

Inhaltsverzeichnis

1	Tachymetrische Messungen	2
1.1	Grundlagen und Systemübersicht	2
1.2	Entfernungsmessung mittels Wave Form Digitizer (WFD)	2
1.3	Prüfung und Kalibrierung von Tachymetern	2
1.3.1	Tachymeterprüfung	2
1.3.2	Maßstab und Nullpunkt des EDM	3
1.3.3	Teilkreiskalibrierung	4
1.4	5
1.4.1	Automatische Zielerfassung und verfolgerung	5
1.4.2	Grobzielsuche	5
1.4.3	Feinzielsuche	6
1.4.4	Verfolgung eines bewegten Ziels	7
1.4.5	Kinematische Positionsbestimmung	7
1.5	Reflektorlose Entfernungsmessung	9

1 Tachymetrische Messungen

1.1 Grundlagen und Systemübersicht

Sensoren:

- Horizontalrichtung
- Vertikalrichtung
- Distanz
- Neigung
- Grob- und Feinzielsuche
- Temperatur und Luftdruck

Aktoren:

- Motoren
- Dioden(zu Zielsuche und Absteckung)

1.2 Entfernungsmessung mittels Wave Form Digitizer (WFD)

1.3 Prüfung und Kalibrierung von Tachymetern

3-a Tachymeterprüfung

Eine Prüfung stellt fest, ob ein Gerät die Spezifikation einhält oder ob es geeignet ist, die Genauigkeitsanforderungen einer Anwendung zu erfüllen.

Hierbei kann das ganze System oder einzelne Komponente überprüft werden

Bei einer Kalibrierung wird der Unterschied zwischen Soll-Wert und Ist-Wert bestimmt. Dieser kann als Korrekturwert benutzt werden.

Eine Eichung ist eine Kalibrierung von Amtswegen(z.B geeichte Gewichte)

FIG - International Federation of Surveys

Leistungsüberprüfung / Vereinfachtes Testverfahren

- Messung von 4 bekannten Strecken im vorgesehenen Arbeitsbereich (z.B 20 m bis 200 m)
- 3-malige Messung und Bestimmung des Mittelwertes

- Differenz zwischen Mittelwert und Soll-Wert muss kleiner als vorgegebene Grenzwert sein
- Analyse auf Maßstab und Nullpunktfehler möglich

Kalibrierähnliche Überprüfung / Vollständiges Testverfahren

- Geradelinige Konfiguration mit 7 Punkten; Abstände im Arbeitsbereich
- Überprüfung der Spezifikation des Herstellers und der Signifikanz des Nullpunktfehlers
- Weiteres unter Kalibrierung

3-b Maßstab und Nullpunkt des EDM

Instrumentelle Maßstab (Gerätmaßstab)

Abweichung der Modulationsfrequenz (Messfrequenz) von der Sollfrequenz.

Frequenzmessung des modulierten Infrarotlicht (für Phasenvergleichsverfahren) mittels eines temperaturstabilisierten Frequenzzählers:

- direkter Abgriff
- indirekter Abgriff \Rightarrow bei kontinuierlich abstrahlende EDM \Rightarrow bei gepulst abstrahlenden EDM.

Frequenzkorrektur:

$$K_f = D_0 \frac{f_0 - f}{f}$$

D_0 : gemessene Strecke, f_0 : Soll-Frequenz, f : Ist-Frequenz. Frequenz zeigt (1) Einlauferlaten(bis zu 5 Minuten) und (2) und ist temperaturabhängig.

Geräte mit internen Frequenzkorrektur:

Temperaturabhängige Frequenz wird gespeichert und muss zum Vergleichen als f_0 genutzt werden.

$$f_0 = f_B + f_M$$
$$f_M = A + B(t - t_0) + C(t - t_0)^2 + \dots$$

mit t_0 Referenztemperatur und t aktuelle Temperatur.

Beim Impulsverfahren muss die Zeitbasis am Geräte gemessen werden (Drift der Uhr). Frequenz der Infrarotsignals ohne Bedeutung.

Zyklischer Phasenfehler:

Periodische auftretender Fehler mit der Periode $\frac{\lambda}{2}$, Entstehung durch elektrisches und optisches Übersprechen Bestimmung. Gleichmässige Verteilung von interferometrische gemessene Soll-Strecken über den Maßstab $\frac{\lambda}{2}$.

$$K_{zuk} = A \cdot \left(2\pi \cdot \frac{D_i - C}{\frac{\lambda}{2}} \right)$$

A : Amplitude, C : Phasenlage, D_i : Strecke im Feinmaßlage. A und C können durch Ausgleichung geschätzt werden.

Nullpunktfehler Additionskonstante, \Rightarrow Kombination aus EDM und Prismenanteil Kalibrierung.

Eindeutige Lösng

$$D_{12} = D_{12,gem} + K_0$$

$$D_{23} = D_{23,gem} + K_0$$

$$D_{13} = D_{13,gem} + K_0$$

$$D_{13} = D_{12} + D_{23}$$

$$D_{13,gem} + K_0 = D_{12,gem} + K_0 + D_{23,gem} + K_0$$

$$D_{13,gem} - D_{12,gem} - D_{23,gem} = K_0$$

Überstimmte Lösung

- Messung von Strecken in allen Kombinationen
- Ausgleichung zu Bestimmung des Nullpunktfehlers
- Frequenzkorrektur vorab anbringen
- Strecken müssen nicht bekannt sein
- im Vergleich zu Eindeutige Lösung verbesserte Genauigkeit und zuverlässigkeit
- zyklischen Fehler vorab bestimmen und Korrigieren

3-c Teilkreiskalibrierung

Abweichungen der IST-teilungsintervall von den Soll-Intervall (z.B 1 gon); existieren zuklische und zufällige Abweichungen Bestimmung der Differenzen durch interferometrische Winkelmessung in Produktionsprozess.

1.4

4-a Automatische Zielerfassung und verfolgung

Ziel:

- Tachymeter kann Ziele selbständig messen und verfolgen.
- 1-Person Station (zu schaffen)
- Möglichkeit kinematische Messungen

Voraussetzung:

- Motorisierung des Tachameters
- Ziel muss mit Reflektor signalisiert sein
- zusätzliche Sensoren
- kommunikation zwischen Tachymeter und Reflektor / Bedieneinheit

Nebeneffekt:

- Benutzerabhängiger Einstellfehler eliminiert

4-b Grobzielsuche

- Auffinden der Zielpunkte im Objektraum, möglichst ohne Vorinformation
- Abschluss, wenn Reflektor im Gesichtsfeld des Tachymeterfernrohrs

Verschiedene Variante:

Passiver Reflektor

Passiver Reflektor

(1) spezielle (ensoren ur Grobzielsuche, Reflektion von Reflektor wird am Gerädetektiert(z.B Leica Point Search))

- 40 gon aufgefächerte Laserebene(vertikal)
- HZ - Drehung des Instruments
- Reflektiertes Signal legt HZ-Winkel auf 50 mgon fest
- V-Kippung mit gebündelten Signal
- V-Winkel auf 50 mgon

(2) Wie (1) aber Ausfächerung nur auf 10''

- Scannen in mehreren Durchläufen mit unterschiedlichen V-Winkel (z.B. Trimble, Topcon/historisch)

Aktiver Reflektor

(3) wie (1), aber Reflektor sendet aufgefächertes Signal (67gon V \times 220gon Hz) an das Instrument, von dem Reflektor eindeutig zu identifizieren (Trimble, Topcon).

(4) Reflektor mit Messeinrichtung. (Geodimeter 4000, historisch)

- Reflektor wird auf Tachymeter ausgerichtet
- gemessener Vertikalwinkel wird an Tachymeter übermittelt
- abschließende Hz-Drehung liegt zweiten Winkel fest

(5) Reflektor ist mit GNSS-Empfänger ausgerüstet (Low Cost) Ausrichtung des Tachymeters mittels Koordinaten von Tachymeter und Prisma (Trimble, Topcon)

Ziel-Identifikation

bei (3) bis (5) ohne Probleme

bei (1): gefächertes Scan mit und ohne Zielprisma, Differenz zeigt zu identifizierendes Prisma.

4-c Feinzielsuche

Bestimmung der Ablage zwischen Fadenkreuz und Reflektormitte

Voraussetzung: Reflektor im Gesichtsfeld durch Grobzielsuche oder manuellen Anzielen.

2 Verfahren:

(a) **Bildverarbeitung** (passive Reflektor, Leica, Topcon)

- Detektion des reflektierten Lichts durch CCD oder CMOS-Array
- Bestimmung der Reflektormitte durch Schwerpunktbildung (x', y')
- Transformationsparameter x', y' nach $\Delta HZ, \Delta V$ bekannt.

Ablagen ΔHZ und ΔV bestimmt.

(b) **Quadratendetektor** (aktiver Reflektor, Trimble)

- Detektion des ausgesanten Signals mittels Quadratendetektor oder Doppelquadratendetektor.
- Bestimmung der Reflektormitte durch lineare Funktion der Intensitäten der 4 Quadranten (Bedienung, in jedem Quadranten Licht)
- Transformation wie unter (a)

Unterschiedliche Gesichtsfelder

(1) ATR \neq Fernrohr

- Punkte am Rand nicht mit ATR messbar
- spiralförmige Suche bis ATR messen kann
- Alternative: GNSS-Suche

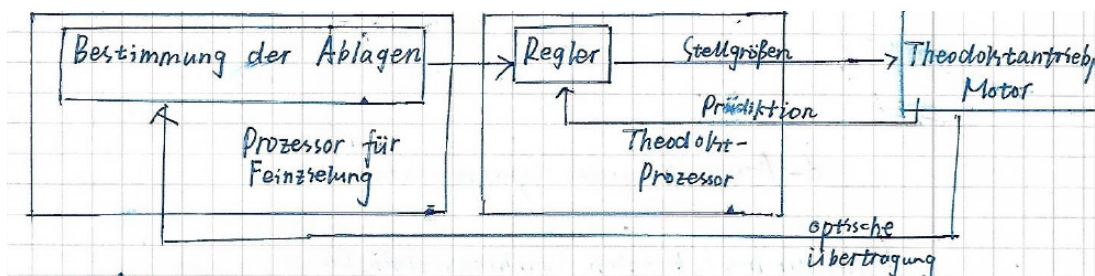
ATR \neq EDM

- Streckenmessung nicht möglich
- Neuausrichtung des Fernrohrs (Verkleinerung von ΔH_z und ΔV)

4-d Verfolgung eines bewegten Ziels

\Rightarrow Verfolgung eines Reflektors im Stop-and-go-Moduls

Regelkreis mit Feinzielsuche und Motoren:



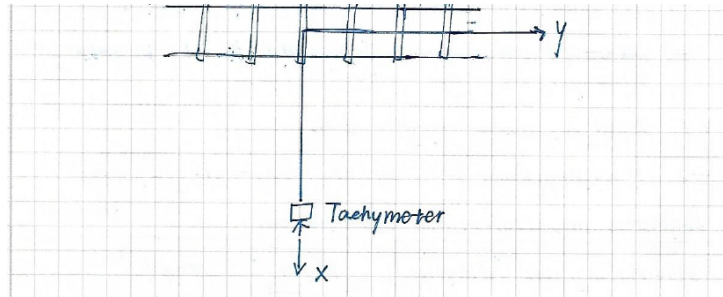
(a)

- Ablage nach 7.1-c berechnet
- Regler berechnet Stellgrößen für Motoren, um Ablagen wegzustellen
- Zielverlust führt zur Unterbrechung der Ablagenbestimmung
 - Stellgrößen aus Bewegungsmodell für einige Sekunden (unveränderte Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung)
 - danach: Grobzielsuche, Spiralsuche, GNSS-Suche

4-e Kinematische Positionsbestimmung

- Positionsbestimmung eines bewegten Reflektors
- Regelung zur Verfolgung wie in 7.4-d
- Zusätzliche Streckenmessung im Tracking mode
- Messrate: Trimble: 20Hz, Leica: 8Hz

Δt	$v = 3km/h$	$v = 50km/h$
0,15s	12,5cm	2,1m
1ms	0,8mm	1,4cm



(b) Auswirkung des Synchronisationsfehlers

Abschätzung maximaler Positionsfehler:

Messanordnung zur Synchronisationsfehlerbestimmung

Korrektur bei bekannten Synchronisationsfehler:

Trajektorienelemente:

$$t_f = \arctan \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

$$z_f = \arccos \frac{s_f}{\Delta H}$$

$$s_f = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} = v \cdot \Delta t$$

v , Δt sind bekannt, Δx , Δy , ΔH aus Vorepochen

gemessene Koordinaten, verfälscht

$$x_{R'} = x_s + s_D \cdot \sin z_R \cos t_R$$

$$y_{R'} = y_s + s_D \cdot \sin z_R \sin t_R$$

$$H_{R'} = H_s + s_D \cos z_R$$

Bestimmung von s_R

$$s_D^2 = s_R^2 + s_F^2 - 2 \cdot s_R \cdot \cos \alpha$$

$$\Rightarrow s_R = s_F \cos \alpha \pm \sqrt{s_D^2 - s_F^2 (1 - \cos^2 \alpha)}$$

• θ ohne Bedeutung

• $s_D \gg s_F$

$$\Rightarrow s_R = s_F \cos \alpha + s_D - \frac{1}{2} \frac{s_F^2}{s_D^2} (1 - \cos^2 \alpha)$$

Bestimmung von α :

Seitenkosinussatz des sphärischen Trigonometrie

$$\cos \alpha = \cos z_F \cos z_R + \sin z_F \sin z_R \cos(|t_F - t_R|)$$

Korrekte Koordinaten:

$$x_R = x_s + s_R \cdot \sin z_R \cdot \cos t_R$$

$$y_R = y_s + s_R \cdot \sin z_R \cdot \sin t_R$$

$$H_R = H_s + s_R \cdot \cos z_R$$

1.5 Reflektorlose Entfernungsmessung

- höhere Intensität des Sendesignals (Strecke)
- Messsignal wird vom Objekt reflektiert, nicht vom Reflektor
- Reichwert: $\leq 2km$
- Typische Genauigkeit: $3mm + 3ppm$
- Koaxiale Anordnung besetzt höchste Genauigkeit
- Problem der Punkt: identifikation
- Genauigkeit wird folglich auch von Oberflächen beschaffenheit und Aufttrittswinkel beeinflusst
- starke Parallelität zum Laserscanning