

Service Science & Engineering (of Call Centers, Hospitals, ...)

Avishai Mandelbaum

Technion IE&M,
Haifa, Israel

<http://ie.technion.ac.il/serveng>

Joint work with Students & Colleagues

Technion SEE Center / Lab: Paul Feigin, Valery Trofimov, RA's, ...

DailyMaily גיליון 4331 יום ו', 10.11.2006

מזל"ל עורך אחראי: פלי הנמר | עורך ראשי: יהודה קונפורטס | עורך: אור יעקב | סגן עורך: יובל בן טוב

הפקולטה למדעי השירותים

זו לא טעות דפוס; על פי החזון של יבמ, בדומה לתעשיית ה-IT שעברה מחומרה לשירותים, סבורים ביבמ כי גם האקדמיה צריכה לשנות את דפוס הלימודים שלה ובעתיד יצאו מהקמפוסים האקדמיים מומחים ואנשי אקדמיה בתחום השירותים והנדסת השירותים • אתמול הוצגה בפני הסגל האקדמי של מוסדות אקדמיים בישראל התוכנית הבינלאומית של יבמ לעידוד מוסדות אקדמיים לייצר מומחים לשירותים

יהודה קונפורטס, מערכת DailyMaily, אנשים ומחשבים



ד"ר סטיוארט פלדמן, סגן נשיא חטיבת המחקר של יבמ העולמית לתחום מדעי המחשב

הדילמה הכמעט קבועה של הכשרת סטודנטים באקדמיה היא הפער הקבוע תמיד בין החומר האקדמי הטהור לבין המציאות בשוק. נכון הוא שאקדמיה לא יכולה להדביק לעולם את המקצועות הקיימים בשוק, אבל באיזשהו מקום מצפים ממנה, כי המסגרות הלימודיות, המחלקות והפקולטות יכילו תוכניות לימודיות שתואמות את המגמות בכלכלה העולמית ולו רק כדי לספק את הציפייה הטבעית מהאקדמיה, כספק ראשי של כוח אדם למשק הלאומי.

אחת המגמות היותר בולטות שקורות במדינות מערביות היא המעבר לממשק מונחה ייצור - תעשייה קונבנציונלית לשירותים. תחום זה נמצא כמעט בכל מגזר במשק פרטי והציבורי. חלקם של השירותים באופי הפעילות של הארגונים הולכים וגדלים, ותעשיית ה-IT באופן טבעי מתכוונת לשם.

סוד גלוי הוא כיום, שכמעט 50% מההכנסות של יבמ באות משירותים, בכל תחום שהוא. יבמ היתה החלוצה בתחום זה, אבל כיום היא אינה בודדה במערכה. קחו כל חברת מיחשוב גדולה ותוכלו לזהות אצלה מעבר ברור לשירותים, באריזה זו או אחרת. אף אחת לא מוותרת, כמובן, על נכסי הליבה, אבל אם תסרקו את המאפיין של פיטורי עובדים בענף ה-IT בעשור האחרון, ברור שהוא מגיע מכיוונים של תפעול ותחזוקת מערכות מורשת, מקצועות מסורתיים שקשורים יותר לחומרה ועוד.

לעומת זאת, חל גידול מרשים במספר העובדים בתחום השירותים. הצמיחה העולמית של התחום יוצרת דרישה של מומחים, אשר באים מדיספלינות שונות באקדמיה, ומבינים את נושא החדשנות בשירותים, כולל הטכנולוגיה. הציפייה היא שהמוסדות האקדמיים יעשו שינוי מסויים במינון של הלימודים הקשורים במדעי המחשב, למשל, וילמדו יותר את תחום השירותים. כך גם במקצועות של מינהל ומקצועות ספציפיים.

זו אינה משימה קלה והיא אינה נעשית ביום אחד. יבמ, ברמה העולמית, לקחה על עצמה להעמיק את השת"פ עם המוסדות האקדמיים בכל מדינה, לקידום העיסוק בתחום אקדמי ומקצועי חדש של מדעי השירותים והנדסת השירותים.

אתמול (ה') נערך באודיטוריום של יבמ בפתח תקווה, מפגש מיוחד במינו שבו התארחו כמה עשרות מרצים ואנשי אקדמיה ממוסדות אקדמיים בישראל, כדי לשמוע מפי בכירי יבמ העולמית, שהגיעו במיוחד לכנס, מה ניתן לעשות כדי להעמיק את היכולת של מדעי השירותים בכל הפקולטות באוניברסיטאות, ועל אחת כמה וכמה במדעי המחשב.

פיני בורטמן, מנהל תפעול עסקי ביחידת הטכנולוגיה של יבמ (GTU), אמר כי מדובר במהלך ארוך טווח, שדורש הרבה מאוד תהליכים ושינויים בתפיסה האקדמית. תפקידה של יבמ, אומר בורטמן, הוא אינו ללמד את האוניברסיטאות מה ללמד ("את זה הם יודעים טוב יותר מאיתנו"), אלא לתת לראשי המוסדות האלו כלים, ידע ולחלוק איתם מידע רלבנטי, שיאפשר להם לפתח תוכניות לימודים, שיציאו בסופו של דבר לשוק בוגרים שיכולים לתפעל ולנהל את תחומי השירותים מבוססי הטכנולוגיה, כמו בבכל המגזרים והתחומים של החיים.

מנכ"ל יבמ ישראל, **מאיר ניסנסון**, אמר בדבריו הפתיחה שלו, כי יבמ פועלת במדינות כמו ישראל לטווח ארוך. "באנו לכאן ב-1949 והדבר האחרון שאפשר היה להאשים אותנו בו זה באופורטיניזם", אמר ניסנסון. "במשך כל השנים, האקדמיה היתה אחד המקורות העיקריים לכוח האדם שאנו מעסיקים בתחומי המחקר והפיתוח, וללא הרמה הגבוהה של האוניברסיטאות והבוגרים המוכשרים שיצאו לשוק, לא היינו מצליחים להגיע לאן שהגענו".

כעת, שוב פונה יבמ ל"ספקי חומר הגלם" - ההון האנושי, ומציעה להם ללכת יד ביד כדי להכשיר מדעני שירותים. ישראל איננה הראשונה שהולכת לכיוון זה. מדובר במגמה כלל עולמית, מסתבר, ובכנס נמסר לסגל האקדמי שהגיע, כי שורת אוניברסיטאות ברחבי העולם כבר נענו למאמץ של יבמ, והן משלבות הוראה בתחום מדעי השירותים במסגרת פקולטות שונות - בין אם כקורס, כלימודי תעודה או אפילו כתואר אקדמי. מומחים בתחום השירותים במעבדת המחקר של יבמ בחיפה מלמדים השנה לראשונה קורסים בנושא

Research Partners

- ▶ **Students:**

Aldor*, Baron*, Carmeli, Feldman, Garnett*, Gurvich*, Khudiakov*, Maman*, Marmor, Reich, Rosenshmidt*, Shaikhet*, Senderovic, Tseytlin*, Yom-Tov, Zaied, Zeltyn*, Zohar*, Zviran, ...

- ▶ **Empirical/Statistical Analysis:**

Brown, Gans, Zhao; Shen; Ritov, Goldberg; Allon, Bassamboo, Gurvich; Armony, ...

- ▶ **Theory:**

Armony, Atar, Feigin, Gurvich, Jelenkovic, Kaspi, Massey, Momcilovic, Reiman, Shimkin, Stolyar, Wasserkrug, Whitt, Zeltyn, ...

- ▶ **Industry:**

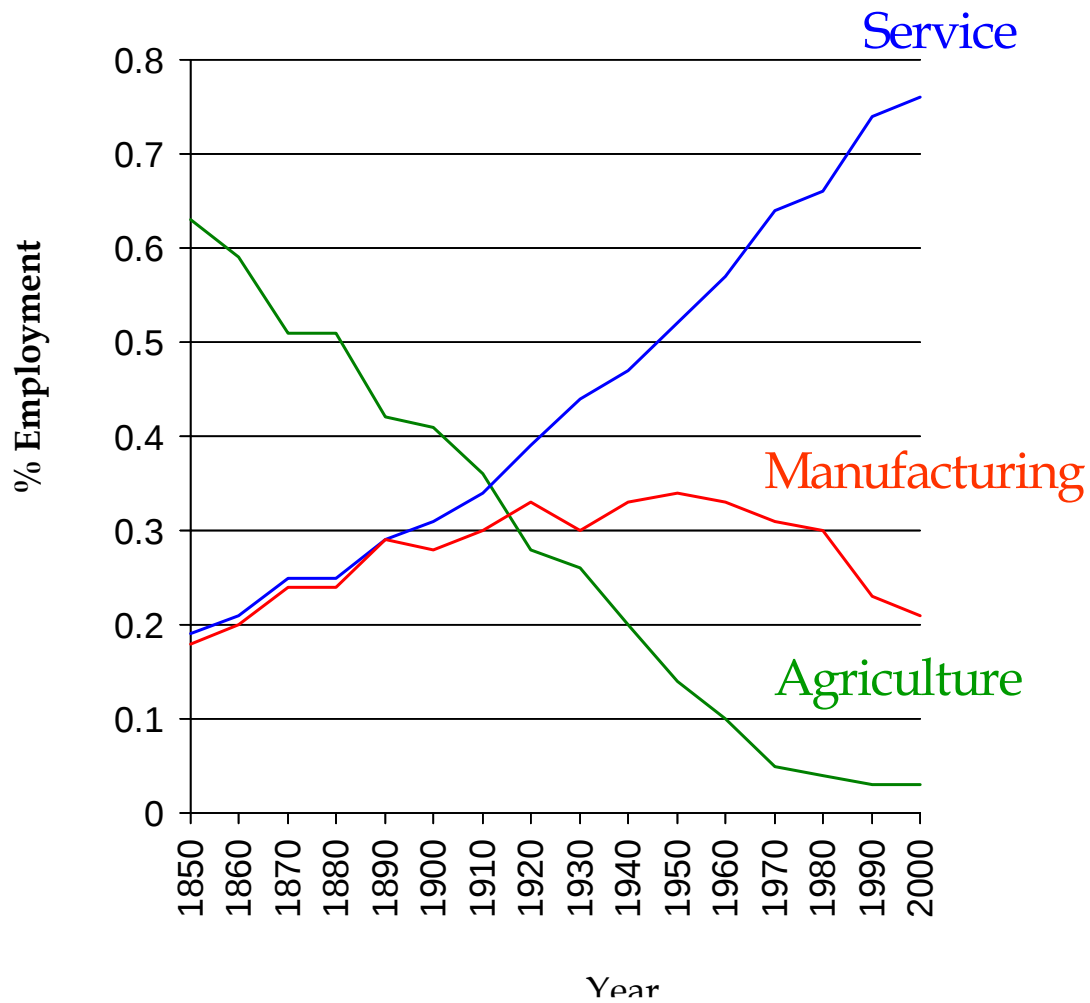
IBM Research (OCR: Carmeli, Vortman, Wasserkrug, Zeltyn), Rambam Hospital, Hapoalim Bank, Mizrahi Bank, Pelephone Cellular, ...

- ▶ **Technion SEE Center / Laboratory:**

Feigin; Trofimov, Nadjharov, Gavako, Kutsyy; Liberman, Koren, Rom; Research Assistants, ...

Introduction to “Services”

U.S. Employment by Sector, 1850 - 2000+







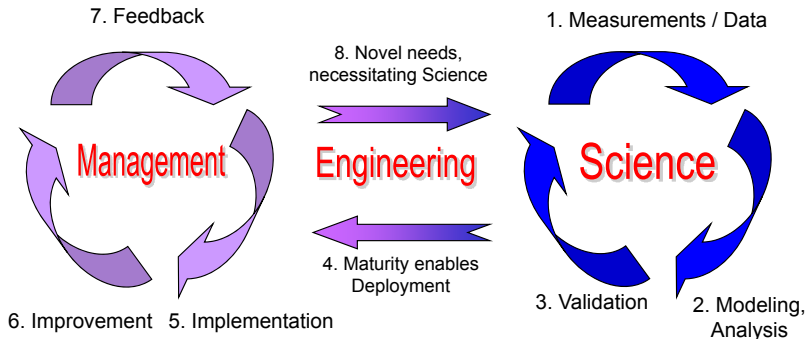
Service **Enterprise** Engineering

Expanding the Scientific Paradigm (OCR / IBM)

- Physics, Biology, ... : **Measure, Model, Experiment, Validate, Refine.**
- Human-complexity triggered the above in Transportation, Economics.

Expanding the Scientific Paradigm (OCR / IBM)

- Physics, Biology, ... : **Measure, Model, Experiment, Validate, Refine.**
- Human-complexity triggered the above in Transportation, Economics.
- Adopt in Services:



Call Centers, then Hospitals, and Beyond

Call Centers: Business-Frontiers & Sweat-Shops of 21st Century

U.S. Statistics (Relevant Elsewhere)

- ▶ Over 60% of annual business volume via the telephone
- ▶ 100,000 – 200,000 call centers
- ▶ 3 – 6 million employees (**2% – 4% workforce**)
- ▶ 1000's agents in a "single" call center = 70 % costs
- ▶ 20% annual growth rate
- ▶ \$200 – \$300 billion annual expenditures

Call Centers, then Hospitals, and Beyond

Call Centers: Business-Frontiers & Sweat-Shops of 21st Century

U.S. Statistics (Relevant Elsewhere)

- ▶ Over 60% of annual business volume via the telephone
- ▶ 100,000 – 200,000 call centers
- ▶ 3 – 6 million employees (**2% – 4% workforce**)
- ▶ 1000's agents in a "single" call center = 70 % costs
- ▶ 20% annual growth rate
- ▶ \$200 – \$300 billion annual expenditures

Expanding:

- ▶ **Internet**; Contact Centers
- ▶ **Healthcare** (Hospitals, Clinics): EDs and face-to-face services

Call-Center Environment: Service Network





מבקר המדינה

דוח שנתי 53ב

לשנת 2002 ולחשבונות
שנת הכספים 2001



תוכן העניינים

פרק ראשון - נושאים מערכתיים

עבודת המטה במשרדי הממשלה

5	מבוא
7	סדרי עבודת המטה - יחידות המטה המרכזיות
7	עבודת המטה במשרד ראש הממשלה
	עבודת מטה במשרדים ובמזכירות הממשלה לפני החלטות
13	ממשלה ומעקב אחר ביצוען
30	עבודת מטה של משרד האוצר לקראת חוק ההסדרים
44	עבודת המטה במשרד הממשלתי
44	תורת ניהול לשירות המדינה
46	תכנון, בקרה, תיאום והערכה במשרד הממשלתי
60	המנהל הכללי ועבודת המטה
70	סדרי תכנון וארגון של שירות המדינה
71	תפקידה של הנציבות בעיצוב המבנה של השלטון המרכזי
73	מבנה המשרד הממשלתי וארגונו
82	תכנון והקמה של מבנים ארגוניים בשירות המדינה
97	הליכים וניסיונות להטמעת רפורמה בשירות המדינה
104	סיכום

השירות לציבור

111	מבוא
120	השירות ביחידות
120	זמינות השירות
125	תנאים לקבלת קהל
127	מתן מידע לציבור ביחידות
129	הדרכת העובדים נותני השירות
130	תפקוד הנהלות היחידות בנושא השירות לציבור
132	איכות השירות בטלפון
133	איכות השירות בטלפון ביחידות
136	איכות השירות בטלפון בהנהלות הגופים ובמרכזי המידע

מענה טלפוני קולי מחוץ לשעות הפעילות ביחידות

ב-52% מהיחידות שנבדקו לא היה לאחר סיום הפעילות מענה קולי המודיע על שעות קבלת הקהל ביחידה, וב-42% לא היה מענה המודיע על שעות קבלת פניות טלפוניות ביחידה, אף על פי שניתן היה לספק שירות זה בעלות קטנה מאוד.

איכות המענה הטלפוני ביחידות

משרד מבקר המדינה בדק את איכות המענה הטלפוני ביחידות באמצעות 429 פניות יזומות שעשה ליחידות.

58% מהפניות לא נענו כלל. ליקוי זה הועלה על ידי משרד מבקר המדינה בפנייה ללשכות מינהל האוכלוסין, לסניפי אגף הרישוי ולסניפי המוסד לביטוח לאומי שנבדקו ולחברת חלמיש, חברה משכנת הנותנת שירות לזכאים לסיוע בדיוור ציבורי עבור משרד השיכון. בשני מועדים שונים באוגוסט 2002, שבהם נעשו בסך הכול 162 ניסיונות התקשרות ללשכות מינהל האוכלוסין בתל אביב, רחובות וחולון, במהלך שעות המענה האנושי בלשכות, התקבל מענה ב-4 ניסיונות בלבד (2.5%). ביתר הניסיונות התקבל צליל תפוס. בכל 30 ניסיונות ההתקשרות לסניפי אגף הרישוי בחולון, פתח תקווה ואשדוד, במהלך שעות המענה האנושי של הסניפים, התקבל צליל תפוס ולא ניתן היה להשיג כל מענה³. ב-45% מניסיונות ההתקשרות לסניפי המוסד לביטוח לאומי בירושלים, תל אביב ואשקלון לא התקבל מענה. 91% מניסיונות ההתקשרות לאגף הטיפול בפרט בחברת חלמיש לא נענו⁴.

מתוך ניסיונות ההתקשרות שנענו, ב-46% מהניסיונות הועלו ליקויים באיכות המענה. כך למשל, ב-26% מהפניות משך ההמתנה מרגע ההתקשרות ועד קבלת מענה אנושי היה ארוך - 10-2 דקות. במענה לכרבע מהפניות הועלה, כי השאלה שנשאלה לא נענתה בטלפון או נענתה באופן בלתי ענייני ומקצועי. 34% מהפונים שהופנו לעובד אחר ביחידה לקבלת מענה המתו זמן רב לקבלת מענה מאותו עובד (2-10 דקות), 20% מאותם פונים לא הופנו אל העובד המתאים.

בבדיקה הועלו ממצאים נוספים. כך, לדוגמה, בפנייה לסניף המוסד לביטוח לאומי באשקלון (באמצעות המוקד הטלפוני הארצי) לא ניתן לקבל מענה בלי להזדהות באמצעות הקשת מספר תעודת הזהות ולא ניתן לקבל בטלפון מידע בנושא נפגעי פעולות איבה. הסניף מסר למשרד מבקר המדינה, כי ניתן לקבל מענה ממוקדן בשעות שבהן יש מענה אנושי, גם ללא הזדהות, אם מתעלמים ארבע פעמים מהבקשה הטלפונית להזדהות. משרד מבקר המדינה העיר לסניף, כי מן הראוי כי במירכזת יינתן למתקשר מידע על האפשרות לקבל מענה אנושי ללא הזדהות; בסניף המוסד לביטוח

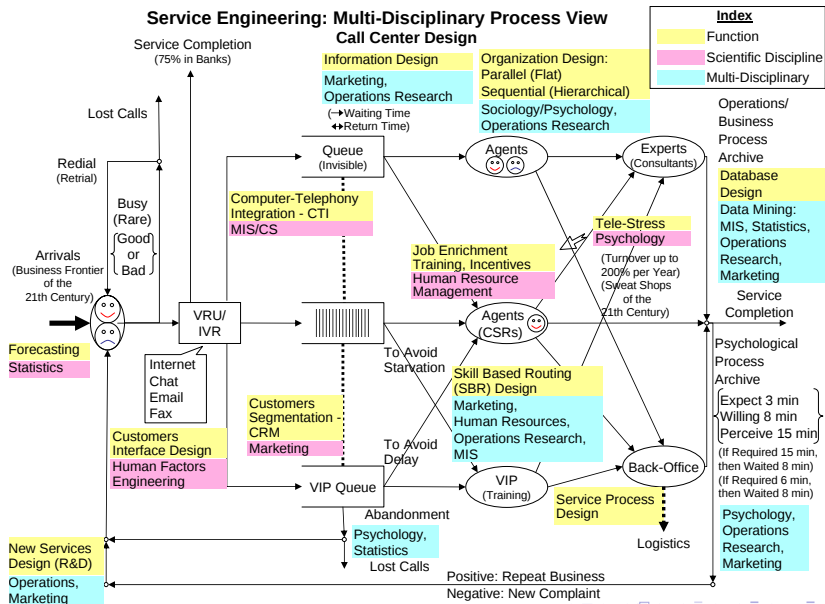
3 למשרד הרישוי מוקד טלפוני ארצי ממוחשב, המאפשר קבלת מידע וביצוע פעולות הנוגעות לחלק מהשירותים שהמשרד נותן, ובכללם חידוש רישיונות רכב ונהיגה. ואולם 83% מהנשאלים בסקר שביעות הרצון שנעשה בשלושת הסניפים של משרד הרישוי שנבדקו, מסרו כי לא ידעו שאפשר לקבל שירותים אלה בלא לבוא ליחידות.

4 יצוין, שבחברת חלמיש הונהגה שיטה של "חיוג ישיר פנימה" המאפשרת למתקשר מבחון לחייג את מספר הטלפון האישי של כל עובד, וכל ניסיונות ההתקשרות האמורים נעשו למספר טלפון אחד.

Call-Centers: “Sweat-Shops of the 21st Century”

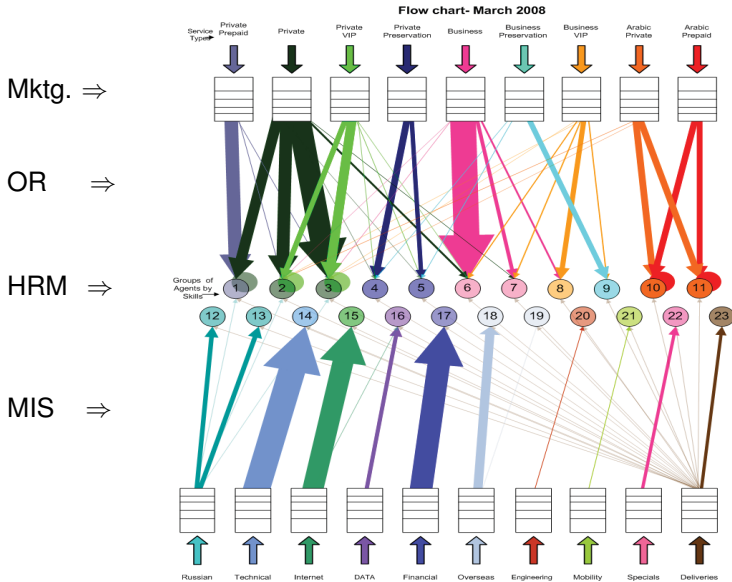


Call-Center: Multi-Disciplinary ServEng View



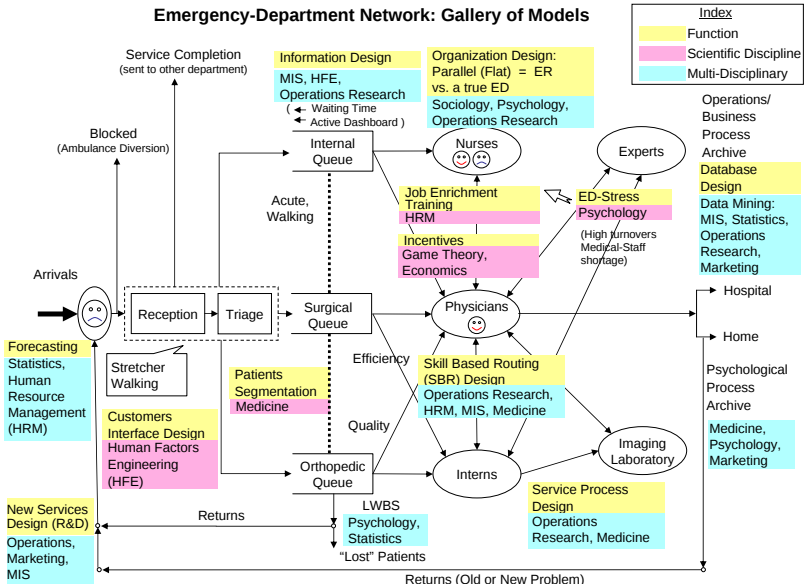
Skills-Based Routing in Call Centers

EDA and OR, with I. Gurvich and P. Lieberman



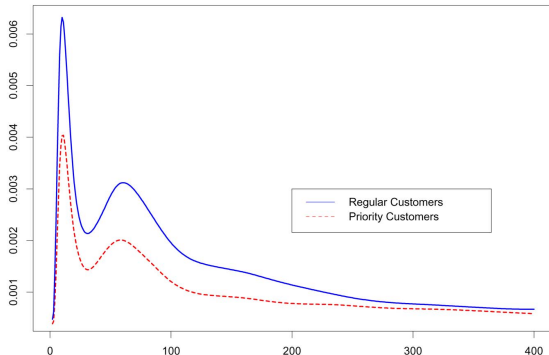
Emergency-Dept.: Multi-Disciplinary ServEng View

Emergency-Department Network: Gallery of Models



(Im)Patience while Waiting (Palm 1943-53)

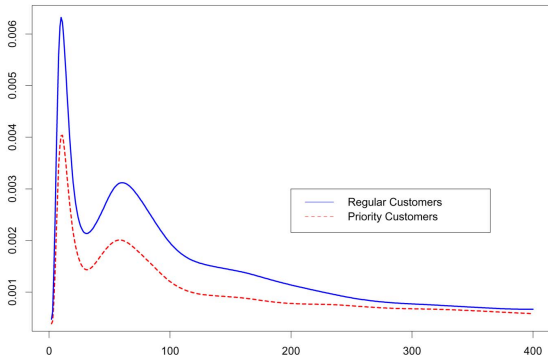
Irritation $\propto$ Hazard Rate of (Im)Patience Distribution
Regular over **VIP** Customers – Israeli Bank



(Im)Patience while Waiting (Palm 1943-53)

Irritation $\propto$ Hazard Rate of (Im)Patience Distribution

Regular over **VIP** Customers – Israeli Bank



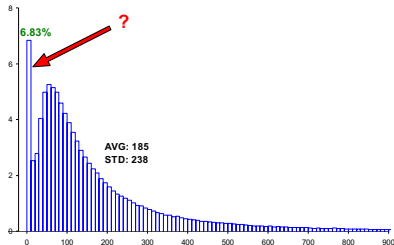
- ▶ **Peaks** of abandonment at times of **Announcements**
- ▶ **Call-by-Call Data (DataMOCCA)** required (& Un-Censoring).

Observation: **VIP** are **more patient** (Needy)

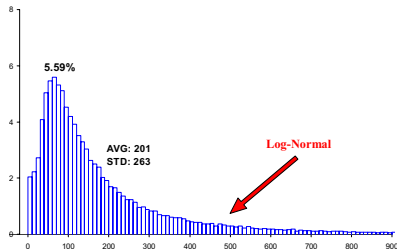
Beyond Averages: The Human Factor

Histogram of Service-Time in a (Small Israeli) Bank

January-October



November-December

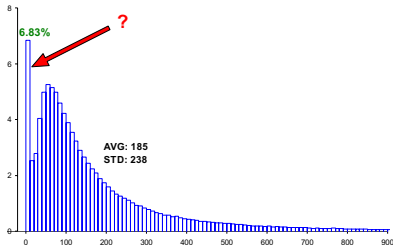


► 6.8% Short-Services:

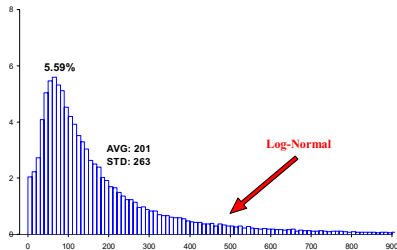
Beyond Averages: The Human Factor

Histogram of Service-Time in a (Small Israeli) Bank

January-October



November-December

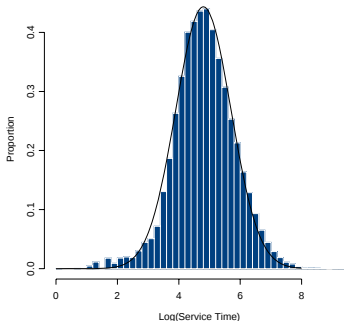


- ▶ **6.8% Short-Services:** Agents' "Abandon" (improve bonus, rest), lead by **incentives**
- ▶ **Distributions** must be measured (in seconds)
- ▶ **LogNormal** service times common in call centers

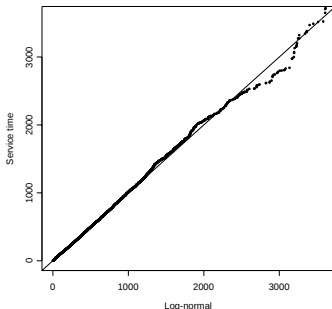
Validating LogNormality of Service-Times

Israeli Call Center, Nov-Dec, 1999

Log(Service Times)

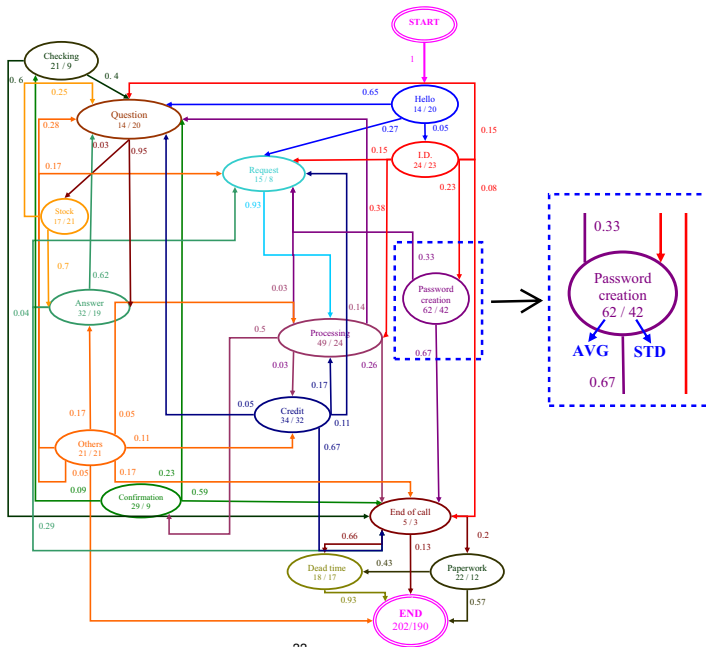


LogNormal QQPlot



- ▶ **Practically Important:** (mean, std)(log) capture Service-Times
- ▶ **Theoretically Challenging:** Why LogNormal ?
- ▶ Simple-model of a complex-reality? The **Service Process:**

Work Design (Time Study)



Final Products: Theory, Software, Insights

Constraint	P{Ab}		E[W]		P{W > T}	
	Tight	Loose	Tight	Loose	Tight	Loose
	1-10%	$\geq 10\%$	$\leq 10\%E[\tau]$	$\geq 10\%E[\tau]$	$0 \leq T \leq 10\%E[\tau]$ $5\% \leq \alpha \leq 50\%$	$T \geq 10\%E[\tau]$ $5\% \leq \alpha \leq 50\%$
Offered Load						
Small (10's)	QED	QED	QED	QED	QED	QED
Moderate-to-Large (100's-1000's)	QED	ED, QED	QED	ED, QED if $\tau \stackrel{d}{=} \exp$	QED	ED+QED

Rules of Thumb for N = Number of tele-agents

- ▶ **ED:** $N \approx R - \gamma R$ ($0.1 \leq \gamma \leq 0.25$).
- ▶ **QD:** $N \approx R + \delta R$ ($0.1 \leq \delta \leq 0.25$).
- ▶ **QED:** $N \approx R + \beta \sqrt{R}$ ($-1 \leq \beta \leq 1$).

WFM: Determine staffing level N , i.e. **70% operational costs.**

The Technion SEE Center / Laboratory



Technion SEE = Service Enterprise Engineering

SEELab: Hub for data-based research and teaching

- ▶ **History:** I.E. Dean, **B. Golany**, recruited **Hal and Inge Marcus**.
 - ▶ **Technion:** In 2007, w/ **P. Feigin, V. Trofimov**.
 - ▶ **Wharton:** L. Brown, N. Gans, H. Shen (UNC).
 - ▶ **industry**

Current Databases

1. U.S. Bank (**PUBLIC**): 220M calls, 40M agent-calls, 1000 agents, 2.5 years, 7-40GB.
2. Israeli Banks:
 - Small (**PUBLIC**): 350K calls, 15 agents, 1 year. Started it all in 1999 (JASA paper);
 - Medium (ongoing): 300 agents, 1.5 years, still in process; **daily deposit** (IVR + ACD);
 - Large: 500 agents, 1.5 years, 3-8GB.
3. Israeli Telecom: 800 agents, 3.5 years; 5-55GB.
4. Israeli Hospitals:
 - Eight ED's (to be made **PUBLIC**);
 - Large (ongoing): 1000 beds, 45 medical units, 75,000 patients hospitalized yearly, 4+ years, 7GB;
 - RFID-based tracking of an MCE drill: 25 doctors, 30 nurses, 55 patients, 500K records (1 sec resolution)
5. Miscellaneous: Website, Face-to-Face, Fast-Food, ...

MCE with RFID Support: Rambam Hospital, May 2010

Drill: Chemical **Mass Casualty Event** (**MCE**), Rambam Hospital



Focus on the **red** casualties - severely wounded (50+ in the drill)

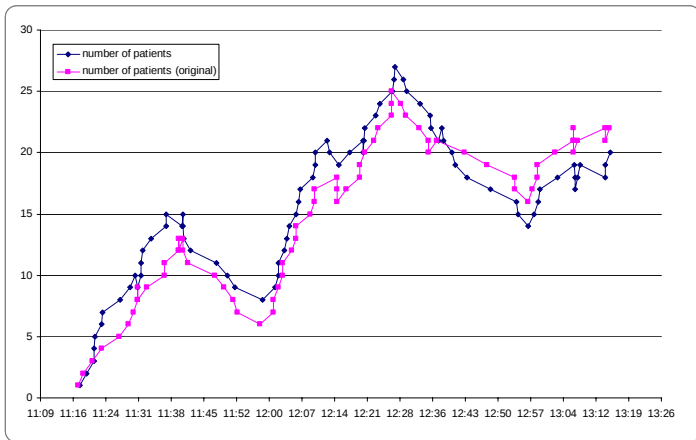
Note: 20 observers taking real-time measurements (validation)

MCE with RFID Support: Data Cleaning

Data-base				Company report		comment
Asset id	order	Entry date	Exit date	Entry date	Exit date	
4	1	1:14:07 PM		1:14:00 PM		
6	1	12:02:02 PM	12:33:10 PM	12:02:00 PM	12:33:00 PM	
8	1	11:37:15 AM	12:40:17 PM	11:37:00 AM		exit is missing
10	1	12:23:32 PM	12:38:23 PM	12:23:00 PM		
12	1	12:12:47 PM	12:35:33 PM		12:35:00 PM	entry is missing
15	1	1:07:15 PM		1:07:00 PM		
16	1	11:18:19 AM	11:31:04 AM	11:18:00 AM	11:31:00 AM	
17	1	1:03:31 PM		1:03:00 PM		
18	1	1:07:54 PM		1:07:00 PM		
19	1	12:01:58 PM		12:01:00 PM		
20	1	11:37:21 AM	12:57:02 PM	11:37:00 AM	12:57:00 PM	
21	1	12:01:16 PM	12:37:16 PM	12:01:00 PM		
22	1	12:04:31 PM	12:20:40 PM			first customer is missing
22	2	12:27:37 PM		12:27:00 PM		
25	1	12:27:35 PM	1:07:28 PM	12:27:00 PM	1:07:00 PM	
27	1	12:06:53 PM		12:06:00 PM		
28	1	11:21:34 AM	11:41:06 AM	11:41:00 AM	11:53:00 AM	exit time instead of entry time
29	1	12:21:06 PM	12:54:29 PM	12:21:00 PM	12:54:00 PM	
31	1	11:40:54 AM	12:30:16 PM	11:40:00 AM	12:30:00 PM	
31	2	12:37:57 PM	12:54:51 PM	12:37:00 PM	12:54:00 PM	
32	1	11:27:11 AM	12:15:17 PM	11:27:00 AM	12:15:00 PM	
33	1	12:05:50 PM	12:13:12 PM	12:05:00 PM	12:15:00 PM	wrong exit time
35	1	11:31:48 AM	11:40:50 AM	11:31:00 AM	11:40:00 AM	
36	1	12:06:23 PM	12:29:30 PM	12:06:00 PM	12:29:00 PM	
37	1	11:31:50 AM	11:48:18 AM	11:31:00 AM	11:48:00 AM	
37	2	12:59:21 PM		12:59:00 PM		

Think “Cleaning” 60,000+ customers/day (call centers)?

MCE with RFID Support: # Severely Wounded Patients



- Paths of doctors, nurses, patients (100+, **1 sec.** resolution) ?
- What if **150+ casualties** severely wounded (feasible) ?

Technion Research Impact: An Example

[Web](#) [Images](#) [Videos](#) [Maps](#) [News](#) [Shopping](#) [Gmail](#) [more ▼](#)

[Sign in](#)

call centers

Search

[Advanced Scholar Search](#)
[Scholar Preferences](#)

Scholar  Articles and patents  anytime  include citations 

Results 1 - 10 of about 2.510.000. (0.06 sec)

[\[PDF\] Telephone call centers: Tutorial, review, and research prospects](#)

[psu.edu \[PDF\]](#)

N Gans, G Koole, A Mandelbaum - Manufacturing and service operations ..., 2003 - Citeseer

* The Wharton School, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104, USA

gans@wharton.upenn.edu ... † Vrije Universiteit, De Boelelaan 1081a, 1081 HV

Amsterdam, The Netherlands koole@few.vu.nl ... ‡ Industrial Engineering and ...

[Cited by 455](#) - [Related articles](#) - [View as HTML](#) - [All 32 versions](#)

[PDF] Designing a call center with impatient customers

[technion.ac.il \[PDF\]](#)

O Garnet, A Mandelbaum, M ... - Manufacturing & Service 2002 - iew3.technion.ac.il

ABSTRACT. The most common model to support workforce management of telephone call centers

is the M/M/N/B model, in particular its special cases M/M/N (Erlang C, which models out busy-signals) and M/M/N/N (Erlang B, disallowing waiting). All of these models lack a ...

[Cited by 245](#) - [Related articles](#) - [View as HTML](#) - [All 18 versions](#)

Statistical Analysis of a Telephone Call Center

psu.edu [PDF]

L Brown, N Gans, A Mandelbaum, A Sakov, H ... - Journal of the American ..., 2005 - ASA

A **call center** is a service network in which agents provide telephone-based services. Customers

who seek these services are delayed in tele-queues. This article summarizes an analysis of a

unique record of **call center** operations. The data comprise a complete operational history ...

[Cited by 205](#) - [Related articles](#) - [All 41 versions](#)

Dimensioning large call centers

[bell-labs.com \[PDF\]](#)

S Borst, A Mandelbaum, MI Reiman - Operations research, 2004 - JSTOR

CWI, P. O. Box 94079, 1090 GB Amsterdam, The Netherlands, and Bell Labs, Lucent

Technologies, Murray Hill, New Jersey 07974-0636, sem.borst@cwj.nl Avi Mandelbaum Faculty

of Industrial Engineering and Management, Technion, Haifa 32000, Israel, avim@tx. ...

[Cited by 156](#) - [Related articles](#) - [BL Direct](#) - [All 19 versions](#)

Queueing models of call centers: An introduction

psu.edu [PDF]

G Koole, A Mandelbaum - Annals of Operations Research, 2002 - Springer

... the modern **call center** is a complex socio-technical system. It thus enjoys central features that

The Technion SEE Center / Laboratory

Data-Based Service Engineering

