

Auxílio à Classificação de Nódulos Pulmonares usando Recuperação de Imagens Similares baseada em Análise de Textura 3D e Registro de Imagem 3D

Pedro Augusto Ayres¹, Rodolfo Carneiro Bezerra¹, Marcelo Costa Oliveira¹

¹ Curso de Ciência da Computação – Universidade Federal de Alagoas (UFAL) –
Campus Arapiraca

Caixa Postal 61 – 57300-970 – Arapiraca – AL – Brasil

{pedro.3a,rodolfo_carneiro,oliveiramc}@gmail.com

Abstract. *The main purpose of this work was developing an algorithm to help the physicians in classify lung nodules. Another motivation of this work is the fact of we have believing that an accurate, robust and friendly computational solution can to encourage the use of the computer aided diagnosis that is an effective way to reduce the great volume of radiological film produced in the clinical routine. The Texture Analysis 3D and the Image Registration 3D (IR) were developed as similar image retrieval method (CBIR). The mean precision of the algorithms was higher than 70%. The IR method results are unpublished in the literature and shows the potential future of IR as CBIR method.*

Resumo. *O objetivo deste trabalho foi desenvolver um algoritmo para auxiliar especialistas na classificação de nódulos pulmonares. A motivação deste trabalho advém também pelo fato de acreditarmos que uma solução computacional precisa, robusta e amigável possa incentivar o diagnóstico auxiliado por computador que se constitui numa forma efetiva de reduzir o grande volume de impressão em filme radiológico. As técnicas de Análise de Textura 3D e Registro de Imagem 3D (RI) foram desenvolvidas como métodos de recuperação de imagens similares (CBIR). A precisão média dos algoritmos foi superior a 70%. Os resultados do RI são inéditos na literatura e evidenciaram o potencial futuro da técnica como método de CBIR.*

1. Introdução

O câncer é um crescimento celular anormal, incontrolável, que invade tecidos vizinhos e os destroem. Os fatores etiológicos mais importantes são o tabagismo, predisposição genética e a exposição prolongada a agrotóxicos e gases tóxicos [Silverman 1996; Cassina 1998]. Somente nos Estados Unidos em 2005 foram registrados mais de 175 mil casos de câncer do pulmão que levaram à morte mais de 160 mil pessoas. Este total é tão expressivo que supera o número de óbitos provocados pela soma dos 3 tipos de câncer de maior incidência, o câncer de mama, colorretal e próstata. Segundo dados do Instituto Nacional de Câncer - INCA (www.inca.org.br), o número de novos casos do câncer de pulmão estimados para o Brasil no ano de 2008 foi de 17.810 entre homens e de 9.460 para mulheres.

A Tomografia Computadorizada Helicoidal (HCT) é o exame mais indicado para a detecção precoce do câncer do pulmão, pois fornece ao especialista noções

precisas do tamanho, localização e níveis de invasão do tumor, além de gerar cortes com detalhes anatômicos de alta resolução, isotrópicos e menores que 1mm de espessura [Sluimer and Schilham 2006]. O diagnóstico do paciente deve ser realizado logo nos primeiros meses da doença, pois neste estágio a chance de sobrevivência está entre 60% a 90%. Segundo Takashima [Takashima and Sone 2003], nódulos que apresentam forma esférica e bem definida são provavelmente benigno. Enquanto nódulos malignos apresentam forma irregular ou espiculada. A variação de padrões da textura dos nódulos também fornece fortes indicadores da natureza maligna ou benigna dos nódulos. Por exemplo, a presença de gordura ou a calcificação são fortes indicadores de hamartoma benigno e resultam em uma distribuição irregular de textura. Nódulos malignos apresentam textura uniforme produzida pela presença de necrose. Estas informações fornecem ao especialista fortes indicadores da classificação do nódulo (benigno ou maligno) e podem evitar que o paciente seja submetido a exames histológicos.

Entretanto, a classificação do nódulo é uma tarefa desafiadora aos especialistas, pois os nódulos são pequenos, apresentam baixo contraste e normalmente estão inclusos em estruturas anatômicas complexas. Além disso, imagens médicas são extremamente complexas por natureza e o seu diagnóstico consiste em uma tarefa minuciosa que deve ser realizada por especialistas qualificados. Contudo, mesmo o especialista mais experiente é condicionado pela capacidade humana de análise e sofre influências de fatores externos (e.g. ruído e luminosidade) e internos, como o nível de treinamento e condições psicológicas (e.g. fadiga e pressa). Portanto, mesmo os especialistas mais capacitados são tendentes a erros de detecção (falha em detectar um câncer) ou erro de interpretação (falha em corretamente classificar um câncer detectado) [Pietka and Gertych 2005; Olabbarriaga and Snel 2007]

Métodos de recuperação de imagens baseadas em conteúdo (CBIR) surgiram na última década devido à necessidade de recuperar a informação contida na imagem e não apenas a armazenada nos sistemas de informação, como por exemplo, nome e data de nascimento do paciente [Muller and Michoux 2004]. Através da CBIR é possível, a partir de uma imagem de referência, encontrar imagens similares contidas em uma ou diversas bases de dados utilizando atributos inerentes das imagens. Assim, a CBIR despertou rápido interesse na comunidade médica, devido à sua capacidade de recuperar imagens já diagnosticadas em relação a uma imagem duvidosa, logo, direcionando o diagnóstico do especialista [Rahman and Wang 2004]. A comparação é executada através de atributos extraídos das imagens que descrevem a imagem e minimizam a quantidade de dados utilizados no processo de recuperação de imagens. Entretanto, uma técnica ouro ainda não foi obtida e um dos desafios no desenvolvimento de aplicações de CBIR é definir quais métodos de extração de atributos são efetivos e eficientes para representar diversas doenças [Lehmann and Lehmann 1999; Traina and Balan 2004].

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver um algoritmo computacional de CBIR baseado em Textura 3D e Registro de Imagens 3D para auxiliar especialistas na classificação de nódulos pulmonares. Este objetivo é motivado também pelo fato de acreditarmos que uma solução de auxílio ao diagnóstico precisa, robusta e amistosa possa incentivar o diagnóstico auxiliado por computador que se constitui em uma forma efetiva para reduzir o grande volume de impressão em filme radiológico. Como objetivo secundário este trabalho apresenta a viabilidade e precisão da metodologia de Registro de Imagens 3D para a evolução do estado da arte das técnicas de recuperação de imagens similares de câncer do pulmão.

2. Materiais e Métodos

Os algoritmos computacionais foram desenvolvidos utilizando linguagem de programação JAVA 1.6. O banco de imagens utilizou o servidor de banco de dados PostgreSQL 8.2.6 no sistema operacional GNU/Linux Debian. As tarefas de persistência no banco de dados foram executadas utilizando o Hibernate 3.3.0.

Este trabalho utilizou as imagens de uso público do projeto “*Lung Image Database Consortium*” (LIDC). O LIDC contém 90 exames com 829 nódulos malignos e benignos. Cada exame possui em média 200 imagens DICOM de CT de tórax. Um arquivo XML descreve as posições cartesianas da segmentação manual dos nódulos e a classificação de cada nódulo [McNitt-Gray and Armato 2007]. Em nossos testes iniciais selecionamos 20 casos (10 nódulos benignos e 10 malignos) em que os especialistas definiram a textura e a forma estrutural como fatores relevantes ao diagnóstico.

Para cada nódulo inserido no banco de dados é calculado o seu vetor de característica que é formado por Atributos de Textura obtidos a partir da Matriz de Co-ocorrência 3D. A matriz 3D possui as mesmas características do tradicional modelo 2D proposto por Haralick [Haralick and Shanmuga.K 1973], entretanto, devido ao acréscimo do cálculo da dimensão z em sua formação, o algoritmo agrega a distribuição de probabilidade de ocorrência entre os pares de voxels adjacentes. A construção da Matriz de Co-ocorrência adotou 13 orientações angulares e distância entre os voxels igual a 1. Os atributos de textura utilizados foram energia, entropia, momento da diferença inverso, matiz, contraste, proeminência, correlação e variância. Assim, cada nódulo possui um vetor de característica de 117 dimensões armazenado no banco de dados. A recuperação de nódulos similares é baseada na distância Euclidiana entre o vetor de característica do nódulo de referência (nódulo apresentado ao sistema pelo especialista) e de cada nódulo alvo armazenado na base de dados. Quanto menor a distância entre os vetores maior a similaridade entre os nódulos.

Além da técnica de Textura 3D, o sistema permite ao especialista utilizar a técnica de Registro de Imagem 3D baseado na Informação Mutual para recuperar nódulos similares. O algoritmo de Registro de Imagem busca o melhor casamento (“*match*”) entre o nódulo de referência e os nódulos da base de imagem. A técnica de registro utilizada é baseada na tradicional técnica de Informação Mutual [Yoo 2004]. O algoritmo foi desenvolvido utilizando a API do ITK (Insight Toolkit versão 3.0). Neste trabalho os métodos de transformação, interpolação e otimização possuem parâmetros fixos e são utilizados em conjunto com a Informação Mutual para realizarem o registro de imagem dos nódulos. A técnica de interpolação utilizada é a linear e a transformação utilizada é rígida com três graus de liberdade. O algoritmo de otimização utilizado é o “regular step gradient descent” limitado a um deslocamento de no máximo 2,00 e no mínimo 0,0001 milímetros por estágio, além de obedecer ao limiar de 300 iterações. Os baixos valores de deslocamento adotados neste trabalho preveniram que o algoritmo realizasse passos muito grandes, ou seja, aumentasse o custo computacional da aplicação.

Os resultados foram avaliados utilizando a técnica de leave-one-out, onde N é igual a 20 (10 nódulos malignos e 10 benignos). Os testes foram repetidos três vezes para cada técnica de CBIR (Informação Mutual e Atributos de Textura 3D) considerando os diferentes tipos de nódulo (benigno e maligno). Os resultados foram considerados corretos quando retornavam nódulos do mesmo tipo do nódulo usado

como referência. Os nódulos foram selecionados ao acaso, porém, evitamos a seleção de um nódulo que já havia sido utilizado. A precisão dos algoritmos foi obtida pela equação:

$$\text{Precisão} = N^{\circ} \text{ do tipo de nódulos recuperados} / N^{\circ} \text{ de nódulos recuperados}$$

3. Resultados

Neste trabalho foi desenvolvida uma ferramenta de código livre, denominada CADCANCER, para auxiliar especialistas na classificação de nódulos pulmonares (Figura 1). Ainda, o CADCANCER fornece ao especialista as ferramentas básicas de auxílio ao diagnóstico como zoom, pan e janelamento, além de rápido acesso ao laudo do nódulo. A construção das tabelas do banco de nódulos desenvolvido obedeceu à estrutura do arquivo XML criado pelo LIDC. Assim, os exames inseridos no banco cumprem as especificações do projeto LIDC permitindo a padronização e, logo, a colaboração com os idealizadores do projeto. Entretanto, criamos uma tabela de nódulos segmentados, visto que, o LIDC apenas armazena em um arquivo XML as posições cartesianas das bordas dos nódulos. Assim, os nódulos do projeto LIDC foram segmentados e persistidos em uma tabela específica do nosso banco de nódulos.

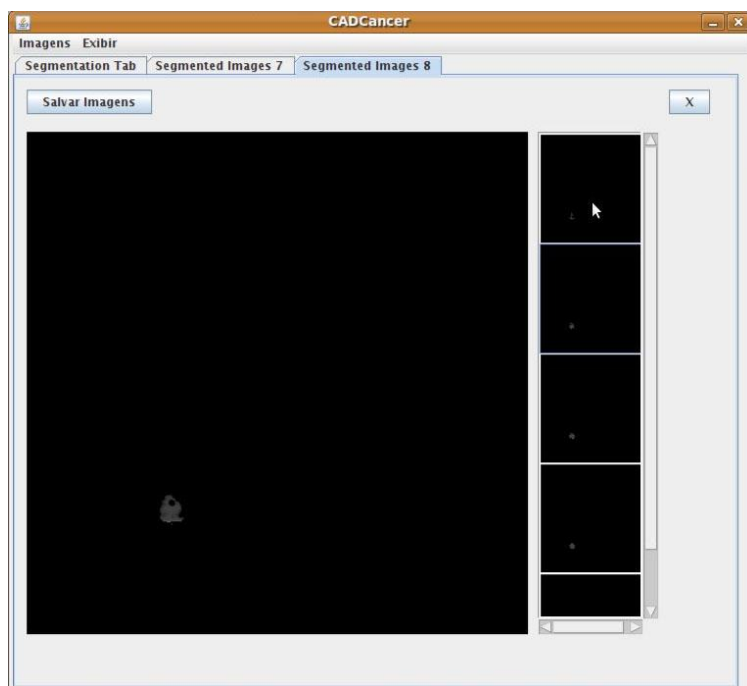


Figura 1 - Interface de visualização dos nódulos segmentados.

Os resultados iniciais dos algoritmos de CBIR apresentaram precisão média superior a 70% considerando todos os experimentos (Tabela 1 e Tabela 2). Tanto para os casos benignos como para os malignos os dois algoritmos obtiveram 100% de precisão média quando o primeiro item é retornado (Figura 2 e Figura 3). A precisão do algoritmo de Registro de Imagem diante dos cinco primeiros itens retornados foi de 73% para nódulos benignos e 67% nos casos malignos. Nos diversos casos avaliados a técnica de Registro de Imagem apresentou resultados muito próximos ao obtido pela

tradicional técnica de Análise de Textura 3D. Entretanto, a Análise de Textura foi muito superior quando avaliamos o caso com dois itens retornados.

	Nódulos Benignos	Desvio Padrão
Registro de Imagem 3D	0,70	0,11
Análise de textura 3D	0,72	0,15

Tabela 1 – Precisão média das técnicas de CBIR aplicadas à recuperação de nódulos benignos.

	Nódulos Malignos	Desvio Padrão
Registro de Imagem 3D	0,72	0,14
Análise de textura 3D	0,76	0,15

Tabela 2 – Precisão média das técnicas de CBIR aplicadas à recuperação de nódulos malignos.

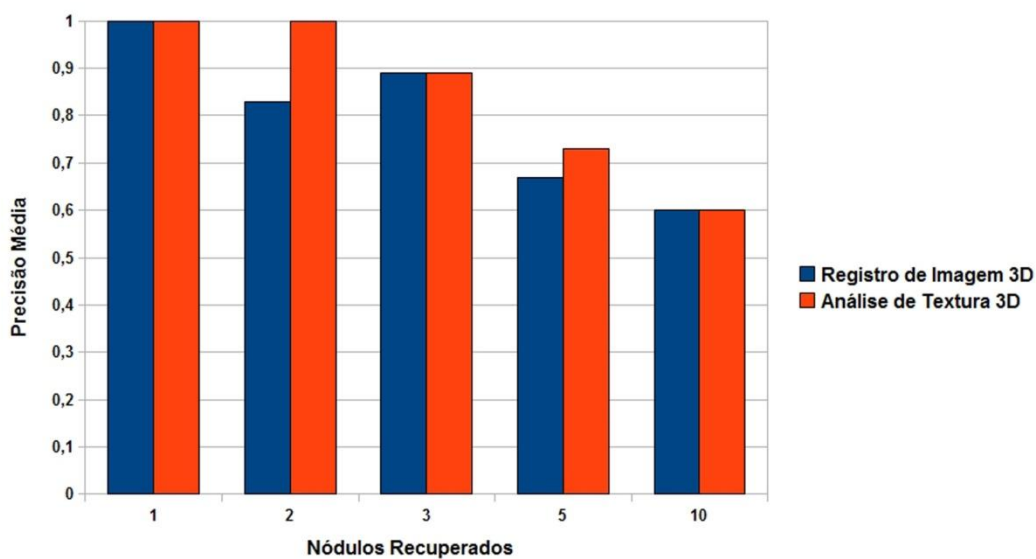


Figura 2 – Precisão média dos algoritmos obtida pela recuperação de nódulos malignos.

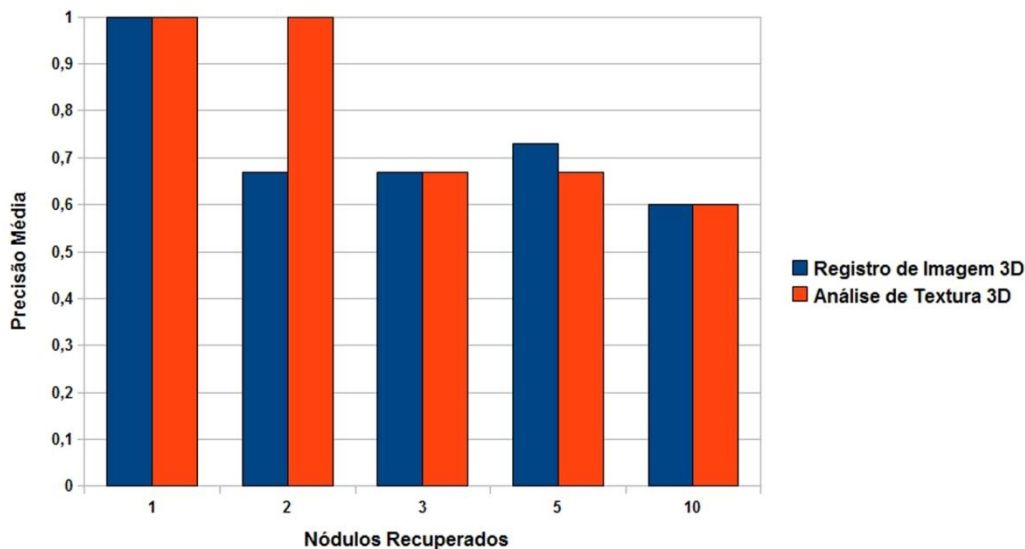


Figura 3 - Precisão média dos algoritmos obtida pela recuperação de nódulos benignos.

4. Discussão

Neste trabalho apresentamos uma abordagem mista de técnicas de recuperação de imagens médicas baseada em conteúdo para classificar nódulos pulmonares. As técnicas de recuperação de imagem desenvolvidas são baseadas na textura e na forma do nódulos que são os principais descritores utilizados por especialistas na classificação de nódulos pulmonares [Li 2007].

A viabilidade em aplicar Registro de Imagem como método de CBIR foi apresentada por Oliveira MC et al. [Oliveira and Cirne 2007]. Contudo, os autores não direcionaram a técnica a uma patologia específica, mas, à classificação de regiões anatômicas. Para o nosso conhecimento os resultados obtidos neste trabalho pela técnica de Registro de Imagem baseado na Informação Mutua são inéditos na literatura. Além disso, os nossos resultados evidenciaram que a técnica de Registro de Imagem 3D é precisa e eficaz na recuperação de nódulos pulmonares similares, pois em todos os casos avaliados a técnica produziu resultados muito próximos ao da tradicional técnica de Análise de Textura 3D. Segundo Muller [Muller and Michoux 2004], em um sistema de CBIR é importante que a técnica utilizada seja precisa nos primeiros casos retornados, pois serão eles que direcionarão o especialista no diagnóstico. Diante dos cinco primeiros casos retornados a precisão média da técnica de Registro de Imagem 3D foi de 73% nos casos benignos e 67% nos casos malignos. Esta pequena diferença de precisão entre os tipos de nódulos pode ser atribuída à complexidade da estrutura do nódulo adotado como referência. Uma solução imediata para aumentar a precisão do algoritmo é acrescentar o deslocamento adotado pelo algoritmo de otimização. Entretanto, esta ação aumentaria o custo computacional do algoritmo.

A Análise de Textura 3D apresentou precisão média superior a 70% na classificação dos nódulos. Diante dos cinco primeiros casos retornados a precisão média da técnica de Análise de Textura 3D foi de 67% nos casos benignos e 73% nos casos malignos. Em seus resultados Lam MO et al. [Lam Mo 2007], usando as imagens do

projeto LIDC e a técnica de Análise de Textura em duas dimensões (2D) obtiveram precisão média de 29% e diante dos cinco primeiros casos retornados obtiveram apenas 18% de precisão. Estes dados enfatizam a importância em considerar a informação de textura contida entre os cortes e de todo o volume dos nódulos.

Neste trabalho foi criado um banco de imagens de nódulos pulmonares com diagnóstico associado que servirá como uma fonte de dados para projetos futuros. Ainda, o banco de nódulos em conjunto com as ferramentas de processamento de imagem desenvolvidas podem ser utilizadas no aprimoramento da qualidade educacional de residentes e discentes dos cursos de saúde. Além disso, acreditamos que com a divulgação e o uso da ferramenta desenvolvida, principalmente entre os futuros profissionais, possamos incentivar o diagnóstico auxiliado por computador que se constitui em uma forma efetiva para reduzir o grande volume de impressão em filme radiológico.

5. Conclusão

Neste trabalho apresentamos um sistema computacional capaz de auxiliar especialistas na classificação de nódulos pulmonares com precisão superior a 70%. Além disso, evidenciamos que a extensão da Análise de Textura para três dimensões produz resultados mais precisos que a sua adoção em duas dimensões como método de recuperação de nódulos pulmonares similares. Todavia, os resultados apresentados neste trabalho são iniciais e necessitam ser avaliados diante de uma amostra maior de nódulos pulmonares. Além disso, a técnica de Registro de Imagens 3D usando a Informação Mutual envolve uma grande quantidade de parâmetros que precisam ser melhor avaliados com o objetivo de aumentar a precisão do algoritmo na recuperação de nódulos pulmonares. Entretanto, os resultados iniciais já evidenciam o potencial futuro da técnica como método de recuperação de nódulos pulmonares.

Referências

- Cassina, P. C., et al. (1998) "Two-year result after lung volume reduction surgery in alpha 1 - antitrypsin deficiency versus smoker's emphysema.". *Eur Respir J*, v.12, p.1028-32.
- Haralick, R. M., Shanmuga.K, *et al.* (1973) "Textural Features for Image Classification". *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, v.SMC3, n.6, p.610-621.
- Lam Mo, D. T., Raicu Ds, Furst J, Channin Ds. (2007) "BRISC-an open source pulmonary nodule image retrieval framework.". *Journal of Digital Imaging*, v.20, p.5.
- Lehmann, T. M., T. M. Lehmann, *et al.* Content-based image retrieval in medical applications: A novel multi-step approach *Proc. SPIE: SPIE--The International Society for Optical Engineering*, 1999. p.312-320.
- Li, Q. (2007) "Recent progress in computer-aided diagnosis of lung nodules on thin-section CT". *Computerized Medical Imaging and Graphics*, v.31, n.4-5, p.248-257.

- Mcnitt-Gray, M. F., S. G. Armato, *et al.* (2007) "The Lung Image Database Consortium (LIDC) data collection process for nodule detection and annotation". *Academic Radiology*, v.14, p.1464-1474.
- Muller, H., N. Michoux, *et al.* (2004) "A review of content-based image retrieval systems in medical applications - clinical benefits and future directions". *International Journal of Medical Informatics*, v.73, n.1, p.1-23.
- Olabarriaga, S. D., J. G. Snel, *et al.* (2007) "Integrated support for medical image analysis methods: From development to clinical application". *Ieee Transactions on Information Technology in Biomedicine*, v.11, n.1, p.47-57.
- Oliveira, M. C., W. Cirne, *et al.* (2007) "Towards applying content-based image retrieval in the clinical routine". *Future Generation Computer Systems*, v.23, n.3, p.466-474.
- Pietka, E., A. Gertych, *et al.* (2005) "Informatics infrastructure of CAD system". *Computerized medical imaging and graphics*, v.29, p.157-169.
- Rahman, M., T. Wang, *et al.* *Medical Image Retrieval and Registration: Towards Computer Assisted Diagnostic Approach. IDEAS Workshop on Medical Information Systems: The Digital Hospital (IDEAS-DH'04)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2004. p.78-89.
- Silverman, E. K. S., F.E. (1996) "Risk factors for the development of chronic obstructive pulmonary disease.". *Med Clin North Am*, v.80, p.501-22.
- Sluimer, I., A. Schilham, *et al.* (2006) "Computer analysis of computed tomography scans of the lung: A survey". *IEEE Transactions on Medical Imaging*, v.25, n.4, p.385-405.
- Takashima, S., S. Sone, *et al.* (2003) "Indeterminate solitary pulmonary nodules revealed at population-based CT screening of the lungs: Using first follow-up diagnostic CT to differentiate benign and malignant lesions". *American Journal of Roentgenology*, v.180, n.5, p.1255-1263.
- Traina, A. J. M., A. G. R. Balan, *et al.* *Content-based image retrieval using approximate shape of objects. IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, 2004.
- Yoo, T. (2004) "Insight into images: principles and practice for segmentation, registration and image analysis". *AK Peters LTDA*, v.1. 350 p., Massachusetts, USA.