

人工鱼“情 + 智”协调的“意图产生”与“行为控制”

宁淑荣¹ 班晓娟¹ 涂序彦¹

摘要 从行为受情感和理智协调控制的观点出发, 研究人工鱼的意图产生与行为决策. 从人工鱼情感需求与生存理智来协调规划其意图优先级, 给出了人工鱼藏匿处成立的条件, 以及求偶、集群、避障、进食、藏匿、逃逸意图产生与行为决策的方法.

关键词 人工鱼, 人工情感, 协调控制

中图分类号 TP242.6

Intention Produce and Behavior Control for Artificial Fish Based on Harmonic of Emotion and Intelligence

NING Shu-Rong¹ BAN Xiao-Juan¹ TU Xu-Yan¹

Abstract Behavior is harmonically controlled by emotion and intelligence. From this point, intention-produce and decision-making of artificial fish are analyzed. A rule on priority of intention is introduced. The sequence of intention priority is laid out. The triggering rule of concealing and detecting burrow is researched. The intention produce and behavior control of escaping, crowding, food-seeking, and other behaviors are addressed.

Key words Artificial fish, artificial emotion, harmonic control

1 引言

“人工鱼”(Artificial fish)^[1] 是一种典型的虚拟人工动物。“人工鱼”的创作采用“人工生命”的方法来实现三维动画和虚拟现实. 不同于传统的计算机动画所采用的“关键帧”技术, 人工生命方法是基于自然生命模型的动画自动生成方法, 增强了计算机动画的逼真度和生动性, 提高了动画的创作效率, 也降低了动画制作的劳动强度. 计算机动画的“人工生命”方法将自然生态系统的动画, 看作是动物在栖息地生活的可视化仿真过程, 是计算机图形学和人工生命两个领域的有机结合. 在人工鱼的研究中, 已做的研究工作有: 人工鱼的自繁衍和进化^[2]、人工鱼的认知、基于自学习的人工鱼的感知系统设计^[3]、人工鱼的“觅食物”行为和“求偶”行为的运动规律模型^[4]等. 本文从行为受智能和情感协调控制的观点出发, 研究人工鱼的意图产生和行为控制.

2 动物的情感

2.1 动物情感研究

神经生物学和行为观察学领域的科学家们对动

物是否有情感这个问题给出了新的证据. 他们通过对黑猩猩、狗、猫、老鼠、甚至章鱼等的研究得出结论: 所有的动物都有恐惧, 并且大多数的动物都会像爱同类一样爱某些事物. 研究非洲丛林中猩猩行为的古德尔将猩猩的行为描述为“欢乐”、“悲伤”和“忧郁”. 古德尔之后的研究人员发现猫、狗、鸟、甚至章鱼等动物也具有类似的情感.

受迪斯尼卡通片中感情丰富的动物的影响, 如坠入情网的海洋巨兽, 悲伤过度的黑猩猩, 以及影片《海底总动员》中的马林和尼莫, 这些形象逼真、感情丰富的虚拟动物使很多人坚信动物有着人类般强烈的情感, 而无需什么证据来证明宠物狗或宠物猫的生气、郁闷、得意洋洋. 动物行为学和神经生物学的研究也证实了这种看法. 此外, 轶闻趣事, 用科学术语称之为“案例研究”, 已经引起了动物行为研究人员的重视.

《海豚的微笑》一书集结了 50 多位科学家的研究成果. 他们将自己的整个职业生涯都倾注在对猫、狗、熊、黑猩猩、鸟、鱼等动物的研究^[5]. 凭借敏锐的观察技巧和对研究课题“动物是否有情感”发自内心的强烈爱好, 他们为动物丰富的感情生活提供了令人信服的证据, 如许多动物在失去孩子、遭遇敌人、选择配偶, 或被欺骗、惩罚、受到挑战, 或受到责怪等情况时, 看起来确实有情感反应. 而这些情感甚至发生在像鸟类、鱼类和爬行动物等普遍被认为“不太可能具有情感”的动物身上. 此外, 动物情感论还得到了大脑化学研究的支持, 认为: 动物除了会

收稿日期 2006-1-26 收修改稿日期 2006-4-29
Received January 26, 2006; in revised form April 29, 2006
国家自然科学基金 (60374032, 60375038, 60503024) 资助
Supported by National Natural Science Foundation of China (60374032, 60375038, 60503024)
1. 北京科技大学信息工程学院 北京 100083
1. School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083
DOI: 10.1360/aas-007-0835

恐惧、疼痛、喜悦和愤怒外，也有更复杂的情感，诸如窘迫、爱和悲伤。

2.2 人工鱼的基本情感

“情”指“情感”，“情感”意味着“情绪”和“感情”^[6]。一般来说，情绪是指个体人工鱼自身的状态，与人工鱼自身的内部状态有关，如喜、怒、悲、恐，是人工鱼的需求得到满足，或没有得到满足后产生的暂时性的，比较明显的情绪变化；感情是指两条人工鱼或多条人工鱼之间单向或双向的情感交流，如爱、恨、恩、仇等。感情与情绪两者之间，感情的强度比较强，且持续时间比较长；情绪的强度相对较弱，且持续时间较短。

“智”指“智能”，“智能”意味着“理智”和“能力”。理智是指动物的逻辑；能力包括人工鱼经由遗传得到的能力和人工鱼后天学习到的能力等。

动物的情感可分为四大类：爱；恐惧、侵犯和愤怒；快乐和悲伤；同情和信任、嫉妒。其中快乐是最常见的一种情感，而恐惧则被认为是一种初级情感。

可以说，恐惧感是促使动物得以进化的一个重要因素。恐惧通常来自于其它动物的侵犯，由侵犯还会导致愤怒。侵犯仅针对于种的延续有关的行为：捕食或交配。而婴儿、同胞、配偶、父母甚至朋友的死亡，则会使得动物陷入难以形容的悲痛之中。

在人工鱼的情感研究中，选取其中具有代表性的情感作为人工鱼的基本情感：快乐 (Happiness) 和恐惧 (Fear)。在基本情感中，快乐为积极情感，恐惧为消极情感。选取这两种情感作为人工鱼的基本情感是因为恐惧是所有动物 (包括人类) 最基本、最初级也是最原始的情感，它是所有动物向前进化的原因之一。快乐是动物中最为常见的情感之一，也是最有代表性的情感之一。

贝科夫认为：了解动物的情感事实上可能比了解人类的情感更容易，因为它们不会像人类那样对情感进行“过滤”。

3 “情+智”意图产生和行为决策

3.1 “情+智”意图产生的系统总体架构

人工鱼的行为和运动由“情感”和“智能”协调控制：

(情感+智能) → 意图 → 行为 → 运动

通常，外部环境刺激人工鱼时都同时伴随着几种情感的产生，如人工鱼遇到鲨鱼袭击时，虽然恐惧是最主要的情感，但同时会伴随着对鲨鱼的怨恨，因

为对于人工鱼来说，它一般是无法与鲨鱼抗衡的。公鱼见到母鱼时，会产生爱、快乐等情感。一条人工鱼被吊钩钩走时，其它的人工鱼会产生害怕、同情等情感。

人工鱼“情+智”协调控制^[7~11]原理图见图 1。当情感的强度超过人工鱼所能承受的阈值时，情感在人工鱼的意图产生和行为决策中占主导地位。反之，理智占主导地位。

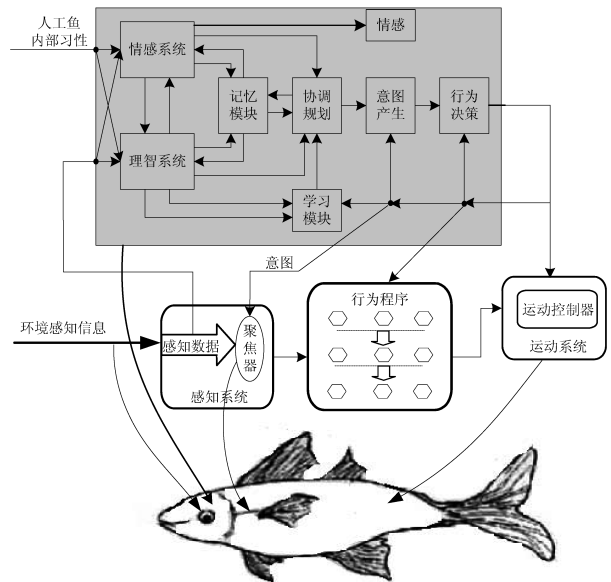


图 1 人工鱼“情+智”协调控制原理图

Fig. 1 The harmonic control of emotion and intelligence of artificial fish

人工鱼的行为由其内部习性和外部环境刺激共同引起。外部环境刺激为海洋环境通过感知系统对人工鱼造成的影响，如鲨鱼、捕食者的出现等；内部习性是相对外部环境刺激而言的，如人工鱼的饥饿感、性欲等。这两种因素经过情感系统和理智系统时会产生多种不同的意图，这些意图在意图产生器中会进行竞争，最后只输出一种意图，被输出的意图会触发人工鱼的行为程序进而影响人工鱼的行为。

人工鱼的目标与当前意图有时一致，有时不一致。如人工鱼感到饥饿时，没有外部环境刺激影响时，人工鱼会按照当前的意图去觅食，此时，目标与当前意图一致；假如此时遇到鲨鱼的袭击，人工鱼则先放弃觅食意图，执行逃逸行为，在逃逸成功后，再继续觅食。此时，目标与当前意图不一致。

在人工鱼的记忆模块中，当前信息存储在 Short Term Memory 中，而历史信息保存在 Long Term Memory 中。随着时间以及外部环境刺激的频率变

化, 人工鱼的历史信息与当前信息可以相互转化.

3.2 人工鱼的情感评估

人工鱼的情感主要由外部刺激引起, 如见到鲨鱼会“恐惧”, 公鱼见到母鱼会“快乐、高兴”. 外部刺激经由感知系统后进入情感系统, 进而触发人工鱼的情感.

外部感知信息 → 感知系统 → 情感系统 → 情感

现以恐惧感 F 为例, 来评估人工鱼的情感状态. 目前, 能引起人工鱼恐惧感的因素有: 1) 鲨鱼或捕食者; 2) 附近有无藏身处 B , 例如只有人工鱼能够通过, 而捕食者无法通过的狭小裂缝.

$$F(t) = \min\left[\sum_i F^i(t), B, 1\right] \quad (1)$$

$$F(t) \in [0, 1]^i \quad (2)$$

其中

$$B = \begin{cases} 1, & \text{有藏匿处} \\ 0, & \text{无藏匿处} \end{cases} \quad (3)$$

$$F^i(t) = \min[T_i D_0 / d^i(t), 1], \quad T_i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

$F^i(t)$ 和 $d^i(t)$ 分别为对所发现的捕食者 i 的恐惧感和距离. D_0 为一常数, T_i 为捕食者类型. 不同类型的捕食者对人工鱼造成的恐惧感是不同的. 取值越高, 捕食者对人工鱼的威胁就越大; 反之, 威胁就越小.

情感的产生不一定会触发行为. 如捕食者离人工鱼比较远时, 不会对人工鱼的生命构成威胁, 人工鱼有足够逃逸时间; 或附近有可藏匿的地方, 则人工鱼不会产生逃逸意图. 只有当情感的强度超过人工鱼的阈值后, 情感才能触发意图和行为. 定义 $f_0 (0 \leq f_0 \leq 0.4)$ 为逃逸意图触发阈值. f_0 取值的高低也决定了人工鱼的胆大或胆小, 取值高表明人工鱼比较胆大, 反之, 人工鱼比较胆小.

情感在触发行为后会持续一段时间, 在危险消除后则会衰减, 当衰减到阈值以下时, 人工鱼会重新产生当前意图 (见图 2, 其中 t_1 为解除危险时刻, t_0 为到达阈值时刻.).

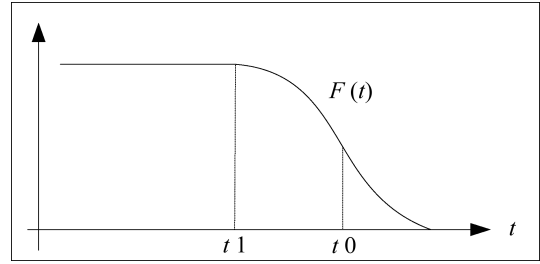


图 2 情感衰减示意图

Fig. 2 The sketch map of emotion declining

3.3 意图优先级

在某一时刻, 人工鱼的外部感知信息、内部状态等经由情感系统和理智系统后会在意图产生器中产生多个意图, 然而, 在某一时刻, 只能输出一种意图, 因此, 多个意图间会进行优先级竞争.

意图优先级如何规划, 直接涉及到人工鱼行为程序的触发和运动系统的调控. 因此, 如何合理地规划意图优先级是人工鱼行为决策的一个重要问题.

意图规划原则:

1) 消极情感触发的意图 I_{ne} 优先级要高于积极情感触发的意图 I_{ae} ;

$$P(I_{ne}) \geq P(I_{ae}) \quad (5)$$

2) 情感系统触发的意图 I_e 和理智系统触发的意图 I_i , 当同时触发且强度相当时, 则 I_e 优先级要高于 I_i , 即

$$P(I_e) > P(I_i) \quad (6)$$

3) 与人工鱼生存有关的意图, 如逃逸、进食等, 其优先级要高于非生存有关的意图.

基于以上规则, 从情感和理智协调控制的角度出发, 意图优先级的顺序如图 3 所示.

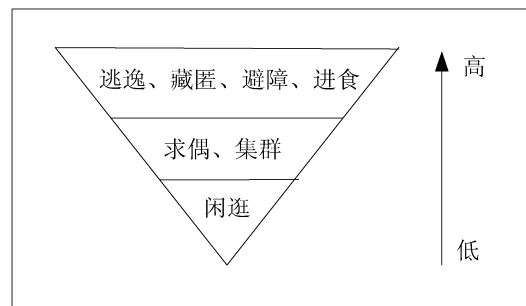


图 3 意图优先级别示意图

Fig. 3 The sketch map of intention priority

在图 3 中, 意图优先级从左到右, 从上到下依次降低.

逃逸、藏匿、避障、进食处于同一优先级, 为人工鱼的初级行为, 其优先级最高. 这一级中, 从左到右, 优先级依次降低, 即逃逸优先级最高, 进食级别最低. 这是因为逃逸和藏匿行为是由情感触发的意图, 而且是由消极情感(恐惧)触发的意图. 心理学研究表明, 消极情感比积极情感更容易引起意图或行为的改变.

求偶、集群行为优先级为次高; 求偶和集群同时触发时, 则求偶的意图优先级高于集群意图, 求偶意图为积极情感(如快乐)触发的意图. 集群为人工鱼的习性所决定的意图, 如有的人工鱼喜欢集群, 而有的人工鱼则喜欢独自行动.

闲逛在人工鱼的意图中级别最低.

3.4 藏匿处检测

藏匿处为人工鱼在遇到捕食者时可以躲避的地方. 如果有捕食者袭击, 而人工鱼距离藏匿处比较近且有足够时间躲进藏匿处时, 人工鱼会利用藏匿处来躲避捕食者袭击, 而无需逃逸.

以鲨鱼作为捕食者, 来研究人工鱼藏匿处的检测.

假设人工鱼的长度为 F_l , 宽度为 F_w (鱼身最大宽度), 高度为 F_h (鱼身最大高度), 则人工鱼的最大体积为

$$F_{v \max} = F_l \times F_w \times F_h \quad (7)$$

同样, 假设鲨鱼的体长为 S_l , 宽为 S_w (鲨鱼鱼体的最大宽度), 高度为 S_h (鲨鱼鱼体的最大高度), 则鲨鱼的最大体积为

$$S_{v \max} = S_l \times S_w \times S_h \quad (8)$$

为了保证藏匿处能有足够的空间容纳人工鱼, 藏匿处成立的条件 1 为

$$B_{l \min} \geq F_l, B_{w \min} \geq F_w, B_{h \min} \geq F_h \quad (9)$$

其中, $B_{l \min}$ 为藏匿处最短的长度, $B_{w \min}$ 为藏匿处最窄的宽度, $B_{h \min}$ 为藏匿处最低的高度.

为了保证人工鱼可以藏身藏匿处, 而鲨鱼却无法进入, 从而得以保证人工鱼的安全, 则藏匿处成立的条件 2 为

$$F_{v \max} < B_v \ll S_{v \max} \quad (10)$$

其中 B_v 为藏匿处的体积.

在上述两个条件满足的情况下, 人工鱼藏匿行为的触发条件为

$$F(t) > f_0, D_{fb} \ll D_{fs} \quad (11)$$

其中, D_{fb} 为人工鱼与藏匿处的距离, D_{fs} 为人工鱼与鲨鱼的距离. 换句话说, 当鲨鱼对人工鱼造成威胁, 而人工鱼周围存在藏匿处, 且人工鱼在鲨鱼到达之前有足够的时间躲进藏匿处时, 则人工鱼藏匿行为触发, 否则人工鱼选择逃逸.

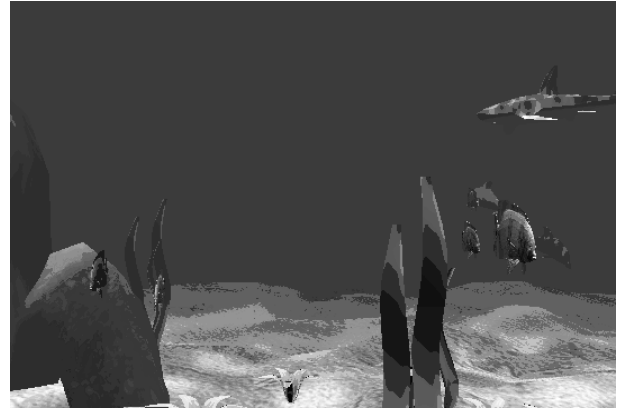


图 4 人工鱼藏匿行为

Fig. 4 The escaping behavior of artificial fish

4 结论与展望

本文从情感和理智协调控制的新观点, 研究人工鱼的意图产生与行为决策; 从人工鱼情感需求与生存理智来协调规划其意图优先级; 给出了人工鱼藏匿处成立的条件; 以及求偶、集群、避障、进食、藏匿、逃逸意图产生与行为决策的方法.

人工鱼“情+智”协调“意图产生”和“行为控制”是一个新的问题, 不仅需要研究人工鱼个体的“情+智”协调控制问题, 而且需要研究多人工鱼群体的协调控制问题.

References

- 1 Tu Xiao-Yuan. *Artificial Fish - Artificial Life for Computer Animations*. Beijing: Tsinghua University Press, 2001
(涂晓媛. 人工鱼 — 计算机动画的人工生命方法. 北京: 清华大学出版社, 2001)
- 2 Chen Hong-Juan, Ban Xiao-Juan, Tu Xu-Yan. The research of artificial life for computer animations - the self-reproduction model of artificial fish. *Acta Automatica Sinica*, 2003, **29**(6): 986~989
(陈泓娟, 班晓娟, 涂序彦. 计算机动画的人工生命方法研究—人工鱼的自繁衍模型. 自动化学报, 2003, **29**(6): 986~989)
- 3 Ban Xiao-Juan, Zeng Guang-Ping, Tu Xu-Yan. Design and implementation of perception system based on self-learning for artificial fish. *Acta Electronic Sinica*, 2004, **32**(12): 2041~2045
(班晓娟, 曾广平, 涂序彦. 基于自学习的人工鱼感知系统设计与实现. 电子学报, 2004, **32**(12): 2041~2045)
- 4 Yang Guo-Wei. Motion model on “behavior of holding food in mouth” and “behavior of courtship” of artificial fishes.

Computer Engineering and Applications, 2005, 41(12): 22~25

(杨国为. 人工鱼的“觅食物行为”和“求偶行为”的运动规律模型. 计算机工程与应用, 2005, 41(12): 22~25)

- 5 Shi Li-Qun. *Smile of Dolphin*. Shenyang: Liaoning Education Press, 2001

(史立群. 海豚的微笑. 沈阳: 辽宁教育出版社, 2001)

- 6 Tu Xu-Yan. *Artificial emotion. Development of Chinese Artificial Intelligence*. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2003

(涂序彦. 人工情感. 中国人工智能进展. 北京: 北京邮电大学出版社, 2003)

- 7 Tu X Y. Theory of an harmonically acting control system with a larger number of controlled variables. In: Proceedings of the First International Congress of IFAC (International Federation of Accountants). Moscow, Russia, Butterworths Scientific Publications, 1960

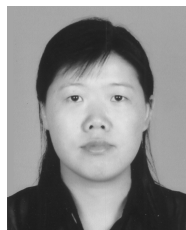
- 8 Tu X Y, Tang T. Intelligent autonomous decentralized system. In: Proceedings of the 2nd International Workshop of IEEE Computer Society on Autonomous Decentralized System. IEEE, 2002. 10~15

- 9 Tu X Y. Designer-computer harmonical CAD system with integrated intelligence. In: Proceedings of the Second International Workshop on Computer Supported Cooperatiive Work in Design. Bangkok, Thailand, 1997. 26~28

- 10 Tu X Y. AI, AL and robotics. In: Proceedings of FIRA Federation of International Robo-soccer Association World Congress. Seoul, Korea, 2002

- 11 Yang Guo-Wei. *Model of Artificial Life*. Beijing: Sience Press, 2005

(杨国为. 人工生命模型. 北京: 科学出版社, 2005)



宁淑荣 北京科技大学信息学院讲师. 主要研究方向为人工生命和智能控制. 本文通信作者.

E-mail: ningngu@yahoo.com.cn

(NING Shu-Rong Lecturer at School of Information Engineering, University of Science and Technology

Beijing. Her research interest covers artificial life and intelligent control. Corresponding author of this paper.)



班晓娟 北京科技大学信息学院副教授. 主要研究方向为人工生命和计算机动画.

E-mail: banxj@ies.ustb.edu.cn

(BAN Xiao-Juan Associate professor at School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing. Her research interest covers

artificial life and computer animation.)



涂序彦 北京科技大学信息学院教授. 主要研究方向为人工生命和人工智能.

E-mail: tuxuyan@126.com

(TU Xu-Yan Professor at School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing. His research interest covers artificial life and

artificial intelligence.)