

Dokument o produktu

Bezpečnost na prvním místě – algoritmy skutečně absolutního optického snímače RESOLUTE™ pro určování a kontrolu polohy

Tento dokument přehledně popisuje činnost absolutního snímače RESOLUTE a podrobně uvádí bezpečnostní aspekty jeho algoritmů pro určování a kontrolu polohy.

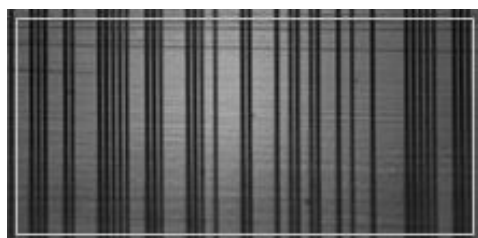
Úvod

Řada skutečně absolutních snímačů RESOLUTE pracuje způsobem, který se zásadně liší od činnosti běžných absolutních snímačů. Umožňuje vytvořit chybový příznak, který bude určitě nastaven v případě chybného výstupu polohy. Tím zajišťuje zvýšenou úroveň bezpečnosti pro koncové uživatele pohybových systémů za současného zjednodušení procesu konstrukce na straně jejich výrobců.

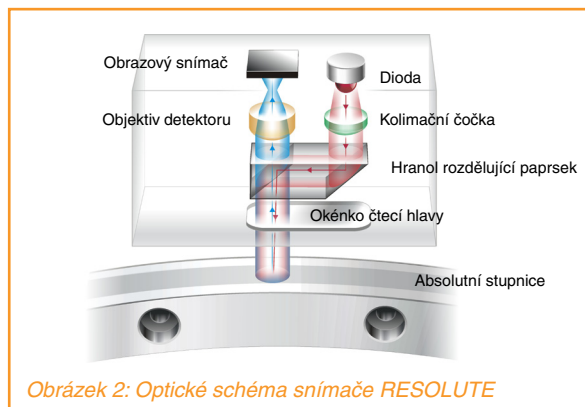
RESOLUTE počítá polohu na základě požadavku, zatímco tradiční absolutní snímače pracují nepřetržitě. Během provozu čtecí hlava přijímá řadu požadavkových signálů z hlavního řídicího systému. Po každém přijetí požadavku čtecí hlava určí polohu pomocí dvou nezávislých metod (jsou popsány dále v textu), jejichž princip je naprosto odlišný, takže odpadá riziko poruchy se společnou příčinou. Výsledné polohy jsou porovnány s cílem rozhodnout, zda nastavit příznak chyby, který se připojuje k poloze odeslané do řídicího systému. To znamená, že se řídicí systém může spolehnout na příznak chyby vyslaný čtecí hlavou. Není-li chybový příznak nastaven, potom výstup polohy je určitě správný.

Metoda výpočtu polohy

RESOLUTE je optický snímač, který používá měřicí stupnici obsahující tmavé čáry na světlém podkladu, viz obr. 1. Základní dílek stupnice představuje 30 μm , ale vybrané čáry jsou vynechány z důvodu snímání informací o absolutní poloze.



Obrázek 1: Snímek absolutní stupnice



Obrázek 2: Optické schéma snímače RESOLUTE

Když snímač přijme požadavek na polohu, zachytí přesně načasovaný snímek úseku stupnice. Světelná dioda (LED) a elektronická závěrka na obrazovém snímači, viz obr. 2, jsou napájeny po dobu asi 100 ns. Výsledkem je obrázek, který je načasovaný v rozmezí ± 20 ns a nevykazuje neurčitost pohybu. Snímek je potom přenesen do digitálního signálního procesoru (DSP) umístěného v čtecí hlavě a poloha je vypočtena za použití dvou samostatných algoritmů:

Algoritmus 1 vypočítá polohu dekodováním jediného snímku bez použití informací o předchozích polohách. První etapa procesu zahrnuje výpočet fáze snímku. Tato etapa je podobná etapě prováděné přírůstkovými snímači. Výsledkem je odpověď, která představuje zlomek základního dílku stupnice, tj. hodnota v rozmezí 0 až 30 μm , s rozlišením lepším než 1 nm. Každý snímek stupnice přesahuje asi 2 mm ve směru měření. Stupnice je navržena tak, aby jakýkoli snímek obsahoval dostatečný počet tmavých čar pro přesný výpočet fáze. Tento výpočet fáze definuje přesnost na krátkou vzdálenost, rozlišení a úroveň šumu snímače.

Informace o fázi slouží k určení středu každé potenciální čáry na stupnici. V každém z těchto míst je na snímku provedena korelace s cílem určit, zda existuje či neexistuje tmavá čára. Výsledkem je 65bitové dvojkové číslo, které odpovídá struktuře stupnice přímo pod čtecí hlavou. K určení

Jedinečné polohy stačí pouhá čtvrtina těchto bitů. Zbývající bity poskytují nadbytečné informace, takže správnou polohu lze zjistit, i když je část stupnice nezřetelná. K převedení posloupnosti bitů na hrubou absolutní polohu čtecí hlavy je použit algoritmus pro detekci a opravu chyb. Úplná poloha dle algoritmu 1 je vytvořena spojením hrubé polohy (celkový počet dílků stupnice) s informacemi o fázi.

Algoritmus 2 počítá polohu pomocí lineární extrapolace ze dvou posledních odečtů předchozí polohy. Proto předpokládá, že rychlost snímače od předchozího odečtu je stejná jako rychlost naměřená mezi dvěma předchozími polohami. Chyba tohoto výpočtu je určena dobou mezi po sobě následujícími odečty, přesností předchozích odečtů, neurčitostmi časování a relativním zrychlením čtecí hlavy a stupnice. V případě typického systému, který vyžaduje určení polohy každých 62,5 μs s max. zrychlením mezi čtecí hlavou a stupnicí 100 m/s^2 (10 g), bude mít max. chyba algoritmu 2 hodnotu $\pm 1,2 \mu\text{m}$. Čtecí hlava zajistí, že mezi snímky nebude nikdy interval větší než 75 μs , tím, že mezi požadavky pořídí podle potřeby další snímky.

Porovnání poloh

Jakmile jsou vypočteny dvě polohy, snímač rozhodne, která poloha bude výstupní a zda nastaví příznak chyby. Fázeová část algoritmu 1 je velmi robustní. Je-li stupnice znečištěna, potom informace o fázi budou více rušeny a mohou být deformovány. Nicméně i za mimořádných okolností bude chyba polohy způsobená tímto znečištěním menší než jeden mikrometr. Informace o fázi budou v případě značného znečištění stále spolehlivé, ale schopnost napravit chybu výpočtu hrubé polohy nemusí postačovat ke správnému dekodování absolutní polohy.

Poloha vypočtená algoritmem 2 poskytuje pevnou hrubou polohu, protože pouze extrémní zrychlení ($> 2000 \text{ m/s}^2$) je schopno vyvolat chybu dostatečně velkou, aby změnila hrubou polohu. Avšak jemná poloha (fáze) vypočtená algoritmem 2 není moc přesná s ohledem na předpoklad konstantní rychlosti.

Za provozu, pokud hrubé polohy vypočtené pomocí dvou algoritmů souhlasí, což je rovnocenné úplným polohám ve vzájemném rozmezí $\pm 15 \mu\text{m}$ (polovina dílku stupnice), potom čtecí hlava poskytuje jako výstup tuto hrubou polohu spolu s fází dle algoritmu 1. Současně je vnitřní počítadlo vynulováno. Jeho význam se stane zřejmým v příhodný okamžik. Jestliže hrubé polohy nesouhlasí, potom čtecí hlava poskytne fázi z algoritmu 1 spolu s hrubou polohou z algoritmu 2, a také zvýší stav interního počítadla. Jestliže hodnota vnitřního počítadla překročí číslo čtyři, potom čtecí hlava nastaví příznak chyby, protože již není jisté, že výstup polohy je správný. V tomto okamžiku je vhodné prozkoumat několik příkladů příčin nastavení příznaku chyby:

Příklad 1

Předpokládejme, že čtecí hlava přejíždí nad oblastí znečištění, které přesahuje schopnost kódu stupnice napravit chybu. Výsledkem bude nesprávná hrubá poloha z algoritmu 1. Bude však mít správnou fázi, i když se submikronovou nepřesností způsobenou znečištěním. Čtecí hlava interně zaznamená neshodu mezi hrubými polohami (zvýšením stavu počítadla) a vydá správnou hrubou polohu dle algoritmu 2 spolu se správnou fází dle algoritmu 1. Jestliže čtecí hlava nezjistí správnou hrubou polohu dle algoritmu 1 na základě pěti po sobě jdoucích snímků, potom nastaví chybový příznak na znamení, že si již není jistá polohou. Jestliže algoritmus 1 správně zjistí hrubou polohu na základě čtyř nebo méně snímků, potom je počítadlo vynulováno a vydávání polohy pokračuje jako dříve.

Příklad 2

Předpokládejme, že čtecí hlava pracuje normálně a že na ní následně působí zrychlení přibližně 10 000 m/s^2 , které odpovídá zpomalení z rychlosti 2 m/s do klidu na vzdálenosti 100 μm , což může být způsobeno nárazem stroje do pevné koncové zářky. V tomto případě bude poloha dle algoritmu 1 vždy správná, zatímco poloha dle algoritmu 2 bude zaostávat za správnou polohou maximálně o několik dílků stupnice. Čtecí hlava bude (nesprávně) předpokládat, že hrubá poloha dle algoritmu 2 je správná a vydá tuto polohu spolu se správnou fází dle algoritmu 1. Od tohoto okamžiku se hrubé polohy dle obou algoritmů budou vždy lišit. Čtecí hlava vypočítá pět poloh, které mírně zaostávají za skutečnou polohou před nastavením příznaku chyby.

Příklad 3

Pro účel tohoto příkladu předpokládejme, že oba algoritmy současně selhaly. Vezměme nepravděpodobnou situaci, kdy ionizační záření poškodí paměťovou oblast procesoru čtecí hlavy tak, že polohy dle obou algoritmů jsou znehodnoceny. Protože se oba algoritmy liší způsobem výpočtu polohy, je nemyšlitelné, aby byly poškozeny tak, že vytvoří stejnou nesprávnou odpověď. Čtecí hlava proto zjistí, že se hrubé polohy liší, zvýší stav svého počítadla a vydá nesprávnou polohu vytvořenou z hrubé části algoritmu 2 a z fáze algoritmu 1. Protože algoritmus 2 vychází z předchozích odečtených hodnot, bude jeho odpověď od tohoto okamžiku vždy nesprávná. Proto, i když algoritmus 1 vytvoří správnou odpověď, bude čtecí hlava po vypočtení pěti nesprávných poloh stále nastavovat příznak chyby.

Odezva příznaku chyby

Předchozí příklady ukázaly, že čtecí hlava je schopna před nastavením příznaku chyby vydat až pět nesprávných poloh. V případě systému, který vyžaduje polohu každých 62,5 μs ,

je čas mezi vydáním první nesprávné polohy a vyvoláním chyby 313 μ s. V případě pomalejších systémů, vyžadujících polohu v intervalech 500 μ s, bude tento čas roven 500 μ s, protože čtecí hlava zpracuje šest dalších snímků mezi každou dvojicí požadavků, aby bylo zaručeno, že doba mezi snímky nebude nikdy delší než 75 μ s. V obou těchto případech je doba mezi vydáním nesprávné polohy a vyvoláním příznaku chyby dostatečně krátká na to, aby mohla být v reakci na příznak chyby podniknuta odpovídající akce dříve, než nesprávná data ovlivní řídicí systém.

Na obrázcích 3 a 4 najdete příklady znečištění stupnice, které stále umožňuje určení fáze, ale zpravidla nedovoluje extrahování absolutního kódu. V takových případech popsané mechanismy buď uspějí se zachováním polohy, nebo budou naopak varovat nastavením příznaku chyby.

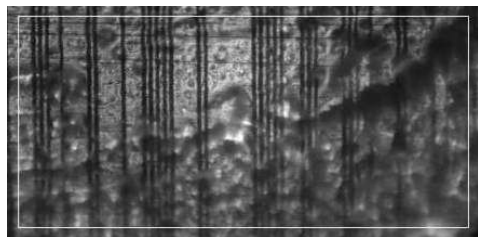
Zapnutí systému

Dosud platil předpoklad, že vždy existuje dostatek historických dat, aby algoritmus 2 mohl extrapolovat polohu. Tato situace se však nevyskytuje bezprostředně po zapnutí čtecí hlavy, protože neexistuje extrapolovaná poloha, kterou by bylo možné porovnat s polohou odečtenou ze stupnice. V této situaci se používají dvě metody, které zvyšují důvěryhodnost polohy čtecí hlavy vzhledem ke stupnici.

Zprvce, čtecí hlava automaticky nastaví příznak chyby, je-li kontrast snímku nepřijatelný. Zadruhé, přípustný rozsah korekce chyb je omezen. Protože kód stupnice používá



Obrázek 3: Znečištění částicemi zastiňuje velké oblasti stupnice, lze však stále určit informace o fázi



Obrázek 4: Znečištění mazivem způsobuje úplný rozptyl světla, informace o fázi jsou však narušeny jen minimálně

nadbytečná data k zajištění odlišnosti velkého počtu bitů mezi platnými posloupnostmi, toto omezení opravitelných bitů podstatně snižuje riziko, že jedna posloupnost bitů může být nesprávně dekódována jako nesprávná poloha. Tato dvě omezení znamenají mírný pokles odolnosti čtecí hlavy vůči znečištění během zapnutí. Tento nedostatek je však vyvážen tím, že čtecí hlava pořizuje během spuštění velký počet snímků, takže šum neomezí její schopnost určovat polohu.

Kromě toho je kód stupnice navržen tak, že za velmi nepravděpodobné situace, kdy čtecí hlava nezjistí při zapnutí nesprávnou polohu, bude nesrovnalost zjištěna během pohybu v délce 500 μ m. V tomto případě bude nastaven příznak chyby.

CRC

Jakmile čtecí hlava vypočítá signály polohy a chyby, je vypočtena cyklická redundantní kontrola (CRC) a připojena k datům před přenosem do hlavní řídicí jednotky. Přenos probíhá metodou diferenciální signalizace kabelem s dvojitým stíněním. Po přijetí dat lze znovu vypočítat CRC a porovnat s přenesenou hodnotou. Rozdíl těchto hodnot naznačuje, že data byla během přenosu porušena. Tím je zajištěno zjištění jakéhokoli poškození signálů polohy nebo chyby. Další předností použití sériových protokolů místo tradičních kvadrantních systémů je skutečnost, že každý přenos je nezávislý, takže chyby přenosu se nescítají. To spolu s jedinečnou funkcí snímače RESOLUTE přináší uživatelům rozhodující bezpečnostní výhodu, protože nemůže dojít k chybnému výpočtu, kolísání polohy nebo „ujetí“ impulsů.

Závěry

Kromě poskytování vynikající metrologie během běžného provozu je konstrukce snímače RESOLUTE speciálně optimalizována pro zjištění spolehlivého výstupu polohy navzdory poruchovým podmínkám nebo neobvyklému provozu. Konstrukteři systémů mohou věřit snímači RESOLUTE, že oznámí pravou polohu nebo označí příznakem opak. Uživatelé jsou chráněni před nekontrolovanými pohyby a riziky havárie, což zvyšuje výnosy a výrobní kapacitu, a to nejdůležitější – bezpečnost.

www.renishaw.cz