

שאלות תיאורטיות:

1. אפנון אותות נדרש במקרים בהם

- לא ניתן להעביר כל אות באופן ישיר משום שמכשירי השידור והקליטה רגישים רק לתחומי תדר מסוימים, וכמו כן התווך בו עובר האות אינו מעביר בצורה טובה את כל התדרים, ובפרט לא את תדר האפס. בעזרת אפנון ניתן לבצע הזזות בתדר ולעבוד בתדרים השונים מאלה שמכיל האות אותו אנו מעבירים.
- לאחר אפנון ניתן לבצע ריבוב תדרים ולהעביר אותות רבים בו זמנית מבלי שהם יפריעו זה לזה. לדוגמה, שידור תחנות רדיו רבות דרך האוויר או קיום שיחות טלפון רבות דרך אותה תשתית.

בנוסף בשביל לשדר אות מידע בתדר הדיבור, נצטרך אנטנה מאוד גדולה מה שיהפוך את מערכת השידור לגדולה, בשימוש באפנון נגדיל את התדר וכך נקטין את גודל האנטנה הנדרשת.

2. שיטות אפנון אנלוגיות:

- AM - אפנון משרעת: האות הנישא מיוצג על ידי שינויים במשרעתו של גל.
- FM - אפנון תדר: האות הנישא מיוצג על ידי שינויים בתדר של גל.
- PM - אפנון מופע: האות הנישא מיוצג על ידי שינויים במופע (פאזה) של גל.
- QAM: שני אותות נישאים מיוצגים על ידי שינויים במשרעות של הגל הנושא ושל הגל הנבדל ממנו במופע בן 90° . שקול לשימוש ב-AM ו-PM יחדיו.

שיטות אפנון דיגיטליות:

- ASK - היא שיטה המשנה את עוצמת הגל-הנושא על מנת לייצג נתונים דיגיטליים (בדומה ל AM) המימוש הפשוט ביותר מעביר את הביט "1" כגל הנושא עצמו, ואת הביט "0" כהפסקה בגל הנושא.
- FSK - היא שיטה המייצגת ביטים באמצעות שינויים בדידים בתדר של הגל הנושא, כאשר כל שינוי בתדר מייצג ביט או צירוף מסוים של ביטים.
- PSK - היא שיטה המייצגת ביטים באמצעות שינויים בדידים במופע של הגל הנושא, כאשר כל שינוי מייצג ביט או צירוף מסוים של ביטים.
- QAM - היא שיטה המשתמשת בשני גלים-נושאים, שביניהם יש הפרש פאזה של 90° . כל אחד מהגלים הנ"ל משנה את משרעתו על מנת לייצג צירופים שונים של ביטים. צירופי המשרעות האפשריים נקבעים מראש

3. ננתח את שיטת האפנון PSK. נביט לצורך נוחות ב-PSK BPSK בינארי בערוץ עם רעש גאוס לכן. עבור המילון a^1, a^0 :

$$p_{error} = p(a^0)P(a^1|a^0) + p(a^1)P(a^0|a^1)$$

כלומר, נוסחת ההסתברות השלמה, על ההסתברות שקיבלנו מילה שונה בהינתן שנשלחה מילה מסוימת.

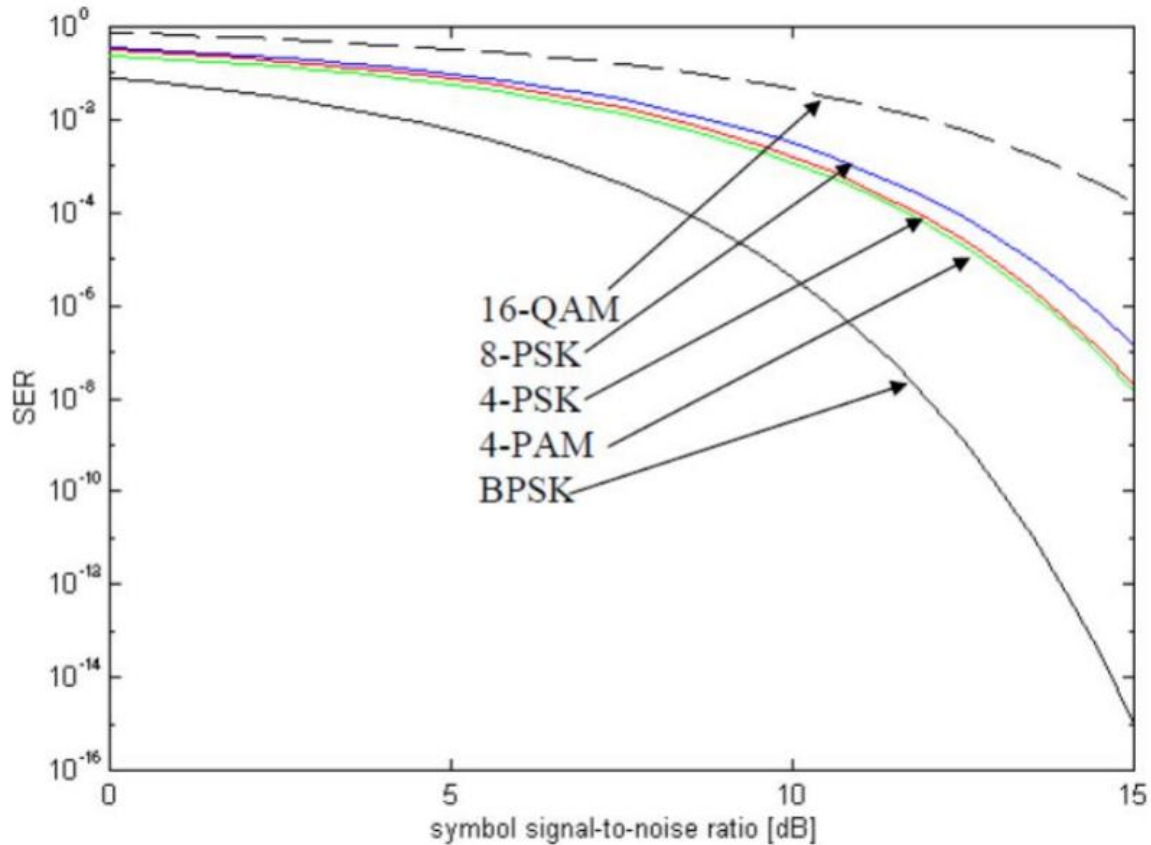
$$P(a^1|a^0) = P(a^0|a^1) = Q\left(\frac{d}{2\sigma}\right) \text{ ו } p(a^0) = p(a^1) = 0.5$$

במקרה הבינארי $p_{error} = Q(\sqrt{2SNR_s})$ כאשר $SNR_s = \frac{E_s}{N_0}$ ו E_s היא האנרגיה של האות.

ההסתברות שהראינו היא ההסתברות לשגיאה בשליחת סימבול, במקרה זה שגיאה זו שווה לשגיאה בשליחת ביט, אבל באופן כללי:

$$p_b = \frac{p_{error}}{\log_2 M} \quad (M=2 \text{ במקרה שלנו})$$

נשים לב שכדי לקבל p_{error} נמוך נרצה ערכים גדולים יותר ב-Q, לכן נרצה ש-SNR יהיה כמה שיותר גבוה. ניתוח של BER לעומת SNR:



4. הגורם המשפיע ביותר על ה-BER של הערוץ הוא רעש, ניתן לראות זאת בכך שהסתברות השגיאה תלויה בעיקר ב-SNR כפי שהראינו בניתוח הקודם. כאשר הרעש גדל אז ה-SNR קטן, הסתברות השגיאה גדלה וכך גם ה-BER. באופן כללי, כל אחד מהגורמים יכול להשפיע ולהקטין את איכות האות וכך גם את ה-SNR, אבל בדרך כלל הגורם העיקרי הוא רעש.
5. משדר טוב יהיה משדר שממקד את השידור לעבר המקלט, כאשר האות מועבר בצורה כמה שיותר חדה וללא הפרעות (באופן אינטואיטיבי- אדם שמדבר לאחר, ידבר אליו בקול רם ולכיוונו). מקלט טוב יהיה כזה שמאזין לכיוון ממנו המשדר משדר אליו, ושיועד לסנן רעשים ולקלוט את המידע מהאות ללא הפרעות (באופן אינטואיטיבי- אדם שמאזין לאחר ימקד תשומת לב אליו, יידע להבין את השפה שלו ולהבין מה העיקר שהוא קולט).
6. בהינתן סכום כסף, נשקיע באנטנה חזקה יותר גם אצל המקלט וגם אצל המשדר, שתהיה מסוגלת לרכז את הגל ולשדר בעוצמה חזקה. כמו כן נשקיע בחומרה איכותית לסינון רעשים ולעיבוד מידע מהיר.

7. יתרונות לשימוש בSDR:

- גמישות- שימוש בSDR מאפשר לשלוט ברכיבים בצורה תוכניתית ולהתאים את המקלט/משדר שלנו לתנאי הסביבה כך שיעבוד בצורה אופטימלית, זאת בניגוד לשימוש קלאסי בחומרה- שמוגבלת לעבוד בצורה שבה ייצרו אותה.
- תאימות- עם התפתחות טכנולוגיות חדשות, ניתן יהיה לשדרג את התוכנה של הSDR כך שיתמוך בהן, וזאת במקום להחליף את החומרה כפי שעושים בשימוש הקלאסי

חסרונות שימוש בSDR:

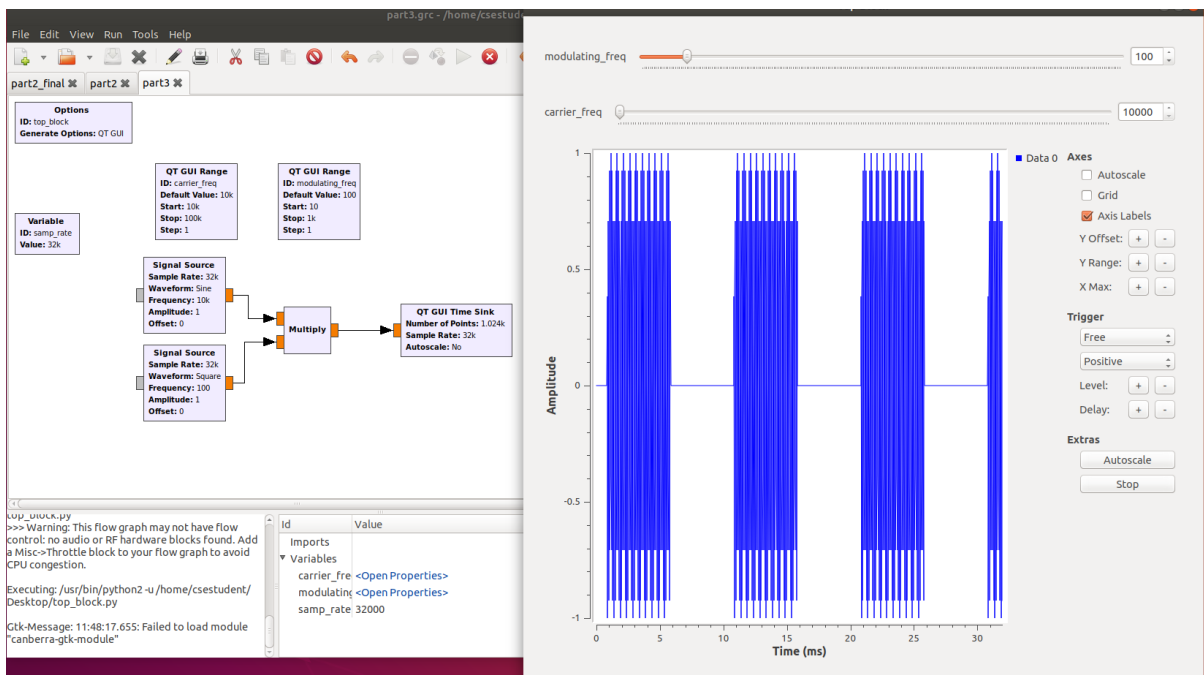
- מחיר- התכנון וייצור של SDR הוא יקר לעומת ייצור חומרה ייעודית קלאסית. יש להשקיע יותר זמן בתכנון וכן להשתמש ברכיבים יקרים יותר שניתן לתכנת ולכן הוא יקר משמעותית מחומרה קלאסית.
 - בעיות תפקוד- קשה לייצר רכיבי המרה אנלוגי לדיגיטלי שיעבדו בצורה תוכניתית טובה ושיעמדו בקצבים מהירים ויעבדו בצורה מדויקת.
8. מגבלות הביצועים של הSDR הן ביצוע ההמרה בין אנלוגי לדיגיטלי בקצבים מהירים ודיוק מספיק(התמודדות עם רעשים), מבלי להשתמש ברכיבי חומרה נוספים- כי ככל שנשתמש ביותר רכיבי חומרה נתקרב למימוש הישן החומרתי ונאבד את היתרונות והגמישות של הSDR.
9. תוכנות למימוש אפליקציות רדיו עם SDR: GNU Radio, Redhawk, SDR lab, LuaRadio.

חלק 2 – GNU Radio:

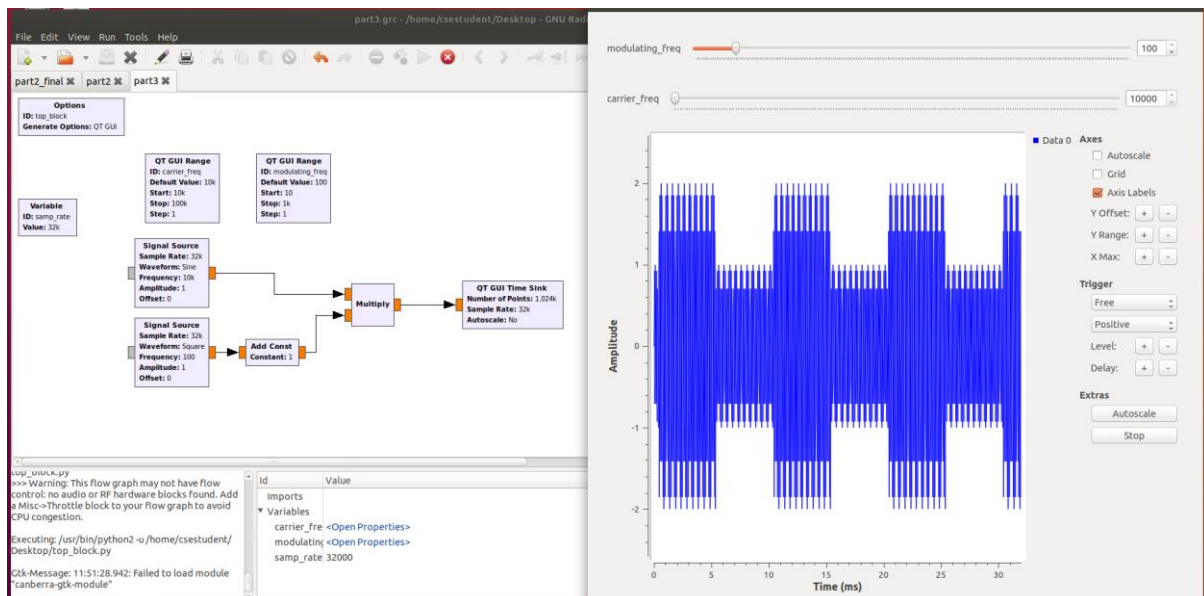
10. במקרה של שגיאה תחילה נראה כיתוב אדום בבלוק שבו היא נמצאת, וכמו כן נוכל ללחוץ למעלה על הסמל view flow graph errors.
11. לצורך הכפלת שני אותות נרצה להתמש ברכיב שהוא מכפל. נבצע חיפוש ברשימת הרכיבים ע"י לחיצה על ctrl+f וחיפוש multiplier. כך נמצא את בלוק המכפלה.
12. לפי הדוקומנטציה של GNU Radio, פורט אפור בהיר משמעותו כניסה להודעה א-סינכרונית.
13. פורט צהוב משמעותו כניסת מספר מסוג int המיוצג ע"י 16 ביטים. לכן, אם נקבל 10 דגימות בשנייה, סה"כ יעברו בפורט הצהוב $10 \times 16 = 160$ bits בשנייה הזו.
14. אנחנו מקבלים אות אודיו והמיקרופון מסוגל לקלוט עד תדר של 8kHz. מכיוון שתחום התדרים של האודיו יכול לנוע מ0 ועד הקליטה של המיקרופון, נצטרך לדגום לפי כלל נייקוויסט, כלומר ב $2 \times 8 = 16$ kHz.
15. שימוש בכלל נייקוויסט במקרה זה יהיה בזבזני כי רוחב האות הוא רק 0.2MHz. זהו בעצם אות בפס מעבר. נשתמש בניתוח שלמדנו בעיבוד אותות ובו תדר הדגימה המינימלי הוא פעמיים רוחב האות, זאת באם התדר הגבוה של האות הוא כפולה שלמה של הרוחב. במקרה זה 100.1 הוא אינו כפולה שלמה של 0.2. לכן ניקח עוד מרווח עבור התדר המינימלי של האות כך שנקבל כפולה שלמה. כלומר נרצה ש $f_2 = (f_1 - \Delta) * L$. עבור הערכים $f_1 = 99.9$, $f_2 = 100.1$, נקבל:
- $$100.1 = (99.9 - \Delta) * L \quad \Delta = 0.0002 \text{ ו } L = 500$$
- הפתרון שייתן לנו את הדלתא הכי קטן הוא עבור $L = 500$ ו $\Delta = 0.0002$. מכך נקבל שרוחב הפס הוא 0.2002, ומכאן שתדר הדגימה המינימלי יהיה $f = 0.4004 \text{ Mhz}$.

חלק 3 – The real deal, modulation

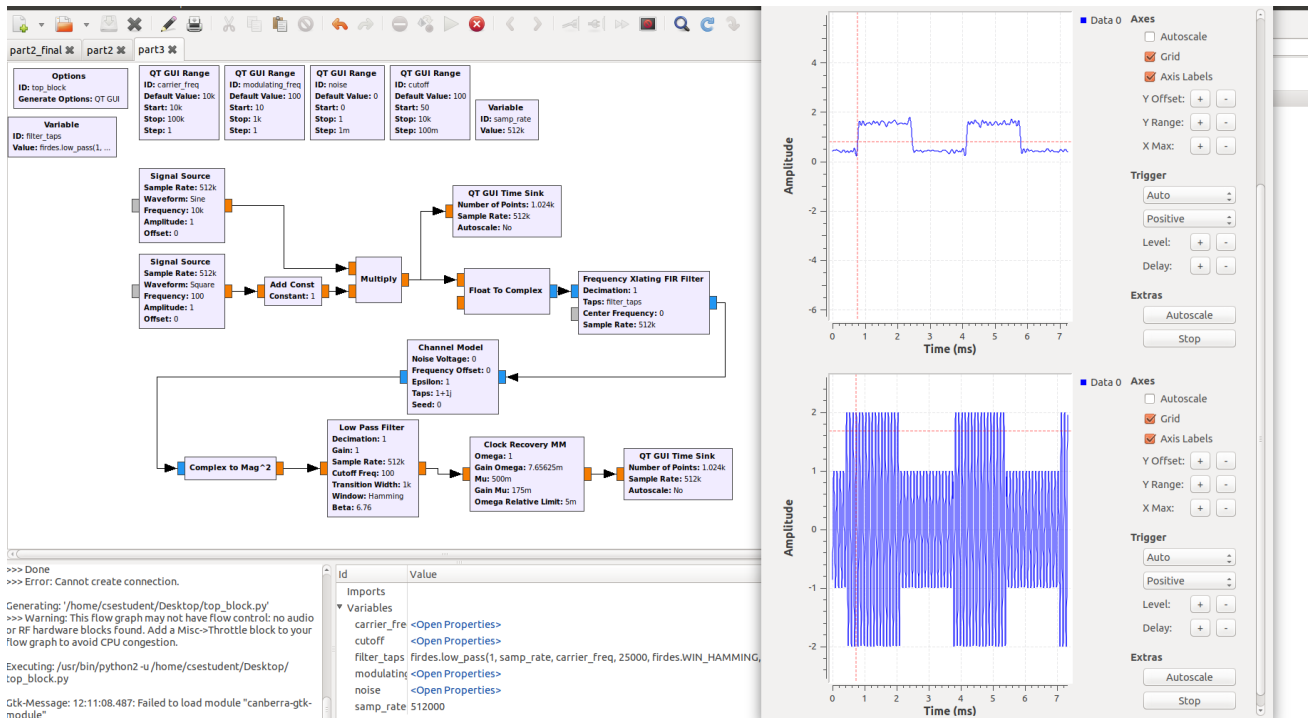
צילום מסך: (OOK modulation)



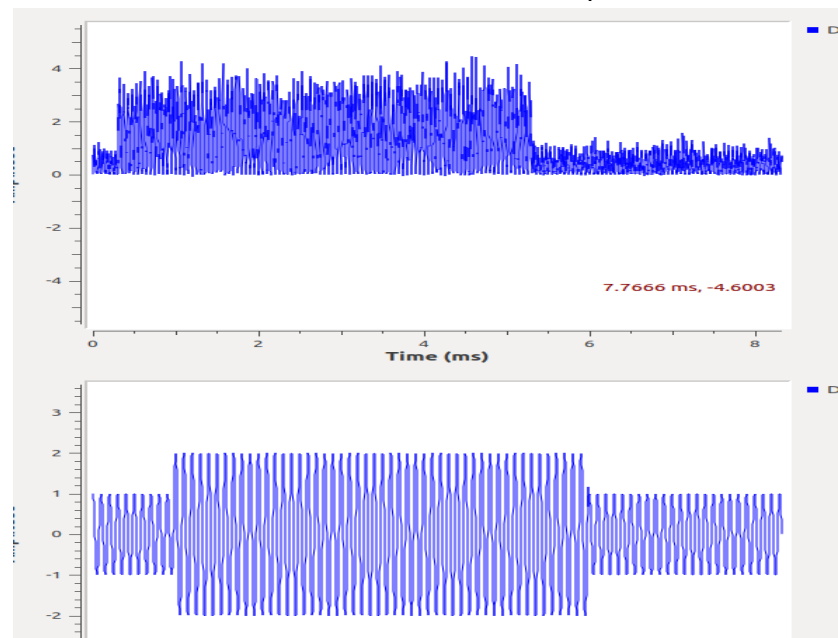
צילום מסך: (ASK modulation)



ציולוס מסך: (decoding)



16. ללא שימוש בפילטר מתקבלת התוצאה הבאה:



ניתן לראות שהפילטר עזר לשחזר את המידע בצורה ברורה יותר, שמושפעת הרבה פחות מהרעש, השימוש ב *cutoff* שהוא בקירוב התדר של הגל הנושא, מאפשר סינון תדרים גבוהים יותר שנובעים מהרעש הנוסף ומהעברת האות בערוץ, וכך מתקבל מידע שקרוב יותר למידע ששלחנו ללא הפרעה של תדרים גדולים יותר שהתקבלו.

17. אם לא נדע את תדירות הגל הנושא, לא נוכל לבצע את הפענוח בצורה נכונה, כי לא נדע איזה תדר לפלטר, בשימוש במסנן ה-FIR. פתרון לכך יהיה לנסות ולשערך ע"י מערכת כלשהי מה הוא תדר הגל הנושא. מחיפוש באינטרנט קיימת מערכת כזו *carrier recovery*. שבודקת שינויים בפאזה ובתדרים של הסיגנל המתקבל ומנסה לשערך מה היה תדר הגל הנושא שלו. (שימוש בשיטת *maximum-likelihood* - שיוך למילה הכי קרובה, או מערכות יותר מורכבות המשתמשות במכפלים ומחלקים).

18. מכיוון שרעש משפיע על האמפליטודה, ניתן לשלוח מידע בצורת אפנון שמשתמשת בפאזה. כלומר כל המידע על האות המקורי שנשלח יהיה בפאזה. שיטה כזו לדוגמה היא FM, ובשיטה זו הפענוח פחות יושפע מהרעש כי הוא תלוי בפאזה בלבד ולא באמפליטודה שמשתנה עם הרעש.

19. כפי שלמדנו בכיתה, במקום לקודד את המידע ביט-ביט, נוכל להשתמש בסימבולים, כלומר לקודד מילים ארוכות יותר (לדוגמה 00,01,10,11). החיסרון הוא שלצורך כך נצטרך 4 רמות אמפליטודה שונות כדי שניתן יהיה לפענח את הסימבולים. נשים לב שמערכת כזו היא יותר רגישה לרעש ולכן גדל הסיכוי לשגיאות בפענוח.

20. נוכל להשתמש גם בפאזה כמימד של מידע. יש שיטות מודולציה שמסתמכות על פאזה כמו FM או PM. היתרון יהיה שיש עוד מקור להסתמך עליו בפענוח, ואפשר להצליב בין המידע שנקבל מהאמפליטודה ומהפאזה וכך לפענח בצורה מדויקת יותר ולהקטין את ההסתברות לשגיאה. מנגד, הדבר צורך עוד חומרה ועוד סיבוכיות חישוב הן אצל השולח והן אצל המקבל, כך שלרוב לא משתלם לעשות זאת.