

Satellitenkommunikation

Gliederung

1. Motivation (Abgrenzung zu GSM)
2. Grundlagen von Satellitensystemen
Infrastruktur von Satellitensystemen
Anwendungen
Satellitenorbits (GEO, LEO, MEO, HEO)
Frequenzbänder
3. Lokalisierung
im terrestrischen Netz (GSM)
im satellitengestützten Netz (Beispiel)
4. Verbindungsübergabe
Verschiedene Übergabearten
Initiierung der Verbindungsübergabe
Realisierung der Verbindungsübergabe
5. TCP/IP über Satelliten
6. Ausblick

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

1

Satellitenkommunikation

Motivation

- Mobile Netze terrestrische Netze haben in den letzten Jahren den Markt erobert (GSM, UMTS, ...)
- Mobile Endgeräte geben den Nutzern mehr Freiheit und Sicherheit
- Jedoch ist der Bau terrestrischer Netze von der Umgebung abhängig
Der Aufbau und Unterhalt von Antennen ist teuer
- In schlecht erreichbaren oder infrastrukturiell schwachen Gebieten ist der Einsatz eines terrestrischen Mobilfunksystems nahezu unmöglich

Lösung: Ein mobiles Satellitensystem !

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

2

Satellitenkommunikation

2. Grundlagen

Chronologie ausgewählter Satellitensysteme:

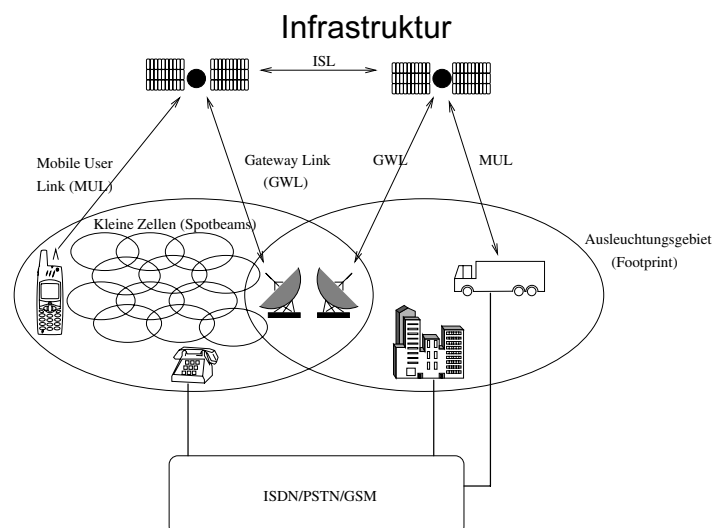
- 1957: Erster sowjetischer Satellit Sputnik
- 1960: Erster amerikanischer Satellit Echo
- 1963: Erster geostationärer Satellit Syncom
- 1965: Erster kommerzieller Nachrichtensatellit INTELSAT 1 („Early Bird“)
- 1967: INTELSAT 2
- 1969: INTELSAT 3
- 1982: INMARSAT A (Erstes mobiles Satellitensystem)
- 1988: INMARSAT C (Erstes ziviles mobiles Satellitensystem)
- 1993: INMARSAT M (Erstes digitales Satellitensystem)
- 1998: IRIDIUM (Erstes globales Satellitentelefonssystem)

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

3

Satellitenkommunikation



20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

4

Satellitenkommunikation

Anwendungen

Traditionell:

- Wettersatelliten
- Rundfunk- und Fernsehsatelliten
- Militärische Dienste
- Satelliten zur Navigation und Ortung

Telekommunikation:

- Weltweite Mobilkommunikation
- Location – based Services

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

5

Satellitenkommunikation

Satellitenorbits

Physikalische Aspekte

Satelliten kreisen in einem bestimmte Abstand zur Erde.
Diese Umlaufbahnen sind kreisförmig oder elliptisch.

Die Satelliten befinden sich in einer stabilen Bahn, wenn $F_g = F_z$
mit $F_g = \text{Anziehungskraft}$ und $F_z = \text{Fliehkraft}$.

$$\text{mit } F_g = m \cdot g \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^2 \quad F_z = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad \Rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{g \cdot R^2}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2}}$$

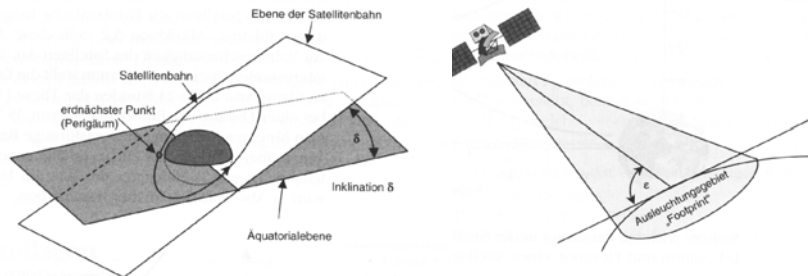
Daraus resultiert, dass der Abstand Erde-Satellit unabhängig von der Masse des Satelliten ist, und nur von der Umlaufdauer, also der Geschwindigkeit, abhängt.

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

6

Satellitenkommunikation



Eine höhere Elevation ist vorteilhaft, da dadurch eine geringere Abschattung durch Hindernisse entsteht.

Abschwächungen von Signalen sind ausserdem auch von der Entfernung zwischen Empfänger und Satellit, und den atmosphärischen Bedingungen abhängig.

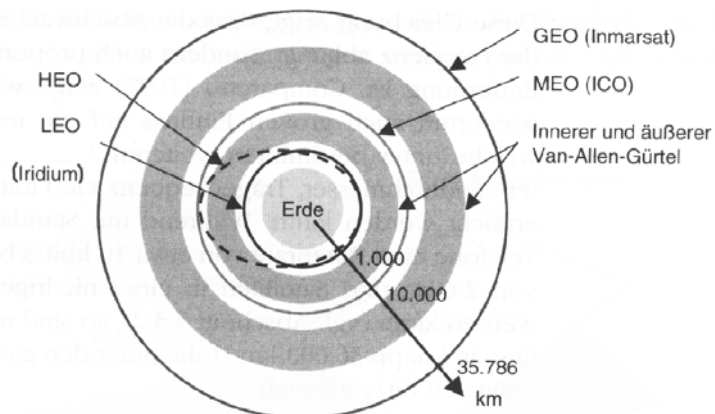
20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

7

Satellitenkommunikation

Umlaufbahnen



20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

8

Satellitenkommunikation

Geostationäre Satellitensysteme (GEO)

- Drehrichtung entsprechend der Erdrotation
- Umlaufdauer eines Satelliten beträgt 24 Stunden
=> feste Position am Himmel
- Entfernung zur Erdoberfläche beträgt 35786 km
- Kreist auf der Äquatorialebene => Inklination ist 0 Grad

Vorteile

- Antennen müssen nur einmal ausgerichtet werden
- 3 Satelliten reichen für eine weltweite Abdeckung
- Wenige Verbindungsübergaben
- Hohe Lebenserwartung

Nachteile

- Nicht geeignet für batterie-gestützte Endgeräte, da eine Sendeleistung von 10 Watt erforderlich wäre
- Hohe Distanz führt zu hohen Laufzeiten von 250 ms

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

9

Satellitenkommunikation

Beispiel für GEO

INMARSAT

- Erstes globales mobiles Kommunikationssystem
- 4 Betriebssatelliten
- 7 Reservesatelliten
- Dienste wie, Telefon, Telefax, Telex, Daten- und Mailboxverbindungen
- Endgeräte haben Größe eines Aktenkoffers
- Lebensdauer 15 Jahre

Weitere Beispiele:

TV und Radio – broadcast (Eutelsat, Intelsat, Astra)

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

10

Satellitenkommunikation

Satelliten auf mittleren Umlaufbahnen (MEO)

- Höhe beträgt ca. 5000 km bis 20000 km
- Umlaufdauer beträgt 6 Stunden

Vorteile

- Ca. 10 - 15 Satelliten für eine weltweite Abdeckung nötig
- Dadurch relativ wenige Verbindungsübergaben

Nachteile

- Hohe Sendeleistung nötig. Somit nicht für mobile Endgeräte geeignet
- Relativ hohe Signallaufzeiten (125 ms)

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

11

Satellitenkommunikation

Beispiel für MEO

ICO

- 1994 von INMARSAT gegründetes Kommunikationssystem
- 10 Satelliten
- 2 Reservesatelliten
- Dienste wie, Fax, Daten, Sprache, Internetverbindungen
- Bahnhöhe beträgt 10355 km
- Umlaufdauer 5,5 Stunden
- Lebensdauer 12 Jahre

Das System ging in Konkurs und wird zur Zeit als NEW ICO wieder in Betrieb gehen.

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

12

Satellitenkommunikation

Niedrig fliegende Satellitensysteme (LEO)

- Höhe beträgt 600 km bis 1000 km
- Umlaufdauer liegt zwischen 95 min und 120 min

Vorteile

- Niedrige Sendeleistung von 1 Watt, somit geeignet für kleine mobile Endgeräte
- Geringe Signallaufzeiten von 10 ms
- Hohe Elevation in Polarregionen
- Frequenzen können durch kleinere Ausleuchtungsgebiete flexibler verwendet werden

Nachteile

- Mindestens 50 – 100 Satelliten für eine weltweite Abdeckung nötig
- Hohe Anzahl von Verbindungsübergaben
- Komplexe Systeme
- Niedrige Lebensdauer 5 – 8 Jahre
- Teure Systembetreuung

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

13

Satellitenkommunikation

Beispiel für LEO

Iridium

- Erstes digitales, zellulares und satellitengestütztes Mobilfunksystem
- 66 Satelliten auf polaren Umlaufbahnen (11 pro Orbit)
- 6 Reservesatelliten
- Höhe beträgt 780 km
- Umlaufdauer beträgt 1,5 bis 2 Stunden
- Erstes ISL fähige System
- Lebensdauer 5 – 8 Jahre

Durch zu niedrige Teilnehmerzahlen ging Iridium im Jahr 2000 in Konkurs. Eine Auffanggesellschaft startete das System 2001 neu.

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

14

Satellitenkommunikation

Elliptische Umlaufbahnen (HEO)

- Nicht mit den anderen Bahnen zu vergleichen
- Im Perigäum wenige 100 km Entfernung zur Erde
- Im Apogäum fast die Höhe von geostationären Satelliten
- Gute Oberflächenabdeckung

Diese Satelliten besitzen Vorteile von Satelliten auf LEO.

Beispiel für HEO

Ellipso – Borealis

- 10 Satelliten auf 2 verschiedenen elliptischen Bahnen
- Perigäum auf 633 km Höhe
- Apogäum auf 7605 km Höhe
- Umlaufdauer 3 Stunden
- Lebensdauer 5 Jahre

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

15

Satellitenkommunikation

Frequenzbänder

Band	Frequenzspektrum	Bandbreite	Benutzung
L	1 – 2 GHz	1 GHz	Mobile Satellitendienste (MS)
S	2 – 4 GHz	2 GHz	MS, NASA, Weltraumforschung
C	4 – 8 GHz	4 GHz	Feste Satellitendienste (FS)
X	8 – 12,5 GHz	4,5 GHz	Militärische FS, Wetter
Ku	12,5 – 18 GHz	5,5 GHz	FS, Rundsendesatelliten (RS)
K	18 – 26,5 GHz	8,5 GHz	RS, FS
Ka	26,5 – 40 GHz	13,5 GHz	FS

Für den Up- und Downlink sind bestimmte Frequenzen reserviert !

20.01.2004

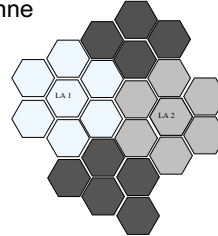
Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

16

Satellitenkommunikation

Lokalisierung im terrestrischen Netz (GSM)

- Aufteilung in Funkzellen, bestehend aus einer Antenne einem Sender, einem Empfänger und einer Verbindung zur nächsten Kontrollstation
- Radius einer Zelle von 100m bis 35km
- Jede Zelle hat best. Kontingent an Frequenzen
- Mehrere aneinanderhängende Zellen ergeben ein Lokalisierungsgebiet (LA)
- Bei Verlassen eines LA wird dem Netz neues LA mitgeteilt
- Bei Verbindungswunsch wird LA ausgelesen und nur innerhalb des aktuellen LA nach dem Teilnehmer gesucht (paging)
- Zellen und LA sind an eine feste geographische Position gebunden



20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

17

Satellitenkommunikation

Lokalisierung in Satellitensystemen

Das Satellitensystem besteht aus:

- Fest installierten Erdstationen (FES)
- Mobile Endgeräte (MT)
- Satelliten (SAT)
- Heimatregister (HLR), mit statistischen Daten und Aufenthaltsort eines MT
- Besucherregister (VLR), mit aktuellem Aufenthaltsort

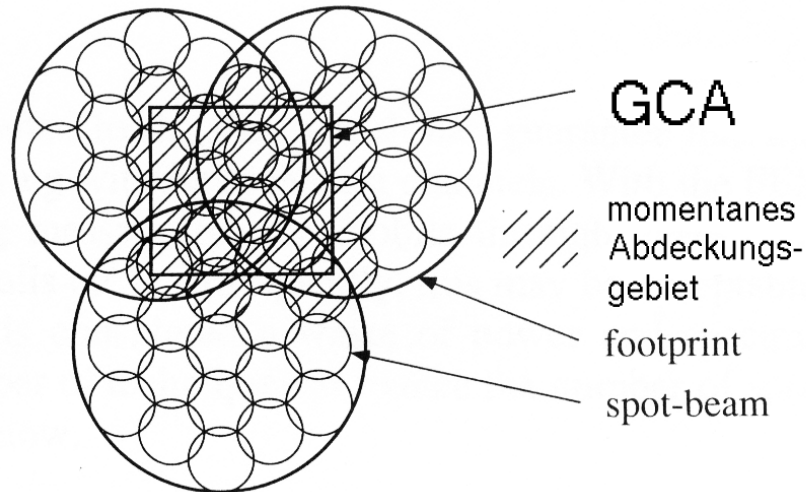
- Ähnlich zu terrestrischen Systemen
- Zellen werden von Satelliten projiziert
- Sind nicht geographisch gebunden
- Einer FES sind mehrere Satelliten zugeordnet
- Im Abdeckungsgebiet einer FES gibt es ein Gebiet, welches zu jedem Zeitpunkt 100 % abgedeckt ist, das „Garantierte Abdeckungsgebiet (GCA)“

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

18

Satellitenkommunikation



20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

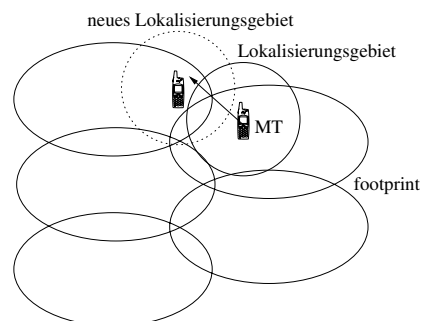
19

Satellitenkommunikation

Strategien von Lokalisierungsgebieten bei SAT

LAs anhand der geographischen Position:

- Genaue Position des MT bekannt (z.B.: durch GPS)
- Es wird ein Radius um das MT gelegt, und als LA definiert
- Alle FES und SAT im Bereich des MT müssen paging ausführen



20.01.2004

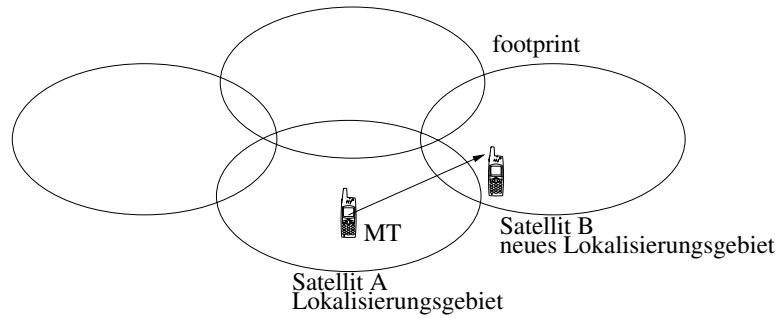
Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

20

Satellitenkommunikation

LAs anhand von Satellitenzellen:

- Footprint als LA, Spotbeams als Zellen
- Bewegt sich über MT hinweg
- Hohe Anzahl von Lokalisierungsupdates



20.01.2004

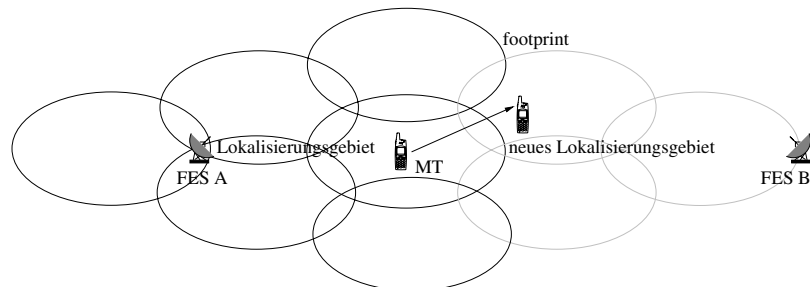
Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

21

Satellitenkommunikation

LAs anhand von FES:

- Lokalisierungsupdate, wenn MT die aktuelle FES verliert
- Kommt mit relativ wenigen Lokalisierungsupdates aus
- Paging über alle Spotbeams aller Satelliten der FES



20.01.2004

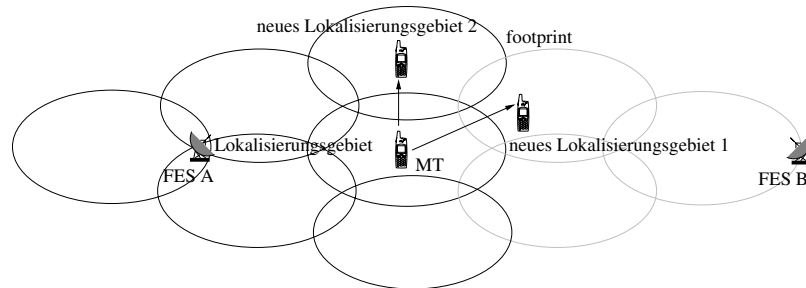
Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

22

Satellitenkommunikation

LAs anhand von Satellitenzellen und FES:

- Hybrid aus den vorangehenden 2 Strategien
- Lokalisierungsupdate bei Verlust der FES oder des SAT
- Keine großen FES Gebiete



20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

23

Satellitenkommunikation

LAs anhand von Satellitenzellen und FES:

- Hybrid aus den vorangehenden 2 Strategien
- Lokalisierungsupdate bei Verlust der FES oder des SAT
- Keine großen FES Gebiete

Intelligent Paging:

- Es werden die Spotbeams gespeichert, in welchen das MT das letzte Mal Kontakt mit dem Netz aufgenommen hat
- Dort wird bei Verbindungswunsch als erstes gesucht
- Danach werden alle Nachbarzellen durchsucht
- usw.

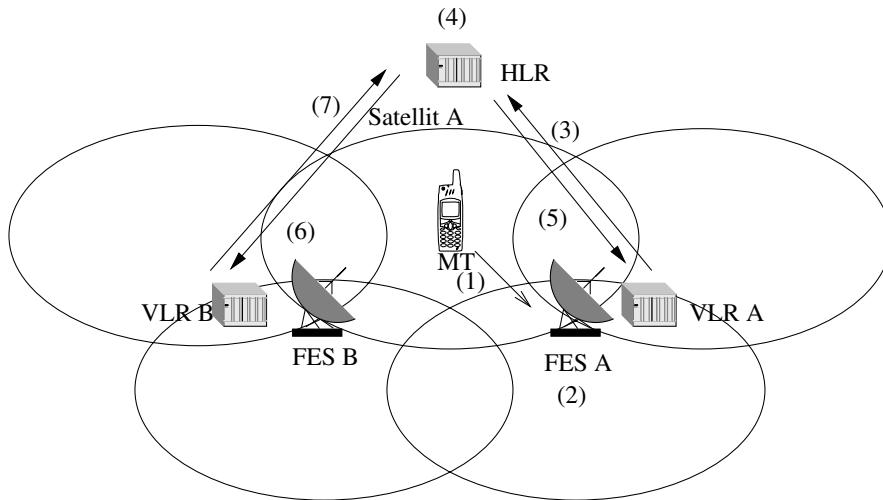
20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

24

Satellitenkommunikation

Lokalisierung anhand eines Beispiels (LEO)

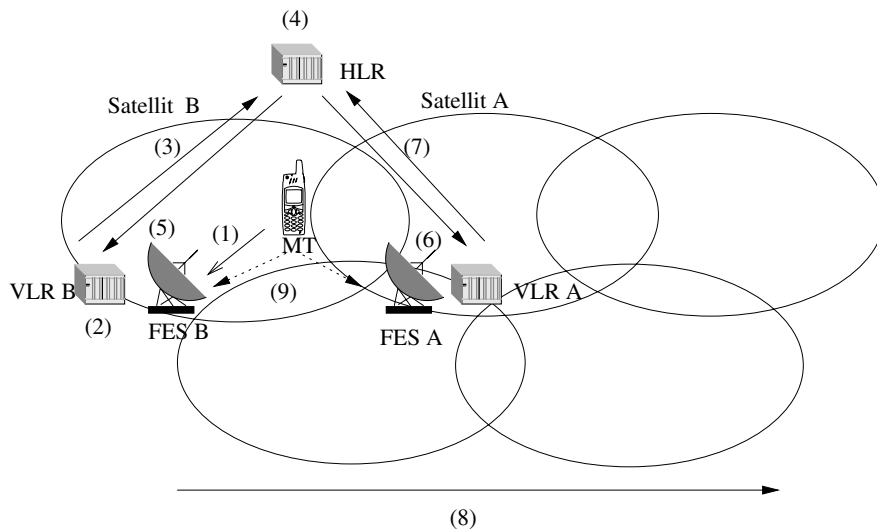


20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

25

Satellitenkommunikation



20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

26

Satellitenkommunikation

Verbindungsübergabe

z.B. Iridium System:

- Ein Satellit umkreist die Erde in 100,13 Minuten
- Geschwindigkeit relativ zur Erde 26804 km/h
- Zelle bzw. Spotbeam hat den Durchmesser von 500 km
- 2 adjazente Zellen überlagern sich zu 10 % also 50 km
- Daraus resultiert eine Zeit von 8 Sekunden in der eine Übergabe stattfinden muss

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

27

Satellitenkommunikation

Übergabearten

Harte Verbindungsübergabe:

Verbindung wird unterbrochen, wenn auf die neue Antenne umgeschaltet wird

Weiche Verbindungsübergabe:

Das MT ist mit mehreren Antennen gleichzeitig verbunden. Erst wenn die neue Verbindung vollständig steht, wird die alte Verbindung unterbrochen

Harte Verbindungsübergabe wird bei FDMA/TDMA benutzt.

Weiche Verbindungsübergabe wird bei CDMA benutzt.

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

28

Satellitenkommunikation

Intra-Satelliten-Übergabe:

Findet statt wenn ein MT sich von einer Zelle eines Satelliten in eine andere Zelle desselben Satelliten bewegt, bzw. der Satellit über das MT hinwegfliegt

Inter-Satelliten-Übergabe:

Findet statt wenn ein MT sich von der letzten Zelle eines Satelliten in eine Andere Zelle eines anderen Satelliten bewegt, bzw. der Satellit über das MT hinwegfliegt

Intra- und Inter-Orbit-Übergabe:

Entspricht der Inter-Satelliten-Übergabe, mit der Ausnahme, dass die Übergabe innerhalb oder zur nächsten Orbitalbahn stattfindet.

Inter-System-Übergabe:

Stellt eine Übergabe von einem Satellitensystem zu einem anderen System z.B. Terrestrischen System dar. **Noch nicht realisierbar !**

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

29

Satellitenkommunikation

Initiierung der Verbindungsübergabe

Initiierung durch MT:

- Das MT führt alle nötigen Messungen (Empfangsstärke des Signals) durch.
- Umschaltung auf neue Frequenz bzw. Code wird von MT durchgeführt
- Wenig Signalisierungsverkehr
- Bandbreite wird gespart

Initiierung durch Netz:

- Messungen werden vom Netz durchgeführt
- Umschaltung wird vom Netz angeordnet
- Viel Signalisierungsverkehr

In Satellitensystemen wird die Initiierung durch das Netz benutzt, weil verschiedenste Berechnungen in relativ kurzer Zeit durchgeführt werden müssen.

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

30

Satellitenkommunikation

Realisierung der Verbindungsübergabe

Blockierung:

Bei der Verbindungsübergabe einer Zelle zu einer Anderen, kann es Vorkommen, dass alle Kanäle der Zielzelle belegt sind (bzw. der Code)

Lösung:

- Verbindungsübergabe mit Warteschlange
Blockierte Verbindungswünsche werden in einer Warteschlange abgearbeitet.
- Verbindungsübergabe mit Schutzkanälen
In jeder Zelle wird eine bestimmte Anzahl an Kanälen für die Verbindungsübergabe reserviert.

Diese Ansätze sind nicht auf SATSysteme anwendbar!

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

31

Satellitenkommunikation

Es müssen zusätzliche Strategien entwickelt werden:

ADCA (Adaptive Dynamic Channel Allocation)

- Anpassung der Strategie „Verbindungsübergabe mit Schutzkanälen“ an Satellitensysteme.
- Schutzkanäle mehrerer nebeneinander liegender Zellen werden dynamisch berechnet.
- Anzahl der zu reservierenden Kanälen der Zielzelle wird aus Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit des MT berechnet.

=> Die genaue Position des MT muss bekannt sein (GPS)

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

32

Satellitenkommunikation

TCP/IP über Satellitensysteme

Probleme bei GEO - System:

- Zu lange Signallaufzeiten
 - Hoher Pfadverlust
 - Höhere Breitengrade werden schlecht abgedeckt
- => Lösung LEO - System

Nachteile von LEO - Systemen:

- Teuer
- Komplex

TCP/IP wurde für fest vernetzte Systeme entwickelt und ist nur mit Modifikationen auf Satellitensysteme anwendbar !

20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

33

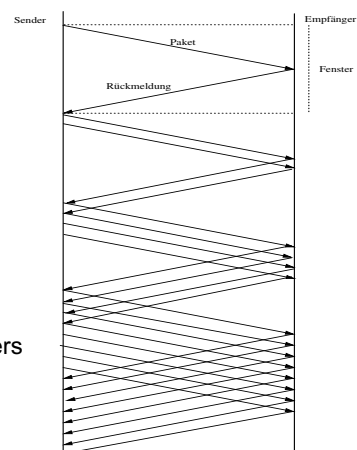
Satellitenkommunikation

Langsam - Start - Phase

- TCP/IP verfügt über eine Langsam-Start-Phase
- Am Anfang der Verbindung wird die Anzahl der unbestätigten Pakete auf 1 gesetzt
- Für jede Bestätigung kann ein Paket mehr gesendet werden

=> exponentielles Wachstum des Paketfensters

- Wird ein bestimmter Wert erreicht ist das Wachstum linear



20.01.2004

Aylin Seval & Markus Hammerschmidt

34

Satellitenkommunikation

Schwierigkeiten bei Satellitensystemen

- Durch hohe Entfernung entstehen hohe Verzögerungen (bis zu 3 sec)
- www Abfrage:
 - Nur wenige Pakete
 - Abfrage ist abgeschlossen bevor die volle Ausnutzung der Bandbreite erreicht wurde

Es müssen Modifikationen am Protokoll durchgeführt werden !

Satellitenkommunikation

Lösungsansätze

- Erhöhung der Größe des Ausgabefensters
- TCP spoofing
- Split TCP
- Schnell-Start

Satellitenkommunikation

Ausblick

- Satellitensysteme gewinnen immer mehr an Wichtigkeit (besonders LEO - Systeme)
- Nicht nur die globale Telekommunikation auch die packetvermittelten Dienste werden immer wichtiger
- Wichtig ist die zusätzliche Bereitstellung von mobilen Diensten in infrastrukturiell schwachen Gebieten
- Preise müssen angepasst werden
- Verschmelzung aller Systeme

Satellitenkommunikation

Vielen Dank

Für die Aufmerksamkeit !!