

# Designing Pervasive Game Elements to Handle Uncertainty using Fuzzy Logic Systems

Vitor A.C.C. Almeida  
Universidade Federal do Piauí  
Teresina – PI, Brasil  
vitoracortez@gmail.com

José R.M. Viana  
Universidade Federal do Piauí  
Teresina – PI, Brasil  
zezim.ricardo@ufpi.edu.br

Ricardo de A.L. Rabêlo  
Universidade Federal do Piauí  
Teresina – PI, Brasil  
ricardoalr@ufpi.edu.br

## ABSTRACT

Pervasive games utilize contextual data from the player as a fundamental game input. Processing this data, acquired by sensors subject to noises, imprecisions and errors, is an important task in order to guarantee a consistent gameplay experience and prevent player frustration. Thus, this paper presents an approach to pervasive game development capable of handling the uncertainty of sensor data. The proposed approach consists of applying fuzzy set theory to transform the game input into fuzzy sets, by mapping the range of sensor readings into descriptive linguistic variables (i.e., qualitative values) and their respective membership functions. Then, the linguistic variables are utilized in the definition of fuzzy rules – *if...then* rule statements – describing the behavior of one or more game elements. Finally, in order to output a value which describes the game element's behavior, we employ a fuzzy inference system based on the fuzzy rules definitions. To illustrate our approach, we present a pervasive game prototype that uses location and movement contextual data to control the pace of the game. By employing fuzzy systems in the development of pervasive games, we expect to abstract much of the complexity of handling imprecise and uncertain sensor data during the implementation of the game logic and facilitate the design of rule-based behavior by allowing game designers to compose rules using linguistic terms instead of numerical values.

## Keywords

Pervasive games; Fuzzy Logic systems; Context-aware applications.

## 1. INTRODUÇÃO

O termo “Computação Ubíqua” (do inglês, *Ubiquitous Computing*) foi cunhado pelo pesquisador norte-americano Mark Weiser para descrever um futuro no qual os computadores como conhecemos atualmente desapareceriam gradualmente, dando lugar a novos dispositivos embutidos invisíveis ao usuário [17]. Na visão de Weiser, aplicações ubíquas preocupam-se em obter os dados do contexto no qual o usuário está situado e utilizam esses dados para modifi-

car o comportamento da aplicação em benefício do usuário, um conceito que hoje caracteriza as aplicações “sensíveis ao contexto” (do inglês, *context-aware*) [16].

Com a popularização dos dispositivos móveis e os contínuos avanços nas tecnologias de sensores embarcados, a visão de Weiser pode ser colocada em prática. Dessa forma, existe uma tendência de combinar diferentes áreas com a computação ubíqua, dando origem a novos tipos de aplicações. Ao atribuir as características das aplicações sensíveis ao contexto para os jogos digitais, surgem os jogos pervasivos. Um jogo pervasivo possui uma ou mais funcionalidades que expandem o “círculo mágico” do jogo de forma social, espacial ou temporal [13]. A expressão círculo mágico é empregada para descrever o espaço onde um determinado jogo acontece, e como este espaço torna-se um universo livre das regras do mundo real durante o jogo [9].

O desenvolvimento de aplicações sensíveis ao contexto para dispositivos móveis apresenta diversos desafios técnicos para desenvolvedores e engenheiros de software, como definir a representação de dados contextuais computacionalmente, a necessidade de reimplementar uma aplicação para diferentes plataformas e de lidar com novas interfaces humano-computador [6]. Além disso, os sensores utilizados por esse tipo de aplicação estão sujeitos a ruídos, imprecisões e erros em suas leituras, elevando a possibilidade de comportamentos inesperados (e.g. variações abruptas em variáveis) prejudicarem o funcionamento da aplicação. Essa imprecisão, inerente aos sensores embarcados nos dispositivos móveis atuais, pode dificultar a implementação de regras da aplicação baseadas em valores específicos com fronteiras bem definidas. Dessa forma, para suceder na criação de aplicações sensíveis ao contexto, são necessárias técnicas de desenvolvimento robustas, capazes de lidar com informações inconsistentes e incertezas [14].

Em visão dos desafios apontados acima, este artigo propõe a utilização de sistemas *fuzzy* no desenvolvimento de jogos pervasivos como uma ferramenta de manipulação dos dados contextuais recebidos dos sensores. Dessa forma, é possível explorar a tolerância por imprecisões e incertezas ao empregar conjuntos *fuzzy* para representar dados contextuais; facilitar a formulação das regras do jogo com a definição de regras linguísticas; e controlar o comportamento de elementos do jogo utilizando um sistema de inferência *fuzzy*.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: A Seção 2 discute alguns trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta a abordagem proposta. Por fim, a Seção 4 expõe as considerações finais.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

Para tornar-se pervasivo, um jogo precisa obter dados do contexto e utilizá-los como parte da jogabilidade. Diversos trabalhos [2], [5], [3], [1], [10], [18], apontam os desafios e dificuldades de processar dados incertos e imprecisos em jogos pervasivos baseados em localização.

Em [2], [3], os autores discutem os desafios e lições aprendidas sobre a utilização de dados de incertos de localização durante o desenvolvimento do jogo *Can You See Me Now*. No trabalho de [5], o jogo *Cron* é desenvolvido para demonstrar como utilizar um *framework* proposto a facilitar o desenvolvimento de jogos baseados em localização. Durante o desenvolvimento do jogo *Mythical* [1], identificou-se como os dados do ambiente físico podem ser empregados em jogos pervasivos, consequências da utilização desses dados e limitações técnicas, como lidar com a heterogeneidade dos dados de diferentes sensores, a disponibilidade desses dados e o volume excessivo de dados. Em [10], os autores utilizam dados de localização e aceleração no protótipo do jogo *Sportix*, e reportam que utilizar dados de sensores com qualidade e precisão variada causaram impactos negativos no comportamento do jogo e no reconhecimento do contexto, sendo necessária a aplicação de filtros para ignorar dados fora de limites pré-estabelecidos. Wu et al. [18] apontam dificuldades no desenvolvimento de jogos baseados em dados do GPS (do inglês, *Global Positioning System*) e apresentam um jogo pervasivo baseado no clássico *Pac Man*. Já no trabalho de [15], os autores utilizam a incerteza propositalmente no jogo apresentado, considerando os dados de localização incertos em ambientes internos como parte da jogabilidade.

Outros trabalhos [12], [14], [7], abordam o problema de processar dados imprecisos e obter informações relevantes que possam ser utilizadas em aplicações sensíveis ao contexto, porém não são voltados para jogos pervasivos. Lei et al. [12] sugerem um serviço para administrar as informações contextuais, atribuindo métricas como qualidade, precisão e relevância para cada dado contextual. Em [14], os autores apresentam uma infraestrutura capaz de representar dados obtidos por sensores utilizando formalismos baseados em ontologias. Cada dado é transformado em um predicado e é associado um valor de confiança, permitindo que os serviços implantados na plataforma possam manipular e raciocinar sobre dados incertos utilizando lógica probabilística, lógica *fuzzy* e redes *Bayesianas*. Na pesquisa de Haghighi et al. [7], um sistema *fuzzy* é empregado para mapear os atributos de um modelo do espaço contextual em variáveis *fuzzy*, permitindo a utilização dos mecanismos oferecidos pelos sistemas *fuzzy* para inferir informações sobre uma determinada situação.

## 3. ABORDAGEM PROPOSTA

O ser humano é capaz de resolver problemas complexos utilizando informações imprecisas e vagas, representadas por termos linguísticos (e.g. *baixa* temperatura, *alta* velocidade). Contanto que seja possível representar soluções para um problema por meio de um conjunto de regras no formato *se...então*, é possível utilizar a teoria de conjuntos *fuzzy* e conceitos de lógica *fuzzy* para expressar e manipular informações imprecisas e nebulosas com um ferramental matemático estritamente preciso [8].

Dessa forma, a aplicação de sistemas *fuzzy* no desenvolvimento de jogos pervasivos confere uma abordagem formal

adequada a manipular os valores incertos e imprecisões detectados pelos sensores de maneira semelhante ao raciocínio humano. Os dados contextuais identificados pelos sensores devem ser qualificados por termos linguísticos associados a conjuntos *fuzzy*. Esse processo consiste em identificar a faixa dos valores que um determinado sensor pode retornar, e representar grânulos nessa faixa por meio de termos da linguagem natural, efetivamente realizando uma troca da precisão pela significância. Após definir os conjuntos, os desenvolvedores ou designers devem utilizar os termos linguísticos para formar proposições *fuzzy* – proposições lógicas baseadas em conceitos imprecisos – e definir regras no formato *se...então* que impliquem no comportamento de um ou mais elementos do jogo. Ao definir as regras do jogo para um dado elemento, é necessário implementar um sistema de inferência *fuzzy* (FIS, do inglês, *Fuzzy Inference System*) para controlar, de forma indireta, o comportamento de elementos do jogo. O FIS é responsável por transformar os valores numéricos obtidos pelos sensores em variáveis *fuzzy*, e inferir um valor de saída que determine o comportamento de um dado elemento do jogo em tempo de execução. A abordagem proposta consiste em 5 etapas (ver Figura 1):

1. *Escolha dos sensores*: Identificar quais sensores podem ser utilizados para prover os dados desejados;
2. *Preparação dos dados*: Especificar como os dados de saída dos sensores devem ser pré-processados, caso necessário. Por exemplo, reduzindo o número de variáveis (redução de dimensionalidade) para diminuir a quantidade de valores qualitativos para representá-los;
3. *Escolha dos valores qualitativos*: Determinar quais os termos linguísticos devem ser utilizados para representar os valores numéricos obtidos pelos sensores. Cada termo linguístico está associado a uma função de pertinência;
4. *Definição da lógica*: Definir as regras *fuzzy* escritas na forma *se...então*, utilizando os termos linguísticos determinados na etapa anterior;
5. *Aplicação do FIS*: Implementar o sistema de inferência *fuzzy* usado para obter o valor de saída que caracteriza o comportamento de um elemento do jogo.

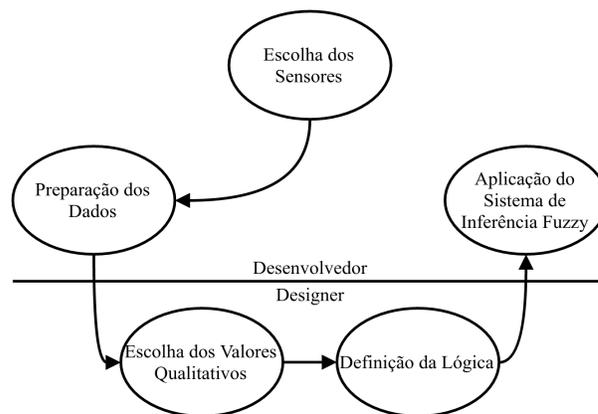


Figura 1: Etapas da abordagem proposta

A fim de exemplificar a aplicação da abordagem, as seções seguintes apresentam cada etapa no contexto de um

protótipo de jogo pervasivo baseado em localização.

### 3.1 Construção do protótipo

O protótipo detalhado nessa seção pertence ao gênero de jogos de caça ao tesouro para dispositivos móveis, especificamente para a plataforma *Android*. As principais características desse gênero no contexto de jogos pervasivos são: (i) jogos multi-jogador; (ii) cada jogador possui uma posição no mapa; (iii) os jogadores são agrupados por proximidade; (iv) um grupo pode ser alertado de uma caça ao tesouro; (v) os tesouros são objetos virtuais, posicionados aleatoriamente no mapa; (vi) quando todos os tesouros forem encontrados, ou um limite de tempo é atingido, o jogo termina; e (vii) o jogador com o maior número de tesouros vence ao término da partida.

Com base nessas características, os jogadores precisam de alguma informação que os guie para a localização dos tesouros. Uma solução simples é adicionar um elemento no jogo cuja função é exibir, por meio de uma interface visual, a localização do tesouro mais próximo de cada jogador. Sendo assim, durante a caça ao tesouro cada dispositivo móvel exerce a função de um radar.

Outra limitação importante é a extensão do espaço de jogo. Para esse protótipo, é preferível que os jogadores possam deslocar-se até o próximo tesouro caminhando, e por isso a distância máxima entre os tesouros não deve exceder 40 metros. Por fim, a dinâmica do jogo deve basear-se em informações contextuais, como a velocidade do jogador e sua distância para o tesouro mais próximo. Esses valores devem afetar a “frequência” de resposta do radar artificial, que constitui o principal elemento desse jogo pervasivo.

#### 3.1.1 Escolha dos sensores

Nessa etapa, os desenvolvedores são responsáveis por definir quais sensores devem ser utilizados para capturar as informações contextuais desejadas. É importante levar em consideração a disponibilidade do sensor nos dispositivos alvo e a possibilidade de utilizar diferentes sensores para complementar uma informação contextual.

Para o protótipo exemplificado, a localização das entidades, jogador e tesouros, pode ser obtida por meio do GPS, e as informações acerca da movimentação do jogador podem ser inferidas a partir dos dados obtidos pelos sensores acelerômetro e giroscópio.

#### 3.1.2 Preparação dos dados

Nessa etapa, a saída dos sensores selecionados pode ser transformada pelo desenvolvedor para reduzir a quantidade de conjuntos *fuzzy*. No cenário proposto, é possível obter a distância entre o jogador e os tesouros, reduzindo o número de valores obtidos pelo GPS para um. Já as saídas dos sensores acelerômetro e giroscópio são oferecidas em três dimensões e precisam ser observadas em intervalos de tempo antes que possam ser analisadas.

*Distância* – Para determinar a distância entre o jogador e os tesouros no mapa, são utilizadas as coordenadas detectadas pelo sensor de GPS. Dependendo da precisão desejada, calcular essa distância pode ser simples ou não. Para obter uma maior precisão, pode-se considerar a superfície da Terra como uma esfera e calcular a menor rota entre dois pontos na sua superfície esférica por meio da fórmula de Haversine [4]. Embora esta abordagem produza resultados precisos, ela pode ser desnecessariamente complexa para o protótipo

apresentado. Como a distância máxima entre o jogador e um tesouro está limitada a 40 metros, a distância pode ser estimada por uma linha reta entre os pontos, utilizando a latitude e longitude como coordenadas e aplicando o cálculo da distância euclidiana.

*Movimentação* – A principal interação entre o jogador e o radar é influenciada por meio do deslocamento do jogador no espaço físico onde os tesouros foram posicionados. Logo, capturar dados sobre essa movimentação é uma tarefa importante a ser realizada antes de decidir com essa informação pode afetar a jogabilidade. Para determinar a movimentação do jogador, utiliza-se a variação dos valores da aceleração linear nos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$  (em  $m/s^2$ ), observada pelo sensor acelerômetro, a orientação e velocidade angular do jogador, detectadas pelo sensor giroscópio. Em [11], é possível distinguir entre atividades com alta movimentação (correr, caminhar) e atividades com baixa movimentação (parar, sentar) observando a variação dos valores de cada eixo durante um intervalo de tempo. Em [10], dados do sensor acelerômetro foram utilizados em conjunto com a localização do jogador para determinar sua velocidade.

#### 3.1.3 Escolha dos valores qualitativos

As variáveis linguísticas apresentam valores discretos que estão associados aos nomes dos conjuntos *fuzzy*. O designer pode definir quais termos devem ser utilizados nessa etapa.

Dentro do domínio do valor quantitativo da distância, é possível definir três termos linguísticos (*perto*, *média*, *longe*) associados à variável linguística *distância*. Da mesma forma, no domínio dos valores da movimentação do dispositivo, são definidos dois conjuntos *fuzzy* (*baixa*, *alta*) que representam a movimentação do jogador de forma qualitativa, constituindo a variável linguística *movimentação*.

#### 3.1.4 Definição da lógica

Com a definição dos valores qualitativos que representam as saídas dos sensores, o designer do jogo pode criar regras na forma *se...então* baseadas nesses valores. Para o protótipo exemplificado, as variáveis *movimentação* e *distância* são utilizadas para controlar a frequência que o radar artificial sinaliza a posição do tesouro mais próximo no mapa. Para isso, três conjuntos *fuzzy* são definidos (*alta*, *média*, *baixa*) para representar os valores qualitativos da frequência do radar. Um exemplo das possíveis regras *fuzzy* é ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Regras *fuzzy* do radar artificial

Movimentação → Distância ↓	Baixa	Alta
Perto	<i>Alta</i>	<i>Média</i>
Média	<i>Média</i>	<i>Baixa</i>
Longe	<i>Média</i>	<i>Baixa</i>

#### 3.1.5 Aplicação do Sistema de Inferência Fuzzy

Por fim, nessa etapa é realizada a implementação do sistema de inferência *fuzzy* utilizando a base de regras estabelecida na etapa de definição da lógica (Seção 3.1.4). O objetivo do sistema é inferir um valor quantitativo que caracterize a frequência em que o radar artificial exibe a localização do tesouro mais próximo. A Figura 2 ilustra o sistema de inferência *fuzzy* utilizado para controlar a frequência do radar.

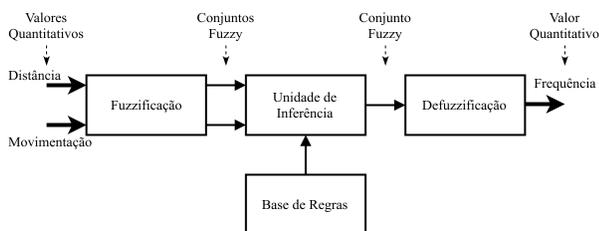


Figura 2: Sistema de Inferência Fuzzy

No processo de *fuzzificação*, o grau de pertinência das entradas deve ser calculado para seus respectivos termos linguísticos (conjuntos *fuzzy*), presentes nos antecedentes das regras *fuzzy*. A partir dos valores de pertinência dos antecedentes, a unidade de inferência aplica as regras e retorna, para cada regra, um conjunto *fuzzy* que reflita sua força. Em seguida, todos os conjuntos resultantes são combinados para formar a saída do processo de inferência. A *defuzzificação* permite que o conjunto *fuzzy* de saída seja transformado em um único valor, a frequência do radar artificial.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de aplicações sensíveis ao contexto para dispositivos móveis apresenta diversos desafios técnicos relacionados a como obter, representar e manipular dados contextuais. Esses dados, obtidos primariamente por meio de sensores, estão sujeitos a ruídos e imprecisões, e precisam ser cuidadosamente tratados antes de serem utilizados para afetar o comportamento da aplicação.

Este trabalho apresenta uma abordagem para o desenvolvimento de jogos pervasivos utilizando sistemas *fuzzy*. A abordagem proposta descreve como aplicar a teoria de conjuntos *fuzzy* aos valores quantitativos recebidos de sensores para obter variáveis qualitativas, como utilizar essas variáveis para definir regras lógicas que reflitam as regras do jogo, e como utilizar um sistema de inferência *fuzzy* para controlar elementos do jogo. Cada etapa é exemplificada no contexto de um protótipo de jogo pervasivo baseado em localização, cujo principal elemento do jogo representa um radar afetado por dados contextuais.

Com o uso de sistemas *fuzzy*, é possível empregar o ferramental matemático fornecido pela teoria de conjuntos *fuzzy* e a lógica *fuzzy* para manipular dados imprecisos e incertos por meio de representações linguísticas que facilitam a criação de regras do jogo, por se assemelhar ao raciocínio humano. No futuro, pode ser interessante explorar os benefícios de uma biblioteca voltada para o uso de sistemas *fuzzy* pelos desenvolvedores e designers de jogos pervasivos.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] A. Becam and V. A. A. Nenonen. Designing and creating environment aware games. In *2008 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, pages 1045–1049, Jan 2008.
- [2] S. Benford, R. Anastasi, M. Flintham, A. Drozd, A. Crabtree, C. Greenhalgh, N. Tandavanitj, M. Adams, and J. Row-Farr. Coping with uncertainty in a location-based game. *IEEE Pervasive Computing*, 2(3):34–41, July 2003.
- [3] S. Benford, A. Crabtree, M. Flintham, A. Drozd, R. Anastasi, M. Paxton, N. Tandavanitj, M. Adams,

and J. Row-Farr. Can you see me now? *ACM Transactions Computer-Human Interactions*, 13(1):100–133, Mar. 2006.

- [4] F. Cajori. *A History of Mathematical Notations: Vol. II. A History of Mathematical Notations*. Cosimo, Incorporated, 2007.
- [5] L. David, K. Fabian, R. Ilja, and S. Stephan. Context-aware multimedia provisioning for pervasive games. In *Seventh IEEE International Symposium on Multimedia (ISM'05)*, pages 9–, Dec 2005.
- [6] J. Dehlinger and J. Dixon. Mobile application software engineering: Challenges and research directions. In *Proceedings of the Workshop on Mobile Software Engineering*, pages 29–32. Springer, 2011.
- [7] P. Delir Haghighi, S. Krishnaswamy, A. Zaslavsky, and M. M. Gaber. Reasoning about context in uncertain pervasive computing environments. In *Proceedings of the 3rd European Conference on Smart Sensing and Context*, EuroSSC '08, pages 112–125, Berlin, Heidelberg, 2008. Springer-Verlag.
- [8] D. Dubois and H. M. Prade. *Fuzzy Sets and systems: Theory and Applications*, volume 144 of *Mathematics in science and engineering*. Academic press, 1980.
- [9] J. Huizinga. *Homo Ludens*. Beacon Press, 1955.
- [10] E. Kuehn and J. Sieck. Design and implementation of location and situation based services for a pervasive mobile adventure game. In *IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 2009. IDAACS 2009*, pages 640–644, Sept 2009.
- [11] J. R. Kwapisz, G. M. Weiss, and S. A. Moore. Activity recognition using cell phone accelerometers. *ACM SigKDD Explorations Newsletter*, 12(2):74–82, 2011.
- [12] H. Lei, D. M. Sow, J. S. Davis, II, G. Banavar, and M. R. Ebling. The design and applications of a context service. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 6(4):45–55, Oct. 2002.
- [13] M. Montola. Exploring the edge of the magic circle: Defining pervasive games. In *Proceedings of Digital Arts and Culture*, pages 1–3, 2005.
- [14] A. Ranganathan, J. Al-Muhtadi, and R. H. Campbell. Reasoning about uncertain contexts in pervasive computing environments. *IEEE Pervasive Computing*, 3(2):62–70, April 2004.
- [15] R. Robert-Bouchard, J. Dupire, and P. Cubaud. Designing indoor tangible games based on fuzzy localisation. In *IEEE Games Entertainment Media Conference (GEM), 2015*, pages 1–4, Oct 2015.
- [16] B. Schilit, N. Adams, and R. Want. Context-aware computing applications. In *First Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1994. WMCSA 1994*, pages 85–90. IEEE, 1994.
- [17] M. Weiser. The computer for the 21st century. *Scientific american*, 265(3):94–104, 1991.
- [18] M. Y. Wu, S. R. Tsai, J. C. Wang, and Y. C. Chuang. A pac-man game on campus using gps location information and shortest path algorithm. In *Third IEEE International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning (DIGITEL), 2010*, pages 202–206, April 2010.