
Κατανεμημένα Συστήματα Επικοινωνία Client/Server Απομακρυσμένη Κλήση Διαδικασιών

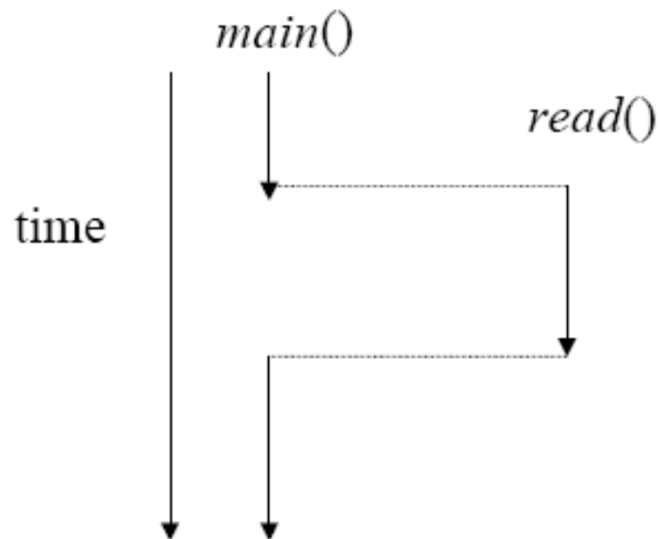
Χάρης Μανιφάβας
Τμήμα Εφ. Πληροφορικής & Πολυμέσων
ΤΕΙ Κρήτης

Εισαγωγή

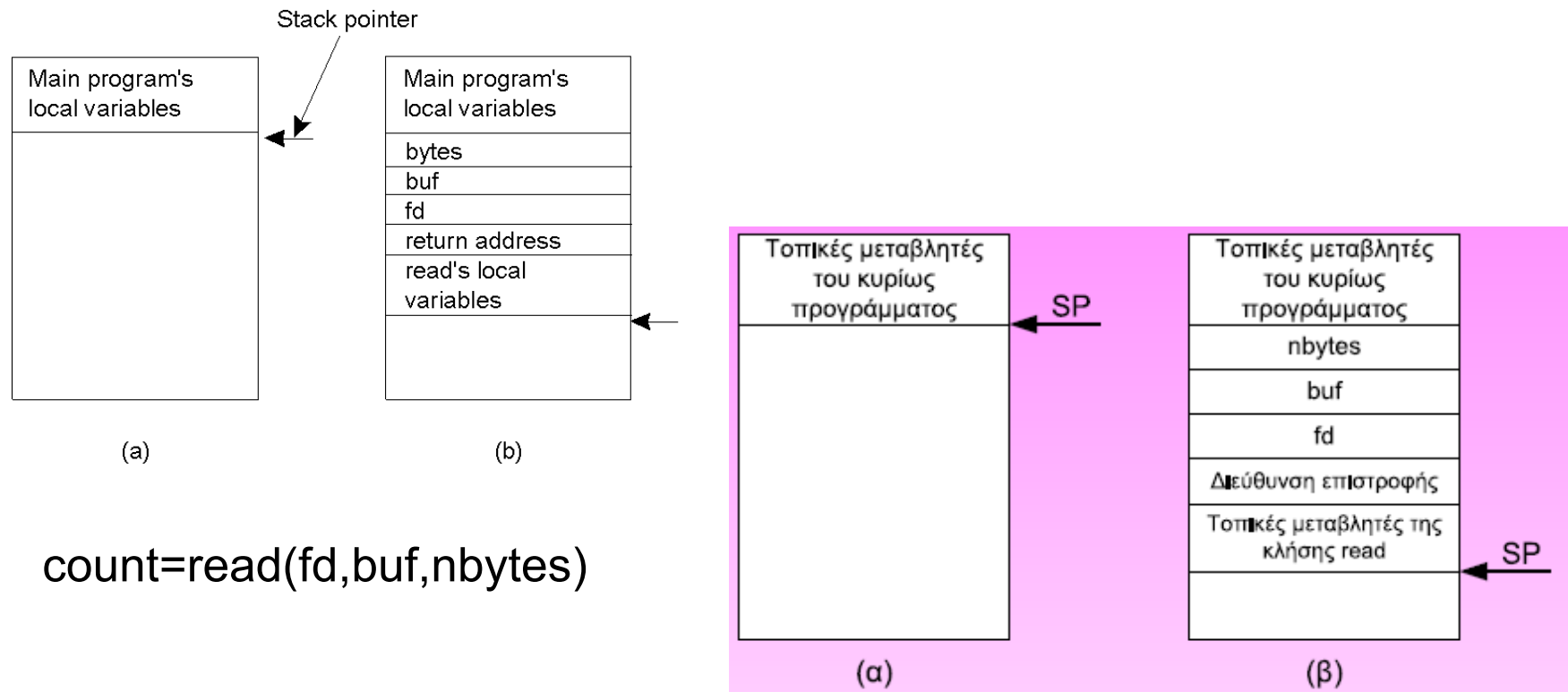
- Το μοντέλο client-server παρέχει έναν μηχανισμό δόμησης ΚΛΣ, στον οποίο η επικοινωνία βασίζεται στο σύστημα εισόδου/εξόδου (input/output)
 - Είναι χρήσιμος για λειτουργίες όπως file services, αλλά δεν υποστηρίζει γενικότερη συνεργασία διεργασιών
 - Επιπλέον, δεν προσφέρει διαφάνεια, δεν δίνει δηλαδή στον χρήστη την εντύπωση
 - ενός κεντριοποιημένου συστήματος
- Η ιδέα που εισήγαγαν οι Birrell&Nelson (1984) είναι να επιτραπεί στα προγράμματα να καλούν διαδικασίες που εκτελούνται σε διαφορετικές μηχανές
 - Η μέθοδος αυτή λέγεται Remote Procedure Call - (RPC)

Συμβατική (Τοπική) Κλήση Διαδικασιών

- Θεωρούμε μία τυπική κλήση διαδικασίας σε ένα *main()* πρόγραμμα:
 - `count = read(fd, buf, nbytes);`
- Η ροή ελέγχου είναι η παρακάτω:



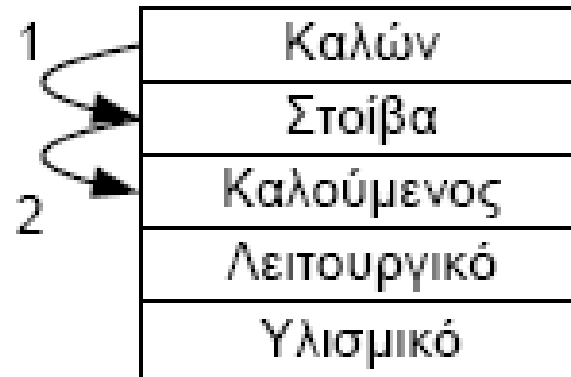
Συμβατική (Τοπική) Κλήση Διαδικασιών



Πέρασμα παραμέτρου σε τοπική κλήση συνάρτησης

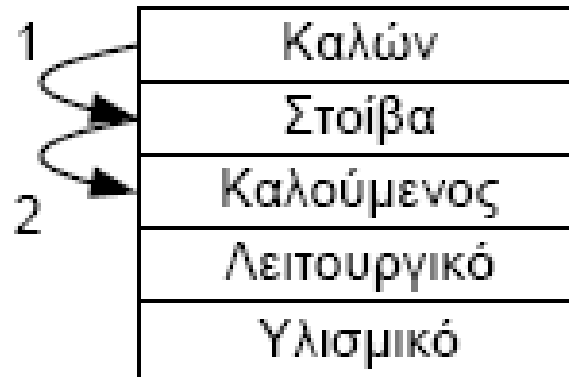
- a) Η στοίβα πριν την κλήση read
- b) Η στοίβα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της καλούμενης διαδικασίας

Συμβατική (Τοπική) Κλήση Διαδικασιών



- Υλοποίηση τοπικών κλήσεων διαδικασιών
 - Δέσμευση χώρου και εκχώρηση παραμέτρων στη στοίβα
 - Εκχώρηση πραγματικών παραμέτρων στη στοίβα
 - Κλήση διαδικασίας και επιστροφή
 - Αντιγραφή αποτελεσμάτων από στοίβα
 - Αποδέσμευση χώρου από στοίβα

Συμβατική (Τοπική) Κλήση Διαδικασιών

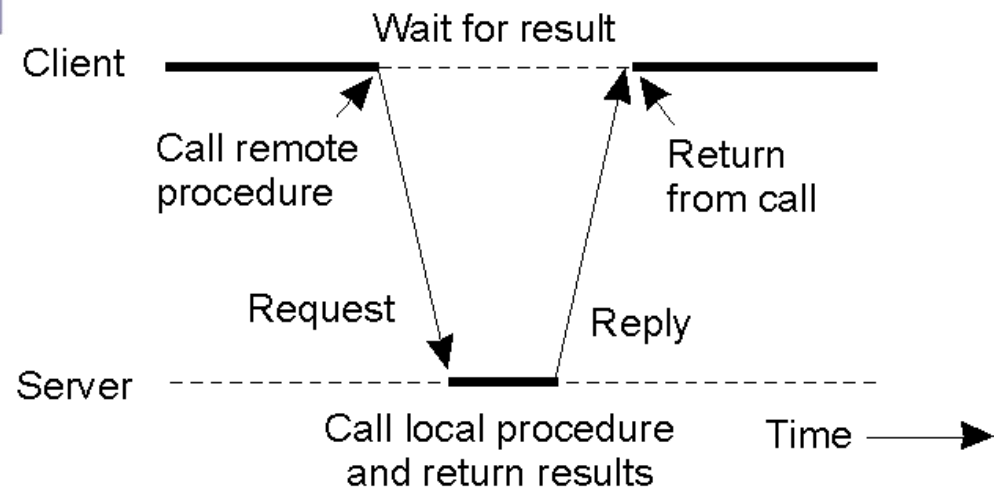
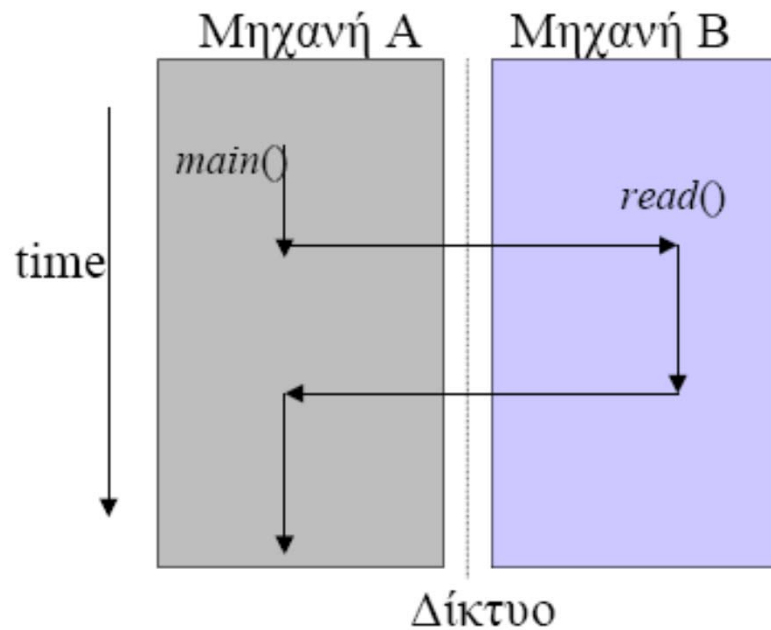


- Μεταβίβαση παραμέτρων
 - Μεταβίβαση με τιμή
 - Αντιγραφή της πραγματικής παραμέτρου
 - Παρόμοια με τοπική μεταβλητή
 - Μεταβίβαση με αναφορά
 - Δείκτης στην πραγματική παράμετρο
 - Σύνδεση με μεταβλητή του καλούντα

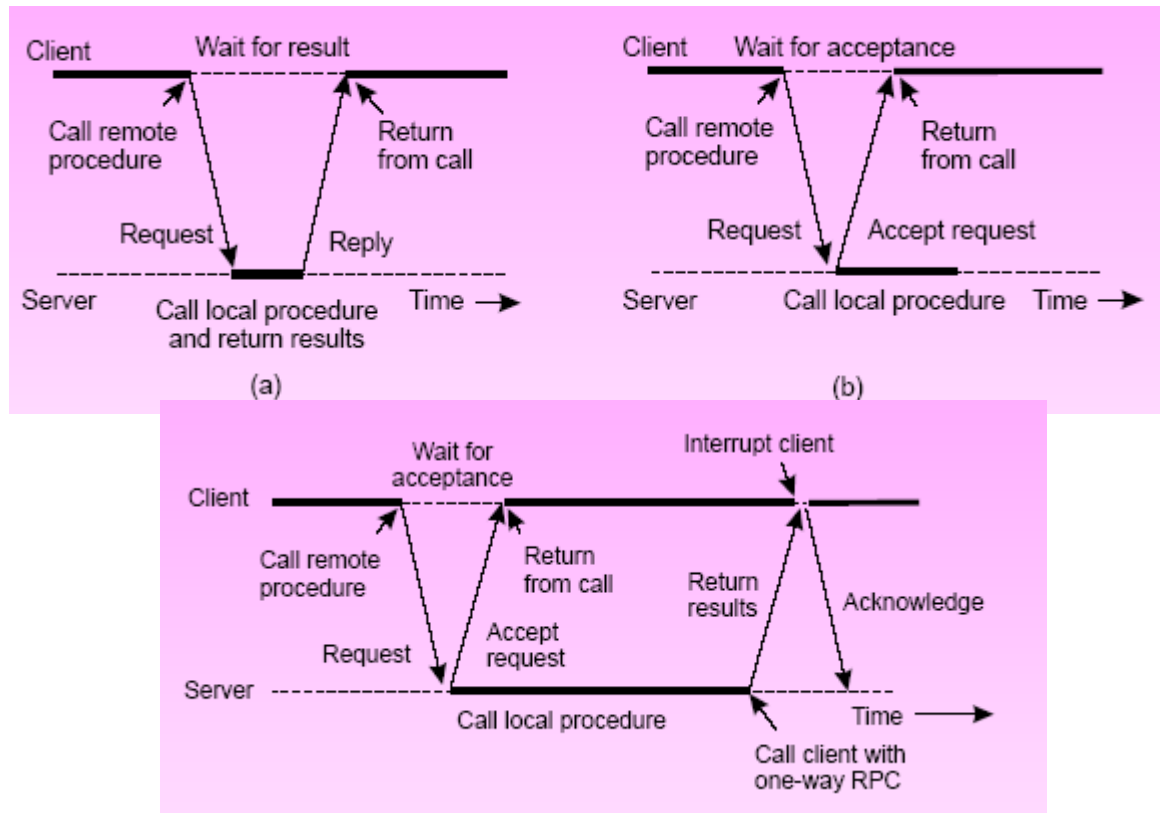
Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών

- Επικοινωνία γίνεται με ανταλλαγή μηνυμάτων
 - π.χ. κλήσεις send/receive
 - Χάνεται η διαφάνεια του συστήματος
- Επικοινωνία με χρήση απομακρυσμένων διαδικασιών
 - Βασική ιδέα: να επιτραπεί στα προγράμματα να καλούν διαδικασίες που εκτελούνται σε διαφορετικές μηχανές (Birrell & Nelson 1984)
 - Λογική αφαίρεση υψηλότερου επιπέδου
 - Παρόμοια με κλήσεις τοπικών διαδικασιών
 - Απόκρυψη της πραγματικής επικοινωνίας
 - Όταν μία διαδικασία στη μηχανή A καλέσει μία διαδικασία στη μηχανή B, η εκτέλεση της διεργασίας στην A αναστέλλεται και η εκτέλεση της καλούμενης διαδικασίας συνεχίζεται στη μηχανή B

Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών



Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών



- Σύγχρονη κλήση
- Ασύγχρονη κλήση
- Χρήση δύο ασύγχρονων κλήσεων

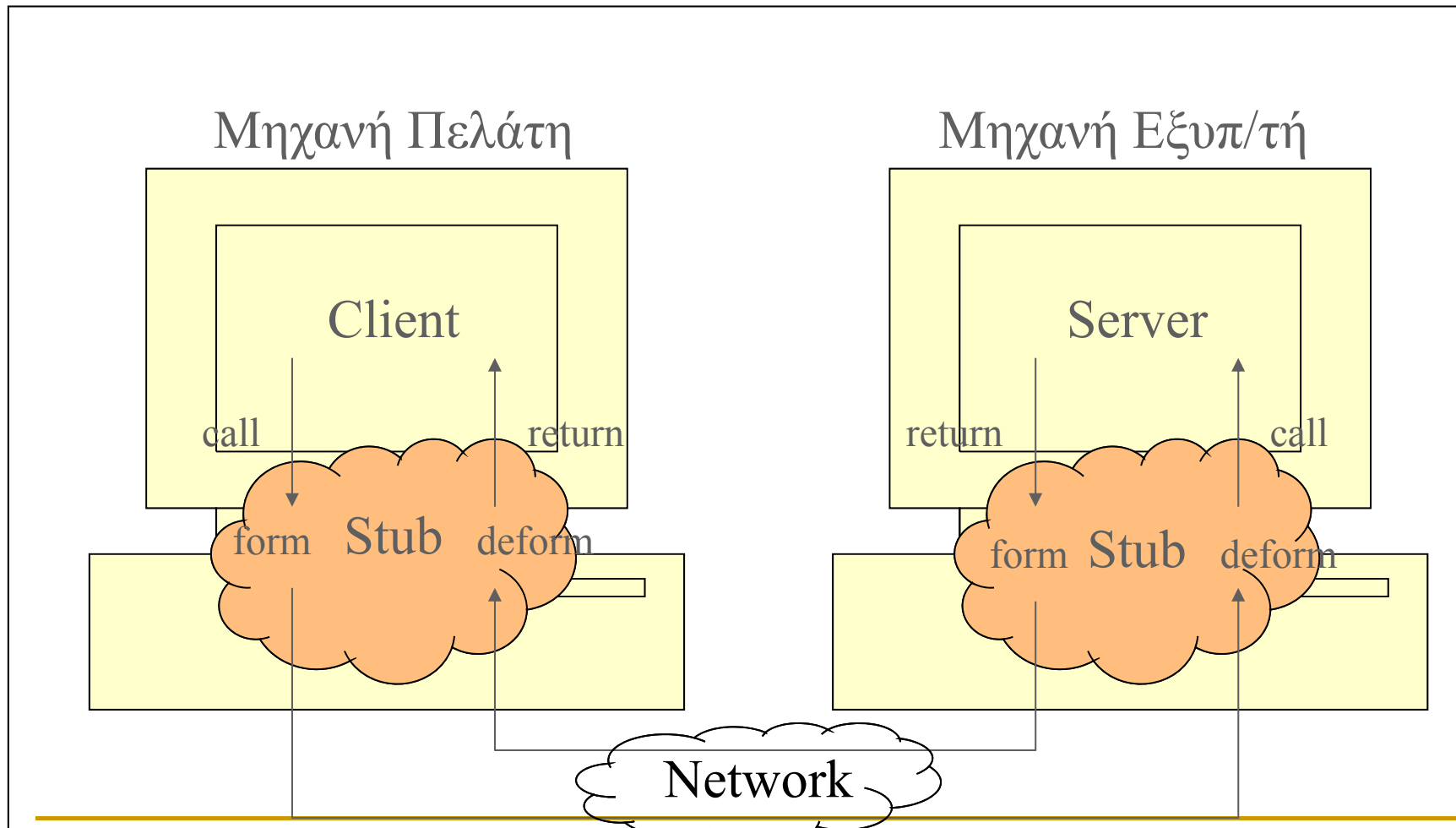
Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών

- Πληροφορίες δίνονται από την καλούσα και την καλούμενη με τη μορφή παραμέτρων
- Δεν λαμβάνεται γνώση της μεταβίβασης των μηνυμάτων και της λειτουργίας εισόδου/εξόδου

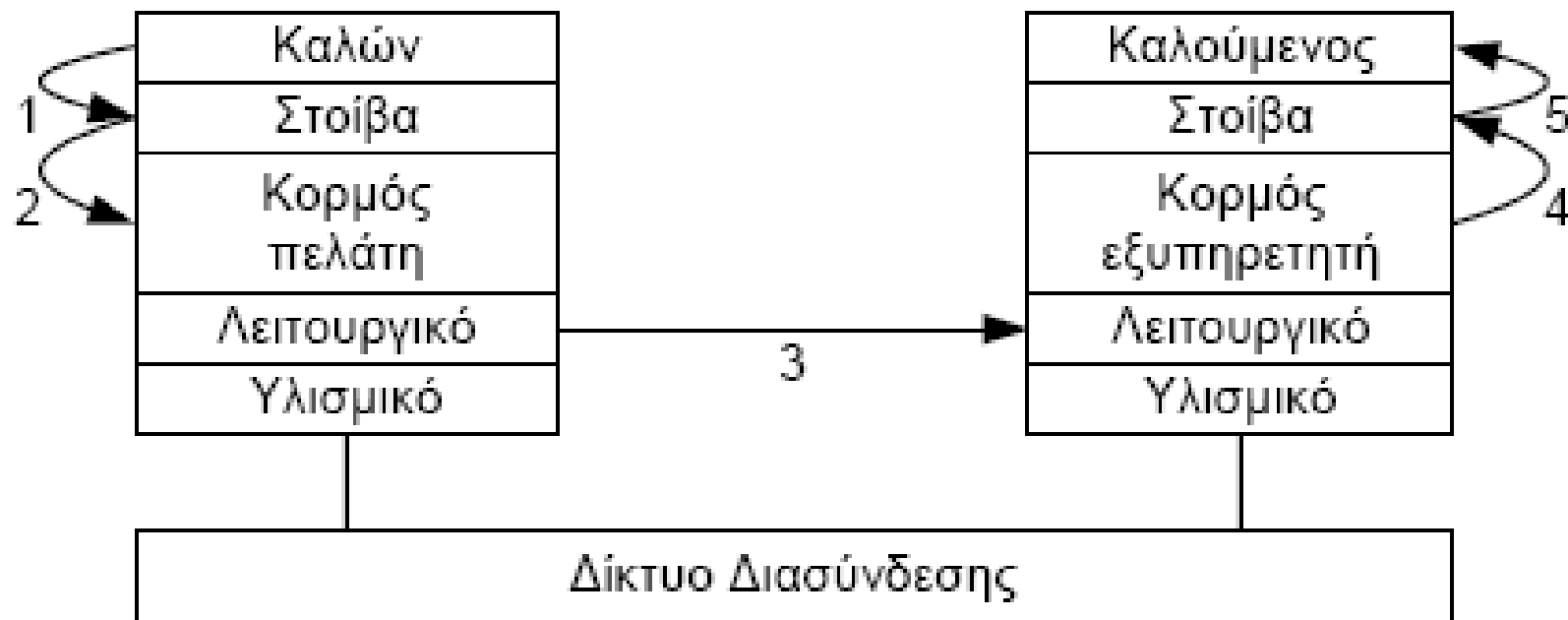
Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών

- Η διαφάνεια της λειτουργίας του μηχανισμού RPC επιτυγχάνεται με την χρήση ψευδορουτινών-υποκατάστατων (stubs) client & server
 - Κορμός πελάτη (client stub)
 - Ίδια κλητική ακολουθία με διαδικασία
 - Εκδοχή της απομακρυσμένης διαδικασίας στον πελάτη
 - Κορμός εξυπηρετητή (server stub)
 - Εκτελεί την κλήση της διαδικασίας
 - Μετατρέπει τις εισερχόμενες κλήσεις σε τοπικές κλήσεις
 - Υλοποίηση της απομακρυσμένης κλήσης με 2 τοπικές κλήσεις
 - Κλήση κορμού πελάτη τοπικά από πελάτη
 - Κλήση διαδικασίας τοπικά από κορμό εξυπηρετητή

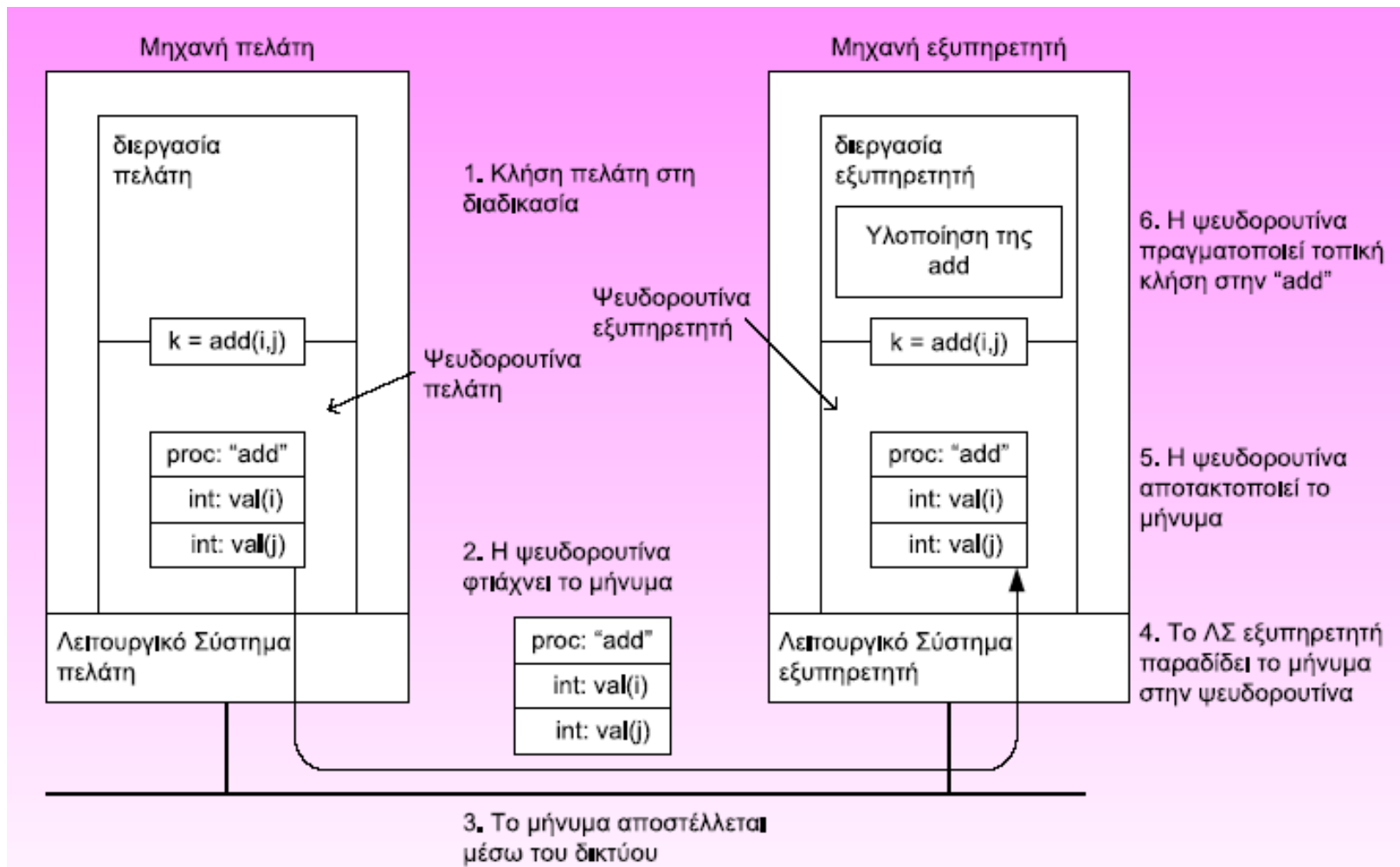
Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών



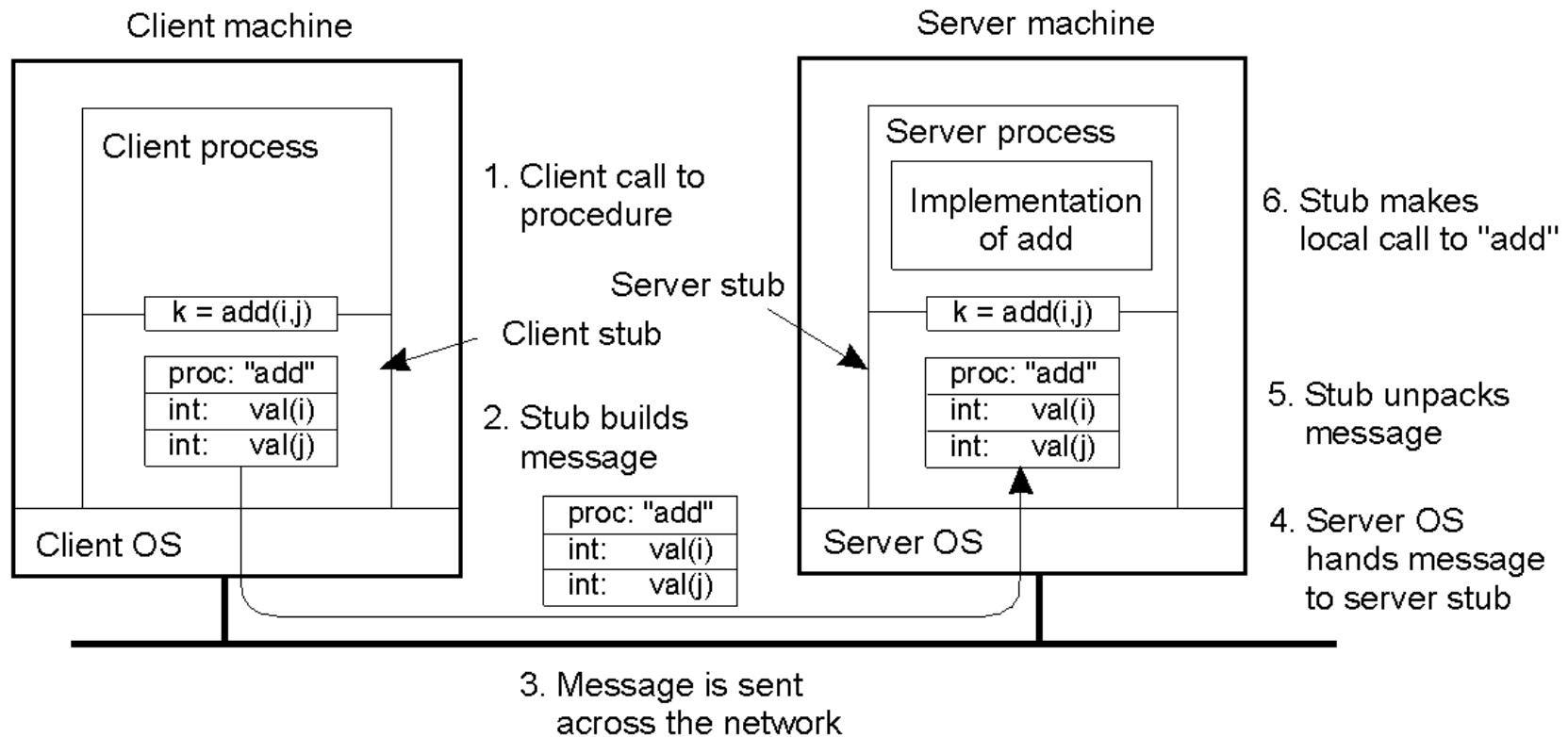
Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών



Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών



Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών



Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών

- Βήματα για απομακρυσμένη κλήση
 - Η διαδικασία του πελάτη καλεί την ψευδορουτίνα πελάτη με τον συνηθισμένο τρόπο
 - Η ψευδορουτίνα πελάτη σχηματίζει ένα μήνυμα και καλεί το τοπικό ΛΣ
 - Το ΛΣ του πελάτη στέλνει το μήνυμα στο απομακρυσμένο ΛΣ
 - Το απομακρυσμένο ΛΣ παραδίδει το μήνυμα στην ψευδορουτίνα εξυπηρετητή
 - Η ψευδορουτίνα εξυπηρετητή ξεπακετάρει τις παραμέτρους από το μήνυμα και καλεί τον εξυπηρετητή
 - Ο εξυπηρετητής ολοκληρώνει την εκτέλεσή του και επιστρέφει τα αποτελέσματά στην ψευδορουτίνα
 - Η ψευδορουτίνα εξυπηρετητή σχηματίζει ένα μήνυμα με τα αποτελέσματα και καλεί το τοπικό ΛΣ
 - Το ΛΣ του εξυπηρετητή στέλνει το μήνυμα στο ΛΣ του πελάτη
 - Το ΛΣ του πελάτη παραδίδει το μήνυμα στην ψευδορουτίνα πελάτη
 - Η ψευδορουτίνα πελάτη ξεπακετάρει τα αποτελέσματα και τα επιστρέφει στον πελάτη

Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών

- Μεταβίβαση παραμέτρων
 - Κανονική μορφή αναπαράστασης
 - Τυποποιημένος τρόπος παράστασης κάθε τύπου
 - Οι αποστολείς μετατρέπουν σε κανονική μορφή
 - Οι παραλήπτες μετατρέπουν από κανονική μορφή
 - Χρησιμοποιείται στο TCP/IP (σειρά δικτύου)
 - Χρήση κλήσεων βιβλιοθήκης για μετατροπές
 - Οι κλήσεις μπορεί να είναι κενές σε ορισμένα συστήματα
 - Βελτιστοποίηση αναπαράστασης
 - Ο πελάτης και ο εξυπηρετητής μπορεί να είναι ίδιου τύπου
 - Η μετατροπή από/προς την κανονική μορφή είναι περιττή
 - Αναπαράσταση πάντα σε μορφή πελάτη
 - Πεδίο χρησιμοποιούμενης αναπαράστασης
 - Ο εξυπηρετητής κάνει τις μετατροπές αν χρειάζεται

Κλήση Απομακρυσμένων Διαδικασιών

- Διευθέτηση παραμέτρων
 - Υπάρχουν διαφορές στην αναπαράσταση δεδομένων σε διαφορετικές αρχιτεκτονικές συστημάτων
 - Χρειάζεται συμφωνία στο format μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή
- Call by copy restore
 - Στην `count=read(fd, buf, nbytes)`
 - Αντιγράφεται ο πίνακας με τις παραμέτρους στον εξυπηρετητή
 - Εκτελείται η `read` και επιστρέφεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα
- Δυσκολία για πολύπλοκες δομές
 - Σε κάποια συστήματα χρησιμοποιείται ειδικός κώδικας στον εξυπηρετητή που ζητά από τον πελάτη ότι χρειάζεται όταν το χρειαστεί

Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

- Συνδεσμικό ή ασυνδεσμικό πρωτόκολλο
 - Με σύνδεση (τηλέφωνο) ή χωρίς σύνδεση (ταχυδρομείο)
 - Ασυνδεσμικά πρωτόκολλα για τοπικά δίκτυα
 - Η απουσία συνδέσεων αυξάνει την ταχύτητα

 - Τα συνδεσμικά πρωτόκολλα παρέχουν αξιοπιστία
 - Το πρωτόκολλο ασχολείται με τις λεπτομέρειες
 - Κόστος αποκατάστασης / απελευθέρωσης σύνδεσης
 - Το TCP απαιτεί πολλαπλά μηνύματα διαχείρισης
 - Αναγκαστικά συνδεσμικά σε ευρεία περιοχή

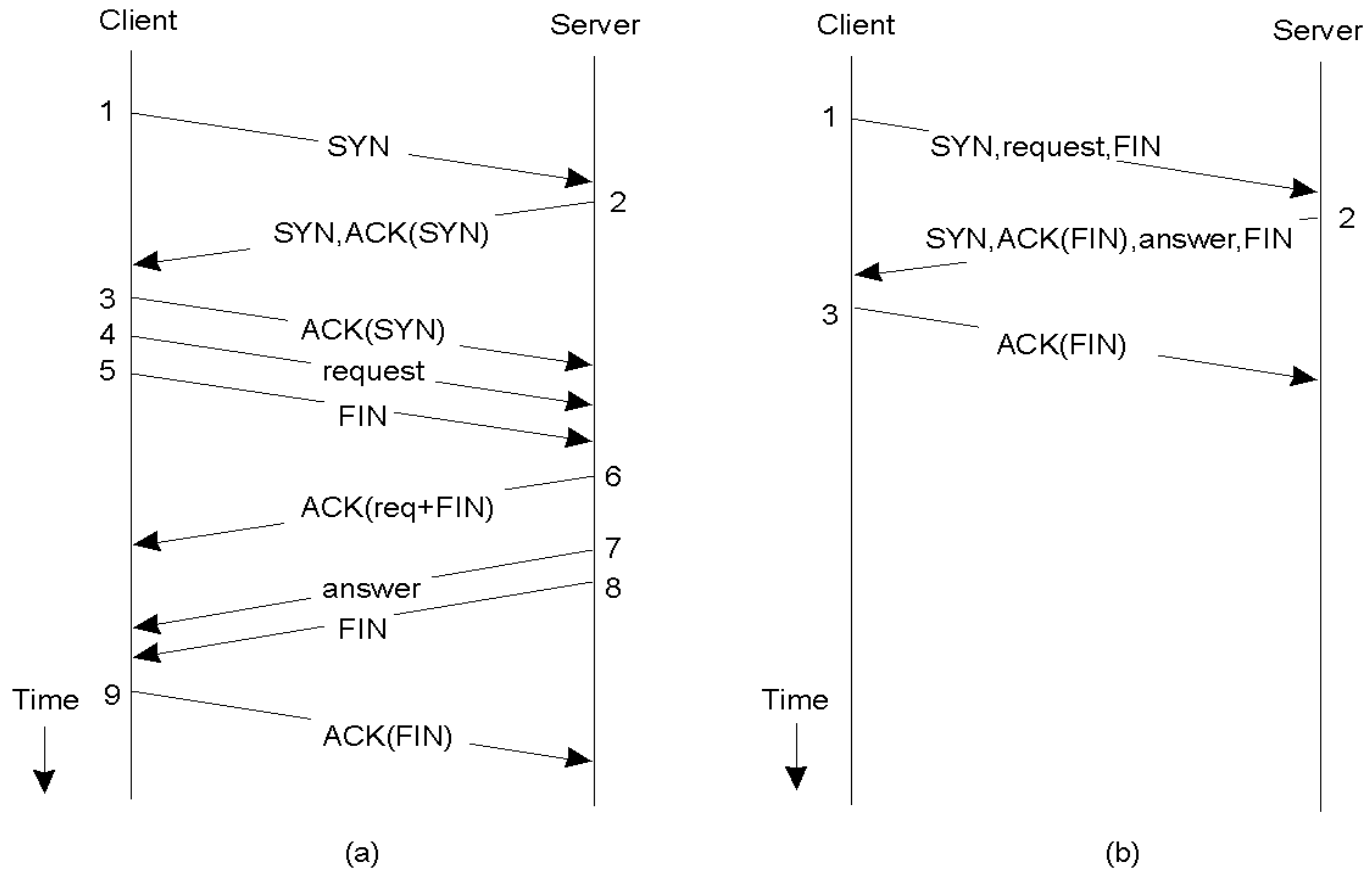
Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

- Έτοιμο ή εξειδικευμένο πρωτόκολλο
 - Το έτοιμο πρωτόκολλο είναι δοκιμασμένο
 - Συνήθως παρέχονται περιττές ευκολίες
 - Από τα 13 πεδία του IP χρειαζόμαστε τα 3
 - Το εξειδικευμένο πρωτόκολλο είναι πιο γρήγορο
 - Παραλλαγές γνωστών πρωτοκόλλων για RPC

Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

- TCP συναλλαγών (T/TCP)
 - Συνδυασμός αποκατάστασης σύνδεσης με αίτηση
 - Συνδυασμός απελευθέρωσης σύνδεσης με απόκριση
 - 3 μόνο μηνύματα στην απλούστερη περίπτωση
 - Πρόσθετα μηνύματα για πολλές παραμέτρους
 - Υποστηρίζονται όλες οι ευκολίες του TCP

Πρωτόκολλα Επικοινωνίας



- a) TCP
- b) TCP συναλλαγών (transaction TCP)

Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

- Κόστος απομακρυσμένων κλήσεων
 - Σταθερό κόστος ανά μήνυμα
 - Συμφέρει η ανταλλαγή μεγάλων μηνυμάτων
 - Το Ethernet περιορίζει τα πακέτα στα 1500 byte
 - Μικρότερα πακέτα στα δίκτυα ευρείας περιοχής
 - Θρυμματισμός μεγάλων πακέτων σε μικρά
 - Σημαντικό κόστος θρυμματισμού και συναρμολόγησης

Τύποι Servers

- Stateful servers

- Διατηρούν πληροφορία κατάστασης του client από τη μία κλήση του στην επόμενη
- πχ, ένας stateful file server προσφέρει: open, read, write, seek, close και διατηρεί έναν file pointer

- Stateless servers

- Δεν διατηρούν πληροφορία κατάστασης του client. Κάθε request μεταφέρει όλες τις απαιτούμενες παραμέτρους
- πχ, ένας stateless file server προσφέρει: read, write και χρειάζεται *fileposition* ως παράμετρο
- Οι stateless servers προσφέρουν σαφές πλεονέκτημα σε περίπτωση κατάρρευσής τους, αλλά μπορεί να υστερούν σε απόδοση

Διαφάνεια RPC

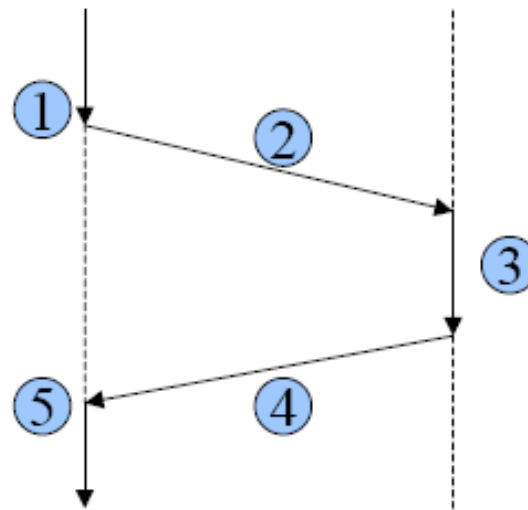
- Ο στόχος είναι η διαφάνεια κλήσης απομακρυσμένων διαδικασιών
 - Συντακτική διαφάνεια (syntactic transparency)
 - Σημασιολογική διαφάνεια (semantic transparency)
- Η συντακτική διαφάνεια δεν είναι δύσκολο να επιτευχθεί, μια και οι απομακρυσμένες κλήσεις ακολουθούν το ίδιο μοντέλο με τις τοπικές
 - Κλήση διαδικασίας από μία διεργασία και αναστολή αυτής μέχρι την επιστροφή της κλήσης
 - Πέρασμα παραμέτρων στην κλήση
 - Επιστροφή αποτελεσμάτων από την κλήση

Διαφάνεια RPC

- Η πλήρης σημασιολογική διαφάνεια είναι αδύνατη διότι:
 - Οι απομακρυσμένες διαδικασίες εκτελούνται σε ξεχωριστό address space.
 - πχ, η χρήση δομών δεδομένων με δείκτες είναι δύσκολη και απαιτεί ειδικούς μηχανισμούς (πχ call-by-copy/restore) οι οποίοι διαφέρουν από τους κλασικούς (call by value/reference)
 - Οι απομακρυσμένες διαδικασίες παρουσιάζουν σφάλματα τα οποία πηγάζουν από την ύπαρξη διαφορετικών μηχανών και του δικτύου ανάμεσά τους. Η αντιμετώπιση τέτοιων σφαλμάτων αλλάζει τη σημασιολογία
 - Η εκτέλεση απομακρυσμένων διαδικασιών απαιτεί 10-1000 φορές περισσότερο χρόνο, γεγονός που πρέπει να έχει υπόψη του η διεργασία-client

Κύριες Κατηγορίες Σφαλμάτων RPC

- Πιθανά σφάλματα σ' ένα σύστημα RPC
 - Ο πελάτης δεν μπορεί να εντοπίσει τον εξυπηρετητή
 - Το μήνυμα αίτησης από τον πελάτη στον εξυπηρετητή έχει χαθεί
 - Ο εξυπηρετητής τίθεται εκτός αφού έχει λάβει μία αίτηση
 - Το μήνυμα απάντησης από τον εξυπηρετητή στον πελάτη έχει χαθεί
 - Ο πελάτης τίθεται εκτός αφού έχει στείλει την αίτηση



Κύριες Κατηγορίες Σφαλμάτων RPC

- Σφάλμα Εντοπισμού Server
 - Συμβαίνει σε περίπτωση κατάρρευσης του server, ή όταν έχει αλλάξει ο αριθμός έκδοσής του
 - Μπορεί να το πληροφορηθεί η client διεργασία που έκανε την κλήση μέσω ειδικού SIGNAL (πχ *SIGNOSERVER*) ή διαδικασίας exception, ανάλογα με το τι υποστηρίζει η γλώσσα στην οποία γράφτηκε ο client
 - Τέτοια σφάλματα καθιστούν αδύνατη τη διαφάνεια

Κύριες Κατηγορίες Σφαλμάτων RPC

- Απολεσθέντα Μηνύματα Αίτησης
 - Πιθανή η απώλεια λόγω δικτύου. Μπορεί να αντιμετωπισθεί ως εξής:
 - Κάθε φορά που ο πυρήνας στέλνει μία κλήση ενεργοποιεί έναν χρονομετρητή
 - Αν αυτός εκπνεύσει πριν ληφθεί το μήνυμα απάντησης, το μήνυμα επαναμεταδίδεται
 - Αν όντως χάθηκε, ο server δεν μπορεί να ξεχωρίσει το retransmitted από το αρχικό
 - Αν χάνεται συνεχώς, ο πυρήνας θα θεωρήσει ότι ο server δεν είναι διαθέσιμος, οπότε ανάγεται στο προηγούμενο πρόβλημα

Κύριες Κατηγορίες Σφαλμάτων RPC

- Απολεσθέντα Μηνύματα Απάντησης
 - Πρόβλημα που αντιμετωπίζεται δύσκολα
 - Αν ο πυρήνας του client χρησιμοποιεί timer, όταν αυτός εκπνεύσει, ο πυρήνας δεν γνωρίζει κατά πόσο
 - χάθηκε η αίτηση
 - χάθηκε η απάντηση
 - ο server είναι αργός (χρήση IAA)
 - Η επανεκτέλεση της κλήσης:
 - είναι δυνατή, αν η απομακρυσμένη διαδικασία δεν προκαλεί αλλαγή κατάστασης (state change) στον server (τότε ονομάζεται *κραταιή (idempotent)*)
 - διαφορετικά, είναι δυνατή μόνο αν ο server εκτελεί *duplicate filtering*, δηλαδή ξεχωρίζει την αρχική αίτηση από αναμεταδόσεις της και απλά ξαναστέλνει την απάντηση, χωρίς επανεκτέλεση

Κύριες Κατηγορίες Σφαλμάτων RPC

- Κατάρρευση Server
 - Ο client αναγνωρίζει την εκπνοή κάποιου μετρητή (και πιθανώς την κατάρρευση), αλλά δεν μπορεί να γνωρίζει κατά πόσο ο server κατάρρευσε
 - πριν την εκτέλεση της διαδικασίας,
 - κατά τη διάρκεια,
 - ή μετά
 - Όμως κάθε περίπτωση απαιτεί διαφορετική αντιμετώπιση
 - στην πρώτη, πρέπει να επανα-μεταδοθεί η κλήση
 - στην δεύτερη πρέπει να επιστρέψει σφάλμα εκτέλεσης στον client
 - η τρίτη ισοδυναμεί με χαμένο μήνυμα απάντησης

Κύριες Κατηγορίες Σφαλμάτων RPC

- Κατάρρευση Client
 - Η απομακρυσμένη διαδικασία μένει *ορφανή* (orphan) και δεσμεύει πόρους (κλειδωμένα αρχεία, μνήμη, CPU time)
 - Αν ο client επανέρθει και απλά καλέσει ξανά την απομακρυσμένη διαδικασία, μπορεί να λάβει την απάντηση της ορφανής
 - Πιθανές λύσεις:
 - Εξολόθρευση: ο client αποθηκεύει στο δίσκο πληροφορία για κάθε RPC μήνυμα και σε περίπτωση επανεργοποίησης καταστρέφει τις ορφανές που υπάρχουν στις εγγραφές.
 - Είναι χρονοβόρα, και μπορεί να αφήσει *δισόρφανες*

Κύριες Κατηγορίες Σφαλμάτων RPC

- Κατάρρευση Client

- Πιθανές λύσεις:

- Αναβίωση: ο χρόνος διαιρείται σε σειριακά αριθμημένες εποχές. Μετά την επανεργοποίηση, ο client στέλνει μήνυμα «νέας εποχής», και ο server καταστρέφει **όλες** τις διαδικασίες προηγούμενης αποχής
 - Μερική αναβίωση: μετά τη λήψη μηνύματος νέας εποχής, ο server καταστρέφει μόνον τις διαδικασίες που δεν έχουν ιδιοκτήτη
 - Λήξη: κάθε απομακρυσμένη διαδικασία που δεν ολοκληρώνει την εκτέλεσή της μετά από προκαθορισμένο χρονικό διάστημα T , αιτείται πρόσθετο χρόνο T και αν δεν ολοκληρώσει και πάλι, καταστρέφεται