

Kivonat

Napjainkban egyre több, egyre komplexebb elosztott kiberfizikai rendszer jelenik meg körülöttünk: egymással kommunikáló járművek, szenzorhálózatok, okos otthonok stb. Ezen rendszerek tervezésekor fontos figyelembe venni a funkcionális követelményeken felül különböző extrafunkcionális követelményeket is, ilyenek például a teljesítmény, az energiafogyasztás és a rendelkezésre állás. Biztonságkritikus felhasználási területeken fontos a megbízhatósági követelmények teljesítése is. Ezen követelmények alapvetően kvantitatívak, azaz különböző mérőszámokra határoznak meg elérendő célértékeket. Teljesülésük biztosításával már a rendszertervezés fázisában is foglalkozni kell, amikor még nem áll rendelkezésre a működő rendszer, csak annak modellje.

A különböző extrafunkcionális metrikák meghatározásához a rendszer viselkedésére jellemző véletlenszerűséget tartalmazó, sztochasztikus modelleket használunk. A munkámban egy elterjedt sztochasztikus modellezési formalizmust, az általánosított sztochasztikus Petri-hálókat vizsgálom. Ez a formalizmus alkalmas az aszinkron elosztott rendszerekre jellemző sztochasztikus működés leírására.

A modellből a szükséges extrafunkcionális mutatók számításához egy alacsonyabb szintű, matematikailag kezelhető analízis modellt kell származtatni. Az analízis modell elkészítésekor és elemzésekor felvetődő probléma az állapotérrobbanás: bár a magas szintű mérnöki modell még kezelhető méretű lehet, a hozzá tartozó analízis modell mérete ennek exponenciális függvénye. Így az elterjedt explicit elemzési módszerek csak korlátozottan skálázhatóak.

A probléma egy lehetséges megoldása, hogy az elemzés során megoldandó lineáris egyenletrendszert tenzorrepresentációs módszerek segítségével, tömör közelítő formában tároljuk, és a megoldást is ebben a formában keressük. Munkám során a Tensor Train (TT) formátumú reprezentáció alkalmazhatóságát vizsgáltam az általánosított sztochasztikus Petri-háló elemzésére, melyet a szimbolikus modellellenőrzésben elterjedt döntési diagram állapotér representáció segítségével állítok elő.

A számítások elvégzéséhez egy a szakirodalomból vett TT-alapú lineáris egyenletrendszer megoldó algoritmust adaptálok ezen formalizmusra, mely más területeken, mint például nagy méretű fizikai szimulációk, már jól teljesített. Sztochasztikus Petri-háló analízis területén felmerülnek olyan kihívások, amik a szakirodalomban ismert TT-alapú megoldóknál még nem lettek megvizsgálva, így az algoritmusok közvetlenül nem használhatóak fel. A javasolt algoritmust benchmark modellek segítségével értékelem ki.

Abstract

Increasingly complex distributed cyber-physical systems are becoming more and more widespread these days: vehicles communicating with each other, sensor networks, smart homes, etc. Throughout the design of such systems, various extra-functional requirements must be taken into account, such as performance, energy consumption, and availability. In the case of safety critical application areas, satisfying reliability requirements is also of utmost importance. These kinds of requirements are mostly quantitative, meaning that they give target values for some metrics of the system that must be achieved. Achieving these values must be assured already in the design phase, when no usable instance of the system under development is available for measurement, only a model describing its behavior.

The extra-functional metrics are derived using a stochastic model explicitly describing the randomness inherent in the behavior of the system. In my work, I focus on a widely used stochastic modeling formalism called generalized stochastic Petri-nets. This formalism is well suited to describe the stochastic behavior of asynchronous distributed system.

To calculate the necessary metrics from the model, a lower level analysis model must be derived from it, that can be handled mathematically. When creating and analyzing this low-level model, the problem of state-space explosion arises: even though the high-level engineering model is of tractable size, the size of the corresponding analysis model is exponential in the original one's size. Because of this, the scalability of widespread explicit analysis methods is limited.

A possible solution to this problem is storing the linear equation system that needs to be solved during the analysis in a concise approximate form using tensor representation methods, and seeking the solution in the same format. We examine the applicability of Tensor Train (TT) methods for generalized stochastic Petri-nets in this work. The proposed method uses decision diagram-based state space representation for the derivation of the compressed form, which is widely used in symbolic model checking.

We adapt a TT-based linear equation system solver, which has been successfully used in other areas, such as large-scale physics simulations, to compute extra-functional metrics of generalized stochastic Petri nets. There are challenges that arise when using the TT format for the analysis of stochastic Petri-nets that are yet unexplored in the literature for TT-based solvers, hindering the direct application of these algorithms without modification. In this work, our aim is to overcome these challenges, and to verify the proposed algorithm using benchmark models.