rispettivo valore di $\arctan(r_0/r)$.

Gli spedizionieri vengono selezionati principalmente sulla base della differenza di profondità dovuta alla priorità prima parte. Quando l'energia residua dei nodi a bassa profondità è diminuita a causa del continuo ri-selezione come forwarder, miglioriamo l'impatto dell'energia residua dei nodi sul loro tempo di attesa. In quel momento, valore più alto di $\arctan(r_0/r)$ rispetto al rispettivo valore di $\arccot(r_0/r)$ aiuta a selezionare i nodi ad alta energia residua come forwarder ottimali.

Calcolo del tempo di permanenza dei nodi

La formula principale ha due parti **(i)** La prima parte tiene conto della differenza di profondità e **(ii)** La seconda parte impiega l'energia residua dei nodi. Viene calcolato il tempo di permanenza come segue:

$$f_{RD}(d, r) = \frac{4}{\pi} \left[\arccot \left(\frac{r}{r_0} \right) \cdot \frac{(2\tau)}{\delta} \cdot (T-d) + \arctan \left(\frac{r}{r_0} \right) \cdot \max_holding_time \cdot \left(1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right) \right] \quad (9.1)$$

dove r l'energia residua al nodo r_0 è la sua energia iniziale. \arctan e \arccot sono utilizzato per impostare il peso della profondità e dell'energia residua nel calcolo del tempo di tenuta.

111

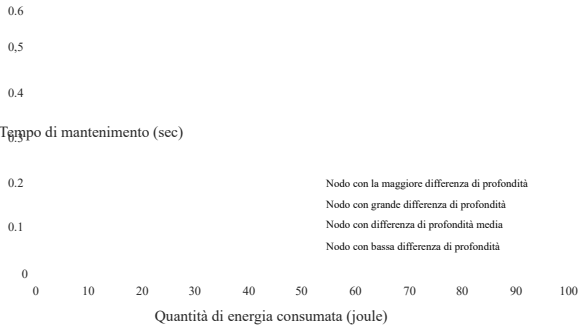


Figura 9.2 .: Variazione del tempo di mantenimento di quattro nodi con profondità casuale per RD schema

T è il raggio di trasmissione di un nodo ed è la differenza di profondità. Il moltiplicativo la costante $4/\pi$ è usata in modo che i valori ottimali per τ e δ siano gli stessi di DBR quando il nodo è completamente carico. max_holding_time è un parametro di sistema (ovvero il valore massimo tempo di attesa di un nodo può contenere un pacchetto) ed è uguale a un secondo. τ è il massimo ritardo di propagazione di un salto, cioè $\tau = T/v_0$ (dove v_0 è la velocità di propagazione del suono in acqua) e δ è un fattore di scala dei tempi di permanenza, che viene scelto per ottenere le prestazioni ottimali della rete e ridurre al minimo il terminale nascosto problema.

Si noti che poiché r/r_0 è vicino a 1, il primo termine della somma nell'equazione (9.1) è preponderant e quindi il protocollo si comporta tenendo conto solo della differenza di profondità per calcolare il tempo di attesa. Tuttavia, poiché r/r_0 è vicino a 0, il valore di f_{RD} principalmente dipende dal valore del secondo mandato e quindi si adotta una politica di risparmio energetico. Nella Figura 9.2 , consideriamo il tempo di mantenimento calcolato di quattro nodi con una profondità diversa differenza con lo stesso nodo mittente. Inizialmente, ipotizziamo la forte diminuzione dell'energia di nodi con una grande differenza di profondità rispetto ai nodi con una minore differenza di profondità.

9.3.2. Caratteristiche specifiche

Nel complesso, lo schema di routing RD è uno schema basato sul ricevitore completamente distribuito e quindi facile da implementare nell'UWSN reale. Allevia il routing basato sulla profondità convenzionale dal formazione di tabelle adiacenti complesse che sono difficili da mantenere a causa del movimento dei nodi.

Nella prossima sezione, mostreremo che questo meccanismo migliora l'equilibrio dell'energia consumo tra i nodi e quindi osserviamo una maggiore durata della rete con rispetto a DBR e PDBR. Tuttavia, la scelta di percorsi non ottimali riduce leggermente il velocità di trasmissione della rete e aumentare il ritardo end-to-end quando alcuni nodi di rete avere poca energia.

9.4. Esperimenti di simulazione

Parametro	Valore
Dimensioni della rete	250 m × 250 m × 250 m
Distribuzione	Uniforme casuale
Energia iniziale dei nodi	50J
Dimensione del pacchetto	64 byte
Gamma di trasmissione	75m
Velocità di mobilità dei nodi	1 m / s, 3 m / s
Consumo di potenza di trasmissione	2 W
Ricezione del consumo di energia	0,1 W

Tabella 9.1 .: Parametri di simulazione

9.4. Esperimenti di simulazione

Negli esperimenti, confrontiamo le prestazioni dello schema basato su RD proposto con quello di DBR e PDBR [35] in termini di durata prevista della rete, ritardo end-to-end, rapporto di consegna dei pacchetti e consumo energetico totale della rete. Sotto le varie reti impostazioni, ovvero velocità di mobilità del nodo diversa e diversi valori di δ . Osserviamo che RD- Lo schema basato migliora la durata della rete mantenendo un pacchetto ragionevole alto rapporto di consegna con il piccolo compromesso per il consumo di energia di rete.

9.4.1. Scenari simulati e metodologia

I nodi di rete vengono distribuiti in modo casuale con una distribuzione spaziale uniforme, il sink viene posizionato sulla superficie dell'acqua e il nodo sorgente è posto alla massima profondità ea una posizione casuale con tutti gli altri nodi che si muovono alla velocità di 1m / so 3m / s, secondo l'esperimento. Il nodo sorgente trasmette un pacchetto ogni 2 secondi con una dimensione del pacchetto di 64 byte. Altri dettagli delle impostazioni di simulazione sono presenti in tabella 9.1 . Si noti che queste impostazioni sono coerenti con quelle proposte in [24].

9.4.2. Confronto di RD, DBR e PDBR

In questa sezione, esaminiamo i cambiamenti nel comportamento di alcune prestazioni importanti metriche dovute a varie velocità di mobilità dei nodi. Secondo [24] studiamo il nostro modello per velocità del nodo comprese tra 1 m / sa 3 m / s.

La Tabella 9.2 mostra il miglioramento della durata della rete (cioè l'epoca in cui osserviamo il primo consumo completo di batteria di un nodo) del protocollo RD come rispetto agli schemi precedenti. Il calcolo del tempo di permanenza in RD-based schema fornisce un bilanciamento del carico globale tra i nodi, tuttavia le differenze tra gli schemi diminuiscono all'aumentare della velocità del nodo. Questo perché quando i nodi hanno alte velocità di mobilità, il problema di DBR e PDBR di selezionare gli stessi percorsi con l'alta probabilità diminuisce.

La Figura 9.3 e la Figura 9.4 : il rapporto di consegna dei pacchetti per scenari con differenti velocità di mobilità dei nodi. Il r : di consegna dei pacchetti per scenari con mobilità dei nodi di

9. Schema di instradamento basato sull'energia residua (RD) per gli UWSN

Mobilità dei nodi	1 m / s	3 m / s
Numero di nodi 100	150200250100	150 200 250
RD	1090 830 806787 1222950901918	
PDBR	890 731 652 639 1362 861 757 692	
DBR	708 599 567 619 948	693620681

Tabella 9.2 .: Tempo di scadenza previsto dell'energia del primo nodo in unità di tempo per DBR, PDBR e RD



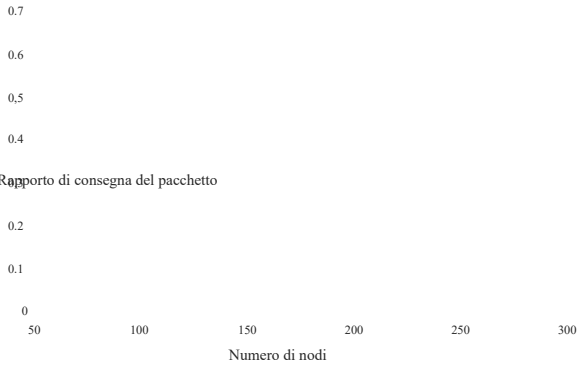


Figura 9.3 .: Confronto del rapporto di consegna con velocità di mobilità del nodo = 1 m / s per DBR, PDBR e RD

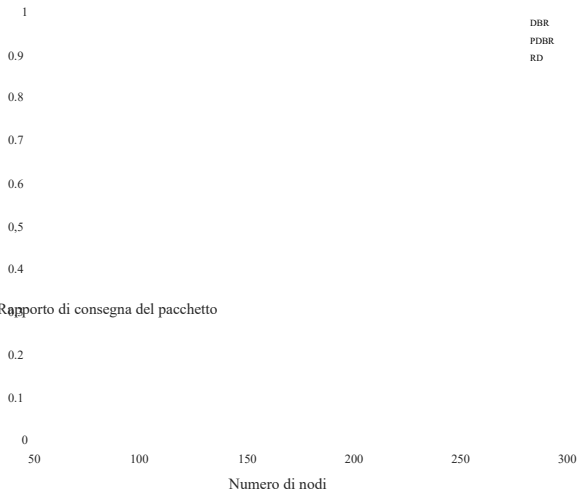


Figura 9.4 .: Confronto del rapporto di consegna con velocità di mobilità del nodo = 3m / s per DBR, PDBR e RD

9.4. Esperimenti di simulazione

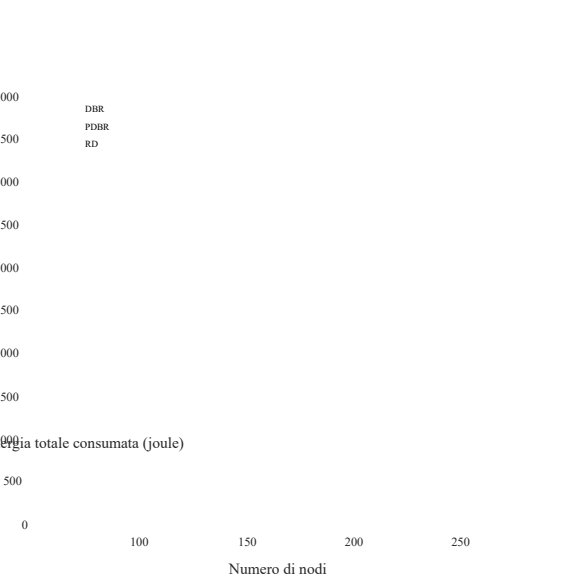


Figura 9.5 :: Confronto del consumo di energia con velocità di mobilità del nodo = 1m / s per DBR, PDBR e RD

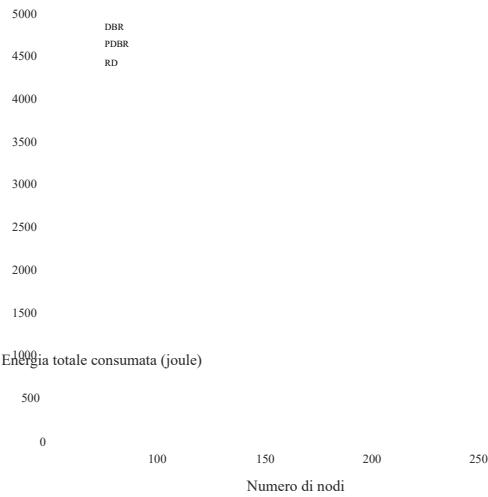


Figura 9.6 :: Confronto del consumo di energia con velocità di mobilità del nodo = 3m / s per DBR, PDBR e RD

115

9. Schema di instradamento basato sull'energia residua (RD) per gli UWSN

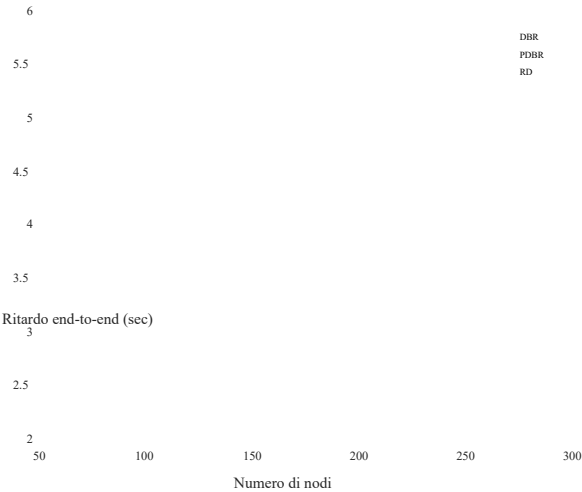


Figura 9.7 :: Confronto del ritardo end-to-end con velocità di mobilità del nodo = 1 m / s per DBR, PDBR e RD

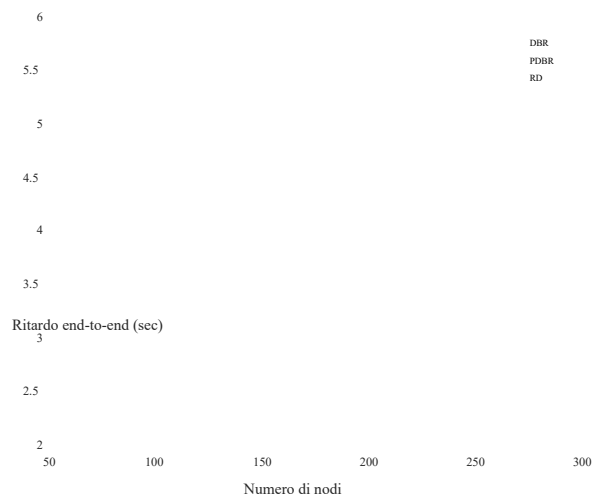


Figura 9.8 .: Confronto del ritardo end-to-end con la velocità di mobilità del nodo = 3 m / s per DBR, PDBR e RD

116

9.4. Esperimenti di simulazione

Valore di δ	R / 2						R
Numero di nodi	100	150	200	250	100	150	200
RD	741	652	660	702	737	628	623
PDBR	664	574	502	545	596	503	488
DBR	574	505	472	546	508	461	469

Tabella 9.3 .: Tempo di scadenza dell'energia del primo nodo in unità di tempo con valore diverso di δ per DBR, PDBR e RD

1 m / s è inferiore a quello di 3 m / s a causa di un numero inferiore di nodi di inoltro idonei. Vediamo tale rapporto di consegna aumenta gradualmente con l'aumento del numero di nodi distribuiti. È interessante osservare che, coerentemente con [24], velocità dei nodi più elevate influenzano negativamente il rapporto di consegna dei pacchetti per le reti sparse, ma può fare l'effetto opposto nelle reti dense poiché i nodi tendono ad avere una migliore distribuzione spaziale. Per quanto riguarda le prestazioni di DBR e PDBR, lo schema basato su RD mostra un aumento del rapporto di consegna dei pacchetti continua a variare gli spedizionieri selezionati e sceglie percorsi diversi verso il sink. Come un Di conseguenza, aumenta la probabilità di più percorsi disponibili per il nodo di origine. Il rapporto di consegna inferiore di DBR è anche ascrivibile al fatto che i nodi con minore la profondità viene scelta più spesso come forwarder che causa la congestione della rete e a conseguente maggior numero di pacchetti persi.

PDBR affronta anche il problema del rapporto di consegna dei pacchetti inferiore a causa della diminuzione numero di trasmissioni totali che è un compromesso per una riduzione dell'energia totale consumo. Intuitivamente, la trasmissione basata sulla probabilità in PDBR riduce la rete consumo di energia e dà un ritardo end-to-end ridotto, tuttavia la consegna del pacchetto il rapporto è diminuito.

La Figura 9.5 e la Figura 9.6 n il consumo energetico totale dei nodi nel file

Rete. Vediamo che il consumo energetico totale di DBR e PDBR è leggermente inferiore a RD sia per velocità del nodo di 1m / se 3m / s. Questo perché nella RD-basato sullo schema, c'è un incremento nel numero di spedizionieri ammissibili che aumenta il numero di trasmissioni ridondanti. Ciò solleva l'ovvio compromesso tra aumento del rapporto di consegna: δ e del consumo energetico totale della rete.

La Figura 9.7 e la Figura 9.8 mostrano l'aumento del ritardo end-to-end per i sistemi basati su RD schema rispetto a DBR e PDBR. δ è la conseguenza della scelta di RD instradamento per scegliere percorsi non ottimali al fine di risparmiare energia nei nodi altamente stressati e quindi per prolungare la durata della rete. Un altro fattore è che man mano che i nodi consumano la loro energia, i tempi di permanenza tendono ad allungarsi.

Studiamo anche l'impatto dei valori scelti per i parametri δ nella performance indici. Anche in questi casi i nostri esperimenti mostrano un compromesso tra la consegna del pacchetto rapporto e il consumo energetico totale. Questo può essere osservato consultando la Figura 9.9 e la Figura 9.10.

La Figura 9.11 e la Figura 9.12 mostrano la quantità di energia consumata dai nodi nella rete. Indica che lo schema (basato su RD), in cui più i nodi sono attivi nell'inoltro dei dati provocando un elevato consumo di energia locale così come un'ottimizzazione globale per il bilanciamento del carico nella rete. Tabella 9.3 mostra l'aumento della durata della rete dello schema basato su RD rispetto a DBR e PDBR, con i vari valori del parametro δ .

L'idea è che non possiamo mettere il carico su pochi nodi a bassa profondità per grandi quantità

9. Schema di instradamento basato sull'energia residua (RD) per gli UWSN

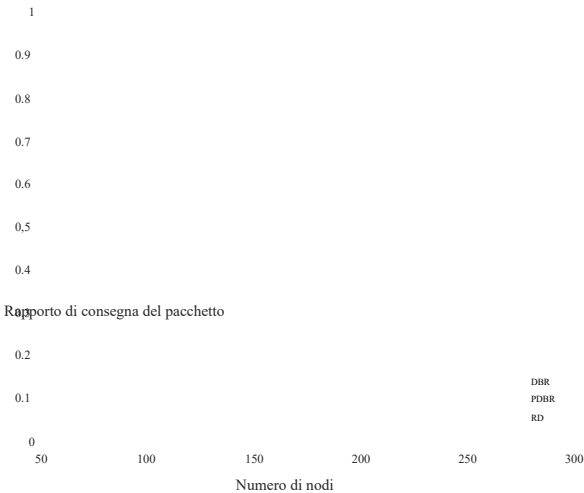


Figura 9.9 .: Confronto del rapporto di consegna con valore $\delta = R / 2$ per DBR, PDBR e RD

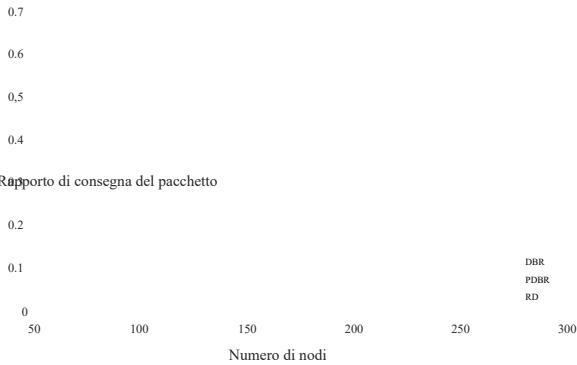


Figura 9.10 .: Confronto del rapporto di consegna con valore $\delta = R$ per DBR, PDBR e RD

118

9.4. Esperimenti di simulazione

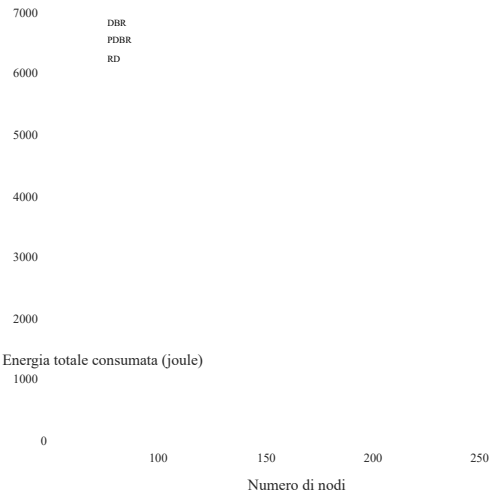
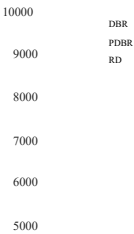


Figura 9.11 .: Confronto del consumo di energia con valore $\delta = R / 2$ per DBR, PDBR e RD



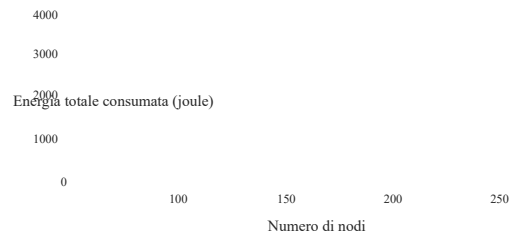


Figura 9.12 .: Confronto del consumo di energia con valore $\delta = R$ per DBR, PDBR e RD

9. Schema di instradamento basato sull'energia residua (RD) per gli UWSN

di inoltro dei dati, quindi nello schema basato su RD, sfruttiamo le metriche, ad esempio il tempo di attesa calcolo per raggiungere questo scopo. Nel nostro modello, l'implementazione delle modalità operative di nodi (vedere il [capitolo 4](#)) durante la rete in esecuzione dimostra l'importanza di fornendo approssimazioni del tempo di invio e ricezione accurato dei pacchetti a livello fisico, poiché influisce in gran parte sulle metriche delle prestazioni. Man mano che la rete diventa più densa, l'energia il consumo aumenta anche a causa dell'aumento del consumo totale di energia a vuoto. Al di sopra di tutto, l'elevato consumo totale di energia sembra un parametro di compromesso per una maggiore rete durata e migliore rapporto di consegna dei pacchetti della rete.

9.5. Osservazioni conclusive

In questo lavoro proponiamo un nuovo protocollo di routing, denominato RD, che, al contrario di DBR, PDBR e EEDBR, mantiene le caratteristiche di essere un ricevitore basato per-schema di protezione tenendo conto dell'energia residua dei nodi per la selezione degli spedizionieri. Sulla base del nostro strumento, abbiamo valutato gli indici di performance del Schema basato su RD e schemi di routing precedenti basati sulla profondità. Mostriamo che questo nuovo modo di calcolare il tempo di attesa dei nodi fornisce un migliore bilanciamento del carico nella rete sebbene il ritardo end-to-end possa essere aumentato. In effetti, l'idea principale di RD è quella possiamo rinunciare a scegliere il percorso più veloce per un pacchetto al fine di ridurre il traffico problema terminale e di distribuire il ruolo di inoltro a un numero maggiore di nodi.

120

Pagina 134

10

**Tempo di tenuta adattivo e basato sulla profondità
Routing per UWSN**

10. Tempo di attesa adattivo e instradamento basato sulla profondità per UWSN

Negli UWSN, i miglioramenti tradizionali dello schema di routing basato sulla profondità (DBR) si basano su sull'aumento del sovraccarico di rete o sull'adozione di schemi di localizzazione offline migliorare le prestazioni della rete in termini di consumo energetico, ritardo end-to-end o velocità effettiva di rete. Sfortunatamente, le tecniche basate sulla localizzazione sono molto difficili da ottenere implementare nella pratica.

In questo lavoro vengono mostrati alcuni risultati preliminari sulle prestazioni di un percorso schema chiamato Adaptive Holding time and Depth-based routing (AHT) che proponiamo per adattare dinamicamente i parametri di configurazione DBR. Nello specifico, mostriamo una serie di esperimenti di simulazione che suggeriscono che le reti che implementano AHT mostrano un ridotto consumi energetici rispetto a quelli che implementano la versione standard di DBR. Le simulazioni vengono eseguite utilizzando la nostra libreria di simulazione [49] di DBR sviluppata per il simulatore simulatore subacqueo AquaSim-Next Generation (NG), che si basa su Network Simulator-3 (NS3). Le caratteristiche di questa libreria (rappresentazione dettagliata di comunicazioni cross-layer e modalità di funzionamento dei modem) ci consente un accurato previsione del miglioramento delle prestazioni di AHT rispetto al DBR standard. Il il lavoro presentato in questo capitolo è stato pubblicato in [101] .

10.1. sfondo

Negli ultimi anni, gli UWSN sono emersi come un importante dominio di ricerca grazie al loro applicazioni per la gestione dei fondali marini, monitoraggio dell'inquinamento, monitoraggio sismico ecc. Le prestazioni delle applicazioni degli UWSN dipendono in gran parte dall'utilizzo di segnale acustico come collegamento di trasmissione. Precedenti lavori [30], dominio di la comunicazione acustica subacquea può essere classificata in base al loro livello di accesso, ad esempio, fisico, MAC (Medium Access Control) e livello di rete. Instradamento basato sulla profondità protocollo (DBR) è un protocollo a livello di rete che utilizza alcune funzionalità a più livelli. Uno di il suo punto di forza è che è un protocollo di instradamento senza localizzazione [2], cioè richiede solo l'estensione conoscenza della profondità dei nodi. Nonostante questa quantità limitata di informazioni, DBR è in grado di affrontare le sfide tipiche degli UWSN come la mobilità dei nodi e il grandi perdite di trasmissione. I protocolli di instradamento senza localizzazione funzionano in modo completamente distribuito modo, in particolare DBR [24] capitalizza le informazioni di profondità dei nodi con successo trasmettere i dati dal nodo di origine al sink in superficie. Per determinare la profondità informazioni sui nodi, vengono utilizzati sensori basati sulla pressione.

Per la valutazione delle prestazioni delle reti di sensori, sono disponibili vari ambienti di simulazione stato proposto. Durante la revisione della letteratura, siamo passati attraverso i modelli progettati per il calcolo del consumo energetico della rete e dei diversi metodi di energia raccolta in reti di sensori. Erol et al. [85] forniscono il modello per studiare il fenomeno delle reti di pacchetti energetici e discutere la relazione tra il flusso di energia e i dati trasmissione di pacchetti. In [104], gli autori propongono un quadro algebrico per prevedere il connettività di rete e interferenza di comunicazione nelle reti mobili ad hoc. Nodo la mobilità è stata presa in considerazione al fine di eseguire l'analisi comportamentale per reti wireless. In un altro lavoro, Bujari et al. [105] propone un modello analitico analizzare i ben noti meccanismi di prevenzione della congestione nelle reti su larga scala, in che hanno valutato le prestazioni dei meccanismi attraverso varie metriche ad es. lunghezza media della coda, tempo di attesa previsto e velocità effettiva del sistema, ecc.

10.2. Motivazione e contributo del problema

10.2. Motivazione e contributo del problema

DBR considera la differenza di profondità tra il nodo mittente e destinatario per selezione dello spedizioniere. Il meccanismo principale adottato da DBR è piuttosto semplice: quando un nodo riceve un pacchetto, calcola la differenza di profondità tra se stesso e il mittente. Se questo valore è inferiore alla soglia di profondità, il pacchetto viene scartato. Altrimenti, il file il nodo attende un tempo (chiamato holding time) proporzionale alla differenza di profondità. In questo modo, è più probabile che i nodi più vicini alla superficie vengano selezionati come forwarder.

In questo contesto, dobbiamo impostare due parametri: la soglia di profondità e la moltiplicatore attivo per il calcolo del tempo di permanenza. Valori inferiori di questi parametri aumentare il numero totale di trasmissioni in rete e quindi l'energia prevista consumo per pacchetto consegnato con successo, mentre valori maggiori riducono il pacchetto rapporto di consegna e ritardo del pacchetto end-to-end. Inoltre, può essere visto dal precedente funziona che il valore ottimale per questi parametri dipende fortemente dalla densità del nodo di il network. In questo lavoro, proponiamo AHT, una tecnica che consente ai nodi di funzionare dinamicamente stimare la densità dei nodi nella regione degli UWSN in cui si trovano e adattarli parametri di configurazione al fine di ottenere una maggiore efficienza della rete. Il protocollo mostra i suoi vantaggi nelle reti in cui i nodi sono distribuiti in modo non omogeneo.

10.3. Modello di sistema

Consideriamo una rete 3D che fornisce ai nodi distribuiti la distribuzione casuale uniforme bution. Sul livello fisico della comunicazione acustica, utilizziamo la formula di Thorp [15] per calcolare l'attenuazione totale del segnale acustico come segue:

$$10\log A(l, f) = k * 10\log(l) + l * 10\log(\alpha(f)), \quad (10.1)$$

Nell'equazione sopra, l indica la distanza euclidea tra il mittente e il destinatario, f è la frequenza del segnale, k è il coefficiente di diffusione mentre $\alpha(f)$ mostra il totale perdita di assorbimento del segnale. Stimiamo la perdita di rumore totale NL combinando i quattro componenti di seguito:

$$NL = N_t(f) + N_s(f) + N_w(f) + N_{th}(f). \quad (10.2)$$

dove ($N_w(f)$) denota il fattore vento, ($N_s(f)$) è il fattore di spedizione, ($N_{th}(f)$) è il fattore termico e ($N_t(f)$) è il fattore di turbolenza. Usiamo BroadcastMac [62] protocollo per il controllo dell'accesso al mezzo.

Nella nostra rete, il ritardo totale end-to-end è composto da più componenti. Il ritardo del tempo di mantenimento dei nodi e i ritardi di propagazione sono i due componenti principali. La velocità del segnale acustico è indicata da q che può essere calcolata come segue [56] :

$$q = 1449,05 + 45,7 t - 5,21 t^2 + 0,23 t^3 + (1,333 - 0,126 t + 0,009 t^2) (S - 35) + 16,3 z + 0,18 z^2, \quad (10.3)$$

$$t = T / 10. \quad (10.4)$$

dove T è la temperatura in °C, S è la salinità e z è la profondità in km.

10. Tempo di attesa adattivo e instradamento basato sulla profondità per UWSN

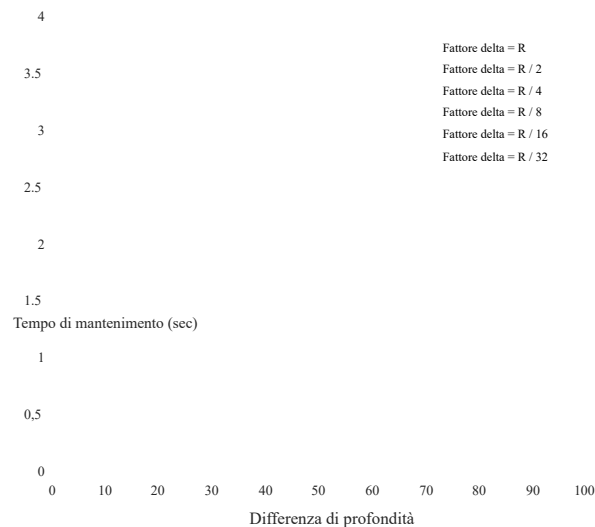


Figura 10.1.: Variazione della durata del tempo di permanenza a causa di variazioni del fattore delta per AHT

10.4. Metodologia di AHT

L'operazione del protocollo è stata suddivisa nelle parti sequenziali. Prima di tutto, i nodi ricevono i pacchetti da tutti i vicini e controllano le informazioni di profondità memorizzate dei file vicini nell'instestazione dei pacchetti ricevuti. I nodi iniziano a contare il numero di loro vicini a bassa profondità insieme alla media delle loro differenze di profondità. Quindi, a partire da nella regione ad alta profondità, tutti i nodi trasmettono il loro fattore δ calcolato e il vicino contare nell'instestazione del pacchetto, che viene infine utilizzata dai destinatari per decidere sui dati inoltro.

Calcolo adattivo del tempo di permanenza In questo lavoro, seguiamo l'approccio basato sul proach di DBR con le seguenti modifiche:

- I nodi calcolano una stima del numero dei loro vicini di profondità inferiore (N) per controllando le informazioni di profondità memorizzate nei pacchetti ricevuti da loro fino a a certo tempo. N viene quindi ulteriormente aggiunto all'instestazione dei pacchetti inviati dal nodo.
- Il ricevitore utilizza il valore ricevuto di N per calcolare il proprio fattore δ e quindi il tempo di attesa per il pacchetto ricevuto.

Il tempo di permanenza è calcolato sulla base della formula sotto riportata:

$$\text{Holding_time (d, N)} = \frac{(2\tau)}{\delta} * (T - d), \text{ dove } \delta = T / N \quad (10.5)$$

dove N è il numero stimato di vicini di profondità inferiore del nodo mittente, τ è un ritardo di propagazione massimo per la comunicazione diretta nella rete, d è la profondità differenza tra mittente e destinatario e T è il raggio di trasmissione massimo di qualsiasi nodo. Nel nostro schema, δ dipende dal valore di N grazie al quale è il ricevitore in grado di stimare la densità del vicino su se stesso durante la competizione per il pacchetto

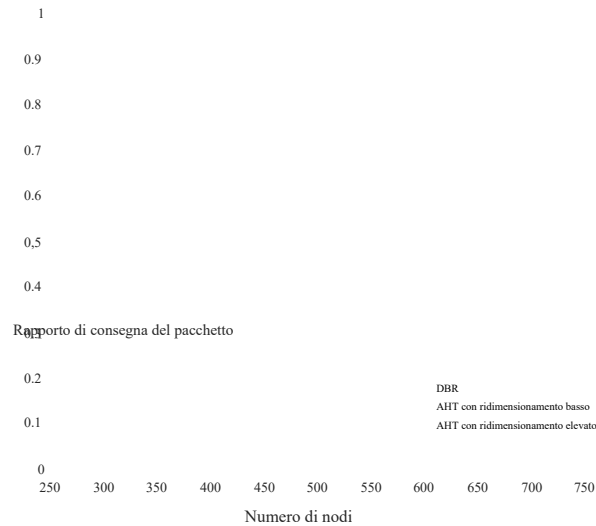


Figura 10.2.: Rapporto di consegna dei pacchetti di rete per vari numeri di nodi distribuiti per DBR e AHT

inoltre. Se N è alto, ciò implica un'alta densità di vicini attorno a se stesso, e quindi ciò si traduce in un fattore δ di valore basso e in una grande scala del tempo di tenuta per il pacchetto ricevuto.

A causa dell'ampio ridimensionamento del tempo di attesa, trasmissioni ridondanti da parte del nascosto i terminali sono ridotti. Di conseguenza, ciò porta a una diminuzione dell'energia totale della rete consumo e un aumento della vita della rete. Al contrario, bassi valori di N si traduce in un ridotto ridimensionamento del tempo di mantenimento e in una rapida ritrasmissione.

Soglia di profondità basata sulla media Si propone anche l'adozione di una **soglia di profondità basata sulla media** soglia di profondità (AD_{th}) determinata calcolando la media delle differenze di profondità tra un nodo mittente e i suoi vicini di profondità inferiore. Invece di usare una profondità fissa come in DBR, i nodi riceventi trovano la loro idoneità per l'inoltro dei dati utilizzando l'estensione AD_{th} memorizzato dal nodo mittente. Formalmente, AD_{th} è calcolato come segue:

$$AD_{th} = \left(\sum_{i=1}^N d_i \right) / N, \text{ dove } AD_{th} > D_{min} \quad (10.6)$$

D_{min} è il limite minimo per AD_{th} per evitare l'allagamento, mentre d_i è la differenza di profondità ference del mittente e esimo nodo ricevente. Ogni nodo calcola il rispettivo AD_{th} per il suo ricevitori calcolando la media delle differenze di profondità e memorizza queste informazioni nell'intestazione di pacchetti trasmessi. Le informazioni vengono utilizzate da un destinatario per trovare la sua idoneità inoltro dei dati. In caso di alta densità del vicino, questo meccanismo riduce ulteriormente il numero di trasmissioni totali nella rete a causa dell'aumento di AD_{th} mentre si mantiene l'elevato rapporto di consegna dei pacchetti.

Figura 10.3 .: Consumo energetico totale della rete per vari numeri di nodi distribuiti per DBR e AHT

10.5. risultati e discussione

Le simulazioni sono state eseguite nel simulatore subacqueo specializzato AquaSim-NG [3] .

Nelle nostre impostazioni di simulazione, abbiamo preso una rete di dimensioni $500\text{ m} \times 500\text{ m} \times 500\text{ m}$ aggiungendola il numero di nodi distribuiti varia da 300 a 700.

Per i nostri risultati iniziali, abbiamo preso un raggio di trasmissione fisso e nessuna mobilità per i nodi. Noi ha confrontato i nostri risultati con DBR e ha calcolato le importanti metriche delle prestazioni del totale consumo di energia, ritardo end-to-end e rapporto di consegna dei pacchetti della rete. Nella figura [10.3](#) , mostriamo che il consumo totale di energia diminuisce per un'alta densità di rete scenario che fornisce anche il massimo rapporto di consegna dei pacchetti. Tuttavia, per meno numero dei nodi distribuiti, c'è un piccolo miglioramento in quanto risulta a causa di nascosto ridotto al minimo terminali con densità di rete inferiore. Il ritardo end-to-end è il parametro di compromesso che è aumentato a causa dell'elevato ridimensionamento del fattore δ . La Figura [10.2](#) mostra che sebbene il pacchetto il rapporto di consegna del nostro schema è inferiore a quello di DBR per un numero inferiore di nodi distribuiti, tuttavia, viene ignorato poiché il numero ottimale di nodi distribuiti è preferito da cui è stato possibile ottenere il rapporto massimo di consegna dei pacchetti. Pertanto, il nostro schema funziona molto meglio per le condizioni dense. La Figura [10.4](#) mostra che il ritardo end-to-end per il fattore δ in scala elevato è maggiore degli altri due schemi che funge da fattore di compromesso minimizzare il consumo energetico della rete.

10.6. Osservazioni conclusive

Nel dominio dei protocolli di instradamento senza localizzazione, la maggior parte dei nuovi protocolli di instradamento ignora le regole di base del design che le rendono un po' irrealistiche. Questi protocolli di solito impiegare schemi di localizzazione offline che aumentano l'efficienza energetica della rete, tuttavia aumentare il costo di implementazione della rete. Progettiamo il protocollo di routing AHT, che



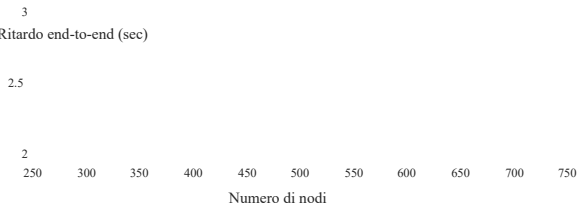


Figura 10.4 .: Ritardo end-to-end della rete per vari numeri di nodi distribuiti per DBR e AHT

riduce il consumo energetico totale della rete a scapito del ritardo end-to-end specifico per le reti ad alta densità. Forniamo le sue molteplici versioni discutendo i casi di scala alta e bassa scala del fattore δ . Nel lavoro futuro, miriamo ad affrontare i problemi di mobilità del nostro programma.

Pagina 142

In questa tesi abbiamo presentato il nostro lavoro nel campo dell'analisi e simulazione di protocolli di instradamento per reti di sensori sottomarini (UWSN). Gli UWSN utilizzano nodi sensore per rilevare attributi fisici dell'acqua come temperatura, pressione, ecc. Negli ultimi tempi anni, gli UWSN sono emersi brillantemente per le loro applicazioni come la gestione dei giacimenti petroliferi, esplorazione della situazione del mare profondo e prevenzione delle acque inquinate. Nel complesso, abbiamo contribuito allo sviluppo del campo implementando a nuovo strumento di simulazione per reti sottomarine e ideazione di nuovi modelli stocastici che consentono una migliore comprensione delle dinamiche dei protocolli di rotta sottomarina, nello specifico per quanto riguarda le loro prestazioni grazie a questi risultati siamo stati in grado di proporre linee guida e algoritmi per la determinazione della parametrizzazione ottimale di protocolli di instradamento per UWSN. Particolare attenzione è stata dedicata a un aspetto cruciale che determina l'effettiva implementazione di una strategia di routing, ovvero l'energia consumo.

Per progettare il simulatore, abbiamo studiato lo stato dell'arte degli strumenti di simulazione per gli UWSN con particolare attenzione a quelli basati su Network Simulator (NS). Noi ha anche esplorato la revisione della letteratura per gli UWSN, la comunicazione acustica, ulteriormente spostata

verso le reti di sensori acustici subacquei (UASN). Nel [capitolo 4](#) abbiamo sviluppato un nuovo strumento basato su NS3, che estende il precedente Aquasim-NG al fine di comprendere un modello dettagliato del consumo energetico dei sensori subacquei. In particolare, l'accuratezza di implementazione delle modalità operative dei modem acustici e della subacquea i modelli di perdita di canale rendono questo strumento uno strumento prezioso per la valutazione delle prestazioni degli UWSN. Abbiamo analizzato il flusso di pacchetti a diversi livelli di reti sotto vari condizioni di rete al fine di convalidare i risultati del nostro modello. Abbiamo anche studiato un file astrazione di un protocollo di instradamento opportunistico e derivato le sue condizioni di lavoro ottimali basate sulle caratteristiche della rete. Il nostro strumento di simulazione è disponibile gratuitamente e distribuito come open source [[49](#)].

I protocolli di instradamento negli UWSN propongono diversi metodi per l'instradamento dei dati verso l'aveicolo per il viso o boe. Le condizioni dinamiche dell'acqua, le variazioni delle topologie, l'energia vincoli e alta probabilità di errore durante l'inoltro dei dati sono sfide importanti in la progettazione dei protocolli di instradamento negli UWSN. Andando verso la progettazione del protocollo di routing per gli UWSN, abbiamo analizzato e ottimizzato il routing basato sulla profondità (DBR). DBR è uno dei i principali protocolli distribuiti e basati su ricevitori utilizzati per l'instradamento nelle UWSN. Escogita DBR un robusto meccanismo che gestisce in modo efficiente gli errori di canale.

Nel [capitolo 5](#) e nel capitolo 6 abbiamo presentato i nostri lavori di ricerca collaborativa con il Prof. Dieter Fiems e il Prof. Majid Shabouhi. Nel [capitolo 5](#) abbiamo sviluppato uno stocastico modello per trovare il numero ottimale di salti di inoltro tra origine e destinazione che ha ridotto al minimo il consumo di energia mantenendo un buon rendimento ragionevole e end-to-end ritardo. In questo modello, la mobilità dei nodi gioca inoltre un ruolo centrale, il modello consente il analisi dell'impatto della mobilità su alcuni indici di performance rilevanti, tra cui il rapporto di consegna del pacchetto e il consumo di energia. Dal punto di vista pratico, il risultato consente al progettista della rete di scegliere una parametrizzazione adeguata vista la mobilità modelli dei nodi. Nel [capitolo 6](#), abbiamo progettato un accurato modello probabilistico di un file schema di routing opportunistico generale che ci ha permesso di studiare l'impatto della profondità soglia nella definizione di questi tipi di protocolli [[79](#)]. In pratica, in questo lavoro, noi ha dimostrato che l'ottimalità dei protocolli opportunistici può essere raggiunta introducendo a soglia sugli spedizionieri idonei di un pacchetto. Inoltre, il lavoro fornisce un calcolo metodo per derivare questa soglia e studia il trade-off tra il rapporto di consegna dei pacchetti e il numero previsto di spedizionieri per ciascuna trasmissione. Mostriamo anche che esiste un file

11. Conclusioni

soglia di profondità critica al di sopra della quale la probabilità di una corretta trasmissione del pacchetto la superficie affonda scende drasticamente e quindi le comunicazioni di rete risultano essere irrealizzabile. Ciò evidenzia ulteriormente l'importanza di configurare correttamente il percorso protocollo. Tutte queste conclusioni sono state convalidate grazie al simulatore che noi sviluppato nella prima parte della tesi.

Nonostante la sua semplice formulazione, il corretto funzionamento del DBR dipende da un insieme di parametri di configurazione i cui valori non sono facilmente stimabili utilizzando simulazioni stocastiche. Sebbene DBR sia ampiamente adottato per le implementazioni UWSN effettive, in letteratura ci sono pochissimi modelli per la sua analisi, e quindi trovare il parametro è un compito difficile. Nei nostri prossimi due lavori, abbiamo lavorato per coprire parzialmente questo aspetto gap proponendo un insieme di modelli analitici che consentono il calcolo efficiente dei indici di prestazione delle reti che utilizzano DBR. Nel [capitolo 7](#) abbiamo proposto una tecnica parametrizzare la configurazione del protocollo che dipende dalle condizioni locali di ciascuno nodo, in particolare sul numero di vicini percepiti [[78](#)]. Le simulazioni lo dimostrano la soluzione aiuta a controllare il consumo energetico della rete. Nel [capitolo 8](#), il modello che proponiamo mira a determinare la potenza di trasmissione ottimale per DBR reti studiando il trade-off tra l'energia consumata per una certa trasmissione gamma di sion e il numero di ritrasmissioni necessarie per raggiungere il sink [[98](#)]. Discutiamo le implicazioni dei nostri risultati e validarli mediante simulazioni stocastiche su AquaSim-NG.

Nel [capitolo 9](#) e nel capitolo 10, abbiamo proposto il nuovo schema di routing basato sul ricevitore Residual Energy-Depth (RD) in cui miglioriamo la durata della rete [[50](#)]. Nel [capitolo 10](#) abbiamo proposto un nuovo schema di instradamento chiamato Adaptive holding time based routing (AHT), che riduce il consumo di energia rispetto a DBR [[101](#)]. Noi sfruttiamo i parametri di soglia di profondità e fattore di scala per i tempi di tenuta quali sono i principali fattori decisivi per l'ottimizzazione delle prestazioni di routing.

Il lavoro futuro include la necessità di progettare uno schema di localizzazione per i nodi sottomarini in modo da migliorare le prestazioni dell'algoritmo di instradamento AHT. In effetti, AHT è utile per migliorare la distribuzione del nodo statico negli UWSN, le sue prestazioni diminuiscono per il nodo alto mobilità poiché i nodi perdono il conteggio del numero previsto di vicini a bassa profondità. Questo problema può essere risolto utilizzando uno schema di localizzazione in grado di prevedere il numero previsto di vicini a bassa profondità per qualsiasi nodo inferendo alcune proprietà sui modelli di mobilità dei nodi. Questi modelli possono essere dedotti monitorando le intensità del segnale e da adottando alcuni modelli di mobilità stocastica. Pertanto, i risultati analitici proposti in questa tesi può essere sfruttata per ottenere i parametri di configurazione ottimali del routing protocolli dato lo stato della porzione di rete che interagisce con un certo nodo.

130

Bibliografia

- [1] Y. Noh, U. Lee, S. Lee, P. Wang, LF Vieira, J.-H. Cui, M. Gerla e K. Kim, "Hydrocast: instradamento della pressione per reti di sensori sottomarini", *IEEE Transactions sulla tecnologia dei veicoli*, vol. 65, n. 1, pagg. 333–347, 2016.
- [2] RW Coutinho, A. Boukerche, LF Vieira e AA Loureiro, "Design guide-linee per instradamenti opportunistici nelle reti sottomarine", *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, n. 2, pagg. 40–48, 2016.
- [3] R. Martin, Y. Zhu, L. Pu, F. Dou, Z. Peng, J.-H. Cui e S. Rajasekaran, "Aqua-sim next generation: un simulatore basato su ns-3 per reti di sensori sottomarini", in *accettato negli Atti della 10a Conferenza Internazionale sull'Acqua Reti e sistemi*, pagg. 18-22, ACM, 2015.
- [4] W. org., "Sinking of dongfang zhi xing. <https://en.wikipedia.org/wiki/>

- [Sinking of Dongfang zhi Xing](#), 2015. [in linea; accesso 05/05/2018].
- [5] WHOI (WHOI), "Conosci il tuo oceano". <https://www.whoi.edu/know-your-ocean>, 2018. [online; accesso 05/05/2018].
- [6] S. Jiang, "Sul trasferimento affidabile dei dati nelle reti acustiche sottomarine: un'indagine da prospettiva di rete ", *IEEE Communications Surveys & Tutorials* , vol. 20, no. 2, pagg. 1036–1055, 2018.
- [7] G. Carter, "Time delay estimation for passive sonar signal processing," *IEEE Transazioni su Acoustics, Speech, and Signal Processing* , vol. 29, n. 3, pagg. 463–470, 1981.
- [8] A. Caiti, K. Grythe, JM Hovem, SM Jesus, A. Lie, A. Munafò, TA Reinen, A. Silva e F. Zabel, "Collegamento di comunicazioni acustiche e prestazioni di rete: Integrazione e sperimentazione di una rete acustica sottomarina ", *IEEE Journal di Oceanic Engineering* , vol. 38, n. 4, pagg. 758–771, 2013.
- [9] H. Luo, K. Wu, R. Ruby, F. Hong, Z. Guo e LM Ni, "Simulazione ed esperimenti piattaforme di imitazione per reti di sensori acustici subacquei: avanzamenti e sfide ", *ACM Computing Surveys (CSUR)* , vol. 50, n. 2, pagine 28: 1–28: 44, 2017.
- [10] RW Coutinho, A. Boukerche, LF Vieira e AA Loureiro, "Underwater reti di sensori wireless: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia ", *ACM Computing Surveys (CSUR)* , vol. 51, n. 1, pagg. 19–55, 2018.

Bibliografia

- [11] ID Chakeres e EM Belding-Royer, "Implementazione del protocollo di instradamento Aodv design ", *accettato negli Atti della 24a Conferenza Internazionale del Workshop sui sistemi di calcolo distribuito, 2004.* , pp. 698–703, IEEE, 2004.
- [12] RE Langer, "Sulle formule di connessione e le soluzioni dell'equazione delle onde", *Physical Review* , vol. 51, n. 8, pagg. 669–676, 1937.
- [13] M. Ayaz, I. Baig, A. Abdullah e I. Faye, "Un'indagine sulle tecniche di instradamento in reti di sensori wireless derwater ", *Journal of Network and Computer Applications* , vol. 34, n. 6, pagg. 1908-1927, 2011.
- [14] G. Tuna e VC Gungor, "Un'indagine sulle tecniche di distribuzione, localizzazione algoritmi e sfide di ricerca per subacquea reti di sensori acustici," *In-Giornale internazionale dei sistemi di comunicazione* , vol. 30, no. 17, 2017.
- [15] AF Harris III e M. Zorzi, "Modeling the underwater acoustic channel in ns2", *è accettato negli Atti della 2a conferenza internazionale sulla performance metodologie e strumenti di valutazione, Valuetools* , p. 18, 2007.
- [16] H. Luo, Z. Guo, K. Wu, F. Hong e Y. Feng, "Strategie bilanciate dal punto di vista energetico per massimizzando la durata delle reti di sensori acustici subacquei poco distribuiti ", *Sensori* , vol. 9, n. 9, pagg. 6626–6651, 2009.
- [17] M. Erol, LF Vieira e M. Gerla, "Localization with dive'n'rise (dnr) beacons per le reti di sensori acustici subacquei ", *accettato negli Atti del Seconda conferenza internazionale su reti e sistemi sottomarini* , *WUWNet* , pagg. 97–100, ACM, 2007.
- [18] J. Yi, D. Mirza, R. Kastner, C. Schurgers, P. Roberts e J. Jaffe, "Toa-ts: Time della sincronizzazione e del monitoraggio del tempo congiunto basato sull'arrivo per dispositivi mobili sott'acqua sistemi ", *Ad Hoc Networks* , vol. 34, pagg. 211–223, 2015.

- [19] P. Xie, Z. Zhou, Z. Peng, J.-H. Cui e Z. Shi, "Sdrt: un trasporto dati affidabile protocollo per reti di sensori subacquei ", *Ad Hoc Networks* , vol. 8, no. 7, pagg. 708–722, 2010.
- [20] L. Karim, QH Mahmoud, N. Nasser, A. Anpalagan e N. Khan, "Localiza-
reti di comunicazione m2m terrestri e subacquee basate su sensori: ar-
chitettura, classificazione e sfide ", *International Journal of Communication
Systems* , vol. 30, no. 4, 2017.
- [21] B. Allotta, F. Fanelli, N. Monni, C. Petrioli, L. Picari, A. Ridolfi e D. Spac-
cini, "Consentire la cooperazione e il networking in reti subacquee eterogenee
composto da veicoli e modem multi-vendor ", è *accettato negli Atti del
Oceans '17 / MTS / IEEE Aberdeen* , IEEE, 2017.
- [22] Z. Zhou, Z. Peng, J.-H. Cui e Z. Shi, "Comunicazione multipath efficiente per
applicazioni critiche in termini di tempo nelle reti di sensori acustici subacquei ", *IEEE / ACM
transazioni in rete* , vol. 19, no. 1, pagg. 28–41, 2011.
- [23] G. Cario, A. Casavola, PGM Lupia, C. Petrioli e D. Spaccini, "Long lasting
rete di sensori wireless subacquea per il monitoraggio della qualità dell'acqua negli allevamenti ittici ", in
accettato in Proceedings of Oceans '17 / MTS / IEEE Aberdeen , IEEE, 2017.

132

Pagina 146

Bibliografia

- [24] H. Yan, ZJ Shi e J.-H. Cui, "Dbr: percorso basato sulla profondità per sensori subacquei
sor networks ", è *accettato negli Atti della Conferenza Internazionale su
Ricerca in Networking, NETWORKING Ad Hoc e Sensor Networks, Wireless
Networks, Next Generation Internet* (AD et al., Ed.), Vol. 4982 di *Lecture Notes
in Computer Science* , pp. 72-86, Springer, 2008.
- [25] M. Zuba, M. Fagan, Z. Shi e J.-H. Cui, "Uno schema di instradamento della pressione resiliente
per le reti acustiche sottomarine ", *accettato negli Atti del Global
Conferenza sulle comunicazioni (GLOBECOM), 2014* , pagg. 637–642, IEEE, 2014.
- [26] H. Yu, N. Yao, T. Wang, G. Li, Z. Gao e G. Tan, "Wdfad-dbr: Weighting depth
e protocollo di instradamento dbr divisione area di inoltro per uasns " , *reti ad hoc* ,
vol. 37, pagg. 256–282, 2016.
- [27] Y. Noh, U. Lee, P. Wang, BSC Choi e M. Gerla, "Vapr: Void-aware pressure
instradamento per reti di sensori sottomarini ", *IEEE Transactions on Mobile Computing* ,
vol. 12, no. 5, pagg. 895–908, 2013.
- [28] MA Rahman, Y. Lee e I. Koo, "Eecor: an energy-efficient cooperative oppor-
protocollo di instradamento tunistico per reti di sensori acustici subacquei, " *IEEE Access* ,
vol. 5, pagg. 14119–14132, 2017.
- [29] P. Xie, Z. Zhou, Z. Peng, H. Yan, T. Hu, J.-H. Cui, Z. Shi, Y. Fei e S. Zhou,
"Aqua-sim: un simulatore basato su ns-2 per reti di sensori sottomarini", *accettato in
la tecnologia biloxi-marine Proceedings of Oceans '09 / MTS / IEEE per il nostro futuro:
sfide globali e locali* , pagg. 1–7, IEEE, 2009.
- [30] IF Akyildiz, D. Pompili e T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks:
sfide della ricerca " , *reti ad hoc* , vol. 3, no. 3, pagg. 257–279, 2005.
- [31] S. Basagni, C. Petrioli, R. Petrocchia e D. Spaccini, "Carp: A channel-aware
protocollo di instradamento per reti wireless acustiche sottomarine, " *Ad Hoc Networks* ,
vol. 34, pagg. 92–104, 2015.
- [32] M. Faheem, G. Tuna e VC Gungor, "Lrp: Link quality-aware queue-based
protocollo di routing di clustering spettrale per reti di sensori acustici subacquei, " *In-*

- [33] A. Stefanov e M. Stojanovic, "Progettazione e analisi delle prestazioni subacquee reti acustiche ", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* , vol. 29, no. 10, pagg. 2012–2021, 2011.
- [34] MR Jafri, N. Javaid, N. Amjad, M. Akbar, ZA Khan e U. Qasim, "Impatto di modelli di propagazione acustica su tecniche di instradamento basate sulla profondità in reti di sensori wireless per l'acqua ", *accettato negli Atti del 28 ° Inter-conferenza nazionale sulle reti informative avanzate e sul lavoro sulle applicazioni negozi (WAINA), 2014* , pagg. 479–485, IEEE, 2014.
- [35] A. Abedi, M. Ghaderi e C. Williamson, "Instradamento distribuito per annunci veicolari reti hoc: compromesso tra throughput e ritardo ", *accettato negli Atti di IEEE International Symposium on Modeling, Analysis & Simulation of Computer e Sistemi di telecomunicazione, MASCOTS* , pagg. 47–56, IEEE, 2010.

133

Pagina 147
Bibliografia

- [36] MB Porter, "The bellhop manual and user guide: Preliminary draft" , *Heat, Light, and Sound Research, Inc., La Jolla, CA, USA, Tech. Rappresentante* , 2011.
- [37] KB Smith, "Convergenza, stabilità e variabilità del pre-dizioni utilizzando un modello di equazione parabolica di Fourier a fasi separate ", *Journal of Computa-acustica nazionale* , vol. 9, n. 01, pagg. 243–285, 2001.
- [38] FA de Souza, BS Chang, G. Brante, RD Souza, ME Pellenz e F. Rosas, "Ottimizzare il numero di salti e ritrasmissioni per un multi-hop underwater acoustic communications, " *IEEE Sensors Journal* , vol. 16, n. 10, pagg. 3927–3938, 2016.
- [39] D. Marinakis, K. Wu, N. Ye e S. Whitesides, "Ottimizzazione della rete per pianificazione stocastica leggera nelle reti di sensori sottomarini, " *IEEE Transazioni sulle comunicazioni wireless* , vol. 11, n. 8, pagg. 2786–2795, 2012.
- [40] D. Li, J. Du e L. Liu, "Un algoritmo di routing dei dati basato sul modello di Markov in underwater wireless sensor networks ", *accettato negli Atti dell'IEEE In-Conferenza internazionale sulla banda larga senza fili Ubiquitous (ICUWB), 2016* , pagg. 1–4, IEEE, 2016.
- [41] S. McCanne, S. Floyd, K. Fall e Varadhan, "Network simulator ns-2." <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 1997. [in linea; accesso: 05/05/2018].
- [42] C. Petrioli, R. Petroccia, JR Potter e D. Spaccini, "The sunset framework for simulazione, emulazione e test in mare di reti di sensori wireless sottomarini ", *Reti ad hoc* , vol. 34, pagg. 224–238, 2015.
- [43] T. King, "A simulator for marine wireless sensor networks," *Graduate Thesis for il titolo di Laurea Magistrale in Informatica* , 2011.
- [44] M. Tahir, P. Yan e L. Shuo, "Caratterizzazione del canale della propagazione delle onde em zione alla frequenza mhz attraverso l'acqua di mare ", *International Journal of Communication Systems* , vol. 31, n. 3, p. e3462, 2018.
- [45] A. Porto e M. Stojanovic, "Ottimizzazione del raggio di trasmissione in un sott'acqua acoustic network ", nella *conferenza Oceans 2007* , pagg. 1–5, IEEE, 2007.
- [46] A. Wahid, S. Lee, H.-J. Jeong e D. Kim, "Fedbr: Efficienza energetica basata sulla profondità

protocollo di instradamento per reti di sensori wireless subacquei ", *accettato nel Proceedings della 3a Conferenza Internazionale sull'Informatica Avanzata e Information Technology* , pagg. 223–234, Springer, 2011.

- [47] RW Coutinho, A. Boukerche, LF Vieira e AA Loureiro, "Geographic e instradamento opportunistico per le reti di sensori subacquei ", *IEEE Transactions on Computer* , vol. 65, n. 2, pagg. 548–561, 2016.
- [48] J. Wills, W. Ye e J. Heidemann, "Modem acustico a bassa potenza per reti di sensori derwater ", in *accettato negli Atti della 1a Internazionale Conferenza su reti e sistemi sottomarini* , *WUWNet* , pagg. 79–85, ACM, 2006.

134

Pagina 148
Bibliografia

- [49] R. Martin e M. Jafri, "Aquasim-next generation: Libraries, ns3 based simulator per reti subacquee. <https://github.com/rmartin5/aqua-sim-ng/>" 2016. [in linea; accesso: 05/05/2018].
- [50] M. Jafri, S. Balsamo, A. Marin e R. Martin, "Implementation of depth-based routing e il suo miglioramento in aquasim: la prossima generazione per il wireless subacqueo reti di sensori ", *International Journal of Communication Systems* , p. e3714, 2018.
- [51] S. Climent, J. Capella, A. Bonastre e R. Ors, "Un nuovo modello per la ns-3 simulatore di un nuovo protocollo di instradamento applicato al wsn subacqueo ", *accettato in Atti della Conferenza internazionale 2011 sulle reti wireless (ICWN'11)*, Las Vegas, NV, USA , pagg. 18-21, IEEE, 2011.
- [52] R. Masiero, S. Azad, F. Favaro, M. Petrani, G. Toso, F. Guerra, P. Casari, e M. Zorzi, "Desert underwater: an ns-miracle-based framework to design, simulate, emulare e realizzare banchi di prova per i protocolli di rete sottomarina ", è *accettato in Atti della conferenza IEEE Oceans 2012* , pagg. 1–10, IEEE, 2012.
- [53] N. Baldo, F. Maguolo, M. Miozzo, M. Rossi e M. Zorzi, "ns2-miracle: a modular framework per il supporto multi-tecnologia e cross-layer nel simulatore di rete 2 ", è *accettato negli Atti della 2a conferenza internazionale sulla performance metodologie e strumenti di valutazione* , p. 16, ICST (Institute for Computer Sciences, Ingegneria dell'informatica sociale e delle telecomunicazioni), 2007.
- [54] MT Tran, "Visualizzazione della simulazione di reti di sensori subacquei 3-d". http://digitalcommons.uconn.edu/srhonors_theses/72.2009, 2009. [in linea; accesso: 05/05/2018].
- [55] F. Guerra, P. Casari e M. Zorzi, "World ocean simulation system (woss): a strumento di simulazione per reti sottomarine con modellazione di propagazione realistica ", in *accettato negli Atti della Quarta Conferenza Internazionale sulla Subacquea Reti e sistemi* , p. 4, ACM, 2009.
- [56] B. Borowski e D. Duchamp, "Fisica acustica subacquea basata su misurazioni layer simulation ", *accettato negli Atti di Oceans '10 / MTS / IEEE Seattle USA* , pagg. 1–8, IEEE, 2010.
- [57] GF Riley e TR Henderson, "The ns-3 network simulator", in *Modeling and strumenti per la simulazione di rete* , pagg. 15–34, Springer, 2010.
- [58] P. Qarabaqi e M. Stojanovic, "Caratterizzazione statistica e computazionalmente modellazione efficiente di una classe di canali di comunicazione acustica sottomarini ", *IEEE Journal of Oceanic Engineering* , vol. 38, n. 4, pagg. 701–717, 2013.

- [59] RJ Urick, *Principles of underwater sound* . McGraw-Hill, 1983.
- [60] LM Brekhovskikh e Lysanov, *Fondamenti di acustica oceanica* . Springer, 2003.
- [61] T. Rappaport, *Wireless communications: Principles and Practice* . Prentice Hall, 2a ed., 2002.

135

Pagina 149
Bibliografia

- [62] D. Mirza, F. Lu e C. Schurgers, "Mac di trasmissione efficiente per reti subacquee opere ", è *accettato negli Atti della 4a Conferenza Internazionale sull'Underwater Networks & Systems, WUWNet* , 2009.
- [63] Y. Zhu, J.-H. Cui, Z. Peng e Z. Zhou, "Problema terminale occupato e implicazioni per i protocolli mac nelle reti acustiche subacquee ", *accettato negli Atti della nona conferenza internazionale su reti e sistemi sottomarini* , pagg. 1-11, ACM, 2014.
- [64] Z. Guan, T. Melodia e D. Yuan, "Accesso al canale stocastico per sott'acqua reti acustiche con incertezza di interferenza spaziale e temporale ", in *accettato negli Atti della Settima Conferenza Internazionale sulle Reti Subacquee & Systems, WUWNet* , pagg. 18: 1–18: 8, ACM, 2012.
- [65] F. Pignieri, F. De Rango, F. Veltri e S. Marano, "Approccio markoviano al modello canale acustico subacqueo: confronto delle tecniche ", *accettato nel Proceedings of Military Communications Conference, 2008. MILCOM 2008. IEEE* , pp. 1–7, IEEE, 2008.
- [66] K. Chen, Y. Zhou e J. He, "Uno schema di localizzazione per sensore wireless subacqueo reti ", *International Journal of Advanced Science and Technology* , vol. 4, 2009.
- [67] C. Li, Y. Xu, B. Diao, Q. Wang e Z. An, "Dbr-mac: un percorso basato sulla profondità consapevole del protocollo mac per la raccolta dei dati nelle reti di sensori acustici subacquei ", *Giornale dei sensori IEEE* , vol. 16, n. 10, pagg. 3904–3913, 2016.
- [68] C.-M. Chao, C.-H. Jiang e W.-C. Li, "Drp: un protocollo di instradamento efficiente dal punto di vista energetico per le reti di sensori sottomarini ", *International Journal of Communication Systems* , vol. 30, n. 15, 2017.
- [69] N. Nowsheen, G. Karmakar e J. Kamruzzaman, "Pradd: A path affidabilità-protocollo di trasmissione dati consapevole per reti di sensori acustici subacquei ", *Journal of Applicazioni di rete e computer* , vol. 75, pagg. 385–397, 2016.
- [70] MR Jafri, S. Ahmed, N. Javaid, Z. Ahmad e R. Qureshi, "Amctd: Adattabilità attiva dei nodi del corriere nel protocollo dbr con soglia ottimizzata per sott'acqua reti di sensori wireless ", *accettato negli Atti di Eighth International Conferenza su banda larga e wireless informatica, comunicazione e applicazioni (BWCCA), 2013* , pagg. 93–99, IEEE, 2013.
- [71] N. Javaid, MR Jafri, ZA Khan, U. Qasim, TA Alghamdi e M. Ali, "Iamctd: Mobilità adattiva migliorata dei nodi courier nel protocollo dbr con soglia ottimizzata per reti di sensori wireless subacquee ", *International Journal of Distributed Sensor Reti* , vol. 10, no. 11, p. 213012, 2014.
- [72] M. Stojanovic, "Sulla relazione tra capacità e distanza in un ter canale di comunicazione acustica, " *ACM SIGMOBILE Mobile Computing e Communications Review* , vol. 11, n. 4, pagg. 34–43, 2007.
- [73] L. Freitag, M. Grund, S. Singh, J. Partan, P. Koski e K. Ball, "The whoi

micro-modem: un sistema di comunicazione e navigazione acustica per più piattaforme", accettato negli Atti di OCEANS 2005 MTS/IEEE, pagg. 1086–1092 vol. 2, settembre 2005.

136

Pagina 150

Bibliografia

- [74] S. Asmussen e P. Glynn, *Stochastic Simulation: Algorithms and Analysis* . Springer, 2007.
- [75] M. Bugliesi, L. Gallina, S. Hamadou, A. Marin e S. Rossi, "Behavioral equivalenze e metriche di interferenza per reti mobili ad-hoc, " *Performance Evaluation* . , vol. 73, pagg. 41-72, 2014.
- [76] M. Bugliesi, L. Gallina, A. Marin, S. Rossi e S. Hamadou, "Interference-sensitive preordini per manets, "in *accettato negli Atti della 9a Int. Conf. su Quantitative Evaluation of Systems, (QEST)* , pp. 189–198, 2012.
- [77] Y. Han e Y. Fei, "TARS: un protocollo MAC sincronizzato con ricevitore adattivo al traffico per le reti di sensori subacquei ", *accettato negli Atti della 23a IEEE Int. Symp. sulla modellazione, analisi e simulazione di computer e telecomunicazioni cation Systems, MASCOTS* , pagg. 1–10, 2015.
- [78] S. Balsamo, D. Fiems, M. Jafri e A. Marin, "Analysis of performance in depth instradamento basato su reti di sensori wireless subacquei ", *accettato nel Proceedings of Workshop on New Frontiers in Quantitative Methods in Informatics, InfQ'17, Venezia, Italia.* , pagg. 18–31, Springer, 2017.
- [79] ATMG Mohsin Raza Jafri, Andrea Marin, "Sull'ottimalità dell'opportunista protocolli di instradamento per reti di sensori subacquei ", in *accettato negli Atti della 21a Conferenza Internazionale ACM su Modellazione, Analisi e Simulazione di Sistemi wireless e mobili (MSWiM), 2018, Montreal, Canada.* , 2018.
- [80] M. Haenggi, *Geometria stocastica per reti wireless* . Stampa Cambridge, 2013.
- [81] A. Bujari, A. Marin, CE Palazzi e S. Rossi, "Analisi di ECN / RED e SAP-LEGGE con traffico TCP e UDP simultaneo, " *Computer Networks* , vol. 108, pagg. 160-170, 2016.
- [82] R. Lyons e Y. Peres, *Probability on Trees and Networks* . Serie Cambridge in formato Matematica statistica e probabilistica, 2016.
- [83] J. Ariyakhajorn, P. Wannawilai e C. Sathitwiriawong, "Uno studio comparativo di waypoint casuale e modelli di mobilità Gauss-Markov nella valutazione delle prestazioni di manet ", in *accettato negli Atti dell'Int. Symp. sulle comunicazioni e Tecnologie dell'informazione, ISCIT* , pagg. 894–899, 2006.
- [84] BS Srujana, P. Mathews, V. Harigovindan, *et al.* , "Raccolta di energia da più fonti sistema per reti di sensori wireless subacquei ", *accettato negli Atti del Conferenza internazionale sulle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, ICICT 2014, 3-5 dicembre 2014, Procedia Computer Science.* , vol. 46, pagg. 1041–1048, 2015.
- [85] E. Gelenbe e A. Marin, "Sensori wireless interconnessi con raccolta di energia-ing ", *accettato negli Atti della Conferenza Internazionale sull'Analitica e Tecniche e applicazioni di modellazione stocastica* , pp. 87–99, Springer, 2015.

Pagina 151

Bibliografia

- [86] HD Erdem e VC Gungor, "Analisi della vita della raccolta di energia sott'acqua nodi di sensori wireless ", *accettato negli Atti del 25 ° Signal Processing e Conferenza sulle applicazioni di comunicazione, SIU 2017, Antalya, Turchia, 15-18 maggio, 2017* , pagg. 1–4, 2017.
- [87] E. Ancillotti, R. Bruno e M. Conti, "Design and performance evaluation of protocolli di adattamento della velocità in grado di riconoscere il throughput per le reti wireless IEEE 802.11 " *Valutazione delle prestazioni* , vol. 66, n. 12, pagg. 811–825, 2009.
- [88] J. Nzouonta, T. Ott e C. Borcea, "Impact of queuing discipline on packet delivery latency in ad hoc networks, *Performance Evaluation* , vol. 66, n. 12, pagg. 667–684, 2009.
- [89] R. Jhaveri e N. Patel, "Mobile ad-hoc networking with aodv: A review", *International Journal of Next-Generation Computing* , vol. 6, n. 3, pagg. 165–191, 2015.
- [90] F. Baccelli e B. Blaszczyzyn, *Stochastic Geometry and Wireless Networks. Volume I - Teoria* . Fondamenti e tendenze nel networking Vol. 3, editore NoW, 2009.
- [91] FWJ Olver, DW Lozier, RF Boisvert e CCW, *Manuale del NIST Funzioni matematiche* . Cambridge University Press, 2010.
- [92] N. Parrish, L. Tracy, S. Roy, P. Arabshahi e WL Fox, "System design considerations per reti sottomarine: collegamento e protocolli di accesso multiplo ", *IEEE Journal su aree selezionate nelle comunicazioni* , vol. 26, n. 9, 2008.
- [93] D. Pompili e IF Akyildiz, "Overview of networking protocols for underwater comunicazioni wireless ", *IEEE Communications Magazine* , vol. 47, n. 1, pagg. 97–102, 2009.
- [94] M. Zorzi e S. Pupolin, "Gamma di trasmissione ottimale in pacchetti multihop radio in presenza di fading ", *IEEE Transactions on Communications* , vol. 43, pagg. 2201–2205, luglio 1995.
- [95] M. Gao, CH Foh e J. Cai, "Sulla selezione del raggio di trasmissione in reti di sensori acustici per l'acqua " , *Sensors* , vol. 12, no. 4, pagg. 4715–4729, 2012.
- [96] D. Kim, Y.-M. Cho, C. Kim, S. Kim, S.-H. Park e T.-W. Kang, "protocollo E-itr con portata lunga e regolabile sulla rete di sensori acustici subacquei ", in *accettato negli Atti della 21a Conferenza Internazionale sulla Rete Informativa Avanzata Workshop di lavoro e applicazioni, 2007, AINAW'07. Cascate del Niagara, Ontario, Canada* . , vol. 2, pagg. 665–672, IEEE, 2007.
- [97] M. Jafri, "AquaSim Next Generation: Libraries, DBR implementation di Mohsin Jafri. " <https://github.com/rmartin5/aqua-sim-ng/blob/master/model/aqua-sim-routing-ddbr.cc>, 2017. Accesso: 2018-04-04.
- [98] M. Jafri, S. Balsamo e A. Marin, "Identificare il raggio di trasmissione ottimale in profondità-based routing for uwsn, "in *21st International Conference on of 31st European Simulation and Modeling Conference - ESM'2017, 25-27 ottobre, IST, Lisbona, Portogallo* , pagg. 288–292, EUROSIS, 2017.

Bibliografia

- [99] C.-C. Hsu, H.-H. Liu, JLG Gómez e C.-F. Chou, "Opportunità sensibile al ritardo instradamento tunistico per reti di sensori sottomarini ", *IEEE Sensors Journal* , vol. 15, no. 11, pagg. 6584–6591, 2015.
- [100] Z. Ma, Q. Guan, F. Ji, H. Yu e F. Chen, "Un'operazione efficiente e a bassa instradamento portunistico per reti di sensori acustici subacquei ", *accettato in Atti della conferenza internazionale sulla scienza e le applicazioni dell'informazione 2017. ICISA 2017. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 424., Singapore , pagg. 22-29, Springer, 2017.
- [101] M. Jafri, "Adaptive holding time and depth-based routing for uwsn", in *accettato negli Atti dell'undicesima conferenza internazionale EAI sulla valutazione delle prestazioni Metodologie e strumenti di utilizzo, Venezia, Italia, Valuetools'17.*, pp. 254–256, ACM, 2017.
- [102] N. Javaid, MR Jafri, S. Ahmed, M. Jamil, ZA Khan, U. Qasim e SS Al-Saleh, "Schemi di instradamento sensibili al ritardo per reti di sensori acustici sottomarini", *International Journal of Distributed Sensor Networks* , vol. 11, n. 3, p. 532676, 2015.
- [103] MR Jafri, MM Sandhu, K. Latif, ZA Khan, AUH Yasar e N. Javaid, "Verso il routing sensibile al ritardo nelle reti di sensori wireless sottomarini", ha *accettato negli Atti della 5a Conferenza Internazionale sull'Ubiquitous Emergente Systems and Pervasive Networks (EUSPN-2014)* , vol. 37, pagg. 228–235, 2014.
- [104] M. Bugliesi, L. Gallina, S. Hamadou, A. Marin e S. Rossi, "Behavioral equivalenze e metriche di interferenza per reti mobili ad-hoc, " *Performance Evaluation* , vol. 73, pagg. 41-72, 2014.
- [105] A. Bujari, A. Marin, CE Palazzi e S. Rossi, "Analisi di ecn / red e sap-law con traffico tcp e udp simultaneo, " *Computer Networks* , vol. 108, pagg. 160-170, 2016.