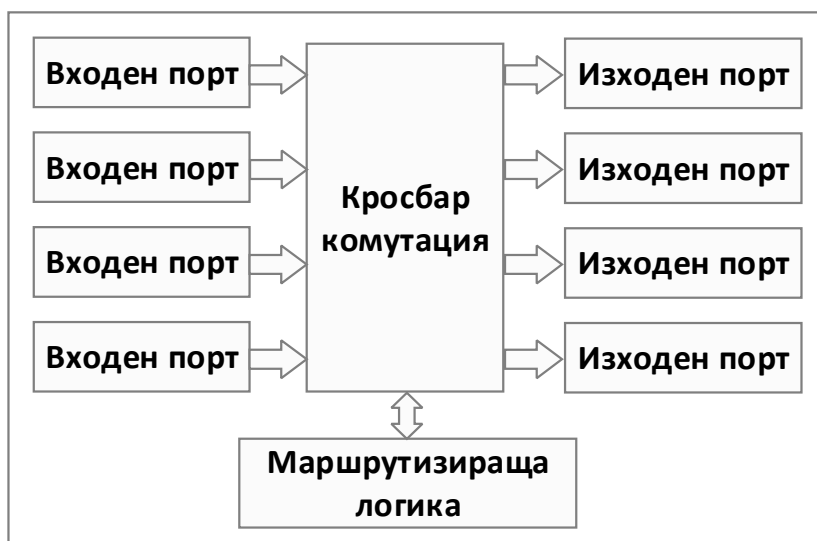


Изследване влиянието на размера на пакетите и буфера в комутатора върху латентността при системни мрежи с топология решетка

1. Актуалност на проблема

Латентността в комутаторите е пряко свързана с производителността на системните мрежи и се определя основно от:

- Латентността на кросбара в комутатора (Crossbar switch delay) – времето, за което флитът преминава през кросбара (crossbar switching). То зависи от неговата сложност и може да е съизмеримо със закъснението в буфера;
- Латентността при комутация (Switching delay) – това е времето за вземане на решение за маршрутизация и управление на кросбара за превключване към определен изходен порт. То зависи от сложността на алгоритъма за маршрутизация и имплементацията на кросбара;
- Латентността на канала (Channel delay) – времето, необходимо за трансфер на един флит от изходния буфер на единия комуникационен възел, през физическия канал, до входния буфер на следващия комуникационен възел.



Фиг. 1.1: Обобщена схема на маршрутизатор

Латентността в мрежата зависи също и от фактори като мрежовата топология, алгоритъма за маршрутизация, управлението на потока и др.

Мрежовата топология се определя от статичното разположение на комуникационните възли – пътищата, през които минават пакетите. Подборът на топология е първата стъпка в проектирането на мрежата, тъй като стратегиите и методите за управление на потока зависят силно от нея.

Алгоритъмът за маршрутизацията включва подбора на път между възлите (източник и получател) в конкретната топология. Изборът на

алгоритъм за маршрутизация е критичен, тъй като балансира натоварването в мрежовите канали.

Управлението на потока определя как мрежовите ресурси, като пропускателна способност на канала, капацитет на буфера и управление на състоянията, се заемат от преминаващите в мрежата пакети. Добрият метод за управление на потока използва тези ресурси ефективно, достига голяма част от капацитета на мрежата и доставя пакетите с малко и предвидимо закъснение.

2. Цел и задачи на експериментите

Целта на експериментите е да се изследва влиянието на размера на пакетите и буфера в комутатора върху латентността при системни мрежи с топология решетка, при следните конфигурации:

Мултикомпютърна платформа <i>/multicomputer platform/</i>	Детерминистична Mesh 8x8 <i>/Deterministic Mesh/</i>	Адаптивна Mesh 8x8 <i>/Adaptive Mesh/</i>
1. Dimensions <i>/размерност/</i>	2	2
2. Nodes/Dimensions <i>/брой възли за размерност/</i>	8	8
3. Buffer Length <i>/размерност на буфера/</i>	1, 2, 4, 8	1, 2, 4, 8
4. Virtual channels <i>/виртуални канали/</i>	6	6
5. Injection channels <i>/брой на каналите от процесора към мрежата/</i>	1	1
6. Ejection channels <i>/брой на каналите от мрежата към процесора/</i>	1	1
7. Bidirectional <i>/двупосочна/</i>	✓	✓
8. Buffer forwarding <i>/буферно препращане/</i>	✓	✓
9. Buffer delay <i>/латентност в буфера/</i>	1 мрежови цикъл	1 мрежови цикъл
10. Crossbar delay <i>/латентност в кросбара/</i>	1 мрежови цикъл	1 мрежови цикъл
11. Switching delay <i>/латентност при комутация/</i>	1 мрежови цикъл	1 мрежови цикъл
12. Channel delay <i>/латентност на канала/</i>	1 мрежови цикъл	1 мрежови цикъл
13. Wormhole routing <i>/дупка на червея/</i>	✓	✓
14. Packet size (data flits) <i>/размер на пакета (флитове данни)/</i>	32, 64, 128, 256	32, 64, 128, 256
15. Packet head (head flits) <i>/главен пакет (главни флитове)/</i>	1	1
16. Automatic packet creation <i>/автоматично създаване на пакети/</i>	2000	2000
17. Productivity (flits/cycle/node) <i>/продуктивност на флитове/цикъл/възел/</i>	0.3	0.3

18. Network cycle <i>/мрежови цикъл/</i>	<i>100 ms</i>	<i>100 ms</i>
19. First Variable <i>/първа променлива/</i>	<i>Linear Range: Initial: 0.05, Final: 1.0, Points: 10</i>	<i>Linear Range: Initial: 0.05, Final: 1.0, Points: 10</i>
20. Second Variable <i>/втора променлива/</i>	<i>None</i>	<i>None</i>
20. Finish Simulation <i>/when all packets have arrived/</i>	<i>✓</i>	<i>✓</i>

3. Експериментална платформа

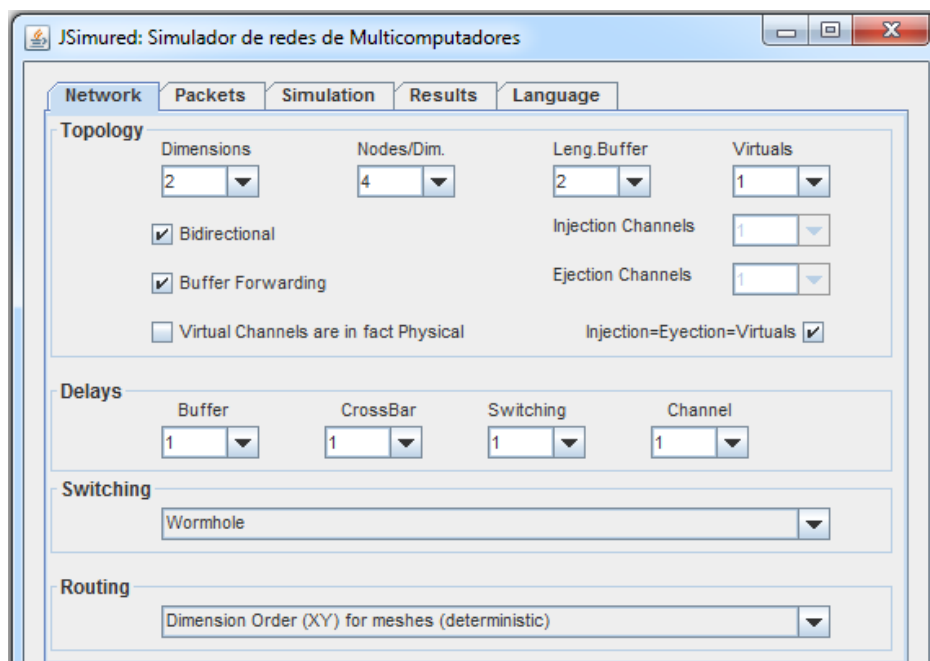
За целите на изследването се използва мрежовия симулатор JSimured, който отчита топологията на мрежата и трите основни нива, изграждащи комуникационния модел при системните мрежи: управление на потока, комутация и маршрутизация. Той осигурява графичен интерфейс и позволява да се проследи движението на пакетите в мрежата, както и детайлното изпълнение на комплексните симулации.

Основни характеристики на симулатора:

- Свободно достъпен код на C++ и Java;
- Удобен интерактивен интерфейс;
- Паралелен софтуер, използващ преимуществата на съвременните мултипроцесорни системи;
- Проследяване на трафика в мрежовата структура, показвайки вътрешните елементи на комутатора и предвижването на пакетите.

Параметрите на мрежата, които са конфигурируеми чрез графичния потребителски интерфейс, са:

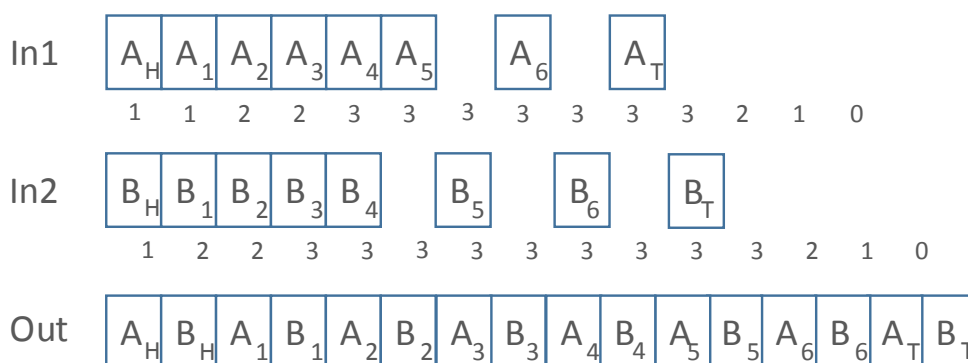
- Dimensions – размерност на мрежата (n);
- Nodes per Dimension – брой на възлите за всяка размерност (k). Общият им брой в мрежата е $n \times k$;
- Buffer Length – капацитет на буфера. Той се дефинира в брой флитове и може да има различен размер, като се започне 1 (размер на буфера 0 не е разрешен). За всеки канал има входящ и изходящ буфер, като дължината е специфична и за двата буфера. Тя се прилага при входно-изходните буфери на канала.
- Virtual Channels – брой на виртуалните канали за всеки физически канал. Той също може да бъде специфициран, като тези канали са необходими за предотвратяване на мъртвото блокиране;
- Injection Channels – входни мрежови канали. Това е броят на каналите от процесора към мрежата. Той обикновено е само един, но при по-голям брой виртуални канали би било по-добре да има и повече от един входни канали, като това зависи от мрежовата производителност;
- Ejection Channels – изходни мрежови канали. Това е броят каналите от мрежата към процесора.



Фиг. 1.2: Екран на приложението за конфигуриране параметрите на мрежата

Симулаторът поддържа алгоритъм за комутация от тип „Дупка на червея“ (Wormhole). При конвейеризираната комутация от този тип се буферират само няколко флита на пакета, достатъчни за определянето на изходния канал, докато „опашката“ на пакета остава по продължение на маршрута. По този начин пакетът се предава значително по-бързо, но може да заема/блокира няколко устройства едновременно, между източника и получателя.

Основната техника за предотвратяване на мъртвото блокиране в мрежи с конвейеризиран трансфер и маршрутизация от типа „Дупка на червея“ е използването на виртуални канали. По този начин капацитетът на даден физически канал се споделя от група виртуални такива. Тази техника не увеличава броя на връзките и комутаторите в мрежата, а засяга заемането на ресурсите, фиг. 1.3.

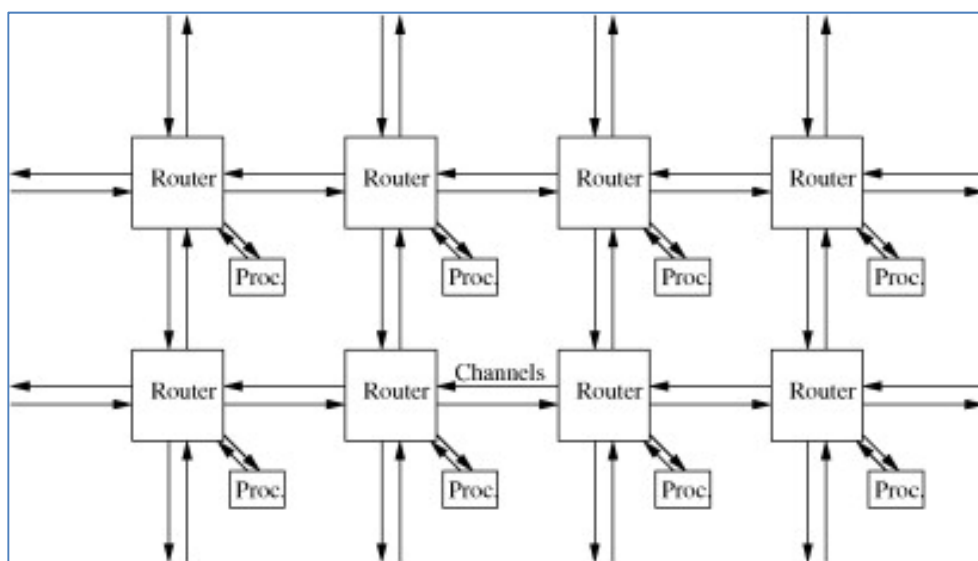


Фиг. 1.3: Пакетите А и В от входните канали In1 и In2 се предават през един изходен Out на по-ниска скорост, но с избягване на блокирането

Числата под входните канали показват броя флитове в буферите на съответните виртуални канали, които в случая са с капацитет 3 флита

Чрез симулатора могат да бъдат симуирани мрежи от тип решетка или тороид (фиг. 1.4), като изследваните характеристики могат да покажат различно поведение в зависимост от конкретния избор на параметри, като:

- Bidirectional – тази опция определя дали възлите са с двупосочни връзки или не;
- Buffer forwarding – показва дали флитовите могат да се предвижват директно напред във FIFO буфера, ако той е празен;
- Physical channels – когато са определени няколко виртуални канала, тази опция определя дали тези виртуални канали споделят същия физически канал.



Фиг. 1.4: Мрежов модел на 2D решетка

Единицата за време в симулатора JSimured е времеви цикъл (clock cycle), която определя минималната стъпка във времето при симулацията. Закъсненията (Delays) при мрежовите физически компоненти се специфицират също в цикли. По този начин времето за симулацията може да се оцени с точност до един цикъл.

Потребителят има възможност да избира из между няколко маршрутизиращи функции (routing functions), като например:

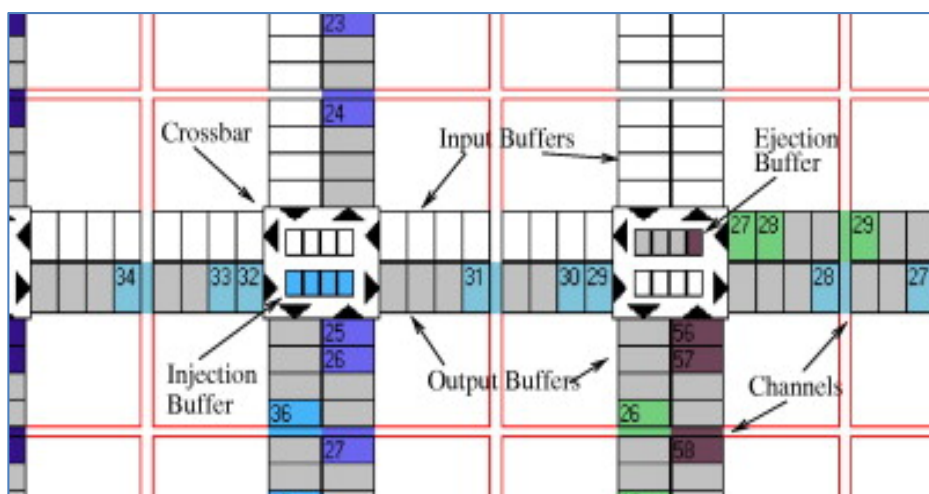
- Deterministic – детерминистична, където маршрута на съобщението се определя единствено от взаимното разположение на подателя и получателя, независимо от трафика в мрежата. Пакетът продължава да следва маршрута независимо от това дали по него има блокирана връзка;
- Adaptive – адаптивна, където наличието на алтернативни маршрути дава възможност за заобикаляне на блокирани или прекъснати връзки, както и разпределяне на комуникационния товар между повече канали, като по този начин се цели подобряване използването на мрежата.

Списъкът на имплементираните алгоритми за маршрутизация включва:

- „Dimensional order routing“ за мрежи с топология решетка – това е най-простия детерминистичен маршрутизиращ алгоритъм за мрежа с топология решетка при всякаква размерност и големина. Познат е още и като XY алгоритъм за маршрутизация в мрежи с топология 2D решетка. Пътят винаги е един и същ за двойката начален възел-краен възел;
- „Dimensional order routing“ за мрежи с топология тороид – този алгоритъм е същия като описания по-горе, но за k -ary n -кубове;
- „Duato’s adaptive routing“ за мрежи с топология решетка – това е маршрутизиращ алгоритъм, базиран на протокола Дуато;
- Fully adaptive routing – напълно адаптивен алгоритъм.

По подразбиране арбитражният алгоритъм е FIFO. При желание от страна на потребителя, тестовите пакети могат да се генерират от трасиращ файл (*trace file*).

Симулаторът притежава автоматичен генератор на трафика (automatic traffic generator). Възможно е да се определят размерите на изпратените пакети и флитове на възел (flits by node), а също и желаната производителност във флитове/цикъл/възел (flits/cycle/node), фиг. 1.5.

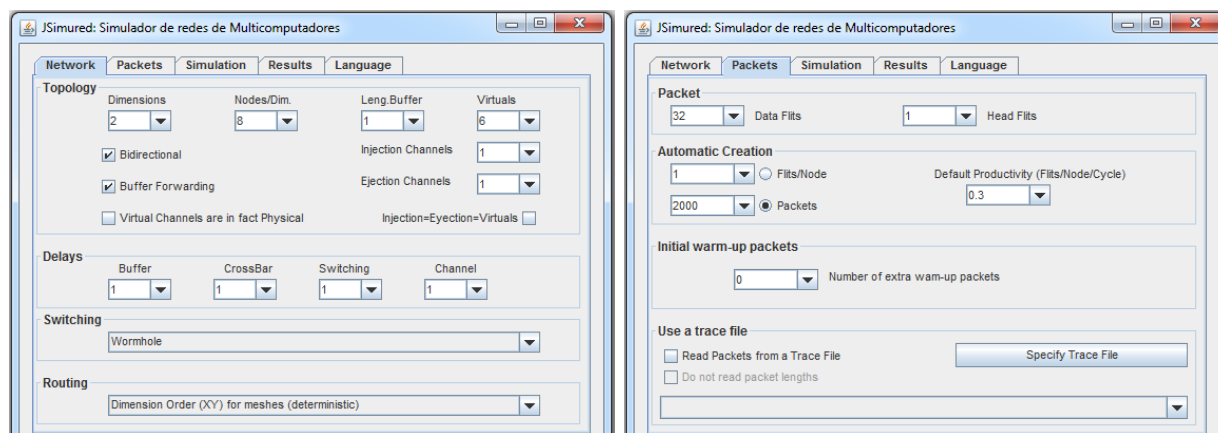


Фиг. 1.5: Симулационен прозорец с някои от мрежовите компоненти и номерирани пакетни флитове
Всеки пакет е с различен цвят

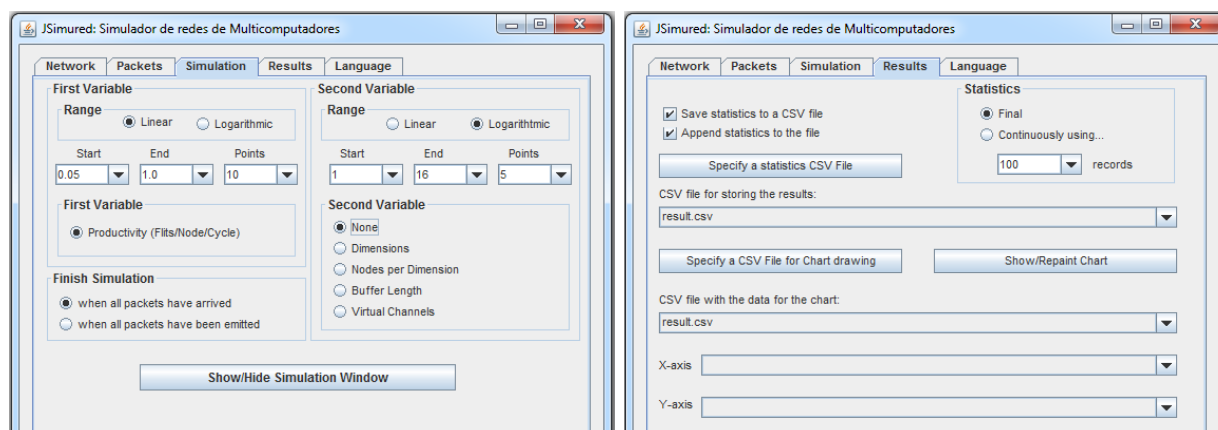
Резултатите от симулациите се съхраняват във файл с формат CSV, който може да бъде прочетен от програма за работа с електронни таблици, което от своя страна дава възможност за различни форми на визуализация.

4. Методика за провеждане на експериментите

Изпълнението на заданието включва поредица от стъпки, свързани с конфигуриране, настройка и параметризиране на симулационния модел, фиг. 1.6 и 1.7.

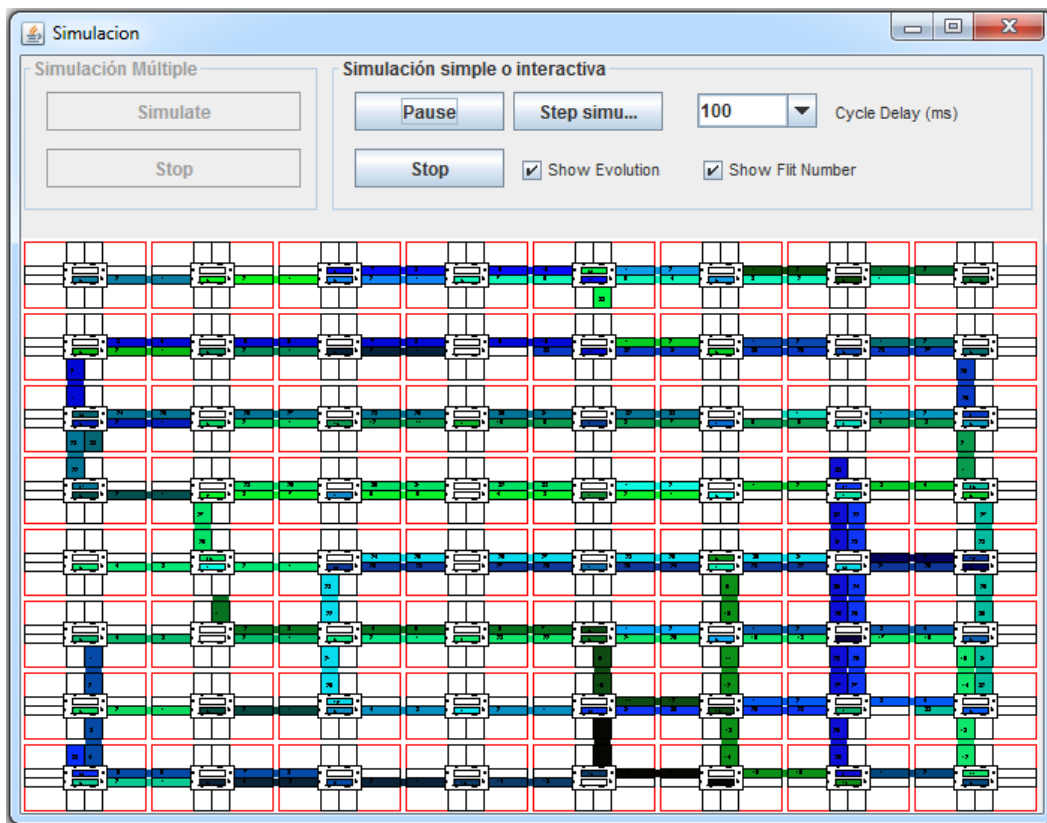


Фиг. 1.6: Конфигуриране на мрежата и пакетите



Фиг. 1.7: Настройка на параметрите на симулацията и изходните файлове за събиране на данните от симулациите

На фиг. 1.8 е показана визуализацията на преминаващите пакети, а на фиг. 1.9 резултатите от симулацията.



Фиг. 1.8: Провеждане на симулация в средата на JSimured и визуализиране на преминаващите пакети

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Item	Cycles	Delivered	Received	Delivery r	Arrival rat	Head Late	Head Late	Packet Lat	Packet Lat	Packet Lat	Lock cycle	Average Path (nodes)	
2	1	19963	2006	2000	0,0518078	0,0516580	23,216000	17,810000	55,216000	49,810000	5,4060000	6,27000000		
3	2	6560	2021	2000	0,1588533	0,1572027	51,913000	18,135500	83,913000	50,135500	33,777500	6,37850000		
4	3	5278	2061	2000	0,2013457	0,1953865	108,68750	17,277500	140,68750	49,277500	91,410000	6,09250000		
5	4	5262	2070	2000	0,2028399	0,1959806	119,73500	16,652000	151,73500	48,652000	103,08300	5,88400000		
6	5	5274	2069	2000	0,2022806	0,1955346	127,96250	16,776500	159,96250	48,776500	111,18600	5,92550000		
7	6	5253	2070	2000	0,2031874	0,1963163	130,88550	16,859000	162,88550	48,859000	114,02650	5,95300000		
8	7	5295	2068	2000	0,2013810	0,1947592	130,13800	16,745000	162,13800	48,745000	113,39300	5,91500000		
9	8	5316	2067	2000	0,2004885	0,1939898	131,89600	17,037500	163,89600	49,037500	114,85850	6,01250000		
10	9	5124	2068	2001	0,2081015	0,2013594	126,05097	16,547226	158,05097	48,547226	109,50374	5,849075462		
11	10	5355	2066	2000	0,1989320	0,1925770	133,79500	16,818500	165,79500	48,818500	116,97650	5,93950000		
12	Item	Cycles	Delivered	Received	Delivery r	Arrival rat	Head Late	Head Late	Packet Lat	Packet Lat	Packet Lat	Lock cycle	Average Path (nodes)	
13	1	20173	2004	2000	0,0512479	0,0511203	21,823000	18,113000	53,823000	50,113000	3,7100000	6,37100000		
14	2	6529	2026	2000	0,1600024	0,1579491	48,024500	18,233000	80,024500	50,233000	29,791500	6,41100000		
15	3	4682	2069	2000	0,2278573	0,2202584	97,366500	17,970500	129,36650	49,970500	79,396000	6,32350000		
16	4	4490	2073	2000	0,2380602	0,2296770	116,42750	17,511500	148,42750	49,511500	98,916000	6,17050000		
17	5	4575	2070	2000	0,2332991	0,2254098	123,74200	18,086000	155,74200	50,086000	105,65600	6,36200000		
18	6	4494	2071	2000	0,2376189	0,2294726	124,90000	17,751500	156,90000	49,751500	107,14850	6,25050000		
19	7	4414	2074	2000	0,2422759	0,2336316	121,09100	17,661500	153,09100	49,661500	103,42950	6,22050000		
20	8	4311	2077	2000	0,2484233	0,2392136	117,06000	17,478500	149,06000	49,478500	99,581500	6,15950000		
21	9	4594	2071	2000	0,2324465	0,2244775	128,69200	17,811500	160,69200	49,811500	110,88050	6,27050000		
22	10	4375	2077	2000	0,2447892	0,2357142	121,74550	17,735000	153,74550	49,735000	104,01050	6,24500000		
23	Item	Cycles	Delivered	Received	Delivery r	Arrival rat	Head Late	Head Late	Packet Lat	Packet Lat	Packet Lat	Lock cycle	Average Path (nodes)	
24	1	19433	2007	2000	0,0532581	0,0530669	22,328000	17,936000	54,328000	49,936000	4,3920000	6,31200000		
25	2	6539	2018	2000	0,1591269	0,1577076	44,269000	17,907500	76,269000	49,907500	26,361500	6,30250000		
26	3	4349	2071	2000	0,2455413	0,2371234	96,304000	17,859500	128,30400	49,859500	78,444500	6,28650000		
27	4	4254	2084	2000	0,2526004	0,2424188	128,35000	17,237000	160,35000	49,237000	111,11300	6,07900000		
28	5	4234	2086	2000	0,2540372	0,2435640	137,31750	17,738000	169,31750	49,738000	119,57950	6,24600000		
29	6	4252	2082	2000	0,2524767	0,2425329	137,48950	17,994500	169,48950	49,994500	119,49500	6,33150000		
30	7	4178	2082	2000	0,2569485	0,2468286	134,20100	17,574500	166,20100	49,574500	116,62650	6,19150000		
31	8	4218	2084	2000	0,2547564	0,2444879	135,89600	17,589500	167,89600	49,589500	118,30650	6,19650000		
32	9	4272	2086	2000	0,2517775	0,2413974	136,38900	17,432000	168,38900	49,432000	118,95700	6,14400000		
33	10	4246	2091	2001	0,2539264	0,2429970	137,13843	17,562218	169,13843	49,562218	119,57621	6,187406297		
34	Item	Cycles	Delivered	Received	Delivery r	Arrival rat	Head Late	Head Late	Packet Lat	Packet Lat	Packet Lat	Lock cycle	Average Path (nodes)	
35	1	20576	2002	2000	0,0501643	0,0501190	21,377500	17,660000	53,377500	49,660000	3,7175000	6,22000000		
36	2	6490	2019	2000	0,1604078	0,1588983	39,608000	18,168500	71,608000	50,168500	21,439500	6,38950000		

Фиг. 1.9: Събиране на данни от симулации в CSV файлове

5. Експериментални резултати и оформяне на протокол

- Да се снимат експерименталните резултати за латентността по определените в заданието критерии и изисквания;
- Да се обобщят резултатите от проведените изследвания;
- Да се построят обобщени графики;
- Да направят изводи на база на получените резултати.