



התקליטור ויישומיו

רמי אריאלי, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויזמן למדע

תקציר

השם תקליטור נוצר מצירוף המילים תקליט-אור. התקליטור משמש לאיחסון מידע בצורה דיגיטלית (ספרתית). מידע זה כולל טקסט, מוזיקה, תמונות, קטעי וידאו וכו'. המאמר מתאר בקצרה את התפתחות איחסון המידע ובמיוחד התפתחות התקליטור לסוגיו השונים, החל מיישומים להשמעת מוזיקה וכלה באיחסון מידע למחשב. מבנה התקליטור, רישום המידע עליו וקריאת המידע ממנו מתוארים בקצרה בעיקר לשם הבנת היתרונות והחסרונות באיחסון מידע בתקליטור. בסוף המאמר מוזכר גם יישום של התקליטור לניסוי עקיפה בשריג.

מילות מפתח:

תקליטור, קומפקט-דיסק, מידע דיגיטלי (ספרתי), איחסון מידע, CD-ROM.

הקדמה

משחרר ההיסטוריה מחפש האדם אמצעים לאגירת המידע שהוא צובר, מתוך מטרה להנחילו לדור ההמשך. תחילה היו אלו שוכני המערות אשר חקקו באבן את ציורי הקיר המפורסמים המתארים את חיי הצייד של האדם הקדמון. אחר כך הומצאו לפי הסדר: לוחות החרס, מגילות הקלף, הנייר הכתוב, הדפוס, ולבסוף אמצעי **האיחסון המגנטיים**: טייפ-רקורדר (רשם קול), סרטי מחשב של מחשבים גדולים, ודיסקטים (תקליטונים) המשמשים לאיחסון המידע במחשבים אישיים.

ככל שמתפתחת האנושות, גדלה כמות המידע בקצב מסחרר, ודרישות המקום מכתיבות אמצעי איחסון מידע יעילים יותר.

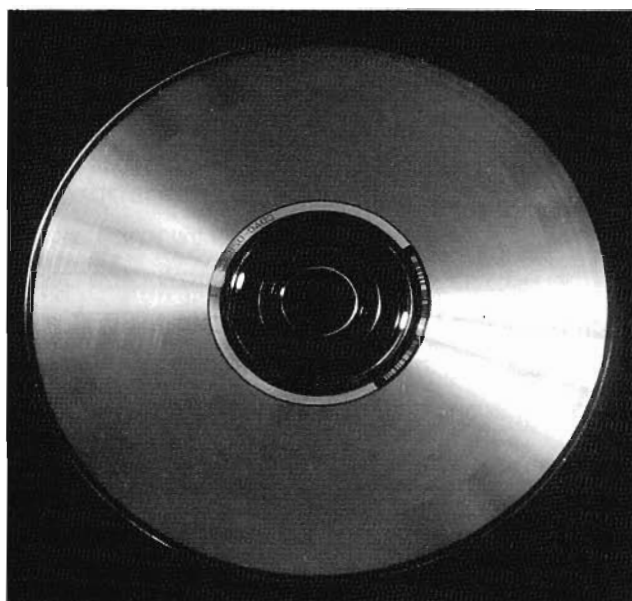
לשם דוגמא, אפשר לבחון את התפתחות כושר איחסון המידע של הדיסקטים המשמשים לאיחסון המידע במחשבים אישיים:

קיבולת איחסון המידע של הדיסקטים הראשונים ("5.25") היתה *360KBytes. אחר כך פותחו דיסקטים באותו גודל פיסי המכילים 1.2MBytes. במקביל פותחו דיסקטים משופרים (באריות פלסטיק), בגודל "3.5", המכילים עד 720KBytes. היום התקן המקובל בדיסקטים שגודלם "3.5" הוא של 1.44MBytes.

המידע הוא דבר דינמי המשתנה עם הזמן, ולכן איחסונו

* Bit = יחידת המידע הבסיסי במחשב.

Byte = ק"ט = 8 Bits = "מילה" במחשב.



תרשים 1: תצלום תקליטור CD-ROM

בצורה דיגיטלית מאפשר עידכון שוטף בקלות. מכאן נובע **יתרון ראשון של האיחסון הדיגיטלי**: ניתן להוסיף מידע בקלות, ולשנות את המידע המאוחסן.

ברור מכאן **היישום המיידי להוראה**: לעומת הוצאה לאור של מהדורות חדשות של ספרי הלימוד הסטטיים שהיא תהליך איטי, יקר ומסובך, עידכון מידע בצורה דיגיטלית הוא מהיר, זול ופשוט.

יתרון נוסף של אמצעי איחסון דיגיטלי הוא יכולת השליפה

3. מאגרי מידע בנושאי לימוד מיוחדים כגון ירושלים או גירוש ספרד.
4. בחינות בגרות בנושאים שונים.

מכיוון שמציאת מידע טכני אודות התקליטור היא בעייתית, מפורטים במאמר זה לנוחות הקורא נתונים רבים ממקורות שונים ומגוונים.

איחסון מידע בצורה אופטית

כדי לקבל קנה מידה להערכת שיטת האיחסון האופטי, נשווה מספר נתונים מספריים:

דף טקסט מודפס בספר מאוחסן ב- 2-4 KBytes.

ספר בן 200 עמודי טקסט מאוחסן ב- 400-800 KBytes.

1. על **דיסק אופטי** אחד של מחשב ניתן כיום לאחסן כמות של 10GBits אינפורמציה, כלומר 10^{10} (!) ביטים של נתונים. זאת בהשוואה ל**כוננים המגנטיים** למיניהם, שהטובים והיקרים בהם מסוגלים לאחסן עד 10^9 Bits. כדי לקבל הערכה לסדרי גודל, הכונן הקשיח במחשב "ממוצע" מכיל כ- 200 Mbytes. בניגוד לדיסק האופטי היקר (אלפי דולרים), ניתן להשתמש לאיחסון מידע בצורה אופטית בתוך זול, אמין ופשוט - **התקליטור**.

2. **התקליטור התיקני** מכיל כ- 550MBytes של מידע, שמקביל לאחד מן הבאים:

- א. 150,000 עמודי טקסט מודפסים (כ- 750 ספרים (!) שבכל אחד מהם כ- 200 עמודים).
ב. 15,000 תמונות של מסמכים.
ג. כ- 1,500 דיסקטים של 360 KBytes.

התפתחות תקני התקליטור (CD=Compact Disk)

אחד הנושאים החשובים ביותר במוצר המוני מסוג זה הוא **קביעת תקן בינלאומי**. תקן זה נדרש על מנת לאפשר השמעת תקליטורים המיוצרים על-ידי כל החברות במכשירים המיוצרים על-ידי יצרנים שונים. התקן מגדיר את מידותיו הפיסיים של התקליטור, את צורת איחסון המידע עליו, את מהירות הסיבוב שלו, ועוד פרמטרים נדרשים. טכנולוגיית CD פותחה לראשונה בשנת 1976 בחברות פיליפס בהולנד וסוני ביפן, שאף קבעו את התקן לטכנולוגיה זו.

התקליטור הראשון היה **תקליטור להשמעת מוסיקה** השמורה בצורה דיגיטלית. כלומר:

$$CD-DAD = CD - Digital Audio Disk$$

המהירה של מידע ממנו, ומכאן יישומו כ**מאגר המידע הממוחשב** ממנו ניתן לשלוף כל נתון לפי קטגוריות מוגדרות, ולבצע הצלבת מידע ממקורות שונים.

אמצעי איחסון המידע הדיגיטלי המבטיח ביותר בשנת 1994 הוא **האיחסון האופטי**.

מתוך מיגוון אמצעי האיחסון של שיטה זו, הזול ביותר והנפוץ ביותר הוא **התקליטור**. שמו של התקליטור מורכב משתי המילים: **תקליט-אור**, זאת עקב דמיונו לתקליט והעובדה שאיחסון המידע על התקליטור, וקריאת המידע ממנו מבוצעים באמצעות קרינת לייזר.

לקבלת קנה מידה להערכת קצב התפתחות התקליטורים בעולם, מספיק לבחון את מספר הכותרים שהתפרסמו על תקליטורים בשנים האחרונות:

שנה	1992	1993	1994 (הערכה)
כותרים	2500	4000	8000

למספרים אלו מומלץ להתייחס בהתאם לכמות המידע האגורה בכל תקליטור כפי שמוסבר בהמשך.

תכנים מתאימים לאיחסון בתקליטור:

1. אנציקלופדיות אלקטרוניות.
2. מאגרי מידע של עיתונים וירחונים.
3. אינדקסים למאגרי מידע גדולים יותר, לדוגמא:
 - ★ INSPEC מאגר מידע עולמי של כל תקצירי המאמרים בתחום ההנדסה והפיסיקה.
 - ★ ERIC מאגר מידע של כל תקצירי המאמרים בתחום החינוך וההוראה.
 - ★ MEDLINE מאגר מידע בתחום הרפואה.
4. משחקים מתוחכמים הכוללים אנימציות, סרטי וידאו, וגרפיקה ממוחשבת תלת ממדית.
5. מאגרי מידע מיקצועיים המשמשים מיגזרים שונים:
 - ★ אוסף פיסקי דין - עבור עורכי דין.
 - ★ תנ"ך, כתבי משנה וכו' - עבור המיגזר הדתי.
 - ★ מלחינים ויצירותיהם.

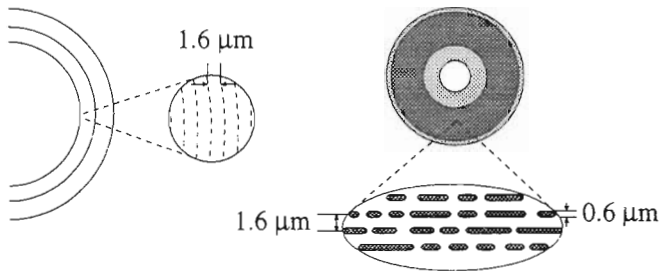
דוגמא לתקליטור המשמש את מערכת החינוך הוא **"התקליטור החינוכי"** שהוא מאגר מידע בנושאי חינוך והוראה בישראל. מאגר מידע זה מכיל מיגוון נושאים כגון:

1. עבודות גמר של תלמידים.
2. תקצירי מאמרים בעברית מהעיתונות המדעית הפופולרית ומהעיתונות היומית.

האור המוחזר משקע, שונה מהאור המוחזר מבליטה, וכך נוצרות שתי הרמות הלוגיות: "0" ו-"1" היוצרות את האינפורמציה הסיפרתית. לתקליטור יש **צד אחד עליו מוקלטת האינפורמציה**, והצד השני משמש להדבקת מדבקת סימון עם פירוט תוכן התקליטור.

מבנה התקליטור

קוטר התקליטור 120 מילימטר [mm] (ראה תרשים 3), והוא מחולק למסלולים:



תרשים 3: רישום המידע על התקליטור

שני מסלולים שמורים עבור מערכת ההפעלה, הראשון נמצא בחלק הקרוב למרכז של התקליטור ונקרא:

מסלול 00 - מסלול מוביל (Lead-in-Track). מכיל את כל האינפורמציה על התקליטור, כגון תוכן השירים, אורכס מיקומם וכו'. נמצא פיסית בין קוטר פנימי של 44mm, לבין קוטר חיצוני של 50mm.

בין שני המסלולים השמורים למערכת ההפעלה (AA, 00), מקליטים את המידע:

מסלולים לאינפורמציה - נמצאים פיסית על התקליטור בין קוטר פנימי של 50mm, לבין קוטר חיצוני של 116mm.

מסלול AA - (Lead-out-Track) עד לקוטר הגדול ב-1mm מהקוטר החיצוני של מסלולי האינפורמציה. במקביל לתקן זה, קיים גם תקן לתקליטורים בקוטר 80mm. ההבדל היחידי בתקן הוא שהקוטר החיצוני המכסימלי של מסלולי האינפורמציה הוא 75 mm.

במהלך הקלטת האינפורמציה לתקליטור, ובמהלך קריאת האינפורמציה ממנו, נשלט קצב הסיבוב של התקליטור כך שהמסלול שמתחת לקרן נע **במהירות קווית קבועה (!)**. עבור תקליטור CD-DAD הנע במהירות "רגילה", המהירות היא: $1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. הראש האופטי קורא 75 בלוקים של מידע

זהו אותו "**קומפקט דיסק**" הנפוץ בחיי יום יום, ומקובל כל כך על חובבי המוסיקה. יתרונות הצלילים המופקים ממנו הם: צליל עשיר ונקי מרעשים.

בשנת 1982 הגיעו להסכם על **תקן לתקליטור להשמעת מוסיקה** - תקן הנקרא בשם: **הספר האדום**; להלן תמצית הגדרותיו:

★ בתקליטור מסוג זה ניתן לאחסן עד 99 קבצי נתונים המוקלטים אחד לאחר השני.

★ לכל קובץ אורך משלו, וההפרדה בין קבצים עוקבים היא באמצעות סימנים מוסכמים.

★ בתוך הקבצים משולבת בזמן ההקלטה אינפורמציה על הזמן.

★ פרק הזמן המינימלי הנמדד הוא: $\frac{1}{75} \text{ s}$.

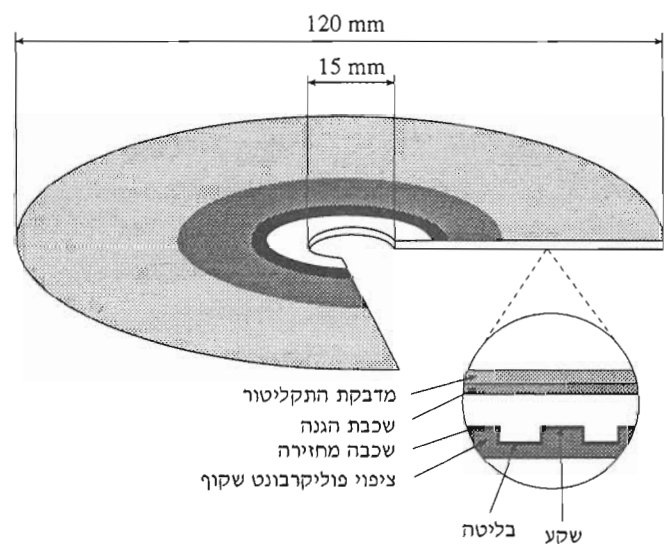
★ ניתן לאחסן על תקליטור כזה יצירות מוסיקליות בצליל סטריאופוני שאורכן הכולל עד 74 דקות.

אות השמע המוקלט נדגם בקצב: 44.1kHz, ברמת הפרדה של: 32Bits (16Bits לכל אחד מהערוצים הסטריאופוניים).

מכיוון שהאינפורמציה נאגרת ביחידות של בָּתים (Bytes) בני 8 ביטים כל אחד, מתקבל שסך הכל קצב הדגימה הוא:

$$44.1 \cdot 1000 \cdot 32/8 = 176.4 \text{ [KBytes/s]}$$

הקלטת האינפורמציה על הדיסק האופטי מבוצעת לאורך **מסלול ספירלי רציף**. המסלול (Track) בנוי משקעים זעירים (Micropits) המצויים על דיסק פלסטיק מצופה מתכת (ראה תרשים 2).



תרשים 2: התקליטור

הקלטת המידע

פעולת **הקלטת המידע** על התקליטור מבוצעת על ידי קרינת לייזר הפוגעת בציפוי **פוטורזיסט** (חומר המשנה את תכונותיו כאשר אור באורך גל מתאים פוגע בו). האינפורמציה המקודדת בצורה בינארית מועברת למודולטור שהוא מתקן השולט על אלומת לייזר בעל אורך גל קצר. לייזר זה יוצר את צורות השקעים בחומר הרגיש לאור (פוטורזיסט), וכך נוצר **תקליטור תבנית אב (מסטר)**. בייצור התקליטור משתדלים שגודל השקע יהיה המינימלי האפשרי (מסדר גודל של אורך הגל של האור, כפי שמוכתב על פי תופעת העקיפה של האור), כדי להגיע לצפיפות גבוהה ביותר של איחסון הנתונים על גבי התקליטור. את הצורה הרשומה על תקליטור המסטר מעבירים בפעולת העתקה לתקליטורים הנמכרים לצרכן, בתהליך המכונה: Electroplating or Photopolymer Replication. בעיקרון תהליך זה מבוסס על ייצור באמצעות מכש, וניתן לייצר תקליטורים בקצב של מאות יחידות בשעה. לעומת זאת שיכפול המידע לדיסקטים מגנטיים מבוצע על-ידי פעולה של הקלטה שהקצב שלה נמוך בסידרי גודל אחדים.

קריאת המידע מהתקליטור

קריאת המידע מבוצעת על ידי הארת התקליטור בקרינה מלייזר הליום-ניאון או מלייזר דיודה. את קרינת האור ממקדים באמצעות מערכת אופטית לנקודה זעירה על פני התקליטור. הקרינה מוחזרת משקעי התקליטור לגלאי. בימיה הראשונים של הטכנולוגיה השתמשו כשיטת איחסון **בהעברת אור** דרך חורים אותם יצרו על הדיסק. את קרינת האור המועברת דרך הדיסק האופטי קלטו באמצעות מערך של גלאים פוטואלקטריים הממוקמים מעבר לדיסק. כיום, משתמשים **בהחזרת האור** משקעים אותם יוצרים על הדיסק. משתמשים במערך גלאים הממוקם באותו צד של הדיסק כמו מקור האור. עומק השקע שעל התקליטור נקבע כך שהאור המוחזר מתחתית השקע יהיה בהפרש מופע של 180° מהאור המוחזר מהשכבה העליונה. על ידי כך מתקבלת **התאבכות הורסת** בין שני חלקי האלומה המוחזרים מגבול השקע. האותות המתקבלים מהגלאים משחזרים את האינפורמציה הספרתית שהוקלטה על הדיסק. החזרה בתקליטור מתקבלת משכבת אלומיניום דקה, המכסה שכבת פלסטיק - פוליקרבונט. מערכת הקריאה של הראש האופטי של מערכת התקליטור מתוארת בתרשים 4.

בשניה ואלו מתורגמים לקצב העברת מידע של 150 KBytes בשניה.

מהירות הסיבוב (המהירות הזוויתית) של התקליטור **משתנה** כאשר ראש הקריאה נע בין החלק הקרוב לציר הסיבוב לבין חלק התקליטור הרחוק מציר הסיבוב.

סידרי גודל של מהירויות סיבוב תקליטור המסתובב במהירות "רגילה":

1500 סיבובים בדקה כאשר ראש הקריאה קרוב למרכז התקליטור. 700 סיבובים בדקה כאשר ראש הקריאה קרוב להיקף התקליטור.

הקלטת מוסיקה בצורה דיגיטלית היוותה את השלב הראשון לקראת איחסון מידע כלשהו בצורה זו, ואכן בשנת

1983 הגיעו להסכם על **תקן לתקליטורים לאיחסון מידע**

סיפרתי המשמשים לקריאה בלבד - **הספר הצהוב של תקן CD-ROM** (ROM=Read Only Memory).

התקן המתקדם ביותר של תקליטורים הוא:

CD-ROM/XA המבוסס על התקן הרגיל.

(XA = eXtended Architecture)

לכל מסלול קיימים **מודים** (modes) המתארים את סוג

המידע המוכל בהם:

Mode 0 - מכיל מידע אאודיו כמו CD-DAD.

Mode 1 - מכיל מידע דיגיטלי למחשב.

Mode 2 - הוגדר מלכתחילה ל"מידע של המשתמש"

(user data), והוגדר מחדש בתקן XA כך **שניתן**

לערבב סוגי מידע על אותו מסלול.

מכיוון שגם לקומפקט דיסק למוסיקה וגם ל-CD-ROM יש תקני חומרה דומים, וקידוד דיגיטלי זהה, ניתן לאחסן על

אותו תקליטור מידע דיגיטלי יחד עם מוסיקה סטריאופונית. אין צורך לתאר את התענוג בעבודה עם

מחשב המשמיע מוסיקת רקע סטריאופונית במהלך העבודה. השימוש העיקרי בכך הוא באיחסון מידע של

מערכות מולטימדיה.

מעט נתונים מספריים על התקליטור

★ האורך הכולל של המסלול כ-5 קילומטר (!);

★ מספר השקעים כ- $2 \cdot 10^9$ (2 ביליון !);

★ רוחב שקע כ-0.6 מיקרון;

★ אורך השקע: 0.83-3.05 מיקרון;

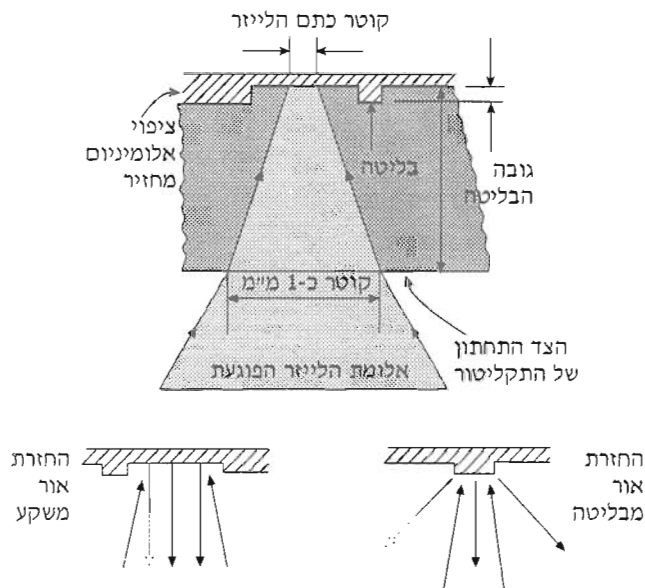
★ עומק השקע: 0.11 מיקרון;

★ המרחק בין שני ערוצים סמוכים: 1.6 מיקרון;

★ צפיפות המסלולים כ-16,000 tpi (tpi = tracks per inch)

לצורך השוואה: רוחב שערת אדם מכסה כ-60 מסלולים.

6. קרינת הלייזר עוברת דרך עובי של 1.2 מ"מ פוליקרבונט לפני שהיא פוגעת ממוקדת במשטח המחזיר עם השקעים (ראה תרשים 5).



תרשים 5: מיקוד קרינת הלייזר על משטח התקליטור

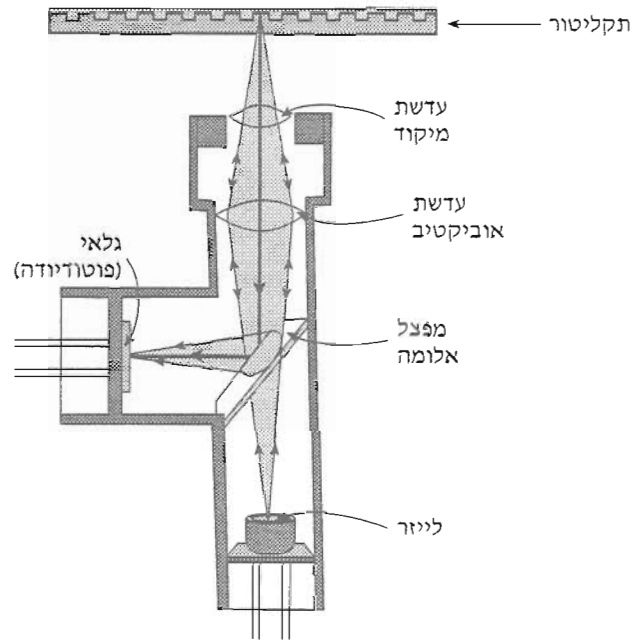
קוטר האלומה הפוגעת במשטח העליון של התקליטור הוא כ-1 מ"מ, ולכן גרגרי אבק קטנים על פני המשטח כמעט ואינם מורגשים בעת קריאת האינפורמציה מהתקליטור.

מגבלות התקליטור כאמצעי איחסון מידע לזמן ארוך:

- ★ הפוליקרבונט ממנו עשוי התקליטור הוא חומר נקבובי, כך שמוזמים יכולים לחדור לשכבת ההקלטה, ושכבה זו יכולה להתחמצן עם הזמן.
- ★ גם פגמים באיטום מאפשרים התפתחות קורוזיה בשכבת המתכת עם השנים.
- ★ פגיעות מכניות גורמות לסריטות העלולות להגיע עד לשכבת החריצים.
- ★ חום ולחות מחישים ריאקציות כימיות של מזהמים עם חומר הפוליקרבונט.

שיפורים מוצעים:

- ★ זקליטורים מצופים בשיכבת זהב במקום אלומיניום עמידים הרבה יותר.
- ★ כאשר הפוליקרבונט מוחלף בזכוכית, משתפרת עמידות התקליטור כנגד כימיקלים, סריטות וחדירת גזים לשכבת המתכת.



תרשים 4: מערכת אופטית בתקליטור

הלייזר פולט אלומת אור רציפה בזמן (CW = Continuous Wave). מערכת מיקוד אופטית מכוונת את קרינת הלייזר על השטח המחזיר של התקליטור. מהירות הסיבוב של התקליטור אינה קבועה, ומנוע מדויק מכוון את המערכת כך שאלומת האור תפגע במסלול הנדרש.

יתרונות התקליטור:

1. צפיפות אינפורמציה גבוהה.
2. גישה אקראית מהירה לנתונים.
3. קריאת האינפורמציה מהדיסק האופטי מבוצעת **ללא מגע מכני** בין הראש הקורא לתווך בו אגורה האינפורמציה. מכאן שאין שחיקה של התווך המאחסן את הנתונים, או של הראש המשמש לקריאת הנתונים תוך כדי תהליך הקריאה. לכן:
4. משך הזמן בו ניתן לאחסן את האינפורמציה ארוך ביותר. להבדיל מתווך האיחסון המגנטי, **התקליטור אינו מושפע משדה מגנטי בסביבתו**, מכיוון שאיחסון הנתונים אינו מגנטי. גם ליכולת כמעט ואינו משפיע על התקליטור, והוא ניתן לניקוי בקלות.
5. לעומת אמצעי האיחסון המגנטיים, בהם המרחק בין ראש ההקלטה לדיסק הוא מסדר גודל של 0.5 מיקרון, הרי בקורא תקליטורים המרחק הפיסי בין העדשה למשטח התקליטור יכול להגיע עד מספר מילימטרים. לכן זניח הסיכוי לפגיעה מכנית כתוצאה מטילטול המכשיר.

תקליטור תמונות

אחד היישומים האחרונים של התקליטור הוא במקום אלבום התמונות המשפחתי. לשם כך פיתחה חברת קודאק את מכשיר ה-Photo CD. מכשיר זה מאפשר העברת תמונות מסרט צילום לאיחסון דיגיטלי עם כושר הפרדה גבוה. סדר הפעולות הוא:

1. סורקים את סרט הצילום.
2. מחשב מעביר את התמונות שעברו דיגיטציה לתקליטור, ובמקביל, מדפיס דף אינדקס של תמונות ממוזערות.
3. ניתן, תוך שימוש במכשיר מיוחד, לצפות בתמונות במסך טלוויזיה ביתי.
4. ניתן בכל מחשב ביתי להעלות את התמונות על המסך ולעבד אותן באמצעות תוכנה מתאימה. בעיבוד תמונות בצורה דיגיטלית ניתן ליצור תמונות חדשות, כולל תמונות "בלתי אפשריות" לכאורה, כגון: תמונותינו על פני הירח, חיבוק בין מנהיג הליכוד עם מנהיג אירגוני החבלה וכו'.

תכונות תקליטור התמונות:

בדיסק אחד מאחסנים כ-100 תמונות כל אחת בקובץ נפרד. כל תמונה שמורה בקובץ אחד ב-5 רזולוציות (כושרי הפרדה) כלהלן:

128-192, 256-384, 512-768, 1024-1536, 2048-3072 pixels
(pixels = picture elements)

איכות התמונה שנבחרה בתקן Photo-CD היא של תמונות בגודל: "11-14" (28-36cm) מתוך נגטיב צבעוני של 35 מ"מ. כאשר סורקים סרט 35 מ"מ עם סורק בכושר הפרדה של 3072-2048, מוכפל ב-3 פֶּתִים לכל אלמנט תמונה (24 ביטים של צבע), מקבלים שכל תמונה כוללת כ-18 MBytes אינפורמציה. האינפורמציה האגורה בכל קובץ היא כ-18 MBytes, אלא שהם דחוסים בתקליטור המיוחד של קודאק לקובץ שניפחו כ-4.5 MBytes בלבד.

התפתחויות עתידיות בתחום התקליטורים:

1. פיתוח תקליטור הניתן לכתיבה (הכנסת מידע) על-ידי המשתמש. דגמים ראשונים הופיעו בשוק.
2. פיתוח קורא תקליטורים שניתן לאחסן בו מספר רב של תקליטורים, והוא יודע לחפש בכולם יחד. דגמים ראשונים הקוראים מחסנית של 6 תקליטורים יצאו לשוק לאחרונה.
3. שיפור אמינות התקליטור כאמצעי איחסון מידע לטווח ארוך, באופן שניתן יהיה לבטל את הנייר בארכיונים

רבים. החלפת הפוליקרבונט בזכוכית, וציפוי בזהב במקום אלומיניום ישפרו את האמינות בסדרי גודל. 4. שיפור קצב העברת המידע מהתקליטור למחשב. כבר עתה הוכפלה מהירות הקריאה בתקליטורים, והתקן הוא של "מהירות כפולה" השווה ל-300 KBytes/s. זאת לעומת מהירות הקריאה של תקליטורי המוסיקה שהיא 150 KB/s. קיימים אף מכשירים ראשונים היכולים לקרוא במהירות פי 4 - 600 KB/s. 5. שיפור זמן הגישה למידע בתקליטור. זמן החיפוש אחר הנתון הנדרש נמדד במילי-שניות (ms). זמן הגישה הממוצע במכשירים הטובים הנמצאים בשוק הוא של: 200-400 ms.

שימוש נוסף בתקליטור בהוראת הפיסיקה

לאחר שמבינים את מבנה התקליטור ועקרונות פעולתו, ניתן לבחון כיצד הוא יוכל לשמש בהוראת הפיסיקה. בנוסף לשימוש המוגדר לאיחסון מידע כך שהוא יוכל להחליף את ספר הלימוד העתידי, ניתן לבצע באמצעותו ניסויי עקיפה בתורת האור והגלים. הרווח בין שני מסלולים סמוכים על התקליטור הוא מסדר גודל של אורך גל של אור נראה, ולכן התקליטור יכול לשמש כשריג "אידיאלי", בעל כושר הפרדה גבוה. הסתכלות אל מול האור על משטח התקליטור יוצרת משחק צבעים מרהיב כפי שניתן לראות בתרשים 1 ועל עטיפת החוברת.

תאור מערך ניסוי, המשתמש בתקליטור כשריג החזרה להפרדת צבעים של מקור אור כגון נורת פלואורסנט, מתואר במאמרם של Zanetti & Harris⁽¹⁾. (יש לשים לב לטעות של 3 סידרי גודל במספר המצוטט במאמר לגבי המירווח בין שני סדקים בשריג. רשום במאמר $d = 1,600[\mu\text{m}]$, במקום $d = 1.6[\mu\text{m}]$ כפי שצוין קודם).

מערך ניסוי פשוט יותר הוא כאשר משתמשים כמקור אור בלייזר הליום - ניאון. ניתן להקרין את אור הלייזר המוחזר מהתקליטור על קיר מרוחק, ולבצע מדידות כמותיות. לדוגמא: ממדידות אלו ניתן לאשר את אורך הגל הנפלט מהלייזר, או המרחק בין שני חריצים סמוכים על התקליטור.

Bibliography

1. Zanetti, V. & Harris, J., "Spectra of Light Sources with a CD", The Physics Teacher, Vol. 31, pp. 82-83, 1993.