

Gelişimsel Robotikte Yapay Öğrenme

Erol Şahin



**ODTÜ
Bilgisayar
Mühendisliği
Bölümü**

All copyright belongs to their rightful owners. Material used for educational purposes only.



**ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY**

**KOVAN Research Laboratory
Computer Engineering Dept.**

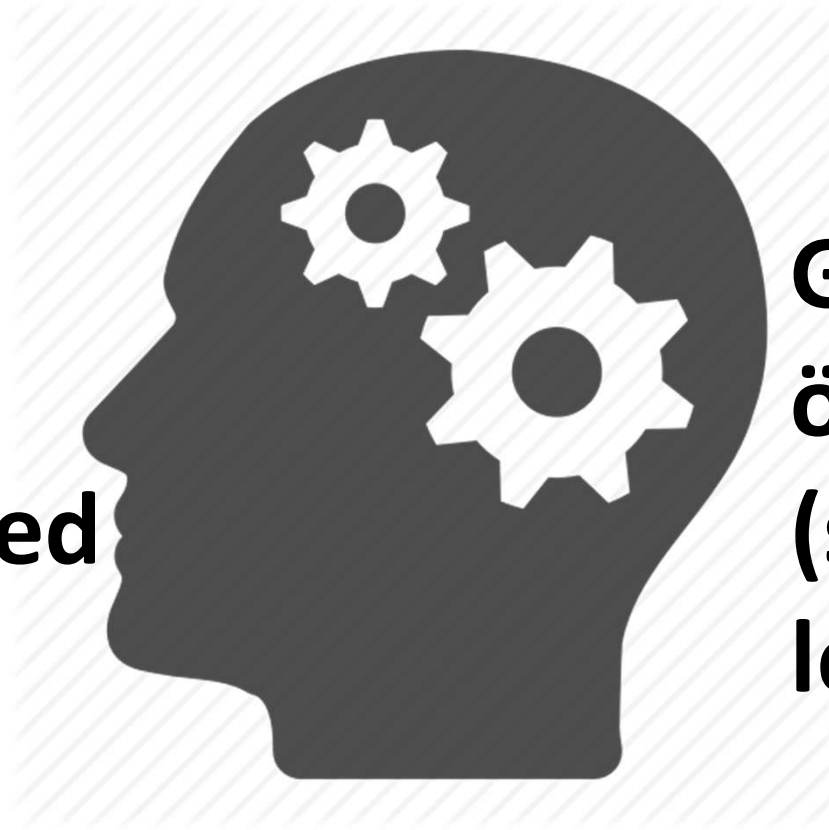


7



Pekiştirmeli öğrenme (reinforcement learning)

**Gözeticisiz
öğrenme
(unsupervised
learning)**



**Gözeticili
öğrenme
(supervised
learning)**

Bir Başarı Öyküsü



Ucu Açık Hayat Boyu Öğrenme

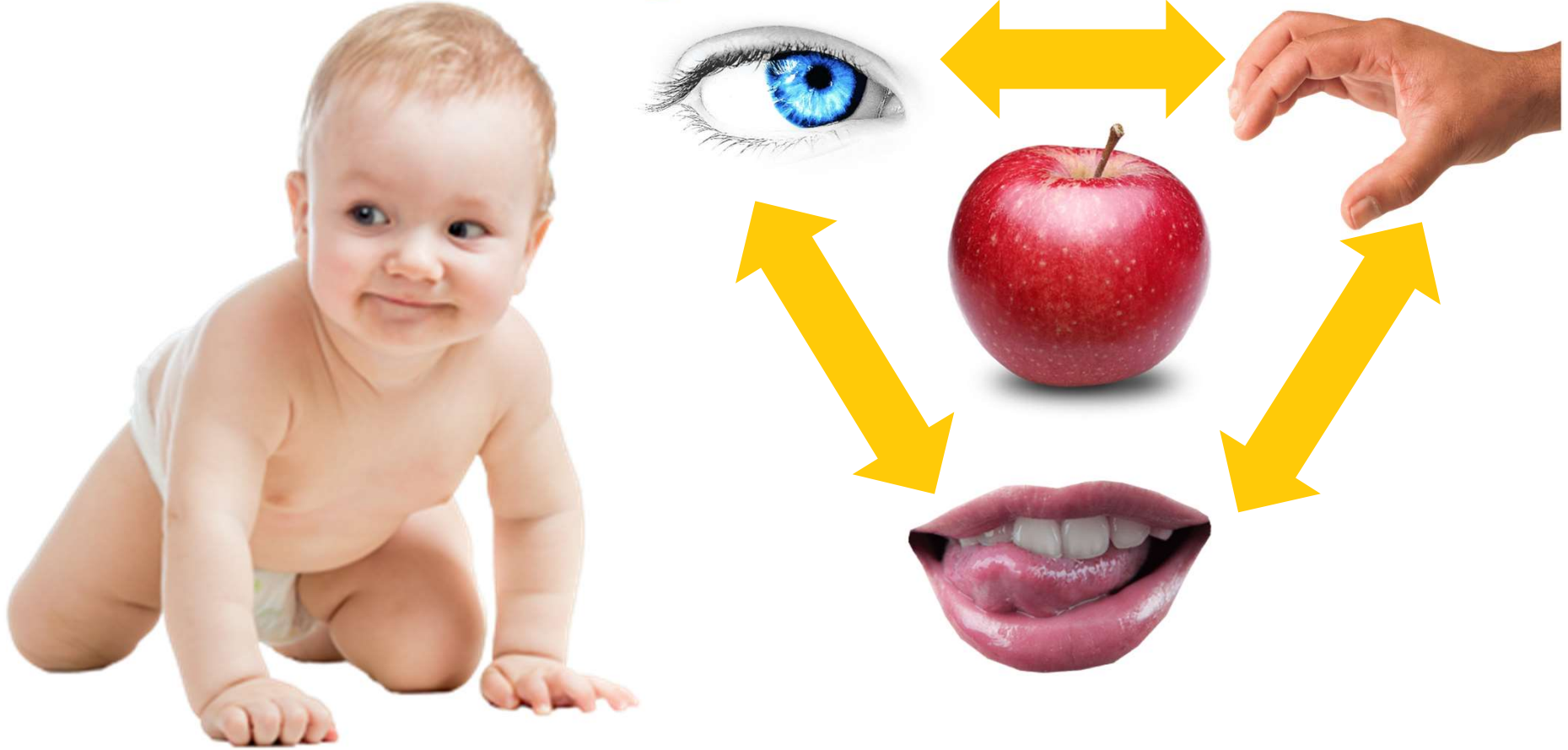


- Multi-modal
- Artırımsal
- Fiziksel
- Keşfet
- Sosyal
- Dil

Smith, Linda, and Michael Gasser. "The development of embodied cognition: Six lessons from babies." *Artificial life* 11.1-2 (2005): 13-29.

Ucu Açık Hayat Boyu Öğrenme

■ Multi-modal

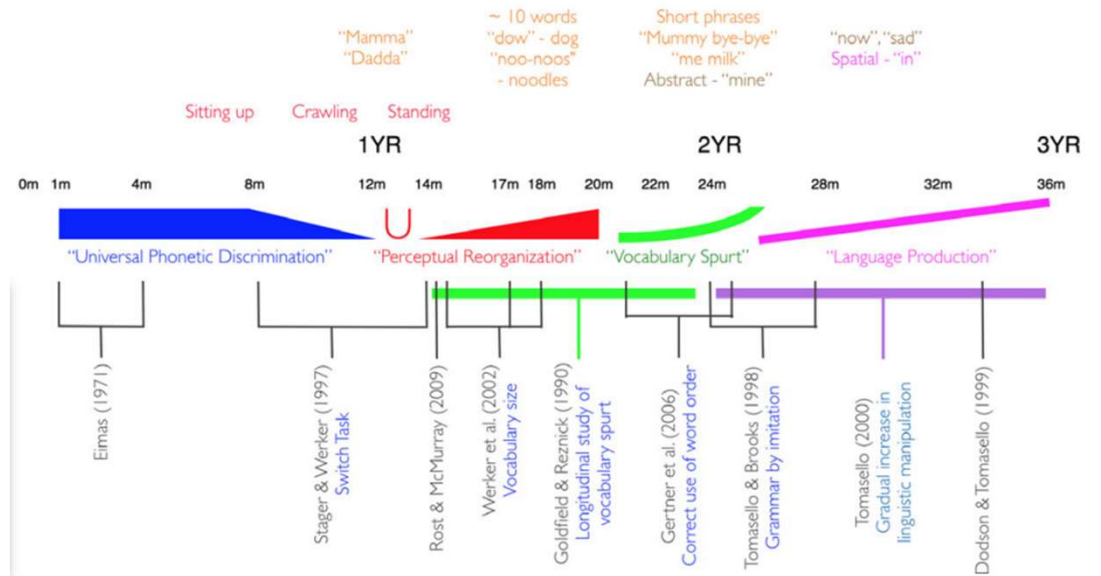


Smith, Linda, and Michael Gasser. "The development of embodied cognition: Six lessons from babies." *Artificial life* 11.1-2 (2005): 13-29.

Ucu Açık Hayat Boyu Öğrenme

■ Artırımsal

- Sınırlı etkileşim
- Fazlar halinde



Smith, Linda, and Michael Gasser. "The development of embodied cognition: Six lessons from babies." *Artificial life* 11.1-2 (2005): 13-29.

Ucu Açık Hayat Boyu Öğrenme



■ Fiziksel

- Vücut
 - Nerede başlayıp nerede biter
- Dünya
 - Nesnelerin kalıcılığı - Ceee
- Bellek olarak dünyanın kendisi
 - Farkları görememe

Smith, Linda, and Michael Gasser. "The development of embodied cognition: Six lessons from babies." *Artificial life* 11.1-2 (2005): 13-29.



Ucu Açık Hayat Boyu Öğrenme

■ Keşfet

- Herhangi bir hedef yönelik olmadan
- Basit refleksler, motor ve algı
- Önce kendi vücutları
- Sonra nesnelerin dinamikleri



Smith, Linda, and Michael Gasser. "The development of embodied cognition: Six lessons from babies." *Artificial life* 11.1-2 (2005): 13-29.

Ucu Açık Hayat Boyu Öğrenme

■ Sosyal

- Annenin davranışları başlangıçta bebeğinkileri taklit eder.
- Gülmeyi öğrenmek zor bir iş
- Karmaşık davranışları anne bebeğin daha rahat algılabileceği bir şekilde gösterip taklit sürecini kolaylaştırır



Smith, Linda, and Michael Gasser. "The development of embodied cognition: Six lessons from babies." *Artificial life* 11.1-2 (2005): 13-29.

Ucu Açık Hayat Boyu Öğrenme

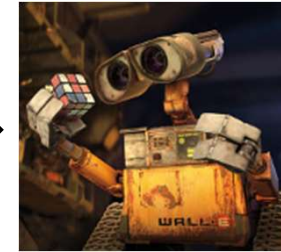
■ Dil

- Sembol toplarlama
- Sensorimotor davranışları ayrık etiketlerle ilintilendirme
- Kaldırmak nedir?
- Kar nedir?



Smith, Linda, and Michael Gasser. "The development of embodied cognition: Six lessons from babies." *Artificial life* 11.1-2 (2005): 13-29.

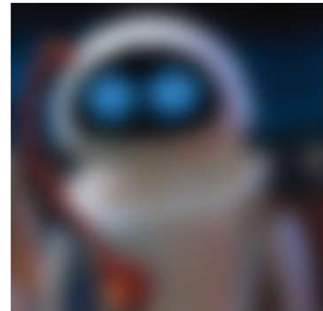
Akıllı Robotlar için Gelişimsel Robotik



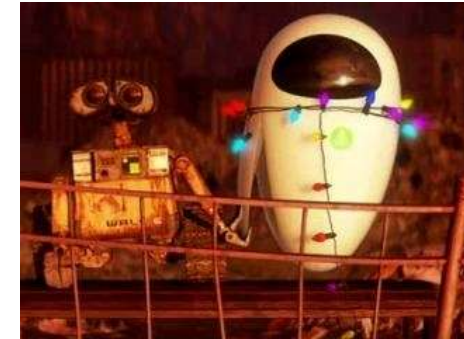
Basit davranışlardan karmaşık davranışlara gelişim



Fiziksel etkileşim
Hedef gözetmeyen öğrenme



Başlangıçta sınırlı algı ve motor yetenekler

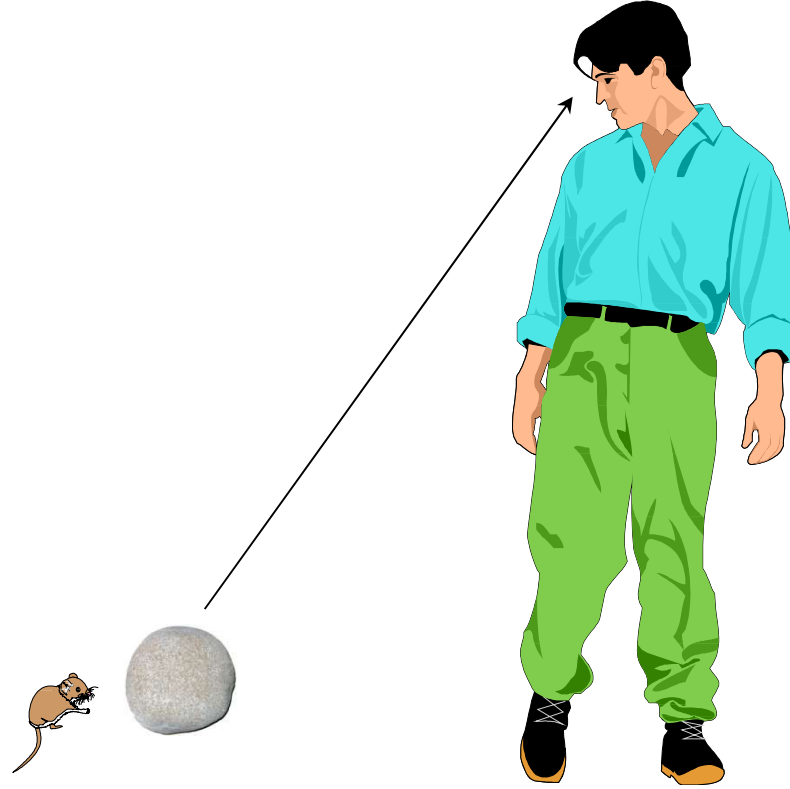


Algısal ve davranışsal kategoriler ve hedefe yönelik davranışlar

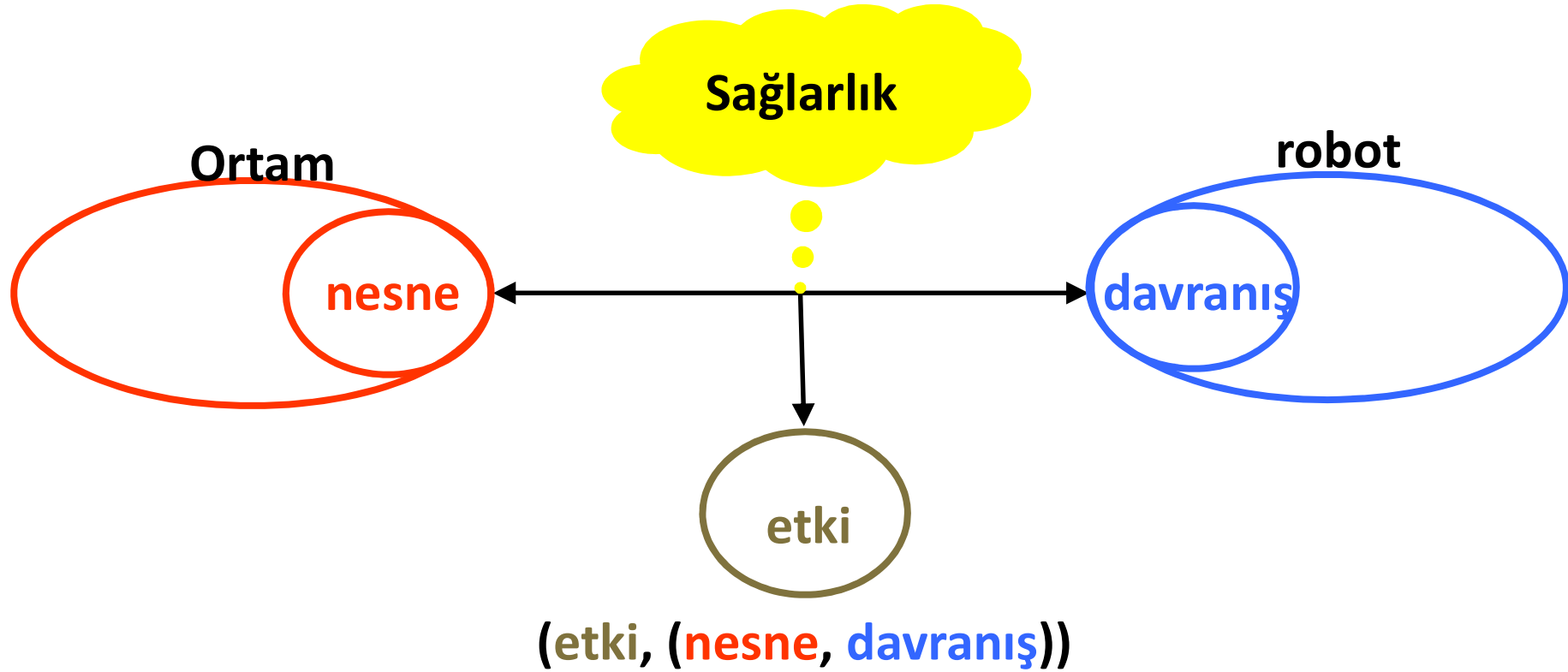
* Asada et.al.'2001, Weng et.al.'2001, Zlatev and Balkenus'2001, Lungarella 2003

Emre Uğur ve Erhan Öztop ile ortak çalışma

Ekolojik Psikoloji ve Saęlarlık (Affordance)



Formalizasyon



Gelişimsel Adımlar

YAŞ	BEBEK GELİŞİMİ	ROBOT SKILL LEARNING & TARGETS
0 months	Doğuştan gelen refleksler ve basit hareketler	Built-in reflex and simple actions
0-5 months	Refleks kullanır ve basit hareket egzersizleri yapar	Execute built-in actions with different hand speeds. Discover a set of behaviors.
5 months	Tutmak için nesnelere doğru hızda yaklaşır	Can grasp object with correct hand speed
7-9 months	Tutma, bırakma gibi davranışlarla ortamı keşfeder	Explore environment with the discovered set of behaviors
7-9 months	Nedenselliği ve nesne dinamiklerini öğrenir	Monitor the environment and learn affordances
9 months	Nesnelere doğru el yönelimi ile erişir	Can parameterize behaviors execution using affordances
12 months	Hareketleri taklit eder	Emulate goals using affordances
12 months	Simple multi-step plans	Generate plans using affordances

Gelişimsel Çerçeve

(< 7 ay)

Adım 1: Davranış repertuarı oluşturma



Tutma refleksi



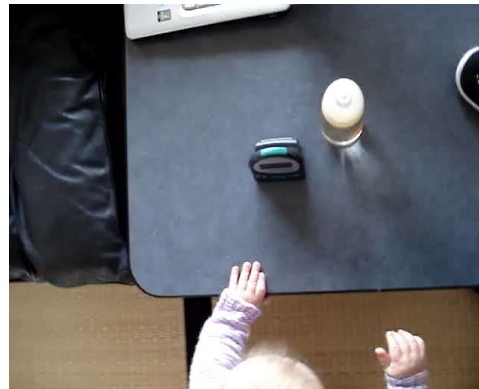
Erişme çabaları



Açık/kapalı el ile erişme ve bırakma



Elin hızını kontrol



Gelişmiş tutma yeteneği



Gelişimsel Çerçeve

Robot öğrenme adımları

Adım 1: Davranış repertuarı oluşturma

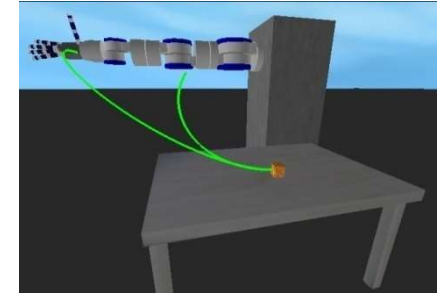
- Doğuştan gelen refleks ile etkileş
- Kaba bir algı sistemi ile veri al
- Basit bir ortam

Adım 2: Sağlıkları öğrenme

- Keşfedilen davranışlarla etkileş
- Gelişmiş bir algı sistemi ile veri al
- Daha karmaşık bir ortam

Adım 3: Sağlıkların hedefe yönelik kullanımı

- Davranışların yaratacağı etkiyi öngör
- Çok adımlı planlar yap
- Planın uygulanmasını takip et

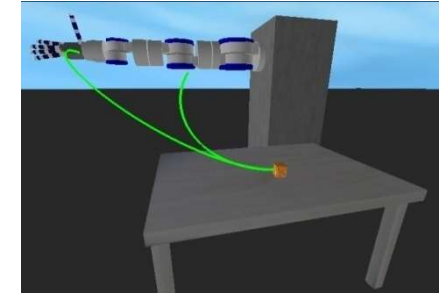


Gelişimsel Çerçeve

Robot öğrenme adımları

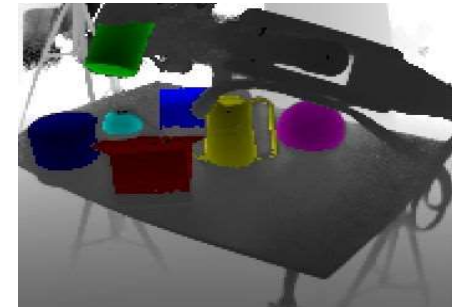
Adım 1: Davranış repertuarı oluşturma

- Doğuştan gelen refleks ile etkileş
- Kaba bir algı sistemi ile veri al
- Basit bir ortam



Adım 2: Sağlıklıkları öğrenme

- Keşfedilen davranışlarla etkileş
- Gelişmiş bir algı sistemi ile veri al
- Daha karmaşık bir ortam



Adım 3: Sağlıklıkların hedefe yönelik kullanımı

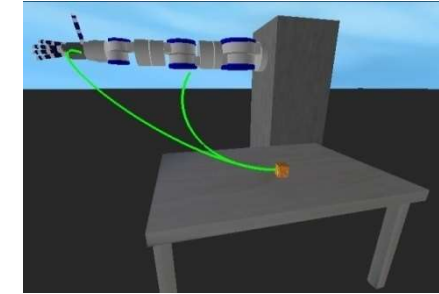
- Davranışların yaratacağı etkiyi öngör
- Çok adımlı planlar yap
- Planın uygulanmasını takip et

Gelişimsel Çerçeve

Robot öğrenme adımları

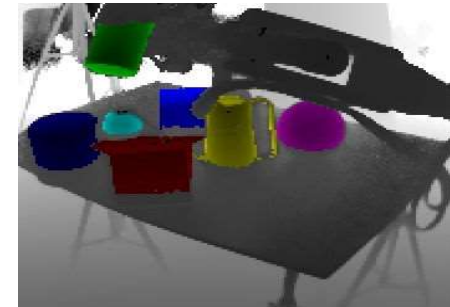
Adım 1: Davranış repertuarı oluşturma

- Doğuştan gelen refleks ile etkileş
- Kaba bir algı sistemi ile veri al
- Basit bir ortam



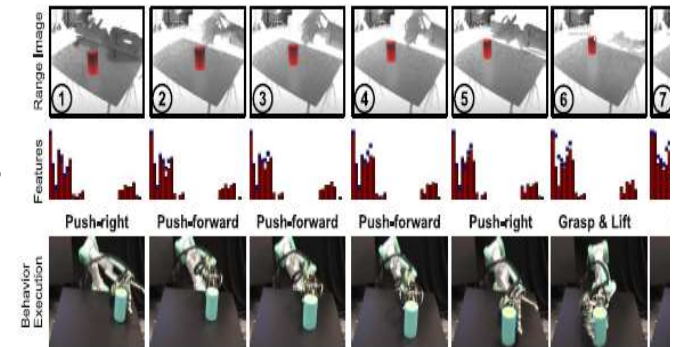
Adım 2: Sağlıkları öğrenme

- Keşfedilen davranışlarla etkileş
- Gelişmiş bir algı sistemi ile veri al
- Daha karmaşık bir ortam



Adım 3: Sağlıkların hedefe yönelik kullanımı

- Davranışların yaratacağı etkiyi öngör
- Çok adımlı planlar yap
- Planın uygulanmasını takip et

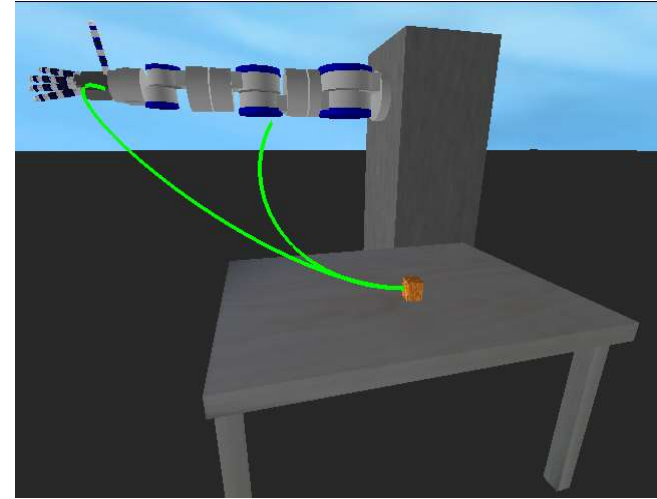


Adım 1: Davranış Repertuarı oluştur

Davranışlar ve etkileşim

Salla-El (hız)

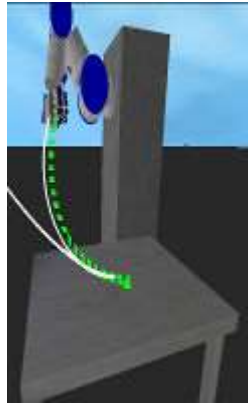
- Erişme refleksi: Eli nesneye doğru salla ve geri getir
- Tutma refleksi: Avuç içindeki sensor aktive olursa eli kapat
- Kapalı olsa bile rasgele eli aç
- Dokunma (açık/kapalı) ve görsel (görünür/görünmez) algıları takip et
- Önce Dokunma algısına bağlı olarak parçala
- Daha sonra görsel algıya göre ayırdet



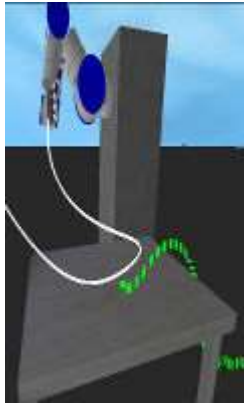
Aynı noktada tek nesne

Adım 1: Davranış Repertuarı oluştur

Algılara bağlı davranış kategorileri



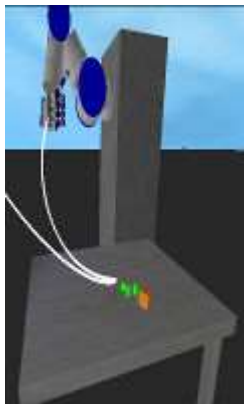
Tut



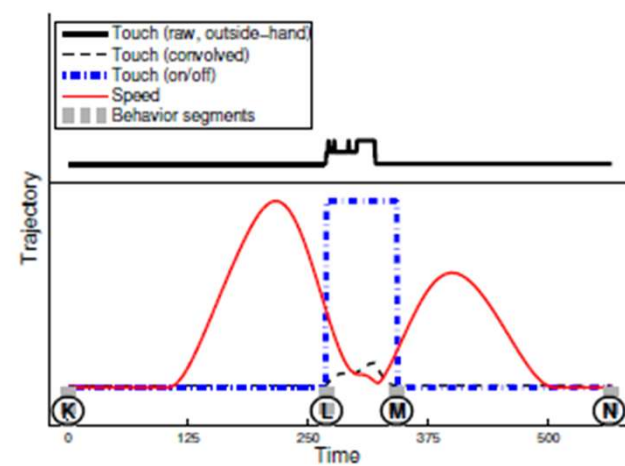
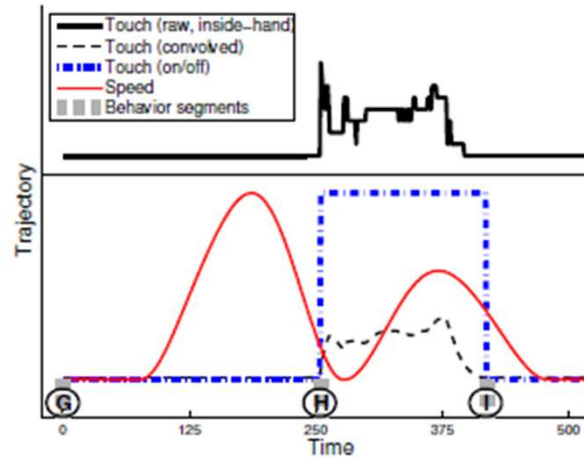
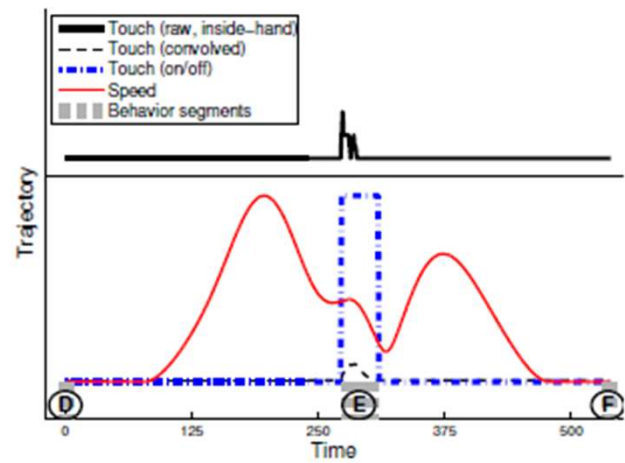
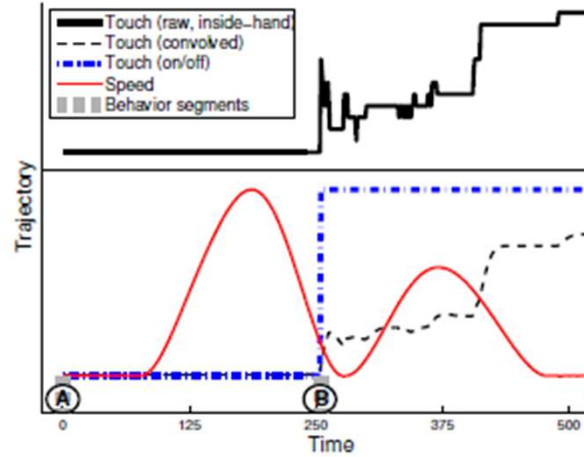
Vur



Düşür



Tıkla



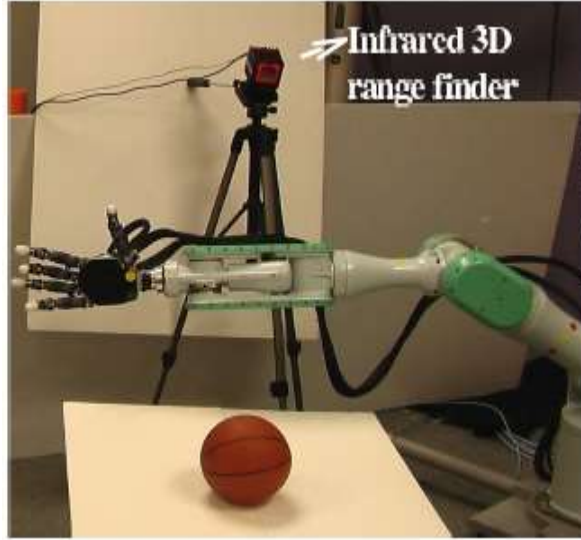
Adım 1: Davranış Repertuarı oluştur

Algılara bağlı keşfedilen davranışlar

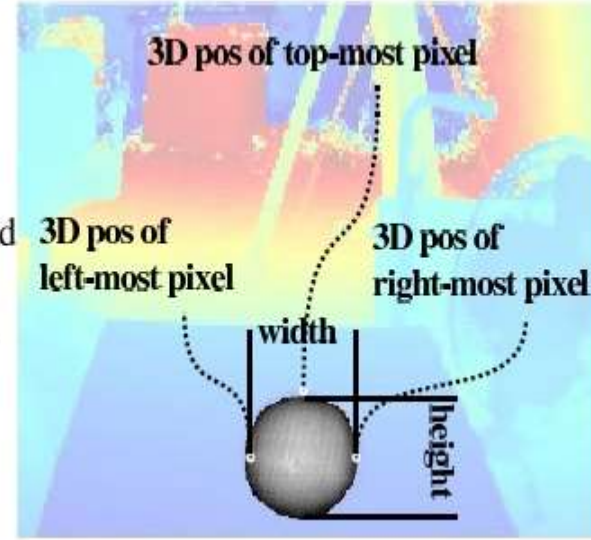
Name	Init Touch	Final Touch	Init Vel	Final Vel	Grasp reflex	Dir.	Final object
Tut	Off	On	[0-0]	[19-22]	On	Obj	
Taşı	On	On	[19-21]	[0-0]	On	Self	
Düşür	On	Off	[22-27]	[28-35]	On	Self	
Bırak	On	Off	[19-21]	[10-70]	Off	Self	
Vur	Off	Onf	[0-0]	[24-76]	On	Obj	
İttir ₁	Onf	Off	[25-46]	[0-0]	On	Self	
İttir ₂	Off	Off	[25-65]	[0-0]	On	Self	

Adım 2: Sağlıklarını öğren

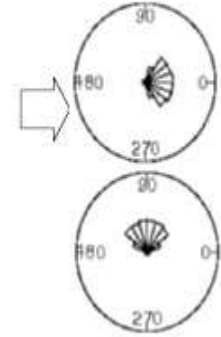
Görsel algı



3D scan
Reduce noise
Subtract Background
Detect Object



Angular Histograms

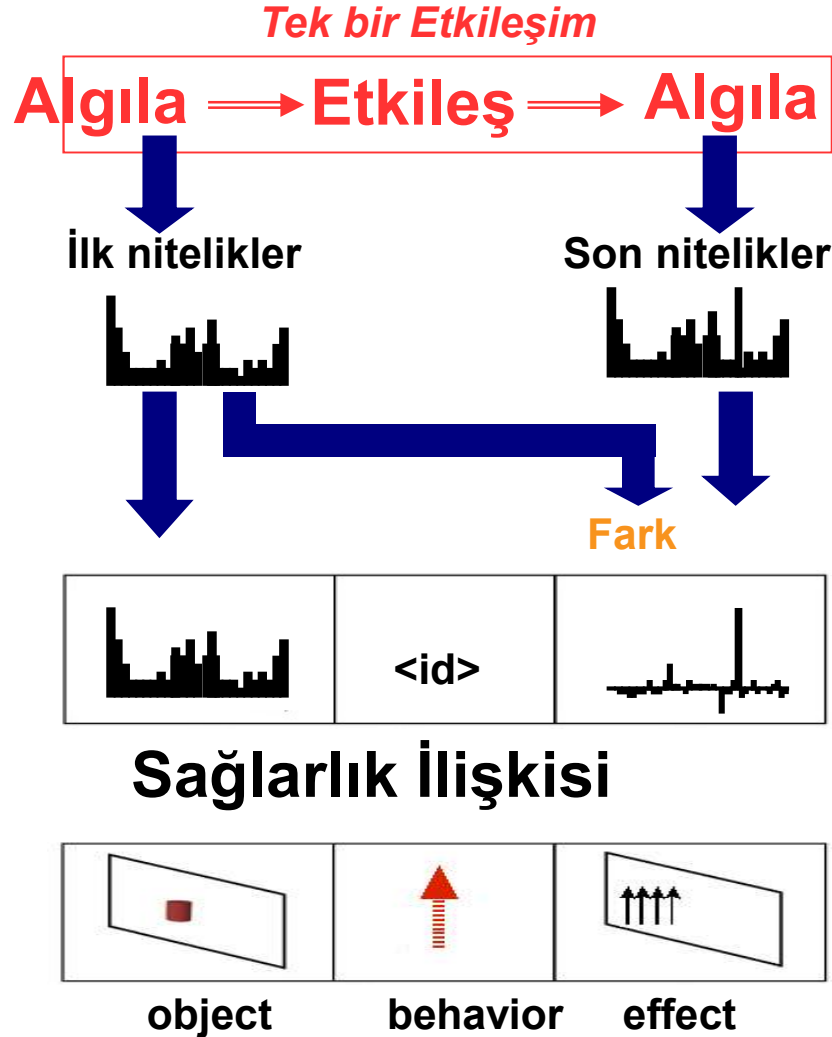


Nesnenin nitelik vektörü

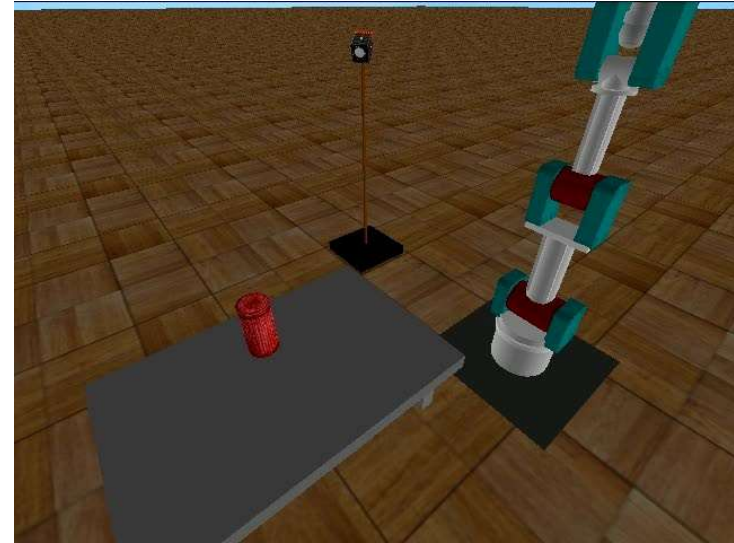
- 1 nesnenin görünürlüğü
- 36 şekil ile ilgili nitelikler
- 1 uzaklık
- 4x3 pozisyon niteliği
- 3 büyüklük niteliği

Adım 2: Sağlarlıkları öğren

Keşfetme

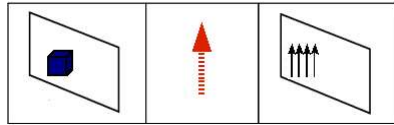
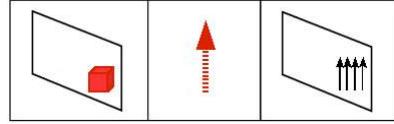
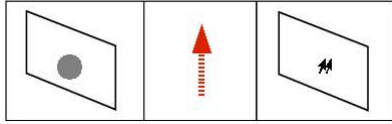
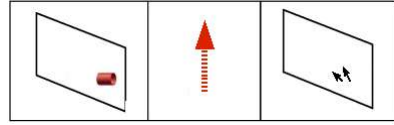
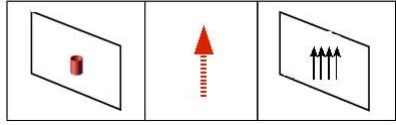


- Rasgele yönelim
- Rasgele pozisyon
- İtme ve kaldırma davranışları ile 1000 değişik etkileşim



Adım 2: Sağlarlıkları öğren

Etki Kategorileri

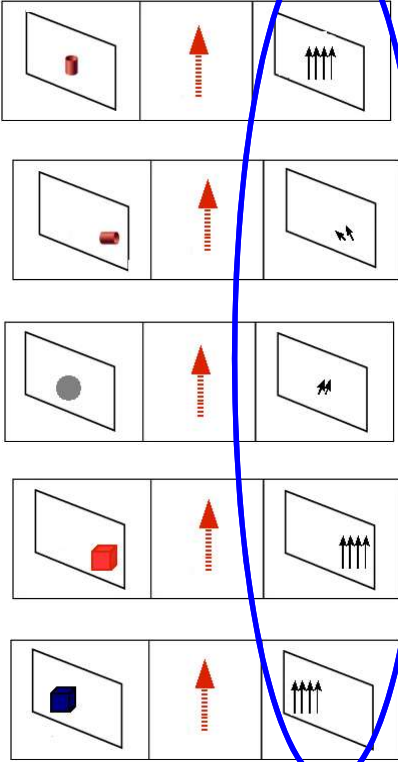


- Her davranış farklı tipte etkiler yaratır
- Bunlar değişik sağlarlıklara karşılık gelir
 - Tutula-bilir, kaldırıla-bilir
 - İttirile-bilir, yuvarlana-bilir, düşürüle-bilir
 - Erisile-bilir
- Etki uzayında kategori oluşturma

Adım 2: Sağlarıkları öğren

Etki Kategorileri

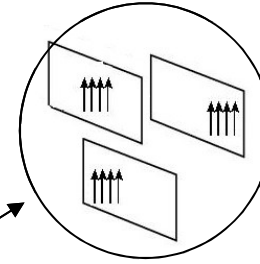
Kaldırma davranışı



Başarı/Başarısızlık bilgisi yok!

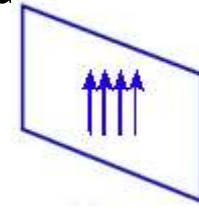
Clustering
(k=2)

Etki kategorisi
id-1

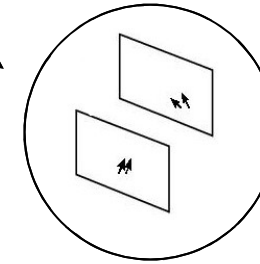


ortalama

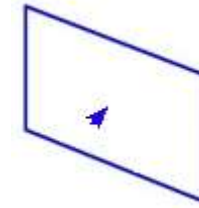
Etki
prototipi-
1



Etki kategorisi
id-2



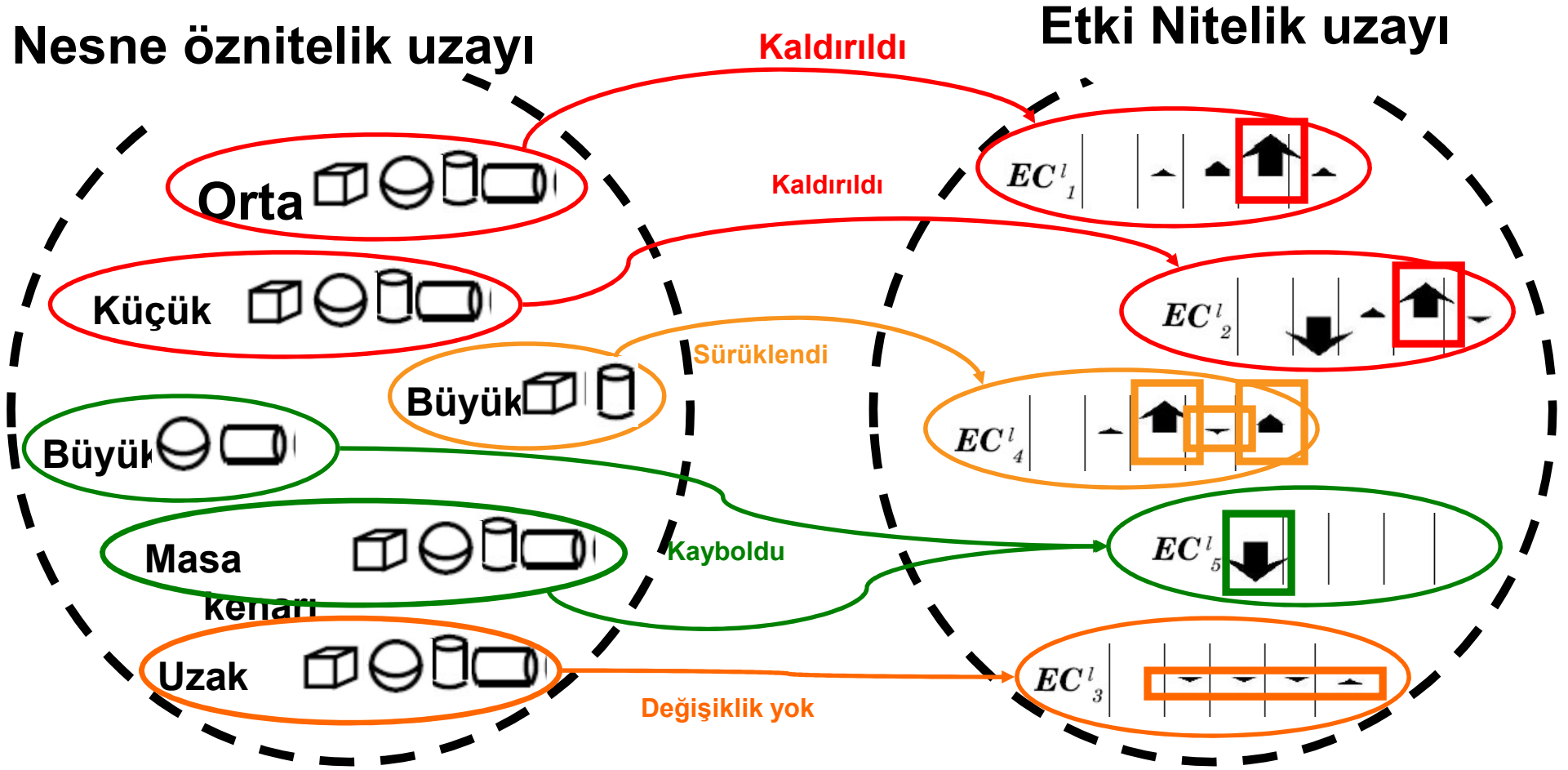
mean



Etki
prototipi-2

Adım 2: Sağlıklıkları öğren

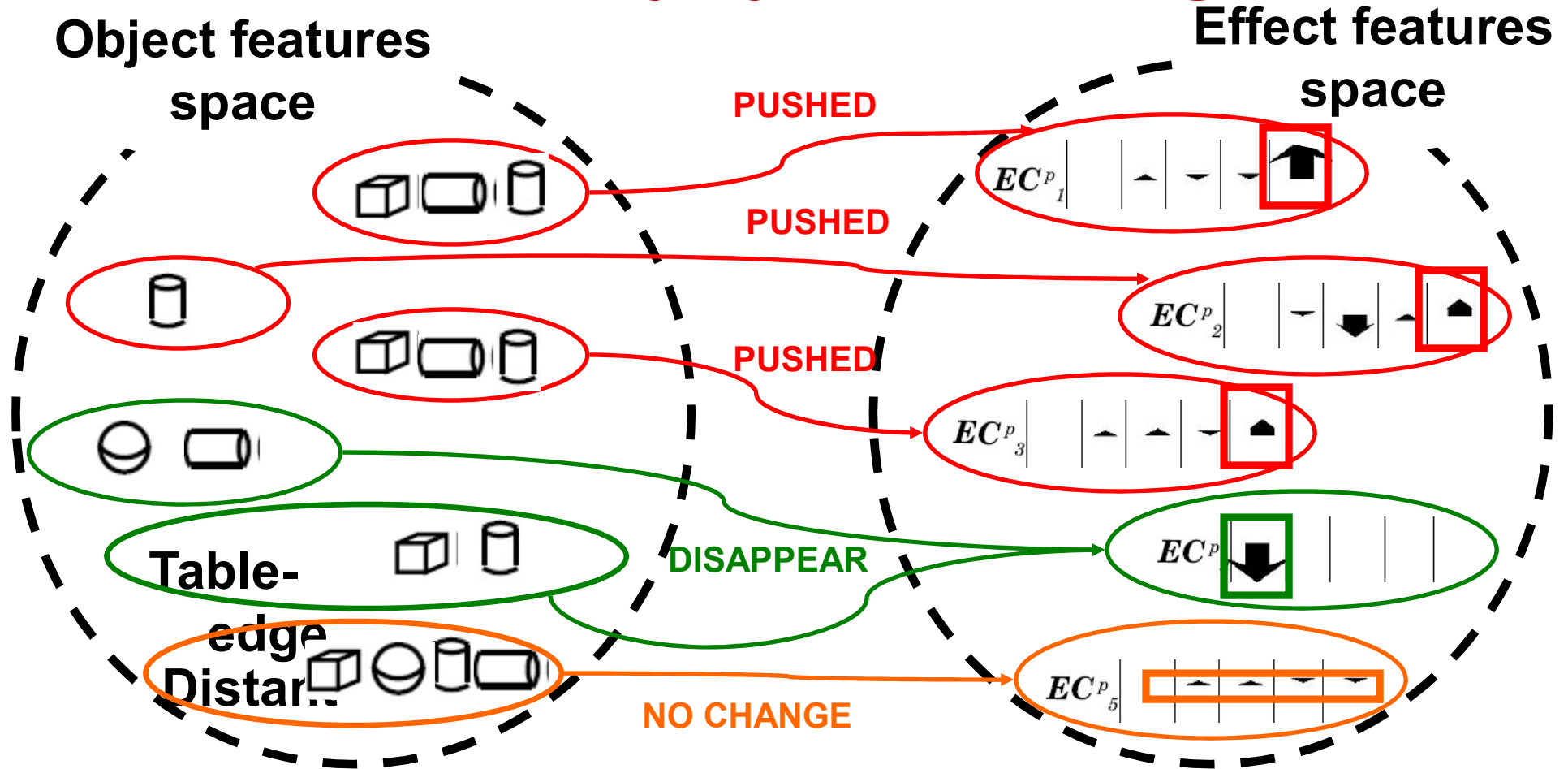
Kaldırma davranışı için Etki Kategorileri



X-means ile bulunan 5 değişik etki kategorisi

Adım 2: Sağlıkları öğren

İttirme davranışı için Etki Kategorileri

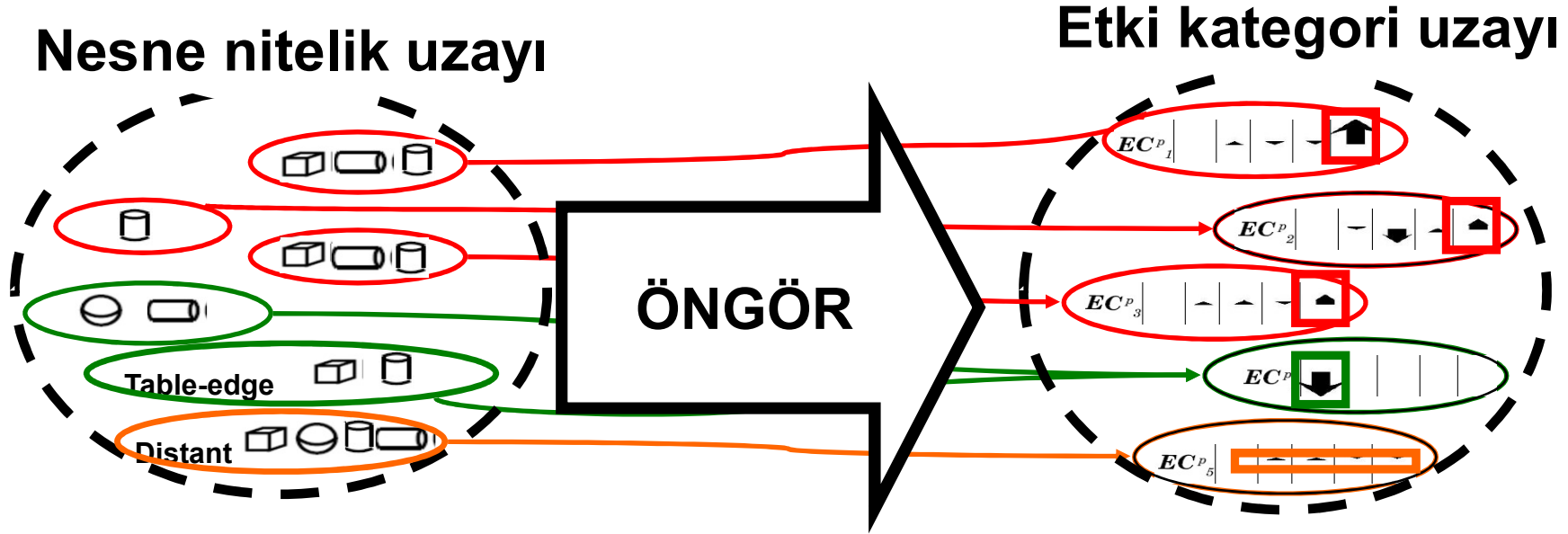


5 different effect categories are found by X-means

Adım 2: Sağlıkları öğren

Planlama için Öngörü

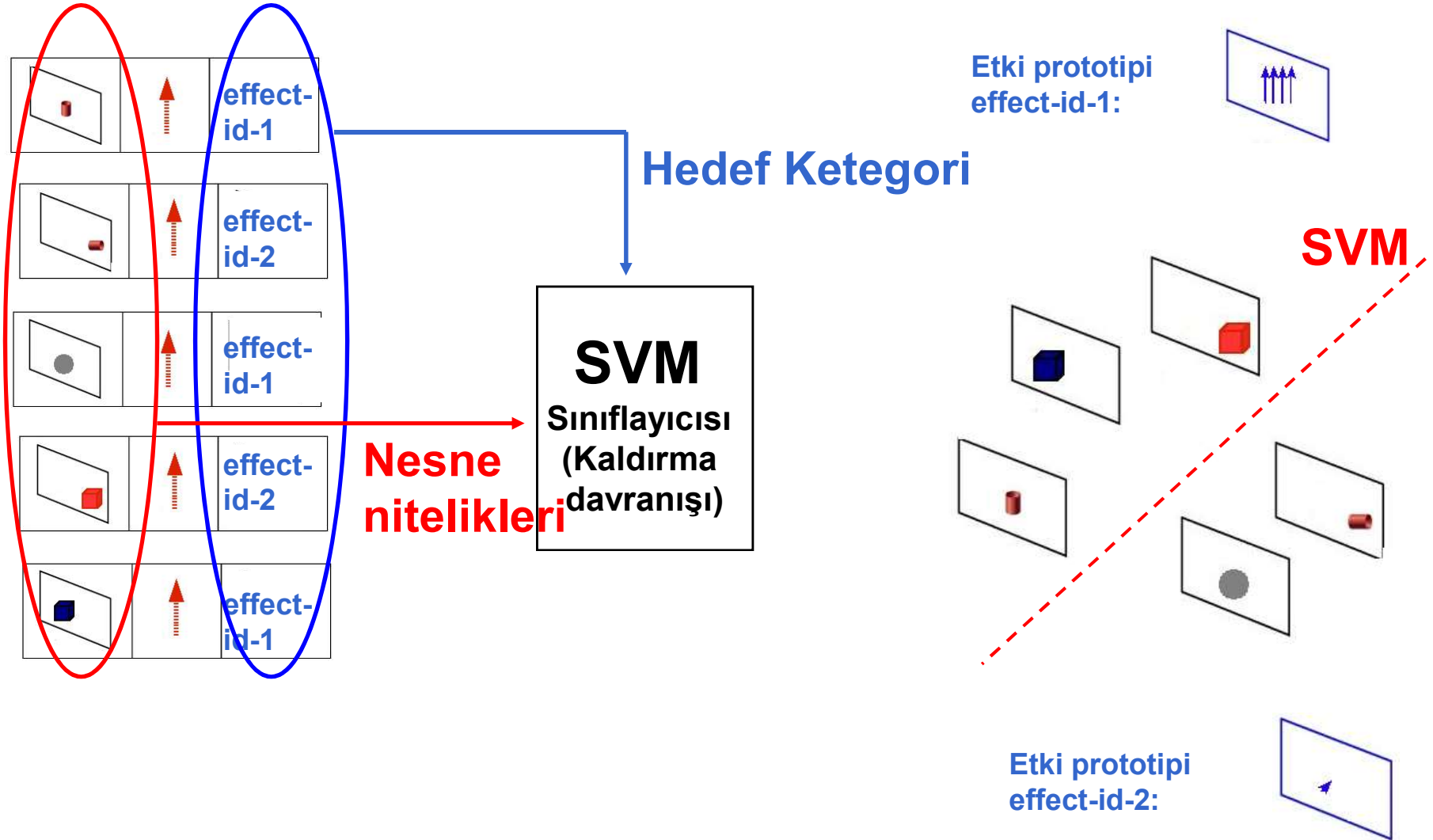
- Nesne nitelikleri ve davranış
→ Etki kategorisi öngör



- Her davranış için bir sınıflayıcı eğit

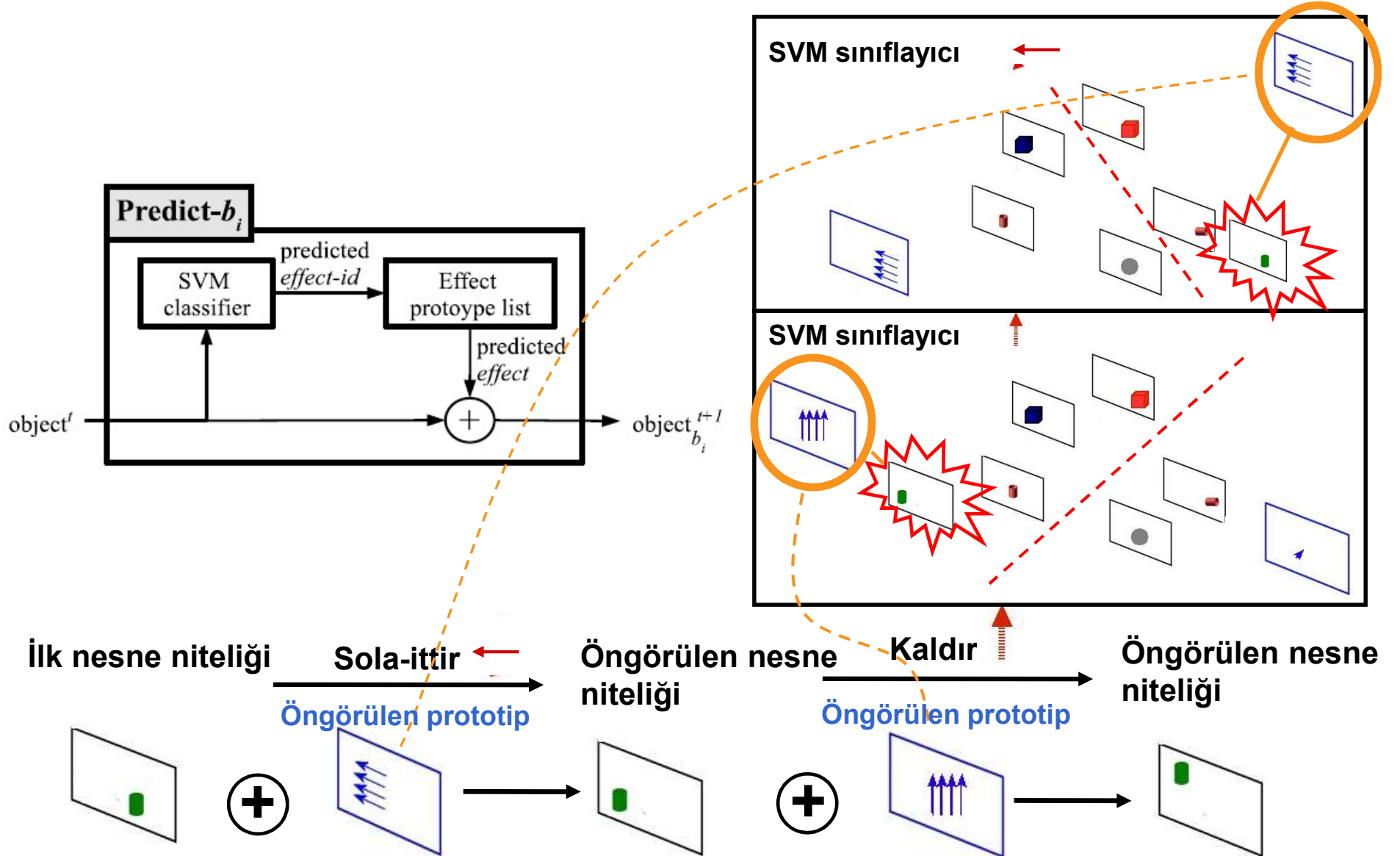
Adım 2: Sağlarlıkları öğren

Planlama için Öngörü

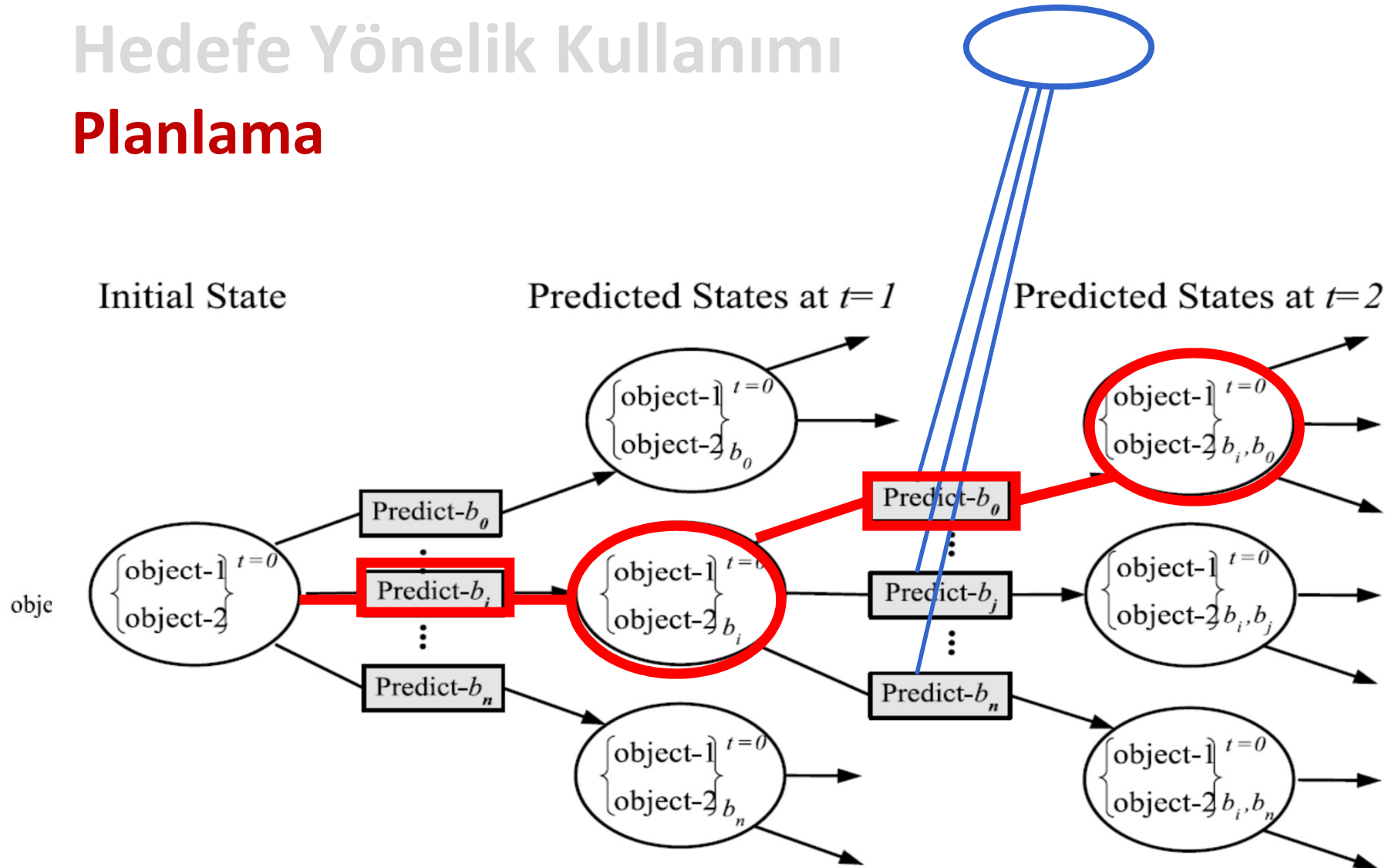


Adım 3: Sağlarlıkların Hedefe Yönelik Kullanımı

Nesne niteliklerinin geleceğe yönelik öngörüsü



Adım 3: Sağlarlıkların Hedefe Yönelik Kullanımı Planlama



$$S_{\{b^1 \dots b^{t-1}\}}^t = [\mathbf{p}_{o_1, \{b^1 \dots b^{t-1}\}}^t \cdot \dots \cdot \mathbf{p}_{o_m, \{b^1 \dots b^{t-1}\}}^t]$$

Adım 3: Sağlarlıkların Hedefe Yönelik Kullanımı

Hedef: Masayı temizle

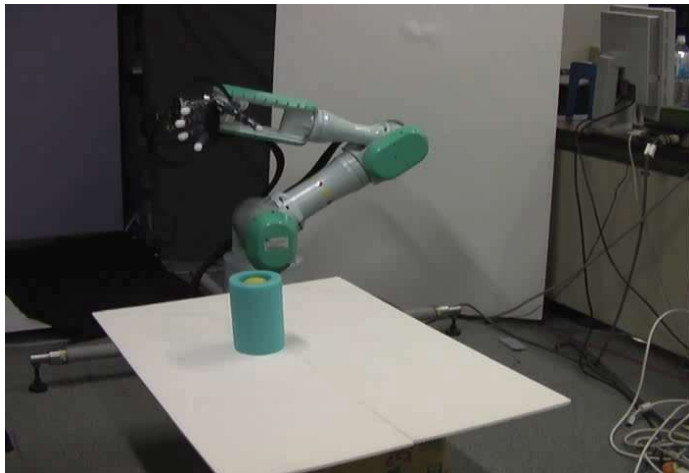
- Hedef: Nesne görünürlük niteliği 0 olmalı

sağa-ittir



Sağa-ittir

push-right



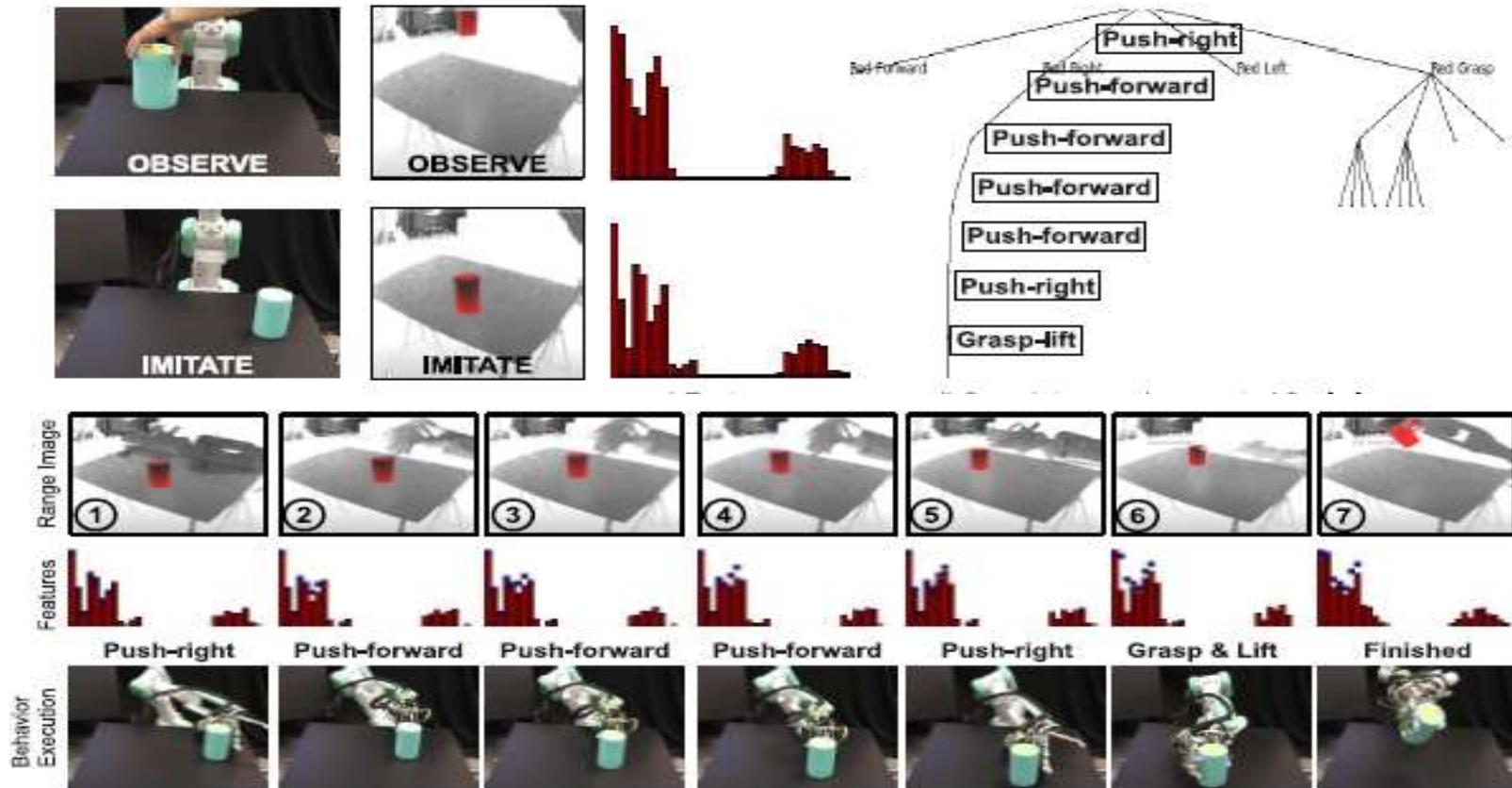
1. Kaldır
2. İleri ittir

Bırakma
Davranışı oluşuyor

Adım 3: Sağlarlıkların Hedefe Yönelik Kullanımı

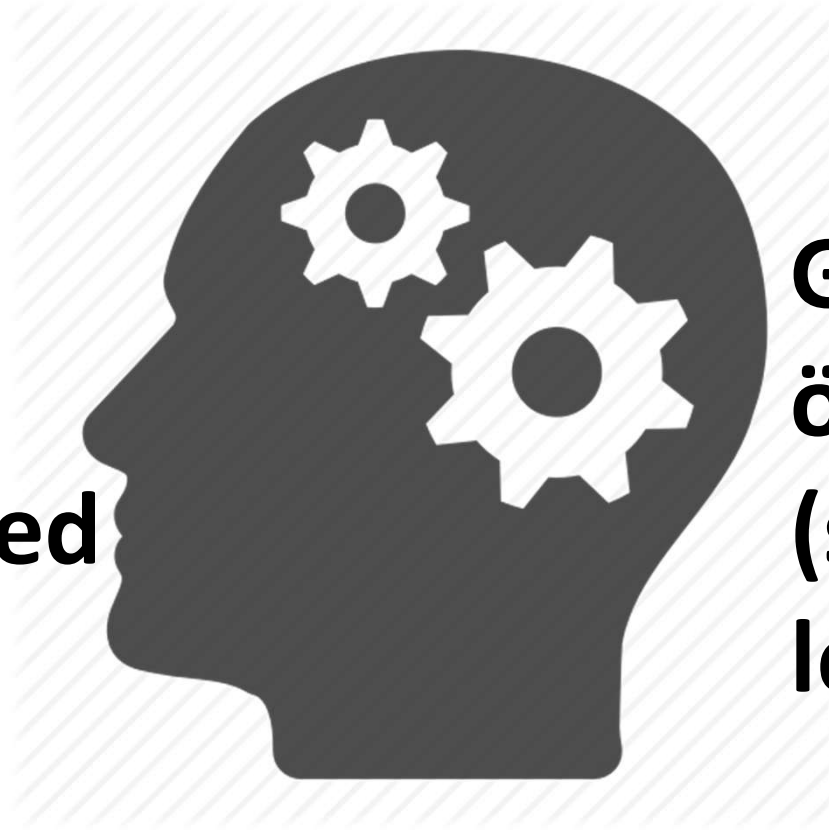
Hedef: Nesneyi hedef pozisyona getirir

- Hedef : Nesnenin pozisyon niteliğini gösterilen nesneninkine yaklaştırır



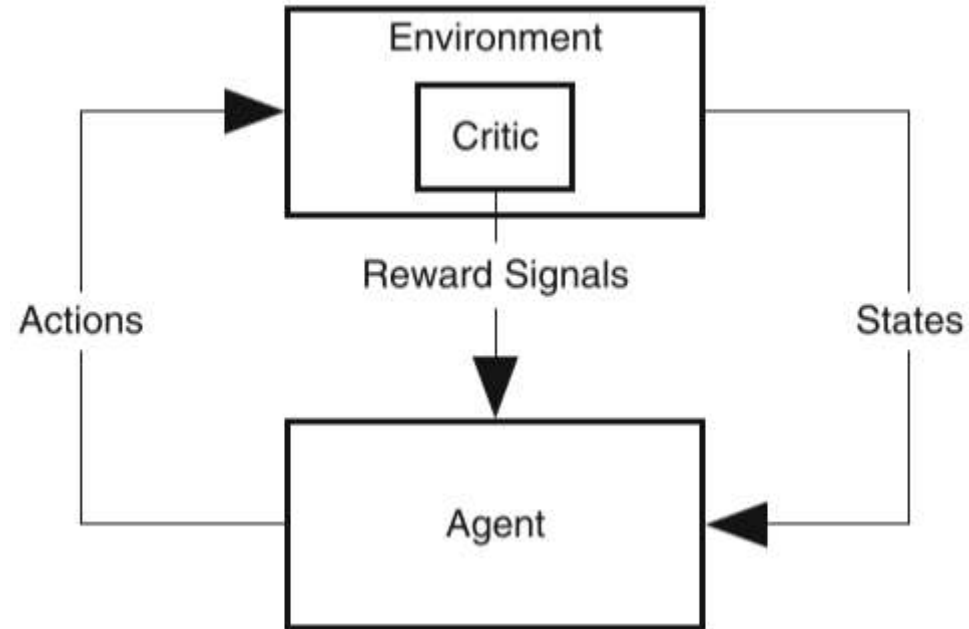
Pekiştirmeli öğrenme (reinforcement learning)

**Gözeticisiz
öğrenme
(unsupervised
learning)**



**Gözeticili
öğrenme
(supervised
learning)**

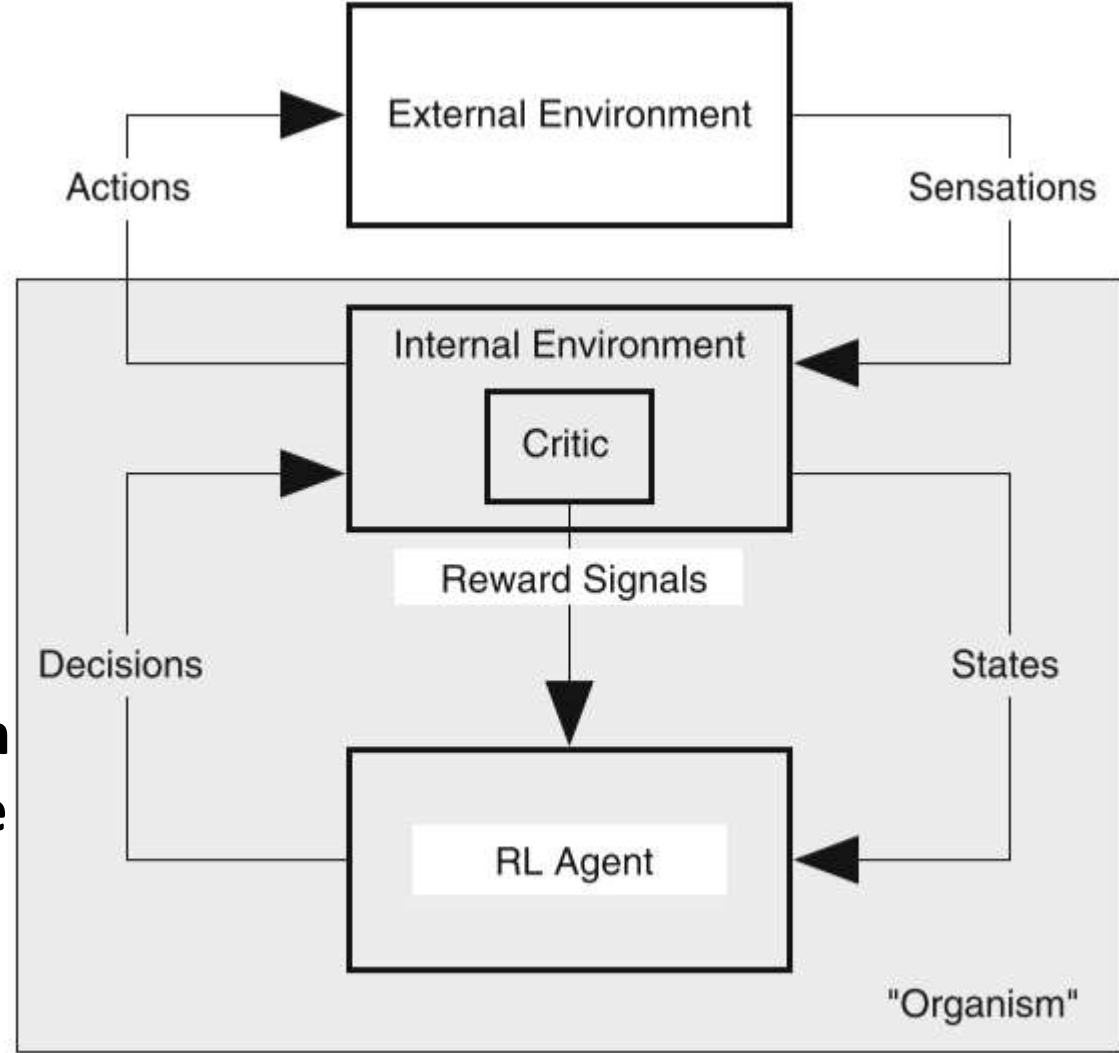
Pekiştirmeli Öğrenme



Pekiştirmeli Öğrenme – İçsel Motivasyon

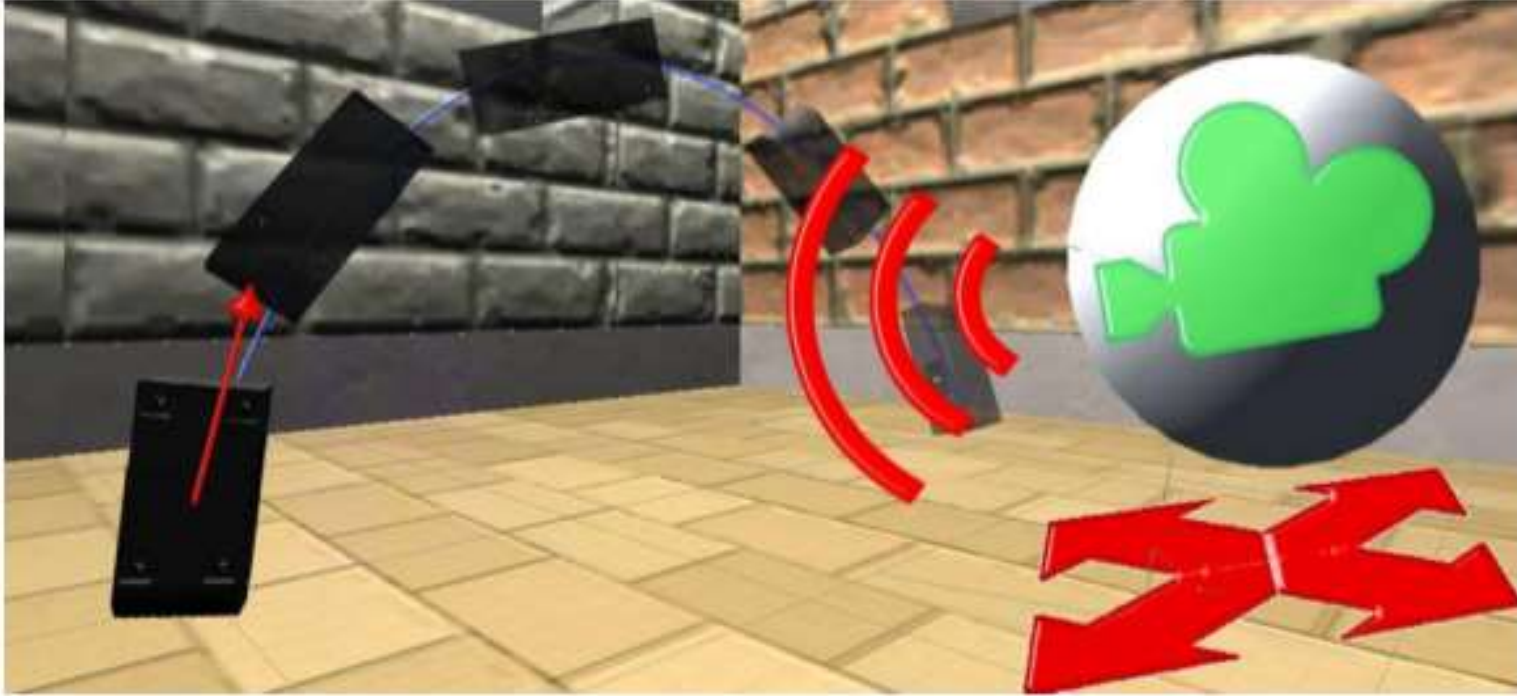
Motivasyon =
İçsel durum
X
Ortamdaki teşvik

- Çocuklar
 - Merak
 - Keşfetme isteği
- Maymunlar
 - Ucunda ödül olmayan mekanizmaları çözme
- Fareler
 - Aşına olmadıkları yerleri gezme



Barto, Andrew G. "Intrinsic motivation and reinforcement learning." Intrinsicly motivated learning in natural and artificial systems. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. 17-4

İçsel Motivasyon – Son gelişmeler



- **Algı: Ortamın avatarın gözünden görünümü**
- **Davranış:**
 - 2 tane hareket etme
 - N tane nesneye 6 boyutta (3 kuvvet, 3 tork) uygulama

Haber, Nick, et al. "Learning to Play With Intrinsically-Motivated, Self-Aware Agents." *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2018.

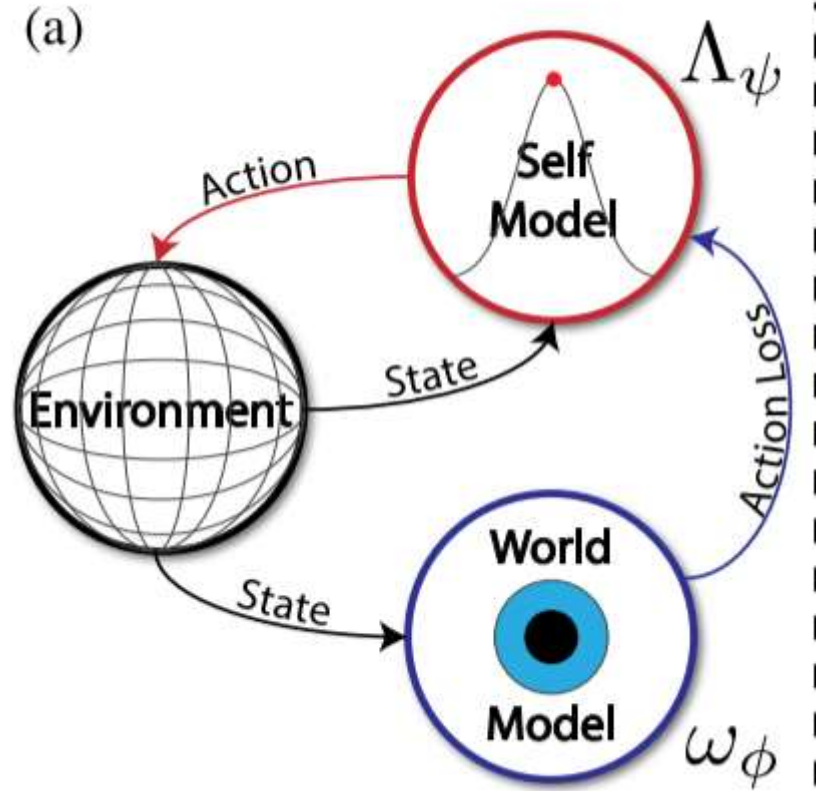
İki değişik model

■ World modeli:

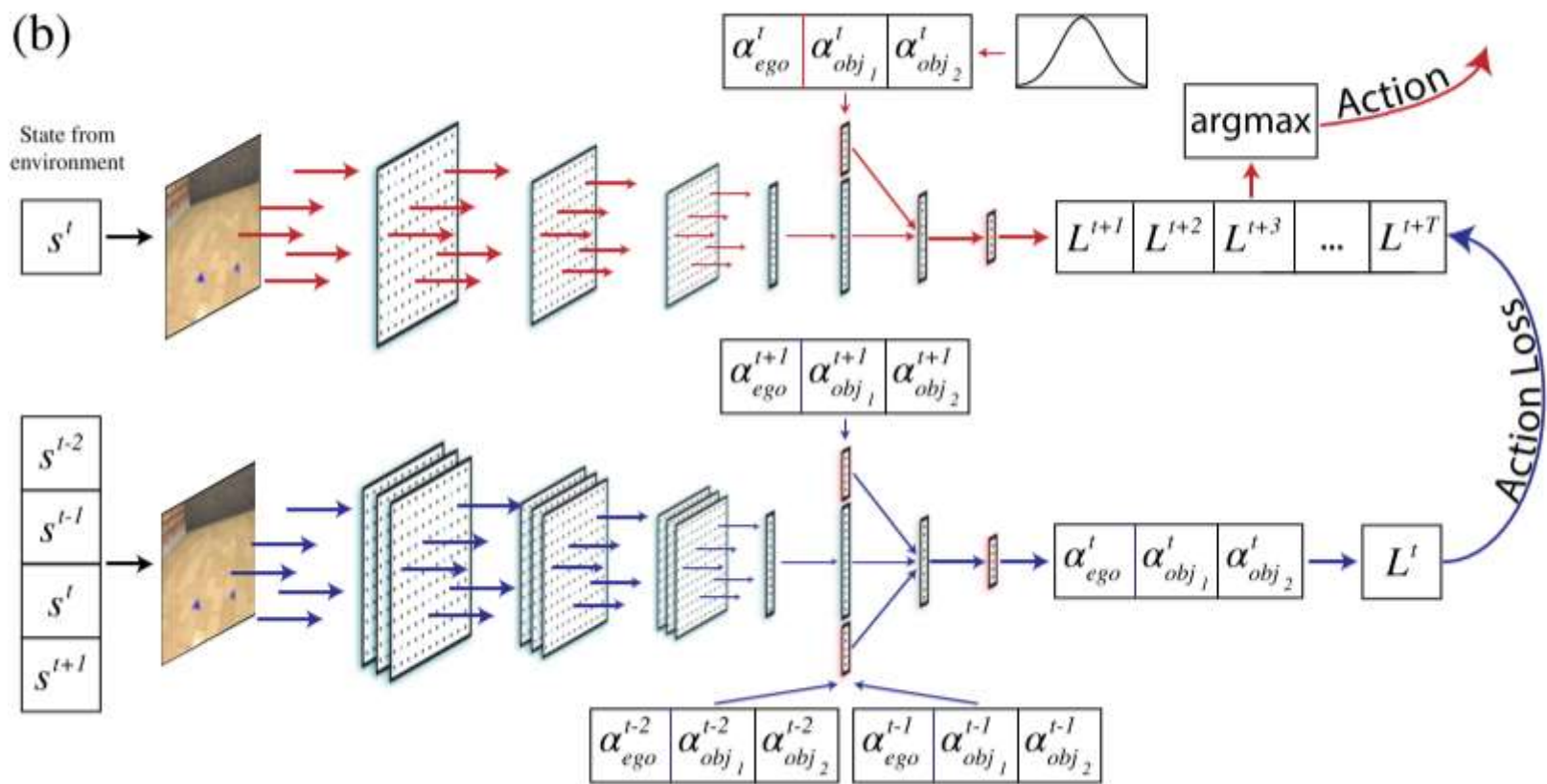
- Dünyanın dinamięi
- Şu andaki durum ve davranış ile bir sonraki durumu öngörme

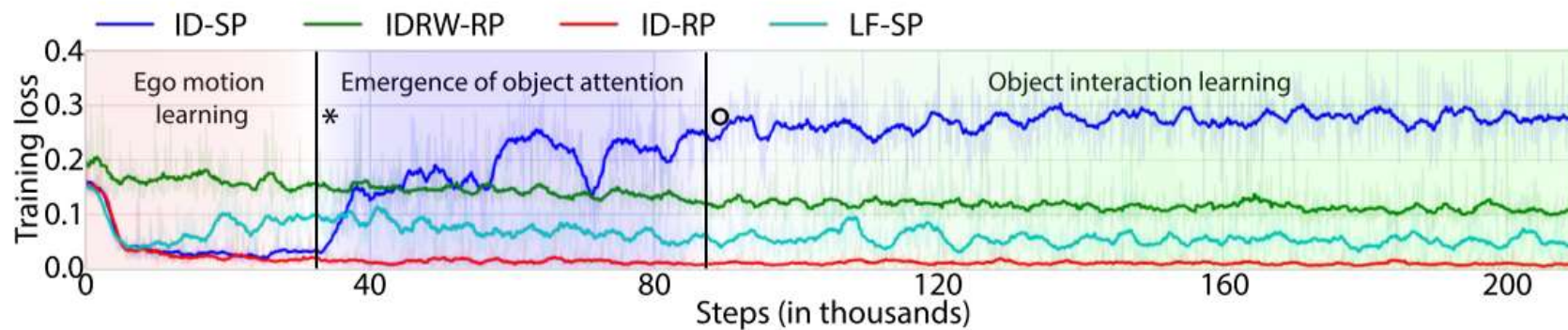
■ Self modeli:

- Avatarın dünya dinamiğinde en çok hata yaptığı yeri öngörme
- Bu öngörüü kullanarak en çok hata yaratacak aksiyonları seçme

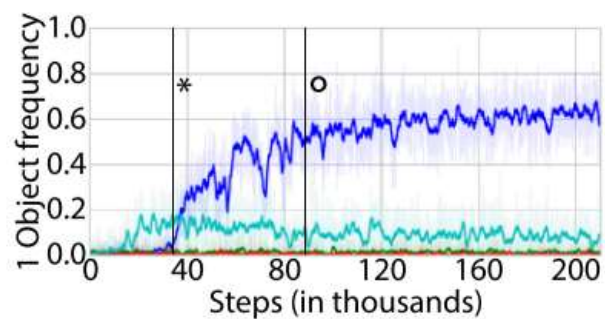


(b)

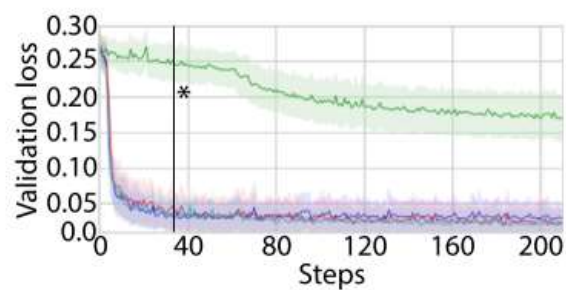




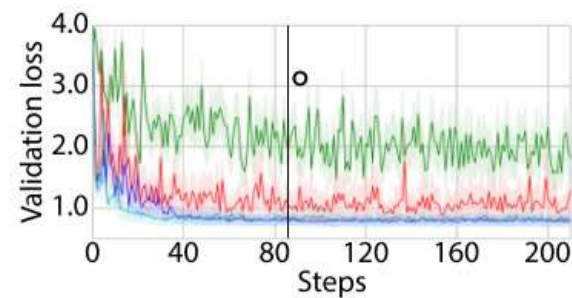
(a) World-model training loss



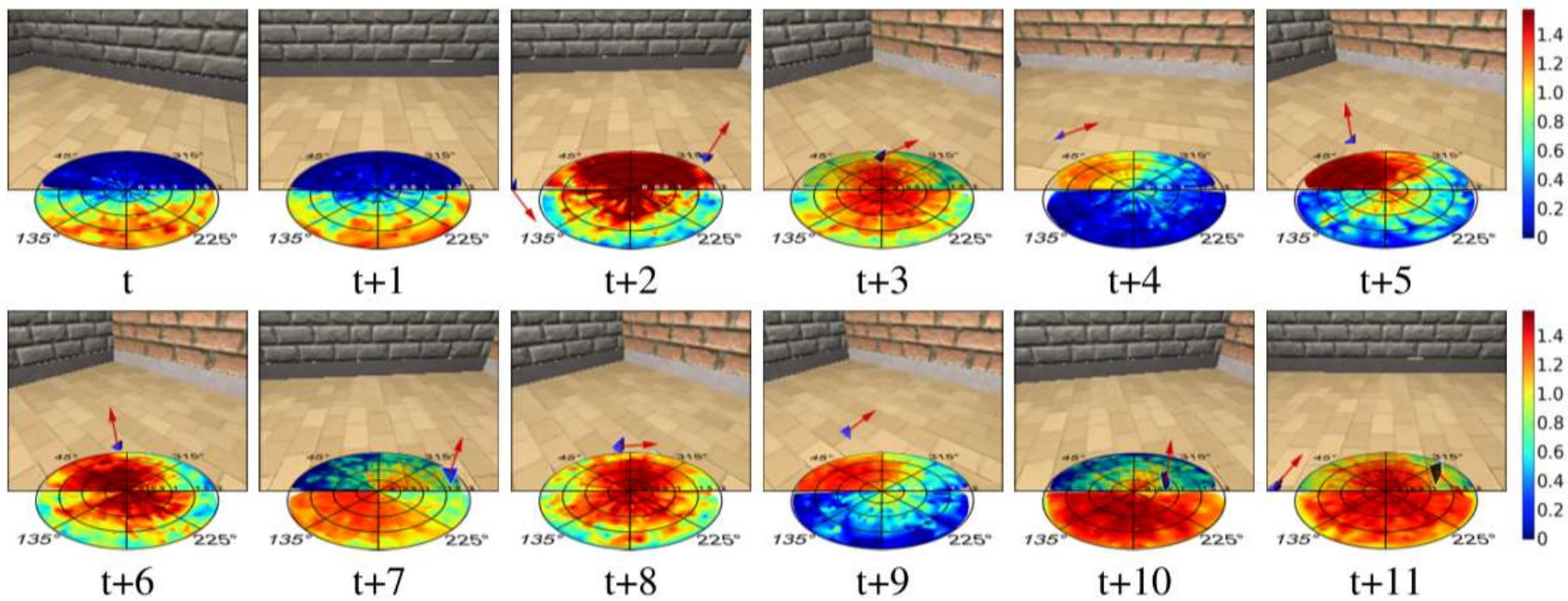
(b) Object frequency

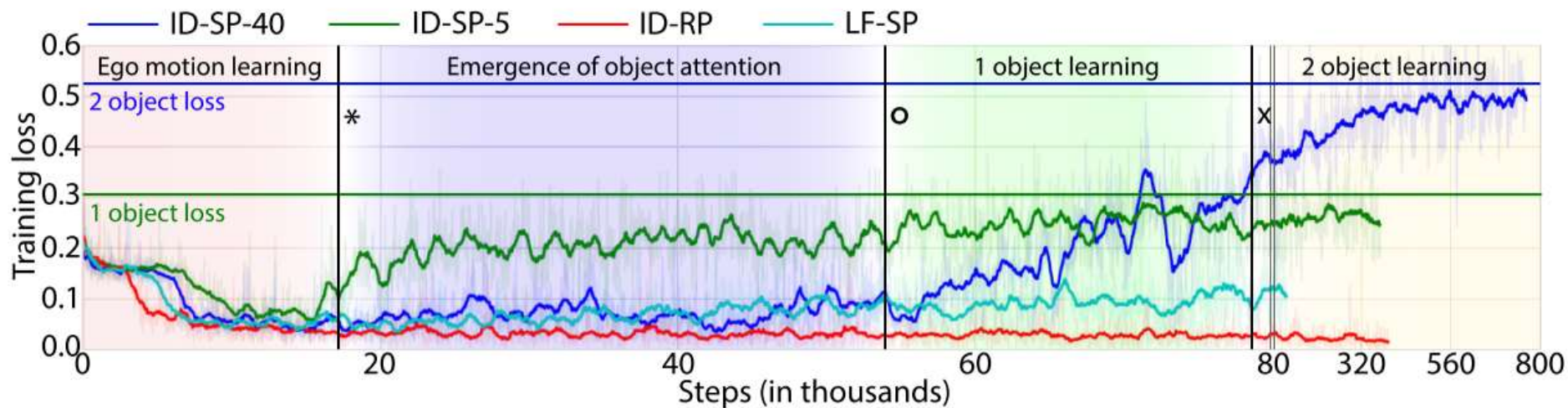


(c) Easy data (ego-motion)

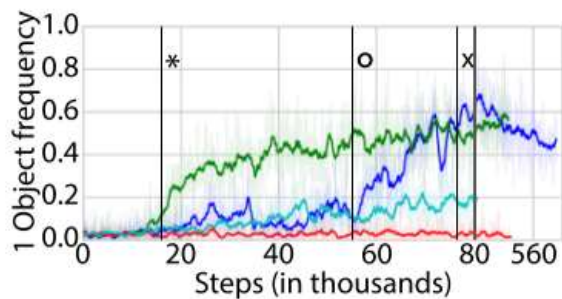


(d) Hard data (object play)

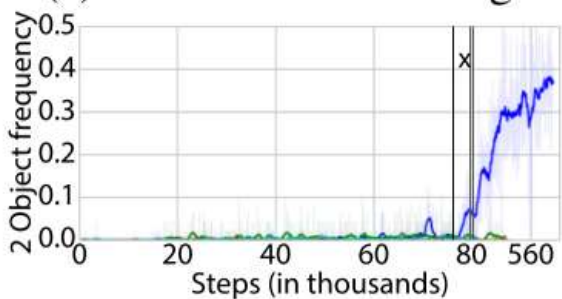




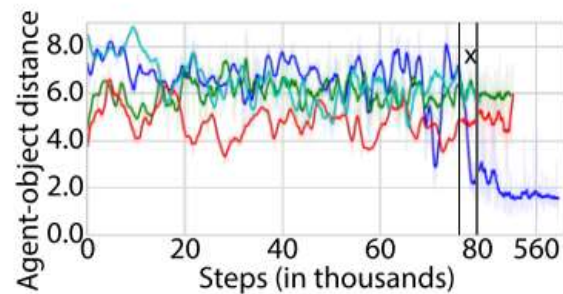
(a) World-model training loss



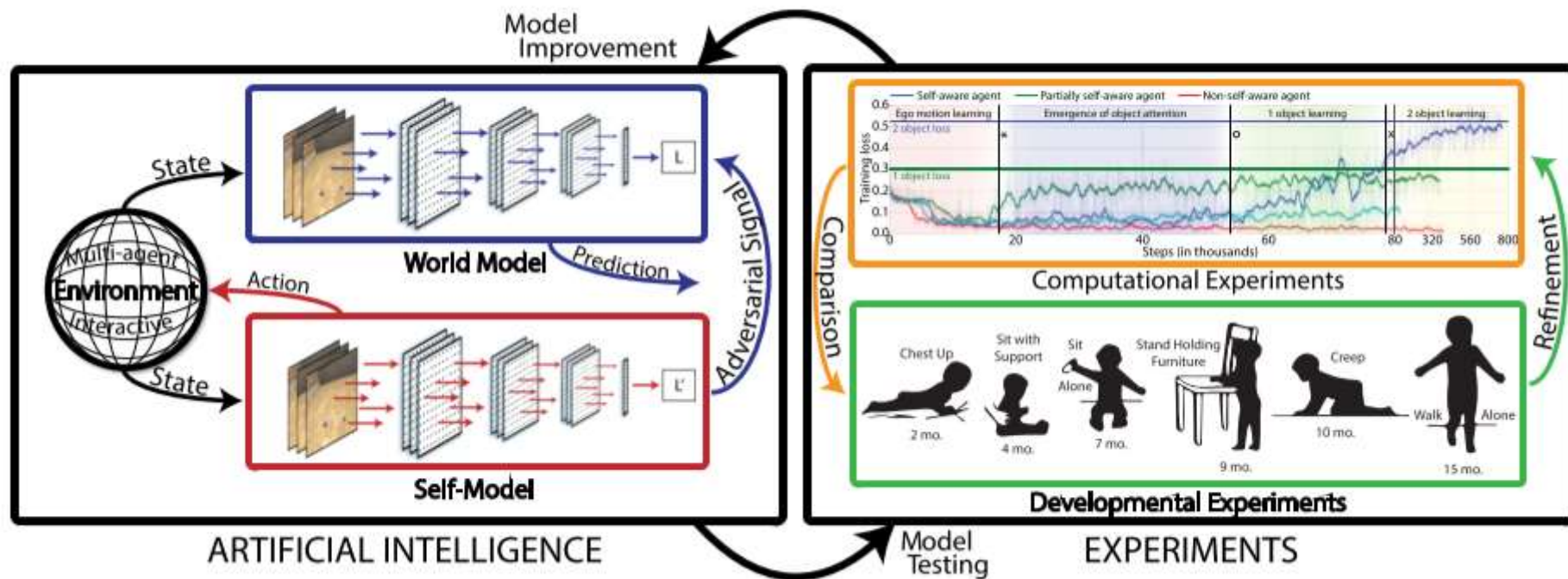
(b) One Object frequency



(c) Two Object frequency



(d) Average agent-object distance



Dinlediđiniz için Teřekkrler



<http://kovan.ceng.metu.edu.tr>

Çalışmalara Emek ve Para Desteđi Verenler

Emre Uğur, Erhan Öztop, Barış Akgün, İlkay Atıl, Asil K. Bozcuođlu, Maya Çakmak, Yiđit Çalışkan, Nilgün Dađ, Mehmet R. Dođar, Selda Eren, Sinan Kalkan, Sertaç Olgunsoylu, Güner Orhan, Mustafa Parlaktuna, Doruk Tunaođlu, Göktürk Üçoluk, Kadir Uyanık, Onur Yürüten.



Emergence of communication in RObots through
Sensorimotor and Social Interaction



Bu araştırmalar kısmi olarak TÜBİTAK 109E033 nolu
projesi çerçevesinde desteklenmiştir.



Daha fazla bilgi için @ <http://kovan.ceng.metu.edu.tr/>