

ניטור אזורי תעשייה ומסחר בעזרת חישה מרחוק

מוגש ע"י
גיא שחר

בקורס חישה מרחוק ב'
סמסטר א' תשס"ב

מבוא

אחד האתגרים הגדולים בחישה מרחוק הוא לבצע קלסיפיקציה של עצמים בתוך שטח אורבני. הקושי נובע מכמה טעמים: למגוון המבנים והאלמנטים שבונה האדם ישנן חתימות ספקטרליות שונות, דבר המקשה על זיהויים הפרטני. בנוסף לכך, הדמאת Landsat שאתה אנו עובדים היא ברזולוציה נמוכה יחסית, דבר שמטשטש את ההבחנה בפרטים באזור אורבני צפוף. ובכל זאת, אציג כאן טכניקה שתאפשר להדגיש בבירור אזורי תעשייה ומסחר בתוך אזור אורבני.

זיהוי על בסיס התחום הנראה - הדמאת RGB בצבעים אמיתיים

הדמאה: הדמאת גוש דן

הצגה: RGB. שיוך ערוצים: R - ערוץ 3 ($0.66 \mu\text{m}$), G - ערוץ 2 ($0.59 \mu\text{m}$), B - ערוץ 1 ($0.48 \mu\text{m}$). בהדמאה זו ניתן לראות בבירור את האזורים הבנויים לפי צבעם האפרפר. אם מסתכלים היטב, ניתן לראות בתוך האזורים הבנויים גושים בהירים יותר, שהם אזורי תעשייה. שני גושים בולטים במיוחד הם אזור התעשייה בחולון, ואזורי התעשייה סגולה, קריית-מטלון וקריית-אריה בפתח תקווה.



ההסבר לתופעה נעוץ במקרה זה באלבדו. הבה נסתכל על אזורי התעשייה בפתח תקווה. השתמשתי בתצלום אוויר באיכות טובה של העיר פתח תקווה. האזור המופיע בתצלום האוויר מוגדר במלבן אדום על ההדמאה. האזור המסומן 28 הוא אזור התעשייה קריית-אריה. האזור המסומן 27 הוא אזור התעשייה קריית-מטלון. האזור המסומן 25 הוא שכונת המגורים צמודת הקרקע קריית-מטלון.



ניתן לראות בבירור גם בתצלום האוויר, שהאלבדו של אזורי התעשייה גבוה יותר. הדבר נובע ממספר סיבות:

1. משטחי גגות בהירים וגדולים -

אזור תעשייה מתאפיין במבנים בעלי שטח גדול, שגגותיהם עשויים פח הצבוע בצבע בהיר בדרך כלל. שטח הגגות גדול בהרבה משטחי גגות של בתי מגורים, ועל כן בתצלומים האלבדו הגבוה שלהם הוא דומיננטי.

2. משטחי אספלט של מגרשי חניה, פריקה וטעינה -

אזורי תעשייה מתאפיינים בשטחים גדולים המכוסים אספלט, לצורך מגרשי חניה, ולפריקה וטעינה של סחורות. גם במקרה זה שטחים חשופים אלה ייצרו אלבדו גבוה.

3. מיעוט אזורים מוצלים -

באזורי תעשייה המבנים מפוזרים יותר, ישנו מיעוט צמחייה, ולכן כמות מועטה של צל. משום כך אור השמש מוחזר בצורה אינטנסיבית יותר מאשר באזורי מגורים. בתצלום האוויר ניתן לראות בבירור את ההבדלים בין אזור תעשייה לאזור מגורים בקריית-מטלון: באזור התעשייה (27) משטחי גגות ואספלט בהירים ובאזור המגורים (25) מבנים קטנים, צמחיה וצל כהים יותר.

זאת ועוד, ניתן גם את אזורי המגורים לסווג לשניים - בניינים משותפים ובנייה צמודת קרקע. אם נביט בהדמאת גוש דן באזור המגורים קריית-מטלון נוכל להבחין שהוא נראה כהה יותר מאשר אזור המגורים הגדול שסביב כיכר המדינה בתל אביב למשל. הסיבה: בתים משותפים בנויים בדרך כלל בצפיפות ומכוסים גגות אופקיים הצבועים לבן. בנייה צמודת קרקע מרווחת יותר, וגגות הבתים עשויים רעפים בצבע אדמדם-חום - המחזיר פחות אור יחסית לגג לבן.

עם זאת, בעבודה זו אתמקד בהדגשת אזורי תעשייה ומסחר.

זיהוי על בסיס חיסור ערוצים בתחום ה-NIR וה-VIS

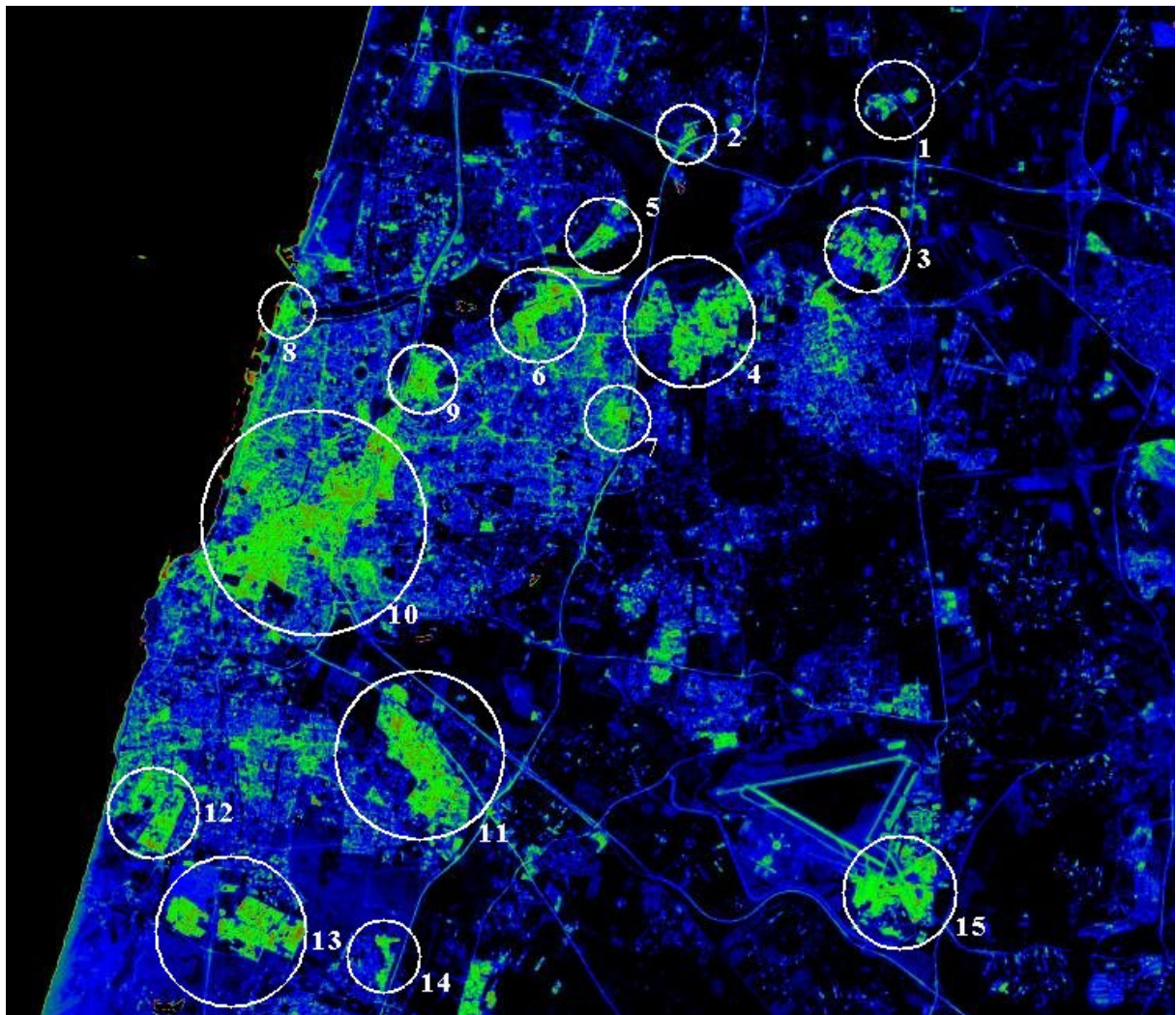
למדנו אודות הדגשת אזורי צמחיה בעזרת אינדקס NDVI. אינדקס זה מבצע חיסור בין ערוץ בתחום ה-NIR (בד"כ ערוץ 4 - 0.83 מיקרון) לבין ערוץ בתחום הנראה האדום (בד"כ ערוץ 3 - 0.66 מיקרון), ונירמול של התוצאה.

בעזרת שימוש באופציית NDVI בתכנת ENVI החלטתי לבדוק כיצד יפעל NDVI עם ערוצים אחרים.

התברר, כי כאשר NDVI מופעל על ערוצים 4 (0.83 מיקרון) ו-1 (0.48 מיקרון) מתקבלת תוצאה שמדגישה בצורה ברורה אזורי תעשייה ואזורים בהם ישנה פעילות מסחרית-ציבורית.

להלן אציג מספר עיבודים של הדמאות שנעשו בעזרת תכנת ENVI ומדגישים אזורים אלה. אחר כך אנסה להסביר "מדוע זה עובד".

עיבוד מס' 1

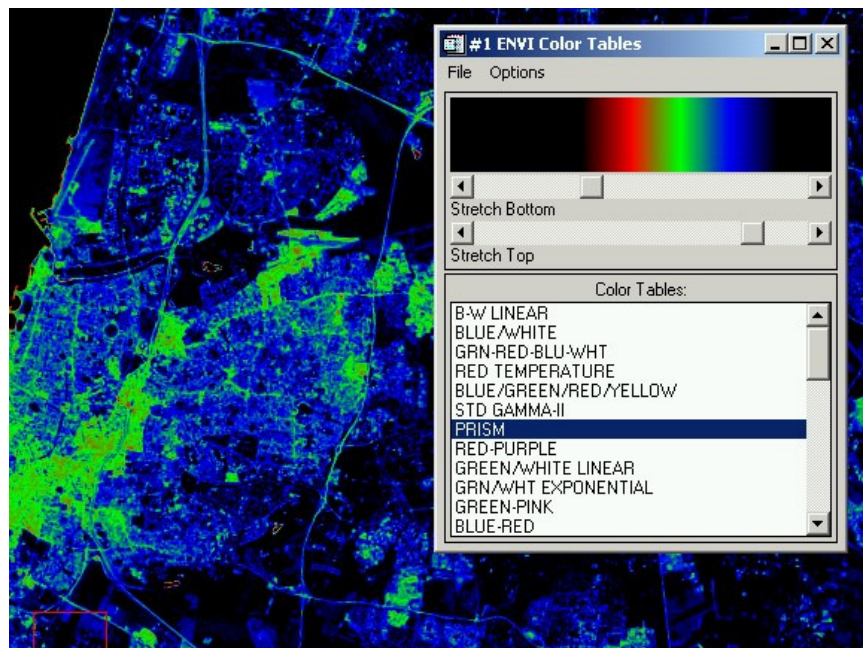


בעיבוד זה מופיעים על רקע שחור עצמים הבנויים ע"י אדם. מתוכם מופיעים בירוק אזורי תעשייה, מסחר ופעילות מסחרית. האזורים הבולטים בהדמאה זו :

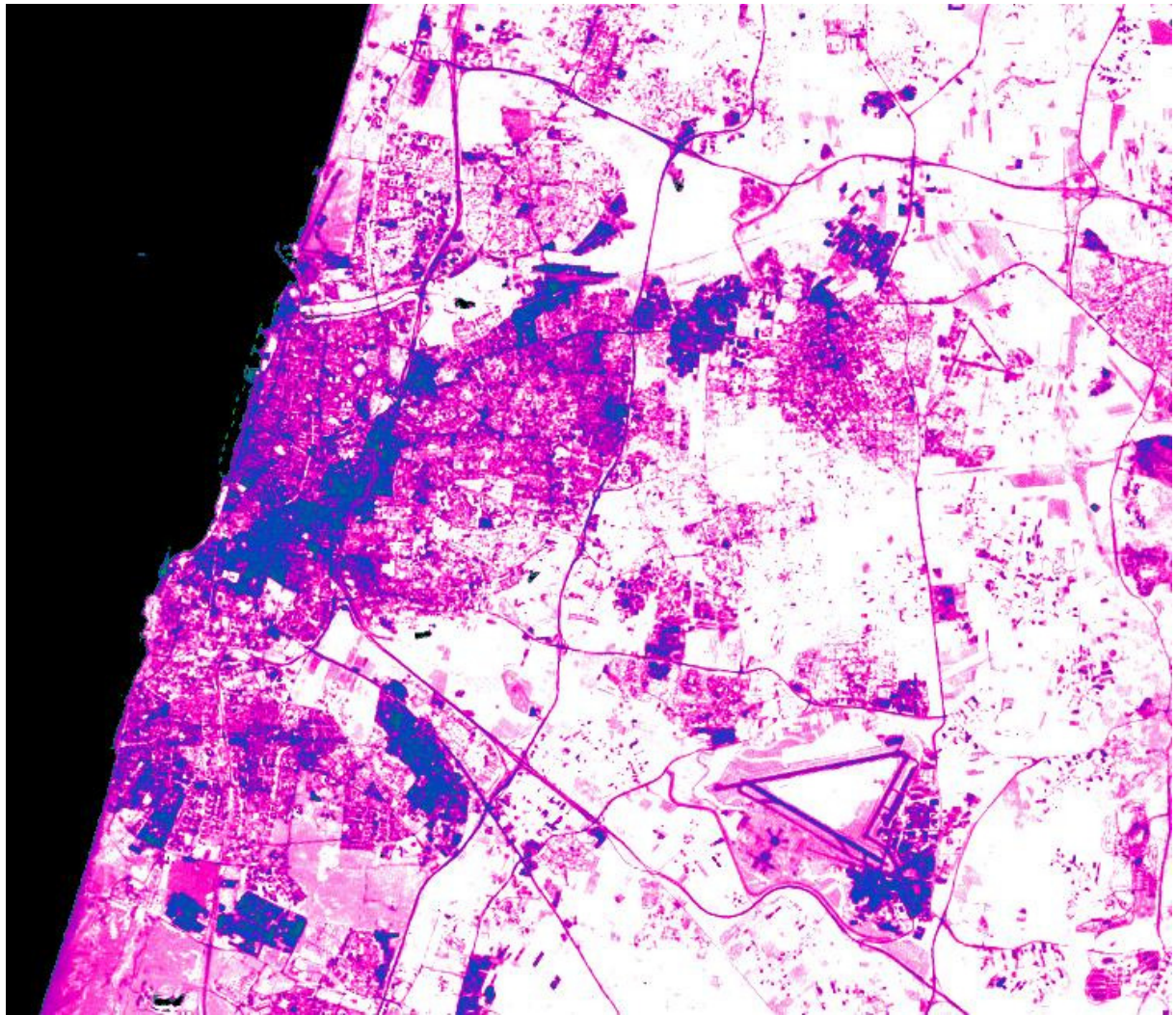
1. אזור התעשייה הוד השרון
2. מפעל "אלקו" ליד מחלף מורשה
3. אזור התעשייה סגולה פתח תקווה
4. אזורי התעשייה קריית-אריה וקריית-מטלון פתח תקווה
5. אזור התעשייה רמת החייל
6. המתחם המסחרי של רח' מבצע קדש וקניון איילון ברמת גן
7. אזור מפעל קוקה קולה ומגרשי המכוניות של לוביינסקי
8. מתחם נמל תל אביב
9. מתחם הבורסה רמת גן
10. המתחם המסחרי הגדול של תל אביב: אזור דרך יגאל אלון ונתיבי איילון, המסגר, דרך פ"ת, דרך יפו
11. אזור התעשייה של חולון
12. אזור התעשייה של בת ים
13. אזור התעשייה החדש ראשון לציון
14. אזור תחנת הדלק הסיירים
15. מתחם המבנים של נתב"ג והתעשייה האווירית

שלבים בביצוע העיבוד :

1. הפעלת פונקציית NDVI על ערוצים 4 ו-1.
2. צביעה בעזרת ENVI color mapping ותיקונים בעזרת מתיחות באופן הבא :

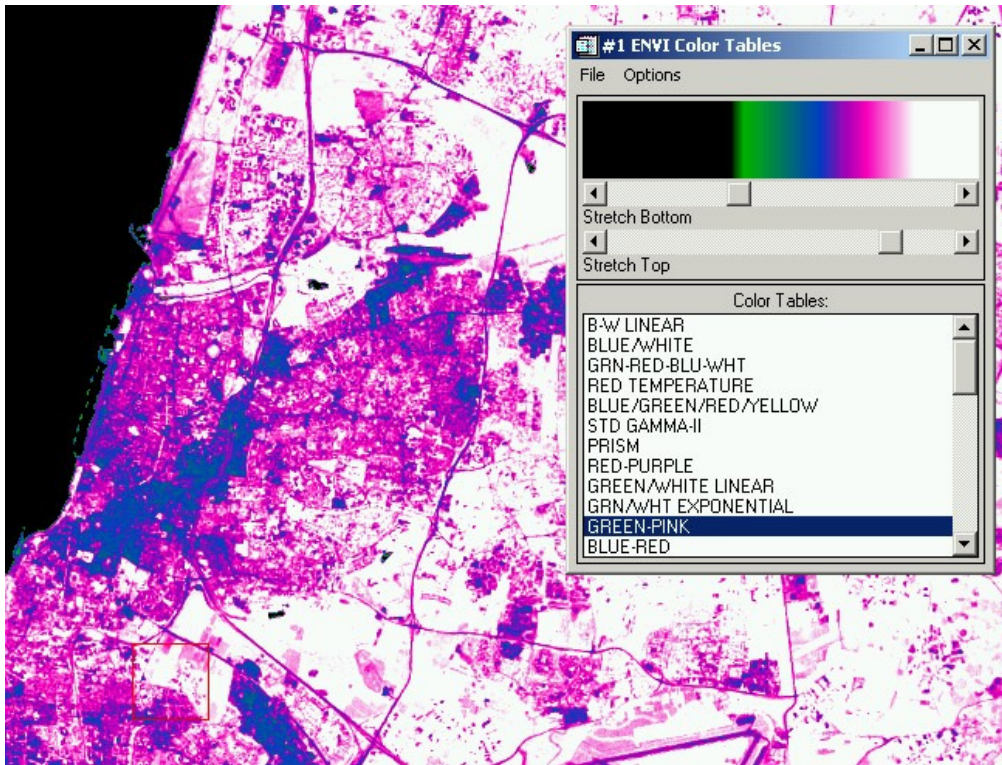


השימוש בסקלת הצבעים PRISM מתאים כאן, שכן הוא נותן הבחנה ברורה בין חמש קבוצות של ערכי DN. בירוק נצבעים ערכי DN המתאימים לאזורי תעשייה ומסחר, בכחול אזורים בנויים אחרים, ובשחור הים והצמחייה. החיסרון היחיד של סקלת צבעים זו הוא שערכי DN נמוכים של מים וגם ערכי DN גבוהים של צמחייה נצבעים בשחור. יחד עם זאת הצגה זו נותנת תמונה מצוינת שמדגישה אזורים בנויים ובהם אזורי תעשייה ומסחר, וכן צמחייה בשחור.



שלבים בביצוע העיבוד :

1. הפעלת פונקציית NDVI על ערוצים 4 ו-1.
2. צביעה בעזרת ENVI color mapping ותיקונים בעזרת מתיחות באופן הבא :



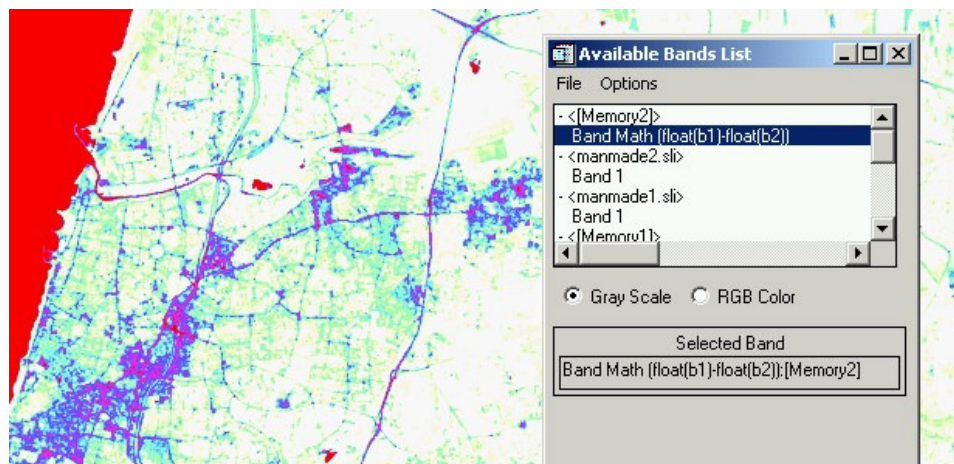
השימוש בטבלת צבעים זו פותר את חסרונות הצביעה בעיבוד מס' 1. כאן נצבעים אזורי צמחייה ושטחים פתוחים בלבן, ואזורי מים בשחור. אזורים בנויים צבעים מגינטה ואזורי תעשייה ומסחר בכחול-ירוק. בנוסף לכך שהדמאה זו מאפשרת להבחין בין אזורים בנויים ושטחים פתוחים / מכוסה צמחייה, היא מאפשרת גם להבחין בבירור במקווי מים של פארקים עירוניים (צבעים שחור):

1. האגם של פארק גני יהושע
 2. האגם של הפארק הלאומי ברמת גן
 3. האגם של פארק דרום בתל אביב
- כמו כן ניתן להבחין בראות ירוקות בעיר, למשל - פארק גני יהושע, הספארי ברמת גן, כיכר המדינה, משולש הדשא של דרך פיית, גן העצמאות, גן צ'ארלס קלור ועוד.

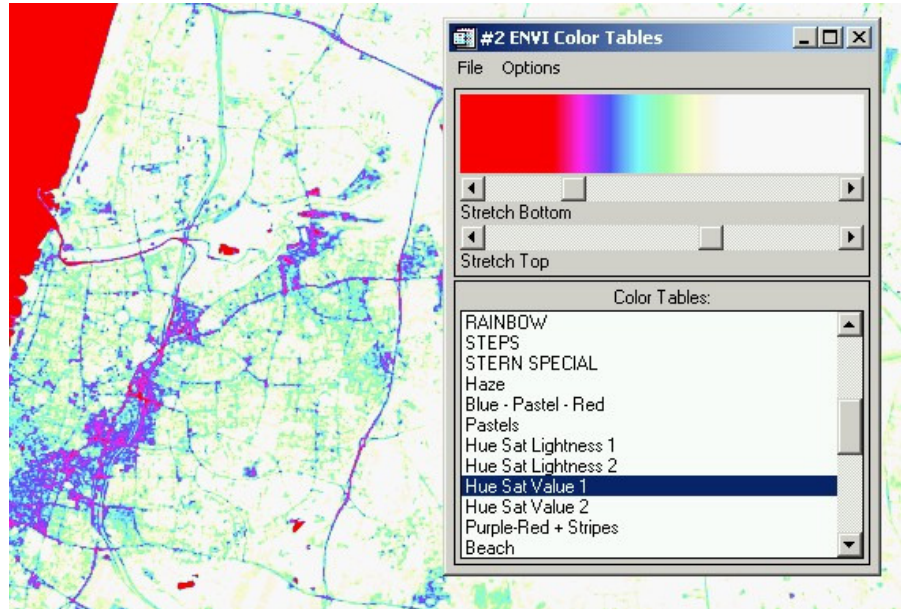


בעיבוד זה ביקשתי לבדוק איזו תוצאה תתקבל מביצוע פעולת הפחתה בין הערוצים, ללא הנרמול המתקבל ע"י פונקציית NDVI.
שלבים בביצוע העיבוד :

1. ביצוע Band Math : Band 4 - Band 1



2. צביעה בעזרת ENVI color mapping ותיקונים בעזרת מתיחות באופן הבא :



בהדמאה זו מודגשים היטב מקווי המים באדום. אזורי התעשייה בולטים בכחול-סגול, ובאותו צבע נצבעו גם רחובות וכבישים ראשיים.

מדוע זה עובד?

ניתן לראות, כי התוצאה של חיסור הערוצים 4 ו-1 (עם נירמול וגם בלעדיו) יוצרת ארבע קבוצות ברורות של ערכי DN (מהערכים הנמוכים לגבוהים):

- א. מים
- ב. אזורי תעשייה ומסחר
- ג. אזורים בנויים אחרים
- ד. צמחייה

על הבלטת הצמחייה למדנו בפירוט בכיתה - ערכי ה DN הגבוהים במקרה זה מתקבלים בשל העובדה שגרף ההחזרה של הצמחייה עולה בחדות באזור ה NIR, לעומת גרף ההחזרה של חומרים אחרים. משום כך כאשר מחסרים בין הערוצים, יתקבלו ערכי DN גבוהים עבור אזורים מכוסי צמחייה. אולם מהו ההסבר לכך שנוצרת הדגשה של אזורי תעשייה יחסית לאזורים בנויים אחרים?

הסבר ספקטרלי

במהלך הכנת העבודה בדקתי קומבינציות רבות של חיסור ערוצים. בין השאר, בחנתי החסרת ערוצים שונים מערוץ מספר 7, התרמי (2.22 מיקרון). אולם רק בקומבינציה המתוארת הצלחתי להגיע להדגשה מוצלחת כזאת של אזורי תעשייה.

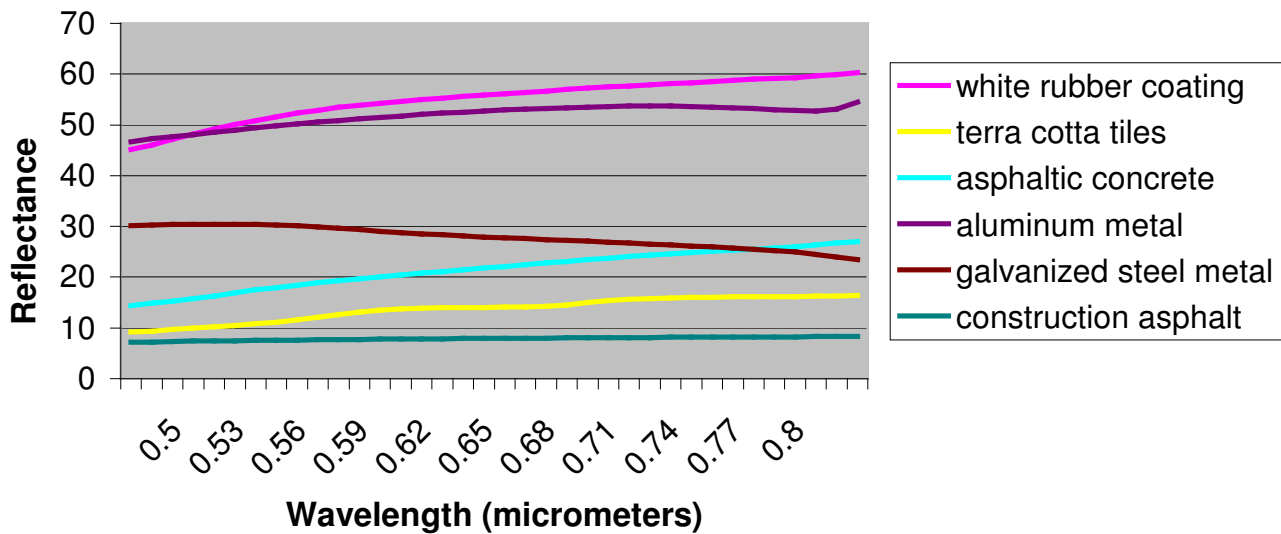
על מנת להסביר את התופעה, ניגשתי לספריות ספקטרה (Spectrum Libraries). ציפיתי לאושש את התופעה ע"י כך שאמצא חומרים בעלי שיעור החזרה שונה בין אורכי הגל 0.83 מיקרון ל 0.48 מיקרון, לעומת חומרים אחרים שבהם אין הבדל גדול בהחזרה בין תחומים אלה. היות שאזורי מגורים הופיעו בתמונת החיסור בערכי DN גבוהים יותר מאשר אזורי תעשייה, ציפיתי לגלות שיפוע גבוה בגרפי החזרה של חומרים האופייניים לאזורי מגורים, ושיפוע מתון יותר בגרפי החזרה של חומרים האופייניים לאזורי תעשייה.

הניסיון להגדיר מהם החומרים המאפיינים כל אזור אף הוא לא פשוט. באזורי התעשייה המבנים מכוסים בגגות פח, לעומת מבני מגורים המכוסים רעפים או זפת צבועה לבן. באזורי תעשייה משטחי אספלט גדולים לעומת אזורי מגורים, אולם ישנם סוגים רבים של אספלט, ולכל אחד מהם מאפייני החזרה אחרים.

השתמשתי בספריות הספקטרה של תוכנת ENVI וכן במאגר ASTER, אליו הגעתי דרך אתר האינטרנט <http://speclib.jpl.nasa.gov>, וחיפשתי גרפי החזרה של חומרים יצירי אדם.

את הנתונים מתוך מאגר ASTER שמרתי בצורת קבצי טקסט, אותם העלתי על דף Excel, ממנו בניתי גרף ספקטרה של מספר חומרים האופייניים לאזורים אורבניים.

Spectra of Man Made materials



כבר במבט ראשון מתברר שהתוצאות אינן חד משמעיות, ולא ניתן לזהות בצורה ברורה חומרים שיש להם שיפוע משמעותי. לציפוי גומי לבן, שהוא החומר הקרוב ביותר לצבע לבן המכסה גגות של בנייני מגורים ישנו שיפוע מסוים, אולם גם לחומרים המתכתיים האופייניים לגגות באזורי תעשייה ישנו גרף משופע. זאת ועוד - לא פשוט לאפיין במדויק חתימה ספקטרלית באזורים אורבניים במקרה שלנו בעיקר מהסיבה שהרזולוציה המרחבית של ההדמאה כוללת בכל פיקסל שטח גדול למדי של 30 על 30 מטר. בתוך תא שטח עירוני שכזה יכולים להיות גם מבנים בעלי גגות שונים, גם כבישים מצופי אספלט, וגם שורות צמחייה, כך שערך ההחזרה המתקבל הוא ממוצע של כמה חומרים יחד.

מבט נוסף על הגרפים מגלה גם שהשיפועים מלכתחילה אינם גדולים, כך שלא משנה מהו החומר יציר האדם - יתכן שלחומר אין השפעה משמעותית על ההבדלים שהתקבלו בהדמאת החיסור. לפיכך, אני משער שגורם חשוב שיצר את ההבחנה הברורה בין אזורי מגורים ותעשייה הוא **כמות הצמחייה בכל אזור**. אם נסתכל על תא שטח המכוסה ע"י פיקסל בהדמאה נגלה, שתא שטח באזור מגורים יכלול יותר מרכיבי צמחייה מאשר תא שטח באזור תעשייה ואזור מסחר.

היות שלמדנו שבגרף ההחזרה של הצמחייה יש שיפוע משמעותי מאוד בין תחום ה NIR לתחומים הנראים, אין ספק שלמרכיב הצמחייה השפעה חשובה במקרה זה. אפילו סיבוב אקראי באזורי תעשייה בגוש דן מגלה בבירור שיש בהם מיעוט צמחייה יחסית לאזורי מגורים, והדבר מסביר את העובדה שקיבלנו ארבע אוכלוסיות דומיננטיות:

1. שטחי שדות ופארקים - מכוסים לגמרי צמחייה.
2. שטחי מגורים - שילוב של מבני בטון, רצועות אספלט, וצמחייה בין המבנים.
3. שטחי תעשייה ומסחר - מיעוט צמחייה, אם בכלל.
4. שטחי מים - חסרי צמחייה, מאפייני החזרה נמוכים.

שימושים

ליכולת להבליט שטחי מסחר ותעשייה בתוך שטח אורבני משמעויות מעשיות רבות במגוון תחומים :

1. איכות סביבה - איתור אזורים בעלי פוטנציאל לחולל זיהום סביבתי - זיהום אוויר, שפכים, רעש.
2. שמאות מקרקעין - ניתן לקבל תמונה מיידיית של אזורים הקרובים לאזורי תעשייה, ולגזור משמעויות לגבי ערך הקרקע בהתאם לקרבה לאזורי תעשייה ומסחר (כגורם המספק תעסוקה מצד אחד אך זיהומים סביבתיים מצד שני).
3. תכנון אמצעי תחבורה - מוקדי מסחר ותעסוקה מייצרים פי 3 נסיעות מאשר אזורים מגורים. בדרך כלל בתכנון תחבורה מחפשים את "פרוזדורי הביקוש", לאורך מוקדי מסחר ותעסוקה, על מנת ליצור קווי מערכת הסעות שיוכלו לאסוף את מירב כמות הנוסעים. בעזרת הדמאה שמדגישה מיקום של אזורים מסחר ותעשייה ניתן לאתר מיידיית את מוקדי הביקוש האלה, ולקבל עזר ויזואלי מעולה לתכנון מערכות הסעה המוניות.
4. תכנון עירוני ומדיניות שימושי קרקע - ניתן לקבל מושג די מדויק על גודל השטחים המשמשים למסחר ותעשייה, כמו גם לראות היכן מרוכזים אזורים כאלה. נתונים אלה יכולים לשמש בסיס לתכניות בניין ערים ותכניות אסטרטגיות אחרות.

סקירת טכניקות קלסיפיקציה מוכרות מתוך מאמרים בנושא

הנושא של זיהוי תבניות בנוף עירוני בעזרת חישה מרחוק מעסיק מזה זמן רב חוקרים רבים. רוב הטכניקות המפותחות בתחום זה כוללות הפעלת אלגוריתמים מורכבים, במספר שלבים, על מנת להגיע לאבחנה בין ישויות בנוף בנוי. רוב המחקרים בנושא מתמקדים בביצוע קלסיפיקציה מלאה - של כל סוגי העצמים בנוף האורבני.

בדרך כלל המודלים יוצרים מעין "עץ קלסיפיקציה", שמסווג את האזורים בשלבים. שלב ראשון יוצר הבחנה בין ישויות שונות מאוד זו מזו, וכל שענפי העץ מתפצלים מפעילים אלגוריתמים מתקדמים ומדויקים יותר על מנת ליצור הבחנה נקודתית בין סוגי העצמים.

לא זו בלבד שאלגוריתמים אלה מורכבים מאוד, חלקם גם דורשים התערבות אנושית בזמן פעולתם (זיהוי מונחה), כך שהתהליך כולו ארוך ולא טריויאלי.

היות שפעולת הקלסיפיקציה אינה פשוטה, נעשים ניסיונות לחקות את דרך פעולת המוח האנושי בתהליך זה, ולבנות לפיו מודלים (למשל כאלה המבוססים על "לוגיקה עמומה" - Fuzzy Logic).

להלן אסקור מספר טכניקות המפותחות כיום.

דרך אחת עושה ניתוח מרחבי ספקטרוני של אלמנטים בנוף עירוני ע"י שימוש ברשתות נוירונים, בפרוצדורה שכוללת שני שלבים. בשלב הראשון נאספים מאפיינים כלליים במה שנקרא "קלסיפיקציה רכה", ע"י שימוש ב"חלון נע", שמטרתו לאתר הבדלים בין ישויות בהדמאה. תוצאות השלב הראשון מוזנות למסווג הפועל כרשת נוירונים, ובשלב השני מושלם סיווג פני השטח¹.

¹ Robust recognition of urban patterns using a two stage soft-hard neural classification.

שיטה נוספת שמוצעת נקראת Bidirectional Reflectance Factor², והיא בין השאר מאפשרת לשפר קלסיפיקציה באזור עירוניים. גם מודל זה מיישם מערכת חישובים מורכבת.

שיטה אחרת מציעה מודל מתמטי³, המאפשר לשפר את ההבחנה בין Endmembers דומים, המתקבלים בשיטות ה Unmixing הסטנדרטיות. כך ניתן להגיע להבחנה מדויקת יותר, אך עדיין המודל מסובך ליישום וכולל שלבים רבים.

שיטה נוספת מאפשרת לבצע קלסיפיקציה באופן פסאודו מבוקר. גם היא כוללת מספר שלבים, כשבשלב הראשון מתבצעת פרה-קלסיפיקציה של עצמים עפ"י הדמאת-מפתח הכוללת נוף עירוני, ובהמשך מתבצע ניתוח של principle components, והפעלת מודלים נוספים עד לקבלת התמונה הרצויה⁴.

דרך נוספת עושה שימוש בהתמרת Wavelets. התמרה זו יוצרת למעשה שתי הדמאות - האחת מדגישה את התדרים הנמוכים בתמונה (למעשה זו "קלסיפיקציה גסה") והשנייה מדגישה את התדרים הגבוהים בתמונה (זו מאפשרת "קלסיפיקציה עדינה"). אולם על מנת לטייב את השיטה נדרשת התערבות אנושית הכרוכה בהכרת המפה הגיאוגרפית⁵.

Binaghi E. Brivio PA. Gallo I. Pepe M. Rampini A.
Ist. per le Tecnologie Informatiche Multimediali, CNR, Milan, Italy
SPIE-Int. Soc. Opt. Eng. Proceedings of Spie - the International Society
for Optical Engineering, vol.4170, 2001, pp.49-56. USA.

² Large-scale bidirectional reflectance model for urban areas.
Meister G. Rothkirch A. Spitzer H. Bienlein JK.
Dept. of Geogr., Maryland Univ., College Park, MD, USA.
IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, vol.39, no.9, Sept. 2001,
pp.1927-42.

³ Automated differentiation of urban surfaces based on airborne
hyperspectral imagery.
Roessner S. Segl K. Heiden U. Kaufmann H.
Remote Sensing Sect., GeoForschungsZentrum Potsdam, Germany.
IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, vol.39, no.7, July 2001,
pp.1525-32. Publisher: IEEE, USA.

⁴ Automatic extraction of urban regions from multispectral SPOT satellite
imagery.
Qin Jiang. Keaton T.
Center for Signal & Image Processing, Georgia Inst. of Technol., Atlanta,
GA, USA.
Proceedings 2000 International Conference on Image Processing (Cat. No.00CH37101). IEEE. Part vol.2, 2000,
pp.728-31 vol.2. Piscataway, NJ, USA

⁵ Urban area detection in SPOT images using multi-scale technique and map
knowledge.

לאור כל אלה, מעניין להדגיש את העמדה המוצגת במאמר שמנתח שיטות קלסיפיקציה שונות. הוא משבח את יכולתן של שיטות המייצרות עצי מיון להגיע לרמה גבוהה של קלסיפיקציה, אך בד בבד מדגיש את הסיבוך היחסי של שיטות אלה ואת הצורך של בן אנוש להתערב בביצוען.⁶

יתרון השיטה שהצגתי על פני שיטות הקלסיפיקציה שנסקרו

השיטה שהצגתי עושה שימוש בכלי זמין (תוכנת ENVI), בהפעלת פעולה מתמטית פשוטה, ובעיבוד נוסף שמבוצע בקלות בעזרת התוכנה. השיטה אינה מבצעת קלסיפיקציה מלאה, אך היא מבצעת איתור ספציפי, באופן לא מונחה, של אזורי תעשייה ומסחר בהדמאות לוויין.

הבסיס לשיטה הוא חיסור מתמטי בין ערוץ בתחום ה NIR לערוץ בתחום הנראה (צבע כחול), וצביעה בערכת צבעים מוגדרת. ההבחנה מתאפשרת בעיקר תודות לגורם הצמחייה השונה בין אזור מגורים לאזור תעשייתי.

ליכולת לאתר אזורי תעשייה ומסחר בשטח אורבני שימושים מעשיים רבים.

היתרון הגדול של השיטה שהצגתי הוא פשטות הפעלתה, והתועלת הרבה המתקבלת לעומת העלות הנמוכה יחסית של השקעה בציוד, בזמן ובכוח אדם.

היות שקלסיפיקציה מלאה ומדויקת של עצמים היא תהליך ארוך ומורכב, יש לטעמי יתרון בפיתוח שיטות פשוטות לאיתור מרכיבים ספציפיים בהדמאות, כדוגמת השיטה שהוצגה בעבודה זו.

סיכום

בעבודה זו השתמשתי בכלים אותם הכרנו בקורס, כדי להציע דרך להדגיש אזורי תעשייה ומסחר בהדמאות לוויין. הבסיס לשיטה הוא חיסור מתמטי בין ערוץ בתחום ה NIR לערוץ בתחום הנראה (צבע כחול), וצביעה בערכת צבעים מוגדרת. ההבחנה מתאפשרת בעיקר תודות לגורם הצמחייה השונה בין אזור מגורים לאזור תעשייתי. ליכולת לאתר אזורי תעשייה ומסחר בשטח אורבני שימושים מעשיים רבים.

IEEE 1999 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS'99 (Cat. No.99CH36293). IEEE. Part vol.1, 1999, pp.62-4 vol.1.

⁶ Classification trees for improving the accuracy of land use urban data from remotely sensed images.

Shalaby MT. Darwish AA.
Inst. of IT, Nottingham Univ., UK.

Editor Brebbia CA; Pascolo P.

Management Information Systems 2000. Second International Conference on Management Information Systems Incorporating GIS and Remote Sensing. Management Information Systems 2000. WIT Press. 2000, pp.381-91. Southampton, UK .