

eXtended Classifier Systems (XCS) in dynamischen Multiagenten- Überwachungsszenarien

Clemens Lode

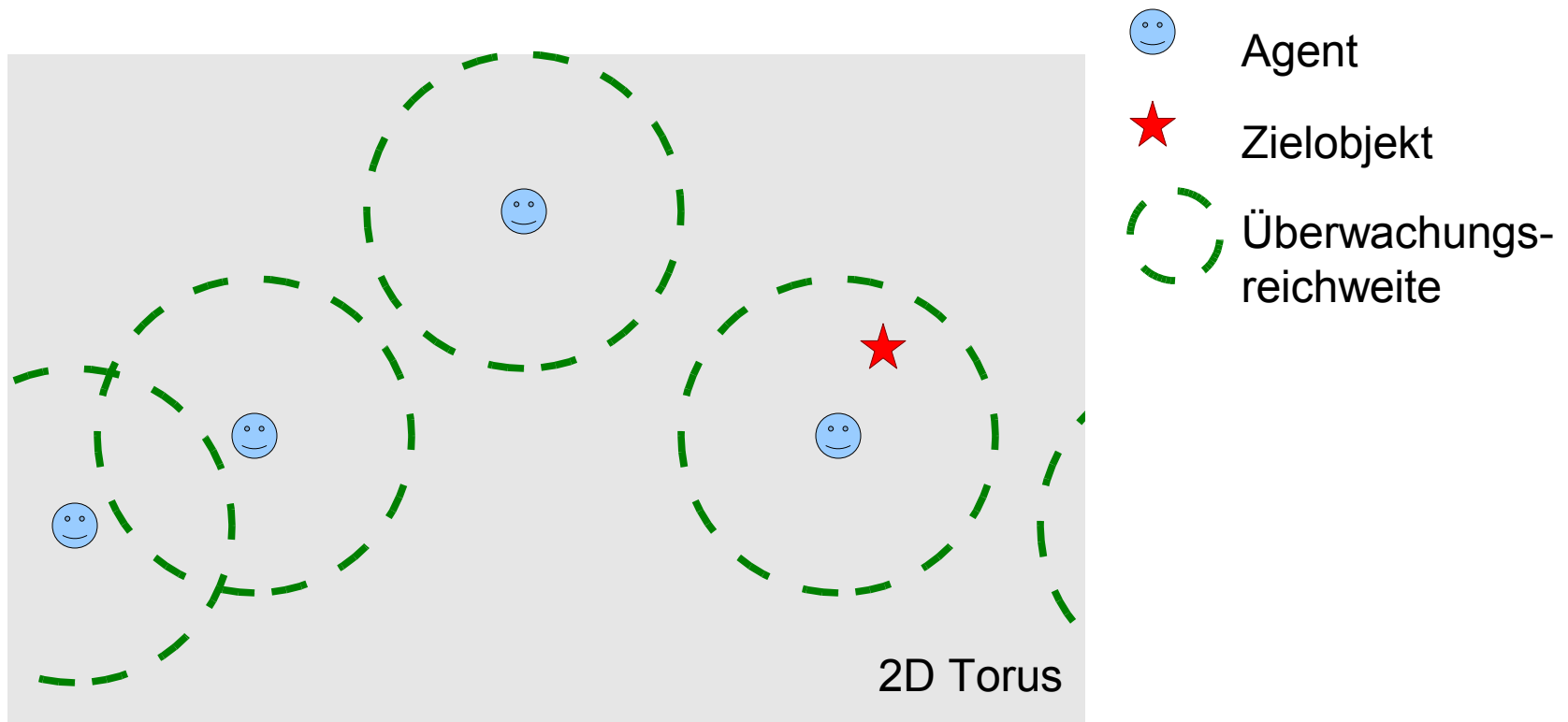
9.4.09

Überblick

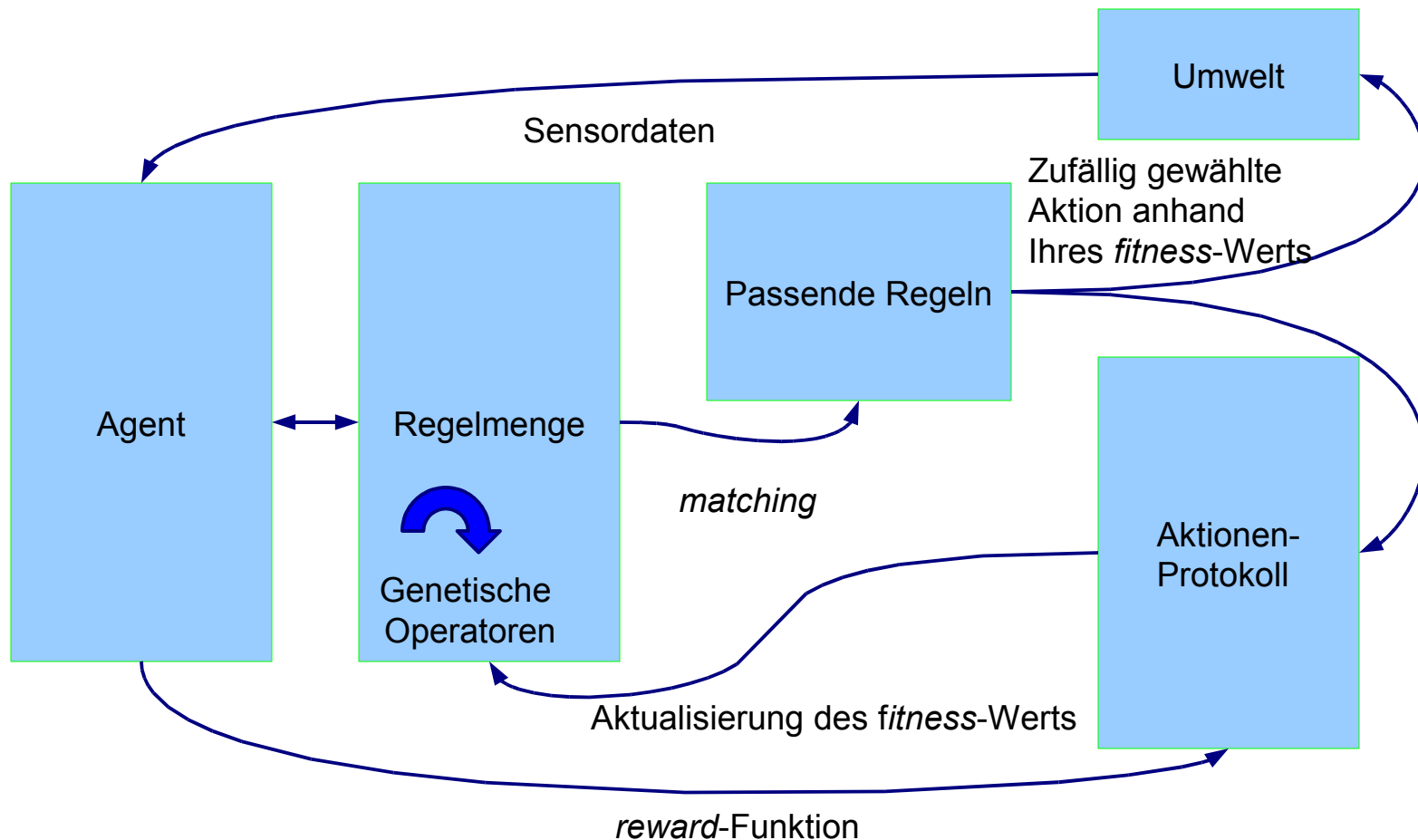
- Problemstellung und Übersicht zu XCS
- Beispiele für multi- und single-step Verfahren in XCS
- Markow-Eigenschaft
- Überwachungsszenario
- Szenarien- und Sensorenbeschreibung
- Heuristiken des Zielobjekt und der Agenten
- Analyse der lokalen Bewertungsfunktion
- XCS-Variante für Überwachungsszenarien (SXCS)
- Vergleich XCS Standardimplementation mit SXCS
- Demonstration des Simulationsprogramms
- Ausblick: Delayed SXCS (DSXCS), DSXCS mit Kommunikation und sonstige Erweiterungen

Allgemeine Problemstellung

- Überwache Zielobjekt möglichst lange mit beliebigem Agenten.
- **Gesamtqualität** = Anteil der überwachten Zeit an Gesamtzeit

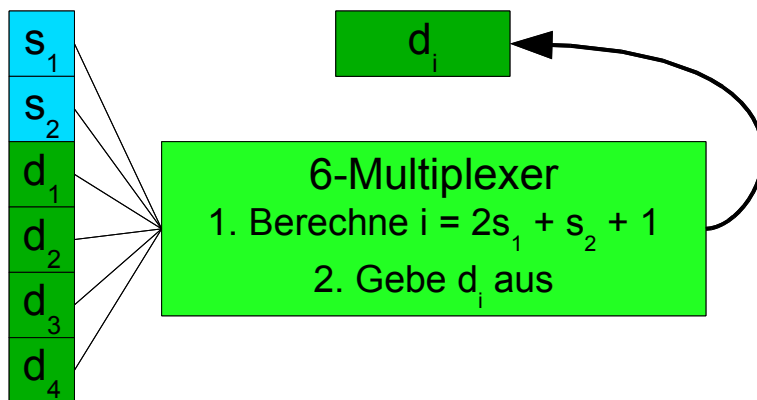


Schematische Darstellung eines XCS



Beispiel für XCS *single-step* Verfahren

- 6-Multiplexer:
 - zwei Steuerbits wählen aus 4 Datenbits ein Datenbit
 - Ausgabe des Datenbits
- Ziel:
 - Darstellung als *classifier system*
- Merkmale:
 - Globale Information verfügbar
 - Nur ein Lernschritt pro Problem nötig / möglich
 - Sofortige Bewertung jeder Aktion



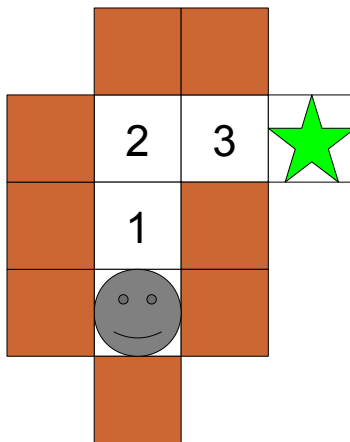
Beispiel XCS *multi-step* Verfahren

- *Maze-Problem*

- Finde Weg zum Zielobjekt in einem Labyrinth

- Ziel:

- Optimale Belegung für *classifier set* Liste für minimalen Weg vom Start zum Ziel



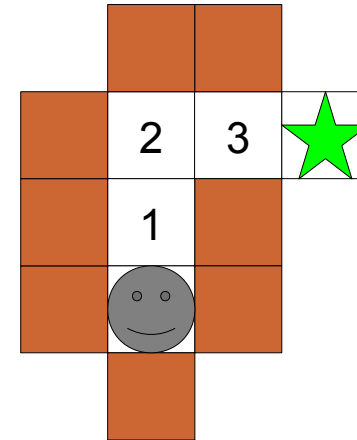
- Merkmale:

- Zielobjekt bewegt sich nicht
- Begrenzte, lokale Information
- Bewertung nur im letzten Schritt möglich
- Transformation in *single-step* Verfahren durch sukzessive Weitergabe der Bewertung

Beispiel XCS *multi-step* Verfahren

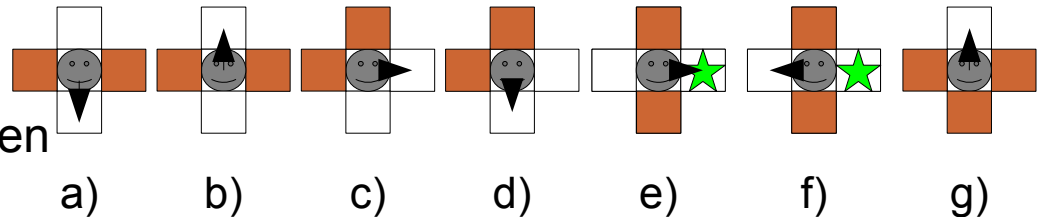
- Ablauf:

- Zufällige Wahl der *classifier*
- **e)** erhält positive Bewertung.
- **e)** wird mit höherer Wahrscheinlichkeit als **f)** an Position 3 gewählt.
- **c)** erhält von **e)** positive Bewertung.
- **c)** wird an Position 2 mit höherer Wahrscheinlichkeit als **d)** gewählt.



– ...

→ optimales Verhalten gefunden

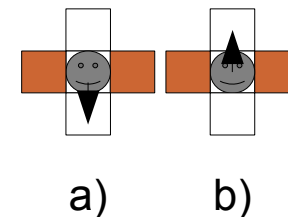
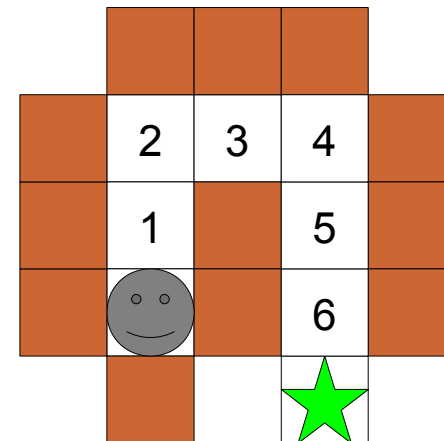


classifier set

Markow-Eigenschaft (1)

- Definition:
 - Vergangene Entscheidungen / Sensordaten sind für optimale Entscheidung nicht relevant.
 - Mit Markow-Eigenschaft kann optimales Verhalten erreicht werden
- Szenario besitzt keine Markow-Eigenschaft:
 - Identische Sensordaten auf Position 1 und 5
→ *classifier a)* und *b)* in Konkurrenz
 - Optimales Verhalten erfordert Unterscheidung beider Positionen

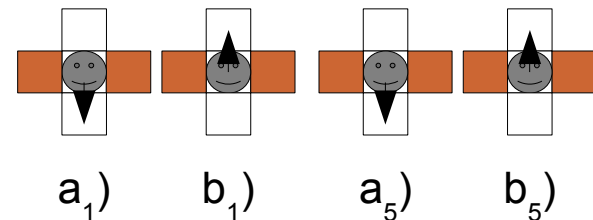
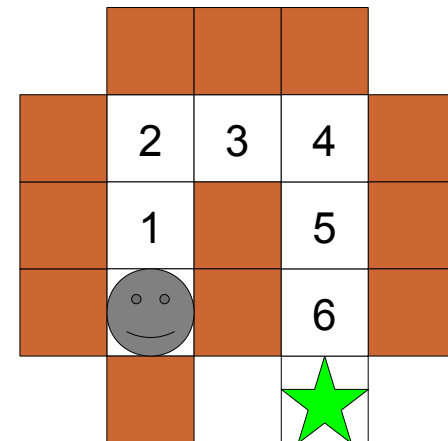
- Szenario ohne Markow-Eigenschaft



Markow-Eigenschaft (2)

- Idee:
 - Interner Zustand, der durch Regeln erkannt und verändert werden kann
- Einfachstes Beispiel:
 - Zähler der Schritte
 - Hohe Bewertung von $b_1)$ und $a_5)$ führt zum Erfolg
 - Optimales Verhalten kann über Darstellung mit Zähler erreicht werden

- Szenario ohne Markow-Eigenschaft



Überwachungsszenario (1)

- Multiagenten-Überwachungsszenario:
 - Zielobjekt von diesem oder von anderen Agenten in Überwachungsreichweite
- Ziel:
 - Optimale Belegung für *classifier set* Liste für Maximierung der Überwachungszeit
- Ansatz:
 - Speicherung bisheriger Aktionen, direkte Weitergabe bei positiver Bewertung
- Merkmale:
 - Zielobjekt bewegt sich
 - Begrenzte, lokale Information
 - Bewertung nur selten möglich
 - Statt Wege muss allgemeines Verhalten gelernt werden
 - Szenario läuft kontinuierlich weiter, gleiche Situationen nur bedingt wiederholt werden.
 - Markow-Eigenschaft nicht über interne Zustände wiederherstellbar:
 - zu komplex
 - dynamisch
 - begrenzte Information

Überwachungsszenario (2)

- Multiagenten-Überwachungsszenario:
 - **Zielobjekt von diesem oder von anderen Agenten in Überwachungsreichweite**
- Ziel:
 - Optimale Belegung für *classifier* set Liste für Maximierung der Überwachungszeit
- Ansatz:
 - Speicherung bisheriger Aktionen, direkte Weitergabe bei positiver Bewertung
- Schwierigkeiten:
 - Darstellung eines globalen “Ziels” in lokaler Bewertungsfunktion
 - Kein konkretes Ziel sondern dauerhaftes Verhalten soll erreicht werden.
 - Welche lokale Bewertungsfunktion löst das Problem “gut”?
- Ansatz:
 - Untersuchung spezieller Szenarien anhand von Heuristiken

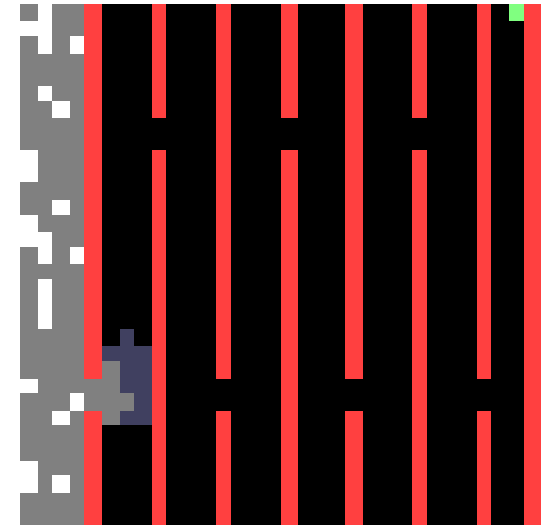
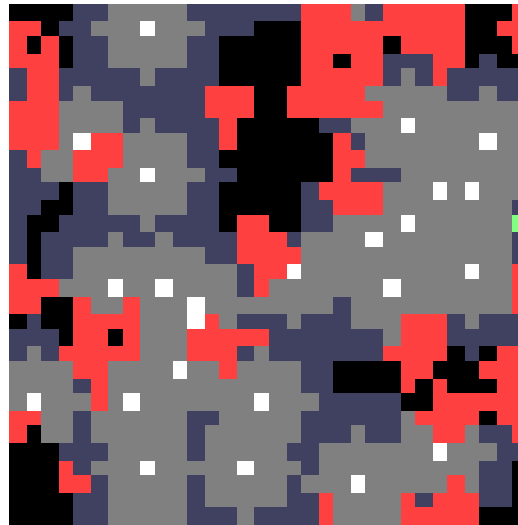
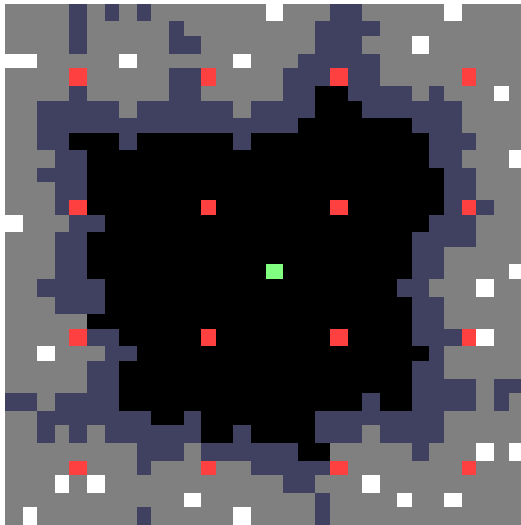
Szenarien

- Legende:

- Weiß (Agenten)
- Grün (Zielobjekt)
- Grau (überwachtes Gebiet)
- Blau (maximale Sichtweite)

- Untersuchte Szenarien:

- Säulenszenario
- Szenario mit zufällig verteilten Hindernissen
- Schwieriges Szenario



Sensoren

- **Erkennung**

- Sensordaten werden von Regeln erkannt, die jeweils identische Einträge oder Einträge mit Platzhalter “#” besitzen

- **Beispiel:**

Sensordaten

10 00 00 00 . 00 00 11 00 . 00 11 00 11

werden erkannt von z.B.

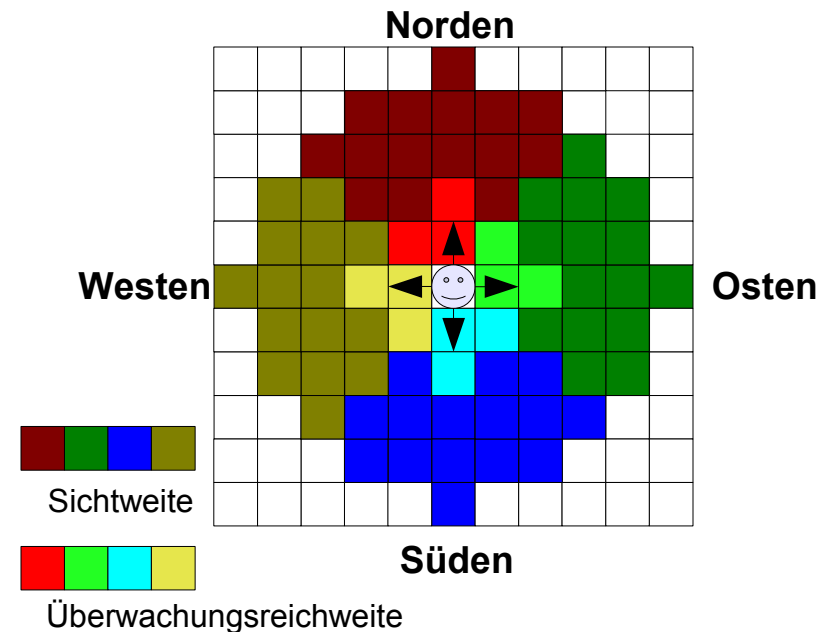
10 00 00 00 . ## ## ## ## . 00 ## ## ##

. ## ## #1 00 . 00 11 ##

#0 ## ## ## . ## ## 01 ## . ## 11 ## 11

- **Sensoren:**

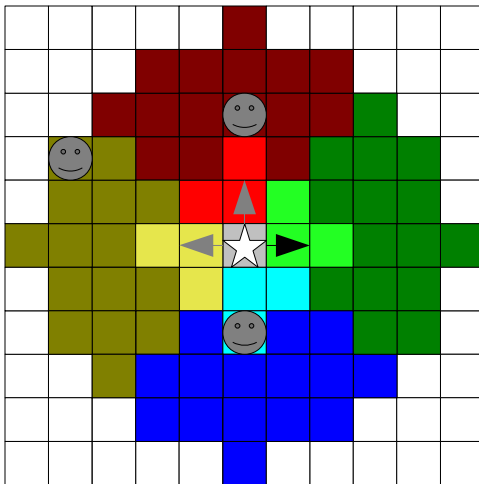
- Binärsensor für Sichtweite und Überwachungsreichweite
- jeweils in 4 Richtungen
- jeweils für 3 Objekttypen



Zielobjekt und Agenten

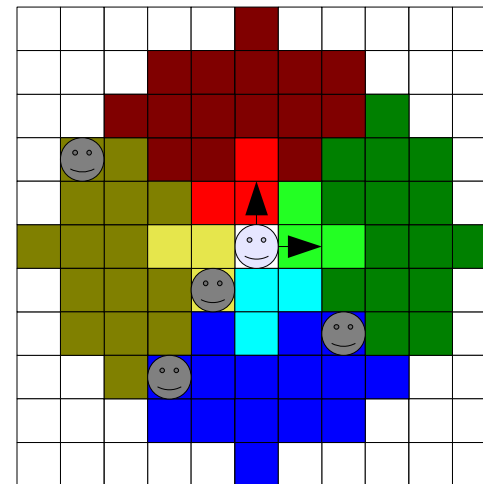
- Typen des Zielobjekts

- Einfache Richtungsänderung
- Intelligentes Zielobjekt
- Ohne Richtungsänderung



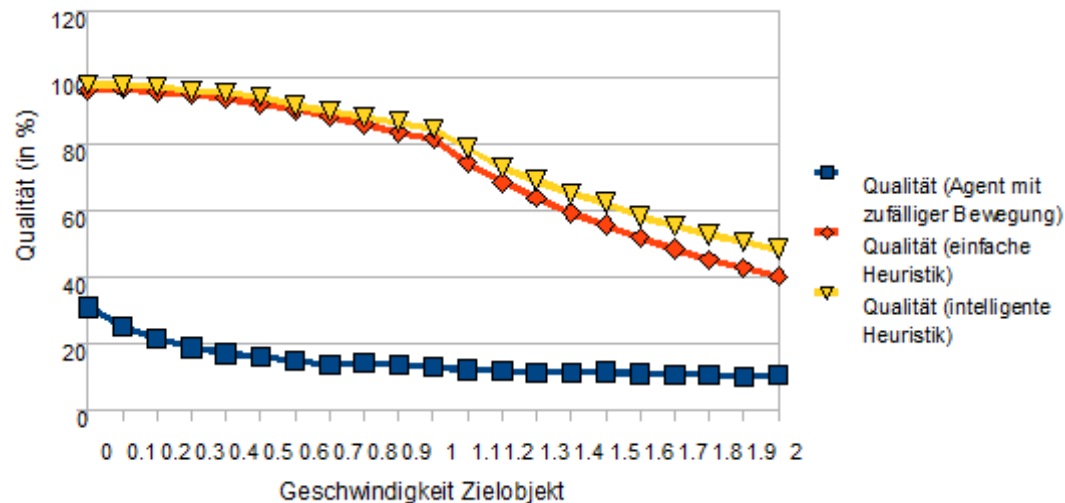
- Typen von Agenten

- Zufällige Bewegung
- Einfache Heuristik
- Intelligente Heuristik



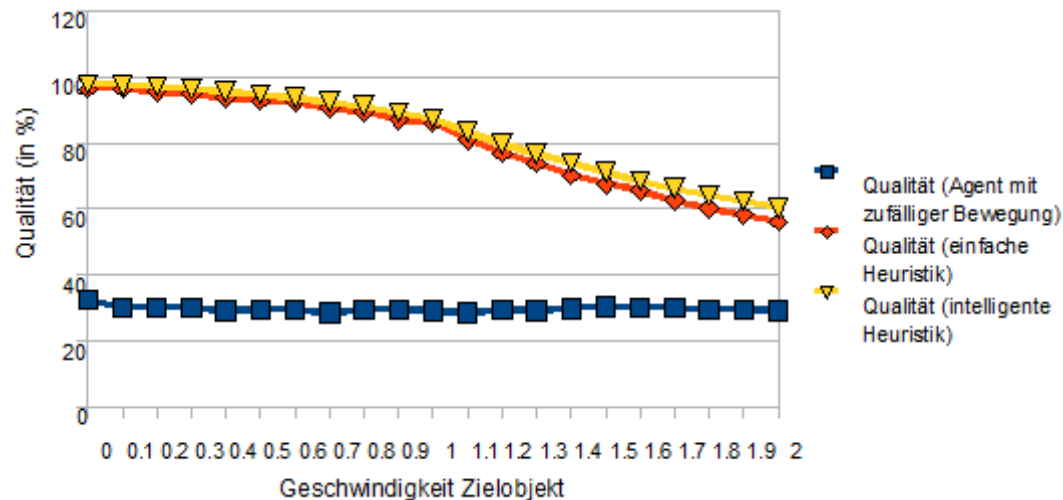
Vergleich der Heuristiken (1)

- Ergebnis:
 - Intelligente Heuristik deutlich besser als einfache Heuristik, besonders bei höheren Geschwindigkeiten
 - Knick bei Geschwindigkeit 1, nicht mehr alleinige Verfolgung
- Szenario
 - Säulenszenario
 - Intelligentes Zielobjekt



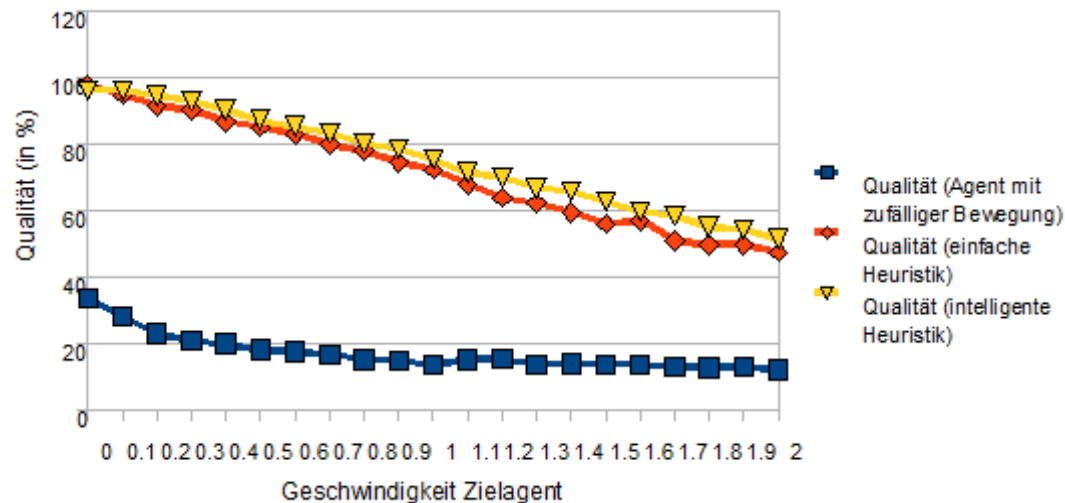
Vergleich der Heuristiken (2)

- Ergebnis:
 - Intelligente Heuristik deutlich besser als einfache Heuristik, besonders bei höheren Geschwindigkeiten
 - Knick bei Geschwindigkeit 1, nicht mehr alleinige Verfolgung
- Szenario
 - Säulenszenario
 - Zielobjekt mit einfacher Richtungsänderung



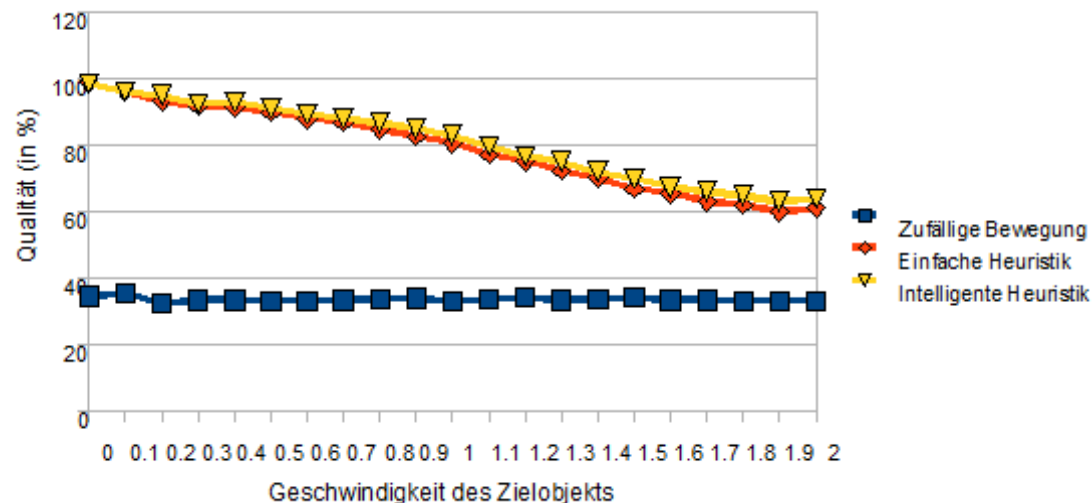
Vergleich der Heuristiken (3)

- Ergebnis:
 - Intelligente Heuristik etwas besser als einfache Heuristik
 - Knick bei Geschwindigkeit 1 kaum auszumachen
- Szenario
 - Szenario mit zufällig verteilten Hindernissen
 - Intelligentes Zielobjekt



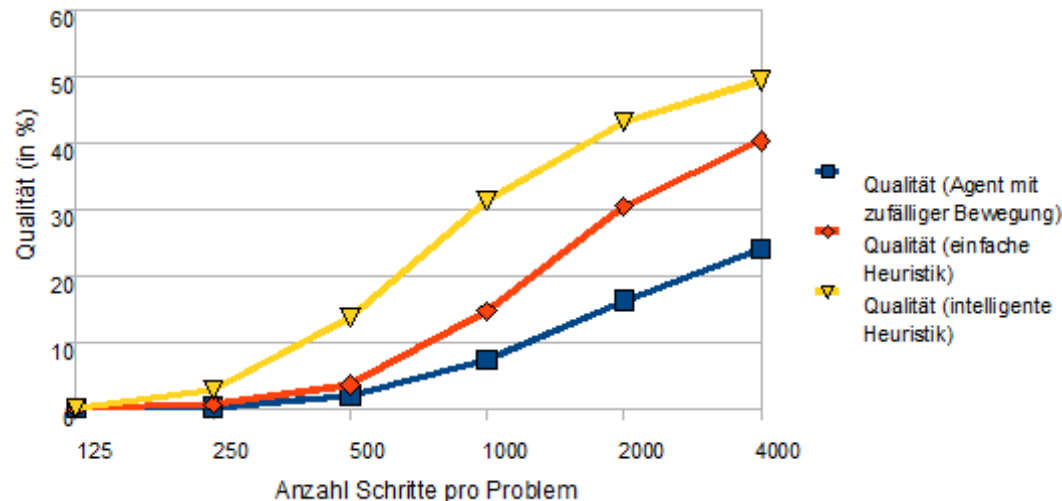
Vergleich der Heuristiken (4)

- Ergebnis:
 - Intelligente Heuristik etwas besser als einfache Heuristik
 - Knick bei Geschwindigkeit 1 kaum auszumachen
- Szenario
 - Szenario mit zufällig verteilten Hindernissen
 - Zielobjekt mit einfacher Richtungsänderung



Vergleich der Heuristiken (5)

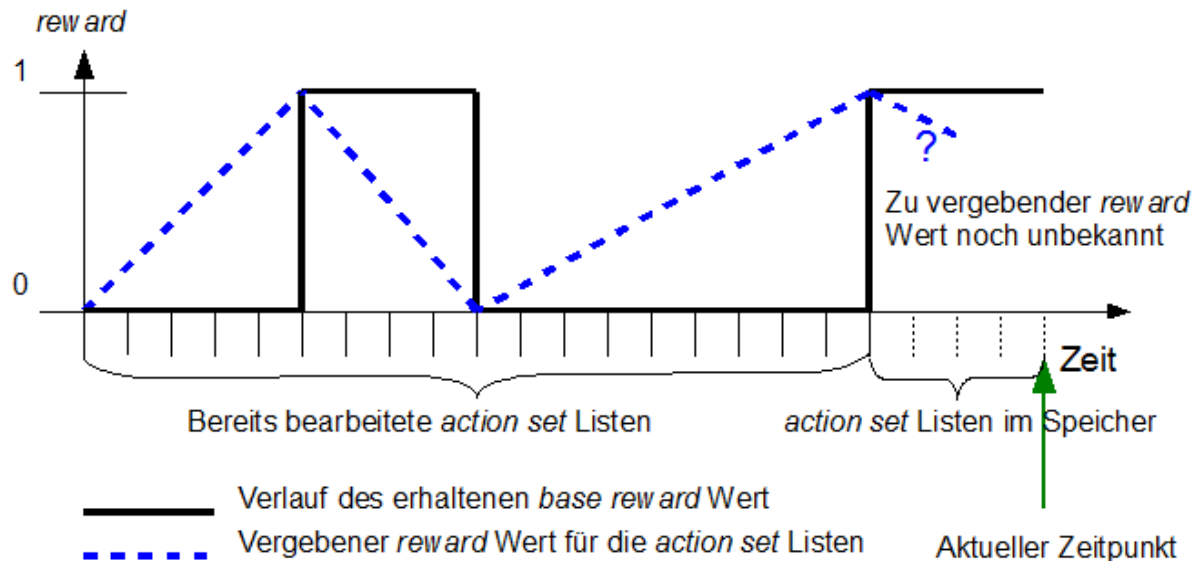
- Ergebnis:
 - Intelligente Heuristik deutlich besser als einfache Heuristik
 - Versucht sich von Agenten zu entfernen und erreicht so automatisch den Zielbereich
- Szenario
 - Schwieriges Szenario
 - Zielobjekt ohne Richtungsänderung
 - Betrachtung unterschiedlicher Schrittzahlen pro Durchgang



Analyse der lokalen Bewertungsfunktion

- Einfache Heuristik
 - bewertet Nähe zum Zielobjekt als “gut”
- Intelligente Heuristik
 - bewertet Nähe zum Zielobjekt als “gut”
 - bewertet Abwesenheit von Agenten als “gut”
- Umsetzung für XCS:
 - Wegen besserer Qualität in allen vier untersuchten Fällen wird die intelligente Heuristik als Modell benutzt.
 - Allerdings gilt: Wegen mehrwertiger Bewertungsfunktion nicht vollständig auf binäre Bewertungsfunktion abbildbar
- Bewertungsfunktion:
 - Bewertung “1” wenn Zielobjekt in Sichtweite oder kein Agent in Sichtweite,
 - Bewertung “0” sonst.

Supervision eXtended Classifier System (SXCS)



Ergebnisse (2)

- Vergleich XCS, SXCS

Ergebnisse (3)

- Vergleich XCS, SXCS

Ergebnisse (4)

- Szenario mit zufällig verteilten Hindernissen
- Blockierte Bewegungen
- Fähigkeiten des Zielobjekts

Ergebnisse (5)

- Schwieriges Szenario

Simulationsprogramm

Agent Configuration File Editor v1.00

Problem definition

Tests

Random Seed

Experiments

Problems

Steps

Number of agents

Grid

Sight range

Reward range

Max X / Max Y

☐ Random scenario

Grid percentage

Connection factor

☐ Pillar scenario

☒ Difficult scenario

Goal Agent Movement

☐ Total random

☐ Random neighbor

☐ One direction change

☐ Intelligent

☒ Always same direction

☐ SXCS

Speed

Save Package Run last batch

Save speed Save random Save exploration

Save stack Save maxpop Save steps

Save pred discount Save learning Save tournament Save random Update

Agent type

Reward model

Stack size

☐ Use max prediction?

☒ Use quadratic reward

Algorithm

☐ Randomized

☐ Simple heuristic

☐ Intelligent heuristic

☐ Standard XCS

☒ Surveillance XCS

☐ Delayed SXCS

Exploration Mode

☐ Always explore

☐ Always explore (random)

☐ Always exploit

☐ Always exploit (best)

☒ Switch (explore)

☐ Switch (exploit)

☐ Random explore/exploit

Communication

☒ No external reward

☐ Reward all equally

☐ Egoistic relation

☐ Log output ☐ Create GIF

LCS parameters

Classifier subsumption and deletion

Max population N

Fraction mean fitness δ

Deletion threshold θ_{del}

Subsumption threshold θ_{sub}

Covering # probability P_g

Tournament probability

☒ Action set subsumption

☐ Random start

GA parameters

☒ Use genetic algorithm?

☒ GA subsumption

GA threshold θ_{GA}

Mutation probability μ

Prediction error reduction

Fitness Reduction

Fitness init and update

Fitness init F_i

Prediction init p_i

☐ Prediction init adaption

Prediction error init ϵ_i

Accuracy equal below ϵ_0

Accuracy calculation a

Accuracy power v

Prediction discount y

Learning rate β

Conf...	Configu...	Spread	Average	Spread	Average	Spread	Average	Covered	Wasted	Goal ju...	Wasted	Half goa...	Goal pe...	
agent-2	108293	136.24	233.85	2.2903	5.8243	5.0070	5.9978	0.0	47.490	7.5079	0.0025	25.188	25.821	18.276
agent-2	108293	140.54	256.91	2.2589	5.7982	5.0173	6.1413	0.0	50.714	5.8466	0.0025	23.537	26.438	20.239
agent-2	108293	145.55	249.58	2.2815	5.7648	1.9991	6.1670	0.0	50.082	5.7839	0.0015	25.602	26.401	19.100
agent-2	108293	168.17	226.98	2.3031	5.8047	1.9832	6.0145	0.0	47.319	7.5049	0.0020	25.672	25.038	17.560
agent-2	108293	137.75	280.59	2.2618	5.8465	2.0171	6.2036	0.0	51.396	6.4316	0.0025	23.303	26.399	20.283
agent-2	108293	170.23	413.38	2.2859	5.8244	2.0381	6.0200	0.0	49.378	6.6608	0.0200	29.823	33.162	29.012
agent-2	108293	160.99	340.87	2.2485	5.6511	2.0088	5.9250	0.0	47.406	7.4064	0.0085	25.195	27.916	24.719
agent-2	108293	187.71	382.65	2.2927	5.8096	2.0307	6.0594	0.0	49.362	6.6850	0.0135	29.194	33.409	27.950
agent-2	108293	173.00	399.12	2.2786	5.8442	2.0491	6.0258	0.0	49.983	6.5764	0.0120	28.060	35.260	29.244
agent-2	108293	163.27	326.93	2.2565	5.6692	2.0235	5.9192	0.0	48.066	7.3389	0.0070	24.367	30.638	23.774
agent-2	108293	173.76	306.89	2.3147	5.7109	2.0109	6.0067	0.0	48.332	6.9959	0.0055	29.956	31.129	23.609
agent-2	108293	179.76	278.40	2.3037	5.7397	2.0167	6.0393	0.0	48.926	6.8516	0.0020	29.545	28.779	21.586
agent-2	108293	152.26	283.32	2.2703	5.7910	2.0288	6.0759	0.0	50.263	6.6102	0.0040	26.932	30.479	22.067
agent-2	108293	139.50	276.24	2.2568	5.8722	2.0285	6.1849	0.0	51.527	6.3845	0.0040	23.039	30.328	21.192
agent-2	108293	166.50	314.01	2.2586	5.8765	2.0319	6.1649	0.0	51.570	6.3647	0.0034	23.163	31.802	22.819
agent-2	108293	147.97	272.05	2.2638	5.8145	2.0230	6.1474	0.0	50.829	6.6066	0.0025	24.545	28.038	19.597
agent-2	108293	129.16	266.37	2.2503	5.8850	2.0333	6.2164	0.0	51.939	6.3524	5.0E-4	20.808	27.405	19.724
agent-2	108293	144.71	291.01	2.2542	5.8849	2.0331	6.2420	0.0	51.823	6.3112	0.0045	23.525	29.475	20.864
agent-2	108293	123.45	321.14	2.2459	5.8745	2.0305	6.2034	0.0	51.852	6.4824	0.0049	22.151	33.908	23.743
agent-2	108293	117.57	306.11	2.2468	5.8808	2.0314	6.2485	0.0	52.198	6.4352	0.0040	21.148	32.122	22.825
agent-2	108293	129.60	306.80	2.2452	5.8813	2.0257	6.2746	0.0	52.409	6.4064	0.0045	20.033	30.465	21.544
agent-2	108293	123.74	294.32	2.2411	5.8915	2.0227	6.2407	0.0	52.688	6.3789	0.0059	19.433	31.721	21.109
agent-2	108293	116.58	260.19	2.2336	5.8701	2.0086	6.2929	0.0	52.762	6.3578	0.0029	19.033	27.887	18.390
agent-2	108293	123.72	258.72	2.2263	5.8646	2.0183	6.3224	0.0	52.862	6.3489	0.0034	18.830	28.485	18.390
agent-2	108293	112.24	273.51	2.2180	5.8602	2.0160	6.2819	0.0	53.089	6.3386	0.0020	18.618	28.455	18.647
agent-2	108293	118.91	253.30	2.2280	5.8663	2.0082	6.3303	0.0	52.950	6.3177	0.0034	18.681	27.685	18.160
agent-2	108293	119.91	216.26	2.2166	5.8570	2.0040	6.3572	0.0	53.138	6.2906	0.0010	18.492	25.152	16.311
agent-2	108293	133.64	244.57	2.2189	5.8564	1.9992	6.3585	0.0	53.040	6.2984	0.0010	18.491	24.772	16.836
agent-2	108293	126.64	252.11	2.2201	5.8787	2.0166	6.3366	0.0	53.149	6.2493	0.0020	18.621	26.658	17.887
agent-2	108293	112.53	237.52	2.2276	5.8618	1.9993	6.3572	0.0	53.001	6.3226	0.0034	18.554	24.891	16.619
agent-2	108293	117.49	240.60	2.2208	5.8502	2.0079	6.3307	0.0	52.981	6.3329	0.0034	18.586	26.138	17.102
agent-2	108293	147.71	448.64	2.2739	5.8936	2.0680	6.0433	0.0	50.656	6.4418	0.025	27.740	38.18	31.569
agent-2	108293	233.10	150.76	2.2106	6.0776	2.0241	6.2935	0.0	53.579	5.2214	0.0	42.975	13.200	10.9
agent-2	108293	233.10	150.76	2.2106	6.0776	2.0241	6.2935	0.0	53.579	5.2214	0.0	42.975	13.200	10.9
agent-2	108293	159.62	223.01	2.3505	5.6323	1.9610	6.2014	0.0	46.730	7.0085	0.025	41.129	22.689	19.71
agent-2	108293	1049.1	1327.0	2.4059	5.8333	2.4178	5.3098	0.0	47.495	7.1178	0.0050	53.221	65.86	48.54
agent-2	108254	51.404	393.97	2.4628	5.8750	1.9705	6.1833	0.0	63.213	7.4361	0.0	43.674	25.912	26.513
agent-2	108254	54.575	448.07	2.2783	6.0819	2.0445	6.0711	0.0	68.844	6.6186	5.0E-4	12.493	30.813	30.815
agent-2	108254	60.399	440.79	2.2799	6.0855	2.0424	6.0832	0.0	68.863	6.5881	0.0	12.625	30.144	30.253
agent-2	108254	57.477	448.38	2.2758	6.0847	2.0435	6.0795	0.0	68.977	6.5967	0.0	11.947	30.376	30.654
agent-2	108254	63.435	441.92	2.2796	6.0847	2.0429	6.0875	0.0	68.893	6.6052	0.0	12.052	30.724	30.472
agent-2	108254	65.535	480.95	2.2761	6.0810	2.0503	6.0606	0.0	69.915	6.6346	0.0	11.837	31.325	31.266
agent-2	108254	55.453	451.92	2.2764	6.0809	2.0478	6.0777	0.0	68.942	6.6230	0.0	11.592	30.685	30.906
agent-2	108254	57.325	442.61	2.2770	6.0812	2.0442	6.0852	0.0	69.962	6.6074	0.0	11.606	30.907	30.679
agent-2	108254	60.949	433.47	2.2772	6.0792	2.0376	6.0824	0.0	69.860	6.6388	0.0	11.618	30.303	30.142

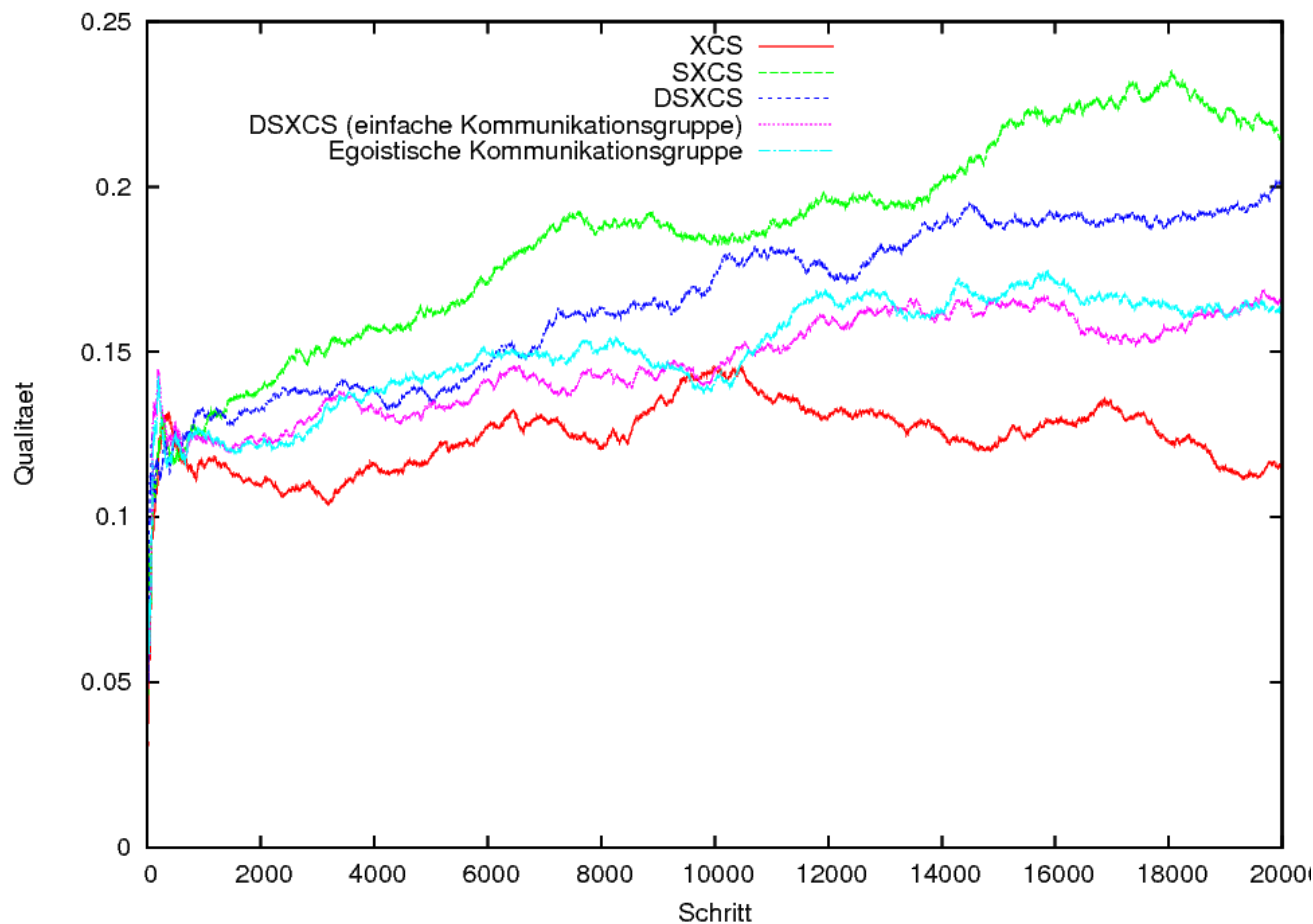
Ausblick: Delayed SXCS (DSXCS)

- **Idee:**
 - Erweiterung des Speichers und verzögerte Bewertung
- **Vorteile:**
 - Analyse aller bisherigen Bewertungen möglich
 - Zeitgerechte Behandlung von externen Ereignissen (Kommunikation) möglich
- **Nachteil:**
 - Verzögerung der Aktualisierung, Agent handelt mit veralteten Werten
- **Umsetzung:**
 - Bei einem Ereignis werden nur die errechneten *reward* Werte gespeichert
 - Ist der Speicher eines DSXCS voll wird nur der letzte classifizierte aktualisiert und entfernt

Ausblick: DSXCS mit Kommunikation (1)

- **Idee:**
 - Verhalten von Agenten ohne Kontakt zum Zielobjekt trägt u.U. trotzdem zur Qualität bei
→ Weitergabe der Bewertung an andere Agenten
- **Problem:**
 - Ohne Differenzierung entspricht dies z.T. zufälliger Bewertung von Aktionen
→ Gruppenbildung
- **Gruppenbildung**
 - Vergleich des Verhaltens gegenüber anderen Agenten
 - Bevorzugung von Agenten mit ähnlichem Verhalten
- **Ergebnisse**
 - Keine Unterschiede bezüglich der Qualität bemerkbar
 - Insgesamt schlechtere Ergebnisse als SXCS
 - Allerdings deutlich niedrigere Varianz von individuellen Punkten

Ausblick: DSXCS mit Kommunikation (2)



Ausblick: Sonstige Erweiterungen

- **Bestehendes System:**

- Betrachtung der Theorie
- Tiefere Analyse der Ausgabe
- Verbesserung der Auswertung der gespeicherten Aktionen (DSXCS)
- Anpassungsfähigkeit von SXCS testen
- Wechsel zwischen explore/exploit Phasen weiter untersuchen

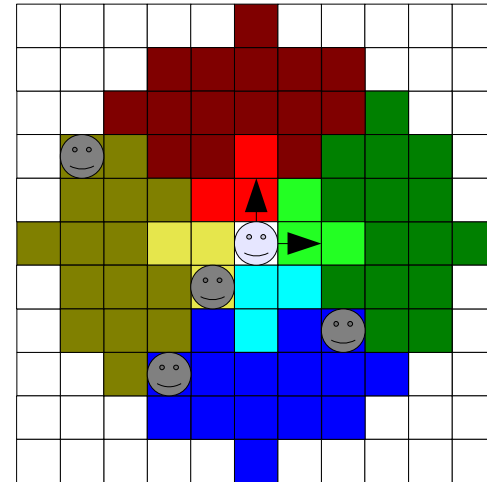
- **Erweiterungen:**

- Rotation als “Platzhalter”
- Test mit verbesserten Sensoren
- Verwendung mehrwertiger Bewertungsfunktion
- Bessere Heuristiken als Modell und Vergleich (z.B. Einbeziehung von Hindernissen)
- Kommunikation, Austausch von Regeln

Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit :)

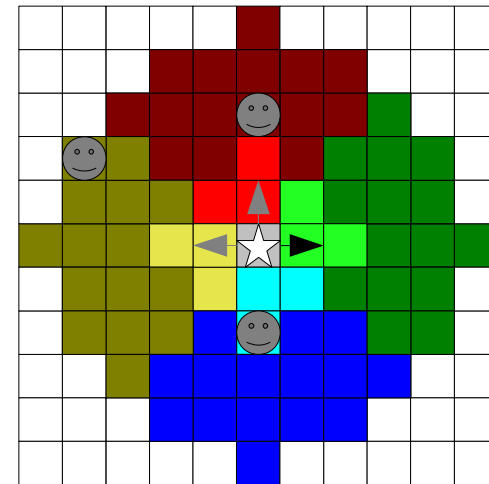
Agent mit intelligenter Heuristik

- **Zielobjekt in Sicht:**
Verhält sich wie einfache Heuristik.
- **Zielobjekt nicht in Sicht:**
Bewegt sich in zufällige Richtung, in der sich kein Agent befindet.



Intelligentes Zielobjekt

- **Keine Agenten in Sicht:**
Bewegt sich zufällig.
- **Agenten in Überwachungsreichweite:** Keine Bewegung in diese Richtung.
- **Agenten in Sichtweite:**
Bewegt sich mit 50% Wahrscheinlichkeit nicht in diese Richtung.



Generalisierung: Wildcards

- Menge der Classifier kleiner (Effizienz)
- Vermeidung redundanter Informationen
- Beispiel: 1.0111 ▶ 2 und 0.0111 ▶ 2
 - Benutze # als “wildcard”: #.0111 ▶ 2
- Problem: Sicherstellen, dass Information nicht verloren geht
 - Ignoriert wurde bei obigem Beispiel die Rolle der Fitness der beiden Classifier
- Offene Frage: Je nach Szenario unterschiedliche Arten von Generalisierung denkbar (z.B. Angabe eines begrenzten Zahlenbereichs bei mehr als 2 Belegungsmöglichkeiten)

Generierung neuer Classifier

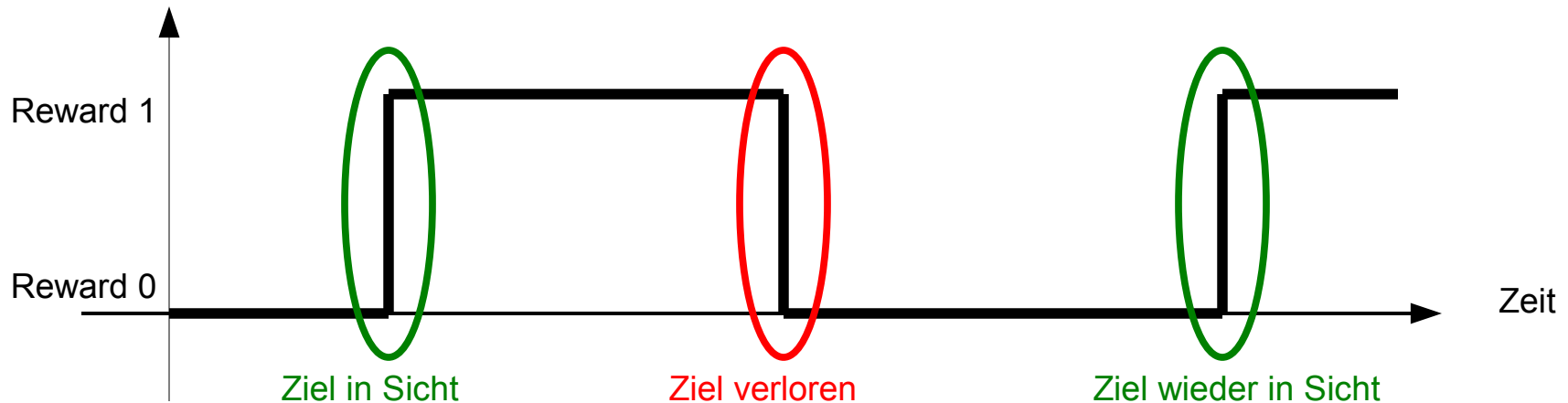
- Drei Quellen für neue Classifier:
 - Covering
 - Falls kein Matching für ein Classifier gefunden wurde
 - Erstelle neuen, zufälligen Classifier mit passendem Matching
 - Genetischer Algorithmus, Mutation
 - Crossover zwischen bestehenden Classifiern
 - Mutation von bestehenden Classifiern
 - Austausch zwischen Agenten
 - Crossover oder direkte Kopie

Ereignisse aus Sicht eines Agenten

- Mögliche Ereignisse:
 - Ziel bleibt außer Sichtweite.
 - Ziel bleibt in Sichtweite.
 - Ziel wurde gerade aus Sichtweite verloren.
 - Absteigende Bestrafung der vorangegangenen Aktionen
 - Ziel kommt gerade in Sichtweite.
 - Absteigende Belohnung der vorangegangenen Aktionen

Rewardfunktion

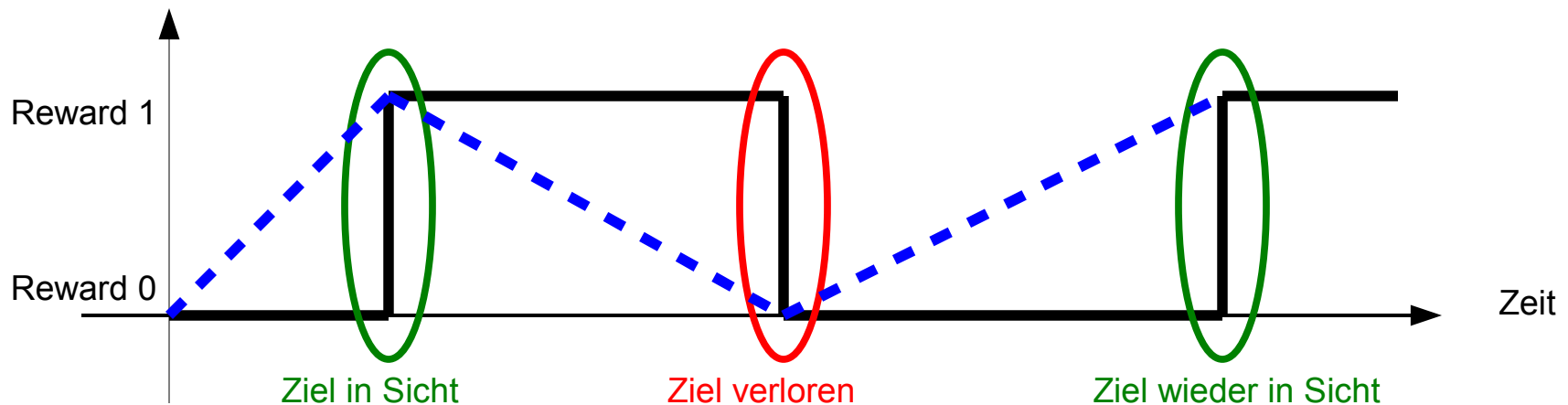
- Zu erwarten: Verteilung des Rewards in längeren Zeitabschnitten von 0 (Ziel nicht in Sicht) und 1 (in Sicht)
- In jedem Zeitabschnitt werden eine Anzahl von Classifier aktiviert und protokolliert
- Irrelevant: Ziel momentan in Sicht / nicht in Sicht
- Relevant: Ziel kommt in Sicht / Sicht zum Ziel verloren



Rewardfunktion

- Ziel kommt in Sicht (oder verlieren wir es aus der Sicht)
 - Annahme: Protokollierten Aktionen seit dem letzten Ereignis waren absteigend daran beteiligt
 - Belohnung der zugehörigen Classifier

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ Tatsächlich vergebener Reward an einzelne Classifier



Verteilung des Rewards zwischen Agenten

- Problem:
 - Kollaboration wird nicht honoriert
 - Keine globale Organisationseinheit
- In einem Netz aus Agenten müsste jeder Agent abhängig von der Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Ziels im überwachten Gebiet belohnt werden.
 - Problem: Bewegung des Ziels ist grundsätzlich unvorhersehbar
 - Aufenthaltswahrscheinlichkeit unbekannt
 - Idee:
 - Bildung lokaler Populationen
 - Verteilung des Rewards innerhalb der jeweiligen Population

Mögliche Probleme der Idee

- Homogenisierung der Regeln wird begünstigt.
- Aufwand zur Bestimmung des Verwandtschaftsgrads
- Begrenztheit der Kommunikationsmittel
- Gewisse Verzögerung bis sich Information ausgebreitet hat
- Aber:
 - Keine Übertragung der Sensorinformation nötig
 - Kommunikation ist selten notwendig
 - Nicht zeitkritisch, sofern bisher aktivierte Classifier protokolliert werden
 - Weitertransport des Rewards von Agent zu Agent
 - Markierung mit Timestamp

Grundlegender Ablauf des Classifier Systems

- Jeder Agent besitzt Regelmenge
- Regel besteht aus Bedingung und Aktion
- Input wird mit Bedingung verglichen, Aktion wird ausgeführt
- Besonderheit: Bedingungen können aus Wildcards bestehen
 - Mehrere passende Bedingungen möglich
 - Wähle daraus eine zufällige Regel, gewichtet mit deren Fitness
- Fitness einer Regel wird später angepasst
- Lernen: Generiere neue Classifier (z.B. mittels genetischer Operatoren, Mutation)

Szenario Besonderheiten

- Begrenzte Sichtweite
- Einteilung in ein Grid
- Hindernisse
- Ziel bewegt sich
 - Schneller als einzelner Agent
 - Unvorhersehbar
- Keinerlei globale Kommunikation

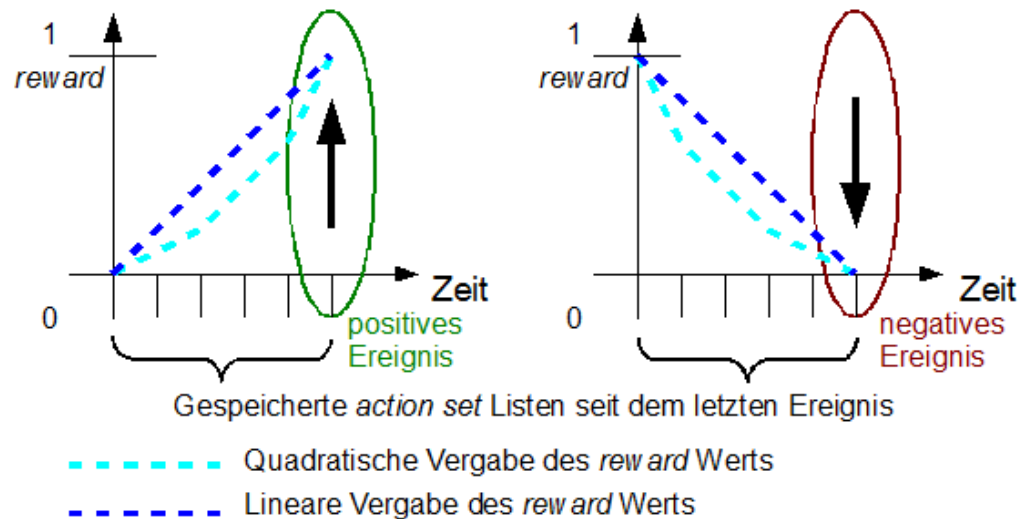
Ablauf der Simulation

XCS

Auswahlart (evtl)

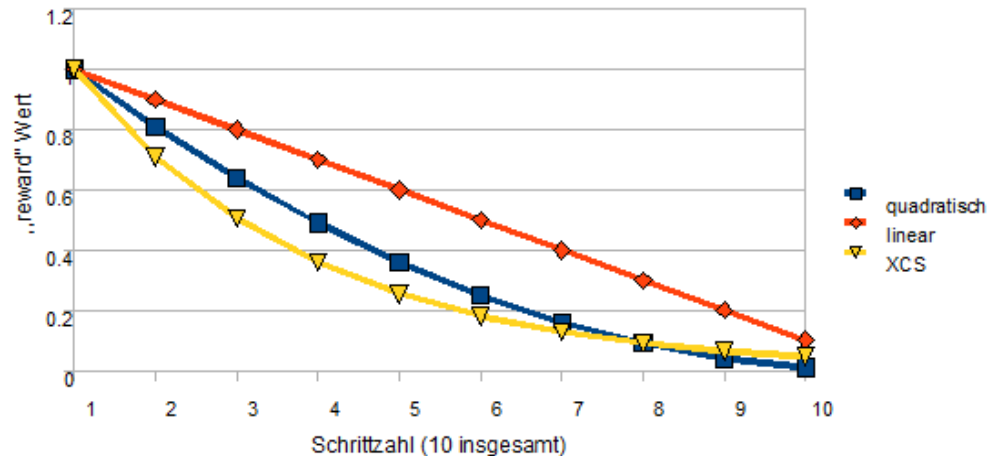
SXCS (1)

- Speicherung vergangener Aktionen
- Einführung von positiven und negativen Ereignissen
- Verteilen der Bewertung an vergangene Aktionen



SXCS (2)

- Nachbildung der sukzessiven Weitergabe (XCS) durch ähnliche Funktion mit Nullpunkt
→ Quadratische Funktion



SXCS (2)

Ablauf und Fehler beim neutralen Ereignis

