

מערכת וידאו דיגיטאלית מבוססת GIS לאיסוף נתונים מרחביים לניהול הקניין של תשתיות תחבורתיות (Transportation Asset Management)

אינג' אדמונדו בוטנר וד"ר מריו הופמן¹

משרד זה הוציא לאור פרסום בשם [5] "Asset Management Primer" אשר הדגיש את הצורך בתהליך סיסטמאטי ויעיל להקצאת תקציב לאחזקה, לשדרוג ולתפעול של כל המתקנים הפיזיים של רשתות תחבורה. הפרסום הדגיש כי השיטות הנהוגות לניהול קניין מספקות את הכלים לעשות זאת. ניהול קניין (Asset Management) או ניהול קניין תחבורתי (Transportation Asset Management – TAM) מרחיב אפוא את שיטות הניהול המסורתיות לגבי פריטים בודדים ברשת, כגון מיסעות ו/או גשרים, ומסתכל על המערכת התחבורתית הגלובלית על כל מרכיביה על מנת לאפשר ניהול מקיף של תשתיות רבות עם תקציבים מוגבלים.

הפרסום NCHRP Synthesis of Highway Practice 371 משנת 2007, העוסק בניהול קניין של מתקנים נבחרים כגון תאורה, תמרורים, סימוני צבע, מעבירי מים ומדרכות וכד', בחן בקרב סוכנויות התחבורה של מדינות ארה"ב את מידת היישום של המושגים, הכלים והשיטות של TAM. הפרסום מציין כי למרות קיומן של מערכות ניהול מתוחכמות יחסית שמשמשות את הסוכנויות למעקב אחר המצב ורמת השירות של המיסעות והגשרים, הכלים הללו טרם מיושמים באופן נרחב עבור קניין תחבורתי אחר. הפרסום מסכם וקובע שהידע לגבי רמת השירות ואורך חייהם של מתקני קניין נבחרים טעון שיפור. סוכנויות רבות רואות את המחסור באינוונטר מושלם ומדויק של מתקני קניין כאחת מנקודות המפתח שמחייבות התייחסות וטיפול.

אימוץ ה-TAM דחף את הפתוח של כלי אינוונטר שצירפו וידאו של המתקנים הנסקרים, אבל קיימים מעט מאוד פרסומים המתארים את השילוב בין הוידאו והמידע הגיאוגרפי הנלווה לו [7]. מאמץ רב הושקע בפענוח אוטומטי של סדקים במיסעות באמצעות תמונות וידאו [8,9] אך נושא זה מנותק מהנושא הכללי של TAM. כלים אחרים אשר פותחו ע"י גופים מסחריים ניסו לבצע אינטגרציה מסוימת, אך אין מספיק מידע מפורסם ממנו אפשר להבין את השיטות לאינטגרציה זאת [10], [11]. ברוב המקרים, הוידאו נאסף עם ייחוס GPS, אבל אין אינטגרציית GIS שלמה בגישה או הצגה של הנתונים הוידאוגרפיים.

מאמר זה מציג את המרכיבים של YonaPMS.Video, מערכת ממוחשבת שפותחה בארץ במטרה ליצור אינטגרציה מלאה בין נתונים טבלאיים, מערכות GIS ווידאו על מנת ולשפר את הכלים לביצוע TAM. באופן ספציפי, YonaPMS.Video משפרת שלושה מרכיבים חשובים של TAM: א) עריכת אינוונטר וידאוגרפי מבוסס GIS של מתקני קניין, ב) הערכת מצבם של המתקנים ו-ג) הכנת תוכניות עבודה ארוכות טווח לאחזקה, שיקום ושדרוג של המתקנים התחבורתיים.

מערכת YonaPMS.Video

בסיס הנתונים של YonaPMS.Video מורכב מתמונות דיגיטאליות מצולמות מתוך רכב נוסע במהירות של עד 100 קמ"ש המצויד במספר

מבוא ורקע

נראה שקיים קונצנזוס בקרב הגופים האחראיים על אחזקתן ושיקומן של רשתות תחבורתיות, שעל מנת לקבל החלטות מבוססות, הנדסיות-כלכליות ומאוזנות בתרחישי תקציבים מוגבלים בדרך כלל, נדרשת מערכת ניהול מידע סיסטמאטית, אובייקטיבית ומקיפה, כזאת שמאפשרת תחרות על התקציב בין כל מרכיבי הרשת. הנושא מטופל במה שקרוי PMS - Pavement Management System, (מערכת ניהול מיסעות - מני"מ), או PMMS - Pavement Maintenance Management System (מערכת ניהול אחזקת מיסעות - מנא"מ), ויותר מאוחר, על ידי TAM - Transportation Asset Management (מערכת ניהול הקניין התחבורתי).

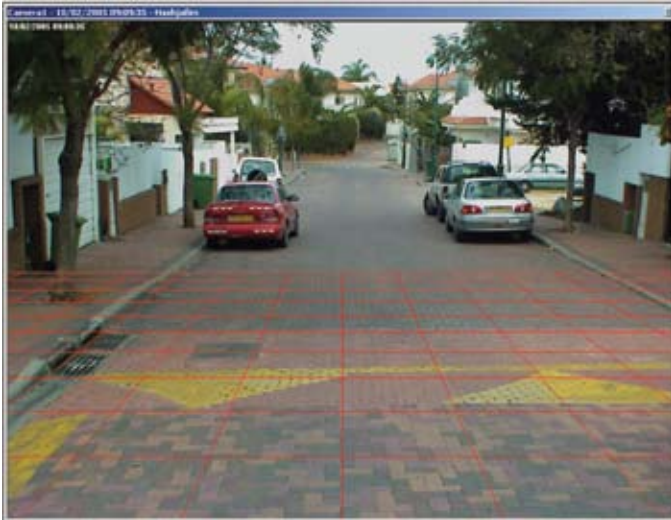
[1] Finn מציין שקשה לקבוע במדויק מתי רעיון זה התחיל, אך ככל הנראה, לפני 50 או 60 שנה, מהנדס אלמוני ביישוב כלשהו החליט שצריך להעריך את מצב המיסעות על מנת לקבוע סדרי עדיפות לאחזקתן, ולשם כך הוא שרבט רישומים על פתק בנוגע למצב הכבישים, מי גר לאורך הרחוב, אילו בתי עסק מושפעים מהתנועה, האם יש קווי אוטובוסים לאורך הכביש וכד'.

מאז, העקרונות והכלים לניהול מיסעות וקניין תחבורתי השתפרו מאוד. הספר של Haas and Hudson על Pavement Management Systems [2] משנת 1977 הוא ככל הנראה הפרסום הראשון שמציג את הנושא בצורה מסודרת. במקביל, החל שימוש נרחב במדד מצב המיסעה (Pavement Condition Index – PCI) שדירג את רמת השירות של המיסעה בהתאם לסוג, כמות וחומרה של נזקים שונים בפני האספלט או הבטון. באותן שנים פותחה גם תוכנת Micro-PAVER לניהול מיסעות כבישים ושדות תעופה בשנות ה-80 [3], אשר תרמה רבות לטיפול מערכתי של נתוני הרשת לקבלת החלטות שיקום/אחזקה, להקצאת משאבים ולניהול מידע.

כעבור מספר שנים של ניסיון עם המערכות הללו הובן שניתן להציג ולעבד טוב יותר את הנתונים הטבלאיים הרבים שנאספים במסגרת המני"מ אם מוסיפים מימד נוסף המבוסס על מערכות מידע גיאוגרפי (Geographic Information System – GIS). הפרסום NCHRP Synthesis of Highway Practice 335 משנת 2004 [4], העוסק ביישומים של ניהול מיסעות מבוססי GIS, מדווח שרוב מדינות ארה"ב השתמשו או תכננו להשתמש ב-GIS או טכנולוגיה מרחבית אחרת כתמיכה בפעולות ניהול מיסעות. הפרסום מציין כי GIS או כלי מרחבי אחר משפר את הצגת בסיס הנתונים ופלט התוצאות, מקל על עיבוד ואינטגרציה של הנתונים ומקל על קליטה של הנתונים המרחביים לניתוח המני"מ.

העיקרון הבסיסי של המני"מ הורחב הלאה, כאשר ב-1998 יסד FHWA את המשרד לניהול קניין (Office of Asset Management).

¹ יונה - יעוץ וניהול הנדסי בע"מ



ציור מס' 2: רשת מדידה בפרספקטיבה

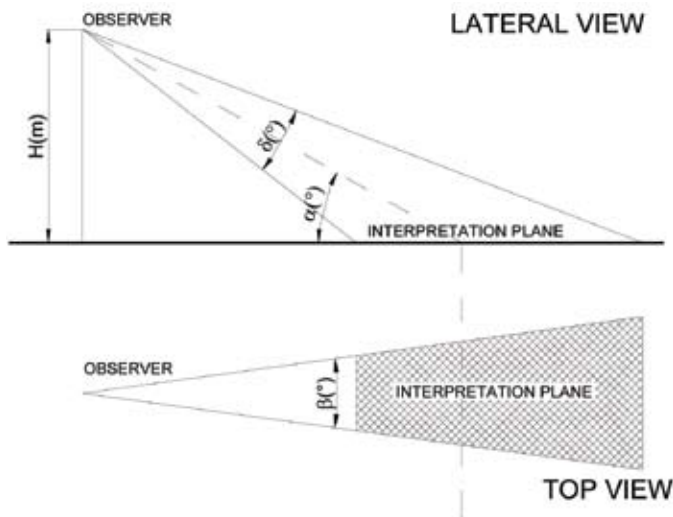
פרמטרים של המודל

טבלה מס' 1 מתארת את הפרמטרים של המודל ושימושם במודל התלת ממדי.

טבלה מס' 1: פרמטרים של מודל המדידה והמיקום של עצמים

מס'	פרמטר	סימבול	יחידה	שימוש
1	זווית אופקית של העדשה	β	deg	מדידה ומיקום
2	זווית אנכית של העדשה	δ	deg	מדידה ומיקום
3	כיוון הנסיעה ביחס לצפון	θ	deg	מיקום
4	מרחק אופקי בין אנטנת ה-GPS וציר המצלמה	D	m	מיקום
5	גובה העדשה ביחס למישור הייחוס	H	m	מדידה ומיקום
6	זווית ציר העדשה ביחס למישור הייחוס	α	deg	מדידה ומיקום

ציורים 3 ו-4 מתארים את פרמטרי המודל



ציור מס' 3: מבט צד ועל של פרמטרי המודל

מצלמות קדמיות ואחוריות המקושרות למפת GIS. מתוך הווידאו ניתן למדוד במדויק וגם למקם עצמים אופקיים ואנכיים. בנוסף, המערכת מאפשרת ביצוע נוח ומדויק של אינוונטרים והערכת מצבם של מתקנים שונים בזכות הדרך, זאת בעזרת טפסים ממוחשבים המיוצרים ע"י המשתמש באמצעות מחולל טפסים גמיש וקל לשימוש.

אחד החידושים הבולטים של YonaPMS.Video הוא הגישה הקואורדינטיבית לכל מתקן ע"י לחיצה פשוטה על הנקודה הנבחרת על גבי המפה. בדרך זאת, אין צורך לגשת למידע הרצוי באמצעות קלט טבלאי או מילולי. הגישה הגיאוגרפית לבסיס הנתונים מאפשרת יעילות מרבית של עבודת הסוקרים ומקלה על המנהל או מקבל ההחלטות את הגישה לנתונים. בנוסף לכך, מאחר והנתונים מיוחסים גיאוגרפית ועל ציר הזמן, ניתן לצפות בו-זמנית בתמונות של אותו קטע שצולמו בזמנים שונים לצורך השוואה ומעקב.

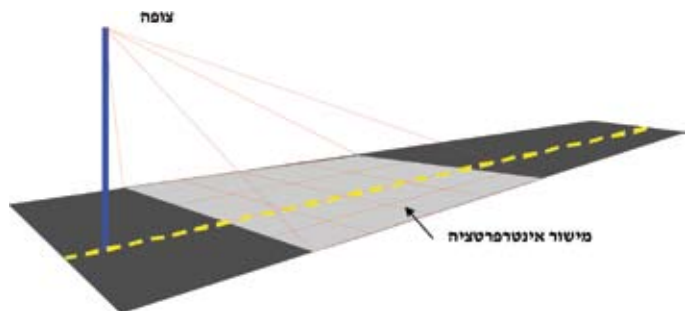
ציוד שטח

ציוד השטח לאיסוף נתונים הוא גמיש ונע בין מצלמה בודדת המורכבת על כל סוגי הרכב, למערך של 5 מצלמות ויותר המכסות זווית תמונה של 360° המורכבות על רכב ייעודי. ניידת הווידאו כוללת את הציוד הטיפוסי הבא:

1. מערכת וידאו בעלת רזולוציה גבוהה (צבע ו/או שחור/לבן) הכוללת מצלמות קדמיות פנוראמיות ומצלמות אחוריות מכוונות לפני הכביש.
2. מקלט GPS עם דיוק תת-מטרי.
3. מתקן Distance Measurement Instrument-DMI למדידה מדויקת של מרחק הנסיעה.
4. מחשב מרכזי אחראי על שליחת אות לצילום סימולטאני של מספר תמונות בתלות במרחק (כל 5 מ', 10 מ' וכד'), לקלוט מידע ממקלט ה-GPS, לקלוט מידע מה-DMI וכד'.
5. מחשב מצלמות אחראי על קביעה ושליטה על פרמטרי המצלמות (מהירות הצמצם, גמה, בהירות וכד'), לקלוט את התמונות, ליחס לכל תמונה מספר זיהוי וזמן הצילום.
6. תוכנת YonaPMS.RVS השולטת ומבקרת את פעולות מערכת השטח.

עקרונות המדידה התלת ממדית ומיקום עצמים מתמונות הווידאו

ציור מס' 1 מתאר את עקרון המדידה התלת ממדית של YonaPMS.Video. הוא מבוסס על מודל גיאומטרי המייצג את הפרספקטיבה של צופה הממוקם בפוקוס של עדשת המצלמה.



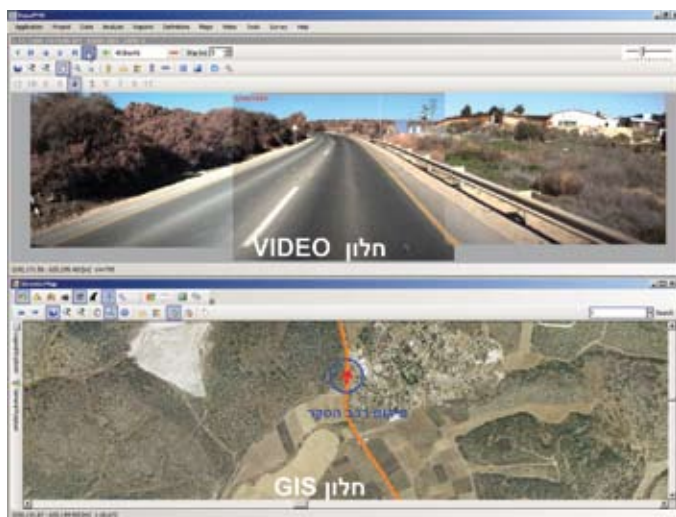
ציור מס' 1: סכימה של הפרספקטיבה של הצופה

ציור מס' 2 מראה תמונה דיגיטאלית עם רשת מושלכת של 1x1 מ' על מישור האינטרפרטציה. רשת המדידה מיוצרת ע"י המודל הגיאומטרי ומשמשת כמישור המדידה והמיקום.

איסוף נתונים בתלת מימד

תהליך איסוף הנתונים בתלת מימד מתחיל בנסיעה "וירטואלית" במשרד בעזרת YonaPMS.Video. ציור מס' 7 מציג את המסך הראשי המורכב משני חלונות: (א) חלון GIS המראה מפת הרשת עם ייחוס ליניארי, ו-(ב) חלון הווידאו המראה את תמונת הווידאו המסונכרנת עם מיקום הרכב במפת GIS.

בחלון ה-GIS ניתן להציג שכבות GIS נוספות הן בפורמט וקטוריאלי (קבצי shp, dwg וכד') או קבצי תמונות (קבצי jpg, אורטופוטו וכד'). כאשר הווידאו מתבצע עם תצורת רב-המצלמות, חלון הווידאו יכול להציג גם מצלמה עצמאית או תמונה פנוראמית המשלבת את שלוש המצלמות כמתואר בציור מס' 7.



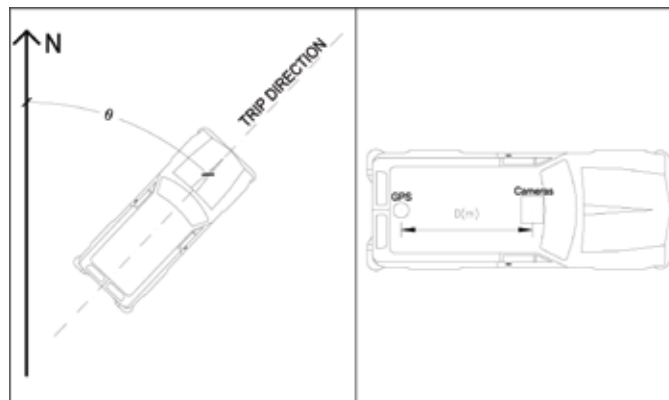
ציור מס' 7: חלון ראשי של YonaPMS.Video

מאחר ו-YonaPMS.Video יודע את הזמן והמיקום המרחבי של ניידת הווידאו עבור כל אחת מהתמונות, וכלי המדידה התלת ממדי יכול לקבוע את הקואורדינטות המקומיות XP, YP, ZP, RoadP, KMP, ST של כל פיקסל על גבי התמונה, אזי המערכת יכולה לבנות שכבת GIS חדשה של כל האלמנטים המופיעים בחלון הווידאו באמצעות מחולל טפסי סקרים כמתואר להלן.

מחולל טפסי סקרים

המערכת כוללת מחולל אוטומטי של טפסי סקרים הנותן למשתמש חופש מוחלט לבנות את הטופס המתאים ביותר לצרכיו והעדפותיו. לאחר יצירת הטופס, הוא נשמר ע"י המערכת ומשמש את צוות הסוקרים להכנסת נתונים לעריכת הסקר הנבחר. אפשר לבצע שינויים בטפסים בכל עת אם וכאשר התנאים מחייבים זאת. טופס סקירה טיפוסי המיוצר ע"י מחולל הטפסים כולל את המרכיבים הבסיסיים הבאים:

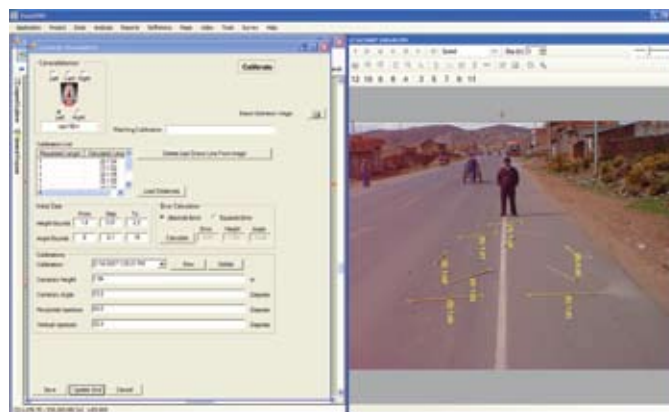
1. שם הסקר: שם המתאר את הסקר.
2. סוג אלמנט ה-GIS: אלמנט קו או נקודה.
3. מיקום האלמנט: מיקום האלמנט ביחס לחתך הרוחבי של הכביש, כלומר, אם האלמנט הוא מעקה למשל, מיקום האלמנט יכול להיות ימין (R), מרכז (C), שמאל (L) וכד'.
4. מאפייני האלמנטים: יש שני סוגי מאפיינים: (א) מאפייני המערכת, ו-(ב) מאפיינים מוגדרים ע"י המשתמש. מאפייני המערכת לא ניתנים לשינוי מאחר ואלה כוללים המיקום והזמן של כל תמונה כפי שניתן ע"י המערכת. מאפייני המשתמש נבחרים מתוך הסוגים השונים: א. תפריט גלילה; ב. בחירה מתוך רשימת אופציות מוכנה מראש.



ציור מס' 4: פרמטרי הרכב במודל התלת מימדי

כיול המודל

פעם בשבוע או כל פעם שהמצלמות מותקנות מחדש מתבצע כיול כמתואר בציור מס' 5. הכיול מבוסס על פיזור רנדומאלי של כ-10 מוטות עץ באורך 1 מ', צילום המוטות ומדידתם עד ששיעור השגיאה קטן מ-3%. כאשר מושג דיוק זה נקבעים הפרמטרים להמשך המדידות.



ציור מס' 5: כיול מודל המדידה מתמונות הווידאו

דוגמאות של מדידות תלת ממדיות

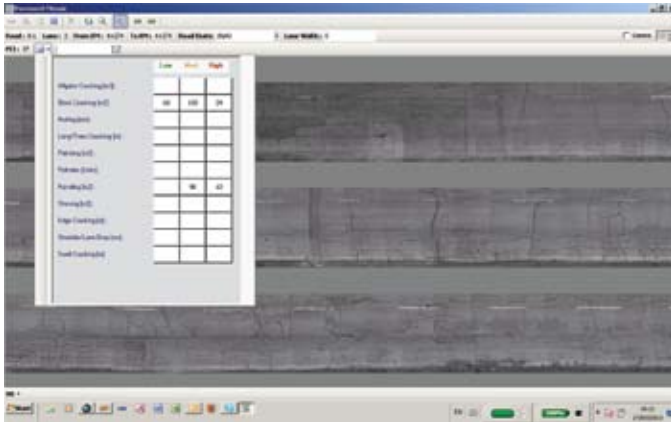
ציור מס' 6 מראה דוגמאות של מדידות אופקיות ואנכיות בעזרת המודל התלת ממדי של YonaPMS.Video. הדיוק האנכי כאשר המדידה מבוצעת קרוב לצופה בחלק התחתון של התמונה מתקרב לדיוק האופקי עם שיעורי שגיאה של עד $\pm 3\%$.



ציור מס' 6: דוגמאות של מדידה אופקית ואנכית

מוזאיקה של פני הכביש עם המצלמות האחוריות וחישוב ה-PCI

הצילום האחורי עם שתי מצלמות ניצבות לפני המיסעה משמש ליצירת מוזאיקה רציפה באורך רצוני נבחר (בד"כ 100 מ') ברוחב של 4.10 מ'. המוזאיקה משמשת את הסוקר לאיתור ורישום סוגים, כמויות וחומרה של נזקים שונים ולחישוב אוטומטי של מדד מצב המיסעה-PCI. ציור מס' 9 מראה מוזאיקה טיפוסית עם טופס הערכת הנזקים. ציור מס' 10 מראה תקריב של חלק מהמיסעה באורך של 6 מ'.



ציור מס' 9: מוזאיקה של פני המיסעה עם המצלמות האחוריות (100 מ' אורך)



ציור מס' 10: תקריב במוזאיקה של פני המיסעה (6 מ' אורך)

יישומים נוספים של מערכת YonaPMS לניהול מיסעות וקניין תחבורתי

המערכת YonaPMS כוללת מוצרים נוספים בתחום ניהול מיסעות וקניין תחבורתי שמאמר קצר מלהכילם:
 YonaPMS.Streets & Sidewalks: מערכת לניהול האחזקה/שיקום של רחובות ומדרכות עירוניות מבוססת וידאו-GIS.
 YonaPMS.Urban Facilities: מערכת לניהול תשתיות עירוניות (מים, ביוב, ניקוז וכד') מבוססת GIS.
 YonaPMS.Highways: מערכת לניהול האחזקה/שיקום של רשתות כבישים בינעירוניות מבוססת וידאו-GIS.
 YonaPMS.Airports: מערכת לניהול האחזקה/שיקום של שדות תעופה מבוססת וידאו-GIS.
 YonaPMS.Railways: מערכת לניהול האחזקה/שיקום של רשתות רכבת מבוססת וידאו-GIS.
 לפרטים נוספים ניתן לבקר באתר www.yonapms.com.

- ב. טקסט/ספרות חופשיים.
- ג. תיבת בדיקה: נכון/לא נכון.
- ד. אופציה לשמור תמונה של האלמנט מתוך הווידאו.

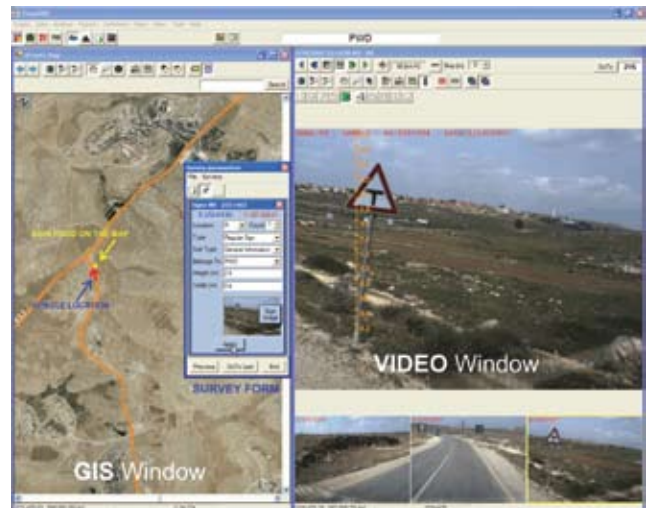
דוגמא של מחולל טופס

- להלן דוגמא של מחולל טופס ליצירת סקר תמרורים.
1. שם הסקר: סקר תמרורים.
 2. סוג אלמנט GIS: נקודה.
 3. מיקום האלמנט: R, C, L.
 4. מאפייני האלמנט: (ראה טבלה מס' 2).

טבלה מס' 2: מאפייני אלמנטים לסקר תמרורים

שם המאפיין	סוג	ערך/אופציית קומבו בוקס
תמרור קבוע	תיבת בדיקה	נכון/לא נכון
סוג התמרור	תפריט גלילה	<ul style="list-style-type: none"> • רגיל • מסגרת פשוטה • מסגרת אלקטרונית • קונסולה פשוטה • קונסולה אלקטרונית
סוג תמרור (חלוקה משנית)	תפריט גלילה	<ul style="list-style-type: none"> • כניסה לעיר • מידע לנהג • מידע כללי • מסי הכביש
שייך ל-	תפריט גלילה	<ul style="list-style-type: none"> • עירייה • מעצ • פרטי • ממעיל/זכיין • אחר
גובה (מ')	טקסט/ספרות	ערך מדוד בחלון הוידאו
רוחב (מ')	טקסט/ספרות	ערך מדוד מחלון הוידאו
תמונה	תמונה	צרך תמונת התמרור מחלון הוידאו

ציור מס' 8 מראה הדפסת מסך של טופס סקירת תמרורים במערכת YonaPMS.Video. בזמן הלחיצה על רגל התמרור מיקומו נקבע באופן אוטומטי במערכת GIS כולל נקודה על המפה.



ציור מס' 8: הדפסת מסך של סקר תמרורים YonaPMS.Video-2

5. "Asset Management Primer". FHWA, U.S. Department of Transportation, 1999.
6. "Managing selected transportation Assets: Signals, Lighting, Signs, Pavement Markings, Culverts, and Sidewalks", NCHRP Synthesis 371, 2007.
7. Santiago-Chaparro, K. R., Colucci-Rios, B., and Figueroa-Medina, A., M., "Development and Evaluation of a Software Tool that Integrates GPS and Video Data from a Road Alignment to Perform Road Condition, Safety Audits, and Inventory Surveys", Presented at the 87th Annual Meeting of the TRB, Washington DC, 2008.
8. Huang, Y., and Bugao, Xu, "Automatic Inspection of Pavement Cracking Distress", Report No. FHWA/TX-06/5-4975-01-1, Center for Transportation Research, Texas DOT, 2006.
9. Offrell, P., Sjogren, L., and Magnusson, R., "Repeatability in Crack Data Collection on Flexible Pavements: Comparison Between Surveys Using Video Cameras, Laser Cameras and a Simplified Manual Survey", Journal of Transportation Engineering, Vol. 131, No. 7, American Society of Civil Engineering, 2005.
10. Surveyor 2.0, Roadware Grp, www.roadware.com/_lib/pdf/datasheet.surveyor.pdf, Accessed May 29th, 2008.
11. Asset Management Solutions, Australian ARRB, www.arrb.com.au/documents/RC-AssetManagement.pdf, Accessed June 19th, 2008.
12. Linear Referencing and Dynamic Segmentation in ArcGIS 8.1. An ESRI white paper, <http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.whitepapers.viewPaper&PID=43&MetaID=294>, Accessed June 2th, 2008.

סיכום

מאמר זה הציג את המערכת YonaPMS.Video לאיסוף וניתוח נתונים מרחביים של רשתות תחבורתיות. המערכת מבוססת על גישה חדישה המשלבת וידאו ברזולוציה גבוהה עם מערכות GIS מעודכנות על מנת ליצור תזרימי נתונים מדויקים לצורכי אינוונטר, הערכת מצב ולהשוואת בסיסי נתוני וידאו היסטוריים הנחוצים במערכות TAM מודרניות. YonaPMS.Video משלב כלי מרחבי המאפשר מדידות אופקיות ואנכיות וקביעת המיקום של האלמנט הנסקר ישירות מתמונת הווידאו. עם כלי זה ניתן למדוד את רוחב הנתב, גובה המעקה או התמרור, שטח הטלאה על הכביש ולמפות את הקואורדינטות, חתך הכביש והתכונות הנבחרות של האלמנטים בעזרת טפסים שהמשתמש מתכנן בעצמו בעזרת מחולל הטפסים של המערכת. YonaPMS.Video מופעל בישראל ובח"ל בפרויקטים רבים העוסקים בניהול האחזקה של מיסעות, תפעול ואחזקה של כבישי אגרה, אינוונטרים של קניין תחבורתי עבור גופים לאומיים, עירוניים, ופרטיים.

רשימת מראי מקום

1. Finn, F., "Pavement Management Systems – Past, Present, and Future", Public Roads, Vol. 62, No. 1, July/August 1998.
2. Haas, R. C. G., and Hudson, W. R., "Pavement Management Systems", McGraw-Hill, New York, NY, 1978.
3. Shahin, M. Y., and Kohn, S. D., "Pavement Maintenance Management for Roads and Parking Lots", Technical Report M-294, Construction Engineering Research Laboratory, U.S.A.C.E., October 1981.
4. "Pavement Management Applications Using Geographic Information System", NCHRP Synthesis 335, 2004.