

Kinematika podvozku s kulovými elementy

B. Lacko*

Summary: *On the Conference EM2006 the author represented the new concept of two undercarriages with ball elements. The odometry and kinematics for undercarriage patent № 15960 is described at this article. Simplicity of undercarrage control is shown.*

1. Úvod

Ústav automatizace a informatiky Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně se dlouhodobě zabývá výzkumem a vývojem všesměrových podvozků, zejména z hlediska využití pro mobilní roboty.

První konstrukce využívaly vícesměrová kola (Ošmera, P., 1998), další řešení se zaměřila na systémy kráčejících pohybových soustav (Ondroušek, V.; Březina, T., 2005). Oba typy podvozků vykazovaly dobré pohybové vlastnosti, ale byly konstrukčně dosti složité a vyžadovaly komplikovaný řídicí systém. Např. řízení tříkolového podvozku s vícesměrovými koly vyžaduje dosti komplikované výpočty pro řízení otáčení každého ze tří kol (Soukup, K., 2004).

Autor na konferenci IM 2006 představil dva nové návrhy podvozků využívajících kulových elementů. Jejich cílem bylo vyřešit podvozky tak, aby k jejich řízení bylo možno použít poměrně jednoduchý řídicí systém (Lacko, B. 2006). K řízení současných robotických systémů je možno dnes použít dostupných výkonných mikroprocesorů (Pavlovkin, J., 1999), přesto, pokud je řízení podvozku poměrně jednoduché, lze lépe stanovit optimální trajektorie mobilních robotů (Pavlovkin, J., Jurišica, L., 2005).

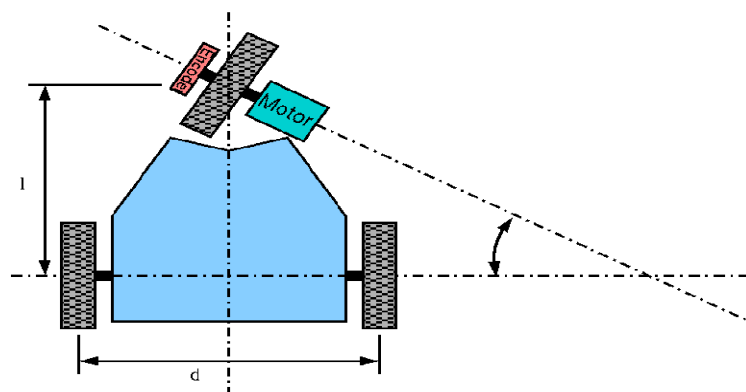
Příspěvek popisuje kinematiku všesměrového podvozku, který využívá kuličkové elementy k jeho pohonu (Lacko, B., 2005) a ukazuje, že k jeho řízení lze použít poměrně jednoduchý řídicí systém.

2. Řízení vícesměrového podvozku se třemi poháněnými kulovými elementy

Je potřeba si uvědomit výhody vícesměrových podvozků, které zajišťují možnost pohybu robota z daného místa okamžitě kterýmkoli směrem na rozdíl od běžných kolových, pásových a jiných podvozků. U nich je nevýhodné, že dosažení určitého místa z výchozí pozice musí být často provedeno určitým manévrem. Ovládání traktorie pohybu a řízení odometrie je proto někdy v těchto případech dosti komplikované (Winkler, Zb., 2005).

* Doc.Ing. Branislav LACKO, CSc., Ústav automatizace a informatiky, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně; Technická 2896/2; 616 69 BRNO; tel.: +420.541 142 206, e-mail: lacko@fme.vutbr.cz

Autor Winkler [3] uvádí odometrii pro tříkolový podvozek s předním řízeným kolem:

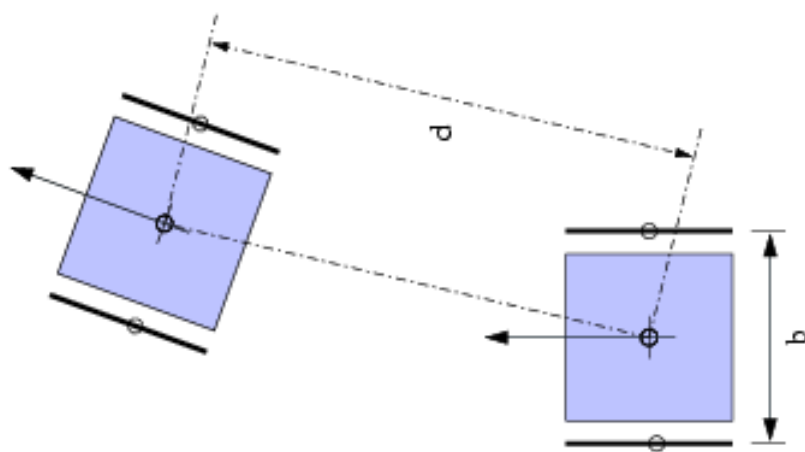


Obr. 1 Tříkolový podvozek podle Winklera [3]

Manévrovací schopnost podvozku závisí, na dvou parametrech: jednak je to vzdálenost mezi osami L (čím kratší tím se snáze zatáčí) a dále jsou to limitní úhly natočení předního kola. Tyto úhly jsou většinou menší než 90° a podvozek se tedy nemůže otočit na místě.

Čtyřkolové podvozky nejsou pro mobilní roboty příliš často používány s ohledem na skutečnost, že pokud chceme zamezit prokluzu kol na hnané nápravě, musíme použít diferenciálu. Existují podvozky s nezávislým řízením natáčení všech čtyř kol, které však vyžadují náročnější synchronizaci pohybu kol řídicím systémem. Ani čtyřkolový podvozek se však není schopen otočit na místě.

Mnoho současných mobilních robotů využívá dvoukolového podvozku, který se řídí nezávislým pohybem každého kola, obdobně jako pásové podvozky se dvěma nezávisle poháněnými pásy po stranách podvozku.

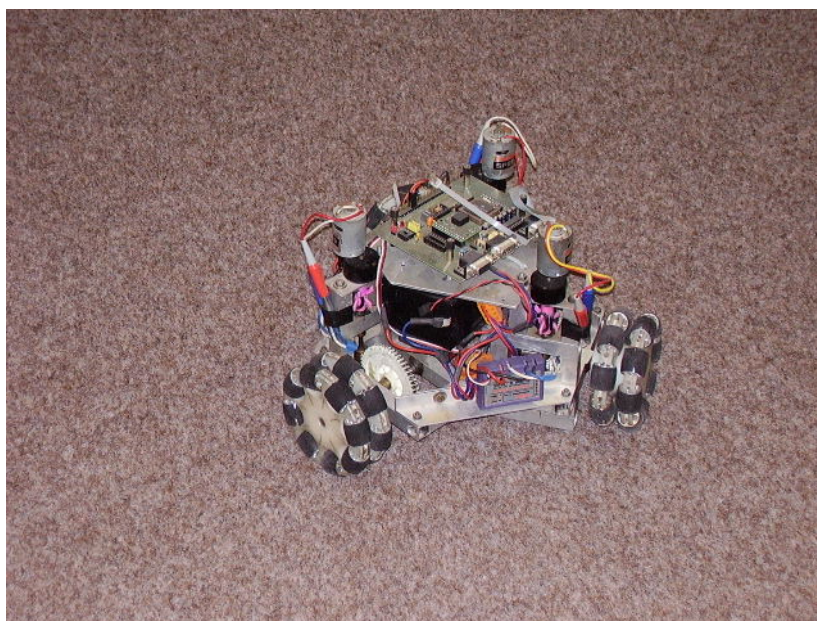


Obr. 2 Pohyb dvoukolového podvozku (viz [3])

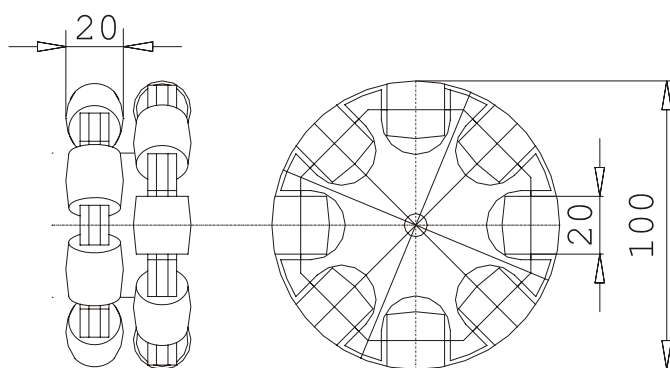
Jak upozorňuje autor ve svém příspěvku o odometrii [3], natočení robota závisí pouze na rozdílu celkové ujeté vzdálenosti pravého a levého kolečka a nikoliv na průběhu jednotlivých změn. K výpočtu směru tedy stačí i jednoduchý čítač, který lze snadno realizovat i v jednočipovém mikroprocesoru a není potřeba vypočítávat složité např. goniometrické

funkce. Výhodou dvukolového podvozku je, že ho lze při zablokování jednoho kola otočit na místě se středem otáčení v bodě dotyku zablokovaného kola. To je však spojeno se třením zablokovaného kola (resp. pásu) o pohyblivou se plochu, což může někdy působit potíže.

Všesměrové podvozky splňují koncept *holonomicity* (Winkler, Zb., 2005). Vozidlo je *holonomní* pokud počet stupňů volnosti rychlostí odpovídá počtu stupňů volnosti pozice, proto může měnit svoji rychlost nezávisle ve všech směrech. Vznášedlo je příkladem *holonomního* vozidla. Všesměrové odvozeky (angl. *omnidirectional drives*) jsou tedy vlastně speciálním případem tohoto konceptu. Kromě zmíněného vznášedla jsou takovými podvozky dále tříkolové podvozky se všesměrovými koly a koule.



Obr. 3 Tříkolový podvozek se všesměrovými koly doc. Ošmery



Obr. 4 Schéma všesměrového kola podle průmyslového vzoru č. 7671

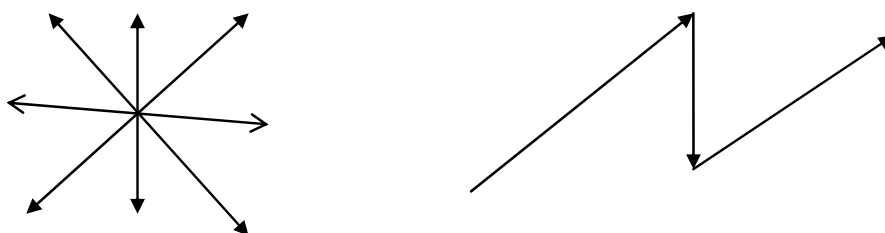
Podvozek využívá průmyslového vzoru doc. Ošmery (1998). Popis problematiky řízení uvedeného podvozku se třemi všesměrovými koly byl proveden ing. Soukupem v jeho disertační práci (Soukup, K., 2004). Základním problémem je vypočítat velikost pohybových vek-

torů pro všechny tři kola tak, aby jejich složením vznikl vektor výsledného pohybu žadáním směrem a příslušné hodnoty rychlosti pohybu. K řešení úkolu je potřeba provést řadu složitých výpočtů s využitím goniometrických funkcí (viz též článek Winkler, Zb. 2005).

Jen pro úplnost připomeňme, že do kategorie všesměrových mobilních robotů patří i koule, kdy systémy robota - hnací, řídicí a další, jsou umístěny uvnitř koule. Pohon koule je řešen buď kinematickým mechanismem uvnitř koule, který mění těžiště koule např. robot ROTUNDUS z univerzity v Uppsale (viz www.rotundus.se) nebo umístěním kolového podvozku dovnitř koule (německý patent DE 198 09 168 sférického kolového podvozku uvnitř koule nebo užitný vzor 15951 (Lacko, B., Ošmera, P., Holý, M., 2008) s využitím všesměrového tříkolového podvozku uvnitř koule). Nicméně tato zařízení nebývají řazena do kategorie typických robotických podvozků.

Jak bylo na začátku příspěvku uvedeno, motivací pro vývoj nového typu všesměrového podvozku bylo: vyhnout se složité výrobě všesměrových kol a umožnit jednoduchou konstrukci řídicího systému.

Vlastní řešení podvozku s kuličkovými elementy umožňuje jednak pohyb jakýmkoliv směrem z místa, kde se podvozek nachází. Podvozek se může pohybovat i po dráze, jejíž trajektorie obsahuje lomené křivky.



Obr. 5 Možné trajektorie pohybu všesměrového podvozku

Konstrukce podvozku podle užitého vzoru č. 15 950 z roku 2005 (Lacko, B.) umožňuje postavit řídicí systém, který ovládá poměrně jednoduše jednak otáčení stejnosměrného motoru – rychlost otáčení a směr otáčení, a dále otáčky krokového motoru. Jak vyplývá z konstrukce (viz příloha č. 1 podle Kol. autorů, 2008), před spuštěním obou motorů je vyžadováno zapnutí resp. vypnutí přitahového elektromagnetu, který umožňuje nezávislé natočení skříně pohybového pásu. Kinematika celého podvozku je velmi jednoduchá a proto řídicí algoritmy nejsou složité a řízení odometrie podvozku není nijak komplikované.

Hlavní pohyb je vyvozen působením hnacího pásu na kuličky v základové desce podvozkové skříně. Pohyb hnacího pásu vyvozuje přímo poháněný válcový hřídel, na jehož ose je nasazen stejnosměrný elektromotor schopný reverzního pohybu. Označíme-li:

- v_{ph} obvodovou rychlost poháněcího hřídele
- v_{pp} rychlost poháněcího pásu
- v_{ke} obvodovou rychlost hnacího kuličkového elementu
- v_{vp} rychlost všesměrového podvozku ,

pak ze schematu konstrukce vyplývá, že tyto rychlosti jsou stejné, pokud nedochází k prokluzu:

$$V_{ph} = V_{pp} = V_{ke} = V_{vp} \quad (1)$$

Obvodová rychlost poháněcího hřídele je dána otáčkami elektromotoru (n_{ph}) a průměrem hřídele (D_{ph})

$$V_{ph} = n_{ph} * D_{ph} \quad (2)$$

Směr pohybu je dán natočením skříně hnacího pásu, která je kolem své osy otáčena přímo v ose umístěným krokovým motorem.

Na vyšší úrovni řízení je pouze řešeno dosažení pořadovaného směru pohybu s natočením skříně hnacího pásu do příslušného směru:

$$\text{směr vektoru podélné osy skříně hnacího pásu} = \text{směru vektoru požadovaného pohybu} \quad (3)$$

Právě pro řízení na vyšší úrovni, které by zahrnovalo zpětnou vazbu k řízení prostřednictvím identifikace polohy robota, jsou v rámci dalšího vývoje hledány nejvýhodnější technické prostředky a způsob celkového řešení.

3. Závěr

Určitou nevýhodou konstrukce podvozku s kuličkovými elementy je skutečnost, že průměr kuličkových elementů vyžaduje poměrně velmi rovnou, hladkou plochu, po které se má podvozek pohybovat. Existuje však řada aplikací, kde tento požadavek není překážkou (skladové hospodářství, vnitrofiremní doprava v elektrotechnickém průmyslu, v přesném strojírenství, nebo v automobilové a letecké výrobě apod.).

Lze předpokládat, že vícesměrové podvozky budou mít využití zejména v případech, kdy bude potřeba řešit společnou spolupráci více inteligentních robotů současně. V takovém případě je velmi výhodné, když jednotlivé mobilní roboty se mohou snadno pohybovat jakýmkoliv potřebným směrem bez nutnosti nějakých složitých, přípravných manévrovacích akcí. Pro hromadnou výrobu takových robotů by bylo jistě požadováno, aby výrobní náklady byly nízké a aby bylo možno použít levného řídicího systému.

Samozřejmě lze všesměrových podvozků využít i případech, kdy potřebujeme podvozek pro dopravní prostředky, kdy se vyžaduje pohyb po velmi složitých trajektoriích, které obsahují i dráhu s lomenými křivkami.

4. Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 0021630529 „Inteligentní systémy v automatizaci“ MŠMT ČR.

5. Literatura

Lacko, B. (2006) *Využití kuličkových elementů ve vícesměrových podvozcích mobilních robotů*, in: Sborník konference Inženýrská mechanika 2006. Akademie věd ČR – Ústav pro teoretickou a aplikovanou mechaniku Praha, str. 214-215, (na CD –ROM referát 104) ISBN 80-86246-27-2.

- Lacko, B. (2005) *Užitný vzor č. 15 950 „Všesměrový podvozek se třemi poháněnými kulovými elementy“*. Úřad průmyslového vlastnictví ČR, Praha 2005.
- Winkler, Zb.(2005): *Odometrie*, Dostupné on line: <http://robotika.cz/guide/odometry/cs>
- Soukup, K. (2004) *Řízení všesměrového podvozku mobilního robota*. Disertační práce Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně.
- Pavlovkin, J. (1999): *Riadenie robotických systémov*. In: Zborník Acta Universitas Matthae Belii, Ser.: Technická výchova No 2 (1999). Banská Bystrica: UMB FPV, s. 78-92, 1999. ISBN 80-8055-336-X.
- Ošmera, P. (1998) *Podvozek s třemi všesměrovými koly*. Průmyslový vzor č. 7671. Úřad průmyslového vlastnictví Praha 1998.
- Pavlovkin, J., Jurišica, L. (2005): *Optimálne trajektórie mobilného robota*. Bratislava: AT&P Journal, roč. XII, číslo 2/2005, s. 90-91. ISSN 1335-2237.
- Ondroušek, V.; Březina, T.: *Design of Coordination Mechanism of Walking Robot Gait Controllers*, Engineering Mechanics 2005, pp. 61-62, ISBN 80-85918-93-5, (2005).
- Lacko, B., Ošmera, P., Holý, M.: *Vnitřní hnací jednotka koule*. Užitný vzor č. 18635 ze dne 9.6.2008. Úřad průmyslového vlastnictví Praha.
- Kol. autorů: *Všesměrový podvozek ALLRIDGE 1*. Seminární práce studentů Ústavu konstruování Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, 2008.

Příloha č. 1 Schematický náčrt konstrukce podvozku se kulovými elementy

