

2.5D Network on Chip Router

Νίκος Χαραλάμπους

ΤΗΜΜΥ ΑΠΘ

18 Νοεμβρίου 2025

- 1 Συζητήθηκαν Προηγούμενως
- 2 Προτάσεις Υλοποίησης
- 3 Livelock
- 4 Router Architecture
 - Βασική Αρχιτεκτονική Router
 - Αναβολές
 - Ανακύκλωση Credit
 - Επαναδέσμευση Καναλιού
 - Speculation
- 5 Συμπέρασμα

• Flit-Reservation Flow Control

- Ορισμός
- Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα
- Πιθανή Υλοποίηση σε σχέση με το paper 'SMART'

• Deadlock

- Ορισμός
- Άμεση και Έμμεση Εξάρτηση
- Αποφυγή Deadlock
 - 1 Κατάταξη Πόρων
 - 2 Περιορισμένη Δρομολόγηση (Dimension-Order Routing) σε mesh
 - 3 Μονοπάτια Διαφυγής για Προσαρμοστική Δρομολόγηση
 - 4 Πρωτόκολλο του Duato
- Μηχανισμοί επαναφοράς από Deadlock

Τοπολογία

- Προτιμάται η τοπολογία **πλέγματος** (4x4 mesh)
- **Θύρες (Ports)** : 5 (N,W,E,S,Local)

Δρομολόγηση (Routing)

- **Adaptive Routing με Μονοπάτια Διαφυγής**
- **Minimal Adaptive Routing - XY Routing σε mesh (Algorithmic)**
- Πρωτόκολλο **Duato**, όπως στο **μεγάλο Παράδειγμα**

Flow Control

- **Virtual-Channel Flow Control** (Ίσως 2 VCs - 4 flit buffers)
- **Flit-Reservation Flow Control** (αν συνδυαστεί με 'SMART') (?)
- **Credit-Based Backpressure Mechanism**

- 1 Άμεση επαναδέσμευση καναλιού (?)
- 2 Speculation (?)
- 3 Next Routing Computation (?)

Ορισμός

Σε αντίθεση με το **Deadlock**, τα πακέτα στο **Livelock** κινούνται συνεχώς στο δίκτυο χωρίς ωστόσο ποτέ να φτάνουν στον προορισμό τους.

- Σύνηθες πρόβλημα σε αλγόριθμους **non-minimal routing**.

Αποφυγή Livelock

Υπάρχουν **ντετερμινιστικές** και **πιθανοτικές** μέθοδοι αποφυγής του Livelock.

Ντετερμινιστικές Μέθοδοι

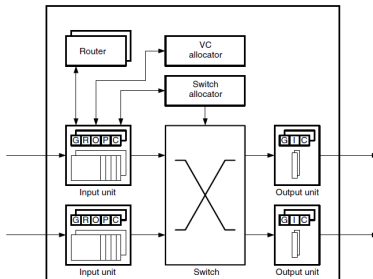
Προστίθεται στα πακέτα κάποια μεταβλητή κατάστασης η οποία είτε :

- Μετράει και **αποτρέπει** επιπλέον misroutes
- Δίνεται **προτεραιότητα** στα πιο **παλαιά** πακέτα

Συστατικά Router

Ένας Router συνήθως αποτελείται από

- **Datath** : Input/Output Units, Switch
- **Επίπεδο Ελέγχου** : Router, VC και Switch Allocators



Σχήμα: VC Router Block Diagram

Basic Router Architecture

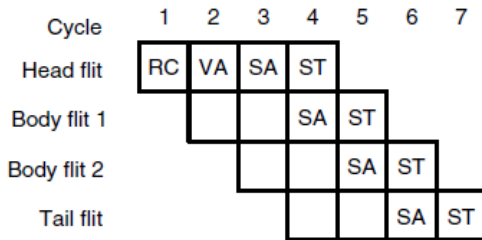
Field	Name	Description
G	Global state	Either idle (I), routing (R), waiting for an output VC (V), active (A), or waiting for credits (C).
R	Route	After routing is completed for a packet, this field holds the output port selected for the packet.
O	Output VC	After virtual-channel allocation is completed for a packet, this field holds the output virtual channel of port R assigned to the packet.
P	Pointers	Flit head and tail pointers into the input buffer. From these pointers, we can also get an implicit count on the number of flits in the buffer for this virtual channel.
C	Credit count	The number of credits (available downstream flit buffers) for output virtual channel O on output port R.

Σχήμα: Πεδία Κατάστασης των VC εισόδου

Field	Name	Description
G	Global state	Either idle (I), active (A), or waiting for credits (C).
I	Input VC	Input port and virtual channel that are forwarding flits to this output virtual channel.
C	Credit count	Number of free buffers available to hold flits from this virtual channel at the downstream node.

Σχήμα: Πεδία Κατάστασης των VC εξόδου

Basic Router Architecture



Σχήμα: Στάδια Διοχετευμένης Δρομολόγησης

Stalls (Αναβολές)

Ορισμός

Αναβολές που προκύπτουν σε κάποιο από τα προηγούμενα στάδια, με συνέπεια το **προσωρινό σταμάτημα** της διαδικασίας δρομολόγησης.

Διακρίνονται σε

- Αναβολές σε επίπεδο **πακέτου** (packet stalls)
- Αναβολές σε επίπεδο **flit** (flit stalls)

Packet Stalls

- 1 **Απασχολημένο** εικονικό κανάλι
- 2 Αναβολή **δρομολόγησης**
- 3 Αναβολή δέσμευσης **εικονικού καναλιού**

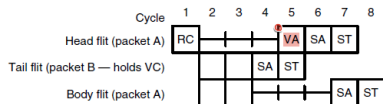
Flit Stalls

- 1 Έλλειψη credits
- 2 Άδειος buffer
- 3 Αναβολή δέσμευσης switch

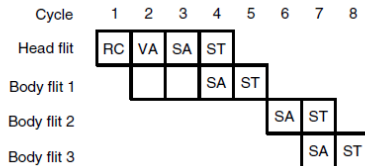
Type of Stall	P/F	State	Description
VC Busy	P	→	Back-to-back packet stall. The head flit for one packet arrives before the tail flit of the previous packet has completed switch allocation. The head flit of the new packet is queued in the buffer. It will be dequeued and the new packet will enter the routing state once the tail flit of the preceding packet completes switch allocation.
Route	P	R	Routing not completed, input virtual channel remains in R state and reattempts routing next cycle.
VC Allocation	P	V	VA not successful, input virtual channel remains in the V state and reattempts allocation next cycle.
Credit	F	A	No credit available. Flit is unable to attempt switch allocation until a credit is received from the downstream virtual channel.
Buffer Empty	F	A	No flit available. Input buffer is empty, perhaps due to an upstream stall. Virtual channel is unable to attempt switch allocation until a flit arrives.
Switch	F	A	Switch allocation attempted but unsuccessful. Flit remains in switch-allocation pipe stage and reattempts switch allocation on the next cycle.

Σχήμα: Είδη Αναβολών

Stalls



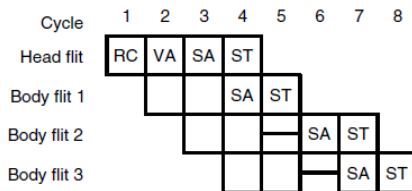
Σχήμα: Αναβολή δέσμευσης εικονικού καναλιού



Σχήμα: Αναβολή λόγω άδειου buffer

Switch και Credit Stalls

Ίδιο διάγραμμα και στις 2 περιπτώσεις αλλά **οφείλεται σε διαφορετικές αιτίες**.



Σχήμα: Αναβολή λόγω αποτυχίας δέσμευσης switch ή έλλειψης credits

Ανακύκλωση Credit (Credit Loop)

Επαναληπτική Διαδρομή των credits

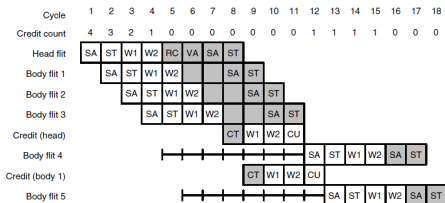
Εκτελείται συνεχώς η διαδικασία **αποστολής** flits και **λήψης** credits ως εξής : **Flit**, SA input VC **upstream** → **Flit**, SA input VC **downstream** → **Credit** , input VC **downstream** → **Credit** , input VC **upstream** → ...

Καθυστέρηση Επανάληψης (Εξάρτηση του μεγέθους του buffer)

$t_{crt} = t_f + t_c + 2T_w + 1$, όπου :

- t_f η καθυστέρηση **διοχέτευσης** των flit
- t_c η καθυστέρηση **διοχέτευσης** των credit
- T_w η καθυστέρηση **διάδοσης** των καλωδίων
- Ο μοναδιαίος όρος λόγω **της επανάληψης του SA** πριν το κλείσιμο

Ανακύκλωση Credit



Σχήμα: Διάγραμμα ανακύκλωσης Credit

Duty Factor (Μέτρο εκμετάλλευσης Bandwidth)

$$d = \min\left(1, \frac{F}{t_{crt}}\right), \text{ όπου :}$$

- F το μέγεθος των Buffers
- t_{crt} ο χρόνος ανακύκλωσης credit

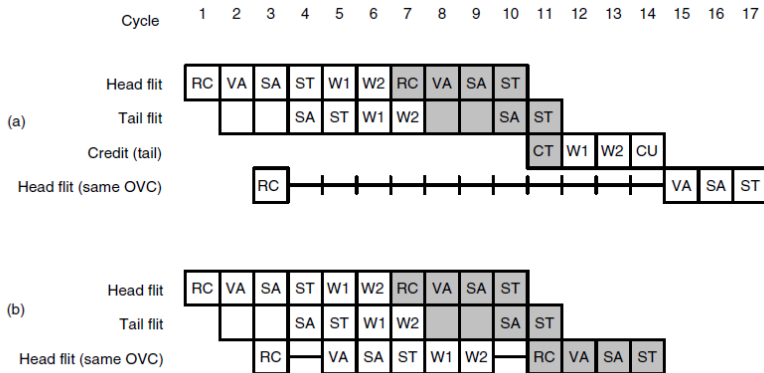
Όταν $d = 1$, τότε έχουμε **πλήρη εκμετάλλευση** του bandwidth.

Χρονισμός επαναδέσμευσης Εικονικού Καναλιού (VC)

Δημιουργία εξάρτησης αν δεσμευτεί ο buffer ενός εικονικού καναλιού από δύο συνεχόμενα πακέτα, αλλά μπλοκάρει το πρώτο. Διαφορετικές μέθοδοι επαναδέσμευσης :

- 1 Το **‘κάτω’ εικονικό κανάλι** δεσμεύεται από το 2ο, **αμέσως** όταν εξέρχεται η **ουρά** του 1ου πακέτου από το **‘άνω’ κανάλι**
- 2 Το **‘κάτω’ εικονικό κανάλι** δεσμεύεται από το 2ο, μόνο όταν εξέρχεται η **ουρά** του 1ου πακέτου από το τελευταίο (**συντηρητικό**) - Συνήθως σε **Adaptive Routing**

Επαναδέσμευση Καναλιού - Παράδειγμα

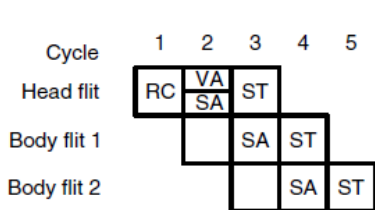


Σχήμα: Διαφορετικές μέθοδοι επαναδέσμευσης καναλιού

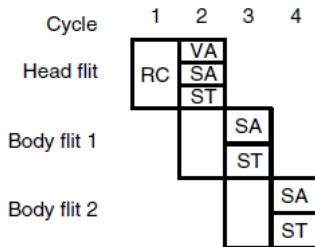
Speculation (Κερδοσκοπία)

Ορισμός

Η **παράλληλη-ταυτόχρονη** διεκπεραίωση 2 ή παραπάνω σταδίων.



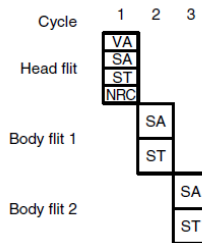
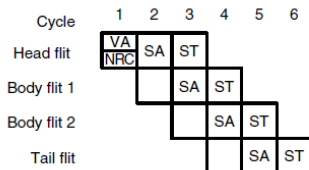
Σχήμα: VA-SA Speculation



Σχήμα: VA-SA-ST Speculation

Next Routing Computation (NRC)

Η διαδικασία δρομολόγησης γίνεται στον **προηγούμενο** κόμβο με αποτέλεσμα να **παραλληλοποιηθούν όλα** τα στάδια.



Σχήμα: Δύο παραδείγματα σε pipelined και speculative staging

Ευχαριστώ!
Ερωτήσεις