

Subtoni e DTMF nei sistemi radio VoIP

di Mauro Olivero Pistoletto

IK1IMG

Dopo l'articolo sulle codifiche DCS⁽¹⁾, recente risorsa digitale per l'occupazione selettiva del canale radio rivolto anche alla protezione dei sistemi VoIP⁽²⁾, numerosi colleghi mi hanno chiesto delucidazioni sui sistemi a subtono (del quale si faceva un breve cenno). Rispolveriamoli allora in chiave moderna analizzandone la costituzione, come sono implementati, le differenze ed i problemi legati al loro utilizzo anche nei nuovi sistemi VoIP con cenni alle note DTMF.

I toni subaudio (**CTCSS**, Continuous Tone Coded Squelch System), parimenti al sistema DCS, consentono di accedere in maniera condizionata ad un canale radio. Essi furono introdotti dalla Motorola agli inizi degli anni 60 con il nome di "Private Line", ma poi diffusi a seconda dei costruttori anche con altre denominazioni: "Quiet Channel, Channel Guard ecc."

Col passare del tempo la denominazione più ricorrente diventerà da noi in Italia "subtoni". Tecnicamente il funzionamento è elementare: si tratta, infatti, di una semplice onda sinusoidale a frequenza opportuna che, trasmessa in modo continuo contemporaneamente all'informazione, permette lo sblocco BF del ricevitore. Ne consegue che non si tratta di un sistema per impedire un ascolto ad un utente indesiderato (al pari del DCS), ma condizionare solo l'accesso alla fre-

quenza in uso. La criptazione del segnale è possibile ottenerla solo con appositi circuiti denominati nella terminologia popolare "scrambler". Il loro scopo è differente da quello degli accessi selettivi e non d'interesse nel mondo radioamatoriale.

Con le codifiche CTCSS esistono **due** modi operativi: uno è denominato "**Tone**", l'altro "**Tone Squelch**". Con il primo sistema l'apparato irradia solo in trasmissione il tono subaudio, ma è in grado di ricevere qualunque segnale, con o senza subtono. Nel secondo caso, invece, oltre a trasmetterlo è necessario anche riceverlo perché si attivi il circuito di BF. L'uso delle codifiche si differenzia in base agli ambiti d'impiego: in quello civile sia sui ripetitori sia in diretta, in quello amatoriale solo nel primo caso.

Oltre a questi scopi "classici" ve ne sono altri un po' meno conosciuti come ad esempio quelli in abito telefonico degli anni '80 e '90 per i rifugi alpini, alcuni ancora in uso a tutt'oggi. In questo caso il subtono oltre a stabilire e mantenere la comunicazione funziona anche da chiamata per la suoneria del telefono a monte. Per mezzo della modulazione di fase del tono subaudio irradiato dal fondovalle è anche possibile trasmettere l'informazione del conteggio scatti. Si può affermare con certezza che in ambito professionale la codifica CTCSS ha costituito un punto di forza non indifferente per la protezio-

ne da disturbi. Questo perché ha incentivato il cosiddetto "riuso" delle frequenze, concetto poi rispolverato ed ampliato con variegate tecnologie nella telefonia cellulare. Nel nostro ambito per diversi lustri siamo stati abituati alla nota 1750 Hz d'accesso condizionato. Il proliferare dell'installazione di ripetitori (e link) negli ultimi periodi legati a sistemi VoIP, fatto sicuramente positivo per l'aumento delle sperimentazioni e copertura geografica, ha rivelato i limiti di questa datata tecnologia.

Per la prima volta siamo stati posti seriamente di fronte a questo concetto per noi sconosciuto di "frequenze da riutilizzare". Questo significa che non si può più pretendere l'univocità di un segnale nell'area di copertura d'un ponte ma, a seguito delle molteplicità di possibili collegamenti, va garantito che lo stesso s'indirizzi al solo ripetitore interessato. La nota d'accesso è ormai obsoleta ed inefficace e di questo vi è riscontro oggettivo ascoltando il caos sulle nostre bande ponti.

Dopo l'apertura dell'impianto selezionato, infatti, qualsiasi segnale anche estraneo sarà inevitabilmente ritrasmesso generando disturbo e confusione con ricadute negative d'operatività e d'immagine. Oltretutto, essendo tale selettiva non discriminante, causerà l'apertura simultanea dei vari sistemi senza possibilità discrezionale. In passato questa

situazione era mitigata attraverso l'impedimento di nuove installazioni essendo la situazione sotto il controllo diretto delle associazioni. Ora la possibilità di sperimentazione è estesa al singolo radioamatore per cui si deve fare uso della tecnologia per attuare un clima di civile convivenza. Ricordo, se ve ne fosse bisogno, che i subtoni esistono quasi dal tempo della SSB (e costano anche meno), ma la loro applicazione nel modo amatoriale contrariamente ad essa è stata meno incisiva (se non addirittura osteggiata) ed ora se ne avvertono le conseguenze.

Con l'utilizzo di questa tecnica fortunatamente si va ad interessare solo l'impianto prescelto pur essendoci altri sistemi attivi sulla stessa frequenza. A certe condizioni è possibile addirittura una molteplicità di QSO contemporanei impegnando ognuno un ponte con tono subaudio diverso ma sul medesimo canale radio, cosa impossibile con la vecchia nota 1750 Hz. La tecnologia quindi, **entro certi limiti**, accorre in soccorso alla mutata esigenza sostituendosi all'obsoleto concetto di "contingentamento" degli impianti. Ricordo che la normativa in vigore **non riconosce** alcun diritto di protezione da disturbi o interferenze tra **radioamatori** sulla stessa banda né tanto meno tra **stazioni ripetitrici** di qualsiasi genere. E' quindi il singolo gestore che si deve tutelare.

Dopo questa doverosa panoramica che rende pienamente l'idea di come quest'esigenza d'accesso selettivo sia certamente attuale, passiamo alla parte più propriamente tecnica. Si è affermato che questi subtoni sono semplicemente delle frequenze sinusoidali che s'irradiano durante la conversazione. Va da sé che le stesse non devono interferire quest'ultima perciò è abbastanza intuitivo che debbano disporre di un range specifico. L'estensione BF degli apparati a banda stretta è compresa tra 300 e 3000 Hz (circa), questi toni trovano allocazione al di sotto. Da questo nasce la terminolo-

gia di "toni subaudio". Ma quanti sono questi subtoni? Esaminiamo la fig. 1.

I toni definiti "Standard" sono 38 ed appaiono in azzurro nella tabella. Nel tempo se ne sono aggiunti altri, colorati in giallo, per un totale di 47. Esistono in ogni modo altre varianti non indirizzate all'ambito radioamatoriale in cui si sono persi o aggiunti altri subtoni. E' il caso di 38 frequenze non standard in cui sono utilizzati solo i subtoni (caselle gialle e azzurre) dal 67,0 fino al 192,8 ma con l'aggiunta di 165,5 - 171,3 - 177,3 Hz. Un altro sistema inglese a 32 toni subaudio prevede tutti i subtoni standard (caselle azzurre), ma con la perdita delle frequenze 74,4 - 79,7 - 85,4 - 91,5 - 97,4 - 100 Hz. Una ditta americana produce invece una scheda denominata "TS54" in grado di lavorare ben 64 subtoni. Questo perché si sono aggiunti 14 toni subaudio "extra" sotto il 67 Hz, fino ad arrivare a 33,0 Hz⁽³⁾.

Un errore molto comune è quello di credere che i subtoni siano tutti uguali nel loro comportamento. Già nel caso delle codifiche DCS si è potuto appurare che parecchie sequenze andavano scartate per i più disparati motivi. Questo lavoro, in quell'ambito, è però stato fatto all'origine. Nel caso dei toni subaudio, invece, dobbiamo

Subtoni standard				
Hz				
67,0	94,8	131,8	179,9	218,1
69,3	97,4	136,5	183,5	225,7
71,9	100,0	141,3	186,2	229,1
74,4	103,5	146,2	189,9	233,6
77,0	107,2	151,4	192,8	241,8
79,7	110,9	156,7	196,6	250,3
82,5	114,8	159,8	199,5	254,1
85,4	118,8	162,2	203,5	
88,5	123,0	167,9	206,5	
91,5	127,3	173,8	210,7	

Fig. 1

provvedere direttamente noi per mezzo di un'approfondita conoscenza delle loro risposte all'ambiente d'inserimento. Vediamo quali sono i parametri che permettono di sviluppare una discriminazione con l'aiuto della fig. 2.

Iniziamo dal **gruppo "A"**: subtoni sotto i 100 Hz. L'intervallo di tempo che gli integrati impiegano per riconoscere il tono e abilitare conseguentemente la comunicazione **non è costante**. Gli apparati radioamatoriali ed i ponti radio implementano al momento encoder/decoder tra loro molto simili come tempistiche. Prendiamone ad esempio uno per tutti, l'FX365, prodotto dalla CML Semiconductor. Analizzandone il funzionamento possiamo idealmente visualizzare una barriera nel subtono a 100 Hz per quanto concerne il ritardo in oggetto. Al di sopra di questa frequenza il tempo di discernimento è costante e vale 250 ms massimi, al di sotto, invece, è variabile e si deve calcolare con la se-

Fig. 2

Subtoni possibilmente da evitare						
A		B		C	D	E
67,0	91,5	196,6	241,8	100,0	69,3	131,8
69,3	94,8	199,5	250,3	151,4	159,8	136,5
71,9	97,4	203,5	254,1	203,5	183,5	
74,4		206,5			189,9	
77,0		210,7			196,6	
79,7		218,1			199,5	
82,5		225,7			206,5	
85,4		229,1			229,1	
88,5		233,6			254,1	

guente formula:

$$\text{Rit} = (100/f \text{ Hz}) \times 250 \text{ [ms]}$$

(data sheets ufficiale FX365 CML Semiconductor)⁽⁴⁾

Ne consegue che maggiormente si scende più il tempo d'identificazione aumenta. Per il caso peggiore, frequenza 67,0 Hz, siamo nell'ordine dei 370 ms. In altre parole oltre un terzo di secondo, 120 ms in più di un subtono sopra i 100 Hz. La discrepanza non è solo strumentale basta una prova comparativa con un tono subaudio da 250 ms per notare la differenza. Nel caso il ponte trasmetta anch'esso il subtono, quindi permettendo la funzione Tone Squelch agli utilizzatori, si sfiora il secondo. Dal 1997 è commercializzato l'FX828 che abbatte senza distinzione tali tempi (56 ms), ma purtroppo è indirizzato con prevalenza al mondo professionale e risulta pertanto di difficile reperibilità. Consiglio agli interessati la consultazione dei datasheets di tale componente che considero veramente eccezionale nel suo ambito d'applicazione ⁽⁴⁾.

Tale integrato contempla non solo il CTCSS, ma DCS, toni EEA, toni CCIR, toni ZVEI 1 e ZVEI 2, per non parlare d'altre possibilità (come il full duplex in certe configurazioni) e caratteristiche d'avanguardia. La sua gestione è possibile solo con μ PC. Dopo questa breve parentesi ritorniamo all'argomento "ritardo". Nell'uso convenzionale esso influisce solo a livello di scocciatura nel senso che si deve attendere prima di parlare al fine di non essere troncati nella parte iniziale del discorso. Nel caso di ripetitori VoIP la situazione si complica. Questo perché per effettuare le connessioni via radio ai nodi prescelti, oppure alle conferenze, si devono inviare delle sequenze di bitoni DTMF al ponte oppure alla radio di un link (di tali note se ne parlerà ulteriormente a fine articolo). È intuitivo che questo ritardo si manifesti in modo molesto. Tale fastidio non può che aumentare qualora un ponte disponga di un ulteriore

canale, in altre parole nel caso di un trasferimento tra il punto d'installazione e la dimora fisica del collegamento ad Internet. Questo perché quasi mai è possibile avere tutto l'insieme in un'unica locazione. Calcoli alla mano siamo nell'ordine di 250 e 500 ms (nel caso peggiore, cioè 67,0 Hz, rispettivamente 370/740 ms). Se s'inoltrano le note DTMF manualmente il problema è limitato, sta all'operatore quantificare ed attendere il tempo necessario prima d'inviarle. È diventato però comodo, anche grazie alla tecnologia, l'utilizzo di sequenze "pre-memorizzate" che presentano il vantaggio di liberare il radioamatore dall'incombenza di ricordare a memoria (o su cartaceo) i numeri di nodo VoIP. Esistono prevalentemente due possibilità d'emissione in base alla radio: invio **disgiunto** dal PTT oppure **legato** al PTT.

Nel **primo** caso, dopo la pressione del PTT, per inviare la sfilza di note è necessario premere un secondo pulsante. La stringa sarà emessa con un **ritardo minimo selezionabile** in genere tra 50 e 1000 ms. Ne deriverà quindi un intervallo totale costituito dalla somma del tempo minimo più quello intercorso tra la pressione del PTT e l'azionamento del pulsante d'invio.

Nel **secondo** gruppo d'apparati, invece, tale tempo minimo parte direttamente dalla pressione del PTT non esistendo un secondo tasto da schiacciare. Conoscendo le tempistiche delle

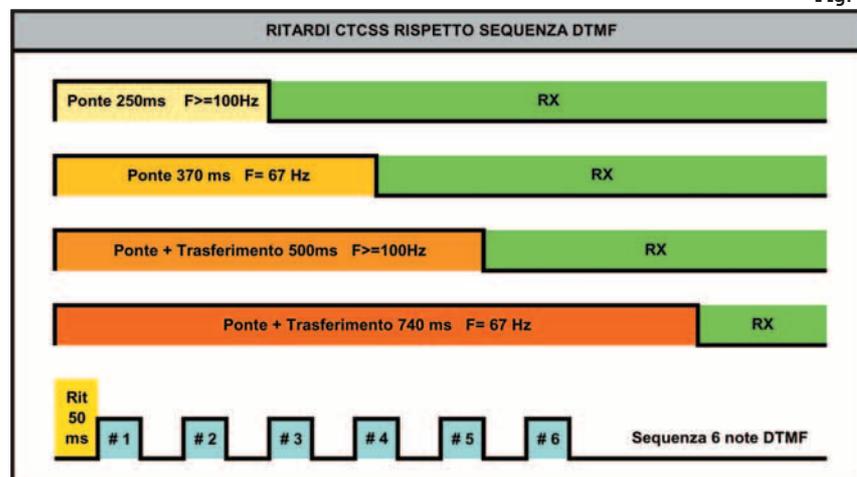
note DTMF si può calcolare **approssimativamente** di quanti bitoni vi sia la perdita in ricezione. Lo schemino classico al quale tutti negli anni siamo stati abituati, in altre parole quello con il decoder MT8870 ⁽⁴⁾, è applicato anche in quasi tutti gli apparati commerciali per mezzo dei suoi cloni. Il tempo minimo in ricezione per il riconoscimento **certo** di una nota è 40 ms, idem per le pause. In trasmissione la durata, superiore comunque a 40 ms, può essere a discrezione: in campo telefonico normalmente si colloca tra 50 e 70 ms. Gli apparati generalmente permettono due passi: 50 o 100 ms (di fabbrica usualmente 50 ms). Si faccia riferimento alla fig.3.

Nel caso s'imposti il tempo minimo di 50 ms tra la pressione del PTT e l'invio note (ed il ponte -o link- adotti un subtono superiore o uguale a 100 Hz), come minimo sono perse due cifre della sequenza. Nel caso limite di tono subaudio a 67 Hz esse salgono a ben quattro.

Qualora si operi con una radio su di un ripetitore in modalità Tone Squelch, e subtono sempre 67 Hz, non ascolteremo neanche una nota. Si ricordi, in proposito, che i bitoni nell'utilizzo VoIP sono limitati in quantità perché i numeri di nodo hanno attualmente al massimo sei cifre.

A conferma che non si tratta solo di una valutazione strumentale, con gli esempi precedenti si è dimostrato che i toni subaudio sotto i 100 Hz enfatizzano ulte-

Fig. 3



riormente i problemi di ritardo purtroppo già esistenti. In realtà la situazione è anche sensibilmente peggiore perché non si è tenuto conto d'ulteriori fattori negativi (commutazioni, tempo di generazione del tono in TX ecc.).

Quindi, prima di giudicare ingiustamente un sistema in modo poco benevolo perché non accetta correttamente le sequenze inviate, verificate con attenzione il parametro di ritardo impostato sulla radio. Personalmente ho in sperimentazione un sistema di trasferimento radio tra ponte e PC che, tra le altre cose, genera un tono **superiore** alla banda audio, con valore di circa 17 kHz. Esso mantiene la piena protezione del collegamento, ma con tempi di commutazione tra 25 e 50 ms (da 1/5 ad 1/10 dei subtoni con frequenza oltre i 100 Hz). E' richiesto però un hardware radio dedicato.

Continuiamo la panoramica sotto i 100 Hz. Qui cadono con più facilità i rumori causati da interferenze creando false risposte. Inoltre i toni bassi presentano il difetto d'agganciarsi anche con quelli adiacenti essendo relativamente vicini. Per tale motivo un gruppo di subtoni menzionato in precedenza ne prevede un diradamento in questa zona. Inoltre quest'insieme di frequenze spesso è irradiato con minor ampiezza creando difficoltà di decodifica nel ricevitore. Questo perché in caso di non linearità delle banda passante, in genere sono di maggior ampiezza i toni subaudio alti.

Al fine di non eccedere con questi ultimi in deviazione RF si deve raggiungere un compromesso che spesso penalizza i subtoni bassi. Il "gruppo A" dei vari presi in esame è quello che dà maggiori riscontri negativi immediatamente palpabili quindi i peggiori in assoluto. Passiamo ora al **gruppo "B"**: subtoni superiori a 192,8 Hz (circa). Avvicinandosi con questi subtoni alla banda BF dell'RX si corre il rischio che essi diventino fastidiosamente udibili a causa delle risposte **reali** dei filtri che li dovrebbero invece eliminare. Que-

sto perché è vero che tali frequenze sono sotto la banda audio, ma **quella convenzionale del ricevitore**, non quella dell'orecchio umano che invece le sente benissimo. Sempre per lo stesso motivo di carenza di filtraggio anche all'inverso l'audio potrebbe sconfinare nella porzione riservata ai toni subaudio causando falsi agganci.

Ora tocca al **gruppo "C"**: subtoni pari ad armoniche di 50 Hz. E' abbastanza intuitivo il motivo. Se la rete d'alimentazione dell'RTX non è ben filtrata l'emissione è affetta da una modulazione aggiuntiva frutto del residuo di corrente alternata. Ne segue che un impianto ricevente adottante simili valori può essere impegnato da un TX con questo problema senza che vi sia impostato alcun subtono sull'apparato trasmittente. Sono da bandire perciò i toni subaudio prossimi ad armoniche di 50 Hz come da tabella.

Esaminiamo adesso il **gruppo "D"**: subtoni aggiuntivi. E' una questione di correttezza, gli apparati più vecchi non ne dispongono ed i loro possessori ne sarebbero ingiustamente penalizzati.

Infine analizziamo il **gruppo "E"**: subtoni simili alla frequenza di chiusura DCS. Nel sistema DCS alla fine della comunicazione, al rilascio del PTT, è emesso un segnale di "zeri" ed "uni" consecutivi pari a 268,6 bit/s quale indicazione di fine trasmissione e soppressione del rumore di chiusura dello squelch. Ne deriva una frequenza equivalente irradiata di 134,3 Hz. I due toni subaudio in tabella hanno quindi buona probabilità di essere interferiti causando dei falsi sblocchi. Tali subtoni sono totalmente da evitare qualora l'impianto sia in grado di lavorare **contemporaneamente** con CTCSS e DCS. Si noti che **qualunque** codice DCS può causare questo problema perché la sequenza di chiusura è uguale per tutti. Dopo questa disamina sui vari gruppi, si osservi la fig.4 dove sono riportati i subtoni residui.

Ne rimangono a disposizione

Subtoni maggiormente affidabili		
Hz		
103,5	127,3	173,8
107,2	141,3	179,9
110,9	146,2	186,2
114,8	156,7	192,8
118,8	162,2	
123,0	167,9	

Fig. 4

16, un numero ampiamente sufficiente per i nostri scopi radioamatoriali. In tale ambito ognuno può attingere **liberamente** poiché non esistono leggi o regolamenti in proposito. Rimane ovvio che la prova definitiva va effettuata sul campo poiché, soprattutto nel caso d'impianti ripetitori ospitati in siti con altri sistemi commerciali generatori di rilevante inquinamento elettromagnetico, vi possono essere problemi d'incompatibilità. E' altresì **assolutamente da evitare** l'uniformità dello stesso subtono su determinate porzioni di territorio. Anche se dal punto di vista mnemonico l'essere umano se ne avvantaggia indubbiamente purtroppo a rimetterci è l'affidabilità. Si assuma il caso di un determinato ponte con altri due impianti alfa adiacenti (es. R0alfa-R1-R1 alfa) con il medesimo tono subaudio ed ambito di copertura parzialmente sovrapponibile. Qualora si trasmetta nell'ambito geografico comune sulla frequenza centrale è quasi certo che, per svariati motivi che sarebbe lungo analizzare (larghezze di banda, deviazioni ecc.), si aggancino anche i ponti adiacenti.

Dal punto di vista **tecnico** un'ipotetica istituzione di subtoni a livello provinciale, regionale o quant'altro è quindi pura **illusione**, rende nullo uno degli scopi per i quali si sono ideati i toni subaudio ottenendo come contropartita finale funzionamenti disastrosi. L'unica garanzia **certa** è la **diversificazione**.

(Continua)