

Concetto di Reti Cognitive

(cognitive radio networks)

Cognitive Radio Networks

Definizione

Un Cognitive Radio (CR) consiste di:

- ❑ un motore “cognitivo” (CE, Cognitive Engine) che contiene degli algoritmi per fare il “sensing” dell’ambiente di propagazione, e algoritmi di “machine-learning”, reasoning e decision-making
- ❑ Una piattaforma radio riconfigurabile (es. Software Defined Radio) che sia in grado di fare ciò che il CE gli dice di fare (di fatto, adattare il sistema di trasmissione e ricezione)

Il concetto di CR è stato per la prima volta descritto da Mitola-Maguire nell’articolo del 1999:

Rif.: J. Mitola et al. “Cognitive Radio: Making Software Radio more Personal” IEEE Personal Comm., Vol. 6, No. 4, Aug. 1999

... “This transforms radio nodes from blind executors of predefined protocols to radio-domain-aware intelligent agents that search out ways to deliver the services the user wants even if that user does not know how to obtain them.”

Idealmente, un CR sa tutto sui requisiti dell’utente, le capacità del sistema di trasmissione, i requisiti della rete e l’ambiente esterno (incluso l’ambiente di propagazione) ed è in grado di pianificare e negoziare l’uso dello spettro (in quale porzione di spettro trasmettere), la potenza, lo schema di modulazione ect., e gestire queste risorse in TEMPO REALE per soddisfare i requisiti di servizio dell’utente.

Cognitive Radio Networks

CR vs SDR

➤ E' un'evoluzione del concetto di Software Defined Radio (SDR), che è una componente essenziale del concetto di CR.

➤ SDR è stato definito dal SDR Forum come:

“Radio in which some or all of the physical layer functions are Software Defined”

Ossia, alcune o tutte le funzioni sono realizzate tramite programmi software e quindi, possono essere RIPROGRAMMATE!

Idealmente si vorrebbe avere qualcosa del tipo:

ho un terminale con alcuni elementi essenziali della catena trasmissiva, e di volta in volta mi scarico il SW che mi permette di connettermi usando una certa interfaccia radio (GSM piuttosto che 3G o WiFi).

Questo per avere terminali multimodali piccoli (altrimenti dovrei realizzare tutte le interfacce radio sul terminale)...in realtà è stato più veloce il processo di miniaturizzazione che lo sviluppo del concetto di SDR, che è un concetto applicato, ma non con le ambizioni iniziali.

Tuttavia, il concetto di cognitive radio si basa sull'esistenza di dispositivi in grado di adattare i propri parametri trasmissivi (frequenze, modulazione, potenza ect.) “comandati” da un software. Quindi, ne è un'evoluzione.

Cognitive Radio Networks

CR for Dynamic Spectrum Access

Il concetto di CR ideale è a oggi oggetto di ricerca e gran parte del lavoro si svolge nelle Università

Tuttavia, una tecnologia CR molto sviluppata è il CR per Dynamic Spectrum Access (DSA).

Si tratta di un radio-trasmettitore in grado di fare il “sensing” del canale per rivelare “porzioni di banda” in quel momento non utilizzata (per esempio, allocata per un certo servizio, ma non utilizzata in quel momento e in quel luogo) e adattarsi in modo da utilizzare quella porzione di banda per comunicare senza interferire con altri utenti “autorizzati” ad utilizzare quella banda.

Questa forma di CR è anche oggetto di ricerca, ma un significativo sforzo industriale è stato fatto verso prototipi, standard e commercializzazione di questa tecnologia:

Società importanti coinvolte sono: Alcatel-Lucent, Ericsson, Motorola per quanto riguarda l'industria dei terminali mobili, BT, Orange per gli operatori, Philips e Samsung per l'elettronica di consumo, HP e Dell per l'industria dei computer, e Microsoft e Google dal punto di vista dell'industria software.

Cognitive Radio Networks

CR for Dynamic Spectrum Access

Google's push to open up TV White Spaces -- those slivers of unused spectrum abandoned when the country switched from analog to digital broadcasts -- has expanded to hospitals. Actually, one hospital in Ohio. Believe it or not this little experiment creates an opportunity for Google (GOOG) to push its free home-energy management software PowerMeter

Cognitive Radio Networks

Regolamentazione

Nel Maggio 2003, l'FCC ha riconosciuto che il concetto di CR può drammaticamente migliorare l'efficienza nell'uso dello spettro radio e quindi aprire la strada a nuovi servizi di telecomunicazioni.

Ref: FCC, NOTICE OF PROPOSED RULE MAKING AND ORDER In the Matter of Facilitating Opportunities for Flexible, Efficient, and Reliable Spectrum Use Employing Cognitive Radio Technologies, ET Docket No. 03-108, December 30, 2003

“Cognitive radio technologies have the potential to provide a number of benefits that would result in increased access to spectrum and also make new and improved communication services available to the public”

Cognitive Radio Networks

Regolamentazione

Il documento dell'FCC del 2003 identifica 4 possibili scenari per il CRs

Scenario #1: nell'ambito di una rete primaria su bande licenziate

Esempio: concetto di CR in una rete cellulare

Un operatore cellulare può utilizzare il concetto di DSA per migliorare la propria gestione dello spettro. Per esempio, nelle femtocelle 3G/LTE, invece di assegnare staticamente le frequenze alle femtocelle, si può utilizzare il concetto di CR per accedere alle frequenze inutilizzate in quel momento e in quell'area o per accedere a frequenze utilizzate, ma causando la minima interferenza a chi le sta già usando.

Cognitive Radio Networks

Regolamentazione

Il documento dell'FCC del 2003 identifica 4 possibili scenari per il CRs
Scenario #2: utenti secondari in bande licenziate

Esempio: public safety leasing

Le bande licenziate sono utilizzate dagli utenti primari che sono quelli che usufruiscono del servizio offerto dall'operatore che ha comprato quelle frequenze. Tuttavia, l'operatore può accordarsi con terzi (es. protezione civile, vigili del fuoco ect.) per permettergli di utilizzare un certo sott'insieme di frequenze non appena ne hanno bisogno.

Cognitive Radio Networks

Regolamentazione

Il documento dell'FCC del 2003 identifica 4 possibili scenari per il CRs
Scenario #3: coordinamento dell'accesso tra più reti in bande licenziate

Esempio: coesistenza di reti

Due operatori si accordano per utilizzare uno stesso pool di frequenze, coordinandosi attraverso l'uso di terminali cognitivi in modo che non ci sia interferenza mutua (trading in tempo reale di porzioni di spettro)

Cognitive Radio Networks

Regolamentazione

Il documento dell'FCC del 2003 identifica 4 possibili scenari per il CRs

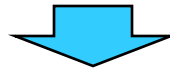
Scenario #4: coordinamento delle operazioni in bande licenziate

Esempio: accesso di terzi alle bande licenziate

Dispositivi di tipo CR, che nascono per funzionare in bande non licenziate, utilizzano delle bande di frequenza licenziate che in quel momento e in quel luogo non sono utilizzate dagli utenti primari.

Questa è sicuramente la forma di CR DSA più interessante

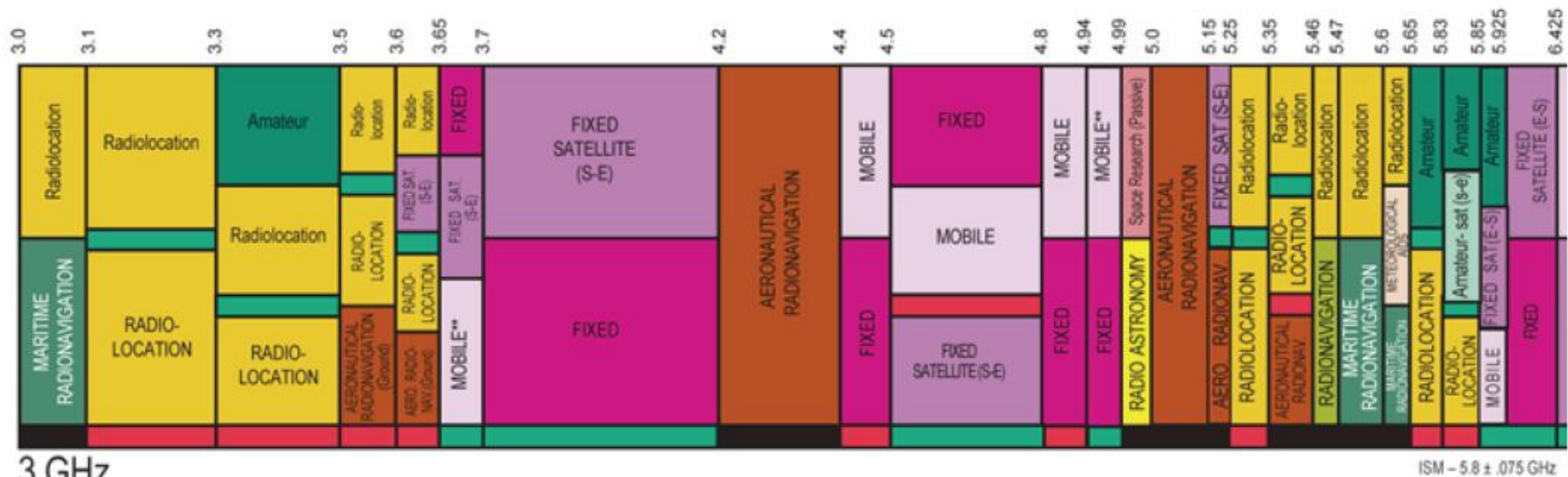
I terminali CR identificano porzioni di spettro “licenziato” non utilizzate in quel luogo e in quell’istante (anche dette WHITE SPACES)
e fanno un uso opportunistico di quella porzione di spettro per la propria connessione.



In questo modo si cresce notevolmente **l'efficienza spettrale** poiché si evitano gli sprechi di spettro inevitabili quando lo spettro viene assegnato in modo statico. Inoltre, nuovi servizi wireless possono essere introdotti senza il bisogno di dover allocare nuovo spettro per gli stessi ma semplicemente permettendo l'accesso dinamico a porzioni di spettro utilizzate da altri utenti primari, con l'accordo che non creino interferenza.

Cognitive Radio Networks

Regolamentazione

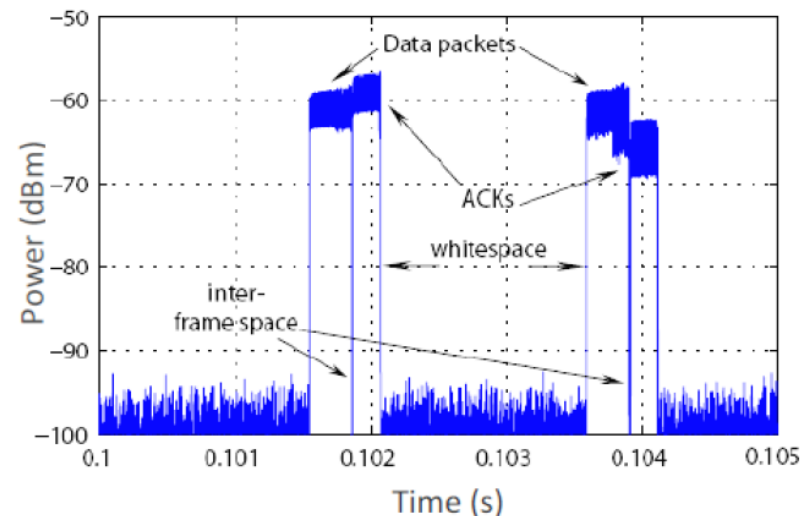
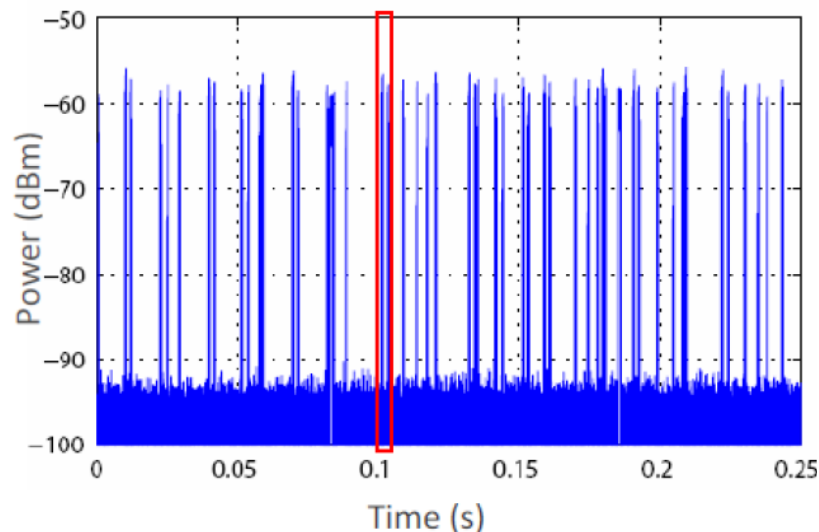


Allocazione spettro radio negli USA tra 3-6GHz

Cognitive Radio Networks

Regolamentazione

Conferenza di tre utenti che utilizzino il popolare software Skype per comunicazioni basate sul protocollo VoIP (Voiceover- IP) utilizzando per la trasmissione IEEE802.11.



Nonostante il canale sia utilizzato continuamente per l'invio di pacchetti dati

Andando a fare uno zoom, sono facilmente individuabili lunghi intervalli di inutilizzo tra un pacchetto e il successivo

Cognitive Radio Networks

Regolamentazione: TV White Spaces

Il termine TV White Spaces si riferisce alle frequenze allocate per fare TV broadcasting, ma non usate LOCALMENTE

Per esempio, per via dello switchover tra TV analogica e TV digitale, lo spettro riservato per la TV analogica si è liberato.

Sia negli US che in UK gli organi di regolamentazione (FCC in US e OFCOM in UK) hanno autorizzato l'accesso di utenti non licenziati di tipo “cognitive” ai cosiddetti TV White Spaces.

In Italia:

- sono state liberate le frequenze a 800, 1800, 2000 and 2600 MHz
E sono state assegnate attraverso un'asta nel Settembre 2011
- Ricavi: 3.2 billion €
- Le frequenze sono state allocate con diritti esclusivi per fornire servizi a larga banda, ma con un caveat: in futuro, la regolamentazione potrebbe prevedere l'uso di quelle porzioni di spettro con un approccio di tipo CR.

Cognitive Radio Networks

Regolamentazione: TV White Spaces

Ma ci sono altri TV White Spaces oltre a quelli legati allo switchover tra analogico e digitale.

Infatti, nel caso di TV digitale, comunque ci saranno un certo numero di canali TV che in un'area geografica non verranno usati dalle stazioni digitali poiché tali stazioni non sarebbero in grado di operare senza creare interferenza a stazioni che lavorano sullo stesso canale o su canali adiacenti.

Tuttavia, un trasmettitore che opera in tale canale TV inutilizzato in quell'area, ma a livelli di potenza bassi rispetto a quelli di un canale TV, potrebbe operare senza causare troppa interferenza a stazioni co-canale o su canali adiacenti. Quindi, anche questi canali localmente non utilizzati, fanno parte dei cosiddetti TV White Spaces.

Cognitive Radio Networks

Regolamentazione: spettro della Difesa

Oltre ai TV White Spaces, lo spettro riservato per applicazioni legate alla DIFESA rappresenta un'altra possibilità per l'accesso di tipo CR.

Per esempio, circa il 30% dello spettro sotto i 15 GHz in UK è allocato per applicazioni della DIFESA. Per esempio, dispositivi di comunicazione CR a bassa potenza potrebbero condividere lo spettro con applicazioni radar a patto che il segnale radar sia ancora rivelabile e che la trasmissione dei dispositivi CR sia temporizzata in modo da evitare interferenza.

Cognitive Radio Networks

Modalità di condivisione dello spettro

Spectrum Sharing

Classificazione delle modalità di condivisione dello spettro (spectrum sharing) sulla base dell'esistenza di priorità di accesso:

Open Spectrum Sharing (OSS)

Tutti i sistemi hanno la stessa priorità di accesso (non esistono utenti primari o secondari). Questa modalità è stata sviluppata principalmente per l'uso della banda ISM dove posso avere utenti di sistemi diversi, ma tutti senza licenza, che accedono allo spettro.

Concetto nuovo legato allo scenario OSS:

La modalità OSS è stata estesa anche a bande con licenza per essere usate da terminali multimodali, ossia terminali dotati di più interfacce radio per poter accedere alla rete di comunicazione. In questo caso, le bande assegnate ai vari sistemi con licenza fanno parte di un "pool" di frequenze a cui il terminale può accedere opportunisticamente e dinamicamente con l'obiettivo di ottimizzare costi, consumi di potenza, soddisfacimento dei requisiti di QoS. Per esempio, se un sistema è congestionato o in quell'area non "prende" bene, utilizzo un altro sistema per la comunicazione, utilizzando un'altra interfaccia radio

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Spectrum Sharing

Spectrum Sharing Gerarchico

In questo caso, ho:

- ☐ **Utenti Primari** che sono gli utenti dell'operatore che ha “comprato” lo spettro
- ☐ **Utenti Secondari** che possono trasmettere in quello stesso spettro, pur non avendolo “comprato”, ma a condizione di non causare interferenza agli utenti primari.

Si distingue in:

- ☐ Underlay spectrum sharing
- ☐ Overlay spectrum sharing

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Spectrum Sharing

Spectrum Sharing Gerarchico

Underlay Spectrum Sharing: se l'interferenza causata dall'utente secondario è sotto una determinata soglia, l'utente secondario può continuare a trasmettere. Per realizzare questo, l'utente secondario deve conoscere l'interferenza causata all'utente primario quindi, deve stimare il canale tra TX secondario e RX primario e quindi deve poter ricevere il segnale dell'utente primario o prevedere un canale di feedback tra l'utente primario e il RX secondario. ➡ Deve essere un terminale dual-mode.

Overlay Spectrum Sharing: il trasmettitore secondario può trasmettere solo quando la comunicazione degli utenti primari è "idle", ossia, non stanno utilizzando quella frequenza. In questo caso, la più importante funzionalità che un sistema CR deve avere è

la capacità di **rivelare i White Spaces**

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei White Spaces

Capacità di rivelare la presenza di White Spaces o di altri utenti che stanno utilizzando una specifica banda

Tre metodi principali esistono per ottenere questa conoscenza (awareness) sull'occupazione dello spettro radio:

- ☐ Basato sull'uso di segnali Beacon
- ☐ Geolocalizzazione combinata con l'uso di database
- ☐ Spectrum Sensing

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Basato sull'uso di segnali Beacon

I dispositivi non licenziati trasmettono solo se ricevono un segnale di controllo (beacon) che identifica i canali inutilizzati in quella certa area di servizio.

Svantaggi:

Richiede un'infrastruttura, che deve essere messa in funzione e mantenuta, o dall'utente secondario e da un "third party" che vende il servizio

I segnali di beacon inoltre potrebbero essere persi per via dei meccanismi dell'hidden terminal per cui il cammino tra la stazione che manda il beacon e il terminale secondario è fortemente attenuato (es. presenza ostacolo) ➡ i canali rimangono inutilizzati.

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Geolocalizzazione combinata con l'uso di database

I dispositivi determinano la propria posizione e accedono ad un database per determinare quali sono i canali liberi in quella posizione.

- 1) c'è bisogno di una nuova entità (commerciale) che costruisca il database e lo mantenga.
- 2) I dispositivi devono conoscere la loro posizione con una certa accuratezza. Questo outdoor non è un problema perché per esempio un ricevitore GPS è sufficiente per supportare i requisiti di accuratezza di questa applicazione. Nel caso indoor, il segnale GPS non è utilizzabile. Esistono varie tecniche di localizzazione indoor, ma con precisioni molto minori.
- 3) i dispositivi hanno bisogno di un canale dedicato che lavora su frequenze diverse per accedere al database.

Possibile soluzione al punto 3): un nodo Master (una access point o una BS) potrebbe avere accesso alle informazioni di localizzazione ed è connesso in modo wireless o cablato ad Internet. Il nodo Master usa la conoscenza della propria posizione per interrogare un database sui canali TVWS disponibili in quella certa posizione e sulla base di queste informazioni dà indicazioni ai dispositivi slaves sulle frequenze che possono usare.

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Spectrum Sensing

I dispositivi non licenziati **AUTONOMAMENTE** rivelano la presenza di segnali e usano solo i canali che in quel momento non sono utilizzati.

Tradizionalmente con il termine spectrum sensing ci si riferisce a misure volte a rivelare la presenza di segnali in un certo range di frequenze (magari, fatte con misure di energia del segnale ricevuto)

Nell'ambito del CR il termine è piu' ampio e si riferisce alla capacità di ottenere informazioni non solo sulla presenza di segnali in un certo spettro ma anche sulle loro caratteristiche nel dominio del tempo, dello spazio, della frequenza, dei codici. Quindi, include la determinazione del tipo di segnale in termini di modulazione, forma d'onda, banda occupata, portante utilizzata, ect.

Tuttavia, questa definizione estesa richiede complesse metodologie di analisi del segnale che aggiungono grande complessità e che sono largamente ancora oggetto di ricerca.

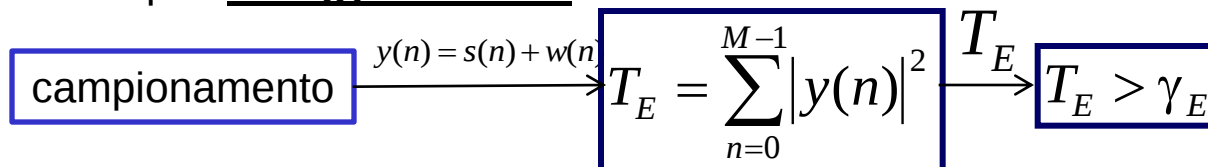
Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Spectrum Sensing

Tecniche blind: non richiedono la conoscenza del segnale che si deve rivelare

Esempio: **Energy detection**



$s(n)$ Segnale da rivelare

$w(n) = N(0, \sigma_w^2)$ Rumore AWGN

Ipotesi $H_0 \Rightarrow y(n) = w(n)$ non c'è segnale

Ipotesi $H_1 \Rightarrow y(n) = s(n) + w(n)$ c'è segnale

$P_D = \Pr(T_E > \gamma_E | H_1)$ Probabilità di rivelazione del segnale: probabilità di rivelare la presenza del segnale su una certa frequenza quando è effettivamente presente

$P_F = \Pr(T_E > \gamma_E | H_0)$ Probabilità di falso allarme: probabilità di rivelare la presenza del segnale su una certa frequenza quando NON è effettivamente presente

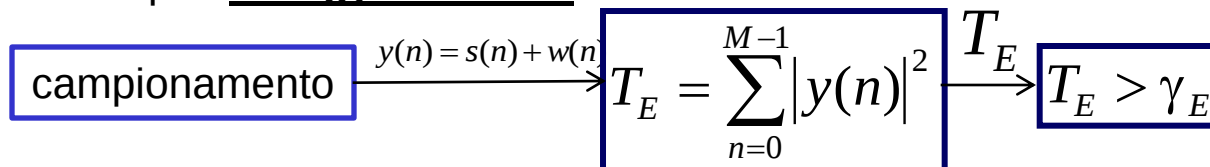
Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Spectrum Sensing

Tecniche blind: non richiedono la conoscenza del segnale che si deve rivelare

Esempio: **Energy detection**



$$P_D = \Pr(T_E > \gamma_E \mid H_1)$$

$$P_F = \Pr(T_E > \gamma_E \mid H_0)$$

Scegliendo la soglia γ_E elevata si diminuisce P_F ma diminuisce anche P_D

Al contrario, diminuendola, si cresce P_D ma anche P_F



γ_E va determinato sulla base del miglior compromesso tra P_F e P_D

Ma questo richiede un'accurata stima del livello di rumore...infatti



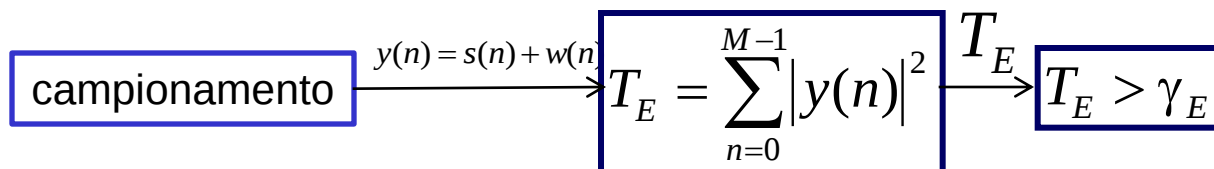
Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Spectrum Sensing

Tecniche blind: non richiedono la conoscenza del segnale che si deve rivelare

Esempio: **Energy detection**



Si supponga per semplicità che anche
il segnale sia modellizzabile come rumore
Gaussiano a media zero

$$s(n) = N(0, \sigma_s^2)$$



T_E si può modellizzare come una variabile aleatoria chi-quadro con $2M$ gradi di libertà

Se M è grande, si può inoltre applicare il teorema del limite centrale e assumere che sia una variabile aleatoria Gaussiana

$$H_0 : T_E \sim N(M\sigma_w^2, M\sigma_w^4)$$

$$H_1 : T_E \sim N(M(\sigma_s^2 + \sigma_w^2), M(\sigma_s^2 + \sigma_w^2)^2)$$



$$P_D = Q\left(\frac{1}{1 + \gamma_E} \left(Q^{-1}(P_{FA}) - \sqrt{M} \gamma_E\right)\right)$$

$$P_{FA} = Q\left(\sqrt{M} \gamma_E + (1 + \gamma_E) Q^{-1}(P_D)\right)$$

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Spectrum Sensing

Tecniche blind: non richiedono la conoscenza del segnale che si deve rivelare

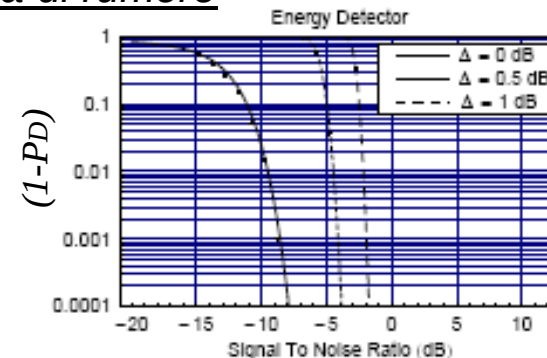
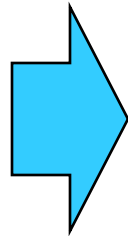
Esempio: **Energy detection**

Effetto incertezza sulla potenza di rumore

Δ è l'incertezza sulla
stima della potenza del
rumore

Durata del sensing

N=1200 campioni



E' la tecnica sicuramente più fattibile ma ha dei limiti:

- ☐ Difficoltà nel determinare una soglia ottima
- ☐ Impossibilità di distinguere l'interferenza dagli utenti primari e il rumore
- ☐ Basse prestazioni con bassi valori del rapporto segnale rumore (dovuti all'incertezza nella stima della potenza del rumore)
- ☐ **Problema dell'hidden terminal**

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Spectrum Sensing

Tecniche blind: non richiedono la conoscenza del segnale che si deve rivelare

Esempio: **Energy detection**

Per minimizzare l'interferenza dannosa dovuta al problema dell'hidden terminal sia FCC che Ofcom richiedono che i dispositivi CR siano in grado di rivelare segnali con un margine molto minore di quello dei ricevitori TV (che è di -114dBm per 6MHz in US).

Tali segnali sono così deboli da stare sotto il rumore termico e in presenza di incertezza nella stima della potenza di rumore, il metodo dell'energy detection è inutilizzabile.

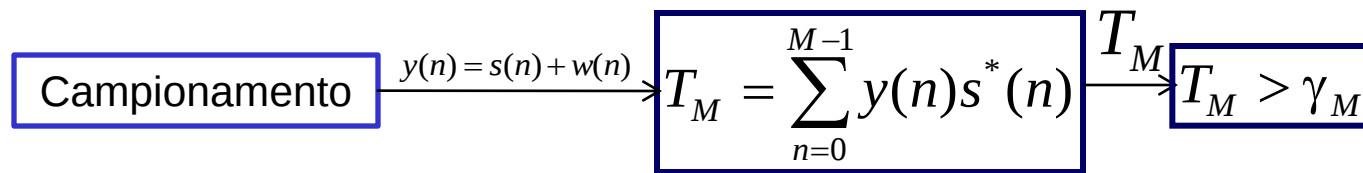
Si stanno allora studiando altri algoritmi di sensing più sofisticati e non-blind, ossia basati su una qualche conoscenza del segnale.

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Spectrum Sensing

Ottimo: Match filter detection



$s(n)$

Segnale da rivelare

$w(n) = N(0, \sigma_w^2)$ Rumore AWGN

Il nodo secondario può fare una rivelazione coerente del segnale primario.

A tale scopo, il nodo secondario deve essere sincronizzato con quello primario e essere in grado di demodularlo (conoscere la forma d'onda del segnale primario in modo esatto)

Deve quindi conoscere preambolo, simboli pilota per la stima del canale, ordine di modulazione ect..

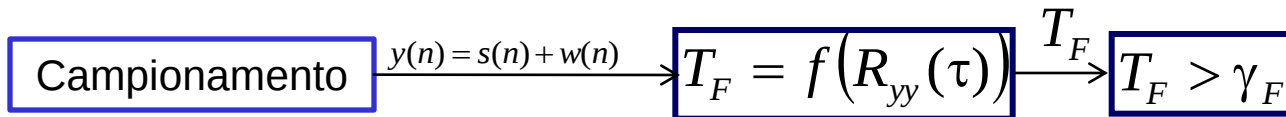
Se per esempio so che l'utente primario è un segnale TV analogico, potrei usarlo, ma se non so se è analogico, digitale o un microfono wireless, o un sistema GSM non posso usare questa tecnica a meno di introdurre un'eccessiva complessità poiché dovrei verificare la "somiglianza" con troppe tipologie diverse di segnale.

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Spectrum Sensing

Feature Detection



Si utilizza la conoscenza delle **caratteristiche statistiche** del segnale da rivelare.

Per esempio, il rumore è un segnale “scorrelato” mentre se sovrapposto al rumore c’è un segnale trasmesso questo sarà caratterizzato da una certa correlazione. Se conosco per esempio le caratteristiche di correlazione del segnale da rivelare, posso usare questa informazione.

Per esempio, so che la modulazione GMSK usata nel GSM è caratterizzata da un ciclostazionarietà, ossia la funzione di autocorrelazione è periodica.

Altro esempio: per effetto dell’introduzione del cyclic prefix, segnali DVB-T (digitale terrestre) sono caratterizzati dal fatto che la funzione di autocorrelazione presenta dei picchi ben distinti in specifiche posizioni. Trovando questi picchi, si può rivelare la presenza del segnale.

Pero’ posso usare questi metodi solo se il segnale da rivelare ha effettivamente queste caratteristiche statistiche distintive

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Spectrum Sensing

Uno dei problemi principali degli algoritmi di sensing è che in genere richiedono considerevole **potenza di processamento** che può non essere disponibile o desiderabile.

Altro problema, è che se si setta la soglia troppo bassa (-114dBm per esempio) il rischio è che si rivelano segnali TV da trasmettitori che sono centinaia di km di distanza rendendo inutile l'utilizzo del CR e dei White Space poiché gran parte dei canali risulterebbero sempre occupati.

In US è stato dimostrato che la soglia del ricevitore a -114dBm riduce di 3 volte la potenzialità d'uso dei TVWS

In UK in alcune zone tale sensibilità elimina completamente la possibilità di usare i TVWS poiché tutti i canali risultano occupati.



La ricerca è concentrata sull'uso di tecniche cooperative di sensing!

Cognitive Radio Networks

Rivelazione dei TVWS

Durata e frequenza del sensing

Un utente secondario trasmette su un canale inutilizzato.

Tuttavia, l'utente primario potrebbe reclamare l'uso di quel canale in qualsiasi momento. Si pensi se l'utente primario è un utente della pubblica sicurezza. Deve essere in grado di usare il canale immediatamente e quindi, l'utente CR deve abbandonare il canale in un tempo limitato. Se questo succede, l'utente secondario deve in **poco tempo** interrompere l'uso di quel canale (cerca altri canali o smette di trasmettere)

Quindi, anche dopo la trasmissione, deve **periodicamente fare il sensing** e inoltre deve essere in grado di rivelare la presenza dell'utente primario in un intervallo di tempo limitato in modo da lasciare libero il canale prima possibile e così non creare interferenza all'utente primario.

Fare il sensing troppo spesso significa introdurre un elevato overhead nella trasmissione, nel senso che si riduce il tempo per trasmettere i dati "utili" e inoltre si consuma potenza.



- 1) Chiaramente esiste un compromesso tra durata del sensing (numero di campioni M) e affidabilità dello stesso.
- 2) La frequenza del sensing si decide sulla base delle caratteristiche dell'utente primario (quanto velocemente può succedere che i canali vengono rilasciati o utilizzati?). Es. nel caso di canali TV, non ci si aspetta che lo scenario vari velocemente. Una stazione TV in una certa area utilizza certi canali e lo scenario cambia solo se una nuova stazione comincia a trasmettere in broadcast o una esistente va fuori uso.

Cognitive Radio Networks

Caratteristiche richieste alle radio cognitive

Frequency Agility

Capacità di cambiare la frequenza di lavoro combinata con il meccanismo di selezione dinamica della frequenza (Dynamic Frequency Selection, DFS) che sceglie la nuova frequenza di lavoro evitando interferenze con altri utenti.

Modulazioni che permettono di usare bande non contigue? L'OFDM si presta molto bene. E' stato definito il **NC (non-contiguous) OFDM** che permette di utilizzare bande non contigue, ma anche di cambiare dinamicamente le frequenze utilizzate senza per esempio interrompere la trasmissione ma magari solo scalando la data rate se ho meno portanti a disposizione.

Adaptive Modulation

Capacità di modificare la modulazione (es. ordine di modulazione).

❑ Se mantengo fissa la banda di trasmissione, potrei modificare la modulazione per lavorare con vari livelli d'interferenza (per es. maggiore interferenza modulazioni di ordine inferiore),

❑ Posso invece usare modulazioni diverse per modulare la larghezza di banda occupata in base alla disponibilità dello spettro

Cognitive Radio Networks

Caratteristiche richieste alle radio cognitive

Transmit Power Control (TPC)

Capacità di cambiare dinamicamente la potenza trasmessa tra vari livelli possibili. Il TPC è largamente usato nei sistemi cellulari basati sull'accesso multiplo CDMA in quanto è un meccanismo fondamentale per controllare l'interferenza da accesso multiplo. Tuttavia, forme di TPC sono già incorporate in vari standards (es. IEEE802.11h) per facilitare la coesistenza. Il dispositivo può modificare il livello di potenza trasmesso a causa:

- 1) Vicinanza altri dispositivi
- 2) Regolamentazioni locali e/o nazionali
- 3) Richiesta da parte di una BS o nodo controllore di controllare l'interferenza verso altri dispositivi

Geographic Location Monitoring

La capacità dei terminali o nodi d'accesso (BS o AP) di determinare la propria posizione può giocare un ruolo fondamentale in quando è parte del "contesto" e l'obiettivo dei sistemi CR è di trasmettere conoscendo il "contesto". Per esempio, nota la posizione, si può accedere ai database che forniscono le informazioni sulle frequenze disponibili in quella certa posizione geografica.

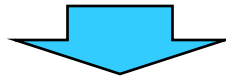
Cognitive Radio Networks

Caratteristiche richieste alle radio cognitive

Sicurezza

Il concetto di CR pone nuovi problemi di sicurezza. Uno dei problemi maggiori è il cosiddetto Primary User Emulation in cui un utente secondario cerca di acquisire priorità di accesso allo spettro emulando le caratteristiche del segnale trasmesso dall'utente primario.

Se c'è un'architettura Master-Slave, o il master si fa carico dello spectrum sensing e comunica ai terminali slaves il responso (quale canale possono utilizzare) oppure, raccoglie le informazioni sul sensing fatte dagli slaves e poi comunica il responso. In entrambi i casi, servono comunicazioni di controllo che potrebbero non essere protette da autenticazione e un utente malevolo potrebbe falsificare questi messaggi e bloccare il processo di spectrum sharing.



I problemi di sicurezza rappresentano uno dei maggiori ostacoli all'accettazione del concetto di CR da parte degli enti normativi

Cognitive Radio Networks

Standardizzazione

Alcune caratteristiche richieste alle radio cognitive sono già presenti in altri dispositivi odierni, senza che questi vengano definiti “intelligenti”.

Il problema della coesistenza tra reti diverse, specialmente reti che lavorano nella banda ISM, è stato largamente studiato e applicato anche in molti standard.

Gli standard IEEE802.15.2 e IEEE802.16.2 si occupano proprio di definire le regole per la coesistenza di reti WPAN nel primo caso e di reti fisse a larga banda nel secondo caso.

DFS e TPC sono impiegati per risolvere i problemi di coesistenza negli standard: IEEE802.11h che è la versione dell'802.11a che può lavorare anche a 5GHz, banda già occupata dai radar di radiolocalizzazione.

Nell'802.15.4, per permettere la coesistenza di varie WPAN

L'802.16a che aggiunge la DFS e il TPC allo standard 802.16 per permettergli di lavorare nell'intervallo 2-11GHz.

Cognitive Radio Networks

Standardizzazione

A partire dal 2004, sono nati gruppi di lavoro e progetti per creare standard che utilizzino espressamente tecniche cognitive:

IEEE802.22: standard per le Wireless Regional Area Network (WRAN) per fornire l'accesso a larga banda in aree rurali e remote. Lavorerà nelle bande VHF e UHF (54MHz e 862MHz), che sono le bande liberate dalla TV analogica in molte regioni.

IEEE802.16h: è un emendamento per gli standard 802.16 che specificherà politiche di controllo dell'accesso al mezzo (quindi, oltre al DFS e TPC) per consentire la coesistenza tra sistemi senza licenza basati sullo standard IEEE802.16

IEEE802.16m: emendamento allo standard 802.16 per operare nelle bande assegnate con licenza. Sarà conforme ai protocolli dei cellulari di nuova generazione (LTE), continuando il supporto con le infrastrutture preesistenti.

Cognitive Radio Networks

Standardizzazione

Standards IEEE802.22

- ❑ L'applicazione target dello standard è **l'accesso a larga banda di utenti senza-licenza in aree rurali usando i TVWS.**
- ❑ L'iniziale area geografica era il Nord America
- ❑ Lo standard specifica PHY e MAC di una stazione fissa per trasmissioni punto-multipunto dove una stazione base gestisce nella sua cella tutti i Consumer Premises Equipments (CPEs)
- ❑ Copertura fino a 100km (grazie all'uso di basse frequenze)
- ❑ È basato sull'OFDM
- ❑ La rivelazione dei TVWS è fatta tramite Spectrum Sensing (opzionalmente si può usare l'approccio con i database)
- ❑ Lo standard specifica input e output della funzione di sensing come anche i requisiti degli algoritmi implementati (es. probabilità di rivelazione, soglia di rivelazione, probabilità di falso allarme).
- ❑ Gli algoritmi implementabili sono energy detection, feature algorithms (basati sulla ciclostazionarietà) e algoritmi basati sulla FFT per la rivelazione dei segnali dei microfoni wireless (diverse emittenti usano infatti le frequenze inutilizzate per i microfoni wireless)

Cognitive Radio Networks

Standardizzazione

Standards IEEE802.22

- ❑ La stazione base controlla quando il sensing viene fatto dai vari CPEs e i risultati del sensing vengono riportati alla BS.
- ❑ La decisione finale sulla presenza di un segnale televisivo o meno è fatta dalla BS. La stazione prende la decisione sulla base del sensing, eventualmente usando anche altre informazioni di geolocalizzazione e database.
- ❑ Il sensing è richiesto per TV analogica, TV digitale e microfono wireless
- ❑ Il tempo di rivelazione (durata del sensing) per tutti e tre i segnali, imposto dallo standard è di 2 secondi.

La sensibilità del ricevitore rispetto al sensing è il livello di potenza per il quale la probabilità di rivelazione è 0.9 (limite inferiore) e la probabilità di falso allarme è 0.1 (limite superiore)

Per i requisiti sull'SNR, si assume la figura di rumore del ricevitore sia di 11dB

Requisiti di sensibilità del ricevitore

	TV analogica	TV digitale	Microfoni wireless
Sensibilità	-94dBm	-116dBm	-107dBm
SNR	1dB	-21dB	-12dB

Cognitive Radio Networks

Nuovi servizi potenziati dal concetto CR

Oltre alla larga banda in aree remote/rurali, altre importanti applicazioni dello spettro TVWS sono:

Case Digitali del futuro e Smart Grid

Non includeranno solo PC, Laptops e PDAs connessi in modo wireless a Internet ma anche: servers multimediali (TV ad alta definizione), videocamere e console dei giochi wireless, rete di sensori tra elettrodomestici e contatore di corrente elettrica/gas/acqua. Nella banda ISM lavoreranno dispositivi che usano WiFi (IEEE802.11), ZigBee, Bluetooth. Ci si aspetta che ci saranno problemi di capacità dovuti all'elevata densità di dispositivi in una banda limitata.

La possibilità di utilizzare TVWS risolverebbe largamente il problema. Si pensi alla possibilità di usare i TVWS invece della banda ISM per le applicazioni più esigenti in termini di banda come lo streaming multimediale.

NON SOLO

L'uso di bande basse come UHF permette di avere velocità di trasmissione elevate (anche maggiori di WiFi) con minori consumi di potenza (il canale a quelle frequenze basse è *molto più benevolo* che a frequenze più alte)

Diversi studi hanno dimostrato che i TVWS disponibili indoor sono molti.

La topologia di rete sarà Master-Slave dove l'Home Access Point sarà principalmente responsabile di fare la rivelazione dei TVWS con spectrum sensing e/o geolocalizzazione e database e poi decide chi usa cosa.

Cognitive Radio Networks

Nuovi servizi potenziati dal concetto CR

Oltre alla larga banda in aree remote/rurali, altre importanti applicazioni dello spettro TVWS sono:

Femtocelle Cognitive

La presente generazione di femtocelle usa le stesse frequenze dell'operatore mobile, rappresentando una potenziale fonte d'interferenza. Stanno uscendo sul mercato femtocelle basate su tecnologia 3G/LTE che usano specifiche tecniche di gestione dell'interferenza. L'uso dei TVWS permetterebbe all'operatore di ridurre e meglio controllare l'interferenza.

La Cognitive Femtocell BS (CFBS) si occupa del sensing.

Gli operatori non sono solo interessati ad utilizzare TVWS “dentro casa”, ma anche per fare il **backhauling** di femtocelle.

Il backhauling delle femtocelle è tipicamente fatto in modo cablato tramite ADSL per esempio o fibra ottica. Questo limita il controllo dell'operatore mobile in caso l'utente usa un'operatore diverso per l'ADSL o potrebbe limitare l'uso delle femtocelle nel caso in cui il backhaling cablato non fosse possibile. I TVWS lavorando a basse frequenze permettono di raggiungere distanze più elevate a parità di potenza e quindi, il backhauling costerebbe di meno che se fatto tramite una normale BS 3G/LTE.

Cognitive Radio Networks

Green Cognitive Radio

Se il cognitive radio nasce principalmente per aumentare l'efficienza in potenza, in realtà ha grandi potenzialità sia in ambito Green ICT che ICT for Green.

- 1) Se posso usare più banda, naturalmente posso ridurre il livello di potenza a cui trasmetto. Se utilizzo frequenze più basse, posso ottenere la stessa capacità con potenze in trasmissione minori
- 2) fornisce un grado di libertà in più nella riduzione dell'interferenza (meno interferenza, meno ritrasmissioni ect.)
- 3) Apre la strada all'uso di terminali multi-modali che possono utilizzare l'interfaccia radio che minimizza il consumo in potenza in quell'istante e in quel luogo
- 4) Può facilitare l'introduzione di nuovi servizi legati all'ICT come le Smart Grid ect.

Permettendo l'adattatività dei terminali e della rete, i sistemi cognitivi possono rappresentare una tecnologia fondamentale nell'ambito dell'ecosostenibilità