

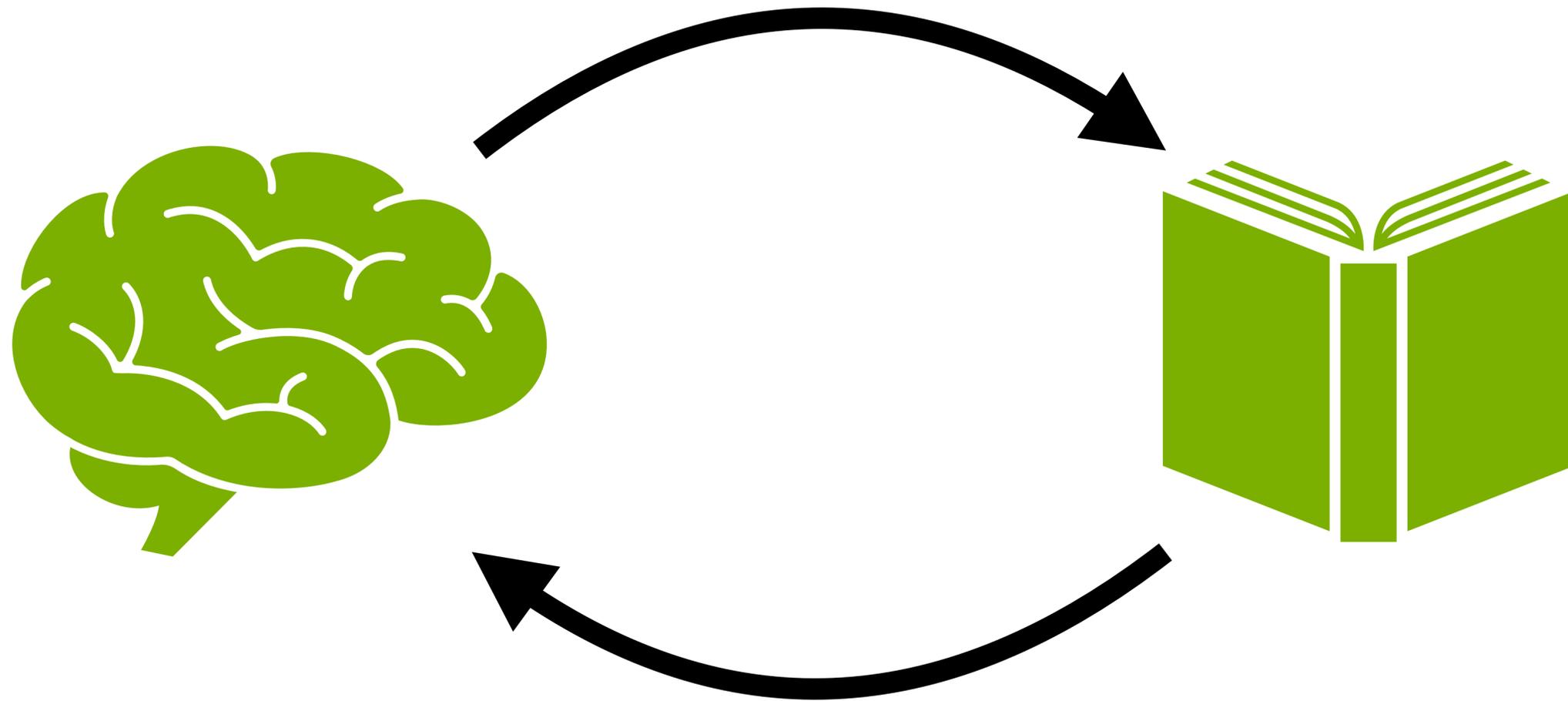
A close-up photograph of a green snake's head, showing its scales and a vertical slit for an eye. A vertical white line is positioned on the left side of the image, partially overlapping the text.

Capturing and analyzing eye-tracking data in Python for reading studies

Jon W. Carr

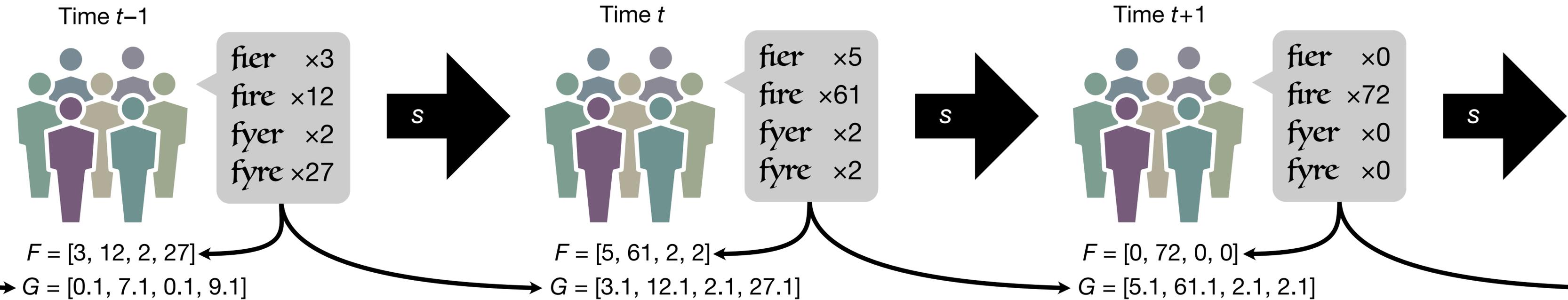
Royal Holloway, University of London

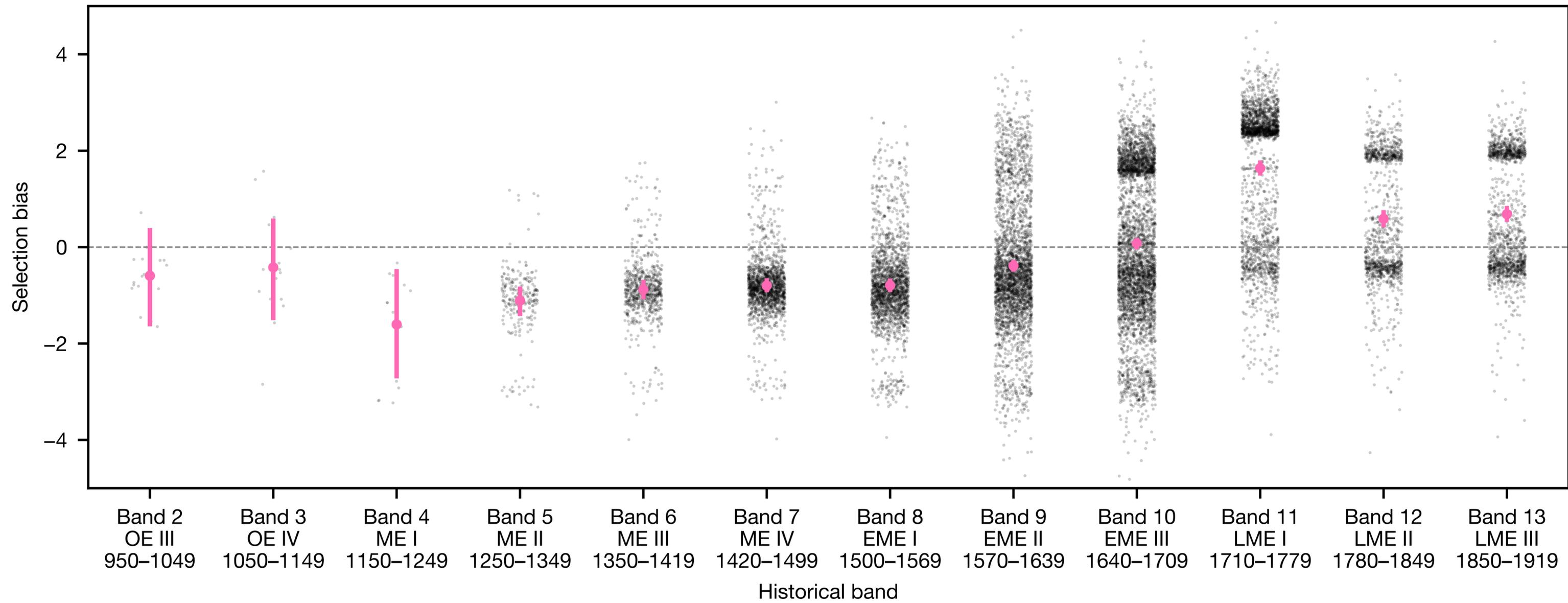
Cognition shapes the writing system



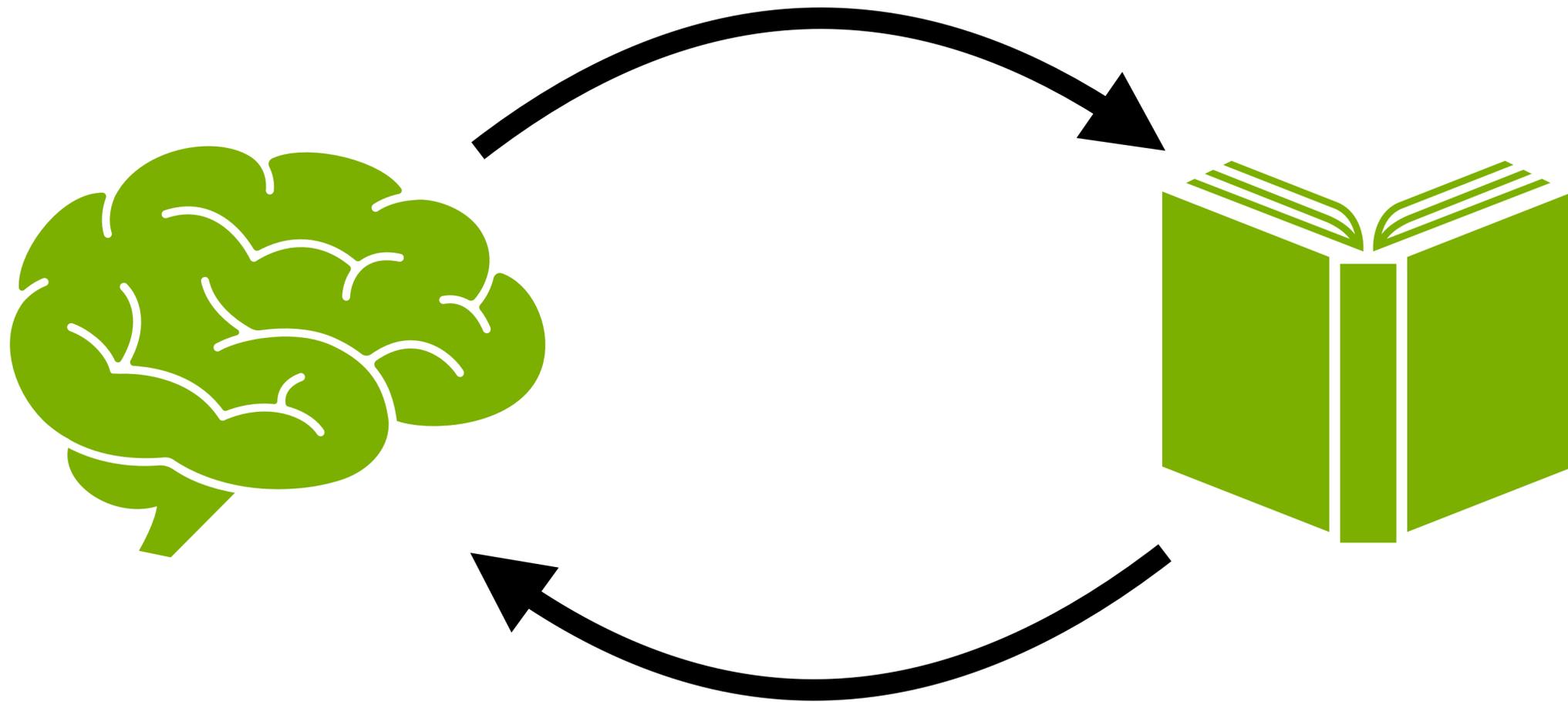
The writing system shapes cognition

Cognition shapes the writing system



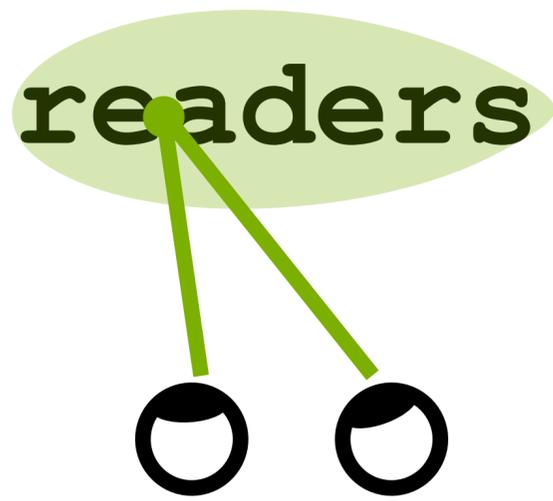


Cognition shapes the writing system

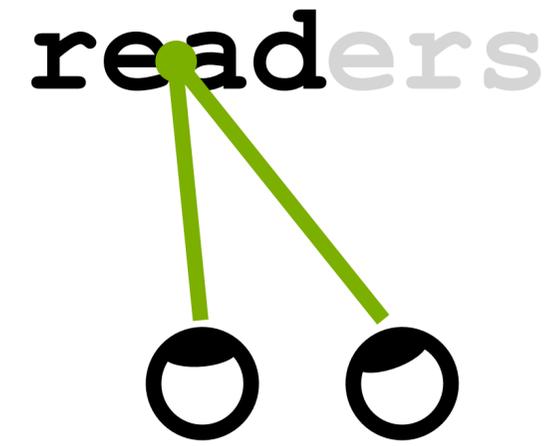


The writing system shapes cognition

The writing system shapes cognition



Perceptual bias



Informational bias

Left-heavy lexicon

SNYBEVS

STOBEVS

SGUPEVS

SKAPEVS

SGYDIVS

SNODIVS

SKUMIVS

STAMIVS



High
information
content



Low
information
content



Right-heavy lexicon

SVEBYNS

SVEBOTS

SVEPUGS

SVEPAKS

SVIDYGS

SVIDONS

SVIMUKS

SVIMATS



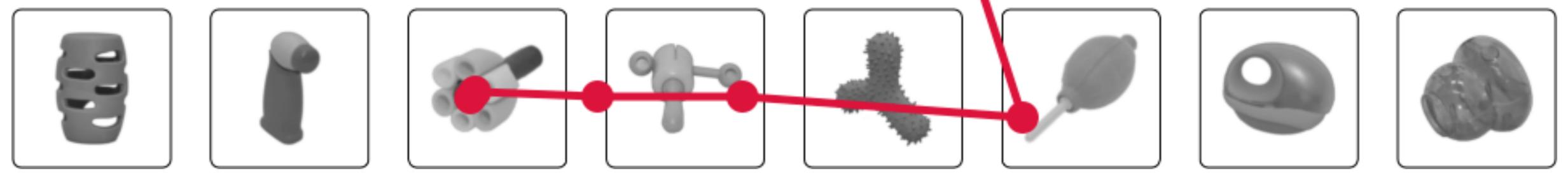
Low
information
content

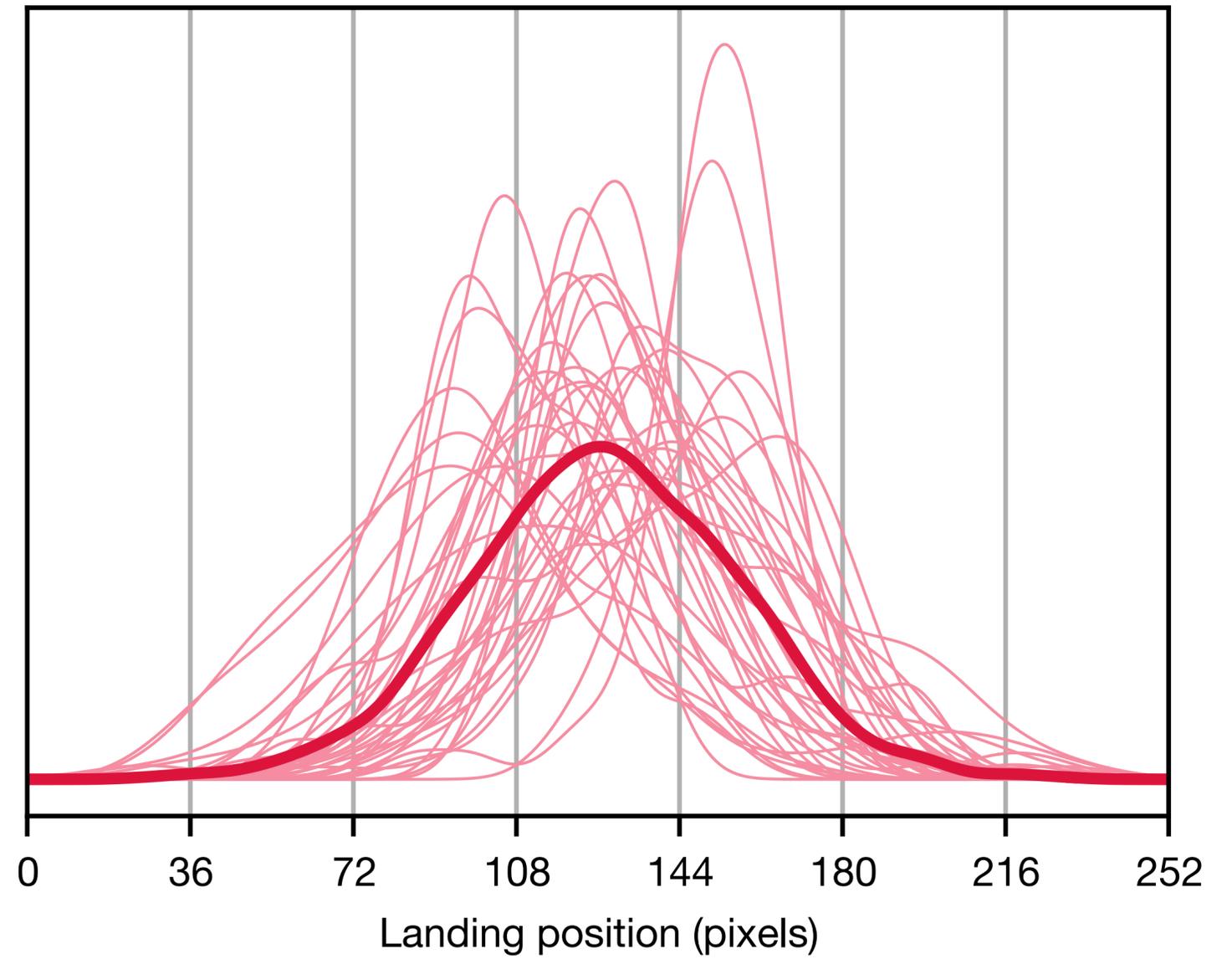
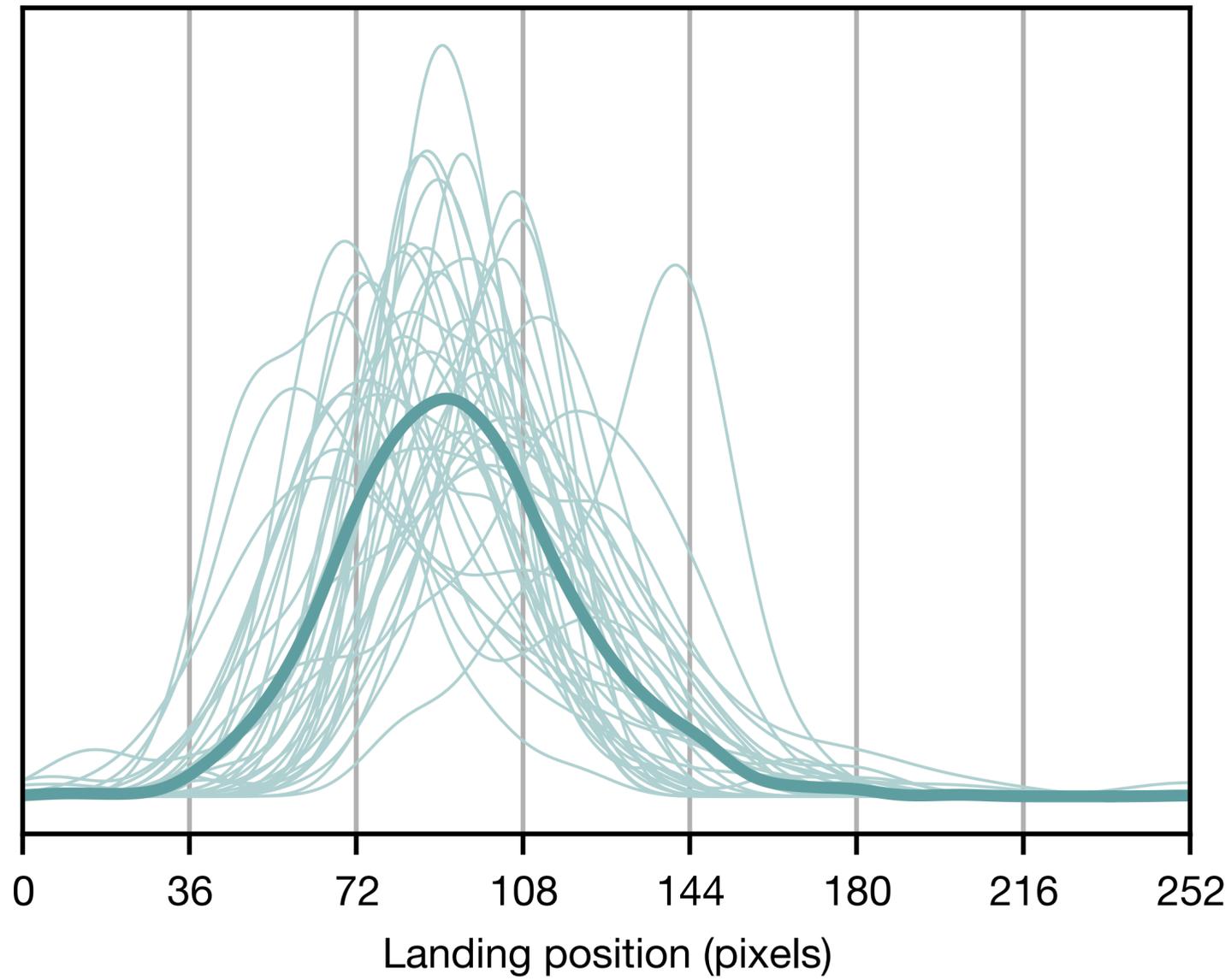
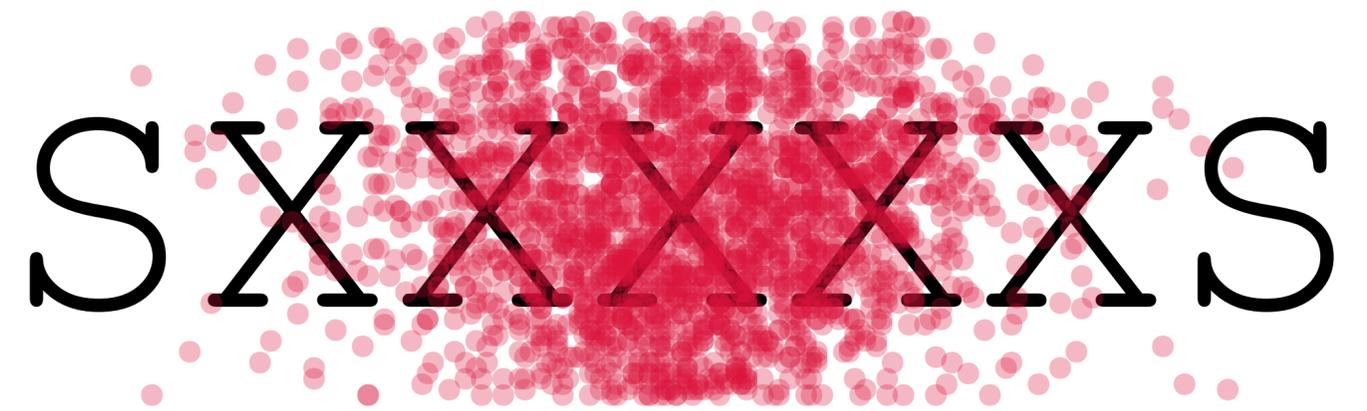
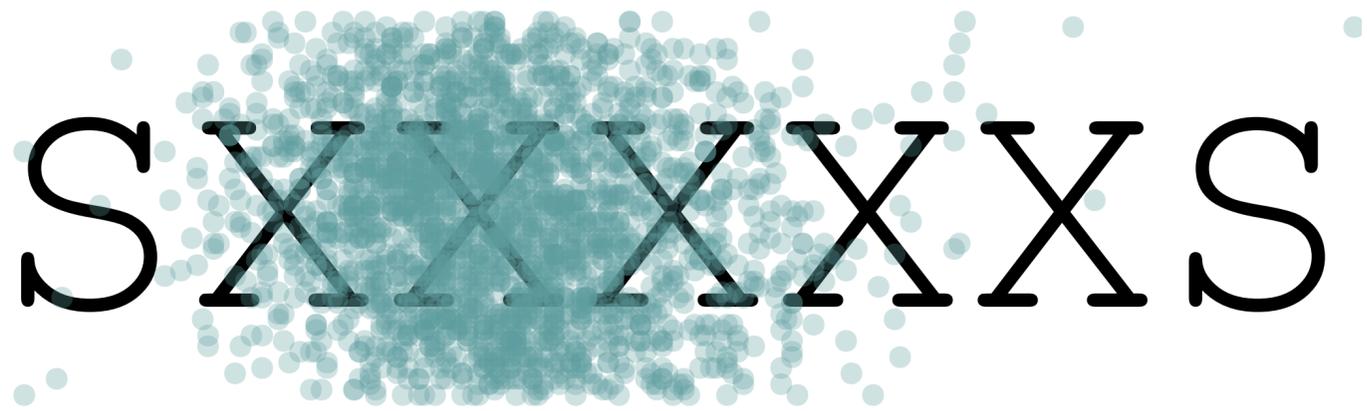


High
information
content

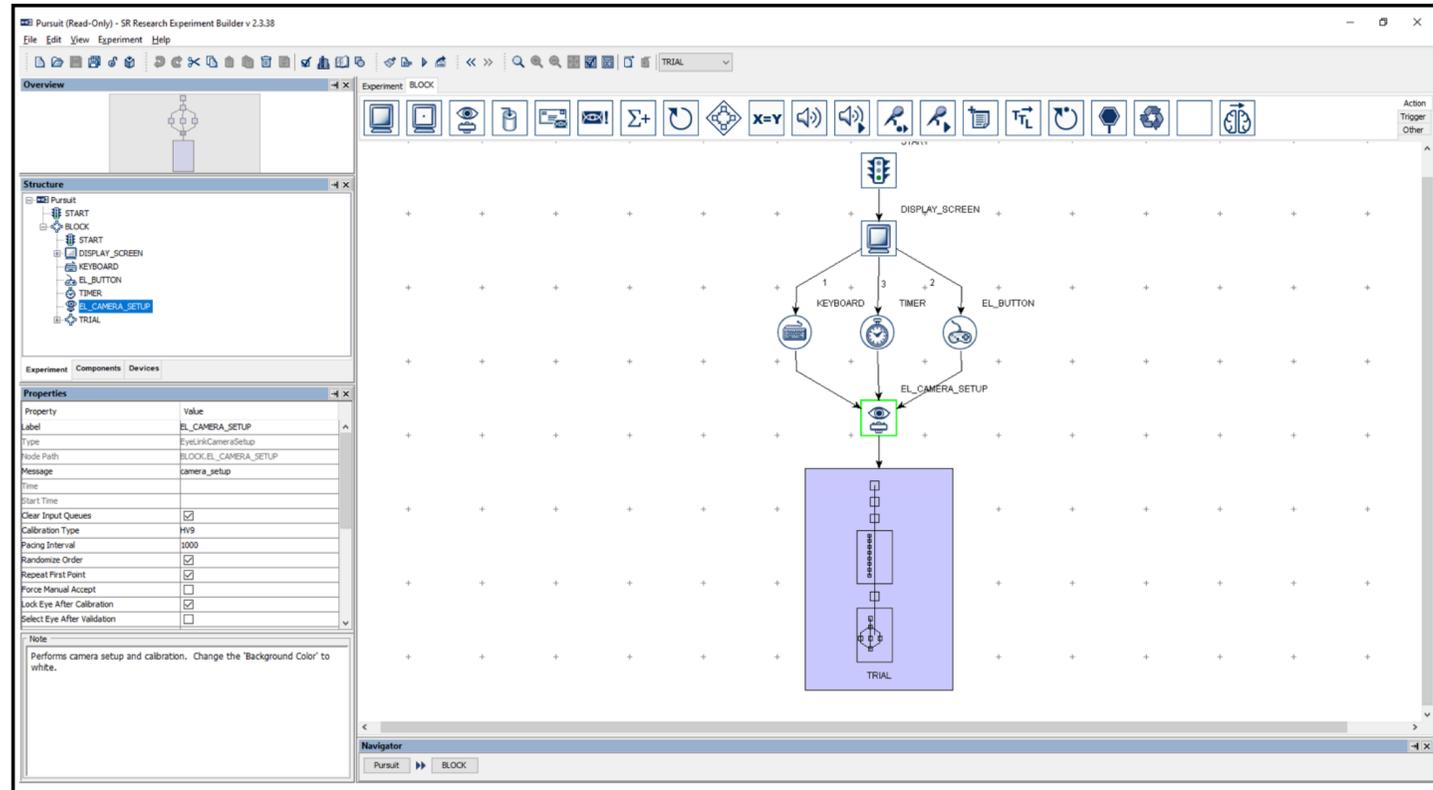
initial landing position

SMADEPS

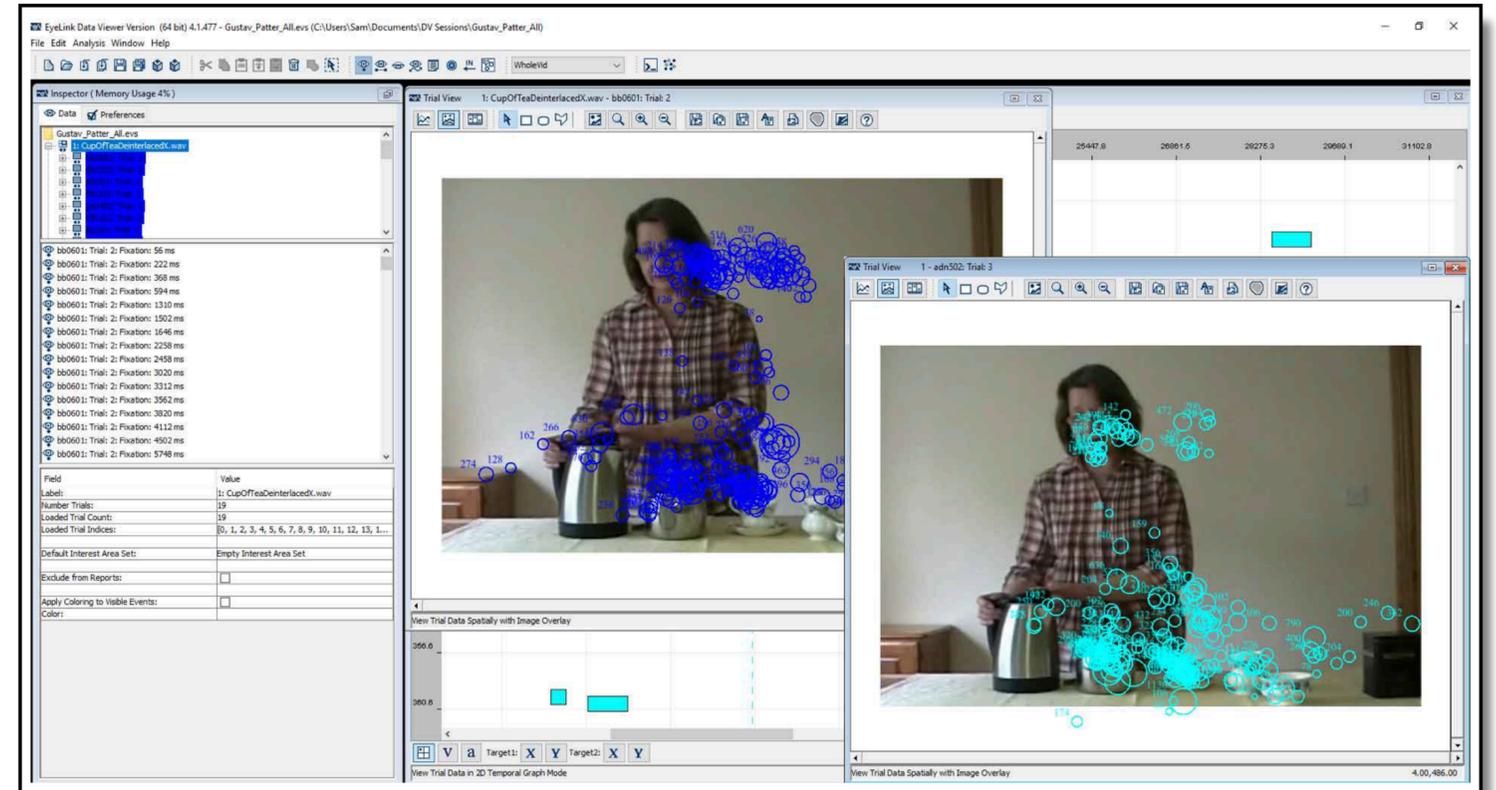




*Eyetracking
and Python*

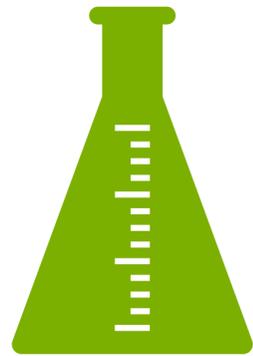


Experiment Builder

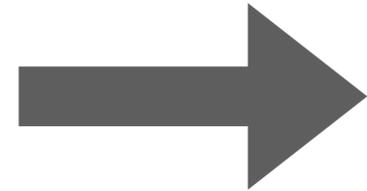


Data Viewer

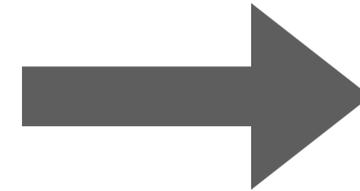
Overall pipeline



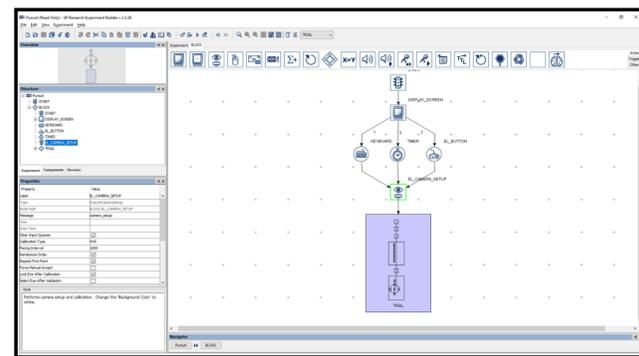
Experiment



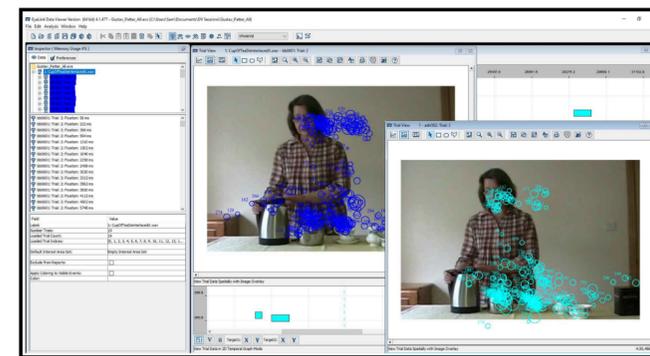
Data



Analysis

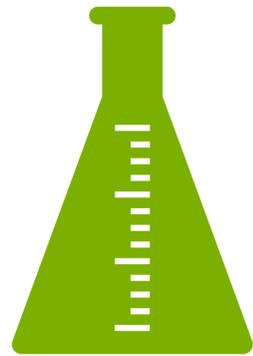


Experiment Builder

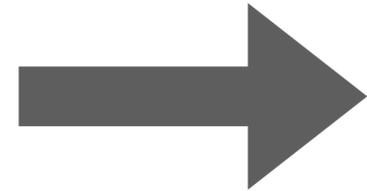


Data Viewer

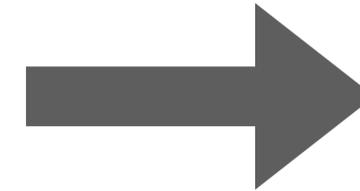
Overall pipeline



Experiment



Data



Analysis



PsychoPy



Eyekit

Why open source?

build custom experiments - fewer limitations

automate analysis pipeline - get reproducible output

scrutinize the software vendors' assumptions



Psychopy

NavonTask.psyexp - PsychoPy Builder (v2021.2.0)

File Edit View Tools Experiment Demos Pavlovia.org Window Help

Routines: feedback instrMain instrPractice thanks trial x

Components: Favorites (Keyboard, Code, Image, Polygon, Sound, Textbox), Stimuli, Responses, Custom, EEG, Eyetracking, I/O

Flow: instrPractice (1.00s) → trial (9.00s) → feedback (1.00s) → instrMain → trial (9.00s) → thanks (2.00s)

Diagram: A timeline from 0 to 8 seconds. At 1s, 'fixate' (T) and 'resp' (keyboard) are active. At 2s, 'stimulus' (image) and 'mask' (image) are active. 'instrPractice' is active from 1s to 2s. 'instrMain' is active from 2s to 7s. 'trial' is active from 2s to 7s. 'feedback' is active from 7s to 8s. 'thanks' is active from 7s to 8s.

```
main.py
74
75
76
77 class Experiment:
78
79     def __init__(self, task_id, user_id):
80
81         # Load task data
82         self.task_data_path = DATA_DIR / f'{task_id}.json'
83         with open(self.task_data_path) as file:
84             self.task_data = json.load(file)
85
86         # Calculate screen and font metrics
87         px_per_mm = SCREEN_WIDTH_PX / SCREEN_WIDTH_MM
88         self.char_width = int(round(self.task_data['char_width_mm'] * px_per_mm))
89         self.char_height = self.char_width * FONT_WIDTH_TO_HEIGHT_RATIO
90         self.horizontal_margin = (SCREEN_WIDTH_PX - PRESENTATION_WIDTH_PX) // 2
91         self.vertical_margin = (SCREEN_HEIGHT_PX - PRESENTATION_HEIGHT_PX) // 2
92
93         # Calculate button positions
94         first_button_position = self.horizontal_margin + BUTTON_SIZE_PX // 2
95         inter_button_distance = (SCREEN_WIDTH_PX - self.horizontal_margin * 2 - BUTTON_SIZE_PX * self.task_data['n_items']) / (self.task_data['n_items'] - 1)
96         button_positions = [
97             self.transform_to_center_origin(
98                 x=int(round(first_button_position + button_i * inter_button_distance + button_i * BUTTON_SIZE_PX)),
99                 y=SCREEN_HEIGHT_PX - self.vertical_margin - BUTTON_SIZE_PX // 2
100             ) for button_i in range(self.task_data['n_items'])
101         ]
102         self.button_rects = [
103             *self.transform_to_top_left_origin(x - BUTTON_SIZE_PX // 2, y + BUTTON_SIZE_PX // 2),
104             BUTTON_SIZE_PX,
105             BUTTON_SIZE_PX
106         ] for x, y in button_positions
107
108         self.include_predictors = self.task_data['predictor_length'] > 0 and bool(self.task_data['predictor_forms'])
109         self.predictor_tests = self.task_data['predictor_tests']
110
111 1.007 Lines, 3.134 Words, 28.785 Chars, Line 1, Column 1
master (2) Spaces: 4 Python
```

Experiment



PsychoPy



Eyetracker

Data



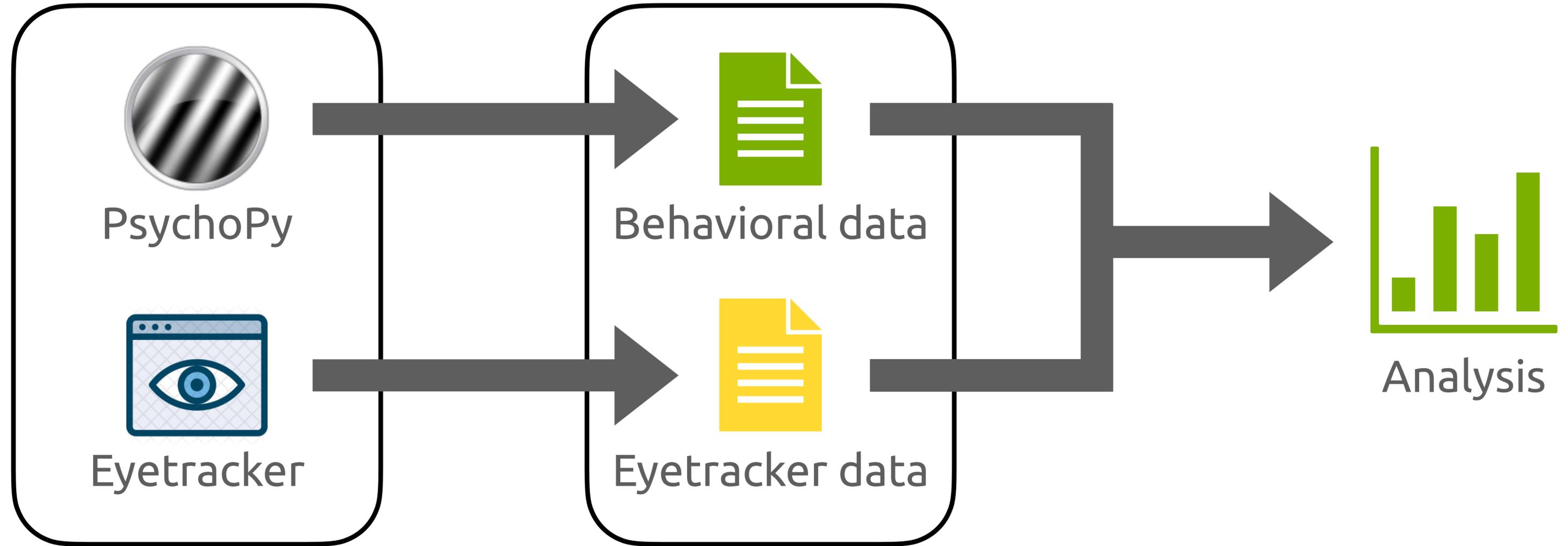
Behavioral data

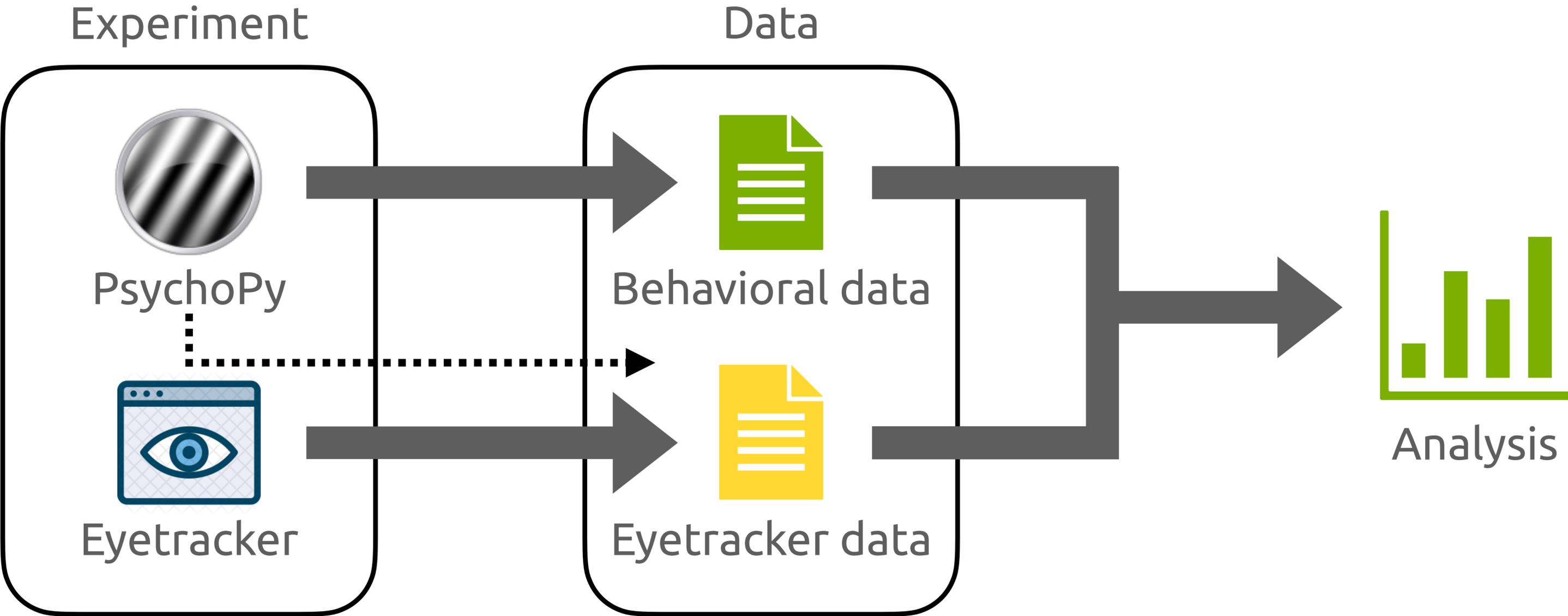


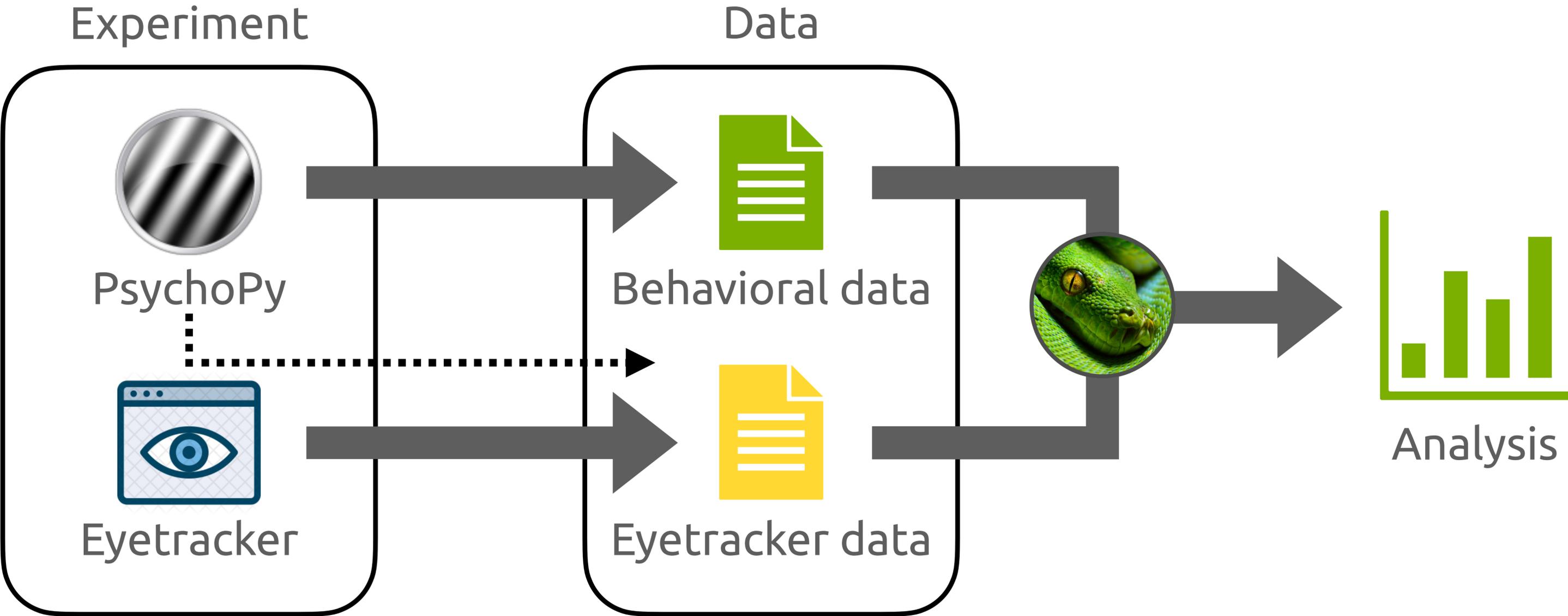
Eyetracker data

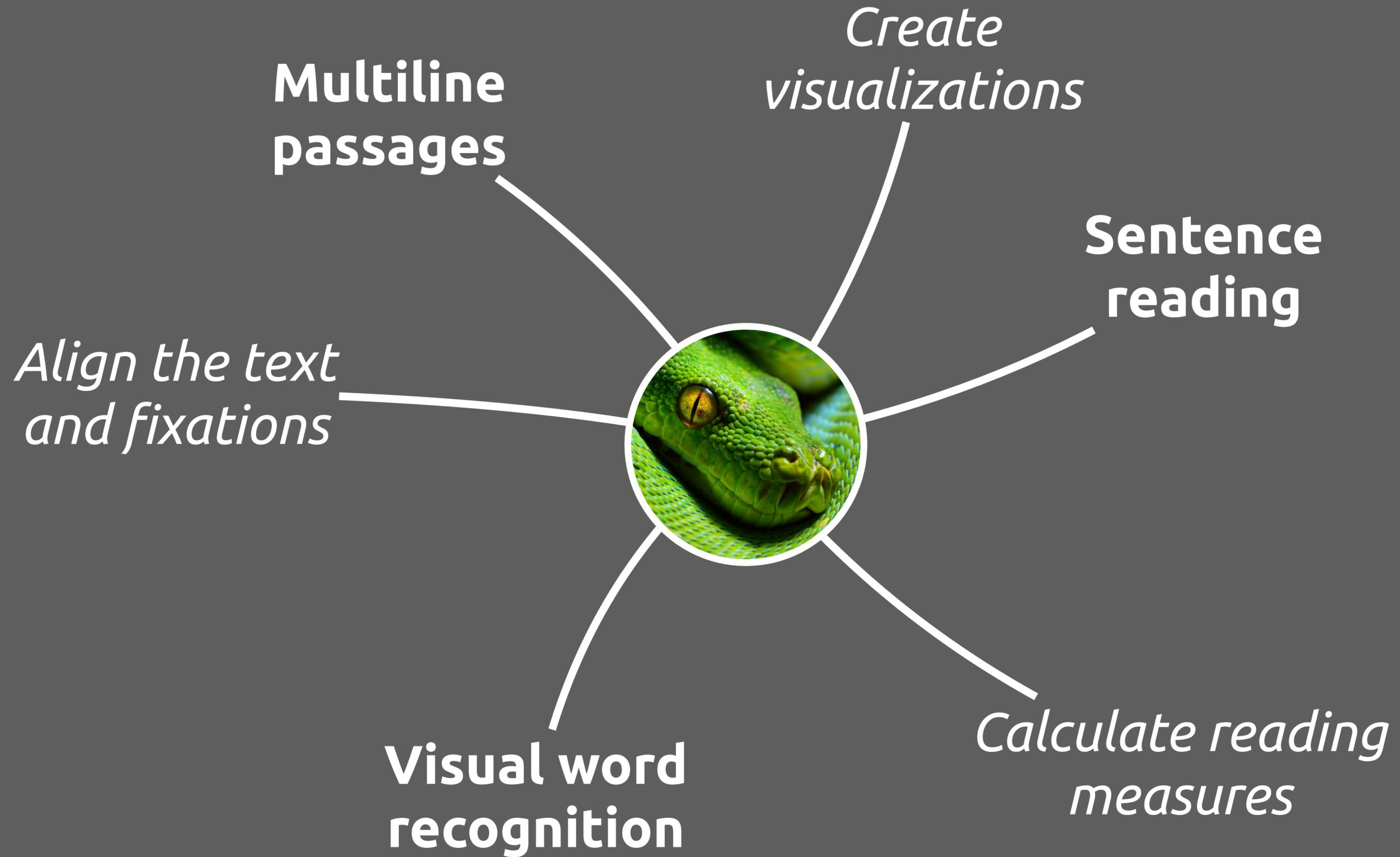


Analysis









Three core objects

FixationSequence

TextBlock

InterestArea



Eyetracker data

Three core objects



FixationSequence

TextBlock

InterestArea



Eyetracker data

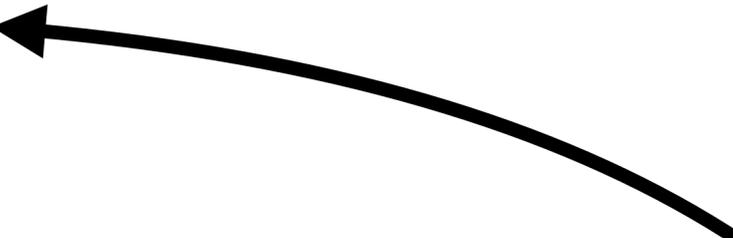
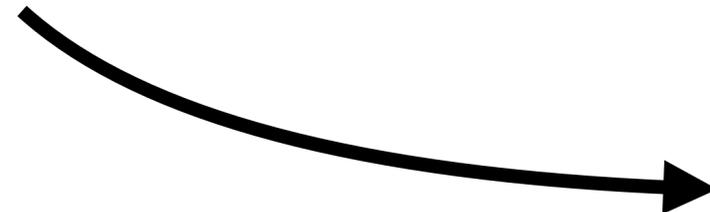
Three core objects

FixationSequence

TextBlock

InterestArea

Experiment





Eyetracker data

Three core objects

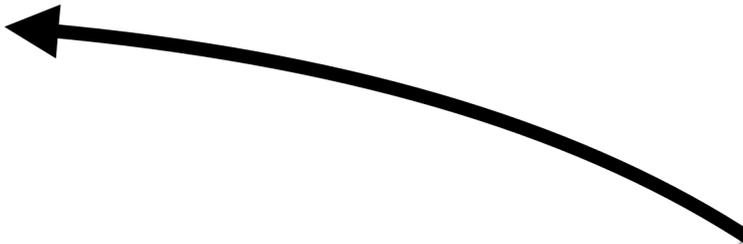
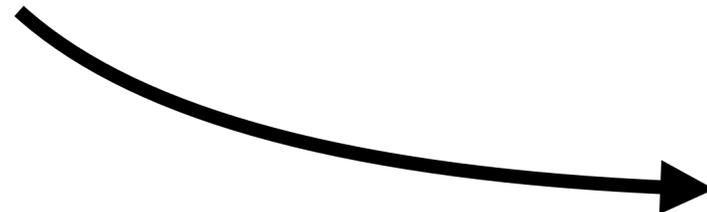
FixationSequence

TextBlock

InterestArea



Experiment





Eyetracker data

Three core objects

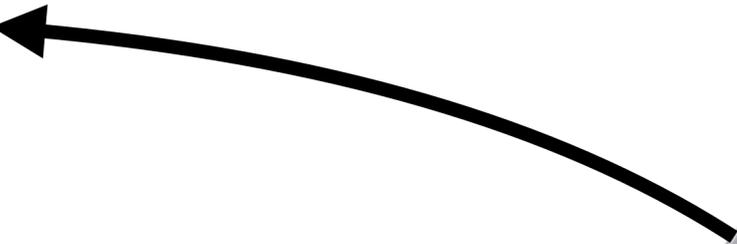
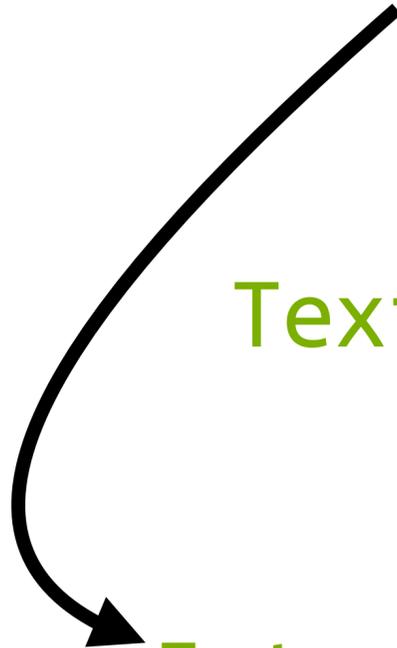
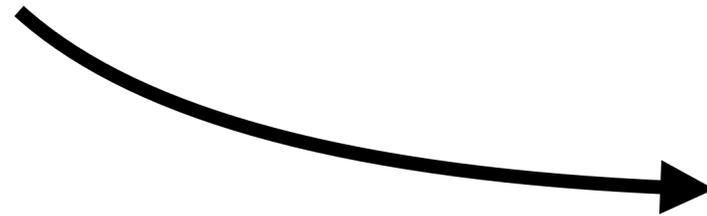
FixationSequence

TextBlock

InterestArea



Experiment



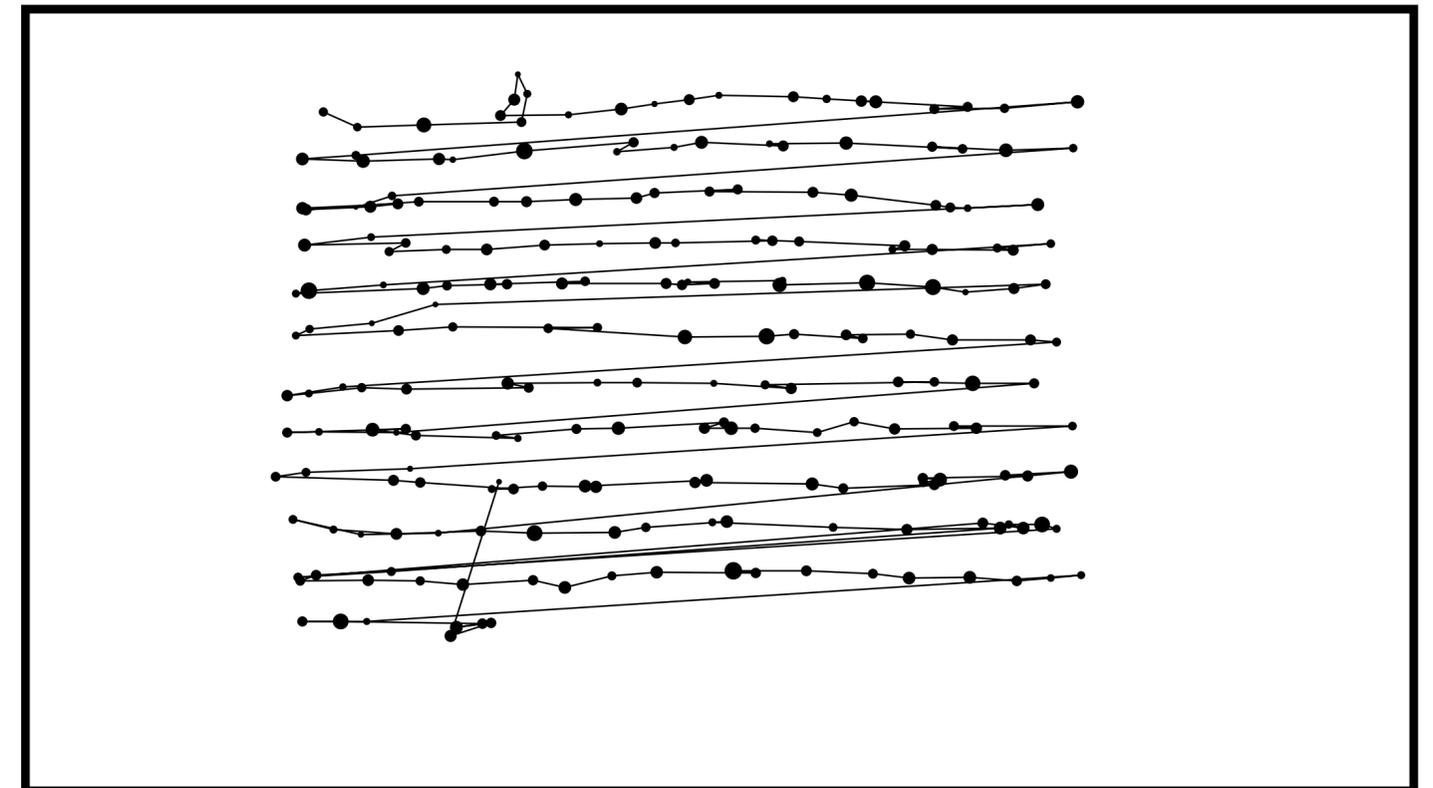
A specific phrase, word, or morpheme that we're interested in analyzing

InterestArea

C'erano una volta tre Orsi, che vivevano in una casina nel bosco. C'era Babbo Orso grosso grosso, con una voce grossa grossa; c'era Mamma Orsa grossa la metà, con una voce grossa la metà; e c'era un Orsetto piccolo piccolo con una voce piccola piccola. Una mattina i tre Orsi facevano colazione e Mamma Orsa disse: "La pappa è troppo calda, ora. Andiamo a fare una passeggiata nel bosco, mentre la pappa diventa fredda". Così i tre Orsi andarono a fare una passeggiata nel bosco. Mentre erano via, arrivò una piccola bimba chiamata **Riccidoro**. Quando vide la casetta nel bosco, si domandò chi mai potesse vivere là dentro, e picchiò alla porta. Nessuno rispose, e la bimba picchiò ancora. Nessuno rispose: Riccidoro allora aprì la porta ed entrò. E là, nella piccola stanza, vide una tavola apparecchiata per tre.

TextBlock

A passage of text at a known location on the screen



FixationSequence

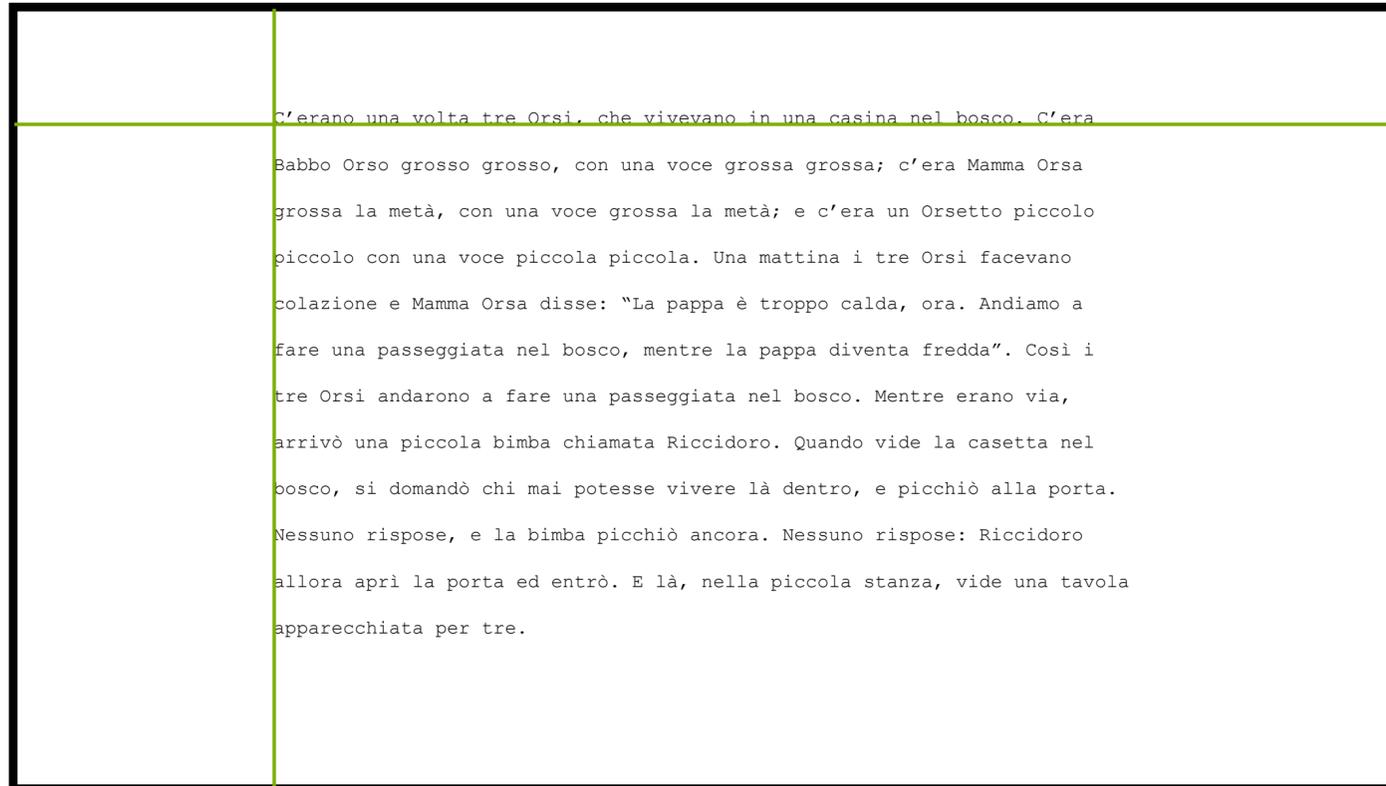
A sequence of fixations at known locations on the screen

C'erano una volta tre Orsi, che vivevano in una casina nel bosco. C'era Babbo Orso grosso grosso, con una voce grossa grossa; c'era Mamma Orsa grossa la metà, con una voce grossa la metà; e c'era un Orsetto piccolo piccolo con una voce piccola piccola. Una mattina i tre Orsi facevano colazione e Mamma Orsa disse: "La pappa è troppo calda, ora. Andiamo a fare una passeggiata nel bosco, mentre la pappa diventa fredda". Così i tre Orsi andarono a fare una passeggiata nel bosco. Mentre erano via, arrivò una piccola bimba chiamata Riccodoro. Quando vide la casetta nel bosco, si domandò chi mai potesse vivere là dentro, e picchiò alla porta. Nessuno rispose, e la bimba picchiò ancora. Nessuno rispose: Riccodoro allora aprì la porta ed entrò. E là, nella piccola stanza, vide una tavola apparecchiata per tre.

C'erano una volta tre Orsi, che vivevano in una cucina nel bosco. C'era Bobbo Orso grosso grosso, con una voce grossa grossa; c'era Mama Orsa grossa grossa, con una voce grossa la metà; e c'era un Orsetto piccolo piccolo con una voce piccola piccola. Una mattina i tre Orsi facevano colazione e Mama Orsa disse: "La pappa è troppo calda, ora. Andiamo a fare una passeggiata nel bosco, mentre la pappa diventa fredda". Così i tre Orsi andarono a fare una passeggiata nel bosco. Mentre erano via, arrivò una piccola bimba chiamata Riccardo. Quando vide la casetta nel bosco, si domandò chi mai potesse vivere là dentro, e picchiò alla porta. Nessuno rispose, e la bimba picchiò ancora. Nessuno rispose: Riccardo allora aprì la porta dentro. E là, nella piccola stanza, vide una tavola apparecchiata per tre.

C'erano una volta ~~tre~~ Orsi, che vivevano in una cucina nel bosco. C'era Bobbo Orso grosso grosso, con una voce grossa grossa; e c'era Mama Orsa grossa grossa, con una voce grossa la metà; e c'era un Orsetto piccolo piccolo con una voce piccola piccola. Una mattina i ~~tre~~ Orsi facevano colazione e Mama Orsa disse: "La pappa è troppo calda, ora. Andiamo a fare una passeggiata nel bosco, mentre la pappa diventa fredda". Così i ~~tre~~ Orsi andarono a fare una passeggiata nel bosco. Mentre erano via, arrivò una piccola bimba chiamata Riccardo. Quando vide la casetta nel bosco, si domandò chi mai potesse vivere là dentro, e picchiò alla porta. Nessuno rispose, e la bimba picchiò ancora. Nessuno rispose: Riccardo allora aprì la porta dentro. Là, nella piccola stanza, vide una tavola apparecchiata per tre.

Number of fixations: 4
Total fixation duration: 755ms
Initial fixation duration: 155ms
Initial landing position: 4



C'erano una volta tre Orsi, che vivevano in una casina nel bosco. C'era Babbo Orso grosso grosso, con una voce grossa grossa; c'era Mamma Orsa grossa la metà, con una voce grossa la metà; e c'era un Orsetto piccolo piccolo con una voce piccola piccola. Una mattina i tre Orsi facevano colazione e Mamma Orsa disse: "La pappa è troppo calda, ora. Andiamo a fare una passeggiata nel bosco, mentre la pappa diventa fredda". Così i tre Orsi andarono a fare una passeggiata nel bosco. Mentre erano via, arrivò una piccola bimba chiamata Riccioro. Quando vide la casetta nel bosco, si domandò chi mai potesse vivere là dentro, e picchiò alla porta. Nessuno rispose, e la bimba picchiò ancora. Nessuno rispose: Riccioro allora aprì la porta ed entrò. E là, nella piccola stanza, vide una tavola apparecchiata per tre.

TextBlock

A passage of text at a known location on the screen

- text
- position
- font_face
- font_size
- line_height
- align
- anchor
- right_to_left
- alphabet
- autopad

C'erano una volta tre Orsi, che vivevano in una casina nel bosco. C'era Babbo Orso grosso grosso, con una voce grossa grossa; c'era Mamma Orsa grossa la metà, con una voce grossa la metà; e c'era un Orsetto piccolo piccolo con una voce piccola piccola. Una mattina i tre Orsi facevano colazione e Mamma Orsa disse: "La pappa è troppo calda, ora. Andiamo a fare una passeggiata nel bosco, mentre la pappa diventa fredda". Così i tre Orsi andarono a fare una passeggiata nel bosco. Mentre erano via, arrivò una piccola bimba chiamata Riccioro. Quando vide la casetta nel bosco, si domandò chi mai potesse vivere là dentro, e picchiò alla porta. Nessuno rispose, e la bimba picchiò ancora. Nessuno rispose: Riccioro allora aprì la porta ed entrò. E là, nella piccola stanza, vide una tavola apparecchiata per tre.

TextBlock

A passage of text at a known location on the screen

- text
- position
- font_face
- font_size
- line_height
- align
- anchor
- right_to_left
- alphabet
- autopad

```
text_block = eyekit.TextBlock('blah', position=(10, 10), font_face='Courier', ...)
```

C	er	ano		una		volta		tre		Or	s	i		che		vive	v	ano		in		una		cas	i	n	a		nel		bos	c	o		C	'	er	a																																
B	ab	b	o		Or	s	o		g	r	o	s	s	o		con		una		vo	c	e		g	r	o	s	s	a		g	r	o	s	s	a		c	'	er	a		M	a	m	m	a		O	r	s	a																		
g	r	o	s	s	a		l	a		m	e	t	a		con		una		vo	c	e		g	r	o	s	s	a		l	a		m	e	t	a		e		c	'	er	a		un		O	r	s	e	t	t	o		p	i	c	c	o	l	o									
p	i	c	c	o	l	o		con		una		vo	c	e		p	i	c	c	o	l	a		p	i	c	c	o	l	a		U	n	a		m	a	t	t	i	n	a		i		t	r	e		O	r	s	i		f	a	c	e	v	a	n	o								
c	o	l	a	z	i	o	n	e		e		M	a	m	m	a		O	r	s	a		d	i	s	s	e		L	a		p	a	p	p	a		è		t	r	o	p	p	o		c	a	l	d	a		o	r	a		A	n	d	i	a	m	o		a					
f	a	r	e		u	n	a		p	a	s	s	e	g	i	a	t	a		n	e	l		b	o	s	c	o		m	e	n	t	r	e		l	a		p	a	p	p	a		d	i	v	e	n	t	a		f	r	e	d	d	a		.		C	o	s	i		i		
t	r	e		O	r	s	i		a	n	d	a	r	o	n	o		a		f	a	r	e		u	n	a		p	a	s	s	e	g	i	a	t	a		n	e	l		b	o	s	c	o		M	e	n	t	r	e		e	r	a	n	o		v	i	a					
a	r	r	i	v	ò		u	n	a		p	i	c	c	o	l	a		b	i	m	b	a		c	h	i	a	m	a	t	a		R	i	c	c	i	d	o	r	o		Q	u	a	n	d	o		v	i	d	e		l	a		c	a	s	e	t	t	a		n	e	l	
b	o	s	c	o		s	i		d	o	m	a	n	d	ò		c	h	i		m	a	i		p	o	t	e	s	s	e		v	i	v	e	r	e		l	à		d	e	n	t	r	o		e		p	i	c	c	h	i	ò		a	l	l	a		p	o	r	t	a	
N	e	s	s	u	n	o		r	i	s	p	o	s	e		e		l	a		b	i	m	b	a		p	i	c	c	h	i	ò		a	n	c	o	r	a		N	e	s	s	u	n	o		r	i	s	p	o	s	e		R	i	c	c	i	d	o	r	o				
a	l	l	o	r	a		a	p	r	i		l	a		p	o	r	t	a		e	d		e	n	t	r	ò		E		l	à		n	e	l	l	a		p	i	c	c	o	l	a		s	t	a	n	z	a		v	i	d	e		u	n	a		t	a	v	o	l	a
a	p	p	a	r	e	c	c	h	i	a	t	a		p	e	r		t	r	e																																																		

TextBlock

A passage of text at a known location on the screen

- text
- position
- font_face
- font_size
- line_height
- align
- anchor
- right_to_left
- alphabet
- autopad

```
text_block = eyekit.TextBlock('blah', position=(10, 10), font_face='Courier', ...)
interest_areas = text_block.words()
```

C'erano una volta tre Orsi, che vivevano in una casina nel bosco. C'era Babbo Orso grosso grosso, con una voce grossa grossa; c'era Mamma Orsa grossa la metà, con una voce grossa la metà; e c'era un Orsetto piccolo piccolo con una voce piccola piccola. Una mattina i tre Orsi facevano colazione e Mamma Orsa disse: "La pappa è troppo calda, ora. Andiamo a fare una passeggiata nel bosco, mentre la pappa diventa fredda". Così i tre Orsi andarono a fare una passeggiata nel bosco. Mentre erano via, arrivò una piccola bimba chiamata Riccioro. Quando vide la casetta nel bosco, si domandò chi mai potesse vivere là dentro, e picchiò alla porta. Nessuno rispose, e la bimba picchiò ancora. Nessuno rispose: Riccioro allora aprì la porta ed entrò. E là, nella piccola stanza, vide una tavola apparecchiata per tre.

TextBlock

A passage of text at a known location on the screen

- text
- position
- font_face
- font_size
- line_height
- align
- anchor
- right_to_left
- alphabet
- autopad

```
text_block = eyekit.TextBlock('blah', position=(10, 10), font_face='Courier', ...)
interest_areas = text_block.words('Riccioro')
```

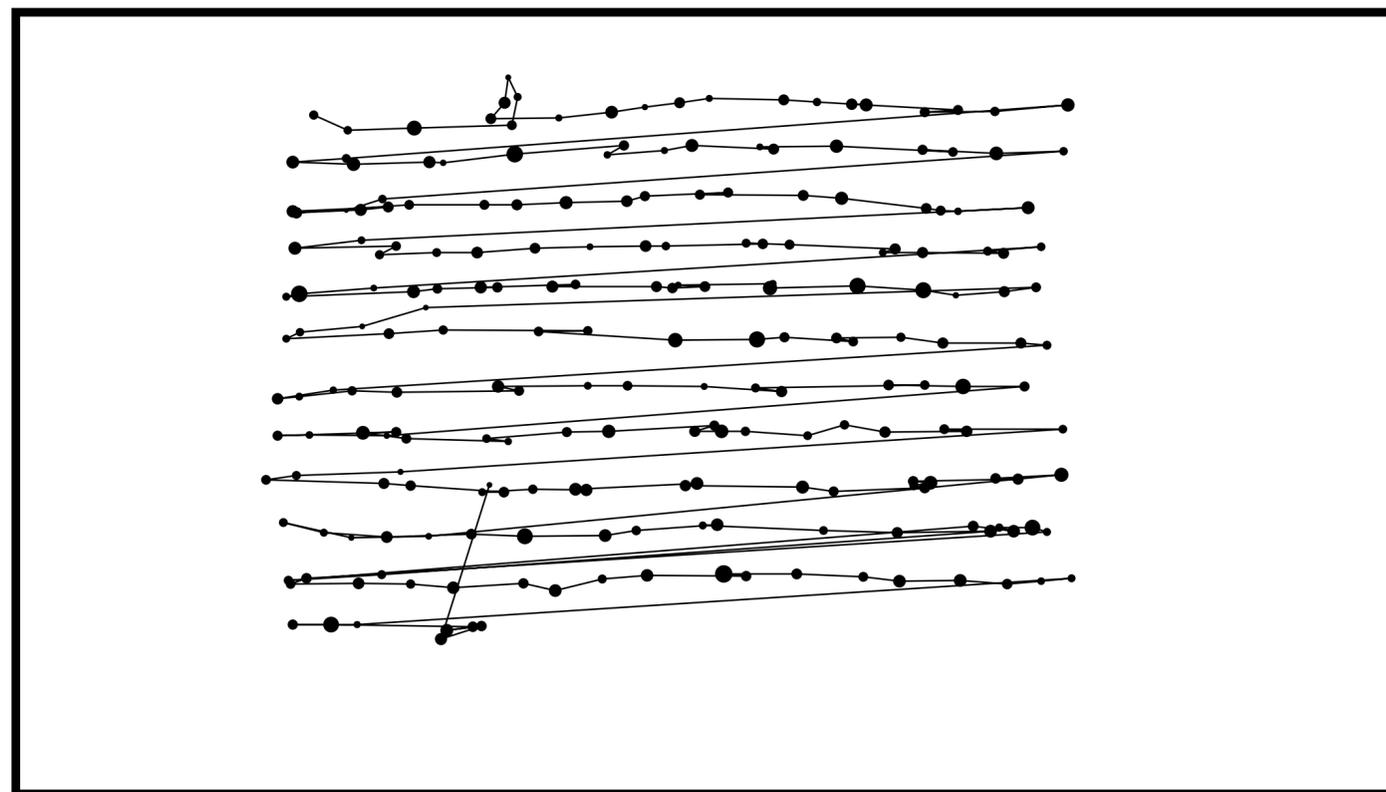
C'erano una volta tre Orsi, che vivevano in una casina nel bosco. C'era Babbo Orso grosso grosso, con una voce grossa grossa; c'era Mamma Orsa grossa la metà, con una voce grossa la metà; e c'era un Orsetto piccolo piccolo con una voce piccola piccola. Una mattina i tre Orsi facevano colazione e Mamma Orsa disse: "La pappa è troppo calda, ora. Andiamo a fare una passeggiata nel bosco, mentre la pappa diventa fredda". Così i tre Orsi andarono a fare una passeggiata nel bosco. Mentre erano via, arrivò una piccola bimba chiamata Riccioro. Quando vide la casetta nel bosco, si domandò chi mai potesse vivere là dentro, e picchiò alla porta. Nessuno rispose e la bimba picchiò ancora. Nessuno rispose Riccioro allora aprì la porta ed entrò. E là, nella piccola stanza, vide una tavola apparecchiata per tre.

TextBlock

A passage of text at a known location on the screen

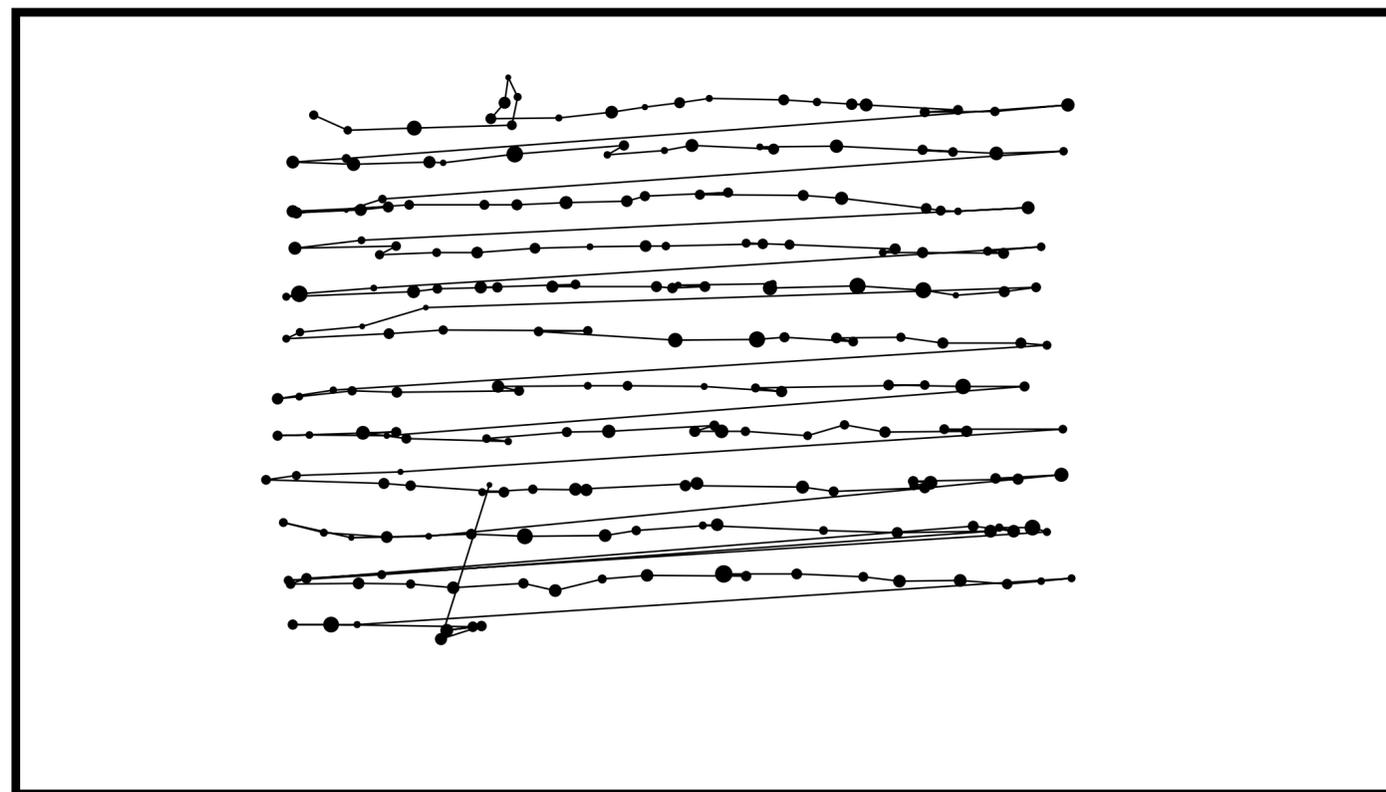
- text
- position
- font_face
- font_size
- line_height
- align
- anchor
- right_to_left
- alphabet
- autopad

```
text_block = eyekit.TextBlock('blah', position=(10, 10), font_face='Courier', ...)
interest_areas = text_block.words('.{7}')
```



FixationSequence

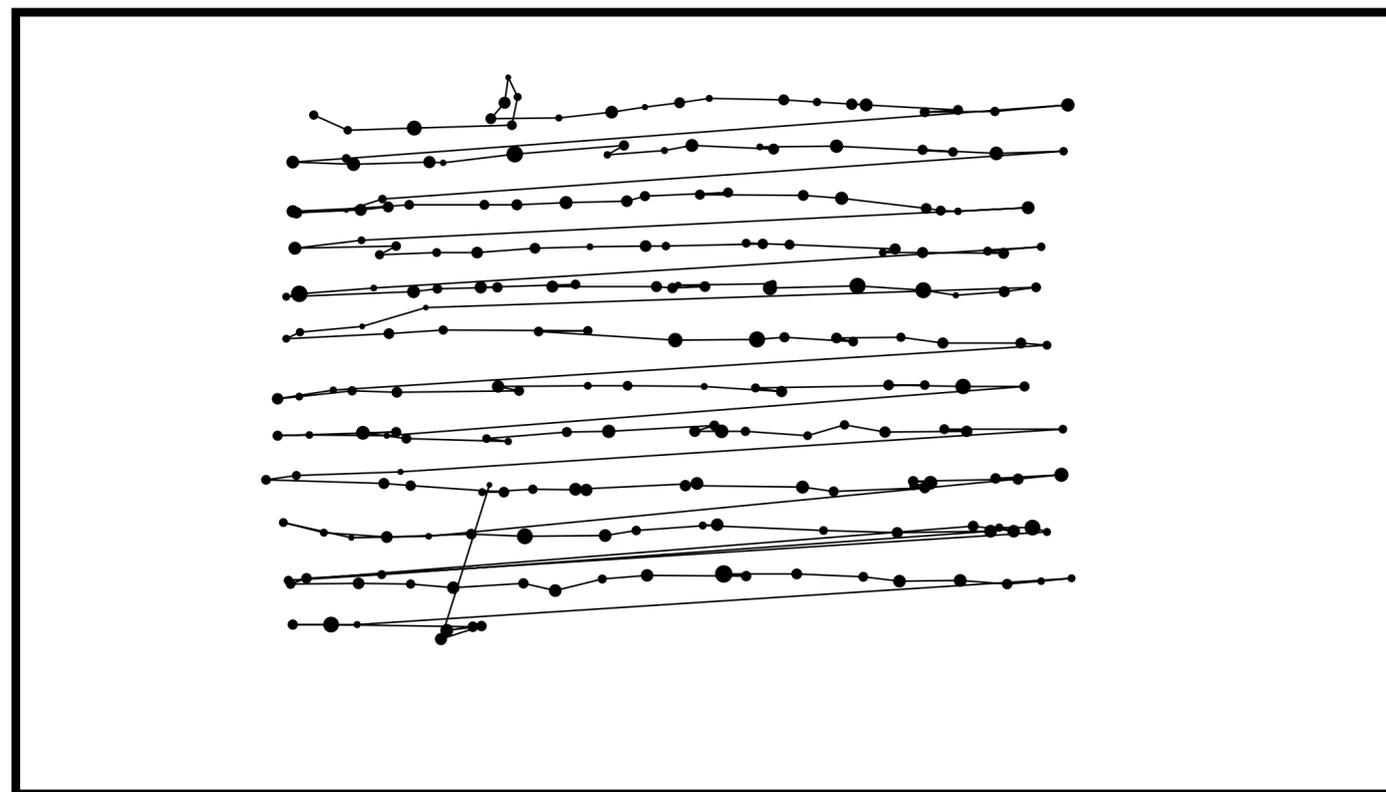
A sequence of fixations at known locations on the screen



FixationSequence

A sequence of fixations at known locations on the screen

```
fix_seq = eyekit.FixationSequence([[106,490,0,100], [190,486,100,200], ...])
```



FixationSequence

A sequence of fixations at known locations on the screen

```
fix_seq = eyekit.FixationSequence([[106,490,0,100], [190,486,100,200], ...])
```

```
data = eyekit.io.import_csv('path/to/my/data.csv')
```

Methods of FixationSequence

`shift_x(...)`

`shift_y(...)`

`shift_time(...)`

`shift_start_time_to_zero(...)`

`segment(...)`

`discard_short_fixations(...)`

`discard_long_fixations(...)`

`discard_out_of_bounds_fixations(...)`

`snap_to_lines(...)`

Package submodules

- `eyekit.io` Read and write data
- `eyekit.measure` Calculate various reading measures
- `eyekit.vis` Visualize fixation data on texts

eyekit.measure

```
number_of_fixations()  
initial_fixation_duration()  
first_of_many_duration()  
total_fixation_duration()  
gaze_duration()  
go_past_duration()  
second_pass_duration()  
initial_landing_position()  
initial_landing_distance()  
number_of_regressions_in()
```

initial_landing_position()

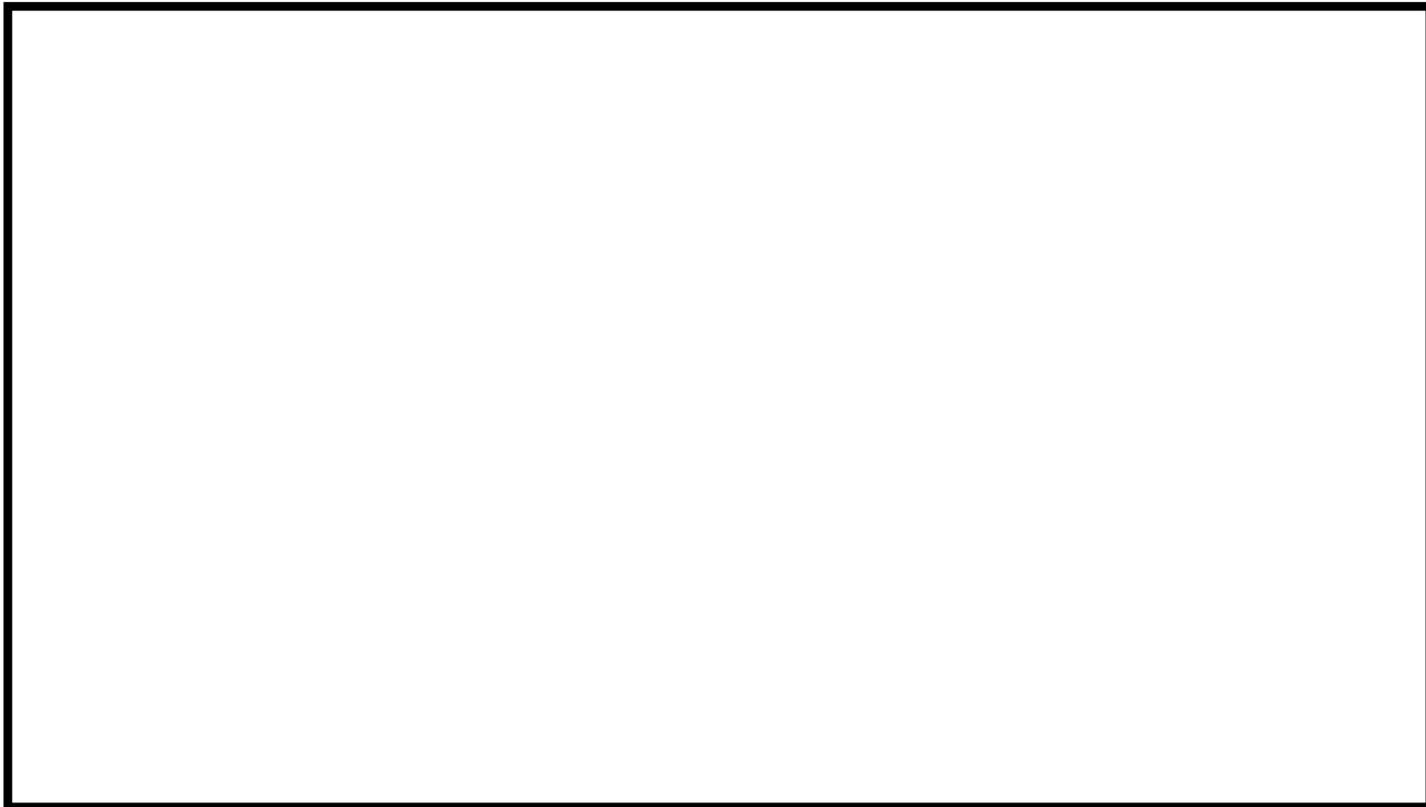
```
def initial_landing_position(interest_area, fixation_sequence):  
    for fixation in fixation_sequence.iter_without_discards():  
        if fixation in interest_area:  
            for position, char in enumerate(interest_area, 1):  
                if fixation in char:  
                    return position  
  
    return None
```

Generate an interest area report

```
>>> data = eyekit.io.load('example_data.json')
>>> texts = eyekit.io.load('example_texts.json')
>>> for trial_id, trial in data.items():
>>>     text = texts[ trial['passage_id'] ]['text']
>>>     trial['interest_areas'] = text.words()
>>> df = eyekit.measure.interest_area_report(data, ['total_fixation_duration', 'initial_fixation_duration'])
>>> print(df)
```

	participant_id	passage_id	interest_area_id	interest_area_text	total_fixation_duration	initial_fixation_duration
0	John	passage_a	0:0:1	C	0	0
1	John	passage_a	0:2:7	erano	241	130
2	John	passage_a	0:8:11	una	0	0
3	John	passage_a	0:12:17	volta	333	333
4	John	passage_a	0:18:21	tre	697	147
..
387	Jack	passage_c	10:33:38	erano	224	224
388	Jack	passage_c	10:39:45	troppe	200	200
389	Jack	passage_c	10:46:51	scale	181	181
390	Jack	passage_c	10:52:54	da	243	243
391	Jack	passage_c	10:55:59	fare	297	157

eyekit.vis



```
img = eyekit.vis.Image(1920, 1080)
```

```
img.save('output_image.png')
```

eyekit.vis

C'erano una volta tre Orsi, che vivevano in una casina nel bosco. C'era Babbo Orso grosso grosso, con una voce grossa grossa; c'era Mamma Orsa grossa la metà, con una voce grossa la metà; e c'era un Orsetto piccolo piccolo con una voce piccola piccola. Una mattina i tre Orsi facevano colazione e Mamma Orsa disse: "La pappa è troppo calda, ora. Andiamo a fare una passeggiata nel bosco, mentre la pappa diventa fredda". Così i tre Orsi andarono a fare una passeggiata nel bosco. Mentre erano via, arrivò una piccola bimba chiamata Riccioro. Quando vide la casetta nel bosco, si domandò chi mai potesse vivere là dentro, e picchiò alla porta. Nessuno rispose, e la bimba picchiò ancora. Nessuno rispose: Riccioro allora aprì la porta ed entrò. E là, nella piccola stanza, vide una tavola apparecchiata per tre.

```
img = eyekit.vis.Image(1920, 1080)
```

```
img.draw_text_block(txt)
```

```
img.save('output_image.png')
```

eyekit.vis

C'erano	una	volta	tre	Orsi,	che	vivevano	in	una	casina	nel	bosco	C'era	
Babbo	Orso	grosso	grosso,	con	una	voce	grossa	grossa,	c'era	Mamma	Orsa		
grossa	la	metà,	con	una	voce	grossa	la	metà,	e	c'era	un	Orsetto	piccolo
piccolo	con	una	voce	piccola	piccola	Una	mattina	i	tre	Orsi	facevano		
colazione	e	Mamma	Orsa	disse	"La	pappa	è	troppo	calda,	ora	Andiamo	a	
fare	una	passeggiata	nel	bosco,	mentre	la	pappa	diventa	fredda".	Così	i		
tre	Orsi	andarono	a	fare	una	passeggiata	nel	bosco	Mentre	erano	via,		
arrivò	una	piccola	bimba	chiamata	Riccidoro	Quando	vide	la	casetta	nel			
bosco,	si	domandò	chi	mai	potesse	vivere	là	dentro,	e	picchiò	alla	porta	
Nessuno	rispose,	e	la	bimba	picchiò	ancora	Nessuno	rispose	Riccidoro				
allora	aprì	la	porta	ed	entrò	E	là,	nella	piccola	stanza,	vide	una	tavola
apparecchiata	per	tre											

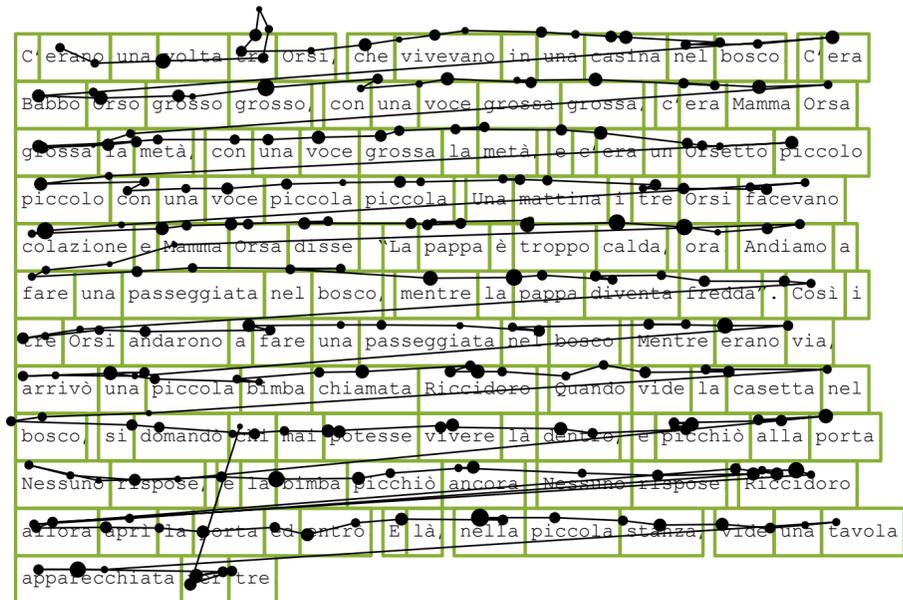
```
img = eyekit.vis.Image(1920, 1080)
```

```
img.draw_text_block(txt)
```

```
for word in txt.words():  
    img.draw_rectangle(word, color='green')
```

```
img.save('output_image.png')
```

eyekit.vis



```
img = eyekit.vis.Image(1920, 1080)
```

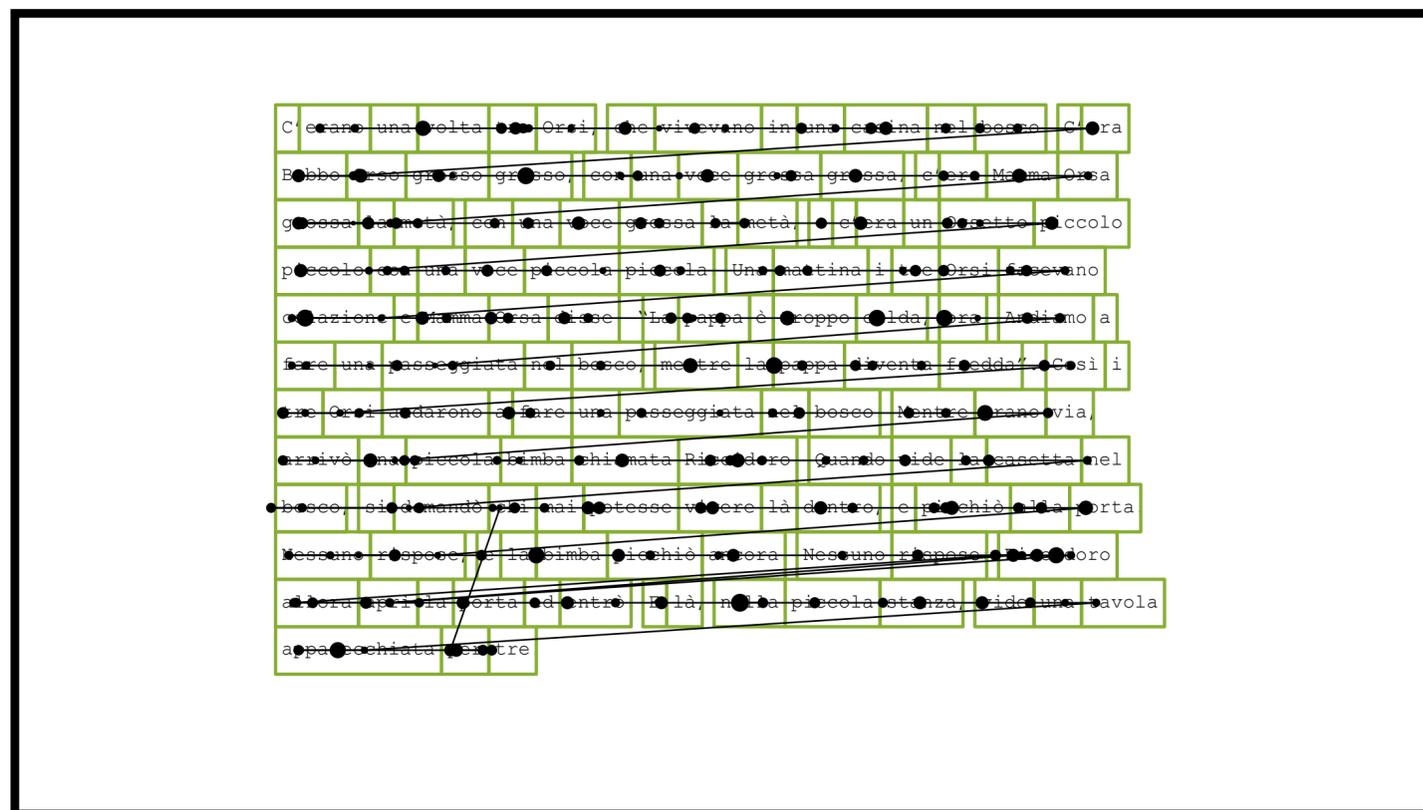
```
img.draw_text_block(txt)
```

```
for word in txt.words():  
    img.draw_rectangle(word, color='green')
```

```
img.draw_fixation_sequence(seq)
```

```
img.save('output_image.png')
```

eyekit.vis



```
img.draw_text_block(txt)
```

```
for word in txt.words():  
    img.draw_rectangle(word, color='green')
```

```
seq.snap_to_lines(txt, method='slice')
```

```
img.draw_fixation_sequence(seq)
```

```
img.save('output_image.png')
```

Summary

A bit more technical, but...

build custom experiments - fewer limitations

automate analysis pipeline - get reproducible output

scrutinize the software vendors' assumptions

Rich ecosystem of software - explore your options

Tutorial and documentation:
jwcarr.github.io/eyekit/

