

303 349  
SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET  
R I J E K A  
POSTDIPLOMSKI STUDIJ "NAVIGACIJA U POMORSKOM PROMETU"

MAKSIM KLARIN

**NAUTIČKI RAČUNI S MEĐUZVJEZDANIM UDALJENOSTIMA  
U SUSTAVU ASTRONOMSKE NAVIGACIJE**

M A G I S T A R S K I   R A D

R I J E K A , 1994.

## SAŽETAK

Metode astronomske navigacije posljednjih su decenija izgubile svoj raniji značaj u snalaženju na površini Zemlje, a postupno su ih zamijenjivali i konačno skoro sasvim istisnuli globalni svjetski elektronski navigacijski sustavi.

Mornarica SAD od 1960. radi na automatskom rješavanju astronomske pozicije direktnom metodom i u tu svrhu visine nebeskih tijela mjere se star truckerom i danju i noću, a kao umjetni horizont koristi se stabilizirana platforma inercijalnog navigacijskog sustava. Napori znanosti usmjereni su na potpunu automatizaciju nalaženja pozicije broda ili zrakoplova astronomskim metodama. Pri tome važan detalj može predstavljati automatska identifikacija nebeskih tijela čije su se visine opažale.

U magistarskom radu obrađena je metoda identifikacije zvijezda stajačica u parovima. Metoda omogućava "prepoznavanje" zvijezda stajačica neovisno o zbrojenoj poziciji i vremenu opažanja. Omogućava identifikaciju parova zvijezda opažanih istovremeno ili u kratkom vremenskom razmaku, te račun geografske širine. Uz poznavanje vremena opažanja jedne od zvijezda može se izračunati i pozicija broda.

Kratko je opisan povjesni pregled razvoja astronomske nauke.

Izneseni su matematički modeli za korekciju izmjerenih koordinata.

Prikazana je metoda izračuna efemerida korištenjem broja dana Julijanske epohe i broja Julijanskih stoljeća s baznom godinom 1900. te ujecaji precesije, nutacije, aberacije i vlastitih pomaka zvijezda, u granicama točnosti primjerenim navigacijskoj praksi.

Izračunate su granice sigurne identifikacije i predložena jedna varijanta algoritma za račun identifikacije.

## SUMMARY

At last decades the methods of astronomical navigation have lost their importance at orientation on the open seas. These methods were successively pressing back and finally almost completely substituted with world's global electronical navigation systems.

Since 1960. the US Navy makes experiments on automatic reckoning of astronomical position with direct methods. The altitudes of sky bodies are measured with star trucker by day and night, and the stabilised platform of inertial navigation system is used as artificial horizon. The exertions of science are contemplated at full automatic reckoning of ship's or aeroplane's position with astronomical methods, and automatic identification of sky bodies, which altitudes are measured, possibly can be important detail.

In this Master's work is elaborated one method of identification of stars in pairs which enables "recognition" of stars, idenpedently of dead reckoning position and time of observation. Method enables identification of stars observed simultaneously or in short time between observations, and also reckoning the geographical latitude. With the time of observation, the method enables reckoning coordinates of observed fix.

Shortly there is described a historical progress of astronomical science.

Also are described the matematical models for corrections of measured coordinates.

There is described the method of reckoning ephemerides with the days of Julian's epoch and Julian's centuries, with base of year 1900, and influence of precesion, nutation, aberation and own moving of the stars, with accuracy accustomed in nautical experience.

There are reckoned the limits of securely identification, and suggested one variant of algoritam for identification reckoning.

# SADRŽAJ

STR.

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOPIS SIMBOLA I KRATICA.....                                                       | I  |
| 1. UVOD.....                                                                       | 1  |
| 1. 1. Postavljanje problema.....                                                   | 1  |
| 1. 2. Svrha i cilj rada.....                                                       | 4  |
| 1. 3. Struktura rada.....                                                          | 5  |
| 2. KRATAK POVJESNI PREGLED RAZVOJA ASTRONOMSKE NAVIGACIJE.....                     | 8  |
| 3. IDENTIFIKACIJA ZVIJEZDA STAJAČICA.....                                          | 18 |
| 3. 1. Svrha i načini identifikacije.....                                           | 18 |
| 3. 2. Matematički model identifikacije.....                                        | 19 |
| 3. 3. Identifikacija zvjezdanim kartama i zvjezdanim globusima .....               | 21 |
| 3. 4. Identifikacija alignementima.....                                            | 22 |
| 3. 5. Identifikacija pomoću identifikatora.....                                    | 25 |
| 4. MODEL IDENTIFIKACIJE MEĐUZVJEZDANIM UDALJENOSTIMA.....                          | 27 |
| 4. 1. Matematičke osnove.....                                                      | 27 |
| 4. 2. Utjecaj grešaka motrenja .....                                               | 30 |
| 4. 2. 1. Utjecaj grešaka u izmjerenim visinama.....                                | 30 |
| 4. 2. 1. 1. Utjecaj refrakcije.....                                                | 31 |
| 4. 2. 1. 2. Ispravak za utjecaj temperature i barometarskog pritiska.....          | 36 |
| 4. 2. 1. 3. Utjecaj depresije.....                                                 | 37 |
| 4. 2. 1. 4. Sistematizacija grešaka u izmjerenoj visini.....                       | 40 |
| 4. 2. 2. Utjecaj grešaka u izmjeranim azimutima.....                               | 40 |
| 4. 3. Utjecaji precesije, nutacije, aberacije i vlastitih kretanja zvijezda...46   |    |
| 4. 3. 1. Promjena kuta nagiba ekvatora i ekliptike.....                            | 48 |
| 4. 3. 2. Utjecaj precesije na rektascenzije i deklinacije zvijezda.....            | 49 |
| 4. 3. 3. Utjecaj nutacije na deklinacije i rektascenzije.....                      | 54 |
| 4. 3. 4. Utjecaj aberacije na deklinacije i rektascenzije.....                     | 56 |
| 4. 3. 5. Utjecaj vlastitih pomaka zvijezda.....                                    | 59 |
| 4. 4. Granice sigurne identifikacije.....                                          | 60 |
| 5. RAČUN EFEMERIDA ZVIJEZDA STAJAČICA I GRINIČKOG SATNOG KUTA PROLJETNE TOČKE..... | 63 |
| 5. 1. Općenito.....                                                                | 63 |
| 5. 2. Julijanska epoha.....                                                        | 64 |
| 5. 2. 1. Račun broja dana od početka Julijanske epohe.....                         | 64 |
| 5. 2. 2. Račun datuma iz poznatog broja dana od početka Julijanske epohe....       | 65 |
| 5. 3. Besselova fiktivna godina (annus fictus) i početak stoljeća.....             | 68 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5. 4. Račun ekvatorskih koordinata proljetne točke, Sunca i zvijezda stajačica.....   | 70  |
| 5. 4. 1. Račun satnog kuta proljetne točke u Greenwichu.....                          | 70  |
| 5. 4. 2. Račun deklinacije, surektascenzije i satnog kuta Sunca.....                  | 71  |
| 5. 4. 3. Račun koordinata zvijezda stajačica.....                                     | 74  |
| 5. 4. 4. Mogućnost računa vlastitih pomaka zvijezda međuzvjezdanim udaljenostima..... | 76  |
| 6. IDENTIFIKACIJA ISTOVREMENO OPAŽANIH ZVIJEZDA.....                                  | 79  |
| 6. 1. Račun međuzvjezdanih udaljenosti.....                                           | 79  |
| 6. 2. Račun granica sigurne identifikacije.....                                       | 81  |
| 6. 3. Račun geografske širine.....                                                    | 82  |
| 6. 4. Sustav modela.....                                                              | 85  |
| 6. 5. Shema algoritma.....                                                            | 90  |
| 7. IDENTIFIKACIJA ZVIJEZDA OPAŽANIH U RAZMAKU VREMENA.....                            | 92  |
| 7. 1. Identifikacija i račun približne geografske širine.....                         | 92  |
| 7. 2. Račun korekcije visine i azimuta i račun točne geografske širine.....           | 95  |
| 7. 3. Upotreba Willisove metode.....                                                  | 97  |
| 7. 4. Sustav modela.....                                                              | 99  |
| 7. 5. Shema algoritma.....                                                            | 104 |
| 8. ZAKLJUČAK.....                                                                     | 106 |
| LITERATURA.....                                                                       | 108 |