

Evolução Incremental

- A Evolução Incremental (EI) foi sugerida por Harvey (Harvey, 1993) e estabelece que na busca de um controlador para solucionar uma tarefa complexa, ao invés de evoluir a partir de uma população criada randomicamente
- Deve-se procurar iniciar a evolução de uma população já evoluída em uma tarefa similar, porém mais simples.
- A população é submetida a uma sucessão de tarefas cada vez mais complexas, evoluindo progressivamente em sistemas cada vez mais complexos.
- **Exemplo** – (dado por Brooks): Inicialmente, os comportamentos correntes são evoluídos até chegar a um ponto satisfatório, para depois se passar ao desenvolvimento do próximo comportamento desejado (Brooks, 1991b).

Situação:

- A Robótica Evolutiva tipicamente precisa de técnicas de aprimoramento adaptativo, em vez das habilidades de otimização de AG's em um espaço de busca de dimensão fixa.
- O número de componentes requeridos para produzir os comportamentos esperados pode ser desconhecido inicialmente.
- EI incrementará progressivamente o número de componentes através de sucessivas tarefas, cada vez mais difíceis, conforme a necessidade.
- Esta abordagem emprega AG's como aperfeiçoadores adaptativos ao invés de otimizadores.

Species-Adaptation Genetic Algorithms – SAGA

- Para permitir uma grande variedade de possíveis arquiteturas de controle, uma solução é adotar o comprimento do genótipo como sendo variável (Harvey et al., 1993).
- Algoritmos Genéticos de Adaptação de Espécies (*Species Adaptation Genetic Algorithms* – SAGA) foi proposto por Harvey para explicitamente trabalhar com genótipos de tamanho variável.
- SAGA utiliza Evolução Incremental iniciando com um genótipo pequeno e simples que produz comportamentos elementares.
- Isto permite que a evolução sintetize os comportamentos elementares inicialmente e, então, progressivamente aumente a extensão do genótipo, permitindo que a evolução novamente sintetize, desta vez, a partir de uma população mais bem adaptada (Mataric, 1996).
- Então, indivíduos complexos podem ser evoluídos de outros mais simples que, associados, aumentam o comprimento do genótipo (Harvey, 1993).
- Estas duas fases (alteração de genótipo e síntese) se repetem até que um controlador suficientemente complexo é obtido.
- As variações no tamanho do genótipo devem ser atingidas, em média, sem um impacto significativo na aptidão (Harvey et al., 1994).
- Em SAGA, *crossover* entre indivíduos somente é permitido entre pais com no máximo uma certa distância entre seus genótipos. A reprodução pode ser problemática com genótipos de diferentes comprimentos (Thompson, 1994).

Co-Evolução

- A Co-Evolução de dois ou mais comportamentos é um processo delicado que tem sido executada na maioria das vezes em simulação (Cliff & Miller, 1996).

Exemplo - Co-Evolução, como no contexto de perseguição e fuga, ocorre quando um robô perseguidor tem seu grau de aptidão determinado pelo comportamento corrente do fugitivo, e vice-versa (Dautenhahn & Nehaniv, 1998).

- AG's tipicamente trabalham em horizontes de aptidão estáticos. Alternativamente, co-evolução trabalha em horizontes de aptidão dinâmicos que se alteram continuamente (Floreano et al., 1998).
- Co-Evolução faz uso de relações entre sistemas que estão sendo evoluídos, de uma forma que dependam um do outro.

Na Natureza - Ao evoluir para resolver um determinado problema, os organismos constantemente se adaptam uns aos outros e ao ambiente que os cercam, incluindo comida, parceiros sexuais, competidores e predadores. Camuflagem, por exemplo, pode ser a resposta de um predador para reagir a uma presa mais ágil.

- Funções de aptidão competitiva, que são dependentes do conjunto de indivíduos da população, podem prover um ambiente de treino mais robusto que funções de aptidão independentes (Nolfi & Floreano, 1998a).
- Estratégias co-evolutivas têm fornecido alternativas bem sucedidas em muitos trabalhos envolvendo simulação, como comportamento agressivo, seleção sexual e evolução dos sistemas de comunicação.
- A Co-Evolução embarcada em robótica envolve a construção de duas ou mais populações de robôs (predadores e presas, por exemplo) que são inter-relacionadas (Nolfi & Floreano, 1998a). Isto adiciona complexidade e custo para a já difícil tarefa de embarcar um algoritmo evolutivo em *hardware*.

Co-Adaptação

- Um esquema de codificação verdadeiramente genérico deve facilmente integrar as especificações das características do controlador e da morfologia (Mataric, 1996).
- Este esquema pode incluir códigos de configuração que definam e permitam Co-Adaptação da arquitetura de controle e parâmetros especificando o sensoriamento e as características do motor (Nolfi & Floreano, 1998b).
- Distintamente das interações de comportamentos competitivos dos algoritmos co-evolutivos, Co-Adaptação envolve evolução paralela de diferentes características de um mesmo indivíduo (Watson et al., 2000).
- Assim, a morfologia de um robô, como a distribuição e alcance dos sensores, pode ser selecionada por evolução, enquanto o controlador progressivamente aprende a como lidar com as novas características (Lund et al., 1997).
- Comparando-se com a natureza, é como se o sistema nervoso e a forma do corpo evoluíssem juntos no ambiente, como se o código genético pudesse configurar tanto a forma corporal quanto os instintos do cérebro.
- Desta forma, tanto as habilidades naturais natas de um indivíduo quanto às características de seu corpo são manipuladas por evolução de geração para geração, até emergir uma combinação eficiente para solucionar a tarefa.

Referências

- (Brooks, 2000) Brooks, R. A., *From Robot Dreams to Reality*. In Nature, v. 406, n. 6799, ISSN: 0028-0836, pp. 945-947, 2000.
- (Brooks, 1991a) Brooks, R. A., *Elephants Don't Play Chess*. In Designing Autonomous Agents: Theory and Practice From Biology to Engineering and Back, Publisher: MIT Press, Cambridge, MA, USA, pp. 3-15, 1991.
- (Brooks, 1991b) Brooks, R. A., *Intelligence Without Reason*. Proceedings of the Twelfth International Joint Conference on Artificial Intelligence, Publisher: Morgan Kauffman, San Mateo, CA, USA, pp. 569-95, 1991.
- (Campbell et al., 1999) Campbell, N. A., Reece, J. B., & Mitchell, L. A., *Biology*. 1st ed., Publisher: Addison Wesley Longman, California, USA, 1999.
- (Cliff et al., 1992) Cliff, D., Harvey, I., & Husbands, P., *Incremental Evolution of Neural Network Architectures for Adaptive Behaviour*. Report ID: Cognitive Science Research Paper Serial No. CSRP 256, The University of Sussex School of Cognitive and Computing Sciences, Falmer Brighton, BN1 9QH, England, UK, 15p., 1992.
- (Cliff & Miller, 1996) Cliff, D. & Miller, G. F., *Co-Evolution of Pursuit and Evasion II: Simulation Methods and Results*. Proceedings of the Fourth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior - SAB96: From Animals to Animats 4, Maes, P., Mataric, M., Meyer, J. A. et. al. (Eds.), Publisher: MIT Press, pp. 506-515, 1996.
- (Dautenhahn & Nehaniv, 1998) Dautenhahn, K. & Nehaniv, C., *Artificial Life and Natural Stories*. Proceedings of the Third International Symposium on Artificial Life and Robotics - AROB III'98, v. 2, January 19-21, 1998, Beppu, Japan, pp. 435-439, 1998.

- (Floreano & Mondada, 1994) Floreano, D. & Mondada, F., *Automatic Creation of an Autonomous Agent: Genetic Evolution of a Neural-Network Driven Robot*. Proceedings of the 3rd International Conference on Simulation of Adaptive Behavior - SAB'94, From Animals to Animats 3, Cliff, D., Husbands, P., Meyer, J. A. et. al. (Eds.), Publisher: MIT Press/Bradford Books, Cambridge, MA, USA, pp. 421-430, 1994.
- (Floreano et al., 1998) Floreano, D., Nolfi, S., & Mondada, F., *Competitive Co-Evolutionary Robotics: From Theory to Practice*. Proceedings of the Fifth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, Pfeifer, R. (Ed.), Publisher: MIT Press-Bradford Books, Cambridge, MA, USA, pp. 515-524, 1998.
- (Harvey, 1992) Harvey, I., *Species Adaptation Genetics Algorithms: A Basis for a Continuing SAGA*. Proceedings of the First European Conference on Artificial Life: Toward a Practice of Autonomous Systems, Varela, F. J. and Bourgine, P. (Eds.), Publisher: MIT Press/Bradford Books, Cambridge, MA, USA, pp. 346-354, 1992.
- (Harvey, 1993) Harvey, I., *Evolutionary Robotics and SAGA: the Case for Hill Crawling and Tournament Selection*. In Artificial Life III, Langton, C. (Ed.), Publisher: Addison-Wesley, pp. 299-326, 1993.
- (Harvey et al., 1993) Harvey, I., Husbands, P., & Cliff, D., *Genetic Convergence in a Species of Evolved Robot Control Architectures*. Report ID: Cognitive Science Research Paper Serial No. CSRP 267, The University of Sussex School of Cognitive and Computing Sciences, Falmer Brighton, BN1 9QH, England, UK, 14p., 1993.
- (Harvey et al., 1994) Harvey, I., Husbands, P., & Cliff, D., *Seeing the Light: Artificial Evolution, Real Vision*. Report ID: Cognitive Science Research Paper Serial No. CSRP 317, The University of Sussex School of Cognitive and Computing Sciences, Falmer Brighton, BN1 9QH, England, UK, 11p., 1994.

- (Holland, 1962) Holland, J. H., *Outline for a Logical Theory of Adaptive Systems*. In Journal of the Association for Computing Machinery, v. 3, pp. 297-314, 1962.
- (Jakobi et al., 1995) Jakobi, N., Husbands, P., & Harvey, I., *Noise and the Reality Gap: The Use of Simulation in Evolutionary Robotics*. In Advances in Artificial Life: Proceedings of the Third European Conference on Artificial Life - ECAL95, LNAI 929, Moran et. al. (Eds.), Publisher: Springer Verlag, pp. 704-720, 1995.
- (Keymeulen et al., 1997) Keymeulen, D., Durantez, M., Konaka, K., Kuniyoshi, Y., & Higuchi, T., *An Evolutionary Robot Navigation System Using a Gate-Level Evolvable Hardware*. In Evolvable Systems: From Biology to Hardware, Lecture Notes in Computer Science 1259, Higuchi, Iwata, and Liu (Eds.), Publisher: Springer-Verlag, pp. 195-209, 1997.
- (Lund et al., 1997) Lund, H. H., Hallam, J., & Lee, W. P., *Evolving Robot Morphology*. Proceedings of the IEEE Fourth International Conference on Evolutionary Computation, Publisher: IEEE Press, 6p., 1997.
- (Mataric, 1996) Mataric, M. J., *Challenges In Evolving Controllers for Physical Robots*. In Evolutional Robotics: Special Issue of Robotics and Autonomous Systems, v. 19, n. 1, pp. 67-83, 1996.
- (Mondada & Floreano, 1995) Mondada, F. & Floreano, D., *Evolution of Neural Control Structures: Some Experiments on Mobile Robots*. In Robotics and Autonomous Systems, v. 16, pp. 183-195, 1995.
- (Moriarty & Miikkulainen, 1996) Moriarty, D. E. & Miikkulainen, R., *Evolving Obstacle Avoidance Behavior in a Robot Arm*. Proceedings of the Fourth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior - SAB96: From Animals to Animats, Maes, P., Mataric, M., Meyer, J.-A. et. al. (Eds.), Publisher: MIT Press, Cambridge, MA, USA, pp. 468-475, 1996.

- (Nebel, 1996) Nebel, B., *Artificial Intelligence: A Computational Perspective*. In Principals of Knowledge Representation, Studies in Logic, Language and Information, Brewka.G. (Ed.), Publisher: CSLI Publications, pp. 237-266, 1996.
- (Nolfi & Floreano, 1998a) Nolfi, S. & Floreano, D., *Co-Evolving Predator and Prey Robots: Do 'Arm Races' Arise in Artificial Evolution?* In Artificial Life, v. 4, n. 4, pp. 311-335, 1998.
- (Nolfi & Floreano, 1998b) Nolfi, S. & Floreano, D., *How Co-Evolution Can Enhance the Adaptive Power of Artificial Evolution: Implications for Evolutionary Robotics*. Proceedings of the First European Workshop on Evolutionary Robotics - EvoRobot98, Apr. 16-17, 1998, Paris, France, Husbands, P. and Meyer, J. A. (Eds.), Publisher: Springer Verlag, pp. 22-38, 1998.
- (Paredis, 1996) Paredis, J., *Coevolutionary Computation*. In Artificial Life, v. 2, n. 4, Langton, C. (Ed.), Publisher: MIT Press/Bradford Books, pp. 355-375, 1996.
- (Potter et al., 1995) Potter, M. A., De Jong, K. A., & Grefenstette, J. J. (1995). *A coevolutionary approach to learning sequential decision rules*. In Eshelman, L., editor, Proceedings of the Sixth International Conference on Genetic Algorithms, pages 366-372, San Francisco, CA. Morgan Kaufman. 1995.
- (Rao & Fuentes, 1996) Rao, R. & Fuentes, O., *Learning Navigational Behaviors Using a Predictive Sparse Distributed Memory*. In From Animals to Animats 4, Maes, P. et. al. (Eds.), Publisher: MIT Press, Cambridge MA, USA, pp. 382-390, 1996.
- (Ribeiro et al., 2001) Ribeiro, C., Reali, A. & Romero, R.. Robôs Móveis Inteligentes: Princípios e Técnicas, Capítulo de livro da I Jornada de Atualização em Inteligência Artificial – JAIA'2001, Anais do XXI Congresso da SBC. 2001.
- (Shipman et al., 2000) Shipman, R., Shackleton, M., Ebner, M., & Watson, R. A., *Neutral Search Spaces for Artificial Evolution: A Lesson From Life*. Proceedings of the Seventh International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living

Systems – Artificial Life VII, Aug. 1-2, 2000, Reed College, Portland, Oregon, USA, Bedau, M., McCaskill, J., Packard, N. et. al. (Eds.), pp. 52-59, 2000.

(Simões & Dimond, 1999) Simões, E. D. V. & Dimond, K. R., *An Evolutionary Controller for autonomous Multi-Robot Systems*. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, v. 6, Oct., 1999, Tokyo, Japan, pp. 596-601, 1999.

(Simões, 2000) Simões, E. D. V., *Development of An Embedded Evolutionary Controller to Enable Collision-Free Navigation of a Population of Autonomous Mobile Robots*. In PhD Thesis, The University of Kent at Canterbury, UK, 289p., 2000.

(Simões, 2003) Simões, E. D. V., *Robótica Evolutiva*. In Sociedades Artificiais: A nova fronteira das máquinas. Editora ARTMED, Porto Alegre – RS, pp. 251-275. 2003

(Smith, 1998) Smith, T., *Blurred Vision: Simulation-Reality Transfer of a Visually Guided Robot*. Proceedings of the First European Workshop on Evolutionary Robotics - EvoRobot98, Husbands, P. and Meyer, J. (Eds.), Publisher: Springer Verlag, pp. 123-136, 1998.

(Thompson, 1994) Thompson, A., Harvey, I., & Husbands, P., *Unconstrained Evolution and Hard Consequences*. Report ID: Cognitive Science Research Paper Serial No. CSRP 397, The University of Sussex School of Cognitive and Computing Sciences, Falmer Brighton, BN1 9QH, England, UK, 31p., 1994.

(Tomassini, 1995) Tomassini, M., *A Survey of Genetic Algorithms*. In Annual Reviews of Computational Physics, World Scientific, pp. 87-118, 1995.

(Watson, 1999) Watson, R. A., Ficici, S. G., & Pollack, J. B., *Embodied Evolution: Embodying an Evolutionary Algorithm in a Population of Robots*. Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, Angeline, P., Michalewicz, Z., Schoenauer, M. et. al. (Eds.), Publisher: IEEE Press, pp. 335-342, 1999.

(Watson et al., 2000) Watson, R. A., Reil, T., & Pollack, J. B., *Mutualism, Parasitism, and Evolutionary Adaptation*. Proceedings of the Seventh International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems - Artificial Life VII, Bedau, M., McCaskill, J., Packard, N. et. al. (Eds.), pp. 170-178, 2000.

(Watson & Pollack, 2000) Watson, R. A. & Pollack, J. B., *Recombination Without Respect: Schema Combination and Disruption in Genetic Algorithm Crossover*. Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, Las Vegas, Nevada, USA, Whitley, D. (Ed.), Publisher: Morgan Kaufmann, ISBN: 1-55860-708-0, pp. 112-119, 2000.