

Skript zur Vorlesung  
**Managing and Mining Multiplayer Online Games**  
im Sommersemester 2015

# Kapitel 3: Verteilte Spielerarchitekturen

Skript © 2012 Matthias Schubert

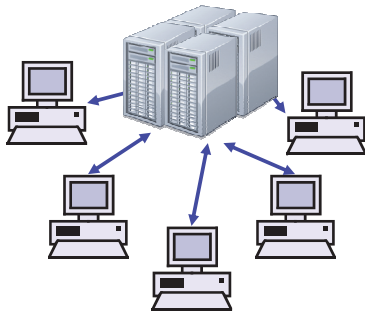
[http://www.dbs.ifi.lmu.de/cms/VO\\_Managing\\_Massive\\_Multiplayer\\_Online\\_Games](http://www.dbs.ifi.lmu.de/cms/VO_Managing_Massive_Multiplayer_Online_Games)

## Kapitelübersicht

---

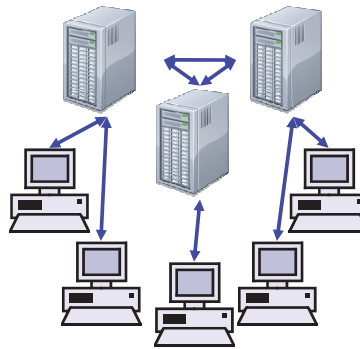
- Architekturmodelle für verteilte Spiele
- Aufteilung der Aktionsverarbeitung
  - Fat-Client vs. Thin-Client
  - Probleme bei zentraler und dezentraler Berechnung
  - Probleme bei lokalen Zeitstempeln
- Räumliche Bewegung und Dead Reckoning
  - Update-Strategien
  - Bewegungsmodelle
  - Fehlerkorrektur
- Netzwerkprotokolle und Spiele
  - typische Netzlast durch Spiele
  - TCP und Spiele
  - UDP und Spiele

# MMOG Architekturen



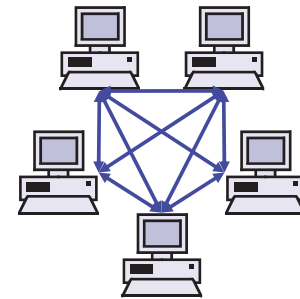
## Client-Server:

- Betreiber hostet das Spiel in einem Rechenzentrum
- Spielclient und Server haben unterschiedliche Software
- zentrale Lösungen für:
  - Accountverwaltung
  - Aufteilung der Spielwelt
  - Monitoring
  - Persistenz



## Multi-Server:

- mehrere Serverlokalitäten
- Redundante Datenhaltung
- Netzwerkdistanz zwischen Client-Server i.d.R. kürzer
- dynamische Lösungen:
  - Replikation
  - Proxy-Server



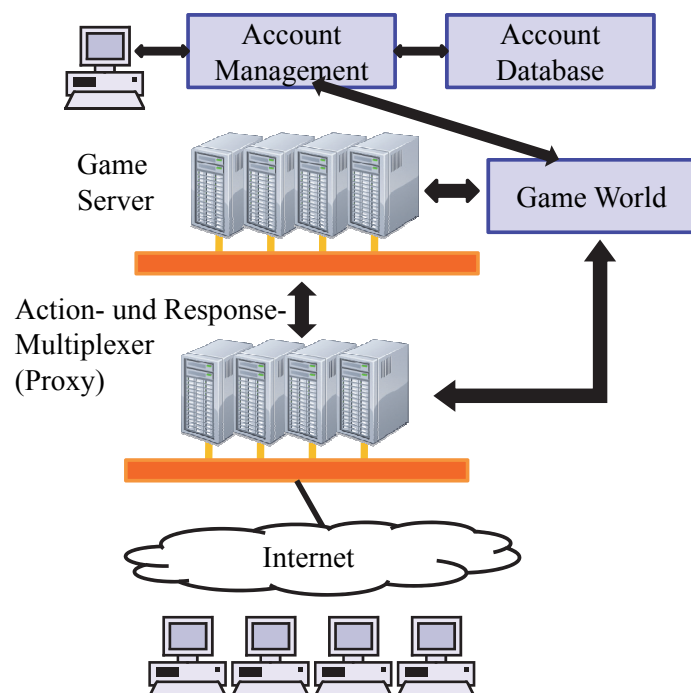
## Peer-to-Peer:

- keine expliziten Server
- Datenaustausch zwischen benachbarten Peers
- jedes Peer hostet einen Teil der Spielwelt
- Aufteilung der Spielwelt ist dynamisch organisiert

3

# Client-Server-Architektur im Detail

- Hosting in einem Rechenzentrum
- mehrere Game Server teilen sich den Game State eines Realms
  - Zonen.Shards/Realms, Instanzen
  - strikte Trennung der Zonen
  - Seamless Aufteilung (Kommunikation zwischen den einzelnen Servern)
- Es gibt eigene Dienste zur Authentifizierung/Accountverwaltung
- Action- und Response-Multiplexer (Proxy) können die Game Server entlasten, indem sie bestimmte Aufgaben des Servers übernehmen



4

# Aufteilung des Game Cores in verteilten Systemen

---

## Design-Entscheidungen:

- Welche Arten von Teilnehmern (Peers) gibt es?
- Was tauschen die einzelnen Peers miteinander aus? (Aktionen, Objektzustände, Benutzereingaben, ...)
- Wer darf welchen Teil lesen und wer darf auch schreiben?
- Wie wird die Last über die vorhandenen Peers umverteilt?
- Wie synchronisiert man die Zeit zwischen den einzelnen Peers?

5

## Protokollinhalte

---

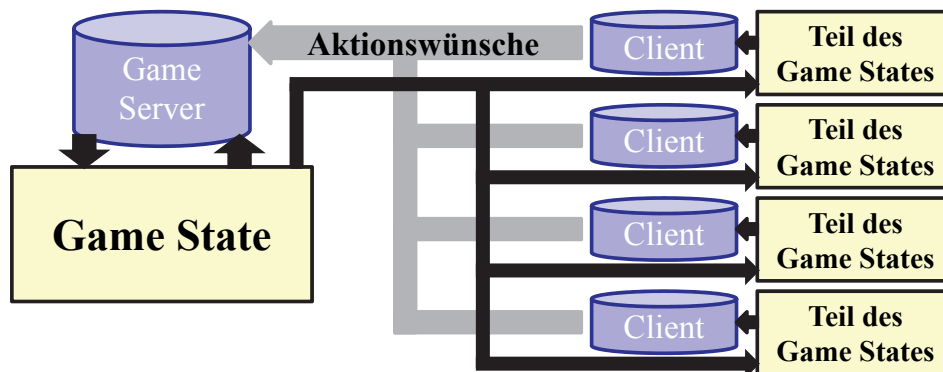
- **Objektattribute: (Action Result Protocol)**
  - Protokoll setzt aktuelle Parameterwerte einer Game Entity (Setze HP von Spieler „Facemelt0r“ auf 96)
  - Protokoll versendet relative Änderungen (Reduziere HP von Spieler „Facemelt0r“ um 100)
- **Aktionen: (Action Request Protocol)**
  - Enthält nur Spielereingabe hat aber keine direkte Auswirkung auf den Game State
  - Protokoll übermittelt nur Benutzereingaben  
=> Ergebnisse müssen am Server berechnet werden  
(Versuche Spieler „Facemelt0r“ mit „Aufwärtshacken“ zu schlagen)

6

# Reine Thin-Client Lösung

---

- Server hält gesamten Game State und darf als einziger GEs ändern
- Clients bekommen einen Teil des Game States beim Einloggen übermittelt
- Der Server schickt Änderungen der GE an die Clients weiter
- Der Client schickt dem Server Aktionen, die er gerne ausführen möchte (Action Requests)
- Der Server sammelt alle eintreffenden Aktionen der Clients
- Die Aktionen werden in der Reihenfolge ihres Eintreffens verarbeitet und der Server schickt das Ergebnis an die betroffenen Clients



7

# Reine Thin-Client Lösung

---

## Vorteile:

- Game State wird zentral verwaltet
  - Konsistenter Game State zur Berechnung der Aktionsergebnisse
  - Keine Konflikte durch mehrere widersprüchliche Game States
  - Persistenz-System kann konsistente Spielstände sichern
- Geringes Cheat-Potential / Aktionsverarbeitung nur auf dem Server

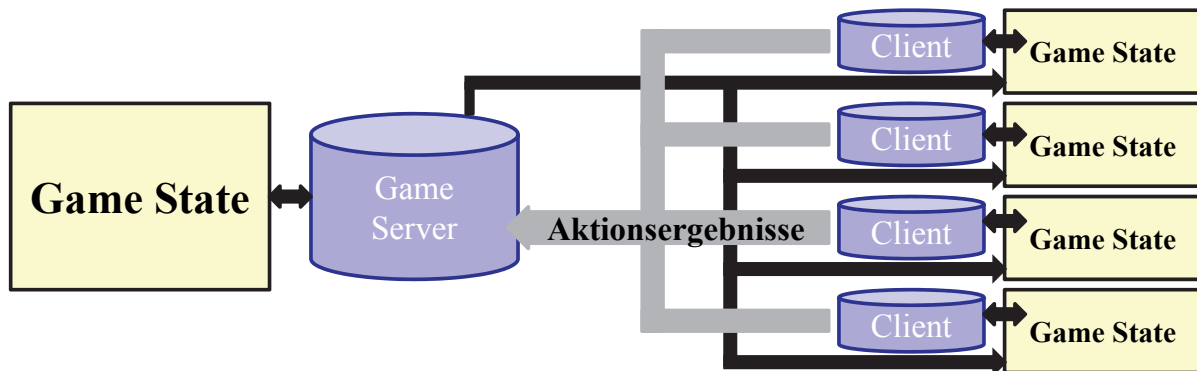
## Nachteile:

- max. Serverlast, da komplette Aktionsverarbeitung server-seitig ist
- Potential für hohe Latenz-Zeiten (Handlungen müssen zum Server und zurück bevor sie Wirkung zeigen können)
- Rechenleistung auf dem Client bleibt weitgehend ungenutzt  
(Client stellt nur das Abbild des Game States dar und leitet die Benutzereingaben an den Server weiter)

8

# Reine Fat-Client Lösung

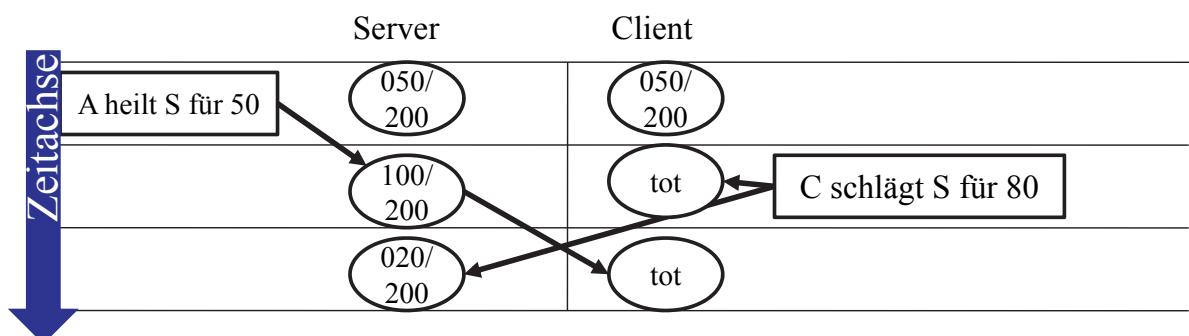
- Jeder Client hat eigene Objekte, die nur er ändern darf
- Server regelt die zeitliche Reihenfolge über Timestamps und verschickt Änderungen an die anderen Clients
- Lokale Game States können durch Übertragungsverzögerungen variieren
- Zeitliche Reihenfolge kann inkonsistent sein, da lokale Änderungen vor globalen mit niedrigerem Zeitstempel verarbeitet werden können



9

# Konflikte bei dezentraler Berechnung

- Lokale Änderungen brauchen Zeit bis sie im Netzwerk verteilt werden
- Aktionen werden auf lokalen Spielständen berechnet und dort ausgeführt  
=> Änderungen, die vor der eigenen Aktion passiert sind, werden evtl. nicht berücksichtigt
- Einfache Lösungen:
  - Client darf nicht lokal ändern, lokale Änderungen werden erst nach Rücksendung des Servers ausgeführt.
  - Bei Objektprotokollen kann der Server ein Update des aktuellen Standes der Entities verschicken.

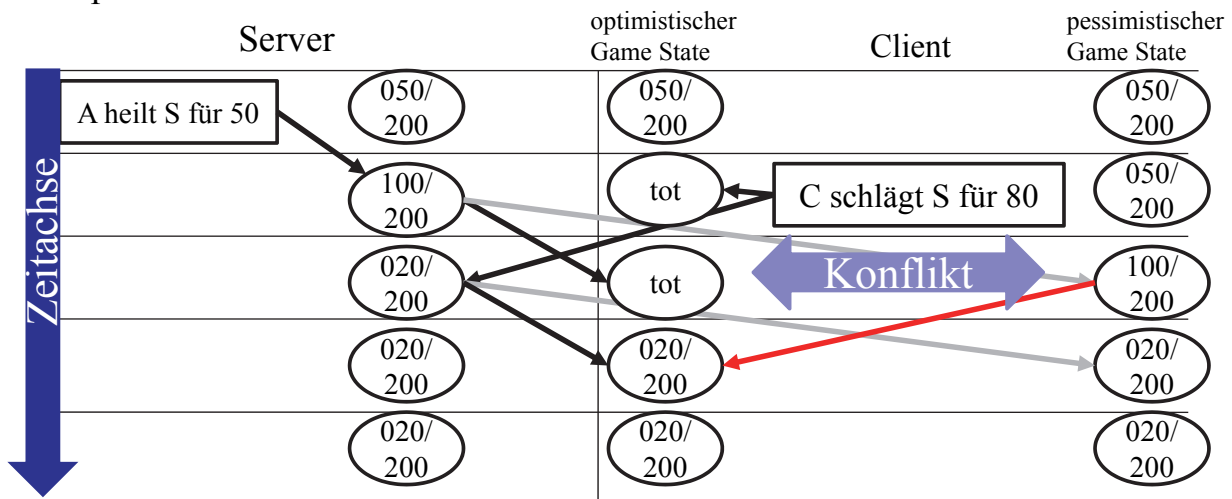


10

# Lösungsansatz

## Rücksetzen der lokalen Aktion

- Client besitzt 2 Game States:
  - optimistischer GS (enthält lokale Änderung)
  - pessimistischer GS (enthält die vom Server geschickten Aktionen)
- Bei Unterschied: Rücksetzen des optimistischen GS auf den Stand des pessimistischen GS

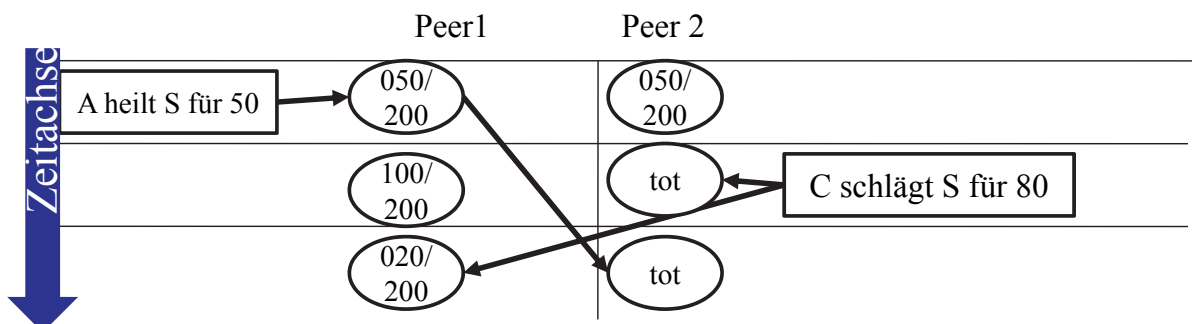


11

# Lokale Zeit

## Bisher: 1 Server regelt die Verarbeitungsreihenfolge

- nicht möglich in P2P Spielen und bei mehreren Servern
  - => Ordnung nach Eintreffen beim Server nicht mehr eindeutig
  - => Ordnung nach lokalen Zeitstempeln bei Erzeugung
- bei Verarbeitung können nicht nur eigene, sondern auch fremde Änderungen in der falschen Reihenfolge auftreten
- Bei Inkonsistenzen können Game Entities synchronisiert werden



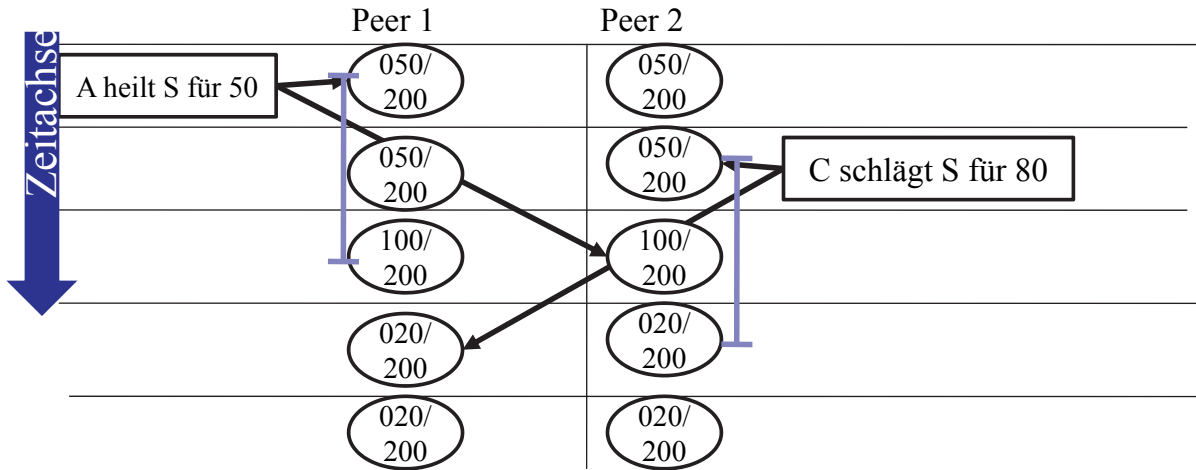
12

# Lösung mit Lag-Mechanismus

Problem entsteht durch Unkenntnis aller vorherigen Aktionen

**Lösung:** Lag-Mechanismus

- Änderungen werden verzögert ausgeführt, um anderen Aktionen Zeit zu geben noch einzutreffen
- Falls dieses Zeitfenster überschritten wird, ist Konflikterkennung und Rücksetzen notwendig



13

## Anwendungen in Spielen

Spiele können mehrere Lösungsansätze kombinieren, indem sie Aktionen unterschiedlich verarbeiten lassen.

Server-seitige Verarbeitung	Client-seitige Verarbeitung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Korrektheit ist entscheidend</li> <li>• Antwortzeit weniger wichtig</li> <li>• zeitliche Abfolge ist wichtig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antwortzeit ist entscheidend</li> <li>• Synchronisation und Reihenfolge sind weniger wichtig</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaden und Heilung</li> <li>• Aufheben von Gegenständen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewegungs- und Positionsdaten</li> <li>• Animationen und andere Darstellungseffekte</li> </ul>

**Fazit:**

- Generell existiert ein Trade-Off zwischen Latenz-Zeit (hier Antwortzeit des Spiels) und Konsistenz der Spielwelt.
- ein weiterer Aspekt ist die Reduktion von Änderungsübertragungen zur Reduktion der benutzten Bandbreite.

14

# Bewegungsinformationen

---

Bewegungs-Updates haben eine spezielle Rolle in verteilten virtuellen Umgebungen

- Flüssige Bewegung
  - ⇒ Position kann sich bis zu mehrere Male pro Sekunde ändern (24-60 FPS)
  - ⇒ Berechnung sollte eng mit dem Rendering verknüpft sein
  - ⇒ Bei Gleichbehandlung von Bewegung und anderen Aktionen würde die Animation stark leiden
- Exakte Positionen sind zum Großteil nicht relevant für das Spielgeschehen:
  - Durch die hohe Update-Rate ist der Verlust mehrerer Positions-Updates meist marginal

## Folgen:

- Bewegungen in Real-Time Spielen werden überwiegend lokal auf dem Client berechnet
  - Folgen von exakten Positionen werden nicht an weitere Peers übertragen, um Bandbreite zu sparen
  - Bewegungen werden lokal extrapoliert und zu bestimmten Zeit werden die Positionen synchronisiert
- ⇒ **Dead Reckoning:** Simulation der Bewegung zwischen zwei Updates, um flüssige Bewegungen unter begrenzter Bandbreite zu ermöglichen.

15

# Dead Reckoning

---

## Komponenten zur Umsetzung:

- Update-Strategie auf dem Besitzer der GE:  
Wann werden Positionsinformationen gesendet und wie häufig?  
(Beeinflusst Bandbreite und Fehlerrate auf dem Client)
- Bewegungsmodell auf dem Remote Peer:  
Wie wird die Bewegung zwischen 2 Updates extrapoliert?  
(beeinflusst Fehlerrate und Wahrnehmung der Bewegung auf dem Client)
- Fehlerkorrektur auf dem Remote Peer:  
Wie werden die geschätzte und die übermittelte Position wieder zusammengeführt?  
(beeinflusst Wahrnehmung auf dem Client)

⇒ **Es existiert ein Trade-Off zwischen :**

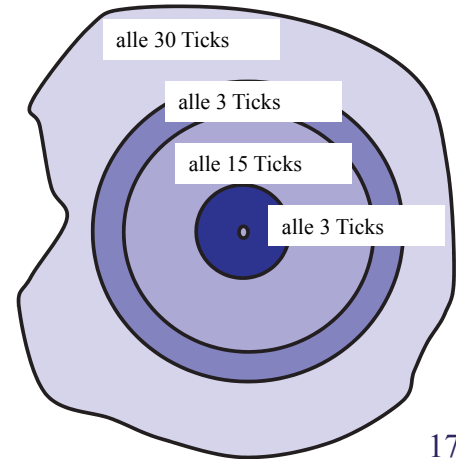
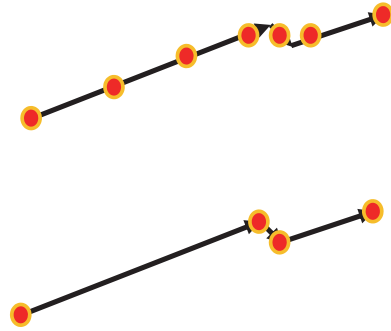
- Bandbreite und Fehlerrate
- Wahrnehmung und Rechenzeit

16



# Update-Strategien für Dead Reckoning

- Regelmäßige Updates:
  - Sende Updates in regelmäßigen Abständen
- Event-basierte Updates:
  - Sende Update bei Änderungen der Bewegungsrichtung oder Art
- Distanzbasierte-Updates:
  - exakte Positionen sind wichtiger je näher ein Objekt ist
  - je näher das Objekt an einer kritischen Reichweite ist
  - übermitteln regelmäßiger Updates, aber mit unterschiedlichen Raten je nach Abstand.



17

# Bewegungsmodelle für Dead Reckoning

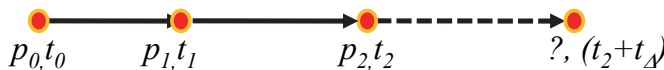
Zeitpunkt:  $t_i$  Position:  $p(t_i) = (x_i, y_i)$  Durchschnittsgeschwindigkeit:  $v(t_i)$  Beschleunigung:  $a(t_i)$

Lineare Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit:



$$p(t_1 + t_\Delta) = p(t_1) + \underbrace{\frac{p(t_1) - p(t_0)}{\|p(t_1) - p(t_0)\|}}_{\text{Richtung}} \cdot t_\Delta \cdot \underbrace{\frac{\|p(t_1) - p(t_0)\|}{(t_1 - t_0)}}_{\text{Geschwindigkeit}} = \boxed{p(t_1) + t_\Delta \cdot \frac{p(t_1) - p(t_0)}{(t_1 - t_0)}}$$

Lineare Bewegung mit konstanter Beschleunigung:



$$v(t_2 + t_\Delta) = v(t_2) + t_\Delta \cdot \frac{v(t_2) - v(t_1)}{(t_2 - t_1)} = v(t_2) + t_\Delta \cdot \frac{\frac{\|p(t_2) - p(t_1)\|}{(t_2 - t_1)} - \frac{\|p(t_1) - p(t_0)\|}{(t_1 - t_0)}}{(t_2 - t_1)}$$

$$p(t_2 + t_\Delta) = p(t_2) + t_\Delta \cdot v(t_2 + t_\Delta) \cdot \frac{p(t_2) - p(t_1)}{\|p(t_2) - p(t_1)\|}$$

18

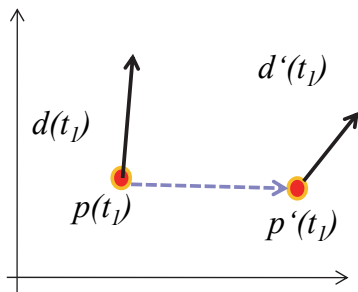
# Fehlerkorrektur für Dead Reckoning

Problemvorhersage und Update stimmen nicht überein.

- Objekt auf dem Remote-Peer wird durch Update überschrieben

Bei hoher Fehlerrate:

- Objekte springen
- Objekte verschwinden und tauchen woanders wieder auf



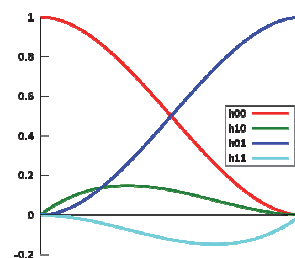
- Beide Positionen werden mit einer beschleunigten Bewegung flüssig zusammengeführt:
  - z.B. kubische Polynome: Bezier, B-Splines, Hermite
  - hierbei muss eine gewisse Korrekturzeit  $\Delta t$  eingeplant werden

19

# Hermite Kurven zur polynomiellen Glättung

Vier Basispolynome:

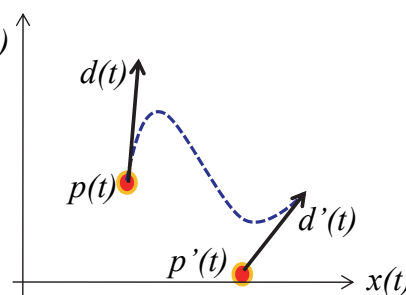
- $h1(x) = 2x^3 - 3x^2 + 1$
- $h2(x) = -2x^3 + 3x^2$
- $h3(x) = x^3 - 2x^2 + x$
- $h4(x) = x^3 - x^2$



Verbindung der Punkte  $p$  und  $p' + d'$  über folgende Linearkombination

$$p(x) = p(t) h1(x) + p'(t + \Delta t) h2(x) + d(t) h3(x) + d'(t) h4(x) \quad (0 \leq x \leq 1)$$

- Position:  $p(t)$  durch Dead Reckoning
- Bewegungsvektor:  $d(t)$  durch Dead Reckoning
- Ziel:  $p'(t + \Delta t)$  durch Server-Update
- Wobei  $p'(t + \Delta t) = p'(t) + d'(t)$  die durch Server-Update erwartete Position zum Zeitpunkt  $t + \Delta t$  ist
- $\Delta t$  Zeit für die Korrektur (Kompensation durch höhere Geschwindigkeit)



20

# Überlegungen zur Client-Server Kommunikation

## Wichtige Einflussfaktoren

- **Latenz-Zeit:** Zeit bis das System reagiert
  - Round Trip Time (RTT)
  - Paketgröße
  - Systemlast außerhalb des Netzwerks
- **Bandbreite:** Wie hoch ist das Übertragungsvolumen?
- **Burstiness:** Wie verteilt sich das Datenvolumen über die Zeit?
- **Verbindungsorientierung/Paketorientierte Protokolle**
  - Verbindungsorientiert: Wegwahl findet 1 Mal statt
  - Paketorientiert: Routing findet pro Paket statt
- **Sicherheit:** Ist Datenverlust möglich?

21

## Anforderungen von Computerspielen

application/platform	payload size (bytes)			avg. bandwidth requirement	
	avg.	min	max	pps	bps
Anarchy Online(PC)‡	98	8	1333	1.582	2168
World of Warcraft (PC)	26	6	1228	3.185	2046
Counter Strike (PC)	36	25	1342	8.064	19604
Halo 3	247	32	1264	27.778	60223
Gears of War (XBOX 360)	66	32	705	2.188	10264
Tony Hawk's Project 8 (XBOX 360)	90	32	576	3.247	5812
Test Unlimited (XBOX 360)	80	34	104	25	22912

aus: Harcsik, Petlund, Griwodz, Halvorsen: Latency Evaluation of Networking Mechanisms for Game Traffic, NetGames'07, 2007

- geringe Paketgrößen
- wenig Bandbreite ist erforderlich
- Latenz-Zeiten für Genres:
  - RTS-Spiele: <1000 ms
  - RPG: < 500 ms
  - FPS: < 100 ms(Geschätzte Latenz ab der eine Beeinträchtigung des Spielerlebnisses beobachtet wird)

22

# Protokolle und Kommunikationslösungen

---

## TCP/IP:

- sicheres Protokoll: über Neuübertragung
- Flusskontrolle und Congestion Control
- optimiert auf gute Ausnutzung der Bandbreite und Übertragung von Dateien (senden großer Pakete zur Reduktion der übertragenen TCP-Header)

## Nachteile:

- Pakete können stark verspätet eintreffen (Neuübertragung)
  - => Latenz-Zeit leidet
  - => Paket wird teils nicht mehr benötigt, da neuere Informationen bereits übermittelt wurden
- Mechanismen zur Optimierung der Bandbreite erhöhen die Latenz künstlich
  - Warten auf Payload bei Paketunterfüllung
  - Bestätigungspakete bestätigen gleich mehrere Sendungen oder werden in den Rückverkehr eingebettet

Optimierung durch ausschalten von Features und Tuning

23

# Protokolle und Kommunikationslösungen

---

## UDP

- minimaler Datagramm Dienst
- keine explizite Verbindung zur Gegenstelle
- unsichere Übertragung, keine Reihenfolgengarantie
- keine Congestion Control Mechanismen

## Vorteile:

- keine Neuübertragung bei Paketverlust
  - => kein Nachsenden veralteter Informationen
- wenig Header-Overhead

## Anwendung:

- dient als Grundlage von Middleware-Lösungen die fehlende Service-Merkmale auf der nächsten Protokollschicht implementieren:
  - Reihenfolgenerhalt
  - Sicherheit für bestimmte Meldungen (z.B. Inbesitznahme von Gegenständen, ...)

24

# Fazit Netzwerkprotokolle

---

- TCP/IP bleibt das am meisten verwendete Protokoll, da Infrastruktur und Router gut damit zurechtkommen
- UDP bietet eine kosteneffiziente Lösung für just-in-time Dienste (Sprache, Bewegungsdaten, ...)
- Sichere Dienste sind aber für die meisten Spiele unabdingbar und müssen dann auf der Anwendungsschicht des Protokolls umgesetzt werden
- Es gibt Untersuchungen zu anderen Protokollen (z.B. SCTP), die keine entscheidenden Performanzgewinne nachweisen konnten
- MMORPGs (z.B. World of Warcraft) verwenden TCP für ihre Kommunikation

25

# Lernziele

---

- Client-Server und P2P Architekturen für Spiele
- Aufteilung der Aktionsverwaltung:
  - globale Verarbeitung
  - lokale Verarbeitung mit zentraler zeitlicher Ordnung
  - lokale Verarbeitung mit lokaler zeitlicher Ordnung
- Dead Reckoning
  - Update-Strategien
  - Bewegungsmodelle
  - Fehlerkorrektur
- Anforderungen von Spielen an Transportprotokolle
  - TCP und Spiele
  - UDP, Middleware und Spiele

26

# Literatur

---

- N. Gupta, A. Demers, J. Gehrke, P. Unterbrunner, W. White  
**Scalability for virtual worlds**  
In Data Engineering, 2009. ICDE'09. IEEE 25th International Conference on, 2009.
- Jens Müller, Andreas Gössling, Sergei Gorlatch  
**On correctness of scalable multi-server state replication in online games**  
In Network and System Support for Games (NETGAMES'06), 2006.
- Jouni Smed, Timo Kaukoranta, Harri Hakonen  
**A Review on Networking and Multiplayer Computer Games**  
In IN MULTIPLAYER COMPUTER GAMES, PROC. INT. CONF. ON APPLICATION AND DEVELOPMENT OF COMPUTER GAMES IN THE 21ST CENTURY, 2002.
- S. Harsik, A. Petlund, C. Griwodz, P. Halvorsen  
**Latency evaluation of networking mechanisms for game traffic**  
In Proceedings of the 6th ACM SIGCOMM workshop on Network and system support for games, 2007.