

## **АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА КОМУНИКАЦИОННИ МРЕЖИ НА БАЗА НА ДИСКРЕТНО-СЪБИТИЕН АНАЛИЗ НА ПОТОЦИТЕ ОТ ИНФОРМАЦИОННИ ОБЕКТИ**

**Евгени Хубенов<sup>1</sup>, Антонио Андонов<sup>2</sup>, Зоя Чифлиджанова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Софийският университет „Св. Климент Охридски“

<sup>2</sup>ВТУ „Тодор Каблешков“

<sup>3</sup>Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките  
e-mail: hubenov@ucc.uni-sofia.bg; andonov@vtu.bg; zhubenova@space.bas.bg

**Ключови думи:** дискретно-събитийни комуникационно-информационни системи, децентрализирано управление, информационни обекти, управление на мрежи

**Резюме:** В статията е представено управлението на комуникационни мрежи с цел оптимизация на транспорта и обработката на информационни обекти на основа на дискретно-събитийно представяне на потока от данни и моделиране с йерархична структура. Разгледани са качествени аспекти както за мрежи, предназначени за мониторинг и известяване на геофизически, климатични и други природни феномени, така и за антропогенни системи. Направено е сравнение на възможностите на централизираното и децентрализирано управление, както и състоянието на съвременните мрежови технологии и възможностите за практическа реализация в различни мрежови архитектури.

## **ADAPTIVE CONTROL OF COMMUNICATION NETWORKS BASED ON DISCRETE-EVENT ANALYSIS OF THE FLOWS OF INFORMATION OBJECTS**

**Evgeniy Hubenov<sup>1</sup>, Antonio Andonov<sup>2</sup>, Zoya Chiflidzhanova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Sofia University St. Kl. Ohridski,

<sup>2</sup>Todor Kableshkov University of Transport,

<sup>3</sup>Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: hubenov@ucc.uni-sofia.bg; andonov@vtu.bg; zhubenova@space.bas.bg

**Keywords:** discrete-event communication and information systems, decentralized management, data objects, managing networks

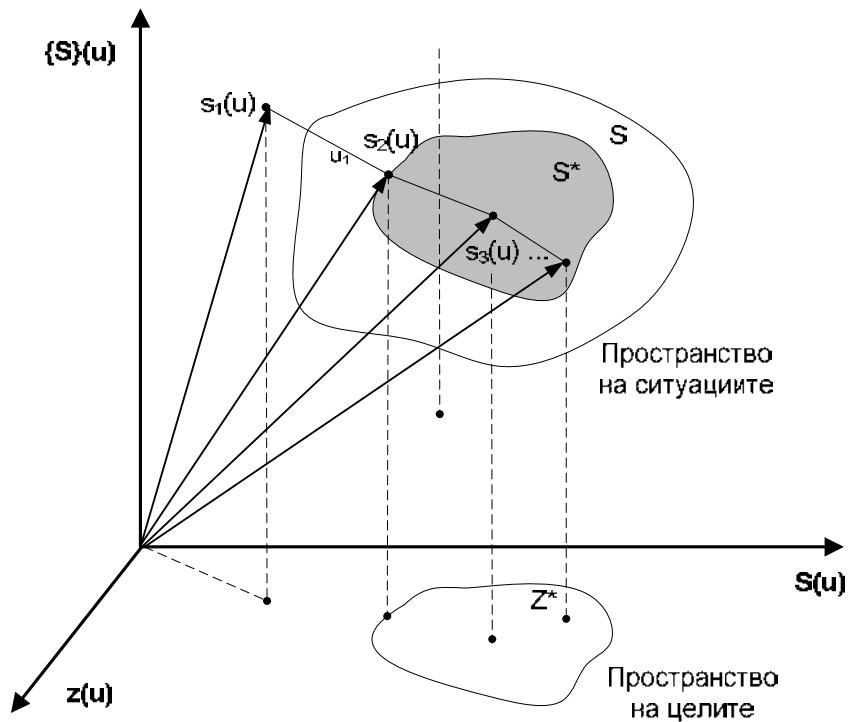
**Abstract:** Article presents the control of communication networks with the aim of optimisation of the transport and processing of information objects based on discrete-event representation of the flow of data and their modelling with a hierarchical structure. Qualitative aspects are considered of networks for monitoring and notification of geophysical, climatic and other natural phenomena, as well as for anthropogenic systems. Comparison is made of the capabilities of centralised and decentralised control, as well as the state of modern network technologies and opportunities for practical implementation in different network architectures.

Събитийно-ориентираните комуникационно-информационни системи включват апаратни и програмни компоненти, които работят едновременно в различни области на взаимно свързани комуникационни среди с използването на събитията в ролята на основен обект за организация на динамичната комуникация между компонентите и адаптиране на структурата към параметрите на потока от данни.

Динамиката на тези системи е свързана с възникване на физически събития в предварително неизвестни, нерегулярни моменти на времето. В общия случай събитие се нарича изменение на състоянието на системата в дискретното пространство на състоянията.

Като информационни обекти, принадлежащи към различни класове в единен комуникационно-информационен поток от данни, събитията съдържат и метаданни. Те са от

значителна важност за поддържане на архитектурата на събитийно-ориентирани комуникационно-информационни системи и трябва да бъдат достъпни за всички елементи на системата. Необходимият елемент в архитектурата и структурата на комуникационно-информационната система, е блок за обработка на събития. Блокът за обработка на събитията приема събитията по комуникационни канали, обработва ги и инициира действия. Обработката е индивидуална или с агрегиране и класификация на повече събития. Прозорецът е извадка от потока от данни, който може да бъде базиран на времеви интервал, физически прозорец (от определени източници), и свързани по съдържание обекти (логически прозорец). Комплексната обработка на събитията се извършва в контекста на минали събития или корелационни зависимости на събития в определен времеви, физически или логически прозорец.

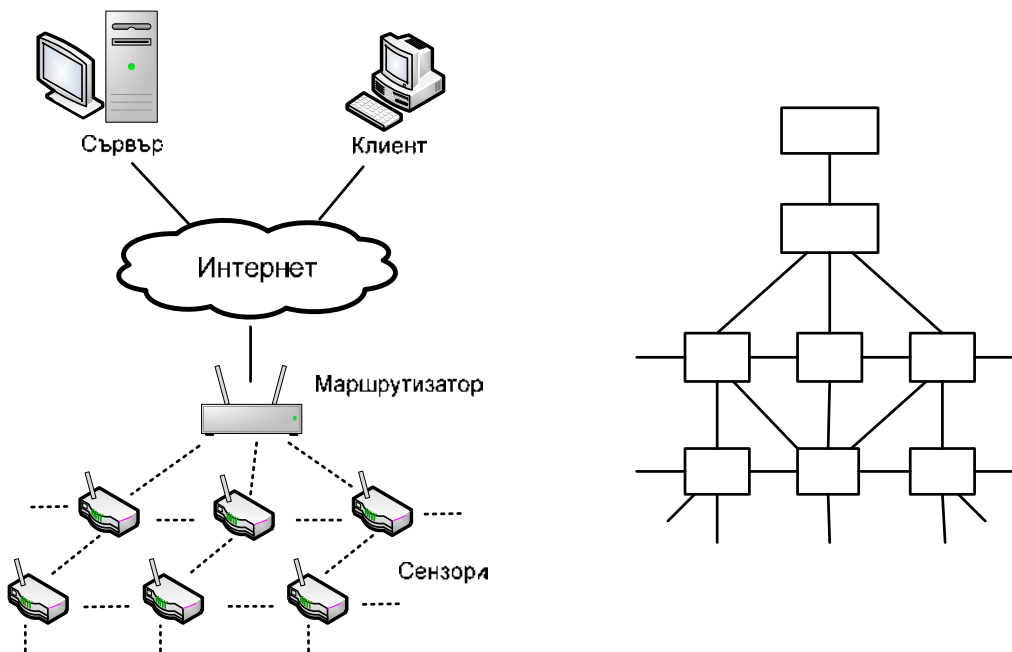


Фиг. 1. Диаграма на фазовите състояния на дискретно-събитийна система

За комуникационните мрежи, разглеждани като дискретни събитийно-ориентирани системи, събитията могат да принадлежат към набор от предварително очаквани състояния, принадлежащи на т.н. азбука на събитията (например, промени в състоянието на мрежовите устройства, обект на мониторинг със специализирани протоколи или прагови аларми за стойности на величини, свързани с физически и природни феномени) (фиг.1). Протоколите и алгоритмите за динамична маршрутизация са възможен механизъм за адаптивна промяна на структурата на системата (мрежовата топология) при транспорта на пакети. Тогава когато мрежата е елемент от комуникационно-информационната система, предназначена за транспорт на информационни обекти, управлението на системата е възможно на база на създаването на подходящ модел, позволяващ разработването на дискретно-събитийна логика на управление. При нея управлението се извършва от дискретно-събитийен контролер (диспечер) на базата на информация, свързана със състоянието на системата.

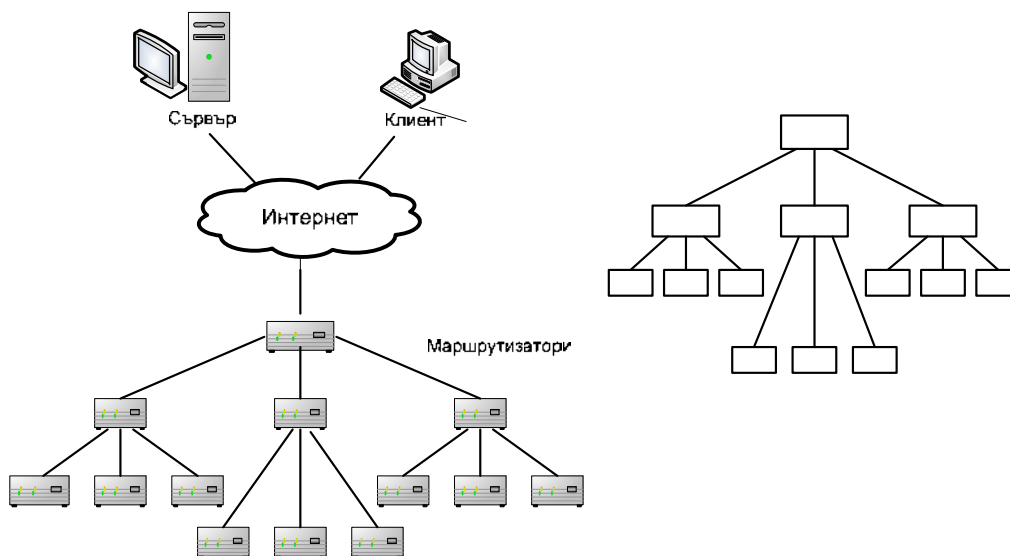
Предвиждането на възможност за мащабиране и развитие на модела предполага структура, в която базовите модели са свързани един с друг в йерархична структура на обобщен (съставен) модел.

Характерни за базовите модели са следните елементи: съвкупност от входни портове, през които постъпват информационните обекти; съвкупност от изходни портове за информационни обекти или събития; съвкупност от променливи състояния (фазови състояния и време за пребиваване в тях); вътрешна функция на преход, определяща следващото състояние, в което системата ще премине след определено време; външна функция на прехода, при която системата преминава в ново състояние; функция на генерираните изходи; функция за времената на преходите.



Фиг. 2. Мрежова топология на сензорна мрежа с възможен обобщен дискретно-събитен модел

За обобщения модел, освен изброените по-горе елементи за базовия модел, съществени са присъединяването на входните и изходни портове на съставния модел към портовете на базовите модели и интервалите от време, за които е направена връзката. При транспорт на пакети в комуникационна мрежа протоколите за динамична промяна на топологията на мрежата са реализирани на втори и трети слой от мрежовия (OSI) модел и композират и обединяват на базовите и обобщения модел са резултат от предварително конфигуриране на динамичните протоколи. За комуникационно-информационни системи, осигуряващи пренос и обработка на информационните обекти, е характерно наличието на изчислителни ресурси в различни възли на мрежата. Обобщеният модел може да отразява логическата структура на мрежата, както при сензорни мрежи, характеризирани се с наличие на изчислителен ресурс във всеки възел (фиг. 2), така и при различни мрежови топологии, изградени от устройства без възможност за оценка и обработка на съдържанието на информационните обекти (фиг. 3).



Фиг. 3. Мрежова топология тип звезда с възможен обобщен дискретно-събитен модел

Съвременните мрежови технологии дават възможност за промяна на пътя, по който преминава информационният обект към устройство за обработка, което извърши оценка, модифициране или промяна, както и следващо връщане на обекта в комуникационната среда при необходимост. На практика това означава, че информационно-изчислителен ресурс за обработка на потока от информационни обекти може да се позиционира в произволна точка на мрежата. За това комуникационните мрежи от разпространени архитектури, включително TCP/IP и независимо от топологията си, могат да бъдат използвани и разглеждани като комуникационно-информационни, с възможност за оценка на потока от информационни обекти във всяка точка от мрежата. Информационните системи като мрежови структури се състоят от отделни елементи, образуващи в динамиката на своята еволюция информационни потоци. Управлението на системата трябва адекватно да ги отразява за постигане на целите на системата.

Информационното пространство, чийто елемент е и комуникационно-информационната система, въздейства на входовете на системата с множество потоци от информационни обекти.

$$(1) \quad S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$$

Събитията в комуникационно-информационната система са управляеми и неуправляеми. За да се управлява системата е необходимо дискретно-събитийните контролери (диспечери) да могат да инициират, предотвратяват или забраняват настъпването на ключови за системата събития. Входните потоци от информационни обекти са също управляеми и могат да бъдат обект на спиране, пренасочване, модифициране и обработка преди да достигнат изхода на системата.

$$(2) \quad S(U) = (S_1(U), S_2(U), \dots, S_n(U))$$

Динамиката на изхода на системата, като функция на входните потоци от информационни обекти се определя от траекторията на  $n$ -мерния вектор  $S(U)$  в дискретното пространство на ситуациите  $\{S\}(U)$ . Целите на системата, достигането на които е обект на управлението, се дефинират с целеви вектори, еднозначно определени и свързани с пространството на ситуациите:

$$(3) \quad Z = (z_1, \dots, z_k)$$

$$(4) \quad Z = f(S)$$

$$(5) \quad z_i = f_i(S), \quad i = 1, \dots, k$$

Формирането на целите на информационно-комуникационната система означава да се дефинира вектор – цел  $Z^* = (z_1^*, z_2^*, \dots, z_k^*)$ , като проекция на състоянието на информационните потоци на изхода на системата, който е свързан със съответния многомерен вектор в ситуационното пространство  $S^*$ :

$$(6) \quad S^* : \begin{cases} f_i(S) = a_i & (i = 1, \dots, p) \\ f_j(S) < b_j & (j = p+1, p+2, \dots, q) \\ f_k(S) \rightarrow \min & (k = q+1, q+2, \dots, r) \end{cases}$$

Първата група от цели се конкретизира с целеви променливи, които трябва да останат постоянни и фиксирани в пространството на ситуациите (например, надеждност и достъпност), втората група с параметри, които не трябва да превишават допустимите прагове (закъснения и загуби на информационни обекти), третата група с минимизиране на определени параметри (например, натоварването на блока за обработка на събития и минимални загуби на информация). Въвеждането на целеви променливи, които са проекция на пространството на ситуациите за изходните информационни потоци, създава удобство и условия за практическа реализуемост. Например, за осигуряване на работоспособност с крайни налични информационни ресурси броят на информационните обекти, преминали през системата за единица време и използвани като целева променлива от втора група, не трябва да превишава допустима стойност, независимо от типа и тематиката на обектите.

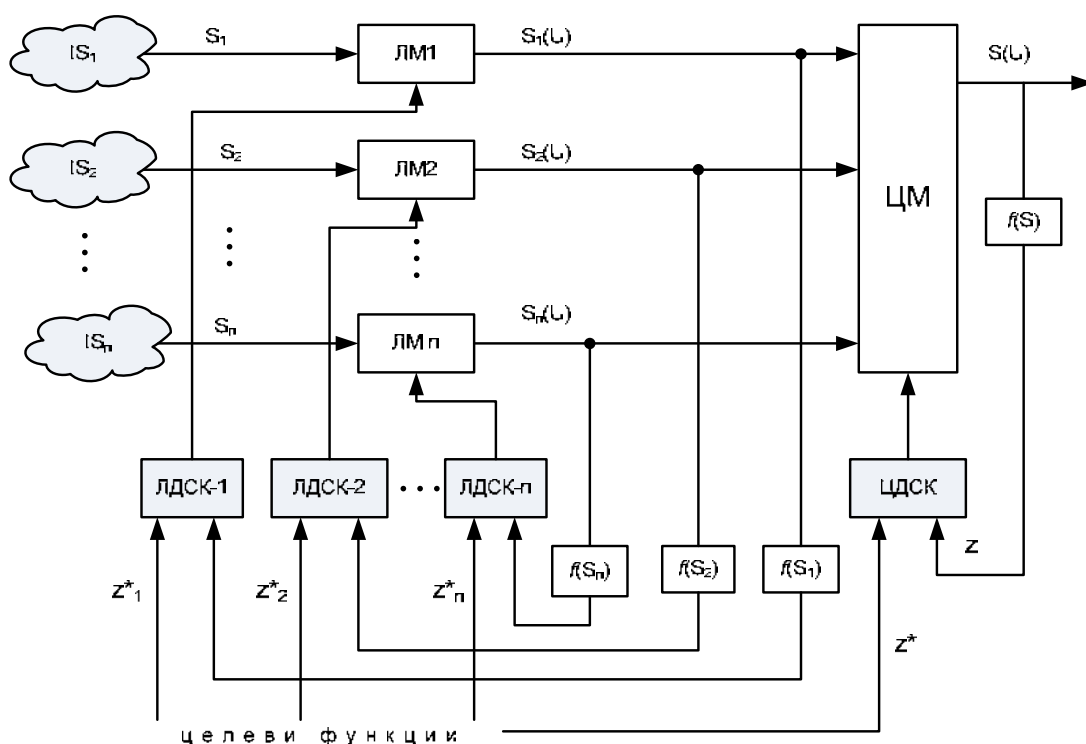
Целите на системата могат да се представят като функция на управлението на комуникационно-информационната система и наличните ресурси за управление.

$$(7) \quad S_i = S(U, t)$$

$$(8) \quad S(U, t) \in S^*$$

Целта на управлението е с въздействие върху информационните потоци и комуникационната структура с наличните ресурси да се постигнат целите при динамика на входните въздействия. В понятието адаптация като елемент от управлението се включват пасивната адаптация – приспособяването към фиксирана среда (на практика при оразмеряване и изграждане на системата) и активната – въздействие върху елементи и структура на системата или средата. на основа на текущата информация, с цел достигане на оптимално състояние на системата при начална неопределеност и изменящи се условия на работа.

Особеностите на мрежовата структура в информационно-комуникационните системи прави възможно децентрализираното диспечерско управление с локални и централен дискретно-събитийен контролер (фиг. 4.).



Фиг. 4. Децентрализирано диспечерско управление на комуникационно-информационна система

В управлението на системата участват базови (локални) дискретно-събитийни контролери (диспечери) и централен контролер, образуващи обобщения модел за управление на комуникационно-информационната система. За сензорни мрежи, в които централизираното управление би създавало проблем с транспорта или бързото изчерпване капацитета на хранящите източници, базовите (локални) дискретно-събитийни контролери осигуряват управлението за достигане на системните цели. В комуникационно-информационните системи, за които оценката на целевите параметри изисква значителен изчислителен ресурс, по-голямата част от процесите, осигуряващи управлението, са централизирани.

Синтезът на дискретно-събитийните контролери е тясно свързан със структурата на модела и има алгоритмична и параметрична страна. Конкретизирането на параметрите е свързано с експерименти в реална система.

Управляващите въздействия в системата са функция на зададения отвън вектор на целите и целевия вектор, проекция на текущото състояние на системата в пространството на състоянията.

$$(9) \quad U(t) = F(Z^*, Z, t)$$

При локалните дискретно-събитийни контролери в сензорните мрежи изчислението на текущия целеви вектор и генерирането на управляващи въздействия се изпълняват от едно и също устройство, което концентрира и функции, свързани най-вече с ефективния транспорт на информационни обекти. За целта сензорът комуникира със свързаните устройства в ролята на информационен агент. Развитието на мулти-агентната архитектура по отношение на мрежовото управление (SNMP, OpenFlow ...) дава възможност за увеличаване на информационните ресурси, концентрирани в мрежовите устройства. Така може да се оптимизира разпределението на задачите между локалните и централния дискретно-събитийен контролер, да се актуализират отдалечено целевите вектори за локалните агенти и да се позиционира във всяка точка от мрежата изчислителен ресурс. При сложна структура на информационните потоци във формирането на текущия целеви вектор може да се използват и резултати от комплексната обработка на събитията в различни прозорци и тематики.

### **Заклучение**

Управлението на дискретно-събитийните комуникационно-информационни системи е процес на въздействие върху елементи и структура на системата или върху потоците от информационни обекти за постигане на оптимално състояние. В общия случай то е децентрализирано с разпределение на функциите между локални и централен дискретно-събитийен контролер. В зависимост от необходимите изчислителни ресурси целевите вектори също могат да се изчисляват централизирано или локално.

### **Литература:**

1. Chakravarthy, Sharma, Qingchun Jiang, Stream Data Processing: A Quality of Service Perspective Modeling, Scheduling, Load Shedding, and Complex Event Processing, Springer Science+Business Media, 2009.
2. Cassandras, Christos G., S. Lafortune, Introduction to Discrete Event Systems, Boston University, 2008.
3. Hruz, B., MengChu Zhou, Modeling and control of discrete-event dynamical systems: with Petri nets and other tools, Springer-Verlag London Limited, 2007.
4. Wainer, Gabriel A., Pieter J. Mosterman, Discrete-Event Modeling and Simulation: Theory and Applications, CRC Press, 2010.
5. Wang Dr. Bang, Coverage Control in Sensor Networks, Springer London, 2010.