



From Oculomotor Control to Comprehension, Learning and Emotional Context

Cengiz Acarturk, PhD

Cognitive Science Program
Informatics Institute

Middle East Technical University (METU) Ankara, Turkey

FFHS Brig
January 28, 2020

What is oculomotor control?

Eye movements

Eye movements of
a single participant
Fixation-saccade
sequences



What is eye tracking

Eye tracking is the process of determining **where and how long someone is looking**

This definition is bound to what eye trackers can record

A sample protocol for visual scene viewing



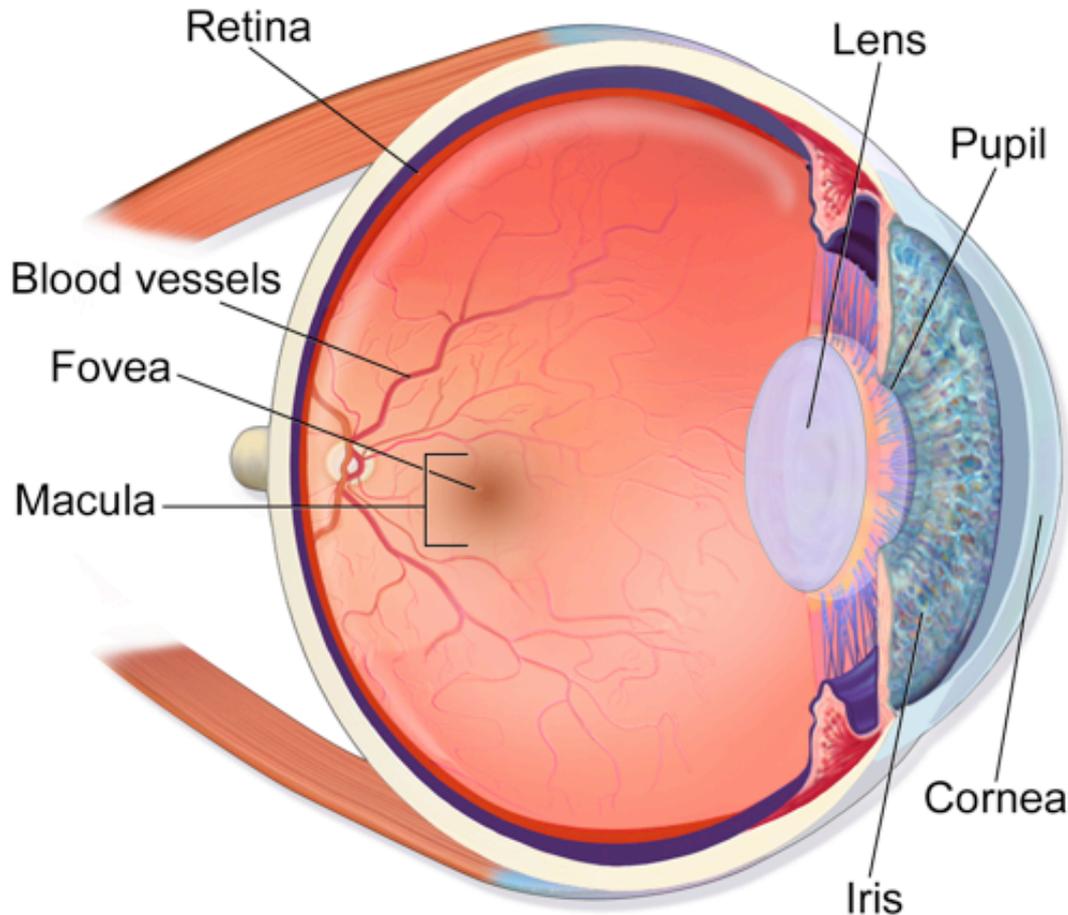
What is eye tracking

Fixation-saccade sequence is the most frequent eye movement in daily life

The goal is to bring the visual stimuli into the fovea (for acute vision)

The fovea

The light passes through iris and lens, then it arrives at the fovea



Fovea is the region where the image is the most acute (2° of visual angle)

Visual angle



The fovea

- Below is what is meant by 2° of acute vision by fovea



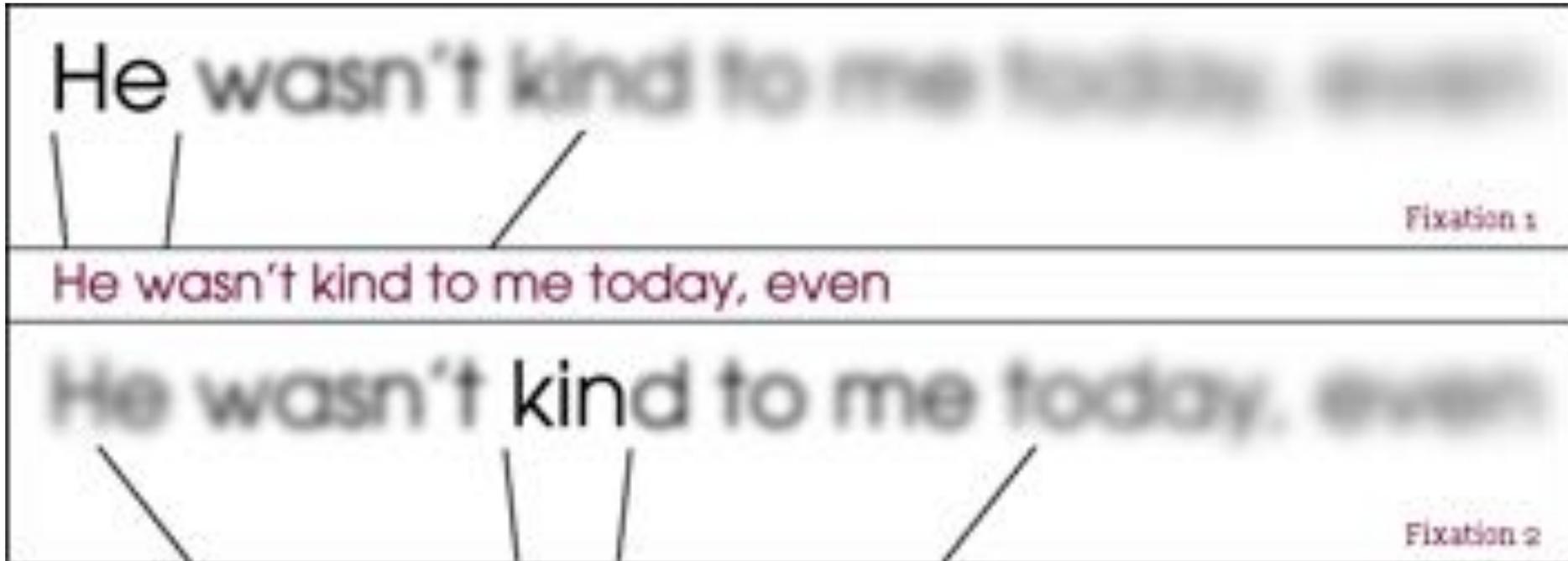


foveal vision



The fovea

- Fovea is crucial in reading



We need an eye tracker to record eye movements

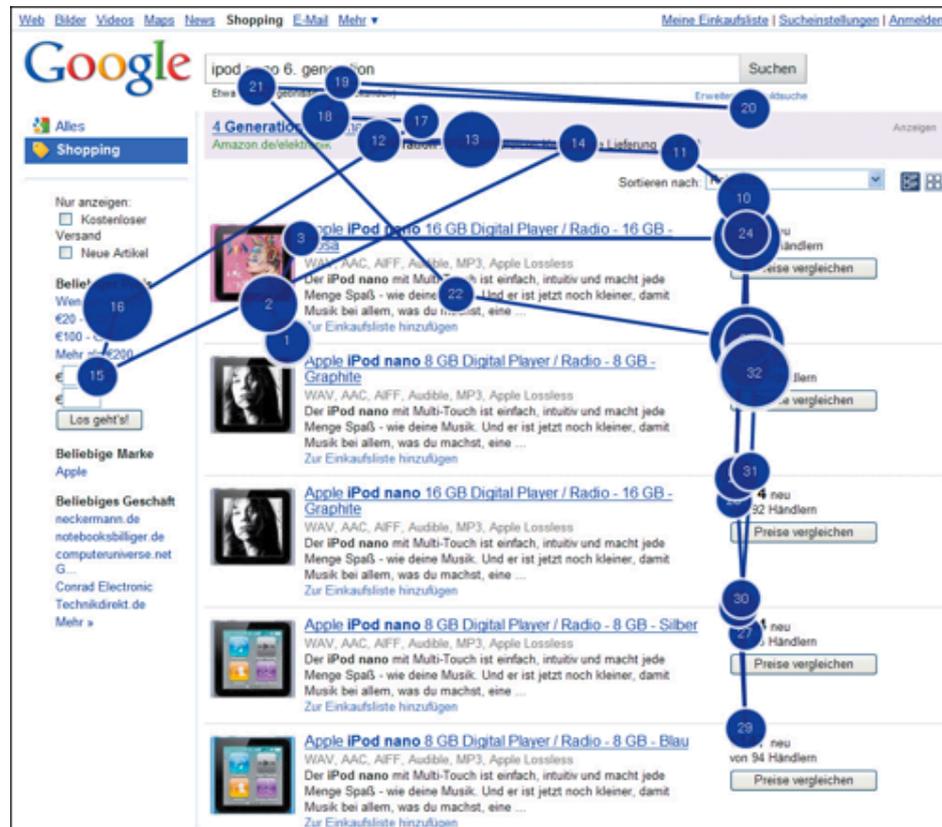
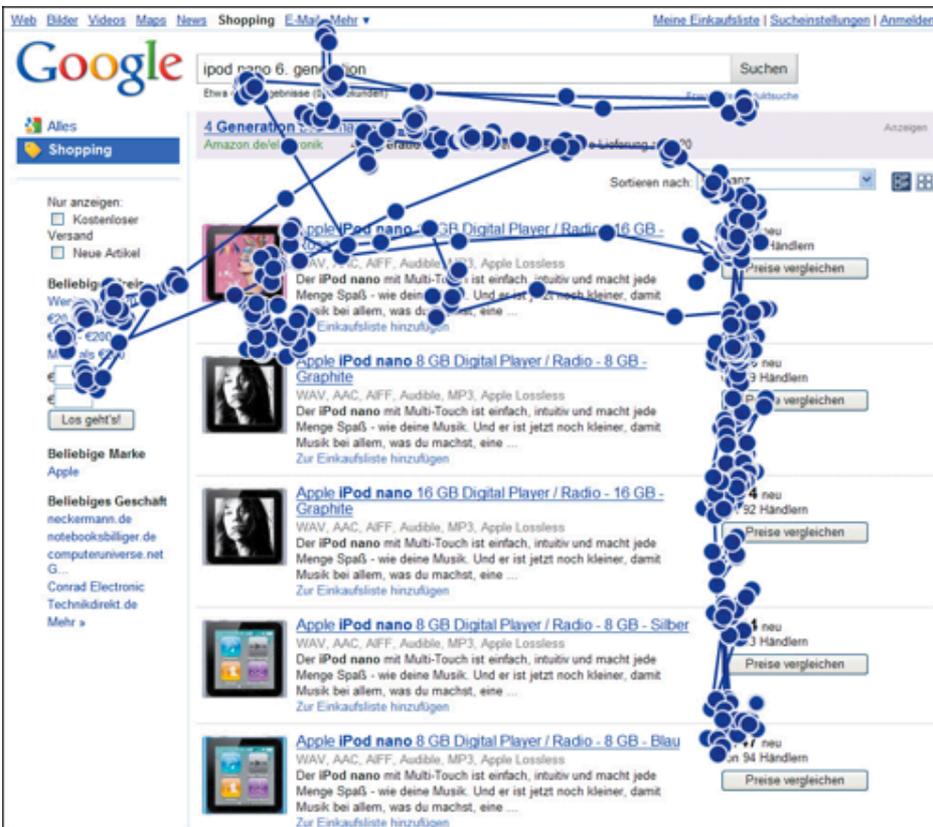


Data analysis: Major steps

- Recorded: Raw data
- The first step: Identification of eye movement events
 - Example. Fixations and saccades
- Next steps may cover (depending on the context of research)
 - Specification of the Regions of Interest (ROIs, aka Areas of Interest, AOIs)
 - Specification of the metrics
 - Data export and cleansing
 - Statistics and/or visualizations

Data analysis: Identifying the events

Raw data from a 60 Hz eye tracker (left) vs. fixation-saccade sequences extracted from raw data (right)



A taxonomy of eye movement measures

- Eye movement measures are the dependent variables of an eye tracking experiment
- Below is a basic classification of eye movement measures

Movement	Position	Numerosity	Latency/Distance
<input type="checkbox"/> Direction	<input type="checkbox"/> Basic position	<input type="checkbox"/> Saccadic measures	<input type="checkbox"/> Latency measures
<input type="checkbox"/> Amplitude	<input type="checkbox"/> Dispersion	<input type="checkbox"/> Fixation measures	<input type="checkbox"/> Distance measures
<input type="checkbox"/> Duration	<input type="checkbox"/> Similarity	<input type="checkbox"/> Microsaccades	
<input type="checkbox"/> Velocity	<input type="checkbox"/> Duration	<input type="checkbox"/> Smooth pursuit rate	
<input type="checkbox"/> Acceleration	<input type="checkbox"/> Pupil measures	<input type="checkbox"/> Dwells	
<input type="checkbox"/> Shape		<input type="checkbox"/> Transitions	
<input type="checkbox"/> AOI order/transition		<input type="checkbox"/> Regressions	
<input type="checkbox"/> Scanpath comparison		<input type="checkbox"/> Blink rate	

The concept of functional visual field

- **Definition.** The area that the participants can take in meaningful information in a single fixation
- Larger than the foveal region
- Also known as *functional field of view*, *useful field of view*, *visual span*, *perceptual span* (in reading research)
- Its size and shape are task-dependent
 - In reading, it stretches to 3° in horizontal reading direction and 1° backwards
 - Experts' visual field stretches to 5° in visual search (e.g., radiologists searching for lung nodules)
 - The functional visual field may stretch to 10° in visual scene viewing

The concept of functional visual field

- General findings about functional visual field
 - Usually, **expertise** leads to a **larger functional visual field**
 - The functional visual field is usually **larger in horizontal than vertical**
 - Human contrast sensitivity is better in horizontal periphery than in the vertical
 - Detection also exhibits a similar pattern
 - Mental workload reduces the size of the functional visual field (viz. visual tunneling effect)

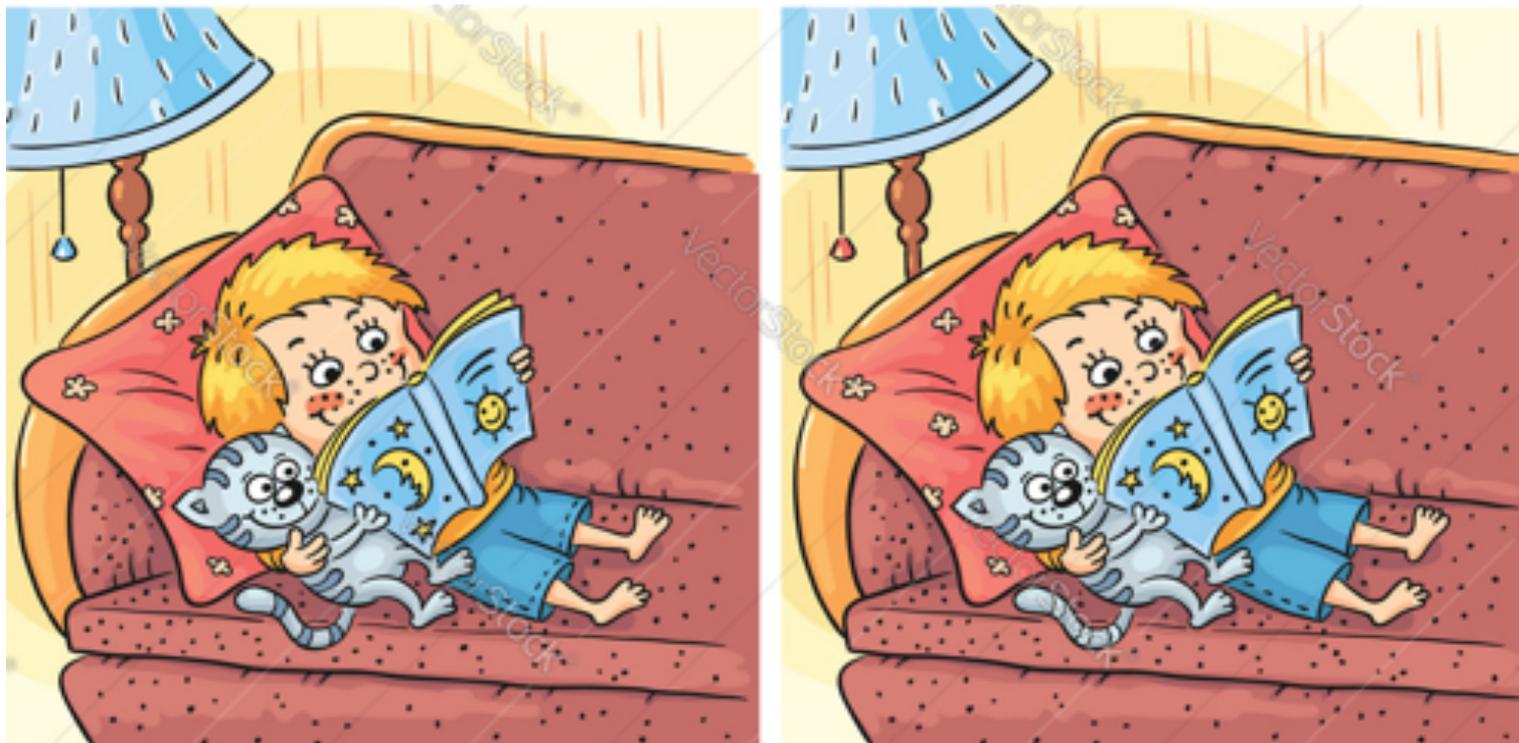
Eye movements and visual attention

We perceive a very small acute visual field in each fixation (however, we feel as if we perceive a large visual field, cf. peripheral vision)

Information extraction requires attention

Eye movements and visual attention

Find the differences between the two images



Notice the number of back and forth movements when finding the difference between the two images

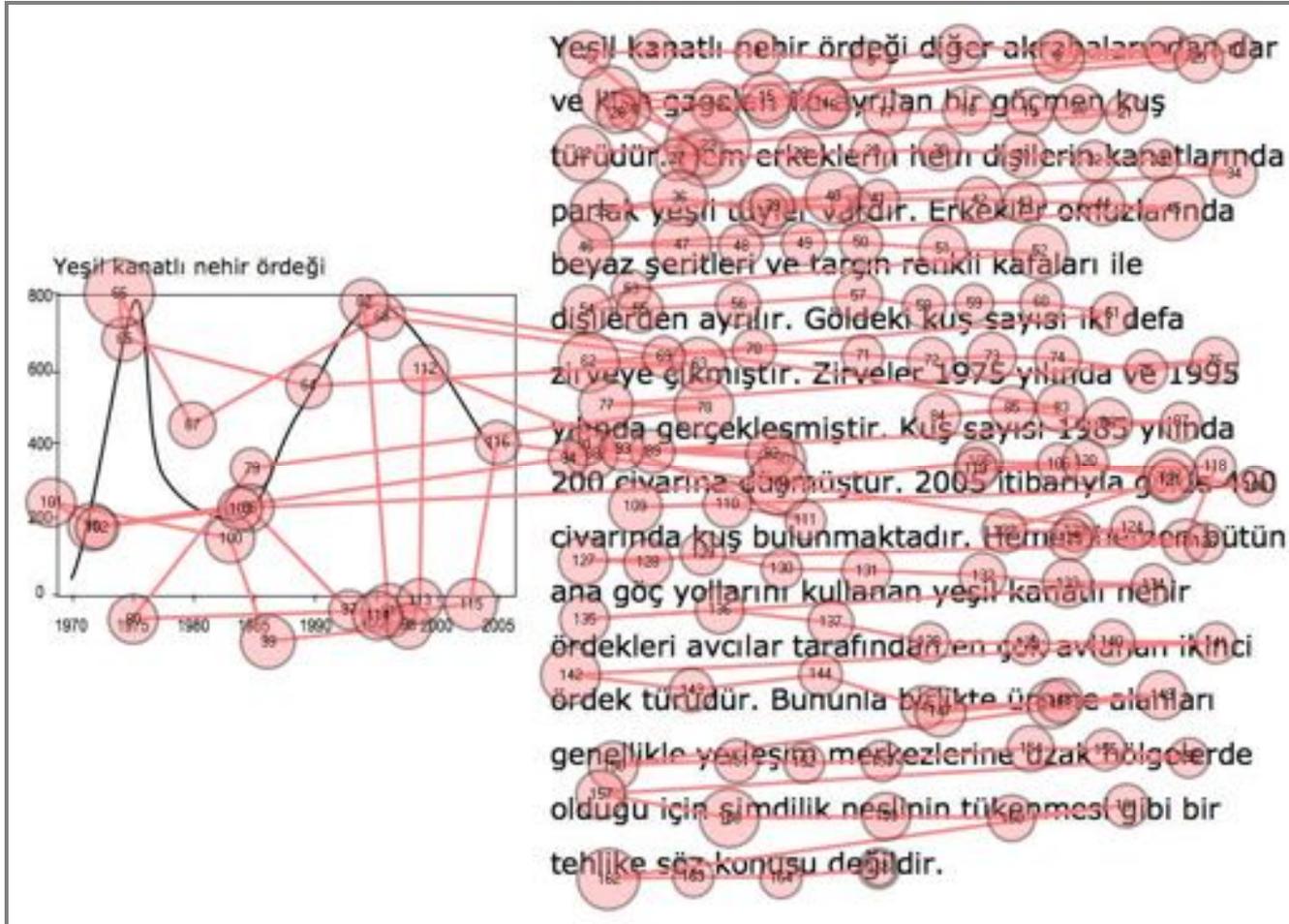
Notice how small this region is

The concept of visual selection



Empirical investigations

Eye tracking to measure cognitive effort
(fixation durations, gaze time, fixation maps)



Bridging role of annotations in multimodal documents

Annotated Graph



Non-annotated Graph

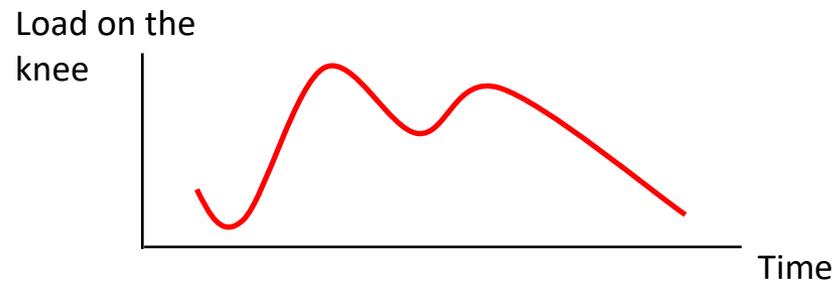
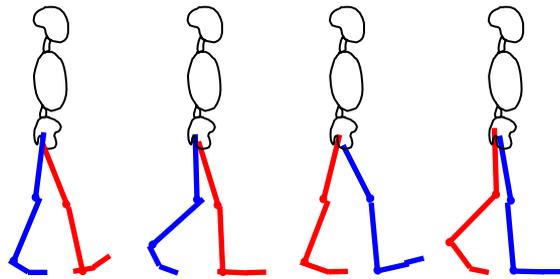


Results

- Higher fixation counts on graphical elements in the non-annotated graphs
- Lower post-test scores in annotated graphs

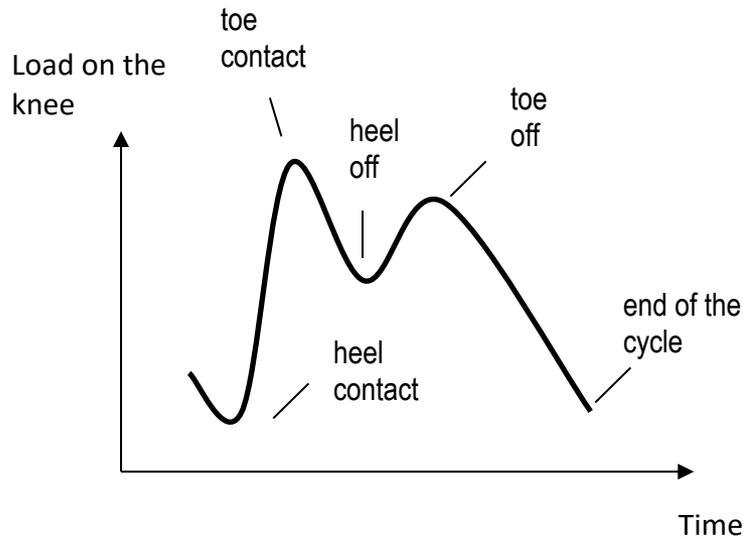
The role of annotations and sensory modalities

Humans generally learn better with multiple representations and multiple modalities than with single representation and single modality



CONDITION	MODALITY	ANNOTATION
Group 1	Text	Present
Group 2	Narration	Present
Group 3	Text	Absent
Group 4	Narration	Absent

The role of annotations and sensory modalities

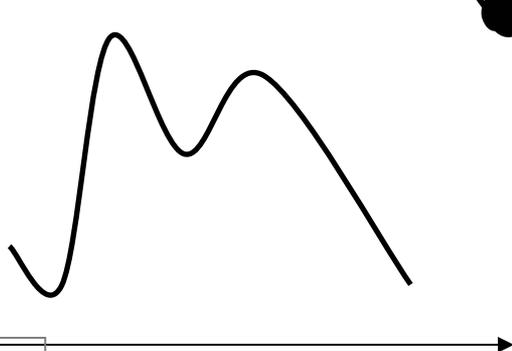


How does the load on the knee change during gait?

The single step of human leg, especially during lateral walking is a periodically repeated motion. For this purpose we can consider the steps as a cycle which is repeated continuously. The human gait is specified in terms of the load on a single knee in Kinematics and shown by the gait cycle graph. At the beginning of the gait cycle, together with the contact of the heel to the ground, the load starts to increase. The load decreases slightly with the toe contacting the ground. The load which increases again with the release of the heel from the ground, decreases with the release of the toe from the ground and the cycle is completed.

Group 1

Load on the knee

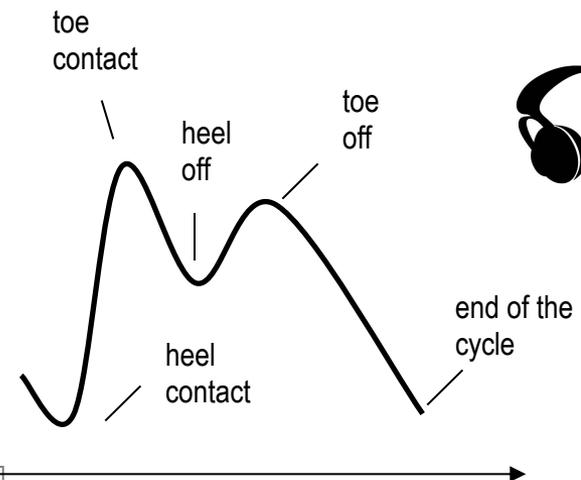


Group 4

Time



Load on the knee

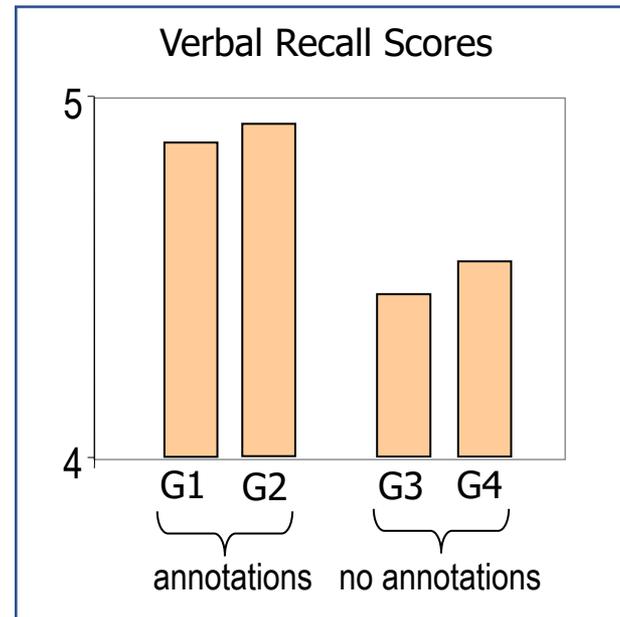
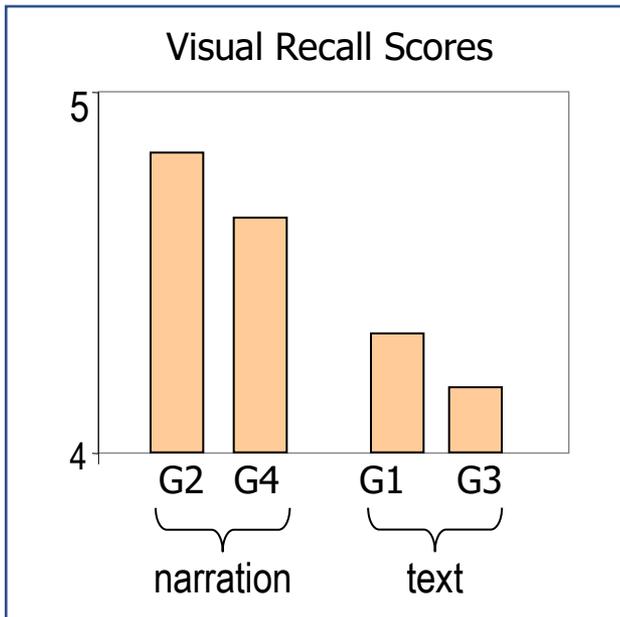
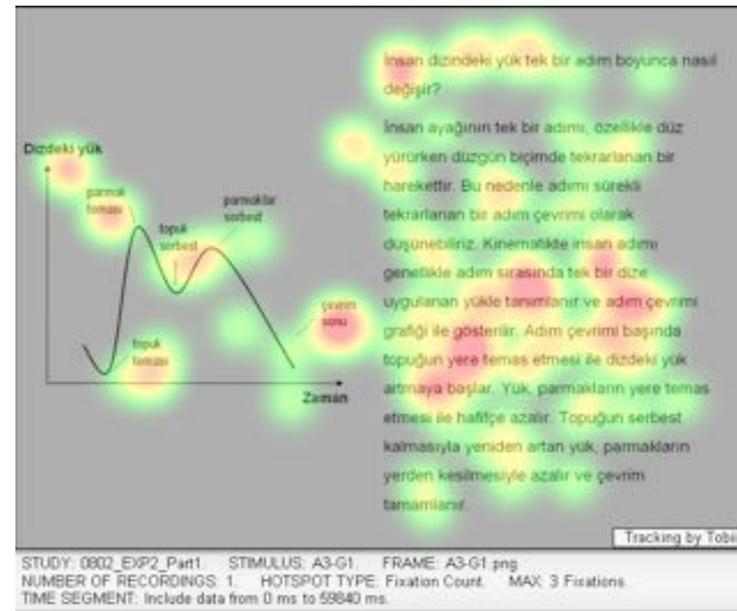
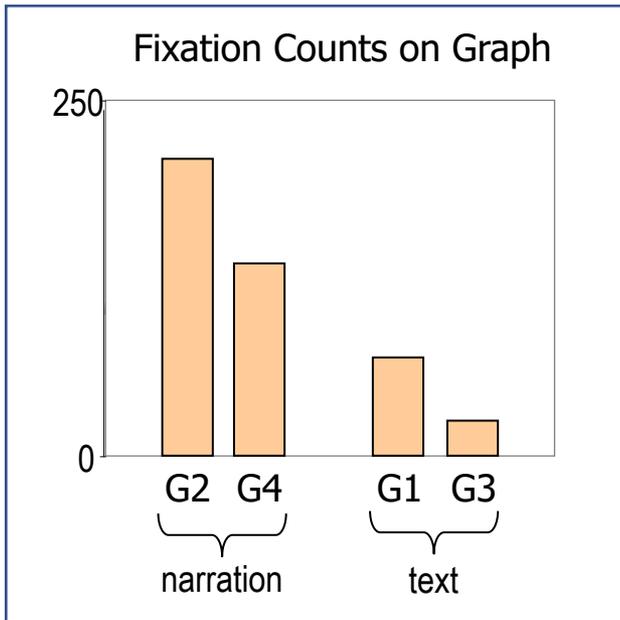


Group 2

Time



The role of annotations and sensory modalities



Interim summary of the findings

Annotations on graphs may influence verbal and visual memory in different ways

- Annotations may improve verbal recall (compared to visual recall)

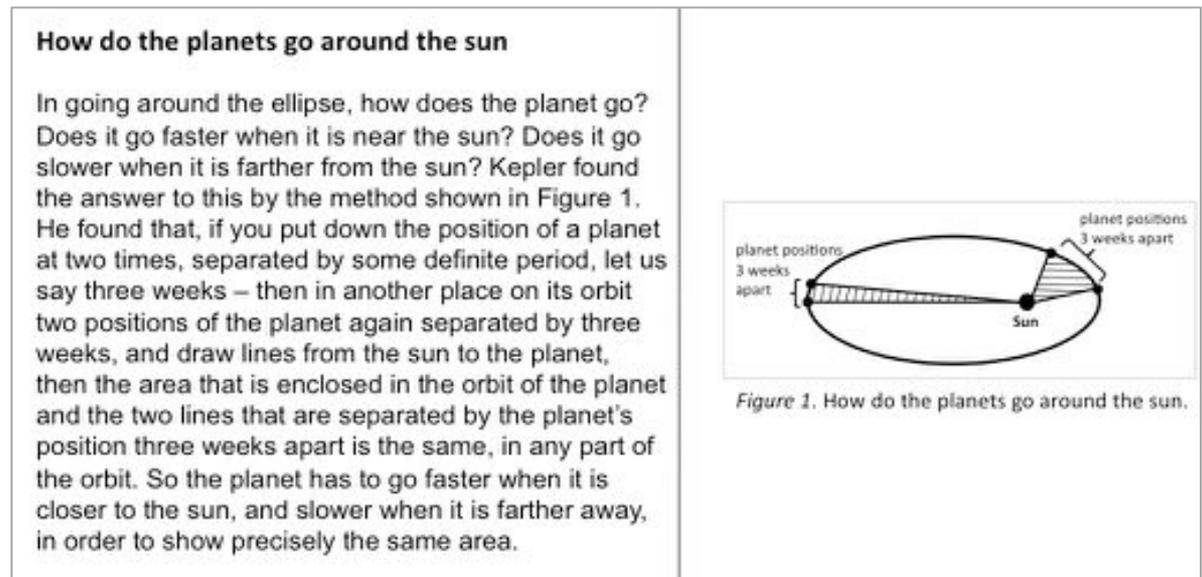
Annotations on graphs may lead to split attention

- Better learning in narration and graph (compared to text and graph)

Next: More on the relationship between text and figures

Signaling in multimodal documents

- An explicit reference from the text to the figure (i.e., signaling) as a specific subtype of referring
- **Descriptive signaling.**
Kepler found the answer to this by the method shown in Figure 1.
- **Directive signaling.**
Kepler found the answer to this (Figure 1).
- **Elliptic reference.**
Kepler found the answer to this.

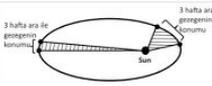


Signaling in multimodal documents

- 18 documents, 92 participants, eye tracking
- Dependent variable: Gaze shifts between text and figure (cf. an indicator of attention)

Gezegelerin Güneş'in etrafındaki dönüşü

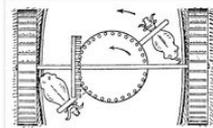
Bir gezegenin Güneş çevresindeki yörüngesi bir elipstir; Güneş de odakların birindedir. Bundan sonra gelen soru şudur: Güneş'e yaklaştıkça hızı artıyor, uzaklaştıkça yavaşlıyor mu? Kepler bunun yanıtını buldu (Şekil 1). Bulduğu yanıt şöyle açıklanabilir: Örneğin üç hafta gibi belirli ara içeren iki farklı zamanda gezegenin konumunu saplayalım. Sonra, yörüngenin başka bir bölümünde, gezegenin yine üç hafta ara ile iki ayrı konumunu saplayalım ve Güneş'le gezegeni birleştiren doğruları çizelim. Üç hafta ara ile çizilen iki doğru ve yörünge arasında kalan alan, yörüngenin her bölgesi için aynıdır. Demek ki, gezegen Güneş'e daha yakın olduğu yerlerde daha hızlı hareket ediyor, ve uzaklaştıkça aynı alanı taramak için daha yavaş ilerliyor.



Şekil 1. Gezegelerin güneş etrafındaki dönüşü.

Eski Roma'da güç ve enerji kaynakları

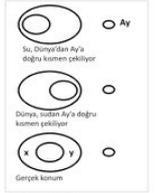
M.S. dördüncü yüzyılın son yarısında yazılmış bir yapıtta hiçbir zaman inşa edilmediği neredeyse kesin olan bir buluştan söz edilmektedir. Yazarın ismi bilinmemektedir, ve bu yapıtı Anonymus De Rubis Bellicis adıyla anılmaktadır. Bu buluştan öküzlere bir gemiyi hareket ettirmek için kullanılır (Şekil 1). Dikey bir dingilin üzerindeki çıkırık çubuğunun iki ucunda karşılıklı olarak dönerler. Bir dişli sistemi yardımıyla, bu dingil geminin bir kenarından diğerine uzanan ve her iki ucunda kanatlı birer çark bulunan yatay bir dingili çevirir. Kanatlı çark milinin, öküzlerin yürüdüğü zeminin altında mi üstünde mi olduğuna ilişkin bilgi verilmemektedir, ancak öküzler geminin güvertesinde bulunduğundan, milin üstte olması daha büyük bir olasılıktır.



Şekil 1. Bir gemiyi hareket ettirmek için kullanılan öküzler.

Gelgitler

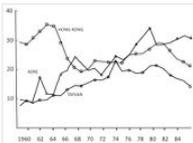
Newton'ın öngöründe bulunduğu konulardan biri de gelgit olayıydı. Gelgit, Dünya ve denizlerin ay tarafından çekilmesinden kaynaklanıyordu. Bu, daha önceleri de düşünülmüştü; ancak ortada bir pürüz vardı: Olay, Ay'ın denizleri çekmesinden kaynaklanıyorsa Ay'ın bulunduğu taraftaki sular yükselecek, o zaman günde ancak bir gelgit olacaktı (Şekil 1). Gerçekte ise günde iki gelgit olduğunu biliyoruz. Ne olup bittiğini ilk farkeden Newton oldu: Ay'ın aynı uzaklıktaki kara ve denizler üzerindeki çekim kuvveti aynıydı. y'deki sular Ay'a dünyadan daha yakın, x'deki sular ise daha uzaktır. Dünya sıvı değil katıdır. Bu nedenle, y'deki sular Ay'a dünyadan daha fazla, x'deki sular da daha az çekilir. Bu durumda iki gelgit oluşur.



Şekil 1. Gelgitler.

Doğu Asya ekonomilerinde yatırımlar

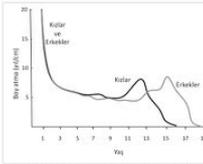
Hong Kong'un başarısının, büyüme stratejilerinin bağlama özgün olduğunu açıkça gösteren önemli koşulları vardı. En önemlisi de Hong Kong'un dış ticarete önemli bir antrepo rolü oynaması, İngilizlerin ortak olduğu güçlü kuruluşlar ve Komünist Çin'den kaçan sermaye sayesinde 1950'lerin sonuna gelindiğinde zaten bu şehir devletinin yatırımları ve girişimcilik düzeyi yüksek bir ekonomiyeye dönüşmüş olmasındı. 1960'ların başında Hong Kong'un yatırım oranı zaten Güney Kore ve Tayvan'inkinden üç kat yüksekti (Şekil 1). Güney Kore ve Tayvan Hong Kong'un 1960'laki kişi başına düşen GSYH'sına 1970'lerin başına kadar ulaşamayacaklardı. Bu yüzden Hong Kong, Tayvan, Güney Kore ve Singapur'un özel yatırımları çoğaltmak ve girişimcilik teşvik etmek konusunda karşılaştığı zorluklara karşılıklılaşmadı.



Şekil 1. Doğu Asya'da yatırımların GSYH içindeki payı.

Çocuklarda kemik gelişimi

Yürümeye yeni başlayan bir çocuk, yetkinlikteki boyunun neredeyse yarısına ulaşmıştır bile. Doğumdan olgunluğa dek gelişimin sürekli ve düzgün bir yol izlemiyor olması da size şaşırtıcı gelebilir. Erkek ve kız çocuklar gelişimleri süresince farklı boy atma safhaları sergiler (Şekil 1). Yaklaşık olarak ilk iki yıl kapsayan birinci safhada bebek, çok hızlı bir şekilde kilo alır, birinci yılda boyu 25 ila 30 cm uzar ve aynı sürede kilosu üç katına çıkar. 2 yaşını dolduran çocuk, ergenlik dönemine dek daha yavaş, ancak düzenli bir şekilde yılda 5 ila 7,5 cm uzar ve yaklaşık 2,5 kg alır. Üçüncü safhada çocuk birkaç yıl boyunca yılda 7,5 ila 15 cm uzar.



Şekil 1. Doğuştan yetişkinliğe kadar yıllık boy atma miktarları.

Singapur tahvil ve bono piyasası

Singapur'da 2009 yılında borsa dışında gerçekleşen ve borsaya tescil edilen kesim alım ve satım işlem hacmi 135 milyar Dolar, repo işlem hacmi ise 330 milyar Dolar'dır. Aylık bazda borsa dışı ortalama işlem hacmi dalgalı bir seyir izlemiştir. Ağustos ayında en yüksek, Ocak ayında ise en düşük seviyesinde bulunmuştur (Şekil 1). Günlük ortalama işlem hacmi ise 2009 yılında Dolar bazında %12,9 oranında azalarak 8,7 milyon Dolar olarak gerçekleşmiştir. Aylık bazda günlük ortalama işlem hacmi genel olarak dalgalı bir seyir izlemiştir ve 7 milyar Dolar ile 9,3 milyar Dolar arasında gerçekleşmiştir. Yıl sonunda ise büyük bir düşüş yaşanmış ve 8,5 milyon Dolar'a gerilemiştir.

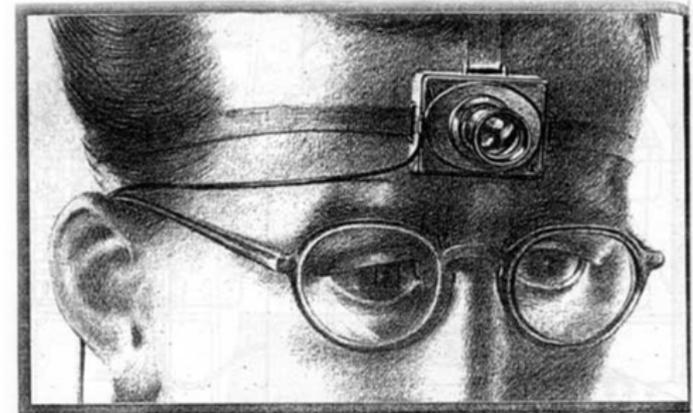
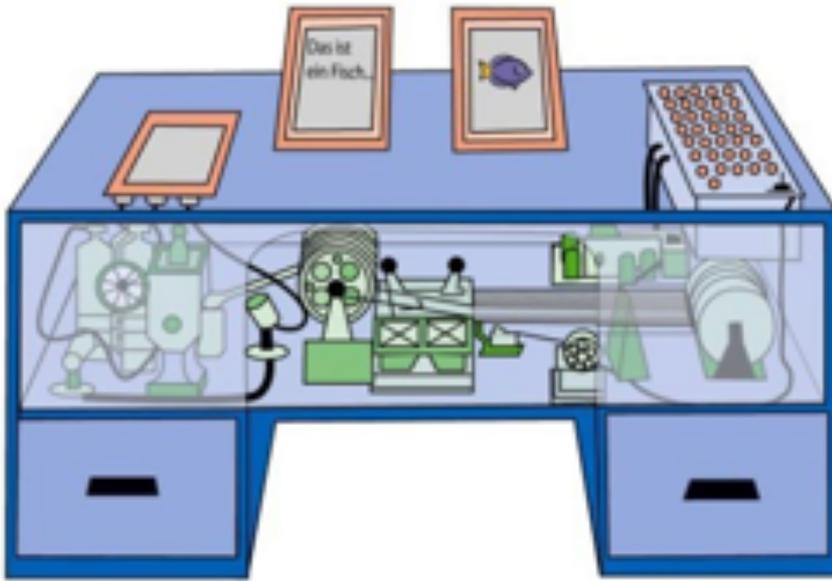


Şekil 1. Aylık bazda borsa dışı ortalama işlem hacmi.

Signaling in multimodal documents

- Findings in a nutshell
 - The presence and absence of deictic cross-referencing (signaling) influences reader's inspection patterns
 - The type of deictic cross-referencing (signaling) influences reader's inspection patterns
 - More explicit (descriptive) signaling ("as shown in Figure 1") may reduce comprehensibility (possibly due to split attention)

What is next?



A SCIENTIST OF THE FUTURE RECORDS EXPERIMENTS WITH A TOY CAMERA FITTED WITH UNIVERSAL-FOCUS LENS. THE SMALL SQUARE IN THE EYEBROW AT THE LEFT BEATS THE SHUTTER.

AS WE MAY THINK
A TOP U. S. SCIENTIST FORESEES A POSSIBLE FUTURE WORLD
IN WHICH MAN-MADE MACHINES WILL START TO THINK!
by VANNEVAR BUSH
DIRECTOR OF THE OFFICE OF SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT
Produced from the Atlantic Monthly, July 1945

MEMEX (MEMORY Extender by Vannevar Bush, 1945):
A memex is a device in which an individual stores all
his books, records, and communications

1.1 Programming a Computer for Playing Chess

Claude E. Shannon

First published in *Philosophical Magazine*, volume 41 (7th series), 1950, pp. 256-275.

A. M. Turing (1950) Computing Machinery and Intelligence *Mind* 59: 433-460.

COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE

By A. M. Turing

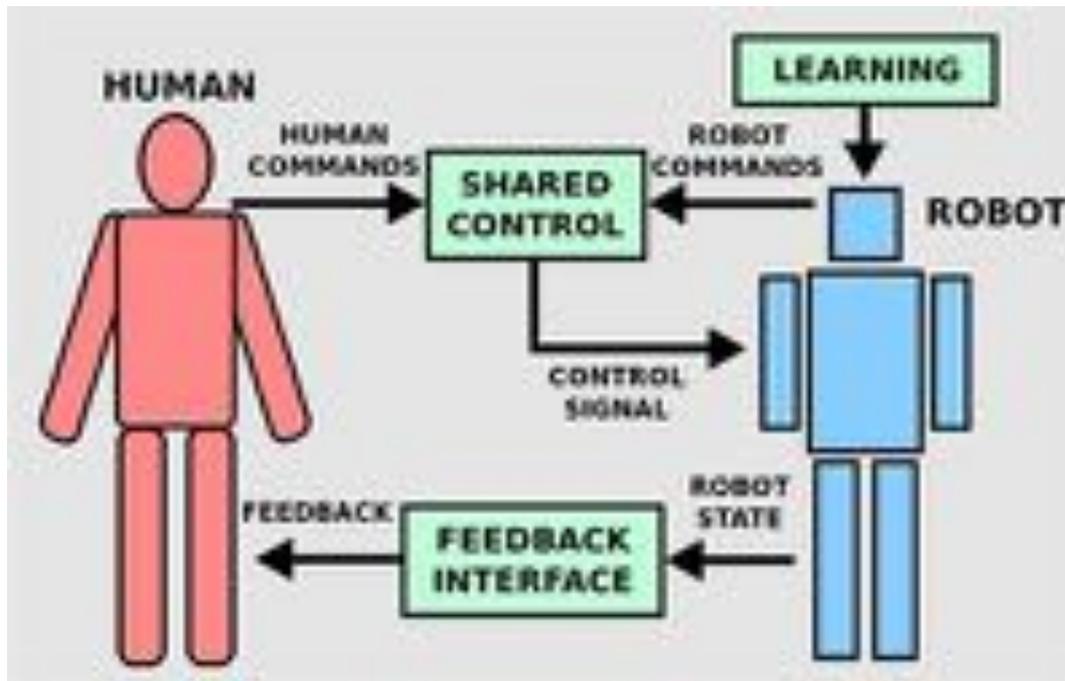
1990s: ICT (Internet and Communication Technologies) limited to mouse and keyboard



2010s: Human interaction via perceptual modalities



Human-in-the-loop is a recent invention in ICT



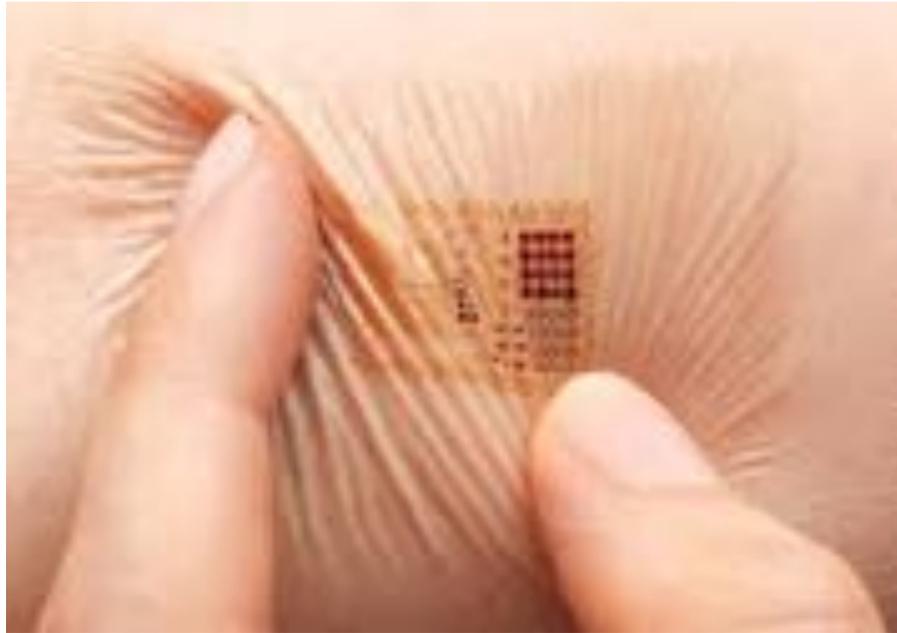
Multimodality in Human Computer Interaction

- Interacting with a computer
 - Usual methods of interaction: Keyboard, mouse, touch
 - Further methods of interaction: Speech, vision, gestures, facial expressions, ...
- The basis of interacting with a computer (from the perspective of the computer)
 - Detect the user state and adapt accordingly (cf. human-in-the-loop)
 - User state: Cognitive and emotional states
 - Evaluation of multiple modalities to infer the user state
 - Facial expressions, Gaze
 - Voice
 - Gestures, Posture
 - ...

A multimodal learning environment

- Components of the human in the loop paradigm
 - Face detection → face tracking → face recognition
(as a measure of engagement with the task)
 - Eye detection → eye tracking
(as a measure cognitive effort)
 - Sound localization → speech segmentation →
diarization → speech recognition
(as a method of interaction with the environment)
 - ...
- Identification of the user state
 - Fusion: Combining data from multiple sensors

Epidermal Electronic Systems



A dilemma between me and my brain? (a matter of trust)





THANKS

Cengiz Acarturk, PhD

Cognitive Science Program
Informatics Institute

Middle East Technical University (METU) Ankara, Turkey
acarturk@metu.edu.tr

FHSS Brig
January 28, 2020