Síťová komunikace v počítačových hrách

© 2008 Josef Pelikán, CGG MFF UK Praha

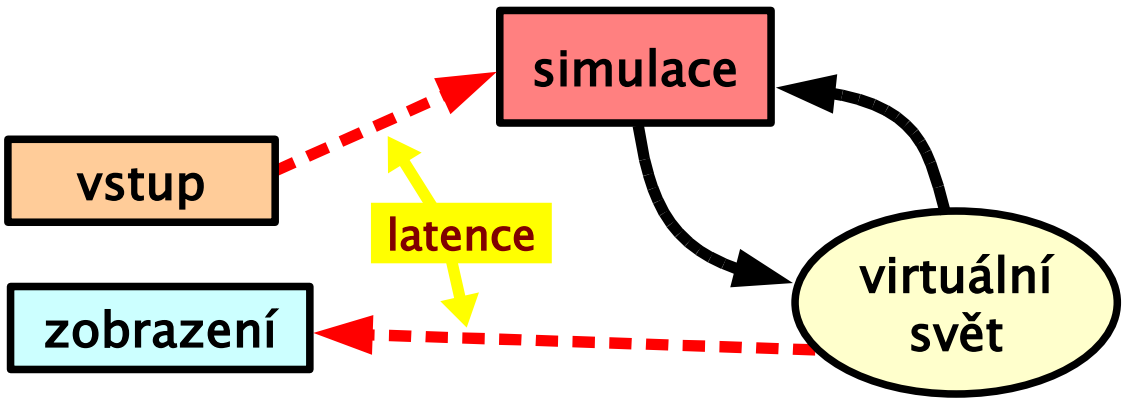
http://cgg.ms.mff.cuni.cz/~pepca/

Josef.Pelikan@mff.cuni.cz

Obsah

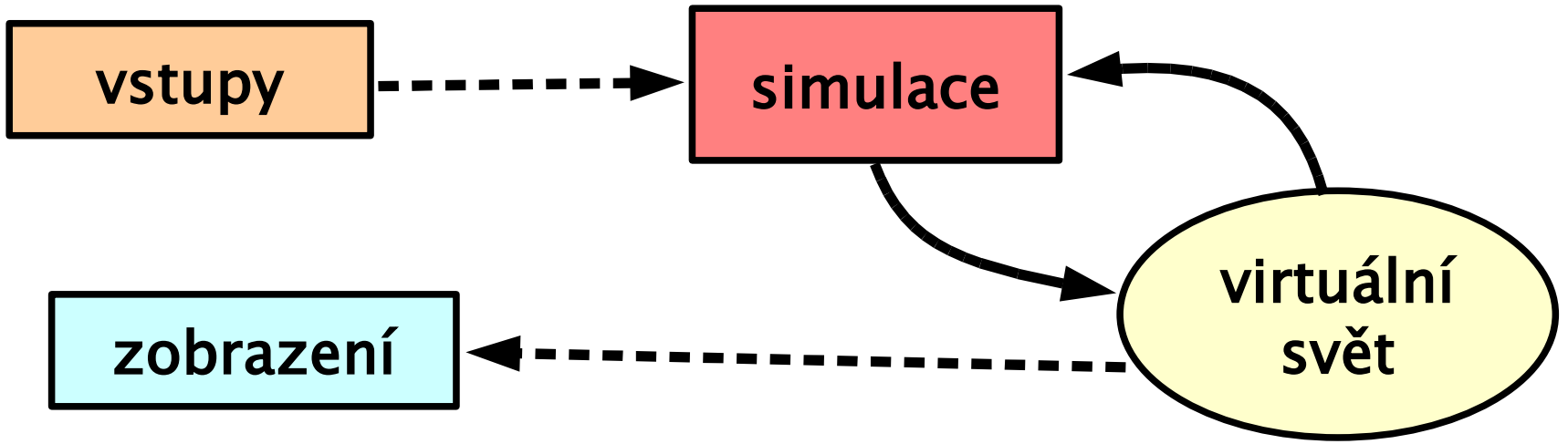
- logika návrhu síťové vrstvy (high-level)
  - server-client model vs. peer2peer
  - čas, identita, autorita, stav simulace, latence, ..
- spodní vrstvy síťové komunikace (low-level)
  - TCP/UDP, NAT, sockets, ..
- síťové knihovny (middleware)
- další aspekty síťového programování
  - podvádění (cheating), šifrování
  - kvalita fyzické vrstvy
  - časově kritické přenosy dat (Voice-over-Net)

High-level architektura



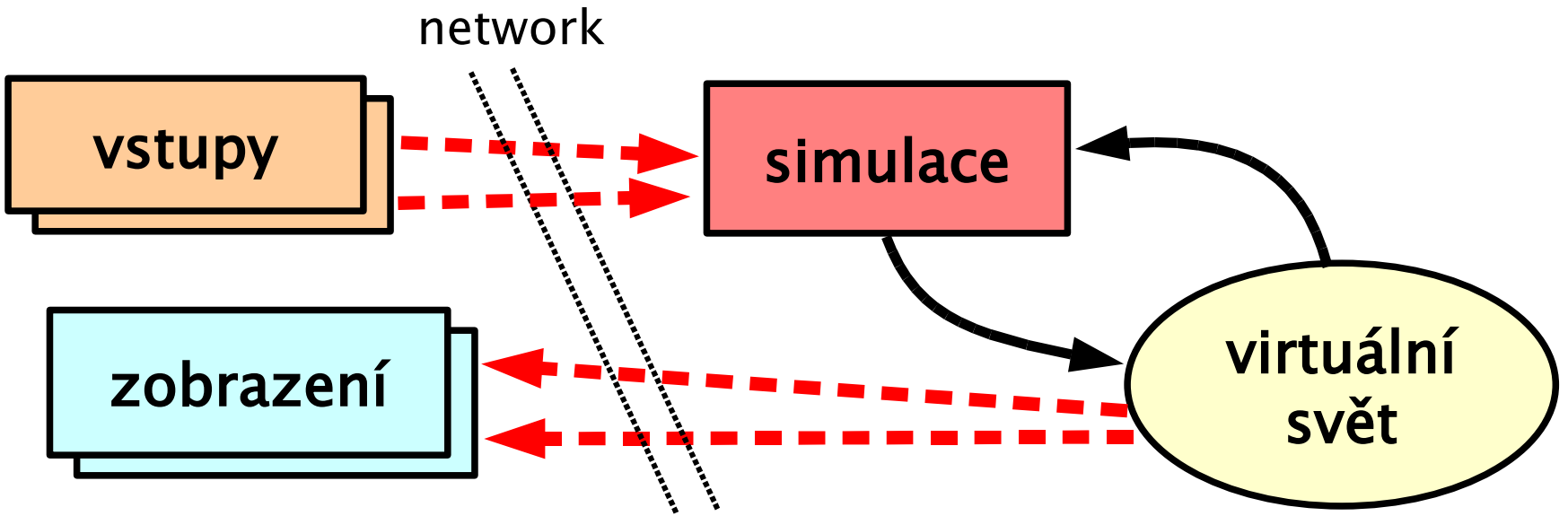
Simulační logika hry

- obecně („single-player“ i „multi-player“ hra):
  - **stav** simulovaného světa
  - **vstupy** od živých i „umělých“ hráčů
  - **simulace** světa (reakce na vstupy, [přírodní] zákony)
  - **zobrazení** výsledku (aktuálního stavu)



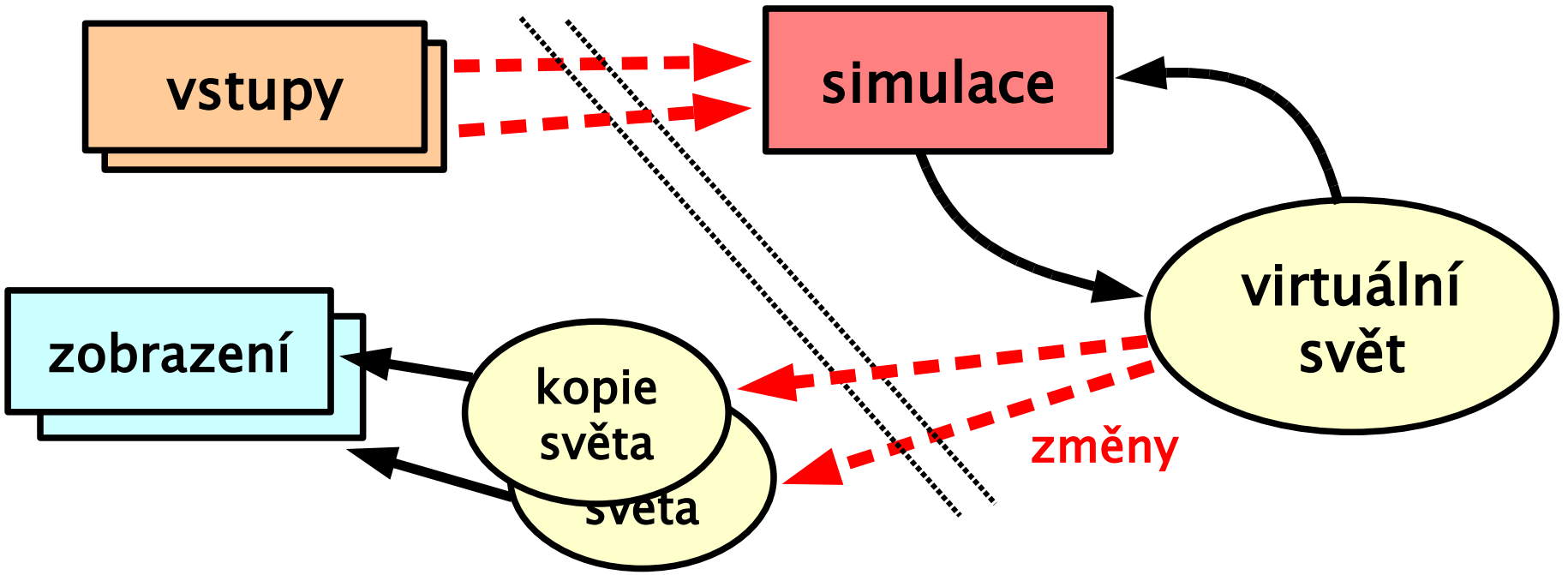
Tenký klient – server

- simulace se odehrává na serveru
  - server má **jedinou instanci** stavu hry
  - klient jen sbírá vstupy a zobrazuje výsledek
  - textové hry typu MUD (multi-user dungeons)



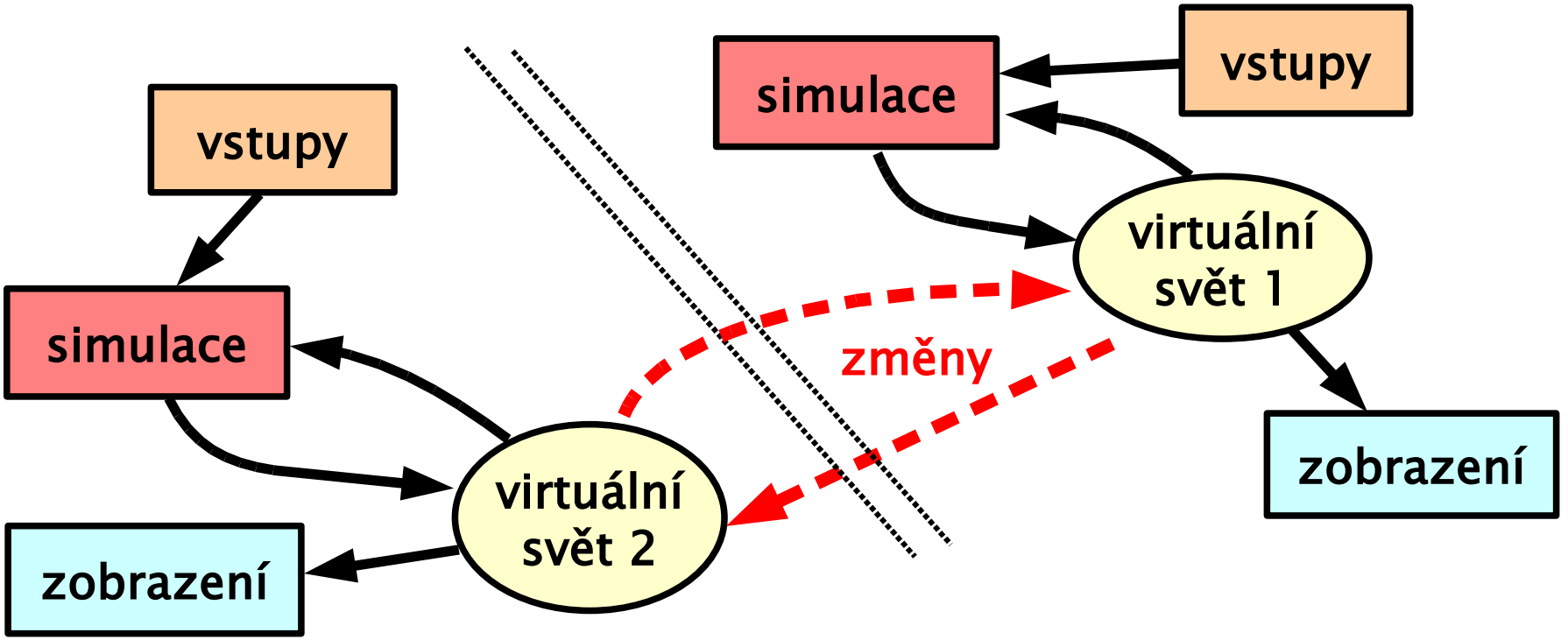
Klient – server

- simulace se odehrává na serveru (**jediná autorita**)
  - i klienti mají své instance stavu světa
  - server posílá klientům **změny stavu** světa



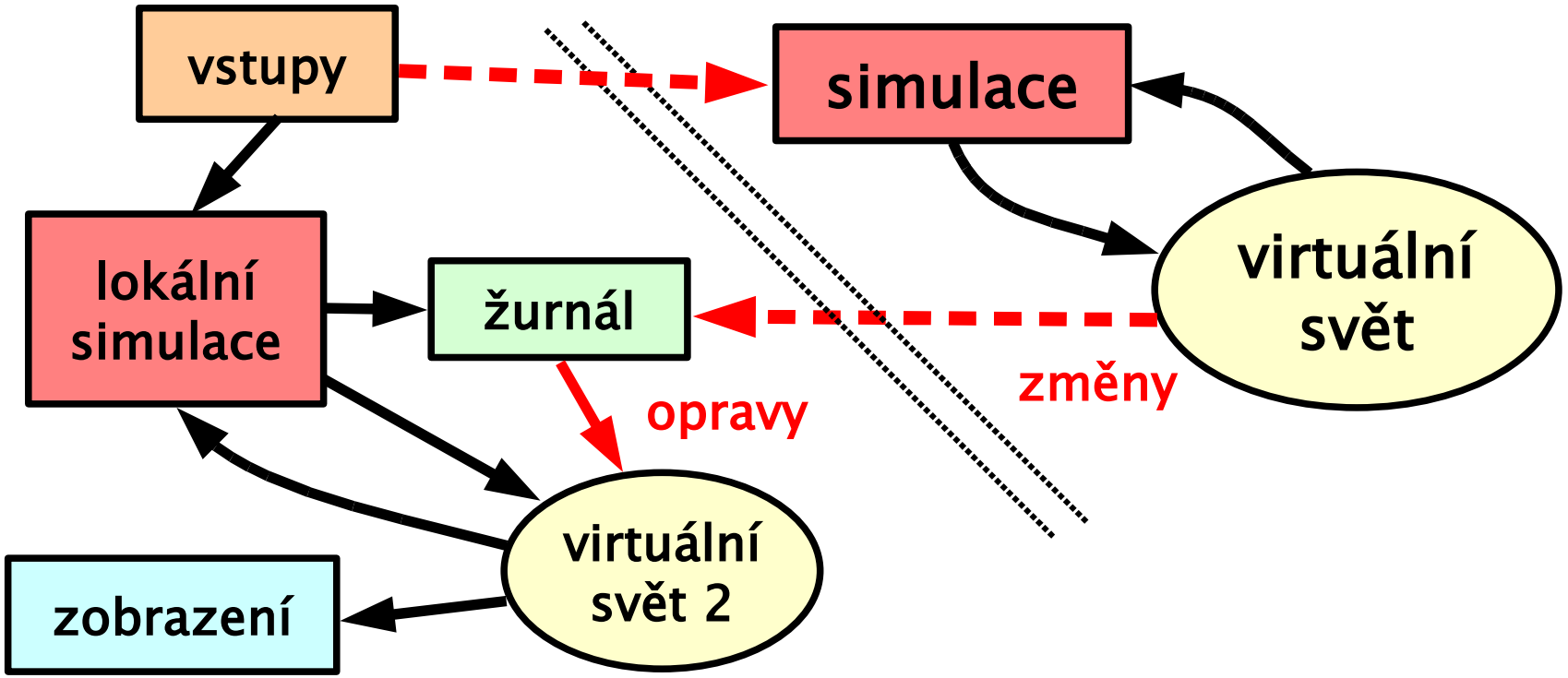
Peer–to–Peer

- každý klient má svou reprezentaci světa
  - každý je zodpovědný (je **autoritou**) za jistou část světa
  - navzájem si posílají **změny stavu** světa



Hybridní architektura

- každý klient má **svou kopii** reprezentace světa
  - server je oficiální **autoritou**, ale klient predikuje vývoj
  - klient zpětně opravuje svoje data, ..



Síťové architektury

- předchozí členění bylo výhradně podle **simulační autority**
  - **autorita** (vlastník, zodpovědná entita) rozhoduje o všech důležitých změnách stavu virtuálního světa
  - aktuální **směrování paketů** již není tak důležité..
- **peer-to-peer simulace** může být síťově implementována jako **klient-server**, kde server:
  - shromažďuje pakety
  - akumuluje změny
  - rozesílá relevantní informace klientům
- příklady: Operation Flashpoint, ArmA

Reprezentace světa

- společný **systém souřadnic** (world-space)
- společný **čas** *
  - neustále se musí lokální časy synchronizovat
- jednoznačné **identifikátory** objektů světa
  - pozor na lokálně vznikající entity..
- jednoznačně definovaná **autorita**
  - každý objekt je spravován **jedním správcem**
    - ostatní mohou jeho stav jen **predikovat**
  - musí být určeno, kdo dělá důležitá **rozhodnutí**
    - např. je-li cíl/hráč zasažen nebo ne

Autority ve hrách OFP, ArmA

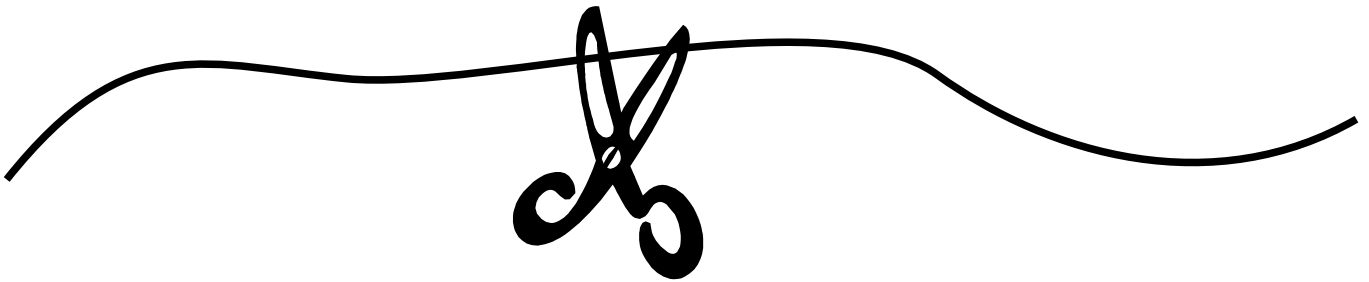
- autorita = „**vlastník objektu**“
  - klient vždy vlastní **svou postavu**
  - vlastníkem **AI** skupiny je **server**
- **přenos vlastnictví**:
  - vlastníkem **vozidla** je řidič
  - vlastníkem **podřízeného** ve skupině je vlastník velitele skupiny..
  - vlastníkem **střely** je vlastník toho, kdo vystřelil
- autorita rozhodující **zásah zbraní**
  - **vlastník střely** = ten, kdo vystřelil

Správa (multi-player) hry I

- každý hráč (klient) má jednoznačný **identifikátor**
  - může být odvozen z low-level síťových parametrů..
  - centrální autorita pro správu hry (hráčů)
- připojování hráčů **na začátku hry**
  - vznikají identifikátory hráčů
  - kontrolují se jejich primární data (distribuce, DVD..)
  - již během domlouvání: instant messaging nebo VoN
- připojování **uprostřed hry** (Join-in-Progress)
  - nutnost přenést stav světa (rozdíl proti DVD)

Správa hry II

- **odpojování hráčů** od běžící hry
  - bezproblémové u architektur klient – server
  - nutné ošetřit u **peer2peer**
- odpojení z **technických příčin**
  - rozumné nastavení parametrů v low-level síťové knihovně
  - time-out: umožnit re-dial nebo re-boot síťového modemu
  - změna IP adresy (spolupráce s low-level?)



Co posílat?

- každý klient má svoji **oblast zájmu**
  - poloha hráče ve virtuálním světě, směr pohledu..
  - pozor na dalekohled!
- **priority** jednotlivých typů změn
  1. zásah hráče, poškození, smrt, .. **primární cíle hry** ..
  2. změny v **zorném poli** hráče
  3. vzdálenější změny ve světě
     - mohou ovlivnit přesnost lokální simulace/predikce
- časově-kritická data (VoN = zvuk)
  - trvale vyhrazená část pásma ?

Jak posílat?

- **úplná stavová informace** o objektu
  - snadné kódování, ale plýtvání pásmem
- **vybrané atributy** objektu
  - jen nejdůležitější atributy, ale musím je pojmenovat
  - bitové masky, předem připravené „úrovně“
- posílání **rozdílové informace**
  - musím vědět přesně, co ví protější strana.. (garantované zprávy)
- cyklická obsluha objektů
  - každý objekt přenesu jednou za delší čas (např. 200ms)

Úsporné kódování dat

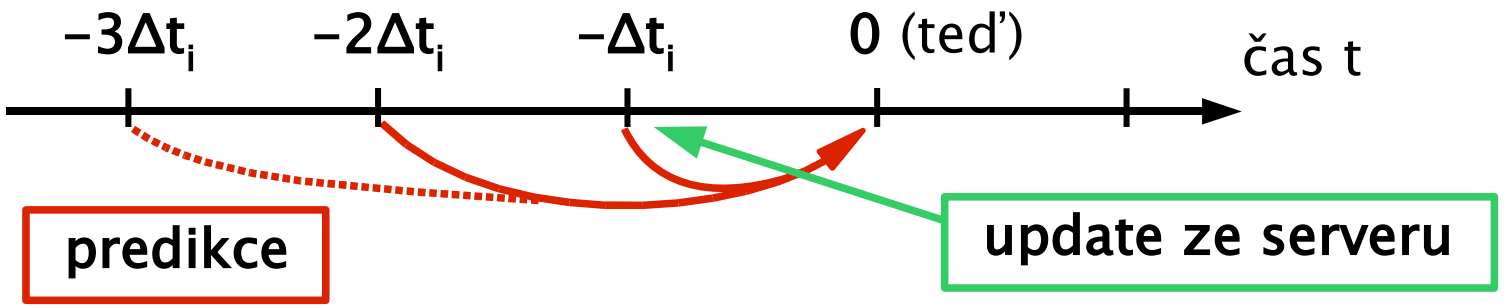
- síťové přenosy mají **ms** zpoždění, cykly CPU jsou **ns** !
  - vyplatí se obětovat pár taktů CPU na úspornější kódování
- příklad 1: **časový údaj** (musí být v každém paketu)
  - float: **32 bitů**
  - chytřejší: **16-bitový** fixed-point
    - 4 bity celá část (16 sec … starší zprávy se stejně zahazují)
    - 12 bitů zlomky sekundy (přesnost ve stovkách μs)
- příklad 2: **orientace**
  - **kvaternion** (float[4]) je úspornější než matice orientace (float[9]) !

Zpoždění síťového přenosu

- přenos zprávy pomocí low-level vrstev
  - **zpoždění**: SW (UDP stack) i vlastní síťové médium
  - síťová knihovna by měla poskytovat **odhad zpoždění** ke každému individuálnímu klientovi (Δt_i)
- „**ping-time**“, RTT (Round-Trip-Time)
  - cca *dvojnásobek* jednosměrného zpoždění
  - podle kvality síťového spojení může být mezi 1ms a ~2s
  - u nekvalitních připojení navíc *kolísá* (jitter)
- možnost **kompenzace zpoždění** v simulacích

Extrapolace

- **extrapolace změn** přicházejících ze serveru (peeru)
  - musím znát odhad svého síťového zpoždění $\mathbf{\Delta t_i}$
    - já se dozvím o globálních změnách o Δt_i později
    - server (ostatní) se dozví o mých změnách o Δt_i později
- uchovávám několik **starších stavů** světa
  - historie stará Δt_i (predikce jen podle rychlosti) až $2\text{-}3\Delta t_i$ (odhady založené na zrychlení)



Kompenzace zpoždění I

- pohyb **vlastního hráče** (avatara) ve hrách klient-srv.
  - není únosné čekat RTT+τ na potvrzení od serveru
  - nutná *okamžitá odezva* na uživatelský vstup
- **oprava** podle (autoritativního) stavu ze serveru
  - opravím položku historie + *přepočítám predikci*
  - *velké* rozpory ⇒ poskakování (**snapping**)
    - mohu mírnit **exponenciálním průměrováním**
  - snapping je nevyhnutelný, pokud se v simulaci používají data neznámá klientovi
    - výbuch neznámé nálože, interakce se soupeřem ..

Kompenzace zpoždění II

- **zjednodušení** sdíleného kódu – přenesení některých zodpovědností na klienta
  - jen *důvěryhodné* prostředí (letecký, vojenský simulátor)
- míření, **střelba**
  - pozici *cizích hráčů* (AI) nemohu tak přesně předvídat

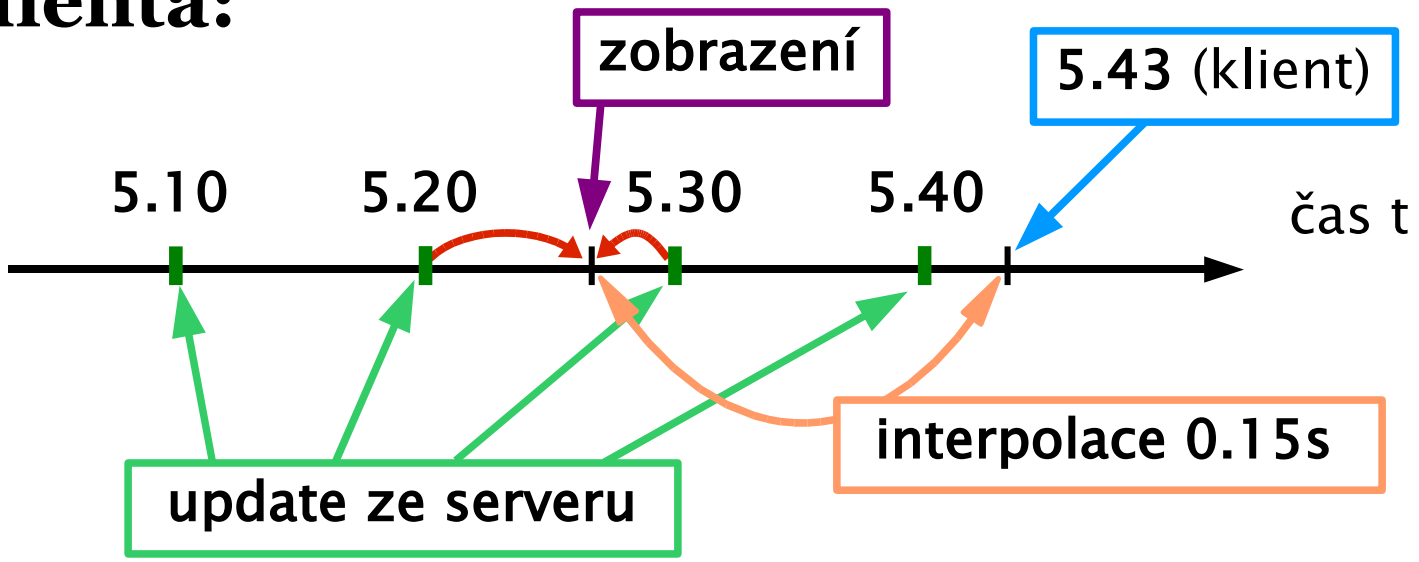
Interpolace místo extrapolace

- klientská **predikce soupeře** může být nespolehlivá
  - „**first-person**“ střílečky
    - je důležité spolehlivě mířit a střílet

  - neomezené zrychlení, síla a dynamika, rychlé úskoky
- posunutí vykreslovacího času **do minulosti**
  - **interpoluji** mezi dvěma potvrzenými stavy
  - zavádím tím **zpoždění navíc** !
    .. ale zobrazuji soupeře tam, kde **skutečně byl**
- **kompenzace zpoždění** klientů na serveru !

Interpolace a kompenzace

- čas u **klienta:**

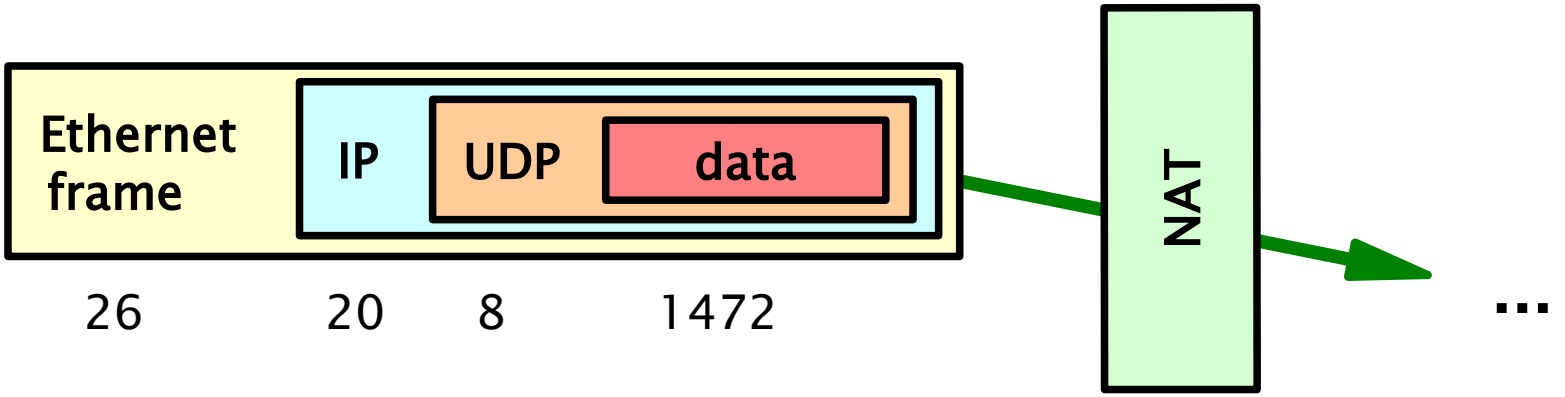


- **server** musí při simulaci „vracet zpátky čas“ a simulovat důležité akce **pro každého hráče zvlášť**
  - střelba (potvrzení zásahu)

Implicitní vs. dedikovaný server

- **implicitní server**
  - pustí se na stroji jednoho z hráčů
  - konzumuje **výkon CPU** a **síťové pásmo**
  - je lepší, když hostitel není za firewallem (NAT)
- **dedikovaný server**
  - **zvláštní binárka** běžící na **zvláštním stroji** (veřejný herní server)
  - nemusí být vůbec přítomny grafické a UI vrstvy
  - musí zůstat: herní data, síť, simulace, fyzika, AI, ..
  - může běžet pod **Linuxem** (server-hosting friendly), i když původní klient používá Direct3D ..

Low-level architektura



Low–level síťové vrstvy

- TCP
  - spolehlivý transparentní přenos dat à la „stream“
  - spojovaný protokol (navázané spojení, 2 sockety)
  - **nehodí se** pro realtime hry !

Quake 1, Cormack, 1995

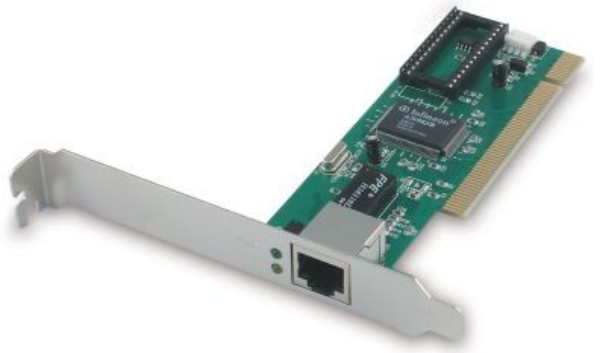
- **UDP**
  - efektivnější přenos, ale nespolehlivý:
    není zaručeno **doručení** paketů ani jejich **pořadí**
  - nespojovaný (bezestavový) protokol
  - **spolehlivé doručování** (potvrzování) si musíme implementovat sami !

UDP/IP protokol

- posílá/přijímá se **jednotlivá zpráva** (datagram)
- komunikace probíhá přes **socket** (BSD sockets, viz)
  - **vysílání**: posílám do socketu jednotlivé datagramy
    - mohu specifikovat ***adresu příjemce*** nebo ***broadcast***
  - **příjem**: socket přijímá datagramy (recvfrom, select)
    - každý přijatý datagram obsahuje ***adresu odesilatele***..
- **maximální velikost** datagramu je omezena (**MTU**)
  - UDP hlavička je dlouhá jen 8 bytů
    (celkem včetně IPv4 hlavičky 28 bytů)

Příklady MTU

- dial-up: **576**
- AOL DSL: 1400
- PPPoE: 1492
- Ethernet: **1500**
- WiFi: 2304
- FDDI: 4479



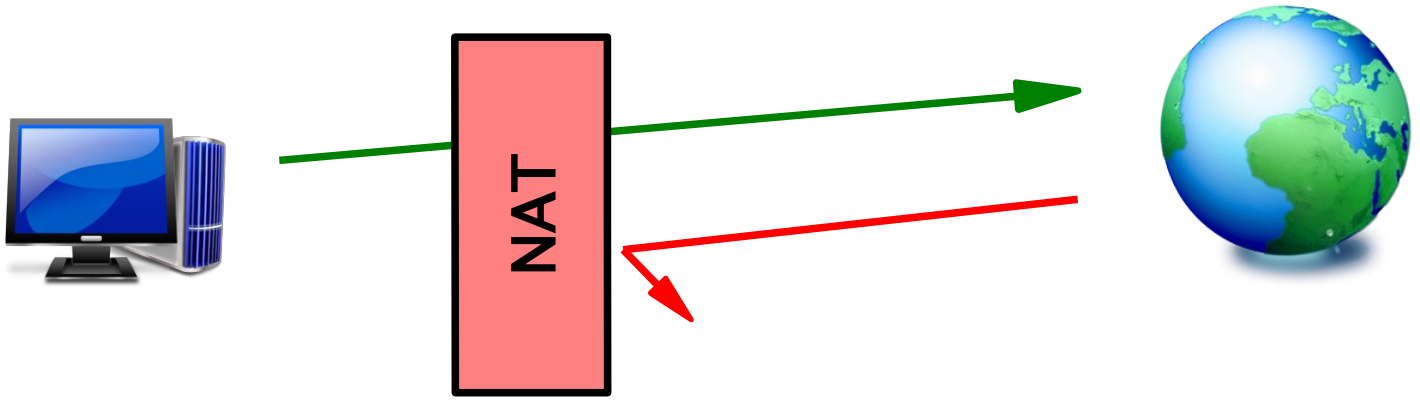
Adresování

- **IP adresa** ↔ DNS jméno
  - gethostbyname(), gethostbyaddr()
  - IP verze 4 (potřebuje NAT), IP verze 6
  - network-endian = big-endian !
- **UDP port**
  - slouží primárně ke směrování příchozích paketů jednotlivým zaregistrovaným **službám / aplikacím**
  - hry používají dočasnou (dynamickou) registraci portu
    - čísla portů mezi 49152 a 65535
    - strategie výběru neobsazených portů ..

Překlad adres – NAT

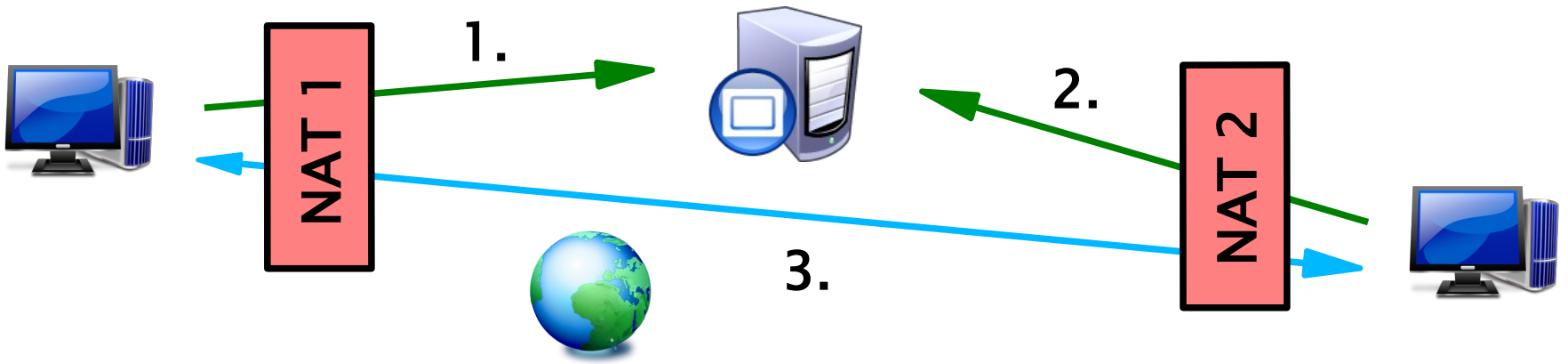
- **realita** dnešního připojení k Internetu
  - doma i ve firmách (symetrický NAT)

- neumožňuje jednoduše **navázat spojení** z veřejného Internetu do privátní sítě
  - OK, je-li iniciátorem lokální počítač



Obcházení NATu

- oficiální postupy: **STUN**, TURN
  - veřejný server, přes který se minimálně spojení **navazuje**
  - tyto postupy potřebuje i **VoIP**, implementují middlewares
- **UDP punching**
  - klienti naváží spojení s veřejným serverem (NAT tabulky)
  - pak se spojení **předá** (naděje, že tabulky zůstanou)



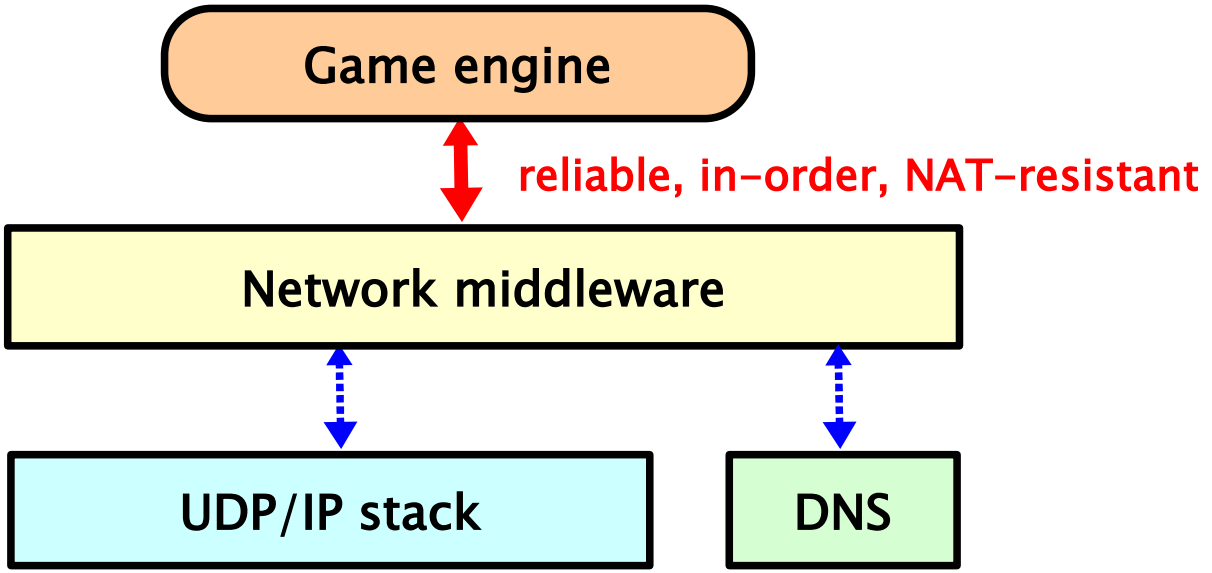
BSD Sockets API

- přenositelné API pro obsluhu TCP/**UDP**/IP stacku
  - varianta pro Windows: **Winsock** (dnes verze 2.2.x)

socket()	handle, přes který se komunikuje
bind()	spojení s lokálním portem (je-li volný..)
sendto()	odeslání datagramu
recvfrom()	příjem datagramu
select(), **poll()**	paralelní čekání na více socketů

- možnost „připojit“ UDP socket
  - pevná adresa protější strany
  - nemusí se používat volání s explicitní adresou

Middleware pro síť



Funkce

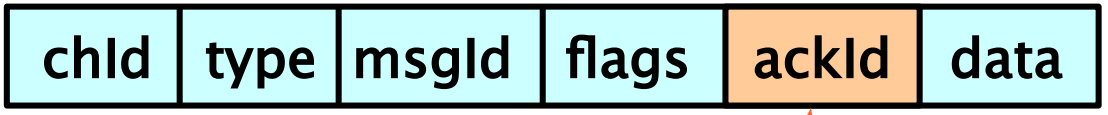
- **inicializace** a udržení „spojení“
  - DNS resolving, překonání NAT, heart-beats, ..
- **spolehlivý přenos** zpráv
  - na žádost aplikace (u vybraných zpráv)
  - dva možné typy „spolehlivé“ zprávy
    - garantovaná
    - garantovaná v pořadí (odkaz na předchůdce?)
- posílání **dlouhých zpráv**
  - transparentně pro aplikační vrstvu
- časově kritické přenosy
  - multi-mediální streaming (VoN)

Přenosový kanál

- spojení k protějšímu klientovi/serveru
  - založení, udržování, uzavření
- **informace** pro aplikaci:
  - **MTU** bez fragmentace
  - odhad **RTT** nebo zpoždění **Δt**
  - **kdy** naposledy přišel paket?
  - které zprávy byly **potvrzeny**?
    - a které čekají na příp. přeposlání..
- možnost provádět **demultiplexing** v knihovně
  - společný přijímací socket
  - rozdělování zpráv podle *kanálů*, *typů* (bit-prefix), ..

Potvrzování zpráv

- à la TCP
  - posílání zvláštních potvrzovacích paketů



- **líné potvrzování**
  - využívá přirozené obousměrné komunikace
  - každý datagram obsahuje malou **potvrzovací sekci**
  - jistá redundance potvrzování, v nouzi „heart-beats“
- **přeposílání** garantovaných zpráv
  - čas je odvozen z RTT
  - **zahlcení kanálu** (hromadí se zprávy) ⇒ panika

Udržování spojení

- UDP spojení by se mělo „**udržovat**“ (nejen kvůli některým aktivním síťovým prvkům)
  - „... čas od času se pošle paket, i když to aplikační vrstva nepotřebuje ..“
  - NAT tabulky zůstanou aktivní
  - přeměří se RTT
  - zlepší se informace o doručených zprávách
- „**heart-beat**“ paket
  - bez uživatelských dat
  - může obsahovat rozšířenou **potvrzovací informaci**
  - maximální **priorita** (měření RTT)

Časově-kritické přenosy (multimedia)

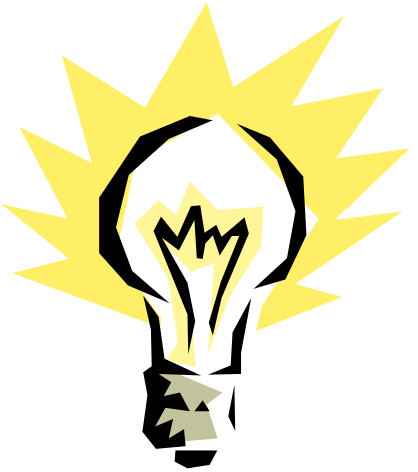
- zprávy mají **vysokou prioritu** (mohou předbíhat), ale nejsou garantované
  - zvláštní vyhražená část pásma ?
  - zvláštní odesílací fronta ? **P2P** ?

- **Voice-over-Net** (VoN)
  - stream rozdělen na nezávislé „frames“ (10-60 ms)
  - synchronní přehrávání, buffering
  - **hlasové kodeky** s vysokou účinností
    - založené na CELP (Code-Excited Linear Prediction)
    - dynamická změna kvality ?

Middleware knihovny

- **Open TNL** (Torque Network Library)
  - původně součástí Torque Game Engine
  - C++, open-source, GPL i komerční licence
  - používá UDP, zprávy i RPC, šifrování
  - typy zpráv: negarant., garant., garant. v pořadí, rychlé
- **ENet**
  - původně pro střílečku „Cube“ (Lee Salzman)
  - C, open-source
  - používá UDP, zprávy
  - typy zpráv: negarant., garant., garant. v pořadí
  - řízení propustnosti kanálu (throttle)

Tipy a triky



Podvádění (cheating)

- obzvlášť hrozí u akčních stříleček
- **aktivní podvody**
  - modifikace kódu klienta
  - **nekonečně** životů/zdraví, munice, zbraní, ..
  - úprava algoritmů (míření, zásahy, vyhledávání nepřátel..)
- **pasivní podvody**
  - odchytávač paketů (**sniffer**) je dekóduje a napovídá hráči
  - na jiném počítači ⇒ nedetekovatelný
  - dost pomůže již dekódování polohy protihráčů
  - obrana: šifrování stavových informací ..

Protiopatření, šifrování

- ochrana binárního kódu aplikace (např. SHA-1)
  - nejde udělat dokonale (podvodný program má celou orignální binárku k dispozici)
  - nelze u open-source

- **šifrování paketů**
  - asymetrické šifrování (i proti pozměňování dat)
  - klíče se mohou přidělovat dynamicky, zabudování MAC adresy..
- co se **nešifruje:**
  - multimediální přenosy (VoN)
  - data, jejichž znalost by nikomu nepomohla

Voice-over-Net (VoN)

- **časově velmi citlivá** komponenta
  - výpadky zvuku jsou dost rušivé
  - real-time techniky („clock-driven replay“)
- **buffering** na straně příjemce
  - rezerva kompenzující jitter a změnu pořadí paketů
  - **celková latence** však nesmí být moc velká (Armstrong)
- efektivní **hlasové kodeky**
  - všechny důležité jsou založeny na CELP (1985)
  - **Speex** od 2 kbps (open-source, umí VBR)
  - ACELP: EFR, **AMR** od 4.8 kbps, **G.729**: 6.4-8-11.8 kbps

Kvalita síťového spojení

- **latence** (delay, RTT) **v ms**
  - neměla by příliš kolísat (→ parametry síťové knihovny)
  - *rychlost světla* ! (teorie bez routerů: RTT < 133ms)
- **ztrátovost** (packet loss) **v procentech**
  - UDP nezaručuje doručení datagramu
  - příliš velká ⇒ až panika síťového kanálu
- **„těžko na cvičišti …“**
  - testovat síťový provoz na *výstředních zapojeních*
    - 1Gbit Ethernet, ADSL 8Mbit proti modemu V.90 (56Kbit)
  - počítat spíš s horšími podmínkami (ale umět využít dobré)
  - **emulátor nekvalitní sítě**

Technické poznámky

- **určení MTU** pro konkrétní spojení
  - dnes se již málo používá dial-up (MTU < 600 byte)
  - rozumné počáteční nastavení = **1400 byte**
    - při fragmentaci postupně zmenšuji („pokus-omyl“)
- **kolik portů** používat pro UDP příjem?
  - více portů ⇒ mohu zvýšit kapacitu (více bufferů)
  - méně portů ⇒ menší režie v OS, snadněji se hledají
- **přijímající smyčka** v middleware
  - používat **select()** nebo **poll()**
  - **zvláštní vlákno** (synchronizace) nebo zabudování do simulační smyčky ?

Zdroje

- ***Good multiplayer game programming tutorials?***
  http://forums.indiegamer.com/showthread.php?t=8705
- ***Multiplayer and Networking***,
  http://www.gamedev.net/reference/list.asp?categoryid=30
- ***Introduction to Multiplayer Game Programming***,
  Brian Hook,
  http://trac.bookofhook.com/bookofhook/trac.cgi/wiki/IntroductionToMultiplayerGameProgramming
- ***The Quake3 Networking Model***, Brian Hook,
  http://trac.bookofhook.com/bookofhook/trac.cgi/wiki/Quake3Networking

Zdroje

- ***Latency Compensating Methods in Client/Server In-game Protocol Design and Optimisation***, Yahn W. Bernier, Valve Software
- ***Source Multiplayer* Networking**, http*://developer.valvesoftware.com/wiki/Source_Multiplayer_Networking*
- ***Beej's Guide to Network Programming***, Using Internet Sockets, http://beej.us/guide/bgnet/
- ***STUN - Simple Traversal of UDP Through NATs***, RFC 3489

Zdroje

- ***OpenTNL Library***, http://www.opentnl.org/
- ***ENet Library***, http://enet.bespin.org/
- ***Speex: A Free Codec For Free Speech***, http://speex.org/
- ***Massively Multiplayer Game Development 1 & 2***, Thor Alexander, Charles River Media, 2003 & 2005