

Systems of Systems Engineering for NATO Defence Applications (STO-EN-SCI-276)

Executive Summary

Most military endeavours require independent systems to work together co-operatively, i.e. they must interoperate. This situation is called Systems of Systems (SoS) and the engineering of this complex arrangement is the topic of this Lecture Series. There are significant advantages associated with interoperable systems; such as Network-Enabled Capability (NEC) in which new effects, not achievable by individual systems working in isolation, become possible. The rapidly expanding interconnectedness of systems in both the military and civilian world makes SoS Engineering (SoSE) an essential skill. SoSE is a comparatively recent area of explicit study and this LS presents the state of the art in SoSE.

Paper 1 provides an overview of the definitions and characterisation of SoS. One such definition is: *A SoS is an integration of a finite number of constituent systems which are independent and operatable, and which are networked together for a period of time to achieve a certain higher goal*¹. Mark Maier² gave five characteristics of SoS: that the constituent systems of a SoS are operationally and managerially independent of each other; that they are generally geographically distributed, that the SoS develops in an evolutionary manner, and that there are emergent behaviours. It is the first two (operational and managerial independence of constituent systems) that lead to many of the challenges faced in SoSE.

An architecture describes the way in which the resources of a system are organised; Paper 2 presents the key considerations in architecting for SoS (in contrast to a single system). These include:

- A high degree of modularity and loose coupling between component systems;
- Clear architectural separation between rapidly and slowly changing parts of the SoS; and
- Designing individual systems for composability.

The role of architectural frameworks in achieving a consistent approach to architecting is explained. The management of interfaces is critical in SoS and Paper 3 explains the influence of the industrial context on operational effectiveness through limits imposed on the interoperability between systems. The definition of lifecycle could take several forms for SoS. Paper 4 discusses these and also introduces the ‘wave model’³, which is a way of planning and managing the evolutionary nature of SoS.

A socio-technical perspective must be taken to properly understand the behaviour of SoS (Paper 5), and the socio-political end of the interoperability spectrum must be appreciated to reduce the risk of detrimental emergent behaviours.

The implications of SoS for the development of individual constituent systems is considered in Paper 6 and the processes recommended by TTCP⁴ are presented as current good practice. Paper 7 presents a new model

¹ Jamshidi, M. (2009). “System of systems engineering – innovations for the 21st century”, pg. 2 (Introduction section), ed. Jamshidi, J. Wiley & Sons..

² Maier, M.W. (1998). “Architecting principles for systems-of-systems”. *Systems Engineering* 1(4): 284.

³ Dombkins, D.H. (2007). *Complex Project Management*, Charleston S.C. Booksurge.

⁴ The Technical Co-operation Program: <http://www.acq.osd.mil/ttcp/>.

of the relationship between SoS and Enterprise systems. Continuing the theme of development of constituent systems, Paper 8 proposes a whole system lifecycle view of systems development that uses value-stream thinking to resolve the differences.

Systems of Systems is an essential construct for NATO and, indeed, for most socio-technical endeavours in the modern world. Appreciating and managing the uncertainties that SoS introduce is a step towards being more effective when faced with complex undertakings. Paper 9 summarises current good practice in Engineering Systems of Systems.

Ingénierie des systèmes de systèmes destinés aux applications de défense de l'OTAN

(STO-EN-SCI-276)

Synthèse

La plupart des projets militaires nécessitent que des systèmes indépendants « coopèrent », autrement dit, fonctionnent en interaction. On appelle cela un « système de systèmes » (SdS) ; l'ingénierie d'une telle organisation complexe est le sujet de cette série de conférences. Les systèmes interopérables présentent des avantages considérables, par exemple la capacité réseau-centrique (NEC), qui permet d'obtenir des effets inaccessibles aux systèmes individuels fonctionnant de manière isolée. La croissance rapide de l'interconnexion des systèmes dans le secteur tant militaire que civil fait de l'ingénierie des SdS (ISdS) une compétence essentielle. L'ISdS est un domaine d'étude explicite relativement récent. Cette série de conférences présente l'état de l'art en la matière.

La première conférence donne une vue d'ensemble des définitions et de la caractérisation des SdS. Un SdS peut être défini comme « *l'intégration d'un nombre fini de systèmes constitutifs indépendants et opérables, qui sont mis en réseau pendant un certain laps de temps pour atteindre un objectif spécifique supérieur*⁵. » Mark Maier⁶ a énuméré cinq caractéristiques des SdS : les systèmes constituant un SdS sont indépendants sur le plan du fonctionnement et de la gestion et sont en général géographiquement répartis ; le SdS se développe de manière évolutive ; il existe des comportements émergents. Ce sont les deux premières caractéristiques (indépendance sur le plan du fonctionnement et de la gestion) qui sont à l'origine de bien des difficultés rencontrées par l'ISdS.

L'architecture décrit la manière dont les ressources d'un système sont organisées. La deuxième conférence présente les éléments clés de l'architecture des SdS (par opposition à celle d'un système unique), à savoir :

- Un niveau élevé de modularité et un faible couplage entre les systèmes constitutifs ;
- Une séparation architecturale nette entre les parties du SdS qui changent rapidement et celles qui changent lentement ; et
- Une conception des systèmes individuels visant la composabilité.

On explique le rôle des cadres architecturaux pour parvenir à une approche cohérente de l'architecture. Dans les SdS, la gestion des interfaces est capitale. La troisième conférence explique l'influence du contexte industriel sur l'efficacité opérationnelle par le biais des limites imposées à l'interopérabilité entre systèmes. Le cycle de vie d'un SdS peut être appréhendé de différentes manières. La quatrième conférence discute des différentes définitions possibles et introduit le « modèle ondulatoire⁷ », qui est une façon de planifier et de gérer la nature évolutive des SdS.

Il est nécessaire d'adopter une perspective socio-technique pour comprendre correctement le comportement des SdS (cinquième conférence). La finalité socio-politique du spectre de l'interopérabilité doit être évaluée afin de réduire le risque d'émergence de comportements préjudiciables.

⁵ Jamshidi, M. (2009). "System of systems engineering – innovations for the 21st century", pg. 2 (Introduction section), ed. Jamshidi, J. Wiley & Sons..

⁶ Maier, M.W. (1998). « Architecting principles for systems-of-systems ». Systems Engineering 1(4): 284.

⁷ Dombkins, D.H. (2007). Complex Project Management, Charleston S.C. Booksurge.

La sixième conférence étudie les implications de SdS lors du développement des systèmes constitutifs ; les processus recommandés par le TTCP⁸ sont présentés en tant que bonnes pratiques actuelles. La septième conférence expose un nouveau modèle de relation entre les SdS et les systèmes d'entreprise. Reprenant le thème du développement des systèmes constitutifs, la huitième conférence propose un aperçu complet du cycle de vie du développement des systèmes, qui utilise une réflexion de chaîne de valeur pour aplanir les différences.

Les systèmes de systèmes sont une construction essentielle pour l'OTAN et, en vérité, pour la plupart des projets socio-techniques du monde moderne. L'estimation et la gestion des incertitudes introduites par les SdS sont un pas de plus vers l'efficacité dans le cadre d'entreprises complexes. La neuvième conférence résume les bonnes pratiques actuelles en ingénierie des systèmes de systèmes.

⁸ The Technical Co-operation Program: <http://www.acq.osd.mil/ttcp/>.