



פרויקט בקורס "ניתוח ותכנון מערכות": תהליך ניתוב החולים מהמלר"ד למחלקות הפנימיות בבית החולים רמב"ם

מרצת הקורס: פרופ' מיכל פן תאריך: 10/12/08

מנחה אקדמי: פרופ' אבישי מנדלבאום

מנחה תעשייתית: גב' מירה שילוח, מנהלת סיעוד במחלקות פנימיות רמב"ם

מציגים: אסף צבירן
יוליה צייטלין

הגדרת הפרויקט

- הפרויקט מתמקד בתהליך ניתוב החולים ממלר"ד (מיון) למחלקות אשפוז פנימיות בבית חולים רמב"ם.
- פרויקט זה מהווה פרויקט המשך לפרויקט תואר ראשון של נגה רוזנברג וקוסטה אלקין שבוצע ברמב"ם ב-2007 בהנחית פרופ' אבישי מנדלבאום.

מטרות הפרויקט

✓ בניית מודל סימולציה לתהליך ניתוב החולים מהמלר"ד (מיון) למחלקות אשפוז הפנימיות בבית חולים רמב"ם

✓ בחינת מדיניות ניתוב שונות בסימולציה ומציאת מדיניות ניתוב "אופטימאלית":

– הוגנת כלפי צוות מחלקות האשפוז והחולים

– מביאה לביצועים תפעוליים טובים (כגון, מזעור זמן ההמתנה במלר"ד)

✓ התייחסות ליכולת גישה לאינפורמציה תפעולית במערכת:

ללא אינפורמציה, אינפורמציה חלקית, אינפורמציה מלאה.

• בחינת מדיניות ניתוב באמצעות שיטות למידה אוטומטיות (בפרט, למידה באמצעות חיזוקים)

שלבי הפרויקט

- ✓ למידת תהליך העברת החולים מהמלר"ד למחלקות פנימיות
- ✓ "איסוף" וניתוח נתונים כמותיים הדרושים לבניית הסימולציה
- ✓ הגדרת קריטריונים לבחינת טיב אלגוריתמי הניתוב השונים והפקת "קריטריון איכות משוכלל"
- ✓ בניית מודל סימולציה ובחינת התאמתו למציאות (נתונים אמפיריים)
- ✓ בחינת מדיניות ניתוב שונות בסימולציה מול קריטריון האיכות שנקבע ובהתייחסות לאינפורמציה הקיימת במערכת.
- מציאת מדיניות ניתוב אופטימאלית בעזרת אלגוריתמים בשיטת reinforcement learning

תוכן עניינים

- הגדרת הפרויקט ומטרותיו
- רקע: בית החולים רמב"ם, מלר"ד ומחלקות פנימיות, "טבלת צדק"
- בניית המודל
- הסבר על הסימולציה
- אימות הסימולציה מול נתונים אמפיריים
- קריטריוני צדק
- תיאור אלגוריתמים והשוואת ביצועיהם
- מסקנות ומגבלות הפרויקט
- רעיונות למחקר המשך

רקע: בית החולים רמב"ם

- נוסד ב- 1938 (הכיל 224 מיטות)

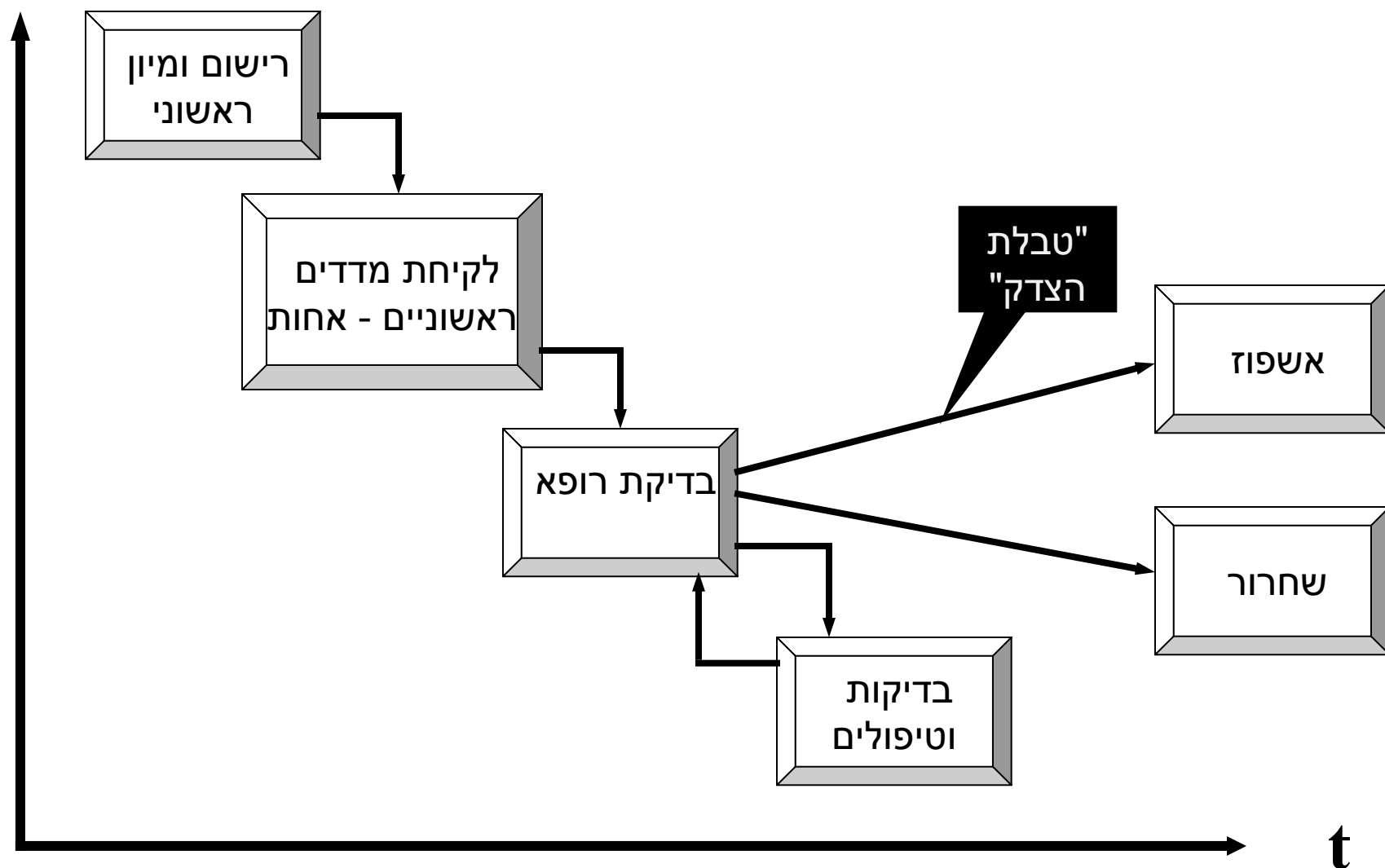
כיום:

- 36 מחלקות אשפוז
- כ- 1,000 מיטות אשפוז, 45 יחידות רפואיות, 9 מכונים, 6 מעבדות
- ו- 30 מחלקות מנהליות ומשקיות
- 75,000 מאושפזים בשנה
- 500,000 מטופלים במרפאות החוץ בשנה

רקע: מלר"ד – מידע כללי

- מטפל בכ-200 חולים בממוצע ביום
- מכיל כ-40 מיטות
- מורכב משתי תתי יחידות עיקריות:
 - פנימית
 - כירורגית-אורטופדית (טראומה)
- כל תת-יחידה מחולקת ל"מתהלכים" ו"שוכבים"

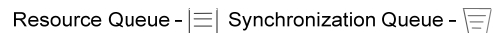
רקע: מלר"ד - זרימת חולה



מחלקות פנימיות – מספר מיטות

מחלקה	קיבולת תקנית	קיבולת מקסימאלית	אחוז קיבולת מקסימאלית	קיבולת טיפול מוגבר
פנימית א'	45	52	115%	6
פנימית ב'	30	35	116%	5
פנימית ג'	44	46 – 44	100%	4
פנימית ד'	47	50 - 48	102%	6
פנימית ה'	24	27	113%	---

תרשים תהליך משולב



תיאור הבעיה

- כתוצאה מעומס במחלקות הפנימיות, החולים שהוחלט על אשפוזם ממתינים במלר"ד כ-97 דקות בממוצע עד להעברתם למחלקות.
- בעקבות זמני ההמתנה הארוכים גדל העומס במלר"ד, היות והחולים אינם מפנים את מיטותיהם בזמן שחולים חדשים ממשיכים להגיע.
- בעיה נוספת: ניתוב החולים למחלקות השונות לא נראה הוגן כלפי צוות המחלקות: מחלקות עם זמני אשפוז קצרים יותר מקבלים יותר חולים.
- חוסר הוגנות גם כלפי החולים: מדיניות FCFS לא מתקיימת בהכרח.

תיאור הבעיה - המשך

- ייעול זרימת מטופלים במערכת יביא להקטנת עומסים, שיפור באיכות הטיפול ובתוצאותיו הקליניות וכן לחיסכון בעלויות כלל מערכת הבריאות.
- מדיניות ניתוב "הוגנת" למחלקות תעלה את שביעות רצונו של הצוות, תעודד אותו "לשתף פעולה" (טובת הפרט מול טובת הכלל).
- מדיניות ניתוב "הוגנת" לחולים תעלה את שביעות רצונם מהטיפול.

"טבלת הצדק" – היסטוריה

- בעבר ניתוב החולים למחלקות התבצע כסבב יומי - זמני ההמתנה היו כ- 10.5 שעות בממוצע.
- בשנת 96 מונה צוות בדיקה שהציע את שיטת "טבלת הצדק", יישום השיטה גרם להורדת זמני ההמתנה בצורה דרסטית.
- במהלך הזמן נוצרו בעיות ביישום השיטה, וזמני ההמתנה של חולים הממתינים לאשפוז התארכו שוב.
- בשנת 2007 בעקבות פרויקט שנתי הוצע שיפור באלגוריתם שיושם חלקית.

"טבלת הצדק" – עקרונות

- מטרת השיטה: איזון העומס בין ארבעת המחלקות
- סיווג המטופלים לשלושה סוגים (רגיל, סיעודי, מונשם) – סבב נפרד לכל סיווג
- מספר החולים הנשלחים לכל מחלקה הוא פועל יוצא של הקיבולת התקנית שלה (מספר המיטות).
- האם יש צדק?



בעיות בתהליך הניתוב

- טבלת צדק מתחשבת אך ורק בקיבולת התקנית (סטטית) של המחלקה.
- היא אינה לוקחת בחשבון את העומס על המחלקות בזמן אמת וקצב שחרור החולים.
- לא תמיד לוקחת בחשבון חולים שמגיעים ממחלקות אחרות.
- מו"מ בין המלר"ד למחלקות הפנימיות.
- ברגע שטבלת הצדק ניתבה חולה למחלקה פנימית מסוימת, מדיניות FCFS לא מתקיימת בהכרח.
- פנימית ה' אינה משתתפת כלל בטבלת הצדק.

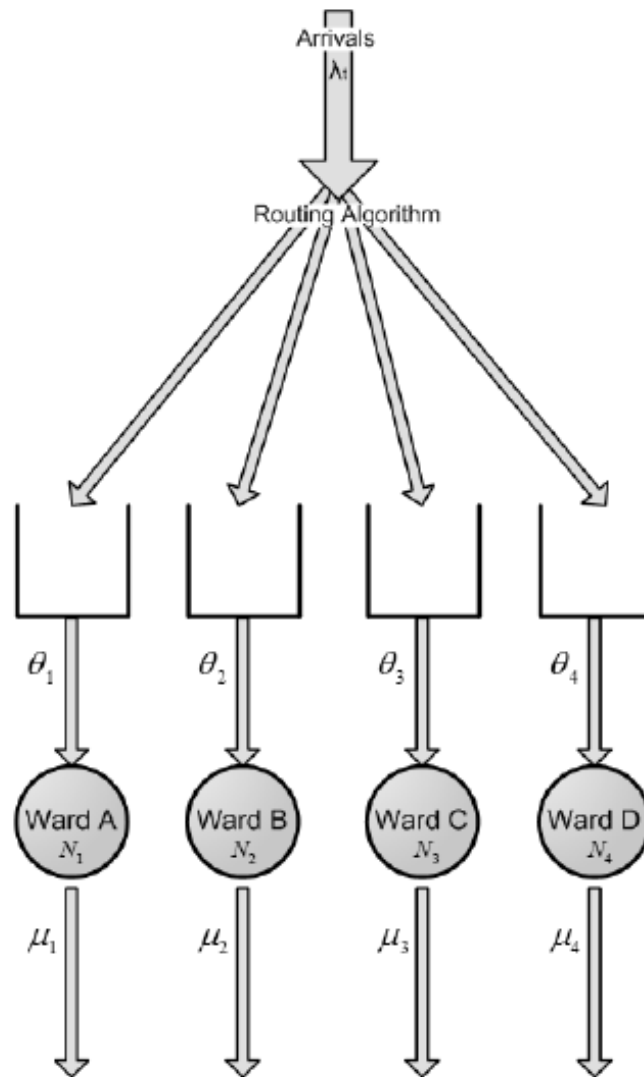
בניית המודל

מקורות

אנו נעזרים בנתונים כמותיים שנאספו במסגרת:

- הפרויקט של נגה רוזנברג וקוסטה אלקין בשנת 2006-2007
 - עבודת המאסטר של יריב מרמור בשנים 2001-2003
 - נתונים ממאגרי מידע של רמב"ם על שנים 2004-2007
- תודה ליריב מרמור על עזרתו בניתוח הנתונים!

תיאור המודל



הנחות מפשטות

— לא ממדלים מלר"ד: הגעות = מעברים לאשפוזים

— אין התייחסות לסוגי חולים שונים

— שרתים במחלקות אשפוז = מיטות

— מידול זמני המתנה כפונקציה של העומס על המחלקה

— לא ממדלים "חולים חוזרים"

נתונים נדרשים

• התפלגות הגעות למחלקות = העברות לאשפוז

מהמלר"ד

• זמני המתנה מההחלטה על אשפוז עד להעברה למחלקה

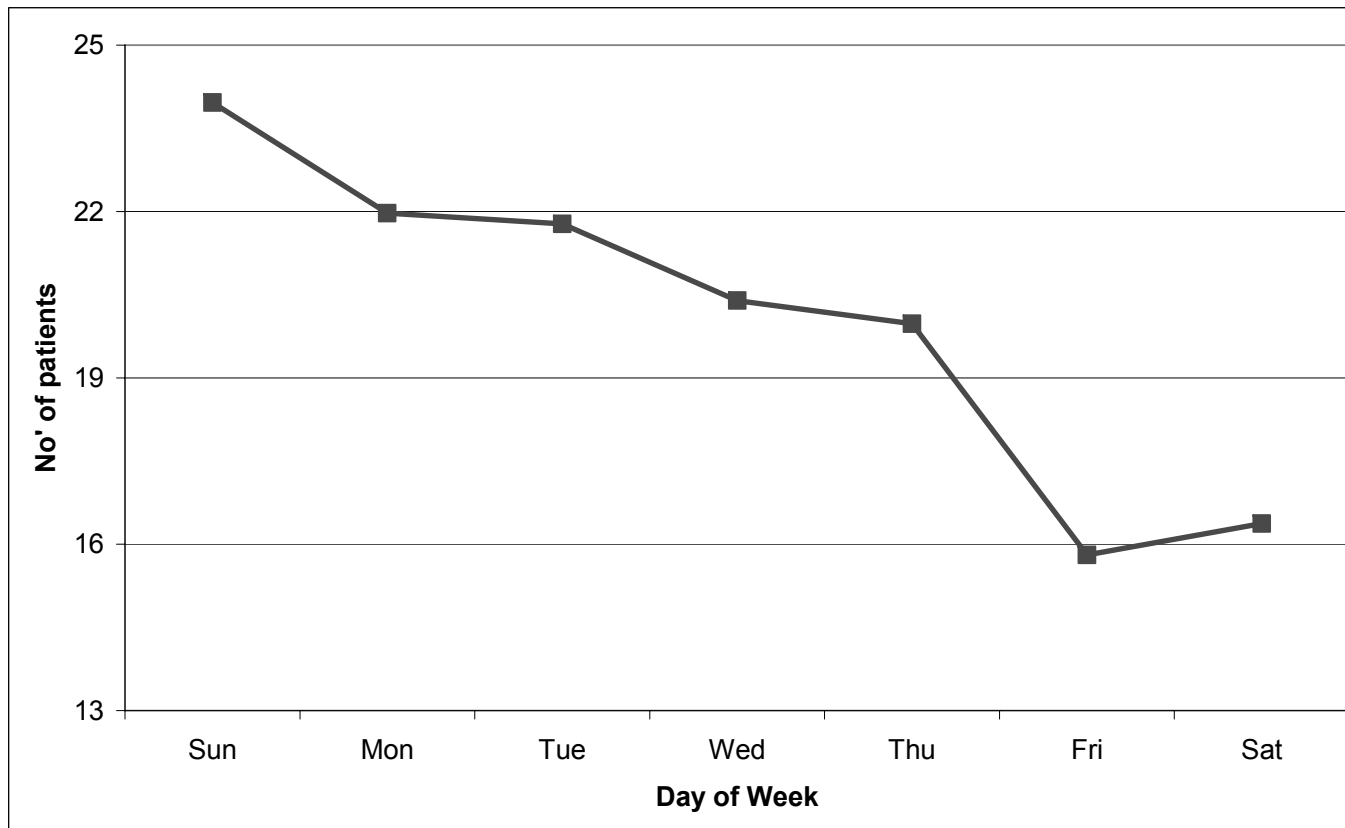
הפנימית

• מחלקות פנימיות: מספר מיטות, התפלגות משכי האשפוז

הגעות חולים פנימיים

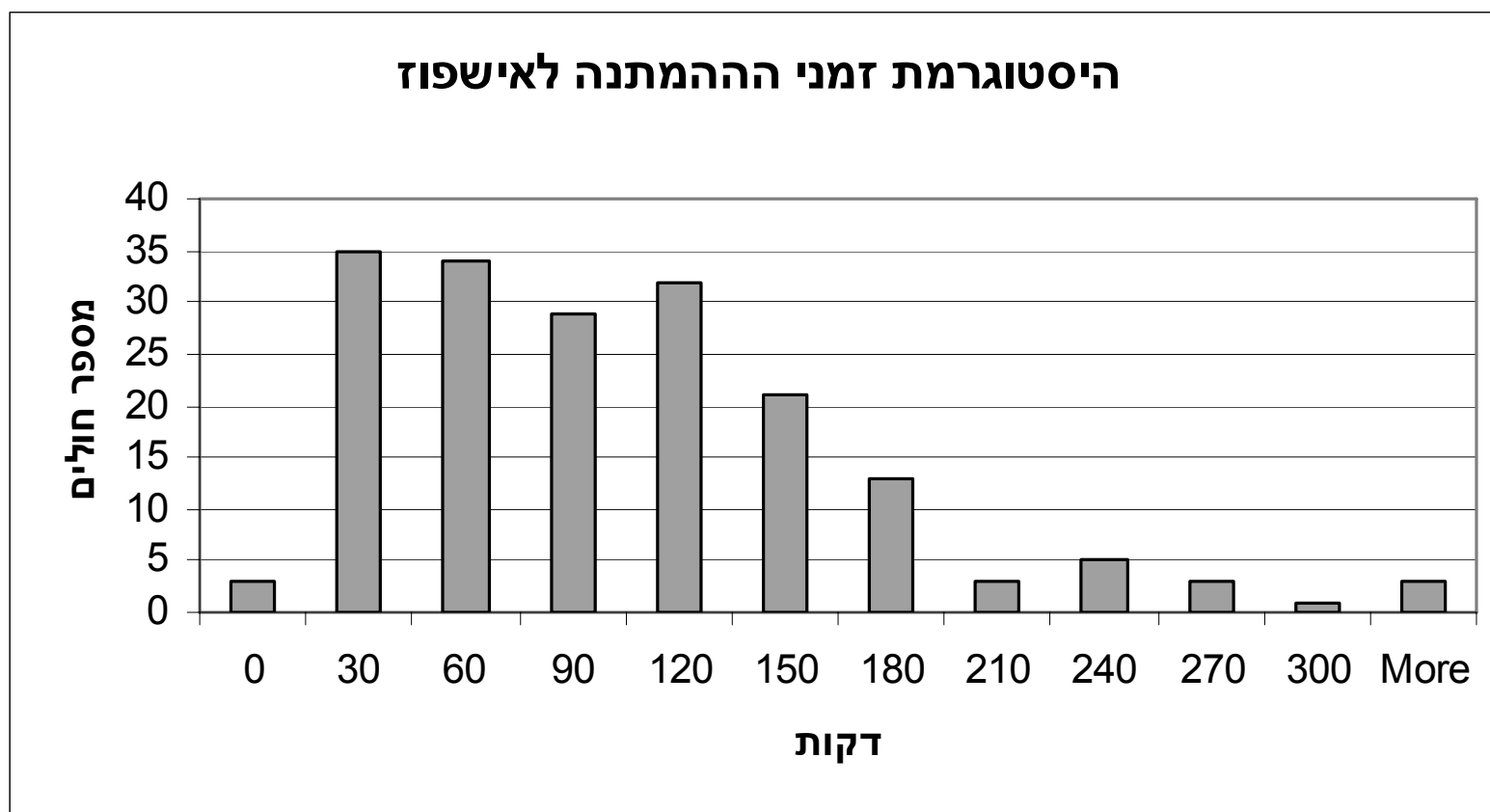
- למלר"ד: בממוצע כ-130 ביום (כ-60% מכלל המגיעים)
- לאשפוז במחלקות א'-ד': בממוצע כ-20 חולים ביום (כ-15% מכלל הפנימיים)
- התפלגות ההגעות היא פואסונית לא-הומוגנית בזמן:

$$T = \frac{1}{\lambda(t)} \chi, \quad \chi^d = \exp(1)$$



זמני המתנה לאשפוז

- בתצפיות שבוצעו ב-2007 נמדד זמן המתנה ממוצע - כ-97 דקות. זמני המתנה שונים בין ארבעת המחלקות.



מידול זמני המתנה לאשפוז

- מידול זמני המתנה כפונקציה של העומס על המחלקה:

$$W_i(t) = \exp(0.5 + 3.5 * \rho_i(t))$$

$\rho_i(t)$ - רמת התפוסה של מחלקה i בזמן t

מחלקות פנימיות – משכי אשפוז

- משכי אשפוז מתפלגים לוג-נורמאלית $LOS = e^{\chi}, \quad \chi \overset{d}{=} N(\mu, \sigma)$
- קיים שוני במשכי אשפוז בין המחלקות.
- מחלקה עם משכי אשפוז קצרים מקבלת יותר חולים.

	Ward A	Ward B	Ward C	Ward D
Mean LOS	6.845	4.990	6.472	6.472
St.Dev. LOS	7.621	6.398	8.252	7.864
No' patients yearly	1891	1724	1743	1942
Standard capacity	45	30	44	47
Patients per bed	42.03	57.48	39.62	41.32

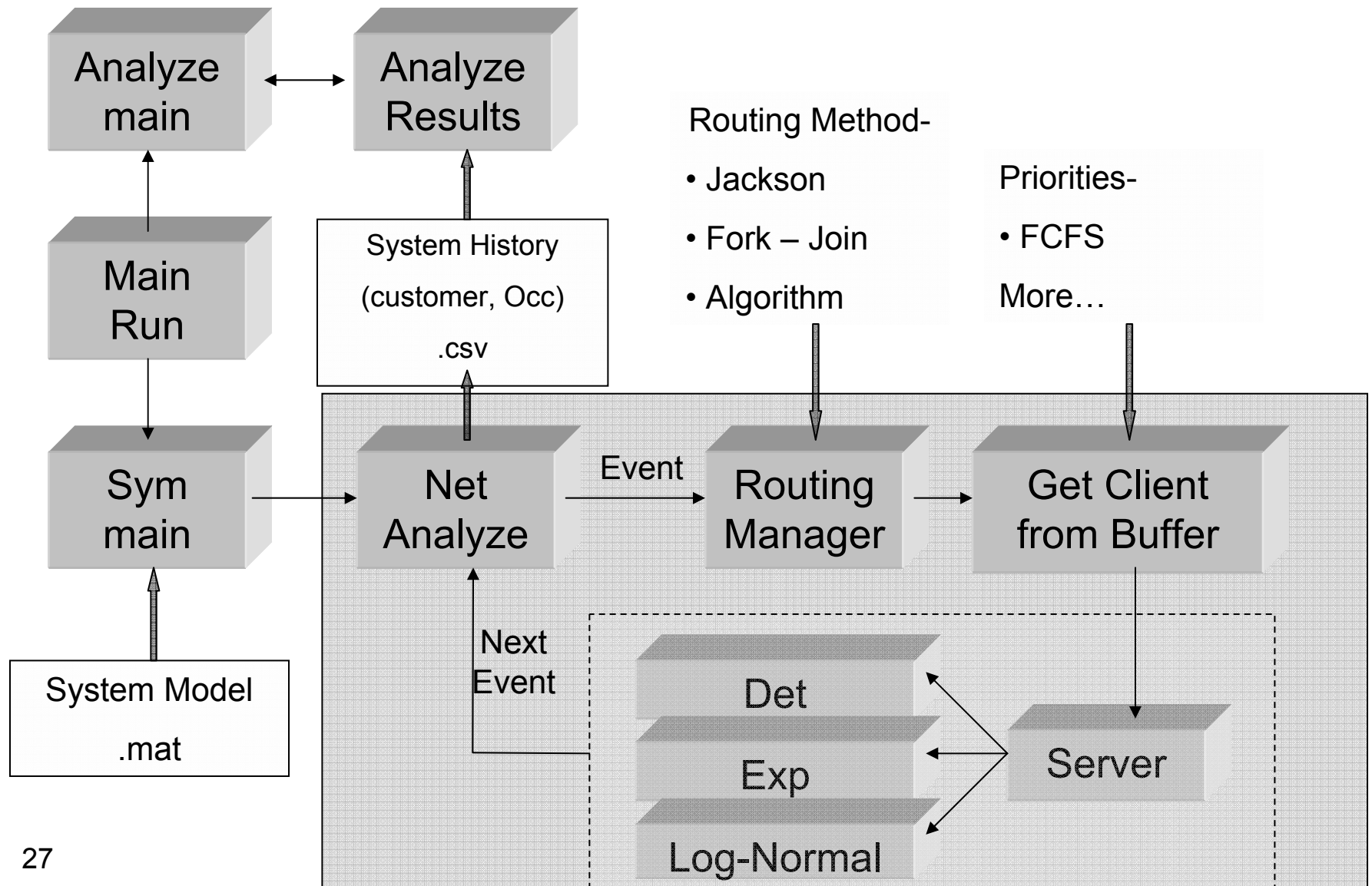
הסבר על הסימולציה

תשתית סימולציה גנרית

דרישות:

- חוסר רגישות של מנגנון קידום הזמן בסימולציה למבנה ופרמטרי הרשת.
- יכולת ניתוח של כל מבנה רשת המתקבל מהמשתמש.
- תמיכה במגוון רחב של אלגוריתמי בקרה - Priority ו-Routing, בחוג פתוח ובחוג סגור.
- יכולת הפקת דגימות ממגוון התפלגויות עפ"י דרישה.
- יכולת הרצה של קטעי זמן ארוכים לצורך קבלת Steady-State, ובנוסף שמירה וניתוח של כלל היסטוריית הלקוחות והמערכת.
- תשתית אוטומטית להרצה והשוואה של תרחישים ואלגוריתמים.

מבנה הסימולציה



System Model (.mat)

- הגדרת הטופולוגיה:
 - מטריצת קדימויות (ניתוב) מבוססת Fork-Join.
 - מטריצת קדימויות (ניתוב) מבוססת Jackson.
 - וקטור תפקידי האובייקטים ברשת - שרת, תור, כניסה, יציאה.
- פרמטרי כניסה:
 - סוג תהליך הכניסה - Log-Normal, Exp, Det
 - תוחלת וואריאנס של תהליך הכניסה.
- פרמטרי שרתים (לכל עמדת שירות בנפרד):
 - מספר שרתים בעמדת השירות.
 - סוג תהליך השירות - Log-Normal, Exp, Det
 - תוחלת וואריאנס של תהליך השירות בכל שרת.



Net Analyze

- ניהול אירועים:

— מבוסס מתודולוגיית event-driven בצעדי זמן המוגדרים ע"י ההגרלה המנצחת (צעד זמן אדפטיבי).

Event Driven Methodology: $\Delta t = \min(e(t)); e(t) = [e_1(t), \dots, e_{N+1}(t)];$

$e_i(t) \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}$ - Next departure time from station i.

$e_{N+1}(t)$ - Next entrance time (departure from entrance node).

— קידום המערכת בצעד זמן בודד:

- ביצוע Routing של הלקוח הרלוונטי (הסבירות של מספר עזיבות בו-זמנית זניחה).

- קבלת לקוחות לשירות בהתאם לתפוסה ומדיניות ה-Priority.

- דגימת ההגרלות של האירועים הבאים, חישוב $\min(e(t))$.

— מאפשר זרימת לקוחות קדימה ואחורה במערכת ובקרה בחוג פתוח וסגור.

Main-Run (Automation)

- יצירת תרחישים:

- מערכות- בחירת מספר System-Model לצורך בחינה והשוואה של תצורות מערכת שונות.
- Routing- בחירה של מספר אלגוריתמים המוגדרים בקוד.
- Priority- בחירה של מספר אלגוריתמים המוגדרים בקוד.
- המערכת תייצר צירופים של הנ"ל תריץ אותם לאורך זמן ריצה מוגדר, תאסוף DATA, תבצע ניתוח והשוואה בין החלופות.

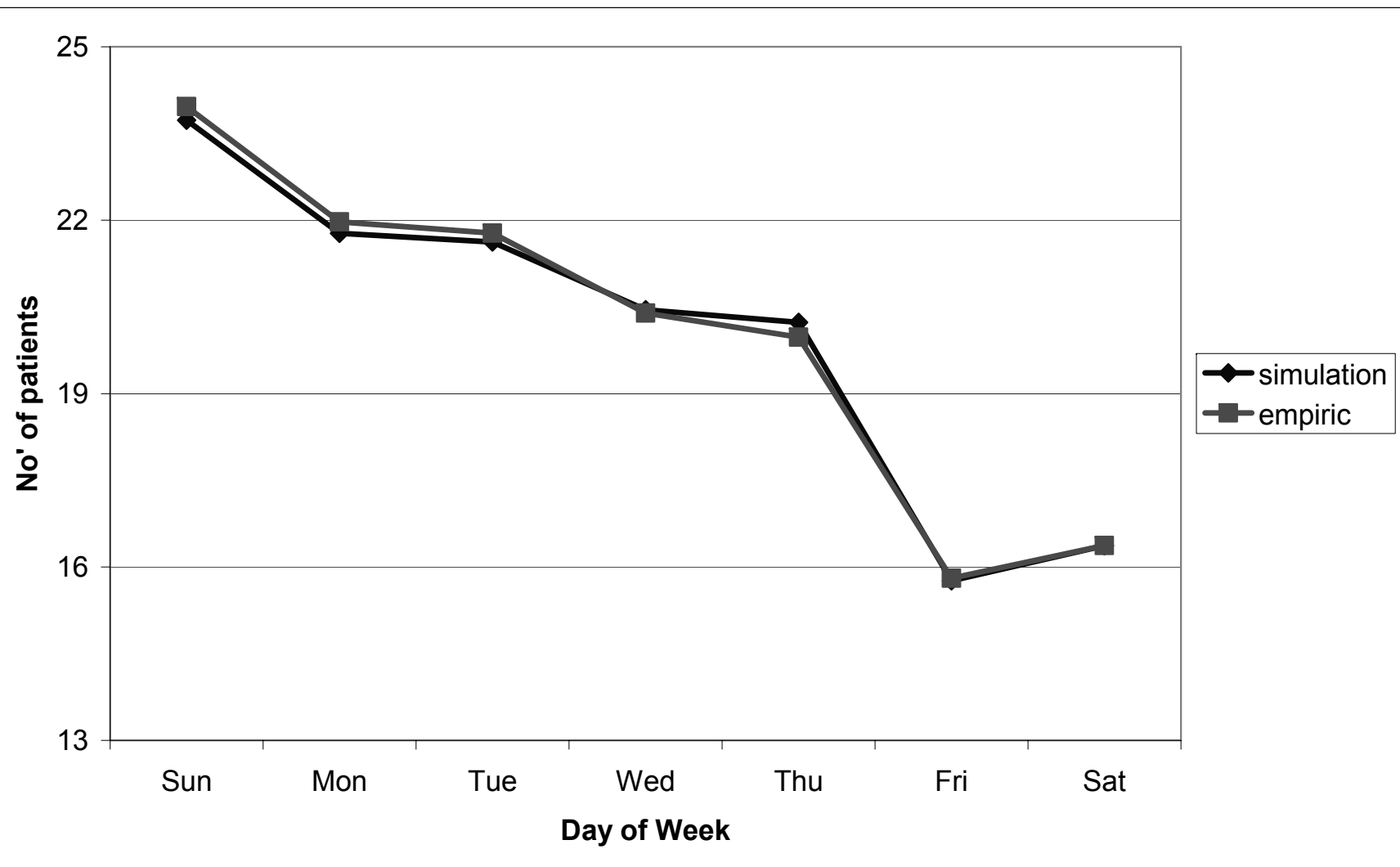
- שמירת נתונים וניתוח:

- שמירה של כלל נתוני זרימת הלקוחות ונתוני התפוסה במערכת לאורך כל זמן הריצה (בדרך כלל בסדר גודל של 1-5Gbit).
- פריקת מידע רציפה לקבצי excel חיצוניים מאפשרת ריצה על פרקי זמן ארוכים.
- בזמן הניתוח הנתונים מסוננים ומתבצע ניתוח סטטיסטי שלהם ומיצוי מאפיינים- תוחלת, וואריאנס, התפלגות (היסטוגרמות).

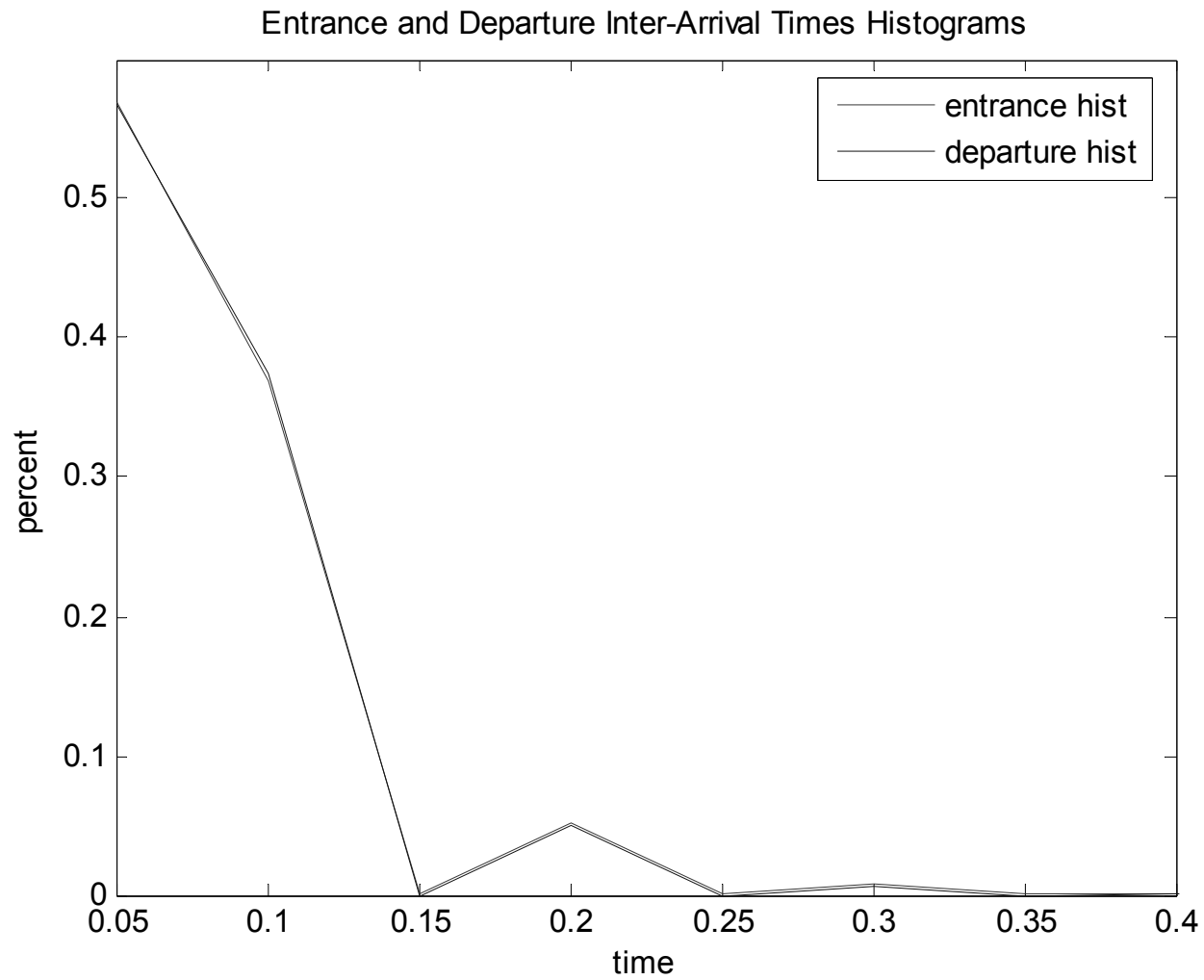
אימות:

סימולציה מול אמפירי

הגעות: אשפוזים חולים פנימיים



כניסה מול יציאה

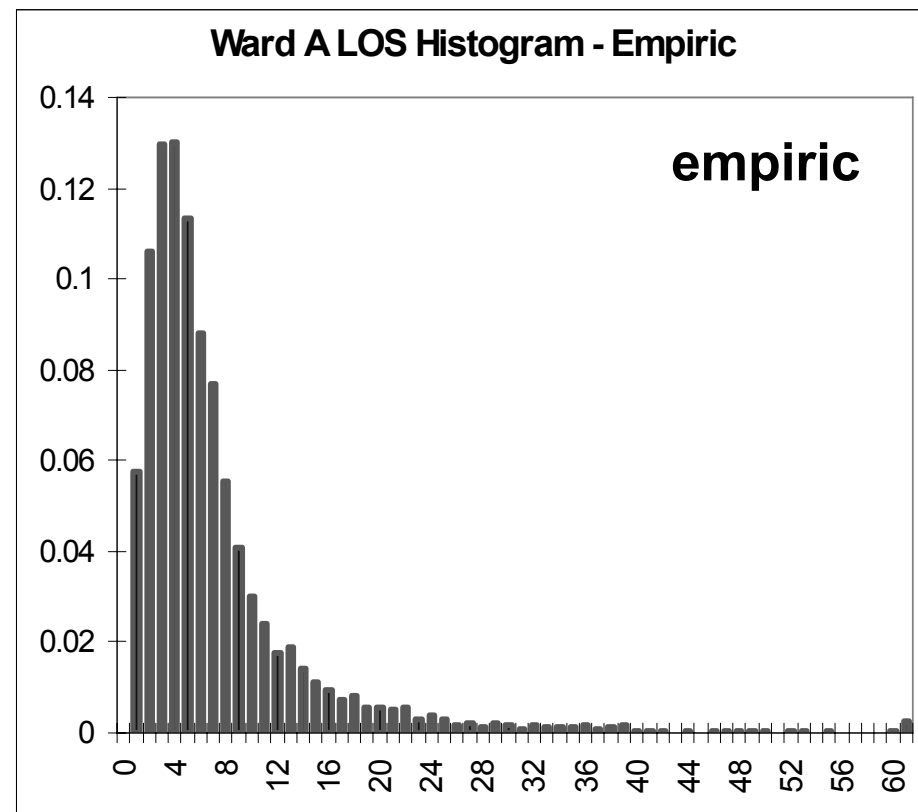
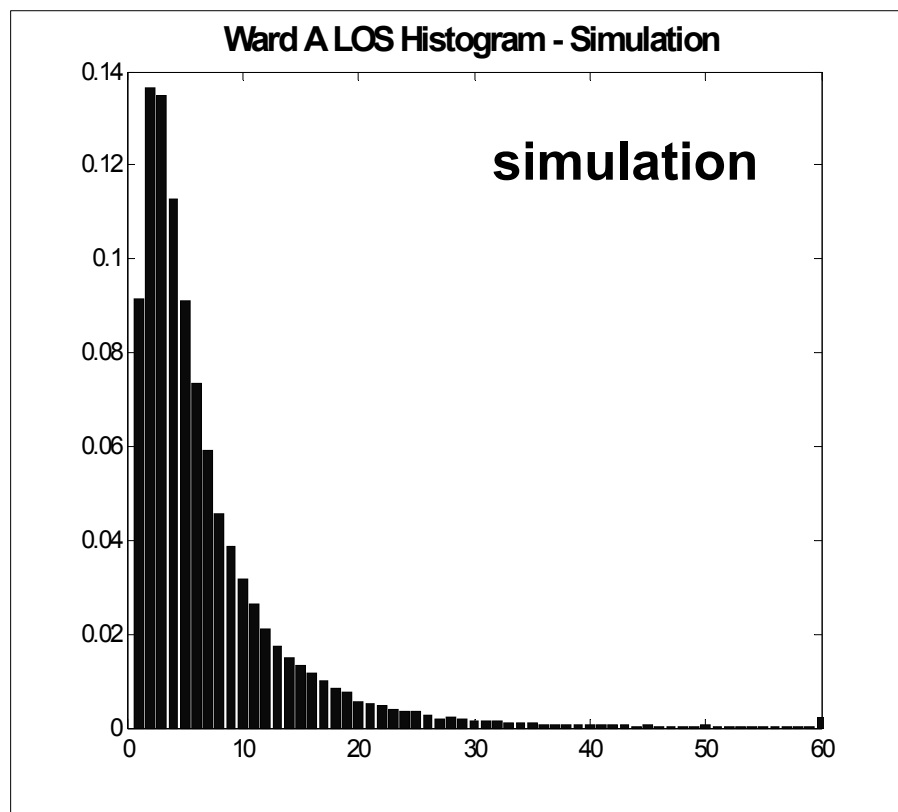


מחלקות פנימיות – נתונים תפעוליים

• משכי שהיה (LOS):

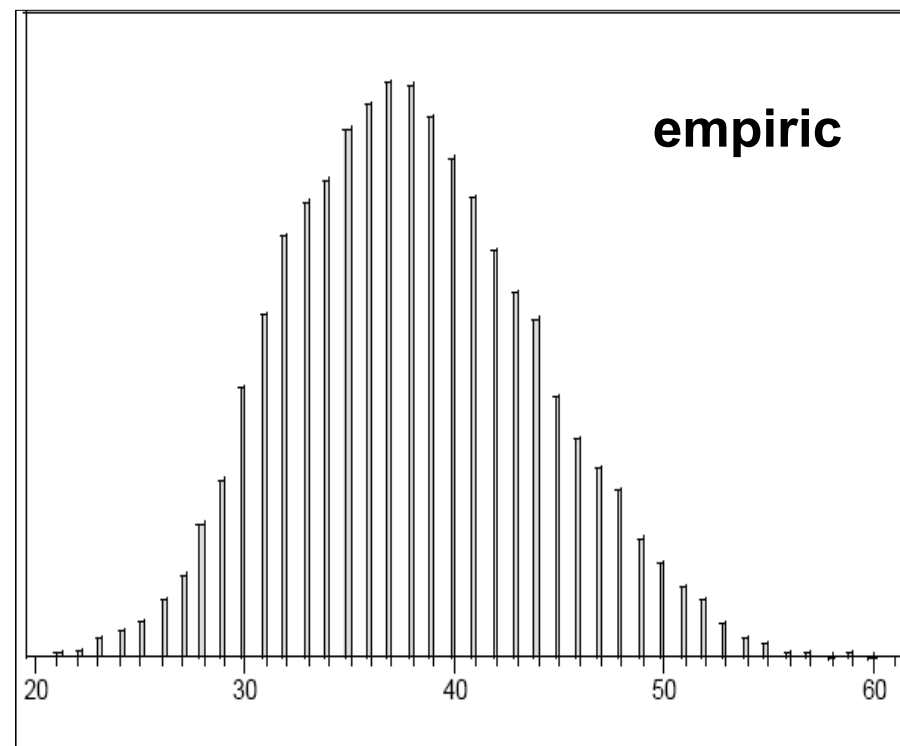
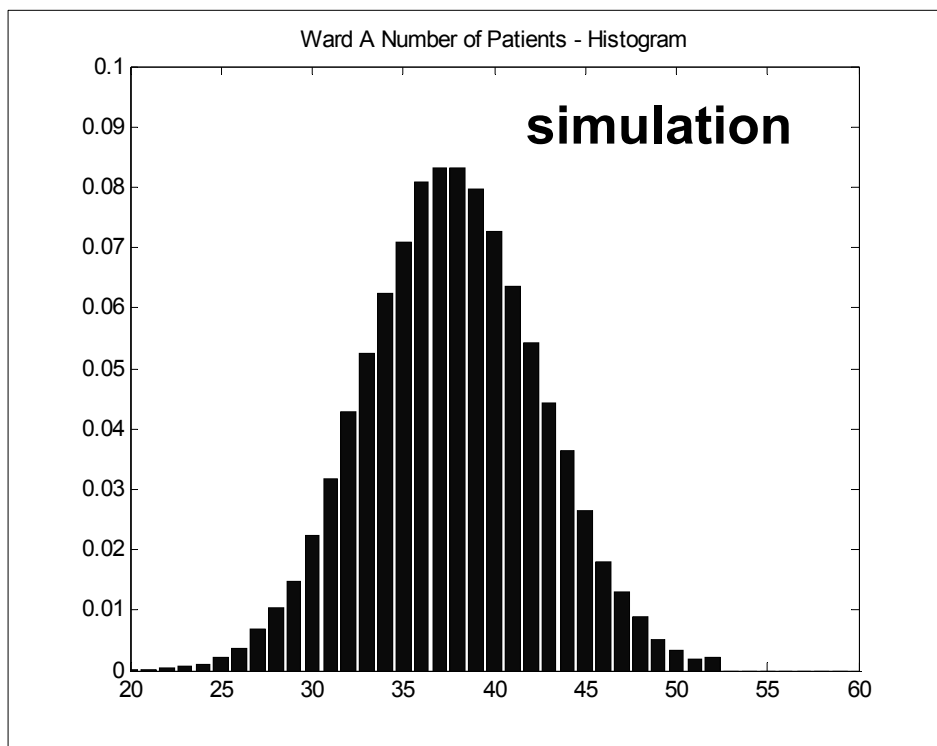
		Ward A	Ward B	Ward C	Ward D
Mean	Empiric	6.845	4.990	6.472	6.472
	Simulation	6.890	4.966	6.437	6.481
St.Dev.	Empiric	7.621	6.398	8.252	7.864
	Simulation	7.603	5.618	7.038	7.369

מחלקות פנימיות – משכי שהיה



מחלקות פנימיות – רמת התפוסה

		ward a	ward b	ward c	ward d
mean	empiric	38.051	23.396	30.727	34.123
	simulation	37.701	18.100	35.190	35.400
st.dev.	empiric	5.942	5.817	4.705	5.802
	simulation	4.793	3.335	4.758	4.758



קריטריונים

"קריטריון איכות משוכלל"

- קריטריונים לצדק:

- מהיבט הצוות הרפואי

- מהיבט החולה

- מהיבט ההנהלה

- קריטריונים תפעוליים החשובים לבקרת המערכת:

- זמן המתנה מינימאלי במלר"ד

- זמן שהיה מינימאלי במערכת

קריטריונים לצדק

מהיבט הצוות הרפואי:

— שמירה על כך כי כל אחות תטפל במספר זהה של חולים

← איזון רמת התפוסה של המחלקות

— התחשבות במשך האשפוז במחלקות

← איזון העומס הנכנס למחלקות

— התחשבות בזמן שעבר מקבלה אחרונה בכל מחלקה

קריטריונים לצדק

מהיבט החולה:

– התחשבות במשך ההמתנה של החולה במלר"ד מרגע

שהוחלט לאשפזו

– שמירה על כך כי כל אחות תטפל במספר זהה של חולים

מהיבט ההנהלה:

– אחוזי תפוסה זהים בין המחלקות

הערכת האלגוריתמים

- קריטריונים תפעוליים:

- זמן המתנה להעברה לאשפוז

- זמן שהיה כולל במערכת (פחות רלוונטי כי LOS לא משתנים)

- הוגנות כלפי צוות סיעודי/רפואי:

- סטיית תקן של רמת התפוסה בין מחלקות

- סטיית תקן של מספר חולים למיטה לשנה בין מחלקות

- הוגנות כלפי חולים:

- סטיית תקן של זמן המתנה

- סטיית תקן של זמן שהיה כולל במערכת

הגדרה כמותית של הקריטריונים

Indices:

- Wards: $i = 1, 2, 3, 4$
- Patients: $k = 1, 2, \dots, K$
- Time: $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ is the set of all event points in the simulation

Parameters:

1. Constant

- N_{st_i} - standard capacity (number of beds) of ward i

2. Wards' staff:

- $L_i(t)$ - number of patients admitted in ward i from time 0 till time t
- $N_i(t)$ - number of occupied beds in ward i at time t

הגדרה כמותית של הקריטריונים - המשך

- $\rho_i(t)$ - occupancy rate in ward i at time t : $\rho_i(t) = \frac{N_i(t)}{N_{st_i}}$
- $\gamma_i(t)$ - patient flow rate through ward i till time t : $\gamma_i(t) = \frac{L_i(t)}{N_{st_i}}$
- γ_i - average patient flow rate through ward i per one year: $\gamma_i = \frac{\gamma_i(t_n)}{t_n/365}$
- $Sd(\rho(t)) = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^4 (\rho_i(t) - \bar{\rho}(t))^2}$ - estimated standard deviation of the occupancy rate ($\bar{\rho}(t) = \frac{\sum_{i=1}^4 \rho_i(t)}{4}$ denotes an average occupancy)
- $\text{Mean}_{t \in T} \{Sd(\rho(t))\}$ - average standard deviation of the occupancy rate
- $Sd(\gamma) = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^4 (\gamma_i - \bar{\gamma})^2}$ - estimated standard deviation of the flow rate ($\bar{\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^4 \gamma_i}{4}$ denotes an average flow)

הגדרה כמותית של הקריטריונים - המשך

3. Patients:

- w_k^1 - Waiting time of patient k since the decision of his hospitalization till entrance time to a ward.
- w_k^2 - Total sojourn time of patient k in the system.
- $Sd(w^1) = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (w_k^1 - \bar{w}^1)^2}$ - estimated standard deviation of the patients' waiting time, where $\bar{w}^1$ is the average waiting time of all the K patients.
- $Sd(w^2) = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (w_k^2 - \bar{w}^2)^2}$ - estimated standard deviation of the patients' sojourn time, where $\bar{w}^2$ is the average sojourn time of all the K patients.

קריטריון איכות משוכלל

$$G(T) = \alpha_1 \cdot \text{Mean}_{t \in T} \{Sd(\rho(t))\} + \alpha_2 \cdot Sd(\gamma) + \alpha_3 \cdot \bar{w}^1 + \\ + \alpha_4 \cdot \bar{w}^2 + \alpha_5 \cdot Sd(w^1) + \alpha_6 \cdot Sd(w^2),$$

where $\alpha_i, i \in \{1, 2, \dots, 6\}$ are relative weights of the criteria

תיאור והשוואת

האלגוריתמים

תיאור האלגוריתמים

ללא אינפורמציה

- לפי סבב קבוע: RR 1111

– אינטואיטיבי, משתמשים בו בהרבה בתי חולים.

– שקול לניתוב למחלקה שקיבלה את החולה האחרון שלה לפני הזמן הארוך ביותר.

- לפי סבב קבוע: RR 3233

– התחשבות בקיבולת התקנית של המחלקות, חלוקה בהתאם לפרופורציות.

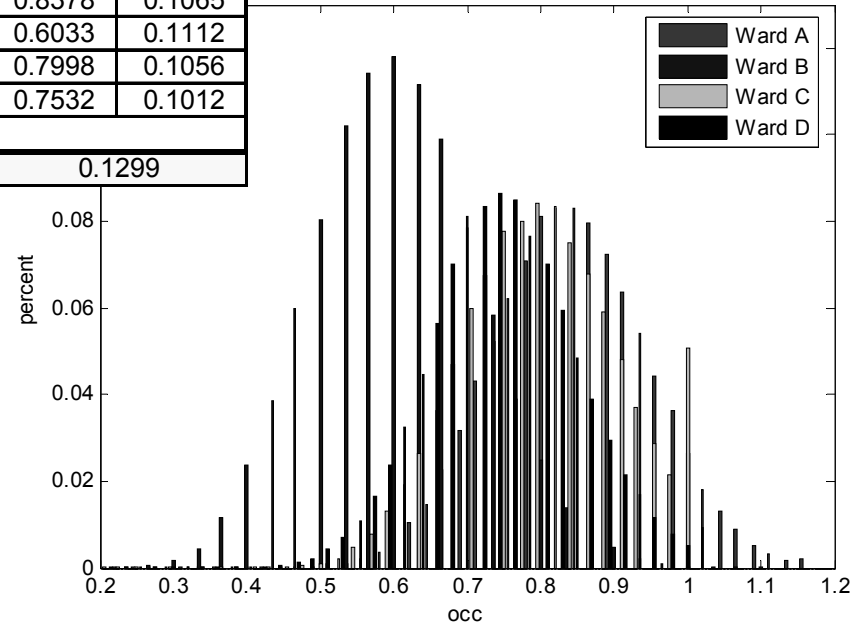
– מאזן מספר חולים פר מיטה תקנית בכל מחלקה אך לא את רמת התפוסה.

התפלגות רמת התפוסה

RR3233

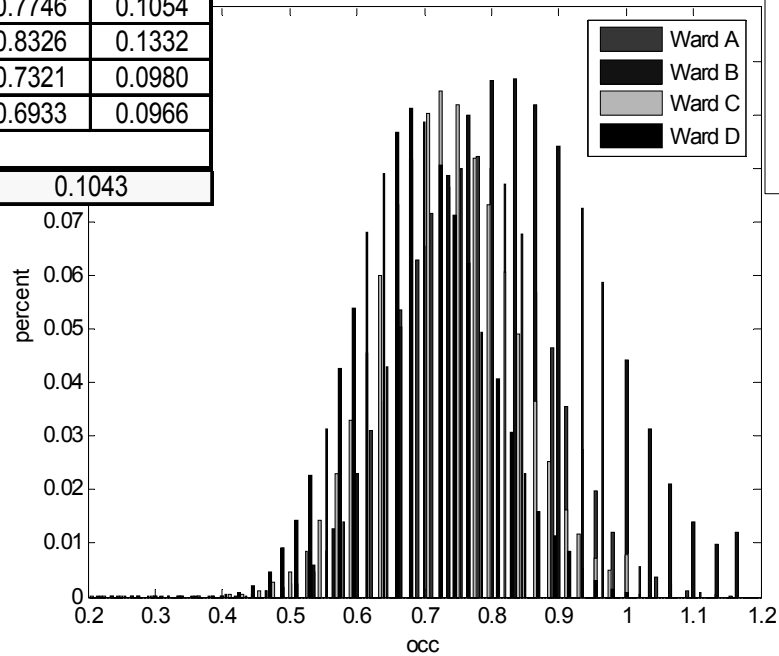
	Mean	StDev
Ward A	0.8378	0.1065
Ward B	0.6033	0.1112
Ward C	0.7998	0.1056
Ward D	0.7532	0.1012
Average StDev	0.1299	

Occupancy Rate Histogram



	Mean	StDev
Ward A	0.7746	0.1054
Ward B	0.8326	0.1332
Ward C	0.7321	0.0980
Ward D	0.6933	0.0966
Average StDev	0.1043	

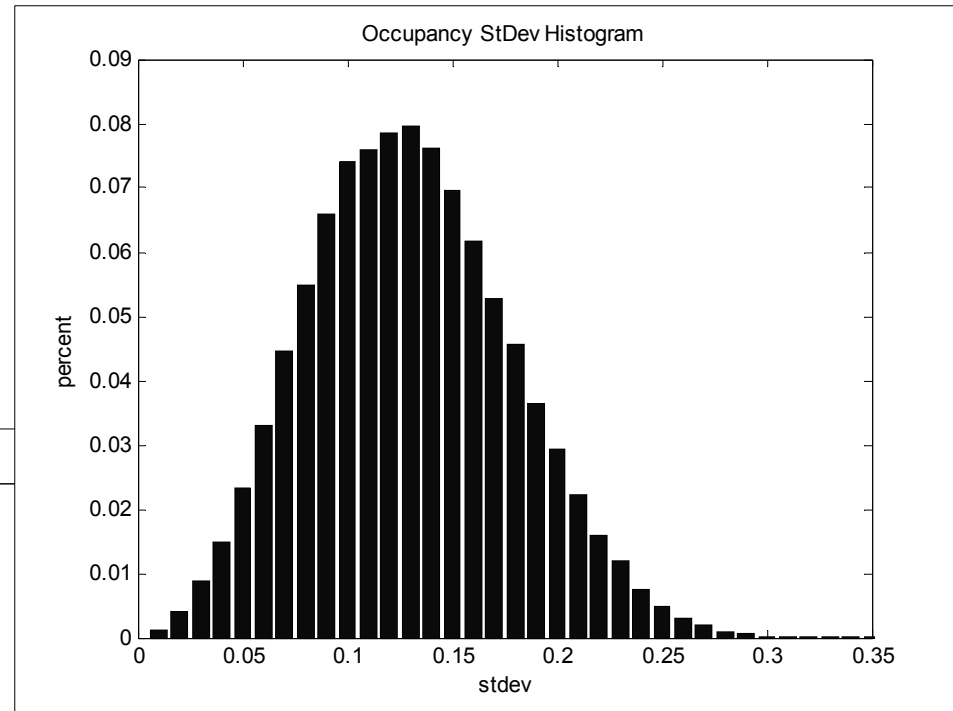
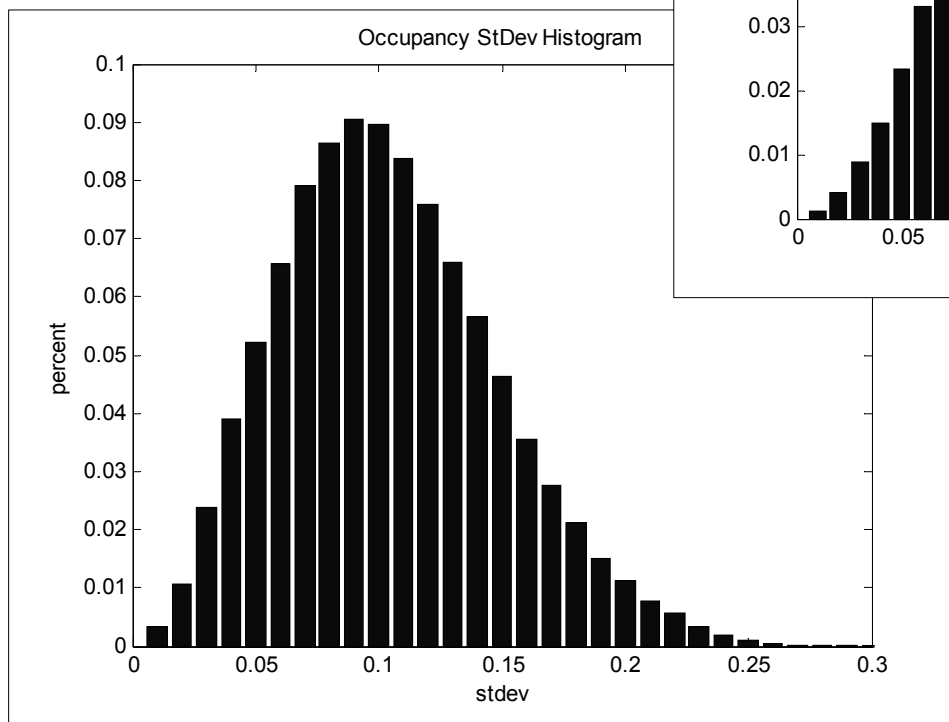
Occupancy Rate Histogram



RR1111

סטיית תקן של תפוסה

RR3233



RR1111

תיאור האלגוריתמים

אינפורמציה מלאה

– Idleness Balancing

- ניתוב למחלקה עם מספר מקסימלי של מיטות פנויות.

$$i = \arg \max_{i \in \{1..4\}} \{vacant(i)\} = \arg \max_{i \in \{1..4\}} \{N_{st_i} - N_i\}$$

- שמירה על מספר זהה של מיטות פנויות לכל המחלקות, מביא לעומס גבוה יותר

במחלקות הגדולות:

$$N_{st_i} - N_i = \gamma \quad \forall i \in \{1..4\}$$

$$\rho_i = \frac{N_i}{N_{st_i}} = \frac{N_{st_i} - \gamma}{N_{st_i}} = 1 + \frac{\gamma}{N_{st_i}}$$

תיאור האלגוריתמים

אינפורמציה מלאה

– Occupancy Balancing

- איזון אחוז התפוסה בין המחלקות
- מציאת הניתוב שיביא לסטיית תקן מינימאלית בתפוסת המחלקות בכל נקודת זמן t

$$k = \operatorname{argmin}_{i \in \{1, \dots, 4\}} \operatorname{Var}(\rho'_i)$$

s.t

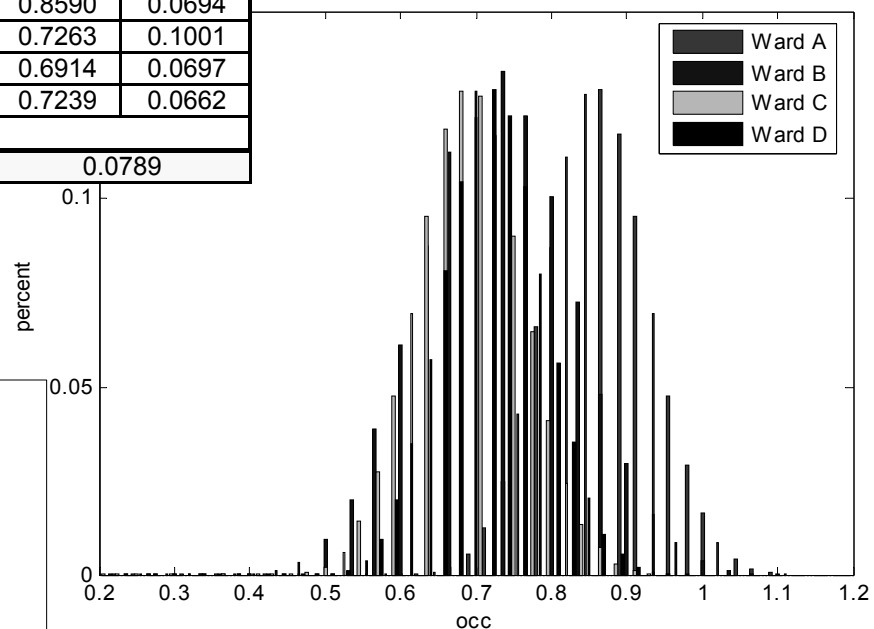
$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{Var}(\rho'_i) = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{j=1}^4 (\bar{\rho}'(t) - \rho'_j(t))^2} \\ \bar{\rho}'(t) = \frac{\sum_{j=1}^4 \rho'_j}{4} \\ \rho'_i(t) = \frac{N_i(t)+1}{N_{st}} , \\ \rho'_j(t) = \frac{N_j(t)}{N_{st}} , \quad \forall j \neq i. \end{array} \right.$$

התפלגות רמת התפוסה

Idleness
Balancing

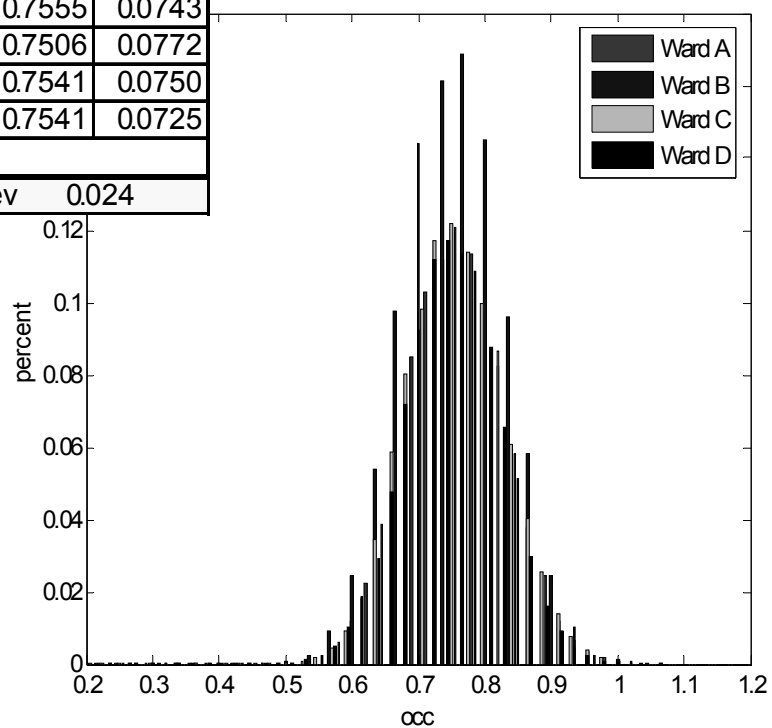
	Mean	StDev
Ward A	0.8590	0.0694
Ward B	0.7263	0.1001
Ward C	0.6914	0.0697
Ward D	0.7239	0.0662
Average StDev		0.0789

Occupancy Rate Histogram



	Mean	StDev
Ward A	0.7555	0.0743
Ward B	0.7506	0.0772
Ward C	0.7541	0.0750
Ward D	0.7541	0.0725
Average StDev		0.024

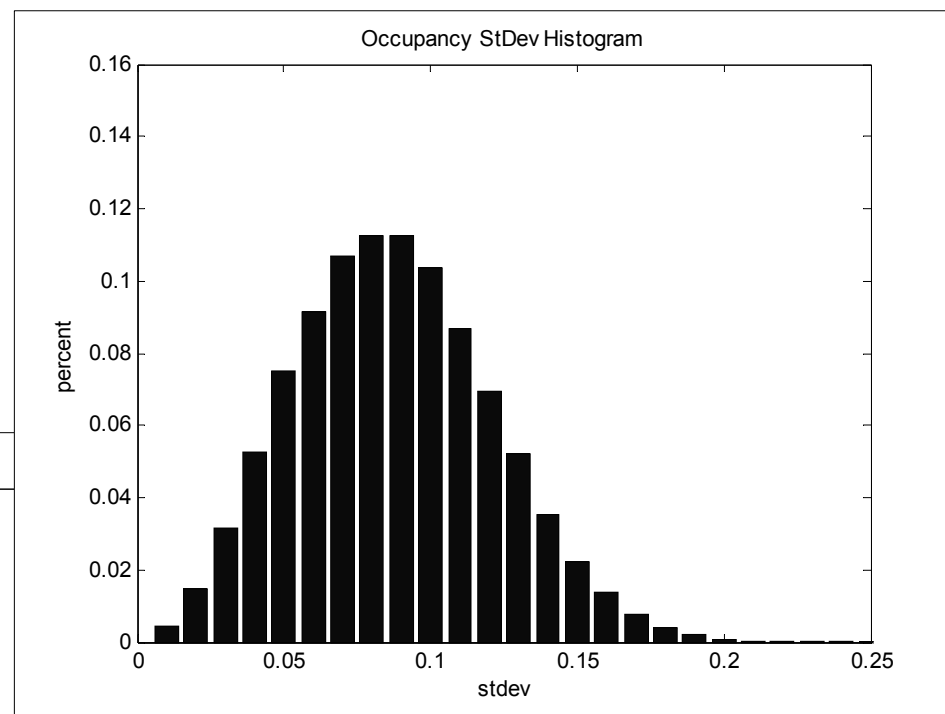
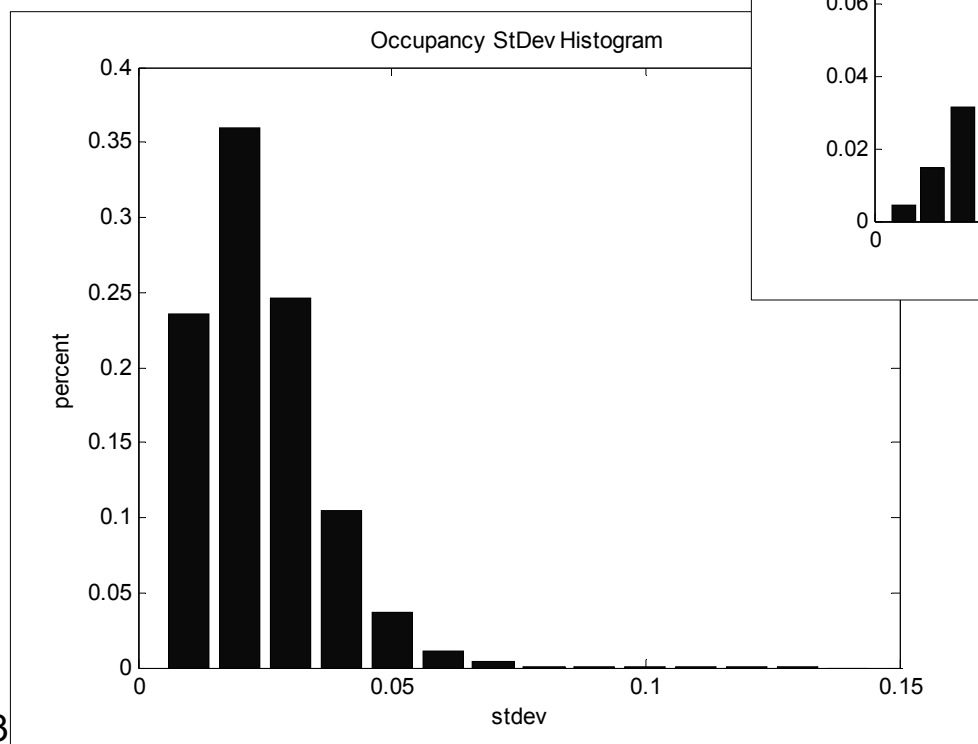
Occupancy Rate Histogram



Occupancy
Balancing

התפלגות סטיית תקן של תפוסה

Idleness
Balancing



Occupancy
Balancing

טבלת השוואה בין האלגוריתמים

	RR1111	RR3233
waiting time (hours)	2.9517	3.1241
sojourn time (days)	6.3378	6.4354
stdev occupancy	0.1043	0.1299
stdev no' patients per bed per year	10.3226	1.2014
stdev waiting time (hours)	3.1986	3.6303
stdev sojourn time (days)	6.9885	7.0922

	IB	Occ Balancing
waiting time (hours)	2.8894	2.8803
sojourn time (days)	6.3702	6.3708
stdev occupancy	0.0789	0.0240
stdev no' patients per bed per year	6.4936	6.6503
stdev waiting time (hours)	3.0792	3.0767
stdev sojourn time (days)	7.0041	7.0094

תיאור האלגוריתמים

אינפורמציה חלקית

– Occupancy Balancing

- הערכת תפוסה ע"ס מצב תפוסת המחלקות בבוקר (דגימה בודדת פר יום)
- איזון אחוז התפוסה ע"י הבאה למינימום של סטיית התקן של תפוסת המחלקות.
- אלגוריתם:

– נגדיר $\text{Client_count}(i)$ כמונה הסופר את מספר הלקוחות במחלקה i .

1. If $t = T$ - we update $\text{Client count}_j = N_j(t)$ and $\rho_j(t) = \frac{N_j(t)}{N_{st_j}} \quad \forall j \in \{1, \dots, 4\}$.
2. If $t \neq T$ - we calculate $\rho_j(t) = \frac{\max\{\text{Client count}_j - \text{Client count}_j * \text{Server Rate}_j * (t - \lfloor t - T \rfloor), 0\}}{N_{st_j}}$
 $\forall j \in \{1, \dots, 4\}$.

תיאור האלגוריתמים

אינפורמציה חלקית

– Occupancy Balancing

– המשך אלגוריתם :

3. Then according to the *Occupancy Balancing* algorithm we calculate-

$$k = \operatorname{argmin}_{i \in \{1, \dots, 4\}} \operatorname{Var}(\rho'_i)$$

s.t

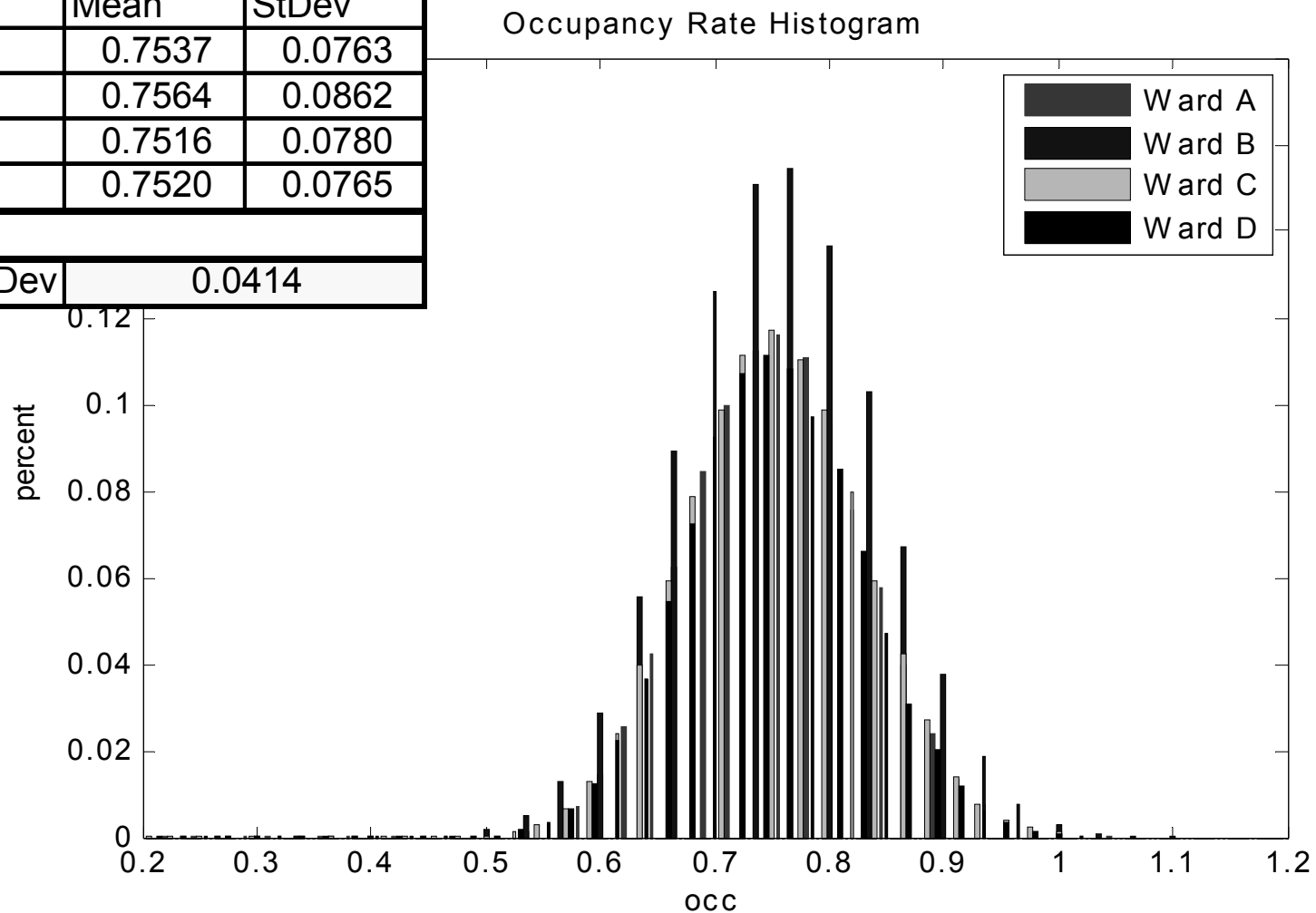
$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{Var}(\rho'_i) = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{j=1}^4 (\bar{\rho}'(t) - \rho'_j(t))^2}. \\ \bar{\rho}'(t) = \frac{\sum_{j=1}^4 \rho'_j}{4}. \\ \rho'_j(t) = \rho_j(t) + \frac{1}{N_{stj}} , \quad \text{for } j = i. \\ \rho'_j(t) = \rho_j(t) , \quad \forall j \neq i. \end{array} \right.$$

Where k denotes the ward selected to receive the next patient.

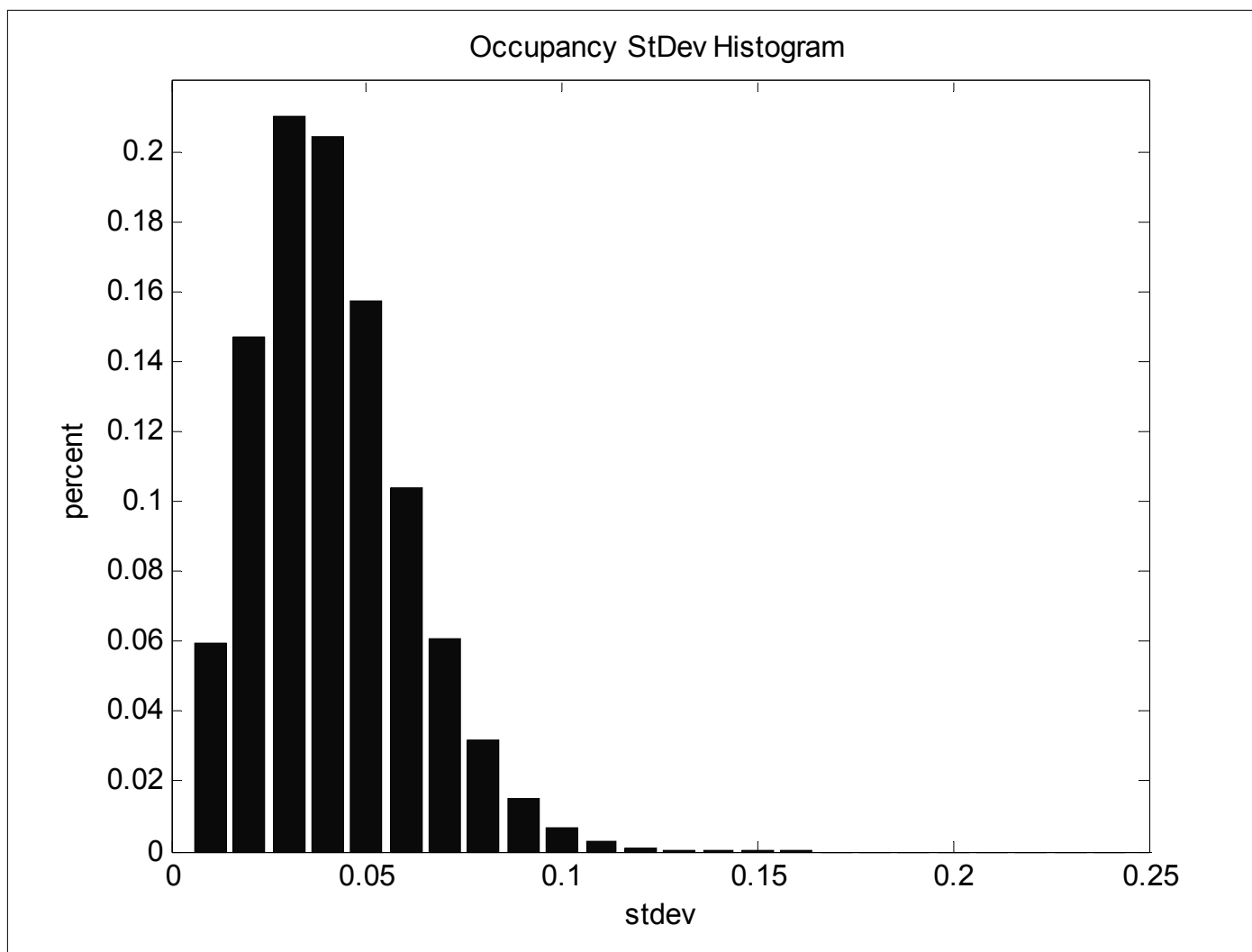
- 56 4. Finally according to the chosen routing we update:
Client count_k = Client count_k + 1.

התפלגות רמת התפוסה

	Mean	StDev
Ward A	0.7537	0.0763
Ward B	0.7564	0.0862
Ward C	0.7516	0.0780
Ward D	0.7520	0.0765
Average StDev	0.0414	



התפלגות סטיית התקן של תפוסה



תיאור האלגוריתמים

Weighted Algorithm

- אלגוריתם Occupancy Balancing גורר חוסר איזון בכמות החולים למחלקה פר מיטה פר שנה, הסיבה נובעת מהשאירה לשלוח יותר חולים למחלקות המהירות, לכן מדיניות זו אינה הוגנת לחלוטין.
- נדרש לבצע Tradeoff בין דרישות מנוגדות לכן נציע שימוש באלגוריתם ממושקל, המשלב אלגוריתם נוסף:
- Flow Balancing Algorithm

$$\min_{i \in \{1, \dots, 4\}} Sd(\gamma(t)) = \min_{i \in \{1, \dots, 4\}} \left\{ \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{j=1}^4 (\bar{\gamma}(t) - \gamma_j(t))^2} \right\}$$

- כאשר $\gamma_i(t) = \frac{L_i(t)}{N_{st_i}}$ - מציין את שטף הלקוחות דרך מחלקה i עד לזמן t .

תיאור האלגוריתמים

Weighted Algorithm

$$k = \operatorname{argmin}_{i \in \{1, \dots, 4\}} (\alpha_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{j=1}^4 (\bar{\rho}'(t) - \rho'_j(t))^2} + \alpha_2 \cdot \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{j=1}^4 (\bar{\gamma}'(t) - \gamma'_j(t))^2})$$

s.t

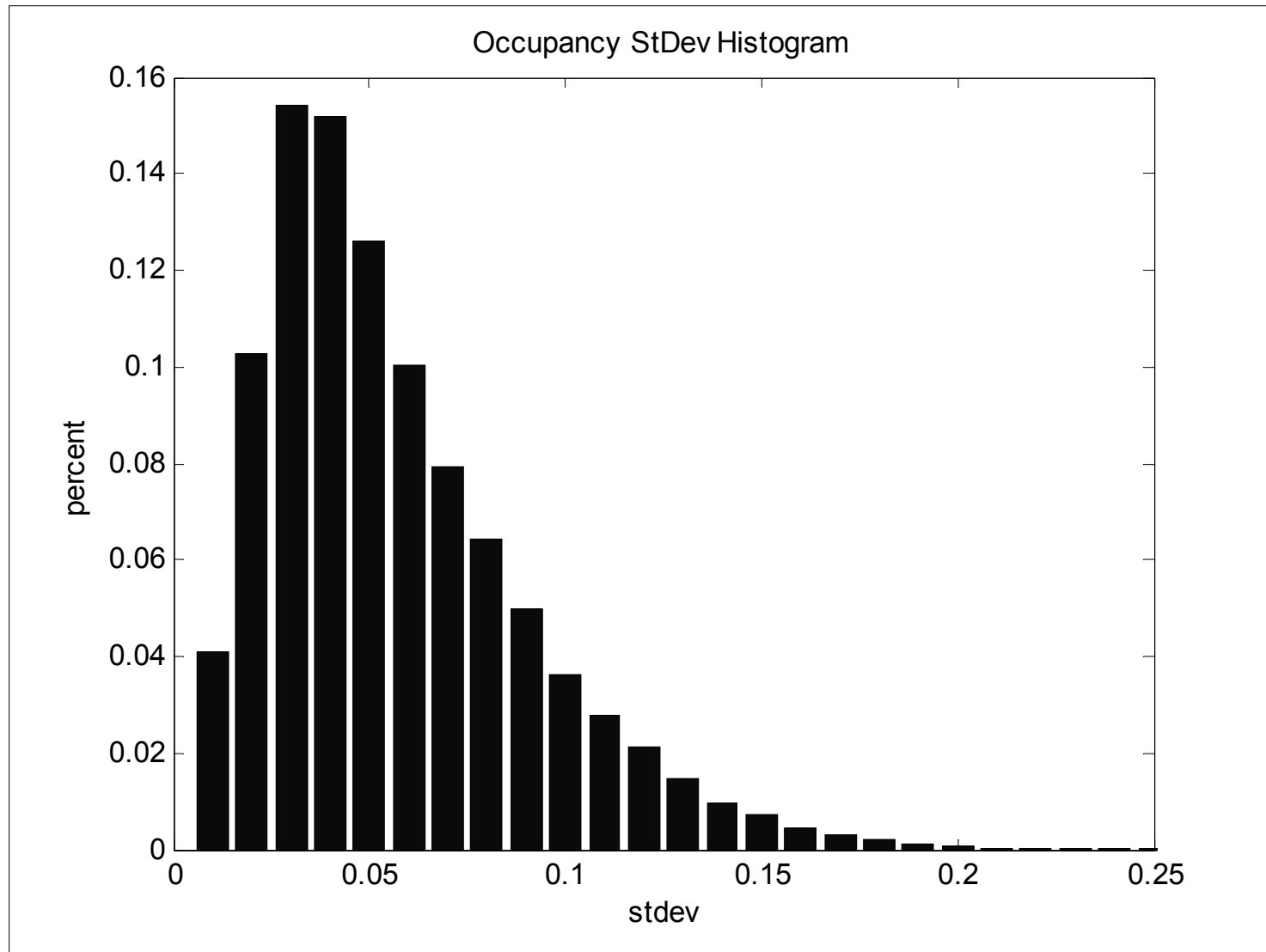
$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\rho}'(t) = \frac{\sum_{j=1}^4 \rho'_j}{4}. \\ \bar{\gamma}'(t) = \frac{\sum_{j=1}^4 \gamma'_j}{4}. \\ \rho'_j(t) = \frac{N_j(t)+1}{N_{st_j}}, \quad \text{for } j = i. \\ \rho'_j(t) = \frac{N_j(t)}{N_{st}}, \quad \forall j \neq i. \\ \gamma'_j(t) = \frac{L_j(t)+1}{N_{st_j}}, \quad \text{for } j = i. \\ \gamma'_j(t) = \frac{L_j(t)}{N_{st_j}}, \quad \forall j \neq i, \end{array} \right.$$



• כאשר $\alpha_i \in \mathbb{R}_{[0,1]} \forall i \in \{1, 2\}, \alpha_1 + \alpha_2 = 1$

######

התפלגות סטיית תקן של תפוסה



טבלת השוואה בין האלגוריתמים

	RR1111	RR3233	partial info
waiting time (hours)	2.9517	3.1241	2.8877
sojourn time (days)	6.3378	6.4354	6.2467
stdev occupancy	0.1043	0.1299	0.0414
stdev no' patients per bed per year	10.3226	1.2014	6.9801
stdev waiting time (hours)	3.1986	3.6303	3.0659
stdev sojourn time (days)	6.9885	7.0922	6.9348

	IB	min stdev	weighted
waiting time (hours)	2.8894	2.8803	2.9143
sojourn time (days)	6.3702	6.3708	6.4105
stdev occupancy	0.0789	0.0240	0.0567
stdev no' patients per bed per year	6.4936	6.6503	3.3864
stdev waiting time (hours)	3.0792	3.0767	3.0976
stdev sojourn time (days)	7.0041	7.0094	7.0397

סיכום ומסקנות

- נבנה מודל מערכת על סמך נתונים אמפיריים שנאספו ונותחו
- נבנה מודל סימולציה ונבדקה התאמתו לנתונים האמפיריים
- נוסחו קריטריוני איכות המשקפים תפקוד טוב של המערכת על פי קריטריונים תפעוליים וקריטריוני צדק כלפי החולים וצוות המחלקות
- מומש אוסף של אלגוריתמי ניתוב תוך התייחסות לקריטריוני האיכות ולזמינות אינפורמציה על המערכת.
- ניתוח והשוואת אלגוריתמים:
 - ישנה תלות הפוכה בין זמני המתנה/שירות נמוכים ולדרישה של איזון במספר החולים למיטה על פני שנה (משתלם לשלוח למחלקה המהירה).
 - הקריטריונים של איזון העומסים על המחלקות הביאו לשיפור ניכר באיזון העומס ללא פגיעה משמעותית בזמני הטיפול בחולים.

סיכום ומסקנות

- ניתוח והשוואת אלגוריתמים

— האלגוריתם של אינפורמציה חלקית מציג תוצאות טובות כמעט כמו של אינפורמציה מלאה תוך מינימום דרישה על מערכות המידע בבית החולים.

- מגבלות המודל הקיים

- חסר מידול מלא של המלר"ד
- חוסר התייחסות לסוגי החולים השונים
- אי יכולת למדל במדויק זמני המתנה מפאת חוסר בנתונים אמפיריים
- אי יכולת לקחת בחשבון גורמים פסיכולוגיים רבים
- חוסר התייחסות ל"חולים חוזרים"

הצעות למחקר המשך

- ביצוע ניתוח רגישות לפרמטרי המודל
- התייחסות לסוגי החולים השונים
- שילוב של מחלקה ה' במודל
- שילוב הסימולציה בסימולציה של מלר"ד של יריב
- מידול זמני המתנה ומשכי אשפוז כפונקציה של פרמטרים שונים (עומס, מערך תמריצים וכד')
- יישום אלגוריתם Q-learning, התאמת המנגנון לבעיה הספציפית
- הוספת מידול איכות קלינית של הטיפול

תודה על ההקשבה!

