

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МОНИТОРИНГА МЕСТНОСТИ
В АКТИВНОЙ ВРАЖДЕБНОЙ СРЕДЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВОЙСТВА «ЖЕРТВЕННОСТИ» АГЕНТА****В.К. Абросимов (Москва)**

На практике возникает много разнообразных задач, когда необходимо проводить многократный мониторинг местности во враждебной среде. Такая среда снижает эффективность проведения мониторинга, а часто и противодействует его реализации. Антагонизм среды может быть как пассивным, так и активным. Пассивной враждебной можно считать среду, образованную последствиями влияния объективных природных факторов, затрудняющими мониторинг: дым от пожаров, туман, дождь, ночные условия наблюдения, высокая радиоактивность и др. Действия активной враждебной среды направлены на снижение эффективности мониторинга вплоть до невозможности его проведения; такая среда часто характеризует процессы мониторинга при решении военно-технических задач. Это может быть, например, радиоэлектронное противодействие устанавливаемым на летательном аппарате средствам мониторинга. Другим источником активного противодействия среды могут быть системы воздушно-космической обороны, уничтожающие летательный аппарат. Активная враждебность тогда является специально создаваемой, организованной, регулируемой и противодействующей.

Ниже такие средства мониторинга, как летательные аппараты различных классов, будем представлять посредством интеллектуальных агентов, а собственно процесс мониторинга осуществлять группировкой N таких летательных аппаратов-агентов [1].

В условиях враждебности среды возникает необходимость пожертвовать частью средств мониторинга для того, чтобы ценой прекращения активного функционирования одного или нескольких агентов коллективная задача была бы выполнена. Свойство «жертвенности» агентов пока еще исследовано слабо [2]. Можно предположить, что «жертвенность» является синтезом проявлений в конкретных условиях различных других свойств (убеждений, намерений, обязательств, рациональности и др.) поведения агента по отношению к другим агентам и существенно зависит а) от среды, в которой агент функционирует, б) ситуации, в которой агенту необходимо принимать решение, в) потенциальных возможностей агента по разрешению проблемной ситуации и г) мотивации агента, приобретенной в процессе обучения(самообучения).

Во всех случаях проявления и использования свойства «жертвенности» агентов необходимо решение следующих задач:

- оценки ситуации с принятием решения о действительной необходимости «жертвы» агента;
- проведения переговоров и выборе агента из состава группы, назначаемого «жертвой» или добровольно соглашающегося пожертвовать собой;
- разработки стратегии поведения агента-«жертвы»;
- перераспределении задач в группе с тем, чтобы задачи, ранее решаемые агентом-«жертвой», передать другим агентам с учетом их реализуемости имеющимися у агентов ресурсами.

Под «жертвенностью» агента $i \in N$ в s -той проблемной ситуации будем понимать одновременное существование и проявление:

- а) убежденности α агента в том, что его возможности q_i^s могут, а ресурсы r_i^s

- достаточно для решения s -той проблемы;
- б) намерения β агента решить s -тую проблему, то есть отказаться от выполнения собственных задач и взять на себя задачу разрешения возникшей проблемной ситуации;
- в) обязательства γ перед группой решить s -тую проблему.

Степени проявления во внутреннем состоянии i -того агента убежденности, намерений и обязательств целесообразно рассматривать как нечеткие переменные с функциями принадлежности: $\mu_A(\alpha), \mu_B(\beta), \mu_C(\gamma) \in [0, 1]$ и носителями: A, B, C , соответственно. Тогда, в силу необходимости одновременного наличия у агента указанных свойств, целесообразно в качестве меры «жертвенности» $\mu_i(s)$, отражающей готовность i -того агента стать «жертвой», использовать в зависимости от контента задачи сумму или произведение указанных нечетких чисел.

В соответствии с принципом обобщения теории нечетких множеств [2]

$$\mu_i(s) = \cup_{\alpha+\beta+\gamma} \{\mu_A(\alpha) \cap \mu_B(\beta) \cap \mu_C(\gamma)\}, \quad (1)$$

Зафиксируем следующее понимание.

Каждый агент $i \in N$:

- оценивая в s -той проблемной ситуации:
 - ✓ свои обязательства $\mu_C(\gamma)$ перед группой,
 - ✓ опасность φ_i^s быть уничтоженным в ходе «жертвования»,
- будучи уверенным с $\mu_A(\alpha)$ в том, что его возможности q_i^s и имеющиеся ресурсы r_i^s достаточны для разрешения ситуации,
- возлагая на группу необходимость выполнения ранее возложенных на него и нерешенных к моменту возникновения s -той проблемной ситуации задач (например, прохождения оставшейся и непройденной к моменту времени t^* части его маршрута мониторинга),
- с готовностью $\mu_i(s)$ принимает решение о жертвенности собой для разрешения s -той проблемной ситуации,
- намереваясь:
 - ✓ с $\mu_B(\beta)$ включить область s -той проблемной ситуации в свой маршрут:
 - ✓ максимально повысить для группы за счет своей жертвы возможность p^s достижения целевой функции $W^s(t)$ с минимумом потерь ΔW^s .

С учетом изложенного, построены модели поведения во враждебной среде агентов следующих типов.

«Интеллектуальный агент». Согласно [3] он автономен и способен ради достижения поставленной цели обучаться, осуществлять коммуникацию, переговоры и сотрудничать с другими агентами. В контексте рассматриваемого направления исследований он функционирует в соответствии с подзадачей w в рамках коллективной задачи W . Все агенты до появления проблемной ситуации и необходимости жертвования проявляют себя как интеллектуальные агенты.

Агент-«альтруист» (agent-altruist) (AA). При появлении проблемы альтруист объявляет о готовности жертвовать собой для достижения коллективной цели ($\mu_i^{AA}(s) = 1$). Поведение в отношении к жертвенности осмысленное, убежденность о необходимости жертвенности высокая, обязательства перед группировкой строгие.

«Разумный» агент (agent reasonable) (AR). При появлении проблемы инициирует переговоры, в которых при оценке отношений предпочтения представляет величину меры жертвенности $\mu_i^{AR}(s) \geq 0.5$. При соответствующих условиях становится жертвой.

Агент-«прагматик» (agent-pragmatist) (AP). Оценивает необходимость жертвенности с точки зрения своей практической полезности, в процессе переговоров при оценке отношений предпочтения представляет величины меры жертвенности $\mu_i^{AP}(s) < 0.5$. Допускает «жертвенность» лишь при крайней необходимости.

Агент-«эгоист» (agent-egoist) (AE). Свою подзадачу (прохождение маршрута) он рассматривает как более важную, чем коллективную задачу. Мотивация к жертвенности отсутствует $\mu_i^{AE}(s) = 0$. При проявлении проблемы на переговорах агентов объявляет об отсутствии собственных возможностей по ее решению.

В таблице систематизированы описанные модели.

Характеристики свойства «жертвенность»	Тип агента-«жертвы»			
	Агент-«альтруист» AA	«Разумный» Агент AR	Агент- «прагматик» AP	Агент- «эгоист» AE
Мотивация к жертвенности	осмысленность	целесообразность	необходимость	отсутствие
Оценка своего будущего вклада в выполнение общей задачи δw_i^{Σ}	безразлично	средний	высокий	очень высокий (неоценимый)
Убежденность α	высокая	средняя	низкая	отсутствует
Намерение β	готовность самопожертвования и отказа от решения собственных задач	готовность включить опасные зоны в свой маршрут	стремление возложить необходимость жертвы на других агентов	стремление ухода от проблем жертвенности
Обязательства γ	строгое предпочтение интересам группы	нестрогое предпочтение интересам группы	нестрогое предпочтение интересам группы	безразличие к интересам группы
Готовность к жертвенности $\mu_i(s)$	1	0.6-0.9	0.1-0.5	0

Таблица. Типы агентов-потенциальных «жертв»

Для организации взаимодействия и переговоров агентов, решающих коллективную задачу, в модели используется виртуальная «электронная доска объявлений» (bulleten board system-BBS). На BBS с определенной дискретностью каждый агент выкладывает информацию о своем состоянии и получает информацию о ситуации мониторинга и условиях враждебности среды. Состояние каждого i -того агента представляется в виде кортежа, содержащего тип мотивации агента (AA, AC, AP, AE), величину готовности $\mu_i(s)$ агента к самопожертвованию, расчетную величину вклада i -того агента в коллективную целевую функцию δw_i^{Σ} , пройденный агентом маршрут M_{iH+}^t , оставшийся непройденным агентом маршрут M_{iH-}^X , текущие r_i ресурсы агента. Информация о s -той проблемной ситуации обобщается соответствующими

датчиками и средствами наблюдения и содержит момент возникновения t^* и предполагаемый тип s -той проблемной ситуации, вероятность/возможность p^s того, что s -тая проблемная ситуация повлияет на выполнение коллективной задачи, оценку степени φ^s ее опасности для агентов группы и ряд других параметров.

Разработан алгоритм выбора «жертвы». В сокращенном виде он представляется следующим образом.

1. Группа из N агентов решает коллективную задачу с заданной коллективной целевой функцией $W_{\text{зад}}^{\Sigma}$. В дискретные моменты времени все агенты группы с использованием виртуальной доски объявлений обновляют кортеж информации о своем состоянии.
2. В момент времени t^* фиксируется и информационно отражается на BSS проблемная ситуация $s \neq 0$, отрицательно влияющая на показатели качества решения коллективной задачи $W_{\text{зад}}^{\Sigma} \downarrow$. Группой прогнозируется и фиксируется величина потерь ΔW^s коллективной целевой функции $W_{\text{зад}}^{\Sigma}$ вследствие возникновения s -той проблемной ситуации.
3. Каждый агент вырабатывает мотивацию на «жертвенность» с учетом своего типа, задаваемого в процессе обучения, а именно:

- сравнивает опасность φ_i^s и свои возможности q_i^s , вырабатывая убежденность α с функцией принадлежности $\mu_A(\alpha) = 1$ для АА, $\mu_A(\alpha) = |q_i^s - \varphi_i^s|$ для АР и АП и $\mu_A(\alpha) = 0$ для АЭ;
- оценивает величину оставшегося у него ресурса $\Delta r_i(t^*)$ и объем невыполненных задач, вырабатывая намерение $\mu_B(\beta)$ включить проблемную область s^* в свой маршрут и объявляя о невозможности обеспечить расчетную величину своего вклада δw_i^{Σ} в коллективную целевую функцию $W_{\text{зад}}^{\Sigma}$;
- вырабатывает отношение предпочтения своего решения по отношению к решению группы как степени обязательств перед группой:
 - ✓ $\mu_C(\gamma) = 1$ при АА $R^+ ZZ$ при отношении строгого предпочтения R^+ интересам группы
 - ✓ $\mu_C(\gamma) = 1$ при АР $R^{\pm} ZZ$ при отношении нестрогого предпочтения R^{\pm} интересам группы с приоритетом интереса группы;
 - ✓ $\mu_C(\gamma) = 1$ при АП $R^{\mp} ZZ$ при отношении нестрогого предпочтения R^{\mp} интересам группы с приоритетом собственных интересов;
 - ✓ $\mu_C(\gamma) = 1$ при АЭ $R^- ZZ$ при отношении безразличия R^- интересам группы;
- объявляет группе свою мотивацию (АА, АР, АП, АЭ) и рассчитанное значение готовности к самопожертвованию $\mu_i(s)$.

4. Группой на основании информации, представленной агентами на переговоры, определяется степень ущерба ΔW_i^* для выполнения всей группой коллективной задачи на момент времени t^* с учетом а) возможной потери агента при назначении его жертвой и б) вероятности того, что он остается в составе группы после выполнения «жертвенных» функций.

5. Агент-«жертва» с номером $j \in N$ выбирается с учетом текущей ситуации.

В простейшем случае выбирается агент-«альтруист» с максимальной личной уверенностью в его возможности по разрешению проблемной ситуации и готовностью к жертвенности $A_j^g = \max_i q_i^s \cap [\mu_j(s) = \max_i \mu_i(s)]$. В случае если агент-«альтруист»

важен для дальнейшего решения задач группировки ($\delta w_j^\Sigma \geq \Delta w_{зад}^\Sigma$), то жертвой предлагается стать агенту, который вносит наименьший вклад в коллективную задачу ($\delta w_j^\Sigma = \min_i \delta w_i^\Sigma$); но так как у таких агентов априори стремление к самопожертвованию может быть относительно слабым ($\mu_j(s) < 1$), то жертвой выбирается агент из множества «разумных» и «прагматичных» агентов

$$A_j^g = \max_i q_i^s \cap \min_i \delta w_i^\Sigma \cap \{ \mu_j(s) \geq \mu_j^{зад} < 1 \}. \quad (2)$$

6. Группа перераспределяет задачи, ранее возложенные на агента-«жертву» между собой и продолжает решение коллективной задачи в новых условиях отсутствия или снижения влияния проблемной ситуации.

Для моделирования процессов с участием агентов-жертв наиболее целесообразно использовать методы имитационного моделирования. Среди различных средств имитационного моделирования выбрана система AnyLogic [4]. В настоящий момент завершается разработка имитационной модели мониторинга местности группой различных по возможностям летательных аппаратов-агентов в активной враждебной среде с включением в группу агентов, обученных «жертвенности». Враждебность среды задается запретными областями заданного объема и формы в четырехмерном фазовом пространстве движения. В модели реализованы агенты с мотивацией «жертвенности» четырех указанных выше типов. Перераспределение невыполненных задач агентов-жертв среди других агентов осуществляется методами релокации [5].

Эффект «жертвенности» очень существенно зависит от условий решения практической задачи, количества агентов в группе, их распределения по типам жертвенности, враждебности среды, возможностей по мониторингу различных летательных аппаратов, ожидаемого вклада в решение коллективной задачи и ряда других факторов. В процессе предварительного моделирования отдельных практических задач при отсутствии в группе агентов-«альтруистов» потери коллективной целевой функции достигали до 50-90%. Наличие агентов-«альтруистов», добровольно жертвующих собой, снижает потери до 5-10 % в зависимости от ценности агента для решения коллективной задачи. Наличие в группе «разумных» и «прагматичных» агентов также дает возможность снижения потерь целевой функции, но в меньшей степени.

Таким образом, можно заключить следующее.

Способность к самопожертвованию не является свойством, присущим интеллектуальным агентам. Она формируется как композиция других свойств, основными из которых являются вера агента в свои возможности и доверие к другим агентам, высокая степень обязательств по отношению к другим агентам, выражающаяся в приоритетности решения задач группы и, в конечном итоге, формирование намерений отказаться от выполнения собственных задач и ценой прекращения собственного функционирования разрешить возникшую проблемную ситуацию.

Если возникает необходимость «жертвенности» из постановок практических задач, то агент должен быть обучен с помощью специальных процедур, описывающих и характеризующих мотивацию агента. Принципиально в систему управления агентом, определяющую его поведение, можно заложить алгоритмы, реализующие широкий спектр уровней «жертвенности» – как альтруистическое, так и эгоистическое поведение.

Если группировка агентов функционирует в активной агрессивной среде, в состав группировки в зависимости от постановки практической задачи целесообразно

включать агентов с различным уровнем обученности мотивации и готовности к «жертвенности».

Литература

1. Абросимов В.К., Групповое движение интеллектуальных летательных аппаратов в антагонистической среде: монография.-М.:Издательский дом «Наука, 2013.- 168с.
2. Пегат А., Нечеткое моделирование и управление. Пер с англ. . М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.- 798 с.
3. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В., Многоагентные системы (обзор)// Новости искусственного интеллекта, №2, 1998.- 196 с.
4. Карпов Ю.Г., Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5., БХВ-Петербург, 2006. - 400 с.
5. Tonči Carić, Ante Galić, Juraj Fosin, Hrvoje Gold, Andreas Reinholz.- A Modelling and Optimization Framework for Real-World Vehicle Routing Problems, in the book VehicleRouting Problem. Ed. by TončiCarić and Hrvoje Gold, InTech, 2008.- 142 p.