

Reti di Calcolatori 2

1.3 Meccanismi di propagazione radio

Riflessione: si ha quando l'onda impatta su di un ostacolo grande provocando un cambio di fase di 180° .

Diffrazione: è l'effetto di propagazione che si ha quando un'onda urta contro un oggetto impenetrabile (spigolo) causando un cambio di fase. Gli effetti causati dalla diffrazione sono comparabili al rapporto tra l'onda originale e l'onda diffratta. È un effetto dipendente dalla frequenza ed aumenta in modo inversamente proporzionale alla frequenza del segnale.

Dispersione (scattering): è l'effetto che si ottiene quando l'onda si infrange su oggetti molto piccoli e ciò causa tante onde più deboli in più direzioni.

1.4 Caratteristiche del segnale wireless

1.4.1 Path loss

Path loss: si esprime come il rapporto tra la potenza del segnale trasmesso e la potenza del segnale ricevuto.

Si hanno vari modelli di path loss a seconda delle condizioni che si considerano.

Nel vuoto, dove non si considera alterazione, il fenomeno di path loss è minimo. Per un modello si usa l'equazione di Maxwell...

Un altro modello è il **two-path** in cui si considerano due path: uno che va da sorgente a destinazione e uno che considera un percorso alternativo dovuto ai fenomeni di propagazione delle onde.

Nel modello generale del *two-path* si considera anche la potenza del segnale delle onde.

1.4.2 Fading

Fading: si riferisce alle fluttuazioni della potenza del segnale quando è ricevuto a destinazione. Due tipi di fading:

Fast fading small scale: si riferisce a fluttuazioni rapide in ampiezza, fase o multipath delay dei segnali ricevuti in diversi tempi. Il tempo tra la prima versione del segnale e l'ultimo echo del segnale è detto *delay spread*. A seconda se esistono path diretti o meno si segue una distribuzione Rayleigh o Ricean.

Slow fading large scale: si ha quando un oggetto, che assorbe parzialmente la trasmissione, giace tra il trasmettitore (T) e il ricevitore (R). Lo slow fading è chiamato così poiché il fade può durare diversi secondi o minuti.

Ci sono 2 tecniche per evitare i side-effect del fading.

Diversity è una tecnica che si basa sui path indipendenti tra trasmettitore e ricevitore, ognuno dei quali può subire un effetto di fading diverso. Fornendo più canali logici tra T e R e mandando parti del segnale su ogni canale, l'effetto del fading può essere compensato. Il *time-diversity* applica uno spreading dei dati sul tempo minimizzando la crescita degli errori. Il *frequency-diversity* usa l'ampiezza della frequenza dello spettro, oppure portanti multiple (DSSS e FHSS). Lo *space-diversity* usa diversi path di trasmissione fisici, con un array di antenne.

Adaptive Modulation: T e R cercano di stimare le caratteristiche del canale, e quanto stimato è mandato tra R e T attraverso un feedback channel. Il T si adatta alle stime del canale ricevute da R e la trasmissione è ottimizzata e riduce il fading (molto poco utilizzata).

1.4.3 Interferenze

1.4.3.1 Canali adiacenti: due canali vicini, si inseriscono le bande di guardia

1.4.3.2 Co-channel: stesso canale utilizzato da sistemi diversi

1.4.3.3 Intersymbol interference: se tra T e R ci sono degli ostacoli che non permettono il riconoscimento del segnale e si può ovviare tramite delle sequenze di training che analizzano le interferenze.

1.4.4 Vincoli sul tasso trasmissivo:

1.4.4.1 Teorema di Nyquist

In un canale ideale, sia c il bitrate, B la larghezza di banda, L numero di livelli del segnale, $c = 2B \log_2 L$

1.4.4.2 Teorema di Shannon

Introduce il concetto di SNR (Signal Noise Ratio), che è il rapporto tra la potenza del segnale trasmesso (S) e la potenza del disturbo (N): $SNR=10 \log_{10} S/N$.

La formula diventa $c=B \log_2 (1+S/N)$.

1.5 Tecniche di modulazione

1.5.1 Modulazione analogica

Si vogliono trasmettere dati analogici e si tratta di sovrapporre i bit sul segnale, modificando proprietà della portante.

Modulazione d'ampiezza

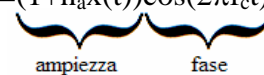
Si modifica l'ampiezza della portante. Il segnale trasmesso $s(t)=(1+n_a x(t))\cos(2\pi f_c t)$, dove n_a è l'indice di modulazione.

Modulazione d'angolo(frequenza e fase)

Il caso generale parte con $s(t)=A_c[\cos(2\pi f_c t)+\Phi(t)]$.

La modulazione di frequenza modifica la frequenza in modo da rappresentare le informazioni da trasmettere. È importante notare che la frequenza può essere vista come il numero di cambi di fase all'interno del segnale modulato.

La modulazione di fase modula il segnale in modo da far corrispondere a cambi di fase le info da trasmettere.



1.5.2 Modulazione digitale

Gli schemi di modulazione digitale sono utilizzati per la trasmissione di segnali digitali che consistono di sequenze di bit di 0 e 1. Come nella modulazione analogica, anche qui cambiano certe proprietà della portante, ma occorrono in tempi discreti. Il numero di tali cambiamenti è detto *baud rate* del segnale.

Amplitude shift keying

Nell'ASK, quando un bit è trasmesso, l'1 è rappresentato dalla presenza della portante $c(t)$ per uno specifico intervallo di tempo, mentre lo 0 per l'assenza del segnale nello stesso intervallo.

Matematicamente, ASK è rappresentata come:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t), & \text{se la cifra è 1} \\ 0, & \text{se la cifra è 0} \end{cases}$$

dove A_c è l'ampiezza della portante e f_c è la sua frequenza.

Frequency shift keying

Nell'FSK sia f_c la frequenza della portante e k è un piccolo offset di frequenza. La trasmissione della portante del bit 1 è rappresentata dalla presenza di una frequenza portante $f_c + k$ per uno specifico intervallo di tempo. La trasmissione dello 0 è rappresentata dalla frequenza portante $f_c - k$ per lo stesso intervallo di tempo. Poiché sono usati due livelli di frequenza, questa tecnica è conosciuta anche come *FSK a due livelli*, o *BFSK* (FSK binario). Matematicamente:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi(f_c + k)t), & \text{se la cifra è 1} \\ A_c \cos(2\pi(f_c - k)t), & \text{se la cifra è 0} \end{cases}$$

dove A_c e f_c sono ampiezza e frequenza.

Esiste una variante che non si limita ad un bit, ma può rappresentare 2 bit con più varianti del parametro k , ed usando quindi più livelli di frequenze:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi(f_c + 3k)t), & \text{se la cifra è 10} \\ A_c \cos(2\pi(f_c + k)t), & \text{se la cifra è 11} \\ A_c \cos(2\pi(f_c - k)t), & \text{se la cifra è 01} \\ A_c \cos(2\pi(f_c - 3k)t), & \text{se la cifra è 00} \end{cases}$$

dove A_c e f_c sono ampiezza e frequenza della portante.

La spaziatura tra le frequenze usata a rappresentare bit 0 e 1 (anche chiamata tone distance) è un parametro importante per il sistema FSK. La differenza tra le frequenze è direttamente proporzionale alla banda occupata dal segnale FSK, che è deciso attentamente per distinguere bene le frequenze.

Se il tone distance è minimo, il sistema diventa MSK (Minimum SK), che utilizza un valore $k=1/2T$ e se è utilizzato anche un filtro gaussiano questo diventa un Gaussian MSK (GMSK). Il filtro riduce la banda occupata dal segnale (GMSK è ampiamente usato nella telefonia GSM).

Phase shift keying

Il PSK cambia nella fase della portante per rappresentare 0 e 1, diversificate da un cambio di fase di π radianti per lo stesso intervallo di tempo. PSK usa il coseno della portante con ampiezza A_c e frequenza f_c e matematicamente è rappresentato da:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t + \pi), & \text{se la cifra è 1} \\ A_c \cos(2\pi f_c t), & \text{se la cifra è 0} \end{cases}$$

Questa tecnica è conosciuta come *BPSK* (PSK binario), in cui si può rappresentare solo un bit. Per più livelli di frequenze è possibile utilizzare più deviazioni di fase, con un sistema detto *QPSK* (PSK quadratico), la cui rappresentazione matematica è:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}), & \text{se la cifra è 10} \\ A_c \cos(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}), & \text{se la cifra è 11} \\ A_c \cos(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4}), & \text{se la cifra è 01} \\ A_c \cos(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4}), & \text{se la cifra è 00} \end{cases}$$

Lo shift di $\frac{\pi}{4}$ rappresenta il sistema $\frac{\pi}{4}$ -*QPKS*, in cui la massima deviazione di fase è limitata a ± 135 gradi.

PSK differenziale (DPSK) è una variazione del PSK, in cui il bit 1 è rappresentato quando avviene una variazione di fase sulla portante, mentre è 0 in assenza di variazioni.

Il DPSK ha un gran vantaggio: può essere usato come auto-clock se le differenze di fase occorrono molte volte a partire dall'inizio, e se le differenze sono solo due è utilizzato il *BSPSK*.

Per quattro fasi è usato il *Differential Quadrature PSK* (DQPSK), che occorre ogni $\pi/4$ (con valori che variano in $\pi/4$, $5\pi/4$, $-\pi/4$ e $-5\pi/4$).

L'ultima tecnica discussa è la *modulazione d'ampiezza di quadratura* (QAM) in cui sono variate sia ampiezza che fase. Nel QPSK ogni shift di fase è utilizzato su una coppia di bit, ma se si considera anche la variazione d'ampiezza su due valori, questi si combinano con otto possibili combinazioni. In questo modo si useranno tre bit, cosa che incrementa il *data-rate* del sistema (8-QAM). Esistono anche il 16-QAM e il 64-QAM, ma sono sistemi troppo complessi e soggetti ad errori.

1.6 Tecniche di accesso multiplo

Le tecniche ad accesso multiplo sono basate sull'*ortogonalizzazione* dei segnali, ognuno dei quali è rappresentato in funzione di tempo, frequenza e codice. Il multiplexing è effettuato rispetto ad uno di questi tre parametri (a divisione di frequenza, di tempo e di codice). Il multiplexing può essere effettuato anche in base allo spazio.

1.6.1 Frequency division multiple access

Il meccanismo FDMA opera dividendo una banda disponibile in diversi slot di frequenza e ogni trasmettitore-ricevitore usano uno di questi slot dedicati. Ad ogni banda il segnale viaggia su un lato, in modo che ogni frequenza non sia vicina all'altra per eliminare interferenze inter-canale, per cui c'è uno spreco di banda. Questo sistema è stato largamente adottato in sistemi analogici come la telefonia.

In una rete cellulare la *base station* (BS) alloca dinamicamente una portante di frequenza diversa per ogni nodo, conosciuto come *mobile station* (MS) e tra esse sono allocate due diverse bande, una in downlink e una in uplink. Questo sistema di comunicazione a due vie è chiamato *frequency division duplexing* (FDD). Per questi tipo di trasmissioni sono richieste le altre frequenze, poiché quelle basse risentono della perdita del segnale.

- **Orthogonal frequency division multiplexing**

OFDM è un sistema di trasmissione multi-portante. Somiglia molto alla FDMA poiché entrambe dividono la banda di frequenza in un numero di canali di frequenza. OFDM è basato su una diffusione dei dati da trasmettere su portanti multiple, ognuna modulata a tasso inferiore. Il segnale dati è trasmesso in multipli piccoli sotto-segnali, ricevuti simultaneamente su sotto-portanti. Questa divisione riduce il rumore e l'attenuazione del segnale. OFDM è detto anche *multi-tone modulation* (DTM) ed è correntemente usato per le WLAN e per il digital broadcasting.

1.6.2 Time division multiple access

TDMA condivide la banda disponibile in domini temporali.

1.6.3 Code division multiple access

CDMA utilizza l'intero spettro di frequenza e codifica i segnali con codici ortogonali in modo da non avere disturbi.

Frequency Hopping Spread Spectrum

La codifica del segnale salta attraverso una sequenza pseudocasuale di frequenze conosciuta solo da trasmittente e ricevente. Due tipi di intervalli temporali in cui il segnale salta: *fast* in cui l'intervallo è breve e i pacchetti sono di piccole dimensioni, *slow* in cui l'intervallo è lungo e i pacchetti sono di dimensione maggiore.

Direct Sequence Spread Spectrum

L'utilizzo di un codice detto *chipping-code* ad n bit permette di ortogonalizzare l'invio dei messaggi in modo tale da rendere incomprensibili i messaggi se arrivano a nodi che non siano a conoscenza dei codici. Il segnale è modulato con CCK (*Complementary Code Keying*), in cui il bit inverso corrisponde al complemento a 1 del code.

1.6.3 Space division multiple access

Si suddivide lo spazio in modo da poter utilizzare la stessa frequenza per diverse trasmissioni (antenne unidirezionali).

1.8 Controllo degli errori

Non è possibile assicurare che un canale sia senza errori.

1.8.1 Bit di parità (parity check)

Contiene un bit di parità che serve a rendere pari il numero di 1 (o di 0). Se il numero di bit 1 è dispari allora si è verificato un errore. Non è però possibile individuarlo, si può solo richiedere la ritrasmissione.

1.8.2 Codici di Hamming

Un codice di Hamming è formato da $n = d + r$, dove d sono i dati e r sono i bit di ridondanza, in posizione e^i . La somma degli indici dei bit di controllo posti ad 1 individuano il bit d'errore.

1.8.3 CRC (controllo di ridondanza ciclica)

Una sequenza detta *Frame Check Sequence* (FCS) è aggiunta ai dati, e i dati + FCS sono considerati come un polinomio divisibile per un CRC. Ciò controlla gli errori.

1.8.4 Convolutional Code (codifica attorcigliata)

Utilizzato per la codifica di lunghe sequenze, si basa su due parametri: r (ratio code) = k/n (dove k sono i dati grezzi ed n sono i dati codificati). Maggiore è k e minore è la probabilità di avere errori.

1.8.5 Turbo Code

È una tecnica powerful: si avvicina ai limiti dei codici di Shannon. Utilizzano codificatori (encoder) in sequenza in modo ricorsivo e la codifica migliora al crescere del numero degli encoder.

1.9 Computer Network

Due tipi di reti: Client/Server e Peer-to-Peer.

Due categorie di trasmissione: Broadcast (singolo canale condiviso) e Point-to-point.

Tre tipi generali di reti: LAN, MAN, WAN.

1.9 Computer Network Software

Utilizzano architetture a più livelli, tra i quali c'è un *Service Access Point* (SAP) che permette la comunicazione tra livelli. Attraverso le SAP vengono scambiate IDU (*Interface Data Unit*), che comprendono dei SDU (*Service Data Unit*) di cui fanno parte i dati+bit di controllo. Ogni layer può decidere come utilizzare il proprio SDU prima di instradarlo ai livelli adiacenti.

Ogni layer comunica logicamente con i layer paralleli dall'altro lato.

1.11 Architetture delle reti di computer

1.11.1 ISO/OSI

Sette livelli:

- Applicazione
- Presentazione
- Sessione
- Trasporto
- Network
- Data-link
- Fisico

1.11.2 TCP/IP

Quattro livelli:

- Applicazione
- Trasporto
- Internet
- Host-to-network

1.11.3 ATM

ATM utilizza la commutazione di cella (*cell switching*) per l'invio di messaggi. *Cell switching* somiglia al *packet switching* ma i dati sono divisi in celle di egual misura; ciò è per facilitare la costruzione di dispositivi hardware (la cella è composta da 53 byte di cui 5 di header e 48 di payload). In questo modo è anche possibile utilizzare il parallelismo delle connessioni, in modo da rendere più performante la comunicazione.

Una rete ATM usa la commutazione di cella in modo simile alla commutazione di circuito. Ogni connessione passa attraverso una fase di set-up durante la quale si stabilisce un circuito virtuale che ha diversi vantaggi rispetto al circuito fisico. Le connessioni sono stabilite on-demand su base statistica e per ogni connessione è stabilito un circuito virtuale. A questo punto la connessione deve essere minimizzata, in modo da aumentare il throughput. Una commutazione ATM non ha il permesso di riordinare i pacchetti, ma può tuttavia eliminarli se la connessione è sovraccarica.

ATM è un modello cubico formato da livelli (*layers*) e piani (*plans*).

Tre i livelli principali: *Physical Layer*, *ATM Layer*, *ATM Adaptation Layer*.

Tre i piani principali: *User Plane*, *Control Plane*, *Management Plane*.

User Plane è responsabile di operazioni come il trasporto delle celle, controllo degli errori e controllo del flusso. Il *Control Plane* si occupa della gestione delle connessioni (operazioni tipiche sono il set-up e la chiusura delle chiamate).

Il terzo piano (*Management Plane*) mantiene la rete e sostiene le funzioni operazionali. Esso è suddiviso in *Plane Management* e *Layer Management* per gestire livelli e piani.

Il *Physical Layer* è diviso in due sublayers: *Physical Medium Dependet Sublayer* e *Trasmission Convergence Sublayer*.

Dal lato del trasmittente, il TC invia la cella in entrata come una stringa di bit al PMD che trasmette lo stream di bit. Dal lato del ricevente, il TC riceve la stringa dal PMD e la converte in cella.

L'*ATM Layer* è il più importante poiché si occupa dell'instradamento delle celle nella rete e funzioni come la definizione del layout delle celle, creazione e rilascio di circuiti virtuali, controllo della congestione. È l'equivalente di *DataLink* e *Network* nel modello OSI.

Il layer superiore è *ATM Adaptation Layer* (AAL). Qui l'informazione utente è creata e ricevuta come 48 byte di payload. È diviso in 2 parti: *Segmentation And Reassembly* (SAR) e *Convergence Sublayer* (CS).

Il CS impacchetta i PDU dei livelli più alti con ogni altra informazione richiesta dai servizi ATM.

Alla ricezione di un PDU di alto livello, il CS aggiunge un header ed un trailer creando un CS-PDU, passato al SAR che dal lato del trasmittente segmenta il PDU in celle (aggiungendo un suo header e trailer, detti SAR-PDU di 48 byte),

mentre dal lato ricevitore lo riassume. Il SAR-PDU è passato all'ATM Layer (che aggiunge 5 byte = 53 byte e diventa ATM-PDU).

Dall'altro lato il SAR prende più SAR-PDU, li spoglia di header e trailer, li assembla in CS-PDU e li manda al CS, che toglie testa e code e li passa poi agli strati più alti.

Uno dei principali vantaggi di ATM sta nel poter fornire diversi servizi come linee di comunicazione. Ha però un 10% di header che è abbastanza consistente sul carico di dati e le piattaforme per la gestione della comunicazione sono costose.

1.12 Standard IEEE 802

1.12.1 Livello fisico

Il livello fisico viene utilizzato per trasmettere su rete i bit provenienti dai pacchetti che LLC passa a MAC.

1.12.2 Data link layer

È uno dei livelli più importanti e si occupa di *error control, flow control* (LLC) e *addressing, framing, controllo di accesso al mezzo* (MAC).

LLC

Il *Logical Link Layer* si occupa di aggiungere DSAP (*Destination SAP*) e SSAP (*Source SAP*) al pacchetto. Tre tipi di LLC:

LLC1 (unacknowledged connectionless); LLC2 (acknowledged connection oriented); LLC3 (acknowledged connectionless).

2.2 Wireless LAN

2.2.1 Problemi tecnici

- IP dinamico che non può riferirsi ad una area geografica specifica;
- Topologia dinamica
- Estremi dell'area di copertura non ben definiti
- Favorevole agli errori (siamo 10^{-4} da 10^{-9} delle wired)

Le WLAN sono usate per la mobilità, per zone disastrose, per costruzioni vecchie in cui non è possibile cablare la zona.
Design goals:

- Semplicità operativa di configurazione veloce.
- Operazioni efficienti per la batteria
- Operazioni License-Free su banda ISM
- Tollerante alle interferenze visto che la banda è free
- Standardizzazione globale nel mondo (global mobility)
- Security per la trasmissione dati
- Safety per le persone
- QoS
- Compatibilità con altre tecnologie

2.2.2 Network architecture

Molte le differenze tra Infrastruttura Network e Ad Hoc Wireless Network, soprattutto a livello di routing dei pacchetti.

L'architettura di rete prevede un MT/STA (Mobile Terminal) che comunica tramite un AP (Access Point), il quale è attaccato alla rete fissa tramite un DS (Distribution System).

I servizi offerti ad un AP sono:

- Associazione: l'AP è identificato nella rete
- Riassociazione
- Deassociazione
- Distribuzione: dei pacchetti nella rete (routing)
- Integrazione: eterogeneità tra frames di diverse reti

I servizi offerti ad un MT sono:

- Autenticazione
- Deautenticazione
- Privacy: criptaggio dei messaggi
- Data delivery: trasmissione dati

2.3 Standard IEEE 802.11

Lo standard non è ancora del tutto definito, ma quelli utilizzati sono 802.11b/g.

2.3.1 Livello fisico

Tre tipi di connessioni: 2 radio e 1 infrared.

Il livello fisico è diviso in 2 parti:

PMD (Physical Medium Dependent): è il livello più basso, che si occupa di codifica, decodifica e modulazione dei segnali.

PLCP (Physical Layer Convergence Protocol): astrae le funzionalità che fanno offerte al MAC SubLayer. Offre il SAP indipendente dal mezzo trasmissivo e offre il Clear Channel Assessment (CCA – meccanismo d'ascolto della portante: ascolta i bit – lento e affidabile, ascolta la potenza del segnale – veloce ma meno affidabile) che modula i 3 tipi di connessione e viene usato dal MAN per implementare il CSMA/CA.

La trasmissione in reti wireless avviene secondo 3 tipi di segnali:

- Onde radio con FHSS a 2.4 GHz su banda ISM a 1 Mbps utilizzando modulazione 2 level GFSK o 2 Mbps con 4 level GFSK.
- Onde radio con DSSS a 2.4 GHz su ISM con 1 Mb con DBPSK o 2 Mb con DQPSK
- IRDa distanze brevi a 1,2 Mbps usando PCM.

2.3.2 Meccanismo base del MAC Sublayer

Il MAC controlla l'accesso al mezzo per evitare collisioni o quantomeno ridurle. Due tipi di Data transfer supportati: asincrono (unicast e multicast packet), realtime (solo su Wi-Fi basato su infrastrutture).

Il metodo principale di accesso al mezzo si ha tramite DCF (Distributed Coordination Function) che deriva da CSMA/CA con un meccanismo di RTS/CTS. Il secondo metodo è di PCF (Point CF), che serve per il traffico real-time.

L'Inter Frame Spacing (IFS) è un intervallo di tempo che intercorre nella trasmissione di due frames. Il valore dell'IFS è calcolato a partire dai valori del livello fisico:

- SIFS (Short IFS) è utilizzato per messaggi ad alta priorità (ACK)
- PIFS (PCF IFS) è utilizzato per messaggi real time in PCF
- DIFS (DCF IFS) per messaggi asincroni
- EIFS (Extended IFS) per messaggi lunghi e/o a bassa priorità.

2.3.3 CSMA/CA

Si ascolta la portante per sentire se il canale è libero per un periodo di un DIFS e si accede al mezzo per iniziare la trasmissione. Per questo motivo se il carico è leggero il ritardo di trasmissione è pari al più al tempo del DIFS. Se il canale ha un carico elevato il nodo inizia la procedura di BackOff aspettando un tempo random scelto nella *contention window* tra CW_{min} e CW_{max} . Con questo schema tutti i nodi hanno la stessa probabilità di trasmettere.

Dimensione della CW

Il valore iniziale è scelto random tra 0 e CW_{min} e essa si incrementa fino a raggiungere al massimo CW_{max} . Questo schema risparmia molta energia.

Ack

Hanno priorità alta e vengono ricevuti prima che il messaggio sia ritrasmesso (si attende un SIFS).

RTS-CTS

Serve a risolvere il problema del terminale nascosto che si ha nel caso in cui un terminale è raggiunto da altri 2 terminali che tra loro non hanno un segnale che li ricopre. Questo comporta che il ricevente potrebbe essere bombardato da entrambi i terminali senza che essi se ne accorgano e diminuendo il throughput a causa delle collisioni. Questo problema è dovuto alle informazioni incomplete della topologia di rete.

Il meccanismo RTS-CTS è una forma di handshake per l'occupazione del mezzo trasmissivo. Il mittente invia un RTS nel suo range di copertura in modo che tutti sappiano che egli vuole iniziare la trasmissione. Nell'RTS c'è il destinatario del prossimo pacchetto dati e la durata dell'intera trasmissione. Tutti i nodi nel range aggiornano il loro NAV (lista con tutti i tempi di occupazione del mezzo). Una volta che l'RTS è arrivato con successo al destinatario allora questo manda il CTS in modo da avvisare gli altri nel suo range, compresi quelli nascosti al mittente. Quando CTS arriva al mittente, esso inizia il trasferimento dati dopo un SIFS. Il destinatario manda un ACK (dopo un SIFS) al completamento dei pacchetti dati. Le uniche collisioni si possono avere solo durante lo scambio di RTS-CTS, non durante i dati.

2.3.4 Point coordination function

PCF usa il FHSS. È un modo centralizzato per la gestione delle collisioni, infatti abbiamo un Point Coordinator che fa da “arbitro” e divide il tempo in periodi Super Frame che sono di due tipi: *contention free period* (in cui la contesa è gestita solo dal Point Coordinator) e *contention period* (in cui la contesa è autonoma). L’IFS usato è il PIFS (+ breve del DIFS), quindi quando si opera in modalità PCF è il PIFS che “vince” per i periodi di contesa.

La **sincronizzazione** è necessaria per il power management e per l’uso di una visione globale del tempo. Si usa una *timing synchronization function* per sincronizzare i clock delle varie stazioni.

Il **power management** è gestito attraverso degli stati: in *sleep* un nodo non può né ricevere né inviare, in *awake* deve aspettare che termini la trasmissione prima di andare in sleep.

In caso di **roaming** sono due i modi in cui un MT si connette ad un AP: attivo, se il MT manda dei segnali x cercare gli AP, passivo se si resta in ascolto.

2.5 Bluetooth

2.5.1 Specifiche IEEE 802.15

Due parti di specifica: core (livello fisico e datalink) e profiles (13 gruppi di applicazioni).

Lo stack dei protocolli è diviso in:

- Transport protocol group (locazione)
- Middleware protocol group (connessione)
- Application group (scambio dei dati).

6 Protocolli MAC per Ad Hoc Wireless Network

Classificazione dei protocolli

1. Contention based (MACAW)

Sono basati sulla contesa del canale, senza alcuna sorta di prenotazione a-priori della risorsa. Per la contesa del canale un nodo avvia un protocollo d'avviso x il vicinato per l'accesso al mezzo. Questi protocolli non garantiscono QoS. Si suddividono in

- Iniziatati dal mittente (Single channel Sender initiated – è usata tutta la banda disponibile, Multiple channel Sender initiated – la banda è divisa in più canali)
- Iniziatati dal ricevente.

2. Contention based con meccanismi di prenotazione (D-PRMA)

Con questi protocolli si garantisce un minimo di QoS per il traffico real-time. Il protocollo MAC deve fornire un sistema di prenotazione di banda a-priori. Possono suddividersi in due tipi:

- sincroni: richiedono una sincronizzazione temporale tra tutti i nodi. Le prenotazioni sono fatte da un nodo che conosce il suo vicinato
- asincroni: utilizzano informazioni temporali relative per fare la prenotazione.

3. Contention based con meccanismi di scheduling (DPS)

Vengono schedulati sia i pacchetti che i nodi che devono effettuare l'accesso al canale. Lo scheduling dei nodi è fatto in modo da essere imparziale (è possibile tener conto anche dello stato delle batterie).

MACAW (Multiple Access Collision Avoidance for Wireless)

Questo protocollo è basato sul MACA, proposto per ovviare ai problemi di CSMA su wireless. CSMA non copre il problema del *terminale nascosto* e inoltre l'utilizzo della banda diminuisce poiché è presente anche il problema del *terminale esposto*.

MACA non fa uso del carrier sensing per l'accesso al canale, ma usa 2 pacchetti aggiuntivi di segnalazione: *request to send* (RTS) e *clear to send* (CTS).

Quando un nodo vuole trasmettere deve inviare prima RTS, che arrivato a destinazione permette al ricevente di inviare il CTS per iniziare la trasmissione. Se CTS arriva senza errori allora il trasmittente può inviare i dati. Altrimenti si usa il BEB per determinare un periodo di tempo casuale prima di ritrasmettere i dati, in modo da dare il tempo di ritrasmettere RTS-CTS.

Entrambi i pacchetti hanno al loro interno la durata della connessione.

MACAW risolve il problema di MACA riguardo il BEB, che introduce la politica di raddoppio delle finestre. In MACAW il pacchetto ha un header aggiuntivo in cui è inserito il B-counter del nodo trasmittente. I nodi che ascoltano utilizzeranno il B-counter presente nel pacchetto aggiornando il proprio valore. Questo meccanismo permette l'allocazione di banda in modo imparziale. Un altro problema con l'algoritmo del BEB è che il B-counter si aggiorna troppo rapidamente quindi è introdotto un decremento lineare e un incremento moltiplicativo ($\times 1.5$).

Per ogni flusso il B-counter utilizza delle code. MACAW implementa la fairness x flusso (rispetto a MACA che l'implementava x nodo) gestendo più code per ogni nodo, ognuna per ogni datastream, e si usa BEB indipendentemente per ogni cosa. Così un nodo che è pronto a trasmettere prima determina il tempo da aspettare x la trasmissione di un RTS ad ogni suo nodo destinazione che corrisponderà al pacchetto più in alto alle code dei nodi.

Allora seleziona il pacchetto per il quale il tempo d'attesa è minore.

MACAW modifica il RTS/CTS:

1. è inserito un ACK dopo la trasmissione dei dati; questo viene fatto poiché il controllo degli errori passa dal livello di trasporto al livello DLL. Ciò velocizza il controllo. Dopo aver ricevuto i dati, il ricevente manda un ACK. Se il mittente non sente ACK schedula di nuovo

- lo stesso pacchetto dati per essere trasmesso (e incrementa B-counter); se invece l'ACK si è perso in trasmissione il mittente vorrebbe riprovare trasmettendo un RTS x lo stesso pacchetto, ma il ricevente manda direttamente l'ACK per il pacchetto.
2. Il problema del terminale esposto in MACA non viene risolto xké il terminale esposto non può sapere se lo scambio di messaggi è andato a buon fine. Quindi viene inserito un pacchetto DS (*Data Sending*) di 30 byte che include anche info sulla durata di trasmissione di un pacchetto. In questo modo, il nodo esposto capisce che il meccanismo RTS-CTS è andato a buon fine e differisce la propria trasmissione per il periodo indicato nel DS. Se DS non viene usato il nodo esposto vorrebbe ritrasmettere dopo un periodo casuale di tempo e ci sarà un'alta probabilità di trasmettere durante la comunicazione degli altri nodi, aumentando il B-Counter e collisioni (spreco di banda).
 3. Un'ulteriore modifica è stata introdotta mediante il RRTS (*Request for RTS*) che è utilizzato per "prenotare" il canale per iniziare una trasmissione e fa in modo che chi sente RRTS aspetta due slot temporali.

D-PRMA (Distributed – Packet Reservation Multiple Access)

D-PRMA modifica PRMA (x le WLAN basato sulla contesa) e sfrutta il TDMA per la suddivisione del canale di lunghezza fissa, creando n slot x ogni frame e m minislot x ogni slot.

Ogni minislot può essere suddiviso per la contesa in RTS-BI e CTS-BI (dove BI sta per *busy indication*).

Tutti i nodi pronti a trasmettere partecipano alla contesa tramite il primo minislot, e i restanti sono assegnati al vincitore. Se la contesa non è risolta attraverso il primo minislot, allora si procede con i successivi.

In uno slot riservato, la comunicazione tra sorgente e destinazione avviene tramite FDD o TDD.

All'inizio di ogni minislot è riservata una certa quantità di tempo per il carrier sensing. Se il mittente ascolta il canale libero comincia la procedura di RTS/CTS tramite RTS-BI e CTS-BI che dovranno rientrare nello stesso minislot.

C'è un meccanismo che privilegia il traffico voce, rispetto al traffico dati. Infatti, un nodo che vuole cominciare una comunicazione audio ha probabilità $p = 1$ di partecipare alla contesa del primo minislot, inoltre ha la possibilità di riservare lo stesso slot nel frame successivo. Se invece è un nodo che trasmette dati ha probabilità $p < 1$ e non ha possibilità di mantenere lo slot per frame successivi. Inoltre ad un nodo che ascolta il ricevente di una comunicazione non è permesso trasmettere.

DPS (Distributed Priority Scheduling)

DPS utilizza tecniche di *piggybacking* inserendo informazioni aggiuntive nei pacchetti RTS-CTS (come la priorità sui pacchetti trasmessi). Tramite le info ricavate da pacchetti, si possono costruire dei pacchetti di scheduling che determinano il range delle comunicazioni rispetto al vicinato.

Questo schema è basato all'IEEE 802.11 ed è simile all'RTS-CTS-DATA-ACK.

Il trasmettente invia RTS includendo il proprio indice di priorità per il pacchetto che deve essere trasmesso. Il ricevente copia la priorità dal RTS caricandola, insieme al Source-ID, nel CTS.

I nodi nel vicinato che ascoltano il meccanismo, aggiorneranno le proprie tabelle con le priorità.

7 Protocolli di routing per Ad Hoc Wireless Network

Classificazione dei protocolli

1. Meccanismi di aggiornamento delle info di routing
 - a. **Proattivi** (basati su tabelle: ogni nodo ha informazioni sulla topologia tramite tabelle aggiornate autonomamente. Un algoritmo appropriato alla topologia fa sì di conoscere i path aggiornati)
 - b. **Reattivi** (basati sull'on-demand. Al momento della richiesta di una connessione si avvia un processo di setup senza mantenere info sulla topologia)
 - c. **Ibridi** (i nodi vicini al nodo interessato, o di una particolare area geografica, sono detti nella *routing-zone*. All'interno si usa un protocollo proattivo, all'esterno un reattivo)
2. Meccanismi che utilizzano info temporali per il routing
 - a. Info temporali del passato (si usano info sullo stato passato dei link e dei nodi per prendere decisioni di routing)
 - b. Info temporali del futuro (usa le info basate sullo stato che ci si aspetta del wireless link, in base al tempo e in base al moto dei nodi).
3. Basate su topologie di routing
 - a. Topologie piatte (si usa uno schema di instradamento piatto, simile a quello delle LAN 802.3)
 - b. Topologie gerarchiche (schema di instradamento basato su info geografiche o sulla distanza di hop)
4. Basati sull'utilizzo di risorse specifiche
 - a. Minimizzo dei consumi della batteria
 - b. Basato su info geografiche riduce l'overhead e incrementa le performance

1.a DSDV (Destination Sequenced Distance Vector)

È una versione avanzata di Bellman-Ford, in cui ogni nodo usava una tabella che conteneva, x ogni nodo, la distanza più corta per gli altri nodi e il next hop del percorso più breve.

DSDV include un meccanismo di aggiornamento delle tabelle inserendo un numero di sequenza che aiuta a prevenire i loop e a contrastare il problema del conteggio all'infinito e inoltre migliora la velocità di convergenza. Tutti i nodi conoscono e rotte in qualsiasi istante e le tabelle sono scambiate tra nodi vicini tramite due tipi di aggiornamenti:

incrementale: si usa un singolo Network Data Packet Unit e serve x modifiche poco significative,

full dump: si usano più NDPUs e serve quando la topologia locale cambia in modo significativo.

Se arrivano diverse versioni dello stesso aggiornamento si utilizzano metriche per la scelta della versione migliore. Quando un link si rompe la distanza x quel nodo è settata infinito e gli altri nodi collegati al quel nodo tramite altri link aggiorneranno le loro tabelle di routing.

Vantaggi: il sequence number permette di applicare i protocolli wired;

Svantaggi: l'alta mobilità e i continui controlli portano un overhead abbastanza alto che può congestionare ogni tipo di MANET. In più x ottenere le info su un path si deve aspettare l'aggiornamento delle tabelle.

1.b(1) DSR (Dynamic Source Routing)

Il DSR è un protocollo che risparmia banda e riduce il numero di scambio di messaggi rispetto ai proattivi. Non avendo messaggi di avviso, il protocollo è *beaconless* (non si avvertono i vicini della propria presenza). Quando si ricerca una rotta si usa il meccanismo del *flooding* con il pacchetto *Route-Request*, e il destinatario risponderà con il *Route-Reply*, utilizzando la rotta presente nel pacchetto RReq. Il pacchetto viene inoltrato se: non si è il destinatario, non è stato già inoltrato e il TTL > 0.

Il RReq include il path attraversato e il numero di sequenza. Un nodo che riceve il request packet controlla il SeqNum sull'ultimo pacchetto inoltrato. Se è minore di quello presente del pacchetto allora lo inoltra. Il SeqNum è utilizzato per prevenire la trasmissione multipla dello stesso pacchetto.

Il destinatario assicura una risposta sul path più corto rispondendo al primo RReq che gli arriva. Si può utilizzare una *Route-Cache* che memorizzi le possibili informazioni dalla rotta decisa dal sorgente (o contenuta nel pacchetto).

Se un nodo intermedio ha in cache una rotta per la destinazione, allora la inoltra alla sorgente.

Ottimizzazioni: utilizzo della cache, utilizzo di nodi promiscui (x ricavare info sui path), utilizzo di un BEB per evitare che un nodo sorgente cerchi una destinazione fuori dalla propria rete e la intasi, utilizzo di messaggi di errore *Route-Error* per la segnalazione di link rotti.

Vantaggi: non c'è bisogno di messaggi d'aggiornamento, un path è stabilito solo se necessario e i dati intermedi possono usare una cache.

Svantaggi: il meccanismo di manutenzione delle rotte non recupera i link rotti; è difficile mantenere la coerenza della cache; i ritardi dovuti ai tempi di setup sono più alti del protocollo proattivo. Le performance degradano al crescere della mobilità e l'overhead è direttamente proporzionale alla lunghezza dei path.

1.b(2) AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector)

AODV impiega i SeqNum delle destinazioni per identificare i path più recenti. La differenza principale tra DSR e AODV è che AODV non inserisce l'intero percorso all'interno dei pacchetti trasmessi, ma memorizza solo il next-hop e inoltre usa i DestSeqNum per capire la freschezza delle rotte e aggiorna la propria rotta solo se è migliore.

Un pacchetto RReq ha al suo interno:

1. SourceID
2. DestID
3. SourceSeqNum
4. DestSeqNum
5. BroadcastID
6. TTL

Il DestSeqNum indica la freschezza di una rotta. Se un nodo intermedio riceve RReq e se ha una rotta di destinazione crea un RReply, altrimenti lo inoltra. La validità della rotta del nodo intermedio è determinata confrontando il DestSeqNum con SeqNum del nodo intermedio. Se si riceve un RReq più volte, le copie sono scartate. Tutti i nodi intermedi che hanno una rotta valida rispondono con un RReply e prima di inoltrare il RReply inseriscono l'indirizzo del nodo precedente e il suo BroadcastID. Si usa un timer per cancellare queste entry. Quando un nodo riceve un RReply memorizza le info sul nodo precedente e poi inoltra il pacchetto per la destinazione.

AODV non ripara i path rotti e, quando accade, osserva i beacon o gli ACK per informare sorgente e destinazione sui link. Se ci si accorge che si è rotto un path il nodo (che è link intermedio) informa gli altri nodi creando un RReply con valore infinito.

Vantaggi: rotte stabilite on-demand; i DestSeqNum sono utilizzati x cercare la rotta più aggiornata e il ritardo di Setup è minore rispetto al DSR.

Svantaggi: i nodi intermedi possono usare rotte non aggiornate se il DestSeqNum è molto vecchio. L'utilizzo di più RReply include overhead, e il *beaconing* periodico consuma banda.

1.c CEDAR (Core Extraction Distributed Ad-hoc Routing)

Si basa sul concetto degli insiemi dominanti di cardinalità minima che è l'insieme dei nodi di un grafo tali che ogni nodo o è presente nell'insieme o è a distanza 1 da esso. I nodi *core* all'interno di una rete formano il *Dominating Set* di cardinalità minima e un link tra due nodi core è detto *link virtuale*.

CEDAR utilizza un algoritmo distribuito per selezionare i nodi core, e questa fase è detta “estrazione dei nodi core”. Utilizza un meccanismo in cui la comunicazione avviene attraverso i nodi core e per avere un servizio di broadcast efficiente, ogni nodo Core conosce il suo vicinato. L’alta mobilità introduce overhead anche in CEDAR. Se un nodo Core si sposta, infatti, tutti i nodi esterni all’insieme che avevano quel nodo come dominante dovranno selezionarne uno nuovo (ed è questo che introduce overhead). Ovviamente ogni nodo core mantiene info sulla topologia del vicinato e viene utilizzato un meccanismo x il passaggio di info riguardanti la bontà dei link. Esistono due tecniche: movimento lento di onde di incremento (la propagazione del messaggio avviene lentamente e si usa solo per trasmettere i miglioramenti), movimento veloce di onde di decremento (utilizzato per segnalare peggioramenti); questi messaggi sono inviati solo quando sono superate delle soglie di qualità (+ o -).

Per scegliere la rotta si applica un algoritmo a due passi: si cerca (1) un *path-core* da sorgente e destinazione (cioè tra i due nodi core dell’insieme sorgente e destinazione), dopodiché (2) si ricerca il QoS più alto tra i vari path trovati.

Se il nodo core sorgente non ha già una rotta x il core destinazione si inizia una RootRequest che si invia in modalità unicast a tutto il vicinato e ognuno di essi lo reitera inoltrandolo se non è il core destinazione. Quando il core destinazione riceve un RRequest risponde e poi sarà il core sorgente a decidere il path con il + alto QoS.

Per trovare un path si usa quindi un algo iterativo che seleziona il nodo più lontano con la QoS richiesta. Questo nodo prende il nome di *midcore* e reitera il processo finché non si ottiene un path con la QoS richiesta. Se non esiste un path con la QoS richiesta dal nodo sorgente, esso viene avvisato e decide sul da farsi.

Vantaggi: efficienza della computazione data dai nodi core.

Svantaggi: se un nodo core si muove si ha un alto overhead.

3.b HSR (Hierarchical State Routing)

Il vantaggio che si può ottenere dai routing gerarchici è quello di ridurre la dimensione delle tavole di routing e migliorare la scalabilità. HSR è gerarchico multilivello che utilizza clustering a diversi livelli con gestione efficiente dei membri ad ogni livello di cluster.

Il clustering viene utilizzato per migliorare l’allocazione e la gestione delle risorse quali frequenze o *spreading-code* per cluster. Tra i membri di ogni livello viene scelto un cluster che farà da leader per il livello sottostante.

Un altro modo è quello di scegliere un leader in ogni livello.

Il primo livello di clustering è detto *livello fisico* ed è rappresentato dai nodi raggiungibili tramite un *single-hop* wireless. Il livello successivo è formato dai leader dei vari cluster di primo livello.

Questo clustering è di tipo fisico e HSR ne aggiunge anche uno logico che vede le relazioni tra i nodi. Il leader di un cluster è responsabile di:

- Allocazione di slot, frequenze, codice
- Accettazione chiamate
- Scheduling e trasmissione pacchetti
- Scambio di info di routing
- Gestione dei path rotti

Ogni nodo ha info sul suo vicinato e sullo stato dei link ad esso adiacenti e queste info sono aggiornate in broadcast periodicamente.

Tramite lo scambio di queste informazioni si vengono a creare i nodi *head* e *gateway* che formano *virtual link* di tipo *multihop*. Questa topologia necessita di un livello di indirizzamento gerarchico.

Vantaggi: tabelle più piccole, miglior utilizzo di risorse, utilizzo gerarchico delle info, adatto per situazioni in cui ci sono supernodi.

4.a Protocolli di routing power-aware

Le metriche di routing controllano la batteria:

