



Unità Tecnologie Materiale Rotabile

DIREZIONE RICERCA INGEGNERIA E COSTRUZIONI

Odometria SCMT

Principi generali dell'algoritmo per il calcolo della velocità stimata in caso di pattinamento o slittamento degli assi di misura

Specifica Requisiti Funzionali

Specifica N° **372574** esp. **03**

Documento composto da 10 fogli

Esp.	Data	Descrizione	Redatta	Verificata	Approvata
00	15-05-2001	Nuova emissione.	Grande Cocci	Presciani	Mingozzi
01	5-11-2001	Modificato titolo. Aggiunti paragrafi: Scopo; Campo di applicazione; Norme di riferimento; Definizioni; Obiettivo prestazionale.	Grande Presciani Costantino	Presciani	Mingozzi
02	8-02-2002	Modificati §§ 1 e 3.	Costantino	Presciani	Mingozzi
03	10-12-2002	Capitolo 2: modificato campo di applicazione velocità. Capitolo 5: modifica redazionale. Capitolo 10 : aggiornata tabella Precisione nella misura dello spazio.	Costantino Cocci Violani	Presciani	Mingozzi

- I N D I C E -

1	Scopo	4
2	Campo di applicazione	4
3	Norme di riferimento	4
4	Definizioni	5
5	Generalità	5
6	Pattinamento	6
7	Pattinamento, con una sola informazione di velocità disponibile	7
8	Slittamento	8
9	Slittamento, con una sola informazione di velocità disponibile	9
10	Obiettivo prestazionale	10

AVVERTENZA

Il presente documento è di proprietà della Trenitalia S.p.A. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta, memorizzata, trasmessa in qualsiasi forma e/o qualsiasi mezzo, elettronico, meccanico, di fotocopia, di registrazione senza l'autorizzazione scritta della Trenitalia S.p.A.

1 Scopo

In generale i due assi di misura odometrica, sottoposti a trazione o frenatura, in particolare in condizioni di aderenza degradata, possono essere soggetti a scorrimento nel punto di contatto ruota-rotaia, per cui lo spazio misurato può non corrispondere allo spazio realmente percorso dal treno. In tali condizioni anche la misura tachimetrica risulta evidentemente alterata. Lo scopo dell'algoritmo in oggetto è quello di permettere, pur basandosi sulle predette informazioni affette da imprecisione dovuta a possibili scorrimenti, una stima sufficientemente accurata della reale velocità del treno e della distanza effettivamente percorsa. L'algoritmo si basa sul fatto che normalmente la velocità degli assi in scorrimento si mantiene entro un determinato range rispetto a quella reale del treno. L'algoritmo possiede inoltre opportune protezioni per far fronte a casi particolari in cui la velocità degli assi di misura diverge decisamente da quella reale del treno.

Oltre alle predette grandezze inerenti le stime di velocità e spazio, l'algoritmo deve offrire la possibilità di rendere visibili all'esterno alcune altre variabili calcolate internamente, scelte fra quelle più significative ai fini di una loro eventuale utilizzazione per scopi diagnostici, statistici ecc. (es.: stato pattinamento, stato slittamento, velocità degli assi).

2 Campo di applicazione

Grandezza	Simbolo	Campo di validità	Unità di misura
Velocità	v	$0 \leq v \leq 310$	km/h
Pendenza della linea	i	$-0.035 \leq i \leq 0.035$	Numero puro
Percentuale di peso frenato	λ	$50 \leq \lambda \leq 160$	Numero puro

3 Norme di riferimento

Per i documenti di seguito elencati si considera valida, se non diversamente specificato, l'ultima versione aggiornata alla data di emissione della presente.

- [1] Spec. FS 373450 Odometria SCMT – Algoritmo per il calcolo della velocità stimata in caso di pattinamento o slittamento degli assi di misura. Specifica Requisiti Software.

4 Definizioni

Decelerazione: in questo documento, per decelerazione (valore positivo) si intende una accelerazione negativa.

SCMT: Sistema Controllo Marcia Treno

Antislittante: Dispositivo che agisce sugli assi motori riducendo la coppia motrice e/o azionando le sabbie di quegli assi che vedessero aumentare in modo anomalo la loro velocità angolare al diminuire dell'aderenza ruota rotaia.

Antipattinante: Dispositivo che agisce sugli assi frenanti riducendo la coppia frenante e/o azionando le sabbie di quegli assi che vedessero decrescere in modo anomalo la loro velocità angolare al diminuire dell'aderenza ruota rotaia.

λ : Percentuale di peso frenato (indice delle capacità frenanti).

5 Generalità

5.1 Il sistema si basa su informazioni di velocità provenienti da due assi del rotabile.

5.2 Il sistema presuppone che i due assi di misura siano protetti da sistemi antislittante e antipattinante funzionanti, ma è concepito in modo da poter operare, con una precisione inferiore, anche nel caso di assi non protetti.

5.3 In generale, fuori dalle fasi riconosciute di pattinamento o di slittamento, la velocità reale è uguale alla maggiore delle due informazioni di velocità.

5.4 Inoltre, in una fase sicuramente esente da scorrimenti e previa osservazione e comparazione delle misure per un periodo sufficiente, le due informazioni di velocità devono essere allineate fra loro per migliorare la sensibilità dei criteri di rilevamento del pattinamento e dello slittamento.

5.5 Criteri di selezione degli assi di misura

Gli assi da destinare alla misura tachimetrica andranno selezionati rispettando, in ordine di priorità, le seguenti condizioni:

- a) Se consentito dall'architettura del rotabile, gli assi dovranno essere fra loro indipendenti dal punto di vista dell'azionamento e dell'antipattinante.
- b) Nel caso in cui i sistemi antislittante/antipattinante prevedano periodici azzeramenti di coppia (motrice o frenante) su alcuni assi ai fini del ripristino del corretto valore di velocità elaborata, tali assi andranno utilizzati per la misura tachimetrica.
- c) Va evitato che la misura tachimetrica sia eseguita sul primo asse del rotabile secondo il senso di marcia (alle due estremità del veicolo in caso di locomotiva/automotrice

reversibile o sul primo asse in senso di marcia in caso di locomotiva/automotrice non reversibile o di carrozza semipilota).

- d) Vanno privilegiati gli assi sui quali agisce solo la frenatura in luogo degli assi frenati e motorizzati.
- e) Vanno privilegiati gli assi di carrelli diversi.

I criteri di misura, le eventuali modalità di regolazione e l'esatta quantificazione delle grandezze considerate sono riportati in dettaglio nella ^[1].

6 Pattinamento

- 6.1 Il primo criterio di rilevamento del pattinamento interviene quando la differenza fra le due velocità supera una soglia ΔV . La discriminante fra il pattinamento e lo slittamento è data dal segno dell'accelerazione, quest'ultima calcolata in un opportuno intervallo di tempo antecedente al superamento della soglia e decurtata dei contributi dovuti alla pendenza e ad un termine prefissato che approssima la resistenza al moto.
 - 6.1.1 Il metodo generale di elaborazione della velocità stimata, che segue al rilevamento di pattinamento effettuato secondo il primo criterio, prevede una prima fase a velocità costante, attuata a partire dalla velocità precedente al pattinamento e mantenuta per un tempo limitato (funzione della velocità), dopodiché la stima della velocità procede in base all'informazione di decelerazione media derivata dalle misure provenienti dai due assi, maggiorata di una opportuna quantità. Per decelerazione media si intende la media aritmetica delle due decelerazioni, mediata inoltre su una certa base di tempo (o trattata con idoneo filtro passa-basso). La decelerazione media traslata viene inoltre limitata nella fascia compresa fra un valore minimo che approssima la resistenza al moto (salvo il contributo della pendenza) ed un valore massimo, corrispondente alla decelerazione attesa per lo specifico treno (tenendo conto della pendenza), maggiorata con un opportuno coefficiente; i valori eccedenti tali limiti vengono tagliati. Quando la velocità di uno dei due assi è inferiore ad una soglia minima ("asse bloccato") la decelerazione media viene calcolata solo sulla base dell'informazione proveniente dall'altro asse. L'informazione relativa all'asse che si è bloccato viene ripresa in conto per il calcolo della decelerazione media con un ritardo, rispetto al superamento della soglia, dipendente dalla velocità stimata.
 - 6.1.2 Durante una fase di pattinamento si può realizzare l'adeguamento della velocità stimata a quella di un asse che venga rilevato in aderenza, cioè "stabile" per un tempo sufficiente. La stabilità del singolo asse viene valutata in base alla permanenza della decelerazione entro una fascia di oscillazione ristretta (e comunque non eccedente i limiti assoluti prestabiliti). L'adeguamento viene realizzato in maniera progressiva, prevedendo una decelerazione nettamente superiore a quella attesa. Se durante la fase di adeguamento la condizione di stabilità dell'asse viene perduta, l'adeguamento viene interrotto e si riprende la procedura di calcolo della velocità, dal valore stimato attuale, sulla base della decelerazione media degli assi. L'adeguamento non deve aver luogo nel caso in cui risulti stabile l'asse a velocità inferiore fra i due.

- 6.1.3 Durante la fase di pattinamento, se dopo avere adeguato la velocità stimata a quella di un asse in aderenza quest'ultimo non mantiene più la condizione di stabilità, si riprende l'elaborazione della velocità stimata.
- 6.1.4 Se invece tale condizione (apparente) si perde perché l'altro asse assume una velocità superiore, la stima riprende in base all'informazione della velocità superiore (vedi il successivo punto 6.3).
- 6.2 Il secondo criterio di rilevamento del pattinamento prevede il superamento di una soglia di decelerazione da parte di almeno uno degli assi. Normalmente questo criterio interviene quando gli assi entrano in pattinamento sincrono, non differenziando la loro velocità e quindi senza determinare l'intervento del primo criterio. L'elaborazione della velocità stimata viene effettuata secondo quanto indicato al punto 6.1.1.
- 6.3 Nel corso di qualunque fase di elaborazione della velocità per pattinamento, la velocità stimata deve essere adeguata immediatamente alla velocità di un singolo asse maggiorata di un opportuno Δv (funzione della velocità), quando quest'ultimo valore diventa superiore al valore stimato; si continua poi con la normale procedura di elaborazione.
- 6.4 La fine della condizione di pattinamento viene determinata dal rispetto di tutte le soglie (sia quella relativa alla differenza di velocità, che quella di decelerazione da parte di entrambi gli assi) per un determinato periodo di tempo.
- 6.4.1 Una volta rilevata la condizione di fine del pattinamento, l'adeguamento della velocità stimata a quella reale (calcolata come previsto al punto 5.3) viene realizzato in maniera progressiva, prevedendo una decelerazione nettamente superiore a quella attesa. Quando la velocità degli assi è inferiore alla soglia minima (velocità "zero") l'adeguamento deve essere realizzato con la decelerazione attesa. Se durante la fase di adeguamento la condizione di non pattinamento viene perduta, l'adeguamento viene interrotto e si riprende la procedura di stima della velocità direttamente sulla base della decelerazione media degli assi. Nel caso in cui l'interruzione dell'adeguamento avvenga quando il valore della velocità stimata è ormai prossimo alla velocità degli assi, si deve realizzare una fase a velocità costante come previsto per l'inizio di pattinamento.
- 6.5 Se prima di aver rilevato la fine del pattinamento l'accelerazione media calcolata sulla base del comportamento dei due assi per un tempo relativamente esteso si mantiene oltre un valore di soglia (tenendo anche conto del contributo della pendenza), si deve commutare il procedimento di elaborazione della velocità stimata dal caso di pattinamento al caso di slittamento.

7 Pattinamento, con una sola informazione di velocità disponibile

- 7.1 Il criterio unico di rilevamento del pattinamento prevede il superamento di una soglia di decelerazione. (*Condizione analoga alla 6.2*).

- 7.1.1 L'elaborazione della velocità stimata prevede una prima fase a velocità costante, attuata a partire dalla velocità precedente al pattinamento e mantenuta per un tempo limitato (funzione della velocità), dopodiché la stima della velocità procede in base all'informazione di decelerazione media derivata dalla misura proveniente dall'asse, maggiorata di una opportuna quantità. Per decelerazione media si intende la decelerazione mediata su una certa base di tempo (oppure opportunamente filtrata). La decelerazione media traslata viene inoltre limitata nella fascia compresa fra un valore minimo che approssima la resistenza al moto (salvo il contributo della pendenza) ed un valore massimo, corrispondente alla decelerazione attesa per lo specifico treno (tenendo conto della pendenza) maggiorata con un opportuno coefficiente; i valori eccedenti tali limiti vengono tagliati. *(Condizione analoga alla 6.1.1).*
- 7.2 Durante l'elaborazione della velocità per pattinamento, la velocità stimata deve essere adeguata immediatamente alla velocità dell'asse maggiorata di un opportuno Δv (funzione della velocità), quando quest'ultimo valore diventa superiore al valore stimato; si continua poi con la normale procedura di elaborazione. *(Condizione analoga alla 6.3).*
- 7.3 La fine della condizione di pattinamento viene determinata dal rispetto della soglia di decelerazione per un determinato intervallo di tempo e dalla contemporanea "stabilità" dell'asse valutata secondo il criterio definito al punto 6.1.2 *(Condizione derivata dalla 6.4 e dalla 6.1.2).*
- 7.3.1 Una volta rilevata la fine del pattinamento, l'adeguamento della velocità stimata a quella reale viene realizzato in maniera progressiva, prevedendo una decelerazione nettamente superiore a quella attesa. Se durante la fase di adeguamento la condizione di non pattinamento viene perduta, l'adeguamento viene interrotto e si riprende la procedura di stima della velocità direttamente sulla base della decelerazione media dell'asse. Quando la velocità dell'asse è inferiore alla soglia minima (velocità "zero") l'adeguamento deve essere realizzato con la decelerazione attesa. L'informazione relativa all'asse che si è bloccato viene ripresa in conto per il calcolo della decelerazione media con un ritardo, rispetto al superamento della soglia, dipendente dalla velocità stimata.
- 7.4 Se prima di aver rilevato la fine del pattinamento l'accelerazione media calcolata sulla base del comportamento dell'asse per un tempo relativamente esteso si mantiene oltre un valore di soglia (tenendo anche conto del contributo della pendenza), si deve commutare il procedimento di elaborazione della velocità stimata dal caso di pattinamento al caso di slittamento. *(Condizione analoga alla 6.5).*

8 Slittamento

- 8.1 Il primo criterio di rilevamento dello slittamento, come per il pattinamento, interviene quando la differenza fra le due velocità supera una soglia ΔV . La discriminante fra il pattinamento e lo slittamento è data dal segno dell'accelerazione, quest'ultima calcolata in un opportuno intervallo di tempo antecedente al superamento della soglia e decurtata dei contributi dovuti alla pendenza e ad un termine prefissato che approssima la resistenza al moto.

- 8.1.1 A partire dal rilevamento dello slittamento la velocità stimata segue, delle due velocità degli assi, quella inferiore, a condizione che l'accelerazione non superi una determinata soglia. In ogni caso, per l'elaborazione della velocità stimata, l'accelerazione viene limitata ad un valore massimo prestabilito.
- 8.2 Il secondo criterio di rilevamento dello slittamento prevede il superamento di una soglia di accelerazione da parte di almeno uno degli assi. Normalmente questo criterio interviene quando gli assi entrano in slittamento sincrono, non differenziando la loro velocità e quindi senza determinare l'intervento del primo criterio. Una volta rilevato l'inizio dello slittamento, l'elaborazione della velocità stimata segue lo stesso procedimento previsto al punto 8.1.1.
- 8.3 Nel corso di qualunque fase di elaborazione della velocità per slittamento, la velocità stimata deve essere adeguata immediatamente alla velocità di un singolo asse quando quest'ultima diventa inferiore al valore stimato.
- 8.4 La fine della condizione di slittamento viene determinata dal rispetto di tutte le soglie (sia quella relativa alla differenza di velocità, che quella di accelerazione da parte di entrambi gli assi) per un determinato periodo di tempo. L'adeguamento della velocità stimata a quella reale viene fatto immediatamente dopo l'esito positivo di tale controllo.
- 8.5 Se prima di aver rilevato la fine dello slittamento l'accelerazione media calcolata sulla base del comportamento dei due assi per un tempo relativamente esteso si mantiene inferiore ad un valore di soglia (tenendo anche conto del contributo della pendenza), si deve commutare il procedimento di elaborazione della velocità stimata dal caso di slittamento al caso di pattinamento.

9 Slittamento, con una sola informazione di velocità disponibile

- 9.1 Il criterio unico di rilevamento dello slittamento è costituito da quello accelerometrico. *(Condizione analoga alla 8.2).*
- 9.2 Il calcolo della velocità stimata viene effettuato utilizzando il valore limite ammesso per l'accelerazione. *(Condizione contenuta all'interno del punto 8.1.1).*
- 9.3 Nel corso dell'elaborazione, la velocità stimata deve essere adeguata immediatamente alla velocità dell'asse quando quest'ultima diventa inferiore al valore stimato.
- 9.4 La fine dello slittamento è determinata dal rientro dell'accelerazione dell'asse entro il limite ammissibile e dalla contemporanea "stabilità" dell'asse valutata secondo il criterio definito al punto 6.1.2 per un tempo prestabilito. L'adeguamento della velocità stimata a quella reale viene fatto immediatamente dopo l'esito positivo di tale controllo. *(Condizione analoga alla 8.4).*

- 9.5 Se prima di aver rilevato la fine dello slittamento l'accelerazione media calcolata sulla base del comportamento dell'asse per un tempo relativamente esteso si mantiene inferiore ad un valore di soglia (tenendo anche conto del contributo della pendenza), si deve commutare il procedimento di elaborazione della velocità stimata dal caso di slittamento al caso di pattinamento. *(Condizione analoga alla 8.5).*

10 Obiettivo prestazionale

Obiettivo prestazionale dell'algoritmo odometrico è di contenere l'errore sullo spazio calcolato entro il 6 % con confidenza 3σ dello spazio realmente percorso sulla base di una distanza standard di 1000 m (7 % quando il calcolo si basa sull'informazione di un solo asse). Quanto sopra vale anche in caso di errore sull'informazione relativa alla pendenza della linea fino al 35%. L'errore tachimetrico, in assenza di scorrimento degli assi, deve essere contenuto entro il 2 % per velocità superiori a 50 km/h ed entro 1 km/h per velocità inferiori o uguali a 50 km/h.

Per maggior chiarezza gli obiettivi prestazionali dell'Algoritmo di Odometria sono ricapitolati nella seguente tabella; ad essi è associato il valore di confidenza:

Precisione nella misura di spazio con confidenza 3σ (99%)		
	info da 2 assi	info da 1 asse
$S > 1000 \text{ m}$	6 %	7 %
$500 \text{ m} < S \leq 1000 \text{ m}$	60 m	70 m
$200 \text{ m} < S \leq 500 \text{ m}$	40 m	50 m
$S \leq 200 \text{ m}$	20 m	30 m