

Interferometrické měření pro průmyslové senzorové aplikace

Šimon Řeřucha

res@isibrno.cz



Kontext



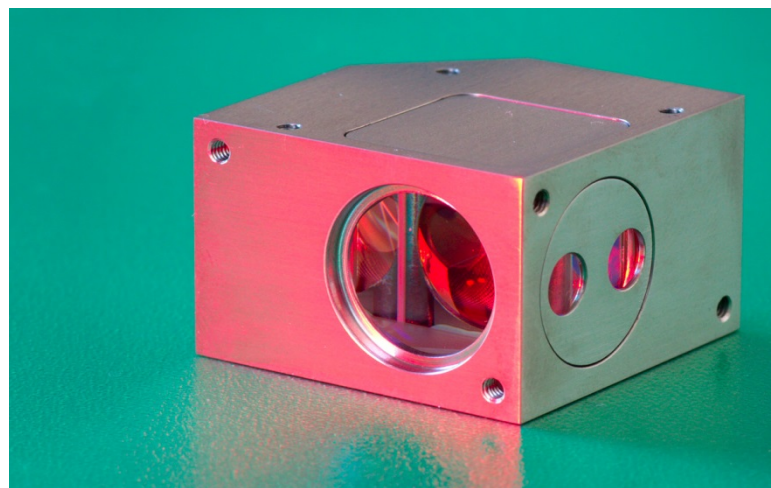
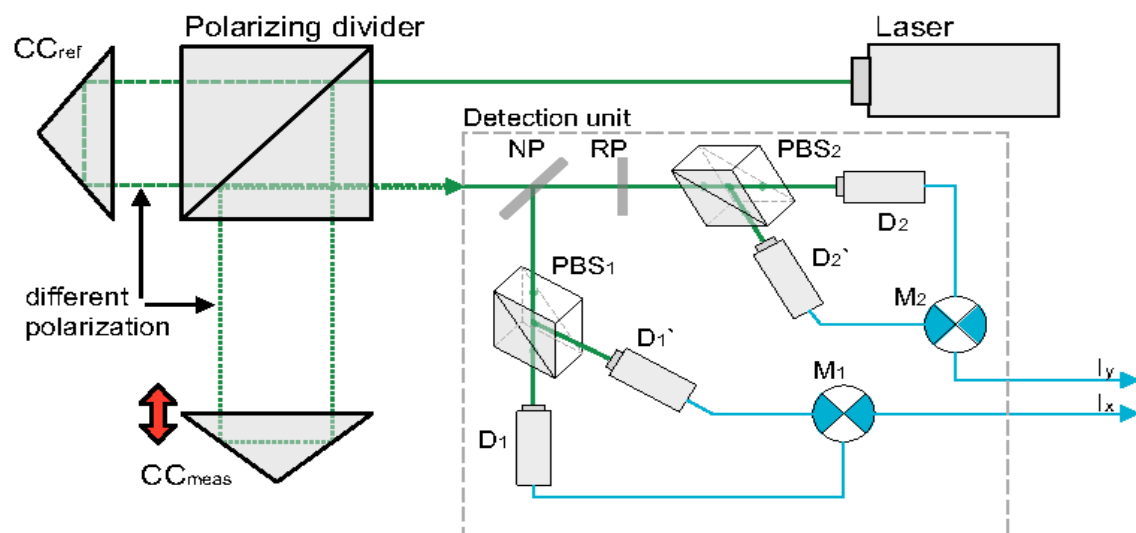
- Laserová interferometrie s homodynní detekcí je běžně používanou metodou pro odměřování vzdáleností,
- představuje principiálně jednu z nejpřesnějších metod,
- zároveň snadno použitelnou v oblasti aplikačních řešení

Výchozí metoda

Polarizační optika a detekční soustava umožňuje generovat v optické oblasti pár signálů v kvadratuře.

Tyto signály umožňují určit změnu vzdálenosti v rozlišení menším než 1 nm.

Použití má řadu úskalí: složitost a citlivost konstrukce, objem, cena, škálovatelnost.



Digitální harmonická detekce fáze

Cílem bylo navrhnout a otestovat „levnou“ metodu, nikoliv nejpřesnější.

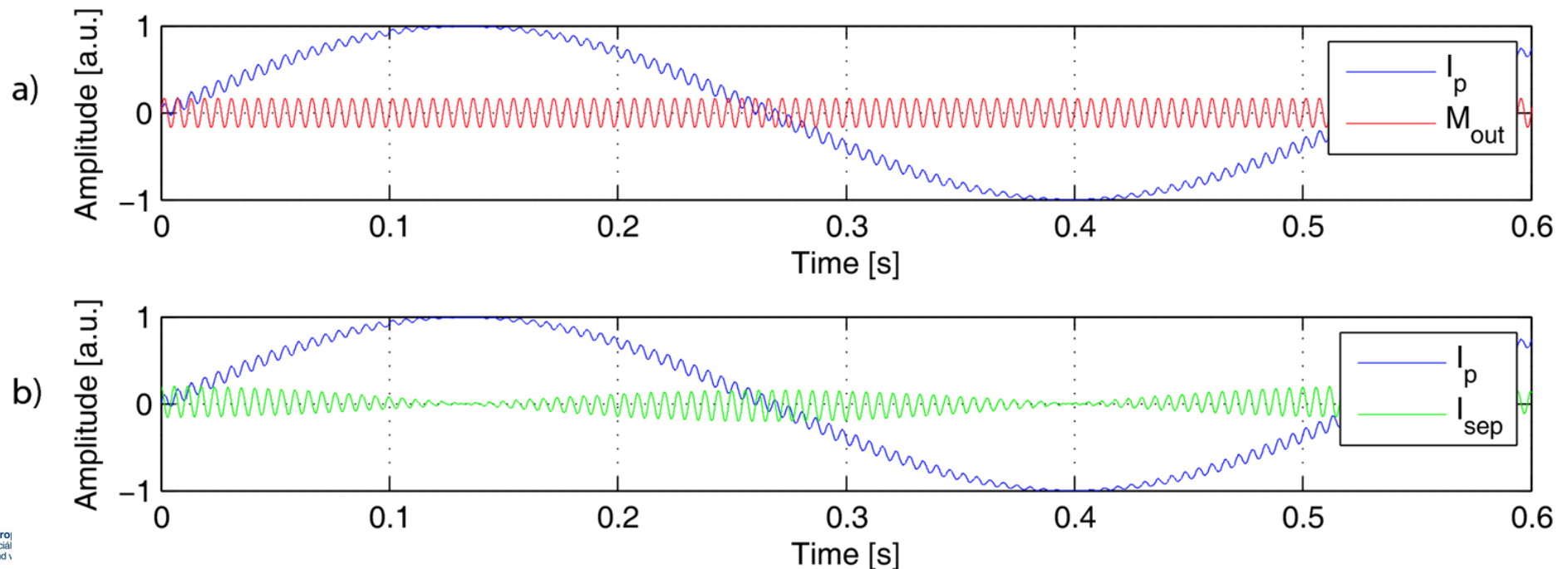
Hledali jsme detekční metodu, která:

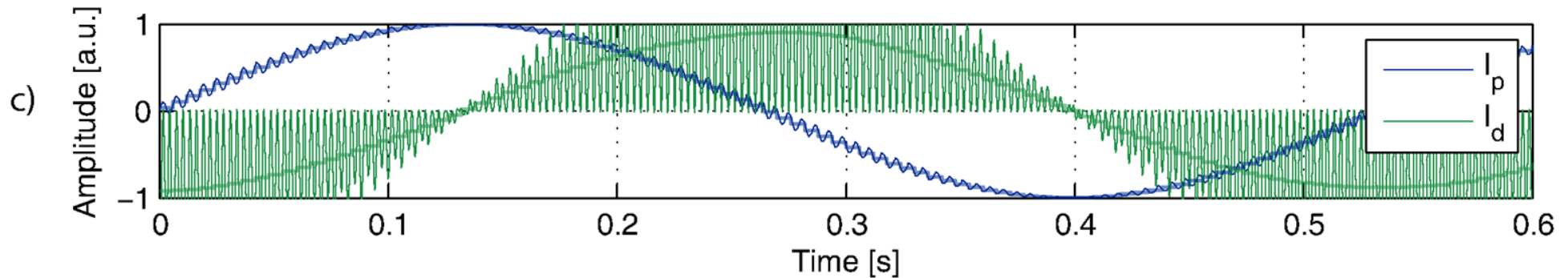
- bude principiálně podobná výchozí metodě,
- sníží nároky na optickou konstrukci
- bude dosahovat srovnatelné přesnosti.



Metoda

- využití frekvenčně modulovaného zdroje; modulace se nelineárně projeví na výstupu z interferometru
- střídavá složka oddělena numerickou diferencí





- střídavá složka je směřována s původním modulačním signálem
- původní interferenční signál i výstup ze směšovače je zprůměrován přes několik modulačních period a normalizován
- výsledkem dvojice signálů v kvadratuře, která umožňuje odečíst fázi s podobnou přesností jako u klasické metody

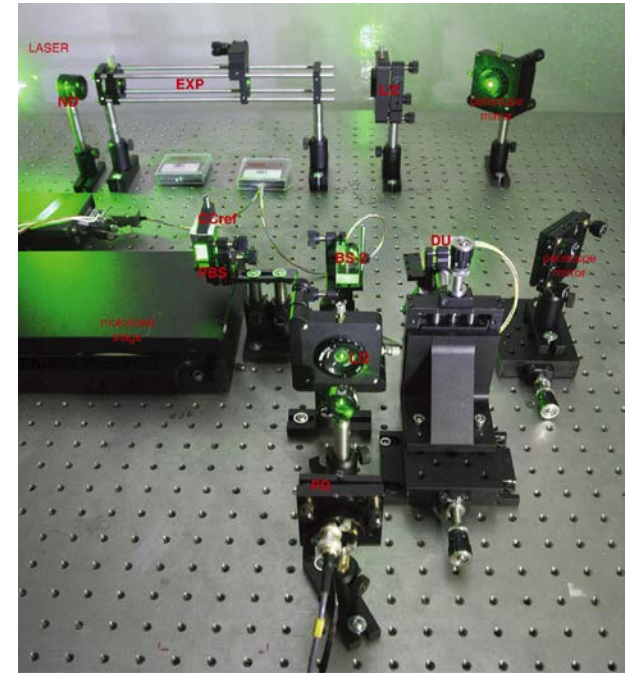
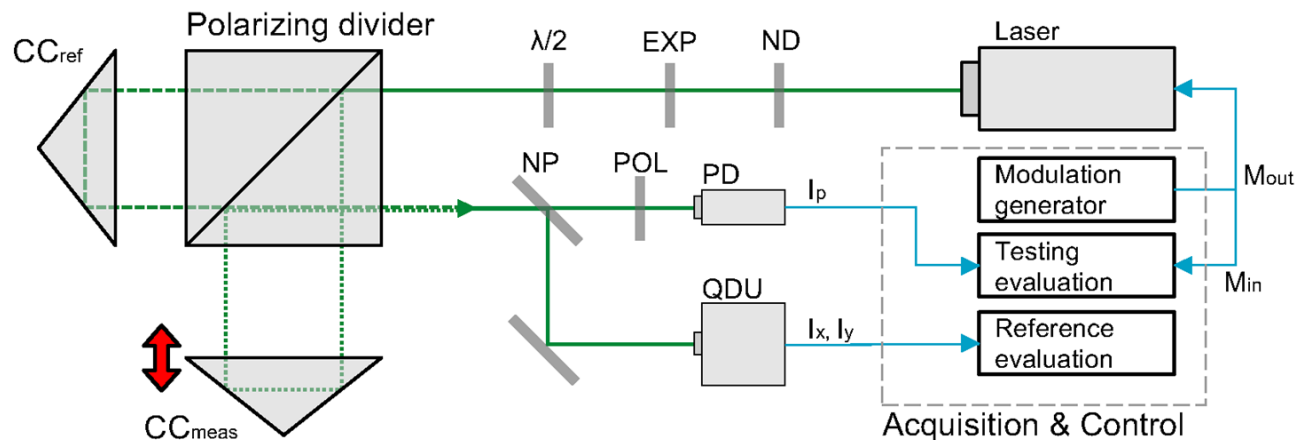
Vlastnosti

- optické vyhodnocení nahrazeno digitálním
- metoda nevyžaduje polarizační optiku a složitou detekční soustavu
 - výhodné i pro škálovatelnost, cenu
- nutnost frekvenční modulace laseru
 - problém se redukuje u víceosých systémů
 - vzniká problém s reziduální amplitudovou modulací
- šířka pásma omezena dostupnou šířkou pásma modulace zdroje
- šum lze efektivně potlačit oversamplováním

Souvislosti

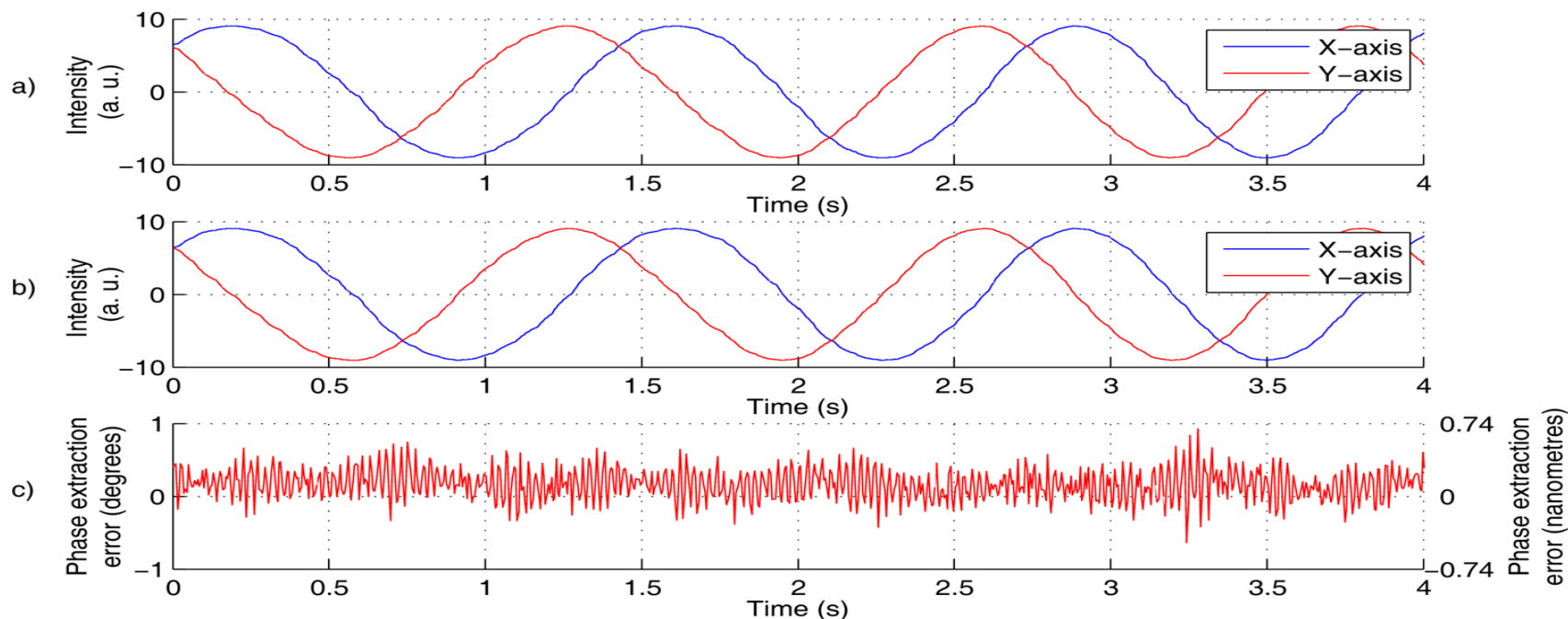
- celá metoda navržena jako série výpočetních kroků o nízké složitosti
 - někdy za cenu ztráty přesnosti
- metoda obsahuje „rychlé“ linearizační techniky pro korekci chyb
- navíc další korekční techniky pro kompenzaci jiných vlivů (RAM)
 - vhodné pro LD, modulované proudově
- dobrá škálovatelnost

Experimentální ověření



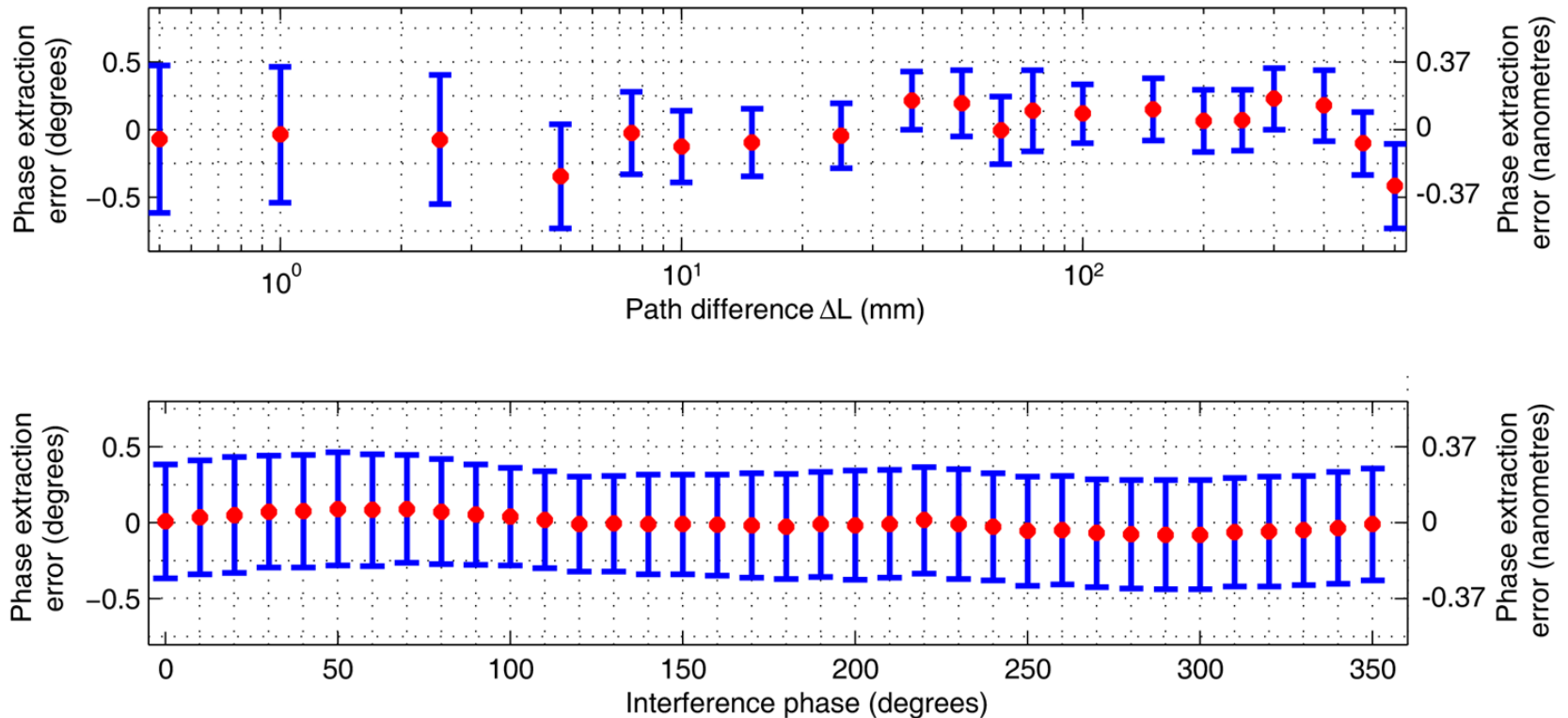
- Sestava optického interferometru s dvojí detekční metodou – srovnání oproti referenci
- Polarizační varianta interferometru pro referenci
- Měření ve vybraných bodech na dráze cca 60cm, v každém bodě měření na dráze několika μm .

Vyhodnocení



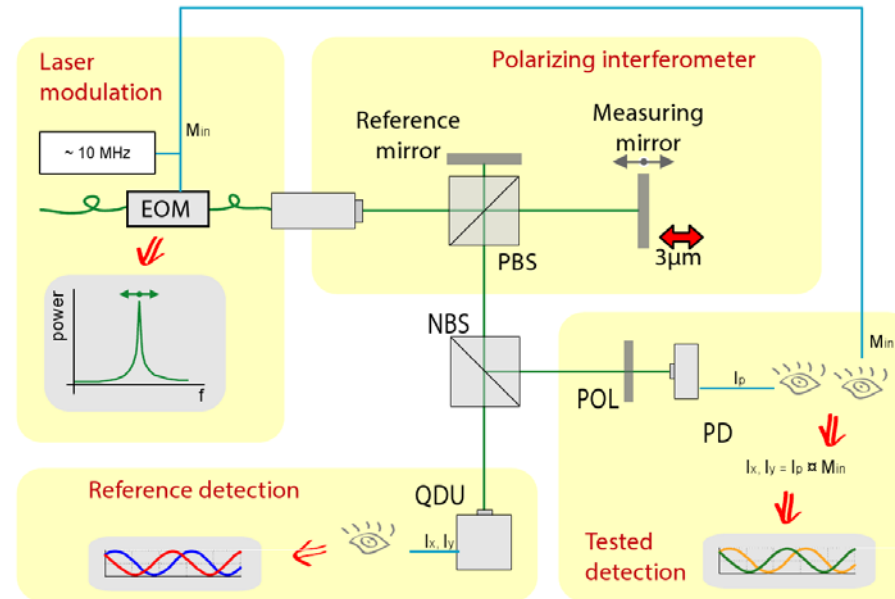
V každém z cca 60 měřicích cyklů byla vyhodnocena interferenční fáze oběma metodami a odečten rozdíl, následně přepočtený na vzdálenost.

Výsledky



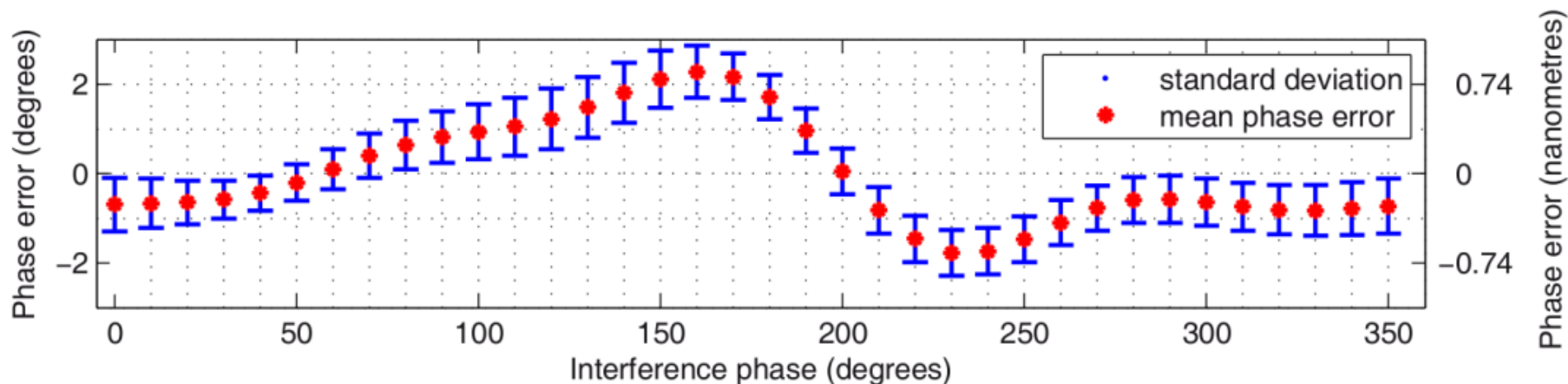
- periodická chyba: $\mu = 0.12$ nm, $\sigma = 0.32$ nm
- chyba v závislosti na vzdálenosti: $\mu = 0.31$ nm, $\sigma = 0.56$ nm

Testy s vysokou šířkou pásma



- Frekvenční modulace realizována pomocí elektro-optického modulátoru
- Harmonická změna fáze způsobí harmonickou změnu frekvence
- Cílová šířka pásma v řádu desítek MHz

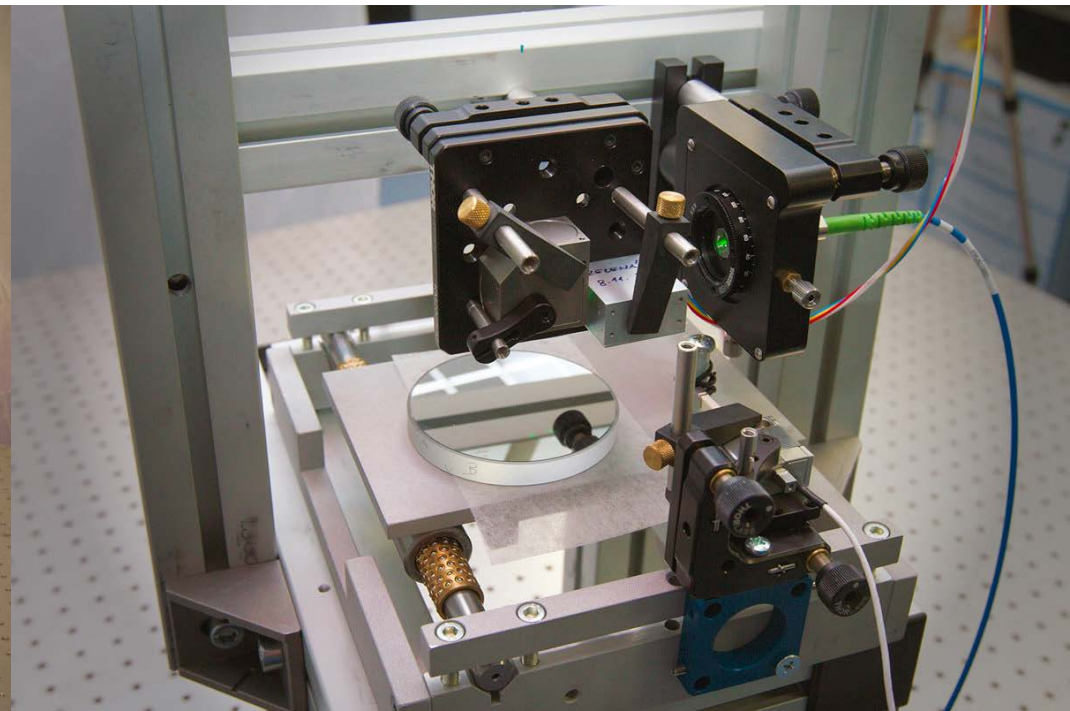
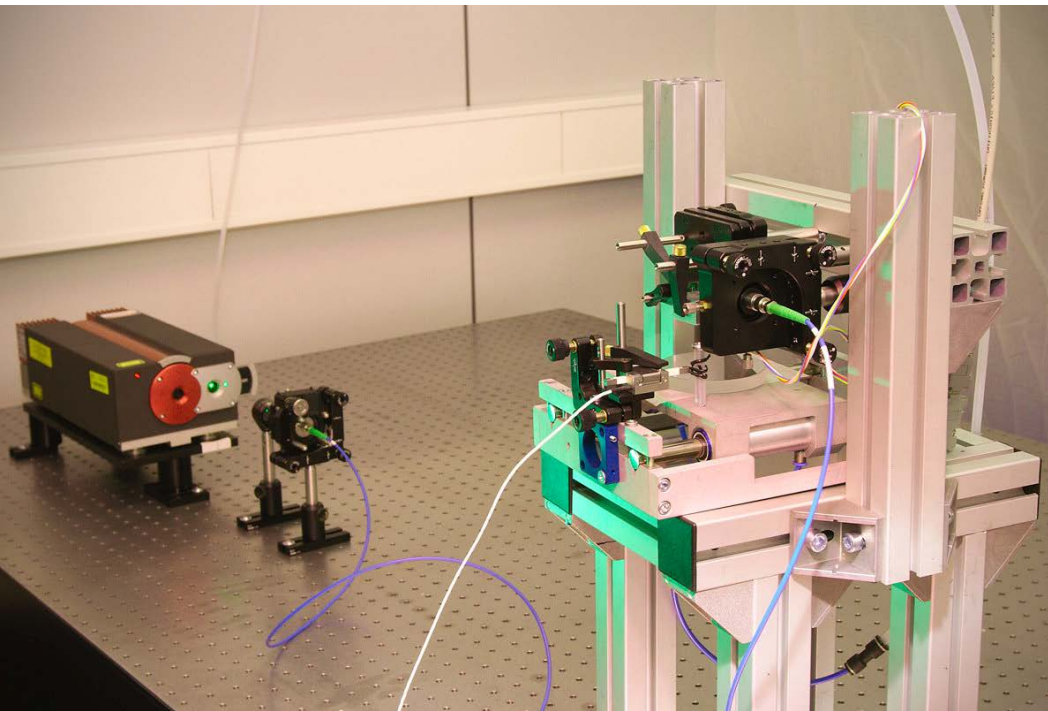
Testy s vysokou šířkou pásma



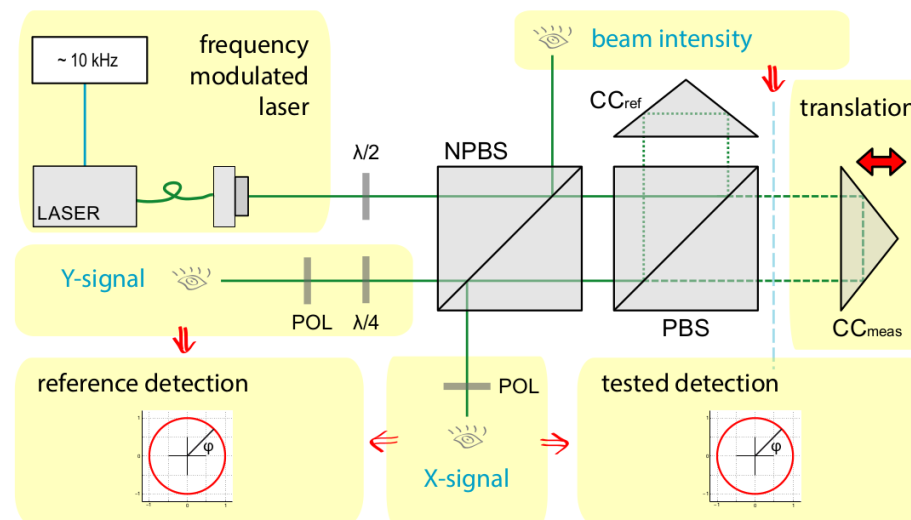
- Větší šířka pásma způsobuje větší nejistotu měření, zejména periodické chyby
- Celková shoda v řádu $\pm 2\text{nm}$ pro $\lambda = 532$

Aplikační testy

- Měření na nepolarizační optice s vláknovým přívodem
- Odměřování pro polohovací platformy

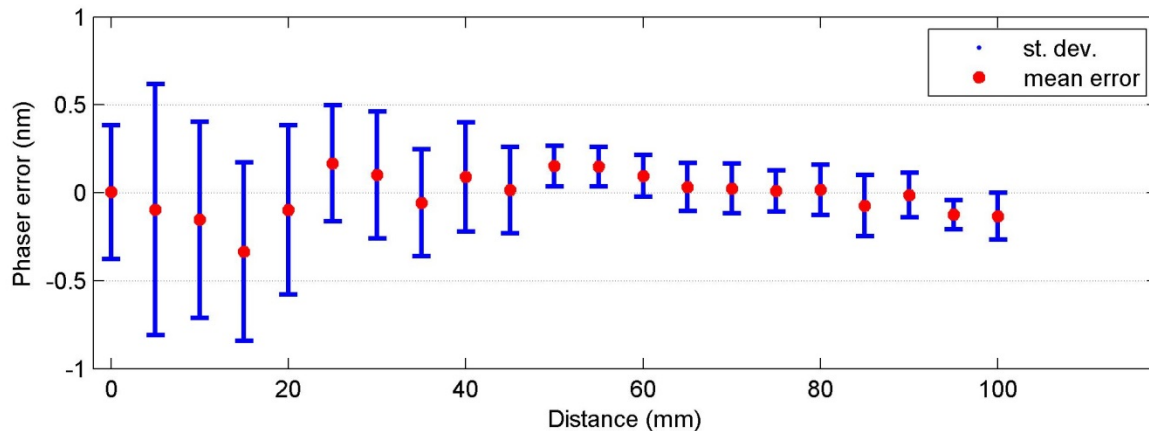
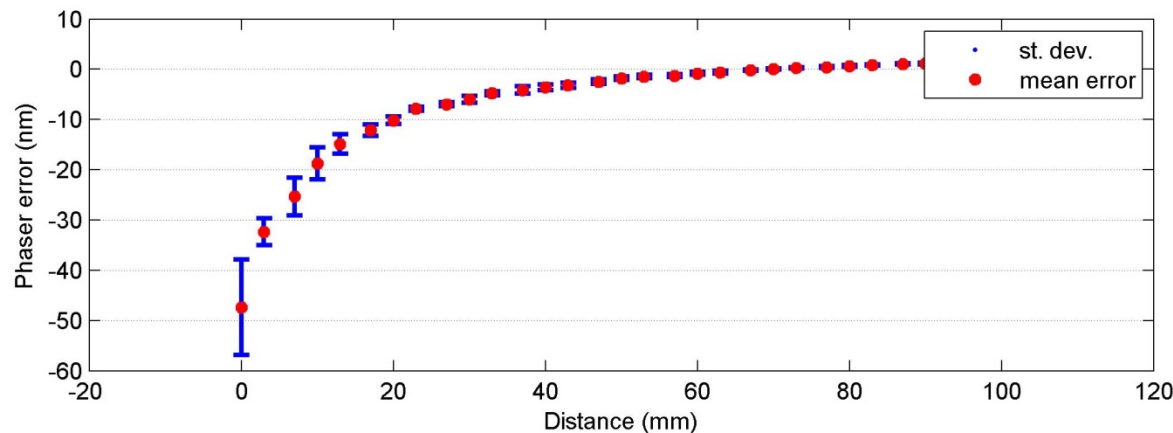


Využití DFB laserů



- Zdroje s dobrým poměrem cena/výkon
- Nominální vlnová délka 1550nm
- Porovnání s homodynní detekcí

Výsledky



- Navzdory delší vlnové délce dobrá linearita
- Shoda na úrovni 0.5nm
- Na dlouhé vzdálenosti drift vlivem reziduální amplitudové modulace, lze dobře kompenzovat

Děkuji za pozornost!

Otázky? Vítány!