

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום למציאת נבחן

נוסחאון במערכות תקשורת ב'

לכיתה י"ד

(8 עמודים)

תקשורת בסיב אופטי

חוק סנל:

זווית הפגיעה	-	θ_1	[°]
זווית השבירה	-	θ_2	[°]
מהירות האור בחומר 1	-	v_1	$\left[\frac{m}{sec} \right]$
מהירות האור בחומר 2	-	v_2	$\left[\frac{m}{sec} \right]$
מהירות האור בריק (באוויר)	-	c	$\left[\frac{m}{sec} \right]$
מקדם השבירה של חומר 1	-	n_1	
מקדם השבירה של חומר 2	-	n_2	
הזווית הקריטית	-	θ_c	[°]

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$v = \frac{c}{n}$$

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

עקרון הפעולה של סיב אופטי:

זווית ההתפשטות הקריטית	-	θ_{1c}	[°]
זווית הקליטה	-	$2 \theta_a$	[°]
מפתח נומרי	-	N.A.	

$$\cos \theta_{1c} = \frac{n_2}{n_1}$$

Numerical Aperture

$$N.A. = \sin \theta_a = n_1 \cdot \sin \theta_{1c}$$

מקדם השבירה של ליבת הסיב	-	n_1	
--------------------------	---	-------	--

מקדם השבירה של מעטה הסיב	-	n_2	
--------------------------	---	-------	--

$$N.A. = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

נפיצה בין-אופנית:

<p>הפרש היחסי בין מקדמי-השבירה</p> <p>מקדם השבירה של ליבת הסיב</p> <p>מקדם השבירה של מעטה הסיב</p>	<p>- Δ</p> <p>- n_1</p> <p>- n_2</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $\Delta = \frac{(N.A.)^2}{2n_1^2}$ </div>
<p>הנפיצה הבין-אופנית</p> <p>אורך הסיב</p> <p>זווית ההתפשטות הקריטית</p> <p>מהירות האור בריק (באוויר)</p>	<p>- Δt [sec]</p> <p>- L [m]</p> <p>- θ_{1c} [°]</p> <p>- c $\left[\frac{m}{sec} \right]$</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $\Delta t = \frac{n_1 \cdot L \cdot (1 - \cos \theta_{1c})}{c} = \frac{n_1 \cdot L}{c} \cdot \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)$ $= \frac{n_1 \cdot L \cdot \Delta}{c}$ </div>
<p>הנפיצה הבין-אופנית ליחידת-אורך</p> <p>התדר המנורמל</p> <p>רדיוס ליבת הסיב</p> <p>אורך הגל של האור</p>	<p>- $\frac{\Delta t}{L}$ $\left[\frac{sec}{m} \right]$</p> <p>- V</p> <p>- a [μm]</p> <p>- λ [μm]</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $\frac{\Delta t}{L} = \frac{n_1 \cdot \Delta}{c} = \frac{(N.A.)^2}{2n_1 \cdot c}$ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $V = \frac{2 \pi a}{\lambda} \cdot n_1 \cdot \sqrt{2 \Delta}$ </div>
<p>מספר האופנים בסיב מדרגה רב-אופני</p> <p>מספר האופנים בסיב פרבולי רב-אופני</p>	<p>- M_n</p> <p>- M_n^*</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $M_n = \frac{V^2}{2}$ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $M_n^* = \frac{V^2}{4}$ </div>

ניחות הסיב האופטי:

ניחות הסיב	-	Att	[dB]
הספק במוצא הסיב	-	P _{out}	[W]
הספק במבוא הסיב	-	P _{in}	[W]
מקדם ניחות הסיב	-	β	$\left[\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right]$
אורך הסיב	-	L	[km]

$$\text{Att} = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

$$\text{Att} = \beta \cdot L$$

הפסדי-הספק בסיב אופטי:

1. הפסדים הנובעים מחוסר התאמה בין שטח-הפנים של מקור-האור לבין שטח-הפנים של הסיב האופטי:

שטח-הפנים של ליבת הסיב האופטי	-	A _f	$[(\mu\text{m})^2]$
שטח-הפנים של מקור-האור	-	A _s	$[(\mu\text{m})^2]$
הקוטר של ליבת הסיב האופטי	-	d _f	[μm]
הקוטר של מקור-אור מעגלי	-	d _s	[μm]

$$\text{LOSS}_{\text{AREA}} = 10 \cdot \log \frac{A_f}{A_s} = 20 \cdot \log \frac{d_f}{d_s}$$

2. הפסדים הנובעים מחוסר התאמה בין המפתחים הנומריים של שני סיבים אופטיים:

המפתח הנומרי של הסיב שממנו יוצא האור	-	(N.A) ₁
המפתח הנומרי של הסיב שאליו נכנס האור	-	(N.A) ₂

$$\text{LOSS}_{\text{N.A.}} = 20 \cdot \log \frac{(\text{N.A.})_1}{(\text{N.A.})_2}$$

הפסד ההספק הכולל בסיב אופטי:

$$LOSS_{TOTAL} = L_{sf} + Att + n \cdot L_{conn} + L_{fd}$$

- L_{sf} [dB] הפסדים הנובעים מהצימוד בין מקור-האור לסיב
- Att [dB] הפסדים הנובעים מהנפיצה בסיב
- n מספר המחברים בסיב
- L_{conn} [dB] הפסדים הנובעים מהמחברים בסיב
- L_{fd} [dB] הפסדים הנובעים מהצימוד בין הסיב לגלאי

ההספק המתקבל במוצא של סיב אופטי:

$$P_R = P_L - LOSS_{TOTAL}$$

- P_L [dB] או [dBm] הספק מקור-האור
- R_R [dB] או [dBm] ההספק במוצא הסיב האופטי
- $LOSS_{TOTAL}$ [dB] או [dBm] הפסד ההספק הכולל בסיב האופטי

שולי ההספק:

$$L_m = P_R - P_d$$

- L_m [dB] שולי ההספק
- P_d [dB] רגישות הגלאי

המרת היחידות של הספק:

$$P [dBm] = 10 \cdot \log P [mW]$$

$$P [dB] = 10 \cdot \log P [W] = P [dBm] + 30 [dB]$$

תקשורת תאית

שימוש חוזר בתדרים ברשת תאית:

$$S = K \cdot N$$

$$P = M \cdot S = M \cdot R \cdot N$$

- K - מספר ערוצי התדר בתא
- N - מספר התאים באשכול
- S - מספר הערוצים במערכת
- P - מספר ערוצי התדר ברשת
- M - מספר אשכולות התאים ברשת

$$\equiv \frac{1}{N}$$

מקדם השימוש החוזר של המערכת.

דרגת השירות:

- λ - מספר השיחות שמנוי יזם בשעה אחת
- H [sec] - אורך שיחה ממוצעת
- U - מספר המנויים בתא
- Au [Erlang], [sec] - כמות התעבורה (זמן השיחות הכולל) שמנוי יצר בשעה אחת
- A [Erlang], [sec] - כמות התעבורה הכוללת בתא בשעה אחת
- GOS - דרגת השירות (Grade of Service)
- C - מספר הערוצים בתא

$$Au = \lambda \cdot H \text{ [sec]}$$

$$Au = \frac{\lambda \cdot H}{3600} \text{ [Erlang]}$$

$$A = U \cdot Au$$

$$GOS = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{K!}}$$

: TDMA

- BW_T [Hz] תחום תדרים כולל
- BW [Hz] רוחב פס ערוץ
- X מספר ערוצים
- N מספר חריצי זמן בערוץ (מסגרת)
- C מספר ערוצי בקרה במסגרת
- S מספר מנויים שניתן לשרת ברזמנית

$$BW_T = BW \cdot X$$

$$S = X \cdot (N - C)$$

: CDMA

שיטת CDMA מאפשרת לכל יחידות הקצה שבתא להשתמש בכל טווח התדרים במשך כל הזמן. כל יחידת קצה מזהה על-ידי קוד אישי. המידע המשודר מקודד בשיטה המבוססת על מכפלה סקלרית של וקטורים.

רקע מתמטי - פעולות בווקטורים

נתונים הווקטורים a ו- b :

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_k) \quad ; \quad b = (b_1, b_2, \dots, b_k)$$

הווקטור c הוא מכפלה סקלרית של הווקטורים a ו- b :

$$c = a \cdot b = a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_k \cdot b_k$$

* אם המכפלה של a ו- b נותנת את התוצאה אפס, אזי הווקטורים a ו- b אורתוגונליים.

פעולות בסיסיות בווקטורים:

$$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$$

$$a \cdot kb = k \cdot (a \cdot b) \quad (k \text{ הוא סקלר})$$

$$|a| = \sqrt{a \cdot a} \quad (|a| \text{ מספר ממשי})$$

המשך בעמוד 7

נוסחאון במערכות תקשורת ב',
אביב תשס"ט, נספח לשאלון 711913

$$a \cdot (a + b) = |a|^2$$

אם הווקטורים a ו-b אורתוגונליים, אז מתקיים:

$$a \cdot (-a + b) = -|a|^2$$

$$b \cdot (a + b) = |b|^2$$

$$b \cdot (a - b) = -|b|^2$$

קידוד CDMA

data - מחרוזת מידע ספרתי
(סיביות)

$$\text{data} = d_1 \ d_2 \ \dots \ d_k$$
$$d = (d_1, d_2, \dots, d_k)$$

d - וקטור המייצג את data

$$t = d' \cdot V$$

d' - וקטור d לאחר הצבת (-1)
במקום איברים בעלי הערך
אפס

V - וקטור הקידוד

t - וקטור מידע משודר

t_s - מחרוזת הסיביות המייצגת
את t (האות המשודר)

פיענוח CDMA

data' - מחרוזת הסיביות הנקלטת

$$d = r \cdot V$$

r - וקטור המייצג את data'

V - וקטור הקידוד
(ידוע ליחידה הקולטת)

d - וקטור המידע המפוענח

d'' - וקטור מנורמל המייצג
את d

data - מחרוזת סיביות המייצגת
את d''

הערה: d מתקבל על-ידי המרת מספרים חיוביים ל-'1' ומספרים שליליים ל-'0'.

נספח – דוגמא לקידוד ופענוח בשיטת CDMA

הערה:

נספח זה מצורף לנוסחאון רק לצורך הבהרה, ואינו מהווה חלק מהנוסחאון שיופיע בבחינה.

נדרש לשדר את המחרוזת 1011. ידוע שווקטור הקידוד הוא (1, -1). מצא את המחרוזת המשודרת לאחר הקידוד.

קידוד CDMA

$$\text{data} = 1011$$

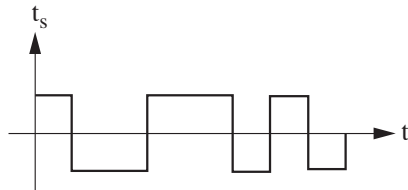
$$d = (1, 0, 1, 1)$$

$$d' = (1, -1, 1, 1)$$

$$V = (1, -1)$$

$$t = d' \cdot V = (1, -1, 1, 1) \cdot (1, -1) = ((1, -1), (-1, 1), (1, -1), (1, -1))$$

$$t_s = (1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1)$$



פענוח CDMA

נקלטת מחרוזת מידע (1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1). נדרש לפענח את המידע כאשר ידוע שווקטור הקידוד הוא (1, -1).

$$\text{data}' = (1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1)$$

$$r = ((1, -1), (-1, 1), (1, -1), (1, -1))$$

$$V = (1, -1)$$

$$d = r \cdot V = ((1, -1), (-1, 1), (1, -1), (1, -1)) \cdot (1, -1)$$

$$d = (2, -2, 2, 2)$$

$$d'' = (1, 0, 1, 1)$$

$$\text{data} = 1011$$

הערה: בדוגמא הנ"ל בוצעו הקידוד והפענוח על מידע זהה, על מנת להדגים את יכולת השחזור של המידע המקורי.

בהצלחה!