

Εργασία Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα 2024-2025

❖ Μέρος Α

Διαδικασία υπολογισμού της κυματομορφής με αποδοτικό υπολογιστικά τρόπο:

Οι μέθοδοι *bits_to_gray_symbols* και *generate_ram_waveform* υλοποιήθηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να τρέχουν αποδοτικά και γρήγορα. Συγκεκριμένα, η κωδικοποίηση Gray υλοποιήθηκε απευθείας με XOR για να εκτελείται πιο γρήγορα και αποδοτικά, γλυτώνοντας χώρο και χρόνο. Επιπλέον, η υλοποίηση της κυματομορφής PAM αποδεικνύεται αποτελεσματικότερη όσο αυξάνεται ο αριθμός δειγμάτων.

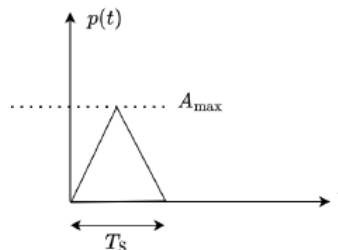
Τιμή T_s για ρυθμό μετάδοσης *bit* ίσο με 1Gbit/s:

Ισχύει ο τύπος $R = 1/T_s = 1/(1e-9) = 1 \text{ Gbit/s}$, όπου R = ταχύτητα μετάδοσης, και
 T_s = διάρκεια συμβόλου

Άρα, $T_s = 1e-9$

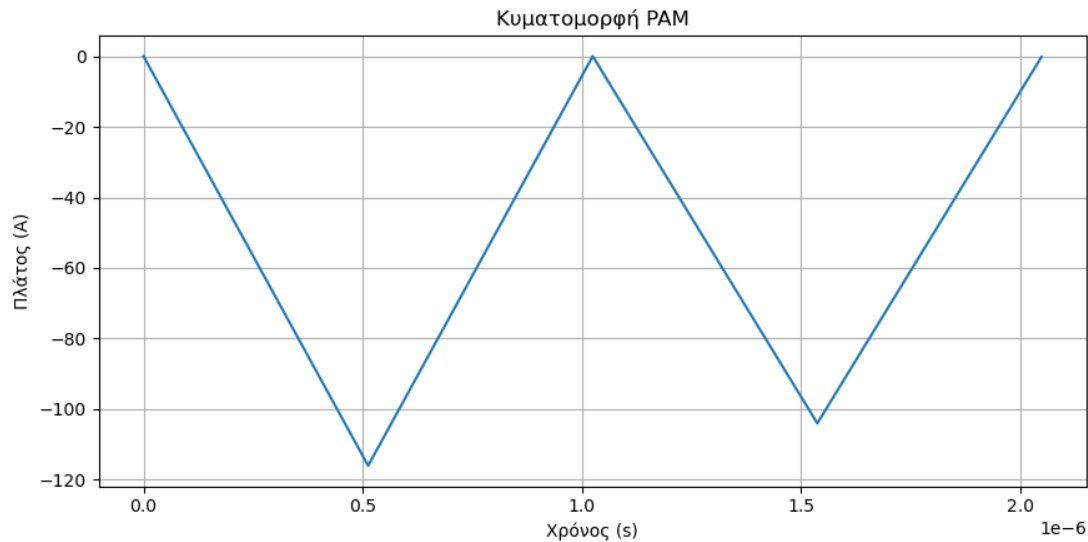
Ο τριγωνικός παλμός υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να ισχύει η σχέση:

$p(t) = (2/T_s) t$ για $0 \leq t \leq T_s/2$, $(2/T_s)(T_s - t)$ για $T_s/2 \leq t \leq T_s$, 0 για αλλού
όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Η κυματομορφή PAM αποτυπώνεται με το διάγραμμα που παράγεται από τη συνάρτηση *plot_waveform*. Στο παρακάτω διάγραμμα, ο άξονας του χρόνου αντιπροσωπεύει την πάροδο του χρόνου, ενώ ο κάθετος άξονας αντιπροσωπεύει το πλάτος του σήματος.

Διάγραμμα Κυματομορφής PAM



Η κυματομορφή αποτελείται από διαδοχικούς τριγωνικούς παλμούς, όπου το πλάτος κάθε παλμού εξαρτάται από το αντίστοιχο σύμβολο Gray. Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, οι παλμοί ξεκινούν με διαφορετικά πλάτη και επαναλαμβάνονται, με τη μορφή τριγωνικών κυμάτων. Η κυματομορφή αυτή διασφαλίζει την αποδοτική μετάδοση πληροφορίας με ελάχιστη χρήση εύρους ζώνης, ενώ παράλληλα διευκολύνει την αποκωδικοποίηση.

Παράδειγμα εκτέλεσης κώδικα:

```
In [13]: %runfile 'C:/Users/panos/CODE/TELECOM SYSTEMS/2022134_AΘΑΝΑΣΙΟΣ_ΕΞΑΡΧΟΥ/PartA.py' --wdir
Τυχαία ακολουθία bits: 01101101
Αριθμός δειγμάτων ανά σύμβολο (π.χ., 1024): 1024
Διάρκεια συμβόλου Ts (π.χ., 1e-9 για 1 Gbit/s): 1e-9

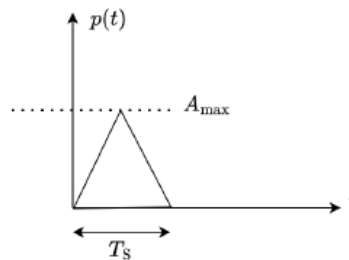
Ομάδες bits: ['0110', '1101']
Σύμβολα Gray: [5, 11]
Σύμβολα Gray (σε δυαδική μορφή): ['0101', '1011']
Αναλογικά πλάτη για τα σύμβολα: [-126, -124, -122, -120, -118, -116, -114, -112, -110, -108, -106, -104, -102, -100, -98, -96, -94,
-92, -90, -88, -86, -84, -82, -80, -78, -76, -74, -72, -70, -68, -66, -64, -62, -60, -58, -56, -54, -52, -50, -48, -46, -44, -42,
-40, -38, -36, -34, -32, -30, -28, -26, -24, -22, -20, -18, -16, -14, -12, -10, -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18,
20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76, 78, 80, 82, 84,
86, 88, 90, 92, 94, 96, 98, 100, 102, 104, 106, 108, 110, 112, 114, 116, 118, 120, 122, 124, 126, 128]
Αναλογικά πλάτη ak για τα σύμβολα: [-116, -104]
Τριγωνικός παλμός p(t):
[0. 0.00195312 0.00390625 ... 0.00585938 0.00390625 0.00195313]
Τιμές πλάτους ak: [-116, -104]
```

❖ Μέρος Β

Η συνάρτηση *generate_pulse* δημιουργεί έναν τριγωνικό παλμό $p(t)$ με βάση τη διάρκεια T_s και τον αριθμό δειγμάτων N . Δημιουργεί έναν άξονα χρόνου t μέσω της `np.linspace`, έτσι ώστε να καλύπτει το διάστημα $[-T_s/2, T_s/2]$ και υπολογίζει τον τριγωνικό παλμό $p(t)$ για κάθε σημείο του χρόνου, με τη χρήση της `np.maximum(1 - np.abs(t / (Ts / 2)), 0)`. Αυτός ο τύπος δημιουργεί έναν τριγωνικό παλμό που έχει μέγιστη τιμή 1 στο κέντρο και μειώνεται γραμμικά προς τα άκρα. Επιστρέφει τον άξονα χρόνου t και τον παλμό $p(t)$.

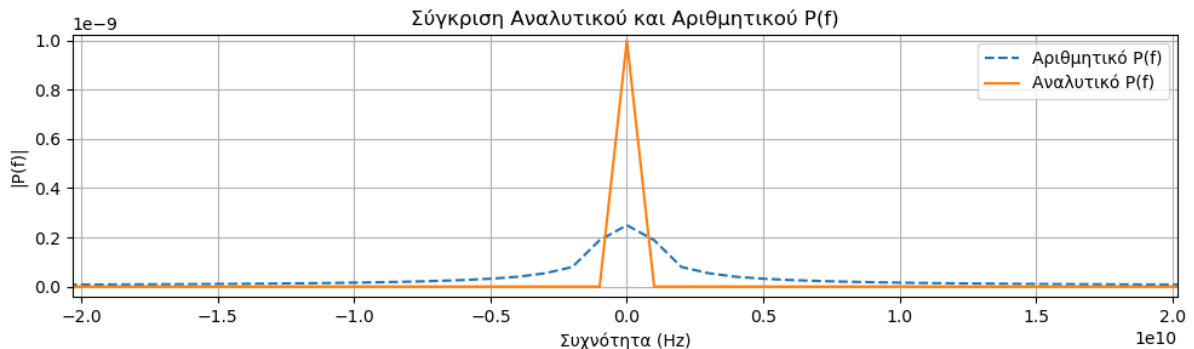
Ο τριγωνικός παλμός υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να ισχύει η σχέση:

$p(t) = (2/T_s) t$ για $0 \leq t \leq T_s/2$, $(2/T_s)(T_s - t)$ για $T_s/2 \leq t \leq T_s$, 0 για αλλού
όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



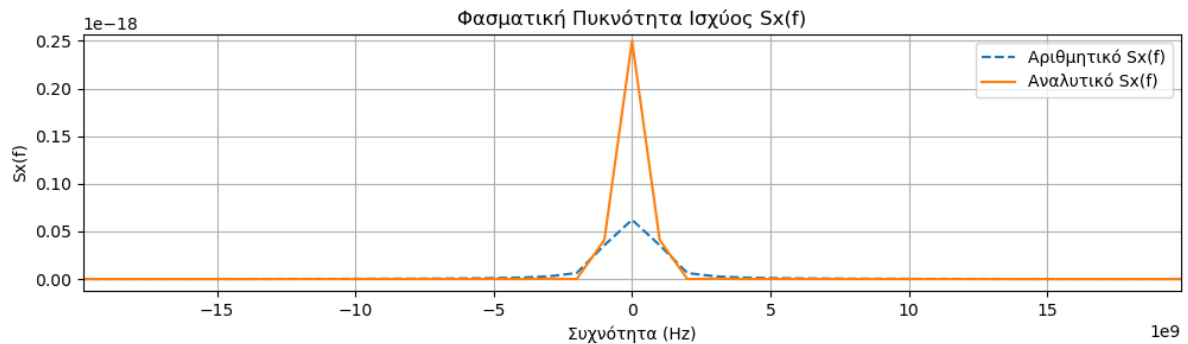
Η συνάρτηση *power_spectral_density* υπολογίζει το φάσμα $P(f)$ και τη φασματική πυκνότητα ισχύος $S_x(f)$, αναλυτικά και αριθμητικά. Ο άξονας συχνοτήτων υπολογίζεται μέσω της `nr.fft.fftfreq` και μετατοπίζεται μέσω της `nr.fft.fftshift`. Η συνάρτηση $P(f) = T_s * \text{sinc}(f * T_s)$ αντιστοιχεί στο φάσμα ενός τριγωνικού παλμού. Το φάσμα υπολογίζεται μέσω της `nr.fft.fft` και κανονικοποιείται με βάση T_s/N . Επιπλέον, υπολογίζει τη φασματική πυκνότητα ισχύος $S_x(f)$ αριθμητικά ως το τετράγωνο του αριθμητικού φάσματος (`Sx_f_numeric`) και υπολογίζει τη φασματική πυκνότητα ισχύος αναλυτικά ως το τετράγωνο του αναλυτικού φάσματος (`Sx_f_analytic`). Επιστρέφει τον άξονα συχνοτήτων, το αριθμητικό φάσμα, την αναλυτική και αριθμητική φασματική πυκνότητα ισχύος.

1ο Διάγραμμα (Σύγκριση Αναλυτικού και Αριθμητικού $P(f)$):



Το παραπάνω διάγραμμα αναπαριστά τις διαφορές ανάμεσα στην αναλυτική και την αριθμητική εκτίμηση του φάσματος. Παρουσιάζει τη σύγκριση ανάμεσα στην αναλυτική και την αριθμητική εκτίμηση του $P(f)$, που αντιπροσωπεύει τη φασματική πυκνότητα ισχύος του παλμού $p(t)$. Η αναλυτική συνάρτηση $P(f)$ υπολογίζεται από τον μετασχηματισμό Fourier του τριγωνικού παλμού $p(t)$. Η αριθμητική εκτίμηση προκύπτει με τον υπολογισμό του μετασχηματισμού Fourier από το δείγμα του παλμού $p(t)$ που παράγεται αριθμητικά από τον κώδικα.

2ο Διάγραμμα (Φασματική Πυκνότητα Ισχύος $S_x(f)$):



Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τη φασματική πυκνότητα ισχύος του συνολικού σήματος $x(t)$, που είναι η κυματομορφή PAM. Η φασματική πυκνότητα ισχύος $S_x(f)$ περιγράφει την κατανομή της ισχύος του σήματος $x(t)$ ως συνάρτηση της συχνότητας. Για την κυματομορφή PAM, το $S_x(f)$ εξαρτάται από τη φασματική πυκνότητα του παλμού $P(f)$ και από την κατανομή ισχύος των συμβόλων. Το φάσμα $P(f)$ του τριγωνικού παλμού επηρεάζει άμεσα τη φασματική πυκνότητα ισχύος $S_x(f)$, καθώς η κατανομή της ισχύος του σήματος εξαρτάται από το πόσο ενέργεια φέρει κάθε σύμβολο στο φάσμα. Επιπλέον, η φασματική πυκνότητα ισχύος θα έχει διαφορετική μορφή ανάλογα με τις ιδιότητες του σήματος και τη διαμόρφωσή του, όπως η ρύθμιση του αριθμού των συμβόλων και ο ρυθμός μετάδοσης.

Παράδειγμα εκτέλεσης κώδικα:

```
In [14]: %runfile 'C:/Users/panos/CODE/TELECOM SYSTEMS/2022134_AΘΑΝΑΣΙΟΣ_ΕΞΑΡΧΟΥ/PartB.py' --wdir
Αριθμός δειγμάτων ανά σύμβολο (π.χ., 1024): 1024
Διάρκεια συμβόλου  $T_s$  (π.χ.,  $1e-9$  για 1 Gbit/s):  $1e-9$ 
```