



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO  
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA NUMERO	102000900838464
Data Deposito	14/04/2000
Data Pubblicazione	14/10/2001

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	04	H		

Titolo

METODO E APPARATO PER LA COMPENSAZIONE AUTOMATICA DEL RITARDO PER  
TRASMISSIONI RADIO IN DIVERSITA' DI SPAZIO.

- ALCATEL -



Ing. CORRADO BORSANO (iscr. 446)  
c/o ALCATEL ITALIA S.p.A.  
Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE ( MI)

### DESCRIZIONE

La presente invenzione riguarda il campo delle trasmissioni radio ed in particolare riguarda i sistemi in diversità di spazio. Ancora più in particolare, riguarda un metodo ed un apparato per compensare in modo automatico e digitale il ritardo relativo tra i due (o più) segnali ricevuti simultaneamente.

2000A000833

Nell' ambito di un sistema di trasmissione radio a grande capacità sono noti gli effetti distorcenti del canale, dovuti soprattutto al fenomeno dei cammini multipli: l'antenna di ricezione può infatti ricevere insieme al segnale voluto una sua replica ritardata, causata dalla riflessione del segnale trasmesso contro strati della troposfera aventi caratteristiche fisiche differenti dal normale o dalla riflessione contro ostacoli orografici. Tale effetto corruttivo è noto in letteratura come *fading selettivo*. In condizioni particolarmente sfavorevoli il fading può addirittura portare il sistema radio in condizioni di fuori servizio, in quanto il segnale ricevuto diventa non più intelleggibile.

Una prima contromisura possibile, ed ampiamente utilizzata in pratica, è rappresentata dall'adozione, all'interno degli apparati di demodulazione, di un equalizzatore adattativo. Questa soluzione a volte può risultare non sufficiente nel caso di tratte radio particolarmente lunghe o installate in condizione geografiche particolarmente sfavorevoli.

Un'altra alternativa possibile è costituita dall'adozione di un sistema in diversità di spazio, basato sulla trasmissione di un segnale ricevuto simultaneamente da due o più antenne differenti (nel seguito, a titolo esemplificativo ma non limitativo, considereremo due antenne). La filosofia di funzionamento del sistema in diversità di spazio consiste proprio nel far pervenire al ricevitore la stessa informazione a mezzo di due segnali distinti (uno verrà chiamato main e l'altro verrà chiamato diversity). L'efficacia di questo metodo dipende dal fatto che, se le antenne sono sufficientemente separate in altezza, i

segnali ricevuti si possono ritenere incorrelati e dunque è estremamente improbabile che entrambi i segnali nello stesso istante presentino la stessa qualità.

Sono noti due metodi principali per elaborare la coppia dei segnali ricevuti: lo switching e la combinazione. Lo switching è basato sulla selezione, idealmente ad ogni istante, del migliore dei due segnali tramite un opportuno criterio (tipicamente il BER; Bit Error Rate).

Un approccio ritenuto più efficace è quello di elaborare i due segnali in diversità combinandoli opportunamente. L'architettura spesso usata in questo caso è quella illustrata in Fig. 1, in cui i due segnali main e diversity, opportunamente campionati, costituiscono gli ingressi di due equalizzatori FSE (Fractionally Spaced Equalizer) la cui uscita viene sommata e costituisce il risultato della combinazione.

A causa però della differente altezza di posizionamento delle due antenne sulla torre di ricezione, della differente lunghezza delle guide d'onda o comunque dei vari cavi di collegamento, i segnali main e diversity possono arrivare ai campionatori di Fig. 1 uno ritardato rispetto all'altro. Per realizzare in modo efficace la combinazione è necessario compensare tale ritardo. Tradizionalmente la compensazione di tale ritardo, una volta misurato per mezzo di opportuna strumentazione, avviene in fase di installazione della tratta radio aggiungendo a uno dei due segnali un cavo di lunghezza tale che il tempo di percorrenza sia pari al ritardo da compensare o mediante opportune celle di ritardo analogiche opportunamente tarabili.

Purtroppo, questa soluzione ha l'inconveniente di comportare un costo elevato e della necessità di effettuare la taratura sul campo (richiedendo tempi elevati per raggiungere le antenne).

Scopo principale della presente invenzione è pertanto quello di fornire un metodo ed un apparato per compensare efficacemente il ritardo relativo tra le due vie.

Questo scopo, oltre ad altri, viene ottenuto mediante un metodo comprendente le fasi indicate nella rivendicazione 1 e un apparato avente le caratteristiche indicate nella rivendicazione 4. Le rispettive rivendicazioni dipendenti definiscono caratteristiche aggiuntive dell'invenzione.

Secondo la presente invenzione, la compensazione viene eseguita in modo automatico e digitale.

L'invenzione risulterà certamente chiara alla luce della descrizione dettagliata che segue, data a puro titolo esemplificativo e non limitativo e da leggersi con riferimento alle annesse Figure in cui:

- la Fig. 1 è uno schema di principio di un combinatore in banda base secondo la tecnica nota, con indicate le parti di down conversione in banda base e di campionamento del segnale analogico mediante convertitori analogico/digitale;
- la Fig. 2 è uno schema di principio di un combinatore in banda base con le due vie ritardate; e
- la Fig. 3 mostra in modo schematico l'apparato di compensazione secondo la presente invenzione.

In Fig. 1, come anticipato sopra, viene illustrato un apparato secondo la tecnica nota che elabora i due segnali e li combina opportunamente. I due segnali main e diversity ( $S_1(t), S_2(t)$ ) entrano in un Oscillatore Controllato in Tensione (VCO) e vengono filtrati passa-basso (LPF); ognuno di essi viene poi fatto passare in un Convertitore Analogico/Digitale (ADC) per il campionamento e in un Equalizzatore Spaziato Frazionalmente (FSE). Le uscite dagli equalizzatori vengono quindi sommate e costituiscono sostanzialmente il risultato della combinazione. Il riquadro tratteggiato in Fig. 1 (e analogamente in Fig. 2) indica la parte analogica del dispositivo.

Per realizzare in modo efficace la combinazione è però necessario compensare il ritardo con il quale i segnali arrivano ai campionatori. Si abbiano ad esempio due segnali entranti nel demodulatore e provenienti rispettivamente dall'antenna main (segnale 1) e dall'antenna diversity (segnale 2). Se il segnale 1 è in ritardo di  $\tau$  secondi rispetto al segnale 2, per poter realizzare in maniera efficace la combinazione occorre ritardare, in linea di principio, il segnale 2 di  $\tau$  secondi.

Siano  $s_1(t)$  e  $s_2(t)$  i due segnali analogici all'ingresso del demodulatore, cioè

$$s_1(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} a_k g_1(t - kT - \tau) \quad \text{e} \quad s_2(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} a_k g_2(t - kT)$$

essendo  $a_k$  il simbolo trasmesso,  $T$  l'intervallo di segnalazione e  $g_1(t)$  e  $g_2(t)$  le risposte impulsive comprensive della catena dei filtri di trasmissione e ricezione e della risposta impulsiva del canale "visto" rispettivamente dall'antenna main e dall'antenna diversity.

Siano  $s_1(kT_{sa})$  e  $s_2(kT_{sa})$  i segnali main e diversity campionati con periodo  $T_{sa}$  dal convertitore analogico/digitale (ADC). È dunque possibile ritardare in modo digitale il segnale 2 di un periodo pari a multipli interi di  $T_{sa}$ , cioè tale che  $M \cdot T_{sa}$ , con  $M$  intero, sia il più possibile un'approssimazione del ritardo  $\tau$  (si veda Fig. 2). La differenza  $|MT_{sa} - \tau|$ , comunque sempre minore di  $T_{sa}/2$ , verrà recuperata dagli equalizzatori (FSE) in virtù delle loro capacità di interpolazione (si veda ad esempio la pubblicazione, "Data Communications Principles" di R. Gitlin, J. Hayes, S. Weinstein, ed. Plenum Press, New York, 1992, paragrafo 7.4.4, pagine 493-495).

L'algoritmo oggetto della presente invenzione si preoccupa di determinare in maniera automatica il valore di  $M$  (senza conoscere a priori se è ritardato il segnale 1 rispetto al segnale 2 o viceversa), procedendo nel modo che verrà descritto sotto con riferimento alla Fig. 3.

In primo luogo si ottengono diverse repliche ritardate del segnale 1 e del segnale 2, ovvero dei segnali del tipo:

$$r_{1j}(kT_{sa}) = s_1(kT_{sa} - jT_{sa}) \quad e \quad r_{2i}(kT_{sa}) = s_2(kT_{sa} - iT_{sa})$$

con  $0 \leq j \leq N_1$  e  $0 \leq i \leq N_2$ , essendo  $N_1 T_{sa}$  il ritardo massimo ipotizzabile del segnale 1 rispetto al segnale 2 e, analogamente,  $N_2 T_{sa}$  il ritardo massimo ipotizzabile del segnale 2 rispetto al segnale 1.

Si noti che in generale può accadere che  $N_1 \neq N_2$ .

In Figura 3, a solo titolo esemplificativo ma non limitativo, per semplicità si è posto  $N_1 = 0$  e  $N_2 = 4$ .

Si calcolano poi le varie cross-correlazioni

$$xc_{1j} = E \left\{ s_1(kT_{sa} - \tau - jT_{sa}) \cdot s_2^*(kT_{sa}) \right\} =$$

$$= E \left\{ \sum_m \sum_n a_m a_n^* g_2^*(kT_{sa} - mT) g_1(kT_{sa} - nT - \tau - jT_{sa}) \right\} \quad \text{con } 0 \leq j \leq N_1, \quad (1)$$

$$xc_{2i} = E \left\{ s_1^*(kT_{sa} - \tau) \cdot s_2(kT_{sa} - iT_{sa}) \right\} =$$

$$= E \left\{ \sum_m \sum_n a_m a_n^* g_1^*(kT_{sa} - nT - \tau) g_2(kT_{sa} - mT - iT_{sa}) \right\} \quad \text{con } 0 \leq i \leq N_2 \quad (2)$$

dove con \* si indica l'operazione di complesso coniugato e con  $E\{\}$  l'operazione di media temporale.

Viene poi determinato il valore massimo tra  $xc_{1j}$  e  $xc_{2i}$  al variare di  $i$  e  $j$ , cioè sarà

$$M = \max_{i,j} \left( |xc_{1j}|^p, |xc_{2i}|^p \right).$$

con  $p$  numero intero positivo maggiore di 0.

Infatti, tenendo conto che  $g_1(t) \cong g_2(t)$  (infatti l'installazione avviene in condizioni di assenza di fading, e dunque il canale visto dalle due antenne è molto simile) e che l'autocorrelazione di  $g_1(t)$  o di  $g_2(t)$  è massima per  $t = 0$  (per come sono costituiti nor-



malmente i filtraggi), è chiaro che nel caso in questione risulterà massimo il modulo della cross-correlazione che meglio approssima  $E\{s_1(t)s_2^*(t-\tau)\}$ .

Viene ritardato il segnale 1 o il segnale 2 di  $MT_{sa}$ , a seconda che la correlazione massima sia del tipo  $xc_{1j}$  o del tipo  $xc_{2i}$ .

Chiaramente, le cross-correlazioni  $xc$  sono numeri complessi; per calcolarne il massimo se ne calcola il modulo elevato a "p", con "p" numero intero positivo, solitamente per comodità pari a 2.

Si osservi che in Fig. 3 è illustrata una possibile realizzazione circuitale, in cui il circuito di commutazione (SWTC), in base alle informazioni ricevute dal calcolo del massimo, seleziona l'opportuno ritardo da inserire (in questo caso sulla via 2); con "corr" si è indicato il calcolo della cross-correlazione, come indicato sopra.

Benchè per semplicità, in Fig. 3 si sia posto  $N_1 = 0$  e  $N_2 = 4$ , ogni altra combinazione di  $N_1$  ed  $N_2$  è possibile e la Fig. 3 assumerebbe un aspetto corrispondentemente diverso.

In pratica comunque il dispositivo secondo l'invenzione opererebbe ipotizzando dapprima  $j = 0$  e facendo variare  $i$  da 1 a  $N_2$ , poi  $i = 0$  e facendo variare  $j$  da 1 a  $N_1$ , fino a trovare il valore di  $M$  (come risulta evidente dalle (1) e dalle (2)).

È evidente che la presente invenzione potrà essere realizzata come circuito o come programma software per elaboratori. L'ambito di protezione determinato dalla presente domanda di brevetto pertanto si estende anche a tale programma software e all'elaboratore sul quale tale programma viene installato. È anche evidente che alla presente invenzione potranno essere apportate numerose modificazioni e adattamenti senza peraltro fuoriuscire dall'ambito di protezione definito dalle seguenti rivendicazioni che si intendono una parte integrante della presente descrizione.



## RIVENDICAZIONI

1. Metodo per compensare il ritardo tra due o più linee di trasmissione radio in trasmissioni radio in diversità di spazio, detto metodo comprendendo le fasi di:

- ricevere un primo segnale analogico ( $s_1(t)$ );
  - ricevere almeno un ulteriore segnale analogico ( $s_2(t)$ );
  - campionare (ADC) detto primo e detto almeno un ulteriore segnale analogico ( $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ ) per ottenere, rispettivamente, un primo segnale digitale ( $s_1(kT_{sa})$ ) ed almeno un ulteriore segnale digitale ( $s_2(kT_{sa})$ ),  $T_{sa}$  essendo il periodo di campionamento, tra il primo e l'ulteriore segnale digitale essendovi un eventuale ritardo ( $\tau$ ); e
  - inviare detti segnali digitali ( $s_1(kT_{sa})$ ,  $s_2(kT_{sa})$ ) a rispettivi equalizzatori (FSE);
- detto metodo essendo caratterizzato dalla fase di
- ritardare ( $MT_{sa}$ ) in modo digitale uno tra detto primo segnale digitale ( $s_1(kT_{sa})$ ) e detto almeno un ulteriore segnale digitale ( $s_2(kT_{sa})$ ) di un periodo pari ad un multiplo intero ( $M$ ) del periodo di campionamento ( $T_{sa}$ ), e dall'eventuale fase di
  - recuperare, in corrispondenza della fase di equalizzazione, la differenza tra il ritardo imposto ( $MT_{sa}$ ) e quello effettivo ( $\tau$ ).

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la fase di ritardare comprende la fase di calcolare in modo automatico il valore del multiplo intero ( $M$ ), in cui detta fase di calcolo del multiplo intero ( $M$ ) a sua volta comprende le fasi di:

- realizzare repliche ritardate ( $r_{1j}(kT_{sa})$ ,  $r_{2i}(kT_{sa})$ )

$$r_{1j}(kT_{sa}) = s_1(kT_{sa} - jT_{sa}) \quad \text{e} \quad r_{2i}(kT_{sa}) = s_2(kT_{sa} - iT_{sa})$$

di detto primo ( $s_1(kT_{sa})$ ) e detto almeno un ulteriore ( $s_2(kT_{sa})$ ) segnale digitale, con  $0 \leq j \leq N_1$  e  $0 \leq i \leq N_2$ , essendo  $N_1T_{sa}$  il ritardo massimo ipotizzabile del primo segnale rispetto all'ulteriore segnale e, analogamente,  $N_2T_{sa}$  il ritardo massimo ipotizzabile dell'ulteriore segnale rispetto al primo segnale;





- calcolare le cross-correlazioni ( $xc_{1j}, xc_{2i}$ )

$$xc_{1j} = E \left\{ \sum_m \sum_n a_n a_m^* g_2^*(kT_{sa} - mT) g_1(kT_{sa} - nT - \tau - jT_{sa}) \right\} \quad \text{con } 0 \leq j \leq N_1,$$

$$xc_{2i} = E \left\{ \sum_m \sum_n a_m a_n^* g_1^*(kT_{sa} - nT - \tau) g_2(kT_{sa} - mT - iT_{sa}) \right\} \quad \text{con } 0 \leq i \leq N_2$$

tra i vari segnali replicati ritardati ( $r_{1j}(kT_{sa}), r_{2i}(kT_{sa})$ ), dove con \* si indica l'operazione di complesso coniugato e con  $E\{\}$  l'operazione di media temporale;

- ricavare il valore massimo di dette cross-correlazioni ( $xc_{1j}, xc_{2i}$ ) al variare di  $i$  e  $j$

$$M = \max_{i,j} \left( |xc_{1j}|^p, |xc_{2i}|^p \right),$$

detto valore massimo corrispondendo al valore del multiplo intero ( $M$ ).

3. Metodo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto di comprendere l'ulteriore fase di selezionare (SWTC) l'opportuna replica ritardata ( $r_{1j}(kT_{sa}), r_{2i}(kT_{sa})$ ) da inviare a detti equalizzatori in funzione delle informazioni relative al massimo delle cross-correlazioni calcolate.

4. Apparato per compensare il ritardo tra due o più linee di trasmissione radio in trasmissioni radio in diversità di spazio, detto apparato comprendendo:

- mezzi per ricevere un primo segnale analogico ( $s_1(t)$ );
- mezzi per ricevere almeno un ulteriore segnale analogico ( $s_2(t)$ );
- mezzi (ADC) per campionare il primo e l'ulteriore segnale analogico ( $s_1(t), s_2(t)$ ) per ottenere, rispettivamente, un primo segnale digitale ( $s_1(kT_{sa})$ ) ed almeno un ulteriore segnale digitale ( $s_2(kT_{sa})$ ),  $T_{sa}$  essendo il periodo di campionamento, tra il primo e l'ulteriore segnale digitale essendovi un eventuale ritardo ( $\tau$ ); e

- equalizzatori (FSE) riceventi in ingresso detti segnali digitali ( $s_1(kT_{sa}), s_2(kT_{sa})$ );

detto apparato essendo caratterizzato dal comprendere

- mezzi ( $MT_{sa}$ ) per ritardare in modo digitale uno tra detto primo segnale digitale ( $s_1(kT_{sa})$ ) e detto almeno un ulteriore segnale digitale ( $s_2(kT_{sa})$ ) di un periodo pari ad un



multiplo intero ( $M$ ) del periodo di campionamento ( $T_{sa}$ ), e mezzi equalizzatori in grado di recuperare la differenza tra il ritardo imposto ( $MT_{sa}$ ) e quello effettivo ( $\tau$ ).

5. Apparato secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detti mezzi per ritardare comprendono mezzi per calcolare in modo automatico il valore del multiplo intero ( $M$ ), in cui detti mezzi di calcolo automatico a loro volta comprendono:

- mezzi per realizzare repliche ritardate ( $r_{1j}(kT_{sa}), r_{2i}(kT_{sa})$ )

$$r_{1j}(kT_{sa}) = s_1(kT_{sa} - jT_{sa}) \quad \text{e} \quad r_{2i}(kT_{sa}) = s_2(kT_{sa} - iT_{sa})$$

di detto primo ( $s_1(kT_{sa})$ ) e detto almeno un ulteriore ( $s_2(kT_{sa})$ ) segnale digitale, con  $0 \leq j \leq N_1$  e  $0 \leq i \leq N_2$ , essendo  $N_1 T_{sa}$  il ritardo massimo ipotizzabile del primo segnale rispetto all'almeno un ulteriore segnale e, analogamente,  $N_2 T_{sa}$  il ritardo massimo ipotizzabile dell'almeno un ulteriore segnale rispetto al primo segnale;

- mezzi per calcolare le cross-correlazioni ( $xc_{1j}, xc_{2i}$ )

$$xc_{1j} = E \left\{ \sum_m \sum_n a_n a_m^* g_2^*(kT_{sa} - mT) g_1(kT_{sa} - nT - \tau - jT_{sa}) \right\} \quad \text{con } 0 \leq j \leq N_1,$$

$$xc_{2i} = E \left\{ \sum_m \sum_n a_m a_n^* g_1^*(kT_{sa} - nT - \tau) g_2(kT_{sa} - mT - iT_{sa}) \right\} \quad \text{con } 0 \leq i \leq N_2$$

tra i vari segnali replicati ritardati ( $r_{1j}(kT_{sa}), r_{2i}(kT_{sa})$ ), dove con  $*$  si indica l'operazione di complesso coniugato e con  $E\{\}$  l'operazione di media temporale; e

- mezzi per ricavare il valore massimo di dette cross-correlazioni ( $xc_{1j}, xc_{2i}$ ) al variare di  $i$  e  $j$

$$M = \max_{i,j} \left( |xc_{1j}|^p, |xc_{2i}|^p \right),$$

detto valore massimo corrispondendo al valore del multiplo intero ( $M$ ).

6. Apparato secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre mezzi di commutazione (SWTC) per selezionare l'opportuna replica ritardata ( $r_{1j}(kT_{sa}), r_{2i}(kT_{sa})$ ) da inviare a detti equalizzatori in funzione delle informazioni relative al massimo delle cross-correlazioni calcolate.

7. Programma per elaboratore comprendente mezzi di codifica di programma per elaboratore adatti ad eseguire tutte le fasi delle rivendicazioni 1-3 quando detto programma viene fatto funzionare in un elaboratore.

8. Mezzo leggibile da un elaboratore avente un programma registrato su di esso, detto mezzo leggibile da un elaboratore comprendendo mezzi di codifica di programma per elaboratore adatti ad eseguire tutte le fasi delle rivendicazioni 1-3 quando detto programma viene fatto funzionare in un elaboratore.

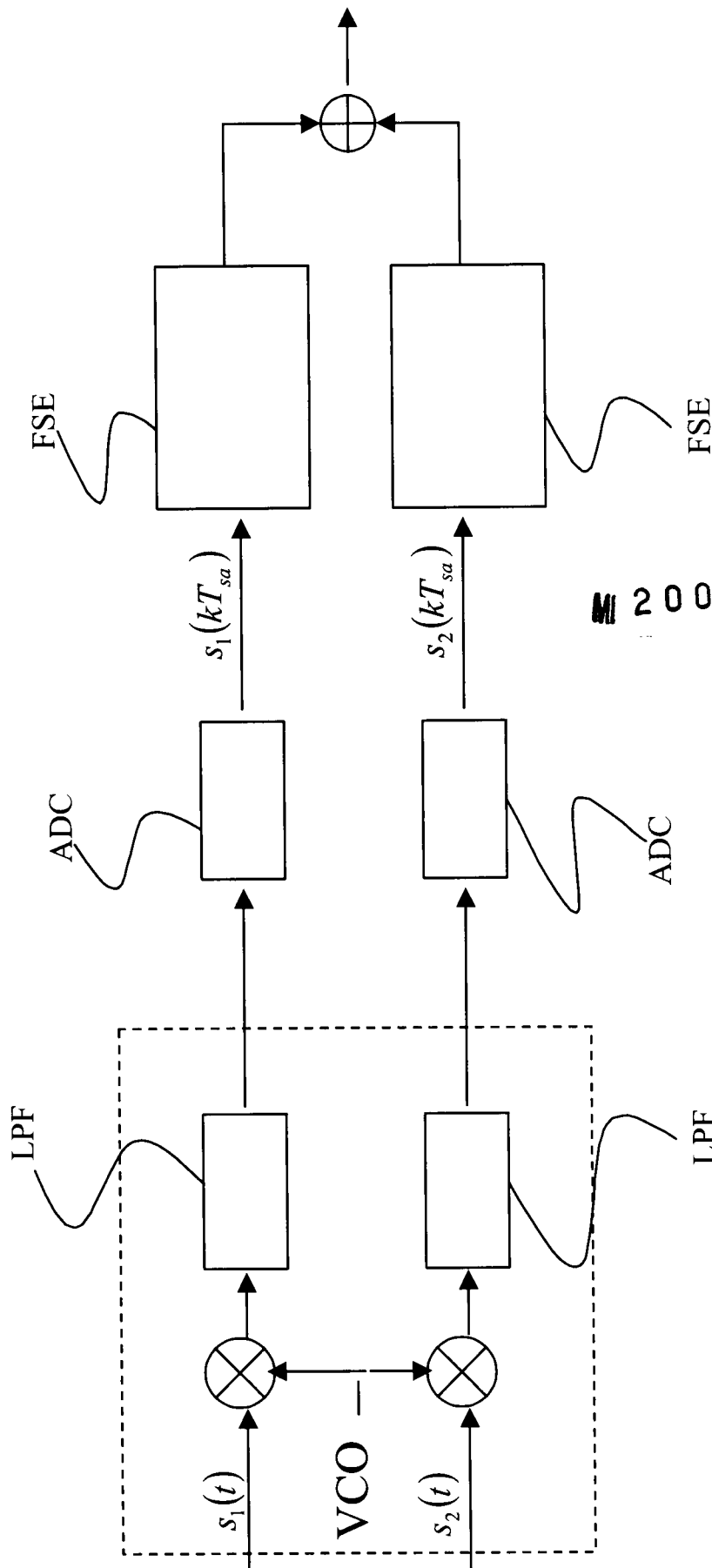
p.p. ALCATEL

Il mandatario:



Ing. CORRADO BORSANO (iscr. 446)  
c/o ALCATEL ITALIA S.p.A.  
Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)

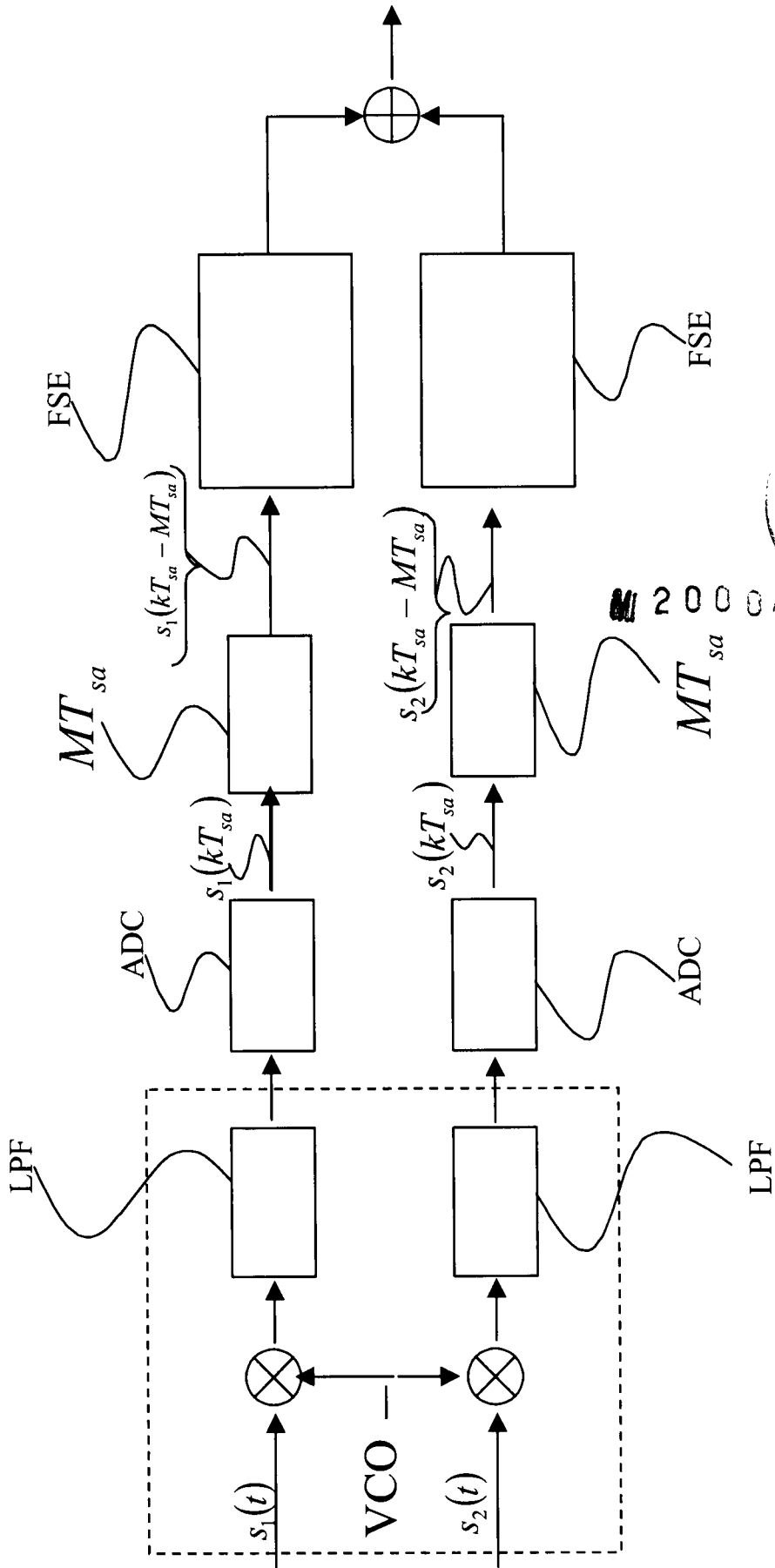




MI 2000A000 000

**Fig. 1**

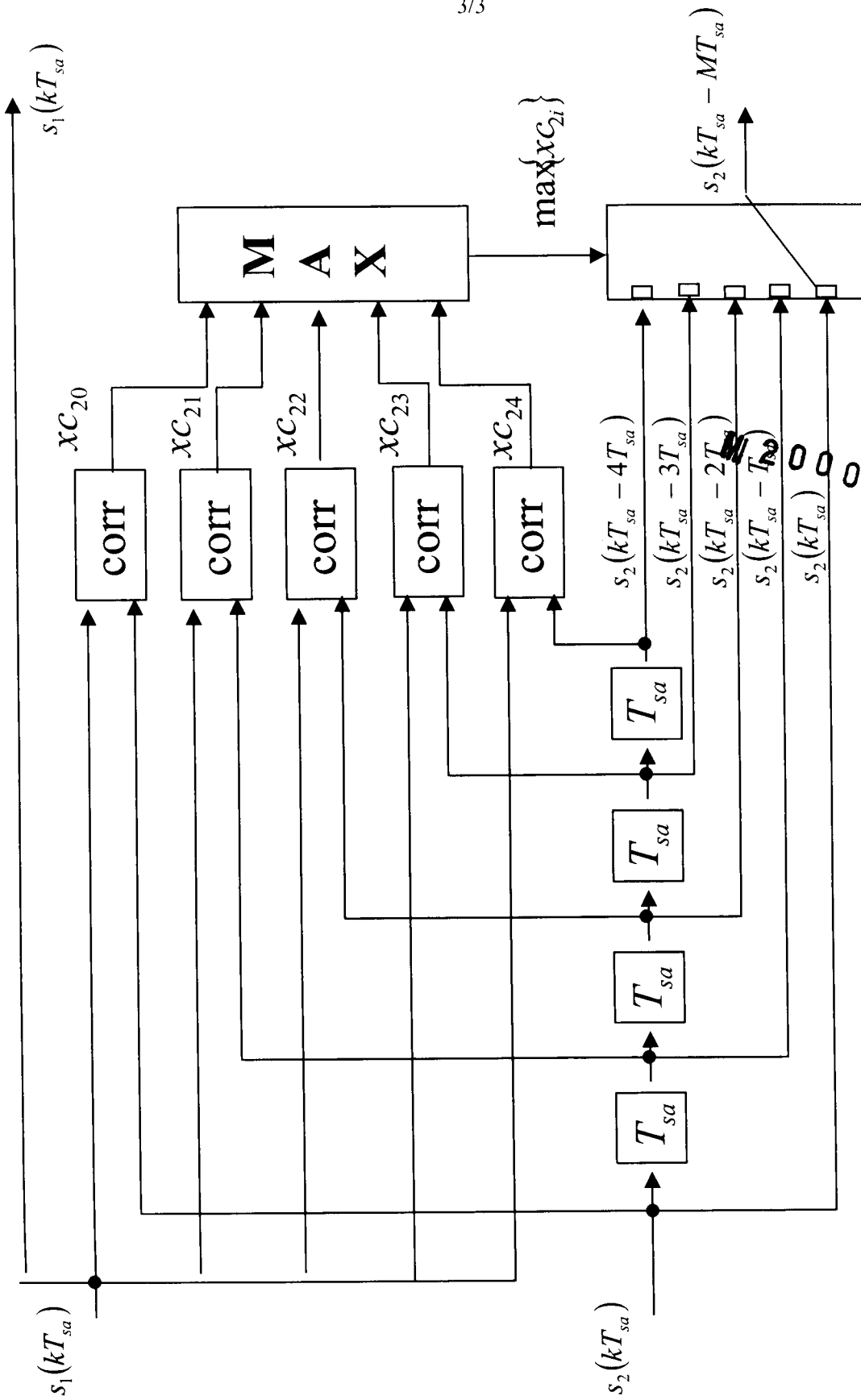
Min. Ind. Comm. U.D.I.C. Serv. Brevetti \* OMIAIN \*  
*Corrado Borsano*  
Ing. CORRADO BORSANO (iscr. 446)  
c/o ALCATEL ITALIA S.p.A.  
Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)



**Fig. 2**

*Corrado Borsano*

ing. CORRADO BORSANO (iscr. 446)  
 C/O ALCATEL ITALIA S.P.A.  
 Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)



**Fig. 3**

*Corrado Borsano*

Ing. CORRADO BORSANO (iscr. 446)  
 c/o ALCATEL ITALIA S.P.A.  
 Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)

0004000833