

Telemetria

per il controllo dei droni

PER IL CORSO DI RETI DI TELECOMUNICAZIONI

GIUSEPPE SOTTILE

26 ottobre 2017

Indice

1	Telemetria	3
1.1	Un pó di storia	3
1.1.1	Ed oggi?	4
1.2	Applicazioni	4
2	Un sistema elementare	5
2.0.1	Sensori	5
2.0.2	Multiplexing	6
2.0.3	Trasmissione	6
2.0.4	Demultiplexing	7
2.0.5	Elaborazione e memorizzazione	7
3	Telemetria su drone	8
3.1	CGS e radiocomando	8
3.2	On-Screen Display	8
3.3	Telemetria drone-smartphone	9
4	Reti UAV ZigBee	10
4.1	Controllo di una rete di UAVs	11
4.1.1	Localizzazione	11
	Localizzazione GPS	11
4.1.2	Struttura dei nodi	12
4.1.3	Principio di funzionamento	14
4.2	Il protocollo ZigBee	15
4.2.1	Architettura a stack del protocollo	15
	Livello Fisico	16
	Livello DataLink	16
	Livelli Alliance	16
4.2.2	topologie e dispositivi	17
	Dispositivi	17
	Stella	18

	Albero	18
	Maglia	19
4.2.3	Join di una rete	19
4.3	Comunicazione nelle reti-UAVs	19
4.3.1	Ritiro Spaziale Cooperativo (CSR)	20
	L'algoritmo CSR	20
	Pseudocode: CSR	22
5	Telemetria e IOT	23
5.1	Beacons	23
5.2	Protocollo Eddystone	24
5.3	RSSI	24
6	Telemetria laser	25

Capitolo 1

Telemetria

Con il termine *telemetria* (tele: lontano, metrain: misura); ci si riferisce in generale ad un particolare metodo di comunicazione (cioé ad uno scambio di informazioni) in cui ricevente e ricevitore effettuano misure a distanza. Ciò che però risulta necessario mettere in chiaro fin da subito é forse la caratteristica che rende peculiare la telemetria: ovvero che si tratta di una comunicazione *real-time* - ossia in tempo reale. Il trasmettitore effettua delle misurazioni nel suo raggio d'azione e le invia in tempo reale al ricevente. Le innumerevoli applicazioni ne fanno uno strumento indispensabile.

1.1 Un pó di storia

Storicamente i primi dispositivi telemetrici fecero la loro comparsa nel corso del diciannovesimo secolo; Naturalmente si trattava di rudimentali ed ingombranti sistemi via cavo, dato che il wireless venne scoperto in seguito ad opera di Nikola Tesla. Uno dei primi sistemi di telemetria venne realizzato nel 1845 tra il palazzo d'inverno dello Zar Nicola I ed il quartier generale dell'esercito russo con scopi di carattere prettamente militare. Nel 1874 alcuni ingegneri francesi costruirono un semplice sistema per il rilevamento delle condizioni meteo e la determinazione della profondit della neve sul Monte Bianco. Tale sistema era poi in grado di trasmettere in tempo reale le informazioni acquisite direttamente ad una sede distaccata di Parigi. Nel 1906, invece, venne realizzata la prima stazione sismica collegata via telemetria all'osservatorio Pulkovo in Russia. Nel 1912 la Commonwealth Edison sviluppò un sistema in grado di monitorare in tempo reale l'assorbimento sulla rete elettrica cittadina. La telemetria wireless, invece, fece la sua prima apparizione solo nel 1930 quando, in concomitanza con il francese Robert Bureau, il russo Pavel Molchanov realizzò la radiosonda. Questo un apparecchio ancorato ad un

pallone gonfiato con idrogeno/elio, ed equipaggiato con strumenti in grado di misurare la temperatura dell'aria, l'umidità e la pressione atmosferica; e così via, durante tutto il corso del '900 ci furono molte altre scoperte che via via aumentarono sempre più le prestazioni dei sistemi.

1.1.1 Ed oggi?

La telemetria oggi ha assunto un ruolo fondamentale in molti settori della produzione industriale, e in molti aspetti della vita quotidiana. L'esigenza di dover controllare in tempo reale un processo produttivo, o quello di monitorare le funzioni vitali di una persona, ha contribuito in modo decisivo allo sviluppo della telemetria. Tutto è stato reso possibile dal continuo sviluppo nel settore delle telecomunicazioni, ma anche dal potenziamento delle unità di calcolo, ai big data, grazie alle quali oggi è possibile trattare e gestire grandi moli di dati.

1.2 Applicazioni

Esistono molteplici contesti di applicazione della telemetria. Tipicamente, i sistemi di telemetria vengono utilizzati nel test di movimento di veicoli come automobili, aerei e missili. In quest'ambito, i dati provenienti dai molteplici sensori, vengono trasferiti via radio a dei computer presenti in stazioni distaccate - di controllo in cui avviene l'elaborazione delle informazioni. La telemetria attualmente impiegata nei sistemi di difesa e nelle esplorazioni spaziali, poiché permette il monitoraggio automatico, e la registrazione dati necessaria ad operazioni sicure ed efficienti. Gli enti spaziali, come la NASA e l'ESA, utilizzano la telemetria per sistemi complessi come razzi, RPV (Remotely Piloted Vehicles), veicoli spaziali, satelliti. Essa è impiegata sia nella fase di sviluppo che in quella di test, con lo scopo di migliorarne le prestazioni, e aumentarne la sicurezza (naturalmente nella fase di testing viene ottimizzata). Altri esempi si trovano oggi nelle gare di Formula 1 nel nuoto e nella maratona, con lo scopo di finalizzare l'allenamento degli atleti. Nel calcio la telemetria viene usata per ottimizzare le terapie, e ridurre così i tempi di recupero dagli infortuni. Un altro esempio di applicazione è quello fornito dal team Alinghi nelle gare di vela. Esso, infatti, utilizza una fitta rete di fibre ottiche con lo scopo di monitorare istante per istante il carico di lavoro dello scafo. Naturalmente oggi trova impiego anche nei sistemi SAPR e ciò sarà l'argomento principale che vedremo in questa dissertazione.

Capitolo 2

Un sistema elementare

Come abbiamo visto, lo scopo di un sistema di telemetria è quello di raccogliere dati in un luogo remoto e trasmetterli in un punto in cui i dati possono essere elaborati. Un sistema elementare di telemetria è costituito dalle seguenti componenti come mostrato in figura:

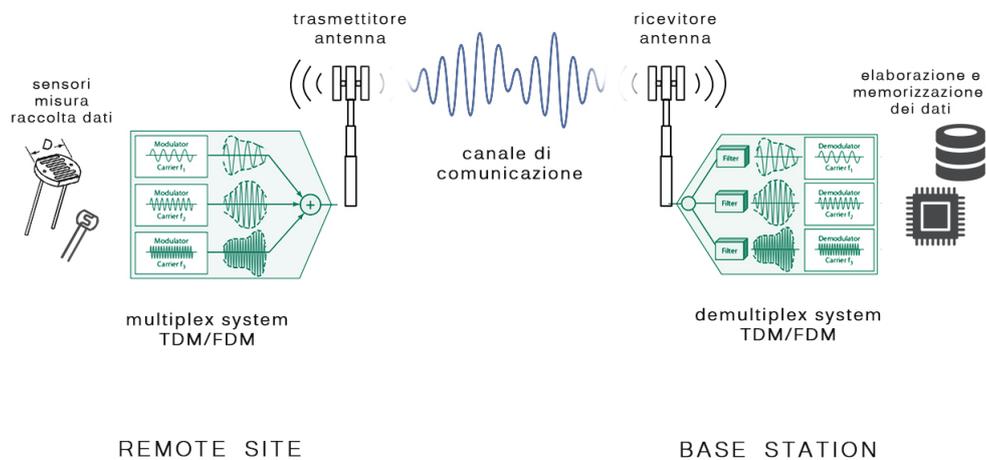


Figura 2.1: Componenti fondamentali di un sistema di telemetria

2.0.1 Sensori

In prima istanza bisogna effettuare una raccolta dati ovvero convertire tutte le grandezze fisiche in segnali elettrici es:(tensioni o correnti). Questo *sotto-sistema* di raccolta dati, molto spesso è costituito da una serie di sensori e/o

trasduttori che svolgono tutto il lavoro di trasformazione dei segnali da una forma ad un'altra (come esempio possiamo pensare ad un altoparlante che é un sistema elettro-meccanico in grado di convertire il movimento del cono generato dalla pressione acustica in un segnale elettrico). Si tratta della fase in cui bisogna commettere il minor numero di errori nelle misurazioni, in quanto il segnale che ne risulterà sarà quello che poi verrà trasmesso successivamente. Bisogna dire inoltre che i segnali catturati dai sensori sono molto deboli e necessitano di amplificazioni; perciò in genere il sistema di raccolta dati può essere costituito da un intero computer o da sistemi embedded che includono diversi set di componenti quali accelerometri, termocoppie, trasduttori, filtri ecc.

2.0.2 Multiplexing

Una volta raccolti i dati bisogna trasmetterli lungo un canale di trasmissione, nella fattispecie, come abbiamo visto, si tratta di un canale wireless. L'output del sottosistema di raccolta dati consta di segnali elettrici. Queste informazioni vengono inviate ad un modulo di multiplexing che ne effettua una suddivisione sulla base di parametri caratteristici come ad esempio il tempo o la frequenza. il processo di suddivisione e condivisione di un canale rispetto a molteplici sorgenti di segnale é chiamato multiplexing. Esistono diversi modi di fare multiplex su di un canale, uno dei pi comuni é sicuramente il TDM *Time Division Multiplex*, ovvero multiplex a divisione di tempo. in sostanza si assegna un quanto di tempo di pochi millisecondi per trasmettere un segnale, dopodich si passa al secondo, al terzo e cos via fintantoché non si ritorna al primo segnale. un altro metodo di multiplexing é noto con l'acronimo FDM: *Frequency Division Multiplex*: multiplex a divisione di frequenza, in questo caso il canale viene suddiviso o partizionato in *bande di frequenza* rappresentate da un segnale *portante*. Tutti i segnali aventi frequenza vicina alla portante vengono trasmessi.

Esistono tuttavia sistemi cosiddetti *ibridi* che permettono una commistione di tipologie di multiplex.

2.0.3 Trasmissione

I segnali provenienti dal multiplexer vengono inviati ad un trasmettitore e mediante un opportuna *antenna*, propagati in un mezzo (es: aria)

2.0.4 Demultiplexing

Una volta che le informazioni sono state trasmesse bisogna effettuare il procedimento opposto di riordinamento o se vogliamo di ricombinazione dei segnali nelle sottoparti. Questo processo é chiamato di *demultiplexing* e viene effettuato dal ricevente.

2.0.5 Elaborazione e memorizzazione

Tutti i dati vengono infine elaborati ed eventualmente memorizzati su supporti a nastro e/o magnetici.

Capitolo 3

Telemetria su drone

In questa sezione vedremo come implementare la telemetria su un drone. Gli esempi che descriveró fanno riferimento ad un sistema SAPR ma il discorso é del tutto equivalente per qualsiasi tipologia di drone.

3.1 CGS e radiocomando

Nell'ambito della robotica e piú in particolare dei SAPR, la telemetria viene impiegata sia per la raccolta dei dati che per il controllo remoto del drone stesso. Ogni sistema SAPR é dotato, oltre che di un complesso sistema di sensori, di un software di controllo remoto detto **GCS**. Durante una missione di volo ogni drone svolge due compiti essenziali. Anzitutto, sulla base dei dati rilevati dai sensori (angolo d'inclinazione, livello di carica, velocit di rotazione motori, GPS ecc) il drone per il tramite di una centralina su cui cablato un algoritmo di controllo effettua il controllo della stabilit in volo. Parallelamente a quanto detto, il sistema, invia tutti i dati (in tempo reale) mediante un modem TX-antenna montato a bordo; ad un modem RX-antenna (a terra) collegato ad un computer o ad uno smartphone o anche ad un **radiocomando**. In base all'acquisizione dei dati da parte dei sensori e di un modulo GPS, tutti i dati di telemetria sono elaborati dalla centralina, che li manda al modem TX collegato a bordo del drone. Il modem RX a terra viene collegato a un computer o a uno smartphone con installato un software GCS, per esempio, Mission Planner.

3.2 On-Screen Display

Tutti i dispositivi a radiofrequenza necessari all'implementazione della telemetria sono detti On-Screen Display abbr. **OSD**.



Figura 3.1: Esempi di OSD

Sostanzialmente in tutti i sistemi OSD c'è una telecamera di controllo montata a bordo del drone che invia mediante opportuno modem-TX ed opportuna antenna-TX il segnale video assieme ai dati (telemetrici) raccolti dai sensori. I dati vengono sovrapposti, da qui il termine *on-screen* sul flusso video come in figura. Si tratta di un sistema di trasmissione e lettura di informazioni utilizzato oramai da tempo in campo militare (sottomarini, sistemi di esplorazione, di spionaggio e missilistici), si parla più precisamente, in quel contesto di *telemetria criptata*.

3.3 Telemetria drone-smartphone

In questa sezione implementeremo la telemetria per monitorare un drone in volo direttamente dallo smartphone; naturalmente lo stesso discorso vale eventualmente se volessimo utilizzare un pc-notebook al posto dello smartphone, i discorsi che faremo sono del tutto generali.

Capitolo 4

Reti UAV ZigBee

In questo capitolo, vedremo alcune applicazioni nell'ambito delle reti di sensori, correlate al controllo dei sistemi UAV da remoto, in particolare focalizzeremo la nostra attenzione sulla comunicazione tra dispositivi UAV, in riferimento al protocollo ZigBee (802.15..

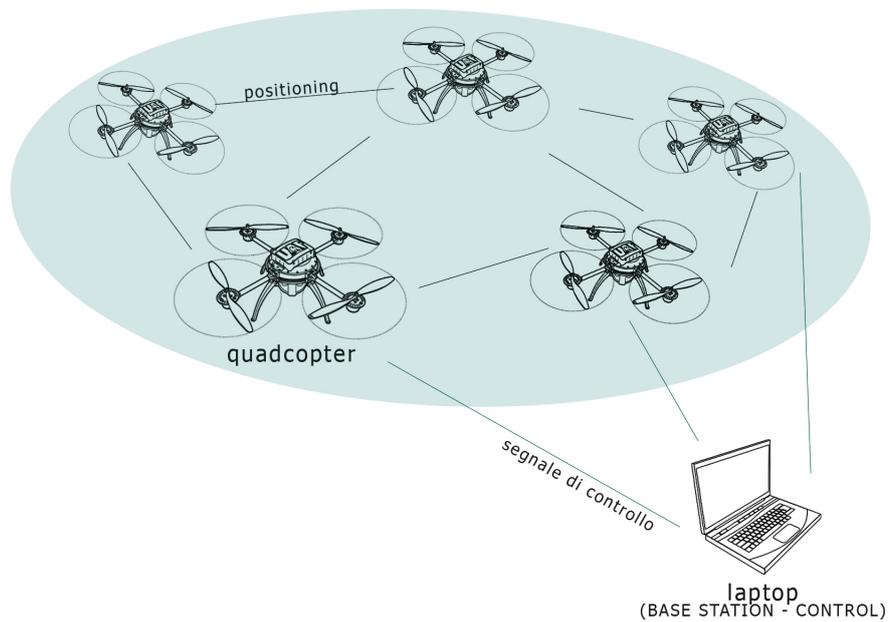


Figura 4.1: Rete UAV

4.1 Controllo di una rete di UAVs

Una rete UAV é costituita essenzialmente da un insieme di dispositivi a controllo remoto, i nodi, (come potrebbero essere ad esempio dei droni piuttosto che sistemi di altra natura), in grado di comunicare, ossia, ricevere informazioni, sia da una stazione base (di controllo), sia tra di essi. Il problema principale di una rete di dispositivi SAPR, che cercheremo di risolvere in queste argomentazioni é la possibilitá che qualche UAV vada a collidere con un suo vicino causando seri problemi sia al progettista che alla rete stessa. Per i nostri scopi impiegheremo una tipologia *general purpose* di droni: i quadricotteri. Un quadricottero, come visto é costituito da 4 motori, controllati da una centralina di volo, che in base ai comandi impartiti dal pilota modifica la velocitá di alcuni dei motori cosí da implementare i diversi controlli di Roll Pitch Yaw. Queste informazioni possono essere condivise per controllare la posizione relativa dei nodi della rete, tuttavia abbiamo bisogno di un'altra informazione essenziale. La posizione di ogni nodo.

4.1.1 Localizzazione

Il problema della localizzazione é una materia abbastanza complessa. Bisogna conoscere con estrema precisione la posizione; ossia, le coordinate di ogni nodo della rete in una certa area. Abbiamo bisogno quindi di un sistema in grado di fornirci informazioni inerenti alla posizione del singolo elemento di rete in tempo reale, cos da poter realizzare un algoritmo per il controllo delle collisioni. Una scelta potrebbe ricadere sul sistema di posizionamento globale **GPS**. In questo contesto, ogni nodo potrebbe comunicare le informazioni relative alla sua posizione attraverso una comunicazione via satellite.

Localizzazione GPS

Il sistema di posizionamento globale GPS puó essere impiegato per implementare la localizzazione in ambienti esterni all'aperto, tuttavia nell'impiego semplice del GPS cé un problema di fondo che ci costringe ad abbandonare l'idea di una rete intelligente controllata globalmente. Il sistema GPS funziona bene per applicazioni a larga scala, in quanto l'errore commesso nella determinazione della posizione é relativamente trascurabile rispetto alle situazioni, in cui bisogna calcolare distanze dell'ordine del metro. Per questo motivo la scelta progettuale é ricaduta nell'impiego del protocollo ZIGBEE che come vedremo risolve il problema delle collisioni in quanto ogni nodo comunicher le informazioni ricevute dal GPS ai nodi adiacenti.

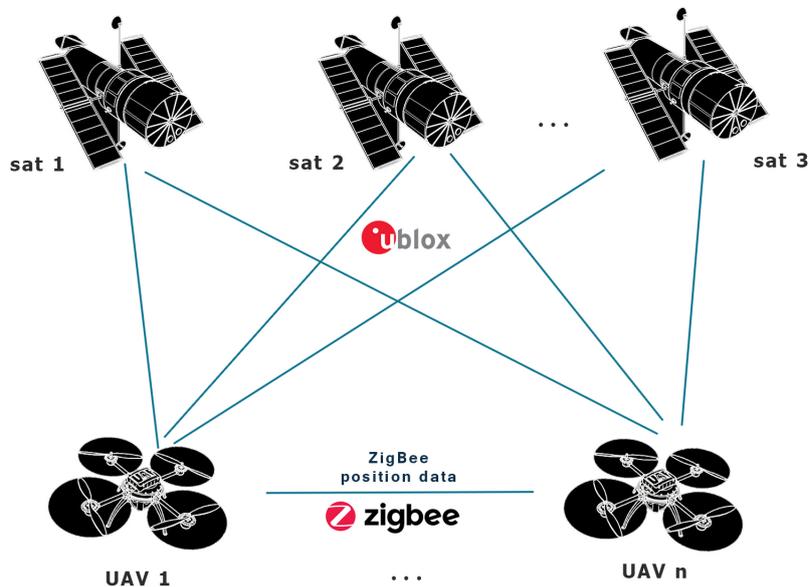


Figura 4.2: Sistema UAV - (GPS-ZigBee)

4.1.2 Struttura dei nodi

Come detto, ogni nodo della rete sarà costituito da un drone SAPR. Ogni nodo dovrà conoscere in tempo reale i suoi parametri di volo (quota, velocità motori, distanza vicini ecc) e dovrà scambiarsi tali informazioni con tutti i suoi vicini (nodi adiacenti) in tempo reale, questa condivisione delle informazioni garantisce un alto grado di stabilità dell'intera rete in diverse situazioni. Supponiamo ad esempio che un nodo della rete per qualche ragione o causa esterna subisca un'avaria ad uno dei suoi motori o ad una componente essenziale causandone un malfunzionamento, secondo il modello visto in precedenza ogni drone conosce lo stato dei suoi vicini; tale informazione può quindi essere trasmessa o segnalata di nodo in nodo fino alla stazione base così da risolvere il problema. Ma riprendiamo la struttura dei nodi. In figura è mostrato un singolo nodo della rete assieme alle componenti di cui avremo bisogno per il controllo. Il modulo GPS (ad esempio possiamo usare il modulo NEO-M8N HMC5983 con supporto al protocollo Ublox). Per quanto riguarda la telemetria invece impiegheremo la scheda XBee Digi52c). In figura riportiamo i dettagli relativi alle componenti.

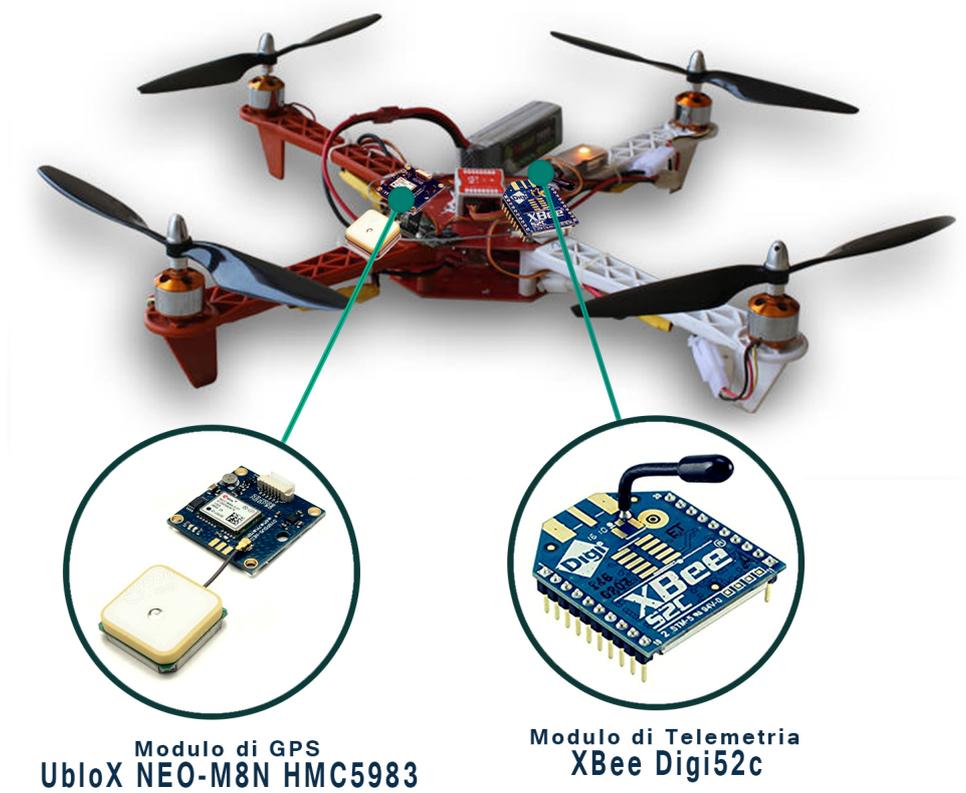


Figura 4.3: Sistema UAV - (GPS-ZigBee)

4.1.3 Principio di funzionamento

Sostanzialmente, il principio generale di funzionamento é relativamente semplice. Ogni nodo: (drone) della rete riceve lo stesso segnale di controllo dalla stazione base di terra: (laptop). la comunicazione con la stazione di terra é la medesima che avviene con l'impiego di un radiocomando, come mostrato nella sezione precedente attraverso modem TX-RX. Il software GCS (per la configurazione di una missione di volo) o l'utente, manualmente, impartisce i diversi comandi di Roll Pitch e Yaw che portano alle variazioni di posizione dei nodi. Ogni nodo riceve le informazioni relative alla posizione corrente tramite GPS e le invia attraverso una rete mesh-zigbee a tutti i nodi vicini cos da ridurre al minimo le collisioni.

4.2 Il protocollo ZigBee

Presentiamo ora il protocollo *ZigBee*. Daremo alcune definizioni e vedremo molte delle caratteristiche di base del protocollo. Il protocollo di comunicazione fa parte dello standard wireless IEEE 802.15.2. È stato standardizzato principalmente per l'automazione la domotica e quindi la sensoristica. Nel contesto si parla più propriamente di reti Wireless Personal Area Network (WPAN) a basso costo e a basso consumo e con un alto numero di nodi. La lunga autonomia dei dispositivi legata al bassissimo data rate delle trasmissioni (da 20 a 250 Kb/s), che rimane comunque sufficiente per gestire i loro modesti volumi di traffico. iniziamo

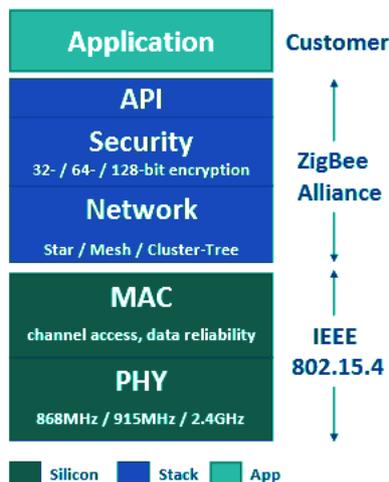


Figura 4.4: Topologia a stella

4.2.1 Architettura a stack del protocollo

Possiamo suddividere il protocollo in tre aree fondamentali. La prima delle quali è gestita dall'IEEE è consiste nei due strati a basso livello che si occupano come vedremo più in dettaglio successivamente della gestione dell'hardware e delle tecnologie impiegate nelle reti che impiegano zigBee. Uno strato applicativo di rete gestito dalla **ZigBee Alliance**, un ente attivo dal 2002 che si occupa della gestione degli standard per le applicazioni di rete a livello superiore al MAC. Ed infine uno strato utente, un framework per l'interfacciamento con le applicazioni finali. Vediamo in dettaglio alcuni parametri caratteristici.

Livello Fisico

Nel livello fisico dello standard IEEE 802.15.2, vi é la completa gestione delle frequenze da assegnare ai diversi dispositivi per la comunicazione. É possibile settare un parametro che tiene conto del paese in cui si trasmette; il cosiddetto **country**. I possibili intervalli di frequenza utilizzabili a livello mondiale sono:

868.3MHz: Europa

902 – 928MHz: America

2405 – 2480MHz: Paesi restanti

Il livello fisico gestisce inoltre, le collisioni mediante il multiplexing CD-MA, permettendo quindi di trasmettere in contemporanea piú informazioni provenienti da dispositivi diversi.

Livello DataLink

Molte delle caratteristiche del livello di collegamento dati fanno riferimento al livello MAC(Medium Access Control), che si occupa essenzialmente di far da ponte tra il livello fisico(Connessioni, Frequenze, segnali, ecc) ed il livello applicativo, sollevando questi da ogni caratteristica tecnica e conferendo quindi una indipendenza tra tecnologia hardware e software. Sostanzialmente abbiamo due diverse tipologie di modalit a livello data-link: BEACON ENABLED e BEACON NOT-ENABLED. Nella prima modalit si ha essenzialmente una comunicazione broadcast, in cui un nodo master invia e riceve dei pacchetti (beacon) da i nodi slave. La conseguenza é che si ha maggiore autonomia dei nodi in quanto essi si attivano quando ricevono un il beacon dal master. L'altra modalit (senza beacon) prevede che ogni nodo sia sempre in ascolto impiegando anzitutto un protocollo di tipo CSMA/CD e inoltre alzando i consumi vista la lunga attivit di funzionamento.

Livelli Alliance

I livelli gestiti dall'ente Alliance, sono essenzialmente 5; in particolare si tratta del livello di rete (network) in stretto contatto con la parte fisica, un modulo per la sicurezza *SSP - Security Service Provider* interfacciato mediante scambio di messaggi con il resto del protocollo, (questo per garantire un facile bypass se non si vuole impiegare la sicurezza), un modulo *ZDO -*

ZigBee Device Object per le configurazioni dei dispositivi, un *APS - Application - Sub - Layer* per inoltrare i messaggi tra gli end-point; ed infine un modulo *AF - Application Framework* che contiene le applicazioni scritte da privati

4.2.2 topologie e dispositivi

Vediamo ora brevemente quali sono le tipologie di dispositivi che implementano ZigBee e quali sono le diverse configurazioni di rete possibili.

Dispositivi

Esistono tre tipologie di dispositivi ZigBee - classificabili come:

ZC - ZigBee Coordinator Si tratta del dispositivo che serve a configurare la rete e ad assegnare i PAN-ID (a 16bit)

ZR - ZigBee Router Permette l'inoltro dei messaggi nella rete (quindi l'estendibilità della rete stessa)

ZED - ZigBee EndDevice Si tratta dei nodi finali che comunicano con i router o i coordinator.

Vediamo ora alcune topologie di rete possibili:

Stella

La figura mostra una topologia a stella. In questa modalit  abbiamo un nodo centrale di tipo coordinator il quale pu  comunicare sia con nodi finali sia con router. Si tratta ella modalit pi  semplice possibile da implementare ed   adatta a piccole reti con pochi nodi, altrimenti il coordinator verrebbe sormontato da richieste.

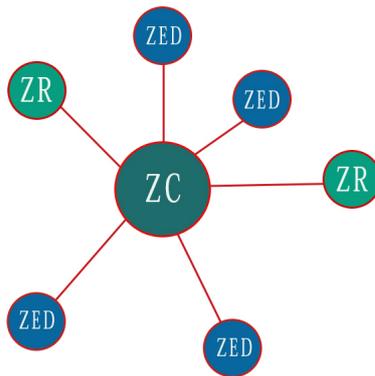


Figura 4.5: Topologia a stella

Albero

Nella configurazione ad albero (tree), abbiamo un nodo coordinator che occupa il ruolo di radice. Ogni messaggio risale lungo l'albero passando per i router fino a giungere ai nodi foglia.

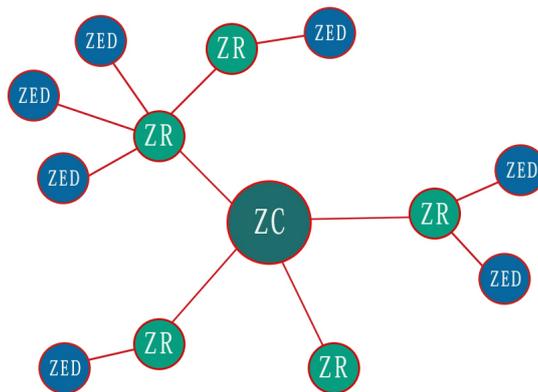


Figura 4.6: Topologia ad albero

Maglia

Infine mostriamo la topologia piú complessa a maglia(mesh) in cui vediamo come i router svolgono ora un ruolo centrale, costituendo una rete fault-tolerant a piú percorsi, adatta per reti di grosse dimensioni.

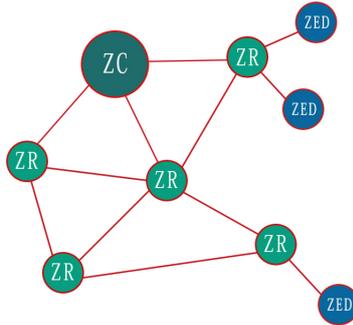


Figura 4.7: Topologia a maglia

4.2.3 Join di una rete

Esistono due modi in cui un dispositivo si unisce ad una rete Zigbee: richiedendo la connessione ad un dispositivo noto oppure richiedendo la connessione ad un qualunque dispositivo. Nel primo caso il Router o Device che si unisce alla rete conosce già l'ID del dispositivo a cui chiedere la connessione (ad esempio può essere impostato fisicamente). Nel secondo caso invece il dispositivo deve ricercare un Router o un Coordinator che gli risponda. Tra i dispositivi che rispondono ne viene scelto uno al quale si richiede la connessione. Se la connessione va a buon fine, il dispositivo che ha chiesto la join riceve il suo indirizzo dal Router con il quale si collega.

4.3 Comunicazione nelle reti-UAVs

Una volta risolto il problema delle collisioni, possiamo fare impiego di una rete di droni SAPR, per vedere come questi possono comunicare in situazioni eccezionali in cui vi sono degli errori nella comunicazione piuttosto che violazioni di regole imposte dal progettista della rete. Come tecnologia promettente infatti i droni stanno via via ampliando la loro portata in varie applicazioni come l'agricoltura, il trasporto e la consegna di oggetti, la trasmissione delle informazioni oltre al tempo libero al salvataggio salvataggio ecc.

Quando i droni percepiscono un'esperienza di insuccesso di comunicazione a causa ad esempio di interferenze o di inceppamento, una possibile soluzione è il cosiddetto rifugio spaziale che consiste nell'evacuare dall'area di guasto della comunicazione. Di seguito vedremo, come sia possibile sfruttare appieno le capacità cooperative di una rete di SAPR sfruttando moduli di comunicazione di telemetria.

4.3.1 Ritiro Spaziale Cooperativo (CSR)

Il networking è diventato un elemento essenziale per il nostro quotidiano vivere. Di conseguenza, è di importanza fondamentale fornire un'infrastruttura di rete affidabile per vari tipi di applicazioni. Una soluzione promettente per ridurre significativamente i tempi sono le reti di UAVs. o net-drones le quali sfruttano la mobilità dei droni nello spazio tridimensionale che può superare tutte le limitazioni della mobilità bidimensionale. Tuttavia, i net-drones potrebbero subire un errore di comunicazione in caso di interferenze, non line-of-sight o inceppamenti. In questo documento, per superare la comunicazione il fallimento dei net-drones, proponiamo un nuovo ritiro spaziale meccanismo, che può fornire un servizio di rete in forma resistente (fault-tolerant). Il metodo si chiama sfruttamento cooperativo di ritiro spaziale (CSR) che impiega alcune delle tecniche di telemetria viste finora.

L'algoritmo CSR

In una situazione normale un drone in caso di guasto, può effettuare una ritirata casuale. Con questo termine mi riferisco al fatto che il drone non effettua una misura delle distanze e del percorso migliore di ritirata e questo può, nella maggior parte dei casi causare inefficienza e spreco di energia. Un drone su cui è in esecuzione l'algoritmo CSR è chiamato **drone target**, mentre i droni vicini costituiscono il cosiddetto **gruppo di cooperazione**. Essi inviano mediante tecnica telemetrica (es rete ZigBee, RSSI) tutte le informazioni sulla posizione relativa del drone target, il quale provvederà, sulla base delle informazioni a comportarsi di conseguenza.; ma vediamo ora l'algoritmo più in dettaglio:

In primo luogo, il drone di destinazione(target) deve rilevare se si trova nella zona di errore di comunicazione. Come visto, ogni drone riesce a rivelare la sua posizione (relativa) in base alle informazioni di telemetria (es: livello di segnale RSSI, ecc) solo in presenza di altri droni (cooperanti). una volta raccolti i dati di telemetria, il drone target effettua uno scambio di informazione con i vicini. LE informazioni ricevute consentono al drone target di calcolare il **centro di gravit´** o **baricentro** dell'area di comunicazione in cui ´ avvenuto il guasto. Una volta noto il centro di gravit´ il drone pu´ effettuare una fuga in direzione opposta al centro di gravit´ allontanandosi efficacemente dall'area in cui ´ avvenuto l'errore di comunicazione.

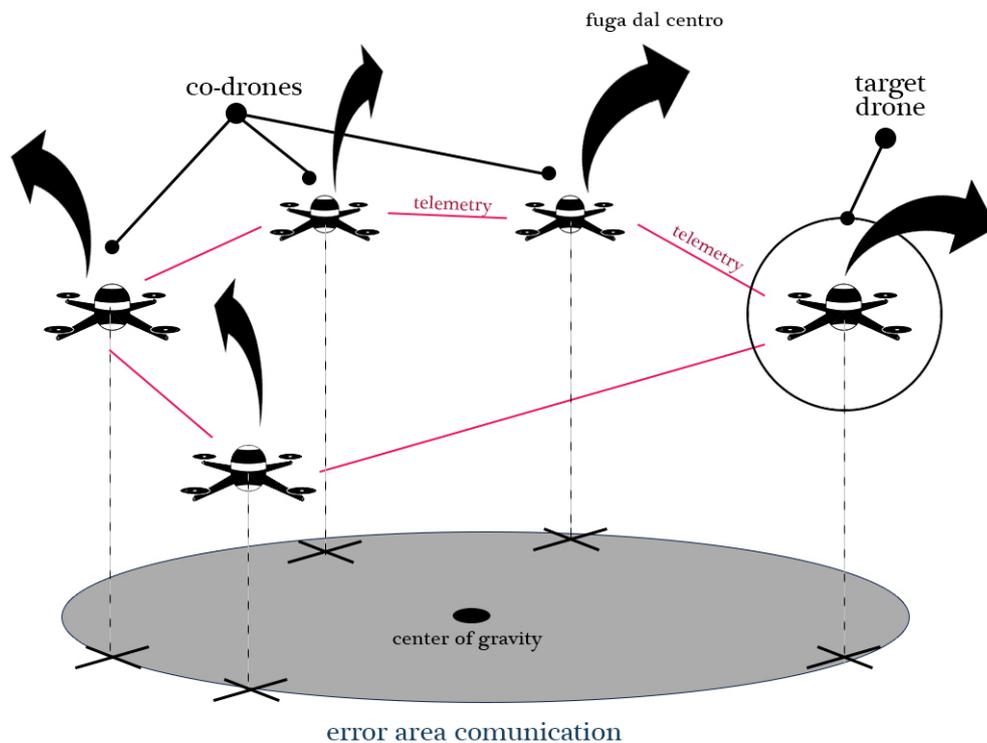


Figura 4.8: Ritiro Spaziale Cooperativo

Pseudocode: CSR

```
1: procedure COOPERATIVE SPATIAL RETREAT
2:   if (DETECT-FAILURE == true) {
3:     if (DRONE-MOVING == true)
4:       move toward mission area()
5:     else {
6:       turn on telemetry()
7:       foreach drone(i) < number-of-drone
8:         getOtherDroneLocation()
9:       set midpoint()
10:      evacuate()
11:      reconstruct phase()
12:    }
13:  }
14: }
15: else {
16:   normal phase()
17: }
18: }
```

Capitolo 5

Telemetria e IOT

Con l'era dell'Internet delle cose o anche IOT (internet Of Things), per cui ogni cosa entra a far parte della rete internet e produce dati e scambia informazioni, la telemetria assume un ruolo chiave.

5.1 Beacons

E' possibile impiegare la telemetria attraverso l'uso di piccoli radiotrasmettitori chiamati **beacons** - traduzione di: fari cioè dei segnalatori muniti di diversi sensori per la misurazione di diverse grandezze e l'invio delle informazioni

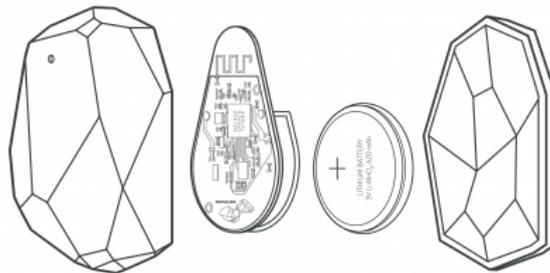


Figura 5.1: Estimote beacon

5.2 Protocollo Eddystone

Google ha da tempo messo in campo un protocollo proprietario chiamato **Eddystone** che a differenza di altri tipi di protocollo es: **iBeacon** invia tre tipi di messaggio: e

Eddystone-UID

Eddystone-TLM

Eddystone-URL

Quello che ci interessa analizzare per i nostri scopi é il pacchetto per la telemetria **Eddystone-TLM** (TeLeMetry). In una area in cui sono installati uno o piú beacons, ciascuno di essi; di tanto in tanto invia un messaggio di tipo **TLM**, in cui vengono incapsulate tutte una serie di informazioni interne come il livello di batteria, temperatura, memoria, potenza del segnale ecc.

5.3 RSSI

RSSI letteralmente significa (Received Signal Strength) ovvero . Di solito viene impiegato per stimare la distanza tra due dispositivi dotati di sensori-RSSI. La stima viene effettuata sulla base di un fatto fisico molto semplice: ogni segnale che si propaga in un mezzo che non il vuoto si attenua durante il percorso. Sulla base di queste osservazioni é possibile calcolare la distanza tra il dispositivo che invia e chi riceve il segnale.

Capitolo 6

Telemetria laser

Grazie all'uso dei laser é possibile effettuare misure di telemetria. Esistono diversi tipi di misura come ad esempio la misura **impulsata del tempo di volo** TOF. Questa tecnica viene molto spesso impiegata in ambito militare, missilistico e satellitare e fornisce ottimi risultati per distanze medio-lunghe. Per effettuare una misura TOF, la sorgente laser deve essere in grado di generare impulsi di breve durata e di alta potenza.

Il calcolo della distanza si effettua secondo tre passi elementari come mostrato in figura:

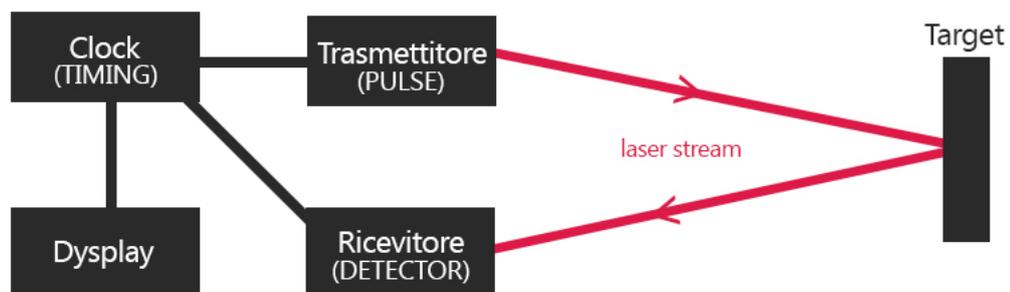


Figura 6.1: Sistema TOF

- Un trasmettitore genera un impulso laser verso il bersaglio.

- L'impulso viene riflesso e rilevato da un ricevitore
- Viene misurato l'intervallo temporale $t_f - t_i$ tempo di arrivo meno tempo di partenza del segnale

Ogni sistema TOF é costituito da un **diode laser** che genera l'impulso verso il bersaglio da misurare. Un diode ricevitore cattura il segnale laser riflesso ed un modulo di elettronica integrata calcola il tempo di ritardo del segnale trasmesso e ricevuto. Sulla base dei dati rilevati é possibile risalire alla distanza tra sorgente e bersaglio attraverso la semplice relazione:

$$2R = ct_r$$

Dove t_r rappresenta il tempo di volo in secondi (round-trip transit time), c é la velocità della luce nel vuoto che misura $300000\frac{km}{s}$ ed R la distanza sorgente-bersaglio. Naturalmente si assume che ricevitore e trasmettitore siano posti in vicinanza.

References

- [1] 2016 13th - International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI) August 19 22, 2016 at Sofitel Xian on Renmin Square, Xian, China.
- [2] Telemetry Systems Engineering (Artech House Telecommunications Library) - 1580532578 / 978-1580532570.
- [3] ZigBee Specification : ZigBee Document 053474r06, Version 1.0 - December 14th, 2004
- [4] Jin-Hyeok Kang and Kyung-Joon Park Department of Information - Communication Engineering DGIST Daegu 42988, Republic of Korea kang, kjp dgist.ac.kr