

OntoSAIA: Um Ambiente Baseado em Ontologias para Recuperação e Anotação Semi-Automática de Imagens

Ricardo B. Freitas^{1*}, Ricardo da S. Torres¹

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas
Caixa Postal 1251, 13084-851, Campinas, SP

{ricardo.freitas,rtorres}@ic.unicamp.br

Abstract. *This article proposes the use of image content, keywords and ontologies to improve the image annotation and retrieval processes through the enhancement of the user's knowledge of an image database. It proposes an architecture of a flexible system capable of dealing with multiple ontologies and multiple image content descriptors to help these tasks. The validation of the idea is being done through the implementation, in Java, of the software OntoSAIA.*

Resumo. *Este trabalho propõe o uso de conteúdo, palavras-chaves e ontologias para melhorar o processo de anotação e recuperação de imagens através da melhora do conhecimento que o usuário tem do banco de imagens. Propõe, também, uma arquitetura flexível que possibilita o uso de múltiplas ontologias e múltiplos descritores de imagem para ajudar neste processo. A validação desta idéia está sendo feita através da implementação, em Java, do software OntoSAIA.*

1. Introdução

A criação de novos dispositivos para obtenção e armazenamento de imagens tem possibilitado a disseminação de grandes coleções de imagens. Neste cenário, verifica-se a demanda por sistemas de informação que possibilitem o gerenciamento de imagens de maneira eficiente. Bancos de imagens são uma resposta a esta demanda. Bancos de imagens são bancos de dados que gerenciam imagens, ou seja, lidam com o armazenamento, indexação e a recuperação de imagens [22].

A abordagem mais comum para recuperação de imagens é baseada na associação de descrições textuais (metadados ou palavras-chaves definidas por usuários) e no uso de técnicas tradicionais de bancos de dados para recuperá-las [15, 17], operação que exige a anotação prévia das imagens. Entretanto, o processo de anotação costuma ser ineficiente pois é comum que os usuários não façam anotações de forma sistemática, por exemplo, preocupando-se em utilizar palavras semelhantes às usadas anteriormente para determinada característica da imagem. Além disso, usuários diferentes têm grande chance de usar palavras distintas para uma mesma característica. Esta falta de sistematização prejudica grandemente o desempenho da tradicional busca por palavras-chaves, uma vez que ela se baseia na igualdade entre as palavras anotadas na imagem e as fornecidas como

*Este trabalho tem apoio financeiro da FAPESP (Processo: 04/00196-3), WebMaps, AgroFlow e Microsoft Escience Project.

parâmetros da busca. Apesar da falta de sistematização no processo de anotação, a abordagem baseada em palavras-chaves possui a vantagem de abranger qualquer descrição que o usuário deseje, permitindo, assim, uma melhor adaptação do banco de imagens às necessidades do usuário.

Uma outra abordagem baseada em anotação das imagens utiliza ontologias. A anotação de imagens baseada em ontologias consiste, geralmente, em atribuir a uma imagem um conceito pertencente a uma ontologia [18, 20]. A busca, por outro lado, consiste, basicamente, em procurar por imagens que estejam associadas a um conceito escolhido pelo usuário, dentre os disponibilizados pela ontologia. Como as imagens só podem ser anotadas com conceitos pertencentes à ontologia, há uma maior concordância entre os termos usados por usuários diferentes, amenizando, assim, o problema principal da anotação por palavras-chaves. Uma outra vantagem desta abordagem é a possibilidade da utilização da ontologia para a expansão das consultas [12].

Um outro paradigma para recuperação utiliza a descrição do conteúdo de imagens para indexá-las e manipulá-las [10]. Através de algoritmos de processamento de imagens (usualmente automáticos), são criados vetores de características que representam propriedades tais como cor, textura e/ou forma. Desta maneira, o sistema pode recuperar imagens semelhantes à fornecida como exemplo pelo usuário (*query-by-example*). As vantagens deste método dizem respeito à possibilidade de um processo de recuperação automático, em oposição ao esforço necessário para classificar ou anotar as imagens nas outras abordagens. Entretanto, a escolha da imagem de consulta que melhor representa o que o usuário deseja buscar é uma tarefa difícil, uma vez que o usuário precisa traduzir conceitos (idéias) em características de baixo nível.

Este trabalho propõe o uso de conteúdo, palavras-chaves e ontologias para auxiliar o processo de anotação e recuperação de imagens através da melhora do conhecimento que o usuário tem do banco de imagens. Propõe, também, uma arquitetura flexível que possibilita o uso de múltiplas ontologias e múltiplos descritores de imagem para ajudar neste processo. A validação desta idéia está sendo feita através da implementação, em Java, do software OntoSAIA (*Ontology-Based Semi-Automatic Image Annotation*).

O restante deste texto está organizado da seguinte forma: a Seção 2. apresenta alguns trabalhos relacionados; a Seção 3. expõe os pontos principais da abordagem proposta; a Seção 4. descreve a arquitetura inicial do OntoSAIA, descrevendo seus principais módulos; a Seção 5. mostra alguns detalhes da implementação; a Seção 6. descreve cenários de usos do software e a Seção 7. traz conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

As técnicas de recuperação de imagens podem ser classificadas em três grupos: técnicas baseadas em conteúdo de imagens, em metadados ou em ambos.

2.1. Sistemas baseados em metadados

Metadado é “dado sobre dado” [24]. Sendo assim, os sistemas baseados em metadados não realizam buscas diretamente pela imagem (ou características inerentes a ela, como cor e forma), mas sim pela descrição textual associada. Duas maneiras usuais de se representar metadados são a partir de palavras-chaves ou ontologias.

A anotação de imagens baseada em palavras-chaves consiste, basicamente, na atribuição de uma lista de termos a uma determinada imagem. Já o sistema de buscas procurará em um banco de dados as imagens que possuem em suas listas de palavras-chaves aquelas fornecidas pelo usuário.

Para facilitar o processo de anotação, no trabalho descrito em [15], os autores propõem, por exemplo, um agente de busca e anotação de imagens acoplado a um editor de textos. À medida que um usuário digita um texto (um e-mail, por exemplo) o agente seleciona palavras-chaves do texto e exibe imagens associadas a elas. Ao escolher uma imagem dentre as exibidas, o agente atribui a essa imagem todas as palavras-chaves do texto.

Por sua vez, a anotação de imagens baseada em ontologias consiste, geralmente, em atribuir a uma imagem um conceito pertencente a uma ontologia. A busca, por outro lado, consiste, basicamente, em procurar por imagens que estejam associadas ao conceito escolhido pelo usuário, dentre os disponibilizados pela ontologia. Uma ontologia é uma “conceitualização explícita, formal e compartilhada, de uma área de conhecimento” [25].

Nessas abordagens, a ontologia desempenha um papel importante e sua adequação ao domínio de interesse é essencial. Por exemplo, tanto em [20] quanto em [18], os autores optaram por usar uma ontologia específica aos domínios de cada trabalho (espécies de primatas e cenas de crime, respectivamente).

Um maior detalhamento da ontologia possibilita uma melhor descrição da imagem. Entretanto, o aumento da complexidade da ontologia dificulta o seu entendimento pelo usuário, que pode não ser um especialista do domínio. Para facilitar sua compreensão, em [4, 11], os autores propõem mecanismos de navegação pela ontologia para se definir conceitos de busca.

Em uma outra abordagem [26], é apresentado um sistema que integra a navegação por ontologia com a busca por palavra-chave na recuperação de imagens. A ontologia relaciona categorias, e as imagens são associadas tanto aos metadados textuais individuais quanto àqueles da categoria às quais pertencem. Em [12], é realizada a integração da busca por palavras-chaves à ontologia WordNet [9].

Tanto em [16] quanto em [14], os autores propõem sistemas que auxiliam a anotação de imagens através de sugestões. Em [16], as sugestões baseiam-se no local e data das fotos. À medida que o usuário anota algumas fotos, o sistema utiliza padrões de recorrência e co-ocorrência das pessoas nas fotos para gerar as sugestões. Já em [14], é apresentado o *Annotation Guide Agent* que realiza sugestões baseado-se na análise de anotações prévias. Esses sistemas, no entanto, não permitem consulta por conteúdo de imagens.

2.2. Sistemas baseados em conteúdo

Estes sistemas usam a descrição do conteúdo de uma imagem para indexá-la e manipulá-la. Esta descrição é obtida através de algoritmos de processamento de imagem que extraem e comparam características usualmente expressas em vetores. Numa consulta por conteúdo, o usuário seleciona uma imagem de consulta e, em seguida, as imagens cujos vetores são mais similares, segundo uma métrica de distância específica, são retornadas.

O projeto QBIC (*Query by Image Content*) da IBM [10], o VisualSEEK [23] e

o ImageRover [21] realizam buscas por conteúdo. Exemplos mais recentes incluem o PicHunter [19] e o Blobworld [5].

2.3. Sistemas baseados em conteúdo e metadados.

Vários sistemas de informação tentam integrar conteúdo de imagens com descrições textuais (metadados) [3, 13, 17]. O sistema Chabot [17], por exemplo, integra as técnicas de análise de imagem baseada em cor com os sistemas de recuperação baseados em informações textuais. Alguns sistemas utilizam o conteúdo da imagem para auxiliar sua anotação [3, 13]. Esses sistemas realizam anotação automática de imagens a partir de um conjunto de imagens previamente anotadas. Nenhum desses sistemas, no entanto, usa ontologias no processo de busca e anotação.

Em [2], é apresentado um modelo para arquivos de imagem que suporta metadados e descrições de conteúdo (como cor, forma, textura). Este modelo possibilita a realização de buscas de imagens baseadas em conteúdo, ontologia, e texto. Já em [1], é proposto o SCULPTEUR, um sistema que integra metadados textuais, conteúdo e classificação ontológica em buscas de imagens. O SCULPTEUR também possibilita a navegação pela ontologia. No entanto, estes sistemas não definem nenhum modelo de anotação que use os mecanismos de busca apresentados.

3. Ambiente OntoSAIA

O OntoSAIA é um ambiente que auxilia a busca e anotação de imagens, integrando as abordagens baseadas em conteúdo, em ontologia e em palavras-chaves. Através dela, é possível buscar, visualizar, adicionar, remover ou anotar imagens de uma coleção, bem como explorar as ontologias acopladas. Para o OntoSAIA, cada imagem está associada a uma anotação, composta por termos, e a um conjunto de vetores de características para os diferentes descritores de imagens.

A sistematização das anotações das imagens possui papel fundamental em abordagens baseadas em palavras-chaves. Desta forma, quanto mais concordante uma nova anotação for em relação às já presentes no banco de dados, melhores serão os resultados obtidos nas buscas. Sendo assim, um dos objetivos da ferramenta OntoSAIA é aumentar a coerência entre as anotações feitas por usuários diferentes ou por um mesmo usuário em diferentes momentos.

3.1. Anotação de Imagens

A anotação de imagens é baseada na sugestão de termos e esta, por sua vez, considera dois pontos principais: (i) a anotação de uma nova imagem deve ser fortemente relacionada às anotações anteriores; e (ii) a anotação está relacionada com o conteúdo da imagem. Sendo assim, a sugestão de termos é feita analisando-se:

1. Termos definidos pelo usuário: Os termos definidos pelo usuário são consultados na ontologia, sendo gerada uma lista de termos relacionados. A sugestão é formada por essa lista que pode ou não ser enriquecida com dados de frequência desses termos na base de anotações. No primeiro caso, as sugestões visam fornecer ao usuário um melhor conhecimento do domínio no qual a ferramenta está sendo utilizada. Esta é uma opção particularmente útil para usuários iniciantes, uma vez que lhes é permitido conhecer melhor o domínio (área de conhecimento) das ontologias. No segundo caso, as sugestões

visam mostrar ao usuário os conceitos relacionados aos que ele definiu e que foram mais frequentemente utilizados no banco de dados. Desta forma, o sistema auxilia o usuário a manter uma maior coerência entre sua anotação e as já armazenadas.

2. Conteúdo da imagem a ser anotada: As sugestões de termos baseadas no conteúdo da imagem visam levar em consideração a semelhança da imagem a ser anotada em relação às imagens já presentes no banco de imagens. Desta forma, se duas imagens são semelhantes quanto ao conteúdo existe a possibilidade de ambas retratarem objetos similares e, conseqüentemente, deveriam ter anotações semelhantes. Então, após o usuário ter selecionado a imagem a ser anotada, ela é comparada com as presentes no banco de imagens de acordo com um descritor de imagens escolhido pelo usuário. Em seguida, são sugeridos os termos usados mais frequentemente nas anotações das imagens similares à imagem a ser anotada.

3.2. Busca de Imagens

O OntoSAIA permite a busca de imagens por conteúdo, palavra-chaves ou ambos. Na recuperação baseada em conteúdo, o usuário define uma imagem de exemplo e um descritor de imagem. As imagens do banco de imagens serão comparadas através do descritor escolhido e ordenadas, sendo devolvidas as mais similares. Na recuperação baseada em palavras-chaves, o usuário define um conjunto de termos que serão consultados no banco de anotações. Então, as imagens são ordenadas de acordo com a incidência daqueles termos nas suas anotações. As imagens com maior número de termos encontrados são devolvidas.

O sistema permite também a expansão de consultas através do uso de conceitos relacionados dentro da ontologia. Por exemplo, tomemos a busca de uma imagem com o parâmetro “Campinas”. Esta consulta poderia ser expandida, adicionando-se os termos “São Paulo” e “Brasil”, através do uso de uma ontologia geográfica na qual estes termos estão relacionados, ou seja, os três termos serão consultados no banco de anotações.

4. Arquitetura

O OntoSAIA possui uma arquitetura modular (veja Figura 1), descrita a seguir.

Interface: Este módulo é responsável por receber os parâmetros para a anotação e recuperação de imagens e visualizar imagens recuperadas e termos sugeridos. Quando um usuário deseja anotar uma nova imagem, ele define, através da Interface, a imagem e um conjunto inicial de termos. Em seguida, todos esses parâmetros são enviados ao Gerenciador OntoSAIA, que iniciará os processos de sugestão de termos.

Núcleo OntoSAIA: Esta camada é composta pelos seguintes sub-módulos:

- O módulo Gerenciador OntoSAIA é responsável por transmitir aos módulos recuperação por conteúdo (CBISC) e de Ontologia os parâmetros vindos da Interface, bem como requisitar ao Módulo de Banco de Dados consultas aos bancos de dados. O Gerenciador OntoSAIA também analisa os dados retornados pelos outros módulos, combinando-os de forma adequada.

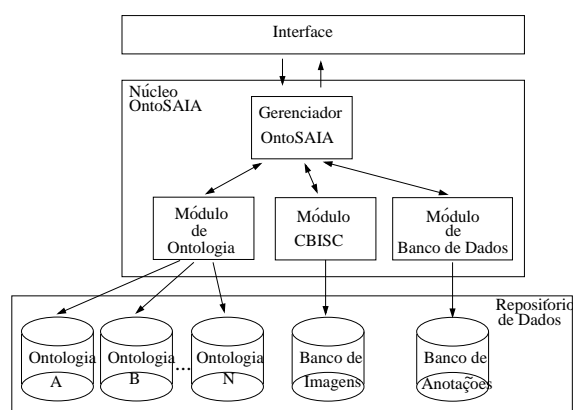


Figura 1. Arquitetura do OntoSAIA

- O módulo de Ontologia é responsável por gerenciar as ontologias, realizar consultas por termos e calcular a similaridade entre termos. A similaridade entre dois termos, ou a relevância de um termo em relação a outro, é muito específica em cada domínio. Ontologias diferentes podem apresentar diferentes relacionamentos entre termos, e domínios diferentes podem atribuir relevâncias diferentes para um mesmo relacionamento em uma ontologia. Sendo assim, foi criado um sub-módulo *Ontology_Algorithm* para calcular o grau de similaridade entre dois termos que se relacionam dentro de uma ontologia. A flexibilidade do sistema reside também na possibilidade de se adaptar uma ontologia a um novo contexto ou de se utilizar uma nova ontologia, estendendo este sub-módulo.
- O módulo CBISC tem como principal integrante o CBISC (*Content-Based Image Search Component*) [8]. O CBISC é um componente recentemente proposto para realização de busca de imagens por conteúdo. Este componente pode acomodar diferentes tipos de descritores e métricas de comparação, além de possuir estruturas de índices multidimensionais [6] para acelerar o processo de busca. O CBISC está sendo utilizado no sistema EKEY [7], que é um sistema para suporte ao processo de identificação de espécies. Este sistema agrega consultas por conteúdo a uma taxonomia biológica. Atualmente este sistema está em uso na Virginia Tech.

Repositório de Dados: O repositório de dados é composto pelas ontologias, pelo banco de imagens (que contém as imagens e seus vetores de características) e pelo banco de anotações. O banco de anotações é gerenciado pelo Módulo de Banco de Dados, que realiza consultas e atualizações, vindas do Gerenciador OntoSAIA.

5. Aspectos de Implementação

A implementação do OntoSAIA está sendo feita em Java. Atualmente, ela contém 6 pacotes e 30 classes. Esta versão do software utiliza duas ontologias. A primeira é uma taxonomia de peixes armazenada em um banco de dados relacional. A segunda é o WordNet que é um banco de dados léxico, semelhante a um dicionário da língua inglesa disponível na Web [9]. O WordNet possui cerca de 150.000 termos, e permite pesquisar um termo sob diferentes escopos como substantivo, adjetivo ou advérbio. Além disso, fornece sinônimos, hipernônimos e hipônimos para um determinado termo.

Para o cálculo da similaridade entre termos, foi desenvolvido o *Ontology_Algorithm_Ternary*. Este algoritmo leva em conta três relacionamentos, atribuindo como grau de similaridade entre sinônimos 1.00 e descontando 0.10 para cada grau de indireção entre um termo e seu hipônimo ou hiperônimo. A Figura 2 apresenta um exemplo de atribuição de graus de similaridade a conceitos relacionados ao termo *woman*, presente na ontologia WordNet.

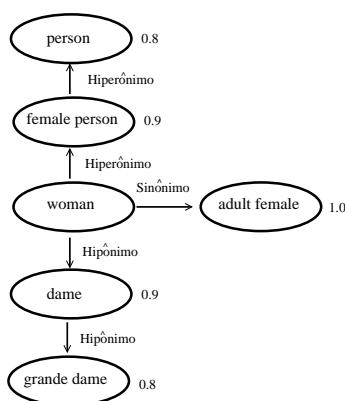


Figura 2. Atribuição de graus de similaridade aos conceitos relacionados ao termo *woman*, presente na ontologia WordNet.

Durante os processos de sugestão de termos, busca de imagens e expansão de consultas, pode haver instâncias diferentes de um mesmo termo (ou imagem) com pesos (por exemplo, o grau de similaridade entre um termo consultado na ontologia e o termo definido pelo usuário) diferentes. Sendo assim, foi criado o sub-módulo *Merger* que visa gerar uma instância única de um objeto (termo ou imagem) atribuindo a este um peso único. No atual estágio de desenvolvimento, foi implementada a classe *Merger_SummativeUnion* que gera o peso final de um termo (ou imagem) somando o peso de cada instância.

6. Cenário de Uso

Nesta seção são apresentados dois cenários de uso. O primeiro é a utilização do protótipo no contexto de biodiversidade para a anotação da imagem de uma espécie e o segundo é a utilização do protótipo em um contexto genérico para a anotação de uma imagem artística.

6.1. Aplicação em Sistemas de Biodiversidades

Sistemas de Informação de Biodiversidade (SIB) envolvem dados bastante heterogêneos, como características geográficas e ecológicas. Entretanto, os sistemas de informação disponíveis oferecem suporte limitado para a manipulação integrada destes dados. Além disso, tais sistemas, em geral, não permitem o uso do conteúdo das imagens na especificação de consultas — uma necessidade de muitos usuários de SIB.

Neste cenário de uso, um usuário deseja anotar uma imagem de peixe da espécie *Lepomis gibbosus*. Um nome comum dado a este peixe é *pumpkinseed*, que é usado pelo usuário como ponto de partida para obtenção de sugestões. A ontologia utilizada neste cenário será uma taxonomia de peixes.

A interface do sistema está dividida em duas partes (veja Figura 3 (i)) – do lado esquerdo, a imagem a ser anotada, termos a serem pesquisados e parâmetros de pesquisa; do lado direito, os termos sugeridos pelo OntoSAIA e exemplos de imagens já anotadas com estes termos. A seguir, os demais passos são enumerados:

1. Definição da imagem a ser anotada: O usuário clica no botão *Choose file...* e seleciona a imagem a ser anotada (veja seção (a) da Figura 3 (i)).

2. Definição de termos e outros parâmetros: O usuário digita, no campo *Terms*, o termo que servirá de ponto de partida para as sugestões. Em seguida, ele seleciona os parâmetros de ontologia. Note que o checkbox do *CBISC Settings* não está selecionado, o que significa que as sugestões não serão baseadas no conteúdo da imagem selecionada pelo usuário (veja seção (b) da Figura 3 (i)).

3. Exibição das sugestões: Os termos sugeridos pelo OntoSAIA são exibidos do lado direito da tela. As sugestões, obtidas através do botão *Suggestions*, estão ordenadas por grau de similaridade em relação ao termo definido pelo usuário (veja seção (c) da Figura 3 (i)).

4. Interação com as sugestões: Ao clicar no botão *Add*, o usuário insere o termo do campo *Terms* na lista *Annotation*, que possui os termos a serem usados na anotação da imagem. Ao clicar sobre um termo sugerido pelo OntoSAIA, aparece um menu no qual o usuário pode inserir este termo na lista *Annotation* ou ver imagens já anotadas com este termo. Ao optar por ver as imagens já anotadas com o termo selecionado, uma janela abre-se exibindo as imagens, seus nomes e suas anotações (veja seção (d) da Figura 3 (i)).

5. Finalização da anotação: Uma vez finalizada a inserção de termos, o usuário clica no botão *Confirm....* Então, a imagem e sua anotação (presente na lista *Annotation*) são armazenadas.

6.2. Aplicação em Sistemas Genéricos

Neste cenário de uso, o usuário deseja anotar a imagem de uma mulher, utilizando a ontologia WordNet para auxiliar nas sugestões. Como ponto de partida para a obtenção de sugestões foi utilizado o termo *woman* (veja Figura 3 (ii) seção b).

O processo de anotação desta imagem é semelhante ao processo descrito no cenário anterior. O usuário escolhe a imagem a ser anotada, então define um termo inicial e escolhe a ontologia a ser utilizada (WordNet). Note que, similarmente ao cenário anterior, a sugestão não se baseia no conteúdo da imagem. Neste cenário, o usuário opta, através do botão *DB Suggestions*, por sugestões baseadas na frequência dos termos na base de anotações. Então, o usuário pode interagir com as sugestões e finalizar a anotação (veja Figura 3 (ii)).

7. Conclusões

Este trabalho apresenta uma abordagem baseada em conteúdo de imagem, palavras-chaves e ontologias para a anotação e recuperação de imagens. Esta abordagem visa melhorar o processo de recuperação de imagens através da sugestão de termos para melhorar a coerência entre as anotações feitas pelos usuários.

Dentre as contribuições do trabalho, têm-se: (1) uma arquitetura flexível que possibilita o uso de diferentes ontologias e descritores de imagem; (2) a implementação, em

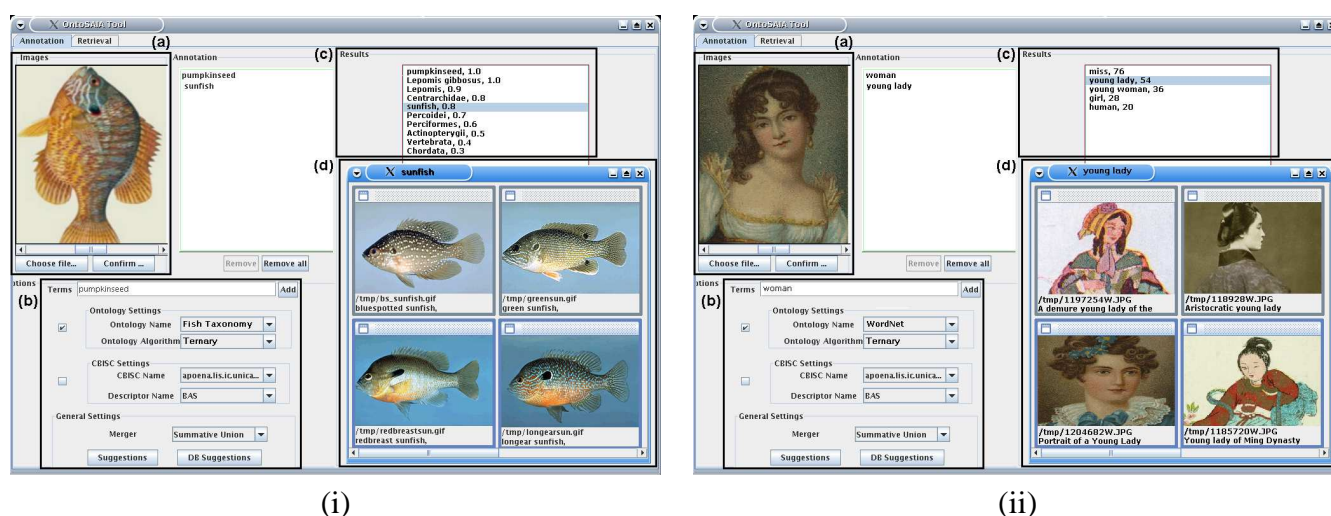


Figura 3. Tela do protótipo nos contextos: (i) de sistemas de biodiversidade. (ii) de sistemas genéricos.

Java, do ambiente OntoSAIA para auxiliar a recuperação e a anotação de imagens a partir desta arquitetura; (3) a definição de um processo de sugestão de termos para a anotação de imagens.

O OntoSAIA será incorporado ao *toolkit* do projeto *WeBioS: Web Service Multimodal Tools for Strategic Biodiversity Research, Assessment and Monitoring* em desenvolvimento no Instituto de Computação da Unicamp. O projeto *WeBioS* integra vários módulos de software que serão utilizados para a construção de sistemas de informação de biodiversidade. Desta forma, trabalhos em andamento incluem a incorporação de ontologias no domínio de biodiversidade (ontologias geográficas, taxonomias, etc.) e de novos algoritmos para avaliação do grau de similaridade entre termos destas ontologias. Além disso, trabalhos futuros incluem a realização de testes com usuários-alvo (biólogos).

Referências

- [1] M. Addis, M. Boniface, S. Goodall, P. Grimwood, S. Kim, P. Lewis, K. Martinez, and A. Stevenson. SCULPTEUR: Towards a New Paradigm for Multimedia Museum Information Handling. In *Proc. of Semantic Web ISWC 2870*, pages 582–596, 2003.
- [2] S. Atnafu, R. Chbeir, and L. Brunie. Efficient Content-Based and Metadata Retrieval in Image Database. *Journal of Universal Computer Science*, 8(6):613–622, June 2002.
- [3] K. Barnard, P. Duygulu, D. Forsyth, N. de Freitas, D. Blei, and M. Jordan. Matching Words and Pictures. *Journal of Machine Learning Research*, 3(6):1107 – 1135, 2003.
- [4] S. Bechhofer and C. Goble. Classification-Based Navigation and Retrieval for Picture Archives. *Proc. of IFIP WG2.6 Conference on Data Semantics (DS8)*, pages 21–46, 1999.
- [5] C. Carson, S. Belongie, H. Greenspan, and J. Malik. Blobworld: Image Segmentation Using Expectation-Maximization and its Application to Image Querying. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(8):1026–1038, 2002.
- [6] P. Ciaccia, M. Patella, and P. Zezula. M-tree: An Efficient Access Method for Similarity Search in Metric Spaces. In *23rd International Conference on Very Large Data Bases*, pages 426–435, 1997.
- [7] R. da S. Torres, E. Halleman, R. E. Jenkins, and N. M. Burkhead. EKEY. <http://virginia.cc.vt.edu:8086/ekey>, (visitado em Setembro de 2005).

- [8] R. da S. Torres, C. B. Medeiros, M. A. Goncalves, and E. A. Fox. A Digital Library Framework for Biodiversity Information Systems. *International Journal on Digital Libraries*, 2005. To appear.
- [9] C. Fellbaum, editor. *WordNet: An Electronic Lexical Database*. The MIT Press, Cambridge, MA, 2001.
- [10] M. Flickner, H. Sawhney, W. Niblack, J. Ashley, Q. Huang, B. Dom, M. Gorkani, J. Hafner, D. Lee, D. Petkovic, D. Steele, and P. Yanker. Query by Image and Video Content: the QBIC System. *IEEE Computer*, 28(9):23–32, 1995.
- [11] E. Hyvonen, S. Saarela, and A. Styrman. Ontology-Based Image Retrieval. *HIIT Publications*, (2002–03):15–27, 2002.
- [12] P. Janecek and P. Pu. Searching with Semantics: An Interactive Visualization Technique for Exploring an Annotated Image Collection. *OTM Workshops*, 2889:185–196, 2003.
- [13] J. Jeon, V. Lavrenko, and R. Manmatha. Automatic image annotation and retrieval using cross-media relevance models. In *Proc. of the 26th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in informaion retrieval*, pages 119–126, 2003.
- [14] C. Lee, V. Soo, and Y. Fu. How to annotate an image?: the need of an image annotation guide agent. In *Proc. of the 4th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital libraries*, pages 394–394, 2004.
- [15] H. Lieberman, E. Rosenzweig, and P. Singh. Aria: An Agent for Annotating and Retrieving Images. *IEEE Computer*, 34(7):57–62, 2001.
- [16] M. Naaman, R. Yeh, H. Molina, and A. Paepcke. Leveraging context to resolve identity in photo albums. In *Proc. of the 5th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital libraries*, pages 178 – 187, 2005.
- [17] V. E. Ogle and M. Stonebraker. Chabot: Retrieval from a Relational Database of Images. *IEEE Computer*, 28(9):40–48, 1995.
- [18] K. Pastra, H. Saggion, and W. Y. Intelligent Indexing of Crime Scene Photographs. *IEEE Intelligent Systems, Special Issue on Advances in Natural Language Processing*, 18(1):55–61, 2003.
- [19] I. J. PicHunter, M. L. Miller, T. P. Minka, T. V. Papatomas, and P. N. Yianilos. The Bayesian Image Retrieval System, PicHunter: Theory, Implementation, and Psychophysical Experiments. *IEEE Transactions on Image Processing*, 9(1):20–37, January 2000.
- [20] A. T. Schreiber, B. Dubbeldam, J. Wielemaker, and B. Wielinga. Ontology-Based Photo Annotation. *IEEE Intelligent Systems*, 16(3):66–74, 2001.
- [21] S. Sclaroff, L. Taycher, and M. LaCascia. ImageRover: A Content-Based Image Browser for the World Wide Web. Technical Report 1997-005, Boston University, 24 1997.
- [22] A. W. M. Smeulders, M. Worring, S. Santini, A. Gupta, and R. Jain. Content-Based Image Retrieval at the End of the Years. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(12):1349–1380, December 2000.
- [23] J. R. Smith and S.-F. Chang. Visualseek: a fully automated content-based image query system. In *Proceedings of the fourth ACM international conference on Multimedia*, pages 87–98, 1996.
- [24] A. Steinacker, A. Ghavam, and R. Steinmetz. Metadata Standards for Web-Based Resources. *IEEE Multi-Media*, 8(1):70–76, 2001.
- [25] M. Uschold and M. Grüninger. Ontologies: principles, methods, and applications. *Knowledge Engineering Review*, 11(2):93–155, 1996.
- [26] K.-P. Yee, K. Swearingen, K. Li, and M. Hearst. Faceted metadata for image search and browsing. In *Proc. of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 401–408, 2003.