

Kommunikation in Sensornetzen

Begriffe

Quelle und Senke:

Der Sender wird oft als Quelle, der Empfänger von Nachrichten als Senke bezeichnet. Die Zuordnung dieser Rollen kann sich evtl. dynamisch schnell ändern.

Rahmenzeit bzw. Frame:

Manchmal erfordert die Kommunikation einen Takt, an dem sich Sender und Empfänger orientieren. Z. B. könnten sich Sender darauf einigen in der aktuellen Rahmenzeit zu schweigen, um eine laufende Kommunikation nicht so stören.

Anzahl Hops

Gemeint ist die Anzahl von Teilnehmern die eine Nachricht durchlaufen muss, bis sie zwischen Quelle und Senke ankommt.

ACK

Acknowledgement = Bestätigung, meist dass eine Nachricht richtig angekommen ist.

Routing

Gemeint ist die Weiterleitung eines Paketes, in der mitunter eine Wegewahl-Entscheidung für das Paket enthalten ist.

Begriffe

Einordnung und Motivation

Statische Kanalzuordnung

Dynamische Kanalzuordnung

Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Begriffe

Carrier

Bedeutet Träger. Meist ist eine Trägerfrequenz gemeint. Erst wenn die Trägerfrequenz gehört wird (carrier sense), kann die darauf aufmodulierte Information dekodiert werden.

Idle

Idle = unbeschäftigt. Im Zustand idle will ein Teilnehmer selbst nichts übertragen und hört ggfs. das Medium ab, da unklar ist, wann eine neue Nachricht eintrifft. Im Fall von Sensornetzen sind idle-Zeiten besonders unerwünscht, da sie nur nutzlos Strom kosten.

Begriffe

Einordnung und Motivation

Statische Kanaluordnung

Dynamische Kanaluordnung

Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Einordnung und Motivation: Das (ISO/OSI-Netzwerk-) Schichtenmodell

Anwendungsschicht
Darstellungsschicht
Sitzungsschicht

Transportschicht

Aufgaben innerhalb der Ende-zu-Ende Verbindungen wie Flusststeuerung, Erhaltung der Paketfolge usw. werden übernommen. Einzelne Pakete wurden jedoch bereits von der Netzwerkschicht zugestellt.

Netzwerkschicht

Wie werden Daten-Pakete zwischen entfernten Teilnehmern verschickt, insbesondere geroutet etc.

Sicherungsschicht (Link-Layer)

Wie werden Daten zwischen zwei Knoten/Routern in einer 1-Hop Entfernung verschickt. Auch MAC-Problematik.

Physische Schicht

Spezifikation der Verkabelung, von Trägerfrequenzen usw.

Begriffe

Einordnung und
Motivation

Statische Kanal-
zuordnung

Dynamische
Kanalzuordnung

Fehlerkontrolle

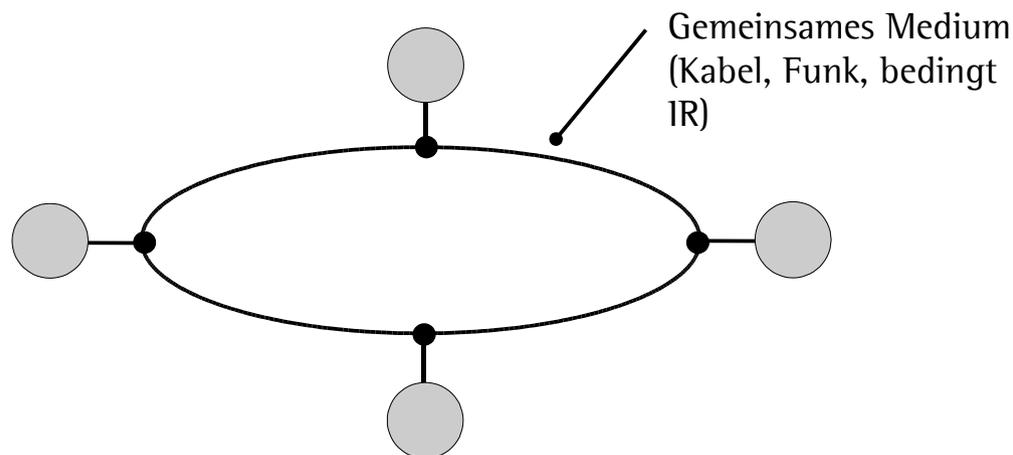
Kommunikation in Sensornetzen

Einordnung und Motivation

Wenn dagegen viele Rechner über einen geteilten Kanal kommunizieren, muss die Vergabe des „Rederechts“ gelöst werden. Dafür gibt es kein Routing-Problem. Beispiel aus der realen Welt:

In Diskussionsrunden sollten Teilnehmer ein exklusives Rederecht besitzen. Oft geschieht die Aushandlung wer reden darf über den „visuellen Kanal“, indem z. B. der Gesprächsleiter einen Redewunsch signalisiert bekommt und entsprechend das Rederecht vergibt. Nicht immer funktioniert die Zugangskontrolle zum Medium sehr gut (Beisp.: Sabine Christiansen am So. Abend).

Im Rahmen von mobilen ad-hoc Netzen ist das gemeinsame Medium meist ein ganzes Funk-Band (z. B. das ISM-Band im 2,4 GHz Bereich). Viele Sensorknoten nutzen dagegen nur eine einzelne Frequenz oder Infrarot-Signale.



Begriffe

Einordnung und
Motivation

Statische Kanal-
zuordnung

Dynamische
Kanalzuordnung

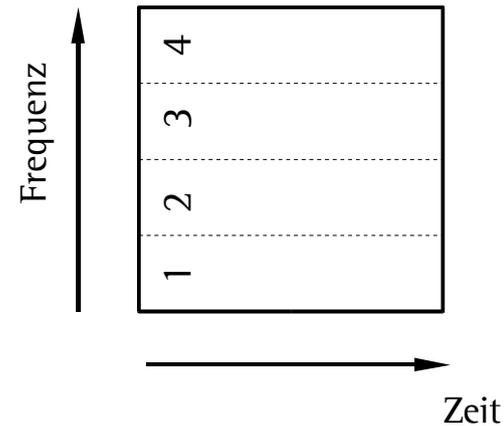
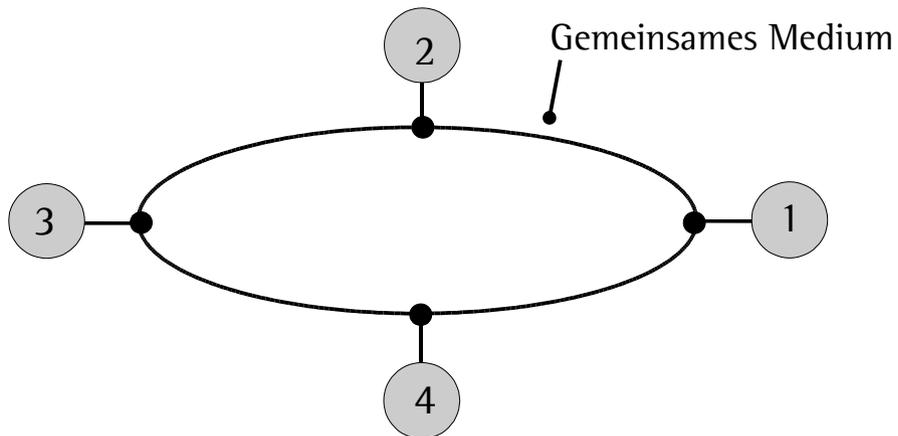
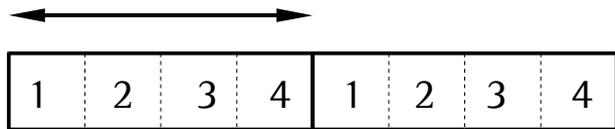
Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Statische Kanalzuordnung

Der Kanal wird geteilt 1) in Timeslots
2) in Frequenzspektren

Ein Zeitrahmen



Begriffe

Einordnung und
Motivation

**Statische Kanal-
zuordnung**

Dynamische
Kanalzuordnung

Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Statische Kanalzuordnung: Probleme

Unterteilung feiner als Anzahl der Teilnehmer

Jeder Teilnehmer bekommt Zugang, jedoch wird Bandbreite verschwendet

Unterteilung gröber als Anzahl der Teilnehmer

Einige Teilnehmer bekommen keinen Slot. Bandbreite wird dennoch verschwendet, da meist nicht jeder Teilnehmer seinen Kanal über die gesamte Zeit vollst. auslastet.

Beispiel: Klassische Telefonie: (geteilt dynamisch/statisch)

Die Zuordnung von Leitungen (Kanälen) zu Verbindungswünschen ist dynamisch – diese kann also noch scheitern. Ist die Verbindung einmal geschaltet, so steht die entsprechende Bandbreite für die Länge des Gesprächs zur Verfügung – dies wird zugesichert.

Beispiel Voice-over-IP: (nur dynamisch)

Sprache wird in kleine Pakete geteilt und über das IP-basierte Netz verschickt. Das Paket kommt nur (rechtzeitig oder überhaupt) an, wenn ausreichend Bandbreite existiert (funktioniert wegen meist ausreichend großer Bandbreite sog. Overprovisioning). Garantien können jedoch nicht zugesichert werden.

Begriffe

Einordnung und
Motivation

Statische Kanal-
zuordnung

Dynamische
Kanalzuordnung

Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Dynamische Kanalzuordnung: Grundannahmen

Die folgenden dynamische Kanalzuordnungsverfahren gehen von folgenden Grundsätzen aus:

Stationen-Modell: Es ex. N unabhängige Stationen. Die Stationen möchten Datenpakete über das Medium verschicken. Stationen senden statistisch unabhängig voneinander. Pakete werden nur vollständig übertragen.

Einzelkanal-Modell: Es ex. nur ein Kanal, über den kommuniziert wird. Jeder kann senden und empfangen. Falls nicht explizit ausgeschlossen, kann ein Sender seine Nachricht auch mithören. Im Fall der meisten Sensorknoten ist dies nicht der Fall, so auch bei unseren ESB Knoten.

Kollisionen-Annahme: Überschneiden sich zwei Rahmen zeitlich, so erfolgt eine Kollision. Diese kann von allen Stationen erkannt werden. Andere Fehler als Kollisionen gibt es nicht.

Zeitunterteilung (besonders für Sensornetze wichtig):

a) **kontinuierlich:** Es kann zu jedem Zeitpunkt gesendet werden. Die Knoten sind dabei nicht miteinander synchronisiert.

b) **unterteilt:** Zeit wird in Intervalle unterteilt. Pro Intervall sind 0, 1 oder mehr Pakete möglich (entspricht inaktiv, Erfolg,

Kollision).

Begriffe

Einordnung und
Motivation

Statische Kanal-
zuordnung

**Dynamische
Kanalzuordnung**

Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Dynamische Kanalzuordnung: Grundannahmen

Die folgenden dynamische Kanalzuordnungsverfahren gehen von folgenden Grundsätzen aus:

Trägererkennung:

Mit: Eine Station kann erkennen, dass der Kanal belegt ist und unternimmt keinen Sendeversuch, um die laufende Übertragung nicht zu stören.

Ohne: Die Belegung des Kanals wird nicht geprüft, es darf zu jeder Zeit gesendet werden, ohne Rücksicht zu nehmen. Dafür ist aber erkennbar, ob ein Rahmen mit einem anderen kollidiert ist.

Erkennung, wenn der Kanal ein Kabel war: Die Amplituden der Signale überlagern sich, die ungewöhnlich hohe Amplitude kann e-technisch schon auf der Ebene der Netzwerkkarte detektiert werden.

Bei Funkkanälen weniger klar, vor allem wenn Sender und Empfänger mobil sind. Fehlersicherung hier eher auf logischer Ebene.

Da im Fall unserer Sensorknoten keinerlei Fehlersicherung auf der Schicht 2 in der HW implementiert ist, müssen wir diese als SW selbst realisieren. Es folgt ein Einschub zum Thema Fehlersicherung.

Begriffe

Einordnung und Motivation

Statische Kanalzuordnung

Dynamische Kanalzuordnung

Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Fehlerkontrolle: Erkennend vs. Korrigierend

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Varianten:

- a) Fehlererkennende Codes
- b) Fehlerkorrigierende Codes
(Forward Error Correction)

Beide Varianten benötigen ein gewisses Maß an Redundanz Wann ist welche Variante sinnvoll?

Fehlererkennung: Erkennung reicht evtl. aus, wenn die Senke die Quelle um erneute Übertragung bitten kann. Hier ist ein Rückkanal und ein definiertes Protokoll nötig. Fehlerkorrektur auf Protokollebene macht bei geringen Fehlerraten und/oder hoher Varianz Sinn.

Beispiel: Im Mittel wird jedes 1000. Byte gestört. Pakete enthalten auch jew. 1000 Bytes. Ist hier ein erneutes Versenden fehlerhafter Pakete sinnvoll?

Fehlerkorrigierende Codes: Ein höheres Maß an Redundanz ist nötig. Sinnvoll, wenn a) kein Rückkanal zur Verfügung steht b) wenn nach erneuter Übertragung ein Datenpaket bereits zuspät kommt (z. B. Telefonie, Video-Konferenzen).

Die anzuwendende Technik hängt auch von der **Fehlercharakteristik**, genauer von der Varianz ab. Treten Fehler eher in sog. Bursts, also sehr lokal auf, kann die Neuübertragung eines Paketes sinnvoll sein. Statistisch unabh. Fehler begünstigen eher fehlerkorrigierende Codes.

Begriffe

Einordnung und Motivation

Statische Kanalzuordnung

Dynamische Kanalzuordnung

Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Fehlerkontrolle: Der Hamming-Abstand

Gegeben seien zwei Codewörter

10001001	0011	Operand 1
10110001	0101	Operand 2
-----	----	
00111000	0110	XOR

Der **Hamming-Abstand** zweier Codewörter entspricht gerade der Anzahl Bits, in denen sich die Codewörter unterscheiden. Dies wird mittels der XOR-Operation festgestellt. Mit anderen Worten: Haben zwei Codewörter den Hamming-Abstand d , so erfordert die Überführung des einen Codeworts in das andere das „Kippen“ von d Bits.

Der **Hammingabstand** eines Codes ist definiert, als der kleinstmögliche Abstand, den zwei beliebige (aber nicht gleiche) Codewörter eines Codes besitzen können.

Will man Fehler erkennen, so braucht man einen Code mit gültigen und ungültigen Wörtern. Um d Bitfehler eines Codeworts erkennen zu können, muss der Code eine Distanz von $d+1$ besitzen. Warum reicht nicht weniger?

Ein Code, in dem man durch Wechseln eines Bits aus einem Codewort ein anderes machen kann, hat den Abstand 1. Da alle Codewörter gültig sind, ist keine Redundanz enthalten. Jede Wort ist erlaubt. Bei einer Distanz von 2 muss man mind. 2 Bits wechseln, um ein neues Wort zu erzeugen. Das Kippen eines Bits erzeugt dagegen per Definition ein ungültiges Wort. Analoges gilt für mehr Bits.

Begriffe

Einordnung und
Motivation

Statische Kanal-
zuordnung

Dynamische
Kanalzuordnung

Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Fehlerkontrolle: Fehler korrigierende Codes

Fehlerkorrigierende Code benötigen einen Abstand von $2d+1$, wenn d Fehler erkannt und behoben werden sollen. Warum reichen nicht auch weniger?

Bei einem Abstand von $2d+1$ muss man $2d+1$ Bits umkippen, um von einem gültigen Codewort zum nächsten zu gelangen. Kippt man nur d Bits, so ist auch der Aufwand zum ursprünglichen Codewort zu gelangen ebenfalls genau d Bitwechsel. Um bei d Bitfehlern jedoch zu einem anderen (als dem ursprünglichen) Codewort zu gelangen sind $d+1$ Bitwechsel nötig. Wenn nur d Bitfehler vorkommen können, ist der Wechsel von d Bits der kürzeste (und einzige) Weg zum nächsten Codewort zu gelangen.

Beispiel: 2 Bits werden durch 10 kodiert

Orig. Code:	00	01	10	11
F.Korr.Code:	0000000000	0000011111	1111100000	1111111111

Welche Bitfehler können hier max. behoben und erkannt werden?

Begriffe

Einordnung und
Motivation

Statische Kanal-
zuordnung

Dynamische
Kanalzuordnung

Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Fehlerkontrolle: Redundanzabschätzung Fehler korrigierender Codes

Wieviele Bits braucht man mindestens für die Korrektur eines Bitfehlers?

Man möchte 2^m gültige Codewörter haben. Dabei werden r Korrekturbits benötigt. Insgesamt wird der fehlerkorrigierende Code $n=(m+r)$ Bits haben. Durch Wechseln von je einem der n Bits (auch ein Korrekturbit darf umfallen) erhält man ein (illegales) Codewort mit dem Abstand 1. Für jedes der 2^m gültigen Wörter kann man also n ungültige erzeugen. Es gilt daher

$$(n+1)2^m \leq 2^n$$

$(n+1)$ setzt sich zusammen aus n ungültigen (erzeugt durch je einen Bitfehler) und einem gültigen Codewort. Auf der rechten Seite der Ungleichung stehen die Anzahl der Wörter des fehlerkorrigierenden Codes.

n läßt sich schreiben als m Datenbits plus r Korrekturbits.

$$(m+r+1)2^m \leq 2^{m+r} \Rightarrow (m+r+1) \leq 2^r$$

Bei gegebenem m läßt sich so die Anzahl der Korrekturbits abschätzen, die ein Code auf jeden Fall braucht.

Beispiel: 8 Datenbits erfordern 4 Korrekturbits / 1024 Datenbits erfordern 11 Korrekturbits
Lohnend offensichtlich vor allem für größere Pakete, jed. können nur 1-Bit Fehler behoben werden.

Begriffe

Einordnung und
Motivation

Statische Kanal-
zuordnung

Dynamische
Kanalzuordnung

Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Fehlerkontrolle: Der Fehlerkorrigierende Hamming Code

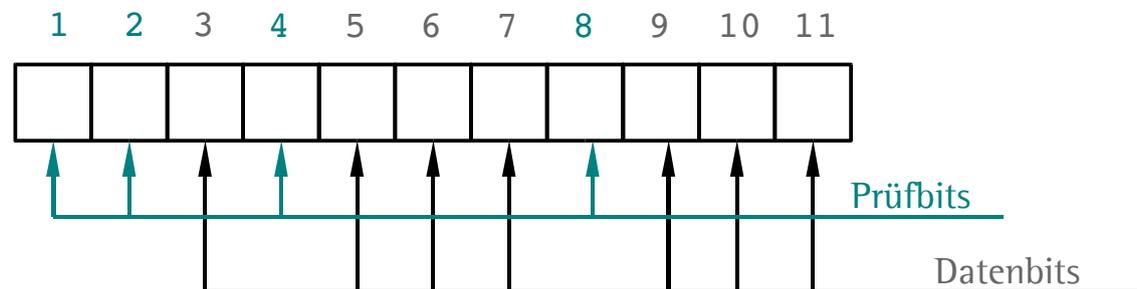
Der Hamming-Code erreicht das Minimum der vorherigen Abschätzung.

Algorithmus: Numeriere die Bits vom LSB zum MSB. Alle 2^n Bits sind Prüfbits, die restlichen sind Datenbits. Die Datenbits werden dabei von links nach rechts mit den Nutzdaten aufgefüllt, die Prüfbits sind allein abhängig von den Datenbits. Welches Datenbit beeinflusst welches Prüfbit?

Zerlege hierzu die Nummer eines Datenbits in seine Binärdarstellung:

$$11 = 8+2+1$$

Datenbit 11 beeinflusst also Prüfbit 8,2 und 1. Dagegen wird nat. Prüfbit 1 auch noch von Datenbit 3, 5, 7, 9 beeinflusst. Per Definition müssen nun alle Prüfbits zusammen mit ihren Datenbits eine gerade (oder ungerade, je nach Vereinbarung) Parität aufweisen.



Begriffe

Einordnung und
Motivation

Statische Kanal-
zuordnung

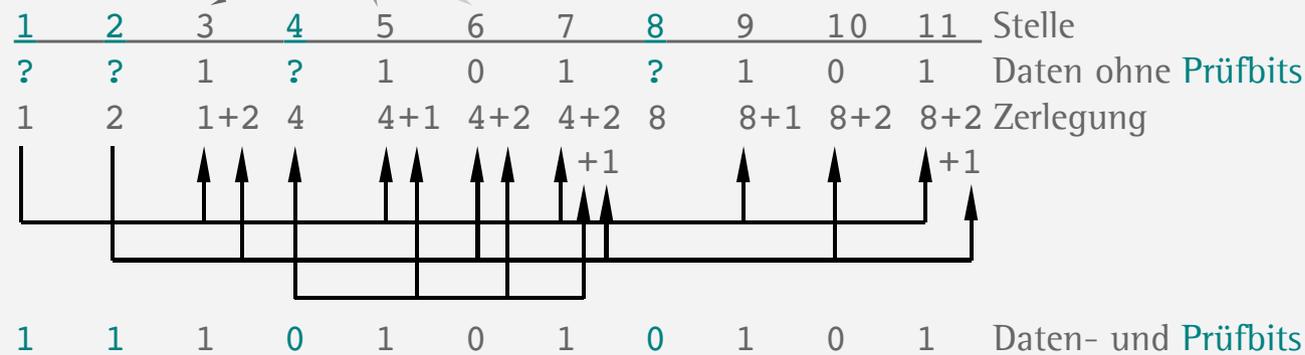
Dynamische
Kanalzuordnung

Fehlerkontrolle

Kommunikation in Sensornetzen

Fehlerkontrolle: Der Fehlerkorrigierende Hamming Code

Beispiel: Datenwort 1101101



Korrekturverfahren: Zuerst wird ein Zähler auf Null gesetzt. Dann werden sukzessiv die Prüfbits überprüft. Stimmt die Parität bei einem nicht, so wird die Stelle des entsprechenden Prüfbits zum Zähler addiert. Am Ende gibt der Zähler die Stelle an, an der ein Bit umgekippt ist.

So können einzelne Bitfehler korrigiert werden.

Warum ergibt die Zählersumme das fehlerhafte Bit?

- Bit 1 fehlerhaft? Ja: Es kommen Bits 3,5,7,9 und 11 in Frage
- Bit 2 fehlerhaft? Nein: Nun bleiben nur noch Bits 5 und 9 übrig
- Bit 4 fehlerhaft? Ja: Nun bleibt nur noch Bit 5 übrig

Begriffe

Einordnung und Motivation

Statische Kanalzuordnung

Dynamische Kanalzuordnung

Fehlerkontrolle