



Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas (PPGEAS)  
Disciplina: Sistemas de Tempo Real II

## Desafios e problemas em aberto da ATPBM

**Karila Palma Silva**  
karila.palma@posgrad.ufsc.br

**Luís Fernando Arcaro**  
luis.arcaro@posgrad.ufsc.br

**Rômulo Silva de Oliveira**  
romulo.deoliveira@ufsc.br

Novembro de 2017

1/24

## Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Estado da arte
- 3 Desafios e problemas

3/24

## Observações importantes

### Observações importantes:

- Este material foi elaborado com base no artigo [1]:  
***"Open Challenges for Probabilistic Measurement-Based Worst-Case Execution Time."***
- Onde é fornecido uma revisão da literatura para derivar os *pWCETs* de *software* usando ATPBM com métodos da TVE.
- Identificam-se vários desafios abertos que devem ser uma motivação para futuras pesquisas.
- **O conjunto de desafios não é afirmado como completo.**

2/24

## Introdução

4/24

## Introdução

### **Worst-Case Execution Time (WCET):**

- O *WCET* é um parâmetro crítico que descreve o maior valor para o tempo de execução, seu valor real é raramente conhecido.
- Mesmo que seja muito difícil de alcançar, é essencial que, como parte da garantia de um STR, atenda aos requisitos temporais.
- A complexidade do *hardware* moderno:
  - Aumentou os desafios da *análise estática*.
  - Reduziu a confiabilidade da *medição pura*.
  - Levou ao surgimento da *ATPBM*.
- A baixa probabilidade de observar altos tempos de execução de um programa motivou a utilização da TVE na ATPBM.
- Com a estimativa *pWCET* através da TVE, desafios abertos tornaram-se aparentes ao aplicar as abordagens existentes.

5/24

## Estado da arte

### **Distribuição de valor extremo:**

- Em alguns trabalhos da literatura ajustam-se os tempos de execução máximos para a distribuição *GEV* [2].
- Outros trabalhos propõem o ajuste dos tempos de execução máximos para a distribuição de *Gumbel* [3].
- As hipóteses de Gumbel e GEV são enriquecidas usando distribuições *Generalized Pareto (GP)* [4, 5, 6] — indicando que a aplicação da TVE para o problema de estimativa *pWCET* não se restringe às distribuições de Gumbel e/ou GEV.

7/24

## Estado da arte

## Estado da arte

### **Qualidade de ajuste:**

- A qualidade de ajuste em relação ao modelo Gumbel é verificado pelo teste  *$X^2$ -squared goodness-of-fit* [7].
- O teste  $X^2$  foi considerado inadequado e o teste *Exponential Tail* foi utilizado para testar a hipótese de Gumbel.
- O teste  $X^2$  concentra-se na parte central da distribuição, enquanto os valores interessantes (*pWCET*) são esperados nas caudas.

6/24

8/24

## Estado da arte

### Resultados da TVE:

- O realismo e a aplicabilidade dos resultados da TVE são criticados em [8]. As principais preocupações são:
  - A adequação dos **dados de entrada**.
  - A validação dos **resultados produzidos**.
- Uma estrutura que avalia a qualidade e a confiabilidade dos resultados da TVE foi apresentada [9].
- Condições imperfeitas para aplicar TVE foram identificadas [9]:
  - **Cobertura de teste** incompleta em relação à estrutura do programa.
  - Quantidade de **casos de teste**.
- [10] propõe uma abordagem para contabilização dos efeitos de blocos não executados durante as medições.
- Essa técnica foi posteriormente ampliada visando cobertura completa também para *caches* aleatorizadas [11].

9/24

## Desafios e problemas

11/24

## Estado da arte

### Resultados da TVE:

- Fornecer cobertura depende que um número suficiente de tempos de execução estejam presentes na amostra.
- O primeiro método iterativo para determinar o tamanho da amostra, sem provas de sua adequação, foi apresentado em [12].
- Uma correção estatística é aplicada após a TVE[13]. A probabilidade de excedência é calculada através de:
  - Uma função de confiabilidade alvo para o *WCET*.
  - Incertezas de medição e análise conhecidas.
- Arquiteturas aleatorizadas em tempo [14] foram propostas para favorecer a aplicabilidade da TVE.
- No entanto, tais arquiteturas não garantem que essas premissas sejam atendidas nem resolve os problemas abertos definidos.

10/24

## Desafios e problemas

### Desafios:

- 1 O que é uma amostra de entrada **representativa** para TVE.
- 2 Como podemos garantir uma aplicação **confiável** de TVE na análise dos tempos de execução.
- 3 Como interpretamos os **resultados** da TVE.

12/24

## Desafios e problemas

### Exemplo de entrada representativa para TVE

- A amostra deve conter casos semelhantes às situações extremas esperadas no ambiente em que o sistema irá operar.
- Aderência dos dados observados a uma distribuição da TVE.
- Estimativa  $pWCET$  aceitável.
- No entanto, vale lembrar dois problemas:
  - 1 O  $pWCET$  real geralmente não é conhecido e, portanto, a solidez das estimativas pode não ser facilmente verificável.
  - 2 O valor  $pWCET$  também depende:
    - Amostra de observações fornecidas ao método de ajuste.
    - Método de ajuste.
    - Propriedades assintóticas da distribuição resultante de GEV ou GP.
    - Probabilidade de excedência a partir do qual o  $pWCET$  é derivado.

13/24

## Desafios e problemas

### Exemplo de entrada representativa para TVE

#### ↳ Problemas abertos:

- 1 Como determinar os **requisitos de representatividade** no contexto da TVE e do sistema de forma mais ampla.
- 2 Como gerar **vetores de teste** para satisfazer a necessidade de representatividade.
- 3 Como identificar a abstração apropriada para a estrutura do programa e do processador, de modo que obtenha-se **cobertura** suficiente e forneça uma amostra representativa.
- 4 Como identificar as propriedades de programas e processadores para que um **número suficiente de medições** possa ser justificado.
- 5 Como identificar a representatividade incompleta da amostra e avaliar seu **impacto** na estimação do  $pWCET$ .
- 6 Quantos tempos de execução são necessários na amostra para um determinado programa, processador e confiabilidade  $pWCET$ .

14/24

## Desafios e problemas

### Aplicação confiável da TVE na análise de tempo

- A estimativa do  $pWCET$  é muito sensível a pequenas variações do método utilizado.
- Observou-se que implementações distintas do mesmo método de ajuste podem produzir diferentes estimativas de  $pWCET$  [15].
- Assumindo que a amostra obtida não pode ser representativa, seria necessário que isso pudesse ser compensado.
- Os métodos TVE e ATPBM publicados não oferecem métodos sistemáticos para atender a esse tipo de requisito.
- Métodos devem ser reprodutíveis para finalidades industriais.
- No contexto de TVE, um método pode ser considerado reprodutível se, para a mesma amostra de tempos de execução, as mesmas estimativas  $pWCET$  forem obtidas.
- Em caso de problemas, a saída de um método deve ser entendida, o que significa que precisa ser recriado com precisão.

15/24

## Desafios e problemas

### Aplicação confiável da TVE na análise de tempo

#### ↳ Problemas abertos:

- 1 Como demonstrar que os métodos para estimar os **parâmetros do modelo de valor extremo** (e sua implementação) são confiáveis.
- 2 Como podemos garantir que a TVE leva a um  **$pWCET$  seguro** no contexto dos dados disponíveis e os requisitos do sistema.
- 3 Como podemos compensar a falta de **representatividade** na amostra para derivar um  $pWCET$  seguro.
- 4 Como argumentamos que essa aplicação de métodos TVE como parte da análise  $pWCET$  é **reprodutível**.

16/24

## Desafios e problemas

### Interpretação dos resultados da TVE

- Como selecionar o  $pWCET$  a partir da cauda da distribuição.
- A escolha do valor é uma questão complexa e um problema não bem compreendido [16].
- O valor precisa ser escolhido de modo que o risco de falhas do sistema seja aceitável.
- A probabilidade de um  $pWCET$  ser excedido deve considerar todos os aspectos do sistema que podem contribuir para falhas.
- Do ponto de vista do tempo, trabalhos anteriores [17, 18] analisaram a frequência com que as tarefas cumprem seus prazos para um determinado perfil de tempos de execução.
- Sob a perspectiva de gerenciamento de risco, quanto maior a extrapolação das observações para o  $pWCET$ , maior a incerteza.

17/24

## Desafios e problemas

### Interpretação dos resultados da TVE

#### ↳ Problemas abertos:





- 1 Como entender as **incertezas** dentro do processo geral de medição e análise.
- 2 Como estabelecemos a **probabilidade de excedência** para fornecer um  $WCET$  seguro com riscos gerenciáveis.
- 3 Como escalonamos e desenvolvemos um sistema na presença do  $pWCET$  derivado.
- 4 Como o processo de **derivar o  $pWCET$**  afeta o argumento de certificação.
- 5 Como demonstrar uma **relação adequada** entre a estimativa  $pWCET$  de um programa e o comportamento de tempo do sistema geral.

18/24







19/24




## Referências I

-  S. J. Gil, I. Bate, G. Lima, L. Santinelli, A. Gogonel, and L. Cucu-Grosjean, "Open Challenges for Probabilistic Measurement-Based Worst-Case Execution Time," *IEEE Embedded Systems Letters (ESL)*, vol. PP, p. 4, 2017.
-  A. Burns and S. Edgar, "Predicting computation time for advanced processor architectures," in *Euromicro Conference on Real-Time Systems 2000 (ECRTS'00)*. IEEE, 2000, pp. 89–96.
-  S. Edgar and A. Burns, "Statistical analysis of WCET for scheduling," in *Real-Time Systems Symposium 2001 (RTSS'01)*. IEEE, 2001, pp. 215–224.
-  M. Liu, M. Behnam, and T. Nolte, "Applying the peak over thresholds method on worst-case response time analysis of complex real-time systems," in *International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications 2013 (RTCSA'13)*. IEEE, 2013, pp. 22–31.





## Referências II

-  F. Guet, L. Santinelli, and J. Morio, "On the Reliability of the Probabilistic Worst-Case Execution Time Estimates," in European Congress on Embedded Real Time Software and Systems 2016 (ERTS'16), 2016, p. 10.
-  G. Lima, D. Dias, and E. Barros, "Extreme Value Theory for Estimating Task Execution Time Bounds: A Careful Look," in Euromicro Conference on Real-Time Systems 2016 (ECRTS'16). IEEE, 2016, pp. 200–211.
-  J. Hansen, S. Hissam, and G. A. Moreno, "Statistical-Based WCET Estimation and Validation," in International Workshop on Worst-Case Execution Time Analysis 2009 (WCET'09), vol. 10. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2009, pp. 1–11.
-  D. Griffin and A. Burns, "Realism in Statistical Analysis of Worst Case Execution Times," in International Workshop on Worst-Case Execution Time Analysis 2010 (WCET'10), vol. 15. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2010, pp. 44–53.




## Referências IV

-  Y. Lu, T. Nolte, I. Bate, and L. Cucu-Grosjean, "A Statistical Response-Time Analysis of Real-Time Embedded Systems," in Real-Time Systems Symposium 2012 (RTSS'12). IEEE, 2012, pp. 351–362.
-  F. J. Cazorla, E. Quiñones, T. Vardanega, L. Cucu-Grosjean, B. Triquet, G. Bernat, E. Berger, J. Abella, F. Wartel, M. Houston, L. Santinelli, L. Kosmidis, C. Lo, and D. Maxim, "PROARTIS: Probabilistically Analyzable Real-Time Systems," ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS), vol. 12, pp. 94:1–94:26, 2013.
-  C. Maxim, A. Gogonel, I. Asavaoae, M. Asavaoae, L. Cucu-Grosjean, and W. Talaboulma, "Reproducibility and representativity - mandatory properties for the compositionality of measurement-based WCET estimation approaches," in International Workshop on Compositional Theory and Technology for Real-Time Embedded System (CRTS'16), 2016, pp. 17–24.

## Referências III

-  B. Lesage, D. Griffin, F. Soboczenski, I. Bate, and R. I. Davis, "A Framework for the Evaluation of Measurement-based Timing Analyses," in International Conference on Real-Time and Network Systems 2015 (RTNS'15). ACM, 2015, pp. 35–44.
-  L. Kosmidis, J. Abella, E. Quiñones, and F. J. Cazorla, "Efficient Cache Designs for Probabilistically Analysable Real-Time Systems," IEEE Transactions on Computers (TC), vol. 63, pp. 2998–3011, 2014.
-  M. Ziccardi, E. Mezzetti, T. Vardanega, J. Abella, and F. J. Cazorla, "EPC: Extended Path Coverage for Measurement-Based Probabilistic Timing Analysis," in Real-Time Systems Symposium 2015 (RTSS'15). IEEE, 2015, pp. 338–349.
-  L. Cucu-Grosjean, L. Santinelli, M. Houston, C. Lo, T. Vardanega, L. Kosmidis, J. Abella, E. Mezzetti, E. Quiñones, and F. J. Cazorla, "Measurement-Based Probabilistic Timing Analysis for Multi-path Programs," in Euromicro Conference on Real-Time Systems 2012 (ECRTS'12). IEEE, 2012, pp. 91–101.

## Referências V

-  D. Griffin, I. Bate, B. Lesage, and F. Soboczenski, "Evaluating mixed criticality scheduling algorithms with realistic workloads," in Proceedings of the Workshop on Mixed Criticality Systems (WMC), 2015, pp. 24–29.
-  I. Bate, A. Burns, and R. I. Davis, "A bailout protocol for mixed criticality systems," in Real-Time Systems (ECRTS), 2015 27th Euromicro Conference on. IEEE, 2015, pp. 259–268.
-  —, "An enhanced bailout protocol for mixed criticality embedded software," IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 43, no. 4, pp. 298–320, 2017.