

Fundamentals in Software engineering Lesson 4

יסודות בהנדסת תוכנה



4

Dr. Hadas Schwartz-Chassidim

October 2022

יאן סומרסוויל 'בהכנת המצגות בקורס נעזרתי בספרות ובמצגות של פרופ

<http://ifs.host.cs.st-andrews.ac.uk/Books/SE9/index.html>

<https://iansommerville.com/engineering-software-products/downloads/>

LESSON TOPICS

- What is User Experience (UX)
- User Interface (UI), usability
- Start with the end in mind
- You are what you measure
- =====
- Sociotechnical systems
- Dependability
- Risk management?

Upcoming events

הבוחן יתקיים לשתי הקבוצות ביחד

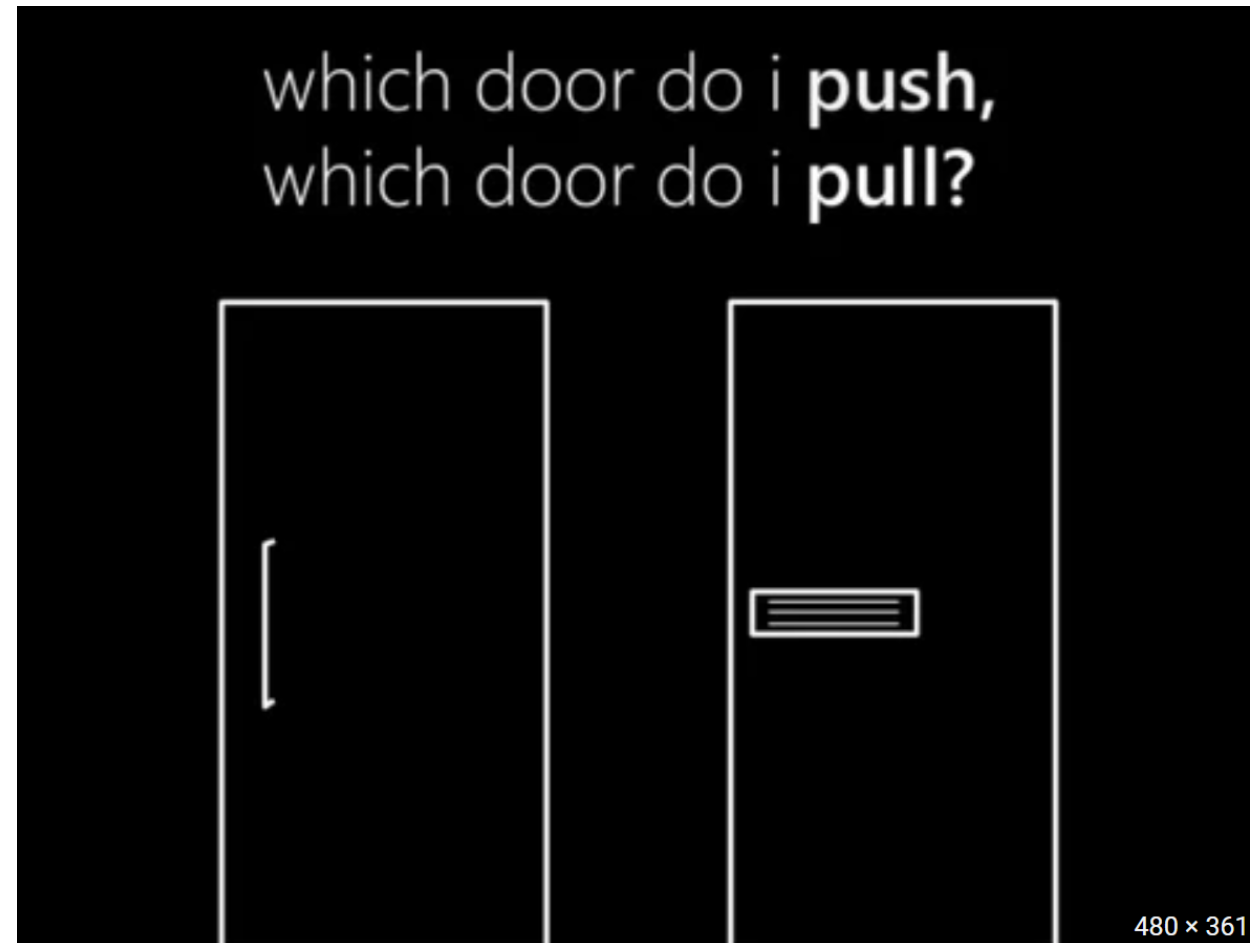
28-11-22 **quiz** (12:00-13:00 Moodle)

- Lessons 1-4
- ref [1] Software Engineering chapters 1.1-1.3; 2.1,2.4
- ref [2] Agile software eng. Chapters 2.1-2.3; 3.1-3.4
- ref [3] chapter 3

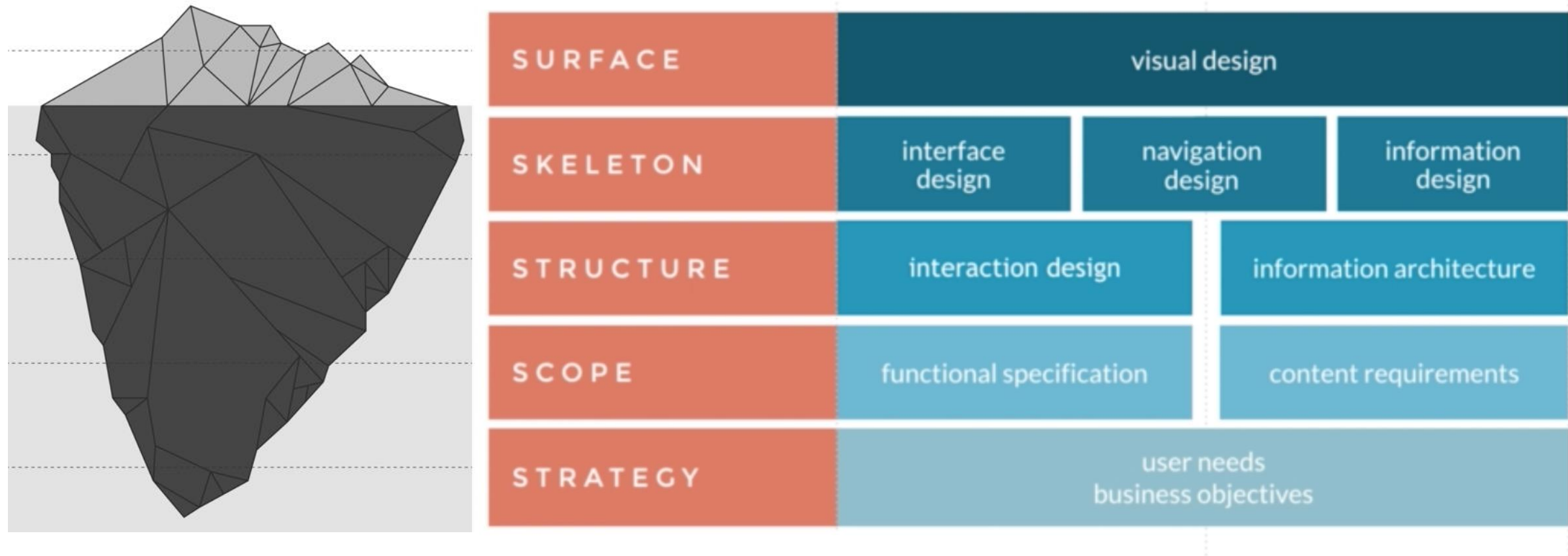
• הגשת אישורים להארכת זמן בתיבת ההגשה עד 24-11 ב
12:00

- **Hackathon** (15-12-22)
- Toward the hackathon–
development environment,
minimum one requirement per
each persona –should be ready

Norman's Doors- its all about design



The 5 layers of Uxd –Jesse James Garrett



User Experience Design UXD – the Essence

- UX design is doing the process (ITERATIVELY), and making the user's experience effective (rather than just good).
- Is similar to 'doing science': **understanding** the user; **developing ideas to solve** the user's needs and addressing also business needs, **building & measure** the solutions in 'real-world' conditions
- UX ingredients
 - **Psychology, usability, design, copywriting and analysis.**

Usability שימושיות

- To put it simply, usability is the Ease of Use. It measures the easiness a user can experience while he tries to complete a desired task with your product.

Usefulness שימושיים

- Usefulness indicates the 'value' of solution ascribed to it by users. How much useful are the features, function and data of your product to a user determines the usefulness of that product.

שימושיות היא מידת הקלות שבה ניתן להשתמש במוצר מסוים. לרוב מדובר במוצרים טכנולוגיים בעלי ממשק משתמש. מידת השימושיות נקבעת על פי הפשטות, היעילות והמהירות שבה מבוצעות מטלות ספציפיות במוצר. המונח נמצא בשימוש בתחום הנדסת אנוש. [\(מתוך ויקיפדיה\)](#)

USER EXPERIENCE DESIGN IS A PROCESS

- **Psychology** (subconscious)- users' minds are complex, and varied...
 - Motivation (in the beginning)
 - What do they feel after
 - User's effort to achieve the goal
 - What habits may be
 - created by using this
 - What does the user expect once he clicks the button?
 - Will use again
 - Previous knowledge
 - How to reward the user

USER EXPERIENCE DESIGN IS A PROCESS

- **Usability** (conscious)-
 - Can we make it simpler
 - Can we prevent user's mistakes
 - Is it clear, direct, or simple?
 - Intuitive
- **Design** (less artistic..)
 - Does the user think it looks good, and trustable?
 - Communicate the target and function without the words.
 - Clickable look different than non-clickable?

USER EXPERIENCE DESIGN IS A PROCESS

- **Copywriting**

- Does it tell the user what to do, confident?
- Motivate to complete the goal
- The biggest the most important
- Inform or assume the user is understanding
- Simple, direct, reduces anxiety

- **Analysis** (weakest..)

- Differentiate UX for just design
- Checks the values
- Using the data to learn
- Interpret users behavior



כיל עוצרת את פרויקט ה-ERP הגלובלי, שהושקעו בו מאות מיליוני דולרים

לדברי הנהלת החברה, "זיהינו סיכונים מהותיים הקשורים עם מידת התאמתה של המערכת, מורכבותה ומידת מוכנותה"



יהודה קונפורטס | 09:57 05/10/2016

תגיות קשורות לכתבה

- עובדי הטאבו
- בוררות
- עובדים

הגדירו נושאים למעקב

ניחולטר חדשות

חדשות מדי
יום ישירות למייל שלך

הכנס אימייל

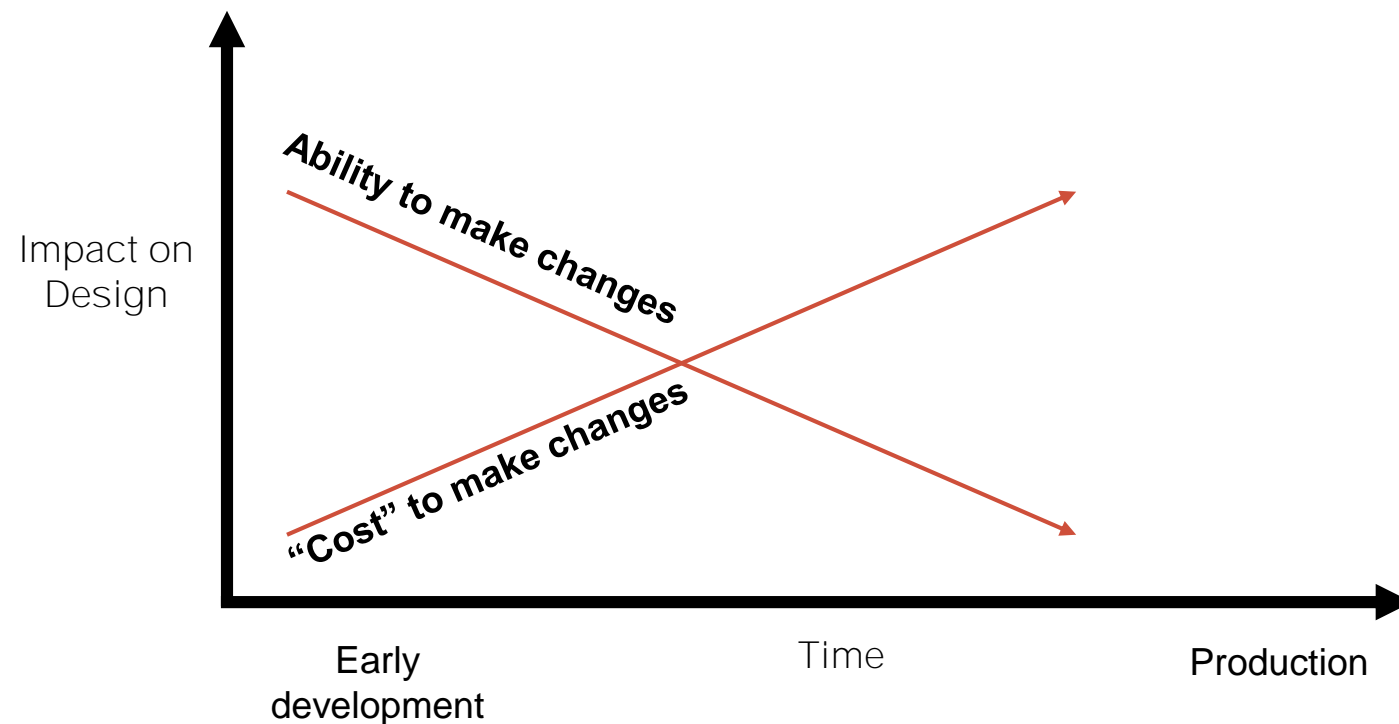
קראו עוד בכלכליסט:

- [המדינה כופה בוררות על עובדי הטאבו](#)
- [עובדי הטאבו יחזרו מחר בבוקר לעבודה מלאה](#)
- [שביתת עובדי הטאבו: המדינה פנתה לבוררות כדי להכריע הסכסוך](#)

240 עובדי הטאבו טענו כי המערכת החדשה עשויה להביא לצמצום בכוח האדם. זאת משום שחלק גדול מהעבודה שמבוצעת כיום על ידיהם תבוצע על ידי מערכת המחשוב החדשה, שזוכה לכינוי "רימון" ופילוט שלה אמור להתחיל בלשכת רישום המקרקעין בתל אביב ביולי. בפסק הבוררות נכתב כי המעבר למערכת החדשה נעשה כדי "למנוע קריסת מערכת חשובה".

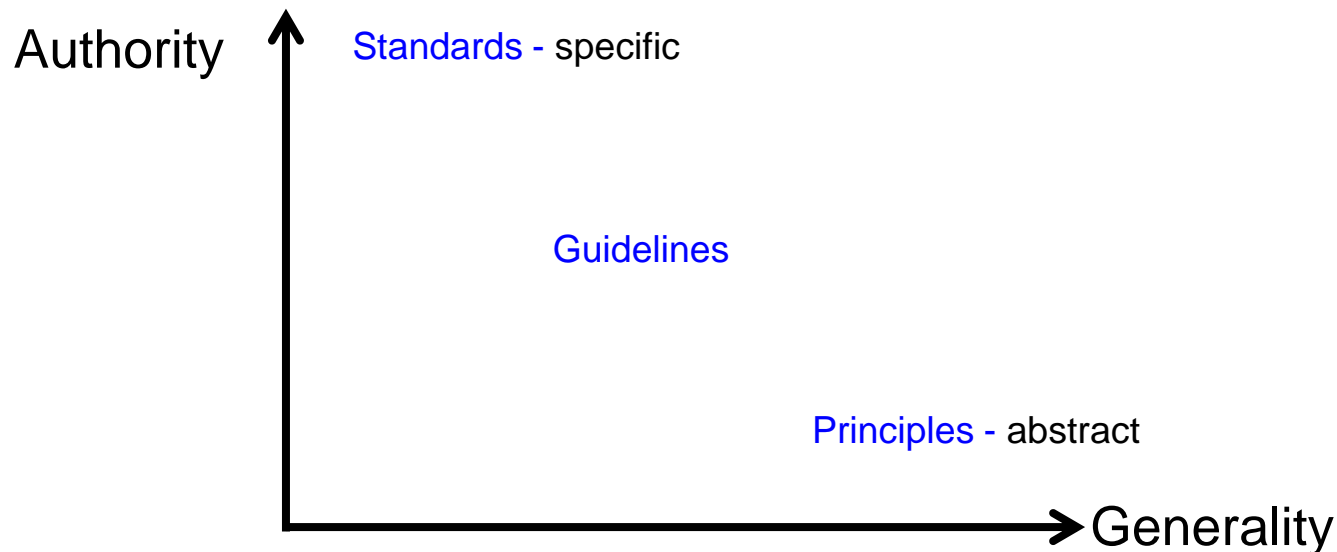
USABILITY

User centered design approach



DESIGN RULES

- Rules that the designer can use to improve the usability of the final software product
- Authority - how binding the rule is
- Generalization - does the rule apply to many design situations or to a specific situation
- Degree of abstraction - laws can be very abstract or very specific



DESIGN RULES

- Principles - derived from information on psychological, computational, and sociological aspects of the problem areas. Are not as effective as specific design advice.
- Instructions/guidelines - less abstract and mostly technologically oriented. The designer needs to know the theoretical findings that support them.
- Standards - since standards require much more than guidelines and principles, it is important that the theory behind them be correct. Also, in order to apply a certain standard the designer has less need to understand the theory behind it.

USABILITY –Dimension for evaluation

1. Learnability
2. Efficiency
3. Memorability
4. Errors
5. Satisfaction

USABILITY –learnability and use



- Learnability – יכולת של מערכת אינטראקטיבית לאפשר למשתמשים חדשים ללמוד אותה ולהתמקצע בה עד לביצועים מקסימאליים.
- גמישות (Flexibility) – מתייחס לריבוי האפשרויות דרכן המשתמש והמערכת יכולים לתקשר.
- חוסן ועקביות (Robustness) – מתייחס לתכונות המערכת האינטראקטיבית המאפשרות למשתמש להשיג ולהעריך את מטרותיו.



Principles Affecting Learnability

Principle	Definition	Related principles
Predictability	Support for the user to determine the effect of future action based on past interaction history	Operation visibility
Synthesizability	Support for the user to assess the effect of past operations on the current state	Immediate/eventual honesty
Familiarity	The extent to which a user's knowledge and experience in other real-world or computer-based domains can be applied when interacting with a new system	Guessability, affordance
Generalizability	Support for the user to extend knowledge of specific interaction within and across applications to other similar situations	–
Consistency	Likeness in input–output behavior arising from similar situations or similar task objectives	–

Learnability Predictability

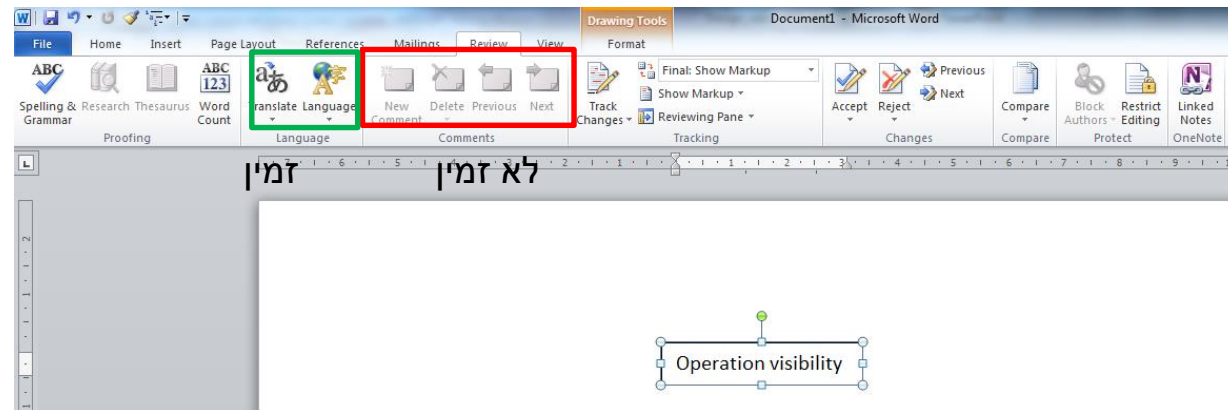
- There is a unique function or algorithm that produces the entire sequence of numbers for example

2 4 8 ?

- The user need not remember anything other than what is currently observable

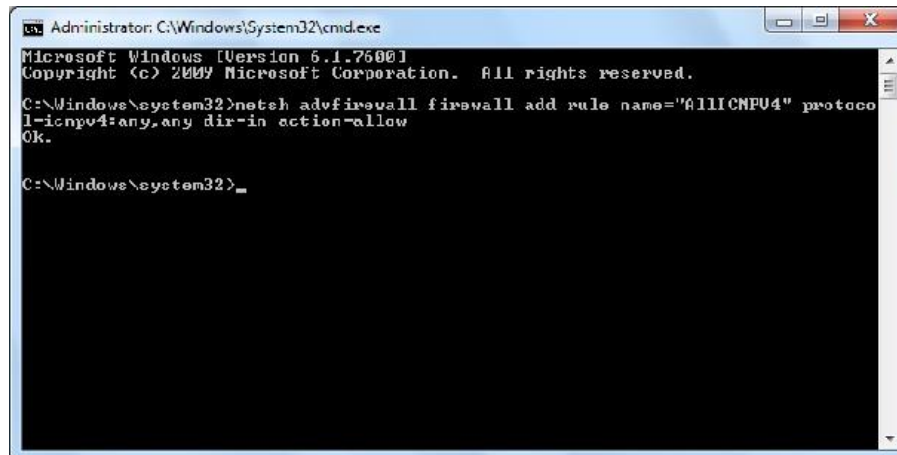
Learnability Predictability

- Prediction of a choice –how the action will affect the system
- Operation visibility prediction of operation availability

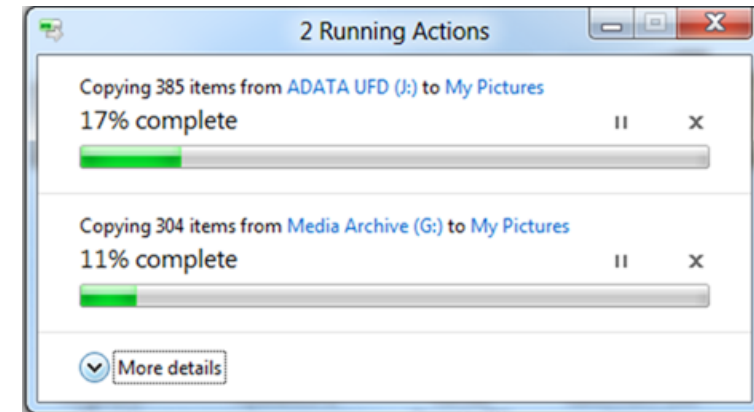


Learnability Synthesizability (honesty)

- Copy&paste (on the right)
- Command language (on the left)



ממשק פקודות – פידבק בסיום התהליך; המשתמש דורש לראות את השינוי (מחייב מהמשתמש לדעת לחפש את השינוי)



ממשק חלונאי פידבק מיידי (immediate)

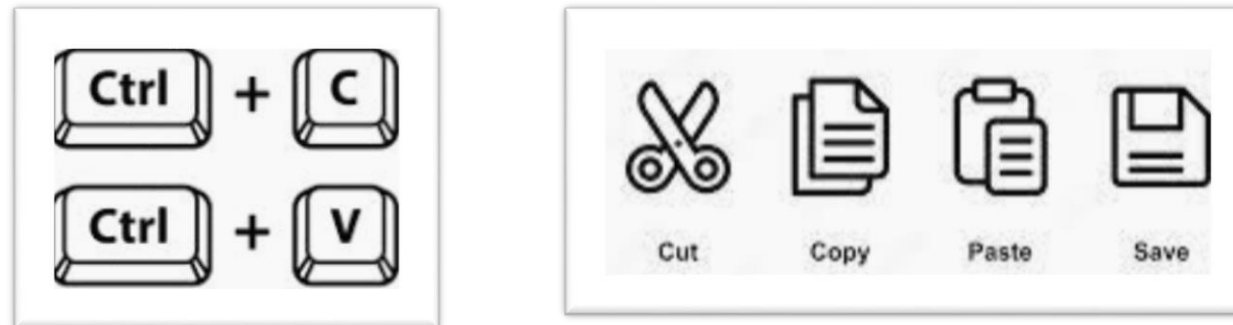
Learnability Familiarity

- Familiarity of an interactive system measures how compatible there is between the knowledge the user has and the knowledge needed to operate the system (how to hold a cup)
- Familiarity is actually the first impression a user has of the system; How the system is perceived and whether the user knows how to initiate an interaction



Learnability Generalization

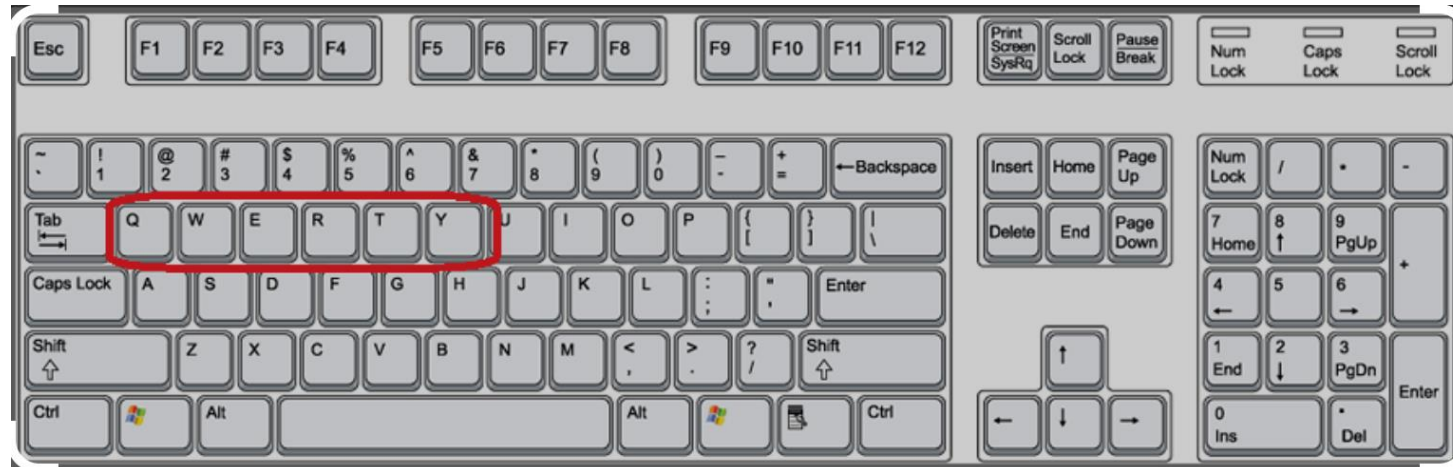
- Users try to extend their knowledge from a particular interactive behavior in the past to similar (but not identical) situations in the present
- Interactive system supports this and helps the user build a more developed and complete mental prediction model
- This feature is a type of system consistency
- For example copy& paste , right key



Learnability Consistency



- Similarity of the form of input or output with respect to the conceptual model
- Could be relative or under particular context

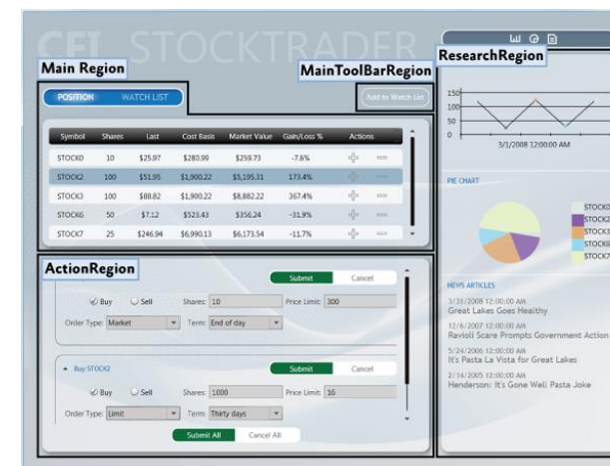
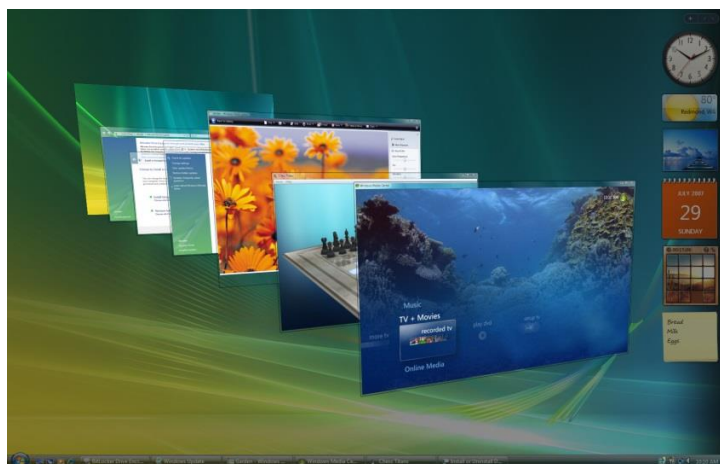


Flexibility

Principle	Definition	Related principles
Dialog initiative	Allowing the user freedom from artificial constraints on the input dialog imposed by the system	System/user pre-emptiveness
Multi-threading	Ability of the system to support user interaction pertaining to more than one task at a time	Concurrent vs. interleaving, multi-modality
Task migratability	The ability to pass control for the execution of a given task so that it becomes either internalized by the user or the system or shared between them	–
Substitutivity	Allowing equivalent values of input and output to be arbitrarily substituted for each other	Representation multiplicity, equal opportunity
Customizability	Modifiability of the user interface by the user or the system	Adaptivity, adaptability

Flexibility

- Multi-threading for input and output
 - Multimodal communication
 - Multi tasks concurrently
- Task migratability between user and system
- Substitutivity –to choose which form is the most appropriate for the user (e.g., inch or cm)



Customizability

- Adaptability of the interface according to the user preferences
- Adaptive- system adapts behavior and interface automatically

Robustness

Principle	Definition	Related principles
Observability	Ability of the user to evaluate the internal state of the system from its perceivable representation	Browsability, static/dynamic defaults, reachability, persistence, operation visibility
Recoverability	Ability of the user to take corrective action once an error has been recognized	Reachability, forward/backward recovery, commensurate effort
Responsiveness	How the user perceives the rate of communication with the system	Stability
Task conformance	The degree to which the system services support all of the tasks the user wishes to perform and in the way that the user understands them	Task completeness, task adequacy

Robustness Observability

- היכולת של המשתמש להעריך את המצב הפנימי של המערכת (מודל מנטאלי) באמצעות ייצוג המערכת דרך הממשק.

– הערכה זו מאפשרת למשתמש להשוות בין המצב הנוכחי הנתפס לבין כוונותיו בתוך תוכנית המטלה-פעולה ואף לשנות את התוכנית במידת הצורך

- ניתן לדון בתכונת הנראות באמצעות חמישה עקרונות:

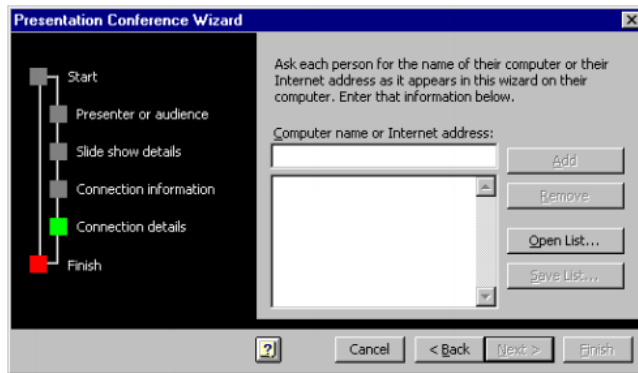
– יכולת דפדוף (browsability)

– ברירות מחדל (defaults)

– יכולת השגה (reachability)

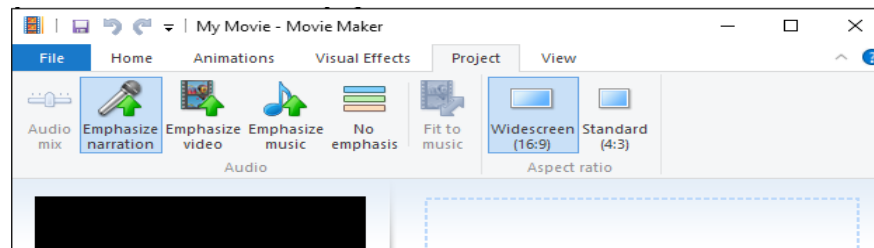
– התמדה (persistence)

– נראות הפעולה (operation visibility) – דיברנו בשקפים על חיזוי



Robustness Observability

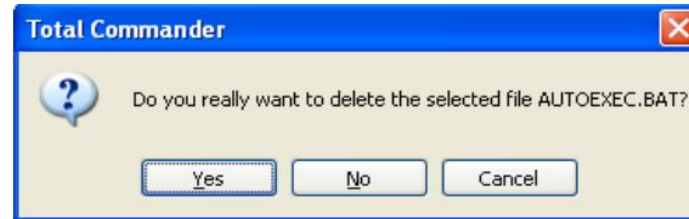
- **יכולת השגה (reachability)** – יכולת לעבור בין מצבי המערכת הנראים, יכולת זו משפיעה על תכונת ההתאוששות של המערכת – לדוגמא, עורך ווידאו לעבור ממצב של עריכה למצב של הצגת הסרט



- **התמדה (persistence)** – תכונה העוסקת במשך ההשפעה שיש לפעולת תקשורת וביכולת של המשתמש לעשות שימוש בהשפעה זו – למשל, הבדל בין תקשורת קולית (צליל כשנכנס אימייל) לתקשורת ויזואלית (דואר שלא נקרא מודגש בשחור)

Robustness - Recoverability

- התאוששות מוגדרת כיכולת של המשתמש להגיע למטרה הרצויה לאחר שזיהה איזושהי טעות באינטראקציה קודמת
- התאוששות יכולה לקרות בשתי צורות:
 - קדימה (forward error recovery) – קבלה של המצב הנוכחי והמשך ממצב זה עד למטרה הרצויה (ctrl Z/ctrl y)



- אחורה (backwards error recovery) – ביטול ההשפעה של אינטראקציה קודמת על מנת לחזור למצב קודם (למשל, ביטול מחיקת פסקה בוורד)

Robustness - Responsiveness

תקשורת בין המערכת למשתמש

- **זמן תגובה** – המשתמש מצפה לקבל משוב מידי על הפעולות שביצע. זמן המשוב ייתפס כמידי על ידי המשתמש. במקרים בהם לא יכולה להתבצע תגובה מיידית המשתמש צריך לקבל משוב שהפעולה שביצע נקלטה והמערכת עובדת על תגובה.
- **שונות בזמן התגובה** – המשתמש מצפה לזמני תגובה זהים עבור פעולות הדורשות משאבים חישוביים דומים (למשל מהירות פתיחת תפריט)

Robustness – Task conformance

- תכונה זו מתייחסת לשאלה האם המערכת האינטראקטיבית תומכת בכל המשימות שלמשתמש יש ענין לבצע (task completeness) והאם היא תומכת במטלות אלו כפי שהמשתמש רוצה (task adequacy)
 - זה חשוב וחיוני שהמערכת תאפשר למשתמש להשיג את כל אחת מהמטלות הרצויות בתחום עבודה מסוים כפי שזוהו בשלב ניתוח המטלות
 - שלמות המטלה (task completeness) מתייחס גם למטלות שיתכן והמשתמש ירצה לבצע אך לא ידע כי הן קיימות לפני שהכלי הופיע. לכן, רצוי ששירותי המערכת יהיו כלליים כך שהמשתמש יוכל להגדיר משימות חדשות.
- למשל, מיון טבלאות בתוכנות אופיס

Standards for Interactive System Design

- סטנדרטים למערכת אינטראקטיבית נקבעים בד"כ על ידי גופים לאומיים או בינלאומיים על מנת להבטיח היענות לסט של חוקי עיצוב עבור קהילה גדולה
 - סטנדרטים יכולים להתייחס לחומרה או לתוכנה המשתמשות לבניית המערכת האינטראקטיבית
 - חומרה שינויים יקרים יותר לא בתדירות בתדירות גבוהה כמו לתוכנה.
 - כיוון שסטנדרטים הם יציבים באופן יחסי הם יותר מתאימים לחומרה מאשר



Standards

11.3 Arrangement of displays

11.3.1 Vertical Grouping. The engine display parameters shall be arranged so that the primary or most important display for a particular engine and airplane (thrust, torque, RPM, etc.) be located at the top of the display group if a vertical grouping is provided. The next most important display parameter shall be positioned under the primary display progressing down the panel with the least important at the bottom.

(a) A typical example of a military standard

5.1 Subdivision of the display area

In consideration of a simple, fast and accurate visual acquisition, the display area shall be divided into different sub-areas.

Such a division should be:

- Input area
- Output area
- Area for operational indications (such as status and alarms)

(b) From German standard DIN 66 234 Part 3 (1984), adapted from Smith [324]

5.15.3.2.1 Standardization

The content of displays within a system shall be presented in a consistent manner.

(c) From US military standard MIL-STD-1472C, revised (1983), adapted from Smith [324]

Figure 7.1 Sample design standards for displays. Adapted from Smith [324].
Copyright © 1986 IEEE

pilot cockpit controls
and instrumentation

standard for user
interface design of
display workstations

US military standard
for display contents



• השפה נהיית יותר
כללית ומעורפלת

Standards

- אחד המרכיבים של ISO סטנדרט מספר 9241, אשר מתייחס למפרט שמישות, מיושם במידה שווה עבור חומרה ותוכנה

Usability. The effectiveness, efficiency and satisfaction with which specified users achieve specified goals in particular environments.

Effectiveness. The accuracy and completeness with which specified users can achieve specified goals in particular environments.

Efficiency. The resources expended in relation to the accuracy and completeness of goals achieved.

Satisfaction. The comfort and acceptability of the work system to its users and other people affected by its use.

Standards- Summary

- העוצמה של השימוש בסטנדרטים מונחת ביכולת שלו לאלץ קהילות גדולות לציית לו. רוב הסטנדרטים המתייחסים לעיצוב תוכנה הינם בגדר הצעה ולא בגדר חובה.
- הסמכות שיש לסטנדרט מסוים (או הנחיה) נקבעת רק על פי השימוש שלו בפועל. חלק ממוצרי התוכנה הופכים להיות סטנדרטים בפועל הרבה לפני שהוגדרו סטנדרטים פורמליים (למשל, המערכת החלונאית, מסך מגע בטלפונים חכמים)
- סטנדרטים העוסקים בשמישות קודמו רק בשנים האחרונות כאשר העלויות הכרוכות בממשקים לא שימושיים הפכו ללא מקובלות.

Design Guidelines

- כיוון שהתיאוריות העוסקות בעיצוב של תוכנות אינטראקטיביות אינן שלמות דיין קשה ליצור סטנדרטים ספציפיים ובעלי סמכות.
- לכן רוב כללי העיצוב עבור מערכות אינטראקטיביות הם כלליים ובגדר הצעה.
- קיים מספר עצום של הנחיות בנושא עיצוב מערכות אינטראקטיביות ואנו נסקור מספר דוגמאות להדגים את תוכן.
- סיווג הנחיות לקטגוריות עיקריות של מערכות אינטראקטיביות (Smith and Mosier in 1986)
 - הכנסת נתונים (data entry)
 - הצגת נתונים (data display)
 - בקרת רצף (sequence control)
 - הנחיית משתמש (user guidance)
 - שידור נתונים (data transmission)
 - אבטחת נתונים (data protection)

Design Guidelines

- מעבר מהנחיות כלליות להנחיות ספציפיות יותר
 - בהנחיות ספציפיות יותר יש להתחשב בפלטפורמת המחשב עליה מעוצבת האינטראקציה
- דוגמאות מהנחיות של Apple
 - הנחיה מופשטת: **עקביות** (consistency)
Effective applications are both consistent within themselves and consistent with one another.
 - הנחיה ספציפית: **סידור אובייקט-פעולה** (noun-verb ordering guideline)
the user first selects an object (the noun) from the visible set on the Desktop and then selects an operation (the verb) to be applied to the object.

שמונת כללי הזהב לעיצוב ממשק של שניידרמן (Shneiderman)

– מכוונים לשימוש בזמן העיצוב אך יכולים לשמש גם להערכת ממשק

1. יש **לחתור לעקביות** ברצפי פעולות, פריסה, טרמינולוגיה, שימוש בפקודות וכו'.
2. יש **לאפשר למשתמשים מנוסים** להשתמש בקיצורי דרך, כגון, ראשי תיבות, צירופי מקשים ומאקרו, על מנת לבצע פעולות סטנדרטיות ומוכרות ביתר קלות.
3. יש להציע **משוב אינפורמטיבי** לכל פעולת משתמש, ברמה שתואמת לסדר הגודל של הפעולה.
4. יש לעצב **דיאלוגים** כדי להניב "**סגירות**" כך שהמשתמשים יודעים מתי הם סיימו את המשימה.
5. יש להציע **מניעת שגיאות וטיפול פשוט בשגיאות** כך שמשתמשים ימנעו מביצוע שגיאות. אם הם שוגים להציע הוראות ברורות ואינפורמטיביות שיאפשרו להם להתאושש.
6. יש להתיר **היפוך פשוט של פעולות** על מנת להפחית חרדה ולעודד חקירה, כיוון שהמשתמש יודע שהוא יכול תמיד לחזור למצב הקודם.
7. יש לתמוך **במיקום השליטה הפנימי** כך שהמשתמש שולט במערכת אשר מגיבה לפעולות שלו.
8. יש להפחית **עומס מהזיכרון קצר הטווח** על ידי שמירה על פשטות התצוגות, לאחד תצוגות הכוללות מספר מרובה של דפים ולספק זמן על מנת לאפשר למידת רצפי פעולות.

שבעת העקרונות של נורמן להפיכת מטלות קשות לפשוטות

1. להשתמש בידע הקיים בעולם וגם בידע הקיים אצלך בראש

- אנשים עובדים טוב יותר כאשר הידע לביצוע מטלה לו הם זקוקים זמין חיצונית
- או בצורה מפורשת או דרך אילוצים הנכפים על ידי הסביבה.
- אולם, צריך לאפשר למומחים להפנים פעולות שגרתיות על מנת להגדיל את יעילותם.
- לכן, מערכות צריכות לספק את הידע הנדרש בתוך הסביבה ואופן הפעלתן צריך להיות שקוף כדי לעזור למשתמש לבנות מודל מנטאלי של מה שמתרחש.

שבעת העקרונות של נורמן להפיכת מטלות קשות לפשוטות

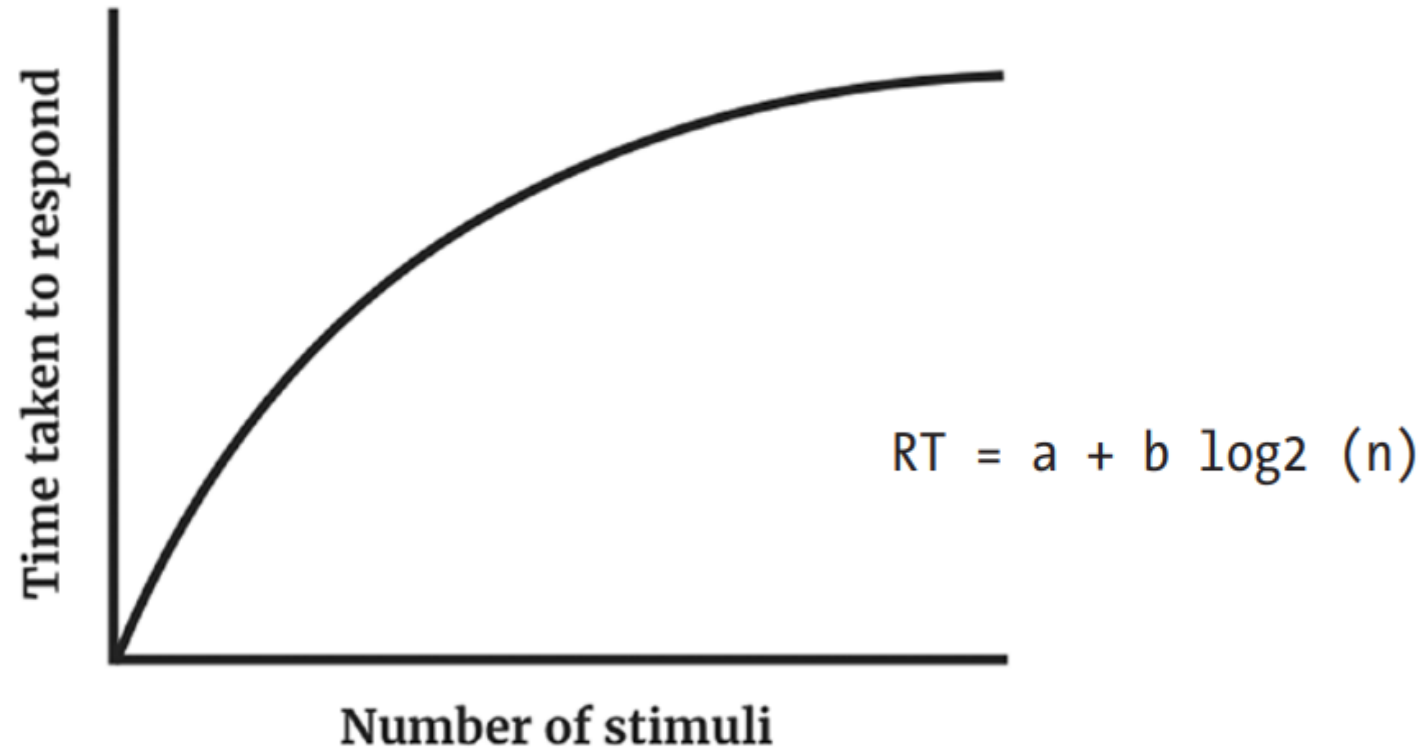
• שבעת העקרונות של נורמן להפיכת מטלות קשות לפשוטות

2. לפשט את מבנה המטלות

- מטלות צריכות להיות פשוטות על מנת להימנע מפתרון בעיות מסובכות ועומס רב על הזיכרון. ישנן מספר דרכים לפשט את מבנה המטלה:
- לספק עזרה שכלית כדי לעזור למשתמש לעקוב אחר השלבים במטלה מורכבת.
- לעשות שימוש בטכנולוגיה כדי לספק למשתמש יותר מידע לגבי המטלה ולשפר את המשוב.
- להפוך חלק מהמטלה לאוטומטית כל עוד זה לא מפריע לחוויית המשתמש
- לשנות את טבע המטלה כך שהיא תהיה משהו פשוט יותר.

בתוך כל זה, חשוב לא לקחת את השליטה מהמשתמש

HICK-HYMAN LAW



RT is the reaction time , a, b are measurable constants that depend on the task and the conditions under which the task will be carried out and n is the number of stimuli.

שבעת העקרונות של נורמן להפיכת מטלות קשות לפשוטות

3. לעשות את הדברים נראים לעין

- יש לגשר על פערי הביצוע ופערי הערכה. הממשק צריך להסביר בבהירות מה המערכת יכולה לעשות וכיצד לעשות זאת. בנוסף המערכת צריכה לאפשר למשתמש לראות בבירור את ההשפעה של הפעולות שלו על המערכת.

4. לעשות את המיפוי נכון

- כוונות המשתמש צריכות להיות ממופות בצורה ברורה לאמצעי הפעלה של המערכת.
- פעולות המשתמש צריכות להיות ממופות בצורה ברורה לאירועי המערכת. לכן, צריך להיות ברור מה עושה מה וכמה.
- אמצעי הפעלה, מחוונים וחוגות צריכים לשקף את המטלה כך שלתנועה קטנה יש השפעה קטנה ולתנועה גדולה יש השפעה גדולה.

שבעת העקרונות של נורמן להפיכת מטלות קשות לפשוטות

5. לנצל את כוח האילוצים (גם טבעיים וגם מלאכותיים)

- אילוצים הם דברים בעולם שלא מאפשרים לעשות הכול אלא רק את הפעולה הנכונה בדרך הנכונה.



דוגמא: כאן, האילוצים הפיסיים של העיצוב מנחים את המשתמש כיצד להשלים את המטלה

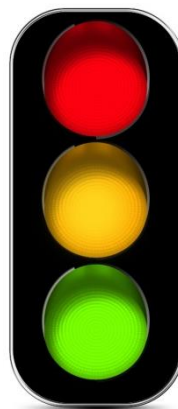
6. לעצב עבור טעויות

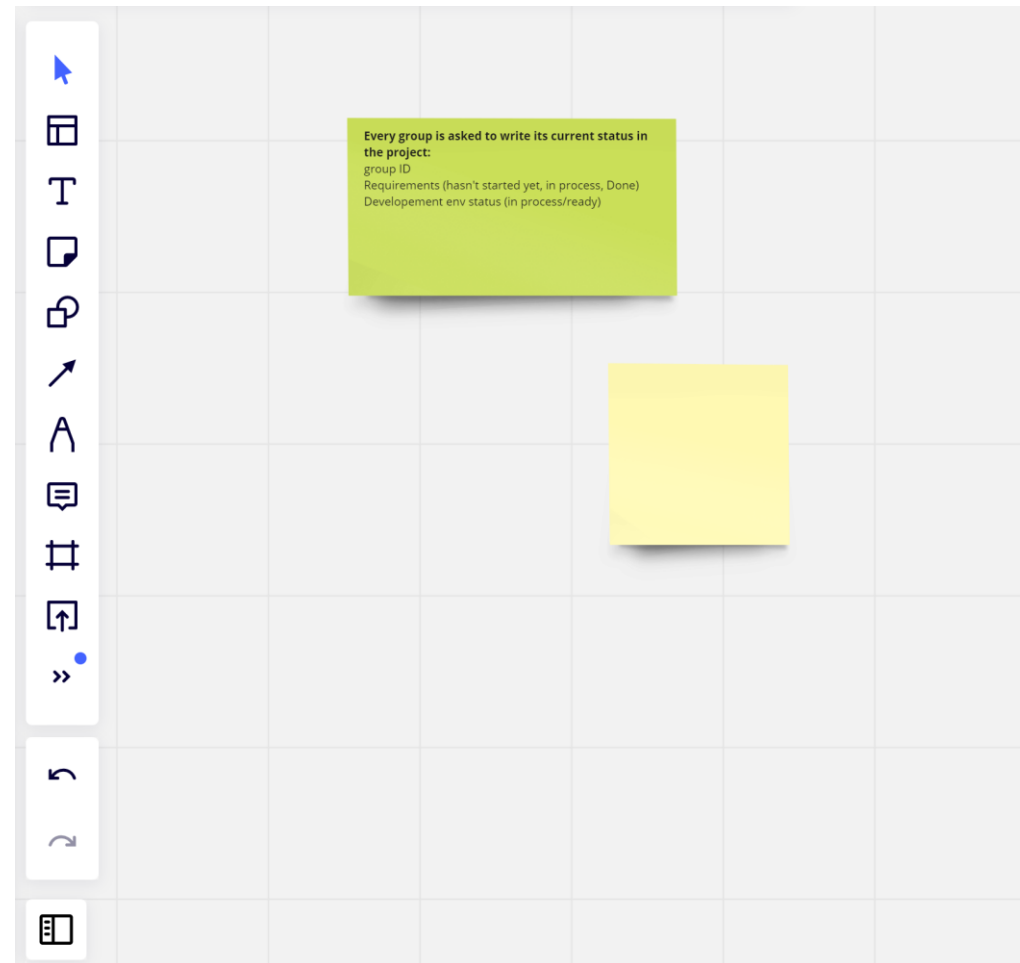
- לטעות זה אנושי. לכן, יש לצפות את הטעויות שהמשתמש יכול לבצע ולעצב תהליכי התאוששות לתוך המערכת בהתאם.

שבעת העקרונות של נורמן להפיכת מטלות קשות לפשוטות

7. כשהכול נכשל צריך לתקן (standardize)

- אם אין דרכים למיפוי בצורה טבעית אז מיפוי שרירותי צריך להיות מתוקן כך שמשתמשים יצטרכו ללמוד אותם רק פעם אחת.
- עיקרון התקנון הוא מה שמאפשר לנהגים להיכנס לרכב חדש ולנהוג כמעט ללא קושי. כל הכפתורים ואמצעי ההפעלה מתוקננים. לעיתים יכול לקרות מצב שנהג יפעיל איתות במקום המגבים אך אמצעי ההפעלה הקריטיים (גז, בלם, קלאץ' והיגוי) הם תמיד זהים.

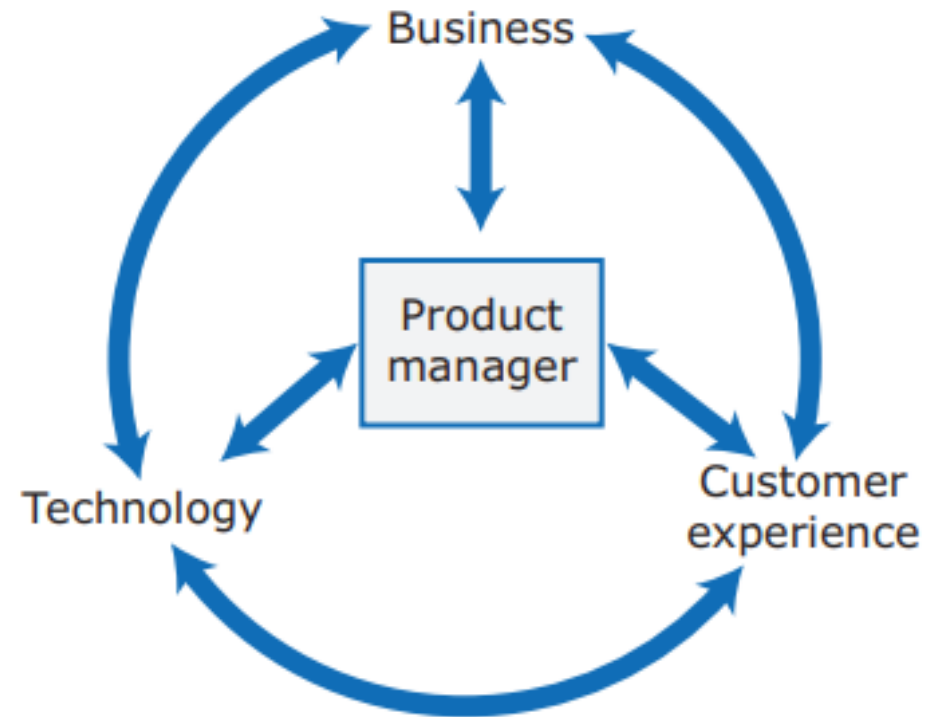




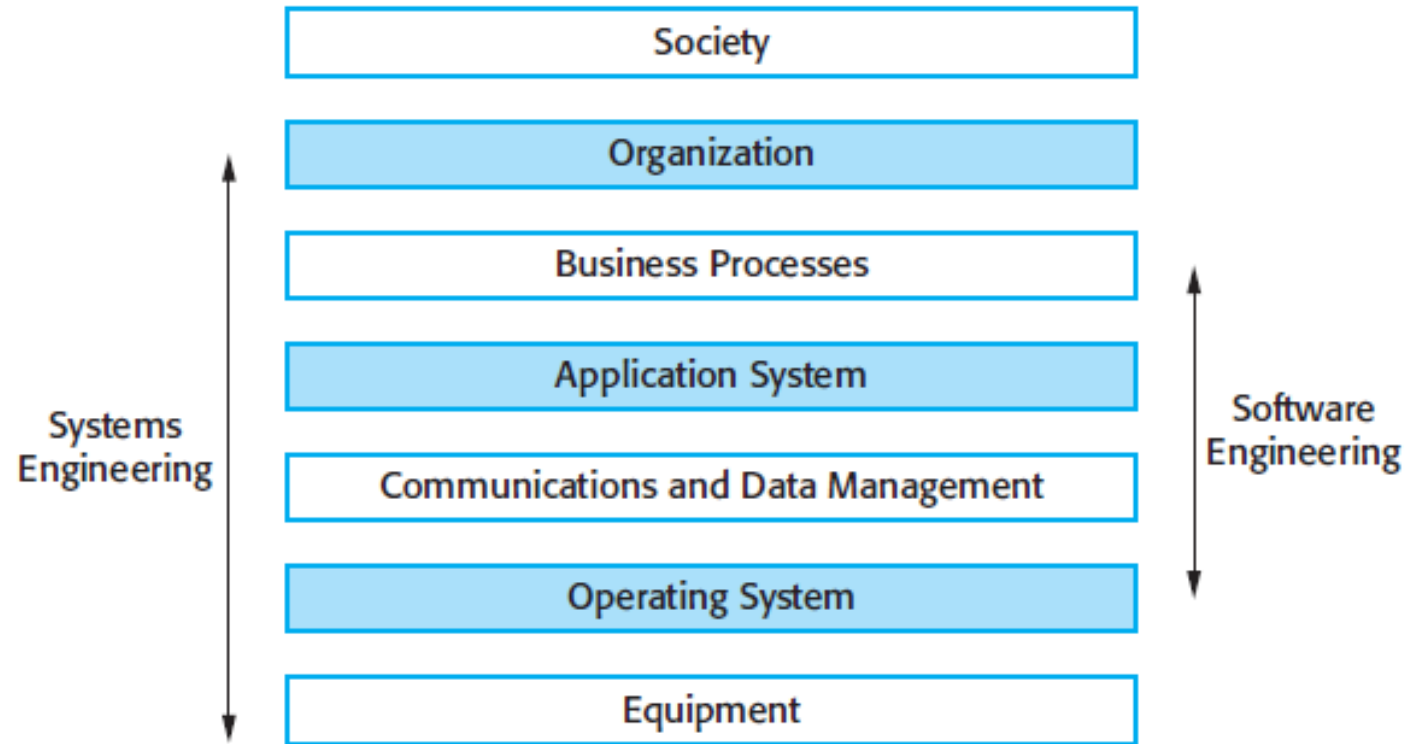
“Perfection is achieved, not when there is nothing more to add, but when there is nothing left to take away.” —

Antoine de Saint-Exupéry, French writer
(1900 – 1944)

Product Management Considerations- holistic approach

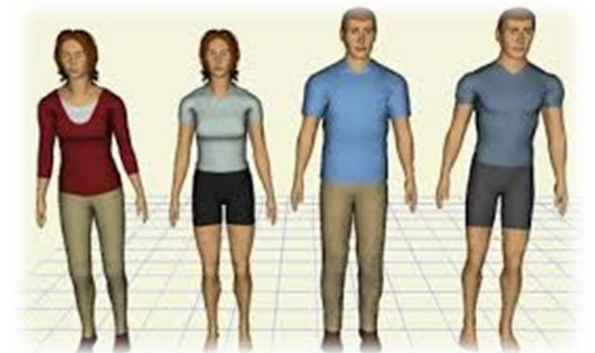


Sociotechnical systems

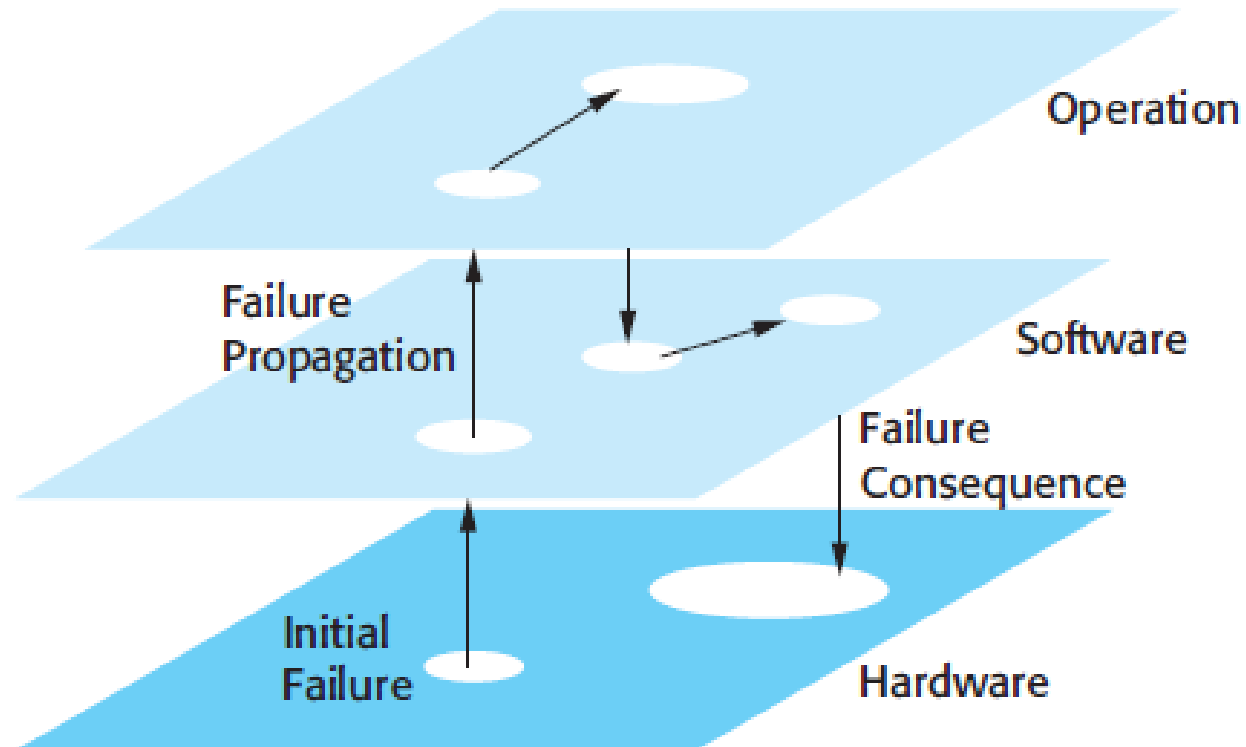


Complex system

1. **Technical computer-based** systems (mobile OS, games, embedded)
2. **Sociotechnical systems** include technical systems and human (operators)
 - Affected by process/job/organizational change
 - Emergent properties: Volume, reparability, reliability, security, usability
 - Often nondeterministic
 - Supports organizational objectives- can be changed
3. The complex relationships between the components
Means: a system **is more than simply the sum of its parts**
4. **Functional and nonfunctional** emergent properties



Failure propagation



Hard to define success criteria- A wicked problem is a problem that is so complex and which involves so many related entities that there is no definitive problem specification.

Sociotechnical Sys reliability

- Hardware reliability
- Software reliability
- Operator reliability

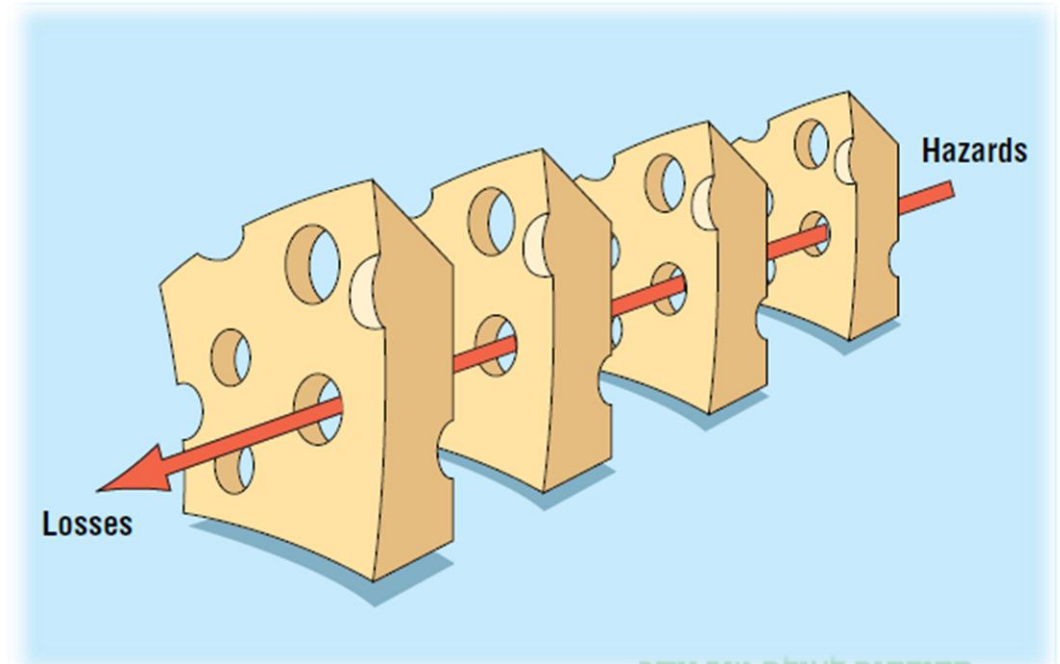
Give two examples of government functions and explain why, in the foreseeable future, these functions cannot be completely automated

בתי המשפט בישראל

ביטוח לאומי

human error (Reason, 2000)

- Human approach-the error is the fault of the individual responsible for making the mistake
- System approach-people are fallible and will make mistakes
- What kind of defense can be made for each approach?
- Error
- management approach
 - limiting the incidence of dangerous
 - Creating more tolerate systems



“If you think good design is expensive, you should look at the cost of bad design.” –

Ralf Speth