

Flood Monitoring in Smart Cities Based on Fuzzy Logic about Urban Open Data

Fabrcio Silva Melo
Master's Degree in Computer
Science
Universidade Federal de
Sergipe
Sergipe, Brazil
fs-melo@bol.com.br

José Lucas Matos Silva
Master's Degree in Computer
Science
Universidade Federal de
Sergipe
Sergipe, Brazil
lucas_matos_15@hotmail.com

Hendrik Teixeira Macedo
Computer Science
Department
Universidade Federal de
Sergipe
Sergipe, Brazil
hendrik@ufs.br

ABSTRACT

A new method for urban flood monitoring based on fuzzy logic for issue alerts on a geographic map was showed. The model is designed to receive information from remote sensing water level over TCP/IP protocol and operate intelligently based on fuzzy rules with inference by Mamdani model from urban open data, providing free information access containing flood alert states and flooding with georeferencing that can help cities to become smart cities. The model was validated by case studies analysis with real sensors that generate a set of pre-planned test data. The issue alerts on geographical maps in real-time corroborated presented in this work for the acceptance of fuzzy logic in the urban monitoring flood with high performance, being able to act autonomously providing information to drivers for avoid undesirable routes.

CCS Concepts

•Information systems → Expert systems;

Keywords

fuzzy, flood, smart cities, TCP/IP, urban mobility

1. INTRODUÇÃO

Hoje diversas metr3polest est3o propondo um novo modelo de cidade interligado, sustent3vel, confort3vel, atraente e seguro marcado pela grande aplica3o de tecnologias, chamado de cidade inteligente. Requisitos de paisagismo, de preserva3o ambiental, de redu3o da polui3o e as solu3o3es para problemas locais como mobilidade urbana s3o fatores cr3ticos para o desenvolvimento de cidades inteligentes [9].

Uma grande parte dos cidad3os vive em ambientes urbanos. Eles convivem diariamente no mesmo espa3o, e para a sua mobilidade compartilham a mesma infraestrutura de tr3nsito. Grandes cidades enfrentam cada vez mais problemas causados pelo transporte e tr3fego urbano, respons3vel

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from permissions@acm.org.

EATIS '2016 Cartagena, Bol3var Colombia

© 2016 IEEE. ISBN 978-1-5090-2435-3/16...\$31.00

DOI: ...

pela maioria das emiss3es de CO_2 e outros poluentes provenientes da combust3o veicular [19, 23].

Congestionamentos causados por inunda3o3es e tr3fego em rotas de alta concorr3ncia podem agravar ainda mais esse problema. As cidades consomem mais energia e emitem maiores quantidades de CO_2 . Assim, um modelo urbano sustent3vel [1], a cidade inteligente, 3 defendido mundialmente.

Trabalhos recentes prop3em o monitoramento e preven3o de cat3strofes causadas por inunda3o3es [24] para subsidiar planos de resposta 3 emerg3ncia. Alguns deles usam sensoriamento para aquisi3o de informa3o3es que s3o indexadas 3 coordenadas geogr3ficas em um GIS (*Geographic Information Systems*) [4, 5, 6, 7, 24]. No entanto n3o tratam o problema da mobilidade urbana frente a alagamentos e inunda3o3es em metr3poles.

Devido a criticidade do crescimento do tr3fego urbano, a implanta3o de ITS baseados em *Urban Open Data* (dados urbanos abertos) para apoiar a mobilidade urbana e melhorar o setor dos transportes devem ser fortemente incentivadas, principalmente em metr3poles de pa3ses pobres com infraestrutura subdesenvolvida.

Por isso, o objetivo deste trabalho 3 realizar uma avalia3o consistente baseada em l3gica fuzzy sobre *urban open data* para monitoramento urbano de inunda3o3es de forma inteligente.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

2.1 Monitoramento e Controle de Inunda3o3es

Cidade inteligente 3 um modelo que faz uso de tecnologias de computa3o3o inteligente para fazer a infraestrutura cr3tica e servi3os de uma cidade mais inteligentes, interconectados e eficientes, incluindo administra3o da cidade, educa3o, sa3de, seguran3a p3blica, transporte e utilidades [15].

No processo de expans3o urbana, o desenvolvimento n3o planejado provoca graves fen3menos, como aterramento de lagos para constru3o3es de edifica3o3es sobre o solo, o que resulta em encolhimento dos rios urbanos e lagos, decl3nio da capacidade de descarga de inunda3o3o, enfraquecimento da capacidade de reten3o de 3gua de lagos e redu3o de 3reas pantanosas e cintur3es verdes. A capacidade do ecossistema original no controle de inunda3o3es e reten3o reduz, assim, a frequ3ncia de inunda3o3es e extens3o dos danos s3o agravados [2].

Previs3o de cheias e sistemas de alerta de inunda3o3es 3 um

dos exemplos de medidas não estruturais que vêm sendo tomadas para emitir alertas para prevenir as pessoas e reduzir perdas com inundações, danos e perdas de vidas humanas [5]. Atualmente metodologias de monitoramento de inundações por meio de imagens produzidas por satélites tem sido apresentadas para mapear a extensão e a duração de inundações [10, 13, 16, 24]. Esses processos utilizam reconstrução topográfica 3D baseadas em fotos 2D, que foram tomadas a partir de cenas virtuais usando abordagens de visões multidimensionais de alta complexidade.

Devido à frequente ameaça de tufões neste país um sistema baseado em modelos numéricos de previsão de ondas no oceano também foi desenvolvido para emissão de alertas na costa de Taiwan [3].

Outros trabalhos fazem uso de informações hidrológicas em tempo real de chuvas e dados de precipitação para prever características de inundações, como nível de água, o fluxo, a profundidade e a velocidade das enchentes [4, 5, 7, 18].

Linghu [11] apresentou uma abordagem baseada nos clássicos sistemas multi-agentes inteligentes para a previsão de inundações com Raciocínio Baseado em Casos. Nesse trabalho vários agentes foram implementados com processamento distribuído onde cada agente tinha a sua própria base de casos com dados históricos coletados entre 1985 e 2014.

Outro sistema baseado em variáveis similares foi proposto [6] para emissão de alerta de enchentes usando o modelo *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) com dados de entrada de precipitação, de nível e de fluxo de água do rio coletados de um site específico e de uma rede de sensores sem fio. Como saída o sistema calculou o índice de possibilidade de inundação com base em termos linguístico de alertas a serem plotados em um mapa GIS.

A aplicação da lógica fuzzy também operou de forma eficiente em uma estação adaptável de monitoramento de enchentes e demonstrou ser capaz de monitorar as mudanças de condições ambientais reais com baixa complexidade e adaptar automaticamente seus parâmetros de consumo eficiente de energia elétrica, de bateria e de taxa de transmissão de dados [8].

De fato a maioria desses trabalhos propuseram o monitoramento e prevenção de catástrofes causadas por inundações para subsidiar planos de resposta à emergência. No entanto não propõem solução ao problema da mobilidade urbana frente a alagamentos e inundações em metrópoles, como abordado em nosso artigo.

Em sua maioria, esses trabalhos relatam o uso de sensoriamento de algum tipo para aquisição de informações que são indexadas à coordenadas geográficas em um GIS. Nosso trabalho traz característica semelhante, com o diferencial de usar sensores com uma plataforma *open hardware*, ambos de baixo custo, e manter os dados monitorados em um *urban open data*.

2.2 Fuzzy Expert Systems

A lógica fuzzy traz uma abordagem linguística para lidar com informações imprecisas [20] através da execução de funções de pertinência [21] e inferência baseada em regras [22] para tomada de decisão em meio à incertezas.

Diversos sistemas inteligentes implementam a lógica fuzzy com inferência sobre regras cujas variáveis ou parte delas são variáveis linguísticas. A essência desse tipo de sistema é retornar um resultado sem a necessidade de entradas precisas utilizando-se de linguagem natural e raciocínio apro-

ximado fazendo tomadas de decisão similares às decisões de especialistas humanos quando, na resolução de um problema complexo, buscam estruturar em conceitos gerais o conhecimento sobre o problema e depois observam as relações essenciais entre esses conceitos.

De forma geral, um sistema fuzzy é composto por quatro componentes principais: a base de conhecimento, um sistema de inferência e as interfaces de fuzificação, na entrada, e de defuzificação, na saída [14].

Na fuzificação as variáveis de entrada numéricas são transformadas em variáveis linguísticas, através de funções de pertinência. O sistema de inferência mapeia os termos linguísticos de entrada e simula o raciocínio humano retornando uma saída linguística pela aplicação de regras de inferência difusas. Por fim, a defuzificação transforma o conjunto fuzzy obtido pela inferência em um valor numérico como saída.

Os métodos diretos de Mamdani [12] e de Takagi-Sugeno [17] são os mais usados na computação de sistemas inteligentes baseados em lógica fuzzy. O método de Mandani, por ser de maior facilidade de implementação e de baixa complexidade, é largamente utilizado em aplicações de missões críticas na automação, robótica e controle industrial com a estrutura simples de operações de mínimo-máximo (*min-max*). Já os sistemas fuzzy baseados em Takagi-Sugeno (TS) tem sido amplamente utilizados para problemas de sistemas não-lineares representando-os como um conjunto de subsistemas lineares.

3. MÉTODO

3.1 Estudo de Caso

Para validação do modelo proposto, um módulo sensor foi montado com sensores ultrassônicos HC-SR04 conectados a uma placa Arduino Uno R3 para medir o nível de água. A placa Arduino foi programada (Algoritmo 1) para coletar dados dos sensores de nível de água em *mm* e enviá-los ao banco de dados por protocolo TCP/IP através de um módulo Ethernet Shield Enc28j60.

Os sensores foram instalados sobre um recipiente cilíndrico com água de acordo com a Figura 1. O volume de água foi variado para simular níveis durante possíveis inundações. O módulo Arduino foi configurado para enviar esses dados para o banco de dados do sistema de monitoramento.

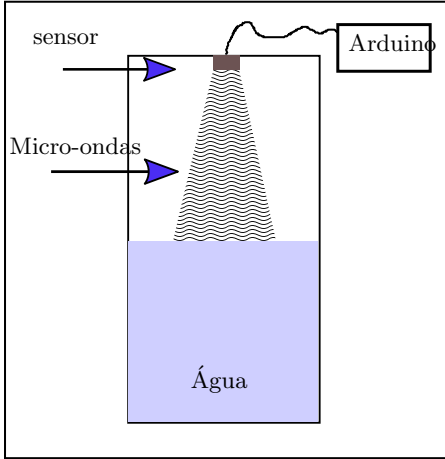
Algoritmo 1 Código fonte Arduino

```
1: void setup()
2: Serial.begin(9600);
3: void loop()
4: float cmMsec;
5: long microsec = ultrasonic.timing();
6: cmMsec = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::CM);
7: Serial.print("cm:");
8: Serial.println(cmMsec);
9: delay(1000);
10: }
```

3.2 Sistema de Alertas Baseado em Lógica Fuzzy

Um modelo fuzzy foi construído (Algoritmo 2) em C# para ler os níveis de água ($x - cm$) inseridos no banco de

Figura 1: Esquema de montagem do sensor HC-SR04 acoplado a uma placa Arduino Uno R3



dados pelo Aduino e classificá-los com três funções de pertinência $\mu_i(x)$ como *nívelBaixo*($\mu_1(x)$), *nívelMédio*($\mu_2(x)$) ou *nívelAlto*($\mu_3(x)$), de acordo com o Algoritmo 3 e a Figura 2. Três regras linguísticas foram definidas como base conhecimento. Testes foram utilizados para determinar a eficácia das regras em classificar as entradas fornecidas e enviadas pelos sensores ao banco de dados.

Seja η um vetor coluna com os valores de nível de água de n sensores, ω um vetor coluna com os valores de nível de água fuzzyficados e $C(Lt, Lg)$ uma matriz contendo as respectivas coordenadas geográficas de n sensores.

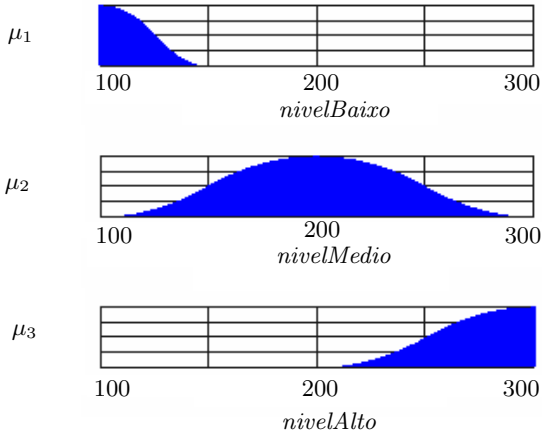
Algoritmo 2 Sistema de Alertas Baseado em Lógica Fuzzy

```

1: procedure SISTEMA DE ALERTA( $\eta, C(Lt, Lg)$ )
2:   Fuzzificação ( $\eta$ );
3:   Inferência( $\omega$ );
4:   for each  $z$  in Alerta do
5:     ploteGIS(Alerta,  $C(Lt, Lg)$ );
6:   end for
7: end procedure

```

Figura 2: Representação dos conceitos linguísticos e funções de pertinência



Algoritmo 3 Fuzzificação

```

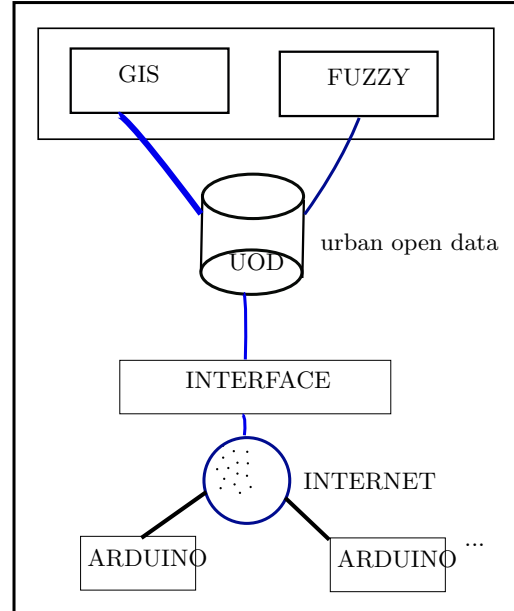
1: function FUZZIFICAÇÃO( $\eta$ )
2:   for each  $x$  in  $\eta$  do
3:      $\mu_1(x) \leftarrow -(1 + e^{-a(x-c)})^{-1}$ ;
4:      $\mu_2(x) \leftarrow e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$ ;
5:      $\mu_3(x) \leftarrow (1 + e^{-a(x-c)})^{-1}$ ;
6:     if  $\mu_1(x) \geq \mu_2(x)$ ; then
7:        $\omega_i = \text{nívelBaixo}$ ;
8:     else
9:        $\omega_i = \text{nívelMédio}$ ;
10:    end if
11:    if  $\mu_1(x) \geq \mu_3(x)$  then
12:       $\omega_i \leftarrow \text{nívelBaixo}$ ;
13:    else
14:       $\omega_i \leftarrow \text{nívelAlto}$ ;
15:    end if
16:    if  $\mu_3(x) \geq \mu_2(x)$  then
17:       $\omega_i \leftarrow \text{nívelAlto}$ ;
18:    else
19:       $\omega_i \leftarrow \text{nívelMédio}$ ;
20:    end if
21:     $i = i + 1$ ;
22:  end for
23:  return  $\omega$ ;
24: end function

```

4. RESULTADOS

O modelo foi desenvolvido conforme arquitetura ilustrada na Figura 3. GIS representa a interface gráfica do modelo com mapa geográfico. FUZZY representa o módulo de classificação linguística do alerta relativo aos valores de variáveis do tipo nível armazenados no banco de dados. UOD é o banco de dados que armazena as leituras dos sensores por TCP/IP e as configurações dos sensores, como coordenadas. A INTERFACE é a parte responsável por receber os dados dos sensores e gravá-los no banco de dados.

Figura 3: Arquitetura do modelo proposto



Algoritmo 4 Sistema de Inferência

```
1: function INFERÊNCIA( $\omega$ )
2:   for each  $y$  in  $\omega$  do
3:     if  $y = \text{nivelBaixo}$  then
4:       Alerta $i$   $\leftarrow$  verde;
5:       Alerta $i$   $\leftarrow$  Alerta $i$  + 1;
6:     end if
7:     if  $y = \text{nivelMedio}$  then
8:       Alerta $i$   $\leftarrow$  amarelo;
9:       Alerta $i$   $\leftarrow$  Alerta $i$  + 1;
10:    end if
11:    if  $y = \text{nivelAlto}$  then
12:      Alerta $i$   $\leftarrow$  vermelho;
13:      Alerta $i$   $\leftarrow$  Alerta $i$  + 1;
14:    end if
15:  end for
16:  return Alerta;
```

O sistema de monitoramento de inundações apresenta os alertas emitidos plotados em mapas geográficos. Na Figura 4 é ilustrado um sinal de alerta de nível médio de água por um ícone amarelo, indicando que o condutor deve manter atenção ao trafegar por essa rota.

Figura 4: GIS com informação de alerta amarelo



Na Figura 5 é ilustrado um sinal de alerta de nível alto de água por um ícone vermelho, indicando que o condutor deve evitar trafegar por essa rota, ou até mesmo evadir-se dessas proximidades.

Os resultados de classificação encontrados durante o teste do modelo é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Avaliação de Classificação

Intervalo de entrada	Classificação linguística	Alerta plotado
0 a 140	nivelBaixo	Verde
140 a 260	nivelMedio	Amarelo
≥ 260	nivelAlto	Vermelho

Os resultados apresentados sugerem que a aplicação da lógica fuzzy e sistema de informação geográfica sobre *urban open data* é bastante adequada para o problema de clas-

Figura 5: GIS com informação de alerta vermelho



sificação de estados de alertas em mapas GIS. Apesar de ser ainda um protótipo, o modelo apresentado é bastante promissor para maiores escalas, pois a plataforma Arduino pode trabalhar com rede de sensores sem fio, com energia solar, com transmissores e receptores Wireless e até com rede WiFi-Direct.

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O trabalho proposto demonstrou ser capaz de atuar de forma autônoma frente a inundações permitindo que os condutores evitem rotas indesejáveis.

A emissão de alertas em mapas geográficos em tempo real apresentada nesse trabalho corroborou para com a aceitação da lógica fuzzy no monitoramento urbano de inundações com alto desempenho.

Trabalhos futuros poderão explorar a base de dados histórica gerada pela aplicação do trabalho aqui proposto para identificação e direcionamento de ações de melhoria de infraestrutura nas áreas afetadas por inundações e alagamentos.

Outro ponto bastante atrativo seria trabalhar o protótipo em uma rede de sensores sem fio.

6. REFERENCES

- [1] D. Banister, S. Watson, and C. Wood. Sustainable cities: transport, energy, and urban form. *Environment and Planning B: planning and design*, 24(1):125–143, 1997.
- [2] J. Dai, G. Zeng, and L. Li. Chongqing urban ecological flood control study of river basin. In *Geoinformatics (GEOINFORMATICS), 2013 21st International Conference on*, pages 1–4. IEEE, 2013.
- [3] D.-J. Doong, L.-H. Chuang, L.-C. Wu, Y.-M. Fan, C. Kao, and J.-H. Wang. Development of an operational coastal flooding early warning system. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(2):379–390, 2012.
- [4] G. Duan, W. Zhao, Z. Hu, and D. Fang. An improved model of regional flood disaster risk assessment based on remote sensing data. In *Geoinformatics, 2011 19th International Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2011.
- [5] I. Hafiz, L. Sidek, H. Basri, K. Fukami, M. Hanapi, L. Livia, and A. Jaafar. Integrated flood analysis system (ifas) for kelantan river basin. In *Telecommunication Technologies (ISTT), 2014 IEEE*

- 2nd International Symposium on*, pages 159–162. IEEE, 2014.
- [6] M. E. Hossain, T. N. Turna, S. J. Soheli, and M. S. Kaiser. Neuro-fuzzy (nf)-based adaptive flood warning system for bangladesh. In *Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), 2014 International Conference on*, pages 1–5. IEEE, 2014.
- [7] Y. Huang, W. Lin, and H. Zheng. A decision support system based on gis for flood prevention of quanzhou city. In *Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2013 5th International Conference on*, volume 1, pages 50–53. IEEE, 2013.
- [8] S. Jankoo, P. Champrasert, and B. Suntaranont. Fuzzy logic control mechanism for flash flood monitoring station. In *Sensors Applications Symposium (SAS), 2014 IEEE*, pages 349–354. IEEE, 2014.
- [9] R. Kitchin. The real-time city? big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1):1–14, 2014.
- [10] Y. Kwak, J. Park, A. Yorozuya, and K. Fukami. Estimation of flood volume in chao phraya river basin, thailand, from modis images coupled with flood inundation level. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International*, pages 887–890. IEEE, 2012.
- [11] B. Linghu and F. Chen. An intelligent multi-agent approach for flood disaster forecasting utilizing case based reasoning. In *Intelligent Systems Design and Engineering Applications (ISDEA), 2014 Fifth International Conference on*, pages 182–185. IEEE, 2014.
- [12] E. H. Mamdani. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. In *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, volume 121, pages 1585–1588. IET, 1974.
- [13] V. Meesuk, Z. Vojinovic, and A. E. Mynett. Using multidimensional views of photographs for flood modelling. In *Information and Automation for Sustainability (ICIAfS), 2012 IEEE 6th International Conference on*, pages 19–24. IEEE, 2012.
- [14] P. Melin and O. Castillo. A review on type-2 fuzzy logic applications in clustering, classification and pattern recognition. *Applied soft computing*, 21:568–577, 2014.
- [15] T. Nam and T. A. Pardo. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*, pages 282–291. ACM, 2011.
- [16] G. Schumann, R. Hostache, C. Puech, L. Hoffmann, P. Matgen, F. Pappenberger, and L. Pfister. High-resolution 3-d flood information from radar imagery for flood hazard management. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 45(6):1715–1725, 2007.
- [17] T. Takagi and M. Sugeno. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, (1):116–132, 1985.
- [18] H. Wang, W. Chen, and S. Song. Design of jinan city flood prevention and warning decision-making support system based on sql server and gis. In *Database Technology and Applications, 2009 First International Workshop on*, pages 488–492. IEEE, 2009.
- [19] Y. Wang, Y. Hayashi, J. Chen, and Q. Li. Changing urban form and transport co2 emissions: an empirical analysis of beijing, china. *Sustainability*, 6(7):4558–4579, 2014.
- [20] L. A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3):338–353, 1965.
- [21] L. A. Zadeh. Fuzzy algorithms. *Information and control*, 12(2):94–102, 1968.
- [22] L. A. Zadeh. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, (1):28–44, 1973.
- [23] P. Zhao. Sustainable urban expansion and transportation in a growing megacity: Consequences of urban sprawl for mobility on the urban fringe of beijing. *Habitat International*, 34(2):236–243, 2010.
- [24] W. Zheng. The flood monitoring information system framework based on multi-source satellite remote sensing data. In *System Science and Engineering (ICSSE), 2012 International Conference on*, pages 306–309. IEEE, 2012.