

Prof. dr hab. inż. Jacek Chróścielewski
Katedra Mechaniki Budowli i Mostów
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk

tel.: (0-58) 347-22-03
e-mail: jchrost@pg.gda.pl
fax.: (0-58) 347-16-70

Gdańsk, dnia 25.09.2007r.

Opinia

o pracy doktorskiej mgr inż. **PIOTRA SADŁOWSKIEGO** pt. **Parametryzacje rotacji i algorytmy rozwiązywania równań dynamiki z rotacyjnymi stopniami swobody**

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania opinii jest pismo Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie doc. dra hab. KAZIMIERZA PIECHÓRA z dnia 21 czerwca 2007 r. i dołączona do niego rozprawa doktorska mgra inż. PIOTRA SADŁOWSKIEGO pt. „*Parametryzacje rotacji i algorytmy rozwiązywania równań dynamiki z rotacyjnymi stopniami swobody*” wykonana pod kierunkiem doc. dra hab. KRZYSZTOFA WIŚNIEWSKIEGO.

2. Dane o pracy

Praca zawiera 143 strony, 35 rysunków (w tym 68 wykresów), 477 numerowanych wzorów i kilkanaście nienumerowanych, 4 tabele oraz 40 pozycji bibliografii. Rozprawa obejmuje: spis treści, 6 numerowanych rozdziałów (w tym wstęp, podsumowanie i zestawienie cytowanej literatury) oraz dodatek. Dysertacja dotyczy badań teoretycznych i numerycznych silnie nieliniowych problemów związanych z opisem formalnie nieograniczonych przemieszczeń bryły sztywnej, w tym zagadnień parametryzacji i aproksymacji po czasie na grupie obrotów jako głównym celu pracy. Dysertacja napisana jest w języku polskim.

3. Omówienie zakresu rozdziałów i uwagi

Rozdział 1 (11 stron), „*Wstęp*”, na tle przeglądu literatury nakreślono podjęte w pracy zagadnienie. Przedstawiono podstawowe koncepcje i trudności związane z teoretycznym opisem i algorytmizacją obliczeń związanych z występowaniem nieograniczonym obrotów w równaniach mechaniki, w szerszym kontekście nie tylko samego ciała sztywnego. Określono tu cele pracy, omówiono zawartość poszczególnych rozdziałów oraz przyjęty system oznaczeń. Notację omówiono na tle zestawienia podstawowych własności w pewnym sensie uogólnionego rachunku wektorowego.

Uwagi

W rozdz. 1.2 podano cel pracy, a warto było też sformułować tradycyjną dla dysertacji tezę. Mogłaby ona dotyczyć oceny przydatności lub nawet dyskwalifikacji pewnych parametryzacji grupy obrotów w kontekście zastosowań do algorytmów obliczeniowych z rotacyjnymi stopniami swobody, czego w istocie autor dokonał poprzez dowody oraz przykłady numeryczne.

Nie jest właściwe na wstępie, odwoływanie się do dyskusji i równań, które znajdują się kilkadziesiąt stron dalej (s5, g14; s7, g11).

Przytaczając pojęcia „*rozwiązanie dokładne, ścisłe*” (s6, d2 i dalej) należałoby podać w jakim sensie należy te pojęcia rozumieć.

Nie zawsze przestrzegana jest konsekwencja w stosowaniu oznaczeń i symboli. Przykładowo, oznaczenie $SO(3)$ grupy obrotów właściwych, Autor raz pisze używając liter prostych (s9, g5), a raz pochyłych (s16, g15). W rozdz. 1.5 Autor stwierdza (s12), że wektory będą pisane małymi pogrubionymi literami, a macierze i tensory wyższej walencji niż jeden, pogrubionymi dużymi, po czym już na następnej stronie łamie tę zasadę. Autor często nie rozróżnia i używa tych samych oznaczeń dla macierzy i tensorów (w notacji absolutnej). Mimo, że formalnie – wobec zachodzących izomorfizmów – nie jest to błąd, to jednak tego typu niekonsekwencja utrudnia śledzenie bardzo złożonych wyprowadzeń. Ponadto rozróżnianie zapisu obiektów jest istotne z punktu widzenia implementacji komputerowej. Formuły macierzowe można bezpośrednio kodować w programach, zaś zwarty zapis tensorowy, bezdyskusyjnie lepszy w przekształceniach, wymaga przed implementacją dodatkowego rozpisania w bazach, szczególnie w odniesieniu do tensorów wyższych walencji.

Ostatnie uwagi dotyczą całej pracy.

Rozdział 2 (44 strony), „*Opis i parametryzacje rotacji*”, wprowadzono tu pojęcie tensora (macierzy) obrotu oraz omówiono pięć jego sposobów parametryzacji typu wewnętrznego. Następnie biorąc za punkt wyjścia tensorowe równanie różniczkowe generujące rotacje poprzez znany tensor prędkości kątowej, zapisane w reprezentacji przestrzennej, dokonano jego specjalizacji do lokalnie równoważnych postaci wyrażonych przez omówione parametryzacje. Sparаметryzowane równania stanowią wersję obliczeniową, która umożliwiła implementację różnych algorytmów całkowania po czasie w postaci kodu programów komputerowych. Dalej Autor, na bazie tych postaci, przeprowadził ciekawą i oryginalną dyskusję własności tychże parametryzacji w kontekście stabilności rozważanych schematów całkowania po czasie, połączoną z badaniem spełnienia warunku ortogonalności odpowiednich operatorów. Wyniki teoretyczne wzbogacono rezultatami obliczeń i podsumowano we wnioskach cząstkowych na końcu rozdziału.

Uwagi

Rozdz. 2 stanowi w znacznej mierze oryginalne badania Autora. Rozdział stanowi autonomiczną część pracy. Dlatego można było w nim pokazać szerzej inne parametryzacje grupy obrotów, szczególnie typu zewnętrznego (wymagające bazy, np. kąty Eulera), dyskutując ich przydatność w kontekście celu pracy. Autor powinien uzasadnić, czemu zajmuje się tymi, a nie innymi parametryzacjami.

Należy zaznaczyć, że dobór parametryzacji grupy obrotów $SO(3) \rightarrow R^N$ nie jest trywialny. Bowiem przy dziewięciu wyrazach macierzy obrotów, wobec warunku ortogonalności, tylko trzy parametry mogą być niezależne. Jednak przyjęcie trzech współrzędnych nie rozwiązuje problemu w sensie globalnym. Sytuacja taka ma miejsce ponieważ każda reprezentacja $SO(3)$ poniżej pięciu parametrów ma osobliwości w zakresie obrotów nieograniczonych (jest to wynik Heinza Hopfa z 1940r.). Właśnie w tym rozdziale należałoby fakt ten wyraźnie odnotować, a omawiając poszczególne parametryzacje wskazać punkty osobliwe i obszary ich niejednoznaczności.

W dyskusji metod rozwiązywania równania różniczkowego generującego obroty, brakuje albo informacji o algorytmach obliczeniowych zapewniających przyjmowanie przez wynikową macierz wartości w grupie obrotów, albo wyraźnego podania uwagi co do dyskwalifikacji tych metod, które tego warunku z założenia nie spełniają. Ma to miejsce w przypadku stosowania większej liczby parametrów niż trzy.

W praktyce obliczeniowej dużych układów nieliniowych z obrotowymi stopniami swobody, ze względu na ekonomię i skuteczność, stosowane są przeważnie przyrostowe metody kontynuacyjne. Wówczas, problem parametryzacji obrotów

