

בשירות השידורים הדיגיטליים

נערך ע"י אבנר דרורי 4X1GE

חלק א'

הקדמה

עיקר התכנים, המשודרים היום באלחוט או בכבלים, הם אותות שמע (דיבור ומוסיקה), אותות וידאו, תמונות וטקסטים. שידורם, בשיטות האפנון הקלאסיות, מחייב פס תדרים ברוחב התדר המירבי הנמצא באות האנלוגי.

"רוחב סרט", או "פס תדרים", הדרוש לשידור אותות אנלוגיים, הינו בזבזני ומאחר שהוא משאב יקר יש לנצלו בצורה חכמה.

המטרה העיקרית, של שידורים דיגיטליים, היא לדחוס כמויות גדולות יותר של אינפורמציה באותו רוחב סרט המוקדש היום לשידורים אנלוגיים של אינפורמציה דלילה.

מטרה זאת מושגת בעזרת טכניקות דחיסה, כיווץ ואפנון תוך שמירה על חוסן המערכת בפני שגיאות. טכניקות אלה הן הבסיס לשידורים הדיגיטליים לסוגיהם השונים שהם שידורי רדיו, שידורי טלוויזיה, תקשורת דו-כיוונית (טלפונים סלולאריים) ותקשורת מחשבים.

כול הסבר, של מערכת תקשורת דיגיטלית, יכול תמיד התייחסות לטכנולוגיות הנ"ל ובמקום להשקיע זמן לימוד במערכת עצמה משקיעים זמן רב בלימוד הטכנולוגיות.

כדי לקצר את זמן לימוד המערכות וכדי להקדים רפואה למכה, כדאי ללמוד את הטכנולוגיות האלה לפני שניגשים ללימוד מערכות תקשורת המבוססות עליהן.

בסעיפים הבאים תהיה התייחסות לטכניקות הבסיסיות. ישנן גם טכניקות נוספות, הישימות לשידורים דיגיטליים, שלא נכללו במאמר זה בגלל קוצר היריעה.

הטכנולוגיות, המתוארות במסגרת מאמר זה, הן:

דחיסה באמצעות MPEG.

צמצום באמצעות Symbols

אפנון באמצעות QAM

כמו כן יתן הסבר על שילוב אותן טכנולוגיות להסגת חוסן (Robustness)

דחיסות

ניתן היום, בעידן המעבדים, לחסוך ברוחב סרט ע"י "דחיסות".

הדחיסה, של אותות שמע, נעשה ע"י דגימה המבוססת על "תורת ניקויסט" האומרת שכדי לשמור ולשחזר את הגל המקורי, קצב הדגימות צריך להיות כפליים מהתדר הגבוה ביותר מבין התדרים המרכיבים את האינפורמציה. דגימות אלה נשמרות בצורת קבצים דיגיטליים.

ניתן לדחוס, את הקבצים הדיגיטליים של אותות השמע, בשיטות דחיסה שונות. השימושית ביותר היא "MPEG-1 Audio Layer 3" הידועה בציבור כ-MP-3. דחיסה זו מאפשרת להקטין קבצים דיגיטליים, שמקורם באותות אנלוגיים, ביחס של יותר מ-10:1. במקום שעת נגינה על CD אפשר להשמיע, על אותו CD, נגינה במשך יותר מ-10 שעות. דחיסה מדהימה ומשמעותית ביותר.

דחיסה דומה אפשרית גם בוידאו כאשר היא נעשית בעזרת שיטות שונות כגון MPEG2 או MPEG4.

צמצום

גם לצמצום יש השפעה על רוחב הסרט הנדרש לשידור. צמצום הוא צרוף הביטים, המרכיבים את האינפורמציה המיועדת להעברה מהמקור אל היעד, לקבוצות של אותות דיגיטליים. קבוצות אלה מכונות Symbols. טרם נקבע מינוח עברי ל-Symbol ולכן נשתמש בשמן הלועזי.

הסימבול הוא כעין סימן מייצג, לקבוצת ביטים בעלות הרכב מוגדר, והוא כלי חשוב בשיגור מהיר של אינפורמציה. בהמשך נרחיב בנושא זה.

אפשר להביא דוגמאות מורכבות, לצורך הסבר, אבל כדי לפשט אותו בחרתי דווקא ב-RTTY הוותיק מכיוון שהוא פשוט מאוד ועדיין מוכר לרבים מאיתנו.

תארו לעצמכם שאתם צריכים לשדר אות אחת של RTTY. כול אות, או כול סימן אחר, מוגדר בעזרת 5 ביטים ולהלן מספר דוגמאות של הקוד הבסיסי:

00011 – האות A

00100 – מרווח בין מילים

00101 – האות S

00110 – האות I

01001 – האות D

01010 – האות R

10101 – האות Y

(אגב - זוכרים את ה-RYRYRY שהיה שולח ה-0101010101010101 אתם זוכרים גם למה? התשובה בסוף המאמר).

כפי שנאמר, לכול תו (אות, סיפרה, סימני פיסוק וכדומה) ישנו צרוף של 5 "אחדים" ו-"אפסים" ותוספת של 2 ביטים, עבור התחלה וסיום, ס"ה 7 ביטים. 7 ביטים אלה נשלחים כול אחד בתורו תוך בזבזו זמן משווע.

אפשר לכנות כול קבוצה, בת שבעת הביטים, בשם "סימבול" כאשר לכול צרוף של "אחדים" ו-"אפסים" יקבע סימבול נפרד ובמקום שליחת 7 ביטים נפרדים נשדר רק "סימבול" קצר אחד.

אם נצליח לשדר תו אחד בלבד, עבור כול סימבול בן 7 ביטים, נוכל לקצר את זמן שידור ה-RTTY פי 7 וברור ש-10 דקות שידור הן זמן קצר, בצורה משמעותית, משעה ו-10 דקות. מאוחר יותר נראה איך מיישמים זאת.

המרת קבוצות ביטים לסימבולים היא פעולת תוכנה פשוטה אבל אינה שייכת למאמר זה ולכן לא נדון בה. מה שידון, במסגרת מאמר זה, הוא רק מהות הסימבולים והדרך לשידורם.

אין הגדרה חד משמעית לגודל הסימבול, הכול תלוי ביישום. יחד עם זאת, קל להבין שהגדלת מספר הביטים, בכול סימבול, עשויה להעלות בהרבה את קצב שידור האינפורמציה.

דוגמאות: אם נגדיר רק 4 סימבולים, הם יהיו של 2 ביטים כול אחד. אם נגדיר 16 סימבולים הם יהיו של 4 ביטים כול אחד וככה הלאה.

סדר הביטים, בתוך כול סימבול, הוא תמיד קבוע בהתאם ליישום (לדוגמה: בשידורי טלוויזיה דיגיטלית).

לכאורה כדאי להשתמש במספר גדול של סימבולים שיתנו אפשרות לשידור מהיר של כמות גדולה של ביטים, אבל זה לא כך פשוט ומאוחר יותר יהיה הסבר לסיבת המגבלה.

אגב – ישנם שידורים בהם מעדיפים לשלוח את הסימבולים לא לפי סדר הופעתם המקורי. לשיטה זאת קוראים Interleaving והיא מיושמת בשידורים בשיטת COFDM שלא תידון במאמר זה אבל כדאי לדעת שהיא קיימת. לצורך זה כול סימבול מכיל, פרט לאינפורמציה, גם כתובת זיהוי. מסדרים, את הסימבולים,

בשורה והם יוצאים לדרכם אחד אחרי השני. כשהסימבולים יגיעו ליעד הם יזוהו, יתפסו את מקומם בשורה ובעזרת תוכנה מתאימה הם יומרו בחזרה לסדרת הביטים המקוריים שהם מייצגים.

איך מגדירים סימבולים? לכול סימבול נותנים שני ערכים דיסקרטיים של שני מתחים הניצבים אחד לשני (ראה הסבר על IQ בהמשך). בערך דיסקרטי הכוונה שישנם ערכים אפשריים שמתוכם צריך לבחור ערך אחד בלבד. בהמשך נראה שכאשר מדובר על ערכי מתח של שני רכיבים ניצבים, אפשר להתייחס לכול סימבול גם כאל "ווקטור".

מספר ערכי המתחים האפשריים מוגבל ובהתאם לכך גם מספר הווקטורים, המייצגים סימבולים, יהיה מוגבל.

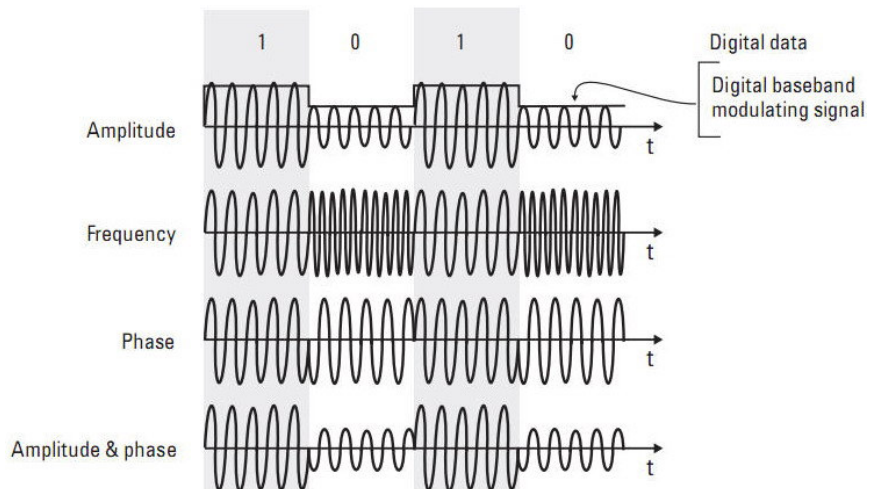
לדוגמה: אם יש לנו רק ערך אחד של מתח נוכל להגדיר רק 2 ווקטורים. אם יש לנו 2 ערכי מתח, כגון מתח חיובי ושלילי, נוכל להגדיר 4 ווקטורים וככה הלאה. בהמשך תהיה התייחסות מפורטת לעניין זה.

אפנון אותות דיגיטליים

אם מדובר על תקשורת למרחקים קצרים, כגון ממחשב למחשב סמוך, אפשר אולי לתקשר בביטים. לעומת זאת, כאשר מדובר על מרחקים גדולים, או אפילו שידור רב ערוצי למרחקים קצרים, יש להשתמש בגל נושא בתדר גבוה ולאפנן עליו את האינפורמציה הדיגיטלית.

כול שידורי הרדיו והכבלים מתבססים על גל נושא המאופנן באינפורמציה המשודרת. כול מי שעוסק בשידור וקליטה מכיר את צורות האפנון (Modulation) וכאלה יש לא מעט. להזכיר חלק מהם: AM, FM, SSB, PSK, FSK

למעשה אפשר לאפנן אותות דיגיטליים בכול השיטות שהוזכרו לעיל ודוגמאות לכך באיור הבא:



הערה כללית הקשורה לשידורים דיגיטליים: בכול אחת משיטות השידור תמיד נשמר גל נושא.

PSK – סנונית ראשונה

ה-PSK שימש, בעיקר בעבר, לשידורים דיגיטליים כגון RTTY. שיטת ה-PSK היא שיטה חסונה מאוד, לשידור אותות דיגיטליים, אבל גם איטית מאוד.

השיטה, ששמה המלא הוא Phase Shift Keying, שימשה בעבר להעברת טקסטים בקצב איטי שנע בין 75 ל-300 ביטים לשנייה ואולי אפילו קצת יותר. בתחילת השימוש, בשיטה זו, הקצב היה כול כך נמוך והתייחסו אליו כאל מיתוג בעזרת מפתח מורס ומכאן ה- Keying שבשמו.

אפנון ה-PSK נעשה ע"י הזזת המופע (Phase Shift) של גל-נושא בתדר קבוע. הזזת המופע הייתה ב- 180° , כאילו הגל הנושא התהפך בכיוונו. ראה דוגמה באיור לעיל (Phase). באיור אפשר לראות היטב את היפוך המופע כאשר עוברים מאפס לאחד או מאחד לאפס.

ה-PSK מאפשר מיתוג בין שני מצבים. אם מדובר על ביטים דיגיטליים, הכוונה היא למצבי "0" או מצב "1" בלבד, ולכן אפשר היה להעביר רק ביט אחד בכל מיתוג (הפיכת מופע).

קל מאוד לבנות מעגלים או תוכנות מחשב המבדילות, חד-משמעית, בין שני המופעים וזאת התכונה המקנה ל-PSK את חוסנה.

לכאורה שיטה זו מאפשרת גם אפנון באותות רציפים כגון אותות שמע ולמעשה ה-PSK הוא גם שם נרדף לשידורי ה-FM המוכרים כולנו. ההבדל הוא בטכניקת האפנון בלבד ושניהם נקלטים, ללא הבדל, במקלטי FM רגילים.

יחד עם זאת, ה-PSK הקלאסי (היפוך מופע של 180°) אינו ישים לשידורים דיגיטליים מהירים ולכן השיטה הוחלפה ע"י ה-QAM.

(המשך בחלק ב')

* * * * *

תשובה לשאלה למה היה צריך לשרר RYRYRYRY

בעבר הרחוק היה טלפרינטר שאותותיו שודרו בזרם DC, חד קוטבי, של 60 מ"א ומאוחר יותר ב-20 מ"א. זרם זה הביא לפעמים למצב בו הקווים הארוכים, שהיה ביניהם קיבול משמעותי, נטענו למתחים גבוהים ועל ידי כך נגרמו שיבושים בקליטה.

כדי לשחרר את המטענים מהקווים, נהגו לשרר לפני כול מברק סדרה של האותיות RYRYRYRYRY המהוות סדרה של 01010101 ועל ידי כך לפרק את המטענים שבקו.

כדי שכול מפעיל חדש ידע את התורה, כתבו והדגישו זאת בכל ספרי ההדרכה של הטלפרינטרים.

במשך הזמן העבירו את הטלפרינטרים למיתוג של זרם המתחלף בקוטביות, העבירו אותם גם לשימוש ב-PSK/FSK ואפילו לשידור ב-RTTY וזאת עדיין תוך ניצול מכשירי הטלפרינטרים הישנים והוראות ההפעלה הישנות בהן נכתב שצריך לשרר סדרות של RY לפני כול מברק.

בשנות ה-80, של המאה שעברה, הטלפרינטרים המכאניים הישנים יצאו משימוש לטובת מכשירים אלקטרוניים מבוקרי מעבדים.

למרות שהצורך לשרר סדרות RY כבר מזמן לא היה רלוונטי, הוא נחרט היטב בזיכרונם של המפעילים הותיקים שרובם אפילו לא הביין למה שידרו RY מלכתחילה. יחד עם זאת, הם היו מסורים מאוד לעבודתם ודאגו לכלול, בכל הוראות ההפעלה, את הצורך בשידורי ה-RY לפני כול מברק. בפועל זה נהפך ל-"תורה מסיני שאין עליה עוררין".

זמן רב עבר מאז התחילו להשתמש ב-PSK/FSK, בין אם בקווים פיזיים ובין אם בשידורים אלחוטיים של RTTY. מכשירי הטלפרינטרים הישנים עברו למוזיאונים ולאספנים, המחשבים תפסו את מקומם אבל ה-"תורה מסיני" ממשיכה להיות חקוקה בספרי ההדרכה.

אז יש לי הודעה חשובה לחובבי רדיו שעדיין מפעילים RTTY – כבר לא חייבים לשרר סדרות RY בתחילת כול מברק.

* * * * *

Symbols & QAM

בשירות השידורים הדיגיטליים

נערך ע"י אבנר דרורי 4XIGE

חלק ב'

יסודות ה-QAM

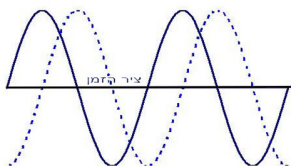
שיטת אפנון זו נמצאת היום בשימוש מרבית מערכות התקשורת האנלוגית והספרתית כאשר אפילו התקשורת הספרתית משמשת בעיקרה להעברת אינפורמציה אנלוגית. תקשורת הטלפונים הסלולארית, שידורי הטלוויזיה הדיגיטלית וכול מה שאנחנו מקבלים באמצעות הכבלים מבוססים היום על אפנון QAM ועל כך נרחיב בהמשך.

ה-QAM הוא, למעשה, פיתוח של PSK כאשר ב-QAM מאפשרים זוויות מופע ושינויי אמפליטודה נוספים. ראה איור בחלק א' (Amplitude & Phase).

אם ה-PSK פותח בעיקר עבור שידור דיגיטלי, הרי שה-QAM פותח עבור אותות אנלוגיים (שנדרשים עבורם ערכים רציפים). מכיוון שכך היא נקראת, בתרגום עברי, בשם "אפנון אמפליטודה רבועי". בשימוש יום-יומי נהוג לכנותו בשם QAM שהם ראשי התיבות של השם האנגלי Quadrature Amplitude Modulation.

השיטה מבוססת על שידור בו זמני של שני אותות (סיגנלים) נפרדים המאפננים שני גלים נושאים בתדר אחד. אחד האותות, המאופנן על הגל הנושא, נקרא בשם "אות האינפורמציה" או "In Phase" ויסומן באות I. האות השני, המסומן ב-Q, מאופנן על גל נושא באותו התדר אלא שהפעם הגל הנושא נמצא בהפרש מופע של 90° .

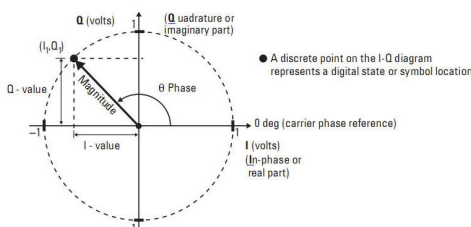
אם נצייר את שני הגלים הנושאים, בציר הזמן, נקבל את התצוגה הבאה. ניתן לראות שה-Q (קו מקווקו) מפגר ב-90 מעלות אחרי אות ה-I (קו רציף).



אם נצייר את שני האותות המאפננים, על תרשים פולארי, נראה שהם ניצבים (אורתוגונאליים) אחד לשני ותוחמים כעין רביע של מעגל (באנגלית Quadrant). בהתאם לכך האות השני נקרא בשם "אות קוודרנטי" ויסומן באות Q.

בשידורי ה-IQ ישנה תופעה מעניינת. אפשר לאפנן את שני אותות ה-IQ על שני גלים נושאים באותו תדר בהפרש של 90° , כאילו הם אותות נפרדים ובלתי תלויים. ניתן לסכמם לערך אחד, לשדר ערך זה, לגלותו ולהפריד את אותות ה-IQ המקוריים. הסבר בהמשך.

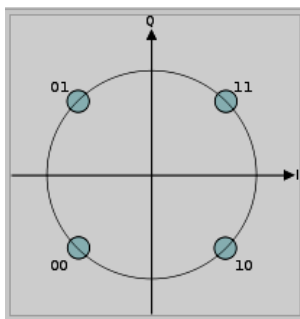
אם נתאר את אותות ה-IQ בצורה של אמפליטודה ומופע, נקבל את התרשים הבא:



ניתן לראות, בתרשים, שהשקול של I ו-Q הוא למעשה ווקטור כאשר בכל רגע נתון אנחנו נפגוש ווקטור אחר. יש לזכור שלמרות שהווקטור מצויר כחץ, הוא מייצג רק את הערכים (אמפליטודה ומופע) של ראשו. אי לכך, בתרשימים הבאים תופיע, בראש הווקטור, רק נקודה.

נניח, לפחות כרגע, שהערכים, של ה-I וה-Q, יכולים להיות רק בגודל קבוע (ערך מתח קבוע) ובערכי מופע מוגדרים (0° ו- 90°) כך שהשקול ינוע רק בקטע שבין 0° ובין 90° . למעשה אין כול סיבה שהוא לא ינוע גם בכול זוויות המעגל ודבר זה ניתן ליישום ע"י שימוש בערכים שליליים, עבור ה-I וה-Q, ועל ידי כך ליצור גם את המופעים האפשריים של 180° ו- 270° .

ניתן לכנות מערך ווקטורי זה כ-QAM 4 והוא מתואר באיור הבא:

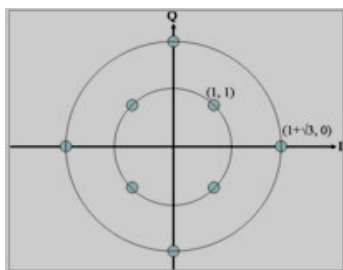


כאמור, כול אחת מארבעת הנקודות מייצגת ראש של ווקטור והצגתם בטבלה תתן את התמונה הבאה:

01	11
00	10

הערה: סדר הביטים, בתוך טבלה זו והבאות אחריה, הוא לצורך הסבר בלבד.

רואים, בטבלה, שכול סימבול יכול להכיל רק 2 ביטים. אם מדובר על סימבולים, הצמצום ממש קטן. אפשר להוסיף ערכים דיסקרטיים נוספים, של אמפליטודה ומופע, ובצורה זאת נוכל לבצע צרוף של 8 ווקטורים דיסקרטיים אפשריים. מערכת זו נקראת בשם QAM 8.



כדאי לשים לב שהמתחים והמופעים נבחרו לצורך הרחקת הווקטורים אחד מהשני.

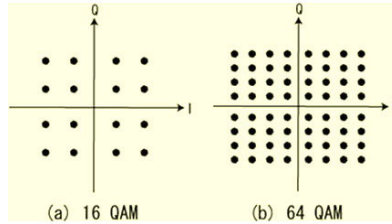
כאשר נציג את ה-QAM 8 בדומה לטבלה הקודמת, נקבל את טבלת האפשרויות הבאה:

000	001	010	011
100	101	110	111

גודל הסימבול האפשרי עלה כבר ל-3 ביטים.

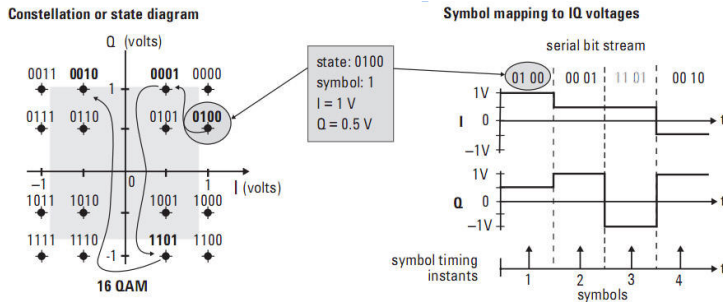
בהמשך נראה שמשתמשים גם בערכי QAM של 16, 32, 64, 128 וכדי להשיג זאת עלינו להוסיף ערכי מתח ומופע דיסקרטיים נוספים עבור ה-I ו-Q.

להלן דוגמאות של 16 QAM ו-64 QAM.



רואים ברור שב-a אפשר לאפנן 16 ווקטורים שונים וב-b אפשר לאפנן 64 ווקטורים שונים.

הקשר, בין מטריצת הסימבולים לאותות ה-IQ, מתואר בתרשים הבא המתאים ל-16 QAM:



מהטבלאות הקודמות רואים שמספר הביטים הוא, למעשה, 2^n כאשר n מייצג את מספר הווקטורים/סימבולים האפשריים.

אפשר לסכם זאת בטבלה הבאה:

QAM	4	8	16	64	128	256
מספר הביטים בסימבול	2	3	4	6	12	24

עכשיו ברור שהעלאת מספר ה-QAM מאפשר לנו להגדיר מספר גדול יותר של ווקטורים שונים ועל ידי כך לאפשר יותר סימבולים כאשר עצם הגדלת כמות הסימבולים מאפשרת להם, כפי שראינו מקודם, להכיל יותר ביטים.

לפני שמתקדמים, בהעלאת מספר הווקטורים, יש להתייחס להשלכות של כול עליה במספרם. הגדלת מספר הווקטורים האפשריים גורמת לצמצום מרווחי הביטחון, הן במופע והן באמפליטודה, ועל ידי כך לכרסם חזק בחוסן המערכת ועל כך בהמשך.

חוסן (Robustness)

אחת הדרישות, מכול אפנון, הוא חוסן בפני הפרעות. במילים פשוטות: הכושר להעביר אותות ללא שגיאות.

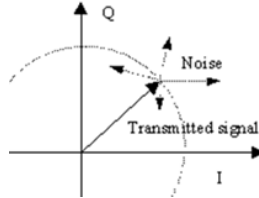
הזכרנו כבר מקודם שה-QAM בנוי למשלוח אותות אנלוגיים (ערכים רציפים) והמשמעות היא שלכאורה אין הגבלה למספר הווקטורים (המייצגים סימבולים). למה לכאורה? כי יש לנו בעיה של חוסן.

אנחנו חיים עם העובדה שלאות הנקלט תהיה תמיד תוספת של רעש. ב-QAM הבסיסי היו לנו מעט מצבים דיסקרטיים (חד משמעיים) של אמפליטודה (0 או 1) וזווית (0° או 90°). אם בתהליך השידור והקליטה הייתה נוצרת הפרעה, המשפיעה על האמפליטודה או הזווית של הווקטור, עדיין היינו מסוגלים להבין מה הייתה הכוונה ולהתגבר על הפרעה. מצב זה מאפשר חוסן גבוה מאוד למערכת.

השמירה על החוסן מחייבת הגדרת ווקטורים (שקול של אותות IQ) דיסקרטיים שיוכלו להופיע רק באמפליטודת דיסקרטיות ובזוויות מופע דיסקרטיות. כמובן שזה מגביל אותנו במספר הווקטורים האפשריים אבל שומר על דרגות חוסן סבירות.

הרעש והשפעותיו

האיור הבא מציג את האפשרויות של השפעת הרעש על ווקטור כול שהוא.

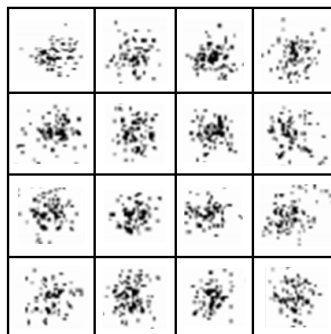


כפי שכבר הוזכר, כול סימבול הוא ווקטור המוגדר בעזרת אמפליטודה ומופע של ערכים דיסקרטיים. ערכים אלה נשלחים בשידור וצריכים להיות ברי גילוי במקלט המכיל כעין טבלה שבעזרתה מזהים את הווקטורים (למעשה את ראש הווקטור). כול עוד קיים זיהוי חד משמעי, כלומר הווקטור פגע בתוך המשבצת המתאימה לו, נקבל אות ללא שגיאות.

x	x	x	x
x	x	x	x
x	x	x	x
x	x	x	x

כול מערכת תקשורת חשופה לרעשים הגורמים בעיקר לשינויים באמפליטודה. כאשר מדובר על ווקטורים, שהם שקולים של IQ, הרי כול רעש, בעוצמת ה-IQ, יגרום לרעש גם בזוויות המופע כפי שראינו כבר לעיל.

אם קיים רעש משמעותי בקליטה, כמתואר באיור הבא, הוא עלול להזיז את הווקטור בתוך המשבצת ולפעמים אפילו להעבירו למשבצת קרובה, לגרום לאות הנקלט להתפרש כווקטור אחר ובמקרה זה תוצר שגיאה.



אם תחום הביטחון, בין ווקטור למשנהו, הן באמפליטודה והן במופע, יהיה קטן הרי שכול רעש קטן (בקליטה) עלול לפגוע קשה בחוסן המערכת. עובדה זו מאלצת אותנו לשמור על מרווחי בטחון משמעותיים הן באמפליטודה והן במופע. הבעיה היא ששמירת מרווחי ביטחון גדולים אינה אפשרית כאשר עובדים ב-QAM גבוה.

שימוש בדרגות שונות של QAM

אם כך, למה משתמשים ב-QAM גבוה? הסיבה פשוטה. מספר גבוה של סימבולים מאפשר לנו להעלות משמעותית את מספר הביטים, בכל סימבול, ועל ידי כך להעלות את קצב העברת האינפורמציה.

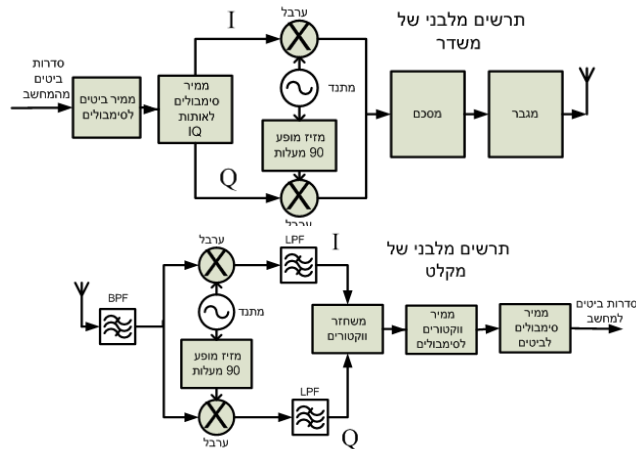
השיקולים, לבחירת רמת ה-QAM בשידור, גם הם פשוטים. אם התווך מוגן מהפרעות, כגון שידור בכבלים, אפשר להעלות את ה-QAM ולשדר בקצב גבוה. אם השידור הוא אלחוטי ומיועד לטווחים רחוקים, כדאי לרדת ברמת ה-QAM. שיקולים נוספים הם:

- אם תהיה הפרעה קלה בשידורי טלוויזיה, זה לא אסון ובמקרה זה אפשר לעלות ברמה.
- אם רוצים לשלוח תמונה בודדת, חשוב שהחסינות תהיה גבוהה ולכן צריך לרדת דרגה.
- אם מדובר על תקשורת מחשבים, שכול טעות בפענוח יכולה להביא לאסון, כדאי לרדת ל-QAM נמוך יותר.

אגב - קל מאוד למתג בין רמות שונות של QAM, מספיק לשלוח למקלט פקודה לשנות את רמת ה-QAM ואז הוא מוכן לפענוח לפי המתכונת החדשה. איך עושים זאת? נראה בהמשך.

קידוד ופענוח

להלן תרשימים עקרוניים של מערכות שידור וקליטה:



"רוחב פס" משוחרר לא יוחזר

לקחנו פס תדרים, דחסנו וכיווצנו את תוכנו ועכשיו נשאר לנו הרבה מקום ריק ברוחב הפס המקורי. מה אפשר לעשות במרחבים שנוצרו? דבר אחד ברור, מה שישוחרר לא ישמש תחנת שידור מתחרה.

אפשרויות הניצול הן רבות וניקח דוגמה משידורי הטלוויזיה האנלוגית. ערוץ טלוויזיה, שרוחבו בישראל 8 מ"ה (בתחום ה-UHF), מכיל רק את האותות האנלוגיים של הוידאו והשמע של הערוץ הבודד. אחרי שדחסנו וצמצמנו את האינפורמציה, המיועדת לשידור דיגיטלי, נשאר לנו מספיק מקום כדי להוסיף עוד 4 ערוצי טלוויזיה שלכול אחד מהם ישנן כתוביות במספר שפות, אותות שמע מרחביים (סראונד) ולוחות שידורים יומיים ושבועיים. ניתן לבצע גם שידורי וידאו בהפרדה גבוהה (HD) אבל לצורך זה ידרש סרט ברוחב של שני ערוצי טלוויזיה בהפרדה רגילה (SD). במילים אחרות: יש להקריב שני ערוצי SD, מתוך חמשת הערוצים האפשריים, כדי לשדר ערוץ אחד של HD.

כמו כן, נוספו גם ערוצי בקרה המאפשרים, בין השאר, להודיע למקלט שצריך לשנות את רמת ה-QAM לקראת השידור הבא.

ואת כול זה מאפשרים לנו ה-QAM והסימבולים.

* * * * *