



ניתוחי דיוק מקומיים של מאגרי מידע טופוגרפיים תלת-ממדיים Local Accuracy Analysis of 3D Topographic Databases

גב בן-חיים

פרופ' ירח דויטשר, ד"ר שגיא דליות

תקציר מחקר לקראת תואר דוקטור לפילוסופיה

פני הקרקע מהווה ישות מרחבית רציפה אשר מייצגת את הסביבה החיצונית הטבעית, כלומר את הטופוגרפיה. ניתוח מבנה פני הקרקע (מורפולוגיה) והדינאמיקה שלה יכולים לספק מידע רב ואיכותי בנוגע לתופעות טבע והשתנות פני הקרקע והסביבה. מאגרי מידע טופוגרפיים ספרתיים, המכילים מידע זה, משמשים כיום בסיס תשתיתי למערכות שונות ומגוון רחב של יישומים בתחומים שונים. אחד המאגרים, המאחסן ומייצג מידע מרחבי טופוגרפי כמאגר נתונים ממחושב, הוא מודל גבהים ספרתי סדור (שריגי) מסוג Digital (DTM) Terrain Model) המייצג את המציאות של פני-הקרקע דרך מדגם דיסקרטי של נקודות גובה. כיום, קיים מגוון רחב של מודלים כאלו אשר השונים זה מזה מהותית בפרמטרים רבים: רזולוציה, פורמט, דיוק פנימי וחיצוני, מערכת ייחוס, תחום כיסוי ועוד. שוני זה נובע בעיקר מטכנולוגיות איסוף המידע, אופן עיבודו והפקתו. מודלים אלו נגישים וזמינים לציבור יותר מבעבר וחלקם אף ניתן ללא תמורה על ידי גופים שונים.

מושג הדיוק ב-DTMs משמש לרוב לקביעת מידת הקרבה בין ערכים מדודים לערכים ה'נכונים' כשבדרך כלל דיוק של מודל כזה מיוחס לדיוק ערכי הגובה שלו. הצורך ליצור שילוב של מידע המכיל רמות דיוק שונות עולה לעיתים קרובות עם השימוש במודלים אלו, כאשר ידוע כי דיוקם המשתנה מושפע מפרמטרים רבים. בנוסף, לתכונותיהם השונות של DTMs שונים (רזולוציה, מקור מידע, למשל) השפעה רבה על דפוסי ומאפייני הטופוגרפיה המיוצגים בהם. עובדה זו ממחישה את ההכרח והצורך בהערכת דיוק כמותית אשר מתחשבת באופי המבנה הטופוגרפי של מאגר המידע.

בעיית מהימנות, איכות ואף עדכון המידע הטופוגרפי במודלי גבהים ספרתיים עולה כאשר מנסים לעשות שימוש במידע טופוגרפי מגוון המתואר על-ידי מספר מאגרי מידע חופפים, שנאספו ממקורות שונים. פרמטריהם השונים יוצרים אי-התאמות או הבדלים מרחביים, החל משינויים במיקומן המרחבי של ישויות טופוגרפיות שונות (פסגות, ונחלים למשל) וכלה באי-הופעתם באחד מהמאגרים. בעיה נוספת היא הגישה

המסורתית להערכת דיוק במודלים כאלו, המתייחסת לדיוק גלובאלי חיצוני של מאגר. דיוק זה נגזר לרוב מתהליכי הפקת המודל ושיטות המדידה והעיבוד ומתעלם כמעט לחלוטין מאי-דיוקים פנימיים הקיימים במאגרים. כך שלמעשה גישות אלה נשענות על מידע אפריורי (למשל, דיוקי קואורדינטות נתוני הקלט). בצורה זו לא נעשה טיפול בהפרשים פנימיים הנוצרים מהבדלי דאטומים, רזולוציות, גיאומטריה, שוני בין צורות רכישת המידע ואופי מבנה הנתונים. באופן זה מתבצעים תהליכי עיגון והשוואה בין מאגרים על בסיס קואורדינטות, ובכך למעשה סטיות אלה לא נלקחות בחשבון. בנוסף, השוואות רבות מבוצעות באופן יחסי ובין צמד מאגרים כאשר מאגר מסוים מושווה למאגר ייחוס ובצורה זו מניחים כי דיוקו של מאגר הייחוס מוחלט והדיוקים המתקבלים הם יחסיים בלבד. היבט נוסף ובעייתי הוא שימוש בפרמטר דיוק יחיד או טווח דיוקים עמום, אשר אינם מייצגים בצורה אופטימלית את דיוקו של כל מודל, לפיכך, אין התייחסות לכלל אי-ההתאמות המקומיות והפנימיות. בהליכי ניתוחי הדיוק הנשענים על גישה זו מתבצע לרוב תהליך חפייה (superimposition) בין שני מודלים נבחנים המבוסס על מערכת קואורדינטות משותפת (כולל התמרה של נתונים למערכת ייחוס זו במידת הצורך) ומקרים רבים יוביל לתוצאות ניתוח טופוגרפי שגויות.

מחקר זה מציג גישה חדשה ומרעננת שמטרתה לתת מענה איכותי, כמותי ומהימן לניתוח דיוקים של מקורות מידע טופוגרפיים תלת-ממדיים. גישה זו, מתבססת על תהליך אוטומטי והיררכי של ניתוח מאפיינים טופוגרפיים מקומיים, הנועד לאפשר פתרון מקיף ומהימן להערכת דיוקים מרחביים. בסיסו של הרעיון העומד מאחורי המחקר הוא לעשות שימוש רב ככל הניתן במאפיינים גיאומורפולוגיים מקומיים (חלוקת המאגר לרמות ותתי-אזורים) ובעזרתם לקבוע דיוקים מקומיים בהתאם לאופי השטח ולדיוקי מקורות המאגרים. בצורה זו הדיוק הסופי והכולל של המאגר לא ייקבע לפי דיוק אחיד ומוחלט אלא על סמך אותם מאפיינים וישויות המופיעים במאגרים ומגדירים בצורה מהימנה יותר את פני השטח. באופן זה יקבע דיוק נכון ואמין יותר למאגר כולו. הנתונים המהווים בסיס למחקר זה הם מודלים שונים במהותם אשר הופקו ממקורות שונים ומתארים את אותו תא השטח.

בתחילת המחקר ייושם מנגנון לזיהוי וחילוף מקומי של נקודות עניין המסתמך על ישויות גיאומורפולוגיות לצורך עיגון והשוואה בין מאגרים. לאחר נבחנו שיטות מסורתיות קיימות להשוואה בין מאגרים מסוג DTM, שהניבו פתרון שאינו מספק לצורך הערכת דיוקים מהימנה. מנגד, נבדקו יכולות האלגוריתם שהוצע במסגרת המחקר על שני מודלים חופפים אך שונים מהותית (מערכת קרטזית מול גיאוגרפית). התוצאות הראו היתכנות חיובית ליישום של הפתרון המוצע כמו גם את ההכרח שבניתוח מקומי המסתמך על ישויות גיאומורפולוגיות. בשלב הבא פותח ויושם אלגוריתם מבוסס טריאנגולציה להתאמה מרחבית אופטימלית בין מאגרי נקודות דו-ממדיים על מנת לתת מענה להתאמה בין נקודות העניין המתוארות לעיל, המחולצות משני מאגרים נפרדים. בהמשך המחקר פותח מכניזם השוואה סימולטנית בין הפרשי גבהים של

ארבעה DTMs שונים, המאפשר חילוץ דיוקים מוחלטים (אבסולוטיים) עבור כל מודל בנפרד. לאחרונה הורחב מנגנון זה לחילוץ דיוקים אבסולוטיים גם ברמה המקומית-אזורית וברמת הפיקסל (תא בודד). התוצאות מציגות את יכולת האלגוריתם לסווג את הדיוקים המקומיים המחולצים לכדי אזורים פוליגונאליים שווי-דיוק ובכך לקבוע את מידת איכותו הפנימית של כל מודל בתהליך. יש בכך משום ניתוח דיוקים איכותי ומהימן השונה בתכלית משיטות הניתוח האחרות הקיימות.

בהמשך המחקר מתוכנן להרחיב את יישום זה למספר רב של בסיסי נתונים שונים, כך שהפתרון לא יהיה מוגבל לארבעה מודלים (מערכת פתרונות בעלת יתירות גבוהה). בנוסף, מתוכנן לפתח כלי בעזרתו ימופו מרחבית ואיכותית תתי-אזורים שווי-דיוק בכל מודל ויאוחזו לכדי מודל דיוקים יחיד ואיכותי הנבנה מכלל המודלים. בנוסף לשיטה המוצעת במחקר זה יישקל גם פיתוח כלי סטטיסטי לאומדן טיב המאגר, רגישותו ומידת שונותו והתאמתו למודלי גבהים אחרים לצרכי ניתוח הדיוקים.

תרומותיו הצפויות של המחקר המוצע מבחינה מדעית יהיו פיתוח מנגנון אוטומטי ייחודי וחדשני לניתוח דיוקים במאגרים טופוגרפיים מסוגים שונים, בדגש על הרחבת יכולות ניתוח דיוקים לתלת-ממד שכן קיימת עשייה מועטה בתחום ולרוב אינה מעמיקה דיו. כמו כן, פיתוח אלגוריתם איתור ישויות טופוגרפיות זהות בשני המאגרים יאפשר יכולות עבודה ועיבוד סוגי מאגרים שונים במבנה וצפיפות משתנים, עובדה המנצלת את מלוא הפוטנציאל והמידע הקיים בכל מאגר. פתרון כזה יעקוף את הצורך בשיטות המונהגות כיום להערכת דיוקים גלובאליות בין מאגרים תוך חפיפה כללית ביניהם. מבחינה הנדסית יניב פתרון שכזה יכולות עדכון מאגרים מרחביים שונים, תרומה מעשית לפרויקטים הנדסיים הנשענים על מידע מסוג זה. כלי זה יאפשר שילוב מידע המופק ונרכש בצורות שונות לצורך השלמת נתונים חסרים, קבלת ביקורת מהימנה והשוואה בין מאגרים בדיוק ורזולוציה שונים. בנוסף כלי זה יכול לשמש ככלי לטיוב דיוקים למשל לטייב אזורים בהם הדיוק אינו ידוע או אינו מיטבי. כמו כן, פיתוח כלים להתמודדות מתמטית ויישומית עם מאגרי נתונים לא סדורים ויאפשר את הרחבת השימוש במאגרי מידע הנרכשים במערכות אוויריות ולווייניות.